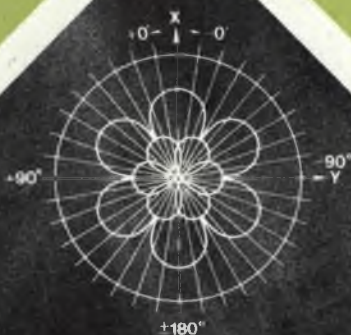


АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МИНИСТЕРСТВО
ГЕОЛОГИИ СССР
ГОССТАНДАРТ
СССР

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
"РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
АЦЕНТРИЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ"**

17-22 сентября 1990г.
г. Александров
ВНИИСИМС

МОСКВА
ВИЭМС • 1990

Академия наук СССР

•
Научный совет

"Физика сегнетоэлектриков и диэлектриков" АН СССР

•
Министерство геологии СССР

•
Всесоюзный научно-исследовательский центр

материалам и веществам (ВНИЦ МВ) Госстандарта СССР

•
Министерство

высшего и среднего специального образования РСФСР

Институт кристаллографии им. Шубникова АН СССР

•
Институт физики им. Л.В. Киренского СО АН СССР

•
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР

•
Амурский комплексный научно-исследовательский институт
ДВО АН СССР

•
Всесоюзный научно-исследовательский институт
синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС)

•
Институт физики при Ростовском госуниверситете

•
Московский институт электронного машиностроения
(МИЭМ)

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

"РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АЦЕНТРИЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ"

17-22 сентября 1990 г.

г. Александров

ВНИИСИМС

Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Реальная структура и свойства ацентричных кристаллов", 17-22 сент. 1990 г. - г.Александров / ВНИИСИМС. - М.: ВИЭМС, 1990. - 199 с.

В тезисах докладов представлен обзор современного состояния проблемы получения новых материалов электронной техники: пьезо-, сегнето- и пьезоэлектрических кристаллов, а также керамики с улучшенными физическими характеристиками.

Обсуждаются экспериментальные результаты исследования реальной структуры кристаллов, их физических свойств, электретного состояния диэлектриков, технических характеристик приборов, изготовленных на основе исследованных кристаллов, в том числе пьезокварца, ортогерманата висмута, различных фторидов и ряда керамических материалов.

Тезисы представляют интерес для специалистов, занимающихся выращиванием и исследованием физических характеристик пьезо-, сегнето- и пьезоэлектрических кристаллов.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 548.0:537

РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ АЦЕНТРИЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ В СССР (И.С.Желудев, Ин-т кристаллографии АН СССР, Москва)

Работа по изучению кристаллов в Московском университете (В.И.Вернадский, Ю.В.Вульф, А.В.Шубников). Изучение свойств кристаллов в Ленинградском горном и политехническом институтах (Е.С.Федоров, А.К.Болдырев, А.Ф.Иоффе, И.В.Курчатов, Г.А.Смоленский). Роль Лаборатории кристаллографии и Института кристаллографии АН СССР в получении и изучении пьезо- и сегнетоэлектрических кристаллов, а также в организации отраслевых учреждений и помощи им (Опытный завод 633, ЦНИЛП, завод им.Казицкого, ФЭОН, ВНИИСИМС (А.В.Шубников, А.С.Шейн, Н.Н.Шейталь, В.П.Бутузов). Открытие титаната бария (Б.М.Вул, Г.И.Сканави) и развитие работ по изучению сегнетоэлектриков в ИКАНе, ФИАНе (В.Л.Гинзбург), Институте физики СО АН СССР, в Ростовском, Днепропетровском, Воронежском, Львовском и других университетах и институтах. Всесоюзные конференции по пьезо- и сегнетоэлектричеству. Научный совет по физике сегнетоэлектриков и диэлектриков АН СССР.

УДК 537.226

АЦЕНТРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ (И.С.Рез, ВНИЦ МВ Госстандарта СССР, Москва)

Последние десятилетия характеризуются резким возрастанием темпа и многообразия вариантов использования ацентричных диэлектриков*. Нет оснований считать возможные области и масштаб приме-

*Рез И.С., Поцлавко Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применение в электронике. - М.: Радио и связь, 1989. - 228 с.

нений сколько-нибудь исчерпанными, поэтому крайне важен анализ имеющихся в этом аспекте перспектив.

В Банке структурных данных по неорганическим кристаллам (Карлсруэ) накоплены сведения примерно по 35 000 структур, из которых 23 % или около 8000 – ацентричных, полярных структур – более 2300 (около 8 %). Количество органических структур (изученных еще значительно, из них ацентричных – порядка 30 %.

Из девяти миллионов известных химических соединений, количество потенциально ацентричных структур по самым скромным оценкам значительно превышает два миллиона. Соответственно необходимость изыскания эффективных методов прогнозирования ацентричных структур, обладающих оптимальными сочетаниями свойств, обеспечивающих возможности их конкурентного или нового использования в технике, является весьма актуальной.

Представляется оправданным сопоставление в исторической последовательности основных кристаллохимических возможностей возникновения сегнетоэлектрического упорядочения в структурах неорганических соединений, оставляя в стороне чисто кристаллофизические аспекты. Первый по времени – критерий Смоленского–Маттиса (1951 г.); за ним – геометрический критерий устойчивых полярных конфигураций Копчика (1953 г.), критерий сегнетоактивных подрешеток Еланова–Веневцева (1957 г.), кристаллохимический критерий Реза с сотрудниками (1959 г.), последовавшие за ними критерии Желудева, Фесенко, Эбрехемса (1969 г.) и, наконец, Эбрехемса (1988–1989 гг.). Рассматривается также теоретико-групповой анализ Хетча и Стокса (1989 г.), показавших, что из 15 239 возможных сегнетоэлектрических переходов в 43 % случаев проявляется изменение электрических свойств, характерное для сегнетоэлектриков, сегнетоэластиков, сегнетобиэластиков и сегнетозластоэлектриков.

Кратко анализируется реальность ранее публиковавшихся прогнозов перспективных материалов по основным областям применения. Оцениваются наметившиеся новые направления использования – в частности, в макропреобразователях энергии, радиационноустойчивых ЗУ высокой плотности интеграции, эффективных нелинейнооптических установках, в том числе для сверхбыстродействующих оптических вычислительных машин и некоторые другие.

Рассматривается современное состояние и возможности разработки автоматизированных экспертных систем: процедуры автоматизированного поиска оптимальных ацентричных материалов, основывающейся на

обобщении критически оцененных массивов информации по структуре, свойствам, возможной технологии получения и т.п.

УДК 537.226

ФЛУКТУАЦИИ СОСТАВА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ
(В.А.Исупов, Физико-технический ин-т им.А.Ф.Иоффе АН СССР,
Ленинград)

Существование флуктуаций состава является важнейшей особенностью реальных кристаллов твердых растворов и сложных соединений. Это относится как к сегнетоэлектрическим (СЭ), так и к несегнетоэлектрическим (НСЭ) веществам и имеет значение при фазовых переходах (ФП). Если одна из подрешеток кристалла занята ионами разных сортов, а взаимодействие между ними мало зависит от сорта, то распределение ионов по узлам этой подрешетки может быть практически беспорядочным. В больших объемах кристалла содержание упомянутых ионов определяется их макроскопической концентрацией, в малых объемах наблюдаются отступления от закона больших чисел и от макроскопической концентрации. Это и есть флуктуации состава (естественно, "замороженные"). Зависимость температуры ФП от концентрации ионов, входящих в рассматриваемую подрешетку, обуславливает различные температуры локальных ФП и, как следствие, размытие ФП в кристалле.

Нельзя говорить о флуктуациях состава, не определив предварительно те объемы, в которых они рассматриваются. Однако эти объемы определяются не произвольно, а самой природой, точнее свойствами самого кристалла (размерами критического зародыша новой фазы, что соответствует линейным размерам порядка 100 Å). Стабильные полярные области, образующиеся в сегнетоэлектриках с размытым ФП (СРФП), должны несколько превышать эти размеры. Величина критического зародыша определяется величиной изменения термодинамического потенциала при ФП, величиной деформационной, деполаризационной и поверхностной энергии.

Размытыми могут быть не только СЭ, но и НСЭ ФП, если есть зависимость температуры ФП от концентрации, а размеры критического зародыша достаточно малы. Возможны случаи, когда при наличии у одного вещества и СЭ, и НСЭ ФП, один из ФП может быть размытым,

а другой — неразмытым. Это может быть связано с тем, что критические размеры зародышей при СЭ и НСЭ ФП различны.

При растворении в сегнетоэлектрике с четким фазовым переходом какого-либо НСЭ вещества ФП размывается и одновременно появляются и усиливаются признаки дипольного стекла — происходит "классификация". Главный из этих признаков — появление температуры замораживания "диполей" (т.е. полярных областей) T_D , лежащей существенно ниже средней температуры Кюри. Для СРФП при понижении температуры и приложении поля характерно образование бесконечных кластеров различного типа. Температура T_D , определяемая по деполаризации кристалла с остаточной поляризацией при нагревании, является температурой разрушения бесконечного ориентированного сегнетокластера. Очевидно, что кластеры могут образовываться не только при СЭ, но и при размытых НСЭ ФП.

Наличие полярных областей при размытых СЭ ФП хорошо объясняет существование релаксационной диэлектрической поляризации. В случае размытых АСЭ ФП полярные области отсутствуют, но поскольку границы АСЭ областей могут быть локально заряжены, эти области могут иметь дипольный момент, и тогда релаксация их границ в электрическом поле может приводить к релаксационной поляризации.

Важное значение могут иметь флуктуации состава в твердых растворах типа ЦТС в области морфотропной фазовой границы, обуславливая сосуществование тетрагональной и ромбоэдрической фаз, которое сильно влияет на свойства твердых растворов. Особый интерес представляет собой поведение флуктуаций в многокомпонентных системах, к которым относится большинство современных видов пьезоэлектрической керамики.

Возможности преднамеренного влияния на флуктуации состава довольно ограничены. Тем не менее, имеется определенная возможность воздействовать на них: создавая условия для упорядочения или, напротив, для сегрегации атомов; влияя на размеры критического зародыша.

Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом находят широкое применение в различных областях современной техники, в особенности в конденсаторостроении и в пьезотехнике. Однако для понимания причин наблюдаемых у СРФП физических явлений предстоит решить немало проблем.

ПРОБЛЕМЫ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК
(Ю.Я.Томашпольский, Физико-химический ин-т им.Л.Я.Карпова,
Москва)

Рассмотрение в одном контексте двух на первый взгляд феноменологически различных явлений (сегнетоэлектричества и высокотемпературной сверхпроводимости в тонких оксидных слоях) имеет основание, поскольку большая часть проблем оксидных пленок обоих классов является общей, более того, отнюдь не исключается, а, наоборот, находит подтверждение возможность сочетания обсуждаемых свойств в одном структурном типе.

Основные технологические проблемы: стехиометрия пленок по катионам и кислороду, химическое взаимодействие пленки с подложкой, защита пленки от атмосферных воздействий, воспроизводимость свойств. Катионная нестехиометрия прямо связана с физико-химическими условиями синтеза. Например, получение толстых пленок методами шликерного литья, намазывание пасты, седиментацией и другими, как правило, сохраняют состав исходного вещества при условии, что дальнейшая термообработка не активирует термостимулированную сегрегацию, твердофазные реакции диспропорционирования, которые могут обусловить фазовые трансформации. Методы испарения (резистивным теплом, электронным и лазерным пучками), катодного, включая магнетронное, а также ионного распыления, инициирующие расщепление вещества до атомно-молекулярного состояния до осаждения на подложку, по своей природе обуславливают в общем случае нестехиометрический по катионам состав и нуждаются в серьезных технологических модификациях. Дефицит по кислороду одинаково недопустим как для сегнетоэлектрических, так и для сверхпроводящих пленок: для первых он вызывает экранирование и подавление спонтанной поляризации вследствие роста концентрации квазисвободных носителей, для вторых кислородный дефицит стимулирует переход от сверхпроводящих свойств к полупроводниковым. Насыщение оксидных пленок кислородом, если это не предусмотрено достаточно сложными системами его подачи *in situ*, осуществляется путем последующих отжигов пленок в кислороде.

Степень химического взаимодействия пленки и подложки во время синтеза пленки определяется конкретной парой. В то время как

имеющийся широкий набор сегнетозлектрических соединений позволяет подобрать множество химически инертных подложек, ограниченный пока набор сверхпроводников (главным образом, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$, $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z$) усложняет проблему подложек, из которых в порядке ухудшения пригодности можно назвать $SrTiO_3$, $LaGaO_3$, $LaAlO_3$, MgO , ZrO_2 , легированный иттрием, Al_2O_3 . При этом решетка подложки должна обеспечивать кристаллографическое соответствие с пленкой, что важно для осуществления эпитаксии. Результатом плохого выбора пары являются промежуточные слои, ухудшающие свойства пленок (например, снижение спонтанной поляризации, критического тока и т.д.).

Подверженность атмосферному влиянию характерна для тонких пленок, в особенности сверхпроводящих. Например, в $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ барий взаимодействует с атмосферным оксидом углерода, образуя $BaCO_3$. Защита пленок осуществляется слоями лаков, а также наносимыми конденсацией органическими и неорганическими слоями.

Проблема воспроизводимости обусловлена трудно контролируемы-ми неравновесными условиями синтеза (высокая степень пересыщения, переохлаждения и другие), приводящими к различной плотности дефектов. Для решения этой технологической проблемы необходима высокая степень автоматизации процессов.

Вторая группа проблем пленок связана с размерными эффектами. Для сегнетозлектриков снижение толщины пленки до десятков нанометров или уменьшение размера зерен ниже этого предела изменяет внутренние электрические поля, диэлектрическую проницаемость, спонтанную поляризацию. В пространстве, меньшем 5–10 нм, сегнетозлектричество может быть подавлено. В сверхпроводниках, где размерные эффекты мало изучены, можно классифицировать их как внешние и внутренние. Примером первых служит зависимость сверхпроводящего перехода от числа слоев $Cu-O$ в ряду соединений $Bi_2Sr_2CuO_x \rightarrow Bi_2Sr_2CaCu_2O_y \rightarrow Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z \rightarrow Bi_2Sr_2Ca_3Cu_4O_8$. Внешний размерный эффект обусловлен соразмерностью толщиной слоя или кристаллита с радиусом корреляции куперовской пары. Из экспериментов следует, что в пленках толщиной в несколько нанометров сверхпроводящий переход наблюдается, хотя имеет особенности, возможно, связанные с влиянием технологических факторов.

Третья группа проблем относится к использованию пленок. Несмотря на огромные перспективы, сейчас только несколько направлений конкурируют с действующими аналогами. Сюда относятся конден-

саторные, сенсорные пиро- и пьезоэлектрические, волноводные применения тонких сегнетоэлектриков. Сверхпроводящие пленки нашли применение в качестве элементов сквидов, резонаторов, мостиков, экранов. Однако нет сомнения, что необычайно быстрое развитие исследований в ближайшее время расширит технические возможности сегнетоэлектрических и сверхпроводящих пленок.

УДК 535.232.6:537.227

РЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ ПИРОЭФЕКТА

(Ю.Н.Бондаренко, Л.П.Переверзева, Ю.М.Поплавко,
Киевский политехнический ин-т)

Эффективность пироэлектрического преобразования невелика даже для сегнетоэлектрических кристаллов вблизи фазового перехода (ФП): менее 1 % поглощенной тепловой энергии превращается в электрическую. В данной работе исследованы пути повышения КПД теплоэлектрического преобразования в ацентричных кристаллах и текстурах, для чего проведено совместное рассмотрение электротепловых, электромеханических (пьезоэлектрических) и термоупругих свойств нецентросимметричных диэлектриков. Показана принципиальная возможность увеличения пироотклика за счет электромеханического резонанса пироэлемента на частоте модуляции теплового потока.

По аналогии с коэффициентом электромеханической связи вводится коэффициент электротепловой связи $K_{ЭТ}$, квадрат которого показывает, какая часть затраченной (поглощенной кристаллом) тепловой энергии с учетом КПД η_C цикла Карно превращается в электрическую: $K_{ЭТ}^2 = p^2 T / \epsilon_0 \epsilon C_V$, где p - пироэлектрический коэффициент, T - рабочая температура, C_V - объемная теплоемкость, ϵ - диэлектрическая проницаемость, ϵ_0 - диэлектрическая постоянная.

Произведение $\eta_C \cdot K_{ЭТ}^2$ представляет собой КПД теплоэлектрического преобразования; КПД обратного эффекта (электрокалорического) определяется $K_{ЭТ}^2$. Оценить преобразовательную эффективность различных пироэлектрических материалов можно по данным таблицы.

Природа пироэффекта в этих материалах существенно различается. При однородном изменении температуры ($grad T = 0$) основными физическими механизмами преобразования тепловой энергии в

Свойства основных пьезоэлектриков

Пьезоэлектрик	$ p \cdot 10^{-6}$, Кл·м ⁻² ·К ⁻¹	$C_V \cdot 10^6$, Дж·м ⁻³ ·К ⁻¹	ϵ	K_{3T}^2
TGS	350	2,5	40	0,04
$LiSO_4 \cdot H_2O$	86	2,8	10	$3 \cdot 10^{-5}$
$LiTaO_3$	200	3,2	43	0,01
$LiNbO_3$	40	3,2	30	0,001
SBN	550	2,1	400	0,012
ПТС (ПКД)	200	2,7	290	0,02
PVDF	40	2,3	12	0,02

электрическую являются температурное изменение спонтанной поляризованности (первичный пьезоэффект, преобладающий, например, в TGS) и пьезопреобразование термической деформации (вторичный пьезоэффект, преобладающий, например, в CdS). Эти эффекты возможны только в десяти классах полярных кристаллов и текстур. В окрестности сегнетоэлектрического ФП первичный пьезоэффект может быть нелинейным.

В случае неоднородного распределения температуры по диэлектрику ($grad T \neq 0$) возможности теплоэнергетического преобразования расширяются. В диэлектриках любой симметрии существует термополяризационный эффект - появление электрической поляризации вследствие неоднородной деформации; этот эффект существенен лишь при $\epsilon = 10^4 + 10^5$, т.е. в окрестности сегнетоэлектрического ФП, в том числе и размытого. В двадцати классах ацентричных кристаллов $grad T$ индуцирует третичный пьезоэффект - пьезопреобразование в условиях неоднородных термических деформаций.

В кристаллах и текстурах низкой симметрии все перечисленные эффекты дают тот или иной вклад в теплоэлектрическое преобразование. В зависимости от симметрии диэлектрика и выбранной конструкции пьезоэлемента вклады различных механизмов могут суммироваться или вычитаться. В пьезопреобразователях стремятся использовать диэлектрики с относительно невысоким значением ϵ (см. таблицу), поэтому роль термополяризационного эффекта в них невелика. Вклад третичного пьезоэффекта по имеющимся оценкам не превышает 30%. В то же время, как показано в данной работе, пьезоэлектрический отклик может быть повышен за счет пьезорезонансного вклада от

вторичного пирозффекта. Этот случай реализуется, если частота модуляции теплового потока совпадает с собственной частотой электро-механического резонанса пирозэлемента.

Вклад вторичного пирозффекта рассчитан для полярных классов кристаллов с учетом всех возможных типов пьезоколебаний, которые могут быть возбуждены компонентами тензора термического расширения при однородном нагреве. Численные результаты получены для всех основных пирозлектрических материалов. В некоторых из них для определенных компонент тепловых деформаций вклад вторичного пирозффекта противоположен первичному. Проведена оценка повышения $K_{ЭТ}$ при пьезорезонансе. Показано, как эффект резонансного усиления пирозффекта может быть реализован для элементов различной геометрии (диск, пластина и другие).

УДК 537.226.4+621.317.023

МИКРОВОЛНОВАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

(А.Брилингас, И.Григас, В.Калесинскас, Р.Мизерис,
Физический фак., Вильнюсский ун-т)

В работе говорится о диэлектрической спектроскопии низкочастотных мягких мод в сегнетоэлектриках. Существует ряд сегнетоэлектриков типа смещения, в которых частота мягкой моды при приближении к T_C смягчается до диапазона миллиметровых волн. В сегнетоэлектриках типа порядок-беспорядок частота релаксационных мягких мод лежит в микроволновом диапазоне. Микроволновая диэлектрическая спектроскопия позволяет напрямую определить поведение мягкой моды, ее вклад в статическую диэлектрическую проницаемость и микроскопический механизм (типа смещения или порядок-беспорядок) фазового перехода.

В докладе описываются методы, используемые авторами, автоматические коаксиальные и волноводные спектрометры диэлектрических свойств, которые позволяют исследовать компоненты комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ сегнетоэлектриков в диапазоне частот $10^6 - 10^{11}$ Гц. В сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн диэлектрическая проницаемость и потери определяются по результатам измерения модулей коэффициентов отражения и пропускания или комплексного коэффициента отражения H_{10} волны

от цилиндрического образца, помещенного в центре широкой стенки прямоугольного волновода, параллельно вектору электрического поля. Приведены формулы расчета ϵ' и ϵ'' для образцов любого радиуса. Описанные методы позволяют получить температурные и частотные зависимости практически для любых значений ϵ' и ϵ'' .

В работе обсуждаются поведение мягкой моды в окрестности T_C в сильно анизотропных сегнетоэлектриках $SbSl$, $Sn_2P_2S_6$, $Sn_2P_2Se_6$, $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$, в которых мода смягчается до миллиметрового диапазона. Она сильно передемпфирована и показывает изменение от типа смещения к типу порядок-беспорядок по мере приближения к T_C . В несоразмерной фазе в $Sn_2P_2Se_6$, $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ мягкая мода расщепляется на фазон и амплитудон. Фазон, в связи с пиннингом, обуславливает на микроволнах диэлектрическую дисперсию Дебаевского типа.

Исследуется влияние макроскопических дефектов поверхностного слоя на диэлектрические свойства кристаллов. Показано, что не учитывая этот слой, частота мягкой моды, полученная из электрических и ИК спектров, дает неаккуратные температурные зависимости, которые приводят к "насыщению" частоты мягкой моды по мере приближения к T_C и уменьшается ее вклад в $\epsilon(0)$.

В заключении работы приведены результаты микроволновых исследований диэлектрических свойств соединений, содержащих водородные связи: CsH_2PO_4 , CsD_2PO_4 , RbD_2PO_4 , CsH_2AsO_4 и антисегнетоэлектрика TlH_2PO_4 . Из полученных экспериментальных данных делается вывод, что в квазиодномерных сегнетоэлектриках CsH_2PO_4 , CsD_2PO_4 , RbD_2PO_4 фундаментальная сегнетоэлектрическая дисперсия в окрестности T_C обусловлена мягкой релаксационной модой, а в сегнетоэлектрике CsH_2AsO_4 диэлектрическая дисперсия выше температуры фазового перехода начинается при частотах $\nu > 10^{10}$ Гц. Диэлектрическая дисперсия в TlH_2PO_4 в диапазоне миллиметровых волн обусловлена низкочастотным крылом мягкой решеточной моды. Вклад моды, частота которой $\nu_S = 367$ ГГц при $T = 360$ К, обуславливает высокую диэлектрическую проницаемость ϵ'_B кристаллов TlH_2PO_4 , а ее смягчение обуславливает аномалии ϵ'_B и ϵ''_B при температуре сегнетоэлектрического фазового перехода $T_{C2} = 357$ К а также зависимость диэлектрической проницаемости от температуры в сегнетоэлектрической фазе.

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
И ИХ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
(Л.С.Кременчугский, Ин-т физики АН УССР, г.Киев)

Рассмотрены физические основы пирозлектрического эффекта в сегнетоэлектрических кристаллах и родственных им материалах. Получено выражение, предопределяющее все существующие и возможные методы измерения пирозлектрического эффекта, — статические и динамические. Изложены основные методики и описана аппаратура для измерения пирозлектрических параметров и характеристик веществ в широком диапазоне температур. Проведено сравнение статических и динамических методов измерения пирозффекта, анализ погрешностей и объяснены причины несовпадения результатов измерений и расхождения литературных данных, полученных разными авторами. Среди новых методов исследования более подробно описана методика измерения третичного пирозффекта*.

Проведено сравнение по установленным критериям основных пироактивных материалов, используемых в качестве рабочих тел пирозлектрических преобразователей. К ним относятся семейства триглицисульфата, танталата и ниобата лития, ниобата стронция — бария, германата свинца, керамик титаната бария и цирконата титаната свинца, пирополимеров, пирозлектрических стекол и композитов.

Особый интерес представляют тонкослойные пироактивные системы металл—сегнето(пиро)электрик—металл, полученные методом распыления, эпитаксиальным методом и ионно—плазменным травлением. Приведены экспериментальные результаты исследования пироактивных факторов качества тонкопленочных структур, размерные эффекты в них и оптимальные толщины. К этим структурам относятся также пленки металл—диэлектрик—металл и ленточные пленки.

Пирозлектрический эффект широко используется в измерительной технике. Принципы создания пирозлектрических элементов, устройств и систем на их основе многообразны благодаря различным функциональным возможностям. Наибольшую сферу применения получили пирозлектрические приемники излучения (ПИИ). Основное отличие и

* Пирозлектрический эффект и его практические применения / Л.С.Кременчугский, В.Б.Самойлов, В.Ф.Косоротов, Л.В.Щедрина. — Киев: Наук. думка, 1989.

неоспоримые преимущества ППИ перед другими тепловыми приемниками излучения состоят в том, что пироприемники работают в динамической тепловой моде — их выходной сигнал пропорционален производной от температуры во времени. Благодаря этому их быстродействие в оптимальном режиме составляет 10^{-9} – 10^{-12} с. Быстродействие ППИ определяется следующими факторами: электрической постоянной времени входной цепи, теплофизическими и оптическими характеристиками поглощающего электрода или поверхностного слоя чувствительного элемента и скоростью установления поляризации в пироактивном материале. Фундаментальным ограничением быстродействия ППИ, поглощающего излучение пироактивным материалом, является время фотон-фононной релаксации и оценивается как 10^{-12} – 10^{-13} с.

В СССР и за рубежом разработаны различные типы пироприемников, которые используются для измерения непрерывных и импульсных потоков когерентного и некогерентного излучения в широком спектральном диапазоне от ионизирующего излучения до СВЧ-волн, который перекрывает семь порядков. Классификация ППИ проведена по функциональному и целевому назначениям. Разработаны высокочувствительные ППИ, пироприемники высоких энергетических уровней, полостные и координатные ППИ, одно- и многоэлементные приемники, ППИ с самокалибровкой.

Высокочувствительные ППИ используются в актинометрической и спектрорадиометрической аппаратуре ИСЗ и межпланетных автоматических станций. Полостные ППИ обладают высокой поглощательной способностью в спектральном интервале от ультрафиолетовой до ИК-области спектра и могут быть использованы для обеспечения единства измерений в широких спектральных интервалах. Еще более разнообразны использования координатных ППИ — определение координат энергетического центра лазерного пучка, расходимости, а также угловых характеристик его волнового фронта.

Среди отечественных разработок последнего времени следует отметить пироэлектрические ватт-джоульметры, радиационные термометры, измерители радиационной экспозиции, пироэлектрические системы сбора и обработки информации, измерители волнового фронта лазерного пучка, приборы температурной диагностики роговицы глаза, датчики частоты и интенсивности дыхания, пироэлектрические тепломеры и др.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ (С.О.Крамаров, Ростовский-на-Дону гос. пед. ин-т)

Подавляющее большинство сегнетоэлектриков разрушается крупко. Это означает, что практически вся энергия, запасенная в образце при его нагружении, расходуется на образование двух новых поверхностей — берегов трещин. Аргументом в пользу этого является соизмеримость удельной величины поверхностной энергии сегнетоэлектрика и работы, затраченной на его разрушение. Разрушение сегнетоэлектриков в полярной фазе показывает, что вклад от эффектов, связанных с сегнетоэлектрической природой материала, становится значительным, что и определяет основные особенности разрушения сегнетоэлектриков.

Особенности разрушения сегнетоэлектриков связаны с существенной взаимозависимостью механического, электрического и теплового состояния среды. Это обусловлено наличием сильных электромеханических и термоэлектрических эффектов (пьезо- и пирозффекты) в сегнетоэлектриках. Такая классификация позволила систематизировать основные особенности крупного разрушения сегнетоэлектриков.

Хрупкий характер разрушения позволяет использовать достаточно развитые подходы линейной механики разрушения. Вклад сегнетоэлектрического состояния в этом случае можно представить как некоторую аддитивную добавку к величине вязкости разрушения (K_{IC}).

Исходя из представлений механики разрушения, описаны многие эффекты: аномалии K_{IC} в области фазового перехода и различие значений K_{IC} в полярной и неполярной фазах, влияние доменной структуры и индуцирование фазовых превращений, локализованных вблизи вершины трещины и др. Однако для целого ряда эффектов (различие в скоростях роста трещин в полярной и неполярной фазах, фото-стимулированное торможение аномальных трещин, влияние сегнетожесткости и т.п.) предложены дополнительные модельные представления.

Особый интерес представляют исследования поликристаллических сегнетоэлектриков, обладающих остаточными механическими напряжениями, которые оказывают влияние на разрушение лишь на отдельных этапах роста трещин. Учет этих напряжений, а также причин их вызывающих, позволяет целенаправленно формировать прочностные свойства пьезокерамики.

Изучен стабильный рост трещин в пьезокерамике в широком диапазоне скоростей (10^{-9} – 10^3 м/с). Исследования показали, что стабильный рост хрупких трещин – единый физический процесс на всех его стадиях и разделение его на докритический и закритический носит условный характер. От момента страгивания трещины до достижения ею предельных скоростей весь процесс может быть описан с единых позиций. При этом сегнетоэлектрическая подсистема оказывает влияние не только на "медленные", но и на "быстрые" трещины. Предельно достижимая скорость стабильного роста трещин в пьезокерамике существенно ниже скорости звука и не достигает даже скорости релеевской волны.

Скорость роста "медленных" трещин в полярной фазе существенно ниже, чем в кубической, причем для многоосных сегнетоэлектриков такое различие, как правило, больше, что вызвано влиянием нестеровосьмидесятиградусной доменной структуры.

Представленный в работе комплекс экспериментальных результатов и их теоретическое описание позволил обобщить и сформулировать основные физические закономерности хрупкого разрушения сегнетоэлектриков.

УДК 537.226.33+537.226.86

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПЬЕЗОТЕХНИКЕ (Л.Н.Сыркин, Ленинград)

Открытие Б.М.Вулом сегнетоэлектрических свойств титаната бария, синтез и исследования пьезоэлектрических керамик различного состава создали научную основу для ряда важнейших направлений современного приборостроения и физического материаловедения. В течение длительного периода ведущую роль здесь играли работы Г.А.Смоленского и его школы. При этом непрерывно возрастали требования, которые предъявляются разработчиками аппаратуры, стимулируют создание все более совершенных пьезоактивных материалов, а новые (в ряде случаев неожиданные) результаты исследований в области физики и химии сегнетоэлектриков успешно используются в прикладных целях. По-видимому, эти тенденции сохранятся и в дальнейшем. Однако возможности получения пьезокерамики с существенно улучшенными или принципиально новыми свойствами в настоящее время

почти исчерпаны, и дальнейший прогресс в создании активных материалов для пьезотехники связан в основном с пьезополимерами, композитами и новыми сегнетоэлектрическими кристаллами. Большинство из этих материалов (в отличие от пьезокерамики) характеризуется сильно выраженным объемным пьезоэффектом, что открывает новые перспективы для их практического применения. В то же время пьезокерамические материалы остаются и, вероятно, еще долго будут оставаться важнейшим, наиболее распространенным классом активных материалов. Поэтому задачи улучшения стабильности, механической прочности и некоторых других свойств пьезокерамики, а также технологичности и воспроизводимости керамических пьезоэлементов в условиях серийного производства по-прежнему актуальны.

Представлены краткая характеристика основных этапов разработок и исследований сегнетоэлектрических активных материалов для пьезотехники, а также сравнительный анализ свойств современных и перспективных пьезоэлектриков с учетом особенностей их применения. Наиболее подробно рассматриваются пьезоэлектрические полимеры и композиты. Изложены современные представления о физической природе высокой пьезоактивности этих материалов и об основных факторах, влияющих на их свойства. Развивается теория пьезоэффекта в гетерогенных структурах. Оцениваются возможности прогнозирования предельных параметров полимерных и композиционных пьезоэлектрических материалов, сформулированы задачи дальнейших исследований.

УДК 537.226.4

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНЫХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

(Р.Е.Пасынков, Ленинградский кораблестроительный ин-т)

Предлагается обоснование и развернутое изложение методов расчета, обусловленных диссипацией температурных полей в простейших и сложных сегнетоэлектрических, в частности, пьезоэлектрических и полупроводниковых, поликристаллических структурах, возбуждаемых электрическими и акустическими полями.

Оценивается вклад источников теплового поля различной природы (электропроводность, диэлектрическая, акустическая, пьезо-

электрическая и электрострикционная диссипация) и роль нелинейных эффектов. Исследуется характер распределения источников теплового поля для образцов различной конфигурации (стержни, пластины, диски, цилиндры) вблизи и вдали от частот собственных колебаний. Развита теория расчета температурных полей при наличии распределенных неоднородностей свойств образца и локальных дефектов.

Дается обзор современных методов визуализации, обусловленных диссипацией температурных полей, и устанавливается ряд преимуществ (простота, оперативность, высокая разрешающая способность) использования для этих целей жидкокристаллических пленок холестерического типа вблизи температурной области их термооптической активности. Приводятся результаты экспериментов (термограммы) и обсуждаются возможности широкого использования этого метода для оперативного неразрушающего контроля в конденсаторной и пьезоэлектрической технике.

Оценивается влияние неоднородных температурных полей на результаты исследований свойств образцов и характер размытия сегнетоэлектрического фазового перехода.

УДК 537.226:547.21

АНИЗОТРОПИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦТС

(А.И.Медовой, Ю.М.Поплавко, Амур КНИИ ДВО АН СССР, г.Благовещенск; Клевский политехнический ин-т)

Сегнетокерамические твердые растворы цирконата-титаната свинца (ЦТС) находят широкое техническое применение в качестве пьезоэлектрических и пьезоэлектрических материалов. Оптимальные свойства ЦТС наблюдаются в окрестности морфотропной области, разделяющей тетрагональную и ромбоэдрическую фазы. Твердые растворы ЦТС исследованы в пределах концентраций 48-58 % $PbZrO_3$ и установлено, что в пределах морфотропной области диэлектрические свойства ЦТС изменяются нерегулярно.

Низкочастотная (1 кГц) диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{\text{нч}}^{\text{ср}}$ неполяризованной керамики при 300 К характеризуется размытым несимметричным максимумом при 55 % $PbZrO_3$ с дополнительной аномалией типа "плечо" в области 51 % $PbZrO_3$. Эта аномалия становится более выраженной при повышенной температуре (около 500 К).

По-видимому, диэлектрические вклады от различных механизмов поляризации весьма чувствительны к изменению соотношения между тетрагональной и ромбической фазами, сосуществующими в морфотропной области. По мере повышения частоты до 10 МГц $\epsilon_{ср}^{НЧ}$ снижается на 20–30 % до $\epsilon_{ср}^{\theta Ч}$; при этом концентрационные максимумы ϵ при 5Г и 55 % $PbZrO_3$ четко разрешаются вследствие запаздывания одного из низкочастотных вкладов в ϵ .

В поляризованной керамике внутреннее электрическое поле перераспределяет фазовый состав и изменяет доменную структуру: возникает анизотропия ϵ . Оба максимума на концентрационных зависимостях ϵ отчетливо различаются в морфотропной области для главных компонент проницаемости ϵ_1^X и ϵ_3^X (индекс "X" указывает на свойства механически свободного образца и соответствует $\epsilon^{НЧ}$). При 500 К эти максимумы формируются более четко, особенно для компоненты ϵ_3^X . С повышением частоты происходит пьезоэлектрическое зажатие поляризованных образцов, вследствие чего ϵ_1 и ϵ_3 снижаются примерно в два раза, но аномалии на концентрационных зависимостях ϵ_1^X и ϵ_3^X сохраняются при тех же концентрациях (индекс "X" соответствует зажатой пьезокерамике). Следовательно, соотношение фаз влияет и на вклад высокочастотных механизмов поляризации.

В области преобладания тетрагональной фазы (ниже 5Г % $PbZrO_3$) анизотропия ϵ выражается слабо, однако и ϵ_3^X , и ϵ_1^X превышают $\epsilon_{ср}^{НЧ}$ неполяризованной керамики. Со стороны ромбической фазы, напротив, как ϵ_3^X , так и ϵ_1^X уступают $\epsilon_{ср}^{НЧ}$, однако анизотропия проявляется сильнее, причем $\epsilon_3^X < \epsilon_1^X$. Это объясняется преобладанием областей ромбической симметрии с иной морфологией доменной структуры. Дисперсия анизотропии отражена в таблице.

Соотношение $\epsilon_{ср} : \epsilon_1 : \epsilon_3$ в морфотропной области

Область концентраций	Низкие частоты, "свободный" пьезоэлектрик	Высокие частоты, "зжатый" пьезоэлектрик
Преобладает тетрагональная фаза, 48–52 % $PbZrO_3$	$\epsilon_{ср}^{НЧ} < \epsilon_1^X < \epsilon_3^X$	$\epsilon_{ср}^{\theta Ч} > \epsilon_3^X > \epsilon_1^X$
Преобладает ромбическая фаза, 58–54 % $PbZrO_3$	$\epsilon_{ср}^{НЧ} > \epsilon_1^X > \epsilon_3^X$	$\epsilon_{ср}^{\theta Ч} > \epsilon_3^X > \epsilon_1^X$

В морфотропной области керамики ЦТС в случае преобладания тетрагональной фазы поляризация приводит к слиянию 180-градусных доменов и к снятию взаимного пьезозажатия этих доменов. В результате облегчается свободная деформация решетки в измерительном электрическом поле, что и приводит к увеличению при низкой частоте как ϵ_3^X , так и ϵ_1^X по сравнению с $\epsilon_{ср}^{HЧ}$ неполяризованной керамики. При поляризации пьезокерамики частично переориентируются и 90-градусные домены, что повышает ϵ_1 и уменьшает ϵ_3 , поскольку в каждом домене вдоль полярной оси диэлектрическая проницаемость минимальна. Очевидно, что в морфотропной области при 48-50 % $PbZrO_3$ влияние 180-градусного доменного механизма преобладает над 90-градусным.

Из таблицы видно, что при преобладании ромбической фазы в морфотропной области, в низкочастотной поляризации доминируют 90-градусные ориентации, поскольку $\epsilon_1^X > \epsilon_3^X$. Тем не менее, после пьезозажатия соотношение между диэлектрическими проницаемостями в области преобладания ромбической симметрии становится таким же, как и в окрестности преобладания тетрагональной симметрии.

Соотношение компонент тензора диэлектрической проницаемости соответствует определенным соотношениям коэффициентов электромеханической связи (K_p и K_{15}). Полученные результаты указывают на закономерности изменения характера электромеханической связи в морфотропной области ЦТС.

УДК 537.226.4; 537.226.33

ФОТОРЕФРАКЦИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

(А.Э.Круминь, НИИ физики твердого тела Латвийского госуниверситета
г. Рига)

Основными преимуществами оптической обработки информации являются, во-первых, высокое быстродействие обработки (10^{-12} с) и, во-вторых, возможность параллельной обработки информации. В 80-х годах в связи с развитием пикосекундных лазеров, оптических волокон, интегральной оптики и с появлением новых механизмов нелинейности существенно увеличилось число работ, посвященных проблемам оптической обработки информации. Наибольший интерес в настоящее время представляют фоторефрактивные материалы.

Фоторефракция (ФР) – оптически индуцированное двуупреломление (Δn), открытая в 1966 г. Ашкиным [1] как нежелательный эффект в электрооптических кристаллах, уже в 1968 г. предлагается Ченом [2] для фазовой записи информации. Наиболее распространенный механизм ФР заключается в следующем [3, 4]. Свет создает носители заряда, которые движутся в кристалле под воздействием диффузии, в фотовольтаическом или во внешнем поле и создают объемный заряд и соответствующее электрическое поле E_{SC} . Индуцированное светом электрическое поле E_{SC} вызывает изменение двуупреломления (Δn) в результате электрооптического эффекта ($\Delta n \sim E_{SC}$). Указанный механизм ФР наблюдался в сегнетоэлектриках ($LiNbO_3, LiTaO_3, KNbO_3, BaTiO_3, SBN$), параэлектрических оксидах ($Bi_{12}SiO_{20}, KTN, PLZT$) и полупроводниках ($GaAs, InP, CdS, CdTe$).

ФР является инерционным явлением и устанавливается с характерным временем $\tau = \epsilon \epsilon_0 / b_{\Phi}$, где ϵ – диэлектрическая проницаемость, b_{Φ} – фотопроводимость. Наименьшее $\tau \approx 40$ пс в настоящее время получено для кристаллов $GaAs$. Время сохранения информации меняется от нескольких мкс (InP) до нескольких лет ($LiTaO_3$). Чувствительность фоторефракции в ряде материалов определяется наличием примесных центров, например Fe^{2+} в $LiNbO_3$.

В исследованиях и в различных применениях используется как точечная (побитовая) запись ФР, так и голографическая запись. Если ФР осуществляется путем диффузии неравновесных носителей или поле объемного заряда лимитировано "насыщением" ловушек, то голографическая решетка смещена относительно интерференционной картины на четверть периода и возникают необходимые условия для стационарного энергообмена между записываемыми световыми пучками. Этот эффект широко применяется для усиления изображений и для коррекции световых пучков.

Рассмотрены основные параметры фазовой записи и проанализированы факторы, мешающие применять ФР материалы в устройствах голографической памяти. Такими являются потери информации при считывании и фотоиндуцированное рассеяние света.

Показан принцип обращения волнового фронта при четырехлучковом взаимодействии света в ФР кристаллах и приведены примеры использования этого эффекта для коррекции изображений и фотолитографии высокого разрешения.

Приведены примеры использования ФР в устройствах коммутации оптических волокон и оптических пространственно-временных модуля-

торах света. Рассматриваются модуляторы типа фототитус, ПРОМ, ПРИЗ и модулятор с микроканальным усилением. Сообщается о новейших достижениях в области голографической записи информации, связанных с применением нитевидных кристаллов *SBN*, на которые возлагаются большие надежды.

Л и т е р а т у р а

1. ASHKIN A. et al. // Appl.Phys.Lett. - 1966. - 9. - P.72-74.
2. CHEN F.S., LA MACCHIA Y.T., FRASER D.B. // Appl.Phys.Lett. 1968. - 13. - P.223-225.
3. GÜNTER P. // Physics Reports. - 1982. - 93. - P.199-299.
4. ПЕТРОВ М.П., СТЕЦАНОВ С.И., ХСМЕНКО А.В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. - М.: Наука, 1983.

УДК 621.592.001.5

ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

(Ю.В.Синявский, В.М.Бродянский, Московский энергетический ин-т)

Традиционные низкотемпературные установки, основанные на термомеханических принципах действия, достигли такого уровня развития, когда темпы их совершенствования значительно замедлились. Переход на качественно новую ступень развития низкотемпературной техники связывают с новыми методами генерирования холода. В основе одного из них лежит использование электрокалорического (ЭК) эффекта.

До недавнего времени измерение ЭК-эффекта в диэлектриках носило эпизодический характер. Поэтому как экспериментальных данных, так и теоретических исследований в этой области очень мало. Интерес к ЭК-установкам стал существенно возрастать с 1980 г., когда в МЭИ была показана принципиальная возможность реализации ЭК-рефрижераторов на базе сегнетоэлектриков (СЭ) с размытым фазовым переходом и значением ЭК-эффекта около 1 К. В это же время перспективы использования традиционных холодильных установок стали далеко не радужными в силу экологических проблем применения ряда фреонов.

Теоретический анализ показал, что наибольшие значения ЭК-эффекта следует ожидать у СЭ, характеризуемых фазовым переходом первого рода, индуцируемым электрическим полем. Оценки ЭК-эффекта для ряда СЭ типа перовскита дают значения в несколько градусов.

По заданию МЭИ в ряде организаций был проведен комплекс исследовательских работ по поиску и синтезу материалов с ЭК-эффектом не менее 1 К. Наиболее перспективным оказался скандотантал свинца (СТС), имеющий индуцируемый фазовый переход при температуре окружающей среды. Небольшая модификация основного состава путем легирования и вариации технологического процесса изготовления позволила управлять точкой Кюри в интервале температур 250–300 К, поддерживая максимальное значение ЭК-эффекта в диапазоне $\Delta T = 1,3\text{--}1,8$ К (напряженность поля 20–25 кВ/см). Ведутся работы по расширению температурного интервала применения этого материала до 200–300 К. В области более низких температур (10–70 К) представляет интерес титанат стронция, исследования ЭК-эффекта которого проведены в МЭИ. Как на моно-, так и на поликристаллических образцах был получен ЭК-эффект в 0,3–0,6 К. Обнаружено влияние на ЭК-эффект подэлектродного объемного заряда. Исследования с целью дальнейшего увеличения ЭК-эффекта пока не увенчались успехом, хотя каких-либо физических препятствий на возможность получения больших ЭК-эффектов не установлено.

Наряду с поиском материалов с большим ЭК-эффектом отработаны принципы построения схем ЭК-рефрижераторов. Исследование систематике схем таких рефрижераторов показало, что практическая реализация ЭК-установок в настоящее время возможна только на базе квазирегенеративной схемы, не имеющей аналогов в традиционных холодильных установках. Работоспособность этой схемы подтверждена на экспериментальном макете. В качестве рабочих элементов использованы тонкие пластины СЭ с нанесенными электродами. Для увеличения рабочей напряженности поля желателен переход на пленочные структуры. Частоту следования циклов в рабочих элементах определяют в основном условия теплообмена, но не время поляризации. Ресурс рабочих элементов из СТС составляет не менее 10^5 циклов наложения и снятия поля. Источник питания ЭК-рефрижератора подключается к общей сети 220 В и имеет небольшие габариты*.

*Снявский Ю.В. Достижения в области создания электро- и магнитокалорических рефрижераторов. - М.: ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1989. - 58 с.

Расчетно-теоретический анализ показал, что ЭК холодильные установки на базе СТС могут иметь КПД, равный 30–60 %; это выше, чем у современных фреоновых установок. По массовым показателям и ресурсу работы они также могут не уступать современным. Для решения вопроса о массовом производстве, например, бытовых холодильников необходим дальнейший поиск сегнетоэлектриков, имеющих ЭК-эффект не ниже 1,5 К и стоимостью существенно меньше СТС.

При разработке СЭ материалов с точками Кюри $T_C < 250$ К и $\Delta T = 1, 0-1, 5$ К возможна реализация ЭК-криорефрижераторов вплоть до температур 20–30 К. Ожидаемый КПД таких установок составляет 15–30 %. Требуемая масса рабочего тела при холодопроизводительности 1 Вт на температурных уровнях, например $T_0 = 120, 80$ и 30 К оценивается соответственно в 3, 8 и 40 кг. Увеличение ΔT ведет, естественно, к улучшению показателей. Так, при $\Delta T = 3$ К и тех же T_0 потребуется соответственно 0,5; 1 и 7 кг, т.е. в 6–8 раз меньше.

Разработка ЭК-рефрижераторов находится на стадии НИОКР.

УДК 666.655

РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКИХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ
(Р.З.Клейне, Э.А.Фрейдельд, Д.А.Штца, И.В.Аболтина, А.И.Медовой, Рижский политехнический ин-т)

Сегнето-, пьезоэлектрические и родственные им материалы нашли широкое применение во многих отраслях техники. Появились сообщения об успешном использовании сегнетоэлектрических материалов для голографической записи информации в ЭВМ, преобразовании энергии солнца в электрическую энергию, получении низких температур. Сегнето-, пьезо- и пироэлектрические материалы все более широко используются для создания сенсорных устройств, особенно в робототехнике. Выявлены и синтезированы такие разновидности сегнетоэлектриков, как сегнетомагнетики и сверхпроводники. Объем проводимых исследовательских работ в области получения новых пьезокерамических материалов только лишь на основе твердых растворов титаната и цирконата свинца (ЦТС) характеризуют следующие показатели: на материалы этой группы, наиболее широко используемые в пьезотехнике, выдано около 1000 зарубежных патентов и получено свыше 200 авторских свидетельств СССР.

В настоящее время разработки в области химии и технологии керамических материалов проводятся с учетом достижений современного материаловедения, которое можно охарактеризовать как совокупность физики, химии и технологических знаний о свойствах материалов и причинах, их обуславливающих, позволяющих управлять этими свойствами в процессе получения материалов.

Научным фундаментом материаловедения являются химия и физика твердого тела. В связи с этим интенсивно развиваются исследования по химии дефектного состояния кристаллических твердых материалов, включающие условия возникновения, равновесные состояния дефектов, способы регулирования концентрации вакансий, дислокаций, электронных дефектов, определяющих физико-химические, электрические и прочие свойства реальных твердых тел.

Одним из наиболее распространенных методов совершенствования сегнетокерамики является модифицирование ее малыми добавками оксидов, вводимых в стехиометрию или сверх стехиометрии в диапазоне концентраций от сотых долей до нескольких процентов. Обычно эти оксиды входят в решетку основного материала в качестве твердого раствора или же в процессе синтеза керамики диффундируют на границы зерен, являясь либо промоторами или ингибиторами роста зерен керамики.

Для создания новых материалов важными являются также исследования в области кинетики и термодинамики. Для выяснения возможности твердофазного взаимодействия необходимо знать изменение стандартной энергии Гиббса ΔG .

В последние годы проводятся интенсивные поиски пьезокерамических материалов, обладающих температурой Кюри (T_K) выше 500°C .

Установлены кристаллохимические условия образования новых висмутсодержащих слоистых соединений с различным числом перовскитоподобных слоев. Для ряда этих соединений характерна T_K выше 700°C . В Ростовском госуниверситете Г.А.Гегузиной и соавторами предложен общий метод построения областей существования сложных окислов со структурами кислородно-октаэдрического типа, основанный на априорном определении деформации межатомных связей с учетом электронного строения атомов и их склонности к определенной координации. Метод позволяет эффективно получать материалы с заданными структурами.

После проведения Г.А.Смоленским и сотрудниками работ по сложным перовскитам типа $Pb(Ng_{1/3}Nb_{2/3})O_3$, $Pb(Ta_{1/2}Fe_{1/2})O_3$

и другими, которые далее были использованы как компоненты сложных систем на основе ЦТС, у нас и за рубежом было получено множество многокомпонентных керамических составов с различными электрофизическими свойствами.

Перспективными являются следующие методы получения сегнето-керамики: кристаллизация из расплавов солей, золь-гель метод, соосаждение из растворов солей, криохимический метод, гидротермальное осаждение, методы взрыва.

Физические свойства сегнетоэлектриков
и родственных кристаллов
 (стендовые доклады)

УДК 537.226.33+621.317.023

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ $TlAB_2$

(Ю. Банис, А. Брилингас, Ф. Вондре, Физ. фак. Вильнюсского ун-та,
 Кларендонская лаб. Оксфордского ун-та)

В халькогенидных полупроводниках $TlAB_2$ ($A = In, Ga$; $B = S, Se, Te$) имеют место фазовые переходы в несоизмерную фазу при T_L и в сегнетоэлектрическую фазу при T_C .

В докладе сообщается об исследовании дифракции рентгеновских лучей от порошковых образцов и диэлектрической дисперсии в области температур T_L и T_C кристаллов $TlGaSe_2$, $TlInS_2$, $TlGaTe_2$ и $TlFeSe_2$, влияние примесей Fe и Cu на параметры мягкой моды и несоизмерную фазу. Получены полные диэлектрические спектры, обусловленные сегнетоэлектрической мягкой модой. Частота мягкой моды меняется по закону $\nu_M = A(T - T_C)^{1/2}$ и при T_L понижается до $\nu_M = 110$ ГГц в $TlGaSe_2$, $TlInS_2$ и $\nu_M \sim 50$ ГГц в $Tl_{0,985}Cu_{0,015}InS_2$, $TlIn_{0,99}Fe_{0,01}S_2$, $TlGa_{0,995}Fe_{0,005}Se_2$.

В несоизмерной фазе диэлектрическую дисперсию обуславливают амплитудон и фазон. Сильное влияние на частоту и затухание мягкой моды дают примеси Fe и Cu . Примеси понижают частоту мягкой моды при T_L , а при T_C из-за пиннинга на дефектах кристаллической решетки частота фазона увеличивается до 1-2 ГГц. Во всех случаях примеси увеличивают константу затухания мягкой моды.

В кристаллах $TlGaTe_2$ не обнаружено аномалий диэлектрической проницаемости, но рентгеноструктурные исследования показали наличие структурных фазовых переходов.

Расчитанная из дисперсионных параметров мягкой моды температурная зависимость $\epsilon(\omega)$ имеет вид, характерный для сегнетоэлектриков, содержащих несоизмерную фазу. Теоретически рассчитан полный диэлектрический спектр в несоизмерной фазе, обусловлен-

ный фазоном и амплитудоном. Показано, что примеси сегнетоэлектрического фазовый переход первого рода приближают к переходу порядок-беспорядок. Мягкая мода обуславливает высокую диэлектрическую проницаемость халькогенидных полупроводников.

УДК 537.226/227

ПРИРОДА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЯДА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ
В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР

(С.Л.Бравина, Л.С.Кременчугский, Н.В.Морозовский, А.А.Строкач,
Ин-т физики АН УССР, г.Киев)

Экспериментально и теоретически изучены пиро- и диэлектрические характеристики ряда сегнетоэлектрических кристаллов с фазовыми переходами типа смещения и порядок-беспорядок в интервале температур 4,2-600 К.

Методом динамического пироэффекта из измерений пироотклика U_{π} в режиме пиротока $U_{\pi} = U_{\pi 1} \sim \gamma / c$ (γ - пироккоэффициент, c - объемная теплоемкость) и пироэдс $U_{\pi} = U_{\pi 2} \sim \gamma / \epsilon$ определялась величина диэлектрической проницаемости ϵ по отношению $U_{\pi 1} / U_{\pi 2}$ в "бесполево" режиме и сравнивалась с величиной ϵ , полученной мостовым методом.

Экспериментальные результаты интерпретированы в рамках модельной микроскопической теории, учитывающей особенности строения как фононных оптических спектров, так и спектров псевдоспиновых возбуждений сегнетоэлектрических кристаллов.

Для объяснения обнаруженных наиболее низкотемпературных аномалий, присущих широкому классу сегнетоэлектриков, в частности, существования низкотемпературного максимума U_{π} и эффекта изменения знака γ предложена микроскопическая модель, в которой рассмотрено взаимодействие акустических и оптических колебаний кристаллической решетки с учетом пьезоэлектрического и стрикционного вклада.

Обнаружена аномалия $\epsilon(T)$ в интервале температур, примыкающем со стороны высоких температур к области низкотемпературного максимума U_{π} , и установлен общий характер этой аномалии.

Экспериментально установлено наличие пиро- и диэлектрических аномалий в области взаимодействия мод в сегнетоэлектриках типа смещения в полидоменном состоянии и дано объяснение природы температурных изменений исследуемых параметров с помощью развитой микроскопической теории, описывающей влияние на изучаемые свойства движения доменных стенок в фононном газе сегнетоэлектрического кристалла под действием как переменного электрического поля, так и периодических тепловых импульсов.

Обсуждаются возможности использования исследуемых эффектов в пиро- и термометрии.

УДК 537.226.33

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ,
НАХОДЯЩЕМСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
(Г.П.Исаев, А.И.Медовой, Амурский комплексный НИИ ДВО АН СССР,
г.Благовещенск)

При термодинамическом рассмотрении поведения сегнетоэлектриков, находящихся под высоким давлением, рассматривается изолированный кристалл. Влияние давления учитывается в функции термодинамического потенциала в виде членов, зависящих от давления. При этом не учитывается влияние окружающей среды на протекание фазового перехода.

Для учета влияния среды необходимо в функцию термодинамического потенциала ввести слагаемые, учитывающие: энергию поляризации среды благодаря возникновению спонтанно поляризованного состояния при фазовом переходе из параэлектрического состояния в сегнетоэлектрическое; упругую энергию системы сегнетоэлектрик-среда; в случае фазовых переходов первого рода вклад в энергию упругой деформации среды и сегнетоэлектрика вследствие спонтанной деформации последнего.

Исследуется влияние среды на температуру фазового перехода второго рода в сегнетоэлектрике, используя теорию упругости^{*}, без учета поляризации среды. Рассматривается сегнетоэлектрик

^{*}Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. - М.: Наука, 1965.

сферической формы, находящийся в изотропной твердой среде, которая может сжиматься под действием приложенного к ней гидростатического давления. Показано, что в зависимости от механических характеристик среды и сегнетоэлектрика (модуля упругости и коэффициента Пуассона) давление внутри сегнетоэлектрика отличается от давления, приложенного к внешней среде.

Далее рассматривается функция термодинамического потенциала, учитывающая давление. Из условий равновесия находится зависимость температуры от давления и механических свойств среды и сегнетоэлектрика. На основании полученных данных рассматриваются частные случаи применительно к конкретным сегнетоэлектрикам и средам, передающим давление в камерах высокого давления. Данный подход может быть использован при рассмотрении свойств композиционных материалов.

УДК 537.226.4

К ТЕОРИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ СО СТРУКТУРНЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ

(В.И.Ккалов, Лаб. теоретической физики, Объединенный ин-т ядерных исследований, г.Дубна)

Рассматривается модель сегнетоэлектрика, в котором в некоторой области температур около сегнетоэлектрического фазового перехода возникают структурные флуктуации, приводящие к появлению зародышей конкурирующей фазы [1]. Исследование осуществляется с помощью теории систем с гетерофазными флуктуациями [2-4]. Наличие таких флуктуаций влияет на поведение термодинамических характеристик в критической области. При определенном соотношении между параметрами гамильтониана фазовый переход происходит в трикритической точке, причем критические индексы скачком меняются на трикритические.

Вычисляется вероятность ядерного гамма-резонанса и показывается, что появление структурных флуктуаций вблизи точки фазового перехода приводит к появлению аномального прогиба этой вероятности как функции температуры [5]. Величина прогиба хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Л и т е р а т у р а

1. YUKALOV V.I. // Ferroelectrics. - 1988. - Vol.82, N 1. - P.11.
2. ЮКАЛОВ В.И. // Теоретическая и математическая физика. - 1976. - Т. 26, № 3. - С. 403.
3. YUKALOV V.I. // Phys.Rev. - 1985. - B32, N 1. - P.436.
4. YUKALOV V.I. // Physica. - 1987. - A141, N 2. - P.352.
5. YUKALOV V.I. // Sol.State Comm. - 1989. - Vol.69, N 4. - P.393.

УДК 537.226.33

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ЦТСЛ В ОБЛАСТИ СОСУЩЕСТВОВАНИЯ СЭ И АСЭ ФАЗ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ (В.М.Ищук, О.В.Преснякова, ВНИИ Монокристаллов, г.Харьков)

Представлены результаты исследования относительной стабильности СЭ- и АСЭ-фаз в твердых растворах ЦТСЛ вблизи их равновесия. Близкие значения свободных энергий этих фаз приводят к их сосуществованию в широком интервале температур и концентраций компонентов твердого раствора. Взаимодействие приводит к понижению энергии сосуществующих фаз в области, на которую оно распространяется, и к стабилизации двухфазной системы, термодинамическое состояние которой характеризуется как неоднородное.

Прямое наблюдение неоднородного состояния проведено методом просвечивающей электронной микроскопии на тонких кристаллитах состава ЦТСЛ. Энергетически менее стабильная фаза проявляется в виде цилиндрических доменов, прорастающих через толщину кристаллита.

Индуктирование СЭ-состояния исследовано в твердых растворах ЦТСЛ рядов $6/100\text{-Y/Y}$; $7,5/100\text{-Y/Y}$; $8,25/100\text{-Y/Y}$; $8,75/100\text{-Y/Y}$. Показано, что существует три интервала напряженностей электрического поля, механизм поляризации в которых имеет существенно различную природу. В слабых полях происходит упорядочение по направлению поля остаточных микрообластей СЭ-фазы, находящихся в АСЭ-матрице кристалла, за счет разворота их дипольных моментов. При дальнейшем увеличении напряженности поля рост поляризации связан с движением доменных границ, разрастанием областей СЭ-фазы и увеличением ее объемной доли. В этом интервале полей осуще-

ствляется промежуточное состояние. В сильных полях слабый рост поляризации обусловлен парапроцессом. Существованием промежуточного состояния при приложении поля объясняются особенности узких петель диэлектрического гистерезиса в ЦТСЛ.

Нарастание содержания пьезоэлектрически активной СЭ-фазы при увеличении напряженности электрического поля в интервале полей, соответствующем промежуточному состоянию, приводит к линейному возрастанию пьезоэлектрической активности образцов. Отмеченные выше три интервала полей характеризуются различной величиной и знаком коэффициента df_r/dE .

УДК 537.226.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИКРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ В КРИСТАЛЛАХ $[(NH_4)_{1-x}K_x]_2SO_4$

(В.П.Бурцева, В.С.Меркулов, МРТИ, ИФТТ и ИП АН БССР, г.Минск)

Разработана методика выращивания и выращены монокристаллы типа $[(NH_4)_{1-x}K_x]_2SO_4$ с различным процентным содержанием калия.

Проведены подробные экспериментальные исследования двулучепреломления $\Delta n_a, \Delta n_b, \Delta n_c$ выращенных кристаллов в области температур 180–300 К.

Графически выделены спонтанные вклады в двулучепреломление $\Delta n_s(T)$ экстраполяцией температурных зависимостей $\Delta n_a, \Delta n_b, \Delta n_c$ в область ниже температуры Кюри, главной особенностью которых является их непропорциональность температурным зависимостям квадрата спонтанной поляризации $P^2(T)$.

С помощью ЭВМ определен параметр θ' , характеризующий количественно степень удаленности от трикритической точки. Для определения знака и величины параметра θ' с функцией Δn_s , которая имела вид $\Delta n_s = \tilde{R}P_1^2 + \tilde{R}'P_1^4$, где P_1 – спонтанная поляризация первой подрешетки; \tilde{R} и \tilde{R}' – коэффициенты, связанные с упругооптическим эффектом. Был проведен ряд математических преобразований, в результате которых получен многочлен вида

$$\Delta n_s = D - a'f' + c'(f')^2,$$

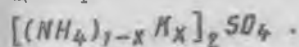
где $f' = -\theta' + \sqrt{t + \frac{5\theta' + 3|\theta'|}{8}\theta'}$; $\alpha' = \tilde{R}\sqrt{\frac{\alpha_1}{\beta}}$; $\theta' = \frac{\beta}{2\sqrt{\beta\alpha_1}}$; $c' = \tilde{R} \frac{\alpha_1}{\beta}$.

Параметр θ' , при котором (используя критерий наименьших квадратов) минимизация функции Y вида

$$Y = \sum_{i=1}^n (D_{Эi} - D_{Тi})^2 \rightarrow 0,$$

где $D_{Эi} = \Delta n_S(T)$; $D_{Тi}$ - экспериментальные и теоретические значения спонтанного двулучепреломления, окончена и есть искомая величина.

На основании графика зависимости параметра θ' от концентрации примеси найдена трикритическая точка в кристаллах



УДК 537.226.3/4

РЕЛАКСАЦИЯ В ФАЗЕ ДИПОЛЬНОГО СТЕКЛА МОНОКРИСТАЛЛА $K_{0,76}(NH_4)_{0,24}H_2PO_4$

(С.А. Гриднев, Л.Н. Коротков, Воронежский политехнический ин-т;
Л.А. Шувалов, В.М. Федосюк, Ин-т кристаллографии АН СССР, Москва)

Существует большое количество материалов с неупорядоченной структурой. Среди них особое место занимают монокристаллы, претерпевающие переход в состояние дипольного стекла. Последние обнаруживают ряд специфических свойств, в том числе характерное поведение комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^* в окрестностях температуры стеклования T_g .

Была исследована дисперсия ϵ^* в окрестностях T_g на образце монокристалла $K_{0,76}(NH_4)_{0,24}H_2PO_4$ в интервале частот 10^{-2} - 10^4 Гц. Изучена эволюция зависимостей ϵ^* от напряженности постоянного электрического поля, приложенного к образцу в процессе охлаждения последнего и при проведении измерений.

Полученные данные свидетельствуют о "сужении" спектра распределения времен релаксации $g(\tau, T)$, рассчитанного согласно работе [1], по мере увеличения напряженности приложенного поля, что позволяет говорить о появлении определенного упорядочения электрических диполей при "замораживании" кристалла в постоянном

электрическом поле. Не исключено, что такое воздействие на объект приводит к структурному фазовому переходу, как в случае с материалами с размытым фазовым переходом [2]. Однако для подтверждения данного предположения необходим микроструктурный анализ.

Л и т е р а т у р а

1. COURTENS E. // Phys.Rev.Lett. - 1984. - Vol.52, N 1. - p.6

2. СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ и антисегнетоэлектрики / Г.А.Смоленский, В.А.Боков, В.А.Исупов и др. - Л.: Наука, 1971. - 476 с.

УДК 537.226.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В $5n_2P_2S_6 \div Mn^{2+}$ МЕТОДОМ ЭПР
(Ю.М.Высочанский, И.Н.Гейфман, И.В.Козлова, В.Я.Кофман, О.А.Микайло, Ин-т полупроводников АН УССР, Ужгородский гос. ун-т)

Исследовался ЭПР Mn^{2+} в $5n_2P_2S_6$ в 3-сантиметровом диапазоне длин волн в температурном интервале 223-358 К. При максимальном расщеплении спектр ЭПР Mn^{2+} состоит из пяти групп линий, каждая из которых включает четыре группы шестерок линий. Шестерка линий является сверхтонкой структурой спектра иона Mn^{2+} , а пять групп шестерок линий обусловливается тонкой структурой спектра. Изучена угловая зависимость резонансных магнитных полей в трех взаимноперпендикулярных плоскостях для двух центров. Эта угловая зависимость описывается спин-гамильтонианом

$$\hat{H} = g\beta \vec{H} \vec{S} + \beta_2^2 \hat{O}_2^2 + A_1 \hat{S}_I$$

со следующими параметрами: $g = 2,032 \pm 0,008$; $(\beta_2^2)_1 = (920 \pm 10) \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$; $(\beta_2^2)_2 = (873 \pm 8) \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$; $A_1 = (70 \pm 3) \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$; $A_2 = (75 \pm 3) \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$, определенными при 300 К.

Магнитная ось Z центра выбиралась вдоль направления, при котором наблюдалось наименьшее расщепление спектра ЭПР. Угол между осями центров составлял примерно 90° .

Изучена температурная зависимость констант. Константа СТВ не зависит от температуры в исследовавшемся диапазоне температур, тогда как β_2^2 имеет значительную температурную зависимость.

В области температур $T = 223-293$ К наклон $d\beta_2^2/dT$ близок наклону в температурной зависимости константы в парафазе (т.е. при $T = 340-358$ К). Такое уменьшение константы связано, вероятно, с тепловым расширением кристалла. В температурном диапазоне $T = 293-340$ К константы β_2^2 для обоих центров значительно уменьшаются с ростом температуры. Важно отметить, что имеется область температур $T = 337-340$ К, в которой β_2^2 не изменяется, что может быть обусловлено участием двух механизмов с противоположным результатом действия. Такое поведение зависимости константы $\beta_2^2(T)$ свидетельствует о фазовом переходе при $T = 337$ К, тогда как ранее установлена температура фазового перехода $T = 339$ К. Возможно, реализуются два близко расположенных фазовых перехода при $T = 337$ и 339 К. Постепенное изменение константы и отсутствие сосуществования фаз свидетельствует о наличии фазового перехода второго рода.

УДК 537.226.33

ИЗОТОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ ДИКАЛЬЦИЙСВИНЕЦПРОПИОНАТА

(В.М.Добрянский, Г.М.Чобот, О.М.Косарев, Белорусский ин-т механики с/х, г.Минск; В.М.Варикаш, Минский радиотехнический ин-т)

В кристаллах дикальцийстронцийпропионата (ДСП) и дикальцийсвинепропионата (ДСВП) механизмы фазовых переходов (ФП) I-II-III в настоящее время окончательно не выяснены. В работе [1] показано, что ФП в этих кристаллах тесно связаны с "замораживанием" свободного вращения части метильных и этильных групп анионов пропионата. С другой стороны, согласно данным работы [2], в кристалле ДСП температурное изменение спонтанной поляризации в фазе II определяется величиной смещения октаэдров $Ca-O_6$ относительно положения ионов Sr .

С целью дальнейшего изучения роли реориентационного движения протонсодержащих групп в механизмах ФП выращены частично дейтерированные кристаллы ДСВП и исследованы их пиро- и диэлектрические свойства. В случае тесной связи механизмов ФП в ДСВП с замораживанием вращения структурных единиц в анионах пропионата, замещение водорода дейтерием должно привести к значительным изотопиче-

ским эффектам. Проведенные исследования показали, что замещение водорода дейтерием приводит к снижению температуры ФП I-II и увеличению максимального значения пирокоэффициента ($\gamma_m^0 = 2,2 \times 10^{-4}$ Кл/м²К) примерно в два раза по сравнению с обычным кристаллом ДСвП, в то время как величина максимальной макроскопической поляризации в фазе II практически не изменяется ($P_m = 1,7 \times 10^{-3}$ Кл/м²). Как и в обычном кристалле ДСвП [3], в его дейтерированном аналоге ФП II-III является переходом первого рода и сопровождается скачкообразным изменением величины и знака макроскопической поляризации. Однако в последнем абсолютная величина скачка поляризации возрастает до $|\Delta P| = 3,4 \cdot 10^{-3}$ Кл/м². Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о тесной взаимосвязи упорядочения структурных единиц в анионах пропионата с механизмами ФП.

Л и т е р а т у р а

1. АЛЕКСАНДРОВА И.П., ЖЕРЕБИЦОВА Л.И., АЛЕКСАНДРОВ К.С. // Кристаллография. - 1967. - Т. 2, вып. 5. - С. 894-899.
 2. MISHIMA N. // J.Phys.Soc.Jap. - 1984. - Vol.53, N 3. - P.1062-1070.
 3. ЧОБОТ Г.М., ВАРИКАШ В.М. // Кристаллография. - 1988. - Т. 33, вып. 4. - С. 1035-1037.

УДК 532.783+539.2

РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПЛАНАРНЫХ СЕГНЕТОАКТИВНЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ
 (В.Г.Меньков, Ю.Г.Синдеев, В.Э.Куревич, Ростовский-на-Дону гос. пед. ин-т, Ростовский-на-Дону инженерно-строительный ин-т)

Экспериментальные данные указывают на качественное отличие свойств тонких сегнетоэлектрических пленок от свойств массивных образцов. Эти отличия проявляются главным образом в виде резкого изменения поляризации, диэлектрической проницаемости и других величин при уменьшении толщины тонкой сегнетоэлектрической пленки. Такие явления называют размерными эффектами, и в обычных сегнетоэлектриках в настоящее время они достаточно хорошо исследованы теоретически и экспериментально.

В последнее время внимание исследователей привлекает возможность сегнетоактивности некоторых жидких кристаллов. Структура

тонкого среза сегнетоактивного жидкого кристалла отличается от структуры бесконечного ввиду сильного влияния границ, и при достаточно малой толщине вклад поверхности в термодинамический потенциал образца становится существенным.

В настоящей работе на основе термодинамической теории фазовых переходов предложена и развита феноменологическая теория размерных эффектов в тонких сегнетоактивных жидких кристаллах в случае фазового перехода второго рода. Получены распределения спонтанной поляризации и диэлектрической проницаемости по толщине. Найдены зависимости диэлектрической проницаемости и спонтанной поляризации от толщины сегнетоактивного жидкого кристалла и его температуры, а также усредненные значения по всему объему системы. Проведены оценки критических толщин для указанных величин, когда упорядочение не может наблюдаться в принципе, и выявлены их температурные зависимости.

Полученные результаты могут послужить основой для интерпретации экспериментальных данных, а также для теоретического исследования других свойств тонких пленок сегнетоактивных жидких кристаллов.

УДК 530.1

ФОРМАЛИЗМ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ФУНКЦИИ ВКЛЮЧЕНИЯ АНСАМБЛЕЙ
ЛОКАЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РАЗМЫТОГО
ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В РЕАЛЬНЫХ ПОЛЯРНЫХ СРЕДАХ
(В.С.Быстров, Б.Н.Ролов, Латвийский гос. ун-т им.П.Стучки, г.Рига)

1201

Фазовый переход (ФП) в реальных полярных средах определяется фактически генерацией и динамикой развития локальных ФП ансамблей различных локальных фазовых образований (ЛФО) - флуктуонов, фазонов, солитонов, дефектонов и т.п. Это приводит к размытию ФП, характер которого определяется соотношениями вкладов каждого из ансамблей. В конкретных материалах эти соотношения могут быть весьма различны и зависят как от природы ЛФО, так и от основной матрицы (структуры, фазы) системы, в которой происходит ФП. Таким образом, ФП в такой реальной среде характеризуется прежде всего пространственно-временной неоднородностью.

Одним из эффективных способов описания размытия ФП с такими элементарными подсистемами (ЭП) типа ансамблей различных ЛФО является формализм функций включения (ФВ).

Рассматривается многокомпонентная ФВ, позволяющая анализировать вклады ЭП в общую динамику размытия ФП реальных систем. Исследуются возможные критерии, выделяющие вклад каждой из ЭП, которые имеют свои специфические характеристики в зависимости от типа ЛФО (флуктуон, фазон, солитон, дефектон и т.д.). Приводится описание основных характеристик различных ЛФО (локальные термодинамические потенциалы, полная энергия ЛФО и энергия локализованных носителей заряда, эффективные радиусы ЛФО и др.) в зависимости от термодинамических параметров системы (температуры, давления, концентрации) в окрестности ФП первого и второго рода полярных, в частности, сегнетоактивных систем. Особенности указанных зависимостей основных характеристик единичных ЛФО в окрестности локальных ФП позволяют в результате оценить вклад в общий ФП системы каждого ансамбля ЛФО, статистически описываемых через ФВ. Полученные результаты служат основой для разработки методик экспериментальных исследований реальных механизмов ФП.

УДК 537.2264;538.956

СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ СО СТРУКТУРОЙ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ КАЛИЕВО-ВОЛЬФРАМОВОЙ БРОНЗЫ

(Р.М.Сардарлы, А.И.Алекперов, Г.М.Ахмедов, Н.А.Эюрова, Сектор радиационных исследований АН АзССР, г.Баку)

По двухстадийной керамической технологии путем твердофазного спекания при 1220–1250 °С в течение 25–30 ч на воздухе получены образцы сегнетоэлектрического материала $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Nb_2O_6$ и $K_xLi_{1-x}Nb_{70}O_{30}$ со структурой тетрагональной калиево-вольфрамовой бронзы (ТКВБ) и их твердые растворы на основе $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Nb_2O_6$ в системе $(1-x) Sr_{0,5}Ba_{0,5}Nb_2O_6 - xK_xLi_{1-x}Nb_{70}O_{30}$ (при $x = 0,05; 0,1; 0,15; 0,20$). В широком диапазоне температур измерены изменения температурной зависимости диэлектрической проницаемости и пьезоэлектрического отклика в полученных новых нестехиометрических составах со структурой ТКВБ. Составы полученных образцов идентифицировались методами ДТА, РФА и микроструктуры. Причем, как

четкость аномалии диэлектрической проницаемости, так и пьезоэлектрический коэффициент возрастает по мере увеличения x . Довольно похожее расширение фазового перехода характерно и для температурной зависимости диэлектрической проницаемости $K_6Li_4Nb_{10}O_{30}$. Это расширение связано с увеличением беспорядка в структуре. Материалы, полученные методом твердофазного спекания на основе $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Nb_2O_6$, важны как с практической точки зрения, так и из-за исключительно большой нелинейной поляризуемости и из-за большого разнообразия составов.

Установлено, что сегнето-пьезоэлектрический фазовый переход в исследуемых материалах является размытым. Показано, что измерение пьезоэлектрического отклика дает возможность рекомендовать полученные материалы для использования в качестве чувствительного элемента в датчиках ИК-излучения.

УДК 537.226.4

БАРЬЕР ПАЙЕРЛСА ДЛЯ СТОВОСЬМИДЕСЯТИГРАДУСНОЙ ДОМЕННОЙ СТЕНКИ
(В.И.Орбух, Азербайджанский гос. ун-т им.С.М.Кирова, г.Баку)

При экспериментальном исследовании диэлектрической проницаемости полидоменных сегнетоэлектриков установлено, что эффекты нелинейности проявляются уже при аномально малых электрических полях порядка 10^{-2} -1 В/см. При этом масштаб частот, на которых изменяется комплексная диэлектрическая проницаемость, составляет 0,1-10 Гц.

Для теоретического объяснения указанных особенностей приведены результаты исследования устойчивости распределения поляризации типа "неподвижная доменная стенка" во внешнем электрическом поле.

Задача решается вариационным методом с учетом дискретности решетки.

Установлено, что максимальное электрическое поле, при котором доменная стенка устойчива по отношению к трансляционному движению (барьер Пайерлса), выражается через толщину доменной стенки T_C , постоянную решетки a и коэффициенты разложения свободной энергии $\alpha = \alpha'(T - T_C)$, β :

$$E_{max} = 2\pi^5 |\alpha|^{3/2} \beta^{-1/2} \exp\{-\pi^2 \Gamma_C / a\} \quad (1)$$

Частота ω_0 собственных колебаний доменной стенки в пределах элементарной ячейки имеет вид

$$\omega_0 = \omega_M (\Gamma_C / a)^{5/2} \exp\{-\pi^2 \Gamma_C / 2a\}, \quad (2)$$

где ω_M — частота мягкой моды.

Для Γ_C получено уравнение, содержащее силовые постоянные решетки, которое при $\Gamma_C \gg a$ имеет обычное решение $\Gamma_C \sim |\alpha|^{-1/2}$.

Численные оценки для ряда сегнетоэлектриков на основе формул (1) и (2) по порядку величины совпадают с указанными выше экспериментальными результатами.

УДК 538.69:539.124

ОСОБЕННОСТИ НЕСОРАЗМЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ В КРИСТАЛЛАХ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПРИМЕСИ

(М.П.Трубицын, Т.М.Бочкова, Днепропетровский гос. ун-т)

При изучении влияния структурных дефектов на свойства несо-размерных фаз (НСФ) в сегнетоэлектриках очевидны преимущества смешанных кристаллов типа $(\text{RB}_{1-x}\text{N}_x)_2\text{ZnCl}_4$, позволяющих каче-ственно и количественно контролировать дефектность исходной решетки.

Авторами проведено изучение спектров ЭПР в окрестности фазо-вого перехода из параэлектрической фазы (ПФ) в НСФ в кристаллах $(\text{RB}_{1-x}\text{N}_x)_2\text{ZnCl}_4$ ($x = 0; 0,01; 0,02; 0,04; 0,1$), активированных парамагнитной примесью Mn^{2+} . Исследования монокристаллы выращи-вались вытягиванием из расплава по методу Чохральского.

В высокотемпературном интервале НСФ на основе измерения несо-размерного спектра краевых сингулярностей для ряда смешанных кристаллов получены температурные зависимости амплитуды волны несо-размерной дисторсии. Для всех изученных кристаллов вблизи точ-ки T_C перехода ПФ-НСФ наблюдалось уменьшение сингулярного рас-щепления. В рамках модели "плавающей" фазы [1] обсуждаются особен-ности температурной и концентрационной зависимости среднеквадра-тических фазовых флуктуаций модуляционной волны [2].

Показано, что данная модель не позволяет адекватно описать температурное поведение позиций краевых сингулярностей при определенных ориентациях магнитного поля относительно кристаллографических осей. Для ориентаций, обеспечивающих квадратичную связь резонансных полей с несоразмерной волной смещений, уменьшение сингулярного расщепления сразу ниже T_i происходит вследствие сдвига высокополевой ("фазонной") сингулярности, тогда как низкополевая ("амплитудонная") сингулярность не проявляет каких-либо критических особенностей.

Л и т е р а т у р а

1. FLOATING of the modulation wave in incommensurate Rb_2ZnCl_4 / R. Blinc, F. Milia, B. Topic, S. Zumer // Phys. Rev. B. - 1984. - Vol. 29, N 7. - P. 4173-4175.

2. БОЧКОВА Т.М., ТРУБИЦЫН М.П. ЭНР изучение особенностей несоразмерной модуляции в кристаллических растворах $(Rb_{1-x}(Kx)_2ZnCl_4$ // Физика твердого тела. - 1989. - Т. 31, вып. 2. - С. 269-271.

УДК 537.226.4

СЕГНЕТО- И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ МАГНИОНИОБАТ - ТИТАНАТ СВИНЦА
(Ф.И. Савенко, Л.П. Панченко, Б.В. Феданов, НИИ физики Ростовского
гос. ун-та, г. Ростов-на-Дону)

Часть проблем, связанных с природой размытия фазового перехода (ФП) в сегнетоэлектриках типа $PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ (PMN) можно решить, исследуя систему твердых растворов магнониобата свинца с титанатом свинца $PbTiO_3$ (PT). Результаты исследования такой системы дадут возможность проследить закономерность перехода от размытого ФП к сегнетоэлектрическому ФП первого рода.

С этой целью были проведены исследования пьезо- и сегнетоэлектрических свойств монокристаллов твердых растворов системы $(1-x)PMN-xPT$ ($x \leq 0,25$) в диапазоне температур 250-400 К и при воздействии внешнего смещающего электрического поля. Установлено, что с ростом концентрации титаната свинца происходит монотонное повышение температуры T_M , соответствующей максимуму температурной зависимости диэлектрической проницаемости; |повыша-

ется и становится отчетливой температурная граница, ниже которой кристаллы проявляют ярко выраженные сегнетоэлектрические свойства. Анализ результатов исследований показывает, что в монокристаллах системы $(1-x)PMN - xPT$ ($x \leq 0,25$) ФП остается размытым в том смысле, как это представляется в опубликованной ранее работе^{*}. Однако температурная область между T_M и температурой перехода в макроскопически неполярное состояние T_f , которая определялась по максимуму температурной зависимости остаточного пьезомодуля, с ростом концентрации титаната свинца сокращается, что может быть использовано в качестве критерия степени размытия ФП. Для всех исследованных составов на температурной зависимости коэффициента упругой податливости S_{11}^E , измеренного пьезорезонансным методом, в исследованной температурной области обнаруживаются две аномалии: при T_M - в виде излома, при T_f - в виде острого максимума, причем последняя проявляется только в том случае, когда макроскопическая поляризованность отлична от нуля.

УДК 537.226.33

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ФОТОСЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ

(М.А.Малицкая, И.П.Раевский, П.Ф.Тарасенко, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Кристаллы ниобата бария-стронция (НБС) $Ba_xSr_{1-x}Nb_2O_6$ являются одними из наиболее чувствительных фоторефрактивных материалов [1]. В отличие от большинства фотосегнетоэлектриков эффект фоторефракции в НБС связан не с объемным фотовольтаическим эффектом, а с экранированием неравновесными носителями внутренних полей, существующих в объеме структурно неоднородного кристалла [1-3]. Кристаллы НБС являются также удобным объектом для изучения фотосегнетоэлектрических явлений, поскольку в широком интервале значений x сегнетоэлектрические фазовые переходы в них происходят при сравнительно невысоких температурах. Вместе с тем, основное внимание исследователей было сконцентрировано на изучении

^{*}Исупов В.А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1983. - Т. 47, № 3. - С. 559-565.

фоторефрактивного и фотовольтаического эффектов, другие же фото-сегнетоэлектрические явления, в частности, фотостимулированные изменения температуры фазового перехода, а также фотоэлектретный эффект исследованы в НЭС сравнительно слабо.

В кристаллах НЭС с $\chi = 0,39$ обнаружена значительная анизотропия плотности фотоэлектретного заряда в направлениях, параллельном и перпендикулярном полярной оси. При измерениях в направлении полярной оси температурная зависимость плотности фотоэлектретного заряда имеет аномалию в точке Кюри, что связано с процессами экранирования спонтанной поляризации неравновесными носителями заряда.

Впервые наблюдались эффекты фотостимулированного снижения температуры сегнетоэлектрического фазового перехода кристаллов НЭС, а также смещение температуры фазового перехода в сторону высоких температур под действием внутреннего поля спонтанного фотоэлектрета. При непрерывном освещении кристаллов определяющую роль играет первый эффект, а в случае предварительной засветки - второй.

Л и т е р а т у р а

1. АВТОМЕТРИЯ / Т.Р.Волк, В.И.Ковалевич, Ю.С.Кузьминов, В.А.Шувалов. - 1980. - № I. - С. 46-55.
2. ФИЗИКА твердого тела / Н.М.Бездетный, А.Х.Зейналы, В.И.Ордух, В.Г.Сильвестров. - 1980. - Т. 22, № I. - С. 244-246.
3. ФИЗИКА твердого тела / Т.Р.Волк, В.И.Ковалевич, Н.М.Подоляков, Ю.С.Кузьминов, Л.А.Шувалов. - 1980. - Т. 21, № 9. - С. 2591-2598.

УДК 548.0:537.226.33

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ТИТАНАТА СВИНЦА,
ВЫЗВАННЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИ ПОВТОРЯющимися ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ
(В.Г.Гавриляченко, А.Ф.Саменчев, Е.С.Цихонский, Е.Г.Фесенко, НИИ
физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Для фазовых переходов (ФП) в многоосных сегнетоэлектрических кристаллах характерны морфологические и кинетические особенности мартенситных превращений, при которых кристалл испытывает значи-

тельные механические напряжения [1]. Наилучшая релаксация этих напряжений достигается в том случае, когда межфазная граница представляет оптимально ориентированную плоскость (ПМГ), а сегнетофаза (СФ) сдвойникова.

Сравниваются результаты определения рентгеновского "качества" кристаллов титаната свинца (ТС), испытанных циклически повторяющиеся ФП через точку Кюри с одной ПМГ, с изменениями их электрофизических свойств (критерием "качества" принято считать полуширину кривой рентгеновского отражения). Каждый цикл ФП проводился в таких условиях, когда в СФ не образуются 180-градусные домены. Это дало возможность наряду с диэлектрическими свойствами определять упругие и пьезоэлектрические характеристики кристалла.

В результате было установлено, что наиболее чувствительными к влиянию циклов ФП являются механическая добротность Q_M и диэлектрическая проницаемость ϵ . Зависимости "качества" кристаллов и Q_M от числа циклов ФП коррелируют между собой, а ϵ заметно возрастает, что можно связать с активацией аномального изоструктурного ФП при температуре 200 °С, характерного для кристаллов ТС [2].

В работе [3] было показано, что изменения "качества" кристаллов ТС в зависимости от числа циклов ФП можно объяснить генерацией и перераспределением линейных дефектов в кристалле при перемещении ПМГ. В рамках этой модели обсуждаются изменения электрофизических свойств.

Л и т е р а т у р а

1. ФИЗИКА твердого тела / Е.Г.Фесенко, В.Г.Гавриляченко, А.Ф.Семенчев, С.М.Юратова. - 1985. - Т. 27, вып. 4. - С. 1194-1200.
- НЕОРГАНИЧЕСКИЕ материалы / Л.А.Барабанова, В.Г.Гавриляченко, Е.С.Циходкий, Е.Г.Фесенко, М.Ф.Куприянов. - 1979. - Т. 15, вып. 9. - С. 1612-1614.
3. ДУДКЕВИЧ П.В., ЦИХОДСКИЙ Е.С. // Тез. докл. XII Всес. конф. по физике сегнетоэлектриков. - Ростов н/Д, 1989. - Т. 1. - С. 10.

ЕСТЕСТВЕННО-УНИПОЛЯРНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ
(В.А.Бабанских, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров, Б.Ф.Проскуряков, НИИ
физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

При исследованиях "модельных" кристаллов титаната бария установлен механизм формирования естественно-униполярного состояния, изучены особенности переключения кристаллов с естественной униполярностью и экранирования такого состояния в окрестности СЭ-СЭ и СЭ-ПЭ фазовых переходов. Экспериментальные результаты получены методами локального динамического пирозффекта и визуального наблюдения доменной структуры в поляризованном свете.

Исследовано влияние толщины кристалла на распределение поляризованности и знак естественной униполярности образца, при уменьшении толщины травлением в парафазе, близкой к T_K , обнаружено изменение знака естественной униполярности, что объясняется различием градиентов концентраций примесных дефектов в приповерхностных слоях противоположных граней. Для подтверждения общности механизма образования естественной униполярности в сегнетоэлектриках показана возможность создания такого состояния также и в сегнетоэлектрической керамике.

Показано существование различных типов естественно-униполярного состояния, каждый из которых приводит к определенному пространственно неоднородному распределению поляризованности, а механизм переключения естественно-униполярных кристаллов определяется типом естественной униполярности.

Наличие естественной униполярности в кристаллах приводит к аномальной смене знака динамической пироактивности в окрестности СЭ-СЭ и СЭ-ПЭ фазовых переходов. Обнаружение данного эффекта и изучение факторов, ответственных за его наличие, позволяет исследовать в окрестности СЭ-СЭ фазовых переходов распределение подвижности межфазных границ по объему образцов, а в окрестности СЭ-ПЭ фазовых переходов - определять механизм экранирования по измерениям динамической пироактивности. В отличие от ранее проведенных исследований данные, полученные при исследовании пирозффекта вблизи T_K , указывают на наличие поля униполярности в кристаллах титаната бария и в направлении, параллельном развитым граням.

СЕГНЕТО- И ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ ГРУППЫ $A^3B^3C_2^6$

(Р.М.Сардарлы, О.А.Самедов, И.Ш.Садыхов, Г.Г.Курбанова, А.И.Алекперов, В.И.Алиев, Сектор радиационных исследований АН АзССР, г.Баку)

Проведен комплекс исследований температурной зависимости диэлектрической проницаемости, спонтанной поляризации и пьезокоэффициента в недавно открытом классе сегнетоэлектрических кристаллов с общей формулой $A^3B^3C_2^6$ и твердых растворах на их основе. Слоистый характер структуры этого класса соединений ответственен за образование большого числа поллитипных модификаций. Исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости в окрестности фазовых переходов на серии кристаллов $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ различных политипных модификаций обнаруживают особенности, характерные как для собственных, так и несобственных сегнетоэлектрических фазовых переходов. Исследования температурной зависимости спонтанной поляризации по петлям диэлектрического гистерезиса показали, что петля появляется ниже температуры 204 К и достигает величины $P_S = 1,8 \cdot 10^{-7}$ Кл.см⁻² для $TlInS_2$. Для $TlGaSe_2$ величина $P_S = 1,3 \cdot 10^{-7}$ Кл.см⁻². Проведены измерения температурной зависимости пьезокоэффициента квазистатическим методом и исследован пьезоотклик кристаллов динамическим методом.

Исследования твердых растворов и дефектных образцов $TlInS_2$ показали, что в кристаллах наблюдается размытие фазовых переходов. Аномалия при $T = 216$ К, которая согласно нейтронным данным является переходом в несоразмерную фазу и очень слабо выражена в температурной зависимости диэлектрической проницаемости для чистых кристаллов $TlInS_2$ в твердых растворах с изовалентным замещением In на Fe , приводит к значительному росту $\epsilon(T)$. Следует отметить наблюдение пьезоотклика в области существования несоразмерной фазы. Наблюдался пьезоотклик также в дефектных образцах и твердых растворах выше по температуре, чем T_C . По всей видимости, разделение зарядов в этом случае связано с дефектностью структуры. Кристаллы $TlGaSe_2$ в области высоких температур обнаруживают полупроводниковые свойства.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ
СО СТРУКТУРОЙ ТИПА ПЕРОВСКИТА

(Н.В.Дергунова, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Возможность адекватного описания изменения параметров кристаллической решетки при введении в кристалл примесных атомов необходима для теоретической интерпретации результатов физико-химических, структурных и спектральных исследований твердых растворов. Предложена кристаллохимическая модель смешанных кристаллов со структурой типа перовскита $AB_{1-x}B'_xO_3$ при малых концентрациях примесных атомов B' ($x \ll 1$), основанная на представлении о деформации ненапряженных катион-анионных расстояний. Замещение атомов кристалла матрицы примесными атомами приводит к неоднородной деформации решетки в окрестности примесного атома и к изменению средних периодов решетки. Равновесному состоянию кристалла отвечает минимум "упругой" энергии, возникающей вследствие отличия катион-анионных расстояний в кристалле от соответствующих длин ненапряженных связей.

Для анализа зависимости параметра средней решетки от концентрации компонентов твердого раствора вычислена разность, определяющая отклонение линии $a = a(x)$ от прямой, соответствующей правилу Вегарда для твердых растворов. Из полученных соотношений следует ряд выводов общего характера. Так, отклонение от линейного закона на обоих концах кривой $a(x)$ имеет одинаковый знак, т.е. должны наблюдаться либо выпуклые, либо вогнутые кривые. При изовалентных замещениях зависимость $a = a(x)$ будет близка к линейной. Эти выводы подтверждаются для всех исследованных к настоящему времени твердых растворов оксидов со структурой типа перовскита. Дается объяснение нелинейности $a(x)$ для твердого раствора $Na_{1-x}K_xNbO_3$. Рассчитана энтальпия (теплота) смешения разбавленного твердого раствора:

$$\Delta H_{см} = - \frac{12(4\kappa_A + \kappa_{B'})}{\kappa_A \kappa_{B'}} \left[\frac{\kappa_A \kappa_B}{(4\kappa_A + \kappa_B)} (\ell_A / \sqrt{2} - \ell_B) - \frac{\kappa_A \kappa_{B'}}{(4\kappa_A + \kappa_{B'})} (\ell_A / \sqrt{2} - \ell_{B'}) \right]^2 x,$$

где $\ell_A, \ell_B, \ell_{B'}$ - длины ненапряженных связей; $\kappa_A, \kappa_B, \kappa_{B'}$ - жесткости этих связей для катион-анионных пар $AO, BO, B'O$,

Эта модель в отличие от континуальной (для сплавов) предсказывает возможность экзотермичности процесса растворения малых количеств примесей ($\Delta H_{см} \leq 0$).

УДК 537.226.33

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МОДЕЛЯХ АНГАРМОНИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ (В.Х.Козловский, Московский ин-т электронного машиностроения)

Исследовались изменения атомных конфигураций в некоторых моделях ангармонических вибраторов, происходящие под действием нагрева. В выражении потенциальной энергии учитывались слагаемые второй и четвертой степени смещений атомов. Расчет проводился на основе динамических уравнений, позволяющих определять средние положения, средние амплитуды колебаний и коэффициенты корреляции между изменениями во времени разных координат.

Рассмотрены следующие модели.

1. Одномерные связанные колебания двух атомов.
2. Плоский ангармонический вибратор в потенциальном поле с симметрией квадрата.
3. Пространственный ангармонический вибратор в потенциальном поле с симметрией куба.

Результаты расчета следующие.

1. Вибраторы могут испытывать параллельные и антипараллельные смещения, а также не смещаться из симметричных положений. В наиболее общем случае при низкой температуре реализуются оба состояния со смещениями обоих вибраторов, одно состояние — как метастабильное. При повышении температуры метастабильное состояние перестает существовать и в дальнейшем реализуется состояние без смещений. В частности, метастабильное состояние может отсутствовать, а состояние без смещений может начинаться от низких температур. Коэффициент корреляции во всех случаях убывает с повышением температуры.

2. При достаточно высокой температуре реализуется среднее положение в центре квадрата. При низкой температуре реализуются состояния, переходящие одно в другое со смещениями вдоль ребра и диагонали квадрата.

3. Составлены и обследованы динамические уравнения для смещений амплитуд колебаний в четырех фазовых состояниях: при отсутствии смещений из центра куба, со смещениями вдоль ребра, диагонали грани, объемной диагонали. В первом случае получено явное выражение для амплитуды и рассчитана поляризуемость вибратора, приводящаяся к формуле Слетера. Для остальных случаев составлены алгоритмы решения уравнений. Предложено представление кристаллической решетки как вибратора в многомерном пространстве со средними смещениями как координатами. Их последовательное обращение в ноль представит в целом фазовый переход, распространенный по интервалу температур. Такой переход характеризуется как переход закрытичного типа.

УДК 548.33

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ В АЦЕНТРИЧНОМ КРИСТАЛЛЕ $RbLiCrO_4$

(А.И. Круткин, К.С. Александров, А.Д. Васильев, И.П. Макарова, Ин-т физики им.Л.В. Киренского СО АН СССР, г. Красноярск; Ин-т кристаллографии им.А.В. Шубникова АН СССР, Москва)

Обсуждается механизм фазовых переходов в соединении $RbLiCrO_4$.

В настоящее время известно уже довольно большое число соединений с общей формулой $ALiBX_4$, где A - одновалентный крупный катион, а BX_4 - двухвалентный тетраэдрический анион. Среди этих соединений встречаются пиро- и сегнетоэлектрики, сегнетоэластики.

Кристалл $RbLiCrO_4$ - новый представитель этого семейства, при комнатной температуре принадлежит к ацентричной пространственной группе $R\bar{6}_3mc$ и обладает элементарной ячейкой с параметрами: $a = 5,396$; $c = 9,171$; $Z = 2$. В структуре $RbLiCrO_4$ атомы Cr и Li тетраэдрически окружены атомами кислорода. CrO_4 - тетраэдр, окружен четырьмя тетраэдрами LiO_4 и наоборот. В пустотах кислородно-октаэдрического каркаса располагаются атомы Rb . Структура данного соединения близка к структуре известного кристалла $KLiSO_4$. Установлено, что при комнатной температуре тетраэдры CrO_4 имеют два положения равновесия.

При нагревании кристалл $RbLiCrO_4$ испытывает ряд фазовых переходов с необычным изменением симметрии. Так, при 532 К кристалл становится оптически активным (пространственная группа $R\bar{6}_3$).

При дальнейшем нагревании симметрия понижается до ромбической, а вблизи температуры плавления повышается снова до гексагональной.

УДК 537.226:538.67

РЕЗОНАНСНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКАХ

(Г.В.Белокопцов, И.В.Иванов, МГУ им.М.В.Ломоносова)

Параметрическое возбуждение колебаний в сегнетомагнетиках может дать ценную информацию о механизмах взаимодействия в них спиновой и фононной подсистем [1]. Известные оценки пороговой напряженности поля накачки [2] свидетельствуют о принципиальной осуществимости эффекта. Однако они недостаточны для постановки эксперимента, поскольку не учитывают в должной мере того обстоятельства, что на СВЧ рассматриваемые кристаллы обладают резонансными свойствами по отношению к электромагнитным волнам, а поля, участвующие в параметрическом взаимодействии, имеют существенную пространственную неоднородность.

Рассмотрено параметрическое взаимодействие стоячих волн в магнитодиэлектрических резонаторах с учетом сосуществования в них диэлектрической и магнитной нелинейности, линейного и нелинейного магнитоэлектрических эффектов и гиротропии. Получены и проанализированы укороченные уравнения для связанных мод в случаях, когда параметрическая связь обеспечивается за счет квадратичной и кубической нелинейности. Установлено, что совместное влияние перечисленных выше факторов проявляется как модуляция потерь в нелинейном резонаторе. Рассмотрено влияние магнитоэлектрического эффекта на потери. Обсуждаются факторы, влияющие на уровень пороговой мощности накачки.

Специфической особенностью параметрической регенерации в магнитодиэлектриках является частотная невязанность, возникающая вследствие несинфазности модуляции диэлектрических и магнитных параметров в кристалле. Это свойство представляет интерес для радиофизических приложений.

Л и т е р а т у р а

1. СМОЛЕНСКИЙ Г.А., ЧУПИС И.Е. // Успехи физических наук. - 1982. - Т. 137, № 3. - С. 415.
2. ЧУПИС И.Е., АЛЕКСАНДРОВА Н.Я. // Успехи физических наук. 1982. - Т. 27, № 2. - С. 300.

УДК 537.226:535.361

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОХОЖДЕНИЯ РАЗМЫТОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА
В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ $PbV'B''O_3$ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
(Л.С.Камзина, А.Л.Корженевский, Н.Н.Крайник, Физико-технический
ин-т им.А.Ф.Иоффе АН СССР, Ленинград)

Получен ряд данных, развивающих представления о процессах, происходящих при размытых фазовых переходах (РФП). Путем подбора условий выращивания монокристаллов получены сегнетоэлектрики типа $PbV'B''O_3$, $PbSc_{1/2}Ta_{1/2}O_3$ (PST), $PbSc_{1/2}Nb_{1/2}O_3$, $PbZn_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ с различной степенью разупорядочения S в распределении ионов V' и V'' по октаэдрическим положениям в решетке, что соответствует различной степени размытия сегнетоэлектрического ФП.

Исследовались малоугловое рассеяние света, рэлеевское рассеяние, электрооптический и фоторефрактивный эффекты, оптическое пропускание и термоанализ.

В кристаллах PST с небольшим разупорядочением ($s = 0,95$) обнаружен узкий пик интенсивности малоуглового рассеяния света при температуре ниже максимума диэлектрической проницаемости. С уменьшением s число пиков рассеяния увеличивается. Полученные данные позволяют утверждать, что происходит ФП перколяционного типа с увеличением размеров областей полярной фазы до размеров порядка размеров образца. Обнаружены большой электрооптический и фоторефрактивный эффекты при температурах выше максимума ϵ . Показано, что фоторефрактивный эффект в неупорядоченных кристаллах существенно больше, чем в упорядоченных, что объясняется большей концентрацией ловушек, возникающих вследствие наличия междолинных границ и дефектов.

Обнаружены высокотемпературные аномалии в температурной зависимости $1/\epsilon, tg\delta$, рэлеевского рассеяния света, на кривых

термоанализа, которые свидетельствуют о наличии структурных ФП при температурах $\sim 400^\circ\text{C}$, предшествующих РФИ. Высказано предположение, что наличие этого ФП является общим свойством кристаллов типа $PbV''V''O_3$.

Впервые установлено, что в сегнетоэлектриках с малой степенью разупорядочения ионов РФИ сопровождается ФП перколяционного типа, причем резкий рост размеров областей полярной фазы происходит в интервале температур много меньшем, чем область размытия, определенная из диэлектрических измерений.

УДК: 548.73; 537.33

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ И ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ $(Ba_{1-x}Sr_x)Al_2O_4$ И $BaGa_2O_4$

(А.А.Буш, Б.Н.Романов, Московский ин-т радиотехники, электроники и автоматики; С.А.Иванов, В.В.Журов, НИФХИ им.Л.Я.Карпова, Москва)

Приводятся результаты синтеза новых сегнетоэлектрических монокристаллов $(Ba_{1-x}Sr_x)Al_2O_4$ при $0 \leq x \leq 1$, $BaGa_2O_4$, а также результаты их рентгеноструктурных и пироэлектрических исследований. Кристаллы $(Ba_{1-x}Sr_x)Al_2O_4$ при $0 \leq x \leq 0,4$ получены в процессе выращивания монокристаллов сверхпроводящих фаз $R(Ba, Sr)_2Cu_3O_y$, $R=Y$, РЗЭ из расплавов смесей $R_2O_3 - BaO - SrO - CaO$ в алундовых тиглях. Эти кристаллы прозрачны, бесцветны или со слабой зеленоватой окраской, имеют вид гексагональных пластин размерами до $1 \times 2 \times 2$ мм, не проявляют спайности. Монокристаллы $SrAl_2O_4$ и $BaGa_2O_4$ получены методом бестигельной зонной плавки с оптическим нагревом. Методом рентгеноспектрального микроанализа проведен контроль химического состава кристаллов. Методами рентгеноструктурного анализа определены кристаллические структуры фаз $(Ba_{1-x}Sr_x)Al_2O_4$ при $x = 0; 0,07$ и $1,0$. Найдено, что по строению исследуемые кристаллы близки к "заполненной" форме тридимита, основу их структур составляет каркас, построенный из тетраэдров AlO_4 , $Al = Al, Ga$. Симметрия кристаллов $(Ba_{0,93}Sr_{0,07})Al_2O_4$ описывается пространственной группой $R\bar{6}_322$, параметры их элементарной ячейки равны $a = 5,220(4)$ Å и $c = 8,760(6)$ Å. Структура кристаллов $BaAl_2O_4$ характеризуется сверхструктурой типа $a = 2a_0 = 10,45$ Å ($c = 8,80$ Å), эти кристаллы описываются поляр-

ной пространственной группой $R\bar{6}_3$. Структура кристаллов $SrAl_2O_4$ имеет моноклинное искажение, ее пространственная группа и параметры элементарной ячейки - $P2_1$, $a = 8,436(1) \text{ \AA}$, $b = 8,813(1) \text{ \AA}$, $c = 5,156(1) \text{ \AA}$ и $\beta = 93,43(2)^\circ$. С использованием методов высокотемпературной порошковой рентгенографии в области $20-1000^\circ\text{C}$ изучены температурные зависимости элементарных ячеек кристаллов, определены температурные коэффициенты линейного расширения, обнаружены аномалии термического расширения, свидетельствующие о том, что при нагреве кристаллы претерпевают структурные фазовые переходы. Кристаллы $BaGa_2O_4$ и $SrAl_2O_4$ во всей изученной области температур ($-150 + 300^\circ\text{C}$) проявляют пьезоэлектрический эффект; кристаллы $BaAl_2O_4$ проявляют пьезоэлектрический эффект только при $T < 130^\circ\text{C}$. Приводятся данные о величине и температурных зависимостях пьезоэлектрических постоянных изучаемых монокристаллов.

УДК 548.3+536.421.1

ПРОГНОЗ КРИСТАЛЛОВ С ПОЛЯРНЫМИ ФАЗАМИ В СЕМЕЙСТВЕ $\alpha-K_2SO_4$
(Б.В.Безносиков, Ин-т физики им.Л.В.Киренского СО АН СССР,
г.Красноярск)

Структура $\alpha-K_2SO_4 (D_{6h}^4 - P6_3/mmc)$ содержит изолированные тетраэдры SO_4 , сохраняет высокую симметрию за счет их ориентационной подвижности и является высокотемпературной. Структуры этого семейства насчитывают 24 типа, их можно рассматривать как результат уменьшения подвижности тетраэдров при охлаждении. В реальных кристаллах гексагональная парафаза может быть и гипотетической, не обнаруживаемой экспериментально. Реализуется несколько подсемейств частично упорядоченных фаз. Наиболее представительны типы: $\beta-K_2SO_4$, глазерит, $Na_2SO_4 III$, K_2MoO_4 и другие, которые при охлаждении дают серию кристаллов с новыми структурами [1]. Среди них есть сегнето- и антисегнетоэлектрики, геликоидальные магнитные и несоразмерные фазы.

Ромбическая фаза типа $\beta-K_2SO_4$ является наиболее представительной. Прогноз показал, что число таких соединений от 130 известных сейчас можно довести до двух тысяч [2]. При охлаждении наиболее часты фазы с пространственной группой C_{2v}^s . В кристаллах типа $\beta-K_2SO_4$ за счет изменения состава можно управлять структу-

рой и либо подготовить ее к переходу в полярную фазу, либо сделать стабильной.

Выявлены фазы типа $\beta - K_2SO_4$ среди известных соединений, в которых вероятны переходы в полярные фазы. Найден способ расчета параметров элементарных ячеек. Это позволяет назвать потенциальных носителей низкотемпературных фаз среди прогнозируемых соединений $\beta - K_2SO_4$.

Дальнейшее увеличение числа полярных кристаллов возможно за счет усложнения состава и реализации фаз, производных от структуры глазерита.

Л и т е р а т у р а

1. БЕЗНОСИКОВ Б.В., АЛЕКСАНДРОВ К.С. Кристаллохимические закономерности изменения структур, родственных телу $\alpha - K_2SO_4$. - Красноярск: ИФ СО АН СССР, 1985. - 44 с. - Препринт № 304 ф.

2. БЕЗНОСИКОВ Б.В., АЛЕКСАНДРОВ К.С. Закономерности образования структур АВСК. II. Прогноз новых соединений со структурой типа $\beta - K_2SO_4$. Красноярск: ИФ СО АН СССР, 1987. - 20 с. Препринт № 464 ф.

УДК 537.226.33

ЭЛЕКТРОННО-ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ

TiO_2 (ПЛЕНКА) - SiO_2 (ПОДЛОЖКА)

(Н.В.Колганова, Н.Г.Ширина, М.В.Пентегова, Ю.Я.Томашпольский, НИФХИ им.Л.Я.Карпова, Москва)

Пленки TiO_2 на кварцевых и других подложках находят важное применение как компоненты устройств электронной техники, качество работы которых зависит от плотности дефектов, в том числе дефицита кислорода.

Предложен новый подход к контролю качества пленок TiO_2 , основанный на их электронно-эмиссионных свойствах. Пленки TiO_2 , толщиной до 3,5 мкм получены электронно-лучевым испарением на кварцевых подложках с последующим отжигом в кислороде и вакууме 10^{-2} Па при $T = 150-1000$ °С. Эмиссионные свойства и состав системы $TiO_2 - SiO_2$ исследованы в электронных микроскопах-анализаторах JSM-2, JSM-35CF в режиме вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) и методом рентгеноспектрального анализа.

Изучены температурные зависимости вторичной электронной эмиссии $I_{\text{ВЭЭ}}(T)$ для пленок TiO_2 и подложек SiO_2 , на которых в обоих случаях обнаружены максимумы в диапазоне температур от 50 до 80 °С, существование которых связывается, по мнению авторов, с возникновением дополнительных электронных уровней в запрещенной зоне оксидов при отжиге. Другой возможной причиной аномального характера кривых $I_{\text{ВЭЭ}}(T)$ для пленок TiO_2 может быть немонотонность зависимости эмиссии отраженных от подложки SiO_2 первичных электронов, которая установлена при исследовании высокоэнергетической части регистрируемого электронного потока.

При исследовании пленок TiO_2 , отожженных при различных температурах и давлениях кислорода, установлена обратнопропорциональная зависимость между величиной дефицита кислорода и $I_{\text{ВЭЭ}}$. Таким образом, основываясь на полученных данных и приняв во внимание небольшую глубину выхода ВЭЭ (около 10 нм), показана эффективность метода ВЭЭ для аналитических исследований дефектов в тонкослойных оксидных покрытиях.

УДК 537.226.33

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $K_{1-x}Li_xTaO_3$

(Т. А. Смоленский), А. В. Шильников, Е. Г. Надолзинская, Н. К. Юшин,
ВолгИСИ, г. Волгоград; ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР, Ленинград)

В кристаллах $K_{1-x}Li_xTaO_3$ (KTL) с концентрацией нецентральных примесных ионов лития при $x = 0,08; 0,1; 0,12; 0,14; 0,15$ проведены систематические сравнительные исследования диэлектрических спектров $\epsilon^*(\nu) = \epsilon'(\nu) + i\epsilon''(\nu)$, полученных в ультраслабых измерительных полях $E_m \ll 0,1 \text{ В.см}^{-1}$ в диапазоне $10^{-1} - 10^4$ Гц в интервале температур 77-300 К на предварительно отожженных образцах [1, 2].

Для двух частотных областей дисперсии $\epsilon^*(\nu)$, выявленных на диаграммах $\epsilon''(\epsilon')$, отвечающих уравнению Коула-Коула: инфранизкочастотные (ИНЧ) области ($\sim 10^{-1} - 10$ Гц) и низкочастотные (НЧ) области ($\sim 10 - 10^4$ Гц) изучена зависимость энергии активации процессов поляризации и параметров дисперсии: глубины дисперсии $\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_\infty$, частоты релаксации ν_p и параметра распределения

по частотам релаксации α от концентрации примесных ионов лития. Установлено, что с ростом концентрации примеси лития возрастает значения энергии активации процессов поляризации и изменяется относительный вклад каждой дисперсии в общую глубину дисперсии $\Delta\epsilon$ в исследуемом диапазоне: уменьшается вклад ИЧ-области и растет вклад НЧ-области. Параметры ИЧ-дисперсии в большей степени, чем для НЧ-дисперсии зависят от факторов предистории и внешних воздействий (температуры предварительного отжига, воздействия постоянных электрических полей, наличия оптически различных дефектов кристаллов и т.п.).

Обнаружено, что частоты релаксации ν_p для НЧ-области дисперсии ϵ^* практически не зависят от концентрации примеси лития, а определяются только температурой кристалла.

Выявленные особенности низкочастотной диэлектрической релаксации в кристаллах *MTL* объясняются с позиции включения в релаксационные процессы динамики кластерных и доменных границ.

Л и т е р а т у р а

1. ФИЗИКА твердого тела / Е.Г.Чадолинская, Г.А.Смоленский, А.В.Шильников, Н.К.Юшин. - 1985. - Т. 27, кн. II. - С. 3315.
2. FERROELECTRICS/ G.A.Smolensky, E.G.Madolin'skaya, N.K.Yushin, A.V.Shilnikov. - 1986. - Vol.69, N 3,4. - P.275.

УДК 548.0:537.226.33

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА НИЗКО- И ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ КРИСТАЛЛОВ *CDP* И *DCDP*

(А.В.Шильников, Л.Х.Вологирова, Н.М.Галиярова, С.В.Горин, Волгоградский инженерно-строительный ин-т; Л.А.Жувалов, Ин-т кристаллографии АН им. А.В.Шубникова АН СССР, Москва)

Исследованы инфранизкочастотные (ИНЧ) спектры диэлектрической проницаемости ϵ^* дигидрофосфата цезия (*CDP*) и его дейтерированного аналога (*DCDP*) и изучена их эволюция при воздействии постоянных полей. Одновременно исследовалась подобная эволюция НЧ-спектров ϵ^* . Диэлектрическая проницаемость ϵ^* измерялась в диапазоне частот $0,25 \cdot 10^4$ Гц в ультраслабых измерительных полях ($E_{\text{вн}} \leq 10$ В.м⁻¹). Электрическое поле изменялось по величине от 0 до $E_{\text{вн}} = \pm 15 \cdot 10^3$ В.м⁻¹.

Изучены зависимости параметров НЧ и ИНЧ диэлектрических спектров (глубины дисперсии $\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_\infty$, максимальных значений потерь ϵ''_{max} и частот релаксации поляризации ν_p) кристаллов *СДР* и *ДСДР* от амплитуды измерительного поля. Амплитуда переменного поля изменялась от 5 до 300 В.м⁻¹.

Исследование эволюции параметров спектров ϵ^* кристаллов *СДР* и *ДСДР* в постоянных смещающих полях однозначно доказало доменную природу как ИНЧ, так и НЧ дисперсии ϵ^* . В то же время различие в поведении амплитудных зависимостей параметров, характеризующих НЧ-область дисперсии ϵ^* , с одной стороны, и ИНЧ - с другой, - указывает на неодинаковость механизмов, обуславливающих поляризацию и переполяризацию в этих частотных областях. Авторы предполагают, что ИНЧ-область дисперсии ϵ^* связана с боковой осцилляцией 180-градусных доменных стенок, а НЧ с торцевыми колебаниями иглообразных доменов внутри образца. Об этом, в частности, говорят существенно более высокие, чем у 180-градусных доменов, коэрцитивные поля и монотонный рост ν_p при $E_\pm \gg E_c$, что может быть обусловлено действием компенсирующих зарядов, скапливающихся у торцов таких доменов. Заметим, что как в первом (ИНЧ-дисперсия ϵ''), так и во втором (НЧ-дисперсия ϵ'') случаях общая концентрация и тех, и других доменов резко уменьшается после завершения цикла квазистатической переполяризации, что свидетельствует о значительном вкладе в обратимость движения доменных стенок.

УДК 548.0:537.226.33

ВЛИЯНИЕ ДЕИТЕРИРОВАНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ДИГИДРОФOSФАТА ЦЕЗИЯ

(Л.Х. Вологитрова, Н.М. Галиярова, С.В. Горин, А.В. Шильников, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

Изучены диэлектрические спектры $\epsilon^*(\nu)$ кристаллов *СДР* и *ДСДР* в интервале температур +30 + -180 °С в диапазоне частот 0,25-10⁴ Гц ультраслабых измерительных полей ($E_\pm \leq 10$ В.м⁻¹). Исследована роль водородных связей в диэлектрическом отклике кристаллов *СДР-ДСДР* в процессах низко- (НЧ) и инфранизкочастотной (ИНЧ) поляризации.

Выполнены оценки параметров обратимого движения доменных стенок: коэффициентов упругости κ , вязкости η , электрической податливости dx/dE и частоты релаксации поляризации ν_p для обоих кристаллов.

Для дисперсии диэлектрической проницаемости ϵ^*_{CDP} и $DCDP$ характерно наличие НЧ и ИНЧ-областей дисперсии. В дейтерированном дигидрофосфате цезия в отличие от CDP дисперсия ϵ^* в неполярной фазе наблюдается в более широкой области температур. Показано, что дейтерирование ведет к увеличению коэффициентов упругости κ и вязкого трения η . Наиболее сильно оно влияет на величину η , т.е. на параметр, характеризующий так называемые слабые дефекты, создающие силы типа вязкого трения при движении доменных стенок (ДС). В результате электрическая податливость ДС в $DCDP$ сильно уменьшается по сравнению с CDP , что свидетельствует о значительно большей жесткости доменных стенок.

УДК 548.0:537.226.33

О НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КРИСТАЛЛОВ KDP И $DKDP$

(А.В.Шильников, Л.Х.Вологирова, Н.М.Галиярова, С.В.Горин, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

В ультраслабых и слабых (0,1–1 В/см) низко- и инфранизкочастотных полях (0,5–10⁴ Гц) впервые исследованы спектры комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^* кристаллов обычного и дейтерированного дигидрофосфата калия (KDP и $DKDP$).

Показано, что спектры ϵ^* в ультраслабых полях (амплитудо-независимый участок ϵ^*) можно представить в виде диаграмм Коула-Коула с центрами дуг окружностей, лежащими ниже оси ϵ' (параметр распределения по частотам релаксации поляризации $\alpha \neq 0$). При этом, так же, как в случае сегнетовой соли и дигидрофосфата цезия, дейтерирование приводит к понижению наиболее вероятной частоты релаксации поляризации ν_p (повышению "жесткости" доменных стенок кристаллов $DKDP$).

На частоте 50 Гц в полях 0,1–1 В/см исследован вид петель поляризации, которые в ультраслабых полях имеют "пропеллерообразную" форму. Сделан вывод о взаимодействии доменных стенок при их обратимом движении с дефектами недоменной природы.

ДИСПЕРСИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ В СВЯЗИ С ОБРАТИМЫМ
И НЕОБРАТИМЫМ ДВИЖЕНИЯМИ ДОМЕННЫХ И ФАЗОВЫХ ГРАНИЦ
В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ

(Н.М.Галиярова, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

На основе рассмотрения феноменологических уравнений обратимого движения доменных и фазовых границ различной формы показано, что поляризация системы в низкочастотном синусоидальном поле имеет упругий характер и соответствует дисперсии диэлектрической проницаемости дебаевского типа.

Если квазиупругие возвращающие силы, действующие на стенки, пренебрежимо малы и движение стенки становится необратимым, то поляризация системы приобретает неупругий "пластический" характер и соответствует так называемой линейной дисперсии диэлектрической проницаемости.

Оба типа дисперсии ϵ^* , в частности, экспериментально наблюдались в окрестности фазового перехода (ФП) триглицидсульфата (ТГС) соответственно в низко- (НЧ) и инфранизкочастотном (ИНЧ) диапазонах электрического поля. Исследованы температурные зависимости НЧ и ИНЧ релаксационных параметров в области ФП ТГС, а также зависимости от амплитуды поля. Для ИНЧ процесса обнаружено резкое замедление в точке ФП.

Предложен метод определения феноменологических констант, характеризующих роль упругих и вязких сил при движении доменной стенки, ее электрическую податливость и среднюю скорость бокового движения. Анализируются полевые и температурные зависимости этих параметров.

Установлено, что при обратимом движении доменных стенок средняя скорость их бокового движения в ТГС следует экспоненциальному закону, тогда как для необратимого движения характерна линейная зависимость от амплитуды измерительного поля, изменяемой в пределах от 30 до $1,5 \cdot 10^3$ В.м⁻¹. Таким образом, впервые получены характеристики доменных стенок в настолько слабых электрических полях, что среднее смещение границ доменов из положений равновесия по порядку величины сравнимо с размерами элементарной ячейки.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ
НИЗКОЧАСТОТНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА
(Н.М.Галиярова, С.В.Горин, А.В.Шильников, Волгоградский инженерно-строительный ин-т; А.С.Сигов, Московский ин-т радиотехники, электроники и автоматики; Т.Р.Волк, Л.А.Шувалов, Ин-т кристаллографии им. А.В.Шубникова АН СССР, Москва)

Выполнены исследования диэлектрических спектров ТГС с радиационными дефектами в синусоидальном электрическом поле амплитуды $3,8 \text{ В.м}^{-1}$ в диапазоне частот $0,1-10^3 \text{ Гц}$.

Исследованы температурные зависимости граничной диэлектрической проницаемости ϵ_{∞} , соответствующей "замороженной" доменной структуре. Анализировалось влияние дозы облучения и предьстории кристалла на характер отклонений зависимостей $\epsilon_{\infty}(T)$ от закона Кюри-Вейсса, а также на константы Кюри-Вейсса в этой области температур, где он выполняется.

Наряду с известным фактом понижения температуры Кюри с ростом концентрации радиационных дефектов, установлено, что константа Кюри-Вейсса в неполярной фазе увеличивается, в полярной фазе уменьшается, и отклонения от закона "двойки" нарастают. При этом в полярной фазе наблюдаются изломы зависимости $\epsilon_{\infty}^{-1}(T)$, свидетельствующие, по предположению авторов, о взаимодействии доменных стенок с дефектами.

Характер критических аномалий диэлектрической проницаемости позволил единым образом проанализировать роль различных дефектов в кристалле, в том числе и наличие "замороженной" доменной структуры.

УДК 537.226:535.361

ОПТИЧЕСКИЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ
МАГНИОБИТА СВИНЦА В ОБЛАСТИ РАЗМЫТОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА
И ПРОЯВЛЕНИЯ НЕЭРГОДИЧНОСТИ
(Н.Н.Крайник, Л.А.Маркова, Физико-технический ин-т им. А.Ф.Иоффе
АН СССР, Ленинград)

Проблема фазовых переходов в неупорядоченных системах, к числу которых относятся сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом

(РФП), открытые Г.А.Смоленским и В.А.Исуповым, интенсивно изучаются в последние годы. Для развития представлений о процессах, происходящих при прохождении РФП, и получения данных о стекольных свойствах проведено исследование температурных зависимостей диэлектрической нелинейности и малоуглового рассеяния света в модельном сегнетоэлектрике с РФП (в магнониобате свинца *PMN*) в различных режимах приложения постоянного смещающего поля. Диэлектрическая нелинейность оценивалась из измерений диэлектрической проницаемости в процессе нагрева (охлаждения) образца при следующих режимах приложения поля:

- 1) охлаждение и нагрев, $E_{\text{см}} = 0$ (ϵ_0);
- 2) охлаждение, $E_{\text{см}} = 0$ и нагрев, $E_{\text{см}} \neq 0$ (ϵ_1);
- 3) охлаждение, $E_{\text{см}} = 0$ и нагрев, $E_{\text{см}} \neq 0$ (ϵ_2).

Обнаружено возрастание величины диэлектрической нелинейности при измерениях в слабых смещающих полях по сравнению с нелинейностью в более сильных полях и изменение знака нелинейности при изменении температуры. Выявлены две температурные области, в которых величины диэлектрической нелинейности не совпадают при одинаковой величине поля в различных режимах его приложения. На основании опубликованных и полученных в работе данных проведена оценка спектральной функции распределения частот диэлектрической релаксации в *PMN* при изменении температуры. Показана корреляция между возникновением неэргодичности и расширением функции распределения с появлением времен релаксации, сравнимых с временем эксперимента.

Обнаруженные аномалии в температурных зависимостях диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, диэлектрической нелинейности и малоуглового рассеяния света позволяют сделать вывод об индуцированном электрическим полем фазовом переходе в *PMN*. Результаты получены с помощью модели с двумя максимумами в распределении температур локальных сегнетоэлектрических фазовых переходов.

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДИСПЕРСИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ МАГНИОНИОБАТ - ТИТАНАТ СВИНЦА

(В.А.Загоруйко, С.М.Емельянов, П.Н.Тимонин, Б.В.Феданов, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Магнониобат свинца и твердые растворы на его основе являются модельными объектами для исследования фазовых переходов в неупорядоченных системах, включая, в частности, переходы в фазу дипольного стекла.

Были проведены детальные исследования частотных зависимостей комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^* в диапазоне 10^{-3} - 10^4 Гц в монокристаллах твердых растворов системы $(1-x)PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3 - xPbTiO_3$ ($0 \leq x \leq 0,25$) [$(1-x)PMN - xPT$] в широком интервале температур (80-800 К). В работе изучали особенности диэлектрической нелинейности, которые могут быть обусловлены возникновением стеклообразного состояния в PMN , и эволюцию нелинейности в твердых растворах $(1-x)PMN - xPT$ в зависимости от концентрации PT . Диэлектрическую проницаемость ϵ^* измеряли в процессе нагрева и охлаждения образца при различных режимах приложения постоянного смещающего поля $E_{\text{ст}}$.

Установлено, что с ростом концентрации PT при $E_{\text{ст}} = 0$ происходит монотонное линейное повышение температуры T_M , соответствующей максимуму температурной зависимости ϵ^* . Выявлено нарушение эргодичности при $T < T_D < T_M$, обусловленное появлением долгоживущих метастабильных полярных состояний. Исследованы особенности температурного поведения плотности обратных времен релаксации и диэлектрической нелинейности в окрестности T_D . Делается вывод о наличии при $T = T_D$ фазового перехода в фазу дипольного стекла.

Необходимо отметить, что все исследования впервые проведены на монокристаллах, выращенных в близких термических условиях методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве с применением свинцовообратного растворителя для всех составов системы $(1-x)PMN - xPT$ ($0 \leq x \leq 0,25$).

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕЙТЕРИРОВАННОГО КРИСТАЛЛА (CH_3)₂NH₂Al(SO₄)₂

(Е.Ф.Андреев, Минский радиотехнический ин-т)

Впервые описаны физические свойства кристалла диметиламин-алюминийсульфата (ДМААС), являющегося первым представителем нового семейства сегнетоэлектриков и сегнетоэластиков^{*}.

Приводятся результаты исследования дейтерированного кристалла ДДМААС, выращенного методом медленного испарения раствора (воды) при температуре 40 °С после многократной перекристаллизации исходного продукта в тяжелой воде. Габитус выращенного кристалла совпадает с габитусом чистого ДМААС.

Измерения температурных зависимостей диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ и тангенса диэлектрических потерь показали, что температура фазового перехода дейтерированного кристалла по измерениям $\epsilon(T)$ оказалась на 0,3 °С выше температуры фазового перехода ДМААС, при этом ход кривой $\epsilon(T)$ становится более плавным, а максимум диэлектрических потерь размывается и сдвигается в сторону низких температур.

Для полярного среза приведены результаты измерения спонтанной поляризации, полученные по петлям диэлектрического гистерезиса и по измерениям статического пьезоконфигурирования.

По результатам измерений температурных зависимостей $\epsilon(T)$, а также $P(T)$ и $P^2(T)$ были определены коэффициенты α и β в разложении термодинамического потенциала феноменологической теории Ландау по степеням поляризации кристалла ДМААС и его дейтерированного аналога. По петлям диэлектрического гистерезиса определено значение внутреннего смещающего поля на разных частотах.

Приводятся результаты измерения термического расширения кристаллов ДМААС и ДДМААС в диапазоне температур -110 ÷ +70 °С.

^{*} Кристаллография / Л.Ф.Кирпичникова, Е.Ф.Андреев, Н.Р.Иванов, Л.А.Шувалов. - 1988. - Т. 33, № 6. - С. 1437.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

(С.А.Флорова, С.А.Попов, Днепропетровский гос. ун-т)

Разработанная измерительная система (ИС) построена на базе вычислительного комплекса "Электроника ИС 0125".

В ИС имеется два быстродействующих АЦП (время преобразования 100 нс), модуль управления прецизионным регулятором температуры РИФ-101, четырехканальный 12-разрядный ЦАП, усилитель-формирователь П-импульсов с регулируемой амплитудой до 1 кВ, высоковольтный усилитель постоянного тока, самописец Н306, монохроматор УМ-2.

ИС реализует следующие функциональные возможности: синхронную регистрацию с запоминанием и усреднением импульсов электролюминесценции и тока переключения по двум независимым каналам, исследование полевых зависимостей с переполаризацией кристаллов П-импульсами поля (метод Мерца) и импульсами произвольно заданной формы, исследование температурных и спектральных особенностей электролюминесценции.

Проведение всех измерений осуществляется автоматически по специальным программам. Результаты измерений в виде графиков документируются на самописце Н306.

В ИС использована операционная система РАФОС, язык высокого уровня Паскаль.

При помощи ИС проведены исследования кинетики развития электролюминесценции в кристаллах титаната бария, молибдата гадолиния, триглицинсульфата.

Установлено, что электролюминесценция сопровождает весь процесс переполаризации исследованных кристаллов (за исключением зародышеобразования). Характеристики излучения в значительной степени определяются параметрами импульсов переполаризации, кинетикой движения доменных границ. Показано, что электролюминесцентный импульс имеет сложную структуру, включает несколько максимумов, каждый из которых коррелирует с конкретными доменными процессами.

ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ И УПРУГОСТЬ В КРИСТАЛЛАХ СЕГНЕТОВОЙ СОЛИ С ПРИМЕСЬЮ КАРБАМИДА

(Е.Г. Шаталова, А.В. Шильников, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

В последнее время возросший интерес к исследованию кристаллов семейства сегнетовой соли связан с получением субмиллиметровых диэлектрических спектров [1], а также с новым подходом к рассмотрению динамики этих необычных кристаллов [2, 3].

Исследовано внутреннее трение кристаллов сегнетовой соли с примесью карбамида, которые, согласно результатам по изучению диэлектрических и оптических свойств [4], можно отнести к смешанным кристаллам NaK_{1-x} - тартратам.

В полярной фазе при $T_{C1} < T < T_{C2}$ наблюдается значительный доменный вклад во внутреннее трение, величина которого оценивалась по реверсивным характеристикам. Доменное внутреннее трение в пределах этого температурного интервала зависит от температуры.

В неполярных фазах при $T < T_{C1}$ и $T > T_{C2}$ полученные результаты по упругости исследованных кристаллов согласуются в более широком интервале температур с подходом, разработанным в работах [2, 3].

Л и т е р а т у р а

1. ВОЛКОВ А.А., КОЗЛОВ Г.В., ЛЕБЕДЕВ С.П. Субмиллиметровые диэлектрические спектры сегнетовой соли // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 1980. - Т. 79, № 4. - С. 1430-1437.
2. НОВОЕ о динамике кристаллов сегнетовой соли (системы с "двойной" критической точкой) / А.А. Волков, Г.В. Козлов, Е.Б. Кривокова, А.А. Собянин // Успехи физических наук. - 1986. - Т. 149, № 2. - С. 331-334.
3. О ДИНАМИКЕ фазовых переходов в кристаллах сегнетовой соли / А.А. Волков, Г.В. Козлов, Е.Б. Кривокова, А.А. Собянин // Физика твердого тела. - 1986. - Т. 28. - С. 797-802.
4. ДОБРЖАНСКИЙ Г.Ф., ИВАНОВ Н.Р., КИРПИЧНИКОВА Л.Ф. Диэлектрические свойства кристаллов сегнетовой соли, выращенных из раствора с примесью карбамида // Кристаллография. - 1986. - Т. 3, вып. 4. - С. 700-705.

РАЗРУШЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИТАНАТА БАРИЯ
ПРИ НЕОДНОРОДНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

(А.А.Греков, С.О.Крамаров, Л.Г.Розин, Пед. ин-т, г.Ростов-на-Дону)

Перед механическим нагружением монокристаллические образцы сегнетоэлектрика $BaTiO_3$ в виде пластинок толщиной 0,3–0,5 мм подвергались монодоменизации электрическим полем так, чтобы вектор спонтанной поляризации \vec{P}_S лежал в плоскости пластинки (a-домен).

При изгибе образца (изгибающий момент перпендикулярен \vec{P}_S) на поверхности кристалла, подвергнутой сжатию, происходит двойникование, образуются при поверхностные c-домены, в которых вектор \vec{P}_S перпендикулярен поверхности кристалла. Одна из стенок такого домена оказывается заряженной и вскрывается трещиной. В результате поверхность кристалла оказывается покрыта рядом параллельных трещин, идущих в глубь кристалла под углом 45° к поверхности и перпендикулярных первоначальному направлению вектора \vec{P}_S . Рост трещин по заряженным доменным стенкам можно объяснить тем, что заряды при раздвижении берегов трещины, отталкиваясь, совершают работу, понижающую работу разрушения, близкую в случае хрупкого разрушения к величине поверхностной энергии.

Детальное исследование роста трещин по заряженным доменным стенкам было проведено с использованием индентирования алмазной пирамидой Виккерса. При внедрении в поверхность кристалла индентора вокруг точки контакта возникают сжимающие поверхностные напряжения, под действием которых происходит поверхностная c-доменизация, возникновение заряженных доменных стенок и, следовательно, рост трещин по этим стенкам. Размер трещин прямо пропорционален нагрузке на индентор. Использование техники микроиндентирования позволяет на одном кристалле производить большое число нагружений для выявления воздействия различных факторов на рост трещин.

Температурная зависимость размера трещин имеет резко выраженный максимум в точке Кюри, соответствующей структурному переходу из тетрагональной в кубическую фазу.

Обнаружено уменьшение размера трещин при освещении кристалла ультрафиолетовым светом в процессе нагружения.

РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА И ДОМЕНЫ В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНАТА СВИНЦА
(В.Г.Ливник, В.М.Дуда, Днепропетровский гос. ун-т)

Доменная структура реального сегнетоэлектрического кристалла и ее поведение при внешних воздействиях связаны с характером и распределением примесей и кристаллических дефектов ростового и послеростового происхождения. В настоящей работе исследованы особенности статики и динамики 180-градусной доменной структуры одноосного сегнетоэлектрика $Pb_5Ge_3O_{11}$, обусловленные режимом получения кристаллов и их последующей обработкой.

Номинально чистые и примесные кристаллы германата свинца, содержащие благодаря специальным программам роста те или иные дефекты, имеют специфические доменные конфигурации вследствие отклонения формы доменов от равновесной. Особое влияние оказывает продольная и латеральная неоднородность распределения дефектов и примесей в кристаллах, выращенных вдоль различных кристаллографических направлений. Места зарождения антипараллельных доменов в ряде случаев отражают топографию дефектов. К существенным изменениям свойств переполаризации и конфигурации доменов приводит отжиг кристаллов, воздействие сильных постоянных и переменных электрических полей, электретирование и термодеполаризация образцов.

Образование и перераспределение внутренних полей в примесных кристаллах германата свинца, предистория и исходное доменное состояние образцов в значительной мере определяют динамические свойства доменной структуры, что проявляется прежде всего в униполярности параметров переключения (различие плотности доменов и скорости бокового движения доменных границ, времени переполаризации для противоположных направлений приложенного поля) и своеобразии процессов обратного переключения. В последнем случае конфигурация обратных доменов и их свойства существенно отличаются от свойств обычных 180-градусных доменов, наблюдаемых в германате свинца.

Проведенный анализ позволил установить основные факторы, способствующие в зависимости от конкретных задач стабилизации или дестабилизации доменной структуры кристаллов, а также обеспечивающие в необходимых случаях ее лабильность по отношению к внешним воздействиям.

МЕХАНИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ В ДЕФЕКТНЫХ КРИСТАЛЛАХ С НЕСОРАЗМЕРНОЙ ФАЗОЙ

(Б.Н.Прасолов, Политехнический ин-т, г.Воронеж)

Обнаружено существование петель механического гистерезиса при приложении сдвигового напряжения $\sim 10^6$ Па в кристаллах цинк-хлорида рубидия Rb_2ZnCl_4 ниже структурного фазового перехода из несоразмерной в сегнетоэлектрическую фазу ($T_K = 203$ К)*. Изменение симметрии в T_K ($mmm-2mm$) не связано с появлением новой компоненты сдвиговой деформации и, следовательно, не позволяет объяснить существование петель механического гистерезиса с сегнетоэластическими свойствами ниже T_K .

Зависимости деформации от механического напряжения в несоразмерной фазе (НФ) свидетельствуют о появлении нелинейности примерно в середине НФ. При дальнейшем понижении температуры коэрцитивное напряжение существенно уменьшается, а остаточная деформация возрастает, что свидетельствует о существенном увеличении податливости кристалла и его пластических свойств.

Отметим следующую интересную особенность механических петель, проявляющуюся во временной эволюции при многократном циклировании образцов при постоянной температуре. В этом случае наблюдается постепенное изменение петли: деформация образца существенно возрастает, а коэрцитивное напряжение уменьшается.

При увеличении плотности дислокаций путем пластической деформации при высокой температуре картина несколько изменяется. В частности, петли гистерезиса начинают появляться при более высокой температуре. При последующей пластической обработке кристалла можно сместить температуру появления петли гистерезиса выше температуры фазового перехода из НФ в параэлектрическую фазу. Последний факт можно считать доказательством дислокационного механизма механической нелинейности в кристаллах Rb_2ZnCl_4 .

Особенности поведения дислокационной нелинейности в несоразмерной и соразмерной сегнетоэлектрической фазе позволили предложить качественную физическую модель, основанную на представлении

*Изв. АН СССР. Сер. физ. / Д.А.Шувалов, С.А.Гриднев, Б.Н.Прасолов, В.Г.Санников. - Т. 51, № 12. - С. 2229.

о взаимодействии дислокаций с точечными дефектами, находящимися в силовом поле доменных границ или солитонов.

УДК 537.226.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В КРИСТАЛЛЕ
ДИМЕТИЛАМИНХЛОРИДАТЕ

(З.А.Боброва, Минский радиотехнический ин-т)

Прямой метод, позволяющим отнести фазовый переход к типу смещения, является обнаружение мягкой моды в спектре комбинационного рассеяния, затухание которой происходит в точке фазового перехода. Однако большой экспериментальный материал, накопленный при исследовании структурных фазовых переходов, позволил выделить ряд критериев для определения фазовых переходов типа смещения:

- отношение постоянной Кюри к температуре Кюри-Вейсса (для сегнетоэлектрических кристаллов);

- величина изменения энтропии при фазовых переходах;

- знак барического коэффициента dT_c/dP .

Исследование температурной зависимости диэлектрической проницаемости позволило определить величины постоянной Кюри C и температуры Кюри-Вейсса T_θ , которые составили 9000 и 250 К соответственно. Отношение $C/T_\theta = 36$, что значительно превышает величину, которую дает теория среднего молекулярного поля для фазовых переходов типа порядок-беспорядок.

Величина энтропии ΔS , полученная из измерения температурной зависимости теплоемкости, равна 1,9 Дж/моль К, что составляет 0,4 от экспериментально получаемых величин ΔS для фазовых переходов типа порядок-беспорядок и в три раза меньше теоретического значения. Как следует из теории динамики решетки, отрицательный знак барического коэффициента dT_c/dP однозначно указывает на то, что фазовый переход при температуре T_c является переходом типа смещения.

Величина барического коэффициента dT_c/dP была получена как вычислением по уравнению Клапейрона-Клаузиуса с использованием экспериментально полученных значений ΔV и ΔS , так и исследованием зависимостей $\epsilon(T)$ под действием гидростатического давления. Полученный таким образом коэффициент dT_c/dP составил величину 4,5 К/кбар.

Таким образом, сравнение полученных экспериментальных результатов с существующими в настоящее время эмпирическими критериями однозначно указывает на то, что фазовый переход в кристалле диметиламинхлоркупрате при температуре $T_{c1} = 279,5$ К является переходом типа смещения.

УДК 537.226.4

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В КРИСТАЛЛЕ ДИМЕТИЛАМИНХЛОРИДА

(З.А.Боброва, Н.И.Хасиневич, Минский радиотехнический ин-т)

Кристалл диметиламинхлоркупрата, выращенный по аналогии с известными сегнетоэлектрическими кристаллами типа A_2MeG_4 имеет два фазовых перехода первого рода при температуре $T_{c1} = 279,5$ К и $T_{c2} = 253$ К, где A - одновалентный положительный ион (ион щелочного металла, тетраметиламмония); Me - двухвалентный металл; G - галоген. По исследованию петель диэлектрического гистерезиса, температурной зависимости диэлектрической проницаемости и пьезокoeffициента было обнаружено, что фаза, ограниченная температурами T_{c1} и T_{c2} является сегнетоэлектрической.

Результаты исследований показали, что фазовый переход при температуре T_{c1} является несобственным сегнетоэлектрическим фазовым переходом.

Проведено изучение характера низкотемпературного фазового перехода T_{c2} . С этой целью выполнены измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$, спонтанной поляризации $P_s(T)$ и пьезоэлектрического коэффициента $\gamma(T)$, а также $\epsilon(T)$ при разных значениях внешнего постоянного электрического поля $E_{\text{вн}}$.

Было обнаружено, что кривая зависимости $\epsilon(T)$ имеет вид, типичный для несобственного фазового перехода: небольшие значения диэлектрической проницаемости в точке T_{c2} , скачкообразное изменение ϵ в точке T_{c2} , малая величина самого скачка. Кроме того, под действием внешнего приложенного электрического поля возрастает значение $\epsilon(T_{c2})$, а сдвиг самой температуры фазового перехода при T_{c2} оказался незначительным. Следует отметить, что аналогичные результаты были получены различными авторами при исследовании

низкотемпературных фазовых переходов галогенсодержащих кристаллов семейства $\beta - K_2SO_4$.

Таким образом, результаты данного исследования свидетельствуют о том, что низкотемпературный фазовый переход в кристалле диметиламинхлоркупрате является несобственным, что характерно для кристаллов с общей формулой A_2MeG_4 , в которых оба сегнетоэлектрических фазовых перехода являются несобственными.

УДК 548.0:537.226.33

ВНУТРЕННИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ФЛУКТУАЦИОННОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ НОВОЙ ФАЗЫ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОКСИДАХ СЕМЕЙСТВА ПЕРОВСКИТА
(А.В.Турик, В.Ю.Тополов, А.И.Чернобабов, Ростовский гос. ун-т, г.Ростов-на-Дону)

Проведено термодинамическое исследование электроупругого взаимодействия гетерофазных флуктуаций - зародышей новой фазы с окружающим кристаллом типа $BaTiO_3$ в окрестности температуры фазового перехода первого рода между пара- и сегнетоэлектрической (ПЭ и СЭ) или двумя СЭ фазами. Предполагается, что такие зародыши не превосходят критических размеров и имеют форму сфероидов с определенной ориентацией относительно кристаллографических осей кристалла-матрицы.

Свободная энергия докритического СЭ зародыша с объемом V и площадью поверхности S , как следует из термодинамики малых СЭ частиц [1], выражается формулой

$$F = v \left[\alpha_d^V P^2 + \frac{1}{2} (\beta^V + \delta P^4 + \frac{1}{3} \gamma^V P^6) \right] + s f_{пов}, \quad (1)$$

где $\alpha_d^V = \alpha^V + \alpha_d$, β^V , γ^V - объемные коэффициенты разложения плотности свободной энергии механически свободного кристалла по степеням поляризации P ; $f_{пов} \approx \alpha^S P^2$ - поверхностная плотность энергии; α_d и δ - описывают вклады в формулу (1) соответственно деполаризующего и упругого полей; δ - определяется по известным упругим модулям и электрострикционным коэффициентам кристалла с использованием результатов работы [2] для деформаций сфероидально-го включения. С помощью формулы (1) сделаны оценки вероятности флуктуационного возникновения зародышей вблизи температур ПЭ \rightleftharpoons СЭ

($m3m \approx 4mm$, кристаллы $BaTiO_3$, $PbTiO_3$, $MnWO_3$) и $S\bar{6} \approx S\bar{6}$ ($4mm \approx mm2$, кристаллы $BaTiO_3$) переходов, свидетельствующие в пользу зарождения областей, близких по форме к вытянутым сфероидам с ориентацией P вдоль большой оси. Однако большие внутренние механические напряжения $\sigma_{ij} \sim 10^7 - 10^8$ Па, не релаксирующие при флуктуационном возникновении зародышей, делают энергетически невыгодным их рост при превышении критических размеров. Полная релаксация σ_{ij} (т.е. $\delta = 0$) может быть достигнута при прорастании через весь кристалл закритических зародышей, имеющих оптимальные ориентацию и состав $S\bar{6}$ доменов.

Л и т е р а т у р а

1. РОЛОВ Б.Н., КРКЕВИЧ В.Э. Физика размытых фазовых переходов. - Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та, 1983.
2. LIN S.C., MURA T. // Phys.stat.sól.(a). - 1973. - Vol.15, N 1. - P.281-285.

УДК 548.0:537.226.33

О РАЗНООБРАЗИИ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ S-ТИПА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

(В.Ю.Тополов, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Сравнительно редко встречающиеся в сегнетоэлектрических и родственных кристаллах доменные (двойниковые) границы S-типа имеют ориентацию $\vec{n}(hkl)$, зависящие от поляризации, параметров ячейки и других физических характеристик отдельных доменов [1].

Проанализированы возможности реализации данных границ при упругом согласовании ансамблей доменов - механических двойников в фазах ромбической или тетрагональной симметрии. Для плоских недеформированных границ S-типа определены ориентационные соотношения, содержащие объемные концентрации (m, p, \dots) и дисторсии элементарной ячейки ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon$) кристалла.

Матрицы дисторсий взаимодействующих ансамблей доменов $\ M\ , \ N\ $	$\vec{n}_i (h_i k_i l_i)$ границ	Примеры кристаллов (фаз), в которых могут реализоваться подобные границы
<p>1. $\ M\ = m \begin{pmatrix} \epsilon_2 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_1 & \epsilon \\ 0 & \epsilon & \epsilon_1 \end{pmatrix} + (1-m) \begin{pmatrix} \epsilon_2 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_1 & -\epsilon \\ 0 & -\epsilon & \epsilon_1 \end{pmatrix},$</p> <p>$\ N\ = p \begin{pmatrix} \epsilon_1 & 0 & \epsilon \\ 0 & \epsilon_2 & 0 \\ \epsilon & 0 & \epsilon_1 \end{pmatrix} + (1-p) \begin{pmatrix} \epsilon_1 & 0 & -\epsilon \\ 0 & \epsilon_2 & 0 \\ -\epsilon & 0 & \epsilon_1 \end{pmatrix}$</p>	$\vec{n}_1 (110) \perp$ $\vec{n}_2 (1\bar{1}l)$	$PbHfO_3$ (P222 ₁ , P6a2) $BaTiO_3, KNbO_3$ (mm2)
<p>2. $\ M\ = m \begin{pmatrix} \epsilon_1 & \epsilon & 0 \\ \epsilon & \epsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix} + (1-m) \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_2 - \epsilon & 0 \\ -\epsilon & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix},$</p> <p>$\ N\ = \ M\ _{m \rightarrow p}, \varphi = \arccos[2\epsilon_1 \epsilon_2 / (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)]$</p>	$\vec{n}_i (h_i k_i 0)$	$Gd_2(MoO_4)_3,$ KH_2PO_4 (mm2)
3. $\ M\ $ и $\ N\ $ - из п.2 при $\epsilon_3 = \epsilon_1$	То же	} $BaTiO_3, KNbO_3$
4. $\ M\ $ - из п.1, и $\ N\ $ - из п.3	"	} (mm2)
5. $\ M\ $ и $\ N\ $ - из п.2 при $\epsilon_3 = \epsilon_1$ и $\epsilon = 0$	"	} $BaTiO_3, PbTiO_3$ (4mm)

Л и т е р а т у р а

1. FOUSEK J., JANOVEC V. // J.Appl.Phys. - 1969. - Vol.40, N 1. - P.135-142.

2. ABSTR. International Symposium on Domain Structure of Ferroelectrics and Related Materials/ L.E.Baliunis, V.Yu.Topolov, A.V.Turik, O.E.Pesenko // Volgograd, 5-9 September 1989. - P.46.

УДК 537.226.4

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА $LiNbO_3$ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 70-1270 К

(Е.И.Бондаренко, Л.А.Резниченко, В.А.Чернышков, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Приведены результаты измерений рентгеноструктурных (параметры гексагональной ячейки a_H, c_H), dilatометрических ($\Delta L/L$), упругих (модуль упругости S_{II}^E и механическая добротность Q), пьезо-

электрических (d_{33}), диэлектрических (ϵ на частотах 1 кГц и удельное сопротивление ρ) характеристик поликристаллического $LiNbO_3$ от 70 до 1270 К. Особенностью $\epsilon(T)$ является хорошо выраженный максимум при 270 К, коррелирующий с минимумом ρ , и резкий рост с относительно небольшим размытым максимумом в интервале 500–800 К. Низкотемпературный максимум ϵ и минимум ρ (последний является проявлением эффекта положительного температурного коэффициента сопротивления) указывают на возможность фазового перехода при 270 К, который, как можно предположить на основе литературных данных по ЯМР на Li и ЯМР на Nb , обусловлен изменением в расположении ионов Li . Поведение ϵ в интервале 500–800 К объясняется существованием высокоомных слоев на границах кристаллитов, природа которых обсуждается. На зависимостях a_H , c_H и $\Delta L/L$ от температуры наблюдается ряд аномалий.

Для интерпретации полученных результатов рассчитаны коэффициенты в разложении свободной энергии монокристалла $LiNbO_3$ по степеням спонтанной поляризации P_S и по ним $P_S(T)$, $\epsilon_C(T)$, $c_H(T)$, $a_H(T)$ и $d_{iH}(T)$. Теоретические кривые $\epsilon_C(T)$, $c_H(T)$ и $a_H(T)$ достаточно хорошо описывают общий вид экспериментальных зависимостей с увеличением температуры, включая рост c_H . Однако для объяснения изломов или скачков на $c_H(T)$, $a_H(T)$ и $\Delta L/L$ необходимо в выражение для свободной энергии ввести дополнительный параметр порядка, которым может быть угол поворота октаэдров NbO_6 . В этом случае возможно проявление структурных аномалий в упругих свойствах. Измерения зависимости S_{II}^E и Q от температуры показали уменьшение S_{II}^E при 470–570 К и максимум Q при 323–423 К.

УДК 548.55:546.11-123.2'32-185.384.1

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ
 ТРАНСФОРМАЦИОННОМ ДВОЙНИКОВАНИИ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ $DKDP$
 (Л.В.Атрощенко, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Известно, что монокристаллы $DKDP$, имеющие при комнатной температуре тетрагональную структуру, при переходе через точку Кюри становятся ромбическими и спонтанно поляризуются вдоль направления $[001]$ параэлектрической фазы. Это явление сопровождается

возникновением доменной структуры, экспериментально обнаруженной автором поляризационно-оптическим методом и "методом росы". Доменную структуру, возникающую в монокристаллах *DKDP* при низкотемпературном фазовом переходе, можно описать как полисинтетические электрические двойники, компоненты которых являются областями спонтанной поляризации.

Проведено исследование влияния реальной структуры, размера и формы образца из монокристалла *DKDP* на протекание процесса трансформационного двойникования и возможность трещинообразования. Способность кристаллов к двойникованию в процессе низкотемпературного фазового перехода является чувствительным индикатором реального строения кристаллов. Например, автором неоднократно наблюдалось очерчивание полисинтетическими двойниками секторов и зон роста, т.е. дефектов, способствующих появлению остаточных напряжений. Явление спонтанной поляризации сопровождается спонтанной деформацией с углом сдвига $\approx 30^\circ$ и изменением параметров элементарной ячейки $|\Delta a| \approx |\Delta b| \approx 0,05 \text{ \AA}$, на границе двойниковых прослоек развиваются процессы трещинообразования. Для монокристаллов *DKDP* при низкотемпературном фазовом переходе трещинообразование теоретически возможно по плоскостям типа $\{100\}$, $\{010\}$ и $\{001\}$. Картина хрупкого разрушения при охлаждении кристалла *DKDP* ниже точки фазового перехода именно по этим плоскостям была получена на большом количестве образцов.

Проведенные расчеты показали, что размер критической микротрещины, которая дает начало макроразрушению, сопоставим с длиной клиновидного участка сильно деформированного материала на границе стыка доменов двух конфигураций.

УДК 548.55.546.34:15:537.226.86.543

ДЕФЕКТЫ СТРУКТУРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИОДАТА ЛИТИЯ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ

(Л.В.Атрошенко, Я.А.Обуховский, Н.В.Ходеева, Т.А.Чернецкая, НПО
"Монокристаллреактив", - г.Харьков)

От монокристаллов иодата лития для использования в технике требуется структурное совершенство и высокое оптическое качество.

Изучены типичные дефекты, возникающие в монокристаллах иодата лития при выращивании методом контролируемого испарения

растворителя из водных растворов. Наиболее распространенными видами дефектов являются: поры, включения маточного раствора, каналы, сектора и зоны роста, зона прироста, дислокации. Преимущественное образование пор, включений маточного раствора наблюдается на гранях $\{10\bar{1}1\}$. Они имеют разнообразную форму, начиная от вполне ограниченной, в соответствии с симметрией кристалла, до совершенно неопределенной, а также в виде линий (сплошных и прерывистых), вытянутых вдоль определенных кристаллографических направлений в зависимости от условий роста. С помощью метода химического травления было изучено дислокационное строение кристалла. На различных кристаллографических гранях: $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$, $\{10\bar{1}1\}$ форма фигур травления на дислокации соответствует симметрии каждой из исследуемой грани.

Рассмотрен вопрос зарождения, направления и распределения дислокаций в объеме кристалла. Распределение дислокаций в сечении (0001) секториальное, концентрируются они в основном на грани пирамиды $(10\bar{1}1)$, центральная часть грани (0001) и диагональные области свободны от дислокации. Для кристаллов, выращенных из сырья, содержащего повышенную концентрацию примеси, характерна так называемая ячеистая структура и зона прироста. Форма ячеек в плоскости (0001) имеет шестерную симметрию, а зона прироста характеризуется повышенным содержанием дислокаций на один-два порядка по сравнению с основным кристаллом. В плоскости (0001) были выявлены секторы и зоны роста. С помощью травления на дислокации показано, что существует четкая дислокационная граница между двумя ближайшими зонами роста, а секториальная граница имеет ступенчатый вид, ширина ступеньки соответствует толщине однородно выросшего слоя.

Рассмотрено влияние дефектов структуры на физико-химические свойства монокристаллов иодата лития.

УДК 548.0:537.226.4

ДЕФЕКТЫ В ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

(Л.И. Донцова, Н.А. Тихомирова, А.П. Окенко, В.И. Дорогин, Волгоградский инженерно-строительный ин-т, Ин-т кристаллографии АН СССР, Москва)

Методами оптической и электронной микроскопии исследована дефектная структура кристаллов триглицинсульфата (ТГС), локально

облученных низкоэнергетичными электронами или рентгеновскими лучами.

Обнаружено, что в обоих случаях при облучении, наряду с точечными радиационными дефектами (ТРД), формируются крупномасштабные радиационные дефекты (КРД), которые представляют собой сложные конгломераты и содержат инородные включения и мелкодисперсные кристаллики, не имеющие, как правило, четкой огранки. Многие КРД состоят из "ядра", окруженного облаком более мелких дефектов. Из-за наличия слабых водородных связей образование КРД в кристаллах при увеличении дозы облучения сопровождается потерей фрагментов структуры с поверхности, что приводит к явлению "радиационного травления". Дополнительное травление выявляет происходящие при облучении процессы полигонизации в местах микронапряжений.

Увеличение дозы облучения от 0,04 до 2 МРад приводит к увеличению размеров КРД от долей мкм до нескольких мкм, а их плотности - от 10^4 до 10^7 см⁻².

Использование для визуализации нематических жидких кристаллов позволило исследовать процессы диффузии ТРД в локально облученных кристаллах. Выявлены три типа ТРД в кристаллах ТГС, определены их подвижности и коэффициенты диффузии. Высказываются предположения об их природе.

УДК: 548.55.057:537

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $Bi_{1-x}R_xFeO_3$ (R-РЗЭ)

(В.А.Мурашов, Д.Н.Раков, В.М.Ионов, Ю.В.Титов, И.С.Дубенко, Московский ин-т радиотехники, электроники и автоматики)

Спонтанной кристаллизацией из раствора в расплаве в системах $Bi_2O_3-Fe_2O_3-R_2O_3$ (R = La, Sm, Gd, Dy) получены кристаллы твердых растворов $Bi_{1-x}R_xFeO_3$ ($x \leq 0,70$).

Установлено, что кристаллы в зависимости от x имеют пять структур. Так, кристаллы $Bi_{1-x}La_xFeO_3$ при $x \leq 0,06$ - ромбоэдрические, пространственная группа $R3c$; $x = 0,06-0,24$ - триклинные, пространственная группа $P1$ и ромбические: $x = 0,24-0,40$, пространственная группа $C222$; $x = 0,40-0,55$, пространственная группа $C222$; $x = 0,55-0,70$, пространственная группа $Rna2_1$. Для кри-

таллов с другими РЗЭ сохраняется та же последовательность структур с небольшим сдвигом границ концентрационных областей. На кристаллах всех структур обнаружен пьезоэффект. Кристаллы трех структур - с пространственными группами $R3c$, $P1$, $Pna2_1$ являются сегнетоэлектриками, что подтверждается наблюдением в них пьезоэффекта. Ниже температуры Нееля ($\sim 630-690$ К) ромбоэдрические кристаллы являются антиферромагнетиками, остальные проявляют слабый ферромагнетизм.

Наибольший интерес в этих кристаллах представляет взаимодействие электрической и магнитной подсистем - магнитоэлектрический (МЭ) эффект. В ромбоэдрических и триклинных кристаллах обнаружен квадратичный МЭ эффект, причем при 4,2 К в триклинных он примерно в пять раз, а при 77 К - в восемь раз больше, чем в ромбоэдрических. Величина МЭ восприимчивости для среза (001) триклинных кристаллов составляет $(13,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-20}$ с/А при 77 К и $(16,8 \pm 0,2) \times 10^{-20}$ с/А при 4,2 К. Магнитоэлектрическая восприимчивость, измеренная по ВЧ-методике, при комнатной температуре имеет тот же порядок величины.

В кристаллах класса 222 МЭ эффект не проявляется. В кристаллах с пространственной группой $Pna2_1$ обнаружен линейный МЭ эффект с сильной зависимостью МЭ восприимчивости α от природы РЗЭ. Так, при $T = 4,2$ К (срез (001) α (с/м) для кристаллов, содержащих следующие элементы, соответственно равна: $\alpha_a - (1,15 \pm 0,15) \times 10^{-14}$, $\alpha_m - 0$; $\alpha_d - (6,1 \pm 0,15) \cdot 10^{-14}$; $\alpha_y = (69 \pm 0,5) \cdot 10^{-14}$. Для кристаллов с Dy линейный МЭ эффект сохраняется и при температуре 77 К $\alpha = (1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-14}$ с/м, что для сегнетомангнетиков наблюдается впервые. В этих кристаллах наблюдается сегнетомангнитный гистерезис типа "бабочка" - "переключение" на 180-градусные направления спонтанной электрической поляризации под действием магнитного поля. Коэрцитивные поля при этом малы - 0,55-0,95 кЭ в зависимости от ориентации.

СОБСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ЗИГЗАГООБРАЗНОЙ ГРАНИЦЫ
ВСТРЕЧНЫХ ДОМЕНОВ В КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА СВИНЦА

(М.А.Малицкая, И.П.Раевский, С.П.Червонобродов, В.М.Фридкин,
Ростовский гос. ун-т, г.Ростов-на-Дону, Ин-т кристаллографии АН
СССР, Москва)

Известно, что в монокристаллах $PbTiO_3$ в поляризованном свете наблюдаются зигзагообразные границы встречных доменов*. Авторами обнаружено, что яркость таких границ резко увеличивается при одновременном воздействии на кристалл электрического поля и фотоактивной подсветки. С прекращением внешнего воздействия границы остаются яркими длительное время (при комнатной температуре - в течение многих суток). При освещении фотоактивным светом в отсутствие внешнего поля яркость границ уменьшается.

Для объяснения полученных экспериментальных данных проводились три серии независимых измерений.

Во-первых, исследовались временные зависимости интенсивности $I(t)$ светового потока, проходящего через границу при фотоактивном освещении кристалла и релаксирующего при этом заряда $Q(t)$. Было установлено, что релаксация рефракции и высвечиваемого заряда происходит за приблизительно одинаковое время.

Во-вторых, измерялась зависимость локального двуупреомления Δn на границе встречных доменов и плотности σ выделяющегося во внешнюю цепь заряда от величины приложенного внешнего поля E . Наблюдалась корреляция зависимостей $\Delta n(E)$ и $\sigma(E)$.

В-третьих, в монодоменных кристаллах $PbTiO_3$ изучался поперечный электрооптический эффект. Обнаружено, что в исследуемой области полей имеется значительный вклад квадратичного электрооптического эффекта в величину индуцированного двулучепреломления.

Из анализа полученных результатов сделан вывод о том, что визуализация границ встречных доменов удовлетворительно объясняется в рамках представлений о собственном электрооптическом эффекте зигзагообразной границы, вызванном перераспределением во внешнем поле экранирующего заряда.

*Кристаллография / Е.Г.Фесенко, В.Г.Гавриляченко, М.А.Мартыненко, А.Ф.Семенчев, И.П.Лапин. - 1973. - Т. 18, № 5. - С. 1014-1017.

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИТА ВИСМУТА
(В.М.Горбенко, С.Ю.Ермаков, Л.Я.Садовская, Днепропетровский
гос. ун-т)

Теллурит висмута Bi_2TeO_5 является нецентросимметричным материалом, по литературным данным несобственным сегнетоэлектриком с фазовым переходом выше $500^\circ C$. Кристаллы имеют ромбическую симметрию и слоистую структуру. Высокие значения коэффициента преломления ($n = 2,59$ для $\lambda = 0,63$ мкм), имеющиеся предварительные оценочные расчеты усредненного значения коэффициента акустооптической эффективности M_2 на основе известных характеристик обусловили интерес к изучению физических свойств этого кристалла при опробовании его в качестве рабочего тела в устройствах оптоэлектроники. Приведены результаты работы по исследованию акустооптических и акустических свойств объемных монокристаллов Bi_2TeO_5 выращенных авторами по методу Чохральского.

Акустооптические параметры монокристаллов Bi_2TeO_5 измерены при комнатной температуре по методу Диксона-Козна, где в качестве эталона использован плавленый кварц. Затухание звука B определялось по величине сигнала в разных точках образца. Для исследований использовался образец в виде куба размером $10 \times 10 \times 10$ мм с ориентированными кристаллографическими плоскостями. Для ориентации $[001]$ коэффициент акустооптической эффективности $M_2 = 14,12 \times 10^{-18}$ с³/г; затухание звука $B = 14,6$ дБ/см на частоте 496 МГц. Для ориентации $[100]$ $B = 22,3$ дБ/см на частоте 496 МГц и $15,9$ дБ/см при 400 МГц.

Методом Шеффера-Бергмана получены сечения поверхностей обратных скоростей упругих волн плоскостями (001) и (100) кристалла теллурита висмута. Для продольной волны v_L сечение плоскостью (100) имеет форму эллипса с малой анизотропией ($v_{Lmax} = 3,39 \times 10^5$ см/с и $v_{Lmin} = 3,08 \cdot 10^5$ см/с). Для поперечной волны эластограмма по форме близка к кругу и $v_S = 1,77 \cdot 10^5$ см/с.

Для сечения плоскостью (001) у L -волны минимальные значения скорости $v_{min} = 3,36 \cdot 10^5$ см/с; у S -волны значения скорости изменяются от $1,504 \cdot 10^5$ до $2,17 \cdot 10^5$ см/с. Определены также характеристики Bi_2TeO_5 для ориентации кристалла (010) .

ВНУТРЕННЕЕ ПОЛЕ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ (НА ПРИМЕРЕ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА)

(С.Н. Дрождин, Л.Н. Камышева, О.М. Сердюк, Воронежский гос. ун-т)

Физика реального (содержащего дефекты различного происхождения) сегнетоэлектрического кристалла – важная проблема сегнетоэлектричества.

Дефекты возникают в кристалле в процессе выращивания (захват примесей, в том числе специально введенных), а также в послеростовой период, например за счет радиационного воздействия (рентгеновские и гамма-лучи, потоки заряженных частиц).

Независимо от происхождения дефекты создают в сегнетоэлектрике внутреннее поле $E_{вн}$, возникающее в результате упругого и электростатического взаимодействия этих дефектов со спонтанной поляризацией кристалла, которое проявляет себя как среднее макроскопическое поле, оказывающее на параметры и поведение сегнетоэлектрика такое же действие, как и внешнее постоянное электрическое поле в случае электрической природы $E_{вн}$.

Существуют различные экспериментальные методы определения величины $E_{вн}$, дающие, как правило, неадекватные результаты вследствие того, что $E_{вн}$ может в ряде случаев содержать компоненту, образованную нереверсируемыми диполями и поэтому нечувствительную к действию внешних электрических полей.

Изучение временных зависимостей внутреннего поля показывает, что формирование $E_{вн}$ происходит во времени немонотонно, а характер временных изменений поля $E_{вн}$, созданного разными дефектами (радиационными или примесными), различен.

Температурные зависимости внутреннего поля могут обнаруживать аномальное поведение в области неустойчивости доменной структуры сегнетоэлектрического кристалла, связанное с тем, что в этой области температур внутреннее поле вызывает дополнительную подполяризацию кристалла.

Присутствием в кристалле внутреннего поля обусловлены: особенности зависимостей эффективной диэлектрической проницаемости от напряженности переменного электрического поля; характер спектра тока переполаризации и возникновение хаотического поведения доменной структуры при циклической переполаризации; температурное положение максимума диэлектрической проницаемости и др.

ОСОБЕННОСТИ АНОМАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА В КРИСТАЛЛАХ
 Rb_2ZnCl_4 , ВЫРАЩЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

(С.А.Гриднев, Б.Н.Прасолов, В.В.Горбатенко, Воронежский политехнический ин-т)

Поскольку аномальный термический гистерезис (АТГ) в кристаллах несоизмеримой фазой (НФ) связывается с дефектами кристаллической структуры^{*}, то интересной задачей является исследование особенностей АТГ в кристаллах, выращенных методом Чохральского и кристаллизацией из пересыщенных твердых растворов, т.е. в кристаллах с различными дефектами.

Изучена температурная и временная эволюция диэлектрической проницаемости ϵ_x ниже T_K — температуры фазового перехода из НФ в сегнетоэлектрическую фазу (СФ), в кристаллах Rb_2ZnCl_4 , выращенных из пересыщенного водного раствора (в дальнейшем их будем называть "чистыми"), и кристаллов, выращенных из расплава методом Чохральского (условно их будем называть "грязными").

Показаны существенные отличия диэлектрических свойств "чистых" и "грязных" кристаллов в области АТГ ниже T_K . В частности, в "грязных" кристаллах временные зависимости ϵ_x , измеренные при фиксированных температурах в метастабильной области, имеют необычный характер по сравнению с аналогичными зависимостями $\epsilon_x(t)$ "чистых" кристаллов. В самом начале ϵ_x экспоненциально уменьшается со временем, однако по истечении некоторого времени диэлектрическая проницаемость начинает медленно возрастать. Отметим, что рост ϵ_x со временем наблюдается только в "грязных" кристаллах и продолжается в течение 30 ч. и более в каждой температурной точке СФ вблизи T_K . Наблюдаемый медленный релаксационный процесс в "грязном" кристалле предположительно связывается с перемещением подвижных дефектов вдоль доменных границ. Представлены интересные существенно отличающиеся особенности поведения ϵ_x в "чистых" и "грязных" кристаллах при изотермической выдержке кристалла в СФ и последующем его охлаждении.

^{*}Физика твердого тела / С.А.Гриднев, Л.А.Шувалов, Б.Н.Прасолов, В.Г.Санников. — 1989. — Т. 31, вып. 9. — С. 97-100.

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ТИПА $A_2Me\Gamma_4$

(З.А.Боброва, Н.И.Хасиневич, Мясский радиотехнический ин-т)

Для кристаллов типа $A_2Me\Gamma_4$ (где A - ион тетраметиламмония, Me - двухвалентный металл, Γ - галоген) в отличие от их рубидий- и калийсодержащих аналогов, кроме традиционных фазовых переходов, имеются параэлектрическая - несообразная (T_i), несообразная - сегнетоэлектрическая (T_{C1}) и нижняя точка Кюри (T_{C2}), а также ряд низкотемпературных фазовых переходов, обусловленных замораживанием метильных групп иона тетраметиламмония.

Авторами было исследовано термическое расширение как известных кристаллов типа A_2MeCe_4 (где A - ион тетраметиламмония, Me - цинк), так и впервые выращенных кристаллов такого же типа (где A - алкилзамещенный аналог иона аммония: группа кристаллов с общей формулой $[(CH_3)_nNH_2]_2MeCe_4$, где Me - цинк, кобальт, медь, кадмий, марганец и кристаллы типа $[(CH_3)_3NH]_2MeCe_4$, где Me - медь и марганец.

В кристалле тетраметиламмонийхлорцинкате обнаружены аномалии термического расширения при температурах, соответствующих известным фазовым переходам: $T_i = 297,2$ К; $T_{C1} = 282,4$ К; $T_{C2} = 278$ К; $T_3 = 187$ К и $T_4 = 120$ К, причем характерно, что скачки $\Delta l/l$ при несегнетоэлектрических фазовых переходах первого рода оказались на порядок больше аналогичных величин при сегнетоэлектрических T_{C1} и T_{C2} и несообразном T_i переходах.

Исследование кристаллов группы $[(CH_3)_2NH_2]_2MeCe_4$ показало наличие фазовых переходов первого рода в кристаллах, где Me - Cd при температуре $T_I = 131$ К; Me - Zn при $T_I = 215$ К; Me - Co при $T_I = 238$ К и Me - Cu при $T_I = 279,5$ К и $T_2 = 253$ К. Величины скачков термического расширения в обнаруженных фазовых переходах в кристаллах этой группы по порядку величины соответствуют значениям $\Delta l/l$ в кристаллах типа $(C_nH_{2n+1}NH_3)_2MeCe_4$, в которых фазовые переходы обусловлены деформацией алкильного радикала. Величины скачков $\Delta l/l$ и сильная анизотропия термического расширения в исследованных кристаллах позволяют предположить механизм фазовых переходов сходным в обоих типах кристаллов.

В кристаллах $[(CH_3)_3NH]_2MeCe_4$ обнаружены аномалии $\Delta l/l$, характерные для фазовых переходов второго рода.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ДЕЙТЕРИРОВАННОГО ДИГЛИЦИННИТРАТА

(С.В.Родия, В.М.Варикаш, П.С.Габец, Минский радиотехнический ин-т)

Глицинсодержащий сегнетоэлектрик диглициннитрат (ДГН) по своим структурным, физическим и химическим свойствам тесно примыкает к широко исследуемому и используемому в различных практических устройствах семейству кристаллов триглицинсульфата (ТГС). Фазовый переход второго рода типа порядок-беспорядок происходит в ДГН при температуре $T_c = 206$ К с изменением точечной группы симметрии $2/m$ в парафазе на m в сегнетофазе. Ориентация вектора спонтанной поляризации P_c не совпадает ни с одной из кристаллографических осей, в отличие от кристаллов группы ТГС, и близка к направлению $[101]$.

Авторами ранее изучалась температурная зависимость диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ вдоль полярного направления для дейтерированных в разной степени кристаллов диглициннитрата (ДДГН). На основании полученных результатов обнаружен очень незначительный изотопический сдвиг T_c кристалла ДДГН даже при замещении водорода дейтерием на величину порядка 60 %.

Приводятся данные исследования упругих податливостей, пьезоэлектрических модулей и пироэлектрического коэффициента. Электро-механические параметры измерялись методом низкочастотного резонанса, а пироэлектрический коэффициент — статическим методом.

В результате исследований было получено, что в точке фазового перехода T_c в кристалле ДДГН величина пьезомодулей незначительно уменьшается, а сам максимум зависимости $d_{32}(T)$ смещается в сторону высоких температур ($\sim 0,8$ К для 60 % ДДГН). Аналогично характеризуется поведение и пирокоэффициента $\gamma(T)$. Следует отметить, что пиро- и пьезоактивность ДДГН проявляется в более широком интервале температур в парафазе по сравнению с ДГН, что можно связать с искажением симметрии парафазы из-за введения в кристалл дейтерия. Кроме того, в ДДГН по смещению петель диэлектрического гистерезиса определены значения внутренних смещающих полей.

Полученные результаты подтверждают данные диэлектрических исследований о незначительном изотопическом смещении T_c в ДДГН.

АКУСТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ-ПОЛУПРОВОДНИКЕ *GeTe*

(С.В.Барышников, Благовещенский гос. пед. ин-т им.М.И.Калинина)

Известно, что в средах без центра симметрии в неравновесных условиях проявляется фотогальванический эффект, т.е. возникает постоянный ток под действием однородного освещения. Это явление хорошо известно для сегнетоэлектриков [1]. Акустический аналог фотогальванического эффекта теоретически рассмотрен в ряде работ [2].

Экспериментально исследовались акустогальванические свойства поляризованных образцов *GeTe*. Для измерения использовались вырезанные из монокристаллов образцы в виде брусков длиной 10-15 мм и сечением 2х2 мм, поляризованные по методике, аналогичной приведенной в работе [3]. Для увеличения механического воздействия применялась импульсная методика. В эксперименте измерялся заряд, возникающий на гранях образца при резком уменьшении деформирующей нагрузки.

Показано, что при деформации образца вдоль \vec{P}_S на концах возникает заряд, знак которого зависит от направления \vec{P}_S . Эффект линеен по давлению примерно до 500 Н/см², имеет большое время релаксации $\sim 10^{-1}$ с, сильно зависит от температуры. При комнатной температуре он составляет $5 \cdot 10^{-9}$ Кл/Н, к точке фазового перехода возрастает почти на два порядка, а затем резко падает.

Поскольку по ряду причин данный эффект нельзя объяснить пьезоэффектом или термо-ЭДС, можно говорить о некотором новом эффекте, характерном для сильнопроводящих сегнетоэлектриков, возможно акустогальваническом, хотя он не совсем укладывается в существующую теорию.

Л и т е р а т у р а

1. ЛАЙНС М., ГЛАСС А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. - М.: Мир, 1981.
2. ШМЕЛЕВ Г.М., НГУЕН ХОНГ ШОН, ЦУРКАН Г.И. // Физика твердого тела. - 1984. - Т. 26, вып. II. - С. 3499-3501.
3. ИЗВ. АН СССР / Э.В.Бурсиан, В.А.Егоров, Р.Х.Калимуллин, Я.Г.Гирильберг. - 1984. - Т. 48, № 6. - С. 1120-1122.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И НЕУПРУГИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТО-
И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ

(А.А.Ботаки, В.Л.Ульянов, Б.В.Чахлов, И.П.Чернов, Политехнический
ин-т им.С.М.Кирова, г.Томск)

Для большинства материалов наблюдается монотонное изменение модулей упругости E , скоростей распространения упругих волн с изменением температуры. Разрыв непрерывности или резкий скачок на графиках зависимостей $E(T)$, $v(T)$ соответствует фазовым переходам. Поэтому наблюдение за изменениями $E(T)$, $v(T)$ и $\delta(T)$ (δ - логарифмический декремент затухающих колебаний) в окрестностях температуры фазового перехода - эффективное средство изучения и контроля процесса превращения. Одним из методов физической акустики (резонансным методом составного пьезоэлектрического вибратора на частоте 100 кГц) проведено исследование в интервале $-100 \div +200$ °С изменений модулей Юнга E , скоростей продольных упругих волн v_p и δ для сегнетоэлектриков марок ТБ-1 и ТЕК-3. Направление распространения упругих волн и вектор поляризации сегнетоэлектрика взаимно перпендикулярны. По точкам экстремумов зависимостей $E(T)$, $v_p(T)$ и $\delta(T)$ определены верхние и нижние температуры фазовых переходов. Таким образом, методами физической акустики можно с высокой точностью регистрировать температуры фазовых переходов в сегнетоэлектриках.

Ионные кристаллы с решеткой типа $NaCl$ (как центросимметричные) не должны проявлять пьезоэлектрических свойств. Были проведены исследования механоэлектрического эффекта в кристаллах $NaCl$ и KCl (зависимости разности потенциалов U между посеребренными противоположными боковыми гранями образца в виде прямоугольного параллелепипеда от величины относительной деформации образца ϵ при его колебании). Сопоставление $U(\epsilon)$ с $\delta(\epsilon)$ (внутренним трением - ВТ) показывает, что $U(\epsilon)$ проявляется не только при пластической, но и при упругой деформациях меньших тех, при которых начинается отрыв дислокаций от закрепляющих их центров, и ВТ становится амплитудно-зависимым (АЗВТ). Наиболее сильное изменение $U(\epsilon)$ начинается с момента возникновения АЗВТ. Отмеченные закономерности объясняются не только смещением заряженных дислокаций в кристалле, но и связаны с нарушением центросимметричной кри-

таллической структуры реального (дефектного) кристалла, приводящим к возникновению у него пьезоэлектрических свойств.

УДК 548.0:537.226.4

АНОМАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $BaTiO_3$ В ПАРАЗЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФАЗЕ

(С.Б.Кругляшов, Л.А.Ковалева, И.М.Белоус, А.Т.Анистратов, Сибирский технологический ин-т, г.Красноярск; А.А.Петров, Физико-технический ин-т им.А.Ф.Иоффе АН СССР, Ленинград)

На монокристаллах собственного сегнетоэлектрика титаната бария, выращенных методом Ремейки, выполнены кристаллооптические исследования кубическо-тетрагонального фазового перехода (ФП). Вблизи ФП обнаружены регулярные крупномасштабные структуры (КМС) в виде полос примерно равной толщины, ориентированных по направлениям $[110]$ и идентифицируемых как зародыши тетрагональной фазы. Изучены основные закономерности КМС и ее связь с формируемой доменной структурой $[1]$.

В паразлектрической фазе обнаружены температурные зависимости светопропускания. Установлено, что поведение оптических свойств КМС вплоть до точки ФП может быть описано с помощью эллипсоида показателей преломления. Обнаружено аномальное двупреломление, запрещенное кубической симметрией o_n^1 , измерена его температурная зависимость. Температурное поведение двупреломления рассмотрено на основе представлений о квадратичном электрооптическом эффекте.

Образование КМС вызывается упругими деформациями, сопровождаемыми любой ФП, благодаря связи параметра порядка с упругой подсистемой кристалла. Аномальные оптические свойства титаната бария обсуждаются в модели Ландау с учетом случайного поля локальной температуры ФП $[2]$. Предполагается, что найденные закономерности могут быть использованы для объяснения необычных свойств и в родственных материалах: ниобате калия, титанате стронция и других $[3]$.

Л и т е р а т у р а

1. КРУГЛЯШОВ С.Б., ПЕТРОВ А.А., АНИСТРАТОВ А.Т. // Физика твердого тела. - 1988. - Т. 30, № 8. - С. 2505-2507.

2. КОРЖЕНЕВСКИЙ А.Л. // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1984. - Т. 48, № 6. - С. 1069-1072.

3. KLEEMANN W., SCHAFER P.J., PONTANA M.D. // Phys.Rev., B, 1984. - Vol.30, N 3. - P.1148-1154.

УДК 54.165

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТИТАНАТ СВИНЦА

(Р.З.Клейне, А.И.Медовой, Т.К.Кутузова, Рижский политехнический ин-т)

Исследование систем новых твердых растворов на основе титаната свинца и анализ зависимостей электрофизических и пьезоэлектрических свойств от состава и концентрации модификаторов способствует выявлению перспективных пьезоэлектрических материалов.

Все исследованные материалы получены методом твердофазного синтеза из оксидов и карбонатов марки ЧДА; температура спекания в зависимости от состава и концентрации модификатора лежала в пределах от 1130 до 1260 °С.

Исследовались системы $PbTiO_3(I) - (A^{2+}, Bi^{3+})(B^{2+} Nb^{5+})O_6(II)$, где в положение А введен Ba^{2+}, Sr^{2+} , а в положение В - $Mg^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}$. Титанат свинца (I) имеет температуру Кюри +500 °С, а компонент II - синтезированные перовскитоподобные соединения. Оба компонента относятся к структурному типу перовскита, они образуют твердые растворы с достаточно высокой температурой Кюри и пьезоактивностью [1].

Изучено влияние ионов лантана и неодима, входящих в дититанаты лантана и неодима, на комплекс свойств титаната свинца. Показано, что добавки дититанатов лантана и неодима повысили температуру Кюри пьезоэлектрической керамики на основе титаната свинца, так как указанные соединения лантана и неодима имеют температуру Кюри 1500 и 1800 °С соответственно. Для повышения механической прочности керамики титаната свинца до $78,5 \cdot 10^6$ Па проведено ее модифицирование многосвинцовым силикатным стеклом. При этом сохраняются достаточно высокие пьезоэлектрические и диэлектрические параметры керамики титаната свинца [2].

Введенная смачивающая жидкая фаза стимулирует процесс спекания, повышает плотность пьезоэлектрической керамики титаната свинца и соответственно снижает водопоглощение.

Л и т е р а т у р а

1. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ стекла, покрытия и материалы / Р.З.Клейне, Э.Ж.Фрейденфельд, А.М.Власова и др. / Рига: НИИ, 1985. - С. 140-146.
2. МИЛБЕРГ Э.П., КЛЕЙНЕ Р.З., ВЫГОВСКАЯ О.Э. // Неорганические стекла, покрытия и материалы. - Рига: НИИ, 1985. - С. 136-139.

УДК 537.226.33

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

(Н.Н.Большакова, К.Т.Белабаев, Т.И.Иванова, В.Н.Масленников,
О.Н.Сергеева, И.И.Сорокина, Н.Н.Черешнева, Калининский гос.ун-т)

Все возрастающее применение кристаллов танталата лития в качестве преобразователей инфракрасного излучения требует всестороннего исследования их физических свойств.

Приведены результаты исследования пироэлектрических, диэлектрических и тепловых свойств кристаллов $LiTaO_3$, восстановленных в атмосфере водорода при различных временных режимах. Пироэлектрические свойства $LiTaO_3:H_2$ исследовались в динамическом и квазистатическом режимах. Значения пироэлектрических коэффициентов, измеренные этими методами, практически совпадают и колеблются в пределах $(1,7-1,5) \cdot 10^{-8}$ Кл·см⁻²·К⁻¹. С увеличением времени восстановления от 15 мин до 5 ч наблюдается тенденция к уменьшению значения пирокоэффициента. Коэффициент тепловой диффузии с увеличением времени восстановления также незначительно уменьшается, в то время как значения диэлектрической проницаемости практически не изменяются.

Для выяснения структурных изменений, возникающих в кристаллах в процессе восстановления, проведены исследования импульсных процессов, возникающих при изменении температуры образца, ИК-спектров и микроструктуры поверхности кристалла методом избирательного травления. Установлено, что с увеличением времени восстановления интенсивность импульсных процессов возрастает. Это можно объяснить увеличением дефектности кристалла в процессе восстановления.

Избирательное травление показывает, что поверхность восстановленных образцов представлена многочисленными ямками травления дислокационного и примесного типа, а также обусловленными вакансиями, что также свидетельствует о существенном увеличении дефектности их структуры.

УДК 537.226.33

СТРУКТУРА И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ

(Т.И.Иванова, И.И.Сорокина, В.М.Рудяк, Калининский гос. ун-т)

Проведены сравнительные исследования структуры и диэлектрических свойств монокристаллов танталата лития ($LiTaO_3$), предварительно подвергнутых различным видам обработки: поляризации, отжигу в вакууме и восстановлению в атмосфере водорода.

Структура поверхности кристаллов $LiTaO_3$ выявлялась методом избирательного травления. Величина диэлектрической проницаемости измерялась мостовым методом. Петли диэлектрического гистерезиса наблюдались с помощью модернизированной схемы Сойера-Тауэра в режиме компенсации проводимости и непрерывного изменения температуры от 20 °С до температуры фазового перехода.

Установлено, что отжиг в вакууме предварительно поляризованного кристалла не нарушает его монодоменности, но приводит к появлению большого числа кислородных вакансий. Отжиг неполяризованного кристалла вызывает появление новых доменов, делая его менее униполярным. Восстановление в атмосфере водорода существенно увеличивает дефектность кристалла.

Получены температурные зависимости $\epsilon(T)$ в интервале 20–700 °С. В области температур 490–520 °С на зависимости $\epsilon(T)$ для всех исследованных кристаллов обнаружена аномалия, которая может быть связана с включением в данном температурном интервале в процесс поляризации доменного механизма. Эта аномалия наблюдается как при повышении, так и при понижении температуры и вполне согласуется с наблюдаемым в том же температурном интервале резким ростом величины максимальной поляризованности, оцененной по петлям диэлектрического гистерезиса. Эта корреляция подтверждает предположение о том, что в интервале температур 490–520 °С начинается интенсивный процесс перестройки доменной структуры.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ
МОНОКРИСТАЛЛОВ ТАНТАЛАТА ЛИТИЯ(В.В.Иванов, Л.Н.Клюшкин, В.В.Ефимов, И.И.Сорокина, Калининский
гос. ун-т)

В настоящее время увеличивается практическое применение монокристаллов танталата лития $LiTaO_3$, обладающих высокими электрооптическими свойствами, в приборах для модуляции, отклонения и преобразования частоты лазерного излучения и оптической голографии. В связи с этим возникает необходимость создания кристаллов с заранее заданными свойствами.

Выполнены исследования влияния восстановительной термообработки в атмосфере водорода на электропроводность монокристаллов танталата лития. Электропроводность определялась по величине постоянного тока, протекающего через кристалл $LiTaO_3$. Ток измерялся электрометрическим усилителем У5-II. Контроль температуры образца, помещенного в термостатируемую камеру, осуществлялся с помощью термопары и цифрового вольтметра. Electroды наносились на образец методом испарения серебра в вакууме. В эксперименте использовалась как обычная система электродов (полное запыление соответствующих граней образца), так и система электродов с охран-ным кольцом.

Установлено, что термообработка в атмосфере водорода кристаллов танталата лития приводит к увеличению электропроводности. Отжиг в атмосфере водорода в течение 4 ч при $T = 600^\circ C$ вызывает увеличение электропроводности на четыре порядка. Это связано с тем, что при восстановительной термообработке в кристалле танталата лития возможно образование низковалентных ионов тантала и кислородных вакансий, т.е. тех примесных центров, из которых электроны переходят в зону проводимости.



Указанный режим обработки приводит к восстановлению всего объема образца танталата лития. Следует отметить, что наблюдается зависимость электропроводности от толщины образца. С уменьшением толщины электропроводность уменьшается в несколько раз, оставаясь выше значения электропроводности невосстановленного образца на три порядка.

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ УНИПОЛЯРНОСТИ НА НЕЛИНЕЙНЫЙ ПИРОЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ ГРУППЫ ТГС

(А.А.Богомолов, Т.А.Дабига, О.С.Щипакина, Калининский гос. ун-т)

Изучены особенности возникновения нелинейных пирозлектрических явлений в зависимости от направления естественной униполярности образцов по отношению к падающему тепловому потоку. Проведены исследования ампер-ваттных зависимостей и релаксации пиротока в кристаллах группы ТГС динамическим методом.

В результате исследований обнаружено, что при совпадении направлений теплового потока и естественной поляризованности нелинейный вклад в пироток возникает при более низких значениях плотности теплового потока. В таблице представлены значения критических плотностей теплового потока для двух различных направлений теплового потока и естественной поляризованности.

Кристаллы	Толщина образцов, см	Критическая плотность теплового потока, Вт·см ⁻²	
			
ДТГС	0,1	0,02	0,06
	0,22	0,03	0,06
	0,5	0,04	0,05
	0,7	0,04	0,05
АТГС:Мп	0,08	0,03	0,05

Величина нелинейного вклада в два раза больше при совпадении направлений теплового потока и естественной поляризованности исследуемых образцов.

Полученные результаты обсуждаются в рамках модели нелинейных пирозлектрических явлений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ
В МОДИФИЦИРОВАННОМ СУЛЬФОИДИДЕ СУРЬМЫ

(А.А.Богомолов, В.В.Иванов, Н.А.Анисимова, Т.Г.Баскакова, Калинин-
ский гос. ун-т)

Выполнены исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости и спонтанной поляризованности состаренных образцов модифицированного сульфоиодида сурьмы. Установлено, что при температуре ниже температуры фазового перехода зависимость поляризованности от напряженности электрического поля имеет линейный характер, а при температуре фазового перехода превращается в обычную гистерезисную зависимость, которая сохраняется и выше точки фазового перехода в широком интервале температур.

Параллельно выполнено исследование изменения реориентируемой поляризованности и диэлектрической проницаемости образцов модифицированного сульфоиодида сурьмы, подвергнутых температурному отжигу. Выполнены исследования диэлектрической релаксации в интервале температур от 20 до 50 °С. Установлено, что зависимость диэлектрической проницаемости от времени в координатах $\ln \epsilon$ и $\ln t$ представлена прямыми линиями в интервале времени от 0 до 10^4 с. Следовательно, в исследованном интервале температур и времен зависимость диэлектрической проницаемости от времени имеет степенной характер и представляется соотношением

$$\epsilon = a \cdot t^{\theta} ,$$

где a и θ - коэффициенты, t - время.

Выполнено сравнение временных зависимостей диэлектрической проницаемости и реориентированной поляризованности. Полученные результаты обсуждаются на основе модели доменно-ориентационного механизма релаксации диэлектрической проницаемости и эффектов акранирования.

1001

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МОНОКРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ

(Б.Б.Педько, В.М.Рудяк, А.Л.Шабалин, М.С.Катальмов, В.П.Яруничев,
Калининский гос. ун-т)

Исследовалось влияние γ -облучения на оптические и электрооптические свойства номинально чистых монокристаллов ниобата лития. Подобные исследования проводились на кристаллах $LiNbO_3$, легированных ионами металлов переходной группы [1]. В качестве объектов исследования служили образцы, вырезанные из поляризованных кристаллов $LiNbO_3$, выращенных методом Чохральского из конгруэнтного расплава.

Измерялись показатели преломления n_o и n_e , полуволновые напряжения и оптическая однородность поляризационно-оптическим методом в интервале температур 20-200 °С. Экспозиционные дозы облучения составляли 10^4 - 10^7 Р.

Установлено, что γ -облучение кристаллов $LiNbO_3$ в пределах указанных доз приводит к увеличению показателей преломления n_o и n_e и двулучепреломления Δn . Зависимость указанных показателей от величины дозы облучения носит возрастающий характер, значения n_o , n_e и Δn становятся стабильными после дозы 10^6 Р.

Характер температурной зависимости n_o и n_e практически не изменяется. Отжиг кристаллов приводит к частичному восстановлению первоначальных оптических свойств.

γ -облучение кристаллов $LiNbO_3$ приводит к вариации полуволнового напряжения не более 10 % и практически не изменяет температурную зависимость полуволнового напряжения (соответствующего Γ_{22}).

Установлено, что γ -облучение приводит к изменению температурной зависимости оптической однородности (остаточного светового потока) монокристаллов ниобата лития [2].

Л и т е р а т у р а

1. VOLK T.R., SHRAMCHENKO S.A. // Ferroelectrics. - 1987. - V.73. - P.367-377.
2. ФИЗИКА твердого тела / А.А.Блистанов, Е.В.Макаревская. - и др. - 1978. - В. 20, № 9. - С.2575-2580.

ИНВЕРСНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИСТЕРЕЗИС В ЭЛЕКТРОСТРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

(Е.П.Смирнова, В.А.Исупов, Физико-технический ин-т им.А.Ф.Иоффе
АН СССР, Ленинград)

Электромеханический гистерезис в сегнетоэлектриках, так же как и диэлектрический гистерезис, обусловлен в основном существованием доменной структуры. В области сегнетоэлектрического размытого фазового перехода сформированная доменная структура отсутствует, что приводит к значительному уменьшению электромеханического гистерезиса. У некоторых видов сегнетокерамики наряду с обычным наблюдается инверсный электромеханический гистерезис. Он характеризуется тем, что электрострикционная деформация при уменьшении напряженности приложенного электрического поля падает быстрее, чем она возросла при увеличении поля.

Целью данной работы явился анализ причин возникновения инверсного гистерезиса, а также изучение закономерностей его проявления.

Зависимость электрострикционной деформации от напряженности электрического поля исследовалась dilatометрическим методом при температурах размытого фазового перехода у твердых растворов на основе магнийобата свинца и титаната бария. Среди изученных материалов инверсный гистерезис наблюдался только у керамики $0,65 BaTiO_3 - 0,35 SrTiO_3$ и $0,87 BaTiO_3 - 0,13 BaSnO_3$. Характеристиками такого гистерезиса является напряженность поля, при котором он возникает E^K и величина $H^{инв}$:

$$H^{инв} = \frac{\Delta S}{S_m} \cdot 100\% ,$$

где S_m - деформация, возникающая при максимальной приложенном поле E_m , ΔS - разница между величинами деформации при одной и той же напряженности электрического поля $E_m/2$ на восходящей и нисходящей кривых $S(E)$.

Показано, что характеристики гистерезиса зависят от температуры и времени (частоты) приложения поля, кроме того, он существует в ограниченном диапазоне температур, а ниже этого диапазона переходит в обычный. Предложена модель, объясняющая возникновение инверсного гистерезиса, основанная на представлениях о барьере Шоттки.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

 $Ba_{0,4}Sr_{0,6}TiO_3$ ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ $SrTiO_3$

(Е.В.Балашова, Ф.Смутный, Физико-технический ин-т им.А.Ф.Иоффе АН СССР, Ленинград; Ин-т физики ЧСАН, Прага)

Исследованы диэлектрические свойства (ϵ и $tg\delta$) монокристаллических пленок $Ba_{0,4}Sr_{0,6}TiO_3$ толщиной 0,4–1,0 мкм, выращенных на монокристаллических подложках титаната стронция ориентации {110}. Пленки выращивались методом ВЧ-распыления с последующим высокотемпературным отжигом и имели ориентацию также {110}.

Измерения ϵ и $tg\delta$ проводились в диапазоне частот 120–10⁶ Гц. Для проведения измерений на поверхность пленки методом фотолитографии были нанесены планарные конденсаторы. На основе температурных измерений емкости и $tg\delta$ планарных конденсаторов рассчитывались значения ϵ и $tg\delta$ пленок. В неотожженных пленках диэлектрическая проницаемость слабо зависела от температуры и составляла ~ 400. При этом на температурных зависимостях $tg\delta$ наблюдались максимумы релаксационного типа. По сдвигу температур максимумов были рассчитаны энергии активации для двух типов дефектов $E_1 \cong \cong 0,5$ эВ и $E_2 = 0,8$ эВ. После высокотемпературного отжига на температурных зависимостях ϵ наблюдался максимум $\epsilon \cong 2400$ при температуре $T_m = -50$ °С, характерной для керамики данного состава. В области максимума ϵ наблюдался также и максимум $tg\delta$.

Обнаружена дисперсия ϵ и $tg\delta$ в диапазоне частот 120–10⁶ Гц. Показано, что сдвиг максимумов $tg\delta$ при увеличении частоты нельзя объяснить в рамках релаксационного механизма с одним временем релаксации. Определена функция распределения времен релаксаций, имеющая вид распределения Гаусса, и изучена ее динамика при изменении температуры. Показано, что с понижением температуры функция распределения расширяется и стремится к равномерному по временам. При повышении температуры выше T_m уменьшается количество релаксаторов при сохранении формы распределения. Необычная низкочастотная динамика в исследуемых пленках позволяет предположить о наличии релаксаторов (доменов, микродоменов), реакция которых на внешнее электрическое поле ограничивается дефектами структуры пленок.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ

(Е.Р.Добровинская, И.Ф.Звягинцева, Л.А.Литвинов, А.М.Цайгер, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

К качеству поверхности монокристаллических изделий предъявляются высокие требования, особенно если изделия применяются как подложки для ВТСП. Настоящая работа посвящена изучению механических характеристик и структурного совершенства поверхности монокристаллов титаната стронция, выращенных методом Вернейля.

Структурное совершенство анализировалось методами послойной химической полировки в 75 %-ном растворе в воде ортофосфорной кислоты и избирательного травления в смеси 1 часть HF : 2 части HNO_3 : 2 части H_2O [1]. О механических характеристиках судили по коэффициенту трещиностойкости (K_{IC}), определенному методом микроиндентирования [2]. Исследовались поверхности, прошедшие механическую и химико-механическую обработку и для сравнения поверхности скола. После длительной механической обработки на поверхности остаются отдельные царапины, после химико-механической обработки выявить царапины методами оптической микроскопии не удалось. В процессе химико-механической обработки образующиеся царапины удаляются с поверхности, и только на определенной глубине после избирательного травления можно наблюдать следы царапин в виде цепочек дислокаций.

Результаты исследования трещиностойкости кристаллов титаната стронция представлены в таблице.

Обработка поверхности	K_{IC} , $\text{мПа}/\text{м}^{3/2}$	
	на поверхности	на глубине 5 $\mu\text{м}$
Скол	0,18-0,2	0,18-0,2
Механическая	0,2-0,23	0,3
Химико-механическая	0,3-0,4	0,3-0,4

Минимальной трещиностойкостью характеризуется плоскость скола. Применение химико-механической обработки, в процессе которой увеличивается плотность подвижных дислокаций, приводит к росту

значения K_{IC} . После механической обработки на поверхности остаются микротрещины и паразиты, что понижает величину трещиностойкости. Химическая полировка, позволяющая удалить эти дефекты, увеличивает K_{IC} до значений, характерных для химико-механически обработанной поверхности.

Л и т е р а т у р а

И. А.с. № 912778 / А.Я.Зайончковский, Г.Н.Кудряшова, Л.Е.Левина, Ю.В.Лихолетов, А.Н.Моисевич.

2. EVANS A.G., CHARLES E.A. // J. Amer. Ceram. Soc. - 1976. - Vol. 59, N 7, 8. - P. 371.

УДК 537.226

ЭКЗОЭМИССИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ КРИСТАЛЛОВ TGS С ЧАСТИЧНО ЗАМЕЩЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ГРУППОЙ

(М.С.Цедрик, И.С.Рез, Г.И.Розенман, Ю.Л.Чепелев, С.А.Василевский, В.И.Януть, Минский гос. пед. ин-т им.А.М.Горького; Уральский лесотехнический ин-т, г.Свердловск)

Возникновение на свободной полярной поверхности сегнето-электрического кристалла нескомпенсированного заряда и электростатического поля приводит к униполярной эмиссии электронов в вакуум. Плотность эмиссионного тока определяется напряженностью деполяризующего поля E_d .

Экспериментально исследован экзоэмиссионный эффект при переполяризации кристаллов TGS с частично замещенной сульфатной группой $[SO_4]^{2-}$ на фосфатную $[PO_4]^{3-}$ и фторфосфатную $[PO_3F]^{2-}$.

Исследование экзоэмиссионного эффекта показало:

1) эмиссионный ток имеет воспроизводимый характер;

2) замещение группы $[SO_4]^{2-}$ на $[PO_3F]^{2-}$ в кристаллах TGS уменьшает эмиссионный ток по сравнению с замещением группы $[SO_4]^{2-}$ на $[PO_4]^{3-}$, к такому же результату приводит и увеличение степени замещения;

3) плотность эмиссионного тока достигает 10^{-12} А/см²;

4) изучение полевых и температурных зависимостей спонтанной поляризации P_S показало их идентичность полевым и температурным зависимостям эмиссионного тока j (большим значениям P_S соответствовали большие значения j).

Показано, что в модифицированных кристаллах TGS величина деполаризующего поля E_d , определяющего эмиссионный ток, пропорциональна спонтанной поляризации кристаллов P_S .

УДК 537.226

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ $[PO_3F]^{2-}$ И $[PO_4]^{3-}$ НА ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

(И.С.Рез, М.С.Цедрик, К.Я.Борман, В.И.Януть, С.А.Василювский, Минский гос. пед. ин-т им.А.М.Горького)

Экспериментально исследовано влияние степени замещенности сульфатной группы $[SO_4]^{2-}$ группами $[PO_3F]^{2-}$ или $[PO_4]^{3-}$ в чистом, легированном $L-\alpha$ -аланином, а также дейтерированном триглицинсульфате на электрокалорические свойства выращенных в различных условиях кристаллов. Использовался метод непосредственного определения изменения температуры ΔT в результате воздействия импульсов электрического поля на образцы кристаллов при их двойной тепловой экранировке в воздухе. В области фазового перехода установка дополнялась схемой Сойлера-Тауэра, что позволило исследовать температурные зависимости спонтанной поляризации.

Установлены следующие закономерности.

1. Максимумы на температурных зависимостях ΔT всех исследованных кристаллов сдвинуты в сторону уменьшения температуры относительно максимумов диэлектрической проницаемости. Величина сдвига значительно выше у кристаллов, модифицированных группой $[PO_3F]^{2-}$ и возрастает по мере увеличения степени замещенности, чего не наблюдается при модификации группой $[PO_4]^{3-}$.

2. Зависимости ΔT от напряженности подаваемого электрического поля всех исследованных кристаллов неодинаковы для различных температурных областей:

в сегнетоэлектрической фазе линейны;

вблизи области фазового перехода наблюдается выпуклость кривых $\Delta T(E)$;

в параэлектрической фазе $\Delta T \sim E^2$.

3. Зависимости ΔT от квадрата индуцированной полем поляризации линейны ($\Delta T \sim P^2$);

4. Замещение группы $[SO_4]^{2-}$ группой $[PO_3F]^{2-}$ размывает фазовый переход в большей степени, чем группой $[PO_4]^{3-}$.

5. Условия выращивания кристаллов существенно влияют на исследованные свойства.

Отмеченные закономерности интерпретируются в рамках теории Гинзбурга-Девоншира.

УДК 537.226

ОДНОРОДНОСТЬ РЕАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ ГРУППЫ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ
(Э.М.Кравчяня, Минский гос. пед. ин-т им.А.М.Горького)

В связи с практическим использованием кристаллов группы триглицинсульфата (ТГС) в качестве пьезоэлектриков, тепловизоров, ультразвуковых линий задержки с полевым управлением временем задержки требуются крупные кристаллы с однородной структурой, определяющей стабильность физических свойств в заданном объеме сегнетоэлектрика.

Рассматриваются основные механизмы влияния на однородность примесей типа внедрения (ионы металлов), замещения (органические примеси) и их комбинации, а также вопросы взаимодействия доменной и дефектной структур монокристаллов группы ТГС в зависимости от условий выращивания: температуры роста кристаллов t_p , концентрации примесей в растворе.

Показано, что введение примесей ионов металлов в растворы ТГС чистого и с органической примесью влияет на интенсивность адсорбции различных граней растущего кристалла. При этом можно выделить два механизма: первый связан с влиянием малых количеств специально вводимых примесей на число возникающих двумерных зародышей (центров кристаллизации); второй связан с влиянием примесей на скорость роста уже возникших центров кристаллизации.

Установлено, что у кристаллов, растущих при низких t_p (в сегнетофазе) происходит сложное взаимодействие дефектной и доменной структур, которое носит взаимный характер: электрическая поляризация доменов вызывает соответствующую ориентацию примесей, а дефекты предопределяют строение доменной структуры.

У кристаллов, выращенных при высоких t_p (в парафазе), образование доменной структуры происходит при охлаждении ниже T_c и определяется только дефектной структурой, сложившейся в процессе роста.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ГРУППЫ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА(Э.М.Кравченя, М.С.Цедрик, Л.В.Кравченя, Минский гос. пед. ин-т
им. А.М.Горького)

Кристаллизация из водных растворов - один из наиболее распространенных способов выращивания монокристаллов. Качество кристаллов, выращенных из водных растворов, выше, чем из расплавов. Это обусловлено возможностью варьировать условия выращивания в широком диапазоне: температуру роста t_p , пересыщение θ , кислотность среды pH, вид примесей и их концентрацию C_p , гидродинамические условия, состав раствора, что позволяет получать монокристаллы группы ТГС высокого качества с заданной морфологией и определенными физическими свойствами.

Выращивание качественных монокристаллов осуществлялось в двух термостатных установках, обеспечивающих стабильность t_p , различную степень θ , изменение скорости перекачки обогащенного раствора, эффективность перемешивания, простоту изготовления и обслуживания, надежность в работе.

Установлено, что наиболее активное влияние на физические свойства кристаллов группы ТГС оказывают t_p , концентрация примесей и pH раствора. Повышение t_p и концентрации C_p примесей, изменение кислотности раствора приводит к непропорциональному изменению скоростей роста отдельных граней кристаллов, в результате чего некоторые грани выклиниваются и кристаллы, выращенные при высоких t_p и больших C_p , имеют сильно развитые грани (001) и (110) для ТГС и (001) и (100) для ТГСел. С увеличением pH раствора от 1,25 до 2,25 число граней возрастает, а при дальнейшем увеличении pH до 2,5 их число резко сокращается.

Исследовано также влияние технологии выращивания на диэлектрические, поляризационные и пьезоэлектрические свойства кристаллов группы триглицинсульфата.

Сегнето- и пьезоэлектрические материалы и устройства
(стандовые доклады)

УДК 548.55:537.226/.227

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ-ПОЛУПРОВОДНИКОВ
В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ
(С.Л.Бравина, Н.В.Морозовский, Ин-т физики АН УССР, г.Киев)

Проведено сопоставление изменения характеристик пьезоэлектрических элементов (ПЭ) на основе диэлектрических сегнетоэлектриков (СЭД) и сегнетоэлектриков-полупроводников (СЭП) при плавном и резком изменении температуры в интервале $4,2-400$ К и под действием внешнего электрического напряжения и освещения.

Резкое изменение температуры приводит к существенному изменению пьезокоэффициента U_{π} , являющегося функцией эффективных величин пьезокоэффициента, диэлектрической проницаемости и электропроводности. Исходные значения U_{π} восстанавливаются в течение времени, зависящего от типа материала, температуры и скорости ее изменения. Особенности электронной подсистемы СЭП способствуют более быстрому восстановлению U_{π} по сравнению с СЭД.

Обсуждаются причины импульсных токов в цепи ПЭ и излучения света при резких изменениях температуры и после них, а также их связь с тепловым эффектом Баркгаузена, локальным пьезоэлектрическим пробоем, перезарядкой центров захвата как в объеме ПЭ, так и в приповерхностной области.

Специфика переноса электрического заряда в системах металл-СЭП-металл и повышенная фоточувствительность СЭП позволяют осуществить управление амплитудой и фазой U_{π} с помощью внешнего напряжения и освещения.

На примере кристаллов $Sr_2P_2S_6$ и Ag_3AsS_3 рассмотрены особенности применения СЭП для пьезоэлектрических датчиков.

Свойственное ряду СЭП повышенное значение отношения π/c (π - пьезокоэффициент, c - объемная теплоемкость), а также емкостной характер ПЭ указывает на целесообразность работы ПЭ на основе СЭП в режиме пиротока, что, в отличие от режима пироэда, позволяет

также понизить вероятность пирозлектрического пробоя. Наличие повышенной сквозной проводимости СЭП позволяет исключить резистор утечки во входной цепи согласующего каскада при работе в режиме пиродс. Предлагается комплекс мер, позволяющих при необходимости исключить влияние освещения на $U_{\text{п}}$ с помощью светонепроницаемых проводящих и диэлектрических покрытий.

УДК 548.5

ПОЛУЧЕНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КРИСТАЛЛОВ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ МАГНИОНИБАТА СВИНЦА - ТИТАНАТА СВИНЦА
(С.М.Емельянов, В.А.Загоруйко, А.Т.Козаков, В.А.Демьянченко,
НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Монокристаллы системы твердых растворов магнониобата свинца с титанатом свинца $(1-x)[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3] - x PbTiO_3$ были выращены методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве. В качестве растворителя использовали оксиды бора и свинца в соотношении 1:5 соответственно. Поскольку магнониобат свинца плавится incongruently, то для получения составов с заданной стехиометрией в состав шихты вводили до 10 мол.% MgO сверх стехиометрии. При кристаллизации в области 110-1080 °С (скорость охлаждения расплава 0,5-5 град/ч) были получены кристаллы в виде кубиков с размером грани до 8 мм.

Количественный анализ состава исследуемых кристаллов проводили на рентгеновском электронном микроскопе-микроанализаторе Camebax-micro фирмы Cameca. Применяли стандартную методику ZAF-коррекции, которая вводит поправочные коэффициенты с учетом различий в обратном рассеянии и торможении электронов, а также в поглощении и флуоресцентном возбуждении излучения в эталоне и исследуемом кристалле. Концентрацию элементов определяли итерационным методом. Концентрацию кислорода вычисляли из стехиометрического соотношения. В качестве эталонов использовали кристаллы титаната свинца, металлы: титан, магний и ниобий. Для каждого исследуемого кристалла определяли среднее из шести измерений.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что с увеличением x количество титана в составе твердого раствора $(1-x)[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3] - x PbTiO_3$ линейно возрастает, магния

и ниобия уменьшается, а кислорода и свинца остается постоянным. В пределах точности эксперимента (максимальная ошибка не превышала 1,5 ат.%) количество вошедших в состав твердого раствора титана, магния и ниобия соответствует расчетному значению, которое было заложено в шихту при росте кристаллов.

УДК 536.421+537.226.4

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ГЕРМАНАТА СВИНЦА (В.Г.Линник, А.Ю.Кудзин, В.М.Дуда, Днепропетровский гос. ун-т)

Применение монокристаллических сегнетоэлектриков лимитируется жесткими требованиями структурного совершенства кристаллов и воспроизводимости их физических свойств. Анализ литературы по вопросам получения кристаллов и исследования свойств сегнетоэлектрика $Pb_5Ge_3O_{11}$ показал существенное расхождение полученных результатов, которое следует связать с различиями в конкретных условиях выращивания. Исследованы особенности морфологии, реальной структуры и физических свойств германата свинца, возникающие при целенаправленном изменении условий синтеза шихты и роста кристаллов по методу Чохральского.

Методами термогравиметрии, дифференциально-термического и рентгеновского анализов установлен оптимальный режим синтеза шихты для выращивания кристаллов, предотвращающий образование посторонних фаз и обеспечивающий максимальный выход целевого соединения. Выявлены дефекты, обусловленные термодинамическими, кинетическими и методическими факторами: инородные включения (посторонние фазы, газовые пузырьки), неравномерное распределение примесей (полосчатая, латеральная и секториальная неоднородность распределения). Химическим травлением определена плотность дислокаций и особенности распределения их по различным кристаллографическим плоскостям в кристаллах с различным направлением роста. Разработаны способы предупреждения ростовых дефектов в германате свинца.

Вариация технологических приемов получения и обработки исследованных кристаллов отражается также на их оптических и диэлектрических характеристиках, о чем свидетельствуют спектры оптического пропускания и особенности доменной структуры, смещение температуры сегнетоэлектрического фазового перехода, изменение

параметров переполяризации, электропроводности, диэлектрической проницаемости и потерь, поведение соответствующих температурных зависимостей. Проведенные исследования подтвердили широкие технологические возможности повышения качества монокристаллических материалов, получаемых вытягиванием из расплава. Целенаправленное совершенствование условий выращивания германата свинца позволило получить оптически однородные кристаллы с низкой плотностью дислокаций и воспроизводимыми физическими свойствами.

УДК 537.226

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ СЛОЖНОГО СОСТАВА

(Т.М.Бочкова, Т.В.Крузина, В.Г.Поздеев, Днепропетровский гос. ун-т)

Интерес к сегнетоэлектрическим перовскитам сложного состава обусловлен уникальностью их свойств в области фазового перехода, осуществляющегося в широком температурном интервале. Так, например, исследуемые в данной работе $Na_{0,5}Bi_{0,5}TiO_3$ (NBT), $PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ (PMN), $PbZn_{1/3}Nb_{2/3}O_3$ (PZN) являются перспективными материалами оптоэлектроники. Однако применение данных соединений сдерживается отсутствием способа выращивания кристаллов больших размеров с хорошей воспроизводимостью результатов.

Физико-химические исследования твердофазных реакций при синтезе NBT, PMN и PZN позволили установить механизм фазообразования в процессе приготовления по керамической технологии шихты для выращивания кристаллов, установить характер влияния технологических факторов и подобрать составы и режимы приготовления шихты. Оптимизация технологии твердофазного синтеза позволяет получить чистую фазу NBT и PMN с небольшой примесью пироклора, но не обеспечивает получения соединения PZN со структурой перовскита. Изучение воздействия добавок $BaTiO_3$, $SrTiO_3$, $PbTiO_3$ на стабилизацию фазы PZN показало перспективность их использования.

NBT плавится конгруэнтно при $T \approx 1573$ К. Изучение процесса фазообразования при плавлении шихты PMN и PZN позволило установить механизм диссоциации исходного соединения, определить соотношение равновесия между фазами перовскита и пироклора и обеспе-

чало возможность выращивания кристаллов *PMN* вытягиванием на за-
травку из раствора в расплаве при $T \approx 1623$ К с достаточно высокой
скоростью вытягивания.

Режим выращивания данных высокотемпературных кристаллов име-
ет ряд специфических особенностей, так как его определяет не
только процесс кристаллизации соединений, но и нестабильность
теплового режима вследствие испарения компонентов расплава, а
также изменения соотношения фаз.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о наличии
значительной зависимости физических свойств перовскитов сложного
состава в области размытого фазового перехода от технологии полу-
чения.

УДК 621.59-181.4.001.573

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ

(Ю.В.Сиявяский, Н.Д.Пашков, Г.Е.Луганский, Московский энергетиче-
ский ин-т)

Низкотемпературные установки, действие которых основано на
электрокалорическом (ЭК) эффекте, могут дать существенный выигрыш
в эффективности, ресурсе работы и массогабаритных характеристиках
по сравнению с традиционными термомеханическими рефрижераторами.
В качестве рабочих тел ЭК-рефрижераторов целесообразно использо-
вать вещества с аномальными диэлектрическими свойствами - сегне-
тоэлектрики (СЭ).

В МЭИ разработан и изготовлен стенд, позволяющий измерять
адиабатный ЭК-эффект $\Delta T_{\text{э}}$ образцов в интервале температур $4,2 \pm$
 300 К при изменении напряженности внешнего поля E в диапазоне
 $0-100$ кВ/см. Исследовано более двадцати составов СЭ. Наиболее ин-
тересные результаты получены на титанате стронция и скандотантала-
те свинца (СТС).

ЭК-эффект в титанате стронция исследовался как на моно-,
так и на поликристаллических образцах. В обоих случаях стабильно
воспроизводимые $\Delta T_{\text{э}}$ не превышали $0,6$ К (в интервале $15-60$ К и
напряженности поля до 40 кВ/см). На значения $\Delta T_{\text{э}}$ оказывали влия-
ние как технология изготовления, так и качество исходного сырья.

Зафиксировано взаимодействие алюминиевых электродов с собственно керамикой, проявившееся как в их почернении, так и в характере протекания тока заряда и разряда.

Наибольшее значение ΔT_3 (1,8 К при $T = 290$ К и $E = 25$ кВ/см) наблюдалось в СТС. Отмечено несовпадение температур максимума ΔT_3 (точек Кюри) образцов из различных партий, что говорит о возможности целенаправленного их смещения за счет выбора исходного сырья и корректировки температурных режимов изготовления СТС. Напряженность поля пробоя элементов составляла на воздухе около 20 кВ/см, а в диэлектрической жидкости (керосине) — 40–50 кВ/см. Экспериментально подтверждено, что время процессов поляризации может практически не влиять на частоту работы установки, а ресурс работы — превышать 10 тыс.ч.

На базе СТС разработана модель ЭК-рефрижератора, которая в настоящее время исследуется. Для создания конкурентоспособных ЭК-установок необходим поиск новых материалов с $\Delta T_3 = 2-3$ К и малой стоимостью.

УДК 537.226.33

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СТРУКТУРЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ И $PbSc_{0,5}Nb_{0,5}O_3$

(А.А.Боков, М.А.Малицкая, И.П.Раевский, В.Ю.Шонов, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

В сложных перовскитах типа $A(B'B'')O_3$ отступления от идеальной периодичности кристаллической структуры могут быть связаны не только с наличием вакансий, дислокаций, но и с беспорядком в размещении различных ионов B' и B'' по одинаковым кристаллографическим положениям.

Исследованы кристаллы $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ и $PbSc_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ со структурой типа перовскита, выращенные методом массовой кристаллизации из раствора в расплаве $PbO-B_2O_3$ при температуре 1150–950 °С. Измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости ϵ выявили наличие размытого максимума, соответствующего сегнетоэлектрическому фазовому переходу. Для $PbSc_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ этот максимум наблюдался в районе 90 °С, для разных кристаллов $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ — в интервале от 40 до 140 °С.

Оптические наблюдения в скрещенных николях показали, что исследованные кристаллы макроскопически неоднородны - фазовый переход в разных частях кристалла происходит при разных температурах. Разброс температур перехода составляет около 30 К и объясняется различием степени упорядоченности расположения ионов Nb и $Sc(III)$ по кристаллографическим положениям. Отжиг кристаллов $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ при $600^\circ C$ приводит к установлению одинаковой по объему кристалла степени упорядоченности, в результате чего переход осуществляется в интервале 2-3 К. Макроскопические неоднородности степени порядка связаны с неоднородностями скорости упорядочения, которая в свою очередь зависит от концентрации точечных дефектов.

Показано, что путем варьирования скорости охлаждения после отжига и условий самого отжига можно получать кристаллы с макроскопически неоднородным объемным распределением степени упорядочения и различной степени размытия фазового перехода.

В некоторых кристаллах $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$, охлажденных после отжига с большой скоростью, при 230-300 $^\circ C$ наблюдался размытый максимум $\epsilon(T)$, величина и температура которого возрастали при увеличении скорости нагрева.

УДК 537.226.4

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ $BaTiO_3$ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ РАСПЛАВА СИСТЕМЫ $BaTiO_3 - KF$ НА ИХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

(А.Т.Кугай, В.Г.Таран, Е.Е.Шейко, Днепродзержинский индустриальный ин-т)

Исследованы сегнетоэлектрические свойства кристаллов $BaTiO_3$ в зависимости от скорости их выращивания. Последняя задавалась скоростью снижения температуры $\alpha = dT/dt$ маточного раствора $BaTiO_3 - KF$ и варьировала в пределах 3,6-43 К/ч.

Установлено, что изменение скорости кристаллизации сильно влияет на реверсируемую макроскопическую поляризацию $BaTiO_3$, значение которой убывает с ростом α . Можно описать наблюдаемую зависимость выражением

$$P_m = P_{m0} e^{-k\alpha},$$

где $P_{m0} = 11 \cdot 10^{-2}$ Кл/м² - макроскопическая поляризация образцов, соответствующая бесконечно малой скорости выращивания $\alpha = 0$; $\kappa = 6 \cdot 10^{-2}$ ч/К - константа.

Исследовано влияние скорости кристаллизации на доменную структуру, температурную зависимость характеристик переключения и диэлектрические свойства кристаллов $BaTiO_3$.

С уменьшением α уменьшается коэрцитивное поле образцов с 1,3 до 0,6 кВ/см, увеличивается доменный вклад в низкочастотную диэлектрическую проницаемость в полях больше коэрцитивного. Кристаллы, полученные медленной кристаллизацией ($\alpha < 12$ К/ч), действием постоянного поля $E = 3-4$ кВ/см можно легко привести в с-монокристаллическое состояние, сохраняющееся как угодно долго, что необходимо для их использования в нелинейной оптике.

Наблюдаемые результаты объясняются влиянием ростовых дефектов, формирующихся при различных режимах кристаллизации.

УДК 537.226.4

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТРИЧЕСКИХ И ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ $BaTiO_3$ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ РАСТВОРА В РАСПЛАВЕ СОЛЕЙ
(А.Т.Кугай, В.Т.Таран, Е.Е.Шейко, Днепродзержинский индустриальный ин-т)

Впервые изучено влияние скорости снижения температуры dT/dt маточного раствора $BaTiO_3$ -KF в процессе кристаллизации на линейные размеры, суммарную массу и количество двойников $BaTiO_3$ и взаимосвязь этих характеристик с целью увеличения размеров кристаллов.

Снижение температуры при выращивании проводилось по заданной программе со скоростями $dT/dt = 43,5; 24,3; 11,8; 3,6$ К/ч. Уменьшение скорости охлаждения маточного раствора в указанных пределах приводит к существенному увеличению линейных размеров l в 1,5-2 раза и толщины d в 3-4 раза образующихся (III) двойников $BaTiO_3$, достигая максимальных значений по длине $l = 25-30$ мм и толщине $d = 0,8-2,5$ мм, при этом количество образующихся в росте двойников сокращалось от 40-50 мелких при $dT/dt = 43,5$ К/ч до 3-5 крупных кристаллов при $dT/dt = 3,6$ К/ч. Двойники, полученные при малых скоростях кристаллизации, имеют

1001

завершенную естественную огранку, и характерные пустоты и включения маточного раствора в них отсутствуют, что позволило использовать полученные образцы $BaTiO_3$ для оптических исследований без специальной механической обработки.

В серии опытов (150 ростов) исследованы весовые параметры кристаллизации в системе $BaTiO_3$ -KF. Установлено, что при оптимальном соотношении шихта-растворитель суммарная масса кристаллов, полученных данным способом, не может превышать 50 % от массы загружаемого $BaTiO_3$. Составлены диаграммы, устанавливающие взаимосвязь между суммарной массой кристаллов и их линейными размерами при различных скоростях кристаллизации, что позволяет в отсутствие визуального наблюдения за ростом успешно прогнозировать его результаты.

УДК 537.226

РОМБОЭДРИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$

(В.В.Еремкин, В.Г.Смотраков, Е.И.Экнадиосянц, В.З.Бородин, А.Н.Пинская, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Уникальное сочетание электрофизических и электромеханических параметров твердых растворов $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ (ЦТС) определяет интерес к исследованию их монокристаллов.

Разработана методика выращивания кристаллов ЦТС с использованием температурного градиента. Полученные кристаллы имели изометрическую форму с огранкой по плоскостям $\{100\}$ перовскитового базиса и размером ребра до 3 мм, максимальные флуктуации состава не превышали 1,5 мол.% $PbTiO_3$.

Проведены прецизионные измерения параметров перовскитовой ячейки кристаллов с $x < 0,47$ в интервале температур от комнатной до 850 К. Установлено наличие на линии перехода в параэлектрическую фазу при $x = 0,22$ трикритической точки, совпадающей по положению с тройной точкой ($R3m, P4mm, Pm3m$).

Структурное совершенство кристаллов исследовалось методом двукристалльного спектрометра. Установлена значительно большая полигонизация кристаллов ЦТС по сравнению с $PbTiO_3$ и $PbZrO_3$, что связано с наличием в них локальных механических напряжений вследствие флуктуации состава. В ромбоэдрических кристаллах обна-

ружено существование упругих блоков, не различающихся параметрами элементарной ячейки и образующихся при сегнетоэлектрических фазовых переходах.

На основе моделирования возможных типов доменных структур и особенностей рельефа травления, выявляемых с помощью электронной микроскопии, разработана методика исследования доменной структуры кристаллов ЦТС. Детально изучены кристаллы с $x = 0,07$ и $0,35$. Для $x = 0,07$ преобладающей является структура 180-градусных доменов, пересекаемая отдельными 70- или 110-градусными клиньями. Последние локально группируются в серии. Для $x = 0,35$ характерно развитие систем клинообразных доменов, образование плосчатых структур с подструктурой тонких регулярных 70-(180)-градусных доменов, границы между которыми ориентируются под углом 45° к плоскостям типа $\{100\}$ и преломляются на них. Усложнение доменной структуры с ростом x обуславливается повышением степени дефектности кристалла при приближении к морфотропной фазовой границе.

УДК 535.32.325+537.226.4

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ, СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $LiNbO_3:Ti$

(В.В.Атучин, К.К.Зилинг, Ин-т физики полупроводников СО АН СССР,
г.Новосибирск)

Легирование $LiNbO_3$ титаном широко применяется для создания оптических волноводов и устройств на их основе. При этом изменение показателей преломления Δn и, в конечном итоге, модовый состав волноводных структур определяются свойствами твердых растворов $LiNbO_3:Ti$, в частности, сегнетоэлектрическими.

Для определения этих свойств выращены монокристаллы с соотношением $R = (Li/Li + Nb) = 0,482 \pm 0,0014$ и мольной долей $x = Ti/Ti + Nb$ в интервале $0 \leq x \leq 0,03$. Измерены зависимости от x температуры Кюри T_C , параметров решетки a и c , плотности ρ и сдвига линии поглощения, соответствующей колебаниями $O-H$ связей $\Delta \nu$. На зависимостях $a(x)$, $\rho(x)$ и $\Delta \nu(x)$ обнаружено изменение наклона при $x = x_0 = 0,006$. Показано, что этот эффект является следствием изменения химической формулы твердого раст-

вора. При $x < x_0$ формула имеет вид $(LiNbO_3)_{1-x}Ti_{\frac{3x}{2}}O_3$ а при $x > x_0$ - $(LiNbO_3)_{1-x}Ti_{(3-m)x}O_{3-(2m-3x)}$, $m=1,63$. Таким образом, происходит переход от полной кислородной подрешетки к структуре с анионными вакансиями.

На основании полученных данных вычислены вклады в Δn_e и Δn_o за счет изменения рефракции, T_C и параметров решетки a и c .

В результате проделанной работы:

оценена роль каждого из названных механизмов на различных участках зависимости $\Delta n(x)$;

показано достаточно хорошее численное соответствие вычисленных и измеренных Δn ;

объяснена обнаруженная ранее аномалия на зависимости $\Delta n_o(x)$;

впервые обнаружен и объяснен эффект изменения Δn_e и Δn_o в зависимости от R при одинаковых уровнях легирования и показано, что данный эффект является одной из основных причин невоспроизводимости оптических свойств волноводов.

УДК 573.226.4

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИМЕСИ ФОСФОРА НА КРИСТАЛЛЫ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА

(А.А.Дешковская, Е.В.Тарасевич, А.А.Генералова, В.В.Чернышева,
Минский радиотехнический ин-т)

Введение фосфора в кристаллы группы ТГС приводит к существенному изменению их свойств, что может быть использовано в целях улучшения эксплуатационных параметров элементов, полученных на основе этих кристаллов.

Традиционным способом введения примеси в сегнетоэлектрики является легирование их в процессе выращивания монокристаллов. Использование иных методов легирования и сравнение их эффективности несомненно представляет как теоретический, так и практический интерес. При этом рядом существенных преимуществ обладает метод ионно-лучевого легирования (ионная имплантация). Главными из них являются: а) возможность введения в выращенные кристаллы (или элементы на их основе) контролируемого количества примеси, причем, в случае необходимости, даже в локальные области образца; б) возможность введения примеси сверх предела растворимости.

Цель настоящей работы — сопоставление эффективности двух методов легирования фосфором кристаллов ТГС: метода ионной имплантации и легирования в процессе выращивания монокристаллов.

В качестве объектов исследования были выбраны две группы кристаллов ТГС. При выращивании кристаллов, из которых были изготовлены образцы первой группы, в маточный раствор вводилось заранее заданное количество ортофосфорной кислоты. Условия легирования образцов второй группы: энергия ионов P^+ $E = 30-100$ кэВ; доза ионов $D = 10^{14}-6,2 \cdot 10^{16}$ см⁻²; плотность тока не превышала 5 мкА/см²; температура комнатная.

Для решения поставленной задачи были использованы результаты изучения диэлектрических свойств объектов исследования, обладающие высокой информативностью в плане выявления эффективности способов легирования.

В результате анализа температурных зависимостей диэлектрической проницаемости (и ее обратной величины), а также результатов исследования петель диэлектрического гистерезиса в широком диапазоне частот установлено, что большей эффективностью с точки зрения управления физическими свойствами кристаллов семейства триглицинсульфата обладает метод ионно-лучевого легирования.

УДК 573.226.4

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ БОРА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ТГС

(Е.В.Тарасевич, Е.Ф.Андреев, А.А.Дешковская, И.П.Бондарик, Минский радиотехнический ин-т)

С целью уточнения критериев целенаправленного поиска сегнетоэлектрических материалов на основе аминокислот были проведены комплексные исследования кристаллов семейства ТГС с различными примесями. Предварительно проведенные исследования показали, что использование бора в качестве легирующего элемента кристаллов триглицинсульфата представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения. Были исследованы кристаллы, в которые примесь бора вводилась традиционным способом — в процессе их выращивания. При этом был выявлен ряд трудностей, одной из которых являлась невозможность вырастить достаточно однородные крупные

монокристаллы с высоким содержанием примеси; поэтому возможности управления физическими свойствами оказываются ограниченными. Расширить пределы управления физическими свойствами, а также успешно использовать возможность введения необходимого количества примеси в локальные области образца (или рабочего элемента) позволяет метод ионной имплантации.

С целью выяснения влияния способа введения примеси бора на физические свойства кристаллов семейства триглицинсульфата были проведены сравнительные исследования диэлектрических и пьезоэлектрических свойств образцов двух групп: I - примесь вводилась в кристаллы ТЭС в процессе выращивания путем добавления в маточный раствор необходимого количества борной кислоты; II - однозарядные ионы бора вводились в образцы методом ионно-лучевого легирования при определенных, теоретически обоснованных и эмпирически уточненных условиях.

Получены экспериментальные данные по изучению петель диэлектрического гистерезиса в широком диапазоне частот, температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и ее обратной величины, пьезоэлектрического коэффициента и его отношения к диэлектрической проницаемости.

Обсуждены физические механизмы, ответственные за характерные изменения свойств кристаллов ТЭС в результате легирования их бором. На основе полученных экспериментальных данных установлена более высокая эффективность воздействия примеси бора, введенного путем ионной имплантации.

УДК 543.422.27:548.4

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТРУКТУРЫ ПЕРОВСКИТА НА СПЕКТРЫ ЭПР (А.Г.Петренко, Г.В.Жмыхов, Донецкий гос. ун-т)

Применение метода ЭПР позволяет проводить изучение примесей в сегнетоэлектрических материалах, для чего разработана установка на базе спектрометра ЭПР (РЭ13 и "Минск-12") и многоканального анализатора импульсов (АИ-4096). С выхода спектрометра полезный сигнал через измерительный усилитель поступает на преобразователь, в качестве которого применен программируемый генератор Г6-31. Смесь сигнала с шумом преобразуется на выходе преобразователя в

частотно-модулированный сигнал. Для реализации процедуры многократного накопления спектров в матрице долговременного запоминающего устройства анализатора составлена специальная программа. Размер области памяти для накопления спектра может выбираться в следующей последовательности: 256, 1024, 4096. После прохождения требуемого количества циклов накопления информационный массив через специально разработанный блок сопряжения поступает в ЭВМ для последующей обработки и расчета параметров спектра.

Исследовано влияние состава цирконата-титаната свинца (ЦТС), концентрации примесей ионов железа и режима термообработки на спектры ЭПР. Показано, что в спектрах существуют три линии с фактором 6, 4, 2, относительные интенсивности которых неоднозначным образом зависят от состава. Линии с фактором 4 и 6 возрастают с ростом концентрации железа, в то же время с фактором 2 слабо зависят от их концентрации.

Из анализа ширины линии определены среднестатистические расстояния между ионами железа. Сделано предположение, что спектры ЭПР отражают различные типы микроструктуры в составе ЦТС: комплексы ионов железа с кислородной вакансией; ионы железа, локализованные в стеклофазе; ионы железа в областях с кубической локальной симметрией.

Линия с фактором 2 наблюдалась при температуре порядка 4,2 К также и в образцах, не содержащих примесей железа. Предполагается, что в этом случае она обусловлена парамагнитными дефектами типа кислородных вакансий.

УДК 548.55:535

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ α - $LiIO_3$

(В.В.Азаров, С.В.Алчангян, Л.В.Атрошенко, Б.Р.Жолдыбеков, Н.В.Ходеева, Е.В.Щербина, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Легирование монокристаллов, выращиваемых из водных растворов, в частности α - $LiIO_3$, широко применяется при разработке сред с заданными физическими свойствами. Встраивающиеся в кристаллическую решетку инородные ионы создают дефекты структуры, влияющие на рост монокристаллов, оптическое и структурное их совершенство.

Изучены монокристаллы α - $LiIO_3$, легированные ионами кобальта, никеля, натрия, рубидия. Монокристаллы иодата лития, легированные примесями, получены методом испарения кислых, слабо пересыщенных растворов, концентрация примеси в которых изменялась от 10^{-4} до 10^{-12} мас.%. Исследовано влияние концентрации примесей на морфологию и структурное совершенство монокристаллов иодата лития. Обнаружено влияние примесей на скорость роста кристаллов вдоль определенных кристаллографических направлений. Так, например, с увеличением концентрации никеля возрастает скорость роста кристалла вдоль направления $[0001]$. Установлено, что в процессе выращивания из растворов примесные ионы входят в решетку кристаллов, не изменяя своего валентного состояния. Изучены спектры оптического поглощения легированных кристаллов α - $LiIO_3$ в диапазоне 0,3–4 мкм.

Показано, что вводимые примеси существенно влияют на величину лазерной прочности монокристаллов иодата лития. Исследовано влияние примесей и их концентраций на возникновение радиационных дефектов под воздействием электронного пучка с различной скважностью. Обсуждается модель радиационных дефектов в монокристаллах иодата лития.

УДК 548.5:546.32*185-384.1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ, РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА
И СВОЙСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИПА KDP
(В.Г.Васильчук, М.И.Кольбаева, В.И.Сало, С.М.Селин, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

В связи с созданием мощных лазерных систем появилась потребность в монокристаллах KDP и $DKDP$ больших размеров. В настоящей работе обобщены результаты экспериментальных исследований по изучению физико-химических условий получения высокосовершенных монокристаллов KDP и $DKDP$ с линейными размерами до 300 мм.

Изучено влияние дефектов кристаллической структуры различной природы (дислокаций, напряжений, примесей) на величину объемной лазерной прочности, оптические и электрические свойства крупногабаритных монокристаллов KDP и $DKDP$. Установлена количественная зависимость величины объемной лазерной прочности от величины

внутренних напряжений, плотности дислокаций и концентрации примесей в кристаллах.

Обнаружено, что ионы инородных примесей, в частности ионы хрома, не обладающие полосами собственного поглощения на длине волны воздействующего лазерного излучения ($\lambda = 1,06$ мкм), способны существенно снижать величину объемной лазерной прочности кристаллов. Предложен механизм снижения лазерной прочности монокристаллов *KDP*, легированных ионами хрома.

Исследование влияния плотности дислокаций на величину порога объемного лазерного разрушения показало, что до значений их плотности $\rho = 4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ наблюдается приблизительно линейное уменьшение порога. При дальнейшем увеличении величина порога разрушения перестает изменяться. Максимальное значение лазерной прочности характерно для бездислокационных кристаллов.

Показано также, что при увеличении остаточных внутренних напряжений в кристаллах объемная лазерная прочность существенно понижается. Установлено, что основным направлением повышения лазерной прочности монокристаллов *KDP* и *DKDP* является снижение уровня концентрации ионов примесей до $5 \cdot 10^{-6}$ мас.%, как создающих в монокристаллах центры окраски с максимумами поглощения на рабочей длине волны, так и не создающих центров окраски, но способствующих снижению их механической прочности (прежде всего тех, для которых вероятность вхождения велика).

УДК 548.55:546.32 I85-384.I:536.4

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА РЕАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЦЕНТРИЧНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТИПА *KDP*

(Л.В.Атрошенко, В.Г.Васильчук, М.И.Кольбаева, В.И.Сало, С.М.Селин, Н.В.Ходеева, Е.В.Шербина, НИО "Монокристаллпреактив", г.Харьков)

Проблема повышения оптической однородности и степени структурного совершенства водорастворимых монокристаллов после их выращивания путем термической обработки является весьма актуальной. Большой интерес представляет отжиг монокристаллов *KDP* и *DKDP* с различной степенью дейтерирования вблизи начала их высокотемпературного фазового перехода. Эта температура была определена термографическим методом и подтверждена микроструктурными исследованиями.

Исучено влияние отжига на объемные и поверхностные характеристики материала. Исследована аномальная двуосность, дислокационная структура, оптическое поглощение и измерена зависящая от них величина объемной лазерной прочности. Сравнение топограмм двуосности кристаллов до и после отжига показало, что наблюдается закономерное уменьшение как величины разориентации плоскостей оптических осей ($2V$) в 2-3 раза, так и уменьшение деформации коноскопических фигур при исследовании кристаллов поляризационно-оптическим методом. Наряду со значительным уменьшением аномальной двуосности в процессе отжига наблюдалось существенное повышение однородности монокристаллов, что проявлялось в упорядочении расположения плоскостей оптических осей. Переход от параллельной и смешанной ориентаций к диагональной является общей характерной чертой отожженных кристаллов.

Наиболее важный результат предложенной авторами термообработки - повышение устойчивости кристаллов в 2-3 раза к лазерному воздействию. Проведено также изучение изменения микроструктуры в тонком приповерхностном слое. Показано, что в приповерхностном слое наблюдается изменение дислокационной структуры, механической прочности и хрупкости. Установлено, что после отжига значительно уменьшается поглощение кристаллов в УФ-области спектра, связанное с наличием в кристаллах примесей. Рассматривается механизм влияния отжига на примесное поглощение кристаллов.

УДК 548.55:546.32'185-384.1:539.318

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ДИГИДРОФОСФАТА КАЛИЯ

(Л.В.Атрощенко, А.И.Колодяжный, М.И.Кольбаева, В.И.Сало, Н.В.Ходеева, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Одним из наиболее распространенных способов целенаправленного изменения структурного совершенства и физико-химических, в том числе и механических свойств монокристаллов является их легирование в процессе выращивания. Исследованы монокристаллы KDP , выращенные из водных растворов со скоростью 0,5 мм/сутки вдоль направления $[001]$, легированные примесью свинца, хрома, брома и йода.

Микрохрупкость кристаллов оценивалась по длине трещин (ℓ), возникающих вокруг отпечатка микроиндентора на грани (001) вдоль направлений типа [110] и [100].

Методом избирательного травления исследовалась дислокационная структура в месте локального приложения сосредоточенной нагрузки. Микроскопическим методом и путем построения концентрационной зависимости установлено, что предел растворимости примеси свинца при комнатной температуре составляет $1,9 \cdot 10^{-3}$ мас.%. Зона разрушения вокруг отпечатка микроиндентора значительно сокращается по сравнению с нелегированным кристаллом. Измеренная величина \bar{G} для таких кристаллов на 60 % превосходит соответствующие значения для номинально чистого кристалла.

Предел растворимости примеси хрома при комнатной температуре в монокристаллах *KDP* составляет $6,3 \cdot 10^{-3}$ мас.%, а величина микротвердости H_{μ} , измеренная на грани (001) при $P = 100$ мН, уменьшается до $132 \cdot 10^7$ Па. Дислокационная розетка вокруг отпечатка микроиндентора практически отсутствует, имеются лишь единичные дислокации без образования дислокационных лучей вдоль определенных кристаллографических направлений.

Примесь хрома вызывает заметное повышение хрупкости кристаллов *KDP*. Длина трещин ℓ вокруг отпечатка микроиндентора возрастает с повышением в кристаллах содержания хрома. Это свидетельствует о том, что величина \bar{G} легированных хромом кристаллов уменьшается по сравнению с нелегированными.

Была предпринята попытка легировать кристаллы *KDP* примесями иода и брома.

УДК 548.55:546.32'185-384.1:539.318

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ДТГС

(В.В.Азаров, Л.М.Кравченко, С.М.Селин, Ф.С.Орленко, Е.В.Щербина, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Кристаллы дейтерированного триглицинсульфата (ДТГС) находят широкое применение в качестве прочувствительных элементов в различных приборах регистрации инфракрасного излучения. Для расширения возможности их применения ставится задача стабилизации их спонтанной поляризации и расширения диапазона рабочих температур.

Одним из возможных способов достижения данных задач является легирование кристаллов ДТТС различными примесями.

Исследованы условия получения кристаллов ДТТС, содержащие одновременно примесь замещения (*L*- α -аланин) и примесь внедрения (фосфат ионы). Получены кривые растворимости для исследуемых систем в области рабочих температур. С увеличением фосфат-иона в системе LATTC-р и LADTTC-р растворимость возрастает во всем исследованном температурном интервале, а с повышением степени дейтерирования растворимость уменьшается.

Выращивание дважды легированных монокристаллов ТТС и ДТТС проводилось на основе известной методики выращивания кристаллов ТТС на стержневой затравке, вырезанной длинной стороной вдоль направления [001], методом понижения температуры в сегнетофазе.

Были получены монокристаллы размерами до 40 мм в сечении, перпендикулярном направлению [001]. Отмечены особенности габитусов легированных кристаллов. Определены коэффициенты вхождения фосфат-ионов для различных концентраций примеси в растворе. Исследованы температурные зависимости пьезоэлектрического коэффициента и диэлектрической проницаемости образцов, приготовленных из выращенных монокристаллов. Проведено сопоставление пьезо- и диэлектрических параметров "чистых", легированных *L*- α -аланином и дважды легированных кристаллов ТТС и ДТТС. Значение показателя качества, равного отношению пьезокоэффициента к диэлектрической проницаемости для дважды легированных кристаллов выше, чем для сравниваемых кристаллов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования кристаллов LATTC-р и LADTTC-р в качестве материала пьезоэлектрических приемников излучения со стабильной доменной структурой.

УДК 548.5:546.32 I85-384.I

СКОРОСТЬ РОСТА, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ *KDP* И *DKDP*
(Л.В.Атрощенко, В.Г.Васильчук, В.И.Сало, Н.В.Ходеева, НИО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Монокристаллы *KDP* и *DKDP* в настоящее время являются одним из основных материалов, применяемым для создания крупногаба-

ритных нелинейных оптических преобразователей лазерного излучения во вторую и третью гармоники.

В ходе решения проблемы получения однородных по всему объему монокристаллов *KDP* и *DKDP* сечением свыше 200x200 мм одной из основных задач является значительное увеличение скорости роста по сравнению с традиционной $\sim 0,5$ мм/сут, применяемой обычно для роста монокристаллов из водных растворов.

Исследовано структурное совершенство, оптическая однородность, распределение примеси по объему кристаллов и некоторые другие физико-химические свойства монокристаллов *KDP* и *DKDP* размером до 120x120x120 мм, выращенных со скоростями 8-40 мм/сут по известным методикам.

Проведен анализ результатов исследования аномальной двуосности поляризационно-оптическим методом, а также определены величины внутренних напряжений по значению угла разориентации между оптическими осями (2V) в плоскости (001) монокристаллов *KDP* и *DKDP*, выращенных с большими скоростями. Как правило, для монокристаллов *KDP* и *DKDP*, выращенных на точечной затравке, значение 2V не превышает $10'$, и плотность дефектов на порядок ниже, чем у монокристаллов, выращенных гранью призмы или пирамиды. Изучены как вертикальные срезы (100) и (010), так и горизонтальные по плоскости (001).

Двумя независимыми методами - микроскопическим и фотолуминесцентным - получено совпадение данных о существовании границы и ее расположении в объеме кристалла между секторами роста призмы и пирамиды. Показана зависимость плотности дефектов от скорости роста. Отмечено явно выраженное секториальное строение монокристаллов в зависимости от условий выращивания.

УДК 548.55:546.32 I85-384.I:536.4

СВЯЗЬ РЕАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ *DKDP* С ИХ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К РАЗРУШЕНИЮ ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

(Л.В.Атрощенко, М.И.Колыбаева, А.Н.Проценко, В.И.Сало, С.М.Селин,
Н.В.Ходеева, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Изучение характерных дефектов, возникающих в процессе выращивания, распределения их в объеме кристалла, а также влияние этих дефектов на устойчивость монокристаллов *DKDP* к внешним

воздействиям является актуальной задачей в связи с использованием этих кристаллов в качестве широкоапертурных преобразователей лазерного излучения большой мощности.

Изучена взаимосвязь между структурным совершенством, внутренними напряжениями монокристаллов *DKDP* и их устойчивостью к разрушению при воздействии температуры и внешних силовых полей. Структурное совершенство монокристаллов оценивалось по величине аномального двулучепреломления и плотности ростовых дислокаций. В зависимости от значений этих параметров предел прочности на сжатие вдоль оси $[001]$ при комнатной температуре монокристаллических образцов составлял от 0,58 до $1,2 \cdot 10^7$ Па. Для проведения исследований использовались образцы, которые имели форму прямоугольного параллелепипеда с соотношением высоты к стороне квадратного основания $h/a = 2,6$. На основании результатов, полученных экспериментально и расчетным путем, установлено, что суммарная величина термоупругих напряжений, возникающих при воздействии на кристалл *DKDP* смены температуры (в области 0 ± -70 °C) со скоростью более 5 °C/мин и внутренних напряжений, характерных для реального кристалла, находится на пределе, либо превышает предел прочности, что и приводит к разрушению кристалла.

С помощью фрактографических и структурных исследований поверхностей сколов образцов изучен характер разрушения и определены причины растрескивания монокристаллов. Показано, что при понижении температуры от комнатной до -60 °C изменяется характер микроскалывания, а именно: возрастает вероятность разрушения по плоскости (001), и уменьшается вероятность разрушения по плоскости (100).

УДК 548.55:546.34*15:537.226.86:543.24

ВКЛЮЧЕНИЯ МАТОЧНОГО РАСТВОРА И КОНЦЕНТРАЦИЯ ВОДЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ИОДАТА ЛИТИЯ

(Л.В.Атрощенко, А.Б.Бланк, Л.М.Никитина, Я.А.Обуховский, Н.В.Ходеева, НПО "Монокристаллреактив", г.Харьков)

Иодат лития (α - $LiIO_3$) гексагональной модификации является достаточно интересным и перспективным пьезоэлектрическим материалом, физические характеристики которого в значительной степени

определяются оптической однородностью и структурным совершенством выращенных монокристаллов.

Впервые проведено исследование дефектности и структурного совершенства монокристаллов $\alpha\text{-LiIO}_3$ и измерено содержание воды в жидкофазных включениях, присутствующих практически всегда в кристаллах, от степени кислотности раствора (pH), из которого производится выращивание. Монокристаллы $\alpha\text{-LiIO}_3$ были выращены методом контролируемого испарения растворителя со скоростью вдоль направления $[000\bar{1}]$ 0,5 мм/сут в интервале $0,8 < \text{pH} < 11$. Суммарное содержание воды определяли прямым титрованием реактивом Фишера метанольного экстракта навески кристалла $\alpha\text{-LiIO}_3$ с точностью $\pm 0,07$ мас.%. Показано, что между структурным совершенством, светорассеянием и оптической однородностью монокристаллов, с одной стороны, и количеством воды в жидкофазных включениях, с другой — существует несомненная взаимосвязь. Минимальное содержание воды 0,14 мас.% имеют кристаллы, выращенные при $\text{pH} \approx 2$. Заметное повышение содержания воды отвечает $\text{pH} \approx 3$ и составляет 0,32 мас.%. При $4 < \text{pH} < 6,5$ наблюдается постепенное уменьшение концентрации жидкофазных включений и соответственно содержание в них воды. Полученные нами данные согласуются с результатами других исследователей, изучавших зависимость оптической однородности монокристаллов $\alpha\text{-LiIO}_3$ от pH.

Сделаны выводы о том, что различное содержание воды в кристаллах связано с протонизацией иодат-ионов в кислых средах и гидролизом ионов лития в щелочных. Показаны пути повышения эксплуатационных характеристик монокристаллов $\alpha\text{-LiIO}_3$ путем улучшения их качества, в частности, за счет снижения содержания рассеивающих центров на жидкофазных включениях.

УДК 623.685.4

УПРАВЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ
И КОЭФФИЦИЕНТОМ ПРОЗРАЧНОСТИ СВЧ-ВОЛН

(Т.Н.Вербицкая, В.В.Демехин, В.Г.Пономаренко, Ю.М.Поплавко, Донецкий гос. ун-т)

Создание новых материалов, свойствами которых можно управлять, является важной задачей СВЧ-техники. В работе решена задача

синтеза плоскостойкой среды, электродинамические характеристики которой изменяются под действием управляющего электрического поля в нужном направлении. Одно из возможных применений такой среды — использование в качестве радиопоглощающего материала. При этом кроме обычных требований малости коэффициента отражения по мощности и управляемости свойств наложено ограничение на толщину при максимальной широкополосности СВЧ-диапазона. Рассматриваемая среда состоит из активных (управляемых) и пассивных (неуправляемых) слоев.

В качестве управляемого используется вариконд с низким значением тангенса диэлектрических потерь, в качестве неуправляемых элементов — слой из феррита и резистивных полупроводящих пленок. Рассмотрены структуры с одним и двумя управляемыми слоями. Коэффициенты отражения и прозрачности по мощности рассчитаны для случая нормального падения СВЧ-волн. При определении коэффициента отражения считалось, что плоскостойкая среда располагалась на металлическом экране.

Показано, что малых значений коэффициента нелинейности варикондов достаточно для непрерывного управления коэффициентами отражения и прозрачности по мощности в широкой части СВЧ-диапазона. Уменьшение диэлектрических потерь приводит к значительному расширению области частот СВЧ-диапазона, где возможно управление коэффициентами отражения и прозрачности. Установлена связь между суммарной толщиной плоскостойкой среды, диапазоном длин волн и уровнем диэлектрических потерь.

Приведены сравнительные характеристики с одним и двумя управляемыми слоями. В расчетах использовались известные рекуррентные соотношения для входных проводимостей и импедансов. При этом все электродинамические параметры привязаны к конкретным сегнетоэлектрикам.

УДК 537.226

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ЭЛАСТОГРАММ АКУСТООПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(С.А. Попов, А.П. Лазарев, Днепропетровский гос. ун-т)

Эластограммы акустооптических материалов (полученные, например, методом Шеффера-Бергмана) содержат большой объем информации

об акустооптических свойствах. Однако их обработка стандартными методами (фотографирование с последующим измерением) вносит дополнительные погрешности и сопряжена с большими временными затратами.

Задача автоматизации обработки эластограмм решена с использованием универсальной микро-ЭВМ "Электроника-60М", имеющей гибкую операционную систему РАФОС, язык высокого уровня Паскаль, наиболее подходящий для написания данного типа программных средств.

Система регистрации и обработки изображений выполняет следующие функции: ввод полутонного изображения в оцифрованном виде в ЭВМ, обработку полученного массива данных графической информации, вывод результатов обработки в виде графиков на устройство документирования.

В качестве датчика изображения использована промышленная телекамера КТ-3. Преобразование аналогового сигнала ВИДЕО в цифровую форму осуществляется специальным АЦП с временем преобразования 100 нс.

Алгоритм преобразования изображения из полутонного в двухградационное базируется на том, что полутонное изображение представляет собой "гребень", вершины которого расположены вдоль линий эластограммы. Обход по вершине "гребня" производится посредством треугольной матрицы, одна из вершин которой является последней опорной точкой, зафиксированной на вершине "гребня".

Программная обработка эластограмм позволяет получить тонкую, замкнутую кривую, проходящую через точки максимальной интенсивности исходной эластограммы. Данный способ обработки эластограмм позволяет оперативно получать информацию о координатах и интенсивности каждой точки эластограммы, на основании которой строятся зависимости угла дифракции или интенсивности от направления рассеяния.

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ДАВЛЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ ИХ
НА ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛАХ
НИОБАТА ЛИТИЯ

(И.Ф.Канаев, В.К.Малиновский, А.М.Пугачев, Ин-т автоматики и
электрометрии СО АН СССР, г.Новосибирск)

Исследован электрический отклик кристаллов при воздействии на него мощного короткого импульса света ($\lambda = 0,69$; $I, 08$; $0,54$ мкм; $\tau_u = 30$ нс). Выделен вклад отдельных механизмов переноса заряда (фотогальванический, пиро- и пьезоэффекты) в наблюдаемые фототоки.

Выявлено, что при однородном освещении кристаллов ниобата лития гигантским импульсом лазера, возникают дополнительные деформации, отличные от тех, которые вызваны тепловым расширением. Так, в нелегированных кристаллах $LiNbO_3$ вдоль оси C генерируется отрицательное давление, а в $LiNbO_3:Fe$ - положительное (что соответствует тепловому).

Обнаружен электрический отклик, повторяющий форму лазерного импульса, связанный с возбуждением нестационарных локальных полей. Исследовано влияние давления на фотогальванический ток. Показано, что при увеличении давления, вызванного как чисто механическим способом, так и фотоиндуцированного, происходит изменение фотогальванических коэффициентов.

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ПЕРОВСКИТОПОДОБНОЙ КЕРАМИКЕ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
(С.А.Гриднев, О.Н.Иванов, О.В.Дыбова, Политехнический ин-т,
г.Воронеж)

В керамике $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (δ - концентрация кислородных вакансий) в области температур 200-250 К наблюдаются аномалии некоторых физических величин: теплоемкости, скорости и затухания звука и т.д. Ряд авторов считает, что эти аномалии связаны с фазовым переходом ФП, причем в работе [1] на основе рамановских исследований сделано предположение, что данный переход является структур-

ным и сопровождается изменением симметрии $R\bar{3}m$ (центросимметричный класс симметрии) $\rightarrow R\bar{3}m2$ (полярный класс симметрии). В работе [2] наблюдали аномалии диэлектрической проницаемости, характерные для сегнетоэлектрических ФП второго рода приблизительно в той же области температур и объясняли их переходом в дипольно-упорядоченное состояние.

С целью получения информации об аномальных свойствах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в области предполагаемого ФП проведены измерения инфранизочастотных модуля сдвига G и внутреннего трения Q^{-1} в интервале температур 150–320 К.

Обнаружены пики Q^{-1} при температурах 200 и 250 К и соответствующие им аномалии на кривой $G(T)$. Установлено, что высоты пиков Q^{-1} возрастают с уменьшением измерительной частоты от 25 до 8 Гц, увеличении амплитуды деформации от $5 \cdot 10^{-5}$ до $17 \cdot 10^{-5}$ и при приложении к образцу постоянного сдвигового механического напряжения величиной 10^7 Па. Такое поведение можно объяснить в рамках механизма потерь механической энергии при ФП второго рода, основанном на представлении об образовании новой фазы в виде мелкодоменной структуры на протяженных дефектах и ее последующей эволюции [3].

Таким образом, представленные в работе данные не противоречат предположению о ФП второго рода в керамике $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в окрестности температуры 250 К.

Л и т е р а т у р а

1. ZHANG M. et al. // Solid State Commun. - 1988. - Vol.65, N 6. - P.487-490.

2. ПИСЬМА в Журнал экспериментальной и теоретической физики / В.М.Ишук, Л.А.Квичко, В.П.Семиноженко, В.Л.Соболев, Н.А.Спиридонов. - 1989. - Т. 49, вып. 6. - С. 341-342.

3. J.Phys.Soc.Japan/ S.A.Gridnev, B.M.Darinskii, V.I.Kudryash, L.A.Shuvaiov. - 1980. - Vol.49, Suppl.B. - P.16-19.

СТРУКТУРА, УПРУГИЕ, ПЬЕЗО- И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ
КЕРАМИЧЕСКОГО $LiTaO_3$

(Л.А.Резниченко, А.В.Турик, В.А.Чернышков, Л.А.Шилкина, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Впервые методом горячего прессования получены образцы керамики $LiTaO_3$. Параметры элементарной ячейки (тип структуры искаженный ильменитовый, сингония ромбоэдрическая) при комнатной температуре $a = 5,465 \text{ \AA}$, $\alpha = 56^\circ 16'$ практически совпадают с соответствующими параметрами монокристаллов, что свидетельствует об образовании стехиометрических соединений. Сводка измеренных величин плотности ρ , упругой податливости S_{II}^E , упругого модуля c_{33}^D пьезомодуля d_{33} и диэлектрической проницаемости $\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$ механически свободного образца керамики $LiTaO_3$ приведена в таблице. Здесь же для сравнения приведены величины S_{II}^E , c_{33}^D , d_{33} и $\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$, рассчитанные путем усреднения соответствующих констант однодоменных монокристаллов.

Данные	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	$S_{II}^E \cdot 10^{12}$, м ² /Н	$c_{33}^D \cdot 10^{-11}$, Н/м ²	$d_{33} \cdot 10^{12}$, Кл/Н	$\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$
Эксперимента	6,56	9,40	1,31	5,0	36,0
Расчета	7,45	4,44	2,71	8,0	45,3

Как видно из таблицы, экспериментальная упругая податливость S_{II}^E керамики значительно больше, а модуль упругости c_{33}^D значительно меньше рассчитанных величин, что, по-видимому, может быть объяснено переориентацией упругих диполей, создаваемых ионами Li^+ , находящимися в асимметрично расположенных минимумах двухминимунного одночастичного потенциала.

Пьезомодули керамики зависят от режима поляризации; максимальная достигнутая величина $d_{33} = 5 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н значительно меньше величины $d_{33} = 8 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, рассчитанной при условии полной реализации всех возможных переориентаций доменов, что свидетельствует о неполной поляризации керамики. Экспериментальная величина $\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$ после введения поправки на пористость практически совпадает с рассчитанной, т.е. доменно-ориентационный вклад в величину ϵ керамики пренебрежимо мал.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА АНИЗОТРОПИЮ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ
ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

(И.И.Беспальцева, Е.А.Кузнецов, М.Д.Катрич, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

Технология изготовления резонаторов из пьезокерамики ЦТС-35 для частотно-селективных устройств предполагает индивидуальную поляризацию и механическую обработку для доводки на резонансную частоту. Разработана групповая технология получения резонаторов, при которой заготовка поляризуется и затем распиливается на резонаторы с заданной частотой. Для корректировки технологического процесса важно исследовать влияние поляризации на прочностные свойства пьезокерамики и, в частности, выяснить, возникает ли при этом анизотропия.

С этой целью применен метод индентирования с использованием критериев: твердости H , вязкости разрушения K_{IC} и критического размера трещины c^* . Для оценки анизотропии хрупкого разрушения введен коэффициент анизотропии, равный отношению длин трещин около отпечатка индентора, развивающихся в направлениях, перпендикулярном и параллельном напряженности поля E .

Обнаружено, что в пьезокерамике ЦТС-35 в неполяризованном состоянии анизотропия прочностных свойств отсутствует. После поляризации длина трещины около отпечатка в направлении, совпадшем с E , уменьшается, а в направлении, перпендикулярном E , - увеличивается. Для объяснения полученных результатов рассматриваются сжимающие и растягивающие напряжения, возникающие при поляризации в ЦТС-35.

Для сравнения аналогичные испытания были проведены для сегнетомягкой пьезокерамики ЦТС-8, при этом анизотропия после поляризации не была обнаружена, что объясняется возможностью релаксации возникших во время поляризации напряжений в сегнетомягком материале.

ДИАГНОСТИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ЭХО-ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ПРЕЦИЗИОННОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ
(В.Н.Осадчий, А.И.Троянский, Ю.В.Титенко, Ю.Е.Сухина, НПО "Сатурн",
г.Киев)

Основным материалом при конструировании гибридных микросхем СВЧ, твердотельных устройств СВЧ являются поликристаллические и монокристаллические диэлектрики. Диапазон функций, выполняемых диэлектриками, довольно широк. Высокодобротные диэлектрики находят применение при создании диэлектрических и микрополосковых резонаторов, конденсаторов, фильтров, микрополосковых линий.

Требования к качеству сегнетоэлектрических материалов непрерывно повышаются. Параметры сегнетоэлектрических материалов зависят от состава керамики, технологических режимов ее получения, температурного диапазона эксплуатации и других трудно учитываемых факторов. Поэтому актуальной является разработка простых методов измерения физических параметров в широком температурном интервале.

Цель работы - разработка методики исследования сегнетоэлектрических материалов эхо-импульсным методом с прецизионным изменением температуры образца.

Керамическая технология позволила синтезировать ряд многокомпонентных систем. Среди поликристаллических материалов в СВЧ-технике широко применяются материалы на основе титаната бария с различными модифицирующими и синтезирующими добавками.

По мнению авторов, в настоящее время недостаточно уделяется внимание акустическим способам исследования сегнетоэлектрических материалов.

Одним из перспективных методов определения физических параметров сегнетоэлектрической керамики (скорости распространения звука, температуры фазовых переходов и т.д.) является эхо-импульсный метод с прецизионным изменением температуры.

Исследование керамики на основе титаната бария - станната кальция с $\epsilon = 10\ 000$ было проведено эхо-импульсным ультразвуковым методом с компенсацией фазовых погрешностей. Эхо-импульсная ультразвуковая установка состоит из генератора-синтезатора низкочастотного прецизионного ГЗ-110; измерителя скорости ультразвука

ИС-3; пьезодатчика, соединенного с звуководом, на котором закреплен образец, и регистрирующей аппаратуры (осциллографов) СІ-І22. Для прецизионного изменения температуры в процессе измерения образец помещен в камеру термостатирования с электронной регулируемой температурой.

Прецизионное изменение температуры в процессе эхо-импульсной локации материалов со сложными составами позволяет выявить изменяющиеся процессы (полиморфные превращения, фазовые переходы, подвижности дефектов и т.д.). Введение методов электронного дифференцирования сигнала дает возможность более точно установить особые точки в изменяющихся процессах.

Замеры сделаны по первому и третьему эхо-отражениям. Средняя скорость нагрева образца составляла 0,2 град/мин. Эксперимент проведен в диапазоне температур от 27 до 100 °С. Изменения скорости распространения продольной ультразвуковой волны выполнены через 1 °С. В указанном диапазоне температур величина скорости распространения ультразвуковой волны монотонно возрастает. Относительное изменение скорости распространения ультразвуковой волны в материале при нагреве на 1 °С составляло от 1 до 0,5 %, а чувствительность метода измерения – не хуже $5 \cdot 10^{-5}$.

В работе исследована зависимость скорости распространения ультразвука (V_3) от температуры при ее прецизионном изменении для керамики Т-10000. При исследовании изменяющихся температурных процессов установлено наличие на зависимости $V_3 = f(T)$ точек перегиба, что может быть объяснено фазовыми переходами в материале.

Использование эхо-импульсного ультразвукового метода с прецизионным изменением температуры для исследования сегнетоэлектрических материалов перспективно и может применяться для технологического контроля материалов.

УДК 666.655:539.8

ОСТАТОЧНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

(Ю.В.Дашко, Н.Я.Егоров, Л.М.Кацнельсон, Ростовский гос. пед. ин-т,
г. Ростов-на-Дону)

Исследованы остаточные механические напряжения (ОМН), вызванные существованием в сегнетокерамике особых элементов микрострук-

туры - конгломератов. Конгломераты кристаллитов характеризуются следующими свойствами: размер составляет от единиц до сотен размеров зерен; границы между конгломератами по своим свойствам существенно отличаются от границ между зернами внутри конгломерата; на границах присутствует стеклофаза. Показано, что ОМН в сегнетокерамике возникают из-за разности коэффициентов теплового расширения между материалом конгломерата и стеклофазой, а также из-за спонтанной деформации, вызванной сегнетоэлектрическим фазовым переходом. Состав и количество стеклофазы оказывают существенное влияние на формирование ОМН в сегнетокерамике, что, в свою очередь, приводит к изменению электрофизических характеристик указанных материалов. ОМН определялись методом индентирования, по зависимости длины трещины, образованной при вдавливании индентора Виккерса от нагрузки на индентор, а также рентгеновским методом. Приведены результаты температурных зависимостей ОМН в различных сегнетокерамиках. Обнаружено, что имеется температура, где ОМН меняет свой знак, т.е. напряжения сжатия переходят в напряжения растяжения. При этой температуре испытывают аномальное поведение и некоторые электрофизические характеристики сегнетокерамики (например, зависимости логарифма электропроводности от обратной температуры испытывают излом). Приведенные выше соображения можно положить в основу способов управления электрофизическими и прочностными характеристиками сегнетокерамики с помощью введения стеклообразующих добавок.

Исследовались ОМН в сегнетокерамике, вызванные поляризацией и механической обработкой поверхности. Показано, что и в этом случае ОМН, возникающие на структурном уровне конгломератов кристаллитов, оказывают значительное влияние на свойства (особенно прочностные) сегнетокерамики.

УДК 537.226.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТСНВ-I ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ

(А.В.Шильников, Е.Г.Надолинская, Е.А.Кузнецов, А.И.Бурханов, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

В работах [1, 2] показано, что для изделий из пьезокерамики ЦТСНВ-I, состав которой соответствует морфотропной фазовой границе,

значения электрофизических параметров и их стабильность во времени зависят от соотношения сосуществующих сегнетоэлектрических фаз: тетрагональной и ромбоэдрической. Воздействие температуры и сильных постоянных электрических полей приводит к изменению соотношения фазовых объемов, время релаксации фазового состава после таких воздействий достигает 80 сут.

Исследовалась температурная эволюция комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$ поляризованных изделий из пьезокерамики ЦТСНВ-1, изготовленных в различное время при циклическом воздействии температуры $T_{\text{комн.}} \rightarrow T_{\text{азот.}} \rightarrow T_{\text{комн.}}$ при измерении ϵ^* в ультраслабых полях $E_{\text{н}} \leq 0,1 \text{ В см}^{-1}$ в диапазоне $10^{-1} - 10^4 \text{ Гц}$ в квазистатическом температурном режиме.

Установлено, что при $T > -60 \text{ }^\circ\text{C}$ для всех образцов значения диэлектрической проницаемости ϵ' при охлаждении выше, чем при нагревании. Максимальная разница $\Delta\epsilon'$ для ходов "нагрев" и "охлаждение" 20-30 % наблюдается вблизи $0 + -10 \text{ }^\circ\text{C}$. После каждого температурного цикла начальные значения ϵ' уменьшаются на 6-25 % в зависимости от времени выдержки при $T = \text{const}$ в области температур $-10 + +10 \text{ }^\circ\text{C}$. При завершении температурного цикла при $T_{\text{комн.}}$ значения диэлектрических потерь ϵ'' и $\text{tg}\delta$ в 2-3 раза превышают начальные, но после старения образцов в течение 24 ч возвращаются к исходным.

Характер диэлектрической нестабильности свидетельствует о наличии большого числа неустойчивых фазовых границ, играющих наряду с доменными стенками роль стоков для точечных дефектов в объеме кристаллитов. Концентрация межфазных границ зависит от температуры и максимальна, по-видимому, вблизи $0 \text{ }^\circ\text{C}$. При $T = -60 \text{ }^\circ\text{C}$ высокотемпературная тетрагональная фаза исчезает.

Л и т е р а т у р а

1. ТЕЗИСЫ докл. IX Всесоюзн. совещ. по сегнетоэлектричеству / В.В.Василовский и др. - Ростов н/Д, 1979. - Ч. П. - С. 88.
2. ЛУЧАНИНОВ А.Г., ШИЛЬНИКОВ А.В. // Изв. АН СССР, сер. физ. Т. 47, № 4. - С. 816.

К РАСЧЕТУ АКТУАТОРОВ ИЗ ПЬЕЗОПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КЕРАМИКИ (В.М.Богомольный, Московский технологический ин-т)

Долговечность многослойных актуаторов (биморфного типа) ограничена 10^8 циклами деформаций. Кроме того, они характеризуются нелинейной зависимостью деформаций от электрического поля. Возможность устранения этих недостатков и создания источников перемещений на основе изгибных деформаций однородной тонкой пластины из пьезополупроводниковой керамики (ППК) показана в работе [1]. В приэлектродной зоне возникает неравномерно распределенная по толщине ППК поляризация и соответственно деформация, которая вызывает изгиб актуатора в целом. При этом перемещения актуатора можно увеличить конструктивно за счет предварительного изгиба пластины из ППК [2].

В известных работах [3, 4] рассмотрены одномерные задачи расчета пьезоэлектрических преобразователей в виде стержней и пластин из полупроводниковых материалов и не учтена неравномерность распределения механических напряжений по их толщине. Приведены трехмерные соотношения электроупругости для пьезопреобразователей в виде пластин и оболочек из ППК.

Расчет пологой изогнутой пластины из ППК сводится к решению дифференциального уравнения шестого порядка, которое получено через функции А.Н.Крылова. Из решения обратной краевой задачи для уравнения, характеризующего распределение электрической индукции по толщине, получена оценка зоны влияния контакта металл - полупроводник n -типа.

Л и т е р а т у р а

1. UCHINO K., YOSHIZAKI M., KASAI K. Monomorph actuators using semiconductive ferroelectrics // Japan. J.Appl.Phys. - 1987. - Vol.26, N 7. - P.1046-1049.

2. ТОНКАЯ техническая керамика / Под ред. М.Янагиды. - М.: Металлургия 1986. - 286 с.

3. ВИКТОРОВ И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука. - 286 с.

4. ГУЛЯЕВ Ю.В., КОЗОРЕЗОВ А.Г., МАНСФЕЛЬД Г.Д. Собственные моды колебаний в пьезополупроводнике в переменном электрическом поле // Радиотехника и электроника. - 1987. - Т. 32, вып. 4. - С. 808-819.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ И СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ СЕГНЕТО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(Я.С.Богданов, С.В.Гавриляченко, А.Я.Данцигер, Р.У.Девликанова,
НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Проведены исследования основных электрофизических параметров высокостабильных сегнето-пьезоэлектрических поликристаллических материалов на основе твердых растворов четырехкомпонентных систем сложных оксидов: $Pb(Ti, Zr, Nb_{2/3}Mg_{1/3}, Nb_{2/3}Zn_{1/3})O_3$ и $Pb(Ti, Zr, Nb_{2/3}Mg_{1/3}, Nb_{2/3}Co_{1/3})O_3$, полученных методами горячего прессования и обычной керамической технологии.

Известно, что, кроме состава, одним из важнейших факторов, определяющих температурную стабильность параметров материалов, в частности резонансной частоты, является их микроструктура, особенно размер зерна, уменьшение которого усиливает влияние межзеренных границ на их физические свойства^{*}.

С целью установления корреляции между микроструктурой высокостабильной поликристаллической керамики, ее электрофизическими свойствами и технологическими режимами ее изготовления в работе в широких пределах варьировались величины давления формования заготовок (P_3) при обычной технологии (от $65 \cdot 10^6$ до $40 \cdot 10^7$ Па) и температуры спекания ($T_{СП}$) керамики при обычной технологии и горячем прессовании (от 1050 до 1220 °С).

Установлено, что для всех исследуемых составов обеих систем повышение величины P_3 снижает оптимальное значение $T_{СП}$, обеспечивающее высокую стабильность параметров материалов в широком диапазоне температур: от -60 до +85 °С. При этом границы зерен становятся более четкими и облегчается процесс структурообразования. Оптимальные размеры зерна - порядка 2 мкм.

Проведено также исследование влияния сырья: реактивного, технического и титаната циркония (ЦТ) - на свойства указанных составов. Установлено, что применение ЦТ снижает оптимальное значение $T_{СП}$ при обоих методах спекания на 25-35 °С, а также увеличивает относительную диэлектрическую проницаемость материалов при сохранении высокой стабильности параметров.

^{*}Изв. АН СССР. Неорганические материалы / Е.Г.Фесенко, А.Я.Данцигер, О.Н.Разумовская и др. - 1980. - Т. 16, № 12. - С. 2247-2250.

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ СЕГНЕТО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ

(С.В.Гавриляченко, А.Я.Дандигер, Я.С.Богданов, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Получены новые пьезокерамические материалы для использования в высокочастотных фильтрах. Они обладают низкой диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$, высокими значениями механической добротности Q_M и стабильности резонансной частоты в широком интервале температур, а также отношения c_{33}^D/c_{44}^E .

Исследования показали, что повышения значений c_{33}^D/c_{44}^E удастся достичь за счет снижения величины c_{44}^E , т.е. снижения сегнетожесткости твердого раствора (высокостабильные твердые растворы обладают обычно повышенной степенью сегнетожесткости). Величина c_{33}^D в рассматриваемых составах изменяется крайне слабо, поэтому для получения указанных материалов были использованы твердые растворы средней сегнетожесткости.

Один из полученных материалов (ПКР-74) спекался по обычной керамической технологии (ОТ), второй (ПКР-75) - методом горячего прессования (ГП). В таблице приведены основные параметры этих материалов, а также промышленных аналогов ЦТС-35 и ЦТС-35у.

Материал	Способ спекания	Параметры					
		$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	K_p	K_t	Q_M	$df_0/f_t, \%$ -60 ÷ 85 °C	c_{33}^D/c_{44}^E
ПКР-74	ОТ	800	0,53	0,45	500	≤ 0,3	6,2
ПКР-75	ГП	630	0,55	0,46	700	≤ 0,25	6,4
ЦТС-35	ОТ	900-1100	0,42-0,50	-	550-850	≤ 0,5	5,0-5,4
ЦТС-35у	ОТ	950-1150	0,48-0,50	-	500-800	≤ 0,5 -25 ÷ 85 °C	5,3-6,4

Как видно из таблицы, полученные материалы существенно превосходят промышленные аналоги по температурной стабильности резонансной частоты толщинной моды колебаний f_t в интервале температур -60 + +85 °C, не уступая им по величине c_{33}^D/c_{44}^E . Кроме этого, они имеют более низкую диэлектрическую проницаемость, что важно при использовании их на высоких частотах, и более высокие значения коэффициента электромеханической связи K_p .

ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СЕГНЕТОКЕРАМИКУ С ГИПОТЕТИЧЕСКИМ СТЕКЛО-ДИПОЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ

(Г.М.Константинов, В.А.Сервули, Я.Б.Пономаренко, М.Ф.Куприянов,
А.Д.Феронов, Ростовский гос. ун-т, г.Ростов-на-Дону)

Изучены структурные фазовые переходы в сегнетопъезокерамике ПКР-7М, вызываемые изменением температуры. Состав материала соответствует области морфотропного перехода. Установлено, что с повышением температуры содержание ромбоэдрической фазы постепенно уменьшается и при температуре около 140 °С наблюдается переход от двухфазного состояния в тетрагональную фазу, который не сопровождается аномальными изменениями структурных параметров. Дальнейшее повышение температуры приводит к фазовому переходу в кубическую параэлектрическую фазу при 170 °С. Особенностью данного материала является существование выше температуры максимума диэлектрической проницаемости (ϵ/ϵ_0) дополнительной кристаллической фазы с большой степенью микродеформаций помимо основной, параэлектрической. Расположение рефлексов на дифрактограммах позволяет интерпретировать ее как перовскитовую фазу с большой концентрацией структурных дефектов. С ростом температуры содержание дополнительной фазы постепенно уменьшается.

При изучении поляризации материала ПКР-7М установлена значительная пьезоактивность сегнетокерамики, поляризованной сильным внешним полем при температуре более, чем на 25 °С превышающей температуру максимума $\epsilon(T)/\epsilon_0$ (в параэлектрической области) и в закороченном состоянии переведенной через температуру сегнетоэлектрического перехода до комнатной температуры. Коэффициент электромеханической связи K_p поляризованной таким образом керамики составляет 50-70 % от K_p , достигаемого при поляризации до насыщения в сегнетоэлектрической фазе, пьезомодуль d_{31} составил при указанном воздействии поля в параэлектрическом состоянии 30-50 % от максимального. Проведены оценки остаточной поляризации при обычной поляризации и при воздействии поля в области сосуществования параэлектрической и сильнодеформированной перовскитовых фаз.

Полученные результаты подробно рассматриваются с позиции размытия фазового перехода и существования стекло-дипольного состояния в исследуемом материале.

РАСЧЕТ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И УПРУГИХ КОНСТАНТ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

(А.И.Чернобабов, А.В.Турик, Ростовский гос. ун-т, г.Ростов-на-Дону)

Метод самосогласования [1], применявшийся ранее для расчета эффективных констант керамики $BaTiO_3$ по известным (измеренным) константам составляющих ее кристаллитов сферической формы, распространен на поликристаллы, состоящие из эллипсоидальных кристаллитов произвольной симметрии.

С помощью решений задач об электрическом и упругом равновесии эллипсоидального включения в однородной среде-матрице [1, 2] устанавливается связь между соответствующими компонентами электрических и упругих полей внутри отдельного кристаллита и в окружающей его среде (отмечены верхним индексом "о"):

$$\begin{aligned} E_n - E_n^0 &= \alpha_{nm} (D_m^0 - D_m) ; \\ \sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0 &= \beta_{ijkl} (\xi_{kl}^0 - \xi_{kl}) , \end{aligned} \quad (1)$$

где α и β - факторы деполяризации и денатражения, зависящие от эффективных свойств поликристалла и геометрии кристаллита; E , D - напряженности и индукции электрических полей; σ и ξ - упругие напряжения и деформации. При этом индукции D , D^0 и деформации ξ , ξ^0 включают пьезоэлектрические части в дополнение к частям, индуцированным соответственно электрическим полем и механическим напряжением.

Уравнения (1) совместно с известными электроупругими соотношениями

$$\begin{aligned} D_n &= \epsilon_0 \epsilon_{nm}^E E_m + d_{nkl} \sigma_{kl} ; \\ \xi_{ij} &= s_{ijkl}^E \sigma_{kl} + d_{mij} E_m \end{aligned} \quad (2)$$

образуют систему из 18 уравнений с 18 неизвестными E , D , σ , ξ . Усредненные по возможным ориентациям кристаллографических осей кристаллитов значения этих величин дают возможность рассчитать эффективную диэлектрическую проницаемость ϵ^* и упругую податливость S^* поликристалла по формулам

$$\epsilon_{nm}^* = \langle D_n \rangle / \langle E_m \rangle, \quad S_{ijnl}^* = \langle \epsilon_{ij} \rangle / \langle \sigma_{nl} \rangle. \quad (3)$$

Предложенная схема применена для вычисления констант конкретных сегнетоэлектрических поликристаллов.

Л и т е р а т у р а

1. MARUTAKE M. // J.Phys.Soc.Japan. - 1956. - Vol.II, N 8. - P.807-814.

2. KRÖNER E. // Z.Phys. - 1958. - B.151, N 4. - S.504-518.

УДК 539.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

(В.А.Акопьян, А.Ф.Литвин, НИИ механики и прикладной математики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону; НИИ "Фонон", Москва)

Проблема температурной стабильности характеристик имеет важное значение для многих типов пьезопреобразователей. Для их расчета требуется весь набор констант пьезокерамики, из которых наименее изучены константы упругости особенно при криогенных температурах. В частности, ранее обнаруженные аномалии на температурной зависимости модуля упругости керамики твердых растворов пока еще не объяснены*.

Исследованы зависимости констант упругости и механической добротности пьезокерамики составов ЦТЭС-1 и ЦТЭС-3, в двух диапазонах температур: криогенных и положительных, приближающихся к температуре фазового перехода.

Показано, что температурные зависимости констант S_{11}^E и Q_M пьезокерамик исследованных составов имеют особенности, идентичные обнаруженным ранее в твердых растворах ЦТС*.

Особенности, обнаруженные на зависимостях коэффициентов податливости S_{11}^E и добротности Q_M как в области положительных,

*Яффе Б., Кук У., Яффе Г. Пьезоэлектрическая керамика. - М.: Мир, 1974.

так и криогенных температур объясняются подвижностью дефектов, тесно связанных со смещением доменных границ. На характер зависимостей $S_{11}^E(T)$ и $Q_M(T)$ оказывает существенное влияние напряженность возбуждающего электрического поля. Показано также, что о динамике доменных границ можно судить по изменениям механических и диэлектрических потерь.

Полученные результаты позволили объяснить обнаруженные особенности на температурных зависимостях констант, а также оценить температурные границы стабильности характеристик упругости исследованных составов.

УДК 537.226

НЕОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОСТИ В СЕГНЕТОКЕРАМИКЕ ПКР-II
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ
(Т.В.Бирикова, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров, НИИ физики Ростовского
гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Устойчивость поляризованного состояния керамики к внешним воздействиям (например, температуры) может быть определена, в частности, устойчивостью доменных границ к тепловому воздействию, их подвижностью и способностью изменять свои положения под действием температуры.

С помощью пьезоэлектрических методов измерения исследовалась сегнетокерамика ПКР-II в области температур, значительно удаленной от точки Кюри ($T_K = 270^\circ\text{C}$).

Исследуемые образцы имели толщину 300 мкм, вожатые серебряные электроды, поляризовались при $140-90^\circ\text{C}$ полем $40 \text{ кВ}\cdot\text{см}^{-1}$ в течение 40 мин. Затем образцы подвергали циклическому воздействию температуры (нагреву и последующему охлаждению) с линейной скоростью $6 \text{ К}\cdot\text{мин}^{-1}$. Термоциклирование осуществлялось от $T_{\text{норм}}$ до конкретной конечной температуры в интервале $(120-200^\circ\text{C})$ до установления равновесной доменной структуры. Перед термоциклированием некоторые из исследованных образцов подвергали термообработке - длительному (в течение 2-5 ч) изотермическому отжигу с разомкнутыми ($R_H = \infty$) или с закороченными ($R_H = 24 \text{ кОм}$) контактами. Величина остаточной поляризованности P_r оценивалась по кривым квазистатического пиротока.

Экспериментально установлено влияние длительного отжига и режима внешней нагрузки на стабильность поляризованного состояния в активном элементе из сегнетокерамики ПКР-II при повышенных температурах в области 120-200 °С. Показано, что термообработка с замкнутыми контактами приводит к резкому снижению P_r (на 30 %), а затем на протяжении 2-3 циклов возрастает и достигает значений, соответствующих равновесному состоянию. В случае отжига с разомкнутыми контактами, или без предварительной термообработки, P_r резко уменьшается и через несколько циклов достигает 50 % первоначальной величины.

Полученные результаты находят свое объяснение в представлении о взаимодействии доменной стенки с объемными зарядами, а также пирозарядом, выделенным при нагревании и локализованным на границах зерен, когда во время термообработки $R_H = \infty$.

УДК 537.226

ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОСТИ,
ФОРМИРУЮЩЕЕСЯ ПРИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОКЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
(В.А.Бабанских, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров, НИИ физики Ростовского
гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Методом локальной динамической пироактивности проведено исследование пространственного распределения остаточной поляризованности в поляризованных сегнетокерамических элементах.

Установлено формирование вблизи незлектродированных граней, наряду с составляющей остаточной поляризованности, ортогональной электродированным граням $P_{r\parallel}$, также наличие составляющей остаточной поляризованности $P_{r\perp}$, ортогональной направлению поляризуемого поля. Показано, что направления $P_{r\perp}$ в прианодной и катодной областях противоположны друг другу, а формирующееся пространственное распределение поляризованности зависит от величины междуэлектродного расстояния, состояния поверхности, параметров режима поляризации. В тонких пластинах при неэквивалентности противоположных незлектродированных граней, создаваемой различной механической обработкой поверхностей, распределение $P_{r\perp}$ определяется степенью неэквивалентности противоположных незлектродированных граней. В направлении, ортогональном незлектродированным

граням, при наличии такой неэквивалентности формируется $P_{r\perp}$ на системы "встречных доменов" или распределение $P_{r\perp}$, целиком определяемое наиболее дефектной неэлектродированной гранью.

Наличие эффекта объясняется преобладанием инжекции носителей заряда в приповерхностные области неэлектродированных граней (и экстракции из них) над инжекцией (и экстракцией) носителей в объемные области, а также преобладающим захватом инжектированных носителей на уровне в приповерхностных областях.

Обнаруженный эффект формирования пространственного распределения поляризованности в сегнетокерамических элементах в процессе их поляризации следует учитывать при поляризации пьезокерамики для измерения пьезоконстант в соответствии с ГОСТом 12370-80 (М.: Издательство стандартов, 1980. - 30 с).

УДК 531.228.1

РАДИАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ДИСКОВ

(В.З.Бородин, Б.И.Алешин, Е.И.Ситало, А.В.Приходьков, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Рассмотрена задача о радиальных колебаниях тонкого пьезоактивного диска, аксиально-симметричного по своим свойствам, в котором пьезомодуль d_{31} является параболической либо ступенчатой функцией радиуса. При этом предполагается, что диэлектрические и упругие константы материала диска не зависят от координат.

Решение уравнения колебаний ищется в виде $u = u(r)e^{i\omega t}$, $E = E_0 e^{i\omega t}$, где u - радиальные смещения, E - возбуждающее электрическое поле частоты ω . При произвольной зависимости $d_{31}(r)$ уравнение для $u(r)$ имеет вид:

$$r^2 \frac{d^2 u}{dr^2} + r \frac{du}{dr} + (\kappa^2 r^2 - 1) u = r^2 \frac{d\mu}{dr} E_0, \quad (1)$$

где $\kappa^2 = \rho \omega^2 S_{11}^E (1 - \theta^2)$; $\mu(r) = (1 + \theta) d_{31}(r)$; ρ - плотность материала; S_{11}^E - податливость при постоянном поле, θ - коэффициент Пуассона. В случае параболической зависимости $d_{31}(r) = [d_{31}(a) - d_{31}(0)] r^2 / a^2 + d_{31}(0)$ (a - радиус диска), уравнение (1) представляет собой неоднородное уравнение Бесселя, которое необходимо дополнить граничными условиями $u(0) \neq \infty$, $T_{rr}(a) = 0$,

где T_{rr} — механическое напряжение. Для ступенчатой зависимости $d_{31}(0 < r < t) = d_{31}^{(1)}$, $d_{31}(t < r < a) = d_{31}^{(2)}$, $(0 < t < a)$, уравнение (I) принимает тот же вид, что и в случае однородного диска с граничными условиями $u(0) \neq \infty$, $T_{rr}(-t) = T_{rr}(+t)$, $u(-t) = u(+t)$, $T_{rr}(a) = 0$.

Для двух рассмотренных выше случаев найдены решения уравнения (I), на основе которых получены выражения для полной комплексной проводимости. Показано, что условия резонанса в обоих случаях имеют тот же вид, что и для однородного диска. Исследованы условия подавления резонансов на различных гармониках. В случае параболической зависимости $d_{31}(r)$ это условие имеет вид:

$$\theta = \frac{2(1+\epsilon)}{2(1+\epsilon) - \chi^2}, \quad \theta = \frac{d_{31}(a)}{d_{31}(0)} \quad (2)$$

Для ступенчатой зависимости условие подавления можно представить в виде:

$$\theta = \frac{\lambda J_1(\lambda x)}{\lambda J_1(\lambda x) - J_1(x)}, \quad \lambda = \frac{t}{a}, \quad \theta = \frac{d_{31}^{(2)}}{d_{31}^{(1)}} \quad (3)$$

В соотношениях (2), (3) $\chi = \kappa a$ — корень уравнения $\chi J_0(\chi) - (1-\epsilon)J_1(\chi) = 0$, соответствующий частоте резонанса, $J_n(\chi)$ — функция Бесселя n -го порядка.

Теоретические результаты использованы для интерпретации экспериментальных данных, полученных при исследовании колебаний дисков на основе сегнетокерамики с неоднородной поляризованностью.

УДК 537.226.4

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

(В.З.Бородин, В.А.Дорошенко, М.М.Пикалев, Э.М.Пикалев, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Исследуются явления нелинейного электромеханического резонанса в пьезокерамике и характер их изменений в результате воздействия сильного постоянного электрического поля. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) снимались как в процессе действия постоянного поля, так и после его завершения.

Ступенчатое изменение величины электрического поля вызывает дестабилизацию доменной структуры, что отражается в увеличении податливости материала (понижение резонансной частоты) и росте затухания (понижение добротности). При выдержке под постоянным полем АЧХ изменятся со временем вследствие релаксационных процессов установления некоторого квазиравновесного состояния доменной структуры.

Полученные экспериментальные результаты анализируются с точки зрения модели вязкоупругих колебаний доменных стенок под действием развиваемых в резонаторе механических напряжений*. Динамика доменной структуры характеризуется двумя усредненными параметрами - релаксационной частотой ν и относительной податливостью \mathcal{T} . При исследовании зависимостей этих параметров от степени поляризованности сегнетокерамики установлено, что для слабо поляризованной керамики характерны повышенные значения ν и относительно низкие величины \mathcal{T} . По мере роста степени поляризованности уменьшается количество 180-градусных доменных стенок, закрепляющих 90-градусные стенки, вследствие чего податливость доменной структуры становится значительно более высокой, что сопровождается понижением релаксационной частоты.

УДК 537.226.4+539.3.001

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЬЕЗОКОМПОЗИТОВ В СИЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

(А.А.Греков, С.О.Крамаров, А.А.Куприенко, И.С.Рез, Ростовский-на-Дону гос. пед. ин-т)

Потребности техники, электроники, гидроакустики, пьезотехники в материалах с наперед заданными свойствами привели к появлению новой отрасли материаловедения - созданию пьезоэлектрических композитных материалов. Эти материалы оказались более эффективными по сравнению с традиционной пьезокерамикой при использовании в высокочувствительных гидрофонах, в широкополосных ультразвуковых преобразователях и дефектоскопах, в медицинской акустике.

*Дорошенко В.А., Пикалев Э.М., Пикалев М.М. // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1989. - т. 53, № 7. - С. 1419.

Однако в наиболее полной мере основные преимущества пьезокомпози- тов - высокая пьезочувствительность и гидростатический пьезомодуль - можно реализовать в гидропьезоэлектрических генераторах, исполь- зующих энергию морских волн.

В современных погруженных пьезогенераторах для преобразова- ния энергии волнений моря в электрическую энергию используется набранный в слой поливинилиденфторид. Плотность снимаемой энергии для такого преобразователя около $1 \text{ Вт/кг}^{\text{ж}}$.

Анализ моделей пьезокомпозитных материалов типа I-3, 3-I, 2-2 показал, что использование в погруженных пьезогенераторах композитов на основе поливинилиденфторида и пьезокерамики ЦТС позволяет повысить плотность снимаемой электрической энергии бо- лее, чем на порядок.

Проведен расчет плотности электрической энергии для компози- та при различных пьезоэлектрических наполнителях в матрице из поливинилиденфторида, в изотропной непьезоэлектрической матрице из эластомера, эпоксидной смолы и стекла. Даны оценки этого пара- метра для ряда пьезокерамик. Показано, что путем выбора концен- трации пьезоактивного компонента (ЦТС) можно оптимизировать наибо- лее важные пьезохарактеристики композитов. Характерной особеннос- тью пьезокомпозитов является то, что максимум пьезосвойств дости- гается при малой концентрации ЦТС.

Обсуждаются различные конструктивные решения погруженных пьезогенераторов.

УДК 573.226

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(Ю.Г.Синдаев, В.Э.Юркевич, Ростовский-на-Дону гос. пед. ин-т;
Ростовский-на-Дону инженерно-строительный ин-т)

Электрическая прочность сегнетоэлектрических материалов за- висит от многих факторов: температуры, размеров и формы образца и электродов, частоты изменения приложенного напряжения, скорости роста амплитуды напряжения и др. Влияние большинства этих факторов

* Taylor G.W. and Burns J.R. // First USA-USSR Seminar on Ferroelectricity. 9-14 July 1989. - Univ.Colorado, USA. - P.75.

на электрическую прочность сегнетоэлектрических материалов (особенно сегнетокерамики) не поддается строгой количественной оценке вследствие недостатков существующих теорий и неполноты экспериментальных данных. Поэтому в настоящем докладе сделана попытка провести системный анализ проблемы "электрическая прочность сегнетокерамики".

Большая часть работы посвящена исследованию формирования представления об электрической прочности сегнетокерамики. Рассмотрение электрической прочности начинается на уровне монокристалла (т.е. когда возникает понятие о проводимости) и заканчивается на уровне поляризованного элемента из сегнетокерамики с нанесенными электродами.

Выделены и описаны различные факторы, влияющие на электрическую прочность на различных технологических уровнях (монокристалл, порошок, керамика и т.д.).

Проведенный анализ данных об электрической прочности сегнетоэлектрических кристаллов и керамики позволил выработать систему направлений воздействия на величину электрической прочности сегнетокерамических элементов.

Полученные схемы представления об электрической прочности и системы направлений воздействия допускают расширение по мере пополнения знаний об электрическом пробое. Дополнительные факторы и явления могут быть внесены в схемы на соответствующих уровнях.

УДК 546:541.12

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОКСИДА СВИНЦА

И РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ

НА СВОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ТИПА ЦТС

(П.В.Ким, В.А.Фотиев, В.Ф.Балакирев, НПО "Аврора", г.Волгоград;
Ин-т металлургии УрО АН СССР, г.Свердловск)

Обсуждено влияние химического состава оксида свинца (Pb_3O_4 и β - PbO марки ЦДА) и режимов термообработки на стадии получения исходного материала для изделий в условиях действующего многотоннажного производства. Целью работы явилось увеличение выхода изделий с минимально допустимыми расхождениями электрофизических параметров.

При использовании Pb_3O_4 однофазный твердый раствор ЦТС получен после термообработок при 1300 К. В случае использования $\beta-PbO$ до 920 К обнаружена фаза титаната свинца ТС. Выше 920 К зафиксировано появление ЦТС и цирконата свинца ЦС; при дальнейшем повышении температуры уменьшается содержание титаната свинца. В области 920–1170 К содержание ЦТС увеличивается, при этом количество ЦС уменьшается и при 1170 К ЦС не фиксируется. В отличие от схемы образования ЦТС из Pb_3O_4 , TiO_2 и ZrO_2 применение $\beta-PbO$ приводит к появлению однофазного материала ЦТС заданного состава и структуры уже при 1170 К. Резкая интенсификация процесса образования ТС в случае использования Pb_3O_4 связана с повышением реакционной способности свинецсодержащего компонента. К началу формирования ЦТС в этом случае в системе присутствуют более крупные зерна ТС, что оказывает определяющее влияние на механизм и кинетику образования твердого раствора ЦТС. Образование крупных зерен ТС в дальнейшем определяет необходимость более длительного времени выдержки и повышение температуры для синтеза ЦТС.

Предложен вариант термообработки исходной смеси, позволяющий улучшить величину дисперсии при сохранении технических параметров материалов ЦТС 19, 21, 22, 23, 24; ЦТЭС-3, ЦТСНВ-1, соответствующих ГОСТу 13927-80.

Для ЦТС-35 по разработанной энергосберегающей технологии получены $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0 = 1100$, $tg\delta = 0,025$, $K_p = 0,40$, $\rho = 7,10 \text{ г/см}^3$, $\delta\epsilon_{33}^T/\epsilon_0 = 6$.

УДК 666.655(088.8)

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ПЬЕЗОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА-НИОБАТА ВИСМУТА СО СМЕШАННО-СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

(Л.В.Корзунова, И.В.Гордиенко, З.П.Новикова, Рижский политехнический ин-т)

Сегнетоэлектрик $Bi_7Ti_4NbO_{21}$ (ВТН) со смешанно-слоистой перовскитной структурой обладает высокой температурой Кюри ($T_K = 870^\circ\text{C}$), в связи с чем он представляет интерес как материал для разработки пьезодатчиков с широким рабочим интервалом.

Керамика ВТН спекается при 1100 $^\circ\text{C}$, плотность достигает 91 % от теоретической. Электронно-микроскопические исследования

подтверждают наличие в керамике замкнутых пор. Микроструктура ВТН сформирована из характерных для слоистых соединений висмута продолговатых зерен, имеющих форму тетрагональной призмы. С учетом связи внешней формы кристалла и симметрией его элементарной ячейки установлено, что отношение большей стороны грани зерна C к меньшей A пропорционально числу перовскитоподобных слоев n , и эта величина приблизительно в два раза меньше отношения параметров c/a , поскольку число формульных единиц Z в элементарной ячейке всех известных слоистых соединений висмута равно 4. Керамика ВТН пьезоактивна до $+500^\circ\text{C}$, величина пьезомодуля $d_{33} = 7 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н.

С целью улучшения комплекса свойств и повышения стабильности пьезомодуля d_{33} , керамика ВТН модифицирована оксидами MoO_3 и WO_3 ; соединением со слоистой перовскитоподобной структурой $Bi_{1/3}V_5TiO_{34}$, а также перовскитоподобными добавками $(BaBi)(MgNb)O_6$ и $(BaBi)(MnNb)O_6$. Все добавки, введенные сверх стехиометрии, существенно снизили температуру спекания керамики ВТН и повысили плотность до 98 % от теоретической. Перовскитоподобные добавки и титанат-ниобат висмута с хромом позволили увеличить d_{33} до $15 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н и расширить рабочий интервал керамики ВТН до $+700^\circ\text{C}$ [1, 2].

Л и т е р а т у р а

1. А.с. № 1203075 (СССР) / Л.В.Корзунова, Р.З.Клейне, И.В.Тризна и др. // БИ № 1. - 1986.
2. А.с. № 1390220 (СССР) / Л.В.Корзунова, З.П.Новикова, Э.Ж.Фрейдфельд и др. // БИ № 15. - 1987.

УДК 541.12+669.295.691.5

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНАТА БАРИЯ НА ТИТАНЕ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

(П.С.Гордиенко, С.В.Гнеденков, О.А.Хрисанфова, Т.М.Скоробогатова,
Ин-т химии ДВО АН СССР, г.Владивосток)

Принципиально новым способом создания многофункциональных покрытий на вентильных металлах и их сплавах является метод микродугового оксидирования (МДО), основанный на анодной поляризации

материала в растворах электролитов при потенциалах, вызывающих микроплазменные разряды на поверхности анода. Метод обеспечивает получение равномерного покрытия с хорошей адгезией к подложке на изделиях сложной конфигурации. Установлено, что при оксидировании металлов в микродуговом режиме, в процессе которого реализуются высокие температура (до 10000 К), давление (до 10^2 МПа), изменяя состав электролита, его pH, концентрацию, напряжение формирования, можно получать на поверхности анода пленки определенного состава. Найдены условия синтеза покрытия на титане, состоящего из титаната бария. Поверхностные слои формировали на технически чистом титане марки ВТ1-0 в щелочном растворе, содержащем катионы бария. Согласно данным рентгенофазового анализа параметры решетки $BaTiO_3$, находящегося в пленке ($a = b = 4,00 \text{ \AA}$; $c = 4,03 \text{ \AA}$, $d = 2,31 \text{ \AA}$), полностью соответствуют параметрам титаната бария с тетрагональной кристаллической решеткой, обладающего сегнетоэлектрическими свойствами. Весовая концентрация элементов покрытия, определенная методом электронного микроспектрального анализа, также соответствует соединению $BaTiO_3$. Толщина ($\sim 30-40 \text{ мкм}$), морфология пленки, некоторая концентрационная неоднородность элементов, входящих в состав покрытия, находятся в соответствии с современными представлениями о кинетике роста МДО-покрытий, сформированных при данных условиях синтеза. Проведенные температурные исследования изменения фазового состава пленок при нагреве образцов до 1300 К выявили ряд аномальных особенностей в поведении материала покрытия. Сопоставление обнаруженных физико-химических свойств поверхностных слоев, условий оксидирования, а также фазового, элементного составов пленок позволило установить причины, обуславливающие свойства получаемых покрытий.

УДК 537.226.33+538.11

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА СЕГНЕТОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(В.А. Чалухин, Комсомольский-на-Амуре политехнический ин-т)

В последнее время исследованию сегнетомагнетиков - двухфазных композитных материалов, обладающих одновременно сегнетоэлектрическими и ферромагнитными свойствами, уделяется большое внимание

[1, 2]. Это объясняется широкими возможностями использования этих материалов в электро- и радиотехнике в качестве комбинированных элементов.

Поликристаллические сегнетомангнетики являются твердыми растворами макроскопических смесей сегнетоэлектриков и различных ферритов, которые обжигаются и спекаются по керамической технологии. Свойства этих материалов во многом зависят от технологии их получения. В данной работе ставилась цель исследовать влияние отношения количественного состава сегнетоэлектрика и феррита на его магнитные и диэлектрические свойства. Для этого изготавливали по восемь образцов с различным весовым соотношением сегнетоэлектрика и феррита, которые затем проходили процесс обжига и спекания. Исследование полученных образцов позволило построить графики зависимости магнитной и диэлектрической проницаемостей от состава исходных материалов.

При этом было установлено, что значение проницаемостей может варьировать в зависимости от количественного соотношения исходных материалов. Максимальное значение равных магнитной и диэлектрической проницаемостей лежит в пределах 28-35, что достаточно для создания высокочастотных элементов радиотехнических устройств. Получение более высоких значений относительных диэлектрической и магнитной проницаемостей предполагается возможным при тщательной отработке процесса спекания сегнетомангнетика.

Л и т е р а т у р а

1. СМОЛЕНСКИЙ Г.А., ЧУПСИ И.Е. Сегнетомангнетики. Физика твердого тела. - 1982. - Т. 137, вып. 3-6 - С. 414-448.
2. ВЕНЕВИЦЕВ Ю.Н., ГАГУЛИН В.В., ЛЮБИМОВ В.Н. Сегнетомангнетики. - М.: Наука. 1982. - 224 с.

УДК 537.226:539.26

МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ ПЕРОВСКИТЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМОНИОБАТА СВИНЦА, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

(Н.М.Олехнович, Т.Е.Забо, В.Д.Янович, А.Д.Шилин, Ин-т физики твердого тела и полупроводников АН БССР, г.Минск)

С целью поиска и создания новых материалов с дипольным упорядочением значительный интерес представляют метастабильные фазы,

синтезируемые при высоких давлениях и температурах из аниондефицитных пироксидов.

В данной работе ставилась задача получения метастабильных перовскитов на основе $Pb(AcNb)_{1/2}O_3$ и исследования их структурных характеристик, диэлектрических свойств и теплового расширения в зависимости от температуры. Аллюмоплат свинца в стабильном состоянии имеет структуру пироксидов, а при синтезе при высоких давлениях и температурах получается в метастабильной структуре. Для данного соединения построена $P-T$ диаграмма фазового равновесия пироксид - перовскит и определены условия синтеза метастабильных перовскитов на его основе.

С использованием высокого давления получены твердые растворы $PbTi_{1-x}(AcNb)_xO_3$ и $PbZr_{1-x}(AcNb)_xO_3$ [1] в структуре перовскита. При синтезе по обычной керамической технологии в этих системах растворимость отсутствует. Данные твердые растворы являются сегнето- или антисегнетоэлектриками с размытым фазовым переходом. Температура Кюри закономерно понижается по мере увеличения содержания ниобата свинца.

Синтезированы фазы изоморфного замещения $Pb(Me^{2+}Sn)_{1/4}Nb_{1/2}O_3$ ($Me - Mg, Cu, Zn, Cd, Mn, Fe, Co, Ni$) [2] со структурой перовскита, которая при нормальном давлении является метастабильной и сохраняется до 800-1000 К. В отличие от стабильной пироксидной фазы, метастабильные перовскиты исследуемых систем проявляют аномальные диэлектрические свойства. Температура Кюри возрастает с увеличением радиуса двухвалентного иона металла.

Л и т е р а т у р а

1. СТРУКТУРА и некоторые свойства системы твердых растворов $PbTiO_3 - Pb(AcNb)_{1/2}O_3$ // А.Д.Шилин, Н.М.Олехнович, В.Д.Янович, Т.Е.Жабко // Изв. АН БССР. Сер. физ. мат. н. - 1988. - № 2. - С. 64.

2. ОЛЕХНОВИЧ Н.М., ШИЛИН А.Д. Метастабильные перовскиты $Pb(MeSn)_{1/4} \cdot Nb_{1/2}O_3$ // Докл. АН БССР. - 1986. - Т. 30, № 12. - С. 1072-1074.

СЕТНЕТОСОДЕРЖАНИЕ РЕЗИНЫ ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ
(Л.И.Лещенко, А.И.Затулий, Томский научно-исследовательский,
проектно-конструкторский и технологический кабельный ин-т; Комсо-
мольский-на-Амуре политехнический ин-т)

Введение антиэмиссионного и/или барьерного слоя с повышенной диэлектрической проницаемостью в изоляцию высоковольтных кабелей позволяет существенно повысить надежность кабельных конструкций. При этом одной из основных проблем является создание композиционных материалов с повышенным значением диэлектрической проницаемости на основе полимерных и резиновых матриц с удовлетворительным комплексом диэлектрических, прочностных и технологических свойств.

Для гибких кабелей на 10, 35 кВ разработаны резиновые смеси на основе дивинилстирольного каучука СКС с использованием в качестве наполнителя порошка ЦТС-19 с дисперсностью 0,05-0,5 мм.

Проведены исследования диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ (в диапазоне частот 1+20 МГц и температур от 20+120 °С); электрической прочности (в условиях однородного поля); удельного объемного сопротивления ρ_v (в интервале температур 20+120 °С).

Установлено, что зависимость диэлектрической проницаемости от содержания наполнителя γ подчиняется закону:

$$\epsilon(\gamma) = a e^{b\gamma} + c$$

При частоте 1 кГц ϵ растет от 42,3 (40 об.% ЦТС-19) до 54 (55 об.% ЦТС-19); электрическая прочность уменьшается в 3-4 раза по сравнению с $E_{пр}$ композиций с 40 об.% ЦТС-19; наблюдается снижение ρ_v и рост $tg\delta$ с увеличением γ в смесях.

В условиях эксплуатации при длительном воздействии повышенных температур и напряженности электрического поля происходит старение изоляционных материалов, изменяющее диэлектрические параметры системы. Исследования ϵ , $tg\delta$ смесей после теплового старения при 70 °С в течение 200, 500, 100 ч показали смещение максимума ϵ , $tg\delta$ в сторону более высоких частот.

Разработанные смеси по технологическим параметрам пригодны для использования в высоковольтных гибких кабелях.

ВЛИЯНИЕ СТЕКЛОВИДНЫХ ДОБАВОК НА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

СЕГНЕТОКЕРАМИКИ $PbTiO_3$

(Р.З.Клейне, А.А.Богомолов, Т.А.Дабига, О.Н.Сергеева, Калининский гос. ун-т)

Исследуются пирозлектрические свойства керамики на основе $PbTiO_3$, модифицированной во всех составах 5 мол.% La_2O_3 и стеклом определенного состава от I до 7 мас.%.

Исследование пирозлектрических свойств вышеописанной керамики было проведено динамическим и квазистатическим методами. Для образцов с различным содержанием стекла в составе были получены концентрационные зависимости пирокэффициента и рассчитаны показатели качества. Результаты приведены в таблице.

Шифр состава	$\gamma \cdot 10^8$, Кл·см ⁻² ·К ⁻¹	ϵ	$\frac{\gamma}{\epsilon} \cdot 10^{10}$, Кл·см ⁻² ·К ⁻¹
PLT чист.	1,4	190	0,68
PLT + I мас.% ст.	2,1	220	0,95
PLT + 2 мас.% ст.	0,5	350	0,13
PLT + 3 мас.% ст.	1,1	230	0,47
PLT + 5 мас.% ст.	0,9	230	0,39
PLT + 7 мас.% ст.	0,6	220	0,28

Сделана попытка интерпретировать полученные результаты в рамках существующих представлений. Исследованы температурные зависимости показателей качества для образцов сегнетокерамики с различной концентрацией стекла. Стабильность пирозлектрических характеристик в рабочем диапазоне температур позволяет использовать эти материалы в пирозлектрических датчиках.

УДК 621.315.434

ПРИРОДА НЕСТАБИЛЬНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

(А.В.Шельников, Е.А.Кузнецов, А.П.Оженко, Д.И.Черкасова, Волгоградский инженерно-строительный ин-т)

Известно, что причиной значительных изменений диэлектрических характеристик пьезокерамики ЦТСВН-I при изменении температуры

может являться нестабильность фазового состава, заключающаяся в изменении соотношения содержания в образцах тетрагональной и ромбоэдрической фаз*.

Прямыми методами (электронная микроскопия с микродифракцией и рентгеноструктурный анализ) показано, что временная и температурная нестабильность электрических свойств данных материалов связаны с соответствующей нестабильностью соотношения указанных фаз. Например, в образцах с нестабильными значениями ϵ внутри зерен наблюдались области с иной, чем основная, структурой, с размытыми межфазными границами. Такие области образуются вокруг отдельных групп или даже единичных дисперсных включений. Методом микродифракции показано, что указанные включения представляют собой непрореагировавшие окислы металлов и промежуточные продукты синтеза образования твердого раствора материала ЦТСВН-1.

Соединения титана в основном располагаются в центре областей внутри зерен, а соединения циркония - вблизи границ зерен.

Установлено, что подобная микронеоднородность, выявленная внутри зерен, может служить причиной нестабильности фазового состава, приводящей к температурно-временной нестабильности диэлектрических характеристик.

УДК 537.226.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗОВАЛЕНТНЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ

В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ ЦТС НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

МЕЖДУ СЕГНЕТО- И АНТИСЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЯМИ

(Н.А. Спиридонов, В.В. Климов, Н.М. Чуйфина, Ю.И. Власкин, ВНИИ реактивов и химически чистых материалов для электронной техники, г. Донецк; ВНИИ автоматики, Москва)

Сегнетоэлектрические материалы, по-химическому составу расположенные вблизи фазовой границы между сегнетоэлектрическим (СЭ) и антисегнетоэлектрическим (АСЭ) состояниями, характерны тем, что фазовые переходы между ними легко осуществимы под внешними воздействиями: фазовый переход АСЭ \rightarrow СЭ - электрического поля,

*А.Г. Лучининов, А.В. Шильников. Остаточная поляризация и пьезоэффект в керамике ЦТСВН-1 // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1983. - Т. 47, № 4. - С. 816-819.

а СЭ \rightarrow АСЭ - гидростатического давления. Однако эти фазовые переходы изучены недостаточно, что приводит к большим трудностям при разработке материалов для практического использования (накопители электрической энергии, пороговые устройства и др.). Поэтому в последнее время уделяется значительное внимание изучению фазовых переходов между СЭ- и АСЭ-состояниями.

Проведены исследования изовалентных замещений ($Sn^{+4} \rightarrow Zr^{+4}$, $(Li_{1/2}La_{1/2})^{+2} \rightarrow Pb^{+2}$) в твердых растворах цирконата-титаната свинца (ЦТС) на фазовые переходы между СЭ и АСЭ-состояниями. Фазовая диаграмма "состав-температура" построена по результатам измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости в широком интервале температур. Определены концентрационные зависимости остаточной поляризации, коэрцитивной силы, постоянной Кюри-Вейсса, параметров размытия ФП и других свойств. Проведены исследования фазовых переходов при воздействии высоких гидростатических давлений (до I ГПа). Исследованы температурные зависимости диэлектрической проницаемости во внешних постоянных электрических полях. Обнаружены области индуцированных состояний, в пределах которых последовательность фазовых переходов зависит от предыстории образцов: либо АСЭ $\xrightarrow{T_C}$ ПЭ (после высокотемпературного отжига), либо СЭ $\xrightarrow{T_0}$ АСЭ $\xrightarrow{T_C}$ ПЭ (после воздействия электрического поля). Получены зависимости полей индуцирования от содержания компонентов твердого раствора.

Секция В

Пьезоэлектрики и электреты (стендовые доклады)

УДК 548.5

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ВИСМУТСОДЕРЖАЩИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ (А.А.Марьин, ВНИИСИМС, г.Александров)

Исследована гидротермальная кристаллизация в системах, содержащих оксиды висмута и какого-либо из элементов I-VIII групп Периодической системы Д.И.Менделеева (всего 60 элементов) с целью

синтеза кристаллических фаз, поиска оптимальных условий получения их в виде монокристаллов.

Выявлены основные закономерности образования висмутсодержащих минералов со структурами типа силленита и эвлитина. Образование кристаллов силленитов из оксидов висмута и второго элемента происходит в присутствии цинка, бора, алюминия, галлия, марганца, железа, кремния, германия, титана, фосфора, мышьяка, хрома или ванадия.

На количественный выход кристаллов силленитов оказывают влияние состав исходной шихты, соотношение компонентов в ней, состав и концентрация растворителя, окислительно-восстановительный потенциал системы.

Кристаллизация соединений со структурой типа эвлитина $Bi_4Si_3O_{12}$ и $Bi_4Ge_3O_{12}$ происходит при увеличении содержания в исходной шихте кремния или германия. На величину поля кристаллизации эвлитинов существенное влияние оказывают состав и концентрация растворителя.

Разработана методика выращивания на затравку монокристаллов силленитов и эвлитинов и выяснено влияние различных факторов на скорость их роста. Установлено, что скорость роста возрастает с увеличением температуры, температурного перепада и концентрации растворителя.

Изучено образование твердых растворов между кремниевым и германиевым, кремниевым и ванадиевым, германиевым и ванадиевым силленитами. Определение плотности параметров элементарной ячейки и химического состава синтезированных образцов позволило заключить об образовании непрерывных рядов твердых растворов между указанными выше силленитами.

Разработана методика получения эпитаксиальных слоев составов: $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}(Zn, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Ga, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Mn, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Fe, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Bi, P)O_{20}$.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ
 СО СТРУКТУРОЙ ЭВИТИНА
 (Е.М.Кожбахтеев, Т.Г.Андреева, ВНИИСИМС, г.Александров)

Изучены некоторые особенности синтеза и перекристаллизации кристаллов $Bi_4Ge_3(Si_3)O_{12}$ в гидротермальных условиях при температурах 490–573 К и давлении до 50 МПа. Показано, что синтез ортогерманата висмута происходит во всех растворах: щелочных, кислотных, нейтральных и воде. Возможность перекристаллизации $Bi_4Ge_3O_{12}$ определяется наличием в растворах определенных ионов в зависимости от pH раствора.

По данным РФА и ДТА на $N-C$ диаграммах построены поля кристаллизации образующихся в системах $Bi_2O_3 - GeO_2 (SiO_2) - R - H_2O$ ($R - NaOH, NH_4F, H_2CO_3$) фаз. Установлено существование в исследованных системах обширных полей монофазной кристаллизации $Bi_4Ge_3(Si_3)O_{12}$.

Наличие поля кристаллизации ортогерманата и ортосиликата висмута определяется как величиной концентрации растворителя, так и соотношением исходных оксидов в шихте. Определены области кристаллизации силленита - $Bi_{12}GeO_{20}$, бизмюклита - $BiOCl$ и заваричкита - $BiOF$. Получены твердые растворы между $Bi_4Ge_3O_{12}$ и $Bi_4Si_3O_{12}$ различного состава.

Кинетика роста граней и особенности микроморфологии ортогерманата висмута изучались по методикам кристаллизации на шарах и круглых стержневых затравках, вытянутых по $[100]$, $[110]$, $[111]$. Основной кристаллографической формой $Bi_4Ge_3O_{12}$ является комбинация практически равноценных тригонритетраэдров $\{211\}$ и $\{2\bar{1}1\}$. Скорости роста выявленных устойчивых граней подчиняются следующему правилу: $V_{(211)} < V_{(310)} < V_{(110)}$.

Показана зависимость выхода кристаллов ортогерманата висмута спонтанного зарождения от ряда физико-химических параметров опыта: концентрации растворителя, пересыщения, соотношения исходных оксидов в шихте. Изучены дефекты синтезированных кристаллов и установлена связь с условиями опыта.

ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ
ОРТОГЕРМАНАТА ВИСМУТА

(С.А.Петров, В.Н.Никитин, С.А.Паршиков, Красноярский гос. ун-т;
Ин-т физики им.Л.В.Киренского СО АН СССР, г.Красноярск)

Монокристаллы ортогерманата висмута $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO) со структурой эвлитина (пространственная группа $I43d$) привлекают к себе внимание прежде всего благодаря своим люминесцентным свойствам. В настоящее время спектр и свойства локальных центров, определяющих люминесцентные характеристики реальных кристаллов BGO , изучены недостаточно.

Методом термостимулированных токов (ТСТ) исследовались локальные центры захвата в температурном диапазоне 80–450 К. Возбуждение исследуемых образцов осуществлялось как оптическим, так и рентгеновским излучением. Изучены зависимость степени заполнения центров захвата от длины волны возбуждающего излучения и кинетика разгорания фототока. Методом "начального нарастания" тока определена энергия термической активации центров. Показана зависимость типа проводимости BGO от температуры.

Проведен совместный анализ результатов, полученных при изучении спектров ТСТ, термостимулированной люминесценции [1] и фотопроводимости [2]. Отмечена качественная близость кривых ТСТ и термовысвечивания. Показано, что люминесценция в BGO носит рекомбинационный характер. Для определения знака рекомбинационного процесса использованы результаты термоэлектрических измерений.

Обоснована целесообразность привлечения зонных представлений для описания и интерпретации люминесцентных свойств BGO . Сделан вывод, что в BGO процессы захвата и рекомбинации неравновесных электронов идут через зону проводимости.

Предложена зонная энергетическая диаграмма ортогерманата висмута. Рассмотрено влияние центров захвата, проявляющихся в спектрах ТСТ, на люминесцентные свойства материала.

Л и т е р а т у р а

1. ГУСЕВ В.А., ПЕТРОВ С.А. // Журнал прикладной спектроскопии. - 1989. - Т. 50, № 4. - С. 627-631.

2. ГУСЕВ В.А., ДЕМЕНКО С.И., ПЕТРОВ С.А. // Автотометрия. - 1988. - № 5. - С. 31-32.

ОСОБЕННОСТИ ИК-ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ $Bi_{12}SiO_{20}$
 НЕСТЕХИОМЕТРИЧНОГО СОСТАВА

(С.В.Вагин, Б.Орел, Р.Йерман, О.Л.Орлов, Т.В.Панченко, Днепропетровский гос. ун-т; Химический ин-т "Борис Кидрич", г.Льблина, СФРЮ)

Интерес к исследованиям ИК-поглощения кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ ($B50$) нестехиометрического состава обусловлен широкими возможностями модификации электронных и решеточных свойств при варьировании дефектности Bi -, Si - и O -подрешеток.

В интервале 4,2–300 К исследованы температурные зависимости ИК-поглощения в области двухфононных процессов (1000–2000 cm^{-1}). Измерения выполнялись на Фурье-ИК-спектрофотометре *Digilab FTS-80*.

Кристаллы были выращены методом Чохральского. Концентрация дефектов в Si -подрешетке задавалась отклонением отношения $Bi:Si$ от стехиометрии в шихте (содержание SiO_2 – 14,3 мол.%) в пределах области гомогенности: от 12,6 мол.% (дефицит SiO_2) до 15,7 мол.% (избыток SiO_2).

В области обертонов и комбинационных тонов валентных колебаний ω_1 , ω_2 тетраэдра SiO_4 выявлена тонкая структура ИК-поглощения. Ее зависимость от нарушения стехиометрии состава кристаллов $B50$ проявилась в структуре пика $\omega_1 + \omega_3$, на коротковолновом склоне которого был выявлен дополнительный пик для кристаллов с дефицитом Si .

Обнаружена аномальная температурная зависимость интенсивности дублета $2\omega_3$, $\omega_1 + \omega_3$ валентных колебаний тетраэдра SiO_4 , зависящая от нарушения стехиометрии. В стехиометричных кристаллах $B50$ нелинейный рост интенсивности поглощения наблюдается лишь в области составного тона $\omega_1 + \omega_3$ при $T \lesssim 50$ К, в то время как интенсивность пика $2\omega_3$ линейно растет с понижением температуры вплоть до 4,2 К. В нестехиометричных кристаллах при $T \lesssim 50$ К оба пика имеют аномальную температурную зависимость, степень нелинейности которой существенно различна для кристаллов с избытком и дефицитом Si .

Получена температурная зависимость коэффициента ангармонизма. Температурные зависимости рассматриваются с учетом изменения силовых констант в Si -подрешетке с дефектами. Тонкая структура ИК-спектров поглощения анализируется с учетом вклада возможных изотопов кремния.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ $Bi_{12}GeO_{20}$,
 $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_4Ge_3O_{12}$, TeO_2 ПРИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ
 (В.М.Зражевский, Ин-т физики СО АН СССР, г.Красноярск)

Из нелинейных уравнений состояния пьезоэлектрической среды^{*} следует, что на высоких измерительных частотах, когда $\tilde{\eta} = const$, изменение емкости пьезоэлектрического конденсатора в зависимости от гидростатического давления P

$$\frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dP} = - \frac{2}{\epsilon_0 \epsilon} (R_{11} + R_{12} + R_{13}) - (S_{11} + S_{12} + S_{13}) \cdot \frac{1}{3} \quad (1)$$

определяется только коэффициентом электрострикции R и упругой податливостью S среды, т.е. соотношение (1) имеет тот же вид, что и в непьезоэлектрических материалах.

На низких частотах в зависимости емкости пьезоэлектрического конденсатора от давления появляется дополнительный электро-механический вклад

$$\frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dP} = - \frac{2}{\epsilon_0 \epsilon} (R_{1\nu} + e_{1\mu\lambda} d_{1\lambda} S_{\mu\nu} + d_{1\nu\mu} e_{1\mu}) - \frac{1}{3} S_{1\nu}, \quad \nu=1,2,3, \quad (2)$$

связанный с нелинейными $e_{1\mu\lambda}$ и $d_{1\nu\mu}$, и линейными $e_{1\mu}$ и $d_{1\lambda}$ -пьезокоэффициентами.

Представлены результаты исследования диэлектрической проницаемости высокосимметричных пьезоэлектрических кристаллов $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_4Ge_3O_{12}$, TeO_2 при одноосных и гидростатических давлениях. Измерения проводились при комнатной температуре. Из экспериментальных данных вычислены коэффициенты электрострикции и некоторые нелинейные электро-механические постоянные исследованных кристаллов.

Результаты низкочастотных измерений при гидростатическом давлении приведены в таблице.

Кристалл	Симметрия	Срез	$(1/\epsilon_0) \cdot (\Delta\epsilon/\Delta P), (\%) \cdot \text{кбар}^{-1}$
$Bi_{12}GeO_{20}$	23	[100]	-0,73
$Bi_{12}SiO_{20}$	23	[100]	-0,81
$Bi_4Ge_3O_{12}$	43m	[100]	-1,40
TeO_2	422	[100]	0,32
		[001]	-0,29

* Нелинейные электро-механические свойства ацентричных кристаллов / М.П.Зайцева, Ю.И.Кокорин, Ю.М.Сандлер, В.М.Зражевский, Б.П.Сорокин, А.М.Сысоев. - Новосибирск: Наука, 1986.

ЭЛЕКТРЕТНОЕ СОСТОЯНИЕ В КРИСТАЛЛАХ $Bi_{12}SiO_{20}$

(Т.В.Панченко, Ю.Н.Потапович, Г.В.Снежной, Днепропетровский гос. ун-т)

Приведены результаты экспериментального исследования термо- и фотоэлектрического состояния в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ (B50) стехиометричного и нестехиометричного состава.

Исследования выполнены в температурном интервале 300–800 К с использованием токовых методов термоактивационной спектроскопии на автоматизированной установке на базе микро-ЭВМ MC-1201.02. Методом потенциального зонда исследовано координатное распределение электрического поля $E(x)$ и объемного заряда $\rho(x)$. В диапазоне 0,35–0,8 мкм изучена спектральная зависимость фотоэлектрического состояния.

Установлено, что формирование электрета сопровождается возникновением сложного рельефа зависимостей $E(x)$ и $\rho(x)$ с наличием областей знакопеременного заряда. Общий накопленный заряд достигает $\sim 10^{-3}$ Кл, определяется условиями на контактах и длиной волны подсветки. При металлических контактах в области температур поляризации 570–650 К наблюдается резкое увеличение гомозаряда, инжектированного из катода. Знак накопленного заряда отрицателен для синей подсветки и положителен для красной. Конкуренция инъекции и монополярной эксклюзии приводит к низкочастотным колебаниям токов деполяризации и аномалиям приэлектродного распределения $E(x)$ и $\rho(x)$.

Область наибольшей спектральной чувствительности 0,4–0,45 мкм совпадает с плечом оптического поглощения и максимальной примесной фоточувствительности, образование фотоэлектрического состояния сопровождается увеличением оптического поглощения в видимом диапазоне длин волн и наиболее эффективно для нестехиометричных кристаллов B50 с избытком Bi .

Изучение полевых, температурных и временных зависимостей амплитуды пиков термостимулированных токов деполяризации, варьирование процедуры измерений с включением фотоактивной подсветки позволило разделить вклады объемно-зарядовой и дипольной поляризации. Определены сечения захвата и глубина залегания $\Delta E_1 = 0,67; 0,76; 0,88; 1,26; 1,35$ эВ локальных уровней и энергия

активации $\Delta E_2 = 0,84; 1,47; 1,57$ эВ релаксаторов, обуславливающих эти вклады.

Методом фракционного нагрева выявлено квазинепрерывное распределение релаксаторов в интервале 450–570 К, что указывает на существование дефектных центров с частично перестраиваемой структурой, концентрация которых зависит от степени нестехиометрии.

УДК 535.34;311.1

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ $Bi_{12}SiO_{20}$ НА ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

(Т.В.Панченко, Ю.Н.Потапович, Ю.Г.Осецкий, Днепропетровский гос. ун-т)

Локальные энергетические состояния в запрещенной зоне и внутрицентровые электронные переходы в чистых и легированных кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) во многом определяют особенности оптических свойств и механизмы записи и хранения оптической информации.

Представлены результаты комплексного исследования влияния легирования кристаллов BSO ионами $Al, Ga, Cr, Mn, Fe, Cu, Ag, V$ на краевое оптическое поглощение и фотохромный эффект. Исследования выполнены в диапазоне длин волн 0,3–3 мкм при температурах 80–300 К. Кристаллы выращивались методом Чохральского, примесь вводилась в шихту в виде соответствующих оксидов, содержание примеси в кристаллах составляло 0,001–0,5 мас. %.

Зона-зонные переходы в чистых кристаллах BSO в области энергий, меньших 3,2 эВ, определены как непрямые. Идентифицированы продольные оптические фононы, участвующие в формировании длинноволнового склона фундаментальной полосы поглощения. Показано, что за примыкающее к склону плечо поглощения ответственны ионы Bi^{3+} и Bi^{5+} , занимающие тетраэдрические позиции ионов Si^{4+} .

При легировании Al, Ga, V изменение электрон (экситон)-фононного взаимодействия приводит к аномалиям в температурных зависимостях ширины запрещенной зоны. С ростом концентрации примеси наблюдается ситуация, аналогичная эффекту Бурштейна–Мосса. Получены функции распределения примесных энергетических состояний.

Для ионов переходных металлов группы железа с привлечением теории кристаллического поля лигандов определены зарядовые

состояния: Cr^{3+} , Cr^{2+} , Mn^{4+} , Mn^{3+} , Mn^{5+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} ; показана возможность как тетраэдрической, так и октаэдрической их локальной симметрии.

Предложены механизмы фотогенерации центров окраски, заключающиеся в переносе заряда по схеме: $Bi^{5+} + 2e \rightarrow Bi^{3+}$ для ионов Bi^{5+} в тетраэдрах решетки чистых кристаллов BSD и по схемам: $Cr^{2+} - e \rightarrow Cr^{3+}$, $Mn^{4+} + e \rightarrow Mn^{3+}$, $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ для ионов Cr^{2+} , Mn^{4+} и Fe^{3+} в октаэдрах и $Mn^{4+} - e \rightarrow Mn^{5+}$, $Fe^{2+} - e \rightarrow Fe^{3+}$ для ионов Mn^{4+} , Fe^{2+} в тетраэдрах решетки кристаллов BSD , легированных ионами Cr , Mn и Fe соответственно.

Наблюдалось усиление фотохромного эффекта при наложении электрического поля, не обусловленное перемещением носителей в зоне проводимости.

УДК 548.53+62I.3I7.33

ВЫРАЩИВАНИЕ ИЗ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОНОКРИСТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ СИЛЛЕНИТА

(С.В.Федотов, А.А.Буш, ВНИИСИМС, г.Александров; Московский ин-т радиоэлектроники и автоматики)

В гидротермальных щелочных растворах, по методике, приведенной в работе [1], получены монокристаллы кремниевого, германиевого, цинкового, галлиевого, фосфорного и ванадиевого силленитов. В качестве затравок использовали пластины силленита висмута, вырезанные параллельно плоскости (III) из кристаллов, выращенных расплавленным методом.

На полученных образцах проведен комплекс электрофизических измерений, в частности, исследован продольный пьезоэлектрический эффект. Измерения проводили методом колеблющейся нагрузки [2] на пластинках кристаллов площадью 30 мм^2 и толщиной 1-3 мм на частоте 117 Гц. В качестве эталона использовали кристалл кремниевого силленита, выращенный методом Чохральского, для которого известно, что пьезокоэффициент $d_4 = 4,05 \cdot 10^{11} \text{ Кл/Н}$ [3], либо кристалл кварца. Полученные значения пьезоэлектрического эффекта приведены в таблице.

Пьезо- электри- ческий модуль	Образец						
	$Bi_{12}SiO_{20}$	$Bi_{12}GeO_{20}$	$Bi_{25}FeO_{32}$	$Bi_{25}GaO_{39}$	$Bi_{25}VO_{40}$	$Bi_{25}PO_{40}$	$Bi_{38}ZnO_{60}$
$d_{14} \cdot 10^{11}$, Кл/В	4,01	3,44	2,92	3,72	2,35	4,05	3,21

Для Si -, Ga - и V -силленитов снята также зависимость пьезосигнала от температуры в интервале 77–700 К. Обнаружено, что с ростом температуры величина пьезосигнала в области 77–500 К практически не изменяется. При дальнейшем увеличении температуры пьезосигнал постепенно стремится к нулю. Это уменьшение связано, очевидно, с ростом электропроводности кристаллов.

Л и т е р а т у р а

1. МАРЬИН А.А. // Проблемы эксперимента в твердофазной и гидротермальной аппаратуре высокого давления. - М.: Наука, 1982.
2. РЕЗ И.С. // Изв. АН СССР, сер. физ. - 1957. - Т. 21, № 3. - С. 466–472.
3. ЧМЫРЕВ В.И., СКОРИНОВ В.М., СУББОТИН М.Н. // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. - 1983. - Т. 19, № 2. - С. 269–273.

УДК 548.5

ВЫРАЩИВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК СО СТРУКТУРОЙ СИЛЛЕНИТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

(А.Н.Юдин, А.А.Марьин, ВНИИСИМС, г.Александров)

Перспективами практического использования в акусто-, опто-электронике и интегральной оптике обусловлен интерес к эпитаксиальным пленкам со структурой силленита. Пленки получают осаждением из газовой фазы и жидкофазной эпитаксией [1, 2].

В гидротермальных условиях авторами получены эпитаксиальные слои силленитов толщиной от 5 до 500 мкм на подложку из $Bi_{12}SiO_{20}$ ориентированную по (100), (110) и (111) следующих составов: $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}(Zn, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Ga, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(Fe, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(P, Bi)O_{20}$, $Bi_{12}(V, Bi)O_{20}$.

Использовались как синтезная, так и перекристаллизационная методики прямого температурного перепада, а также был

испытан способ "наклона реактора". Выяснено, что существенное негативное влияние на качество эпитаксиальных пленок в случае синтетической методики оказывают макропримеси химических реактивов, концентрирующиеся на границе пленка-подложка, в случае перекристаллизационной методики - интенсивное растворение подложки на стадии ввода автоклава в режим кристаллизации, в случае способа "наклон реактора" - газожидкостные включения.

Аппаратурными методами изучено реальное строение полученных пленок. К характерным особенностям следует отнести присутствие в нарощенном слое гидроксильных групп в двух формах, постепенное увеличение параметра элементарной ячейки пленки в зависимости от ее толщины, зависимость микрорельефа от состава пленки и ориентации подложки.

Л и т е р а т у р а

1. MITSUYU T., WASA K., YAYAKAWA S. // J. Elektrochem. Soc. - 1976. - Vol. 123, N 1. - P. 94-96.

2. Тез. докл. второй Всесоюз. конф. "Актуальные проблемы получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов" / Н.И.Капавец, Е.М.Леснов, И.Мушинов, В.М.Орлов. - М., 1984.

УДК 538.95I-405

АКУСТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ СИЛИКОСИЛЛЕНИТА

$Bi_{12}SiO_{20}$, ЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ

(М.Д.Волнянский, А.Ю.Кудзин, И.Л.Чертков, Днепропетровский гос. ун-т)

Легирование силленитов катионами элементов второй и третьей групп приводит к существенным изменениям в физических свойствах этих кристаллов, создавая в них дефекты структуры. Однако в настоящее время дефектная структура силленитов изучена недостаточно. Структурно-чувствительным методом исследовано внутреннее трение (ВТ) [1] в комплексе с диэлектрическими измерениями монокристаллов $Bi_{12}SiO_{20} : Al$.

В температурно-частотном интервале 300-750 К и 80 кГц-1 МГц измерена температурная зависимость акустических потерь $Q^{-1}(T)$, диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$, диэлектрических потерь

$tg\delta(T)$ и электропроводности $\sigma(T)$. Обнаружен пик ВТ при температуре 585 К (частота 184 кГц), который достигает величины $90 \cdot 10^{-5}$ (фон ВТ $\sim 20 \cdot 10^{-5}$) и имеет сложную форму. На основе экспериментальных зависимостей $\sigma(T)$ и $K(T)$, где K - коэффициент электро-механической связи, по формуле Хатсона-Уайта, преобразованной для данных экспериментов [2],

$$Q^{-1} = \frac{\kappa^2 \nu^2}{2} \cdot \frac{\sigma / 2\pi\epsilon\epsilon_0 f_r}{1 + (\sigma / 2\pi\epsilon\epsilon_0 f_r)^2}, \quad (I)$$

где ν - коэффициент Пуассона, f_r - резонансная частота пьезорезонаторов, рассчитан вклад акустоэлектронного взаимодействия в наблюдаемую величину ВТ. Этот вклад составляет $\sim 20 \cdot 10^{-5}$.

На зависимости $tg\delta(T)$ обнаружен максимум, соответствующий пику акустических потерь. После отжига в вакууме оба максимума исчезают, а после обратного отжига на воздухе появляются вновь.

В роли релаксирующего центра может выступать дефект ($Al^{3+}Si^{4+} + h_{O^{2-}}$) в виде дырки на одном из ионов кислорода из кислородного тетраэдра, в центре которого вместо иона Si^{4+} находится Al^{3+} .

Л и т е р а т у р а

1. ВОЛНЯНСКИЙ М.Д., ЧЕРТКОВ И.Л. // Диэлектрические кристаллы сложных окислов. - Днепропетровск: ДГУ, 1987. - С. III-III6.
2. HUTSON A.R., WHITE D.L. // J.Appl.Phys. - 1962. - Vol.33, N 1. - P.40-47.

УДК 548.5

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И НЕКОТОРЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ БЕРЛИНИТА, ВЫРАЖЕННЫХ НА БАЗИСНЫХ ЗАТРАВКАХ (П.П.Шванский, В.И.Лютин, В.Е.Хаджи, ВНИИСИМС, г.Александров)

Берлинит относится к перспективным пьезоэлектрикам благодаря его изоструктурности кварцу и близости их пьезоэлектрических характеристик. В настоящее время экспериментальные исследования по выращиванию берлинита ведутся в широком интервале температур кристаллизации от 150 до 500 °С. Такой широкий спектр температур-

ных режимов обуславливает разнообразие морфологических особенностей полученных кристаллов.

Поскольку выращивание кристаллов проводится в растворах кислот, автоклавы подвергаются коррозионному воздействию. С целью предохранения стенок автоклавов синтез кристаллов при температурах свыше 300 °С необходимо вести во вкладышах из благородных металлов, применение которых значительно усложняет технологию выращивания, ведет к увеличению стоимости кристаллов.

Методика кристаллизации берлинита в области ретроградной растворимости представляется более перспективной. Синтез кристаллов при низких температурах позволяет заменить внутреннюю оснастку автоклавов из благородных металлов на значительно более дешевые и доступные вкладыши из фторопласта.

С целью исследования возможности подавления двойникования кристаллов в процессе роста использовались пластины, ориентированные параллельно пинакоиду, поскольку известно, что в случае гидротермального синтеза кварца пирамиды роста быстрорастущих граней не двойнируются, в частности, (0001).

В результате проведения опытов при различных термобарических параметрах были найдены условия выращивания берлинита на базисных заправках. Были выращены визуально прозрачные кристаллы псевдопирамидального габитуса с усеченными вершинами. Положительный (10 $\bar{1}$ 1), отрицательный (01 $\bar{1}$ 1) ромбоэдр и пинакоид (0001) представляют основные формы на кристаллах. В меньшей степени на полученных образцах представлены грани гексагональной призмы (10 $\bar{1}$ 0) и тупых ромбоэдров (10 $\bar{1}$ 2) и (10 $\bar{1}$ 3).

УДК 548.53+621.317.33

ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ГЕРМАНИЯ КВАРЦЕВОЙ МОДИФИКАЦИИ И ЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

(И.Б.Махина, Б.Н.Колодиев, ВНИИСИМС, г.Александров)

Диоксид германия тригональной модификации (α -GeO₂) может быть получен в гидротермальных условиях путем эпитаксиального наращивания на кварцевые подложки. Это обусловлено большой кристаллохимической близостью α -GeO₂ и низкотемпературного кварца.

Метод выращивания $\alpha\text{-GeO}_2$ на кварцевых затравках является весьма перспективным, так как снимает проблему затравочного материала.

В зависимости от условий кристаллизации наблюдается ориентированный рост двуокиси германия на кварцевых подложках двух типов: параллельное прирастание отдельных кристалликов $\alpha\text{-GeO}_2$ и нарастание монослоев.

Рост двуокиси германия одиночными кристалликами происходит строго ориентированно. По наблюдениям под микроскопом 100 % кристалликов двуокиси германия располагались на подложке параллельно, причем все основные направления кристалликов совпадали между собой и с соответствующими осями подложки.

При росте двуокиси германия монокристаллическими слоями соотношение скоростей нарастания его на кварцевые затравочные пластины различных ориентаций обычно следующее:

$$V_z \geq V_{+x} > V_{+y} \gg V_y > V_r \geq V_R > V_{-x}$$

Причем, поверхности четырех последних простых форм растут истинной гранью, визуалью гладкие. Остальные поверхности шероховатые, растут по принципу регенерации.

Измеренные значения статического пьезомодуля $d_{11}\alpha\text{-GeO}_2$ примерно в четыре раза больше, чем у кварца, и лежат для исследованных образцов в пределах (8,7-9,4) 10^{-12} Кл/Н. По сравнению с кварцем значения $tg\delta$ на частоте 1 кГц завышены, а значения удельного объемного сопротивления ρ занижены на 1,5-2 порядка величины. Анизотропия электрических характеристик повторяет "кварцевую" ($\epsilon_{11} < \epsilon_{33}$, $\sigma_{11} < \sigma_{33}$) и сильнее проявляется в температурных зависимостях этих характеристик. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в интервале 20-200 °C близок к нулю ($TKE = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$).

Л и т е р а т у р а

I. ROY R., THEOKRITOFF S. // J. of Crist. Growth. - 1972. - Vol. 12. - P. 69-72.

ДИСПЕРСИЯ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ
В ТРИГОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛАХ GeO_2 (Т.М. Глушкова, Д.Ф. Киселев, И.Б. Махина, М.М. Фирсова, А.П. Штыркова,
МГУ им.М.В. Ломоносова, ВНИИСИМС, г. Александров)

Тригональная форма кристаллов $\alpha-GeO_2$, не встречающаяся в природе, представляет значительный интерес как кристаллографический аналог широко используемого в аппаратуре α -кварца. Но систематические данные об оптических характеристиках этого кристалла в научной литературе весьма скудны ввиду значительных трудностей при его выращивании как гидротермальным способом, так и из расплава.

Гидротермальным способом были выращены тригональные кристаллы $\alpha-GeO_2$ при температурах, не превышающих 185 °С, путем эпитаксиального наращивания на кварцевые затравки различных срезов. Из выращенных кристаллов удовлетворительного оптического качества были изготовлены соответствующие образцы размерами 1x2x3 мм.

Исследование вращения плоскости поляризации осуществлялось на фотоэлектрическом поляриметре, а показателей преломления — методом призмы (автоколлимационным и по углу наименьшего отклонения) на гониометре ГС-5. Погрешности измерений составляли ~0,5-1 % ввиду сложности ориентировки и обработки образцов таких небольших размеров. В качестве источников света использовались He-Ne лазер ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) и ртутная лампа СВШШ-250 ($\lambda = 5461, 4358 \text{ и } 4047 \text{ \AA}$).

Как показали исследования, величины показателей преломления и эффекта оптического вращения в кристаллах $\alpha-GeO_2$ значительно превосходят таковые в $\alpha-SiO_2$. Эти результаты свидетельствуют о перспективности использования кристаллов $\alpha-GeO_2$ в оптической аппаратуре при условии совершенствования технологии их выращивания.

ВЫРАЩИВАНИЕ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КРИСТАЛЛА ТЕТРАБОРАТА ЛИТИЯ

(Н.В. Левин, В.А. Ломонов, Ю.В. Писаревский, И.М. Сильвестрова,
Н.Л. Сизова, П.А. Синюченко, М.Н. Чолоков, Ин-т кристаллографии
им. А.В. Шубникова АН СССР, Москва)

Монокристаллы тетрабората лития ($Li_2B_4O_7$), пригодные для создания устройств на основе поверхностных или объемных акустических волн, выращивали на воздухе из расплава стехиометрического состава. Выращивание кристаллов производили на затравку, ориентированную вдоль направления $\langle 100 \rangle$ или $\langle 001 \rangle$. Скорость перемещения затравки - 0,7 мм/ч, вращения - 50 об/мин. Нагрев, снижение и регулирование температуры во время роста осуществляли с помощью регулятора РИФ-101. Осевой градиент температуры вблизи расплава составлял 40 град/см, радиальный - 10 град/см. Скорость снижения температуры во время отжига кристалла изменялась от 2 град/ч на начальной стадии до 5 град/ч - на конечной.

На образцах, изготовленных из выращенных кристаллов, были измерены температурные зависимости скоростей распространения ультразвука при термоциклировании. На температурной зависимости скорости распространения поперечной волны по направлению $[001]$ обнаружен гистерезис со скачкообразным возрастанием скорости звука при охлаждении и плавным уменьшением при нагревании. Ширина зоны гистерезиса уменьшается от цикла к циклу. Заметный гистерезис наблюдается также на температурной зависимости скорости волны, распространяющейся по направлению $[100]$ с поляризацией по направлению $[010]$.

Для других мод гистерезис выражен существенно слабее. На температурной зависимости скорости продольной волны по направлению $[100]$, кроме того, наблюдается излом при температуре 162 К.

В температурной области $T_{комн} = 970$ К проведено индентирование плоскостей (100) , (010) , (001) сферическим индентором и индентором Виккерса. Определены анизотропия твердости H_g , трещиностойкости K_{1c} , а также плоскость и направление скольжения дислокаций в этом кристалле.

МНОВОВОЛНОВАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ
МОНОКРИСТАЛЛОВ КВАРЦА

(Т.Н.Бурова, М.И.Поляк, Ю.П.Степко, В.В.Ткаченко, С.А.Шелудько,
Черновицкий гос. ун-т, г.Черновцы; Московский геол.-развед. ин-т)

На примере монокристаллов кварца рассматриваются теоретические и прикладные аспекты многоволновой рентгеновской дифрактометрии – перспективного метода рентгеновского структурного анализа, базирующегося на исследовании явлений одновременной дифракции излучения на нескольких системах атомных плоскостей кристалла.

На основе анализа геометрических условий многоволновой дифракции получены простые соотношения между биполярными координатами узлов обратной решетки, длиной волны рентгеновского излучения и угловыми положениями пиков многоволновой дифракции на дифрактограмме азимутального сканирования. Предлагается компьютерная программа для индентификации дифрактограмм и вычисления сферических координат дифрагированных пучков, составленная с учетом возможности реализации методик азимутального и полярного сканирования с использованием нескольких вариантов экспериментальных установок.

Представлены результаты экспериментальных исследований природных и синтетических образцов α -кварца с использованием как обнаруженного ранее [1] эффекта окольного возбуждения запрещенных рентгеновских отражений, так и эффектов многоволновой дифракции на фоне разрешенных базисных отражений. Экспериментальные результаты сопоставляются с результатами компьютерных вычислений на основе плосковолнового приближения динамической теории дифракции.

Полученные данные использованы для дальнейшего развития рассматривавшихся ранее в работах [2–4] методик оценки степени структурного совершенства монокристаллов, прецизионного измерения линейных и угловых параметров кристаллической решетки и прямого экспериментального определения фазовых соотношений между структурными амплитудами рентгеновских отражений ацентричных кристаллов.

Л и т е р а т у р а

Г. ФОФАНОВ А.Д., ФОТЧЕНКОВ А.А., ШИВРИН О.Н. // Докл. АН СССР. - 1979. - Т. 24, № 3. - С. 606-608.

2. ФАЛИН С.С., ФОФАНОВ А.Д., ШИВРИН О.Н. // Завод. лаб. - 1984. - Т. 50, № 1. - С. 36-37.
3. КШЕВЕЦКИЙ С.А., МИХАЛЬЧЕНКО В.П., СТЕЦКО Ю.П., ШЕЛУДЬКО С.А. // Укр. физ. ж. - 1985. - Т. 30, № 12. - С. 1843-1848.
4. КШЕВЕЦКИЙ С.А., СТЕЦКО Ю.П., ШЕЛУДЬКО С.А. // Кристаллография. - 1987. - Т. 32, вып. 2. - С. 308-310.

УДК 548.0:535.36

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В КРИСТАЛЛЕ КВАРЦА

(И.Т.Боднарь, А.К.Сойка, Ин-т физики твердого тела и полупроводников АН БССР, г. Минск)

Исследовано изменение интенсивности и поляризации лазерного излучения, проходящего через кварцевый кубик, помещенный между двумя скрещенными поляризаторами. Если падающий свет поляризован под углом 45° к оптической оси кристалла, то при повороте образца вокруг вертикальной оси происходит чередование максимумов и минимумов интенсивности, что обусловлено изменением формы и положения эллипса поляризации выходящего из кристалла излучения. Переход от максимума к минимуму интенсивности прошедшего излучения соответствует изменению его интенсивности поляризации на 90° . Разница в интенсивности максимумов и минимумов при этом составляет не менее двух порядков. Эти эффекты объясняются соотношением двух ортогонально поляризованных волн (обыкновенной и необыкновенной) при различных разностях фаз между ними, связанных с поворотом кристалла.

Интересно, что в минимумах интенсивности освещенность различных участков пятна от вышедшего лазерного луча (после анализатора) не является однородной. В нем наблюдаются три участка: центральная темная полоска с линейной поляризацией и два участка по обе стороны от темной полоски с эллиптической поляризацией, причем вращение электрического вектора происходит в них в противоположных направлениях. Дело обстоит таким образом, как если бы в кристалле распространялись три волны с различной поляризацией, а, следовательно, и с различными скоростями и показателями преломления.

Изучены особенности поляризации прошедшего через кристалл света при различных ориентациях электрического вектора и оптической оси кристалла и при изменении углового положения исследуемого образца относительно вертикальной оси.

УДК 548.0:535.36

САМОРАСФОКУСИРОВКА ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ В КВАРЦЕ

(И.Т.Боднар, А.К.Сойка, Ин-т физики твердого тела и полупроводников АН БССР, г.Минск)

Исследовался механизм прохождения лазерного луча через кристалл кварца, помещенный между двумя скрещенными поляризаторами. Луч света от лазера ЛПН-105 был поляризован так, что электрический вектор составлял угол 45° с горизонтальной плоскостью. Регистрировались изменения поляризации светового луча в области α - β -перехода при прохождении света через кристалл параллельно оптической оси. Одновременно измерялась оптическая активность кварца.

Известно, что свет, проходящий вдоль оптической оси кварца, является плоскополяризованным. Обнаружено, что в области α - β -перехода появляется эллиптическая, а затем круговая поляризация выходящего из образца света, форма и размер лазерного пятна на экране при этом не изменяются. При некоторой температуре пятно растягивается по вертикали, освещение его становится неоднородным, плоскость пятна пересекает горизонтальные темные полосы плоскополяризованного света, которые при повороте анализатора на 90° превращаются в светлые.

Последующий этап фазового перехода характеризуется сжатием лазерного пятна по вертикали в эллипс. Внутри эллипса наблюдается сложная кольцевая структура. Подобные явления имеют также место в нисобате бария-натрия.

1981
После окончания фазового перехода пятно принимает свои нормальные размеры, такие, как до перехода. Свет после прохождения через образец снова становится плоскополяризованным.

Ход оптической активности находится в соответствии с литературными данными во всей области температур, за исключением области

фазового превращения, где наблюдается ряд пиков, связанных с резким увеличением и уменьшением угла поворота плоскости поляризации.

Предполагается, что наблюдающиеся явления расфокусировки лазерного луча связаны с нелинейными свойствами среды (кварца) в области фазового перехода, наличием в ней областей с различными показателями преломления, т.е. микрообластей α - и β -фаз.

УДК 537.226:537.535

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

(А.А.Фотченков, Е.М.Акуленок, К.А.Зуева, ВНИИСИМС, г.Александров:
Ин-т кристаллографии АН СССР, Москва)

Оптическими макродефектами кристаллов являются зонарная и секториальная полосчатость, обусловленная анизотропией скоростей роста и связанным с ней неоднородным захватом примесей растущими гранями кристалла. Обычно эти дефекты выявляются отжигом контрольных пластин или их ионизирующим облучением. В отдельной пирамиде роста неоднородный захват примесей выявляется также методом избирательного травления, или с помощью дифракции и интерференции монохроматического света, прошедшего через контрольный блок кристалла [1-4].

Последний метод авторами использован для количественной оценки изменения показателя преломления на границе затравка - выросший материал, а также в объеме пирамиды роста пинакоида и положительной тригональной призмы кристаллов искусственного кварца. Значения скачка показателя преломления максимальны на границе затравка - выросший материал и колеблются от 10^{-6} (погрешность измерения) до $5 \cdot 10^{-5}$. Особенно велики они в цветных разновидностях кварца.

Обсуждаются технологические параметры роста кристаллов, приводящие к неоднородному захвату примеси растущей гранью. Результаты исследования полезны для усовершенствования процесса выращивания кристаллов кварца высокого оптического качества с однородными физическими характеристиками во всем объеме материала данной пирамиды роста.

Л и т е р а т у р а

1. ХАДЖИ В.Е. // Тр. ВНИИСИМС. - М., 1962. - Т. 6. - С. 31-46.
2. CHADJI V.E. // J.of Crystal Growth. - 1968. - P.641-646.
3. ЦИНОБЕР Л.И. // Тр. ВНИИСИМС. - 1960. - Т. 3, вып. 2. - С. 95-104.
4. ДАНИЛОВА Г.В., ДУБОВСКИЙ А.Б., ФИЛИППОВ И.М. // Акустический журнал. - 1989. - Т. 35, вып. 3. - С. 550-553.

УДК 548.0:537:621.317.32

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КВАРЦА

(Р.Я.Евсеева, П.С.Нестеренко, Гос. ун-т, г.Ростов-на-Дону)

Исследованы кинетика спадаания электростатического потенциала V_S и координатное распределение последнего на поверхности электризованных в поле коронного разряда образцов χ - и Z -срезов монокристаллов кварца разного качества и технологии получения.

Существенного различия в скорости спадаания $V_S(t)$ для совершенно прозрачных кристаллов χ - и Z -срезов не наблюдалось. Типичные кривые $V_S(t)$ по истечении времени максвелловской релаксации и вплоть до 10^4 с хорошо аппроксимировались одной-двумя экспонентами с характеристическим временем $\sim 10^4$ с, зависящим от особенностей процесса выращивания кристаллов. Так, у образцов с аморфизованными микровключениями гидросиликата натрия, или послонными неоднородностями роста, длительность спадаания V_S заметно больше, чем у чистых кристаллов высокого качества. Полировка граней образцов способствовала ускорению падения $V_S(t)$. К аналогичному результату приводило и повышение относительной влажности воздуха в процессе хранения электризованных образцов.

Координатные зависимости распределения V_S по двум взаимно перпендикулярным направлениям на поверхности имеют общий вид (платообразный участок в центре с убыванием V_S у краев), свидетельствующий об однородном нанесении заряда в процессе электризации образцов.

Приводятся экспериментальные данные, зависимости и характеристики проведенного исследования, обсуждается механизм релаксации поверхностного заряда в кристаллах кварца.

РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КВАРЦА

(М.Б.Бреслав-Масленников, Г.Е.Горнова, А.Г.Дутов, Р.Н.Мультиман, М.А.Сторчак, Ин-т физики твердого тела и полупроводников АН БССР, Г.Минск; НИИ Физики, Москва)

Недостаточное изучение центров люминесценции в кварце, зависящих от дефектов структуры, тормозит его применение в качестве исходного материала для резонаторов в тех устройствах, где необходима устойчивость к воздействию электронных пучков, нейтронного и других излучений. Методом радиолюминесценции авторы изучили спектры излучения кварца после облучения его в нейтронном поле ядерного реактора. Радиоактивное превращение ядра с необходимостью сопровождается перестройкой электронных оболочек атома. Наряду с другими явлениями, при этом может происходить генерация световых квантов решеткой кристалла. Анализ экспериментальных данных показывает, что число удаленных электронов на один β -распад больше единицы. Следовательно, можно ожидать, что число квантов света также будет больше одного на распад. Энергия квантов будет определяться шириной запрещенной зоны кристалла и расположением уровней, обусловленных дефектами или примесями атомами. Из экспериментальной кривой спада интенсивности радиолюминесценции монокристаллов кварца выделены компоненты с периодом полураспада 2,3; 6,5 и 9,5 мин. что идентифицировано с наличием в кристалле изотопов ^{28}Al , ^{29}Al , ^{31}Si .

Измерение спектров радиолюминесценции проводилось на образцах искусственного кварца, "цитрина", плавленного кварца, кальцита. Образцы в виде полированных пластин облучались в потоке нейтронов в вертикальном канале реактора в одной и той же точке. Спектры радиолюминесценции искусственного кварца, плавленного кварца и "цитрина" содержат линию с $\lambda = 490$ нм. Появление в спектрах плавленного кварца и "цитрина" линий 510 и 520 нм связывается со структурой решетки и наличием примесей. Спектр радиолюминесценции кальцита лежит в оранжевой области с $\lambda = 585$ нм и имеет период полураспада 8,75 мин изотопа ^{43}Ca .

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КВАРЦА И КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

(М.Д.Катрич, Л.В.Жога, Волгоградский инженерно-строительный ин-т):

Для исследования прочности монокристаллов кварца (природного и синтетического) и кварцевого стекла применены методы индентирования и трехточечного изгиба.

Испытания методом трехточечного изгиба при непрерывном нагружении показали, что монокристаллы кварца разрушаются хрупко в интервале температур 20–150 °С, при этом прочность не зависит от нагрузки.

Обнаружена зависимость вероятности разрушения кварца под постоянной нагрузкой от времени ее действия: вероятность увеличивается с ростом температуры.

Методом индентирования обнаружена анизотропия прочностных свойств монокристаллов кварца: y -срез имеет наименьшие значения твердости (наименьшее сопротивление упруго-пластическому деформированию), вязкости разрушения K_{IC} и критического размера трещины c^* . Твердость x - и z -срезов одинакова, но x -срез имеет наибольшие значения K_{IC} и c^* .

Как показали оба примененных метода испытаний, монокристаллы синтетического кварца прочнее природного. Последний имеет больший разброс по прочности, более высокие перенапряжения при испытаниях и меньшее значение области локализации напряжений.

Двумя методами испытаний изучено влияние отжига и закалки на прочность кварца. Установлено, что при этом происходит упрочнение поверхностного слоя (3–4 мкм) кристалла, причем прочность природного и синтетического кварца в этом слое становится одинаковой. Повторная закалка не меняет прочности кварца.

Все обнаруженные эффекты объясняются влиянием различных структурных факторов на формирование напряженного состояния в реальном кристалле.

Испытания методом индентирования кварцевого стекла показали, что по сравнению с оконным оно более твердое, но более хрупкое.

МЕТОДОЛОГИЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ДЕФЕКТНЫХ ЦЕНТРОВ
КРИСТАЛЛОВ И СТЕКОЛ: SiO_2

(К.П.Семенов, ВНИИСИМС, г.Александров)

Все присутствующие в кристаллах и стеклах дефектные центры в процессе облучения и нагрева, необходимом для получения наиболее полной информации об этих центрах, взаимосвязаны посредством миграции между ними подвижных носителей заряда. Необходимо измерение целого комплекса физических свойств, чувствительных ко всем упорядоченным (узкие полосы оптического поглощения, пики акустических и диэлектрических потерь, сигналы ЭПР) и неупорядоченным центрам (диффузные максимумы поглощения и потерь или их склоны). Поскольку число меняющихся при облучении и нагреве физических параметров, как правило, велико (более 25 для кварца), существенно облегчает моделирование радиационно- и термостимулированных процессов, установление корреляций изменений этих параметров. Для этого требуется набор большого числа доз γ -излучения и температур нагрева и исследование кристаллов и стекол с существенно разными концентрациями и составом дефектных центров. Анализ условий и механизма синтеза кристаллов и стекол, их примесного состава позволяет ограничить возможные типы ловушек и процессов миграции между ними носителей заряда. Так в кристаллах и стеклах SiO_2 требование сохранения зарядовой нейтральности дефектных центров разрешает миграцию между электронными $\equiv Si^{\uparrow}$, $-O\downarrow$ и дырочными $\oplus SiO_3^-$, $-O^{\oplus}$ ловушками в составе: вакансий O и SiO_2 , алумо- и боркислородных тетраэдров, молекул H_2O и разорванных $Si-O$ -связей только пар e^- , H^+ и e^- ; Me^+ ($Me^+ - Li^+$, Na^+ , K^+).

Прямые методы расшифровки структуры большинства дефектных центров в настоящее время отсутствуют. Поэтому только способность гипотетических моделей радиационно- и термостимулированных процессов естественно объяснять всю совокупность экспериментальных данных практически гарантирует правильность идентификации каждого физического параметра с конкретным дефектным центром.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА НЕКОГЕРЕНТНОГО СВЕТА НА ПАРАМЕТРЫ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

(М. Б. Бреслав-Масленников, Г. Е. Горнова, А. Г. Дутов, Р. Н. Мультап,
Н. А. Рябов, М. А. Сторчак, Ин-т физики твердого тела и полупроводни-
ков АН БССР, г. Минск; НИИ "Фония", Москва)

Характер реакции кварцевого резонатора на импульс некогерентного света зависит от типа исходного сырья. При воздействии на резонаторы различного вида излучений (например, ядерных) происходит ионизация дефектов, образовавшихся в решетке кварца в процессе роста кристалла. Например, А-центры - сложные дефекты, в которых один атом кремния замещен примесным атомом алюминия, а избыточный отрицательный заряд скомпенсирован находящимися вблизи ионами H^{+1} , Li^{+1} , Na^{+1} . Концентрация А-центров обычно на несколько порядков превышает концентрацию других дефектов, и поскольку А-центры влияют на физико-химические свойства кварца, то их разрушение под действием облучения приводит к изменению параметров резонаторов.

Проведенные исследования показали, что для изменения радиотехнических характеристик резонатора достаточно возбуждения А-центра, а не его разрушения. Это достигается облучением некогерентным светом с энергией фотонов намного меньшей, чем энергия ионизации кварца. Например, плотность энергии в импульсе 1000... 2000 кДж/м² при длительности 0,75...1,5 мс. При этом компенсирующие заряд ионы отходят от возбужденного А-центра на расстояние, не превышающее нескольких постоянных решетки, что сохраняет возможность их возврата на прежние места после окончания возбуждения.

В эксперименте использовались резонаторы АТ-среза в прозрачном для видимого света корпусе, изготовленные по одинаковой технологии. Резонаторы, изготовленные из различного высококачественного сырья, в первоначальный момент времени имеют различные знаки ухода частоты и дальнейшее ее изменение в зависимости от знака температурного ухода частоты.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
 ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКА $La_3Ga_5SiO_{14}$ НА НИЗКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ
 (Б.П. Сорокин, А.И. Зайцев, Красноярский гос. ун-т)

Интерес к монокристаллу $La_3Ga_5SiO_{14}$ обусловлен не только приемлемым сочетанием электромеханических свойств, но и высокими диэлектрическими параметрами, а также различием знака температурных коэффициентов ϵ_{11} и ϵ_{33}^* .

Температурные измерения диэлектрических свойств $La_3Ga_5SiO_{14}$ были выполнены на частотах 1 кГц и 9 ГГц мостовым методом и методом короткозамкнутого волновода соответственно. Данные по НЧ измерениям в основном близки к литературным* и составляют для данных образцов: $\epsilon_{11} = 18,69$, $\epsilon_{33} = 50,27$, $T_{\epsilon_{11}} = 154 \times 10^{-6}$ град $^{-1}$, $T_{\epsilon_{33}} = -771 \times 10^{-6}$ град $^{-1}$. Различие в знаках $T_{\epsilon_{11}}$ и $T_{\epsilon_{33}}$ было использовано для расчета и изготовления образца с диэлектрическими свойствами, не зависящими от температуры. В расчете принято во внимание температурное расширение. Угол между нормалью к плоскости образца и кристаллографическим направлением [0001] составил $74,3^\circ$. Естественно, что для этих кристаллов существует конус таких направлений. Значение T_{ϵ} такого образца в окрестности комнатной температуры составило $-5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ при перегибе характеристики около $+50^\circ C$.

На частоте 9 ГГц получены значения диэлектрических постоянных $\epsilon_{11} = 16,2$, $\epsilon_{33} = 42,7$. Такое уменьшение объяснимо частичным включением механизма дипольной релаксационной поляризации на этих частотах. В пользу того, что существует значительный дипольный вклад, проявляющийся в повышенном значении ϵ_{33} , говорит также температурный ход зависимостей $\epsilon_{33}(T)$ на НЧ и СВЧ — уменьшение ϵ_{33} с ростом температуры.

*Физика твердого тела / И.М. Сильвестрова, Ю.В. Лисаревский, П.А. Сенищенок, А.И. Крушный. — 1986. — Т. 28, № 9. — С. 2875—2878.

ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СРЕЗЫ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКЕ $La_3Ga_5SiO_{14}$
(С.И.Бурков, Б.П.Сорокин, П.П.Турчин, Красноярский гос. ун-т)

Пьезоэлектрик $La_3Ga_5SiO_{14}$, относящийся к точечной группе симметрии 32, представляет интерес из-за сочетания относительно высоких (по сравнению с пьезокварцем) пьезоэлектрических свойств и возможности термокомпенсированных направлений для изготовления устройств пьезотехники и акустоэлектроники [1].

Анализ анизотропии акустических параметров объемных (ОАВ) и поверхностных (ПАВ) акустических волн был выполнен на ЭВМ с целью поиска приемлемого сочетания значений коэффициента электромеханической связи (КЭМС) и температурных коэффициентов скоростей и задержки упругих волн. Кроме того, рассчитывались углы отклонения потоков энергии ОАВ и ПАВ, углы отклонения векторов поляризации ОАВ. В расчете использованы измеренные упругие, диэлектрические и пьезоэлектрические постоянные, а также их температурные коэффициенты, несколько отличающиеся от известных в литературе [1]. Для установления однозначности результатов выбиралась рабочая кристаллофизическая система координат (КФС) исходя из данных кристаллоакустического эксперимента так, чтобы выполнялось соотношение $C_{14} > 0$ ($S_{14} < 0$) согласно правилам, рекомендованным в работе [2]. В выбранной КФС устанавливались знаки пьезоэлектрических постоянных тестовым методом прямого пьезоэффекта. Найдены особые направления распространения ОАВ: акустические оси, направления "чистых мод". Указаны направления с максимальными значениями температурных коэффициентов задержки и скоростей волн Рэлея. Рассчитанные значения указанных параметров в наиболее интересных направлениях и срезах проверялись экспериментально.

Л и т е р а т у р а

1. ФИЗИКА твердого тела / И.М.Сильвестрова, Ю.В.Писаревский, П.А.Сенюленков, А.И.Крупный. - 1986. - Т. 28, № 9. - С. 2875-2878.
2. СИРОТИН Ю.И., ШАСКОЛЬСКАЯ М.П. Основы кристаллофизики. - М.: Наука, 1975.

1001

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТЕЙ
 ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН И МАЛЫХ ПЬЕЗОДОБАВОК
 ПРИ УЧЕТЕ ЗАДЕРЖКИ В КОНТАКТНОМ СЛОЕ
 (Б.П.Сорокин, П.П.Турчин, Красноярский гос. ун-т)

Импульсный ультразвуковой метод, предложенный авторами^{*}, позволяет определять скорость звука в кристалле с точностью до 0,1 м/с, соответственно рассчитывать значения упругих констант с точностью до 10^7 Н/м² при условии учета задержки в контактном слое образец - преобразователь. Однако такие возможности не всегда используются ввиду сложности определения этой задержки.

Для того, чтобы расчетным путем учесть задержку в контактном слое исходя из данных кристаллоакустического эксперимента, предположим, что контактный слой не изменяется от эксперимента к эксперименту. Непосредственные измерения толщины слоя показывают, что такое предположение выполняется с точностью до 10-20 % в зависимости от типа вносимой смазки. Задержка в контактном слое вычислялась из измерений скорости звука в одном и том же направлении для двух образцов различной длины, отдельно для продольных и сдвиговых волн. При этом справедливо:

$$l_1 / (\tau_1 - \tau_x) = l_2 / (\tau_2 - \tau_x) \quad , \quad (1)$$

где l_1 - длина первого образца; $\tau_1 = t_1 + \tau_x$ - измеряемое время задержки звука в первом образце и контактном слое, t_1 - время задержки в образце, τ_x - время задержки в смазке; l_2 , τ_2 - длина второго образца и измеряемое время задержки во втором образце и контактном слое соответственно. Тогда искомое время τ_x :

$$\tau_x = (l_1 \tau_2 - l_2 \tau_1) / (l_1 - l_2) \quad . \quad (2)$$

Предлагаемый способ измерений τ_x позволил учесть систематическую погрешность, которая для продольных волн составила 1-2 нс, для сдвиговых - 3-4 нс. Исходя из данных только кристаллоакустического эксперимента удалось определить значения пьезоэлектрических постоянных e_{11} и e_{14} для монокристалла $La_3Ga_5SiO_{14}$, а также их температурные зависимости.

^{*}Кристаллография / А.И.Коробов, З.Н.Прохоров, О.Ю.Сердобольская, П.Хегедуш. - 1978. - Т. 23, № 3. - С. 566-569.

РЕЗОНАНСНЫЙ СПЕКТР КОЛЕБАНИЙ НЕОДНОРОДНЫХ ПЬЕЗОПЛАСТИН

(В.З.Бородин, Е.И.Бондаренко, Е.И.Ситало, НИИ физики Ростовского гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Теоретически и экспериментально исследовано возбуждение упругих волн в узкой и тонкой пластине с неоднородным распределением пьезомодуля d_{31} вдоль длины. Две области с независимыми от координаты x_1 значениями d_{31}^+ разделены переходной областью, в которой d_{31} изменяется линейно с x_1 от d_{31}^+ до d_{31}^- . Выражение для адмиттанса образца получается из решений уравнений продольных колебаний в трех областях при соответствующих граничных условиях (непрерывность смещений и механических напряжений T_1 на границах областей и равенство $T_1 = 0$ на границах образца).

Показано, что интенсивности возбуждаемых резонансных колебаний определяются не только добротностью образца, но и "структурными" множителями:

$$F_H = (d - \bar{d} f \cos \kappa \ell)^2 \quad \text{— для нечетных гармоник}$$

и

$$F_G = [\bar{d}(1 - f \cos \kappa \ell)]^2 \quad \text{— для четных гармоник,}$$

которые зависят от характера распределения пьезомодуля:

$2d = d_{31}^+ + d_{31}^-$; $2\bar{d} = d_{31}^+ - d_{31}^-$, $\bar{\ell}$ — ширина и ℓ — положение переходной области; $f = \sin \kappa \bar{\ell} / \kappa \bar{\ell}$, κ — волновой вектор.

Анализируется влияние каждого из "структурных" параметров (\bar{d} , d , $\bar{\ell}$, ℓ) на спектр резонансных колебаний, для этого построены зависимости интенсивностей первых шести гармоник от указанных параметров.

Экспериментальные исследования проводились на пьезопластинах, неоднородное распределение пьезомодуля в которых создавалось в процессе поляризации их в поле температурного градиента вдоль длины образца. Вид полученных резонансных спектров колебаний неоднородных пьезопластин подтверждает теоретические расчеты.

Таким образом, подбирая параметры неоднородности пьезопластин: значения пьезомодулей, размеры и положение переходной области, можно целенаправленно формировать требуемый спектр колебаний, в частности, добиться наиболее интенсивного возбуждения определенной гармоники.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРЕТНОГО СОСТОЯНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $PbSc_{1/2}Nb_{1/2}O_3$
(Н.А.Трусов, Е.М.Панченко, Е.И.Бондаренко, НИИ физики Ростовского
гос. ун-та, г.Ростов-на-Дону)

Монокристаллы типа $Pb(B', B'')O_3$ представляют большой интерес как модельные объекты для исследования природы размытия фазовых переходов, процессов упорядочения. Эти соединения перспективны для практического применения в качестве электрооптических, конденсаторных и стрикционных материалов.

Монокристаллы скандиобата свинца (PSN) для исследований были получены методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве. В качестве растворителя были использованы оксиды свинца и бора.

Исследованы закономерности существования электретного состояния в монокристаллах PSN . Электретное состояние в монокристаллах PSN формировалось в результате поляризации образцов при комнатной температуре в коронном разряде. Проведены исследования изотермической релаксации потенциала внешнего электрического поля (φ) с помощью вибронда по компенсационной методике. Установка обеспечивала измерения изотермической релаксации φ электрета в диапазоне 290–570 К с большой степенью точности за счет использования емкостной стабилизации зазора кварцевой измерительной ячейки и непрерывной регистрации сигнала в автоматическом режиме.

Обнаружено существенное влияние сегнетоэлектрической поляризации на характер релаксации электретного состояния в указанных монокристаллах. Так, энергии активации гомозаряда, определенные по начальным участкам кривых изотермической релаксации φ , снятых при различных фиксированных температурах как при $T > T_{c,sp}$, так и при $T < T_{c,sp}$ составили 0,94 и 0,55 эВ соответственно. В области $T_{c,sp} - 20 \text{ К} < T < T_{c,sp} + 10 \text{ К}$ наблюдается аномалия в зависимости $\ln \tau_{\varphi} = f(1/T)$. При $T \approx T_{c,sp} + 30 \text{ К}$ в процессе изотермической релаксации имеет место инверсия знака φ – переход от гомозаряда электрета к гетерозаряду. Также исследованы температурно-частотные зависимости диэлектрической проницаемости и зависимость электропроводности от температуры в образцах PSN . Обсуждаются полученные результаты.

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ ЦИНКИТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
(Е.В.Кортунова, В.И.Лютин, В.Е.Хаджи, ВНИИСИМС, г.Александров)

Монокристаллы цинкита, обладающие удачным сочетанием пьезоэлектрических и полупроводниковых свойств, высоким коэффициентом электромеханической связи, могут быть использованы в качестве активных элементов устройств, применяемых в различных областях науки и техники.

Наиболее перспективным методом выращивания цинкита является гидротермальный. Обычно синтез проводится в 3–8*л* растворах при температурах 250–350 °С и $\Delta T = 5\text{--}25$ °С в автоклавах, футерованных благородными металлами.

Вследствие малых скоростей роста граней $(10\bar{1}0)$ и $(10\bar{1}1)$ для затравок первого поколения использовались пластинчатые кристаллы *ZnO*, выращенные в раствор–расплавах. Поэтому проблема массового получения крупных кристаллов *ZnO* в гидротермальных условиях остается нерешенной. Используемые растворы обладают низкой лабильностью, что ведет к интенсивному зародышеобразованию в кристаллизационной камере. Спонтанные кристаллы, оседая на затравки, вызывают двойникование преимущественно по плоскости (0001) и мозаичное нарастание пирамид призмы. В пирамиде роста положительного моноэдра ростовые двойники не возникают, а наследование от затравки вследствие анизотропии скоростей роста моноэдров, выклиниваются. Образование полисинтетических двойников на гранях призмы $(10\bar{1}0)$ наиболее нежелательное явление, препятствующее разрастанию кристаллов и приводящее к вырождению плоской поверхности положительно-го моноэдра в местах выхода двойниковых областей.

Совершенные кристаллы цинкита были выращены при низких пересыщениях на бездефектных затравках, полученных из однородных областей гидротермальных кристаллов, а также из кристаллов цинкита, синтезированных газотранспортным методом.

1004

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ДВОЙНИКОВАНИЯ КАЛЬЦИТА
(В.Л.Бородин, В.В.Дронов, В.И.Лютин, И.В.Нефедова, ВНИИСИМС,
г.Александров)

Эксперименты показали, что процесс двойникования при гидротермальном синтезе кальцита непосредственно связан с механизмом спонтанного зародышеобразования. Двойники бывают двух типов: по $\{000\bar{1}\}$ по закону $b'/m'm'm'$ на кристаллах спонтанного зарождения и по $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ по закону $m'm'm'$ на гранях $\{02\bar{2}\bar{1}\}$ кристаллов, выращенных на затравках.

Образование двойников первого типа обусловлено срастанием в плоскости $\{000\bar{1}\}$ с разворотом на 30° (в силу энергетических причин) двух трехмерных зародышей, ограниченных $\{10\bar{1}\bar{1}\}$, $\{000\bar{1}\}$ и $\{02\bar{2}\bar{1}\}$. Входящие углы таких зародышей-двойников способствуют выравниванию скорости роста по $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ и $\{02\bar{2}\bar{1}\}$ и определяют длительное сосуществование этих граней на кристаллах спонтанного зарождения. Монокристаллические зародыши быстро покрываются гранями медленно растущего ромбоэдра $\{02\bar{2}\bar{1}\}$ и остаются микроскопическими, тогда как двойники достигают размеров 30 мм по оптической оси. Часто наблюдаются закономерные сростки двух и более двойников по $\{000\bar{1}\}$.

Появление двойников второго типа связано с прилипанием в двойниковом положении трехмерных зародышей — спайных ромбоэдров к острым вершинам затравок по $\{10\bar{1}\bar{1}\}$. На этих вершинах формируются грани $\{02\bar{2}\bar{1}\}$, в пирамидах роста которых возникают двойниковые вставки. Образующиеся входящие углы обуславливают увеличение скорости роста $\{02\bar{2}\bar{1}\}$ и появление вихриального и ступенчатого рельефа этих граней. Интенсивность спонтанной кристаллизации и двойникования при гидротермальном синтезе кальцита, как показали эксперименты, коррелирует с концентрацией раствора и его температурой.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА, ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ
 В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ

(С.А.Мартынов, В.А.Лаптев, Ю.А.Детчужев, ВНИИСИМС, г.Александров)

Получение монокристаллов синтетического полупроводникового алмаза представляется актуальной задачей в связи с использованием их в изделиях электронной техники. Введение бора в ростовую систему при синтезе алмаза в условиях его термодинамической стабильности придает монокристаллам p -тип проводимости.

Приведены и обсуждаются экспериментальные данные по электропроводности и морфологии монокристаллов алмаза в зависимости от содержания бора в ростовой системе. Диапазон изученных концентраций бора составляет от 0,025 до 0,5 мас. %. Установлена корреляционная связь между электропроводностью монокристаллов и содержанием в них парамагнитного азота.

Обнаружена критическая концентрация бора, выше которой присутствие парамагнитного азота в кристаллах не оказывает заметного влияния на электрофизические характеристики.

Электрофизические характеристики монокристаллов алмаза, легированных бором, сравниваются с полученными ранее результатами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ МНОГОФАКТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
 РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ И СВОЙСТВ
 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(И.Д.Арсентьев, К.Г.Нестеров, В.П.Пронин, М.В.Шаталина, В.И.Шевченко, Саратовский сельскохозяйственный ин-т)

Развивается предложенный ранее метод исследования диэлектрических и полупроводниковых слоев, основанный на использовании явления электростатической индукции и реализованный в приборах для научных исследований и контроля.

Рассматриваются особенности создания многопараметровых электроемкостных систем, обеспечивающих разрешение порядка несколь-

ких линий на миллиметр и основанных на одновременном возбуждении в исследуемой области квазистатических электрических полей различных частот и пространственного распределения с последующим выделением информации о локальных параметрах слоя — диэлектрической проницаемости, толщине, проводимости, электрическом заряде.

Предлагается разработанная авторами и созданная аппаратура для исследования кинетики процессов накопления и релаксации зарядов с учетом изменения электрофизических параметров слоя под действием коронного разряда, освещения и температуры с наблюдением панорамы распределений на траектории или измерения усредненного значения.

Анализируются результаты контроля разрешающей способности зондов при использовании различных тестовых структур и обсуждаются методические вопросы применения созданной аппаратуры для разных режимов работы как при непосредственных измерениях, так и в случае использования компенсационных схем.

Аппаратура включает предметный столик с нагревателем и датчиком аппаратуры, узел сканирования, высоковольтный источник напряжения с коротроном и дозатором зарядки, оптический узел с набором оптических мидр, генератор переменного напряжения с умножителем, выпрямителем и цифровым вольтметром, систему разделения информации об определяемых параметрах и осциллографа, развертка которого синхронизирована сканирующим устройством, а также персональный компьютер для обработки и интерпретации результатов измерений. Совместное использование аппаратуры и ЭВМ в согласованном автоматическом и независимых режимах.

УДК 541.12+691.5

УСТАНОВКА ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
АНОДНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ КРИВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ
ПРИ ОКСИДИРОВАНИИ МЕТАЛЛОВ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

(П.С.Гордиенко, С.В.Гнеденков, С.Л.Синебрюков, Н.Ф.Царев, А.Н.Коврянов, Ин-т химии ДВО АН СССР, г.Владивосток)

Известны различные методы получения электретов, в том числе и электризация анодных оксидных пленок (АОП) при их формировании в электролитах. Остаточная поляризация АОП, определяемая через

измерения поверхностного потенциала, несет информацию о состоянии оксидного слоя. Существует также тесная взаимосвязь между электрофизическими свойствами формируемых в электролитах АОП, составом электрета и режимами его получения. В связи с развитием работ по исследованию механизма формирования покрытий в режиме микродугового оксидирования (МДО) проведены работы по установлению качественной и количественной взаимосвязи между величиной остаточного поверхностного потенциала пленок и режимами их получения. Показано, что метод МДО позволяет формировать на поверхности вентильных металлов и их сплавов слои, характеризующиеся различной величиной поверхностного потенциала. Для получения наиболее полной информации о процессах, происходящих при различных потенциалах формирования, для более четкого разделения стадии обычного анодирования, не сопровождаемого микропробоями анодной пленки, от стадии микродугового оксидирования, при котором происходят микроплазменные разряды на поверхности анода, вызывающие реализацию свечения, локально высоких температуры, давления в канале микропробоя, была разработана установка одновременной регистрации кривых J, U - зависимости, интенсивности световых и акустических сигналов, сопровождающих микропробой. Разработанная методика позволила разделить процесс формирования покрытий на несколько стадий. Сопоставление изменений поверхностного потенциала пленок, определенного методом динамического конденсатора, с интенсивностью электрохимических, плазмотермических реакций, лимитирующих ту или иную стадию, дало возможность выявить оптимальные условия формирования пленок, обладающих наилучшими электретными свойствами, установить взаимосвязь между величиной объемного пространственного заряда в пленке и кинетикой роста АОП.

УДК 537.226; 537.535

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ДЕФЕКТОВ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В СТЕКЛООБРАЗНОМ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КВАРЦЕ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРЕВЕ

(Е.В.Кабанова, Б.П.Гриценко, С.Н.Кульков, Б.П.Романов, Ин-т физики прочности и материаловедения СО АН СССР, г.Томск)

Облучение поверхности кристаллического и стеклообразного кварца интенсивными импульсами лазерного излучения ($\lambda = 1,06$ мкм, $t_{\text{и}} = 50$ нс, $q \sim 10^7$ Вт/см²) приводит к деградации поверхностно-

го слоя данных материалов в виде лунок и вспучиваний. Изучение процесса дефектообразования при данном рода воздействиях проводили методами скоростной спектрометрии с высоким временным разрешением (10^{-8} с), электронной микроскопией, а для кристаллического кварца использовали также рентгеноструктурный анализ. Проведенные исследования показали, что в результате импульсного лазерного разогрева поверхности (тепловой удар) вследствие распространения в образцах термоупругой волны происходит образование точечных дефектов F -типа не только в оплавленной и приповерхностной оплавлению зонах, но и по всему объему материала. Используемый радиационный метод (католюминесценция) позволил проследить за процессом образования и преобразования наводимых лазером в образцах точечных дефектов, объяснить механизм их возникновения.

Обсчет данных рентгеноструктурного анализа для кристаллов кварца показал, что в результате сильного импульсного разогрева поверхности происходит образование дислокаций большой плотности, особенно в приповерхностном слое материала (со стороны воздействия лазерного излучения). Наблюдаемые в кристаллах полосы скольжения свидетельствуют о появлении пластической деформации при данного рода воздействиях. В результате движения дислокаций и их пересечения генерируются вакансии, соответственно, точечные дефекты, возникновение которых подтверждают проводимые исследования при использовании оригинального скоростного радиационного метода (католюминесценция с высоким временным разрешением, возбуждаемая потоком электронов $E_e = 300$ КэВ, $\tau = 10$ нс, $j \sim 10^3$ А/см²).

Полученные результаты представляют большой интерес для оптико-электронной промышленности, а также могут быть использованы в других отраслях промышленности, где используются лазеры.

УДК 537.226.83+621.319.2

ОДИНОЧНЫЕ ВОЛНЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ И АВТОКОЛЕБАНИЯ ТОКА В КОРОННОЭЛЕКТРЕТАХ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОПОЛИМЕРОВ

(С.Н.Федосов, С.А.Прибе, А.Е.Сергеева, М.М.Мотылинская, Технологический ин-т им.М.В.Ломоносова, г.Одесса)

При электризации поливинилденфторида (ПВДФ) в отрицательном коронном разряде в диапазоне полей 25–65 МВ/м наблюдались незатухающие низкочастотные (0,1–0,5 Гц) колебания тока. Известно, что

в линейных полупроводниках и диэлектриках автоколебания могут быть вызваны движением электрических доменов, возникающих при отрицательной дифференциальной проводимости [1]. В кристаллических сегнетоэлектриках-полупроводниках причиной колебаний может быть движение областей неоднородной поляризации, формирующихся вследствие нелинейной зависимости поляризации от напряженности электрического поля [2]. В полимерных сегнетоэлектриках, к которым относятся ПВДФ, ввиду преобладания инжекционной составляющей тока и пренебрежимой малости диффузионного тока указанные причины не могут вызвать автоколебаний тока.

Рассмотрение ПВДФ в виде автономной динамической системы показало, что причиной стационарности колебательного процесса является неоднозначность зависимости эмиссионного тока положительных носителей от напряженности поля вблизи электрода. Получено уравнение колебаний, которое проанализировано методом фазовой плоскости, найдены приближенные аналитические выражения для тока, дающие хорошее соответствие с экспериментальными данными.

Показано, что колебания тока во внешней цепи сопровождаются автоволновым процессом, включающим зарождение домена сильной поляризации вблизи положительного электрода, его отрыв и движение во внешнем электрическом поле. Получено уравнение стационарных волн поляризации, проанализирована форма домена, определены толщина стенок (3 мкм) и подвижность пакета положительных носителей ($6 \cdot 10^{-14}$ м²/В с). Факт существования волнового процесса и колебаний указывает на электронную природу тока.

Л и т е р а т у р а

1. БОНЧ-БРУЕВИЧ В.Л., ЗВЯГИН И.П., МИРОНОВ А.Г. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. - М.: Наука, 1972.
2. ШУР М.С. // Физ. тв. тела. - 1968. - Т. 10, № 9. - С. 2653-2657.

1001

НЕОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПЬЕЗОПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ ИХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

(С.Н.Федосов, А.Е.Сергеева, О.П.Корольчак. Технологический ин-т
им.М.В.Ломоносова, г.Одесса)

Экспериментально и теоретически исследованы формирование объемного заряда, внутренней устойчивой поляризации и другие необратимые изменения, возникающие в пьезополимерных пленках при их электризации в коронном разряде. Показано, что процесс электризации проходит три стадии, которые проанализированы с учетом предположения о важной роли инжектированных и захваченных глубокими центрами носителей заряда. В феноменологической модели учтены нелинейная полевая зависимость поляризации и неоднородность электрических параметров по толщине.

На первой стадии поле в объеме пьезополимерной пленки не превышает коэрцитивного. Сильная поляризация зарождается в начале второй стадии, в результате чего происходит расслоение пьезополимерной пленки с образованием двух зон. Затем в области насыщения поляризации образуется еще одна зона. Со временем границы зон смещаются к облучаемой поверхности подобно доменным стенкам сегнетоэлектрика. Поляризация в кристаллитах пьезополимерной пленки создает на их границах локальные возмущения потенциала, действующие как глубокие ловушки инжектированных носителей, при захвате которых частично нейтрализуется деполяризующее поле и обеспечивается высокая стабильность остаточной поляризации.

Модель адекватно объясняет экспериментально наблюдаемые особенности, такие как появление области отрицательного динамического сопротивления на вольт-амперных характеристиках, отрицательный температурный коэффициент проводимости при термостимулированной поляризации, аномальное увеличение стабильности изотермического электретного потенциала, частичное восстановление напряжения после закорачивания электризованной пьезополимерной пленки, уменьшение эффективной проводимости в результате облучения.

Для наиболее типичной пьезополимерной пленки - поливинилиденфторида - из сравнения экспериментальных и расчетных данных найдены подвижность носителей (10^{-8} м²/В с), коэрцитивное поле (42 МВ/м) и поляризация насыщения (60 мКл/м²).

ЭЛЕКТРЕТНАЯ ПРИРОДА И ТЕМПЕРАТУРНО-ПОЛЕВОЙ ГИСТЕРЕЗИС ПИРОАКТИВНОСТИ В ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДЕ

(С.Н.Федосов, А.Е.Сергеева, Технологический ин-т им.М.В.Домоносова,
г.Одесса)

Несмотря на большое число работ по пироэлектричеству в поливинилиденфториде (ПВДФ), природа этого явления до конца не выяснена. Преобладают две точки зрения, объясняющие пироактивность либо сегнетоэлектрическими свойствами кристаллической фазы, либо неоднородным распределением объемного заряда. Для получения дополнительных экспериментальных данных о пироэффекте использована методика измерения пирокоэффициента динамическим методом одновременно с другими опытами - снятием вольт-амперных характеристик, термостимулированной поляризацией и деполяризацией, изотермическим измерением полярности приложенного напряжения.

Установлено, что при охлаждении в постоянном поле и при его изотермическом изменении наблюдается гистерезис пироактивности, что указывает на наличие неоднородной по толщине и необратимой поляризации, не связанной с сегнетоэлектричеством, так как максимальное поле (12 МВ/м) было значительно ниже коэрцитивного (40-100 МВ/м). Температурный гистерезис объяснен замораживанием объемного заряда при смещении термического равновесия между свободными и локализованными носителями в сторону увеличения концентрации последних. В термостимулированных опытах максимум пироактивности наблюдался в той же области температур, что и пики термотока. В сильно поляризованных коронным разрядом пленках (80 МВ/м) температурная зависимость пироактивности обратима, если температура не превышает максимальную, до которой ранее был нагрет образец, причем первый максимум (50-70 °С) также совпадает с пиком ТСД. Связь пирокоэффициента с током ТСД выявляет недостаточную корректность часто применяемого метода отделения пиротока от релаксационной составляющей путем нагревания до высокой температуры, так как при этом "отлигается" и часть пироактивности.

Полученные данные свидетельствуют в пользу электретной природы пироэффекта в ПВДФ, в котором удачно сочетаются большой дипольный момент звена полимерной цепи ($7 \cdot 10^{-30}$ Кл/м) с высоким сродством к электрону атомов фтора (3,37 эВ), что обеспечивает длительное сосуществование высоких уровней гомо- и гетерозаряда, медленно релаксирующих в самосогласованном режиме.

КОНЦЕПЦИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРЕТОВ.
ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ

(Г.В.Ефашкин, Московский ин-т электронного машиностроения)

Распределение заряда по поверхности электрета в принципе неоднородно и носит дискретный характер. Такое распределение энергетически выгодно. Адсорбция заряда поверхностью электретного материала при поляризации происходит на надмолекулярном уровне в виде скоплений точечных дефектов, размеры которых достигают сотен ангстрем.

Системы скоплений формируют мезонеоднородности микронного размера, которые носят также дискретный характер. Совокупности мезонеоднородностей, имея неоднородный характер, определяют макро-неоднородности, наблюдаемые визуально в виде причудливых фигур.

Подобное распределение обуславливает наличие сильных неоднородных приповерхностных полей электретов в тонком приповерхностном слое электрета (ТП-слое). Толщина приповерхностного слоя сравнима с размерами неоднородностей. Поэтому можно рассматривать ТП-слой элементарных зарядов, надмолекулярный ТП-слой, мезо-ТП-слой и макро-ТП-слой с соответствующими его толщинами.

Внешним полем и электродами в виде печатных плат с дискретным периодическим рисунком эквипотенциальных металлических микро-электродов можно упорядочить макронеоднородности и получить электрет с искусственной дискретной структурой заряда (ИДС-электреты), а следовательно, формировать величину ТП-слоя и параметры периодического по поверхности приповерхностного электростатического поля.

Технология ИДС-электретов реализована на практике. ИДС-электреты открывают широкие перспективы создания принципиально новых устройств, не имеющих аналогов в мировой практике, основанных на взаимодействии внешней среды (твердое тело, жидкости, гетерогенные газовые среды) с полями ТП-слоя электрета, а соответственно, и проблемы их детального изучения.

КРИСТАЛЛЫ ОКСИ ЦИНКА. ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ
 C^{12} , Ar^{40} , Ne^{22} НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.
 МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ
 ОТ -180 ДО $+900$ °С

(И.М.Сильвестрова, Ю.В.Писаревский, Н.Л.Сизова, И.П.Кузьмина,
 В.А.Скуратов, В.Р.Регель, А.Ю.Дидык, Ин-т кристаллографии АН СССР,
 Москва; Объединенный ин-т ядерных исследований, г.Дубна)

Кристаллы окиси цинка хорошо себя зарекомендовали в качестве электроакустических преобразователей в дефектоскопических устройствах атомных реакторов, где кристаллы подвергаются воздействию радиационного облучения и высоких температур.

Исследовались кристаллы, выращенные гидротермальным методом. Изучен комплекс электрофизических параметров цинкита (пьезоэлектрических, диэлектрических, упругих) до облучения и после облучения ионами C^{12} , Ar^{40} и Ne^{22} . Выявлено, что воздействие облучения ионами C^{12} отличается от воздействия тяжелых ионов Ne^{22} и Ar^{40} . В частности, предварительное облучение C^{12} на порядок уменьшает обе компоненты удельного сопротивления. Последующее облучение этих же образцов Ne^{22} сопротивление восстанавливает до уровня, бывшего до облучения. После облучения C^{12} уменьшаются модули упругости цинкита. Последующее облучение этих кристаллов ионами Ne^{22} приводит к возрастанию упругих модулей c_{33}^D и c_{55}^D . Аналогичные закономерности наблюдаются и для микротвердости. Воздействие облучением ионами Ar^{40} аналогично воздействию ионами Ne^{22} . В частности, возрастает акустическая добротность резонаторов из окиси цинка.

Для кристаллов окиси цинка исследована микротвердость в широком температурном интервале от -180 °С до $+900$ °С для кристаллографических плоскостей (0001), (1010) и (1120) (1011). Выявлены два участка температурной зависимости микротвердости, с разной скоростью изменения микротвердости от температуры. Интересной особенностью является также возрастание анизотропии микротвердости с температурой.

РАДИАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ БЕРЛИНИТА,
ВЫРАЩЕННЫХ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

(Ш.А.Вахидов, Ж.Д.Ибрагимов, А.Д.Юлдашев, В.Е.Хаджи, В.И.Лютин,
П.П.Шванский, ИЯФ АН УзССР, г.Ташкент; ВНИИСИМС, г.Александров)

Исследованы спектры поглощения (СП), гамма-люминесценция (ГЛ) и кривые термолюминесценции (ТЛ) кристаллов берлинита, облученных γ -лучами в интервале доз 10^6 - 10^{11} Р. Кристаллы выращены в гидротермальных условиях в растворах фосфорной кислоты при температурах 150-300 °С. С целью защиты стенок автоклавов от воздействия высокоагрессивных растворов применялись фторпластовые вкладыши. Поскольку в указанной области кристаллизации в кислых средах берлинит имеет ретроградную температурную зависимость растворимости, выращивание проводилось путем постепенного подъема температуры. Были выращены кристаллы весом до 100 г, из которых для проведения исследований вырезаны пластинки, ориентированные параллельно базисной плоскости.

В СП необлученных кристаллов наблюдается одна полоса с максимумом при 215 нм. Под действием γ -лучей наводятся дополнительные полосы поглощения при 280, 330 и 540 нм, и кристалл приобретает розовую окраску. Повышение дозы облучения приводит к увеличению интенсивностей полос поглощений и плотности окраски.

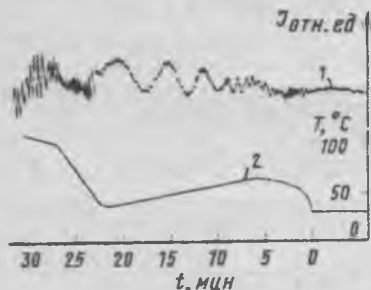
В спектре ТЛ наблюдаются пики при 118, 370, 560 и 710 К, интенсивности которых увеличиваются с дозой облучения. Изучение ГЛ необлученных и предварительно γ -облученных кристаллов показали, что в интервале температур 77-320 К наблюдаются полосы свечения при 430, 640 и 750 нм. Обнаружено, что интенсивность полосы 430 нм резко уменьшается в области 77-130 К, а затем остается почти постоянной. Интенсивность полосы 640 нм почти не зависит от температуры возбуждения люминесценции. При повышении дозы облучения наблюдается уменьшение интенсивности полосы 430 нм, а интенсивность полосы 640 нм увеличивается.

На основе сравнительных исследований СП и ГЛ кристаллов $AlPO_4$ и SiO_2 сделано предположение, что вхождение Fe в $AlPO_4$ приводит к появлению полос поглощений 280, 330, 540 нм и полосы ГЛ 750 нм. Предполагается, что полоса ГЛ 430 нм обусловлена свечением автолокализованных экситонов, а центром свечения полосы 640 нм являются немостиковые атомы кислорода.

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЭЛЕЕВСКОГО РАССЕЯНИЯ В КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА

(С.В.Иванова, ФИАН СССР им.П.Н.Лебедева, Москва)

При температуре 573 °С кварц испытывает фазовый переход из α - в β -модификацию. Исследование рэлеевского рассеяния в кристаллах кварца впервые наблюдали в работе [1]. В настоящей работе были проведены исследования рэлеевского рассеяния света кристаллами кварца в широкой температурной области (25–650 °С). Источником возбуждения служил аргоновый лазер ($\lambda = 514,5$ нм). Исследуемые образцы имели размер 5х5х3 мм с оптической осью, лежащей в плоскости образца. Поляризация падающего излучения была параллельна этой оси.



Рэлеевское рассеяние в кристаллах кварца

- 1 — зависимость интенсивности рэлеевского рассеяния света от времени и температуры;
2 — зависимость температуры кристалла от времени

Обнаружен интересный эффект при температурном исследовании интенсивности рэлеевского рассеяния — при быстром нагревании образца появляются осцилляции интенсивности, переходящие в хаотические колебания при уменьшении скорости нагревания (рисунок). Амплитуда и частота осцилляций зависят от скорости изменения температуры. При температуре α - β -перехода наблюдается пик рассеянного света.

Л и т е р а т у р а

1. И.А.ЯКОВЛЕВ, Т.С.ВЕЛИЧИКИНА // УФН, 1957. — Т. 63. — С. 411.
2. С.В.ИВАНОВА, И.И.НАУМОВА // КСФ. — 1985. — № 11. — С. 7.
3. С.В.ИВАНОВА // КСФ. — 1988. — № 6. — С. 18.

АНИЗОТРОПИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛАХ $Ba_2NaNb_5O_{15}$

(С.В.Иванова, И.И.Наумова, Т.Т.Султанов, ФИАН СССР им.П.Н.Лебедева; МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва)

Сегнетоэлектрик $Ba_2NaNb_5O_{15}$ (БН) имеет заполненную структуру калий-вольфрамовых бронз. Симметрия кристалла при комнатной температуре - $mm2$, выше 300°C - $4mm$, выше T_C - $4/mmm$. Монокристаллы БН имеют высокие электрооптические коэффициенты, низкий порог генерации и являются перспективными фоторефрактивными средами*.

Исследована анизотропия 90-градусного рассеяния света в кристаллах БН в интервале $20-600^\circ\text{C}$. Кристаллы выращивались методом Чохральского в направлениях $[001]$ - нулевая ориентация и $[101]$ - 90-градусная ориентация и имели состав, близкий к конгруэнтному. Образцы, ориентированные по направлениям $[001]$ и $[100]$, размером $2 \times 3 \times 5$ мм помещались в область перетяжки сфокусированного светового пучка (длина перетяжки - 3 мм, поперечный диаметр светового пятна - 20 мкм). В качестве источника возбуждения использовалась линия генерации $\lambda = 514,5$ нм аргонового лазера. Мощность лазера варьировалась от 30 до 300 мВт.

Сфокусированный лазерный луч распространялся в кристалле перпендикулярно сегнетоэлектрической оси и имел направление поляризации, параллельное этой оси. В такой геометрии $\chi(zz)y$ в поли- и монокристаллах наблюдалось рассеяние на точечных центрах, которое исчезало выше температуры Кюри ($T_C = 560^\circ\text{C}$). В этой же геометрии на температурных зависимостях интенсивности рэлеевского рассеяния наблюдались аномалии: пик при 240°C и резкий спад интенсивности при $\sim 560^\circ\text{C}$ (сегнетоэластический и сегнетоэлектрический Φ I первого рода). В области фазовых переходов второго рода (~ 200 , ~ 300 , $\sim 500^\circ\text{C}$) наблюдались плавные перегибы кривых. В отличие от кристаллов нулевой ориентации, кристаллы 90-градусной ориентации имели на порядок более низкий уровень рассеяния.

Вблизи сегнетоэлектрического Φ I в температурном интервале $500-560^\circ\text{C}$ наблюдались увеличение угловой расходимости ($\sim 10^\circ$ при

*Одудов С.Г., Олейник О.И. // Квантовая электроника. - 1987. - № 14. - С. 886.

мощности 300 мВт) и сложная кольцевая структура лазерного пучка света, прошедшего через кристалл БН.

При распространении лазерного излучения вдоль сегнетоэлектрической оси рассеяние на точечных центрах и аномалии интенсивности рассеянного света не наблюдались.

УДК 539.104

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ГЕПТАГЕРМАНАТА ЛИТИЯ (Б.А.Струков, М.Ю.Кожевников, М.Д.Волнянский)

Исследована температурная зависимость теплоемкости слабополярного сегнетоэлектрика $Li_2Ge_7O_{15}$, имеющего при $T_0 = 283,5$ К структурный фазовый переход ($P_S = 0,03 \cdot 10^{-6}$ Кл/см, $C_{K-B} = 4,6$ К). Аномалии теплоемкости обнаружены как в чистых кристаллах, так и в кристаллах с различной концентрацией примеси ионов Na^+ ($x = 0; 0,04; 0,08$).

Проведен детальный анализ полученных зависимостей $C_p(T)$, в рамках теории Ландау, выделена аномальная часть теплоемкости, которую можно связать с флуктуационными явлениями. Показано, что с ростом концентрации примесей наблюдается понижение температуры Кюри, а также уменьшение этой аномальной части и сужение температурной области, где она проявляется. Определены коэффициенты разложения термодинамического потенциала и их зависимость от концентрации примеси. Сопоставляются данные по температурным зависимостям теплоемкости, диэлектрической проницаемости и упругих модулей.

1081

С о д е р ж а н и е

Пленарные доклады

Развитие работ по изучению и применению ацентричных кристаллов в СССР (И.С.Мелудев)	3
Ацентричные материалы современной техники (И.С.Рез)	3
Флуктуации состава в сегнетоэлектрических кристаллах (В.А.Исупов)	5
Проблемы сегнетоэлектрических и сверхпроводящих оксидных пленок (Ю.Я.Томашпольский)	7
Резонансное усиление пирозффекта (Ю.Н.Бондаренко, Л.П.Переверзева, Ю.М.Поплавко)	9
Микроволновая диэлектрическая спектроскопия сегнетоэлектриков (А.Брилингас, И.Тригас, В.Калесинскас, Р.Мизерис)	11
Пироэлектрические явления и их практические применения (Л.С.Кременчутский)	12
Физические особенности хрупкого разрушения сегнетоэлектриков (С.О.Крамаров)	15
Сегнетоэлектрические активные материалы в пьезотехнике (Л.Н.Сыркин)	16
Температурные поля в неоднородных сегнетоэлектрических структурах (Р.Е.Пасынков)	17
Анизотропия диэлектрических свойств ЦТС (А.И.Медовой, Ю.М.Поплавко)	18
Фоторефракция и ее применение в системах оптической обработки информации (А.Э.Круминь)	20
Электрокалорический эффект, его исследование и использование для целей охлаждения (Ю.В.Синявский, В.М.Бродянский)	22
Развитие химической технологии керамических сегнетоэлектриков (Р.З.Клейне, <u>С.Д.Фреиденфельд</u> Д.А.Шитца, И.В.Аболтия, А.И.Медовой)	24

Секция А. Физические свойства сегнетоэлектриков и родственных кристаллов (стендовые доклады)

Изучение структурных фазовых переходов в сегнетоэлектриках $TRAB_2$ (Ю.Банис, А.Брилингас, Ф.Вондре)	27
Природа температурных изменений пироэлектрических и диэлектрических параметров ряда сегнетоэлектриков в широкой области температур (С.Л.Бравина, Л.С.Кремен- чутский, Н.В.Морозовский, А.А.Строкач)	28

Влияние среды на температуру фазового перехода в сегнетоэлектрике, находящемся под давлением (Г.П.Исаев, А.И.Медовой)	29
К теории сегнетоэлектриков со структурными флуктуациями (В.И.Ккалов)	30
Индукцированные переходы в ЦТСМ в области сосуществования СЭ и АСЭ фаз и управляемость пьезоэлектрическими свойствами (В.М.Ишук, О.В.Преснякова)	31
Определение трикритической точки в кристаллах $[(NH_4)_{1-x}K_x]_2SO_4$ (В.П.Бурцева, В.С.Меркулов)	32
Релаксация в фазе дипольного стекла монокристалла $K_{0,76}(NH_4)_{0,24}H_2PO_4$ (С.А.Гриднев, Л.Н.Коротков, Л.А.Шувалов, Р.М.Федосик)	33
Исследование фазового перехода в $Sr_2P_2S_6:Mn^{2+}$ методом ЭПР (Ю.М.Высочанский, И.Н.Гейфман, И.В.Козлова, В.Я.Кофман, О.А.Микайло)	34
Изотопический эффект в сегнетоэлектрических кристаллах дикальцийсвинцпропионата (В.М.Добрянский, Г.М.Чобот, О.М.Косарев, В.М.Варикаш)	35
Размерные эффекты в планарных сегнетоактивных жидких кристаллах (В.Г.Меньков, Ю.Г.Синдеев, В.Э.Жркевич)	36
Формализм многокомпонентной функции включения ансамблей локальных фазовых образований для описания размытого фазового перехода в реальных полярных средах (В.С.Быстров, Б.Н.Ролов) ...	37
Свойства сегнетоэлектриков со структурой тетрагональной калиево-вольфрамовой бронзы (Р.М.Сардарлы, А.И.Алекперов, Г.М.Ахмедов, Н.А.Эюбова)...	38
Барьер Пайерлса для стовосьмидесятиградусной доменной стенки (В.И.Орбух)	39
Особенности несоразмерной модуляции в кристаллах с контролируемой концентрацией примеси (М.П.Трубицын, Т.М.Бочкова)	40
Сегнето- и пьезоэлектрические свойства монокристаллов твердых растворов системы магнийниобат-титанат свинца (Ф.И.Савенко, Л.П.Панченко, Б.В.Феданов)	41
Фотоэлектретный эффект и фотосегнетоэлектрические явления в кристаллах ниобата бария - стронция (М.А.Малицкая, И.П.Раевский, П.Ф.Тарасенко)	42
Изменения электрофизических свойств кристаллов титаната свинца, вызванные циклически повторяющимися фазовыми переходами (В.Г.Гавриляченко, А.Ф.Семенчев, Е.С.Цихопский, Е.Г.Фесенко)	43

1001

Естественно-униполярное состояние сегнетозлектриков (В.А.Бабанских, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров, Б.Ф.Проскураяков)	45
Сегнето- и пьезоэлектрические свойства слоистых сегнетозлектриков группы $A^3B^3C_2^5$ (Р.М.Сардарлы, О.А.Самедов, И.Ш.Садыхов, Г.Г.Курбанова, А.И.Алекперов, В.А.Алиев)	46
Энергетическая кристаллохимия смешанных кристаллов со структурой типа перовскита (Я.В.Дергунова)	47
Структурные превращения в моделях ангармонических вибраторов (В.Х.Козловский)	48
Кристаллическая структура и ее изменения при фазовых переходах в ацентричном кристалле $RbLiCrO_4$ (А.И.Круглик, К.С.Александров, А.Д.Васильев, И.П.Макарова)	49
Резонансные параметрические взаимодействия в магнитоэлектриках (Г.В.Белокопытов, И.В.Иванов) ...	50
Исследования процесса прохождения размытого фазового перехода в сегнетозлектриках $PbV^{IV}O_3$ оптическими методами (Л.С.Камзина, А.Л.Корженевский, Н.Н.Крайник)	51
Рентгеноструктурные и пьезоэлектрические исследования монокристаллов $(Ba_{1-x}Sr_x)Al_2O_4$ и $BaGa_2O_4$ (А.А.Бун, Б.Н.Романов, С.А.Иванов, В.В.Журов, Л.Я.Карпова)	52
Прогноз кристаллов с полярными фазами в семействе $\alpha-K_2SO_4$ (Б.В.Безносиков)	53
Электронно-эмиссионные свойства системы TiO_2 (пленка) - SiO_2 (подложка) (Н.В.Колганова, Н.Т.Ширина, М.В.Пентегова, Ю.Я.Томашпольский)	54
Закономерности низкочастотной диэлектрической релаксации в монокристаллах $K_1-xLi_xTaO_3$ (Г.А.Смоленский, А.В.Шильников, Е.Г.Надолинская, Н.К.Юшин)	55
Влияние электрических полей на низко- и инфранизкочастотные диэлектрические спектры кристаллов GDP и $DCDP$ (А.В.Шильников, Л.Х.Вологирова, Н.М.Галиярова, С.В.Горин, Л.А.Шувалов)	56
Влияние дейтерирования на диэлектрические спектры дигидрофосфата цезия (Л.Х.Вологирова, Н.М.Галиярова, С.В.Горин, А.В.Шильников) ...	57
О низкочастотных диэлектрических свойствах кристаллов KDP и $DKDP$ (А.В.Шильников, Л.Х.Вологирова, Н.М.Галиярова, С.В.Горин)	58
Дисперсия диэлектрической проницаемости в связи с обратимыми и необратимыми движениями доменных и фазовых границ в сегнетозлектриках (Н.М.Галиярова)	59

Влияние радиационных дефектов на критическое поведение низкочастотной диэлектрической проницаемости триглицинсульфата (Н.М.Галиярова, С.В.Горин, А.В.Шильников, А.С.Сигов, Т.Р.Волж, Л.А.Шувалов)	60
Оптические и нелинейные диэлектрические свойства кристаллов магнийсодата свинца в области размытого фазового перехода и проявления неэргодичности (Н.Н.Крайник, Л.А.Маркова)	60
Низкочастотная диэлектрическая дисперсия в монокристаллах твердых растворов системы магнийсодат - титанат свинца (В.А.Загройко, С.М.Емельянов, П.Н.Тимохин, Б.В.Феданов)	62
Диэлектрические свойства дейтерированного кристалла $(CH_3)_2NH_2AB(SO_4)_2$ (Е.Ф.Андреев)	63
Многофункциональная компьютерная система исследования процессов переполаризации и электролюминесценции сегнетозлектриков (С.А.Флерова, С.А.Полов)	64
Внутреннее трение и упругость в кристаллах сегнетовой соди с примесью карбамида (С.Г.Шаталова, А.В.Шильников)	65
Разрушение монокристаллов титаната бария при неоднородном деформировании (А.А.Греков, С.О.Крамаров, Л.Г.Розин)	66
Реальная структура и домены в кристаллах германата свинца (В.Г.Линник, В.М.Дудя)	67
Механическая нелинейность в дефектных кристаллах с несоразмерной фазой (Б.Н.Прасолов)	68
Определение типа фазового перехода в кристалле диметиламинхлоркупрате (З.А.Боброва)	69
Низкотемпературный фазовый переход в кристалле диметиламинхлоркупрате (З.А.Боброва, Н.И.Хасиневич) ...	70
Внутренние механические напряжения и флуктуационное зарождение новой фазы в сегнетозлектрических оксидах семейства перовскита (А.В.Турик, В.Ю.Тополов, А.И.Чернобабов)	71
О разнообразии условий реализации доменных границ 5 -типа в сегнетозлектрических кристаллах (В.Ю.Тополов)	72
Структура и свойства $LiNbO_3$ в интервале температур 70-1270 К. (Е.И.Бондаренко, Л.А.Резниченко, В.А.Чернышков)	73
Структурные изменения и разрушение при низкотемпературном трансформационном двойниковании в сегнетозлектрике $DMDP$ (Л.В.Атрошенко)	74
Дефекты структуры монокристаллов иодата лития гексагональной модификации (Л.В.Атрошенко, Я.А.Обуховский, Н.В.Ходеева, Т.А.Чернецкая)	75
Дефекты в облученных кристаллах триглицинсульфата (Л.И.Донцова, Н.А.Тихомирова, А.П.Оканко, В.И.Дорогин)	76

Магнитоэлектрические свойства кристаллов $Bi_{1-x}R_xFeO_3$ ($R-P33$) (В.А.Мурашов, Д.Н.Раков, В.М.Ионов, Ю.В.Титов, И.С.Дубенко)	77
Собственный электрооптический эффект загзагообразной границы встречных доменов в кристаллах титаната свинца (М.А.Малицкая, И.П.Раевский, С.П.Червонобродов, В.М.Фридкин)	79
Акустооптические свойства теллурита висмута (В.М.Горбенко, С.Ю.Ермаков, Л.Я.Садовская)	80
Внутреннее поле в сегнетоэлектрических кристаллах (на примере триглицинсульфата) (С.Н.Дрождин, Л.Н.Камышева, О.М.Сердик)	81
Особенности аномального термического гистерезиса в кристаллах Pb_2ZnCl_4 , выращенных различными методами (С.А.Гриднев, Б.Н.Прасолов, В.В.Горбатенко)	82
Термическое расширение кристаллов типа A_2MeG_4 (З.А.Боброва, Н.И.Хасиневич)	83
Электроμηχανические и пьезоэлектрические свойства дейтерированного диглициннитрата (С.В.Родия, В.М.Варикаш, П.С.Габец)	84
Акустогальванический эффект в сегнетоэлектрике-полупроводнике $GeTe$ (С.В.Барышников)	85
Исследование упругих и неупругих свойств сегнето- и пьезоэлектриков методами физической акустики (А.А.Ботаки, В.Л.Ульянов, Б.В.Чахлов, И.П.Чернов)	86
Аномальные оптические свойства $BaTiO_3$ в параэлектрической фазе (С.Б.Кругляшов, Л.А.Ковалева, М.И.Белоус, А.Т.Анистратсв, А.А.Петров)	87
Модифицированный титанат свинца (Р.З.Клейне, А.И.Медовой, Т.К.Кутузова)	88
Пьезоэлектрические и диэлектрические свойства кристаллов танталата лития, восстановленных в атмосфере водорода (Н.Н.Большакова, К.Г.Белабаев, Т.И.Иванова, В.Н.Маслеников, О.Н.Сергеева, И.И.Сорокина, Н.Н.Черешнева)	89
Структура и диэлектрические свойства монокристаллов танталата лития (Т.И.Иванова, И.И.Сорокина, В.М.Рудяк)	90
Влияние внешних воздействий на электропроводность монокристаллов танталата лития (В.В.Иванов, Л.Н.Кашкин, В.В.Ефимов, И.И.Сорокина) ...	91
Влияние естественной униполярности на нелинейный пьезоэффект в кристаллах группы ТГС (А.А.Богомоллов, Т.А.Дабижа, О.С.Щипакина)	92
Исследование диэлектрической релаксации в модифицированном сульфиде сурьмы (А.А.Богомоллов, В.В.Иванов, Н.А.Анисимова, Т.Г.Баскакова)	93

Влияние γ -облучения на оптические и электрооптические свойства монокристаллов ниобата лития (В.Б.Педько, В.М.Рудяк, А.Л.Шабаля, М.С.Катальмов, В.П.Яруничев)	94
Инверсный электромеханический гистерезис в электрострикционных материалах (Е.П.Смирнова, В.А.Исупов)	95
Диэлектрические свойства монокристаллических пленок $Ba_{0,4}Sr_{0,6}TiO_3$, выращенных на подложках $SrTiO_3$ (Е.В.Балашова, Ф.Смутный)	96
Исследования структуры приповерхностных слоев монокристаллов титаната стронция (Е.Р.Добровинская, И.Ф.Звягинцева, Л.А.Литвинов, А.М.Цайгер)	97
Экзоэмиссионный эффект при переполаризации кристаллов TGS с частично замещенной сульфатной группой (М.С.Цедрик, И.С.Рез, Г.И.Розенман, Н.Л.Чепелев, С.А.Василевский, В.И.Януть)	98
Влияние ионов $[PO_3F]^{2-}$ и $[PO_4]^{3-}$ на электрокалорические свойства модифицированного триглицинсульфата (И.С.Рез, М.С.Цедрик, К.Я.Борман, В.И.Януть, С.А.Василевский)	99
Однородность реальной структуры монокристаллов группы триглицинсульфата в зависимости от условия выращивания (Э.М.Кравченя) ...	100
Влияние технологии выращивания на физические свойства кристаллов группы триглицинсульфата (Э.М.Кравченя, М.С.Цедрик, Л.В.Кравченя)	101

Секция Б. Сегнето- и пьезоэлектрические материалы и устройства (стендовые материалы)

Особенности применения сегнетоэлектриков-полупроводников в качестве материалов для пьезоэлектрических датчиков (С.Л.Бравина, Н.В.Морозовский)	102
Получение и количественный анализ состава кристаллов твердых растворов магнитообата свинца - титаната свинца (С.М.Емельянов, В.А.Загоруйко, А.Т.Казakov, В.А.Демьянченко)	103
Технология получения и свойства германата свинца (В.Г.Линник, А.Ю.Кудзин, В.М.Дуда)	104
Особенности получения и физические свойства сегнетоэлектрических кристаллов сложного состава (Т.М.Бочкова, Т.В.Крузина, В.Г.Поздеев)	105
Экспериментальное исследование электрокалорического эффекта в сегнетоэлектриках (Ю.В.Синявский, Н.Д.Пашков, Г.Е.Луганский)	106

Влияние дефектности структуры на электрические и оптические свойства кристаллов $PbIn_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ и $PbSc_{0,5}Nb_{0,5}O_3$ (А.А.Боков, М.А.Малицкая, И.П.Раевский, В.Ю.Шонов)	I07
Влияние скорости кристаллизации $BaTiO_3$ при выращивании из расплава системы $BaTiO_3 - KF$ на их сегнетоэлектрические свойства (А.Т.Кутай, В.Г.Таран, Е.Е.Шейко)	I08
Взаимосвязь метрических и весовых характеристик кристаллов $BaTiO_3$ при выращивании из раствора в расплаве солей (А.Т.Кутай, В.Г.Таран, Е.Е.Шейко)	I09
Ромбоэдрические кристаллы $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ (В.В.Еремкин, В.Г.Смолтраков, Е.И.Экнадиосянц, В.З.Бородин, А.Н.Пинская)	I10
Кристаллографические, сегнетоэлектрические и оптические свойства монокристаллов $LiNbO_3:Ti$ (В.В.Атучин, К.К.Зилинг)	I11
Эффективность воздействия примеси фосфора на кристаллы триглицинсульфата (А.А.Дешковская, Е.В.Тарасевич, А.А.Генералова, В.В.Чернышева)	I12
Влияние способа введения бора на физические свойства кристаллов ТТС (Е.В.Тарасевич, Е.Ф.Андреев, А.А.Дешковская, И.П.Бондарик)	I13
Влияние состава со структурой перовскита на спектры ЭПР (А.Г.Петренко, Г.В.Бмыхов)	I14
Влияние примесей на структуру и свойства монокристаллов $\alpha-LiIO_3$ (В.В.Азаров, С.В.Алчангян, Л.В.Атрошенко, Б.Р.Жоллыбексы, Н.В.Ходеева, Е.В.Щербина)	I15
Физико-химические основы получения, реальная структура и свойства крупногабаритных монокристаллов типа KDP (В.Г.Васильчук, М.И.Колыбаева, В.И.Сало, С.М.Селин)	I16
Влияние высокотемпературного отжига на реальную структуру и свойства монокристаллов KDP (Л.В.Атрошенко, В.Г.Васильчук, М.И.Колыбаева, В.И.Сало, С.М.Селин, Н.В.Ходеева, Е.В.Щербина)	I17
Влияние легирования на структуру и механические свойства монокристаллов дегидрофосфата калия (Л.В.Атрошенко, А.И.Колодяжный, М.И.Колыбаева, В.И.Сало, Н.В.Ходеева)	I18
Получение и свойства легированных монокристаллов ДТТС (В.В.Азаров, Л.Н.Кравченко, С.М.Селин, Ф.С.Орленко, Е.В.Щербина)	I19
Скорость роста, структура и свойства монокристаллов KDP и $DKDP$ (Л.В.Атрошенко, В.Г.Васильчук, В.И.Сало, Н.В.Ходеева)	I20

Связь реальной структуры монокристаллов <i>DMDP</i> с их устойчивостью к разрушению при внешних воздействиях (Л.В.Атрощенко, М.И.Кольбаева, А.Н.Проценко, В.И.Сало, С.М.Селин, Н.В.Ходеева)	I21
Включения маточного раствора и концентрация воды в монокристаллах подата лития (Л.В.Атрощенко, А.Б.Бланк, Л.М.Никитина, Я.А.Обуховский, Н.В.Ходеева)...	I22
Управление коэффициентом отражения и коэффициентом прозрачности СВЧ-волн (Т.Н.Вербицкая, В.В.Демехина, В.Г.Пономаренко, Ю.М.Поплавко)	I23
Автоматизированная обработка эластограмм акустоптических материалов (С.А.Попов, А.П.Лазарев) ...	I24
Фотоиндуцированные давления и влияние их на фотогальванический эффект в кристаллах ниобата лития (И.Ф.Канаев, В.К.Малиновский, А.М.Путачев)	I26
Фазовый переход в перовскитоподобной керамике <i>УВа₂Си₃О₇₋₈</i> (С.А.Гриднев, О.Н.Иванов, О.В.Дыбова) ...	I26
Структура, упругие, пьезо- и диэлектрические константы керамического <i>LaTaO₃</i> (Л.А.Резниченко, А.В.Турик, В.А.Чернышков, Л.А.Шилкина)	I28
Влияние поляризации на анизотропию хрупкого разрушения пьезокерамики (И.И.Беспальпева, Е.А.Кузнецова, М.Д.Катрич)	I29
Диагностика сегнетоэлектрических керамических материалов эхо-импульсным методом при прецизионном изменении температуры (В.Н.Осадчий, А.И.Троянский, Ю.В.Титенко, Ю.Е.Сухина)	I30
Остаточные механические напряжения в сегнетокерамических материалах (Ю.В.Дашко, Н.Я.Егоров, Л.М.Капцельсон)	I31
Исследование диэлектрической нестабильности пьезокерамики ЦТСНВ-1 при циклических воздействиях температуры (А.В.Шильников, Е.Г.Надолинская, Е.А.Кузнецов, А.И.Бурханов)	I32
К расчету актуаторов из пьезополупроводниковой керамики (В.М.Богомольный)	I34
Влияние методов получения и сырья на свойства высокостабильных сегнето-пьезоэлектрических материалов (Я.С.Богданов, С.В.Гавриляченко, А.Я.Данцигер, Р.У.Девликанова)	I35
Высокостабильные сегнето-пьезоэлектрические твердые растворы многокомпонентных систем сложных оксидов (С.В.Гавриляченко, А.Я.Данцигер, Я.С.Богданов)	I36
Эффекты воздействия электрических полей на сегнетокерамику с гипотетическим стекло-дипольным состоянием (Г.М.Константинов, В.А.Сарвули, Я.Б.Пономаренко, М.Ф.Куприянов, А.Д.Феронов)	I37
Расчет диэлектрических и упругих констант пьезоэлектрических поликристаллов (А.И.Чернобабов, А.В.Турик)	I38

Исследование характеристик упругости и механических потерь пьезокерамики в широком диапазоне температур (В.А.Акопян, А.Ф.Лятовин)	139
Необратимые изменения поляризованности в сегнетокерамике ПКР-II при циклическом изменении температуры (Т.В.Биржкова, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров)	140
Пространственно-неоднородное распределение поляризованности, формирующееся при поляризации сегнетокерамических элементов (В.А.Бабанских, В.З.Бородин, Ю.Н.Захаров)	141
Радиальные колебания пьезоактивных неоднородных дисков (В.З.Бородин, В.И.Аленин, Е.И.Ситало, А.В.Приходьков)	142
Влияние постоянного электрического поля на динамическую нелинейность пьезокерамики (В.З.Бородин, В.А.Дорошенко, М.М.Пикалов, Э.М.Пикалов)	143
Возможности использования пьезокомпозигов в силовой энергетике (А.А.Греков, С.О.Крамаров, А.А.Куприенко, И.С.Рез)	144
Электрическая прочность сегнетоэлектрических материалов (Ю.Г.Синдеев, В.З.Кркевич)	145
Влияние химического состава оксида свинца и режимов термобработки на свойства промышленных изделий типа ЦТС (Л.В.Кли, В.А.Фотиев, В.Ф.Балакирев)... ..	146
Свойства и структура пьезокерамики на основе титаната-ниобата висмута со смешанно-слоистой структурой (Л.В.Корзунова, И.В.Гордиенко, З.И.Новикова)	147
Формирование покрытий из титаната бария на титане методом микроутового оксидирования (П.С.Гордиенко, С.В.Гнеденков, О.А.Хрисанфова, Т.М.Скоробогатова)	148
Экспериментальное исследование влияния технологии получения на свойства сегнетомагнитных материалов (В.А.Челухин)	149
Метастабильные перовскиты на основе алюминниобата свинца, получаемые при высоком давлении (Н.М.Олехнович, Т.Е.Еаоко, В.Д.Янович, А.Д.Шилкин)	150
Сегнетосодержащие резины для высоковольтных гибких кабелей (Л.И.Лещенко, А.И.Затулий)	152
Влияние стекловидных добавок на пьезоэлектрические свойства сегнетокерамики $PbTiO_3$ (Р.З.Клейне, А.А.Богомолов, Т.А.Дашка, О.Н.Сергеева)... ..	153
Природа нестабильности диэлектрических свойств пьезокерамических изделий (А.В.Шильников, Е.А.Кузнецов, А.П.Скенко, Л.И.Черкасова)	153

Исследование влияния изовалентных замещений в твердых растворах ЦТС на фазовые переходы между сегнето- и антисегнетоэлектрическим состояниями (Н.А.Спирidonov, В.В.Климов, Н.М.Чуфина, Ю.И.Власкин)... 154

Секция В. Пьезоэлектрики и электреты

Гидротермальный синтез висмутсодержащих пьезоэлектрических кристаллов (А.А.Марьин) 155

Гидротермальный синтез пьезоэлектрических кристаллов со структурой эвлитина (Е.М.Кожбахтеев, Т.Г.Андреева) 157

Термостимулированные токи в монокристаллах ортогерманата висмута (С.А.Петров, В.Н.Никитин, С.А.Паршиков) 158

Особенности ИК поглощения кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ нестехиометрического состава (С.В.Вагина, Б.Орел., Р.Иерман, О.Л.Орлов, Т.В.Панченко) 159

Диэлектрические свойства пьезоэлектрических кристаллов $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_4Ge_3O_{12}$, TeO_2 при гидростатических давлениях (В.М.Зражевский) 160

Электретное состояние в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ (Т.В.Панченко, В.Н.Потапович, Г.В.Снежной) 161

Влияние легирования кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ на оптическое поглощение (Т.В.Панченко, Ю.Н.Потапович, Ю.Г.Осецкий) 162

Выращивание из гидротермальных растворов и пьезоэлектрические характеристики монокристаллов со структурой силленита (С.В.Федотов, А.А.Буш) 163

Выращивание эпитаксиальных пленок со структурой силленита в гидротермальных условиях (А.Н.Юдин, А.А.Марьин) 164

Акустические потери в монокристаллах селикосилленита $Bi_{12}SiO_{20}$ легированных алюминием (М.Д.Волнянский, А.Ю.Кудзин, И.Л.Чертков) 165

Гидротермальный синтез и некоторые морфологические особенности кристаллов берлинита, выращенных на базисных затравках (П.П.Шеванский, В.Я.Лютин, Б.Е.Хаджи) 166

Гидротермальное получение диоксида германия кварцевой модификации и его электрические свойства (И.Б.Махина, В.Н.Колодийев) 167

Дисперсия оптической активности и показателей преломления в тригональных кристаллах GeO_2 (Т.М.Глушкова, Д.Ф.Киселев, И.Б.Махина, М.М.Фирсова, А.П.Штыркова) 169

Выращивание и некоторые свойства пьезоэлектрического кристалла тетрабората лития (Н.Л.Левин, В.А.Ломонов, Ю.В.Писаревский, И.М.Сильвестрова, Н.Л.Сизова, П.А.Синишников, В.Н.Толоков) 170

Многоволновая рентгеновская дифрактометрия монокристаллов кварца (Т.Н.Бурова, М.И.Поляк, Н.П.Степко, В.В.Ткаченко, С.А.Шелудько)	171
Особенности интерференции лазерного пучка в кристалле кварца (И.Т.Боднарь, А.К.Сойка)	172
Саморасфокусировка лазерного луча при фазовом переходе в кварце (И.Т.Боднарь, А.К.Сойка)	173
Исследование макроскопических дефектов в кристаллах кварца оптическими методами (А.А.Фотченков, Е.М.Акуленок, К.А.Зуева)	174
Электризация монокристаллов кварца (Р.Я.Евсеева, П.С.Нестеренко)	175
Радиолуминесценция кварца (М.Б.Бреслав- Масленников, Г.Е.Горнова, А.Г.Дутов, Р.Н.Мультап, М.А.Сторчак)	176
Исследование прочности кварца и кварцевого стекла (М.Д.Катрич, Л.В.Жога)	177
Методология установления системы дефектных центров кристаллов и стекол SiO_2 (К.П.Семенов)	178
Влияние импульса некогерентного света на параметры кварцевых резонаторов (М.Б.Бреслав- Масленников, Г.Е.Горнова, А.Г.Дутов, Р.Н.Мультап, Н.А.Рябов, М.А.Сторчак)	179
Температурные исследования диэлектрических свойств пьезоэлектрика $La_3Ga_5SiO_{14}$ на низких и сверхвысоких частотах (Б.П.Сорокин, А.И.Зайцев)	180
Термостабильные направления и срезы для распространения объемных и поверхностных акустических волн в пьезоэлектрике $La_3Ga_5SiO_{14}$ (С.И.Бурков, Б.П.Сорокин, П.П.Турчин)	181
Минимизация погрешности измерений скоростей объемных акустических волн и малых пьезодобавок при учете задержки в контактном слое (Б.П.Сорокин, П.П.Турчин)	182
Резонансный спектр колебаний неоднородных пьезопластин (В.З.Бородин, Е.И.Бондаренко, Е.И.Ситало)..	183
Особенности электретоного состояния в монокристаллах $Pb_5Sb_{1/2}Nb_{1/2}O_3$ (Ю.А.Трусков, Е.М.Панченко, Е.И.Бондаренко)	184
Выращивание кристаллов цинкита в гидротермальных условиях (Е.В.Кортунова, В.И.Лютин, В.Е.Хаджи)	185
Экспериментальное изучение процесса двойникования кальцита (В.Л.Бородин, В.В.Дронов, В.И.Лютин, И.В.Нефедова)	186
Морфологические и электрофизические характеристики монокристаллов алмаза, легированных бором в широком диапазоне концентраций (С.А.Мартынов, В.А.Лаптев, Ю.А.Детчуев)	187

Экспериментальная аппаратура для многофакторного исследования распределений электрических зарядов и свойств диэлектрических материалов (Ю.Д.Арсентьев, К.Г.Нестеров, В.П.Пронин, М.В.Шаталина, В.И.Шевченко)	187
Установка для одновременной регистрации анодно-поляризационных кривых акустических световых сигналов при окислировании металлов в электролитах (П.С.Гордиенко, С.В.Гнеденкова, С.Л.Снебрюхова, Н.Ф.Царева, А.Н.Коврянова)	188
Изучение структуры дефектов и их преобразование в стеклообразном и кристаллическом кварце при импульсном нагреве (Е.В.Кабанова, Б.П.Грищенко, С.Н.Кульков, Б.П.Романов)	189
Одиночные волны поляризации и автоколебания тока в коронноэлектретах на основе пьезополимеров (С.Н.Федосов, С.А.Прибое, А.Е.Сергеева, М.М.Мотылинская)	190
Необратимые изменения в пьезополимерных пленках при их электризации (С.Н.Федосов, А.Е.Сергеев, О.П.Корольчак)	192
Электретная природа и температурно-полевой гистерезис пьезоактивности в поливинилденфториде (С.Н.Федосов, А.Е.Сергеева)	193
Концепция приповерхностных полей электретов. Перспективы и проблемы (Г.В.Ефашкин)	194
Кристаллы окиси цинка. Влияние облучения ионами C^{12} , Ar^{40} , Ne^{22} на электромеханические свойства. Механические характеристики в температурном интервале от -180 до $+900$ °С (И.М.Сильвестрова, Ю.В.Писаревский, Н.Л.Сизова, И.П.Кузьмина, В.А.Скуратов, В.Р.Регель, А.Ю.Дыдык)	195
Радиационно-оптические свойства кристаллов берлинита, выращенных в гидротермальных условиях (Ш.А.Вехидов, Ж.Д.Ибрагимов, А.Д.Юлдашев, В.Е.Хаджи, В.И.Лютин, П.П.Шванский)	196
Аномальное поведение рэлеевского рассеяния в кристаллах кварца (С.В.Иванова)	197
Анизотропия рассеяния света в кристаллах $Ba_2NaNb_5O_{15}$ (С.В.Иванова, И.И.Наумова, Т.Т.Султанов) ..	198
Влияние примеси на тепловые свойства гептагерманата лития (Б.А.Струков, М.Ю.Кожевников, М.Д.Волнянский)	199

1004

УДК 061.3:548.0:537.226

Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Реальная структура и свойства ацентричных кристаллов", 17-22 сент. 1990 г. - г.Александров / ВНИИСИМС. - М.: ВИЭМС, 1990. - 199 с.

Представлен обзор современного состояния проблемы получения новых материалов электронной техники: пьезо-, сегнето- и пиро-электрических кристаллов, а также керамики с улучшенными физическими характеристиками.

Тезисы докладов Всесоюзной конференции
"Реальная структура и свойства ацентричных кристаллов"

Редактор Л.В.Сахарова
Технический редактор М.К.Кузьмина
Корректор Е.И.Статникова

Подписано в печать с оригинал-макета 31.07.90. Т 12051

Формат 60×84/16. Бумага картографическая. Печать офсетная

Усл. печ. л. 12,32

Усл. кр.-отт. 12,44

Уч.-изд. л. 12,7

Тираж 350 экз.

Заказ 1001

Цена 2р. 54к.

ВИЭМС, 109172, Москва, ул. Володарского, 38. Тел. ред. 272-60-11
Типография ВИЭМС, 123242, Москва, Б. Грузинская, 4/6