

На правах рукописи

ГУЖАКОВСКАЯ Кристина Петровна

**ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА НА НИЗКО-
И ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКЛИК
МОНОКРИСТАЛЛА-РЕЛАКСОРА SBN-75**

Специальность:

01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Воронеж – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент
БУРХАНОВ Анвер Идрисович

Официальные оппоненты: **КОРОТКОВ Леонид Николаевич**
доктор физико-математических наук,
профессор, ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический университет»,
кафедра физики твердого тела, профессор

МЕДНИКОВ Станислав Владимирович
кандидат физико-математических наук,
доцент, ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический университет»,
кафедра физики, доцент

Ведущая организация: НИИ Физики Южного федерального университета

Защита состоится «11» декабря 2014 г. в 15 часов 10 минут на заседании диссертационного совета Д 212.038.06 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет» по адресу: 394006, г. Воронеж, Университетская площадь, 1, аудитория 428

С диссертацией можно ознакомиться в зональной библиотеке и на сайте <http://www.science.vsu.ru> ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет».

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

ДРОЖДИН Сергей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время активно развивается направление, связанное с изучением свойств релаксорных сегнетоэлектриков в силу их перспективности в современном приборостроении. Одним из представителей таких материалов является система ниобата бария-стронция (SBN). Данная система интересна как оптический материал, где возможна голографическая запись, динамическая голографическая интерферометрия, использование в оптических голографических усилителях.

Большие возможности для фундаментальных исследований и практического применения монокристаллов $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ (SBN-x) обусловлены сильным влиянием примесей на их физические свойства, а также тем фактом, что SBN является весьма фоточувствительным материалом. Поэтому исследование свойств SBN при влиянии таких внешних воздействий, как температура, электрическое поле, излучение, является важной задачей, как в плане расширения технического применения, так и в фундаментальном аспекте изучения проблем размытых фазовых переходов (РФП).

Из-за неупорядоченности структуры релаксоров процессы релаксации физических свойств в такого рода материалах, как правило, существенным образом зависят от предыстории материала. Надо отметить, что природа поведения релаксорных материалов остается неясной до конца. При добавлении примеси хрома на диэлектрические свойства ниобата бария-стронция сильное влияние оказывает его дефектная структура. Исследование дефектной структуры наиболее информативно можно проводить с помощью инфранизкочастотной (ИНЧ) и низкочастотной (НЧ) диэлектрической спектроскопии. При этом воздействие различных типов излучений на диэлектрический отклик и эффекты последействия (эффекты памяти) в SBN также может особым образом проявляться в ИНЧ-НЧ диапазоне измерительных полей.

Цель работы заключалась в установлении закономерностей влияния излучения оптического диапазона на низко- и инфранизкочастотные диэлектрические и поляризационные свойства монокристалла SBN-75 с примесью хрома (0.01at.%Cr), общая формула $Sr_{0.75}Ba_{0.25}Nb_2O_6:Cr^{3+}$, при различной температурной и полевой предыстории.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи:

1. Исследование характера частотно-температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь в монокристаллах SBN-75 в области размытого фазового перехода при воздействии излучения оптического и ультрафиолетового диапазона;
2. Изучение влияния излучения оптического диапазона на характер протекания медленных процессов релаксации поляризации в монокристаллах SBN-75;
3. Исследование кинетики диэлектрического отклика монокристалла SBN-75+0.01at.%Cr и сравнение с кинетикой фототока под действием оптического и ультрафиолетового излучения;
4. Изучение влияния излучения оптического диапазона на процессы диэлектрического старения в SBN-75+0.01at.%Cr и сопровождающие процессы старения эффекты диэлектрической памяти в релаксорах;

5. Изучение характера поляризационных и переполаризационных процессов в монокристалле $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$ при температурах, соответствующих области размытого фазового перехода под действием излучения оптического диапазона.

Объекты исследований

В качестве объектов исследований были выбраны монокристаллы ниобата бария-стронция с примесью хрома $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$, выращенные модифицированным методом Степанова старшим научным сотрудником Института общей физики Российской Академии Наук им. А.М. Прохорова, доктором технических наук Л. И. Ивлевой.

Данные монокристаллы являются материалами релаксорного типа. При всей перспективности применения сегнеторелаксоров [1], в частности, материалов семейства SBN , несмотря на большое количество исследований, многие вопросы о поведении таких материалов при различных внешних воздействиях остаются открытыми. Примесь хрома, как было показано в [2] для SBN-61 , заметно смещает температуру T_m , соответствующую максимуму диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$, в область более низких температур. При этом основные характеристики материала, такие как, например, дисперсия диэлектрического отклика и электрооптические свойства становятся более выраженными в диапазоне так называемых «рабочих» температур. В свою очередь, это позволяет проводить детальные исследования долговременных процессов релаксации поляризации в материалах с размытым фазовым переходом. Все эти факторы и обусловили выбор отмеченного выше монокристалла-релаксора $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$.

Научная новизна

1. Показано, что при воздействии излучения оптического и ультрафиолетового диапазона на монокристалл $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$ значения параметров ИНЧ-НЧ диэлектрического отклика увеличиваются в области средней температуры размытого фазового перехода, а сама температура понижается;
2. Впервые получены экспериментальные данные, устанавливающие корреляцию процессов кинетики инфранизкочастотного диэлектрического отклика и фототока при воздействии излучения на монокристалл $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$;
3. Обнаружено появление на временных зависимостях фототока $I(t)$ помимо основного максимума дополнительных аномалий в виде локальных максимумов, обусловленных влиянием поля объемного заряда, формирующегося под действием излучения на материал $\text{SBN-75+0.01at.\%Cr}$;
4. Установлено, что при используемых в эксперименте интенсивностях излучения эффект полевой диэлектрической памяти, характерный для релаксоров типа SBN-75 , полностью исчезает.

Практическая значимость

Новые экспериментальные результаты и установленные закономерности влияния освещения на характер ИНЧ и НЧ диэлектрического отклика и поведение фототока в монокристаллах $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ и $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6+0.01at.\%Cr$ позволяют существенно расширить имеющиеся сведения о физических свойствах материалов семейства ниобата бария-стронция. Данные о процессах переполаризации в условиях воздействия излучения малой мощности могут быть использованы при учете параметров элементов различных приборов в плане их

возможного применения, например, в голографической записи или при создании сегнетоэлектрической памяти.

Достоверность полученных результатов обеспечивается путем использования комплекса надежных экспериментальных методов, обеспечивающих получение достоверных данных, воспроизводимостью результатов, высоким качеством образцов и согласием получаемых данных с теоретическими выкладками по исследуемой проблеме. Результаты, полученные при изучении электрофизических характеристик монокристалла SBN-75+0.01at.%Cr при различных типах воздействия, хорошо согласуются с литературными данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментальные результаты, устанавливающие влияние излучения ультрафиолетового и оптического диапазона на положение средней температуры размытого фазового перехода в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr;
2. Совокупность экспериментальных данных, определяющих влияние излучения оптического диапазона на поведение диэлектрического отклика монокристалла SBN-75+0.01at.%Cr в слабых синусоидальных измерительных полях при одновременном воздействии на материал смещающего поля E_0 , не превосходящего коэрцитивное E_c ;
3. Поведение кинетики диэлектрической проницаемости $\epsilon'(t)$ на инфранизких и низких частотах и кинетики фототока $I(t)$ в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr при воздействии на образец излучения оптического и ультрафиолетового диапазона;
4. Экспериментальные результаты, устанавливающие влияние излучения оптического диапазона на характер процессов реполяризации в области размытого фазового перехода в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr;
5. Совокупность экспериментальных данных, определяющих влияние излучения оптического диапазона на долговременные процессы релаксации диэлектрической поляризации (старение, память) в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr.

Апробация работы Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, докладывались на: XVIII и XIX Всероссийской конференции по физике сегнетоэлектриков ВКС-18 (ВКС-18, 9-14 июня 2008 г. Санкт-Петербург; ВКС-19, 20-23 июня 2011, Москва); XXII Международной конференции «Релаксационные явления в твердых телах» (RPS-22, 14-18 Сентября, 2010, Воронеж); Шестнадцатой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-16, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, 22-29 апреля 2010); 6th and 7th International Seminar on Ferroelastics Physics (ISFP-6, September 22-25, 2009, Voronezh; ISFP-7, September 10-13, 2012, Voronezh); Международных научно-технических конференциях «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного и оптоэлектронного приборостроения» (INTERMATIC – 2010, 2012, 2013, Москва); The International Workshop of Relaxor Ferroelectrics (IWRWF, Ioffe Physical Technical Institute, Juli 1-6, 2013, St. Petersburg);

Личный вклад автора

Автором совместно с руководителем определены цели работы и круг решаемых задач, выбраны объекты для исследований. Автором самостоятельно проведены измерения, обработка результатов измерений. Проведен анализ и

сравнение с литературными данными полученных результатов, оценена перспективность практического использования выбранных материалов.

Людмила Ивановна Ивлева, доктор технических наук, старший научный сотрудник Института общей физики Российской Академии Наук им. А.М. Прохорова принимала участие в обсуждении результатов исследований.

Публикации

В диссертационную работу включены результаты, опубликованные в 15 научных работах, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации включает 158 страниц, 62 рисунка, 12 таблиц. Список литературы содержит 195 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена актуальность темы исследования, указаны цель работы и решаемые задачи, обоснован выбор объектов исследования. Представлена научная новизна и апробация работы, ее практическая значимость. Указан личный вклад автора, положения, выносимые на защиту, структура и объем диссертационного исследования.

В первой главе представлен литературный обзор по релаксорным сегнетоэлектрикам. Проведен анализ последних модельных представлений о природе релаксорного поведения и показаны основные из этих моделей. Подробно рассмотрены результаты микроструктурных исследований материалов семейства калий-вольфрамовых бронз, одним из представителей которых является SBN. Являясь одноосным кристаллом, SBN-75 имеет свои особенности в отличие, например, от такого модельного релаксорного сегнетоэлектрика как PMN. В ряде работ особо подчеркивается, что добавление примесей является самым приемлемым способом оптимизации диэлектрических и электрооптических свойств материала. Отмечается, что небольшая доля примеси может оказывать такое же влияние на свойства SBN, как достаточно существенное изменение соотношения стронция/бария. Приводятся данные исследований влияния таких примесей, как La, Ce, Cr, на поведение различных свойств материалов семейства SBN.

Достаточно большое внимание в обзоре уделено поведению оптических, фоторефрактивных и фотоэлектрических свойств кристаллов SBN. Это связано с тем, что именно фоточувствительность данного материала ставит его в ряд перспективных объектов для применения в различных изделиях оптоэлектроники. При этом отмечается, что исследование внешних воздействий, в частности, излучения малой мощности, на материалы семейства ниобата бария-стронция представлены в недостаточном количестве, что не позволяет делать однозначные выводы о природе механизмов, определяющих отклик материала SBN-75+Cr на данные воздействия.

Во второй главе представлено описание установок для проведения экспериментальных исследований в ИНЧ и НЧ диапазоне измерительных полей, а также методов обработки результатов эксперимента. Для исследования петель диэлектрического гистерезиса в широком температурном интервале при приложении переменных полей различной амплитуды использовалась модифицированная схема Сойера-Гауэра. Особое внимание уделено измерительной камере для проведения экспериментов при воздействии на образцы излучения оптического и, для сравнения,

более коротковолнового (ультрафиолетового) диапазона. В данном случае она представляла собой термостат с вмонтированным светодиодом. Для оптического диапазона – светодиод марки 5034W2C-DSA-A, с максимумом излучения на 530 нм, для ультрафиолетового (УФ) диапазона производилась замена на светодиод UV-5 (405 нм). Такая конструкция камеры позволяла измерять диэлектрический отклик при стабилизации температуры с точностью не хуже 0.5 градуса.

В третьей главе представлены результаты измерений электрофизических параметров и их обсуждение для кристаллов SBN-75 и SBN-75+0.01at.%Cr в области слабых (~10В) измерительных полей. Исследование поведения диэлектрической проницаемости $\epsilon'(\nu, T)$ и диэлектрических потерь $\epsilon''(\nu, T)$ для «состаренного» при комнатной температуре монокристалла SBN-75+0.01at.%Cr показало, что в случае режима нагрева частотный сдвиг T_m (рис. 1) выражен слабо (в пределах 4°C на три порядка частоты). В работе установлено, что уменьшение частотного сдвига T_m при старении обуславливается, в основном, ИНЧ частью диэлектрического отклика. Это происходит вследствие того, что для «выдержки» при $T_i = \text{const}$ и в случае $T_i < T_m$ значения ϵ' и ϵ'' , измеренные на ИНЧ, уменьшаются с течением времени быстрее, чем на НЧ и тем более на высоких частотах (ВЧ). В случае $T_i > T_m$ частотные различия в скорости спада при «выдержке» образца не существенны и поэтому в «состаренном» образце максимумы $\epsilon'(T)$ на ИНЧ сдвигаются к более высоким температурам, уменьшая, тем самым, частотный сдвиг T_m . Из рис. 1 следует, что в рассматриваемом температурном интервале на кривых $\epsilon'(T)$ и особенно $\epsilon''(T)$ для 1 и 10 Гц в области 10-25°C наблюдается излом, который иллюстрирует влияние предыстории (старение) образца при $T \approx 23^\circ\text{C}$ и является следствием эффекта термической (температурной) памяти в данном материале.

Таким образом, исследование частотно-температурных зависимостей ϵ' и ϵ'' указывает на то, что предыстория материала играет такую же существенную роль в характере диэлектрического отклика в SBN-75+0.01at.%Cr, как и в беспричистном SBN-75 [3].

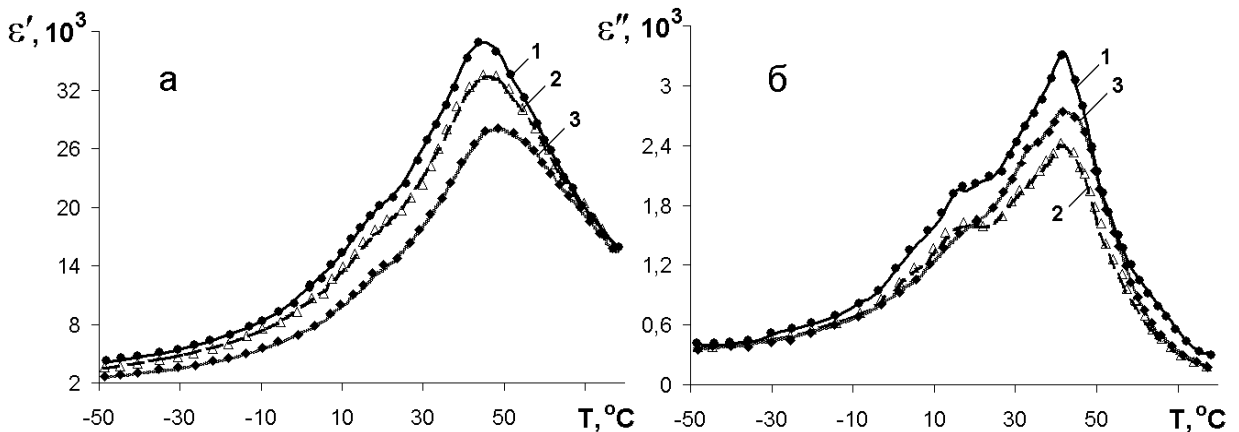


Рис. 1. Зависимости $\epsilon'(\nu, T)$ (а) и $\epsilon''(\nu, T)$ (б) материала SBN-75 + 0.01at.%Cr для трех частот измерительного поля: 1) 1 Гц, 2) 10 Гц, 3) 1000 Гц.

При исследовании характера ИНЧ-НЧ дисперсии ϵ^* в SBN-75+0.01at.%Cr установлено, что спектр существенно размыт (рис. 2), как и в других релаксорных сегнетоэлектриках. Анализ диэлектрического спектра, проведенный с помощью уравнения Коула-Коула:

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}}, \quad (1.1)$$

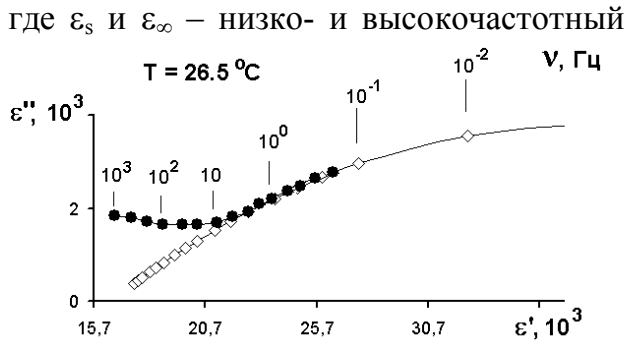


Рис. 2. Зависимости Коула-Коула для монокристалла SBN-75+0.01at.%Cr: ИНЧ-НЧ аппроксимация. Черные точки – экспериментальные результаты, белые – теоретические данные.

рия (Ce) и также является одним из характерных свойств релаксоров.

В разделе 3.3 представлены результаты исследования характера поведения температурных зависимостей обратной диэлектрической проницаемости $1/\epsilon'(T)$ в материалах SBN-75+0.01at.%Cr и беспримесном SBN-75. Показано, что в области температур $T > T_m$ имеет место степенной закон:

$$1/\epsilon' = A + B(T - T_m)^K, \quad (1.2)$$

где A и B – постоянные, не зависящие от температуры. Установлено, что в температурном интервале $(T - T_m) \approx 40^\circ\text{C}$ показатель степени $K \approx 1.57$ для SBN-75, а для SBN-75+0.01at.%Cr $K \approx 1.75$, что может указывать на увеличение размытия фазового перехода при допировании кристалла. При этом примесь 0.01at.%Cr смещает T_m в сторону более низких температур на величину $\Delta T_m \approx 3^\circ\text{C}$, что, практически, совпадает со значениями ΔT_m в SBN-61+Cr [2].

В разделе 3.4 представлены результаты исследования влияния излучения на характер диэлектрического отклика в монокристалле SBN-75+ 0.01at.%Cr. Для анализа влияния освещения на поведение диэлектрического отклика в слабых измерительных полях рассматривалась величина относительной разности диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon'/\epsilon'_{\max}$, где $\Delta\epsilon' = \epsilon'_{\text{осв}} - \epsilon'_{\text{неосв}}$ и изменение относительной разности коэффициента диэлектрических потерь $\Delta\epsilon''/\epsilon''_{\max}$, $\Delta\epsilon'' = \epsilon''_{\text{осв}} - \epsilon''_{\text{неосв}}$ до и после воздействия оптического (рис. 3а) и УФ излучения (рис. 3б).

Из рис. 3а следует, что максимальное изменение значений $\Delta\epsilon'/\epsilon'_{\max}$ для видимого света составляет $\sim 1,5\%$ на частоте 0.25 Гц и $\sim 1\%$ на 1000 Гц. При сравнении с поведением данного параметра ($\Delta\epsilon'/\epsilon'_{\max}$) при УФ излучении, видно, что величины $\Delta\epsilon'/\epsilon'_{\max}$ имеют примерно такие же значения (рис. 3б). Однако в поведении параметра $\Delta\epsilon''/\epsilon''_{\max}$ выделяется сдвиг максимума на частоте 0.25 Гц к более низким температурам при УФ излучении. Кроме того, при $T \geq T_m$, появляются отрицательные значения $\Delta\epsilon'/\epsilon'_{\max}$, свидетельствующие об уменьшении значений диэлектрической проницаемости после воздействия УФ излучения. Таким образом, увеличение ϵ' в области $T < T_m$ и уменьшение ϵ' при $T \geq T_m$ в сравнении с необлученным образцом указывает на общий сдвиг температурной зависимости $\epsilon'(T)$ к низким температурам. Это может происходить при понижении средней температуры РФП, подобно тому, как такой сдвиг наблюдается в BaTiO₃ при его освещении [3]. В нашем случае при очень сильном размытии максимума $\epsilon'(T)$ в релаксорном сег-

где ϵ_s и ϵ_∞ – низко- и высокочастотный пределы области ϵ^* соответственно, τ – наиболее вероятное время релаксации поляризации, α – параметр распределения по временам релаксации, показал, что частоты релаксации ν_r имеют очень малые значения ($\sim 10^{-3}$), а параметр α – большие значения (~ 0.77). Это соответствует данным для других релаксорных сегнетоэлектриков. Из общего поведения зависимостей $\epsilon'(\nu)$ и $\epsilon''(\nu)$ в области РФП можно заключить, что выделяются два участка, где имеет место дисперсия ϵ^* : ИНЧ-НЧ и ВЧ. Это хорошо согласуется с ранее представленными в [4] результатами для кристалла SBN-61 с примесью це-

нетоэлектрике однозначно определить величину сдвига T_m по поведению $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ не удастся.

Характер изменения значений при воздействии излучения более выражен в

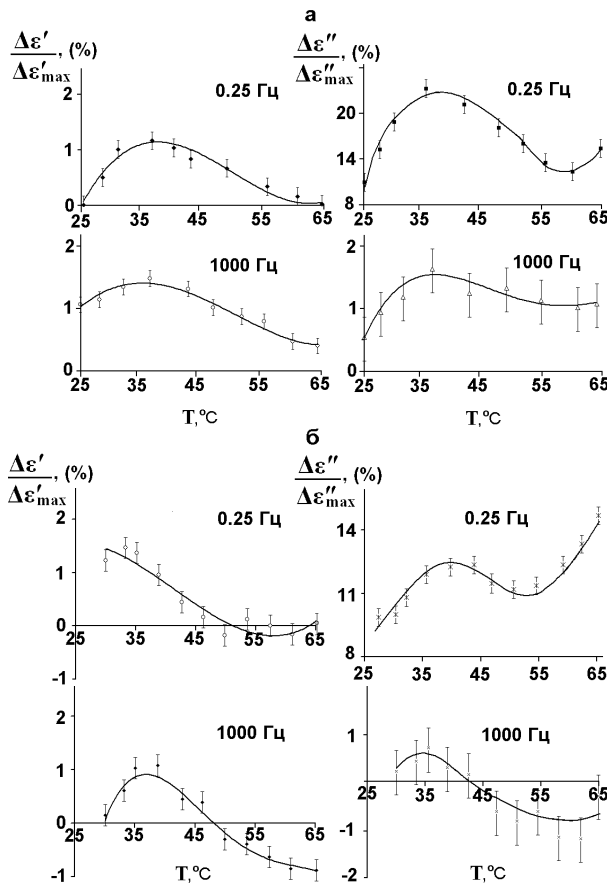


Рис. 3. Температурные зависимости $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ и $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ для частот 0.25 и 1000 Гц при воздействии излучения оптического (а) и УФ диапазона (б).

носители могут эффективным образом уменьшать влияние E_i на отмеченные выше релаксаторы, определяющие максимальный вклад в диэлектрический отклик материала. Рост $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ на 0.25 Гц при $T \geq T_m$, для оптического и особенно УФ излучения, вероятнее всего связан с ростом фотопроводимости материала при повышенных температурах.

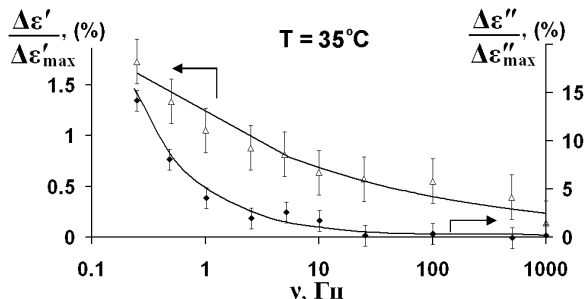


Рис. 4. Частотные зависимости $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ и $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ при воздействии УФ излучения.

10 Гц и меньше. Особенно это проявляется в поведении $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}(\nu)$ (увеличение на ИНЧ до ~15%).

поведении диэлектрических потерь. Здесь максимум $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ при $T < T_m$ для видимого излучения составляет почти 26%, а для УФ излучения ~11-12%. В тоже время в случае УФ излучения для $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ также выделяются некоторые отличия. Так в области $T > T_m$ на 0.25 Гц наблюдается существенный рост $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ с повышением температуры.

Установленное поведение $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ и $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$ позволяет предполагать, что появление максимумов данных параметров в области 30-40°C связано с особым фазовым состоянием сегнетоэлектрика-релаксора в области РФП.

В случае SBN-75+0.01at.%Cr данная область температур характеризуется максимумом глубины ИНЧ-НЧ дисперсии ε^* , обусловленным вкладом наибольшего количества релаксаторов – фазовых границ, между полярной и неполярной фазами, а также полярных нанобластей (ПНО) и полярных кластеров, находящихся под влиянием внутренних полей E_i . Вследствие этого наибольшее влияние излучения будет там, где появляются неравновесные

Существенную зависимость изменения диэлектрического отклика от частоты измерительного поля при воздействии УФ излучения иллюстрирует рис. 4. Здесь при температуре, близкой к температуре максимума $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ ($T \sim 35^\circ\text{C}$) представлены частотные зависимости $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}$ и $\Delta\varepsilon''/\varepsilon''_{\max}$.

Из поведения $\Delta\varepsilon'/\varepsilon'_{\max}(\nu)$ следует, что заметный рост значений данного параметра наблюдается в области частоты

Далее в разделе 3.4 представлены результаты исследования кинетики диэлектрического отклика в слабых измерительных полях при воздействии излучения оптического диапазона. Для временной зависимости $\varepsilon'(t)$ в области температур $T < T_m$ установлено, что при включении света наблюдается рост $\varepsilon'(t)$ с выходом на насыщение, а при выключении спад $\varepsilon'(t)$. Анализ роста $\varepsilon'(t)$ при включении освещения показал, что кинетика $\varepsilon'(t)$ может быть описана функцией:

$$\varepsilon'(t) \sim 1 - \exp(-t/\tau_1), \quad (1.3)$$

спад $\varepsilon'(t)$ после выключения освещения подчиняется зависимости вида:

$$\varepsilon'(t) \sim \exp(-t/\tau_2), \quad (1.4)$$

где τ_1, τ_2 – времена релаксации, значения которых составляют $\sim 40-70$ с. Учитывая, что при воздействии излучения в образце может формироваться объемный заряд [5] и именно с этим связано изменение диэлектрического отклика на ИНЧ, в работе проведена оценка максвелловского характера релаксации объемного заряда ($\tau = \varepsilon'\varepsilon_0/\sigma$) для SBN-75+0.01at.%Cr, где темновая проводимость $\sigma \sim 10^{-11}-10^{-12}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$. Полученные значения τ имеют тот же порядок, что τ_1, τ_2 , подтверждая предположение о важной роли объемного заряда в определении фотодиэлектрических и фотосегнетоэлектрических свойств SBN-75+0.01at.%Cr.

В разделе 3.4 также представлены сравнительные результаты кинетики фототока $I(t)$ в SBN-75+0.01at.%Cr при воздействии излучения как оптического (рис. 5 а, в), так и УФ диапазона (рис. 5 б, г) в области температур РФП. Как видно из рис. 5 общее поведение кривых $I(t)$ согласуется с известными результатами [5] по кинетике тока для фоточувствительных сегнетоэлектриков, в частности для беспримесного SBN-75.

В тоже время в настоящей работе обнаружено, что, как при оптическом, так и при УФ излучении имеют место аномалии в виде дополнительных максимумов на кривых $I(t)$ (рис. 5), которые наблюдаются только при $T \leq T_m$. Данные аномалии

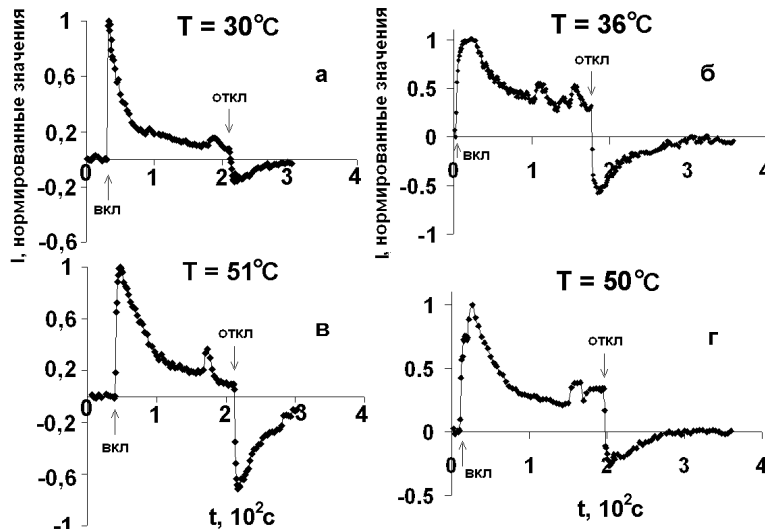


Рис.5. Поведение фототока при различных температурах в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr при воздействии оптического (а, в) и УФ (б, г) излучения.

объемного заряда, что было отмечено выше.

На рис. 6 представлены температурные зависимости максимумов тока $I_{\max}(T)$, соответствующих моменту включения оптического и УФ излучения. Кривые $I_{\max}(T)$ имеют немонотонное поведение с максимумами в диапазоне 20-30°C.

могут быть связаны с влиянием поля образующегося объемного заряда на полярную структуру, характерную для РФП, когда возможна перестройка полярных кластеров или переориентация ПНО в этом поле. Возникновение основного максимума $I(t)$ связано как с вкладом пиротока в начальный момент воздействия излучения, что подтверждается и появлением минимума («обратного максимума») в момент отключения освещения, так и с возникновением

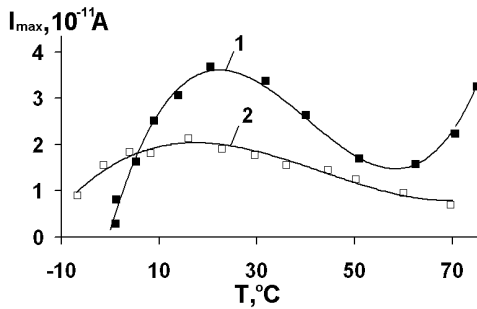


Рис. 6. Зависимости $I_{\max}(T)$ при воздействии SBN-75+0.01at.%Cr оптического (1) и УФ излучения (2).

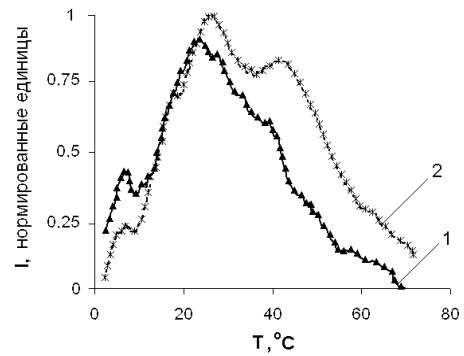


Рис. 7. Температурные зависимости пиротока в неполяризованном SBN-75+0.01at.%Cr при воздействии на образец оптического излучения (1) и без воздействия (2).

В данной области температур обнаруживается и максимум пиротока в исследованном материале (рис. 7), что, вероятно, и определяют причину немонотонного поведения $I_{\max}(T)$. Таким образом, сравнивая характер диэлектрического отклика и по-

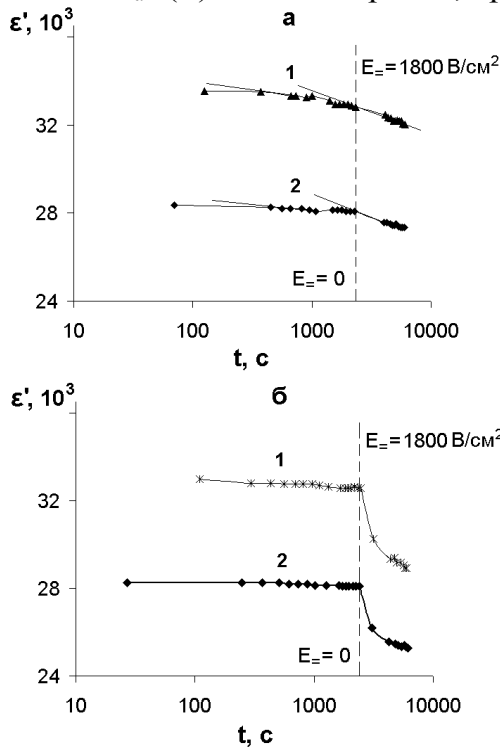


Рис. 8. Временные зависимости $\epsilon'(t)$ в SBN-75+0.01at.%Cr без (а) и при воздействии излучения оптического диапазона (б) на частотах 10 Гц (кривые 1) и 1000 Гц (кривые 2). Время включения смещающего поля $E_{\perp}=1800\text{В/см}$ $t = 2400\text{с}$ (при $t < 2400\text{с}$ смещающее поле не подавалось).

ведение токов можно заключить, что они иллюстрируют единые механизмы, определяющие отклик материала на воздействие излучения малой мощности.

Далее в разделе 3.4 представлены результаты исследования влияния излучения оптического диапазона на медленные процессы релаксации поляризации в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr (рис. 8) до и после подключения к образцу смещающего поля E_{\perp} .

Рисунок 8 иллюстрирует зависимости $\epsilon'(t)$ на 10 и 1000 Гц при $T = 49.5^{\circ}\text{C}$. Видно, что в случае без освещения, как до подключения, так и после подключения E_{\perp} имеет место монотонный спад $\epsilon'(t)$ с течением времени. В случае освещения образца, но до приложения поля E_{\perp} выполняется логарифмический закон (рис. 8б), характерный для сегнетоэлектрических материалов при процессах старения. Однако после подачи поля E_{\perp} характер поведения $\epsilon'(t)$ меняется существенным образом в сравнении со случаем без освещения. Так для временного интервала ($t > 2400\text{с}$) наблюдается резкий спад диэлектрической проницаемости $\epsilon'(t)$ в слабых измерительных полях E_0 при наличии на образце смещающего поля E_{\perp} . Такое резкое уменьшение значений ϵ' указывает на существенное сокращение количества релаксаторов (например, при объединении ПНО и исчезновении фазовых и доменных границ) при подаче поля E_{\perp} на кристалл, находящийся под воздействием излучения. Это показывает, что

степень поляризации образца даже при относительно невысокой величине прикладываемого внешнего поля $E_{\text{в}}$ может значительно увеличиваться. Основой такой «повышенной» поляризуемости материала при данной величине $E_{\text{в}}$ является компенсация внутренних полей неравновесными носителями заряда, образующимися под действием излучения. Таким образом, можно предположить, что воздействие излучения малой мощности способствует «монодоменизации» кристалла SBN-75+0.01at.%Cr.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния излучения оптического диапазона на поляризационные и переполяризационные процессы в SBN-75+0.01at.%Cr. На рис. 9 показан фрагмент температурной эволюции частных циклов петель диэлектрического гистерезиса (ПГ) для SBN-75+0.01at.%Cr, измеренных в квазистатическом режиме нагрева, на частоте 1 Гц в широком диапазоне амплитуд поля: от 200 до 1860 В/см. В целом вид ПГ или качественный характер процессов переполяризации до и после освещения практически не меняется. Однако, при этом можно выделить некоторые особенности в частных циклах ПГ. Так при $T = 23^{\circ}\text{C}$, которая соответствует полярной фазе в данном монокристалле, наблюдаются ПГ в виде искаженных параллелограммов: петли имеют небольшую униполярность. Из сравнения ширины ПГ при максимальном прикладываемом поле E следует, что ширина петли при воздействии излучения стала меньше, чем до воздействия. Это указывает на уменьшение величины коэрцитивного поля E_c под действием излучения, что согласуется с вышеприведенными данными по

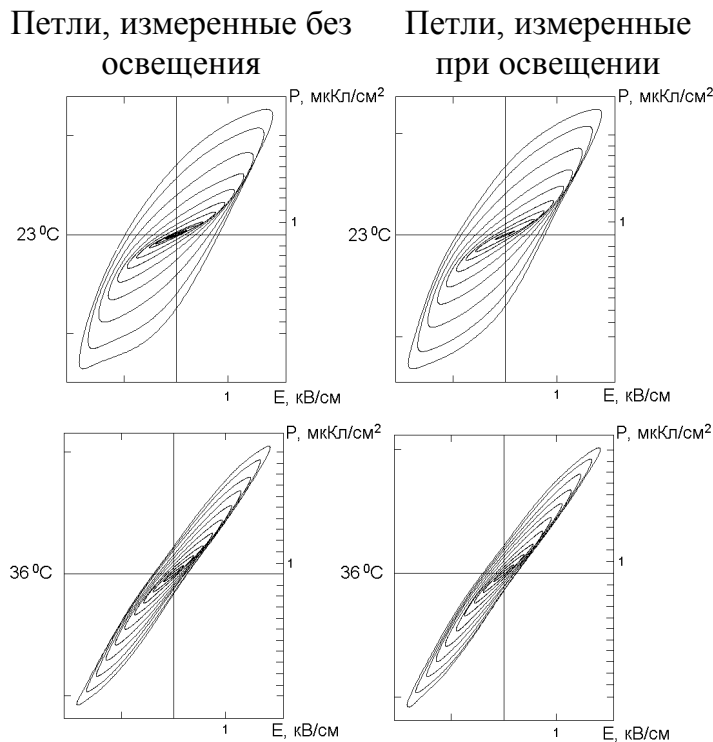


Рис. 9. Петли диэлектрического гистерезиса в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr при температурах 23°C и 36°C в области РФП.

«монодоменизации» образца (рис. 8) и литературными данными [6], где подобное уменьшение E_c отмечено для SBN-61. Переход кристалла в область РФП при нагреве ($T = 36^{\circ}\text{C}$) заметно сужает петлю даже при температурах, расположенных значительно ниже T_m , что характерно для релаксорных сегнетоэлектриков. Однако здесь появляется небольшая перетяжка петли, связанная с проявлением эффекта старения в данном материале при стабилизации температуры. Последующий нагрев до температуры T_m и выше приводит к ПГ, которые характерны для линейных диэлектриков в данном диапазоне прикладываемых полей.

Для оценки влияния излучения на значения поляризации P была введена величина, определяющая относительное изменение поляризации:

$$\Delta P_{\text{отн}} = ((P_{\text{осв}} - P_{\text{неосв}}) / P_{\text{max}}) \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

где максимальное значение поляризации P_{max} принималось как средняя величина $(P_{\text{max_осв}} + P_{\text{max_неосв}}) / 2$ при данной температуре.

Рисунок 10 иллюстрирует амплитудную зависимость $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ при различных температурах для двух частот измерительного поля. Видно, что при $T \approx T_m$ (50°C) значения $\Delta P_{\text{отн}}$ колеблются вблизи нуля и только при максимальных полях E ($E > 1,5$

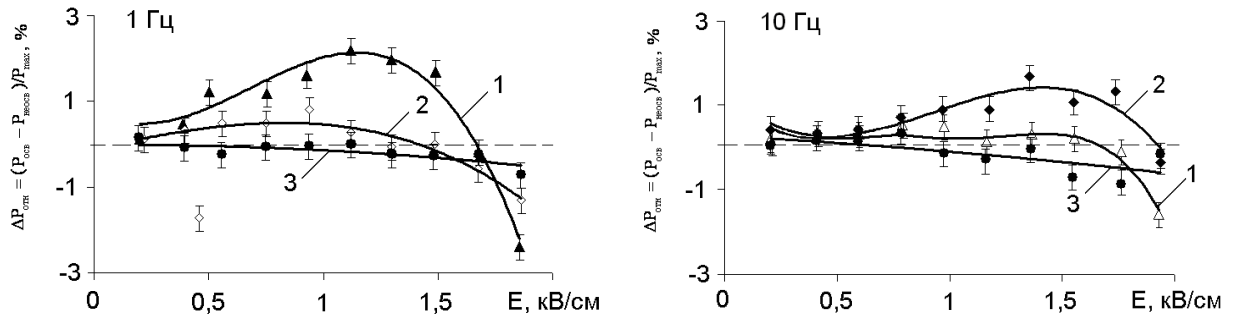


Рис. 10. Амплитудные зависимости $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ для различных температур на частоте 1 Гц и 10 Гц: (1) 23°C ; (2) 36°C ; (3) 50°C .

кВ/см) принимают отрицательные значения (кривая 3). При $E > 1,5$ кВ/см рост отрицательных значений $\Delta P_{\text{отн}}$ имеет место как на частоте измерительного поля 1 Гц, так и на 10 Гц. Это указывает на то, что при освещении поляризация образца уменьшается. При $T < T_m$ выделяется область полей, при которых появляется максимум $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ (кривые 1 и 2). При этом положение максимума зависит от частоты. Чем выше частота, тем больше величина поля E , соответствующего максимуму $\Delta P_{\text{отн}}(E)$. Известно, что в случае релаксоров полевое влияние существенным образом зависит как от температуры в области РФП, так и от частоты и обусловлено неоднородностью фазового состояния в области РФП.

Таким образом, поведение $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ подтверждает сделанный в главе 3 вывод о том, что в кристалле $\text{SBN-75+0.01at.\%Sr}$ при воздействии излучения проявляются фотосегнетоэлектрические явления, как и в случае с «классическими» сегнетоэлектриками типа BaTiO_3 , когда заметное влияние излучения наблюдается лишь при $T < T_C$.

В разделе 4.2 представлено поведение температурно-амплитудных зависимостей эффективной диэлектрической проницаемости $\varepsilon'_{\text{эфф}}(T, E)$ (рис. 11), полученных из петель гистерезиса. Из рис. 11 видно, что при малых и средних полях E имеет место рост значений $\varepsilon'_{\text{эфф}}$ с увеличением E и сдвиг максимумов $\varepsilon'_{\text{эфф}}(T, E)$ в сторону низких температур как без, так и при воздействии излучения. Это также характеризует $\text{SBN-75+0.01at.\%Sr}$ как релаксорный сегнетоэлектрик. Излучение приводит к росту значений $\varepsilon'_{\text{эфф}}$ (рис. 11, штриховые кривые) и увеличению сдвига $T_{m_эфф}$ – соответствующих температур максимумов $\varepsilon'_{\text{эфф}}(T)$, в сторону низких температур. Такое поведение иллюстрируется полевыми зависимостями $T_{m_эфф}(E)$, представленными на врезке рис. 11. Из анализа зависимостей $T_{m_эфф}(E)$ установлено, что в указанном диапазоне полей как без, так и при воздействии излучения выполняется следующее соотношение:

$$T_{m_эфф}(E) = T_{m_0} - B \cdot \ln(E/E_0), \quad (1.6)$$

где E_0 – слабое измерительное поле, $T_{m_0} \approx 57^\circ\text{C}$ – экстраполированное значение температуры максимума диэлектрической проницаемости для слабого измерительного поля, B – постоянная, характеризующая быстроту изменения $T_{m_эфф}$. Увеличение наклона прямой $T_{m_эфф}(E)$ при воздействии излучения указывает на то, что действие излучения усиливается при увеличении амплитуды поля. Сдвиг $T_{m_эфф}(E)$ под действием излучения может указывать, что материал становится более «мягким» к переключению поляризации во внешнем поле.

В области сильных полей, т.е. сопоставимых с E_c (в данном случае $E > 1,5$ кВ/см), влияние излучения сначала, практически, не выделяется (кривые 6, рис. 11), а затем с увеличением E излучение приводит к уменьшению $\epsilon'_{эфф}(T)$ (кривые 7, рис. 11).

Это хорошо согласуется с данными по поведению $\Delta P_{отн}(E)$, представленными на

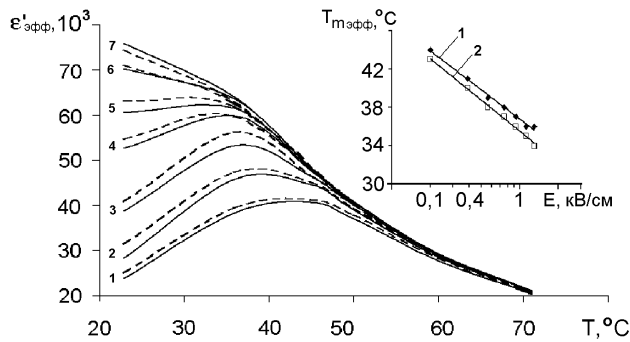


Рис. 11. Зависимости $\epsilon'_{эфф}(T)$ – без освещения (сплошные кривые) и при освещении (пунктирные): 1 – 0,2 кВ/см, 2 – 0,56 кВ/см, 3 – 0,93 кВ/см, 4 – 1,3 кВ/см, 5 – 1,48 кВ/см, 6 – 1,68 кВ/см, 7 – 1,86 кВ/см. Врезка. Зависимость $T_{m_эфф}$ от поля E (для интервала 0,2 – 1,3 кВ/см): 1 – без освещения; 2 – при освещении.

соотношения, приведенного в [5]:

$$\Delta T_N = (-C/2\pi)\alpha N. \quad (1.7)$$

Здесь ΔT_N – сдвиг температуры Кюри (для SBN-75+0.01at.%Cr был взят сдвиг $T_{m_эфф}$, который составил около 3°C), $\alpha \approx 0.8 \cdot 10^{-23}$ см³ представляет коэффициент в разложении энергии (ширины запрещенной зоны) по поляризации для ВаTiO₃ [5], $C=0.5 \cdot 10^6$ °C – константа Кюри-Вейсса. При данных значениях концентрация неравновесных носителей составила: $N \approx 4.7 \cdot 10^{18}$ см⁻³, что по порядку величины хорошо согласуется со значениями концентрации неравновесных носителей для фотосегнетоэлектрических материалов [5].

В разделе 4.4 и 4.5 приведены результаты исследований влияния излучения оптического диапазона на нелинейность диэлектрического отклика в области РФП при различных величинах смещающего поля, прикладываемого к монокристаллу SBN-75+0.01at.%Cr.

Рисунок 12 иллюстрирует поведение реверсивных зависимостей $\epsilon'(E_{\pm})$ до и при воздействии излучения. Видно, что в случае освещения (штриховые кривые – 1'-2'-3') характер нелинейности диэлектрического отклика, фиксируемого в слабых измерительных полях при наличии на образце смещающего поля E_{\pm} , существенно изменяется по сравнению с неосвещенным образцом (сплошные кривые 1-2-3). Так максимумы $\epsilon'(E_{\pm})$ становятся менее размытыми (кривые 1', 2'), а значения ϵ' при максимальном поле $+E_{\pm}$ существенно меньше, чем ϵ' при этом же поле, полученные без освещения. Рассматривая увеличение значений ϵ' с ростом E_{\pm} от 0 до некоторого критического поля E_k , при котором появляется максимум $\epsilon'(E_{\pm})$, как процесс постепенного «срыва» ПНО и их границ с дефектов структуры, можно предположить, что при E_k вклад такого рода релаксаторов будет наибольшим – возникает размытый максимум $\epsilon'(E_{\pm})$. Дальнейшее увеличение E_{\pm} оказывает ориентирующее (закре-

рис. 10 и могут быть связаны с характерным для релаксоров явлением «замораживания» [3], когда в сильных полях часть объема релаксора перестает переключаться (т.н. разворачивающаяся ПГ). Из вышеизложенного можно заключить, что в случае релаксорного сегнетоэлектрика воздействие излучения малой мощности может значительно понизить только температуру $T_{m_эфф}$, а не температуру максимума диэлектрической проницаемости T_m .

В работе проведена оценка возможной концентрации носителей заряда, индуцируемых при воздействии излучения оптического диапазона на SBN-75+0.01at.%Cr с использованием полученных значений сдвига $T_{m_эфф}$ и

плюющее) воздействие на ПНО, стабилизирует флуктуации поляризации, что приводит к увеличению поляризации образца и, как следствие, уменьшению $\epsilon'(E_{\pm})$.

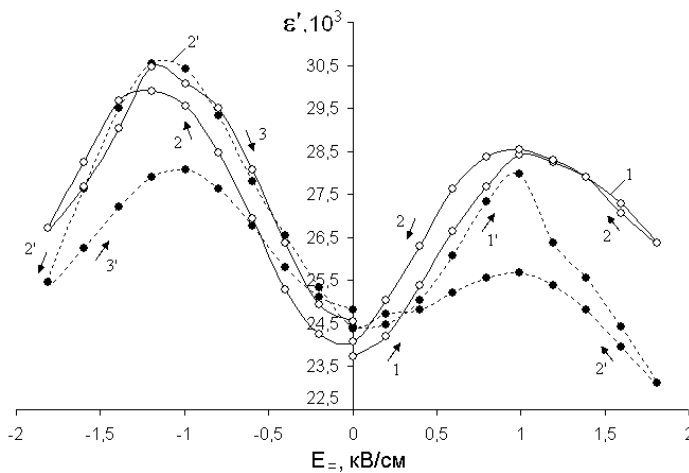


Рис. 12. Реверсивные зависимости $\epsilon'(E_{\pm})$ в кристалле SBN-75+0.01at.%Cr при $T_i = 33,5^{\circ}\text{C}$ без старения: (1-2-3) - без освещения; (1'-2'-3'-) - при освещении. Стрелками указано направление изменения поля E_{\pm} . Частота измерительного поля 10 Гц.

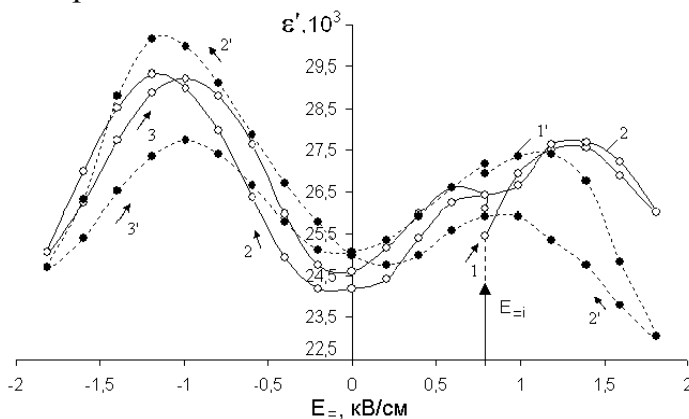


Рис. 13. Реверсивные зависимости $\epsilon'(E_{\pm})$ в кристалле SBN-75 + 0,01Cr при $T_i = 33,5^{\circ}\text{C}$ после старения в поле $E_{=i} = 0.8$ кВ/см в течение $t \approx 1.7 \times 10^5$ с (48 часов) при T_i : (1-2-3) - без освещения; (1'-2'-3'-) - при освещении. Стрелками указано направление изменения поля E_{\pm} . Частота измерительного поля 10 Гц.

рис.1) в данном материале, который сохраняется и при повторном проходе $\epsilon'(E_{\pm})$ (рис. 13 кривая 3). Воздействие излучения при старении образца в поле приводит к практически полному исчезновению эффекта памяти (рис. 13 кривая 2'), что хорошо согласуется с выводами о компенсации внутреннего поля появлением неравновесных носителей заряда при освещении материала.

Однако, в данном случае (без воздействия излучения) величины $E_{\text{к}}$ недостаточно для изменения фазового состояния (объединения ПНО и образования однородного полярного состояния). Можно предположить, что при воздействии излучения на образец, находящийся в поле при $E_{\pm} \approx E_{\text{к}}$, возникают условия, при которых часть ПНО объединяется и появляется более однородное полярное (сегнетоподобное) состояние. Наиболее вероятной причиной объединения ПНО является уменьшение внутренних случайных полей неравновесными носителями заряда при воздействии излучения, что соответствует данным по увеличению поляризуемости материала при исследовании долговременной релаксации поляризации в SBN-75+0.01at.%Cr (рис. 8) и подтверждается нижеприведенными результатами исследований полевого старения в данном материале.

Установлено, что в случае выдержки образца SBN-75+0.01at.%Cr в течение 48 часов при температуре $T_i = 33,5^{\circ}\text{C}$ в выбранном поле $E_{=i} = 0.8$ кВ/см (рис. 13) появляется локальный минимум в области $E_{=i}$. Такого типа аномалия $\epsilon'(E_{\pm})$ указывает на проявление эффекта полевой памяти (также как и температурной памяти -

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Воздействие оптического и УФ излучения на монокристалл SBN-75+0.01at.%Cr приводит к увеличению параметров ИНЧ-НЧ диэлектрического отклика в области

средней температуры РФП и понижению данной температуры вследствие влияния электронной подсистемы на поведение поляризации в области размытого фазового перехода;

2. Одновременное действие излучения и смещающего поля $E_{\pm} \approx E_c$ способствует возникновению более однородного полярного состояния в релаксорном материале SBN-75+0.01at.%Cr, для которого характерно сосуществование полярной и неполярной фаз в широком интервале температур;

3. На временных зависимостях фототока в SBN-75+0.01at.%Cr обнаружены дополнительные аномалии в виде локальных максимумов, которые могут быть обусловлены перестройкой полярных кластеров или ПНО под влиянием поля объемного заряда, формирующегося при воздействии излучения на образец;

4. Из поведения частных циклов ИНЧ и НЧ петель диэлектрического гистерезиса SBN-75+0.01at.%Cr при воздействии излучения выявлено увеличение характерного для релаксоров сдвига температур максимумов эффективной диэлектрической проницаемости в сторону низких температур с ростом величины измерительного поля;

5. Установлено, что амплитудная зависимость относительного изменения поляризации $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ при воздействии оптического излучения на SBN-75+0.01at.%Cr имеет максимум при величине поля порядка коэрцитивного ($E \approx E_c$). Такое поведение $\Delta P_{\text{отн}}(E)$ связано с компенсацией внутренних случайных полей фотоиндуцированными зарядами, которая в наибольшей степени проявляется при максимальной концентрации ПНО и их границ для $E \approx E_c$;

6. Обнаружено, что для амплитуд поля $E > E_c$ воздействие оптического излучения приводит к уменьшению поляризации материала SBN-75+0.01at.%Cr. Причиной уменьшения поляризации может являться усиление процессов «замораживания» полярной структуры или появление «упрямых» доменов при приложении к образцу сильных полей, происходящее из-за компенсации внутренних случайных полей фотоиндуцированными носителями заряда;

7. Установлено, что воздействие излучения оптического диапазона стирает эффект полевой диэлектрической «памяти» в SBN-75+0.01at.%Cr, выражающийся в появлении аномалии на реверсивной зависимости $\epsilon'(E_{\pm})$ для поля «выдержки» E_i . Это также может свидетельствовать о компенсации внутреннего поля, возникающего в процессе старения материала, неравновесными носителями заряда.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд / под ред. К.М. Рабе, Ч.Г. Ана, Ж.-М. Трискона; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 440с.
2. Волк, Т.Р. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов ниобата бария-стронция с примесями некоторых редкоземельных металлов / Т.Р. Волк, В.Ю. Салобутин, Л.И. Ивлева, Н.М. Полозков, Р. Панкрат, М. Вёлеке // ФТТ.– 2000. – Т.42. – №11. – С.2066-2073.
3. Бурханов, А.И. Влияние внешних воздействий на релаксационные явления в монокристалле $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ / А.И. Бурханов, А.В. Шильников, Р.Э. Узakov // Кристаллография. – 1997. – Т.42. – №6. – С.1069-1075.
4. Kleemann, W. Non-Debye domain-wall-induced dielectric response in $\text{Sr}_{0.61-x}\text{Ce}_x\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ / W. Kleemann, J. Dec, S. Miga, Th. Woike, R. Pankrath // Phys. Rev. B. – 2002. – V.65. – P.220101-1 - 220101-4.

5. Фридкин, В.М. Сегнетоэлектрики-полупроводники / В.М. Фридкин. – Москва : Наука, 1976. – 408с.
6. Smith, P.G.R. Influence of light on the coercive field of reepoled strontium barium niobate: The role of secondary repoling / P.G.R. Smith, R.W. Eason // Appl. Phys. Lett. – 1996. – V.69. – P.1509-1511.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Бурханов, А.И. Воздействие освещения на долговременную релаксацию поляризации в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // Известия РАН. Серия Физическая. – 2010. – Т.74. – № 9. – С.1292-1293.
2. Бурханов, А.И. Влияние освещения на характер диэлектрической нелинейности в монокристалле SBN-75 с примесью Cr / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // Известия РАН. Серия Физическая. – 2011. – Т.75. – №10. – С.1484-1487.
3. Гужаковская, К.П. Поведение диэлектрической нелинейности в условиях непрерывного освещения монокристалла SBN-75+Cr / К.П. Гужаковская, А.И. Бурханов, Л.И. Ивлева // Известия ВУЗов. Материалы Электронной Техники. – 2011. – Т.54. – №2. – С.28-32.

Статьи и материалы конференций:

4. Бурханов, А.И. Влияние освещения на низко- и инфра- низкочастотный диэлектрический отклик монокристалла SBN-75 / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // XVIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС XVIII) : тез. докл. – Санкт-Петербург, 2008. – С.188-189.
5. Бурханов, А.И. Влияние освещения на диэлектрическую релаксацию в монокристалле-релаксоре SBN-75 / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах : сборник трудов междунар. конф. – Махачкала, 2008. – С.155-158.
6. Гужаковская, К.П. Влияние освещения на реверсивные зависимости диэлектрической проницаемости в монокристалле ниобата бария–стронция / К.П. Гужаковская, А.И. Бурханов // 15 Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-15) : тез. докл. – Кемерово-Томск, 2009. – С.199-200.
7. Бурханов, А.И. Влияние освещения на диэлектрическую релаксацию в монокристалле-релаксоре SBN-75 / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // 6(11) Международный Семинар по Физике Сегнетоэластиков (ISFP-6) : тез. докл. – Воронеж, 2009. – С.186.
8. Гужаковская, К.П. Влияние освещения на характер диэлектрической нелинейности в кристалле SBN – 75 / К.П. Гужаковская, А.И. Бурханов // 16 Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-16) : тез. докл. – Екатеринбург-Волгоград, 2010. – С.190-191.
9. Бурханов, А.И. Влияние освещения на характер диэлектрической нелинейности в монокристалле с размытым фазовым переходом SBN-75 / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // XXII Международная конференция «Релаксационные явления в твердых телах» (RPS-22) : матер. конф. – Воронеж, 2010. – С.125-126.
10. Гужаковская, К.П. Влияние внешних воздействий на характер диэлектрической нелинейности в монокристалле SBN-75+Cr / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И.

Ивлева // VII Международная научно-техническая конференция "Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения (INTERMATIC-2010) : материалы конф. – Москва, 2010. – Ч. 2. – С.157-160.

11. Бурханов, А.И. Дилектрический отклик монокристалла-релаксора SBN-75 в области размытого фазового перехода / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // XIX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС XIX) : тез. докл. – Москва, 2011. – С.125.

12. Гужаковская, К.П. Влияние освещения на поляризационные и переполаризационные процессы в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr / К.П. Гужаковская, А.И. Бурханов, Л.И. Ивлева // Международная научно-техническая конференция "Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения" (INTERMATIC-2012) : материалы конф. – Москва, 2012. – Ч. 2. – С.134-137.

13. Бурханов, А.И. Процессы релаксации поляризации при освещении монокристалла SBN-75+Cr / А.И. Бурханов, К.П. Гужаковская, Л.И. Ивлева // 7 Международный Семинар по Физике Сегнетоэластиков (ISFP-7) : тез. докл. – Воронеж, 2012. – С.85.

14. Гужаковская, К.П. Кинетика тока и диэлектрического отклика после воздействия освещения на монокристалл SBN-75 / К.П. Гужаковская, А.И. Бурханов, Л.И. Ивлева // Международная научно-техническая конференция "Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения" (INTERMATIC-2013) : материалы конф. – Москва, 2013. – Ч. 2. – С.102-105.

15. Guzhakovskaya, K.P. The behavior of current and dielectric response in SBN-75+Cr single crystal under illumination effect / K.P. Guzhakovskaya, A.I. Burkhanov, L.I. Ivleva, I.E. Tumanov // The International Workshop of Relaxor Ferroelectrics (IWRP) : тезисы докладов. – St. Petersburg, 2013. – P.123-124.

ГУЖАКОВСКАЯ Кристина Петровна

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА НА НИЗКО- И
ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКЛИК
МОНОКРИСТАЛЛА-РЕЛАКСОРА SBN-75

АВТОРЕФЕРАТ

На соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Подписано в печать --.--.2014г. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Усл. печ. Л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,56

Тираж 100 экз. Заказ № ___

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1.

Сектор оперативной полиграфии ЦИТ