Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 538.956

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ ЦИРКОНАТА-ТИТАНАТА СВИНЦА

В.В. Иванов¹, Е.Н. Голубева¹, О.Н. Сергеева¹, Г.М. Некрасова², И.П. Пронин³,
Д.А. Киселев⁴

¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

170000, Тверь, ул. Желябова, 33

²ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»

170904, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

³ФГБУН «Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе

Российской академии наук»

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

⁴ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет

«МИСиС»»

119049, Москва, Ленинский пр-т, 4

o_n_sergeeva@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.270

Аннотация: В работе представлены результаты исследования релаксации диэлектрической проницаемости в постоянных электрических полях при переключении поляризации тонких пленок цирконата-титаната свинца, кристаллизованных при различных температурах отжига. Показано, что релаксационные процессы характеризуются, по крайней мере, тремя временами релаксации, которые зависят от температуры кристаллизации. Показано, что релаксационные процессы зависят от локализации оксида свинца в объеме пленки.

Ключевые слова: тонкие пленки цирконата-титаната свинца, диэлектрическая проницаемость, время релаксации, температура кристаллизации, оксид свинца.

1. Введение

Сегнетоэлектрические тонкие пленки цирконата-титаната свинца (ЦТС) являются на сегодняшний день наиболее значимыми функциональными материалами для микро- и нанoeлектроники, в том числе, в качестве элементов энергонезависимой памяти [1, 2]. В связи с этим исследования переключательных свойств пленок ЦТС и сопровождающие их релаксационные явления являются актуальной научной задачей. В работе [3, 4] по петлям диэлектрического гистерезиса исследовались процессы усталости поляризации пленок ЦТС, изготовленных золь-гель методом на кремниевых подложках. Было показано, что при переполаризации сохраняется подвижность доменных границ, а сами процессы связаны с выключением части переключаемого объема за счет закрепления зародышей обратных доменов заряженными дефектами. Однако авторы работы [5, 6], изучая релаксацию тока при измерении вольт-амперных характеристик в отдельно взятом зерне пленок ЦТС методом атомно-силовой микроскопии, исключают вклад в релаксационные процессы доменного механизма, объясняя ее медленной

перезарядкой глубоких уровней, локализованных на границах зерен вблизи электродов и участвующих в экранировании поляризационного заряда. При изучении низкочастотной релаксации тока установлено, что в пленках ЦТС состава $PbZr_{0,48}Ti_{0,52}O_3$ существуют три процесса низкочастотной релаксации тока со значениями времен релаксации около 350, 60 и 10 с [7, 8]. По мнению авторов, существенный вклад в релаксацию оказывает медленный процесс, связанный с миграцией заряженных дефектов, например, кислородных вакансий. Релаксационный процесс со временем ~ 60 с авторы связывают с инжекционным механизмом заполнения ловушечных уровней в запрещенной зоне сегнетоэлектрика. Природа короткого процесса пока не установлена.

Таким образом, несмотря на активное изучение релаксационных процессов в пленках ЦТС, единого мнения о природе этих явлений и вкладе доменного механизма в процесс переполаризации нет. В настоящей работе исследуются релаксационные явления, сопровождающие процесс переполаризации пленок ЦТС в области постоянных полей, соответствующих максимуму диэлектрической проницаемости, с целью уточнения вклада доменного механизма в процессы переключения пленок ЦТС, а также влияния температуры кристаллизации на протекание релаксационного процесса.

2. Экспериментальная часть

Используемые в работе пленки ЦТС толщиной 1000 нм получены двухстадийным методом. Вначале методом ВЧ-магнетронного распыления керамической мишени состава $PbZr_{0,54}Ti_{0,46}O_3$, содержащей дополнительно 10 мол.% PbO , аморфные пленки осаждались на «холодную» платинированную кремниевую подложку при $T = 150^\circ\text{C}$, а затем отжигались на воздухе для кристаллизации в фазу перовскита при различных температурах отжига T_{an} в интервале $580\text{--}650^\circ\text{C}$. Избыток в виде оксида свинца вводился в мишень для компенсации его потерь при кристаллизации при высоких температурах [9]. При этом избыток в виде оксида свинца может оставаться в пленке после отжига, располагаясь как на ее интерфейсах, так и в межкристаллитном пространстве перовскитовых зерен. На свободную поверхность кристаллизованной пленки наносилась сетка платиновых электродов размером 200×200 мкм. Таким образом, исследуемые объекты представляли собой систему конденсаторных структур.

Релаксационные явления в пленках ЦТС изучались с помощью иммитанса Е-20 в области постоянных полей, соответствующих максимумам емкости (диэлектрической проницаемости) на вольт-фарадных зависимостях. Диэлектрическая проницаемость пленок ЦТС

рассчитывалась по формуле плоского конденсатора. Перед измерениями конденсаторные ЦТС структуры подвергались дополнительному нагреву до температур, превышающих температуру Кюри T_c с целью перераспределения объемного заряда, обычно возникающего вблизи нижней границы пленки, между нижним и верхним интерфейсами [9]. Локальные процессы релаксации сигнала пьезоотклика исследовались на сканирующей зондовой нанолaborатории Ntegra Prima (НТ-МДТ, Россия) в режиме силовой микроскопии пьезоотклика. Импульс постоянного напряжения величиной ± 30 В и длительностью 10 с подавался на кантилевер NSG10/Pt, далее с помощью встроенного осциллографа регистрировалась релаксация сигнала пьезоотклика при регистрирующем переменном напряжении 5 В и частотой 150 кГц.

На рис. 1 представлены вольт-фарадные зависимости для пленок ЦТС, сформированных при разных температурах отжига.

Рис. 1. Вольт-фарадные зависимости для пленок ЦТС, кристаллизованных при температурах отжига T_{an} : а – 580 °С, б – 600 °С, в – 620 °С, г – 650 °С.

Как видно из приведенных зависимостей, диэлектрическая проницаемость испытывает максимальные значения в электрических полях, соответствующих коэрцитивным, при которых происходит переключение поляризации. Для пленок, сформированных при $T_{an} = 580^\circ\text{C}$ вольт-фарадная зависимость имеет два максимума и смещена относительно оси ординат в сторону отрицательных напряжений. Это, как известно [9], свидетельствует о наличии внутреннего поля смещения, вызванного отрицательным объемным зарядом вблизи нижнего интерфейса конденсаторной структуры, и, как следствие, самополяризации $\bar{P}_{sp}$, вектор которой направлен к нижнему интерфейсу пленки (см. рис. 1 а). В районе температур $T_{an} = 600 - 620^\circ\text{C}$ эти зависимости имеют более сложную форму, смещаясь в область положительных напряжений (рис. 1 б, в). И, наконец, при $T_{an} = 650^\circ\text{C}$ (см. рис. 1 г) вольт-фарадная зависимость принимает форму, аналогичную, представленной на рис. 1 а, но смещенную в сторону положительных напряжений, что свидетельствует о реориентации вектора самополяризации.

Релаксационные зависимости диэлектрической проницаемости, измеренные в полях, соответствующих максимальным значениям емкости при переполяризации пленок, имеют вид, представленный на рис. 2. Они хорошо аппроксимируются суммой трех экспонент, что свидетельствует о наличии как минимум трех времен релаксации. Как видно, имеет место три независимых процесса с различными временами релаксации, при этом процессы происходят быстрее при переполяризации пленок ЦТС в направлении внешнего поля, совпадающем с ориентацией вектора самополяризации ($\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{P}_{sp}$). Как было показано ранее [6, 7], природа релаксационных процессов с временами τ_2 и τ_3 связана, соответственно, с инжекционными и миграционными механизмами. Процесс, сопровождающийся релаксацией со временем τ_1 , нами ассоциируется с доменным вкладом при квазистатической переполяризации пленок ЦТС в постоянных полях.

Доказательством этого является характер релаксации пироэлектрического тока в постоянном поле при переключении пленки ЦТС [10]. При этом меняется как его величина, так и направление, причем время установления стационарной величины пиротока в результате переполяризации по порядку величины соответствует времени релаксации τ_1 , определенной при релаксации диэлектрической проницаемости. В пользу доменного вклада в процесс переключения пленок ЦТС можно отнести электрические скачки, сопровождающие релаксационный процесс

пьезоэлектрического отклика (пьезоотклика) в постоянном поле, по типу скачков Баркгаузена при переполяризации (см. рис. 3 а).

Как видно из рис. 3 б аппроксимация релаксационной зависимости пьезоотклика суммой двух экспонент дает значение τ_1 , близкое к значению, полученному из релаксационной зависимости пьезоэлектрического тока [10] и диэлектрической проницаемости (см. рис. 2).

Рис. 2. Релаксационные зависимости диэлектрической проницаемости в пленках ЦТС ($T_{an} = 580^\circ\text{C}$). Для кривой 1 ($\bar{E} \uparrow \uparrow \bar{P}_{sp}$) времена релаксации составляют: $\tau_1 = 7$ с, $\tau_2 = 35$ с, $\tau_3 = 350$ с, для кривой 2 ($\bar{E} \uparrow \downarrow \bar{P}_{sp}$): $\tau_1 = 10$ с, $\tau_2 = 55$ с, $\tau_3 = 450$ с. Точки – экспериментальные результаты, сплошная линия – аппроксимационная зависимость.

Рис. 3. а – Релаксационные зависимости пьезоотклика при локальной подаче на пленку ЦТС постоянного напряжения: кривая 1 – $U = +30$ В, кривая 2 – $U = -30$ В, б – аппроксимация пьезоотклика экспоненциальной зависимостью.

На рис. 4. представлены зависимости времен релаксации от температуры отжига пленок ЦТС.

Рис. 4. Зависимости времен релаксации от температуры отжига пленок ЦТС. Кривая 1 соответствует ($\bar{E} \uparrow \uparrow \bar{P}_{sp}$), кривая 2 – ($\bar{E} \uparrow \downarrow \bar{P}_{sp}$). Погрешность измерений не превышала 1%.

Как видно, диапазон изменения времен релаксации оказывается значительным и зависит от физического механизма, отвечающего за тот или иной тип релаксационного процесса.

Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что для обоих направлений приложенного поля времена релаксации испытывают аномалию для пленок ЦТС, сформированных при $T_{an} = 600^\circ\text{C}$. Именно для этих пленок имеет место вольт-фарадная зависимость с четырьмя максимумами (см. рис. 1 б).

3. Обсуждение результатов

Подобное поведение в зависимости от температуры формирования (отжига) пленок можно объяснить на основе модели, предложенной в [11]. Согласно [11] с ростом T_{an} происходит смена места положения зарождения фазы перовскита – со свободной поверхности в область нижнего

интерфейса пленки. Рост островков фазы на свободной поверхности пленки сопровождается выдавливанием избыточного свинца (в виде оксида) в нижнюю полусферу пленки с образованием глубоких ловушечных состояний вблизи границы с платиновым электродом. Напротив, образование и рост островков фазы перовскита на нижнем интерфейсе пленки ведет к выдавливанию оксида свинца в верхнюю полусферу к свободной поверхности. Последующее формирование верхнего (платинового) электрода приводит к образованию глубоких ловушечных состояний вблизи верхнего интерфейса структуры.

Аномально низким значениям τ_1 (см. рис. 4 а) соответствует температура отжига, равная 600 °С, при которой происходит изменение механизма кристаллизации фазы перовскита и локализация областей оксида свинца одновременно вблизи обоих интерфейсов пленки, благодаря чему, по всей видимости, процесс релаксации доменной структуры происходит быстрее, т.е. с меньшим временем релаксации. Увеличение времени релаксации τ_1 на рис. 4 а с ростом T_{an} может быть связано с пиннингом доменных границ, поскольку увеличение времени релаксации сопровождается уменьшением величины внутреннего поля смещения, вызванного сформированным объемным зарядом вблизи нижнего или верхнего интерфейса. При этом сама величина объемного заряда уменьшается с уменьшением избыточного содержания свинца в тонкой пленке, как показано в [12]. Релаксация со временем τ_2 связывается с инжекцией заряда из электродов в сегнетоэлектрическую пленку. Результаты, полученные в работе (см. рис. 4 б), могут свидетельствовать о том, что наименьшие времена релаксации диэлектрической проницаемости связываются с максимальным объемным зарядом (и, соответственно, с максимальным содержанием избыточного свинца в пленке), локализованным вблизи нижнего интерфейса. Иными словами, уменьшение области пространственного заряда в пленке способствует увеличению времени релаксации инжектированного в пленку заряда. Наконец, механизм релаксации, связанный с временами τ_3 , вызван миграцией подвижных зарядов – кислородных вакансий, возникающих в пленке ЦТС из-за присутствия избыточного свинца и его возможного доокисления в процессе приготовления тонкой пленки. Результат, представленный на рис. 4 в, может быть связан с длиной пробега заряженных вакансий, которая может быть меньше в присутствии большей области объемного заряда (или областей), соответствующих температурам кристаллизации 580 и 600 °С.

4. Заключение

Таким образом, в результате исследования релаксации

диэлектрической проницаемости в постоянных электрических полях при переключении пленок ЦТС показано, что она характеризуется тремя временами релаксации, каждый из которых отвечает разным физическим процессам. Эти процессы протекают быстрее в направлении, совпадающем с вектором самополяризации, и зависят от температуры отжига, при которой происходит формирование фазы перовскита в пленках. Установлено, что меньшее время релаксации отвечает за доменный вклад при квазистатическом переключении пленки ЦТС. Предполагается, что аномальные изменения времен релаксации с ростом температуры отжига вызваны локальным перераспределением избыточного оксида свинца между верхним и нижним интерфейсами в тонкой пленке.

Библиографический список:

1. **Scott, J.F.** Applications of modern ferroelectrics // Science. – 2007. – V. 315. – I. 5814. – P. 954-959.
2. **Воротилов, К.А.** Интегрированные сегнетоэлектрические устройства: Монография / К.А. Воротилов, В.М. Мухортов, А.С. Сигов; под. ред. член-корр. РАН А.С. Сигова. – М.: Энергоатомиздат, – 2011. – 175 с.
3. **Сидоркин, А.С.** Влияние процессов усталости на токи переключения в пленках титаната свинца и цирконата-титаната свинца / А.С. Сидоркин, Л.П. Нестеренко, А.Ю. Пахомов // Физика твердого тела. – 2012. – Т. 54. – Вып. 5. – С. 947-949.
4. **Сидоркин, А.С.** Диэлектрические и переключательные свойства пленок цирконата-титаната свинца разного процентного состава и разной толщины / А.С. Сидоркин, Л.П. Нестеренко, А.А. Сидоркин и др. // Фундаментальные проблемы приборостроения, 21-25 ноября 2016, Москва: материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2016». – М.: МИРЭА, 2016. – Ч. 2. – С. 86-90.
5. **Делимова, Л.А.** Исследование поляризационной зависимости переходного тока в поликристаллических и эпитаксиальных тонких пленках $Pb(Zr,Ti)O_3$ / Е.В. Гущина, В.С. Юфеев, И.В. Грехов // Физика твердого тела. – 2014. – Т. 56. – Вып. 12. – С. 2366-2375.
6. **Delimova, L.A.** Unexpected behavior of transient current in thin PZT films caused by grain-boundary conduction / L.A. Delimova, E.V. Guschina, D.S. Seregin, K.A. Vorotilov, A.S. Sigov // Journal of Applied Physics – 2017. – V. 121. – I. 22. – P. 224104-1-22104-9.
7. **Подгорный, Ю.В.** Характеризация процессов низкочастотной релаксации в тонкопленочных сегнетоэлектрических структурах / Ю.В. Подгорный, К.А. Воротилов, А.С. Сигов, А.Н. Ланцев // Фундаментальные проблемы приборостроения, 21-25 ноября 2016, Москва: материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2016». – М.: МИРЭА, 2016. – Ч. 2. – С. 237-241.
8. **Podgorny, Yu.V.** Depolarization currents in thin ferroelectric films / Yu.V. Podgorny, D.S. Seregin, A.S. Sigov, K.A. Vorotilov // Ferroelectrics. – 2012. – V. 439. – I. 1. – P. 56-61.
9. **Пронин, И.П.** Влияние отжига на самополяризованное состояние в тонких сегнетоэлектрических пленках / И.П. Пронин, Е.Ю. Каптелов, Е.А. Тараканов, В.П. Афанасьев // Физика твердого тела. – 2002. – Т. 44. – Вып. 9. – С. 1659-1664.
10. **Иванов, В.В.** Процессы релаксации диэлектрической проницаемости и поляризации в пленках ЦТС в области коэрцитивных полей / В.В. Иванов, Е.Н. Голубева,

О.Н. Сергеева, И.П. Пронин, Г.М. Некрасова // Фундаментальные проблемы приборостроения, 20-24 ноября 2016, Москва: материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2017». – М.: МИРЭА, – 2017. – Ч. 2. – С. 267-270.

11. **Пронин, В.П.** Аномальные потери свинца в тонких пленках PZT в процессе кристаллизации фазы перовскита / В.П. Пронин, С.В. Сенкевич, Е.Ю. Каптелов, И.П. Пронин // Физика твердого тела. – 2013. – Т. 55. – Вып. 1. – С. 92-94.

12. **Канарейкин, А.Г.** Влияние высокотемпературного отжига на ориентацию вектора униполярности в тонких пленках цирконата-титаната свинца / А.Г. Канарейкин, Е.Ю. Каптелов, С.В. Сенкевич и др. // Физика твердого тела. – 2016. – Т. 58. – Вып. 11. – С. 2242-2246.

References:

1. **Scott, J.F.** Applications of modern ferroelectrics // Science. – 2007. – V. 315. – I. 5814. – P. 954-959.

2. **Vorotilov, K.A.** Integrirovannye segnetoelektricheskie ustrojstva: Monografiya / K.A. Vorotilov, V.M. Muhortov, A.S. Sigov; pod. red. chlen-korr. RAN A.S. Sigova. – М.: Energoatomizdat, – 2011. – 175 p.

3. **Sidorkin, A.S.** Vliyanie processov ustalosti na toki pereklyucheniya v plenках titanata svinca i cirkonata-titanata svinca / A.S. Sidorkin, L.P. Nesterenko, A.Yu. Pahomov // Fizika tverdogo tela. – 2012. – V. 54. – I. 5. – P. 947-949.

4. **Sidorkin, A.S.** Dielektricheskie i pereklyuchatel'nye svoystva plenok cirkonata-titanata svinca raznogo procentnogo sostava i raznoj tolshchiny / A.S. Sidorkin, L.P. Nesterenko, A.A. Sidorkin i dr. // Fundamental'nye problemy priroostroeniya, 21-25 noyabrya 2016, Moskva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «INTERMATIC – 2016». – М.: MIREA, 2016. – Ch. 2. – S. 86-90.

5. **Delimova, L.A.** Issledovanie polarizatsionnoy zavisimosti perekhodnogo toka v polikristallicheskih i epitaksial'nyh tonkih plenках $Pb(Zr,Ti)O_3$ / E.V. Gushchina, V.S. Yuferev, I.V. Grekhov // Fizika tverdogo tela. – 2014. – V. 56. – I. 12. – P. 2366-2375.

6. **Delimova, L.A.** Unexpected behavior of transient current in thin PZT films caused by grain-boundary conduction / L.A. Delimova, E.V. Gushchina, D.S. Seregin, K.A. Vorotilov, A.S. Sigov // Journal of Applied Physics – 2017. – V. 121. – I. 22. – P. 224104-1-22104-9.

7. **Podgornyy, Yu.V.** Harakterizatsiya processov nizkochastotnoj relaksatsii v tonkoplennoknyh segnetoelektricheskikh strukturah / Yu.V. Podgornyy, K.A. Vorotilov, A.S. Sigov, A.N. Lancev // Fundamental'nye problemy priroostroeniya, 21-25 noyabrya 2016, Moskva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «INTERMATIC – 2016». – М.: MIREA, 2016. – Ch. 2. – P. 237-241.

8. **Podgorny, Yu.V.** Depolarization currents in thin ferroelectric films / Yu.V. Podgorny, D.S. Seregin, A.S. Sigov, K.A. Vorotilov // Ferroelectrics. – 2012. – V. 439. – I. 1. – P. 56-61.

9. **Pronin, I.P.** Vliyanie otzhiga na samopolarizovannoe sostoyanie v tonkih segnetoelektricheskikh plenках / I.P. Pronin, E.Yu. Kaptelov, E.A. Tarakanov, V.P. Afanas'ev // Fizika tverdogo tela. – 2002. – V. 44. – I. 9. – P. 1659-1664.

10. **Ivanov, V.V.** Processy relaksatsii dielektricheskoy pronikaemosti i polarizatsii v plenках CTS v oblasti koerativnyh polej / V.V. Ivanov, E.N. Golubeva, O.N. Sergeeva, I.P. Pronin, G.M. Nekrasova // Fundamental'nye problemy priroostroeniya, 20-24 noyabrya 2016, Moskva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «INTERMATIC – 2017». – М.: MIREA, – 2017. – Ch. 2. – P. 267-270.

11. **Pronin, V.P.** Anomal'nye poteri svinca v tonkih plenkah PZT v processe kristallizacii fazy perovskita / V.P. Pronin, S.V. Senkevich, E.Yu. Kaptelov, I.P. Pronin // Fizika tverdogo tela. – 2013. – V. 55. – I. 1. – P. 92-94.

12. **Kanarejkin, A.G.** Vliyanie vysokotemperaturnogo otzhiga na orientaciyu vektora unipolyarnosti v tonkih plenkah cirkonata-titanata svinca / A.G. Kanarejkin, E.Yu. Kaptelov, S.V. Senkevich i dr. // Fizika tverdogo tela. – 2016. – V. 58. – I. 11. – P. 2242-2246.

**PECULIARITIES OF THE PROCESS OF SWITCHING POLARIZATION IN
POLYCRYSTALLINE THIN FILMS OF LEAD ZIRCONATE-TITANATE**

V.V. Ivanov¹, E.N. Golubeva¹, O.N. Sergeeva¹, G.M. Nekrasova², I.P. Pronin³, D.A. Kiselev⁴

¹Tver State University

²Tver State Agricultural Academy

³Ioffe Institute

⁴National University of Science and technology «MISIS»

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.270

Abstract: The paper presents the results of a study of relaxation of the dielectric permittivities in constant electric fields upon switching the polarization of thin films of lead zirconate-titanate, crystallized at different annealing temperatures. It is shown that the relaxation processes are characterized by at least three relaxation times which depend on the crystallization temperature. It is shown that the relaxation processes depend on the localization of lead oxide in the bulk of the film.

Keywords: thin films of lead zirconate-titanate, dielectric permeability, relaxation time, crystallization temperature, lead oxide.

Иванов Владимир Васильевич – к.ф.-м.н., профессор кафедры конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Голубева Екатерина Николаевна – преподаватель математики, физики, естествознания академическая гимназия им. П.П. Максимовича института непрерывного образования ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Сергеева Ольга Николаевна – к.ф.-м.н., ведущий инженер кафедры конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», доцент кафедры физико-математических дисциплин и информационных технологий ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»

Некрасова Галина Михайловна – к.ф.-м.н., доцент кафедры физико-математических дисциплин и информационных технологий ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»

Пронин Игорь Петрович – д.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории физики сегнетоэлектричества и магнетизма ФГБУН «Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук»

Киселев Дмитрий Александрович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»»

Vladimir V. Ivanov – Ph. D., Professor of Condensed State Physics Department, Tver State University

Ekaterina N. Golubeva – Teacher of Mathematics, Physics and Natural Sciences in Academic Gymnasium named after P.P. Maksimovich, Institute of Continuing Education, Tver State University

Olga N. Sergeeva – Ph. D., Leading Engineer of Condensed State Physics Department, Tver State University, Docent of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Information Technologies, Tver State Agricultural Academy

Galina M. Nekrasova – Ph. D., Docent of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Information Technologies, Tver State Agricultural Academy

Igor P. Pronin – Dr. Sc., Senior Researcher of the Laboratory of physics of ferroelectricity and magnetism, Ioffe Institute

Dmitry A. Kiselev – Ph. D., Senior Researcher of the Department of Materials Science Semiconductors and Dielectrics, National University of Science and technology «MISIS»