

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 33.2.018.22

по диссертации Старицына Михаила Владимировича

«Микроструктура и полярные свойства сферолитовых тонких пленок цирконата-титаната свинца»

### ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ ОТМЕЧАЕТ, ЧТО НА ОСНОВАНИИ ВЫПОЛНЕННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ

- **установлено**, что радиально-лучистая микроструктура в сферолитовых тонких пленках цирконата-титаната свинца (ЦТС) реализуется в результате двухстадийного метода их изготовления, сопровождается появлением двумерных радиальных механических напряжений и радиально-линейным разворотом кристаллической решетки как результат увеличения плотности структуры при кристаллизации (рекристаллизации) фазы перовскита. Для объяснения эффекта разворота решетки предложена дислокационная модель;

- **показано**, что увеличение размера сферолитовых блоков сопровождается резкими изменениями параметра решетки, градиента разворота решетки, сегнетоэлектрических и пьезоэлектрических параметров, в конечном счете приводит к появлению большеугловых границ, являющихся причиной частичной релаксации механических напряжений;

- **выявлено**, что наблюдение картин электронного каналирования в сферолитовых островках при малых углах развертки сканирующего луча в РЭМ реализуется благодаря однородному centrosymmetric развороту кристаллической решетки перовскита. Продемонстрирована возможность непосредственного наблюдения кристаллографических плоскостей и локального определения их ориентаций;

- в сферолитовых островках **обнаружена** радиально ориентированная латеральная поляризация, вектор которой направлен от центра островка к периферии. Ее возникновение вызвано совместным действием радиальных механических напряжений и поляризующим действием отрицательного

объемного заряда, локализованного на глубоких ловушках периферии островков.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем что:**

- Результаты работы привели к **развитию представлений** о микроструктуре тонких сферолитовых пленок ЦТС и ее связи с полярными свойствами, **выявлению** роли двумерных механических напряжений, возникающих в результате кристаллизации (рекристаллизации) фазы перовскита;

- **обнаружен и объяснен** эффект наблюдения аномальных картин электронного каналирования в растровом электронном микроскопе при сканировании с малыми углами развертки электронного луча;

- **предложена** дислокационная модель кристаллической решетки перовскита в сферолитовых тонких пленках ЦТС;

- **выявлено** формирование ранее неизвестного типа самопроизвольной поляризации, отличающейся латерально-радиальной ориентацией, под действием растягивающих механических напряжений при кристаллизации фазы перовскита. Вектор самополяризации оказывается ориентированным от центра сферолита к его границам.

**Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- полученные экспериментальные результаты исследования особенностей полярных свойств сферолитовых тонких пленок ЦТС вносят вклад в разработку научных основ для использования тонких пленок ЦТС, характеризующихся латеральной самополяризацией, в качестве функциональных элементов микроэлектромеханических систем (различного типа сенсоров и резонаторов), а также устройств на поверхностных акустических волнах (например, встречно-штыревых (гребенчатых) полосовых фильтров);

- **выявлены** структурные факторы и обуславливающие их условия, которые определяют электрофизические характеристики сферолитовых тонких пленок ЦТС;

- **выявлена** связь между появлением радиальных незамкнутых большеугловых границ при увеличении размеров сферолитовых блоков, внутренним полем и униполярностью в сферолитовых тонких пленках ЦТС;

- **установлено** влияние технологических параметров приготовления тонких пленок ЦТС на величину сферолитовых блоков, среднюю величину градиентов разворота кристаллической решетки перовскита, степень реориентации самополяризации в плоскости пленок, величины внутреннего поля и униполярности.

**Достоверность результатов исследования обусловлена тем, что:**

- результаты получены с использованием актуальных исследовательских методик на современном оборудовании, обоснованы параметры работы экспериментальных установок, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

- предложенные модели построены на известных проверяемых данных, фактах, в том числе для предельных случаев, согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации или по смежным отраслям;

- исследование базируется на результатах изучения тонкопленочных сферолитов кварца, гематита, других материалов и обобщении передового опыта;

- полученные автором данные находятся в согласии с литературными данными в случае, когда это сравнение возможно.

**Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах исследования:**

- в разработке основной идеи проведения исследования;

- в постановке и организации основных этапов исследования;

- в разработке методических подходов реализации экспериментов;

- в получении и обработке экспериментальных данных;

- в подготовке публикаций по результатам проведенных исследований.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается:**

- обоснованностью актуальности изучаемой проблемы;
- последовательным планом исследования;
- постановкой научной задачи физики конденсированного состояния, направленной на выявление связи процессов кристаллизации перовскитовой фазы с физическими свойствами сферолитовых тонких пленок ЦТС;
- использованием актуальных исследовательских методик, реализованных на современном оборудовании;
- аргументированностью и полнотой выводов.

Диссертация Старицына Михаила Владимировича является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основе изучения микроструктуры, диэлектрических и электрофизических свойств сферолитовых тонких пленок ЦТС с использованием комплекса методов рентгеновской дифракции, растровой электронно-ионной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и диэлектрической спектроскопии установлена связь микроструктуры и полярных свойств сферолитовых тонких пленок ЦТС. Полученные экспериментальные результаты исследования вносят весомый вклад в разработку научных основ технологии получения новых компактных и энергоэффективных микроэлектромеханических устройств на поверхностных акустических волнах.

**На заседании 26 декабря 2024 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Старицына Михаила Владимировича «Микроструктура и полярные свойства сферолитовых тонких пленок цирконата-титаната свинца» представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п.9 Положения о присуждении ученых степеней,**

утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции)), и принял решение присудить Старицыну Михаилу Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по выявлению связи между микроструктурой и полярными свойствами сферолитовых тонких пленок цирконата-титаната свинца составов, соответствующих области морфотропной фазовой границы, приготовленных при различных технологических режимах на практически значимых подложках кремния и ситалла.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета

А. В. Колобов

Ученый секретарь  
диссертационного совета

А. А. Кононов