

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Меределиной Татьяны Александровны на тему «**Влияние процессов экранирования на диэлектрические свойства и температуру Кюри проводящих сегнетоэлектрических материалов**», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Многокомпонентные проводящие сегнетоэлектрические микро- и наноструктуры обладают рядом свойств, которые делают их весьма перспективными для практического применения по сравнению с однородными материалами (сегнетоэлектрические туннельные диоды, сегнетоэлектрические полевые транзисторы и т.д.). В то же время сами подобные материалы исследованы недостаточно, а причины и механизмы формирования их свойств установлены только частично. Таким образом **актуальность** данной работы, посвященной исследованию влияния свободных носителей заряда на электрофизические свойства неоднородных сегнетоэлектрических материалов, не вызывает сомнения.

Целью диссертационной работы Меределиной Т.А. является установлению физических механизмов влияния свободных носителей заряда на диэлектрические свойства и температуру Кюри неоднородных сегнетоэлектрических структур. В качестве объекта исследования выбраны следующие объекты: проводящие монокристаллы  $\text{KNbO}_3$ , допированные Sm; гетероструктуры на основе пленок  $\text{BaTiO}_3$  (*n*-типа) и кремниевых подложек (*p*-типа); проводящие композиты  $(\text{KH}_2\text{PO}_4)_{1-x}/(\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te})_x$ ; композиты на основе пористых металлических матриц с внедренными сегнетоэлектриками  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  и TGS.

В работе соискателем были исследованы диэлектрические свойства проводящих монокристаллов  $\text{KNbO}_3(\text{Sm})$  с разными концентрациями свободных носителей; изучены линейные и нелинейные диэлектрические свойства пленок  $\text{BaTiO}_3$ , полученных методом импульсно-лазерного осаждения на кремниевой подложке; с использованием метода дифференциальной сканирующей калориметрии получена информация о фазовых переходах в сегнетоэлектриках  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  и TGS, введенных в поры металлических матриц; изучено влияние  $\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te}$  на диэлектрические свойства композитов  $(\text{KH}_2\text{PO}_4)_{1-x}/(\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te})_x$ .

**Научная новизна** полученных результатов состоит в следующем:

- Впервые методом генерации третьей гармоники исследованы нелинейные диэлектрические свойства проводящих пленок  $\text{BaTiO}_3$  толщиной 70 нм на кремниевой подложке и определены температурные сдвиги фазовых переходов.

- Изучено влияние  $\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te}$  на сегнетоэлектрические свойства композитов  $(\text{KN}_2\text{PO}_4)_{1-x}/(\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te})_x$  ( $x = 0,2; 0,3; 0,4$ ) и обнаружен дополнительный механизм поляризации в сегнетоэлектрической фазе.
- Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии позволило впервые исследовать фазовые переходы для сегнетоэлектриков в порах металлических матриц и обнаружить сдвиги  $T_c$  для  $\text{KNO}_3$  и  $\text{NaNO}_2$ .
- Показано, что вклад носителей заряда в диэлектрический отклик за счет экранирования пропорционален величине спонтанной поляризации, концентрации носителей и площади доменных границ или зерен.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные в работе результаты позволяют расширить имеющуюся научную информацию об электрофизических свойствах неоднородных сегнетоэлектрических материалов, в том числе тонких пленок и сегнетоэлектрических композитов. Они уточняют и расширяют представления о влиянии свободных носителей заряда на свойства сегнетоэлектриков, что позволяет целенаправленно создавать материалы для электронных приборов на основе проводящих сегнетоэлектрических структур.

**Достоверность и обоснованность результатов и выводов** исследования обеспечиваются комплексным использованием современных экспериментальных методов: линейной и нелинейной диэлектрической спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, электронной растровой микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Результаты, представленные в диссертации, в достаточной мере теоретически обоснованы. Работа прошла хорошую апробацию – результаты были представлены на конференциях и семинарах различного уровня, в том числе и международных, по теме диссертации опубликовано 6 статей в журналах, входящих в список ВАК РФ.

Основные результаты получены непосредственно самим автором или при его непосредственном участии, автором также были подготовлены к публикации статьи и тезисы докладов на конференциях. В исследованиях, проведенных в соавторстве, автор принимал активное участие в планировании экспериментов и обсуждении результатов. Таким образом **личный вклад автора** не вызывает сомнения.

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения, включает 45 рисунков и библиографию из 239 наименования. Общий объём 118 страниц текста. Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертационной работы. После ознакомления с материалами диссертации хотел бы отметить, что работа в целом выполнена на хорошем профессиональном методическом и экспериментальном уровнях и принципиальных замечаний или возражений не вызывает. Результаты, полученные в работе, достаточно хорошо иллюстрированы, а сам материал структурирован и изложен в доступной и понятной форме.

В то же время следует указать ряд недостатков работы и высказать некоторые замечания, которые я хотел бы разделить на две группы:

**– недостатки и замечания по оформлению и представлению результатов:**

- символом  $\varphi$  в разных частях диссертации обозначены принципиально различные параметры: в одном случае это контактная разность потенциалов, а в другом, начиная со стр. 82,  $\varphi$  характеризует степень влияния добавки  $\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te}$  на эффективную диэлектрическую проницаемость композита;
- из подписей к рис. 3.2.3 и 3.2.4 и соответствующего текста диссертации неясно к каким образцам пленок  $\text{Si}/\text{BaTiO}_3/\text{Ag}$  (100 нм или 70 нм) относятся приведенные результаты;
- стр. 81 в тексте диссертации сказано: «Максимум при 122 К соответствует фазовому переходу; аномалии на низких частотах обусловлены наличием нецентральной примеси германия, как было показано в [234].» и идет отсылка к рис. 3.3.1, однако на данном рисунке не видно максимума при 122 К, а о каких аномалиях на низких частотах идет речь нигде не указано;
- присутствуют неудачные формулировки (например, «толщина зерна» - стр.32, «симметрия кристалла переходит в ромбоэдрическую» - стр. 45, ««сегнетоэлектрик второго рода» - стр. 53);
- в тексте присутствуют стилистические и другие ошибки, неточности и опечатки (стр. 8, 14, 17, 20, 26, 29, 31, 43, 47 и др.)

**- замечания по сути диссертации:**

- у меня вызывает сомнение правильность использования термина «удельная проводимость» для результатов, представленных на стр. 76-77 и рис. 3.2.5, так как измерения проводились на частоте 1 кГц. Кроме того, из текста диссертации неясно как определялась эта проводимость;
- в диссертации не обсуждается вопрос о влиянии упругих напряжений на интерфейсе « $\text{BaTiO}_3$  – подложка Si», хотя можно ожидать их влияния на характер фазовых переходов в данном композите;
- на стр. 78 приведена фраза: «Значение эффективной диэлектрической проницаемости, рассчитанное из емкости планарного конденсатора...», но сама формула, по которой рассчитывалась диэлектрическая проницаемость, не приводится;
- не совсем понятен принцип выбора композита на основе сегнетоэлектрика-полупроводника  $\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te}$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Причем в параграфе 2.1, в методике приготовления образцов указывается, что образцы  $\text{Pb}_{0,95}\text{Ge}_{0,05}\text{Te}$  имели примесь Ga, а в параграфе 3.1, где приводятся результаты и обсуждение, Ga уже не упоминается.

Перечисленные выше замечания и недостатки не являются принципиальными и не снижают общее хорошее впечатление от выполненной работы, не уменьшают практическую ценность работы и не влияют на обоснованность защищаемых положений. Не вызывает сомнения, что автор проделал большой объем работы и хорошо ориентируется в данной теме.

Считаю, что диссертационная работа «*Влияние процессов экранирования на диэлектрические свойства и температуру Кюри проводящих сегнетоэлектрических материалов*» полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Меределина Татьяна Александровна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

24 марта 2017 г.

Официальный оппонент,

Старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

доктор физико-математических наук, доцент

/А.А. Набережнов/

194021, Санкт-Петербург, Политехническая, 26, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, тел. +7(812)2927921, e-mail [alex.nabereznov@mail.ioffe.ru](mailto:alex.nabereznov@mail.ioffe.ru)

Подпись А.А. Набережнова удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе

доктор физико-математических наук, профессор

/А.П. Шергин/