

ОТЗЫВ

официального оппонента Шерстюк Наталии Эдуардовны
на диссертационную работу Гудкова Сергея Игоревича на тему
«Диэлектрический отклик и электропроводность гетероструктур на основе тонких
плёнок ниобата лития и танталата лития, сформированных на кремниевых
подложках», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа С.И. Гудкова посвящена комплексному исследованию электрофизических свойств перспективных для микроэлектроники структур металл – сегнетоэлектрик – полупроводник на основе тонких пленок ниобата (НЛ) и танталата лития (ТЛ). Эти материалы известны, прежде всего, как пьезо- и пироэлектрические, а сравнительно высокие значения спонтанной поляризации представляют интерес для разработки элементов памяти (FeRAM). Благодаря высоким значениям электрооптического и нелинейно-оптического коэффициентов, НЛ и ТЛ хорошо известны в прикладной оптике и рассматриваются как весьма перспективные материалы для различных применений современной фотоники, в том числе интегральной (например, элементы дифракционной оптики и др.). Кристаллы семейства ниобата лития демонстрируют широкие возможности в области доменной инженерии (инженерии доменных стенок) за счет высокой термической стабильности и возможности изготовления стабильных периодических доменных структур с заданными параметрами.

Несмотря на их изученность, остается ряд важных, в том числе фундаментальных вопросов, связанных с переходом от объемных материалов к низкоразмерным. При этом большое внимание уделяется, в том числе, эффектам, возникающим на границах раздела сегнетоэлектрика с другими материалами, а также поиску путей управления откликом тонкопленочных структур на приложение внешнего электрического поля за счет модификации структуры и поверхности пленок. Отдельной инженерной задачей является разработка

технологий изготовления тонкопленочных сегнетоэлектрических структур на полупроводниковых подложках, применяемых в микроэлектронном производстве.

В этой связи диссертационная работа С.И. Гудкова, несомненно, **является актуальной** и представляющей интерес не только с фундаментальной, но и прикладной точки зрения.

Научная новизна диссертационной работы состоит, в первую очередь, в получении новых знаний о процессах и эффектах, возникающих на границе сегнетоэлектрических тонких пленок с проводящими и полупроводниковыми материалами. Несмотря на то, что сами по себе МСЭП структуры не являются новыми, а функциональные свойства НЛ и ТЛ достаточно хорошо известны, в диссертационной работе получены новые фундаментальные результаты, имеющие большое значение для проектирования устройств на основе низкоразмерных сегнетоэлектрических пленок и моделирования их функциональных параметров.

Практическая ценность работы состоит в разработке методик расчета параметров тонких пленок НЛ и ТЛ, синтезированных на кремниевых подложках, для использования в оптоэлектронных и пироэлектрических устройствах, а также для исследования возможности применения данных и других сегнетоэлектрических материалов в качестве функциональных частей FeRAM. Следует отметить, что, несмотря на законченность диссертационного исследования, полученные результаты могут выступать заделом для дальнейших перспективных исследований в области твердотельной электроники и физики сегнетоэлектрических материалов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается согласованием полученных экспериментальных данных с результатами расчетов и моделирования, высокой воспроизводимостью измерений, использованием апробированных методик, соответствующих мировому уровню, а также современного научного оборудования, обеспечивающего необходимую точность измерений.

Оценивая работу в целом, можно отметить существенный личный вклад автора на всех этапах исследования, а также большой объем обработанного материала. Диссертация хорошо структурирована, обсуждаемые материалы изложены весьма грамотно и компетентно. На все цитируемые материалы даны соответствующие ссылки.

Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает положения, выносимые на защиту.

Вместе с несомненными достоинствами диссертации, к которым, в том числе, следует отнести подробный и тщательный обзор литературы по теме исследования, представленные результаты вызывают некоторые **вопросы и замечания**.

1. В гл. 2 автор указывает, что при изготовлении образцов на основе НЛ и ТЛ использовались разные электроды: медный для НЛ и серебряный для ТЛ. То есть в работе рассматриваются МСЭП-структуры, отличающиеся не только сегнетоэлектрическим, но и металлическим слоем. При этом, помимо разных материалов (близкая, но разная работа выхода, разная теплопроводность и т.д.), были использованы электроды разного размера. Кроме того, анализ топографии поверхности показывает существенные неоднородности в структуре пленки ТЛ (пленки НЛ такими неоднородностями не обладают). Проводя сравнение полученных для различных пленок результатов, автор практически не уделяет внимания обсуждению этих различий в области интерфейса «металл-сегнетоэлектрик» и их возможному влиянию на результат.

2. Несмотря на близкую теплопроводность меди и серебра, следовало бы, на мой взгляд, уделить внимание обсуждению возможных отличий в пироэлектрическом отклике структур, обусловленном различными диаметрами и различными свойствами материалов электродов, тем более что расчетные значения, определенные в рамках разработанной модели, значительно отличаются от табличных значений для объемных НЛ и ТЛ. Например, следовало бы указать, есть ли различие в поглощении материалов электродов на используемой длине волны (980 нм), и насколько это различие влияет на пироотклик. Возможно, стоило бы указать также толщину электродов. Отсутствие этих данных в диссертационной работе затрудняет восприятие результата.

3. В описании рис. 3.7 и 3.8 автор указывает, что при частоте 25 Гц $\text{tg}\delta$ принимает минимальное значение (а емкость – максимальное для обеих пленок). Следовало бы, видимо, уточнить, что речь идет о конкретном диапазоне, а не о минимальном значении «вообще», т.к. частоты меньше 25 Гц не исследовались. Здесь, возможно, следовало бы привести сравнение с результатами электрофизических измерений для этих и других материалов в более широком диапазоне частот, полученными другими научными группами.

4. В разделе 4.1 при обсуждении данных пьезоэлектрических измерений автор не обсуждает различие знака пьезоэлектрического сигнала для НЛ (положительный для светового тока) и ТЛ (отрицательный). Обусловлено ли такое различие направлением поляризации, как предполагалось в гл. 2, или есть и другие механизмы? Может ли различие расчетных и табличных пьезокоэффициентов для НЛ связываться с присутствием в составе пленки второй фазы (гл.2)?

5. В работе не обсуждается возможное влияние напряжений, возникающих на границе сегнетоэлектрических пленок и кремниевой подложки. Возможно, это влияние незначительно при используемой толщине сегнетоэлектрика. Тем не менее, влияние механических интерфейсных напряжений на поляризационное состояние было продемонстрировано для других сегнетоэлектрических материалов (в качестве примера можно привести работы В.М. Мухортова). Можно ли утверждать, что в исследуемых структурах этот фактор не оказывает влияние на полученные результаты?

Сделанные замечания, тем не менее, не снижают общего положительного впечатления о представленной диссертационной работе. В целом, работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, достоверность полученных экспериментальных результатов, проведенные теоретические оценки и сделанные на их основе заключения не вызывают сомнений. Работа представляет собой законченное научное исследование и соответствует квалификационному уровню работ на соискание ученой степени кандидата наук.

По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертационная работа Сергея Игоревича Гудкова на тему «Диэлектрический отклик и электропроводность гетероструктур на основе тонких плёнок ниобата лития и танталата лития, сформированных на кремниевых подложках» выполнена в рамках паспорта научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (отрасль наук – физико-математические) и соответствует пунктам 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а ее автор, Сергей Игоревич Гудков, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Я, Наталия Эдуардовна Шерстюк, даю свое согласие на обработку и передачу моих персональных данных, предоставляемых мною в диссертационный совет 24.2.411.03 (Д 212.263.09).

Официальный оппонент

профессор кафедры наноэлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

доктор физико-математических наук,
доцент

Наталия Эдуардовна Шерстюк
« 8 » ноября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Адрес: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78

Тел.: +7 (499) 600-80-80 (доб. 23026); e-mail: sherstyuk@mirea.ru