

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики» (Университет ИТМО)

Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация, 197101
тел.: (812) 232-97-04 | факс: (812) 232-23-07
od@mail.ifmo.ru | www.ifmo.ru

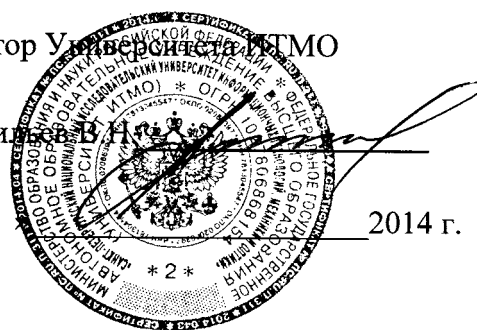
№ _____

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор Университета ИТМО

Васильев В. А.

«



2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Илларионова Юрия Юрьевича «Туннельный транспорт носителей и связанные с ним физические явления в структурах золото – фторид кальция – кремний (111)», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 «физика полупроводников»

Диссертация Илларионова Ю.Ю. посвящена исследованию процессов переноса заряда через ультратонкие слои фторида кальция (CaF_2). Данный материал является перспективным диэлектриком класса high-k и имеет существенный потенциал применения в современных приборах микроэлектроники, таких как полевые транзисторы и резонансно-туннельные диоды. В связи с тем, что в настоящее время интерес к поиску новых диэлектрических материалов для использования в качестве альтернативы диоксиду кремния достаточно велик, заявленная тематика работы представляется весьма актуальной. В качестве образцов в работе используются МДП-структуры золото – фторид кальция – кремний (111), изготовленные методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Важной особенностью таких структур по сравнению с более ранними работами является то, что изучаемые автором слои фторида характеризуются, по сути, приборным качеством, несмотря на толщину всего несколько нанометров.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Помимо этого в ней сформулированы положения, выносимые на защиту, и приведен список публикаций автора, относящихся к предмету диссертации.

Во введении обоснован выбор тематики исследования, сформулирована цель работы, а также кратко описана структура диссертации.

В первой главе дается обзор литературы по предмету диссертационного исследования, который тематически делится на три раздела. В первом приведено описание общих свойств фторида кальция, технологии формирования тонких пленок и приборных применений данного материала. Во втором разделе акцент делается на описании принципов функционирования туннельных МДП-структур. В третьем разделе приводится базовая информация по технологическим и измерительным методикам, а также используемым в работе профессиональным средствам моделирования.

Вторая глава, в основном, посвящена описанию технологических особенностей формирования тонких пленок CaF_2 на поверхности кремния, а также рассмотрению использованных в работе экспериментальных установок и соответствующих измерительных методик. Подчеркивается особая важность выбора ориентации подложек и оптимизации температуры роста для получения сплошного слоя фторида кальция высокого качества. Но наиболее важной представляется идея встраивания диагностики качества изготавливаемых образцов в технологию. Именно это, в конечном счете, позволило добиться существенного прогресса в улучшении качества выращиваемых слоев фторида.

В третьей главе подробно рассмотрены методологические подходы к моделированию процессов переноса заряда в туннельных МДП-структурах. Помимо систематизации общеизвестных моделей, применявшихся ранее, акцентируются важные дополнения, которые введены впервые в рамках данного диссертационного исследования. Это, прежде всего, необходимость корректного учета нетривиальных особенностей зонной структуры кремния при моделировании электронного транспорта в случае ориентации подложки (111), а также – несмотря на выраженную асимметрию барьера – дырочного тока через структуру. Кроме того, демонстрируется возможность адаптации туннельных моделей, используемых для структур с фторидом кальция, в профессиональные симуляторы. Это также сделано впервые в ходе данной работы.

Четвертая глава содержит данные электрической диагностики исследуемых МДП-структур, сопоставленные с результатами моделирования. Хорошее соответствие «теория – эксперимент» позволяет сделать вывод о туннельном механизме переноса заряда в рассматриваемых структурах, который доминирует даже в случае существенных флуктуаций толщины диэлектрического слоя. Также продемонстрировано, что рассматриваемые МДП-структуры с фторидом кальция обладают усилительными свойствами. Они способны усиливать фототок, возникающий в системе при воздействии внешнего освещения, до тысячи раз. Помимо этого, путем сопоставления данных моделирования с экспериментом доказана состоятельность имплементации туннельных моделей в промышленные симуляторы. Впервые представлены данные моделирования эффектов разогрева в канале гипотетических транзисторов с фторидом кальция, а также рассчитанные выходные характеристики таких транзисторов.

В пятой главе анализируются данные по электролюминесценции МДП-структур на основе фторида кальция. Продемонстрировано, что анализ спектра свечения может быть

использован в качестве средства диагностики инжекционных свойств диэлектрика. При этом показано, что применительно к рассматриваемым структурам такая диагностика позволяет сделать вывод о хороших инжекционных свойствах тонких диэлектрических слоев фторида кальция.

На наш взгляд, результаты, полученные автором в ходе диссертационного исследования, обладают новизной и имеют как научную, так и практическую значимость. Научная значимость заключается, прежде всего, в получении большого числа экспериментальных и теоретических данных о свойствах туннельных МДП-структур с фторидом кальция. Практическая значимость связана с наличием существенного потенциала практического применения исследованного материала в устройствах микроэлектроники. Соответственно, результаты данной работы могут быть использованы специалистами из смежных областей, работающими в профильных учреждениях науки и промышленности.

Разумеется, работа Илларионова Ю.Ю. имеет и некоторые недостатки. К ним мы относим следующее:

1. В ходе диссертационного исследования были изготовлены и рассмотрены МДП-структуры с толщинами слоев фторида кальция в несколько нанометров. Однако ничего не говорится об исследовании стабильности данных слоев, что может быть особенно принципиально именно при такой малой толщине. Такие исследования могли бы быть проведены, к примеру, на предмет выявления влияния диффузии из кремния (например, после длительного хранения образцов либо при высокой температуре).
2. При рассмотрении и анализе данных по электролюминесценции автором отмечена слабость оптического сигнала. Однако в настоящее время достаточно динамично развивается такая область исследований, как кремниевая фотоника, в которой ставится задача получения свечения высокой интенсивности в кремнии. В связи с этим возникает вопрос, есть ли у автора работы идеи, каким образом можно усилить интенсивность сигнала люминесценции в рассматриваемых структурах с фторидом кальция.

Однако указанные замечания носят, скорее, рекомендательный характер и не снижают нашего общего положительного впечатления о работе, проделанной Илларионовым Ю.Ю. в ходе данного диссертационного исследования.

В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой существенный вклад в исследование новых материалов для кремниевой электроники. По материалам работы опубликовано большое количество статей, в том числе в авторитетных научных журналах, и сделан ряд конференционных докладов.

Автореферат адекватно отражает содержание работы, которая полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.10 «физика полупроводников». Автор диссертации, Илларионов Юрий Юрьевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Доклад Илларионова Ю.Ю. на тему «Туннельный транспорт носителей и связанные с ним физические явления в структурах золото – фторид кальция – кремний (111)» был заслушан на заседании семинара Института Светодиодной фотоники Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики 24 декабря 2014 года. По результатам доклада соискателю был задан ряд вопросов, на которые были получены грамотные и квалифицированные ответы.

Протокол № 7 от 24 декабря 2014 г.

Директор института светодиодной фотоники
Санкт-Петербургского национального исследовательского
университета информационных технологий, механики и оптики,
Заведующий кафедрой, Заслуженный деятель науки РФ,
Доктор технических наук, профессор, академик АИН

Мешковский Игорь Касьянович



Тел. +7-812-233-63-88

E-mail: igorkm@niuitmo.ru

Секретарь семинара:

