

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель директора
департамента науки
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Д.В. Гайворонский



Гайворонский

11 ноября

2018 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного автономное образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертационную работу «Исследование электрических и оптических свойств фоточувствительных структур на наноструктурированном кремнии» Лизунковой Дарьи Александровны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Актуальность темы

Пористый кремний – современный перспективный материал, благодаря возможности гибкого управления параметрами пористой текстуры (путем варьирования технологических условий его получения) обладает различными свойствами, что позволяет этому материалу находить широкое применение во многих областях техники, например, в устройствах МЭМС, для создания устройств альтернативной энергетики, в фотонике, нелинейной оптике, в рентгеновской оптике, в сенсорики, химических и биохимических микрореакторов, автомобильной промышленности, медицине и т.д. В солнечной энергетике пористый кремний прежде всего применяется в качестве антиотражающих покрытий. Создание таких покрытий на кремниевых солнечных элементах технологически просто, недорого, совместимо с технологией производства солнечных элементов и эффективно: позволяет существенно снижать оптические потери (на несколько десятков процентов) на отражение.

Кремниевые солнечные элементы не теряют своей актуальности несмотря на разработку новых материалов в этой области (полупроводниковые тройные и четверные соединения $A^{II}B^{VI}$ $A^{III}B^V$, структуры с коллоидными квантовыми точками, гибридные структуры на основе органических материалов, перовскитов, наноструктурированных оксидных материалов и др.). Основным преимуществом кремниевых солнечных элементов, на наш взгляд, является возможность их применения в космосе благодаря устойчивости образованию к радиационному излучению (рентгеновскому и т.п.). К настоящему времени, именно кремниевые элементы, особенно с использованием кремниевых наночастиц, являются наиболее устойчивым к возникновению дефектов за счет радиационного излучения. Кроме того, современное промышленное производство солнечных фотоэлектрических преобразователей в основном основано на кремнии, и повышение эффективности рабочих параметров таких преобразователей может принести наиболее быстрый экономический эффект от их внедрения (на базе существующей производственной инфраструктуры).

Одним из путей повышения эффективности солнечных элементов является использование специальных покрытий с различными функциональными возможностями: снижение оптических потерь на отражение, на термализацию, расширение спектрального диапазона оптического поглощения и т.п. Выбор состава и структуры таких покрытий, разработка технологии их получения и оптимизация параметров покрытий является чрезвычайно актуальным.

Учитывая выше сказанное, тема диссертационной работы, посвященная исследованию электрических и оптических свойств фоточувствительных структур на наноструктурированном кремнии, является актуальной и представляет научный и практический интерес.

Основные научные результаты,

их новизна и значимость для науки и практики

Основные научные результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью. Из наиболее важных результатов, на наш взгляд, необходимо выделить следующие:

1. Разработаны макеты фотопреобразователей на основе пористого кремния с улучшенными характеристиками (более высокая эффективность, более высокий фактор заполнения, меньшие оптические потери, более высокая

радиационная устойчивость) по сравнению с аналогичными фотопреобразователями без пористого слоя с использованием дополнительных покрытий. Новизной предложенного макета является расширение рабочих функций слоя пористого кремния: не только антиотражающее покрытие, но и активная область прибора, в которой достигается расширение спектра поглощаемого излучения за счет разброса элементов каркаса пористого кремния по размерам, а также новизной конструкции является комбинация покрытий из сульфида цинка и фторида диспрозия, обеспечивающая достижение наибольшего фактора заполнения.

2. Научной новизной и важной практической значимостью обладают результаты экспериментов по испытанию разрабатываемых макетов фотопреобразователей в экстремальных условиях, включая эксперименты по испытанию в условиях космоса: показано, что образцы с пористым кремнием в таких условиях показывают более высокий фактор заполнения, чем образцы без него, что коррелирует с результатами наземных испытаний.
3. Практической значимостью обладают результаты по способу увеличения тока короткого замыкания разрабатываемых макетов фотопреобразователей с пористым кремнием путем облучения квантами рентгеновского излучения с энергией 8 кэВ.
4. Практической значимостью обладают результаты по предложению порядка технологических операций при создании фотопреобразователей с пористым кремнием, позволяющие достигать наилучшие фотоэлектрические свойства.
5. Сформулированы технологические режимы формирования покрытий, обеспечивающие достижение наилучших рабочих характеристик: режимы получения пористого кремния с наименьшим коэффициентом отражения, режимы нанесения покрытий из фторида диспрозия, сульфида цинка на поверхности пористого кремния, позволяющие достичь наибольшее увеличение фототока в приборной структуре.
6. Новизной обладает предложенная в работе модель на основе оптических матриц для расчета оптических свойств многослойных структур, одним из слоев которой является пористый кремний с разными по значениям диаметров пор и размеров сечений пористого каркаса (нанокристаллов кремния) при вариации этих параметров по толщине слоя.

Личный вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Соискатель участвовал либо планировал лично все основные эксперименты, полученные в диссертационной работе, лично проведена вся технологическая часть работы (электрохимическое травление, изготовление покрытий, металлизация и др.). Самостоятельно соискателем проведены измерения оптических и фотоэлектрических характеристик полученных образцов, проведена обработка экспериментальных данных. Соискатель участвовал в обсуждении полученных результатов и формулировании выводов. Соискателем подготовлены и представлены материалы для научных публикаций и докладов на международных и российских конференциях.

Достоверность результатов проведенных исследований

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается логичным изложением материала и грамотным обоснованием всех выводов и научных положений. В тех случаях, когда возможно сравнение с известными зависимостями, полученные результаты согласуются с литературными данными. Основные результаты достаточно апробированы на международных и всероссийских конференциях, а также опубликованы в престижных российских и зарубежных научных изданиях.

Рекомендации

по использованию результатов работы и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в СПбГЭТУ «ЛЭТИ», МИСиС, ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе», ООО «Хевел», ПАО Сатурн, ОАО «Рязанский завод металлокерамических изделий», ЗАО «Телеком-СТВ», МГИЭТ (ТУ), ИПТМ РАН и других организациях, занимающихся близкими проблемами. Результаты работы могут использоваться в учебном процессе при подготовке магистров и бакалавров.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Лизунковой Дарьи Александровны на тему «Исследование электрических и оптических свойств фоточувствительных

структур на наноструктурированном кремнии», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников, является самостоятельным законченным научно-квалификационным исследованием и соответствует паспорту специальности. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 4 статьи в ведущих рецензируемых российских и зарубежных изданиях, рекомендованных в перечне ВАК. Результаты диссертации доложены на 16 российских и международных конференциях.

Диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне. Текст автореферата соответствует основному содержанию работы.

Замечания по диссертационной работе

1. К сожалению, в работе не приведены сведения о диффузионной длине неосновных носителей заряда для разрабатываемых экспериментальных структур, о влиянии технологических параметров в частности условий получения пористого кремния, на ее величину.

2. На наш взгляд, было бы полезным определить элементный и фазовый состав разрабатываемых фоточувствительных структур со слоем пористого кремния, с покрытиями.

3. Было бы полезно более чётко выделить, в чем конкретно заключается новизна заявляемой модели отражения и поглощения излучения в многослойных фоточувствительных структурах по сравнению с известными.

4. При анализе пористого кремния не учитывается фрактальность поверхности пор. На наш взгляд это было бы полезно при анализе оптических свойств изучаемых образцов, в частности особенностей их спектров поглощения, при моделировании.

5. Также при моделировании процессов взаимодействия наноструктурированной поверхности с электромагнитным (оптическим) излучением учитываются геометрические характеристики поверхности модельных структур, но не достаточно, на наш взгляд, обсуждается влияние состава разрабатываемых структур. В частности, пористый кремний может содержать не только «нанокристаллы и поры» в слое, но также долю оксидной фазы (SiO_2 , SiO_x), аморфизированный и аморфизированный гидрогенизированный кремний, ионы фтора и др., в разной пропорции в

зависимости от технологических условий получения пористого кремния, Не обсуждается влияние пористости получаемых в работе образцов.

6. Следует уточнить, что именно соискатель подразумевает, утверждая, что им впервые исследованы спектральные характеристики фотоэлектрических и оптических параметров фоточувствительных структур с рабочим слоем из пористого кремния в видимом и ближних ИК и УФ диапазонах. Работ по исследованию оптических и фотоэлектрических свойств пористого кремния довольно много, следует уточнить, в чем именно новизна работы соискателя.

7. Неудачно представлены графические материалы по спектральным характеристикам разрабатываемых фоточувствительных структур на основе кремния (например, рисунки 4.1-4.3 диссертации): в них почему-то при 400 нм фоточувствительность равна нулю, хотя известно, что в такого типа структурах она обычно начинается примерно с длин волн менее 200 нм.

8. Возможно, конструктивно более удачным решением было бы разделить области текстурирования или области создания пористого кремния и области с р-п, чтобы технологические процессы обработки не снижали фоточувствительности разрабатываемых структур.

9. На наш взгляд не очень удачно сформулированы научные положения в работе, хотелось бы, чтобы в них более конкретно раскрыты достижения, полученные в работе.

10. Найдены оригинальные технологические решения, но, к сожалению, результаты интеллектуальной собственности не защищены патентами.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного мнения о диссертационной работе, которая представляет собой законченное научное исследование, содержащее решения актуальных научно-технических задач, имеющих новизну и практическую значимость.

Заключение

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов и обоснованности выводов диссертация Лизунковой Дарьи Александровны на тему «Исследование электрических и оптических свойств фоточувствительных структур на наноструктурированном кремнии» соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением

Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предъявляемым к кандидатским диссертациям, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Заключение принято на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники 6 ноября 2018 г.

Присутствовало на заседании 45 чел. Результаты голосования: «за» - 45 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 8 от 06.11.2018г.

Зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д.т.н.



В.В. Лучинин

Секретарь

доцент кафедры микро- и нанoeлектроники,
к.ф.-м.н., доцент



О.А. Александрова

Заведующий кафедрой, д.ф.-м.н. Лучинин Виктор Викторович (В.В. Лучинин cmid_leti@mail.ru, vvluchinin@etu.ru) и доцент Александрова Ольга Анатольевна (Ольга Александрова oaaleksandrova@gmail.com) – сотрудники кафедры микро- и нанoeлектроники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И.Ульянова (Ленина). ул. Проф. Попова, д.5, 197376.

Раб. Телефон +7 – (812) – 234-31-64.

Подписи руки В.В. Лучинина, О.А. Александровой заверяю
Начальник Отдела диссертационных советов СПбГЭТУ
к.т.н., доцент Русаева Т.Л.