



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

В диссертационный совет
Д002.205.02
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Отзыв

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого **Фирсова Дмитрия Анатольевича**

на диссертационную работу **Кен Ольги Сергеевны "Фотоэлектрические и оптические свойства структур на основе аморфных и кристаллических кремниевых наночастиц"**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников

Актуальность. Повышение эффективности работы детекторов излучения и солнечных элементов до настоящего времени остается важной задачей полупроводниковой оптоэлектроники. Благодаря широкому распространению кремниевой технологии большое внимание привлекают оптоэлектронные приборы на основе кремния. Важным направлением развития полупроводниковой электроники является использование структур с пониженной размерностью, при этом следует отметить, что наноструктуры на основе кремния пока еще не получили широкого распространения. Одним из типов кремниевых наноструктур являются аморфные и кристаллические наночастицы кремния, имеющие немаловажное достоинство – относительно несложную технологию приготовления. Такие частицы в различных матрицах, являющиеся квантовыми точками, имеют увеличенную ширину запрещенной зоны, что позволяет использовать их в фотодетекторах и солнечных элементах на основе кремния для увеличения спектрального диапазона чувствительности. Хорошо известным аналогом структур с наночастицами кремния являются каскадные солнечные элементы, которые, однако, изготавливаются по значительно более сложным технологиям MOCVD и MBE. Настоящая работа, посвящена исследованию фотоэлектрических и оптических свойств структур, содержащих аморфные и кристаллические наночастицы кремния, нанесенные на кремниевую подложку. В связи с вышеизложенным тема диссертационной работы, несомненно, является актуальной, а сама работа представляется необходимой и своевременной.

Новизна и достоверность результатов. В работе получен ряд новых научных результатов. Укажем лишь некоторые из них, по нашему мнению, наиболее важные и интересные.

Обнаружено сильное влияние высокотемпературного отжига в кислороде на фотолюминесценцию слоев аморфных наночастиц кремния, полученных методом лазерного электродиспергирования. Усиление фотолюминесценции и появление дополнительного коротковолнового максимума связывается, соответственно, с пассивацией поверхности наночастиц и образованием кремниевых нанокристаллов, имеющих большую ширину запрещенной зоны.

Получены интересные результаты по значительному увеличению квантовой эффективности фототока в различных структурах. Так, впервые обнаружено пороговое по энергии фотона возрастание эффективности фототока в ультрафиолетовой области спектра в структурах с нанопористым кремнием. Данное явление объясняется ударной ионизацией наночастиц высокоэнергичными носителями заряда. Ударной ионизацией другого типа, связанной с примесными уровнями, объясняется обнаруженный рост эффективности в структурах с аморфными наночастицами кремния в матрице субоксида кремния.

Следует отметить результаты исследования композитных структур, содержащих наночастицы кремния и золота, в которых обнаружено значительное усиление фототока, для объяснения которого предлагаются модели на основе усиления фотопроводимости и транзисторного эффекта.

Достоверность основных результатов работы не вызывает сомнений. В частности, она обеспечивается широким набором различных технологических методик создания объектов исследования. Результаты, полученные различными методами исследований, взаимно дополняют друг друга. Предложенные в работе модели исследуемых явлений хорошо описывают полученные экспериментальные результаты.

Научная и практическая значимость работы высока и несомненна. Она частично отражена в предыдущих разделах отзыва. Следует отметить большую практическую ценность результатов исследований композитных слоев с наночастицами золота и кремния, в которых было продемонстрировано значительное усиление фототока, позволяющее использовать такие структуры для детектирования слабых оптических сигналов.

Замечания и вопросы.

1. В качестве подложки при исследовании фотоэлектрических свойств структур на основе наночастиц кремния использовался дырочный кремний. Насколько важен выбор типа проводимости подложки?

2. Интерес к исследованию композитных структур, содержащих наночастицы металла, объясняется в работе возможностью возбуждения поверхностных плазмонов и усиления фототока, при этом автор не привлекает плазмонные эффекты для объяснения усиления фототока в композитных

структурах. При каких условиях было бы возможно наблюдение плазмонных эффектов в исследуемых структурах?

3. Как показано в работе, рост квантовой эффективности фототока в УФ области в структурах с нанопористым кремнием объясняется межзонной ударной ионизацией фотовозбужденными носителями заряда с большой энергией. В структурах с наночастицами кремния в матрице субоксида кремния аналогичный рост квантовой эффективности объясняется ударной ионизацией с участием примесных центров. Осталось неясным, наблюдается ли во втором случае также и межзонная ударная ионизация?

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку работы.

Оценивая диссертацию в целом, следует отметить высокий научно-методический уровень выполнения работы, большой объем проведенных исследований, новизну полученных результатов. Работа является цельным и законченным исследованием. Несомненно, работа содержит новое решение актуальной научной задачи исследования оптических и фотоэлектрических свойств структур, содержащих наночастицы кремния, с целью разработки фотодетекторов с улучшенными характеристиками и открывает новые перспективы исследований в этой области. К достоинствам работы следует отнести подробный обзор литературы по теме работы, четкую структуру диссертации, формулировку основных результатов, хороший язык изложения.

Автореферат и статьи, опубликованные в ведущих научных журналах, правильно и достаточно полно отражают содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Кен Ольги Сергеевны полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (п. 9 Положения о присуждении ученой степени, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, ред. от 30.07.2014), а она сама, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников».

Заведующий кафедрой физики полупроводников
и наноэлектроники, профессор, доктор физ.-мат. наук
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
Адрес: 195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: dmfir@rphf.spbstu.ru
Тел.: +7-921-798-8231

Дмитрий Анатольевич Фирсов

11.04.2017