

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

Д-р им. М.В.Ломоносова

Д-р ф. мат. наук,

профессор Федянин А.А.

«__» апреля 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Кен Ольги Сергеевны
«Фотоэлектрические и оптические свойства структур на основе аморфных и
кристаллических кремниевых наночастиц», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика
полупроводников

Диссертационная работа О.С. Кен посвящена исследованию фотоэлектрических и оптических свойств структур с наночастицами кремния и изучению различных механизмов усиления фототока в этих структурах.

Актуальность тематики диссертации определяется перспективой практического применения структур с кремниевыми наночастицами в оптоэлектронике. Увеличение квантовой эффективности солнечных элементов и фотодетекторов, управление полосой чувствительности фотодетекторов до сих пор остаются актуальными задачами современной оптоэлектроники. Большие надежды в этом плане связаны с использованием наноструктур, свойства которых могут кардинально отличаться от свойств соответствующего объемного материала. Так как основу современной электроники составляет кремниевая технология, именно кремниевые наноструктуры являются наиболее перспективными для создания фотодетекторов и солнечных элементов. Несмотря на интенсивные исследования кремниевых наноструктур в последние годы, некоторые вопросы в этой области остаются открытыми, особенно это касается их фотоэлектрических свойств.

В работе О.С. Кен исследованы четыре типа систем с кремниевыми наночастицами, полученные несколькими различными методами. В диссертации представлены результаты исследования оптических свойств слоев наночастиц кремния и фотоэлектрических свойств структур на основе этих слоев, нанесенных на подложки из

кристаллического кремния. Получены новые результаты, связанные с усилением фототока в структурах с наночастицами, в различных спектральных областях, рассмотрены механизмы усиления.

Диссертация имеет структуру, соответствующую рекомендациям ВАК, и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка основных сокращений и условных обозначений и списка литературы. Содержание диссертационной работы изложено на 140 страницах, включая 89 рисунков, 2 таблицы и список из 150 библиографических ссылок.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели, отмечены научная новизна и практическая ценность, изложены представляемые к защите научные положения.

В первой главе приведен обзор методов создания кремниевых наноструктур и имеющиеся на сегодняшний день данные, касающиеся их фотолюминесцентных свойств, также рассмотрены механизмы внутреннего усиления фототока, которые проявляются в свойствах фотодетекторов на основе объёмные и низкоразмерных материалов.

Вторая глава носит методический характер. В ней приведено описание метода получения композитных слоев из наночастиц кремния и золота, а также описаны методики исследования оптических и фотоэлектрических свойств слоев и структур с кремниевыми наночастицами.

В третьей главе содержатся результаты изучения влияние кислородной пассивации и высокотемпературных отжигов на фотолюминесцентные свойства плотноупакованных слоев аморфных кремниевых наночастиц.

В четвёртой главе приведены результаты исследования фотоэлектрических свойств четырех типов структур со слоями кремниевых наночастиц: плотноупакованными аморфными наночастицами, аморфными наночастицами в оксидной матрице, композитного слоя из наночастиц кремния и золота, нанопористого кремния. Выявлены основные закономерности, описаны механизмы усиления фототока, обнаруженного во всех четырёх типах структур.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

К наиболее важным результатам можно отнести следующие:

– Показана возможность расширения спектральной области фоточувствительности структур с кремниевыми наночастицами в коротковолновую область по отношению к структурам на основе объемного кремния.

– Впервые обнаружено проявление ударной ионизации при поглощении квантов света с большой энергией в фототоке структур с нанопористым кремнием и в структурах со слоем аморфных наночастиц кремния в оксидной матрице.

– Обнаружено, что при определенной объемной доле наночастиц золота в композитных слоях возможно многократное усиление фототока по сравнению с гетероструктурами на основе наночастиц только одного типа (кремния или золота) на кремниевых подложках, а квантовая эффективность фототока превышает 100 %.

По диссертации О.С. Кен имеются следующие замечания:

1. В работе отсутствуют данные по исследованию структурных свойств образцов наночастиц и нанокompозитов методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции, которые могли бы дать ценную информацию о размерах и кристалличности исследуемых объектов.

2. Для термически отожженных слоев наночастиц кремния приведены только спектры оптической плотности, в то время как важными оптическими характеристиками являются коэффициент поглощения и показатель преломления, расчет которых не приведен в диссертации.

3. В главе 3 на основании анализа спектров комбинационного рассеяния света делается утверждение о том, что в результате отжига в слоях аморфных наночастиц кремния образуются кремниевые нанокристаллы. При этом автор никак не комментирует отсутствие в спектрах фотолюминесценции отожженных слоев (стр. 78) длинноволнового пика в области 700–900 нм, характерного для кремниевых нанокристаллов.

4. В главе 4 для более полного понимания структурных и электронных свойств композитных слоев, состоящих из кремниевых и золотых наночастиц, было бы полезно исследовать спектры комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции, однако в диссертации эти данные отсутствуют. Также не приведены спектры оптического пропускания и отражения и отсутствует подробный анализ спектров поглощения света, что затрудняет понимание механизмов усиления фототока в таких структурах.

5. В диссертации показано, что высокотемпературный отжиг позволяет управлять оптическими свойствами структур с кремниевыми наночастицами, однако не понятно, почему такой отжиг не был проведен для структур с композитными слоями, состоящими из наночастиц кремния и золота.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации О.С. Кен.

Диссертационная работа в целом представляет собой законченный научный труд, основные положения диссертации в достаточной мере нашли отражение в 9 научных статьях, опубликованных в научных журналах из перечня ВАК. Работа прошла хорошую апробацию на международных и российских конференциях. Практическая значимость определяется тем, что результаты проведенных в работе экспериментальных

исследований могут быть использованы для разработки и изготовления чувствительных фотодетекторов на основе структур с кремниевыми наночастицами. Работа О.С. Кен выполнена на современном научно-техническом уровне. Достоверность результатов работы и сделанных в работе выводов не вызывает сомнения. Автореферат работы О.С. Кен соответствует содержанию и достаточно полно отражает структуру диссертации.

Таким образом, диссертация соответствует требованиям II раздела «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Кен Ольга Сергеевна, заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Отзыв подготовлен и составлен профессором кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доктором физико-математических наук Тимошенко Виктором Юрьевичем, обсужден и утвержден на заседании кафедры физики низких температур и сверхпроводимости 27 марта 2017 года (протокол № 3).

Заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости
физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
доктор физ.-мат. наук, профессор
Васильев Александр Николаевич

Профессор кафедры физики низких температур и сверхпроводимости
физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
доктор физ.-мат. наук, профессор
Тимошенко Виктор Юрьевич

119234, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, стр. 2

Тел. +7 (495) 939-16-82

E-mail: timoshen@physics.msu.ru