

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Горошко Дмитрия Львовича  
«Полупроводниковые нанокомпозиты на основе кремния и силицидов», представленную  
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности  
01.04.10 – физика полупроводников

**Актуальность темы.** В связи со стремительным развитием нанотехнологий и необходимостью создания новых композитных материалов для наноэлектроники возникают вопросы по формированию технологических подходов и обоснованию критериев прогнозирования оптических и электрических свойств материалов для приборных структур с учётом экологических аспектов производства и эксплуатации полупроводниковых приборов для генерации и детектирования излучения, а также подбора оптимального соотношения «к.п.д. – стоимость» приборов. Учитывая вышесказанное, актуальность диссертационной работы Горошко Д.Л. не вызывает сомнений.

Диссертационная работа изложена на 267 страницах, содержит пять глав, в которых автор излагает обзор литературных источников по теме диссертационного исследования, приводит описание и результаты по созданию нанокомпозитов на основе нанокристаллитов полупроводниковых силицидов, встроенных в кремниевую матрицу, и экспериментальных исследований оптических и электрических свойств с анализом механизмов формирования структуры матрицы, обосновывает выводы в каждой главе, причём автор последовательно представляет свои достижения научной общественности в печатных изданиях и на конференциях. Таким образом, прослеживается не только внутреннее единство структуры работы, но и планомерное регулярное представление результатов автора для обсуждения.

Интересен подход Горошко Дмитрия Львовича к изучению полупроводниковых нанокомпозитов высокоплотных массивов наноразмерных островков на поверхности матрицы. Особенно тщательно автор изучил поверхностные реконструкции и их влияние на структурные характеристики и свойства тонких покрытий и особенности эпитаксиального роста, что позволило ему получить эпитаксиальные плёнки дисилицидов хрома и железа методами как твёрдофазной, так и реактивной эпитаксии, а также комбинированным методом, детально проанализировав при этом кинетику процессов. Горошко Д. Л. в результате экспериментов сделал выводы об оптимальных температурах формирования гладких эпитаксиальных слоёв, механизмах формирования текстуры поверхностей, сформулировал рекомендации по получению нанокомпозитов с

поверхностей, сформулировал рекомендации по получению нанокомпозитов с равномерным или слоистым расположением нанокристаллитов в активной области, определил количественные параметры. Серия экспериментов посвящена получению нанокомпозитов на основе силицидов железа и хрома методом молекулярно-лучевой эпитаксии, показана возможность создания многопериодных нанокомпозитов и получения приповерхностного, слоистого или квазиравномерного распределения нанокристаллитов. Соискатель применил метод низкоэнергетической ионной имплантации хрома и железа с последующим импульсным отжигом для создания приборных структур со встроеннымми преципитатами дисилицидов железа и хрома. Ряд результатов автор получил вследствие формирования двух типов силицидов с разной шириной запрещённой зоны в одном образце.

**Достоверность и новизна полученных результатов.** Автору впервые удалось сформировать резкий интерфейс между подложкой и эпитаксиальной пленкой железа с обоснованием механизмов процесса и получением детальных морфологических и структурных характеристик. Автором доказана возможность селективного легирования нанокомпозитов при многократном использовании поверхностных реконструкций и обоснована электролюминесценция многопериодных кремниевых светодиодов в p-слое кремния вкладами силицида железа и примесно-дислокационных комплексов. Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации, обусловлена использованием различных апробированных методик с хорошей воспроизводимостью результатов, многочисленными обсуждениями результатов соискателя в рамках научных конференций и симпозиумов, согласованностью с теоретическими выкладками.

**Практическое использование** результатов автора имеет важное значение для наноэлектроники: им изобретены способы создания светоизлучающего элемента, которые запатентованы и могут успешно использоваться в технологических процессах.

**Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ.** Результаты диссертационного исследования опубликованы в 27 научных трудах в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и неоднократно докладывались на научных конференциях и симпозиумах международного и Российского значения. Имеются 9 патентов по способам создания светоизлучающего элемента.

#### **Критические замечания**

1. В выводах к первой главе на стр. 65 сказано: «В обоих случаях использовалось 0.2-0.4 нм хрома» Непонятно, что автор имеет в виду. На странице 75: «В случае

применения третьего метода ...и использования для этого 0.8 нм железа, для получения ровной эпитаксиальной поверхности не хватает даже 800 нм кремния».

2. Глава 1 называется «Процессы самоорганизации высокоплотных массивов наноразмерных островков дисилицида железа  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> и хрома CrSi<sub>2</sub> на поверхности монокристаллического кремния Si(001) и Si(111)», также пункт 1.2 посвящён процессам самоорганизации наноостровков, судя по названию, но в тексте нет описания процессов самоорганизации, не установлен тип самоорганизации, не определены критерии самоорганизации. Вероятно, автору следовало по-другому назвать главу и соответствующий пункт.
3. Автор использует устаревший термин «окислы», в то время как современное международное название «оксиды».
4. Некоторые рисунки выполнены не очень чётко, например рис. 27 на стр.69, рис.30 на стр.74, рис. 31 на стр.75, рис. 56 на стр. 111, рис.153 на стр. 153.
5. Автор использует жаргонные выражения «заращивание эпитаксиальным кремнием», «выращена серия образцов» (стр. 67 диссертации), «... островки, сформированные вторым методом, всплывают полностью даже при покрытии кремния,...» (стр. 117). Автор иногда стилистически неверно формулирует предложения, например: «Современные конструкции батарей термоэлектрических преобразователей включает два плеча с разным типом электропроводности» (стр. 24 автореферата), «После очистки поверхности ... был выращен кремния толщиной...» (стр. 187), «Вполне закономерно, что плотность получившихся на (111) островков меньше, чем на (001), поскольку у них выросли средние размеры, а количество напыленного железа были одинаковыми» (стр. 20-21).
6. Допущены опечатки: в подписи к рисунку 85 на стр. 169, «институт» вместо «институте» (стр. 2), «полезные модели» вместо «полезных моделей» (стр. 8), «подложке» вместо «подложки» (стр.20).

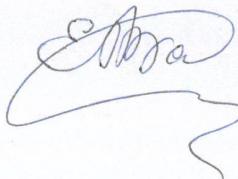
Указанные замечания немного затрудняют восприятие диссертационной работы при чтении, но не умаляют её значимости и научной новизны.

Диссертационная работа Горошко Д. Л. «Полупроводниковые нанокомпозиты на основе кремния и силицидов» является законченным научным исследованием, содержащим новые научно обоснованные технические и технологические решения создания светоизлучающего элемента, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 N 842, предъявляемым к

диссертационным работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор – Горошко Дмитрий Львович заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Заведующая кафедрой МПЗиМК

Амурской государственной медицинской академии  
доктор физико-математических наук, профессор

  
Е. А. Ванина

Подпись гр.  
*Ваниной Е. А.*



*Грищенко*  
03 2014 г.