

О Т З Ы В
официального оппонента на диссертационную работу
Безбабного Дмитрия Александровича

на тему

«Исследование формирования, структуры и свойств пленок полупроводниковых силицидов кальция на Si (111)», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10-Физика полупроводников

Диссертационная работа Безбабного Д.А. посвящена исследованию условий формирования, параметров электронной структуры, оптических и электрических свойств пленок полупроводниковых силицидов кальция. Полупроводниковые силициды металлов с пониженной размерностью характеризуются специфическими свойствами, определяемыми квантово-размерными ограничениями, которые мало исследованы. Учитывая значимость и перспективность данного класса материалов для кремниевых нанотехнологий, тему диссертации следует признать актуальной.

В работе приводится краткий обзор методов формирования тонких пленок полупроводниковых силицидов щелочноземельных металлов, в частности, таких как силициды магния и кальция, а также методов формирования и свойств гетероструктур со встроенными полупроводниковыми силицидами хрома, железа и магния на кремниевых подложках. Проведенный автором анализ показал, в частности, что силицид кальция с повышенной концентрацией кремния (Ca_3Si_4) практически не исследован. Проблема роста кремния поверх данных силицидов также ранее не рассматривалась. В то же время решение этой проблемы позволит подойти к созданию гетероструктур $\text{Si}/\text{Ca}_3\text{Si}_4/\text{Si}(111)$ и $\text{Si}/\text{Ca}_2\text{Si}/\text{Si}(111)$. Автором обоснованы выбор материалов и основные научные задачи.

В работе представлено описание используемых экспериментальных методов - электронная Оже-спектроскопия (ЭОС), спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ), оптическая спектроскопия твердых тел и дифференциальная отражательная

спектроскопия (ДОС), фото- люминесцентная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС), метод атомной силовой микроскопии (АСМ), метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Приведены схемы экспериментальных установок, методы очистки образцов, схемы ростовых экспериментов и методики расчета оптических функций тонких пленок, представлена общая схема ростовых экспериментов по формированию силицидов Ca_2Si и Ca_3Si_4 .

Автором впервые получены следующие научные результаты:

Выращены толстые слои полупроводниковых силицидов кальция Ca_2Si и Ca_3Si_4 на Si(III) методом реактивной эпитаксии при температурах 130 °C и 500 °C.

Показано, что толстые пленки Ca_3Si_4 имеют поликристаллическую структуру, являются непрямозонным вырожденным полупроводником с $E_s = 0.63$ эВ, характеризуются наличием плазменного отражения в дальней ИК-области, обладают высокой проводимостью, малым коэффициентом термо-эдс (50-80 мкВ/град), двумя интенсивными пиками 388 и 416 см⁻¹ и слабым пиком 344 см⁻¹ в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС), сохраняют состав при температуре отжига 500 °C.

В толстых пленках Ca_3Si_4 обнаружены прямые межзонные переходы при 0.89 и 0.912 эВ с высокой силой осциллятора, что привело к регистрации в двойных гетероструктурах Si/ Ca_3Si_4 /Si (111) фотолюминесценции при T = 5 K.

Показано, что толстые пленки Ca_2Si , имеют нанокристаллическую структуру, являются непрямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны: $E_g=0.68-0.70$ эВ и не сохраняют свой состав при длительном отжиге при 130 °C.

Определены условия роста и выращены двойные гетероструктуры Si/ Ca_3Si_4 /Si(l 11) и Si/ Ca_2Si /Si(l 11) с различными толщинами встроенных слоев Ca_3Si_4 и Ca_2Si .

Сформулированные автором защищаемые положения и основные

выводы достаточно обоснованы широким спектром используемых экспериментальных методик, тщательным анализом полученных результатов. Достоверность всех научных положений, кроме того, подкрепляется детальным сравнением результатов с данными независимых исследований.

Результаты исследований структуры и оптических свойств имеют важное значение для фундаментальных знаний о системе Ca-Si и развития тонкопленочных кремниевых технологий.

Практическая ценность проведенных автором исследований систем с пониженной размерностью состоит в возможности создания на их основе датчиков различных физических величин, включая фотоэлектрические и термоэлектрические преобразователи.

Полученные автором результаты полностью соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

Диссертационная работа отличается единством структуры, написана грамотным и ясным научным языком. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам и автореферату.

В качестве **недостатков работы** можно отметить следующие:

1. Не определены погрешности некоторых значимых экспериментальных результатов (например, значения ширины запрещенной зоны для Ca_3Si_4 (с. 85), Ca_2Si (с. 87)), что затрудняет анализ и сравнение данных.
2. К отдельным рисункам приведено недостаточно подробное описание (как в подрисуночных подписях, так и в тексте (например, Рис.4.15 (а,б)- различные кривые никак не описаны, Рис. 4.16, 4.17- также).
3. Размерность в тексте и на рисунках иногда не совпадают (например, рис. 4.18- концентрация дефектов (cm^{-3}), в тексте (cm^{-2})).

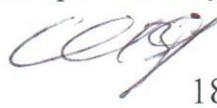
4. В тексте работы имеются немногочисленные стилистические и орфографические погрешности (наиболее часто-ссылки на цитируемый источник оказываются в начале следующего предложения).

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы.

Диссертация Д.А. Безбабного представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для физики полупроводниковых силицидов кальция.

Работа отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор Безбабный Д.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10-Физика полупроводников.

Профессор кафедры «Физика и теоретическая механика»
Дальневосточного государственного университета путей сообщения,
доктор физ.-мат. наук

 В.И. Иванов
18.02.2014



Подпись профессора кафедры «Физика и теоретическая механика» ДВГУПС,
доктора физ.-мат. наук Валерия Ивановича Иванова подтверждают

И.о. проректора по научной работе ДВГУПС  А.В. Сюй
18.02.2014

