

аттестационное дело №
дата защиты 06.03.2014 протокол № 45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Безбабный Дмитрий Александрович, работает руководителем студенческого конструкторского бюро «Радиоэлектроника» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Амурский государственный университет».

Диссертация: «Исследование формирования, электронной структуры и свойств пленок полупроводниковых силицидов кальция на Si (111)» по специальности 01.04.10 – физика полупроводников выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН (ИАПУ ДВО РАН) в лаборатории оптики и электрофизики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Галкин Николай Геннадьевич работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН заместителем директора.

Официальные оппоненты:

Иванов Валерий Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, работает в Дальневосточном государственном университете путей сообщения заведующим кафедрой физики.

Синебрюхов Сергей Леонидович – доктор химических наук, работает в Институте химии Дальневосточного отделения РАН старшим научным сотрудником.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск (заключение составлено Пячиным Сергеем Анатольевичем – кандидатом физико-математических наук, заведующим Лабораторией функциональных материалов и покрытий), дали положительные отзывы о диссертации.

На автореферат поступили отзывы от:

1. Ланкина С.В., д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой физики и методики обучения физики Благовещенского государственного педагогического университета.

2. Бахтизина Р.З., д.ф.-м.н., профессора, заведующего Кафедрой физической электроники и нанофизики Башкирского государственного университета.

3. Ваниной Е.А., д.ф.-м.н., профессора, руководителя научного отдела Амурской государственной медицинской академии (АГМА).

Все отзывы положительные. В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания: в диссертации 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; в диссертации 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); в диссертации размерность в тексте и на рисунках иногда не совпадают (например, рис. 4.18 – концентрация дефектов (cm^{-3}), в тексте cm^{-2}); в тексте работы имеются немногочисленные стилистические и орфографические погрешности (наиболее часто ссылки на цитируемый источник оказываются в начале следующего предложения); в работе не выполнен расчет оптических функций n и k по результатам изменений ДОС спектров; в диссертации не получены картины ДМЭ для фазы силицида Ca_3Si_4 ; в автореферате не приведены ошибки экспериментальных измерений и математических обработок; в автореферате не приведены фазовые диаграммы состояния Ca-Si; в автореферате не приведены результаты исследования морфологии поверхностей пленок полупроводниковых силицидов кальция; в автореферате на странице 9 рис. 1 на вертикальных осях рисунков а) и б) нет указаний единиц измерения, из текста автореферата также неясно, что это за величины и как из них зависимостей, представленных на рисунке, следуют сделанные выводы; в автореферате затруднено понимание рисунка 2 б), т. к. нет подписи к рисунку 2, а часть текста «съехала» под рисунок; на рис. 4 и 6 а) в автореферате нет ссылки в тексте.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 статьях в научных журналах и изданиях, из которых 5 входят в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, определенных Высшей аттестационной комиссией. Основные работы:

1. Dozsa, L. Formation and characterization of semiconductor Ca₂Si layers prepared on p-type silicon covered by an amorphous silicon cap / L. Dozsa, G. Molnar, Z. Zolnai, L. Dobos, B. Pecz, N. G. Galkin, S. A. Dotsenko, D. A. Bezbabny & D. V. Fomin // Journal of Materials Science. – 2013. – ISSN 0022-2461.
2. Dotsenko, S.A. Formation, optical and electrical properties of new semiconductor phase of calcium silicide on Si(111) / S.A. Dotsenko, K.N. Galkin, D.A. Bezbabny, D.L. Goroshko, N.G. Galkin // Physics Procedia. – 2012. – № 23. – С. 41.
3. Галкин, Н.Г. Формирование, оптические и электрические свойства Ca₃Si₄ и пленок двойных гетероструктур Si/Ca₃Si₄/Si(111) / Галкин Н.Г., Безбабный Д.А., Галкин К.Н., Доценко С.А., Чернев И.М., Вахрушев А.В. // Химическая физика и мезоскопия. – 2013. – Том 15, № 3. – С. 385.
4. Galkin, N G. Formation and optical properties of semiconducting thick Ca silicide films and Si/Ca_xSi/Si heterostructures on Si(111) substrate / N G. Galkin, D. A. Bezbabny, K. N. Galkin, S. A. Dotsenko, Eunika Zielony, Robert Kudrawiec and Jan Misiewicz // Physica Status Solidi C, 10, № 12, 1819-1823, 2013.

Безбабный Д.А. в 2013 году окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении Дальневосточном Федеральном университете.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Показано, что осаждение кальция на подложку Si (111) 7×7 при температуре 500 °С приводит к формированию поликристаллического полупроводникового силицида кальция с кристаллической структурой, отличной от пяти известных силицидных фаз (Ca₂Si, CaSi, Ca₅Si₃, Ca₁₄Si₁₉, CaSi₂), что позволяет предположить ее отношение к теоретически предсказанной гексагональной решетке Ca₃Si₄.

2. Выявлено, что пленки Ca₂Si и Ca₃Si₄ обладают непрямым фундаментальным переходом с энергией E_g=0.68 эВ и E_g=0.63 эВ, соответственно, при этом в пленках Ca₃Si₄ обнаружено существование прямых межзонных переходов при 0.89 эВ и 0.912 эВ.

3. Впервые показано, что пленки Ca₃Si₄ характеризуются тремя активными модами в спектрах комбинационного рассеяния света (346, 388 и 416 см⁻¹) с малой полушириной, что доказывает кристаллическое состояние системы.

4. Показано, что пленка Ca_3Si_4 сохраняет свой состав во время отжига при 500 °C в течение 30 минут, а для пленок Ca_2Si при 30-минутном отжиге при 130 °C наблюдается частичное разложение силицидной фазы.

5. Выявлено наличие высокой плотности свободных носителей в пленках Ca_3Si_4 при энергиях фотонов 0.8 – 0.1 эВ.

6. Показано, что в зависимости от толщины осажденного слоя кальция в двойных гетероструктурах (ДГС) $\text{Si}/\text{Ca}_3\text{Si}_4/\text{Si}(111)$ формируются нанокристаллиты или сплошной слой Ca_3Si_4 , а рост кремния сопровождается выходом части нанокристаллитов Ca_3Si_4 на поверхность.

7. Впервые в ДГС $\text{Si}/\text{Ca}_3\text{Si}_4/\text{Si}(111)$ при 5 К выявлена слабая фотолюминесценция в диапазоне энергий фотонов 0.9 – 1.0 эВ.

8. Установлено, что рост слоя кремния при 100 °C на тонком слое Ca_2Si приводит к встраиванию слоя силицида в монокристаллический кремний на глубину до 20 нм, что соответствует формированию двойной гетероструктуры $\square\text{-Si}/\text{Ca}_2\text{Si}/\text{Si}(111)$ со встроенным слоем Ca_2Si .

9. Обнаружено, что в ДГС $\text{Si}/\text{Ca}_2\text{Si}/\text{Si}(111)$, выращенных на слое Mg_2Si , формируются донорные уровни магния с энергией активации 240 мэВ и плотностью до $7.3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в ходе работы было доказано, что:

- два интенсивных КРС-пика 389 см^{-1} и 416 см^{-1} и слабый КРС-пик 344 см^{-1} относятся только к одной силицидной фазе;

- пленки Ca_3Si_4 , сформированные методом реактивной эпитаксии на поверхности $\text{Si}(111)7\times7$ при 500 °C, имеют поликристаллическую структуру и являются непрямозонным вырожденным полупроводником с шириной запрещенной зоны 0.63 эВ, межзонными переходами 0.89 и 0.912 эВ с большой силой осциллятора и малым коэффициентом термо-ЭДС 50-80 мкВ/град;

- толстые пленки Ca_2Si , сформированные методом реактивной эпитаксии на поверхности $\text{Si}(111)7\times7$ при 130 °C, являются непрямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны: $E_g=0.68-0.70$ эВ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: методика формирования пленок силицидов кальция Ca_2Si и Ca_3Si_4 может быть использована при создании датчиков физических величин, включая фотоэлектрические и термоэлектрические преобразователи

Достоверность экспериментальных результатов подтверждается высокой воспроизводимостью и хорошим согласованием экспериментальных результатов с теоретическими представлениями.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах исследовательского процесса, в подготовке и проведении экспериментов, в интерпретации полученных результатов, подготовке и оформлении публикаций по выполненной работе. Все результаты, представленные в работе, получены соискателем лично, либо в соавторстве при его непосредственном участии.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства. Это подтверждается наличием последовательного плана исследований и конкретно определенных исследуемых физических объектов, а также систематически проведенными исследованиями процессов формирования, оптических, электрических и термоэлектрических свойств выращенных пленок полупроводниковых силицидов кальция и двойных гетероструктур кремний-силицид – кремний на их основе.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принял решение присудить Безбабному Д.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

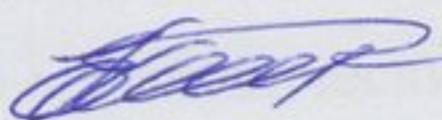
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – один.

Заместитель председателя
диссертационного совета
член-корреспондент РАН



А.А. Саранин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н.

 Е.Л. Гамаюнов

06.03.2014