

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации **Безбабного Дмитрия Александровича**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ**  
**ПЛЕНОК ПОЛУПРОВОДНИКОВ СИЛИЦИДОВ КАЛЬЦИЯ НА Si(111)»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
01.04.10 - физика полупроводников

Исходя из представленного автореферата, диссертационная работа **Безбабного Д.А.** посвящена исследованию формирования пленок полупроводниковых силицидов кальция ( $\text{Ca}_2$ , Si,  $\text{Ca}_3\text{Si}_4$ ) на Si(111) и комплекса свойств (электрических, термоэлектрических, оптических, фотолюминесцентных) в различных диапазонах температур. Полупроводниковые силициды металлов с пониженной размерностью, благодаря уникальному комплексу физико-химических свойств находят все новые применения в современной электронике, способствуют развитию тонкопленочных кремниевых технологий. Исследование связи «состав – структура – свойства» таких материалов до настоящего времени не проводилось, а существующие экспериментальные исследования – противоречивы. Проблема роста Si поверх силицидов ранее не рассматривалась. В связи с чем, цель работы бесспорно актуальна.

Соискатель в автореферате изложил те четыре задачи, которые и решал, чтобы добиться поставленной в работе цели. Объекты и методы исследования достаточно хорошо объяснены.

В работе получен **ряд новых научных результатов:**

1. Установлены условия роста толстых пленок полупроводниковых силицидов кальция методом реактивной эпитаксии.
2. Показано, что толстые пленки  $\text{Ca}_3\text{Si}_4$  имеют поликристаллическую структуру и представляют прямозонные вырожденные полупроводники с шириной запрещенной зоны 0,63 эВ.
3. Обнаружены прямые межзонные переходы (0,89 – 0,91 эВ) в пленках  $\text{Ca}_3\text{Si}_4$ , а в двойных гетероструктурах Si/ $\text{Ca}_3\text{Si}_4$ / Si(111) – слабую фотолюминесценцию при температуре 5 К.
4. Показано, что толстые пленки  $\text{Ca}_2\text{Si}$ , имея нанокристаллическую структуру, относятся к непрямозонным полупроводникам с шириной запрещенной зоны 0,68-0,70 эВ и при длительном отжиге при  $130^0\text{C}$  меняют свой состав.
5. Выращены двойные гетероструктуры Si/ $\text{Ca}_3\text{Si}_4$ / Si(111), Si/ $\text{Ca}_2\text{Si}$ / Si(111), с встроенными слоями  $\text{Ca}_3\text{Si}_4$ ,  $\text{Ca}_2\text{Si}$  различной толщины.

**Новизна результатов** подтверждается публикациями соискателя. По теме диссертации опубликовано 5 статей в журналах из списка ВАК и 5 статей в сборниках трудов конференций различных рангов.

**Практическая значимость** работы неоспорима. Приведенная методика роста сплошных пленок полупроводниковых силицидов кальция и гетероструктур могут быть использованы для создания фото- и термоэлектрических приборов.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается достаточно хорошим качеством пленок, использованием апробированных экспериментальных методик.

Выводы, сделанные в работе, соответствуют поставленным задачам и цели. Они довольно четко изложены и базируются на большом экспериментальном материале, не противоречат существующим моделям и представлениям, значительно расширяют знания о пленочных кремниевых технологиях.

По содержанию автореферата имеются **замечания**:

1. В работе не приведены ошибки экспериментальных измерений и математических обработок.
2. Не приведены фазовые диаграммы состояния Ca – Si.
3. Не приведены результаты исследования морфологии поверхностей пленок полупроводниковых силицидов кальция.

В целом, насколько можно судить из автореферата, диссертация представляет собой завершенную работу, в которой на основании выполненных автором высококвалифицированных экспериментальных и теоретических исследований получены новые результаты и закономерности, которые позволяют расширить имеющуюся научную информацию о пленочных кремниевых технологиях и свойств полупроводниковых силицидов.

По своей актуальности, новизне и объему результатов, достоверности и убедительности выводов диссертационная работа **Безбабного Дмитрия Александровича «Исследование формирования, структуры и свойств пленок полупроводников силицидов кальция на Si(111)** отвечает требованиям «Положениям ВАК о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10- физика полупроводников.

Доктор физико-математических наук,  
зав. кафедры физики БГПУ, проф.

С.В. Ланкин

Подпись профессора С.В. Ланкина заверяю  
Ученый секретарь Совета университета

— Е.В. Афонасенко