

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**Шевченко Алексея Ивановича** «Влияние неидеальности решётки кремниевых и фуллеренсодержащих структур на их оптические и электрические свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

### **Актуальность темы исследования**

Кремний составляет базис современной электроники. В широком своем разнообразии он может создавать обширную гамму видов и форм, обладающих различными свойствами. Уникальность свойств обусловлена в частности неидеальностью атомной решетки, включающей в себя дефекты различных типов, влияющие на оптические и электрические характеристики материала.

Интерес для использования в электронике представляют и фуллерены. Однако стоимость их получения еще достаточно высока для массового производства. В связи с этим актуальным является поиск новых, более экономически выгодных методов получения фуллеренсодержащих материалов (как сырья для выделения фуллеренов) и их последующее изучение.

При получении барьерных структур на основе монокристаллического кремния также могут образовываться дефекты. Дефектные центры оказывают непосредственное влияние на эффективность фотопреобразующих структур. В тоже время неравномерность технологических условий, в той или иной мере присутствующая на производственных мощностях, приводит к еще большей девиации основных параметров получаемой полупроводниковой структуры. Поэтому актуальным является рассмотрение влияния отклонения основных диффузионных констант на профиль распределения легирующей примеси с последующим расчетом и других параметров барьерной структуры.

Важным аспектом данной работы представляется изучение электрических характеристик, в частности вольтамперных (ВАХ), функциональных элементов твердотельных приборов. Изучение экспериментально полученных ВАХ барьерных структур и сопоставление с теоретическими модельными значениями позволит рассмотреть механизмы токопереноса для улучшения эффективности исследуемых структур функциональных элементов полупроводниковых приборов.

Именно с этих позиций представляемая диссертационная работа является актуальной.

### **Новизна научных результатов**

Научная новизна диссертационного исследования включает в себя следующие пункты:

1. Определены удельные сопротивления и энергии активации проводимости нанокристаллического порошкового кремния, производимого методом высокотемпературного плазмохимического синтеза, а также их изменение при увеличении давления на порошок.

2. С помощью применения крекинга резиносодержащих отходов в присутствии железо-медно-цинкового катализатора при 450–500 °С впервые получен фуллеренсодержащий материал.

3. Найдены удельные сопротивления и энергии активации проводимости фуллеренсодержащего материала, получаемого с помощью метода низкотемпературного каталитического крекинга резиносодержащих отходов.

4. Представлена модель, описывающая влияние дефектных состояний в аморфном кремнии, среди них вакансии, межузельные атомы, дивакансии, их комплексы с примесными атомами, на коэффициент спектра поглощения в ИК диапазоне, в которой каждый тип дефекта характеризуется количественными и энергетическими параметрами.

### **Практическая значимость результатов**

К значимым практическим результатам диссертации Шевченко А.И. можно отнести следующие:

1. Рассмотрены способы производства нанокристаллического порошкового кремния и фуллеренсодержащего материала, которые позволят удешевить получение функциональных слоев на их основе.

2. Представлена модель, описывающая поглощение материалом, содержащим дефекты, ИК излучения, которая позволяет анализировать вклад дефектных уровней, образующихся при производстве функциональных слоев и помогает подобрать оптимальные режимы получения структур с заданным распределением дефектов и требуемыми оптическими свойствами.

3. Проведена сравнительная оценка экспериментально и теоретически полученных данных по спектрам поглощения, вольтамперным зависимостям кремниевых структур, которые описывают полученные характеристики приборов на их основе и определяют направления изменения их физических свойств.

4. Представлены расчеты профиля диффузии, а также построение энергетической диаграммы с возможностью нахождения параметров для фотопреобразующих материалов определенной технологической цепочки, установления способов повышения КПД и уменьшения стоимости их производства.

5. Выявлены модельные представления ВАХ барьерных структур на основе кремния, позволяющие оптимизировать токовые режимы прибора.

6. В диссертации приведены рекомендации по практическому использованию полученных теоретических результатов для нужд полупроводниковой промышленности.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность результатов диссертационного исследования и обоснованность сформулированных обобщений и выводов не вызывает сомнения. Достоверность результатов диссертационного исследования и обоснованность сформулированных положений и выводов обеспечивается различными исследовательскими методами и согласующимися с теорией экспериментальными

данными, использованием современного научного аналитического и производственного оборудования. Обоснованность положений и выводов диссертационной работы также выражается в применении строгих математических методов и подкрепляется сопоставлением полученных результатов с данными ведущих научно-исследовательских групп России и мира.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Объем диссертации составляет 143 страницы, включая 76 рисунков, 4 таблицы и список цитированной литературы из 172 источников.

В диссертации отражен большой объем проделанных теоретических и практических исследований на высоком научном уровне.

Диссертация производит положительное впечатление по широте рассмотрения исследуемой научной задачи, оформлению, стилю изложения, выразительности изложенных выводов.

Личный вклад автора состоял в разработке концептуальных подходов, выполнении расчетов, непосредственном проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов.

По тематике и содержанию диссертация соответствует Паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Автореферат верно и полно отражает содержание диссертационной работы.

### **Публикация основных результатов**

Основные научные результаты диссертационной работы отражены в 12 публикациях, из них 5 – в журналах, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, 3 – в журналах Перечня ВАК РФ, 3 – в журналах Перечня ВАК Украины и одном свидетельстве на программу для ЭВМ.

Всего по теме диссертации опубликовано 53 научные работы.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В четвертой главе, параграф 4.3 (рисунки 4.13, 4.14) приведены вольт-амперные характеристики кремниевых барьерных структур в диапазоне токов 10 – 300 мА. Для полноты выполненного исследования стоило бы расширить границы измерений ВАХ для рассматриваемых кремниевых барьерных структур от 1 мА до 1000 мА.

2. В диссертационной работе не полностью раскрыта природа образования дефектов на поверхности пленок аморфного кремния.

3. Из диссертации и, в частности, автореферата не ясно каким образом производились измерения и контроль температуры (8000-12000 °С) плазмы инертного газа для получения наноструктурированного порошкового кремния.

4. В работе не указано, каким образом определялась погрешность измерений на рисунках 3.6–3.8.

5. С точки зрения стилистических замечаний следует отметить неравномерность выводов по главам. Выводы по второй главе минимизированы, в то время как в четвертой – объемны.

Тем не менее отмеченные замечания не снижают научную новизну, практическую значимость диссертационной работы и в целом не влияют на общее положительное впечатление от диссертации.

### **Заключение**

По объему проведенных исследований, научной новизне, практической ценности и достоверности полученных результатов можно сказать, что диссертация Шевченко А.И. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи получения и всестороннего исследования полупроводниковых кремниевых наноструктур, имеющей значение для развития физики и технологии конденсированных сред, применяемых в полупроводниковой электронике и фотовольтаике, а также фуллеренсодержащих материалов как сырья для получения фуллеренов.

Считаю, что диссертационная работа А.И. Шевченко «Влияние неидеальности решётки кремниевых и фуллеренсодержащих структур на их оптические и электрические свойства» удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном Правительством Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (пп. 9–14), а ее автор, Шевченко Алексей Иванович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Физика и электроника»  
ФГБОУ ВО «Южно-Российский  
государственный политехнический  
университет (НПИ) имени  
М.И. Платова»

Ирха Владимир Александрович

Подпись к.ф.-м.н. Ирхи В.А. заверяю,  
Ученый секретарь  
ученого совета ЮРГПУ (НПИ)



Холодкова Нина Николаевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,  
346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
тел.: (8635) 25-54-81  
e-mail: irkha.vladimir@gmail.com