

«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН»,
доктор физ.-мат. наук, проф.



С.В.Лебедев

« 12 » 02 _____ 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Целью настоящей работы являлись экспериментальные исследования и модельные представления оптических и электрических характеристик кремниевых и фуллеренсодержащих материалов с различной степенью неидеальности.

Кремний, как важный для электроники элемент с полупроводниковыми свойствами, имеет достаточно большое количество фазовых состояний, которые обуславливают разнообразие оптических и электрических свойств у приборов на их основе. В диссертации подробно рассмотрено влияние неидеальности атомной решетки на данные характеристики. Также приведены параметры фуллеренсодержащих материалов (ФСМ) как структур, использующихся для получения фуллеренов, наряду с кремнием применяющихся в полупроводниковой электронике. По сравнению с монокристаллическим, у микро-, нанокристаллического и аморфного

кремния многие физические характеристики заметно отличаются, например, оптическая ширина запрещенной зоны, удельная проводимость, подвижность носителей заряда и другие. Для наилучшего изучения и описания оптических и электрических свойств рассматриваемых материалов необходимо всестороннее исследование различными методами: экспериментальные изыскания, моделирование, сравнение теоретических и экспериментальных данных.

Немонокристаллический кремний перспективен как материал для увеличения эффективности приборов на его основе в комплексе с монокристаллическим кремнием, таких как гетероструктурные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) a-Si/c-Si. А использование углеродных структур вместе с кремниевыми позволит увеличить КПД ФЭП за счет повышения квантовой эффективности в области энергий, больших 2 эВ.

Также строение атомной решетки кремния влияет и на свойства получаемого твердотельного прибора на его основе, например, оптоэлектронного. Вследствие неидеальности кристаллической структуры диффузионные постоянные могут приобретать иные значения, что влияет и на профиль распределения концентрации легирующей примеси, и далее на все основные параметры области пространственного заряда (ОПЗ). С учетом данного факта твердотельная электроника требует наличия соответствующих моделей, быстрых и простых, с одной стороны, и дающих качественные и количественные результаты с другой. Следующим этапом является построение зависимостей напряженности и потенциала электрического поля в ОПЗ с конечным результатом в виде построенной энергетической диаграммы, являющейся одной из наиболее важных характеристик полупроводникового прибора наряду с его вольт-амперной характеристикой.

Вышеперечисленные особенности, рассматриваемые диссертантом, несомненно говорят об **актуальности работы**.

Научная и практическая значимость результатов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, заключается в нижеперечисленном.

Предложенная в диссертации Шевченко А.И. модель, описывающая влияние дефектных состояний на коэффициент поглощения аморфного кремния, представляет возможность проанализировать вклад каждого из типов дефектов на коэффициент поглощения в ИК диапазоне. Данная модель может быть применена и для других материалов. Модель поможет в выборе технологических режимов получения неидеальных полупроводниковых структур с требуемыми оптическими свойствами при заданном распределении дефектных центров.

В диссертации рассмотрены методы получения нанокристаллического порошкового кремния и фуллеренсодержащего материала, которые позволяют удешевить их производство и могут быть использованы как дополнение к существующим методам. Подробно исследованы и описаны электрические характеристики материалов, полученных этими способами.

Проанализированы оптические характеристики кремниевых структур различной степени кристаллизации, полученные как теоретически, так и экспериментально, изучены их вольт-амперные характеристики, что дает возможность рассмотреть направления целенаправленной модификации физических свойств приборов на основе данных материалов.

Изученные в диссертации девиации основных диффузионных констант с дальнейшим расчетом зонной диаграммы кремниевой структуры и их влияние на профиль легирования кремниевого кристалла, имеющего неидеальность решетки, могут позволить подобрать требуемые технологические условия процесса диффузии с целью повышения эффективности фотообразующих структур и снижения стоимости их получения.

Рассмотренные модельные описания ВАХ кремниевых барьерных структур и сравнение их с экспериментальными характеристиками представляют перспективу оптимизации токовых режимов для получаемых твердотельных приборов.

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования, подтверждается сопоставлением теоретических и практических данных, использованием современного

физического оборудования, многократно проделанными исследованиями на различных приборах, а в ряде случаев сопоставлением с данными других авторов.

Достоверность и обоснованность научных положений и основных результатов диссертационной работы Шевченко А.И. подтверждается 11 статьями в журналах из перечней периодических изданий, рекомендованных ВАК РФ и Украины. Из них 5 статей индексируются в базах данных Scopus и Web of Science, 3 опубликованы в журналах Перечня ВАК РФ. Еще 2 статьи опубликованы в журналах, индексируемых РИНЦ. Результаты и выводы диссертационного исследования обсуждались на многочисленных конференциях. Кроме того, получено одно свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы и опубликованы одни методические указания.

Новизна научных результатов диссертационного исследования

1. Получены значения удельных сопротивлений и энергий активации проводимости нанокристаллического порошкового кремния, произведенного методом высокотемпературного плазмохимического синтеза, в зависимости от прикладываемого к порошку давления.

2. Показано, что крекинг резины в присутствии железо-медно-цинкового катализатора при температуре 450–500 °С позволяет получить фуллеренсодержащий материал.

3. Получены значения удельных сопротивлений и энергий активации проводимости для фуллеренсодержащего материала, формируемого низкотемпературным крекингом резиносодержащих отходов.

4. Предложена модель описания влияния дефектов (вакансий, дивакансий, межузельных атомов, их комплексов с примесными атомами), расположенных в атомной решетке аморфного кремния, на его спектр поглощения в ИК области.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. Для получения пленок аморфного гидрогенизированного кремния в ходе выполнения диссертационного исследования был использован метод магнетронного распыления. Тем не менее в настоящее время данные пленки

производят в основном различными модификациями метода химического осаждения из газовой фазы (PECVD, HWCVD и др.).

2. Хочется заметить, что приведение в диссертации описания широкого спектра используемых подложек для напыления пленок аморфного и аморфного гидрогенизированного кремния не совсем оправдано, так как для выполнения представленных в диссертации исследований применялись лишь подложки на основе различных стекол и ситаллов.

3. В диссертации до конца не раскрыт вопрос столь существенного отличия удельных сопротивлений фуллеренсодержащих материалов, получаемых различными методами – методом высокотемпературного плазмохимического синтеза (0,012–0,015 Ом·см) и низкотемпературного каталитического крекинга резиносодержащих отходов (3–10 Ом·см).

4. Из текста диссертации не ясно: 2,7% - это максимально возможное содержание фуллеренов C_{60} в фуллеренсодержащем материале, получаемом методом низкотемпературного каталитического крекинга или же можно получить еще большее процентное содержание? Исследовался ли данный вопрос?

Данные замечания не являются принципиальными и не снижают научной ценности исследований и сделанных выводов на их основе.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, могут представлять интерес для использования в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого, Дальневосточном федеральном университете, Южном федеральном университете, ПАО «Сатурн» и других учебных, научных и производственных предприятиях, занимающихся изучением свойств и изготовлением структур на основе кремния и ФСМ.

Заключение

Диссертационная работа Шевченко А.И. представляет научный и практический интерес. Диссертация является полным и законченным научным трудом. Работа удовлетворяет паспорту специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и п. 9, 10 «Положения о присуждении

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г. (в ред. постановления Правительства РФ №335 от 21.04.2016г.). Автореферат дает полное представление о содержании диссертации. Шевченко Алексей Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником лаборатории физико-химических свойств полупроводников Бобылем Александром Васильевичем (место работы: Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26, тел.: +7 812 4491612, e-mail: bobyl@theory.ioffe.ru), рассмотрен и утвержден на заседании семинара лаборатории физико-химических свойств полупроводников ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (протокол № 2 от « 5 » февраля 2018г.).

Руководитель Семинара
доктор физико-математических наук,
профессор



А.В. Бобыль

Подпись А.В. Бобыля заверяю:



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26.
Телефон: (812) 297-2245, (812) 297-1017. E-mail: post@mail.ioffe.ru