

Заключение по содержанию диссертации

Чучева Галина Викторовна

(Ф.И.О. члена диссертационного совета)

Тарелкин Сергей Александрович

(Ф.И.О соискателя ученой степени)

«Исследование слоистых структур на основе легированных бором монокристаллов алмаза для применения в полупроводниковой электронике», кандидат физико-математических наук, 01.04.10 – Физика полупроводников

(Название диссертации, ученая степень, на которую представлена диссертация, специальность)

Дата защиты: 20.11.2019

Оценка соответствия диссертации требованиям Положения о присуждении ученых степеней кандидата наук, доктора наук в МФТИ (далее - Положение):

1. Актуальность тематики диссертации:

В последнее десятилетие в мире идет интенсивный поиск новых современных материалов для электронных и полупроводниковых приборов. Особый интерес для специалистов вызывает такой материал как алмаз, который обладает уникальными свойствами и характеризуется как «материал XXI века». Благодаря превосходящим по сравнению с другими полупроводниками свойствам, приборы на основе алмаза могут работать в областях физических полей, недоступных классическим полупроводникам. Возможность работы в экстремальных условиях (температуры до 700 °С, химически агрессивные среды, радиация) особенно важна при использовании алмазной электроники в военной, аэрокосмической, атомной промышленности и других. В связи с разработкой технологии выращивания пластин алмаза научный интерес к алмазным диодам и транзисторам переходит в практическую плоскость. Применение алмазных структур для приемо-передающих модулей перспективной радиоэлектронной (РЭ) аппаратуры, например, позволит: 1) обеспечить замещение импортных аналогов (не менее 30%), 2) увеличить технический ресурс аппаратуры, 3) повысить технические характеристики РЭ при улучшении массогабаритных показателей передающей аппаратуры. Поэтому развитие технологий алмазных материалов является актуальным и современным направлением.

2. Научная новизна выносимых на защиту результатов:

В работе впервые систематически на большом объеме экспериментальных образцов исследуются электрофизические магнитотранспортные характеристики объемных монокристаллов алмаза, легированных бором. Изготовленные в рамках работы диоды Шоттки на основе синтетического монокристалла алмаза продемонстрировали рекордные характеристики по интегральному прямому току (свыше 10 А при 2 В). Впервые показано, что в случае алмаза резистивный разогрев полупроводникового устройства является положительным эффектом и снижает резистивные потери.

3. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:

Экспериментальные результаты и разработанная количественная модель проводимости алмаза позволили подобрать оптимальные уровни легирования алмаза бором для использования в терморезистивных элементах и элементах активной электроники (диоды Шоттки, источники питания на основе прямого преобразования энергии бета-изотопов). Практическая значимость работы подтверждается 3 патентами, поданными

в ходе ее выполнения, а также тем, что результаты исследования были использованы при выполнении ряда прикладных научно-исследовательских работ по заказу Минобрнауки.

4. Полнота опубликования основных результатов диссертации в рецензируемых научных изданиях в соответствии с требованиями Положения:

Результаты диссертации опубликованы в 7 статьях в журналах, индексируемых в международных системах цитирования (Web of Science и Scopus), 4 статьях в журналах из перечня ВАК и РИНЦ. Результаты работы докладывались на российских и международных конференциях.

5. Вопросы и замечания (в соответствии с п. 4.13 Положения соискатель отвечает на сформулированные здесь вопросы и замечания на заседании по защите диссертации):

- В названии диссертации использован термин «слоистые структуры», а в тексте диссертации практически не приводятся исследования данных структур.

- С моей точки зрения, не обосновано исключаются механизмы прыжковой проводимости в легированных бором алмазах. Например, Н.А. Поклонский публиковал работы по прыжковой проводимости в алмазах, легированных бором. Но эти работы даже не обсуждаются ни в литобзоре, ни в основном тексте диссертации. Поэтому насколько оправданы Ваши предположения в работе не понятно? Мне кажется, что у диссертанта недостаточное знание литературы по данному вопросу.

- Энергии активации электронов, локализованных на центрах легирования в алмазе, составляют несколько десятых электронвольта, так что равновесное положение уровня Ферми в электронейтральном объеме сосредоточено чуть выше уровня легирующего центра. Поэтому при изменении изгиба зон алмаза у контакта Шоттки должны происходить процессы перезарядки центров легирования. Данные явления должны давать вклад и в статическую зависимость заряда слоя обеднения от приложенного напряжения (т.е. обеспечивать отклонения от Шоттковской зависимости ёмкости от напряжения), и приводить к своеобразным переходным процессам при динамической развёртке полевого напряжения. Данный физически интересный вопрос в диссертации остался не исследованным.

- Несколько раз, в том числе в выводах и научной новизне указываются некие оптимальные концентрации легирования бором, при которых достигаются лучшие электрофизические свойства. Но нигде не говорится, что это справедливо для образцов, выращенных в ТИСНУМе в конкретных технологических условиях, при их методе легирования и технологии получения. С такими выводами надо быть осторожнее, они не носят универсального характера. Никакие фундаментальные объяснения не приводятся. Тогда уж надо анализировать фазовую диаграмму. Определять пределы растворимости бора, выяснять какие именно донорные примеси (а это не только одиночный парамагнитный азот, но и вакансии, азот-вакансионные комплексы, водородсодержащие центры и т.д.) В алмазе почти все примеси являются донорами с высокой энергией активации.

6. Общая характеристика диссертации (не включает резолютивную часть):

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы С.А. Тарелкина. Диссертация Сергея Александровича Тарелкина посвящена

