



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Воронежский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)



Московский пр-т, д. 14, Воронеж, 394026

Тел./факс (473) 246-42-65

E-mail: mail@vorstu.ru,

<http://www.vorstu.ru>

ОКПО 02068083, ОГРН 1033600070448

ИНН/КПП 3662020886/366601001

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Власова Артура Николаевича «Особенности электронных и кинетических свойств анизотропных и кластерных полупроводниковых структур», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников

В настоящее время в электронике все большее применение находят перспективные полупроводниковые соединения, в которых из-за сложности строения кристаллической решетки наблюдается анизотропия и неоднородность физических свойств. В ряде случаев тензорный характер свойств наблюдается и в атомарных полупроводниках. Применение стандартных методов измерений изотропных материалов к исследованию кинетических свойств анизотропных полупроводников весьма проблематично. В связи с этим разработка методов исследований кинетических характеристик анизотропных и неоднородных полупроводников становится все более актуальной. Выбранная доктором наук тема представляет интерес не только для специалистов в области физики полупроводников, но и для широкого круга научных групп, занимающихся проблемами явлений переноса в анизотропных и неоднородных средах, поскольку рассматриваемые вопросы могут помочь при объяснении некоторых явлений тепло- и массопереноса. С учетом вышесказанного научно-практическая проблема, сформулированная в диссертации, является **актуальной**, а ее решение служит повышению эффективности лабораторных исследований контроля качества полупроводниковых структур и является важной для анализа результатов зондовых исследований.

К наиболее важным, на наш взгляд, результатам, представляющим несомненный научный и прикладной интерес, следует отнести:

1. Выполнено исследование трехмерного распределения потенциала электрического поля при многозондовых измерениях на анизотропных полупроводниковых пластинах и пленках. Установлено наличие эффекта концентрирования плотности тока в кристаллах анизотропных полупроводников, вихревых токов, получены выражения расчета для сопротивления растекания точечных контактов металл – анизотропный полупроводник. Впервые представлены выражения для нахождения распределений потенциала, дающие возможность определять величину электрического поля в конкретной области для малого токового зонда при сканировании поверхности анизотропной пленки, с учетом граничных условий. Показано, что потенциал в этом случае можно представить в виде двойного ряда Фурье по косинусам. Получены удобные для практических расчетов выражения для определения сопротивления слоистых структур, основой которых служит контакт двух анизотропных полупроводниковых кристаллов $n+/n$ и $p+/p$.

2. Разработана модель деформаций в напряженной полупроводниковой структуре, состоящей из произвольного числа тонких кристаллических слоев Si и Ge на податливой пленке. Впервые изучено влияние деформации и соотношения толщин композиционных слоев на основные параметры энергетической зонной диаграммы неоднородной многослойной структуры кремний-германий. Показано, что смещение дна зоны проводимости долины Δ_1 в пленке кремния приводит к двукратному возрастанию подвижности электронов и концентрированию плотности электрического тока в растянутом n -Si с анизотропией проводимости. Выполнен анализ распределения электрического поля в механически напряженных слоистых структурах. Установлено, что расположение зон в напряженных пленках германия, выращенных на подложке кремния, благоприятствует созданию двухмерного дырочного газа, а в напряженных пленках кремния, выращенных на подложке германия – созданию двухмерного электронного газа. Показан эффект концентрирования плотности тока в искусственно анизотропных пленках кремния на германиевой подложке.

3. Представлены результаты квантовохимических расчетов воздействия внешнего электрического поля и избыточного заряда на энергетические характеристики допированных металлом кремниевых наноструктур сфероидальных кластеров. Показано, что гидрирование и инкапсулирование металлами сфероидальных кремниевых кластеров приводит к увеличению удельной энергии связи. Проведена оптимизация атомной структуры и расчет электронных параметров напряженных кремниевых нанокластеров кремния на германиевой подложке и установлено, что положительный заряд распределяется на поверхности кластера кремния.

4. Разработана и практически реализована новая многозондовая методика совместных измерений удельной электропроводности и холловской подвижности носителей заряда в слоистых полупроводниках. Теоретически обоснована методика измерений удельных электропроводностей материалов двуслойных $n+/n$ и $p+/p$ полупроводниковых структур на основе четырехзондового метода с линейным расположением зондов.

Достоверность результатов, обоснованность научных положений и выводов в диссертационной работе обеспечиваются:

- выбором надежного физико-математического аппарата исследования;
- сопоставимостью теоретических расчетов с экспериментальными данными автора и других исследователей.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Представленные в работе формулы для распределений электрических полей в анизотропных пленках полезны при разработке новых методик определения анизотропии и неоднородности пленок и наноструктур, а также при анализе данных сканирующей зондовой микроскопии.

2. Полученные и проанализированные в работе выражения для деформаций и параметров зонной диаграммы напряженных гетеропереходов могут быть использованы для моделирования физических свойств деформированных полупроводников и электрических характеристик приборов на основе напряженных полупроводниковых гетероструктур различных составов.

3. Результаты работы позволяют производить расчет и моделирование наиболее важных кинетических и энергетических свойств кремниевых наноструктур.

4. Выполненные расчеты исследуемых наночастиц позволяют предлагать их использование в одноэлектронных приборах наноэлектроники.

Представленные в диссертации могут быть рекомендованы к использованию в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), Институте общей и неорганической химии РАН (г. Москва), Московском институте электронной техники (г. Зеленоград), Институте физики полупроводников им А.В. Ржанова СО РАН (г. Новосибирск), Институте физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), Новосибирском государственном техническом университете (г. Новосибирск), МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Воронежском государственном университете (г. Воронеж), а также в других научных центрах, учреждениях и заводских лабораториях, которые внедряют в электронную технику анизотропные и низкоразмерные полупроводниковые материалы.

Результаты диссертационной работы Власова А.Н. прошли соответствующую апробацию. По теме диссертации автором опубликована 31 работа, среди которых: 7 статей в журналах рекомендованных ВАК, 6 – статей в тематических сборниках и научных журналах, 18 – работ в материалах международных, всероссийских и региональных научных конференций, 1 учебное пособие для студентов вузов. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы.

Тем не менее, необходимо сделать следующие **замечания** по работе:

1. Не достаточно полно описана экспериментальная проверка полученных автором распределений потенциала, в частности, не приведены значения погрешностей, отсутствует статистическая обработка данных измерений.
2. В п. 2.4 достаточно строго с физико-математической точки зрения описана теория расчета потенциала поля постоянного тока в слоистых полупроводниках, однако экспериментальная проверка данных расчетов и методик в работе не приведена.

3. Некоторые полученные аналитические выражения имеют достаточно громоздкий вид, поскольку поправочные коэффициенты получены в виде ряда и для снижения погрешности порядка 1 % в отдельных случаях необходимо расширять суммирование до 1000 слагаемых по каждому индексу (с.46).

4. В тексте диссертации имеются отступления от общепринятых правил оформления (в работе используется нестандартная нумерация формул не по главам, а по разделам (из трех цифр); кристаллографические оси автор иногда называет кристаллофизическими (с. 28); встречаются и отдельные опечатки (например, с. 14, 25, 29, 46).

В целом диссертационная работа Власова А.Н., несмотря на отмеченные недостатки, *оценивается положительно*. Она представляет собой законченное научное исследование, выполненное по актуальной проблеме, имеет существенные признаки научной новизны и практическую направленность.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и полностью отвечает требованиям ВАК РФ для кандидатских диссертаций, а сам автор - Власов Артур Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников».

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета (ВГТУ) 29 мая 2014 года, протокол № 19.

Зав. кафедрой физики твердого тела,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Ю.Е. Калинин



УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СОВЕТА ВГТУ

А.В. МАНДРЫКИН