

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Нестерова Дмитрия Николаевича «**Особенности электронно-энергетического строения двумерных и одномерных наноструктур кремния**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Нестерова Дмитрия Николаевича «Особенности электронно-энергетического строения двумерных и одномерных наноструктур кремния» посвящена исследованию электронно-энергетического строения структур кремний-на-изоляторе (КНИ) и нанонитей кремния (НК) методами ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС) и спектроскопии квантового выхода (СКВ) с использованием синхротронного излучения (СИ).

Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что преобладающая в микроэлектронике кремниевая технология уже перешла к нанометровым размерам. В таком случае неизбежно проявление квантово-размерных эффектов, влияющих на свойства и строение, и требующих детального и всестороннего изучения. Несмотря на то, что структуры КНИ известны давно, исследование их свойств актуально до сих пор из-за преимуществ, которыми они обладают перед объемным кремнием. В зависимости от способов получения структур КНИ, в них могут возникать деформации кристаллической решетки в слое кремния, расположенном на изоляторе (оксид кремния). Такие изменения могут приводить к изменению электронно-энергетического строения, физических и электрических свойств. В отличие от КНИ нанонити кремния являются совершенно новым материалом и актуальность полного и детального исследования физических, оптических и электрических свойств не подвергается сомнению. Различные технологии формирования позволяют получить кремниевые нанонити разной геометрической формы и структуры, а также обладающие электронно-

энергетическим строением отличным от объемного кремния. Поэтому современными и актуальными являются методами, высокочувствительными к локальному окружению атомов, позволяющими составить полную картину электронного строения изучаемых наноструктур на кремнии.

Диссертация состоит из четырех глав, изложена на 118 страницах, содержит 54 рисунка, 2 таблицы и список литературы из 165 наименований. Работа изложена ясно, а структура отличается последовательностью и логикой изложения.

В ходе работы автором получен ряд **новых** важных результатов, среди которых можно особо выделить следующие. Опираясь на результаты теоретических расчётов методом ЛППВ и экспериментальных данных была произведена оценка уменьшения ширины запрещенной зоны в растянутом кремнии в структуре КНИ на 0,13 эВ. Впервые показано, что наблюдаемый эффект предкраевой интерференции синхротронного излучения при измерении спектров квантового выхода не зависит от деформации слоя и обусловлен соизмеримостью нанометровых длин волн синхротронного излучения с толщиной нанослоев кристаллического кремния в структурах КНИ. Автором впервые наблюдалось явление провала интенсивности в области элементарного кремния при регистрации спектров квантового выхода для образца нитевидного кремния. Данное явление объясняется соизмеримостью длины волны синхротронного излучения с толщиной нитей (≤ 100 нм), что приводит к заметному поглощению синхротронного излучения и образованию спектров пропускания.

Личный вклад соискателя состоит в том, что Нестеров Д.Н. принимал непосредственное участие в рентгеноспектральных экспериментах по исследованию электронно-энергетического спектра, в том числе в составе научной группы на синхротронных центрах, а также моделировании и комплексном анализе полученных экспериментальных и теоретических данных об электронном строении исследуемых структур КНИ и НК. Основные результаты работы, посвященные определению особенностей

электронно-энергетического строения и фазового состава в зависимости от способов формирования структур КНИ и кремниевых нанонитей получены автором впервые.

Научная и практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты являются основой для понимания новых свойств и особенностей полупроводниковых структур КНИ и НК, связанных с изменениями, происходящими в зонном спектре в зависимости от способа формирования и в сравнении с объёмным кремнием. Более того, полученные данные могут быть применены при отработке новых технологических маршрутов формирования подобных наноструктур заданных размеров и свойств.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов, изложенных в диссертации, определяется использованием таких современных, неразрушающих и информативных методов, как ультрамягкая рентгеновская спектроскопия и спектроскопия квантового выхода с использованием высокоинтенсивного излучения синхротронного источника Гельмгольц центра (Берлин, Германия), предоставляющих информацию о зонной структуре кремниевых наноструктур, а также многократной воспроизводимостью экспериментальных результатов.

Замечания

1. Из диссертации не ясно с какой целью исследовались Si L_{2,3} - XANES при малых углах скольжения синхротронного излучения?

2. Так как задача определения фазового состава одномерных и двумерных наноструктур по сложным эмиссионным спектрам относится к некорректным, какова погрешность результатов анализа фазового состава?

3. Si K - спектры XANES отражают на порядок более глубокие слои по сравнению с Si L_{2,3}, поэтому не понятно, почему при анализе особенностей зонного спектра растянутого кремния они не были исследованы?

Следует отметить, что диссертация производит хорошее впечатление несмотря на сделанные замечания, которые не ставят под сомнение новизну

и значимость выносимых на защиту положений и выводов, сделанных в работе. Результаты полученные автором обладают высокой научной и практической значимостью и будут востребованы при дальнейших фундаментальных исследованиях и прикладных разработках. С уверенностью можно сказать, что диссертация Нестерова Д.Н. представляет собой выполненное на высоком научном уровне законченное исследование.

Работа прошла хорошую апробацию на различных национальных и международных конференциях и семинарах, по результатам которых были опубликованы 4 статьи в ведущих журналах из перечня ВАК, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

Тематика и содержание диссертации полностью соответствует формуле специальности 01.04.07 - «физика конденсированного состояния». Суть опубликованных работ в полной мере отражена в диссертации Нестерова Д.Н., а автореферат достаточно полно передаёт её содержание.

Таким образом, считаю, что диссертация «Особенности электронно-энергетического строения двумерных и одномерных наноструктур кремния» по своей актуальности и новизне, достоверности и совокупности полученных результатов, уровню их апробации соответствует всем требованиям п. 9 - 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Нестеров Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «физика конденсированного состояния».

27.11.2016 г.



официальный оппонент
Лаврентьев Анатолий Александрович,
доктор физико-математических наук (специальность
01.04.07 - «физика конденсированного состояния»),

профессор
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»,
факультет автоматизации, мехатроники и управления,
кафедра электротехники и электроники,
заведующий

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
кафедра электротехники и электроники факультета автоматизации,
мехатроники и управления ДГТУ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
р.т. +7 (863) 273-85-41
м.т. +7 (928)601-45-39
E-mail: alavrentyev@dstu.edu.ru

Декан
факультета автоматизации, мехатроники и управления ДГТУ
доцент



Обухов П.С.