



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»
(ННГУ)

пр. Гагарина, 23, г. Нижний Новгород
ГСП-20, 603950

Тел. (831) 462-30-90 Факс (831) 462-30-85
e-mail: unn@unn.ru

ОКПО 02068143 ОГРН 1025203733510
ИНН/КПП 5262004442/526201001

24.11.2017 № 13-4/293

на № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ

проректор ННГУ
им. Н.И. Лобачевского
по научной работе, доцент.

В.Б.КАЗАНЦЕВ

«23» ноября 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
НЕСТЕРОВА ДМИТРИЯ НИКОЛАЕВИЧА
«ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ И
ОДНОМЕРНЫХ НАНОСТРУКТУР КРЕМНИЯ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности
01.04.07 - «физика конденсированного состояния»

Актуальность для науки и практики

Актуальность диссертационной работы Д.Н. Нестерова определяется, с одной стороны, объектом исследования – одно- и двумерными кремниевыми структурами, имеющими большой спрос в полупроводниковой электронике и фотонике, и с другой стороны, необходимостью исследования и получения полной и достоверной информации об особенностях электронно-энергетического строения и изменений свойств в зависимости от условий формирования.

В течение долгого времени кремний остается преобладающим материалом электроники и сейчас, благодаря переходу к использованию наноструктур на основе кремния, разрабатываются новые полупроводниковые приборы с увеличенным быстродействием и уменьшенным энергопотреблением. Однако при переходе к нанометровым размерам для разных способов формирования в кремниевых структурах могут проявляться новые электрические и оптические свойства, обусловленные модификацией кристаллической структуры и спектра электронных состояний. Диссертация Д.Н. Нестерова посвящена изучению влияния способов формирования кремниевых наноструктур на их электронно-энергетическое строение, установленное методами спектроскопии.

Структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) давно применяются в полупроводниковой электронике, и уменьшение толщины кремниевого слоя до нанометровых значений увеличивает возможности и рентабельность их применения. Они обладают определенными пре-

имуществами перед объемным кремнием, среди которых необходимо выделить быстродействие и меньшее энергопотребление, что при современном уровне развития электроники является одним из главных моментов в разработке полупроводниковых приборов. В зависимости от методов получения структур КНИ в слое кремния, расположенном на диэлектрике, может возникать деформация кристаллической решётки, обусловленная разным значением параметра решётки или коэффициента температурного расширения кремния и диэлектрика. Наличие деформации в слое кремния неизбежно приводит к изменениям электронно-энергетической структуры и требует её детального изучения.

Кремниевые нанонити – новый материал, имеющий большие перспективы применения в различных областях наноэлектроники. Благодаря свойствам электро- и фотолюминесценции кремниевые нанонити, в частности, перспективны в качестве материала для создания солнечных элементов и светоизлучающих структур. На данный момент существует множество разных технологий формирования нитевидных наноструктур, и становится важным вопрос выбора наиболее безопасного и экономичного способа их получения, при этом позволяющего создавать упорядоченно-ориентированные массивы нанообъектов с заданными размерами и свойствами. Метод металл-ассистированного жидкофазного химического травления выделяется среди прочих методов получения нанонитей кремния своей безопасностью, простотой и не требует создания сложных и дорогостоящих установок. Полученные этим методом нитевидные кремниевые наноструктуры перспективны в качестве базового материала для создания солнечных батарей. Полученные таким способом Si-нанонити в зависимости от условий формирования (времени травления, материала подложки и др.) могут модифицироваться по кристаллической структуре, фазовому составу и, соответственно, в электронно-энергетическом спектре наноструктур.

Таким образом, представленная диссертация Д.Н. Нестерова несомненно актуальна, поскольку в ней изучаются электронно-энергетические спектры весьма востребованных сейчас кремниевых наноструктур.

Для получения более полной информации об исследуемых объектах автором был использован комплекс современных взаимодополняющих диагностических методик: электронная просвечивающая микроскопия, рентгеновская дифракция и микродифракция; а также методы, чувствительные к локальному окружению излучающего атома, такие как ультрамягкая рентгеновская эмиссионная спектроскопия (УМРЭС) и спектроскопия квантового выхода (СКВ) рентгеновского фотоэффекта в области края поглощения с использованием синхротронных источников, позволяющие получить информацию о локальной парциальной плотности для валентных и свободных электронных состояний в слоях изучаемой наноструктуры. Применение такого комплекса исследований, безусловно, востребовано для анализа особенностей атомного и электронного строения исследуемых нанообъектов.

Основные результаты, их научная и практическая значимость

Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту, являются оригинальными. Они вносят определенный вклад в решение вопросов установления закономерностей электронно-энергетического спектра дву- и одномерных наноструктур на примере КНИ и нитевидных наноструктур кремния в зависимости от условий формирования. Определение особенностей локальной атомной структуры и фазового состава позволяет выявить взаимосвязи с проявляемыми свойствами для создания эффективных функциональных материалов кремниевой технологии.

В диссертации Нестеров Д.Н. получил ряд результатов, представляющих научный и практический интерес, среди которых следует отметить следующие:

1. Наблюдаемые экспериментально методами УМРЭС и СКВ и согласуемые с расчетами методом ЛППВ уменьшение ширины запрещенной зоны на 0.13 эВ и усложнение спектра состояний в валентной зоне «растянутого» кремния в КНИ-структурах.

2. Показано, что слой кремния КНИ-структур, расположенный на оксиде кремния, ведёт себя как волновод синхротронного излучения, причём изменение угла скольжения на 2° меняет фазу на противоположную.

3. По данным УМРЭС и СКВ установлено существенное влияние типа подложки и времени травления на строение, фазовый состав и характерных размеры кремниевых нанонитей.

Автором показаны основные закономерности и особенности изменения в зонном спектре дву- и одномерных кремниевых наноструктур. Полученные данные важны для оптимизации методов и условий формирования полупроводниковых наноматериалов с заданными свойствами и электронной структурой. Результаты диссертации целесообразно использовать в организациях, занимающихся исследованием и разработкой технологий кремниевых наноструктур, а также занимающихся применением рентгеновского и синхротронного излучения для анализа различного рода наноструктур: ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), СПбГУ (г. Санкт-Петербург), МГУ (г. Москва), НИЦ «Курчатовский институт», ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), ЛЭТИ (г. Санкт-Петербург), ЮФУ (г. Ростов-на-Дону), Новосибирском государственном университете (г. Новосибирск), ФТИ Уральского отделения РАН (г. Ижевск), ИФМ Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), ИФТГ РАН (г. Москва), Институте физики полупроводников Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), Институте неорганической химии Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), Институте физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), ВГТУ (г. Воронеж), ВГУ (г. Воронеж) и других организациях.

Общие замечания

К диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Обнаруженные изменения в зонной структуре «растянутого» кремния КНИ-структуры не исследуется и не сопоставляются с результатами других методов исследования (электрических, оптических и т.п.). Использование таких методик позволило бы сделать однозначную интерпретацию результатов спектроскопии.

2. В диссертации отсутствует детальный анализ возможных причин появления хвостов плотности состояний у потолка валентной зоны и дна зоны проводимости растянутого кремния КНИ-структур.

3. Из текста диссертации не следует однозначного представления о том какой из технологических параметров, время травления или уровень легирования или материал подложки в большей степени влияет на изменения состава и структуры кремниевых нанонитей.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертация Д.Н. Нестерова «Особенности электронно-энергетического строения двумерных и одномерных наноструктур кремния» является законченным исследованием современных востребованных наноструктур, используемых при создании полупроводниковых приборов. Научные результаты, впервые полученные автором, имеют значение для физики конденсированного состояния, важны для понимания изменений в кристаллической структуре и электронно-энергетическом строении полупроводниковых наноструктур в зависимости от способов их формирования. Основные результаты диссертации прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на международных и национальных конференциях и семинарах по рентгеновской спектроскопии, физике поверхности, нанотехнологии, физике и технике полупроводников, материаловедению. По теме диссертации Д.Н. Нестеров в соавторстве имеет 15 опубликованных работ, из которых 4 статьи в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ. Автореферат правильно и в полном объеме отражает основное содержание диссертации.

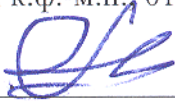
В целом, по объему выполненной работы, актуальности полученных результатов, новизне и значимости основных положений, выносимых на защиту, диссертация удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Дмитрий Николаевич Нестеров заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04. 07 - «физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Д.Н. Нестерова заслушана и обсуждена на расширенном заседании кафедры физики полупроводников и оптоэлектроники физического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.
«22 ноября 2017 г., протокол № 4.

Заведующий кафедрой физики полупроводников и оптоэлектроники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», д.ф.-м.н., 01.04.07 – физика конденсированного состояния,

Профессор  ПАВЛОВ Дмитрий Алексеевич
23 ноября 2017 г. (pavlov@unn.ru; +7 905 667 2218)

Доцент кафедры физики полупроводников и оптоэлектроники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», к.ф.-м.н., 01.04.10 – физика полупроводников

Доцент  ЕРШОВ Алексей Валентинович
23 ноября 2017 г. (ershov@phys.unn.ru ; +7(831) 462-33-06)
Адрес: 603950, Россия, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, ННГУ

Подпись Павлова Д.А. и Ершова А.В. заверяю

Ученый секретарь ННГУ  Л.Ю. ЧЕРНОМОРСКАЯ

