

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации НЕСТЕРОВА ДМИТРИЯ НИКОЛАЕВИЧА  
на тему «**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

В мире микроэлектроники заняли прочное место на сегодняшний день структуры «кремний-на-изоляторе» (КНИ). Почему это происходит? Объяснение простое. Новые технологии требуют большей плотности упаковки элементов, более высокого быстродействия и конечно, более высокого предела миниатюризации в кремниевой электронике. Ряд проблем, связанных с уменьшением топологических размеров и одновременным сохранением технологий кремниевой микроэлектроники, позволяют решить структуры КНИ. В случае КНИ изготовление приборов происходит не в объемном кремнии, а в тонком слое монокристаллического кремния. Здесь в первую очередь проявляется преимущество КНИ структур: 1. возможность существенного снижения паразитных емкостей; 2. обеспечение надежной диэлектрической изоляции приборов в интегральных схемах (ИС); 3. сравнительная простота управления токовыми режимами; 4. возможность снижения рабочих напряжений и многое другое. При использовании определённых технологий получения КНИ возникают деформационные эффекты (например, растяжение/сжатие) и изменяемая зонная структура приводит к изменению электрических характеристик КНИ. Это явление даёт возможность управлять электрическими свойствами материала. В работе исследуется структура КНИ и возникает необходимость изучения структуры нанонитей кремния (НК), поскольку оба объекта очень чувствительны к поведению и изменению электронной структуры, изменению вследствие этого оптических и электрических свойств. В работе применяются для этого методы, высокочувствительные к локальному окружению атомов, которые позволяют получать прямую информацию об электронной структуре валентной зоны (ВЗ), зоны проводимости (ЗП), что позволяет составить полную картину электронной структуры изучаемых объектов: **КНИ и НК. Актуальность** исследований мне представляется в двух аспектах: **во-первых**, новое направление в наноматериалах; **во-вторых**, новые способы исследований с помощью ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС), (XANES), (СКВ) и синхротронного излучения (СИ).

## **Научная новизна и практическая значимость работы**

В работе предложена модель деформации кристаллической решётки слоя кремния в структуре КНИ. Применение машинных экспериментов позволило рассчитать на основе зонных расчётов методом ЛППВ величину уменьшения запрещённой зоны на 0.13 эВ. **Впервые показано** на основе измерений СКВ в области  $Si L_{2,3}$  – краёв поглощения кремния с использованием синхротронного излучения, что эффект предкраевой интерференции СИ не зависит от деформации слоя, а обусловлен соизмеримостью нанометровых длин волн СИ с толщиной нанослоёв кристаллического кремния в структурах КНИ. **Впервые показано**, что морфология, субструктура и фазовый состав массивов нанонитей кремния (НК), определяется типом выбранной подложки и временем травления на основе метода ( MAWCE). **Впервые показан** аномальный провал интенсивности с необращаемой инверсией тонкой структуры главного  $Si L_{2,3}$  – края поглощения СКВ нанонитей кремния. **Практическая значимость работы** выражается в её использовании при отработке технологии формирования НК заданных размеров и свойств с учётом типа подложки и времени травления. В работе показано, что перестройка электронной структуры позволяет управлять электрооптическими свойствами структур КНИ в зависимости от технологии их получения. Это значимый результат.

**Научная обоснованность и достоверность** полученных результатов не вызывает сомнений. Автор использует современную экспериментальную базу, подтверждает свои результаты ссылками на авторитетные работы зарубежных коллективов и работы российских учёных. Данные эксперимента согласуются с существующими теоретическими представлениями в этой области. Апробация работы представлена широкой географией российских и зарубежных конференций, статьями, опубликованными в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

### **По работе имеется ряд замечаний.**

1. Не очень понятен подход при вычислении на основе зонных расчётов методом ЛППВ. В автореферате неоднократно употребляется эта аббревиатура, стр. 5,6,10,14, но дальше дело не идёт. А здесь ведь появляется новая модель структуры, тетрагональное искажение, где необходимо учитывать новое расположение атомов, новый, теперь «искажённый» кристаллический потенциал и с ним уже решать уравнение Шрёдингера, получать фазовые сдвиги и т.д. Хотелось бы услышать детали таких расчётов.
2. На стр.10 автореферата рисунок 4 не помечен буквами а),b),c) как указано в подписи к рисунку, поэтому читается с напряжением. Надо быть более внимательным к оформлению.

3. На стр. 13 автореферата автор приводит таблицу, где в последней колонке указывает погрешность, но что это за величина? Можно ли доверять этим измерениям?

### Заключение

Указанные замечания отражают интерес к работе и желание узнать детали. Они не изменили моего хорошего отношения к работе, которая заслуживает полного одобрения. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Автореферат отвечает требованиям Положения ВАК о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней и званий, а автор диссертационной работы, **«Особенности электронно-энергетического строения двумерных и одномерных наноструктур кремния»**, Нестеров Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заведующий кафедрой информационных систем и технологий,

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,

160000, г. Вологда, ул. Ленина, д.15,

доктор физико-математических наук, профессор

с.т. +7 921 234 50 65

e-mail to: vagor@mh.vstu.edu.ru

В.А. Горбунов



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Менеджер по персоналу  
отдела кадров  
Управления делами

*См. Смутакова & А*

*22.11.2017*