

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертацию А.Н. Власова**  
**«Особенности электронных и кинетических свойств анизотропных и**  
**кластерных полупроводниковых структур», представленную на соискание**  
**учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности**  
**01.04.10 – Физика полупроводников**

**1. Актуальность работы.**

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 частности перспективными материалами для функциональной микроэлектроники являются полупроводники класса  $A^{II}B^V$ , а также слоистые полумагнитные материалы. Уже выявлена возможность применения полупроводников CdSb, CdAs<sub>2</sub>, ZnAs<sub>2</sub>, ZnP<sub>2</sub> в качестве датчиков Холла и магнетосопротивления, источников термо-Э.Д.С., датчиков ИК-излучения, датчиков перемещения и давления, диодов, транзисторов, оптических квантовых генераторов. Однако, масштабное использование этих соединений в микро- и наноэлектронике требует исследования особенностей электронного переноса в кристаллах и пленках данных полупроводников. Соответственно, учитывая анизотропию электрических свойств этих материалов, возникает необходимость обоснования методов определения компонент тензоров величин, характеризующих электронный перенос, применительно к широко используемым зондовым измерениям. Решению этой актуальной задачи посвящена значительная часть представляемой диссертации.

При разработке микро- и наноэлектронных приборов с использованием высокоточного оборудования возникает проблема поиска новых материалов с теми или иными заданными электронными свойствами. В частности, наноструктуры кремния находят все большее практическое применение в наноэлектронных устройствах, однако их электронные свойства на данный момент до конца не исследованы, что также свидетельствует об актуальности представляемой работы. Наличие соответствующих моделей, представленных в работе автором, на основе которых выполняются расчеты электронных свойств кремниевых наноструктур, позволяют предлагать указанные материалы к использованию в качестве материалов элементной базы наноэлектроники.

Вышеизложенное позволяет говорить об актуальности научных проблем, рассматриваемых в диссертации А.Н. Власова.

## 2. Новизна работы

- Получены теоретические выражения в виде рядов аналитических функций для расчета трехмерных распределений потенциалов при зондовых измерениях в объеме анизотропного полупроводника с плоскими границами, образах прямоугольной и цилиндрической форм. Рассмотрены случаи, когда исследуемый образец находится на металлической, полупроводниковой или диэлектрической подложке. В рамках разработанной теории показано наличие эффекта концентрирования плотности тока в кристаллах анизотропных полупроводников, вихревых токов, получены выражения расчета для сопротивления растекания точечных контактов металл – анизотропный полупроводник.
- Разработана оригинальная методика исследования кинетических коэффициентов электронного переноса полупроводниковых материалов: четырехзондовый метод определения компонент тензоров удельной электропроводности и холловской подвижности анизотропных слоистых полупроводниковых материалов. На основе известного четырехзондового метода разработана методика определения удельной проводимости  $n+/n$  и  $p+/p$  полупроводниковых структур.
- Выполнен анализ распределения электрического поля в механически напряженных слоистых структурах. Показано, что расположение зон в псевдоморфных пленках германия, выращенных на подложке кремния, благоприятствует созданию двухмерного дырочного газа, и в псевдоморфных пленках кремния, выращенных на подложке германия – созданию двухмерного электронного газа.
- Представлены расчеты, показывающие, что гидрирование и инкапсулирование кремниевых фуллеренов атомами металлов способствуют увеличению их энергии связи, при этом энергия связи возрастает с увеличением электроотрицательности атома металла и его ковалентного радиуса. Показано, что дипольный момент наночастиц  $MetalSi_{12}$  изменяется пропорционально величине внешнего электрического поля.
- Выполнен расчет некоторых электронных свойств напряженных кремниевых наночастиц на германиевой подложке. Показано, что в деформированных кластерах кремния на германиевой подложке положительный заряд распределяется на поверхности кластера, причем влияние подложки Ge приводит к переносу положительного заряда от кластера кремния к подложке.

### 3. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечена следующим:

- в начале каждой из глав работы автором приводится достаточно подробный анализ разработанности конкретной части проблемы исследования, общий список используемой литературы содержит 209 наименований;
- теоретические расчеты электрических полей основаны на надежных методах расчета, проверены экспериментально и не противоречат известным ранее экспериментальным работам;
- новые методики исследования кинетических коэффициентов полупроводниковых материалов проверены экспериментально, результаты проверки приведены в работе, сопоставление с ранее известными и широко используемыми зондовыми методами показало их адекватность;
- некоторые результаты расчетов свойств кремниевых наночастиц с малым числом атомов (межатомное расстояние, потенциал ионизации, энергия сродства к электрону) согласуются с экспериментальными работами по исследованию соответствующих величин.

### 4. Из недостатков работы следует указать следующие:

1. В качестве общего недостатка теоретических исследований, направленных на расчет и анализ распределения электрического поля и плотности электрического тока в анизотропных образцах, следует отметить, что автор ограничился электрическими контактами малых размеров, что ограничивает практическое применение полученных результатов.
2. Не выполнен учет шунтирующего влияния токовых электродов, что, несомненно, обуславливает некоторую методическую погрешность предлагаемых автором методов определения коэффициента Холла.
3. В нескольких работах, выполненных около 10 – 15 лет назад, как и в данной диссертации, полуэмпирическими методами, было получено, что кластеры  $Si_n$  имеют фуллереноподобную структуру. Однако в нескольких последующих расчетах, которые были выполнены первопринципными (*ab initio*) методами, было показано, что максимальной энергией связи обладают другие структуры, т.е. фуллереноподобные структуры кластеров  $Si_n$  не являются их основными состояниями. Фуллереноподобную структуру первопринципные расчеты подтверждают лишь для инкапсулированных металлами или гидрированных кремниевых наноформ. К сожалению, диссертант не сопоставляет свои результаты с данными первопринципных работ.

4. В результате оптимизации структур кластеров  $Si_{13}$  и  $MetalSi_{12}$  ( $Metal = Cu, Zn, Fe, Ni$ ) на основе полуэмпирического метода РМЗ диссертант получил,

что все эти кластеры имеют структуру почти правильного икосаэдра. Однако первопринципными методами в ряде расчетов было установлено, что кластер  $Si_{13}$  в минимуме энергии имеет неправильную структуру, даже отдаленно не напоминающую икосаэдр. Диссертанту следовало бы привести анализ результатов расчетов этих более новых работ с использованием первопринципных методов.

Все отмеченные замечания имеют частный характер и не сказываются в целом на содержательной части работы, представляющей актуальное исследование, в котором, безусловно, получены новые результаты, имеющие значение, как для теории, так и для практики.

##### 5. Соответствие диссертации требованиям ВАК РФ.

Таким образом, представленная диссертация является научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Диссертация написана хорошим научным языком, квалифицированно оформлена.

Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 31 работе, из них 7 в центральных журналах перечня ВАК, обсуждены на научных конференциях различного уровня. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и отражает её основные положения.

Диссертационная работа отвечает требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней", а ее автор, Власов Артур Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Официальный оппонент,  
Курганский Сергей Иванович  
профессор кафедры физики твердого тела и наноструктур  
Воронежского государственного университета,  
доктор физ.-мат. наук, профессор  С.И. Курганский

394006, Россия, г. Воронеж,  
Университетская площадь, 1  
тел +7(473)2208363  
e-mail: skurg@mail.ru

