

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

ВОЛЧКА Владислава Сергеевича

«Структуры и приборное моделирование транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия с улучшенными тепловыми характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

В диссертационной работе Волчка Владислава Сергеевича представлены результаты приборного моделирования структур транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия с теплоотводящими элементами на основе графена и кубического нитрида бора.

Объект, предмет и методы исследования в представленной диссертации соответствуют отрасли «технические науки» и специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах по следующим пунктам раздела III паспорта данной специальности:

пункт 1 – создание (включая разработку конструкций и технологических маршрутов изготовления) и функционирование изделий твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов и систем микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах, нано- и микросенсоров;

пункт 2 – физические и технические аспекты модификации изделий и приборов по п. 1;

пункт 4 – физические и математические модели изделий, устройств и технологических процессов по п. 1, в том числе для систем автоматизированного проектирования.

2. Актуальность темы диссертации

Хорошо известно, что структуры транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе нитрида галлия являются перспективными приборами силовой электроники, которые могут заменить кремниевые аналоги. Среди основных достоинств полупроводникового соединения нитрида галлия необходимо отметить широкую запрещенную зону (3,4 эВ), высокие значения подвижности ($2,9 \cdot 10^7$ см/с) и электрической прочности ($3,3 \cdot 10^6$ В/см). Еще одной важной особенностью этого материала является его

способность к формированию разнообразных гетероструктур приборного качества. Перечисленные свойства нитрида галлия обеспечивают НЕМТ транзистору на его основе значения выходной плотности мощности на уровне десятков ватт на миллиметр ширины канала. Однако, при таких уровнях мощности «омический» нагрев за счет эффекта саморазогрева приводит к существенному ухудшению эксплуатационных характеристик прибора. По этой причине проектирование и реализация эффективной системы теплоотвода для НЕМТ структур является актуальной задачей, которая и решается в представленной диссертации. Для отвода избытка тепла из активной области транзистора соискатель предлагает использовать конструктивные теплоотводящие элементы на основе графена и нитрида бора. Результаты численного моделирования, проведенного с помощью модифицированного программного пакета Silvaco, позволили установить закономерности протекания физических процессов в структурах НЕМТ на основе нитрида галлия, а также оценить эффективность разработанной системы теплоотвода.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Диссертационная работа Волчка В.С. содержит новые научные результаты, обладающие новизной:

1. В стандартный программный пакет Silvaco, предназначенный для приборного моделирования структур микроэлектроники, встроены собственные физико-математические модели для описания температурной зависимости теплопроводности материалов, которые используются для формирования НЕМТ структур на основе нитрида галлия, что позволяет учесть уменьшение их выходной мощности, вызванное снижением теплопроводности при повышении температуры.

2. Впервые определены механизмы влияния теплоотводящего элемента из графена на электрические и частотные характеристики НЕМТ структур на основе нитрида галлия; установлено, что этот конструктивный элемент обеспечивает дополнительный путь для отвода избытка тепла и повышение напряженности электрического поля в области затвора, соответственно приводя к увеличению граничной частоты и максимальной частоты генерации.

3. Установлено, что теплоотводящий элемент на основе нитрида бора обеспечивает эффективный отвод тепла из активной области НЕМТ структуры на основе нитрида галлия, в результате чего повышаются ток стока и выходная

мощность, увеличивается напряжение пробоя и улучшаются частотные характеристики.

4. Разработана оригинальная методика оптимизации геометрических параметров исследуемых структур, заключающаяся в последовательном выполнении «отсеивающего» эксперимента по плану Плакетта–Бермана для определения наиболее значимых параметров и проведения полного факторного эксперимента для нахождения оптимальных значений этих параметров, что позволило существенно увеличить выходную мощность НЕМТ структуры на основе нитрида галлия.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Считаю, что положения, выносимые на защиту, сформулированные выводы и рекомендации хорошо обоснованы и достоверны, что подтверждается их соответствием известным теоретическим и экспериментальным данным, представленными в отечественной и зарубежной литературе.

5. Научная, практическая и экономическая значимость результатов и основных научных положений диссертации

По моему мнению, особый интерес с точки зрения научной и практической значимости диссертационной работы Волчка В. С. представляют:

- научная значимость обусловлена получением новых знаний о механизмах физических процессов, протекающих в структурах НЕМТ на основе нитрида галлия с конструктивными теплоотводящими элементами из графена и нитрида бора, а именно о закономерностях теплообразования и характере влияния этих теплоотводящих элементов на физические параметры НЕМТ структур;

- практическая значимость заключается в возможности использования разработанной конфигурации теплоотвода в широком ряде приборов микроэлектроники, в которых омический нагрев представляет собой серьезную угрозу их работоспособности.

- экономическая значимость полученных результатов заключается в разработке адекватных методов компьютерного моделирования НЕМТ структур на основе нитрида галлия, применение которых для исследования приборов этого класса позволяет устранить необходимость изготовления дорогостоящих опытных образцов.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты диссертационной работы Волчка В.С. опубликованы в 20 научных работах, из которых 7 – статьи в рецензируемых научных журналах в соответствии с п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 7 – статьи в сборниках материалов научных конференций, 5 – тезисы докладов на научных конференциях и 1 – заявка на изобретение.

Полученные результаты докладывались и обсуждались на 9 международных и республиканских конференциях.

Опубликованные научные работы Волчка В.С. датированы 2015–2024 годами.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с Инструкцией о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Исследования Волчка В. С. по теме диссертации проводились в рамках 6 государственных научно-технических программ, соответствующих перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь. При этом он продемонстрировал умение творчески подходить к решению поставленных задач, грамотно использовать современные методы исследования и обработки результатов, хорошо владеет навыками проведения информационного поиска и анализа в области исследуемых материалов и конструкций приборов, свидетельством чего является обширный список использованных литературных источников.

Качество изложения материала диссертации, логичность сделанных в работе выводов, высокий научный уровень публикаций, в которых содержатся основные результаты диссертационной работы, свидетельствуют о высоком уровне научной квалификации ее автора - Волчка В. С., который несомненно соответствует ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

9. Замечания

В качестве замечаний и пожеланий я бы отметил следующие:

1. В тексте диссертации я не нашел ответа на вопрос, почему при проведении оптимизации геометрических параметров приборной структуры СТР-5 из списка рассматриваемых параметров исключена толщина подложки;
2. На стр. 16 в подразделе «Структура и объем диссертации» в составе диссертации не указан список публикаций соискателя, хотя при подсчете страниц он учитывается.
3. Не понятно, чем обоснован выбор диффузионно-дрейфовой модели переноса при моделировании НЕМТ структур, в которой имеет место дискретизация энергетических уровней и поведение носителей в канале укладывается в рамки модели двумерного электронного газа. По моему мнению, в этом случае более подходящей для расчетов была бы модель Шредингера–Пуассона.

Однако указанные замечания не влияют в целом на новизну и достоверность выносимых на защиту положений, полученных результатов и основных выводов и не снижают высокий научный уровень диссертации.

10. Заключение

Считаю, что диссертационная работа Волчка Владислава Сергеевича «Структуры и приборное моделирование транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия с улучшенными тепловыми характеристиками» является завершенной самостоятельно выполненной квалификационной работой. Ее содержание отвечает требованиям п. 21 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Считаю, что Волчек Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах за новые научно обоснованные результаты, включающие:

–модификацию стандартного программного пакета Silvaco, предназначенного для приборного моделирования структур микроэлектроники, путем включения собственной физико-математической модели температурной зависимости теплопроводности материалов, которые используются для формирования НЕМТ структур на основе нитрида галлия, что позволяет учесть уменьшение их выходной мощности за счет снижения теплопроводности с повышением температуры;

– определение механизма влияния теплоотводящего элемента из графена на электрические и частотные характеристики НЕМТ структур на основе нитрида галлия и установление факта, что этот конструктивный элемент обеспечивает дополнительный путь отвода избыточного тепла и повышение напряженности электрического поля в области затвора, приводя к повышению граничной частоты и максимальной частоты генерации;

– установление возможности обеспечения эффективного отвода тепла из активной области НЕМТ структуры на основе нитрида галлия с помощью теплоотводящего элемента на основе нитрида бора, в результате чего повышаются ток стока и выходная мощность, увеличивается напряжение пробоя и улучшаются частотные характеристики приборной структуры;


– разработку методики оптимизации геометрических параметров, заключающуюся в последовательном выполнении «отсеивающего» эксперимента по плану Плакетта–Бермана для определения наиболее значимых параметров и полного факторного эксперимента для нахождения оптимальных значений этих параметров, проведение которой позволяет существенно увеличить выходную мощность НЕМТ структуры на основе нитрида галлия;

что в совокупности можно рассматривать как существенный вклад в развитие твердотельной электроники на основе широкозонных полупроводниковых соединений, а также физики приборов на квантовых эффектах.

Официальный оппонент,
заведующий научно-исследовательской лабораторией «Устройства обработки и отображения информации» учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,
доктор технических наук, профессор,

А. Г. Смирнов



Озаконмлеи
17.12.2024
 В. С. Волчек

