

## **ОТЗЫВ**

научного руководителя

**Стемпницкого Виктора Романовича**

о диссертационной работе Волчка Владислава Сергеевича  
«Конструктивно-технологические особенности силовых и СВЧ-приборов на  
основе широкозонных полупроводников»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,  
микро и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Диссертационная работа Волчка Владислава Сергеевича посвящена разработке посредством компьютерного моделирования системы теплоотвода, состоящей из теплопоглощающего элемента на основе графита и теплоотводящих элементов на основе графена и кубического нитрида бора, которая обеспечивает дополнительную возможность для отведения избыточного тепла из активной области прибора, а также моделей тепловых процессов в исследуемой группе приборов, позволяющих расширить функциональные возможности комплексов приборно-технологического проектирования интегральных микросхем путем усовершенствования методов учета физических процессов, связанных с нагревом транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия.

Исследование материалов с очень высокой теплопроводностью – графена как материала с высокой электрической проводимостью и нитрида бора как материала с низкой электрической проводимостью – позволило провести сравнение механизмов влияния теплоотводящих элементов на основе этих материалов на эксплуатационные характеристики транзисторов с высокой подвижностью электронов.

Исследование проводилось в рамках методологии приборного моделирования. Основным инструментом являлся программный комплекс, предназначенный для приборно-технологического моделирования приборных структур микроэлектроники, который обеспечивает требуемый уровень достоверности полученных результатов.

В процессе работы над диссертацией соискатель Волчек Владислав Сергеевич проявил себя как квалифицированный специалист, способный самостоятельно решать научные задачи, выполнять теоретические исследования, анализировать полученные результаты, устанавливать зависимости и формировать рекомендации по практическому использованию результатов работы. Решены, в частности, следующие актуальные задачи:

– внедрена в программный комплекс приборно-технологического проектирования интегральных микросхем методика исследования тепловых характеристик транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия, заключающаяся в использовании усовершенствованных моделей теплопроводности и теплоемкости, позволяющих учитывать температурную зависимость этих параметров;

– разработана система теплоотвода, состоящая из теплопоглощающего элемента на основе графита и теплоотводящих элементов на основе графена и нитрида бора, которая обеспечивает дополнительную возможность для отведения избыточного тепла из активной области прибора.

В ходе проведения диссертационных исследований Волчѣк Владислав Сергеевич подготовил и опубликовал 20 научных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых научных журналах объемом 10,5 авторских листов, 7 статей в сборниках материалов конференций, 5 тезисов докладов в сборниках тезисов докладов конференций и 1 заявку на изобретение «Нормально закрытый нитрид-галлиевый гетероструктурный полевой транзистор с системой теплоотвода на основе графена и нитрида бора».

Результаты диссертационной работы переданы ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» для использования в рамках компьютерного проектирования и оптимизации конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик приборных структур элементной базы силовой и СВЧ-электроники на основе нитридов элементов третьей группы.

Результаты диссертационных исследований также внедрены в учебный процесс кафедры микро- и нанoeлектроники и кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедры «Интеллектуальные и мехатронные системы» Белорусского национального технического университета.

Считаю, что диссертационная работа «Конструктивно-технологические особенности силовых и СВЧ-приборов на основе широкозонных полупроводников» по уровню проведенных исследований и полученных результатов, их научной новизны и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах, а ее автор, Волчѣк Владислав Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук за новые научно обоснованные и практически значимые результаты, включающие:

– разработку и внедрение в программный комплекс приборного моделирования усовершенствованных математических моделей, предназначенных для описания температурной зависимости теплопроводности, использование которых в программном комплексе приборного моделирования позволяет учесть наблюдаемое вследствие снижения теплопроводности с повышением температуры уменьшение выходной мощности транзистора с высокой подвижностью электронов на основе двойной гетероструктуры AlGaIn/AIn/GaN на сапфировой подложке на 18,26% (со значения 5,86 Вт до 4,79 Вт) при максимальной температуре 550 К в активной области прибора;

– разработку теплоотводящего элемента на основе графена, формирование которого на верхней поверхности созданной на сапфировой подложке структуры транзистора с высокой подвижностью электронов на основе двойной гетероструктуры AlGaIn/AIn/GaN между теплопоглощающим элементом и затвором (расстояние между затвором и стоком – 6 мкм, между стоком и теплопоглощающим элементом – 0,5 мкм), не касаясь последнего, позволяет увеличить граничную частоту в 1,95 раз (со значения 8,37 ГГц до 16,28 ГГц) и максимальную частоту генерации в 4,64 раз (со значения 17,19 ГГц до 79,76 ГГц) в режиме малого сигнала по сравнению с соответствующими величинами для базовой приборной структуры;

– разработку теплоотводящего элемента на основе кубического BN (толщина элемента – 0,08 мкм), формирование которого между стоком и теплопоглощающим элементом (расстояние между затвором и стоком – 6 мкм, между стоком и теплопоглощающим элементом – 0,5 мкм), частично замещая слой пассивации на основе SiO<sub>2</sub> (толщина нижележащего слоя – 0,12 мкм), созданной на сапфировой подложке структуры транзистора с высокой подвижностью электронов на основе двойной гетероструктуры AlGaIn/AIn/GaN, позволяет уменьшить максимальную температуру на 51,1 К (со значения 481,8 К до 430,7 К) и увеличить ток стока на 32,52% (со значения 0,123 А до 0,163 А) при напряжении затвор-исток 6 В и напряжении сток-исток 30 В по сравнению с соответствующими величинами для базовой приборной структуры;

– определение в конструкции нормально закрытого транзистора с высокой подвижностью электронов на основе двойной гетероструктуры AlGaIn/AIn/GaN с теплоотводящим элементом на основе графена, расположенным на верхней поверхности приборной структуры между теплопоглощающим элементом и затвором, не касаясь последнего, и теплоотводящим элементом на основе кубического BN, частично

замещающего слой пассивации на основе  $\text{SiO}_2$  между теплопоглощающим элементом и стоком, следующих наиболее значимых геометрических параметров – толщины слоя  $p\text{-AlGaIn}$  под затвором, расстояния между истоком и верхней частью затвора и толщины промежуточного слоя  $\text{AlN}$ , изменение значений которых в пределах  $\pm 10\%$  от исходных приводит к увеличению выходной мощности на 11,35% (со значения 3,26 Вт до 3,63 Вт).

Научный руководитель,  
проректор по научной работе  
учреждения образования «Белорусский  
государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»,  
кандидат технических наук, доцент



В.Р. Стемпицкий