



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное  
автономное научное учреждение  
Институт сверхвысокочастотной  
полупроводниковой электроники  
имени В.Г. Мокерова  
Российской академии наук  
(ИСВЧПЭ РАН)

117105, г. Москва, Нагорный проезд д. 7, стр. 5  
тел./факс 8 (499) 123-44-64  
e-mail: [iuhfseras2010@yandex.ru](mailto:iuhfseras2010@yandex.ru), [isvch@isvch.ru](mailto:isvch@isvch.ru)  
[www.isvch.ru](http://www.isvch.ru)  
ОКПО 58725825, ОГРН 1027726000180  
ИНН/КПП 7726318050/772601001

«      » 20 г. №         
На №        от       

Утверждаю

Директор

ИСВЧПЭ РАН

д.т.н., профессор

С.А. Гамкрелидзе

2019г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного научного учреждения Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники имени В.Г. Мокерова Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН) на диссертацию Лапина Владимира Григорьевича «**Новые направления создания промышленных полевых СВЧ транзисторов на основе арсенида галлия**», представленную на соискание ученой степени доктора технических по специальности 05.27.01 - «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

**1. Актуальность темы диссертации.** Благодаря целенаправленной политике, проводимой на западе и огромному уровню вложенных средств за последние годы произошло значительное улучшение технологий в области широкозонных материалов и особенно нитрида галлия. Как отдельные транзисторы (чипы), так и усилители мощности на основе GaN существенно потеснили изделия на основе GaAs на рынке СВЧ электроники. Следует отметить, что в России имеются проблемы с финансированием разработок промышленных технологий по созданию широкозонных материалов.

Однако, хотя эти тенденции вряд ли изменятся в ближайшее время, следует отметить, что основную часть рынка в мире до сих пор занимают изделия на основе арсенида галлия. Кроме того, арсенидгаллиевые транзисторы обладают

рядом специфических преимуществ, например, высокой линейностью и коэффициентом усиления, и в этой области промышленным транзисторам на основе нитрида галлия с ними пока сложно конкурировать.

Совокупность этих факторов и определяет актуальность диссертационной работы В.Г. Лапина в которой представлены совокупность технических решений по совершенствованию конструкций именно промышленных транзисторов арсениде галлия, как совокупность технических и технологических решений.

В работе исследованы проблемы совершенствования конструкций затворов транзисторов, что позволило резко повысить выход годных изделий, а также уменьшить длину затвора по сравнению возможностями литографического оборудования и достичь значения - 100 нанометров, что обеспечило повышение коэффициента полезного действия, а также снижение уровня шумов. Кроме того, был предложен новый тип гетероструктур, получивших название «гетероструктуры с донорно – акцепторным легированием», применение которых почти вдвое увеличивает удельную мощность и коэффициент усиления полевых транзисторов на основе арсенида галлия.

**2. Степень новизны результатов, научных положений, которые выносятся на защиту диссертации:** В диссертация В.Г. Лапина представлен ряд новых результатов, полученных автором:

1. Предложены гетероструктуры на основе арсенида галлия с донорно – акцепторным легированием и разработаны их конструкции.
2. Разработаны полевые транзисторы на гетероструктурах на основе арсенида галлия с донорно – акцепторным легированием, имеющие удельную выходную мощность и коэффициент усиления в 1.5 – 2 больше чем у приборов на традиционных DpHEMT структурах.
3. Предложена конструкция транзистора на основе арсенида галлия и разработан технология наклонного напыления самосовмещенных затворных электродов, позволяющие существенно повысить точность смещения затвора к истоку транзистора и повысить выход годных приборов на 10...25%.
4. Предложена конструкция Г-образного затвора для транзисторов на основе арсенида галлия и разработан метод наклонного напыления затворных электродов, позволяющий формировать затвор транзистора с длиной в 2...3 раза меньше, чем разрешение используемого литографического оборудования, что повышает воспроизводимость характеристик транзисторов и увеличивает выход годных изделий на 5..15%.

**3. Обоснованность и достоверность сформулированных в работе положений, основных выводов и рекомендаций:** Автором проведено большое количеством экспериментов. Основные результаты работы были внедрены в производство GaAs полевых транзисторов, которые либо выпускаются серийно в АО «НПП «Исток» им. А.И. Шохина», либо используются как опытные образцы.

Математические модели, используемые в диссертации прошли широкую апробацию, неоднократно сравнивались с экспериментом, широко обсуждались как в периодической литературе, так и на различных конференциях.

Результаты исследований докладывались на многочисленных на всероссийских и международных научно-технических конференциях, отражены в монографии, статьях в периодической научной печати и патентах.

**4. Научная, практическая и экономическая значимость результатов и основных положений диссертации:** соискателем предложен ряд новых идей по совершенствованию конструкций затворов полевых транзисторов, технологии изготовления затворов, а также предложена новая конструкция гетероструктуры для мощных приборов на арсениде галлия. Внедрение совокупности технических решений позволило:

повысить точность позиционирования затвора, что в свою очередь существенно повысило воспроизводимость характеристик транзисторов;

изготавливать транзисторы с длиной затвора в 2...3 раза меньше, чем разрешение используемого литографического оборудования;

увеличить выходную мощность и коэффициент усиления полевых транзисторов на гетероструктурах с двухсторонним легированием канала в 1,5...2 раза по сравнению с традиционными.

Экономическая значимость работы определяется тем, что применение результатов диссертации на практике повысило выход годных транзисторов в четыре раза (с 5% - 10% до 20% - 40 %). Также результатов работы внедрены как в серийное производство, так и в мелкосерийное изготовление партий приборов.

**5. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации:** По материалам диссертации В.Г. Лапиным опубликованы 78 трудов, в том числе, 10 статей в российских журналах, индексируемых в международных базах данных; 23 статьи в российских журналах, рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских и докторских диссертаций; 29 работ в других научных изданиях; одна монография в зарубежном издаельстве; получено 15 патентов РФ.

Основные результаты обсуждались на многочисленных всероссийских и международных научно-технических конференциях. Опубликованные работы полностью раскрывают основные положения, выносимые на защиту. Автореферат в должной мере отражает основное содержание диссертации.

**6. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите:** Диссертационная работа В.Г. Лапина посвящена разработке и исследованию физических принципов создания новых и совершенствования традиционных приборов твердотельной электроники и полностью соответствует специальности 05.27.01 — твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах. В работе решена актуальная научная проблема: разработка новых направлений создания и совершенствования промышленных полевых СВЧ транзисторов с улучшенными характеристиками на основе арсенид-галлиевых гетероструктур.

**7. Оценка оформления диссертации:** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 349 страницах текста, содержит 95 рисунков, 24 таблицы и список литературы из 258 наименований. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с ГОСТ и действующими требованиями ВАК РФ. Работа изложена ясным и четким научным языком.

**8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует:** Объём и качество полученных результатов за 25 лет исследований с учетом полученных патентов, а также их практическая и научная значимость полностью соответствуют ученой степени доктора технических наук.

**9. Недостатки диссертации и автореферата:**

1. К недостаткам работы можно отнести определённую приближенность при использовании теоретических моделей электронного транспорта в диссертации. Подобные проблемы лучше исследовать на основе решения кинетического уравнения.

2. В автореферате практически отсутствуют математические выражения и зависимости выходных параметров от рассчитываемых или исследуемых величин.

3. Имеется ряд опечаток в тексте и в формулах в диссертации.

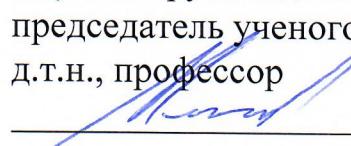
**10. Заключение.** Приведенные замечания не снижают значимости и достоверности научных результатов, полученных соискателем. Диссертация В.Г. Лапина «Новые направления создания промышленных полевых СВЧ транзисторов на основе арсенида галлия», является законченной квалификационной научно-исследовательской работой, в которой представлена совокупность технических решений по совершенствованию гетероструктур полевых транзисторов на арсениде галлия, а также технологии и конструкции затворов полевых транзисторов.

Диссертация отвечает всем требованиям ВАК – п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук и её автор Лапин Владимир Григорьевич несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Диссертационная работа и доклад Лапина Владимира Григорьевича заслушивались и обсуждались на учёном совете ИСВЧПЭ РАН 25 апреля 2019 г. (протокол учёного совета № 4), настоящий отзыв утвержден единогласно.

Отзыв составил:

Научный руководитель ИСВЧПЭ РАН,  
председатель ученого совета ИСВЧПЭ РАН,  
д.т.н., профессор

 П.П. Мальцев

Подпись П.П. Мальцева заверяю  
Начальник отдела кадров ИСВЧПЭ РАН  
Гончар Юлия Александровна 

