

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Лукашина Владимира Михайловича «Гетероструктурные СВЧ полевые транзисторы с селективным донорно - акцепторным легированием», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».

1. Актуальность темы диссертации

Уже достаточно долго и в последние годы успешно в мире ведутся работы по созданию элементной базы СВЧ на основе нитрида галлия. В СВЧ усилителях мощности транзисторы с GaN каналом начинают вытеснять традиционные транзисторы с каналом из GaAs и InGaAs.

Несмотря на это, в диапазоне частот от единиц до сотен гигагерц полевые транзисторы с каналом из InGaAs на GaAs подложке остаются востребованными активными элементами. Их возможности далеко не исчерпаны. Ситуация аналогична истории с кремнием, который «хоронят» в качестве базового материала микроэлектроники уже более тридцати лет, а он не торопится «умирать».

По этой причине представленные в диссертации В.М. Лукашина результаты разработки новых конструкций транзисторных гетероструктур, конструкций и технологии DA-DpHEMT транзисторов на их основе, позволившие существенно улучшить характеристики pHEMT полевых транзисторов с InGaAs каналом, являются безусловно важными и актуальными.

2. Степень новизны результатов, научных положений, которые выносятся на защиту диссертации

В диссертации В.М. Лукашина представлен ряд новых результатов, полученных автором, таких как:

- конструкции DA-DpHEMT полевых транзисторов на основе новых гетероструктур с rip - потенциальными барьерами, усиливающими локализацию горячих электронов в канале транзистора с донорно - акцепторным легированием и с «цифровым» составом по Al слоев спейсеров и барьерных слоев;
- квантово - гидродинамическая модель полевого разогрева электронов в квантовой яме DA-DpHEMT транзисторов;
- увеличение стационарной дрейфовой скорости и всплеска дрейфовой скорости электронов в DA-DpHEMT транзисторах до величин, превышающих аналогичные величины в DpHEMT транзисторах с таким же InGaAs каналом и с AlInAs - интерфейсом канала до 1.5 раз;
- конструкция алмазоподобных теплоотводов на боковых стенках заземляющих отверстий, позволяющих до двух раз уменьшить перегрев DA-DpHEMT транзисторов относительно корпуса при толщине подложки 100 мкм и ширине секций затворов 150 мкм;
- увеличение удельной выходной СВЧ мощности и коэффициента усиления DA-DpHEMT транзисторов в 1.5 – 2 раза по отношению к полевым

транзисторам на традиционных DpHEMT структурах. DA-DpHEMT транзисторы для мм - диапазона показали малосигнальный коэффициент усиления (MSG) более 15 дБ в диапазоне частот 25 – 55 ГГц, более 10 дБ при частоте 67 ГГц;

- увеличение пробивного напряжения «затвор - сток» до величин, превышающих 30 В при увеличении расстояния затвор - сток до 0.9 мкм без падения коэффициента усиления для DA-DpHEMT транзисторов при 22 % содержании индия в слое канала;

3. Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность сформулированных в работе положений, основных выводов и рекомендаций подтверждены расчетами, проведенными соискателем и экспериментально.

Новые результаты, полученные В.М. Лукашиным, используются в серийно выпускаемой продукции АО «НПП «Исток» им. А.И. Шохина».

Результаты исследований имеют законченный характер, сформулированы логично, апробированы 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

Научная значимость результатов диссертации заключается в новых конструкциях и технологиях DA-DpHEMT полевых транзисторов и их элементов, предложенных автором.

Практическая значимость результатов состоит в том, что предложенные конструкции и технологии позволяют:

- оставаясь в рамках сравнительно дешевой технологии рHEMT гетероструктур разработать на их основе DA-DpHEMT транзисторы, работоспособные в см – и в мм – диапазонах длин волн;
- определять перспективность использования в составе транзисторов различных вариантов гетероструктур, проводить выбор оптимального состава, толщин слоев и профиля легирования;
- показать, что благодаря высокой точности позиционирования фотолитографического степпера можно формировать Г - затворы с длиной основания 0.12 и более мкм высокопроизводительными методами фотолитографии для обеспечения серийного изготовления транзисторов для см - и мм - диапазонов при рабочих частотах 10–100 ГГц;
- повысить воспроизводимость характеристик транзисторов;
- увеличить выходную мощность и коэффициент усиления DA-DpHEMT транзисторов в 1,5 – 2 раза по сравнению с традиционными DpHEMT.

Экономическая значимость работы состоит в использовании результатов диссертации в серийном производстве, что привело к увеличению выхода годной продукции.

5. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации

По материалам диссертации В.М. Лукашиным опубликованы одна монография; 33 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских и докторских диссертаций, в том числе 16 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных; 34 публикации в материалах конференций. Он является соавтором 9 патентов РФ.

Основные результаты обсуждались на научно-технических конференциях различного уровня. Опубликованные работы раскрывают основные положения, выносимые на защиту. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

6. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите

Диссертационная работа В.М. Лукашина полностью соответствует специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств», так как в ней решается актуальная для твердотельной электроники научная проблема: разработка конструкций и технологий нового класса полевых СВЧ транзисторов с улучшенными характеристиками, на основе новых конструкций транзисторных наноструктур.

7. Оценка оформления диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 391 странице текста, содержит 111 рисунков, 19 таблиц и список литературы из 305 наименований. Работа изложена ясным научным языком. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с действующими требованиями ВАК РФ и характеризуются хорошим качеством текстового и графического материала.

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

Анализ содержания диссертации в целом, конструкторских и технологических подходов, используемых методов исследования и интерпретации полученных результатов свидетельствует о том, что квалификация Лукашина Владимира Михайловича соответствует ученой степени доктора технических наук.

9. Недостатки диссертации и автореферата

Недостатком работы, на мой взгляд, является отсутствие результатов расчетов вольтамперных выходных и переходных характеристик разрабатываемых транзисторов. Однако этот недостаток компенсируется проведенными прямыми измерениями вольтамперных характеристик образцов разработанных транзисторов. Имеется незначительное количество опечаток в тексте и в формулах.


10. Заключение

Приведенные замечания не снижают значимости и достоверности научных результатов, полученных соискателем. Диссертация В.М. Лукашина

«Гетероструктурные СВЧ полевые транзисторы с селективным донорно - акцепторным легированием» является законченной квалификационной научно-исследовательской работой. В ней решен ряд научных и технических проблем, что позволило усовершенствовать гетероструктуры и конструкции транзисторов, технологии их создания, а также адаптировать конструкции и технологии транзисторов к серийному производству.

В связи с изложенным, считаю, что диссертация Лукашина Владимира Михайловича «Гетероструктурные СВЧ полевые транзисторы с селективным донорно - акцепторным легированием» отвечает всем требованиям ВАК – п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».

Официальный оппонент,
технический директор
АО «НПП «Радиотехника»,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник


Илья Андреевич Обухов
«20» мая 2023 г.

Подпись Обухова Ильи Андреевича заверяю

Генеральный директор АО «НПП «Радиотехника»

 Н.А. Сычева

Почтовый адрес организации: 125040, Российская Федерация, Москва, 5 Донской проезд, д. 15, строение 11.
Тел./Факс: +7 (499) 755-85-41
E-mail: office@npprt.ru
Сайт: <https://npprt.ru>



Обухов Илья Андреевич

Почтовый адрес: 141070, Российская Федерация, Московская область, г. Королёв, ул. Фрунзе, д. 1 Д, корп. 2, кв. 26.

Тел.: +7 (905) 532-95-07

E-mail: iao001@mail.ru, ia@npprt.ru