



02.04.2024 № ПС-21/2885

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор,
 председатель Ученого совета,
 доктор технических наук, профессор
 _____ Г.И. Андреев
 _____ 2024 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Терешкина Евгения Валентиновича на тему:
 «Обращенные гетероструктуры с донорно – акцепторным легированием и
 цифровыми барьерами для увеличения коэффициента усиления полевых
 транзисторов миллиметрового диапазона длин волн», представленной на
 соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых
 устройств

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена
 необходимостью разработки полупроводниковой электронной компонентной
 базы коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн для
 радиоэлектронной аппаратуры как гражданского, так и специального
 назначения. Современные конструктивно-технологические способы
 реализации электронной компонентной базы имеют существенные
 ограничения как по частотным, так и по мощностным характеристикам.

Целью работы являлось исследование в области обращенных
 гетероструктур с донорно-акцепторным легированием и цифровыми
 потенциальными барьерами для создания мощных полевых транзисторов,
 способных работать на частотах вплоть до 300 ГГц.

Научную новизну диссертационной работы представляют следующие результаты:

1. Теоретические исследования, показывающие, что введение цифровых барьеров в обращённые гетероструктуры с донорно-акцепторным легированием позволяет создавать проводящий канал с расстоянием между первыми квантовыми уровнями энергии не менее трёх энергий оптического фона.

2. Экспериментальные исследования, подтверждающие увеличение до двух раз коэффициента усиления полевых транзисторов за счёт роста всплеска дрейфовой скорости электронов при применении цифровых барьеров в гетероструктурах с двухсторонним донорно-акцепторным легированием.

3. Теоретические исследования, показывающие, что использование цифровых барьеров в обращённых гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием за счёт локализации горячих электронов в канале и отсутствия переходов на состояния, локализованные в барьерных решетках увеличивает до двух раз всплеск дрейфовой скорости электронов области сильного поля.

4. Теоретические исследования, показывающие, что в обращённых гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием выполнение цифровой барьерной решётки в области легирования за счёт локализации горячих электронов в канале увеличивает всплеск их дрейфовой скорости в области сильного поля до величины всплеска дрейфовой скорости в чистом объемном материале.

5. Теоретические исследования, демонстрирующие, что в обращённых гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием выполнение цифровой барьерной решётки в области легирования за счёт локализации горячих электронов в канале, позволяет вдвое увеличить поверхностную плотность электронов при уменьшении всплеска их дрейфовой скорости в области сильного поля менее чем на 10 %.

Научная новизна работы подтверждена тем, что на конструкции полевых транзисторов на основе предложенных гетероструктур получены два патента РФ на изобретение.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты являются теоретической и практической базой для разработки перспективных гетероструктур современной электронной компонентной базы.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что предложенные и реализованные конструкции гетероструктур открывают перспективы в создании отечественных полевых транзисторов миллиметрового диапазона длин волн с высокими значениями коэффициента усиления и плотности мощности.

Достоверность основных полученных результатов, выводов и предложений, сформулированных в диссертационном исследовании, подтверждается применением адекватных методов математического моделирования, описанных как в данной работе так и в литературе (представлены соответствующие ссылки), а также соответствием полученных расчётных результатов с рядом экспериментальных данных.

Оформление автореферата диссертации соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации». Материалы изложены логично, технически грамотным языком и позволяют судить об основных направлениях проведенных исследований, которые соответствуют специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Вместе с тем можно отметить следующие замечания по работе:

1. Теоретические исследования гетероструктур AlGaIn/GaN, представленные в главе 2 не соотносятся с основными целями и задачами работы, связанными с гетероструктурами с донорно-акцепторным легированием и цифровыми потенциальными барьерами.

2. Из текста работы не ясно, почему установлен критерий к шагу цифровой барьерной решетки в 6 монослоев GaAs и менее, обеспечивающий увеличение всплеска дрейфовой скорости, а также увеличение поверхностной плотности электронов.

3. Согласно тексту диссертации длина ножки T-образного затвора для экспериментальных транзисторов составила порядка 0,14 мкм, тогда как в автореферате указывается длина затвора $L_3 = 0,12$ мкм. Не влияет ли такая разница в длинах затворов на результаты оценки частоты работы транзисторов при уменьшении длины затвора до 0,05 мкм.

4. Из текста работы не ясно, чем ограничено при измерениях характеристик транзистора максимальное напряжение на стоке 4 В и как ведет себя транзистор при рабочих напряжениях, обеспечивающих значения плотности СВЧ мощности вплоть до 2,1 Вт/мм.

Тем не менее, отмеченные замечания и недостатки не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

Диссертация Терешкина Е.В. является завершенной научно-квалификационной работой, написанной лично автором, посвященной решению важной научно-технической задачи, выполненной на высоком уровне и имеющей серьезное теоретическое и практическое значение для разработки перспективной полупроводниковой электронной компонентной базы СВЧ.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Терешкин Евгений Валентинович, достоин присуждения ему ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Инженер отдела
Центра микроэлектроники,
кандидат технических наук

Дмитрий Геннадьевич Дроздов

Место работы: АО «ЦНИРТИ им. Академика А.И. Берга».
Почтовый адрес: 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д.20, стр. 9
Тел.: +7 (499) 267-43-97; e-mail: post@cnirti.ru

Подпись инженера отдела Центра микроэлектроники, кандидата технических наук, Дмитрия Геннадьевича Дроздова заверяю.

Ученый секретарь,
кандидат технических наук



Виктор Викторович Карев