

ОТЗЫВ
на автореферат диссертации

**«ОБРАЩЕННЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С ДОНОРНО – АКЦЕПТОРНЫМ
ЛЕГИРОВАНИЕМ И ЦИФРОВЫМИ БАРЬЕРАМИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН»**

по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и
нанoeлектроники, квантовых устройств»
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Развитие терагерцовых каналов беспроводной связи и продвижение их в область все более высоких частот требует создания устройств, в частности усилителей мощности, работающих в указанном частотном диапазоне. Для разработки и реализации таких компонент необходимо развитие технологий создания полупроводниковых структур и устройств на их основе, в частности, полевых транзисторов. Тема диссертации Е.В.Терешкина, посвященная созданию такой обращенной гетероструктуры, выполненной по технологии донорно-акцепторного легирования цифровыми потенциальными барьерами для мощного полевого транзистора для работы в диапазоне вблизи 300 ГГц, является актуальной.

В ходе диссертационной работы автором исследована гетероструктур AlGaIn/GaN и установлено, что поперечный пространственный перенос электронов в области сильного поля уменьшает всплеск их дрейфовой скорости по сравнению с чистым объемным материалом не более чем на 30%. Автором изучены обращенные гетероструктуры с донорно-акцепторным легированием и установлено, что применение цифровых барьеров позволяет создавать проводящий канал с расстоянием между первыми квантовыми уровнями энергии не менее трёх энергий оптического фотона, а также до двух раз увеличивает всплеск дрейфовой скорости электронов в области сильного поля за счет локализации горячих электронов в канале и низкой вероятности переходов на состояния, локализованные в барьерных решетках. Кроме того, для изученных обращенных гетероструктур с донорно-акцепторным легированием установлено, что короткопериодная решетка AlAs/GaAs с толщиной не более 6 монослоев GaAs в области легирования при определенной поверхностной плотности электронов (до $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$) за счет локализации горячих электронов в канале обеспечивает увеличение всплеска их дрейфовой скорости в области сильного поля до его уровня в чистом объемном материале и позволяет при сохранении всплеска дрейфовой скорости электронов в области сильного поля на уровне 90 % от теоретического предела довести поверхностную плотность электронов до величины $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Работа не свободна от некоторых замечаний

1. Из автореферата можно сделать вывод, что все результаты получены в рамках численного моделирования и численных оценок, остается неясным, была ли реализована разработанная структура и транзистор на ней (структура, с длиной затвора 0.05 мкм, работающая на частоте 300 ГГц с коэффициентом усиления по мощности 6-8 дБ) и были ли получены экспериментальные результаты с подобным усилением?
2. Есть замечания по оформлению автореферата. Например, не вводятся аббревиатуры (ГСЛ для гетероструктур, КЯ для квантовой ямы - рис.2, ДЭГ – не введены, DA-DrHEMT – введена на 7 страниц позже встречающейся в первый раз аббревиатуры.). Нет расшифровок к обозначениям на рисунках (например, EC, EF (рис.1, 2). Присутствуют опечатки (например, «коэффециента» с.14 14-я стр. сверху и др.).

Приведенные замечания не снижают значимости диссертационной работы.

Работы Е.В.Терешкина известны специалистам. Результаты диссертационной работы опубликованы в 5 научных работах в высокорейтинговых изданиях (в том числе IEEE Trans. on Electron Devices (Q2), Письма в ЖТФ (Q3), Физика и Техника Полупроводников (Q3)), входящих в Web of Science и/или Scopus и включенных в перечень ВАК, 4 работах в изданиях, включенных в перечень ВАК, и представлены в докладах на 7 международных и российских конференциях. Кроме того, Терешкин Е.В. является соавтором двух патентов.

Исследование рассмотренных в диссертации вопросов выполнено на высоком научном уровне, результаты являются новыми и практически значимыми. Достоверность результатов и выводов не вызывает сомнений.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств», соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24.09. 2013 (ред. от 28.08.2017). В связи с этим считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Терешкин Евгений Валентинович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Вакс Владимир Лейбович,

кандидат физико-математических наук,
заведующий Отделом терагерцевой спектроскопии
Института физики микроструктур РАН – филиала
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–Грехова
Российской академии наук»
(ИФМ РАН),
ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Нижегородская обл., Кстовский район, 603087, РФ,
Телефон: +7(951)908 89 41,
E-mail: vax@ipmras.ru.

 Владимир Лейбович Вакс

Я, Владимир Лейбович Вакс, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Е.В.Терешкина.

 Владимир Лейбович Вакс

« 14 » 03 _____ 2024 г.

Подпись Владимира Лейбовича Вакса заверяю
Ученый секретарь Института физики микроструктур РАН
– филиала Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–Грехова
Российской академии наук» (ИФМ РАН),
кандидат физ.-мат. наук



 Гапонова Дария Михайловна