

## 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»

Высокие темпы развития новых принципов, конструкций и используемых материалов полупроводниковых приборов с целью совершенствования их характеристик, расширения частотного диапазона, зачастую требуют кардинального пересмотра всего технологического цикла приборного производства, что приводит к большим затратам времени и средств для практической реализации результатов теоретических исследований.

В этих условиях особый интерес представляет разработка таких конструктивно – технологические решений, направленных на существенное улучшение параметров приборов, которые максимально совместимы с уже используемыми в производстве базовыми технологиями и конструкциями. По этой причине характер постановки задачи, делающий возможным оперативное внедрение результатов работы и тема диссертации Е.В. Терешкина являются, несомненно, актуальными.

Е.В. Терешкин предложил решение проблемы увеличения коэффициента усиления СВЧ НЕМТ транзисторов и, как следствие, расширения частотного диапазона приборов, в перспективе, до 300 ГГц за счет использования обращенных гетероструктур с донорно-акцепторным легированием и, так называемыми, цифровыми барьерами, что обеспечивает повышение локализации носителей заряда в канале транзистора (то есть, увеличивает их концентрацию в канале) и увеличивает всплеск их дрейфовой скорости. Такая технология сравнительно легко интегрируется в уже используемые технологии

эпитаксиальных структур и может быть оперативно внедрена в действующее производство.

Экспериментально было подтверждено, что использование таких гетероструктур позволяет увеличить коэффициент усиления и удельную выходную СВЧ мощность полевых транзисторов по сравнению с транзисторами, изготовленными на стандартных GaAs гетероструктурах.

Применение дополнительных потенциальных барьеров в виде короткопериодных решеток AlAs/GaAs (по терминологии автора, цифровых потенциальных барьеров), усиливающих локализацию горячих электронов в слое канала, является новым решением и имеет большую перспективу в части практического применения в серийных технологиях СВЧ транзисторов. Фактически, соискатель для получения положительного результата использовал управляемое изменение вида зонной диаграммы гетероструктуры, проведенное с помощью формирования субструктур в слоях AlGaAs, окружающих канал.

Таким образом, в рассматриваемой работе мы имеем пример целенаправленной и эффективной зонной инженерии, результаты которой подтверждены параметрами изготовленных приборов.

Направление развития НЕМТ транзисторов, предложенное Е.В.Терешкиным, несомненно, заслуживает продолжения в части дальнейшей оптимизации гетероструктур с локализуемыми потенциальными барьерами, применения разработанного подхода и к другим полупроводниковым системам.

Автореферат достаточно полно поясняет содержание проведенных автором работ, раскрывает сущность и обоснованность основных научных положений, выносимых на защиту, даже несмотря на отсутствие подписей к двум из пяти рисунков в автореферате. Кроме того, восприятие текста автореферата порой затруднено из-за использования аббревиатур без их пояснения при первом применении (ГСЛ, DA-DpHEMT, DpHEMT, Q-DpHEMT).

Несмотря на общее благоприятное впечатление от работы, вызывает сомнение, на мой взгляд, целесообразность распространения понятия «цифровой барьер» на предложенные автором энергетические барьеры, формируемые с использованием короткопериодных решеток AlAs/GaAs, поскольку это словосочетание широко используется в мировой литературе (в том числе, и научной) для обозначения ограничения возможностей той или иной социальной группы из-за отсутствия у неё доступа к современным средствам коммуникации. При этом автор никак не обосновывает необходимость появления такого омонима, а проводимая в п. 3.4.1. аналогия цифрового кода с профилем потенциала, образующегося в предложенной структуре, кажется несколько натянутой.

Тем не менее, исходя из содержания автореферата, диссертация Терешкина Е.В. «Обращенные гетероструктуры с донорно-акцепторным легированием и цифровыми барьерами для увеличения коэффициента усиления полевых транзисторов миллиметрового диапазона длин волн» является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой можно оценить как прорывное решение задачи увеличения удельной выходной СВЧ мощности и коэффициента усиления полевых транзисторов миллиметрового диапазона длин волн.

Предложенное направление развития конструкции и технологии обращенных гетероструктур с донорно-акцепторным легированием и цифровыми потенциальными барьерами (Q-iNEMT) обладает большим потенциалом развития и имеет важное практическое значение для развития технологии мощных СВЧ полевых транзисторов мм-диапазона и монолитных интегральных схем на их основе.

Считаю, что диссертация «Обращенные гетероструктуры с донорно-акцепторным легированием и цифровыми барьерами для увеличения коэффициента усиления полевых транзисторов миллиметрового диапазона длин волн» отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024) предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Терешкин Евгений Валентинович, в полной мере заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Главный научный сотрудник  
ЗАО «Элма-Малахит», к.т.н.

Ю.Н. Свешников

«08» 04 2024 г.

Подпись Юрия Николаевича Свешникова заверяю:

Генеральный директор АО «Элма-Малахит»  
к.т.н.



А.А. Арндаренко

Адрес организации: 1124460, Москва, Зеленоград, проспект Панфиловский,  
д.10, пом.№327, эт.2,комн. 39Г  
тел.: +7(499) 214 01-61; e-mail: [secretar@elma-malachit.ru](mailto:secretar@elma-malachit.ru)

Адрес Юрия Николаевича Свешникова: 127562, г.Москва, Алтуфьевское  
шоссе, д. 24-в, кв.505, тел.: +7-916-170-55-20,  
e-mail: [sveshnikov-elma@yandex.ru](mailto:sveshnikov-elma@yandex.ru)