

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Юнусова Игоря Владимировича «Разработка и исследование сверхвысокочастотных гетероструктурных GaAs низкобарьерных диодов и монолитных интегральных схем на их основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника»

Юнусов Игорь Владимирович окончил Томский университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) в 2010 году с присуждением степени магистра техники и технологии по направлению «Электроника и микроэлектроника».

Диссертационная работа выполнена И. В. Юнусовым во время обучения в аспирантуре на кафедре физической электроники ТУСУР. Все это время он совмещал работу над диссертацией с трудовой деятельностью в Научно-производственном комплексе «Микроэлектроника» АО «Научно-производственная фирма «Микран» (АО «НПФ «Микран») в должности инженера-технолога, позднее – в должности начальника лаборатории диодных монолитных интегральных схем, а затем начальника конструкторско-технологического отдела. Помимо этого, соискатель успешно совмещал научную работу с преподавательской деятельностью на кафедре физической электроники ТУСУР, где вел курс «Приборно-технологическое моделирование».

Диссертационная работа Юнусова И. В. посвящена актуальному направлению техники сверхвысоких и крайне высоких частот (СВЧ и КВЧ) – созданию приборных и конструктивно-технологических основ для разработки монолитных интегральных схем (МИС) сверхширокополосных СВЧ и КВЧ детекторов мощности на основе GaAs низкобарьерных диодов. Работа включает комплекс теоретических

и экспериментальных исследований, направленных на разработку конструкции нового детекторного низкобарьерного диода с улучшенными характеристиками на основе гетероструктур A^3B^5 , разработку уточненной нелинейной СВЧ модели данного диода, а также создание МИС детекторов мощности.

Актуальность диссертационной работы обусловлена постоянно растущей потребностью в обработке сложных радиосигналов все более высоких частот. Это приводит к росту требований, предъявляемых к измерителям мощности таких радиосигналов. До диссертационной работы Юнусова И. В. из практики и литературных источников было известно, что сверхширокополосные СВЧ и КВЧ измерители мощности с широким динамическим диапазоном обычно выполняются с использованием детекторного GaAs низкобарьерного диода на основе гомоэпитаксиальных полупроводниковых переходов (НДПП). Данные диоды имеют высокий обратный ток, что отрицательно влияет на эффективность их работы в составе измерителей мощности. В связи с этим стала актуальной задача по поиску нового конструктивного решения GaAs детекторного диода, характеризующегося пониженным значением обратного тока. Более того, потребность в расширении рабочего диапазона частот измерителей мощности до 110 ГГц мотивирует переход от конструктивных решений детекторов мощности в виде гибридных интегральных схем к их реализации в виде МИС. В связи с этим, диссертационная работа Юнусова И. В., направленная на разработку НДПП с улучшенными характеристиками, а также на разработку и изготовление МИС сверхширокополосных детекторов мощности с рабочими частотами вплоть до 110 ГГц, безусловно, посвящена решению актуальных задач.

Работа является целостной и характеризуется комплексным подходом к решению сформулированной научно-технической проблемы. В ней последовательно решается спектр задач, начиная от

критического анализа физических процессов в гомоэпитаксиальной структуре низкобарьерного диода, обуславливающих его высокий обратный ток, предложения идеи и разработки конструкции гетероструктурного НДПП, экспериментального доказательства эффективности предложенной идеи и создания нелинейной модели гетероструктурного НДПП, и, заканчивая созданием GaAs диодных монолитных интегральных схем, интегрированных в СВЧ тракт.

В рамках диссертационной работы Юнусовым И.В. были получены значимые научные и практические результаты:

– предложен способ формирования потенциального барьера в арсенид-галлиевом низкобарьерном диоде, основанный на одновременном использовании свойств *p-n* перехода и гетеропереходов InGaAs/GaAs;

– предложен и реализован низкобарьерный диод на основе гетероструктур InGaAs/GaAs;

– разработана уточненная нелинейная СВЧ модель низкобарьерного диода, рекомендованная для применения при разработке устройств в диапазоне частот свыше 40 ГГц, а также предложена методика экстракции параметров уточненной эквивалентной схемы низкобарьерного диода;

– разработана технология изготовления дискретных GaAs гомо- и гетероструктурных низкобарьерных диодов, а также МИС на их основе, предназначенная для серийного производства МИС детекторов мощности СВЧ сигнала с рабочим диапазоном частот до 110 ГГц. Данная технология позволила создать МИС, не имеющие аналогов на отечественном и зарубежном рынках.

Важным аспектом деятельности Юнусов И. В. является его активная внедренческая работа, осуществляемая им в АО «НПФ «Микран». Под непосредственным руководством Юнусова И. В. были разработаны и внедрены в производство технологии изготовления

дискретных диодов и МИС на основе самосовмещенных диодов с барьером Шоттки, *pin* диодов, а также дискретных *pin* диодов вертикальной конструкции. К настоящему времени на основе данных технологий осуществляется выпуск более 50 типов дискретных приборов и МИС, используемых в серийно выпускаемой аппаратуре АО «НПФ «Микран», а также аппаратуре других отечественных и зарубежных производителей. Научно-техническая деятельность Юнусова И.В. включала разработку и оптимизацию параметров гетероструктур, разработку конструкций базовых элементов МИС, технологических маршрутов их изготовления, расчет топологий МИС, создание методик и проведение измерений и испытаний.

В процессе подготовки диссертации Юнусов И. В. принимал активное участие в выполнении трех опытно-конструкторских работ по Федеральным целевым программам Минпромторга РФ, посвященным созданию электронной компонентной базы СВЧ диапазона (шифры работ «Дискрет-18», «Дискрет-37», «Одноцветник-34»).

Результаты диссертационной работы Юнусова И. В. апробированы на 16 тематических конференциях, опубликованы в 20 работах, и защищены одним патентом РФ, четырьмя свидетельствами о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы.

В процессе работы над диссертацией Юнусов И. В. проявил умение самостоятельно ставить и творчески решать сложные научно-технические задачи. Его характеризует высокий уровень теоретической подготовки, трудолюбие, способность к постановке научного эксперимента и анализу его результатов, а также системное мышление, проявленное при разработке конструкций приборов и технологий их изготовления. Результаты, полученные в процессе выполнения работы, свидетельствуют о его высокой научной квалификации.

Считаю, что диссертационная работа «Разработка и исследование сверхвысокочастотных гетероструктурных GaAs низкобарьерных

диодов и монолитных интегральных схем на их основе» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Юнусов Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Научный руководитель

доктор физико-математических наук, профессор,
первый заместитель генерального директора
АО «НПФ «Микран» по стратегическому развитию
и науке



В.А. Кагадей

Секретарь НТС

кандидат технических наук,
заместитель генерального директора
АО «НПФ «Микран» по НИОКР



Е.Е. Мананко

