

СВЧ-компоненты на основе технологии нитрида галлия: взгляд изнутри

А. Кищинский¹

12–13 ноября в Москве состоялся семинар-совещание специалистов российской радиоэлектронной промышленности на тему «Актуальные вопросы разработки и применения СВЧ-компонентов и приборов на основе технологии нитрида галлия (GaN-2020)». Мероприятие было организовано АО «Микроволновые системы» (Москва). Целью мероприятия, которое планируется проводить на регулярной основе, стал обмен опытом и налаживание прямого взаимодействия между руководителями, учеными, специалистами промышленности, представителями вузовской и академической науки в решении задачи становления в России промышленных технологий производства нитрид-галлиевых СВЧ-компонентов (транзисторов и интегральных схем), повышения качества и технического уровня разрабатываемых на основе этих компонентов приборов и радиотехнических систем.

Научно-техническая программа семинара-совещания охватывала широкий круг вопросов – от создания гетероэпитаксиальных структур и разработки соответствующих технологий и оборудования до особенностей проектирования и эксплуатации радиолокационной, связной и другой аппаратуры на основе нитрид-галлиевых компонентов. В некоторой степени данное мероприятие явилось развитием проводившейся в период с 1997 по 2017 годы всероссийской конференции «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы», многие докладчики и участники GaN-2020 были участниками или организаторами тех конференций.

В течение двух дней на семи заседаниях, проходивших в пленарном режиме в конгресс-центре гостиничного комплекса «Измайлово», были заслушаны и обсуждены 42 доклада специалистов, представлявших 38 российских и шесть зарубежных предприятий и организаций, в число которых входили предприятия промышленности, научные учреждения академической и вузовской науки, дизайн-центры, коммерческие предприятия.

Первое заседание GaN-2020 было посвящено созданию отечественных технологий и оборудования для выращивания гетероэпитаксиальных структур нитрида галлия, а также другого оборудования для производства GaN-транзисторов и интегральных схем.

Андрей Федорович Цацульников, заместитель директора по науке НТЦ микроэлектроники РАН

(Санкт-Петербург), представлявший коллектив своего центра, а также ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Национального исследовательского университета «МИЭТ» и компании «Эпиэл», рассказал о возможностях установки МОС-гидридной эпитаксии Dragon-125, которая применяется для производства AlInGaN-гетероструктур для СВЧ-транзисторов на подложках карбида кремния, а также о развитии новых технологий, в том числе выращивании GaN на подложках кремния, in-situ-нанесении покрытий Si₃N₄, легировании углеродом и железом для создания изолирующих буферных слоев GaN.

Евгений Викторович Луценко, представлявший коллектив Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси и Минского НИИ радиоматериалов, рассказал о возможностях и особенностях роста гетероструктур AlGaIn/GaN для СВЧ-транзисторов методом высокотемпературной аммиачной молекулярно-пучковой эпитаксии и созданном для этого оборудовании, а также других технологических возможностях, которые могут быть предоставлены коллегам белорусскими институтами.

Генеральный директор АО «Элма-Малахит» (Зеленоград) Алексей Андреевич Арендаренко познакомил участников конференции с особенностями отечественного планетарного реактора на основе технологии объединенных процессов атомно-слоевой и МОС-гидридной эпитаксии для производства гетероструктур (гетероэпитаксиальных структур, ГЭС) нитридных соединений, созданного в сотрудничестве с АО «НИИПП» (г. Томск). Авторами разработаны основы новой технологии получения ГЭС (эпитаксия из пространственно разделенных

¹ АО «Микроволновые системы», заместитель генерального директора, главный конструктор, ak@mwsystems.ru.

потоков, ЭПРП). Реализация этой технологии позволяет получить качество ГЭС-нитридов, превышающее мировой уровень, организовать производство отечественного запатентованного эпитаксиального оборудования и обеспечить импортозамещение в производстве ГЭС нитридных соединений.

Алексей Николаевич Алексеев, генеральный директор ЗАО «НТО» (Санкт-Петербург), представил результаты применения российскими предприятиями отечественного оборудования для реализации ключевых технологических операций при изготовлении СВЧ ЭКБ на основе нитрида галлия, созданного специалистами этой компании, в том числе оборудования для высокотемпературного выращивания гетероструктур AlGaIn на подложках диаметром до 100 мм, плазмохимического травления, электронно-лучевого напыления и др.

Последующие доклады первого рабочего дня были посвящены разработкам в области создания различных конструкций GaN-транзисторов и технологий их изготовления, особенностям моделирования характеристик транзисторов и монолитных интегральных схем (МИС) на нитриде галлия, результатам испытаний образцов транзисторов и МИС, опыту внедрения разработок в рамках модели fabless-foundry (дизайн-центр – контрактный производитель).

Начальник отдела АО «НПП «Пульсар» Станислав Вадимович Миннебаев рассказал о способах расширения динамического диапазона и особенностях GaN-транзисторов, разрабатываемых предприятием. В докладе были рассмотрены конструктивные методы уменьшения тока утечки затвора, повышения пробивного напряжения, минимизации теплового сопротивления и перегрева кристалла.

Андрей Борисович Пашковский, заместитель начальника отделения АО «НПП «Исток» имени А. И. Шокина», представил доклад о сравнении достижимых параметров и характерных особенностях гетероструктурных полевых транзисторов на основе нитрида и арсенида

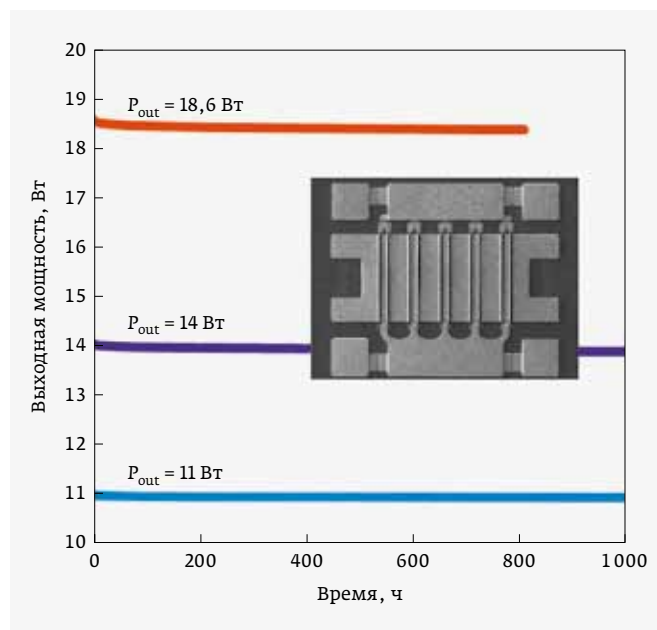


Рис. 1. Результаты испытаний образцов AlGaIn-транзисторов от АО «Светлана-Рост» на безотказность

галлия в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн.

Алексей Гелиевич Филаретов, заместитель генерального директора АО «Светлана-Рост», рассказал о возможностях построения гибридно-монолитных мощных СВЧ-модулей полностью на отечественной элементной базе на основе технологического процесса AlGaIn DHFET05, предоставляемого этим предприятием российским разработчикам в режиме foundry. В докладе были представлены первые успешные результаты систематических испытаний образцов транзисторов с шириной затвора 3,5 мм, изготовленных по данному процессу, на безотказность в режиме постоянной входной ВЧ-мощности (рис. 1).

Доклад компании Integra Technologies (США), подготовленный Апетом Барсигьяном, вице-президентом



компании, и посвященный особенностям нелинейного моделирования мощного 180-Вт импульсного GaN-транзистора S-диапазона для радиолокационных систем, представил по просьбе автора Дмитрий Ставрович Фокаиди, ведущий специалист «Центра инженерно-технических решений» (Москва). Центр является партнером и представителем компании Integra Technologies в России.

Юрий Владимирович Соловьев, заместитель генерального директора АО «Светлана-Электронприбор» (Санкт-Петербург), посвятил свой доклад обзору направления развития СВЧ ЭКБ на основе GaN-технологий. На предприятии реализован сквозной цикл изготовления GaN МИС, включающий выращивание и обработку полуизолирующих кристаллов SiC, эпитаксию ГЭС AlGaIn / GaN / SiC, изготовление и испытания транзисторов и МИС. На основе этой технологии были изготовлены и в настоящее время проходят тестирование образцы GaN МИС двухкаскадного усилителя X-диапазона (рис. 2).

Ведущий инженер АО «ПКК Миландр» (Зеленоград) Сергей Викторович Тарасов рассказал о планах и перспективных разработках компании в области СВЧ GaN-транзисторов. Компания ведет разработки серий GaN-транзисторов с выходной мощностью от 5 до 1 000 Вт в L- и S-диапазоне по модели fabless-foundry. Компания планирует также строительство собственного производства нитридных СВЧ- и силовых приборов.

Доклад Леонида Эдуардовича Великовского, главного специалиста АО «НПФ «Микран» (г. Томск), был посвящен разработанной на предприятии технологии мощных СВЧ МИС на основе гетероструктур AlGaIn / GaN и InAlN / GaN на подложках SiC, на базе которой были изготовлены образцы дискретных GaN-транзисторов. На образцах, созданных по технологии 0,25 мкм AlGaIn / GaN HEMT, была получена удельная мощность более 5 Вт / мм и КПД 45% на частоте 10 ГГц при напряжении стока 30 В. Разрабатываются также технологии и библиотеки элементов с длиной затвора 0,1 и 0,15 мкм на основе этих технологий.

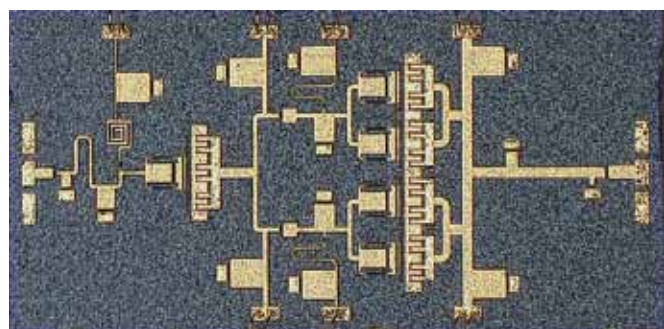


Рис. 2. Кристалл GaN МИС двухкаскадного усилителя X-диапазона от АО «Светлана-Электронприбор»

Максим Леонидович Занавескин, начальник отдела НИЦ «Курчатовский институт» (Москва), в своем докладе осветил результаты проводимых в институте работ по созданию мощных нитрид-галлиевых СВЧ-транзисторов на подложках кремния. На изготовленных образцах транзисторов на частоте 2 ГГц в импульсном режиме со скважностью 100 была достигнута выходная мощность 75 Вт и КПД 55% при усилении 18 дБ и напряжении стока 30 В. Среди новых направлений работ, представленных в докладе, – технология GaN-транзисторов на подложке из поликристаллического алмаза, первые образцы которых изготовлены в институте (рис. 3).

Опытом разработки многофункциональных МИС для приема-передающих модулей широкополосных систем связи и радиолокации на базе нитридных гетероструктур и обзором перспектив развития этого направления поделился Юрий Владимирович Федоров, главный конструктор и заместитель директора Института СВЧ и полупроводниковой электроники РАН (Москва). Среди разработок 2020 года – набор МИС для приема-передающих модулей диапазона 26–54 ГГц в литерном исполнении с преобразованием частоты для телекоммуникационных систем.

Илья Владимирович Макарец, инженер-технолог АО «НПП «Салют» (Нижний Новгород), рассказал об опыте разработки усилителей мощности на основе GaN-технологий, освоенных на предприятии. Разработаны широкополосные GaN МИС среднего уровня мощности (0,5–1 Вт) в диапазонах частот 6–18 ГГц и 0,1–22 ГГц.

Доклад компании ICONIC RF (Великобритания), подготовленный Эндрю Паттерсоном, управляющим директором компании, и посвященный особенностям проектирования высокоэффективного монолитно-интегрального усилителя мощности Ka-диапазона на основе технологического процесса 0,15 GaN / SiC фабрики WIN Semiconductor для перспективных телекоммуникационных систем пятого поколения, представил по просьбе автора Андрей Александрович Кищинский, заместитель генерального директора АО «Микроволновые системы». Специалисты образованной в 2018 году компании ICONIC RF,

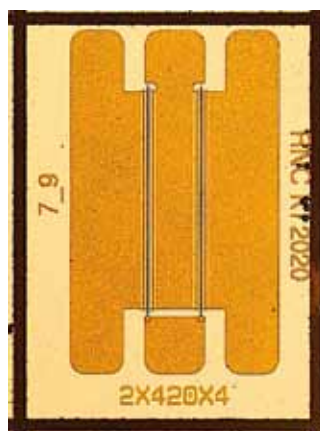


Рис. 3. Образец GaN-транзистора на подложке из поликристаллического алмаза, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт»

которые ранее составляли ядро разработчиков известной fabless-компании MIMIX BROADBAND, имеют многолетний успешный опыт разработок интегральных схем по модели fabless-foundry и готовы к сотрудничеству с российскими партнерами.

Алексей Владимирович Кондратенко, руководитель частной дизайнерской группы AVK Design Team (Нижний Новгород), рассказал об особенностях процесса разработки с ориентацией на технологические возможности зарубежных фабрик на примере проекта GaN МИС усилителя мощности X-диапазона частот типа AN551, в которой реализован КПД более 40% при выходной мощности 25 Вт.

Генеральный директор ООО «ЦЕНТР» (Санкт-Петербург) Борис Вячеславович Калинин поделился опытом разработки проекта МИС усилителя мощности S-диапазона с выходной мощностью более 65 Вт.

Сергей Викторович Гармаш, ведущий конструктор АО «Микроволновые системы» (Москва), рассказал о конструкциях, характеристиках и возможностях применения двух типов импульсных усилителей мощности X-диапазона в металлокерамических корпусах для поверхностного монтажа. Двухкаскадная гибридно-монокристаллическая интегральная схема (ГМИС) М1603В, спроектированная на основе дискретных GaN-транзисторов и арсенид-галлиевых пассивных схем, имеет выходную мощность 12–15 Вт в диапазоне 8,5–9,7 ГГц при усилении 15 дБ и КПД 35%. ГМИС четырехкаскадного усилителя МС551-40, построенная на основе GaN МИС AN551 и GaAs предварительного усилителя, реализована в герметичном корпусе для поверхностного монтажа размерами 7×7 мм и имеет выходную импульсную мощность 20 Вт в диапазоне 8–9,5 ГГц при усилении более 38 дБ и КПД более 30%. Обе микросхемы предназначены для применения в радиолокационной технике.

В докладе Александра Дмитриевича Першина, начальника отдела ООО «Центр инновационных разработок ВАО» (Москва), обсуждались вопросы создания унифицированных схем управления питанием мощных нитрид-галлиевых СВЧ-усилителей, варианты архитектуры и основные технические требования к таким схемам.

Доклад Андрея Геннадьевича Ефимова, начальника отдела обособленного подразделения ООО «Ижевский радиозавод», был посвящен анализу и путям снижения экономических, организационных и технических рисков, связанных с использованием приборов на основе нитрида галлия в бортовой космической аппаратуре, рассчитанной на длительные сроки активного существования.

Заместитель начальника отдела ФГУП МНИИРИП (Мытищи) Михаил Сергеевич Попов в своем докладе, посвященном настоящему и будущему ЭКБ СВЧ-диапазона на основе технологии GaN в Российской Федерации, проанализировал результаты выполненных опытно-конструкторских работ по этой тематике, а также рассказал о путях участия государства в развитии

нитрид-галлиевых технологий в отечественной промышленности.

Второй день работы семинара-совещания был посвящен вопросам создания и применения СВЧ-усилителей мощности и других устройств на основе GaN-транзисторов и МИС.

Владимир Иванович Протасов, начальник отделения АО «НИИП имени В. В. Тихомирова» (г. Жуковский), рассказал о задаче создания высоконадежных импульсных твердотельных GaN-усилителей для работы в качестве предварительной ступени комбинированных лампово-полупроводниковых передатчиков с выходной мощностью более 25 кВт для современных систем радиолокации.

Главный конструктор ООО «Элиарс» (Зеленоград) Михаил Васильевич Съедин поделился опытом применения GaN МИС в разработках компании и представил требования к универсальному набору микросхем для реализации перспективных радиолокационных систем на основе активных фазированных антенных решеток.

Александр Владимирович Бутерин, главный конструктор направления АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон» (г. Саратов), рассказал о результатах разработки и конструкции 150-Вт многофункционального приемопередающего модуля X-диапазона для вертолетной БРЛС на основе GaN МИС. Результаты разработки внедрены в серийное производство и востребованы отечественной авиационной промышленностью.

Александр Евгеньевич Балакирев, заместитель генерального директора компании «Прософт» (Москва), представил разработанный в сотрудничестве с АО «Микроволновые системы» широкополосный внутрисогласованный транзистор диапазона 8,5–9,7 ГГц с выходной мощностью более 50 Вт и КПД более 30%, выпускаемый под маркой «Арбелос». Транзистор в герметичном металлокерамическом фланцевом корпусе может с успехом заменить широко применяемые в аппаратуре транзисторы фирмы Toshiba. Транзистор освоен в производстве и с 2020 года поставляется потребителям (рис. 4).

Начальник лаборатории ООО «Резонанс» (Санкт-Петербург) Павел Эдуардович Осипов поделился опытом разработки импульсного усилителя Ka-диапазона мощностью 300 Вт на основе GaN интегральных схем. В устройстве применен многоканальный цепочечный волноводный сумматор мощности с очень малыми потерями, позволяющий эффективно суммировать мощности 16 кристаллов МИС и реализовать КПД усилителя более 20%.

Несколько докладов, представленных организатором семинара-совещания, АО «Микроволновые системы», было посвящено вопросам создания сверхширокополосных усилителей мощности на дискретных GaN-транзисторах и МИС с распределенным усилением.



Рис. 4. Внутрисогласованный GaN-транзистор X-диапазона от НПП «Арбелос»

В докладе Андрея Александровича Кишинского, заместителя генерального директора компании, рассмотрены особенности применения GaN-компонентов в сверхширокополосных усилителях мощности непрерывного режима, состояние разработок дискретных транзисторов и МИС на нитриде галлия, особенности теплового режима транзисторов, схемотехника МИС сверхширокополосных усилителей, принципы построения планарных сумматоров повышенной мощности и другие вопросы. АО «Микроволновые системы» ведет разработки широкополосных GaN-усилителей с 2011 года. Разработаны и выпускаются более 25 типов модулей различного назначения в диапазонах частот от 0,1 до 18 ГГц, выходной мощностью от 5 до 50 Вт в непрерывном режиме, с полосой от октавы до декады. Одна из популярных моделей была изготовлена и поставлена потребителям в количестве более 2200 шт. Одним из новых направлений стала разработка мощных усилителей для систем коммерческой тропосферно-релейной связи в диапазоне 4,4–5 ГГц.

Доклады заместителя главного конструктора – начальника проектного отдела Алексея Владимировича Радченко были посвящены практическим результатам разработки наиболее мощных GaN-усилителей непрерывного режима с полосой частот более двух октав. Компанией в сотрудничестве с АО «ЦНИРТИ имени А. И. Берга» разработан и осваивается в производстве усилительный блок, заменяющий два комплексированных вакуумных усилителя на основе ЛБВ. Блок выполнен на МИС с распределенным усилением и объемно-планарных сумматорах мощности оригинальной конструкции. В полосе частот от 4 до 18 ГГц блок обеспечивает выходную мощность от 40 до 100 Вт, КПД 10–15% при питании от сети переменного напряжения. Модуляция выходной мощности с глубиной более 100 дБ внешним логическим сигналом может иметь частоту переключения до 5 МГц с фронтами

радиоимпульса менее 50 нс за счет применения метода затворной модуляции.

Разработанный специалистами АО «Микроволновые системы» в 2019 году усилитель мощности диапазона 1–6 ГГц с выходной мощностью 25–35 Вт типа MS010620 (рис. 5) становится популярным универсальным решением для большого числа потребителей, как в нашей стране, так и за рубежом. Он создан с использованием оригинальных компактных конструкций балансных схем на основе дискретных GaN-транзисторов и обеспечивает значительные преимущества по сравнению с коммерческими приборами зарубежного производства практически по всем параметрам.

Возможности миниатюризации традиционных арсенид-галлиевых СВЧ-усилителей диапазона 6–18 ГГц благодаря применению в выходном каскаде современной GaN МИС с распределенным усилением вместо сложной трехканальной схемы суммирования GaAs-транзисторов были продемонстрированы на примере РМ818-5М – модернизированной версии выпускаемого серийно усилителя РМ618-4К. При улучшении практически всех электрических параметров (выходной мощности, КПД, температурного дрейфа) и уменьшении на 25% габаритов и массы устройства удалось сохранить все сервисные функции и обеспечить возможность однополярного питания 28 В. При этом прибор с выходной мощностью 6–8 Вт весит не более 120 г.

Вопросам обеспечения надежности GaN СВЧ-компонентов, выпускаемых для применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов, был посвящен совместный доклад компаний Sumitomo (Япония) и ООО «СД Солюшнос» (Санкт-Петербург), представленный инженером по применению Владимиром Владимировичем Кубаревым.

В докладе Александра Юрьевича Евграфова, ведущего инженера АО «НПП «Пульсар», был представлен проект 5-разрядного дискретно-управляемого фазостабилизированного аттенюатора на основе оригинальной технологии



Рис. 5. Усилитель мощности MS010620 от АО «Микроволновые системы»



ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62
(многоканальный)
Факс +7(499) 644-19-70
E-mail: mwsystems@mwsystems.ru
www.mwsystems.ru

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»



GaN МИС с изолированным затвором, разработанной на предприятии. Существенное преимущество конструкции устройства – отсутствие необходимости применения субмикронной литографии затвора для достижения требуемых параметров устройства.

Вопросам мультigarмонических измерений отечественных GaN-транзисторов методом переменной нагрузки был посвящен доклад Алексея Николаевича Васильева, ведущего инженера ООО «Радис Лтд» (Зеленоград). Рассмотренный в докладе метод дает важную информацию для проектирования усилительных элементов с высоким КПД. На образцах GaN-транзисторов, изготовленных в АО «Светлана-Рост», были получены значения КПД до 68% в S-диапазоне.

Два доклада, представленных Сергеем Михайловичем Никулиным, научным консультантом АО «НПО «Эркон», были посвящены специфическим аспектам измерения нелинейных S-параметров СВЧ-транзисторов в полосковых линиях передачи с низкоомным волновым сопротивлением и методам практической реализации этих измерений. Данное направление развивается коллективом авторов в сотрудничестве с АО «НПФ «Микран», ООО «Арзамасское ПКБ» и НГТУ имени Р. Е. Алексеева.

В докладе старшего научного сотрудника АО «НПП «Пульсар» Анатолия Нестеровича Максимова были представлены результаты создания интегрального силового GaN-ключа со встроенным драйвером, который обеспечивает ток коммутации до 30 А и скорость переключения менее 5 нс (рис. 6). На основе разработанной конструкции могут быть реализованы силовые быстродействующие ключи на различные токи и напряжения, необходимые, в частности, для построения модуляторов и преобразователей питания для импульсных высокоомощных СВЧ-усилителей на GaN-транзисторах.

В докладе Александра Вячеславовича Прядилова, инженера I-й категории АО «ФНПЦ «ННИИРТ» (Нижний Новгород), были рассмотрены результаты разработки многоканального приемо-передающего модуля L-диапазона с применением GaN-транзисторов, выпускаемых воронежским АО «НИИЭТ». Достигнута выходная импульсная

мощность канала более 86 Вт при КПД более 56%, обеспечены малые габариты и масса многоканального модуля и снижение энергопотребления по сравнению с решением на LDMOS-транзисторах.

Ведущий инженер АО «НТЦ ЭЛИНС» Владимир Владимирович Жуков рассказал о результатах модернизации серийного СВЧ-генератора диапазона 2,5–2,7 ГГц с выходной мощностью более 4500 Вт, в которой была проведена замена LDMOS-транзисторов на GaN-транзисторы.

Несколько докладов было представлено на семинар в виде презентаций без авторского текста. В докладе Дмитрия Викторовича Громова, главного научного сотрудника НИЯУ «МИФИ», подготовленном с участием специалистов АО «ЭНПО СПЭЛС» и АО «НПП «Пульсар», были приведены результаты оценок влияния радиации на СВЧ элементную базу на основе технологии нитрида галлия. Доклад Александра Евгеньевича Белькова, инженера-технолога АО «НИИЭТ» (г. Воронеж), касался опыта разработки мощных СВЧ- и силовых приборов на основе GaN с использованием модели *fabless-foundry*. В презентации инженера НИЯУ «МИФИ» Станислава Алексеевича Шостаченко были анонсированы направления исследований в области создания приборов на нитриде галлия, проводимых в этом институте.

В качестве слушателей в семинаре-совещании приняли участие также сотрудники и руководители АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «КНИРТИ», АО «НИИ «Экран», АО «РАТЕП», ФГУП «РНИИРС», АО «РПКБ», АО «КРЭТ», АО «Заслон», АО «УПКБ «Деталь», АО «Тайфун», АО «НПО «Радиоэлектроника им. В. И. Шимко», Филиала ФГУП НИИР-СОНИИР, РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», АО «НИИМЭ», АО НПП «Радар-Прибор», АО «Ферроприбор», ООО «Вект», ООО «Инкотех», ООО «Эпсилон», ООО «ТТМ». Всего в мероприятии участвовали 96 специалистов из 60 предприятий и организаций.

В процессе работы семинара-совещания и по его итогам состоялся краткий обмен мнениями о состоянии исследований и разработок в рассматриваемой области техники, в ходе которых был высказан ряд соображений:

- среди российских групп разработчиков GaN-технологий и приборов существует «стихийная» кооперация, которая была бы более эффективной при наличии понятных организационных форм (возможности использования уникального технологического и испытательного оборудования, совместные работы по важнейшим направлениям, взаимная экспертиза результатов, коллективные запуски платин на фабриках и т. д.);
- роль государства не должна сводиться к финансированию некоторых опытно-конструкторских работ по созданию компонентов, образцы которых в большинстве случаев изготавливаются на зарубежных фабриках. Однако о наличии ясной дорожной карты

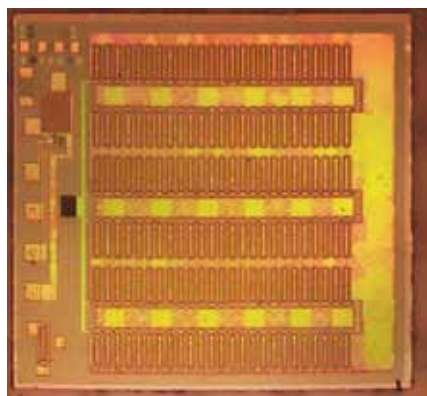


Рис. 6. Кристалл силового управляемого GaN-ключа со встроенным драйвером от АО «НПП «Пульсар»

государства по обеспечению отечественной промышленности конкурентоспособными технологиями СВЧ-приборов на нитриде галлия никому из участников мероприятия (а это практически все компании и научные группы, работающие в данной области) неизвестно;

- одним из массовых отечественных рынков для мощных GaN-компонентов, открывающихся в настоящее время, является рынок базовых станций 5G. Однако важнейшим вопросам, которые необходимо решить разработчикам и изготовителям компонентов и приборов для получения ощутимой доли на этом рынке (в том числе обеспечение линейности при усилении модулированных сигналов, создание схем повышения КПД в широком динамическом диапазоне, цифровая

линеаризация, снижение себестоимости при массовом производстве), в докладах внимания практически не уделялось;

- разработчики GaN-технологий и приборов на ее основе и разработчики радиоэлектронной аппаратуры живут «в разных измерениях», практически не пересекаясь в ежедневной работе, поэтому представления о требованиях и задачах конечных потребителей (у первых) и возможностях технологий и компонентной базы (у вторых), по большей части, не соответствуют реальности. Ликвидации этого непонимания способствуют коллективные встречи специалистов, примером которых явился семинар-совещание, организованный АО «Микроволновые системы». Несомненную пользу проведенного мероприятия подтвердили его участники в своих выступлениях. ●

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



ЭЛЕКТРОНИКА НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Р. Куэй

Перевод с англ. под ред. д. ф.-м. н. А. Г. Васильева
При поддержке ФГУП «НПП «Пульсар»

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2011. — 592 с.,
ISBN 978-5-94836-296-0

Цена 1188 руб.

В книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с выбором подложек для гетероэпитаксии, с методами изготовления гетероэпитаксиальных структур, с технологией транзисторов на этих структурах. Представленный в книге аналитический обзор охватывает свыше 1750 работ, посвященных III-N-полупроводникам, которые применяются для создания транзисторов и радиоэлектронных устройств большой мощности, работающих в СВЧ-диапазоне частот.

Рассмотрены материалы, приборы, их технология, моделирование, проблемы надежности и применения.

Предлагаемая книга, несомненно, заинтересует студентов и аспирантов, специализирующихся в областях электроники, связи и физики; инженеров, работающих по специальности «приборы и интегральные схемы, применяющиеся в исследованиях и промышленности», и ученых с широким кругом интересов к сложной электронике.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru