

УДК 621.372

В.В. Доценко, Н.Д. Малютин

Разработки аппаратуры радиолокации, приборостроения и электронной компонентной базы СВЧ: основные результаты выполнения комплексных проектов НИИ Систем электрической связи и АО «НПФ «Микран»

Приведен обзор и анализ результатов исследований и разработок сотрудников НИИ СЭС ТУСУРа и АО «НПФ «Микран», полученных при выполнении комплексных проектов по Постановлению Правительства РФ № 218 в 2010–2015 гг. Приведены результаты в направлении разработки и производства элементной базы, управляемых и пассивных устройств, радиолокации, аппаратуры измерений на СВЧ.

Ключевые слова: СВЧ-элементная база, управляемые, пассивные устройства, радиолокация, аппаратура измерений на СВЧ.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-79-85

Идея организации комплексных проектов в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» от 9 апреля 2010 г. – один из самых удачных примеров организации взаимодействия науки и реального сектора экономики России.

Сотрудничество научно-производственной фирмы «Микран» и Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУРа) имеет важное значение и для компании, и для университета. Предприятие начинало свою историю в стенах университета более 20 лет назад, ее основатель – Виктор Яковлевич Гюнтер (1945–2012). Связи с ТУСУром крепки и сегодня: компания и университет выполнили два совместных комплексных проекта в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 218. «Микран» выступил одним из инициаторов создания крупного подразделения на базе ТУСУРа – НИИ систем электрической связи, где проводятся разработки и обучают студентов по востребованным в «Микране» направлениям сверхвысокочастотной электроники, систем связи и радиолокации.

Сегодня «Микран» – одно из ведущих российских предприятий в области разработки и промышленного производства СВЧ- и КВЧ-радиоэлектроники. Компания признана лучшим инновационным предприятием Томской области, два года подряд входит в национальный рейтинг 30 высокотехнологичных и быстроразвивающихся компаний России «ТехУспех». «Микран» уверенно закрепился на отечественном рынке по ряду продукции. Активно осваивает международный рынок Европы, открыв дочернее предприятие в Италии. Осуществляет поставки оборудования в Азию. С каждым годом расширяется география поставок, привлекаются новые партнеры и тем самым возвращается утраченный статус России как одного из лидеров в радиоэлектронике.

Для сотрудников НИИ СЭС и «Микрана» деятельность начинается с научной идеи и заканчивается готовой продукцией в разных отраслях и сферах – от электронной компонентной базы СВЧ до различных видов телекоммуникационной, радиолокационной и контрольно-измерительной аппаратуры. Благодаря собственному научно-техническому потенциалу, высококвалифицированным специалистам, многие из которых являются выпускниками ТУСУРа, и взаимодействию с университетом «Микран» оперативно реагирует на возникающие потребности рынка и предлагает инновационные решения России и всему миру.

Цель настоящей работы – обзор и анализ результатов исследований и разработок сотрудников НИИ СЭС ТУСУРа и АО «НПФ «Микран», полученных при выполнении комплексных проектов по Постановлению Правительства РФ № 218 в 2010–2015 гг.

Разработка и производство элементной базы

Создание монолитных интегральных схем (МИС), транзисторов, диодов СВЧ на основе гетероструктур GaAs и их технологии являлось одной из главных целей комплексных проектов, выполнявшихся по договорам 13.G25.31.0011 от 07 сентября 2010 г. и 02.G25.31.0091 от 25.05.2013 г. с Минобрнауки РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. Основные результаты этого направления отражены в работах [1–56].

В 2010–2015 гг. решен ряд технологических задач, направленных на создание СВЧ-транзисторов, диодов и МИС СВЧ:

- разработка технологии резист-процессинга для производства гетероструктурных СВЧ-транзисторов и диодов;
- разработка бездрагметальной металлизации в монолитных интегральных схемах, конкурирующей с металлизацией золотом;
- создание функционального ряда МИС: детекторов, смесителей, удвоителей, усилителей.

В [1] представлен способ формирования наноразмерного затвора с длиной основания менее 70 нм для GaAs-СВЧ-транзисторов с высокой подвижно-

стью электронов. Авторы работы провели моделирование и эксперимент, что позволило сделать заключение о том, что применение углового напыления тонких пленок позволяет сформировать затворы с длиной основания менее 70 нм при предельном размере щели в резистивной маске 200 нм. Длина затвора зависит от угла, под которым ориентирована подложка относительно поверхности в процессе напыления тонких пленок. На рис. 1 представлено микроскопическое изображение сформированного предложенным способом затвора с длиной основания 52,5 нм.

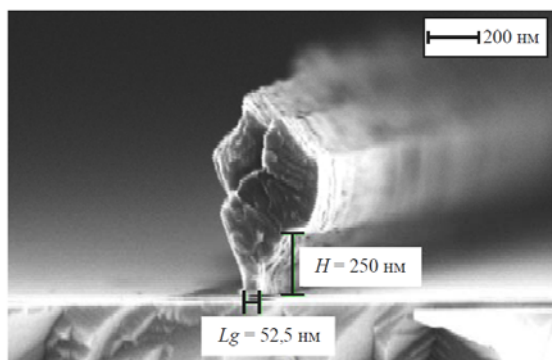


Рис. 1. Микроскопическое изображение наноразмерного затвора с длиной основания 52,5 нм

Проведен цикл исследований [2–5], направленных на замену металлизации в монокристаллических интегральных схемах из золота на медь или ее сплавы с другими металлами. О разработке бездрагметалльного GaAs-pHEMT-транзистора с субмикронным Т-образным затвором сообщено в публикации [2]. Омические контакты выполнены на основе Cu/Ge, а Т-образный затвор – из Ti/Mo/Cu с длиной основания 150 нм. Разработанный транзистор имел следующие параметры: максимальный ток стока 360 мА/мм, напряжение пробоя затвор-сток 7 В и максимальную крутизну 320 мСм/мм при напряжении $V_{си} = 3$ В. Коэффициент усиления по току составлял 15 дБ на частоте 10 ГГц. Максимальная частота усиления по току составляла 60 ГГц при $V_{си} = 3$ В.

На рис. 2 показано микроскопическое изображение GaAs pHEMT-транзистора с Ti/Mo/Cu затвором с длиной основания 150 нм [2].

Разработаны и исследованы GaAs-СВЧ-транзисторы с металлизацией на основе Al и Cu [3, 4].

Успешно выполнены работы по технологии изготовления омических контактов к n+-GaAs и другим структурам на основе Pd/Ge/Ta/Cu [5], Cu/Ge [6], Ge/Au/Ni/Ti/Au [7].

Большое место в разработках элементной базы занимает создание функционально готовых устройств, выполняемых в виде монокристаллических интегральных схем СВЧ [8–11].

В работах [8, 9] представлены результаты создания и исследования пассивных балансных удвоителей частоты в монокристаллическом интегральном исполнении.

В удвоителях применены GaAs диоды Шоттки, разработанные по технологии ЗАО «НПФ «Микран». В качестве симметрирующих устройств слу-

жат трансформаторы на основе мостов Маршанда. Микросхемы обеспечивают умножение входной частоты в диапазонах 6–13 и 13–25 ГГц.

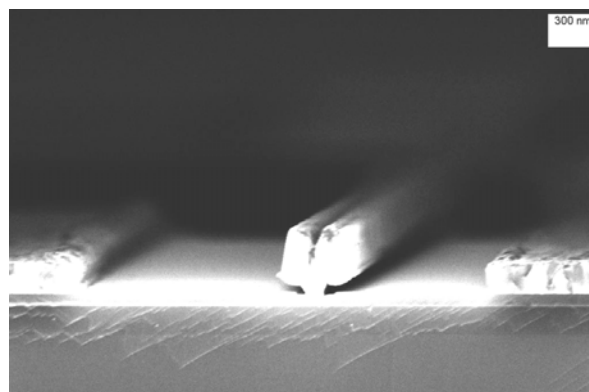


Рис. 2. Микроскопическое изображение GaAs-pHEMT-транзистора с Ti/Mo/Cu затвором с длиной основания 150 нм

На рис. 3 показаны результаты измерений потерь преобразования и подавления гармоник первого и высшего порядков. Подавление гармоник измерялось при входной мощности +15 дБм, графики подавления гармоник построены относительно этого уровня.

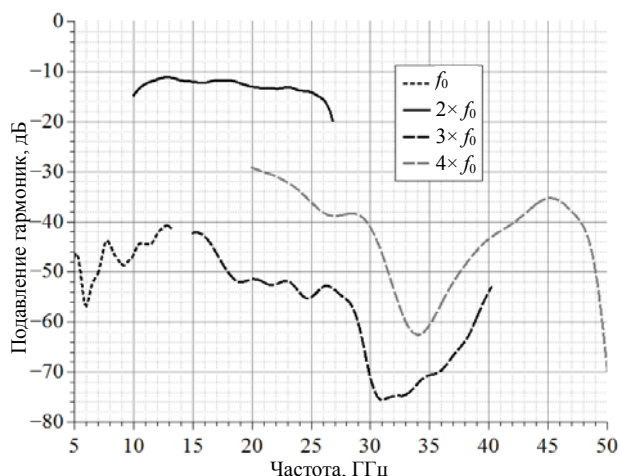


Рис. 3. Потери преобразования и уровень подавления гармоник МИС MD701 [8]

Значительные успехи достигнуты в создании сверхширокополосных детекторов [10–14]. В работе [10] описаны монокристаллические интегральные схемы детекторов проходящей мощности. Они могут включаться в разрыв линии передачи (коаксиальной или полосковой), дают возвратные потери не хуже –12 дБ по выходу и –18 дБ по входу, вносят потери на проход 2 дБ.

Топология МИС детектора показана на рис. 4. Отличительной особенностью изделий является широкий частотный диапазон: от 10 МГц до 40 ГГц. Устройства изготовлены в ЗАО «НПФ «Микран» на основе собственной технологии арсенид-галлиевых низкобарьерных диодов [15].

В статье [16] представлены результаты разработки серии монокристаллических интегральных схем широ-

кополосных смесителей и удвоителей частоты, выполненных на основе 0,25 мкм GaAs-pHEMT-технологии ЗАО «НПФ «Микран».

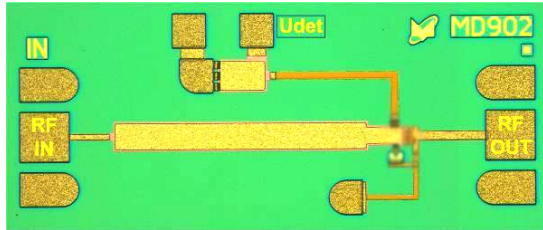


Рис. 4. Фото кристалла МИС детектора [10]

С созданием интегральных схем широкополосных смесителей и удвоителей частоты была решена задача замещения аналогов зарубежного производства. Микросхемы применяются в выпускаемой аппаратуре. На рис. 5 представлены фотографии топологий кристаллов МИС.

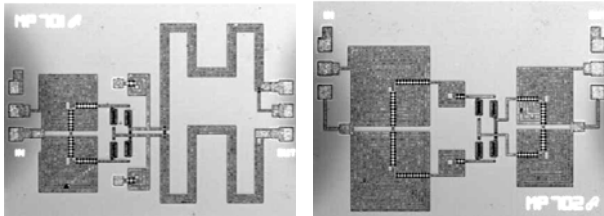


Рис. 5. Фотографии кристаллов МИС [16]

Прогресс в разработке МИС-усилителей был обеспечен постановкой технологических работ по получению наноразмерных и субмикронных затворов СВЧ-транзисторов при реализации электронной и оптической литографии в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа и в НПЦ «Микроэлектроника» АО «НПФ «Микран». Освоение электронной литографии в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа позволило получить разрешение 40 нм. Применение метода оптической литографии в НПЦ «Микроэлектроника» позволило значительно уменьшить стоимость приборов и отработать технологию увеличения разрешающей способности литографии для ряда приборов [1]. Так, в работе [17] описана технология изготовления субмикронного Т- и Г-образного затвора для мощных транзисторов. По разработанной технологии изготовлен макет транзистора с затвором длиной 0,2 мкм. На рис. 6 показана микрофотография макета транзистора.

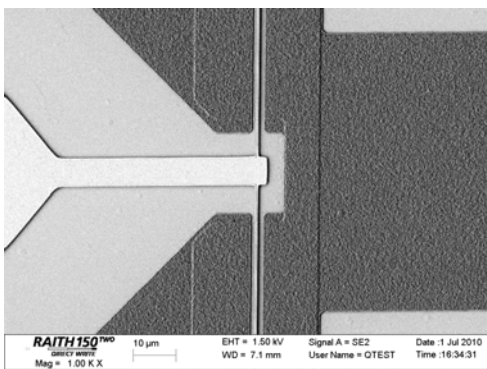


Рис. 6. Макет транзистора с 0,2 мкм Т-образным затвором [17]

В результате проведенного цикла работ по разработке усилителей [18–22] были созданы GaAs МИС:

- микросхема усилителя мощности Ka-диапазона частот [18];
 - МИС буферного усилителя X-диапазона [19];
 - МИС малошумящего усилителя X-диапазона [20];
 - МИС усилителя распределенного усиления [21].
- Фотография МИС буферного усилителя показана на рис. 7.

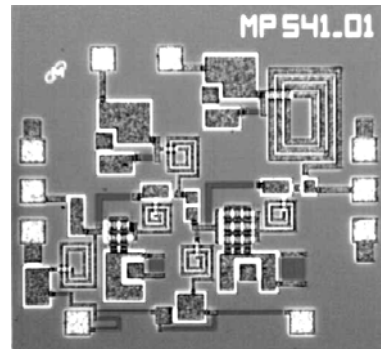


Рис. 7. Фотография кристалла буферного усилителя. Размеры кристалла 1,0×1,0×0,1 мм [19]

На рис. 8 представлены расчетные (помечены квадратными маркерами) и экспериментальные (помечены треугольными маркерами) частотные характеристики буферного усилителя.

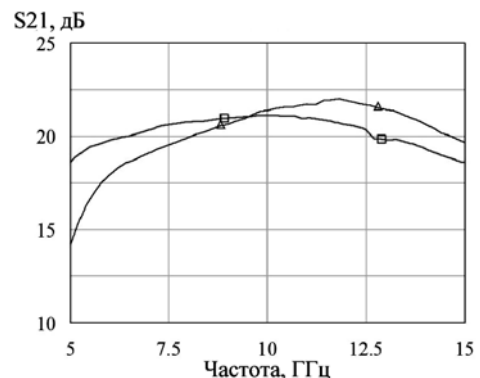


Рис. 8. Расчетные (квадраты) и экспериментальные (треугольники) частотные характеристики буферного усилителя

Создание МИС сопровождалось исследованием по построению моделей транзисторов и всех входящих в МИС элементов для получения однозначных результатов проектирования, когда достаточно одной итерации изготовления микросхемы для достижения заданных параметров. В работе [22] проведено восстановление нелинейной модели ПТШ с шириной затвора 600 нм, выполненного по GaAs-pHEMT-технологии АО «НПФ Микран». Восстановление проведено на основе результатов экспериментальных данных параметров рассеяния и вольт-амперных характеристик в малосигнальном режиме.

Пассивные и управляемые устройства

Для применения в измерительных приборах и диаграммобразующих устройствах разработаны:

- направленные мосты диапазона 300 кГц – 13,5 ГГц [23];
- широкополосные дискретные недисперсионные фазовращатели (линии задержки) [24, 25];
- новый тип направленных устройств – транс-направленные ответвители [26, 27];
- сверхширокополосные направленные ответвители СВЧ-диапазона [28];
- сверхширокополосные фиксированные аттенюаторы СВЧ-диапазона [29];
- сверхширокополосные направленные мосты для векторного анализатора цепей диапазона СВЧ [30];
- коаксиальные калибровочные меры [31].

Элементная база включает управляемые устройства: аттенюаторы, фазовращатели. В работе [32] описана монолитная интегральная схема 6-разрядного фазовращателя, выполненного на основе 0,25 мкм GaAs-pHEMT-технологии ЗАО «НПФ «Микран». Рабочая полоса частот 1,2–1,4 ГГц, максимальный фазовый сдвиг 355°, минимальный фазо-

вый сдвиг 5,6°, потери в опорном состоянии не более 7,5 дБ, паразитная амплитудная конверсия менее $\pm 0,5$ дБ, возвратные потери по входу/выходу не менее 15 дБ, тип сигналов управления – уровни ТТЛ.

Перечисленные устройства были изготовлены как опытные образцы, исследованы. В настоящее время большая их часть выпускается серийно.

Радиолокация

Прогресс в создании электронных компонент СВЧ и быстрое развитие цифровых методов обработки сигналов определяют новые подходы к проектированию радиоэлектронных средств мониторинга окружающего пространства.

Важнейшей составляющей систем мониторинга являются радиолокационные системы, принципы функционирования которых основаны на использовании сложных сигналов с большим произведением занимаемой ими полосы частот Δf на их длительность $T_{\text{п}}$, а также систем с многоканальной пространственной обработкой электромагнитных сигналов [33–36].

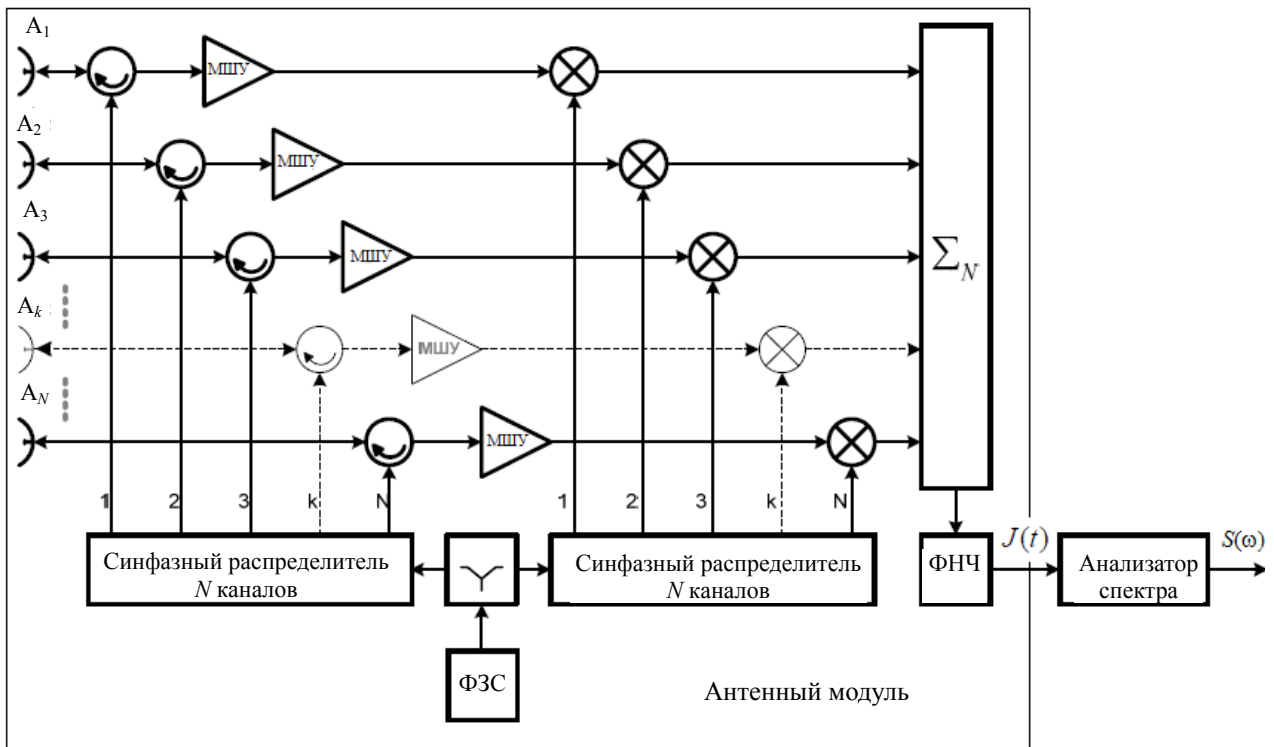


Рис. 9. Устройство радиолокационного сенсора с пространственным распараллеливанием канала формирования и гомодинной обработкой непрерывного ЛЧМ-радиосигнала

В работе [33] решена задача повышения энергетического потенциала РЛС с непрерывным ЛЧМ-сигналом. Показано, что реальный выигрыш ~ 10 – 20 дБ в энергетическом потенциале РЛС с непрерывным ЛЧМ-излучением позволяет расширить сферу ее применения. Например, при средней излучаемой мощности 1 Вт, что достигается при числе каналов $N \sim 10$ – 2 , энергетический потенциал РЛС по схеме рис. 9 позволяет (при длительности периода линейной частотной модуляции $T \approx 5$ – 10 мс и типовой антенне судовой РЛС 3 см диапазона волн с ко-

эффициентом усиления ~ 30 дБ уверенно обнаруживать речной навигационный буй (ЭПР ~ 10 м²) на фоне водной поверхности с расстояния более чем 3 морские мили. Указанные характеристики позволяют использовать такие РЛС в составе навигационного оборудования малых речных судов

Разработан и исследован радиолокационный сенсор 8-миллиметрового диапазона [36] с непрерывным излучением с низким пиковым уровнем мощности (LPI-радар) и гомодинной обработкой ЛЧМ-сигнала. Его практическая реализация показана

ла, что доступная элементная база позволяет производить сенсоры Ка-диапазона. В качестве иллюстрации работы сенсора на рис. 10 показано радиолокационное изображение летного поля аэродрома, на котором отчетливо видны фонари, разметки, здания и снежные брустверы.

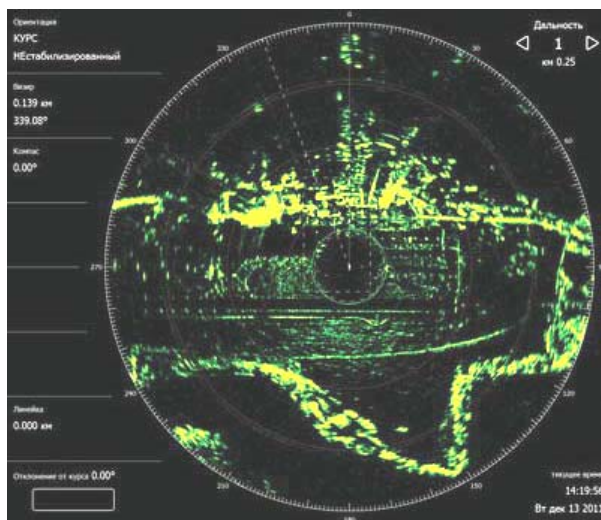


Рис. 10. Радиолокационное изображение летного поля аэродрома

Решение задач построения РЛС и систем связи неразрывно связано с совершенствованием входящих в них узлов и антенн. Этим вопросам в комплексных проектах уделялось большое внимание. В ряде публикаций [37–41] отражены результаты разработки методов коррекции дисбаланса квадратурных составляющих в передающем устройстве [37], создания генераторов с низким уровнем фазовых шумов [38], проектирования универсальных генераторов [39], расчета и измерения параметров антенн [40–42].

Аппаратура измерений на СВЧ

Прогресс в создании радиолокационной и телекоммуникационной аппаратуры был бы невозможен без решения задач измерений параметров устройств и систем на СВЧ. Поэтому комплексные проекты включали это направление исследований и производства как органическую составляющую крупных проектов.

В период 2010–2015 гг. решалась задача продвижения рабочих частот производимых векторных анализаторов цепей и анализаторов спектра в более высокие диапазоны частот до 50 ГГц. Эта задача сама по себе рассматривалась как комплексная, потому что разработка новых приборов требует тщательного изучения вопросов получения метрологических параметров составляющих компонент и узлов.

Некоторые результаты периода выполнения комплексных проектов в направлении создания и исследования методов измерений и их аппаратной реализации отражены в [43–56]. Основным итогом этих и ранее упомянутых работ по созданию элементной базы состоит в следующем:

1. Созданы опытные образцы векторного анализатора цепей и анализатора спектра с верхней частотой 50 ГГц.

2. Решены вопросы автоматизации калибровки приборов.

3. Разработаны средства калибровки по КСВ и потерям.

4. Разработаны комплектующие узлы, перспективные для применения в составе средств измерений следующих поколений.

Заключение

Выполнение комплексных проектов исходя из концепции максимально полного обеспечения комплектации систем узлами и компонентами СВЧ собственной разработки и производства позволило не только получить значимые результаты в период реализации работ, но и обеспечить перспективные разработки будущего. Особо следует отметить рост уровня компетенций сотрудников университета и предприятия, которые являются определяющими не только для успешности реализации исследовательских и производственных планов, но и основой для совершенствования учебного процесса в университете по профильным специальностям.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю глубокую признательность всем авторам цитированных работ, их труд стал решающим фактором выполнения сложных комплексных проектов. Слова благодарности мы адресуем также Шурыгину Юрию Алексеевичу и Шелупанову Александру Александровичу, поддерживавшим коллективы исполнителей на всех стадиях выполнения комплексных проектов. Отмечаем и благодарим Попову Татьяну Николаевну, чья работа по сопровождению проектов была продуктивной и во многом способствовала их успешности.

Литература

1. Ерофеев Е.В. Способ формирования наноразмерного затвора для GaAs СВЧ-транзисторов с высокой подвижностью электронов / Е.В. Ерофеев, А.И. Казимиров, И.В. Кулинич // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), ч. 1. – С. 53–56.
2. Ерофеев Е.В. Разработка бездрагметалльного GaAs-pHEMT-транзистора субмикронным Т-образным затвором / Е.В. Ерофеев, В.А. Кагадей, С.В. Ишуткини др. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22), ч. 1. – С. 183–186.
3. Ерофеев Е.В. Разработка GaAs-СВЧ-транзисторов с металлизацией на основе Al и Cu / Е.В. Ерофеев, А.И. Казимиров // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), ч. 1. – С. 47–52.
4. Erofeev E.V. A gold free aluminum metalized GaAs-PHEMT with copper based air bridges and backside / E.V. Erofeev, V.S. Arykov, E.V. Anishchenko et al // IEEE Journal of the devices society. – 2013. – Vol. 1, No 12. – P. 191–195.
5. Ерофеев Е.В. Омический контакт к n+-GaAs с торцевым диффузионным барьером / Е.В. Ерофеев, А.И. Казимиров, С.В. Ишуткин, В.А. Кагадей // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4(30). – С. 62–66.
6. Anichenko E.V. Copper-Metalized GaAs-pHEMT with Cu/Ge Ohmic Contacts / E.V. Anichenko, V.S. Arykov, E.V. Erofeev, V.A. Kagadei // International Journal of Microwave Science and Technology. – 2012. – Article ID 418264. – P. 1–5.
7. Erofeev E.V. Features of the formation of a low-resistance Ge/Au/Ni/Ti/Au ohmic contact to n-i-GaAs /

E.V. Erofeev, V.A. Kagadei // Russian Microelectronics. – 2012. – Vol. 41, No. 3. – P. 179–186.

8. Drobotun N.B. Broadband GaAs MMIC frequency doublers with improved harmonic suppression / N.B. Drobotun, A.V. Drozdov // IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS 2015). – 2015.

9. Дроботун Н.Б. МИС широкополосных удвоителей частоты / Н.Б. Дроботун, А.В. Дроздов // 25th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 6–12 September 2015, Sevastopol, Crimea, Russia // 2015: CriMiCo'2015 Organizing Committee; IEEE Catalog Number: CFP15788. – P. 93–94.

10. Загородний А.С. Сверхширокополосные детекторы проходящей мощности / А.С. Загородний, Н.Н. Воронин, Г.Г. Гошин и др. // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 7–13 September 2014, Sevastopol, Crimea, Russia: 2014: CriMiCo'2014 Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP14788. – P. 87–88.

11. Zagorodny A.S. Ultrawideband power detector GaAs MMIC's / A.S. Zagorodny, N.N. Voronin, I.V. Yunusov, V.A. Gushchin // Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 15th International Conference of Young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). – Novosibirsk 2014.

12. Zagorodny A.S. Ultra wideband directional and unidirectional power detectors / A.S. Zagorodny, A.V. Drozdov, N.N. Voronin, I.V. Yunusov // 16th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. – P. 126–129.

13. Воронин Н.Н. МИС сверхширокополосных детекторов мощности с динамическим диапазоном 70 дБ / Н.Н. Воронин, А.С. Загородний, Г.Г. Гошин и др. // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 7–13 September 2014, Sevastopol, Crimea, Russia: 2014: CriMiCo'2014 Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP14788. – С. 77–78.

14. Zagorodny A.S. Modeling and Application of Microwave Detector Diodes / A.S. Zagorodny, A.V. Drozdov, N.N. Voronin, I.V. Yunusov // Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 14th International Conference of Young Specialists. – Novosibirsk, 2013. – P. 96–99.

15. Юнусов И.В. Сверхвысокочастотные низкочастотные детекторные диоды на основе р–п-перехода / И.В. Юнусов, А.М. Ющенко, А.Ю. Плотникова и др. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – № 9/2. – С. 294–297.

16. Арыков В.С. Серия GaAs МИС широкополосных преобразователей частоты / Сб. докл. Всерос. конф. «Микроэлектроника СВЧ» // В.С. Арыков, А.А. Баров, А.В. Кондратенко, Д.С. Хохол. СПб., 2012. – С. 154–158.

17. Арыков В.С. Разработка мощных полевых транзисторов с субмикронным Т-образным затвором Шоттки, полученным методом оптической литографии / В.С. Арыков, А.М. Гаврилова // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 86–88.

18. Шишкин Д.А. Микросхема усилителя мощности Ка-диапазона частот / Д.А. Шишкин, В.С. Арыков, Е.И. Ерофеев, М.В. Степаненко // 25th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 6–12 September 2015, Sevastopol, Crimea, Russia. – 2015: CriMiCo'2015 Organizing Committee. – P. 103–104.

19. Баров А.А. GaAs МИС буферного усилителя Х-диапазона / А.А. Баров, В.С. Арыков // Сб. докл. Всерос. конф. «Микроэлектроника СВЧ». СПб., 2012. – С. 149–153.

20. Кондратенко А.В. GaAs-МИС маломощного усилителя Х-диапазона / А.В. Кондратенко, А.А. Баров, В.С. Арыков. // Сб. докл. Всерос. конф. «Микроэлектроника СВЧ». – СПб., 2012 – С. 160–164.

21. Арыков В.С. GaAs МИС усилителя распределенного усиления / В.С. Арыков, В.Д. Дмитриев, В.М. Коротаев, Д.А. Шишкин // Сб. докл. Всерос. конф. «Микроэлектроника СВЧ». – СПб., 2012. – С. 165–168.

22. Баров А.А. Восстановление нелинейной модели GaAs pHEMT-СВЧ-транзистора / А.А. Баров, Ю.Н. Бидененко, А.В. Кондратенко // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 137–139.

23. Drobotun N. A 300kHz–13.5GHz directional bridge // Proceedings of the 45th European Microwave Conference. – Paris, France, 2015. – P. 287–290.

24. Широкополосные дискретные недисперсионные фазовращатели на основе эффекта кратного изменения фазовой скорости в многосвязных полосковых структурах с существенно неуравновешенной электромагнитной связью при сохранении согласования в широкой полосе частот / Н.Д. Малютин, А.Г. Лоцилов, В.Н. Федоров, Д.Д. Зыков // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 4(34). – С. 22–30.

25. Малютин Н.Д. Эффект кратного изменения фазовой и групповой скорости бегущих волн в широкополосных микроволновых устройствах на основе полосковых структур с сильно неуравновешенной электромагнитной связью / Н.Д. Малютин, А.Г. Лоцилов, А.Н. Сычев, А.Н. Малютин // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 7–13 September, Sevastopol, Crimea, Russia. – 2014. – Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP14788. – P. 567–569.

26. A novel trans-directional coupler based on vertically installed planar circuit / A.N. Sychev, S.M. Struchkov, V.N. Putilov, N. Yu. Rudyi // Proceedings of the 45th European Microwave Conference. – Paris, France, 2015. – P. 283–286.

27. Сычев А.Н. Системы параметров одинаковых связанных линий с неуравновешенной электромагнитной связью / А.Н. Сычев, С.М. Стручков // Доклады ТУСУРа. 2014. – № 1(31). – С. 39–50.

28. Анализ и моделирование сверхширокополосного направленного ответвителя СВЧ-диапазона / Г.Г. Гошин, С.Ю. Екимов, О.Ю. Морозов и др. // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 201–208.

29. Анализ и моделирование сверхширокополосных фиксированных аттенуаторов СВЧ-диапазона / Г.Г. Гошин, С.Ю. Екимов, В.П. Семибратов, А.В. Фатеев // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 223–226.

30. Сверхширокополосный направленный мост для векторного анализатора цепей диапазона СВЧ / Ф.А. Михеев, Г.Г. Гошин, А.В. Фатеев, М.С. Ройтман // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 219–222.

31. Коаксиальные калибровочные меры / Е.В. Андронов, Г.Г. Гошин, В.П. Семибратов и др. // 21st Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2011). 12–16 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine. – 2011. – Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP11788. – С. 877–878.

32. Баров А.А. GaAs МИС дискретного фазовращателя L-диапазона частот / А.А. Баров, А.В. Кондратенко, Д.С. Хохол // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), ч. 2. – С. 32–35.

33. Доценко В.В. Повышение энергетического потенциала РЛС с непрерывным ЛЧМ-сигналом / В.В. Доценко, М.В. Осипов, В.А. Хлусов // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 1(23). – С. 29–33.

34. Пат. на полезную модель № 94723 РФ, МПК G01S 13/00. Радиолокационная обзорная станция / В.В. Доценко, М.В. Осипов, В.А. Хлусов и др., заявл. 01.02.2010, опубл. 27.05.2010.

35. Пат. № 2460087 РФ, МПК G01S 13/00. Радиолокационная станция с широкополосным непрерывным линейно частотно-модулированным излучением / В.А. Хлусов

сов, В.В. Доценко, В.Я. Гюнтер и др., заявл. 28.10.2010, опубл. 27 августа 2012.

36. Khlusov V.A. LPI KA-band radar sensor / V.A. Khlusov, M.E. Rovkin, V.V. Dotsenko et al. // 2012 22nd Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2012). 10–14 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine. – P. 1090–1091.

37. Абраменко А.Ю. Метод коррекции дисбаланса квадратурных составляющих в передающем устройстве / А.Ю. Абраменко, Г.Г. Гошин // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 3(33). – С. 5–10.

38. Gorevoy A. Low noise oscillator based on a conventional dielectric resonator // Microwave Journal: 2013. – P. 84–94.

39. Абраменко А.Ю. Структура универсального генератора сигналов / А.Ю. Абраменко, Г.Г. Гошин // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 3(29). – С. 5–9.

40. Попов Д.А. Широкополосная узконаправленная антенна X-диапазона / Д.А. Попов, Ю.И. Буянов, В.А. Хлусов, Е.А. Клинушин // 21st Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2011). 12–16 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine. – 2011. – Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP11788. – P. 533–534.

41. Дмитриченко Е.В. Возимая всенаправленная антенна для системы широкополосного беспроводного доступа «WiMic» // Доклады ТУСУРа. – № 2 (24), ч. 1. – 2011. – С. 190–192.

42. A system for measurement of electromagnetic wave scattered by small UAVs. / A.V. Khristenko, M.O. Konovalenko, M.E. Rovkin et al. // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – 2017. – P. 1–5.

43. Гошин Г.Г. Измерение экранного затухания радиочастотных коаксиальных соединителей и переходов / Г.Г. Гошин, В.П. Семибратов // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 7–13 September 2014, Sevastopol, Crimea, Russia. CriMiCo'2014 Organizing Committee; CrSTC. IEEE 940 Catalog Number: CFP14788. – P. 940–941.

44. Ладур А.А. Электронный калибратор векторного анализатора цепей // 22nd Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2012). 10–14 September 2012, Sevastopol, Crimea, Ukraine: CriMiCo'2012 Organizing Committee; CrSTC. IEEE Catalog Number: CFP12788. – P. 839–840.

45. Андронов Е.В. Коаксиальные калибровочные меры / Е.В. Андронов, Г.Г. Гошин, В.П. Семибратов и др. // 21st Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2011). 7–13 September 2011, Sevastopol, Crimea, Russia. CriMiCo'2011 Organizing Committee; CrSTC. IEEE 940 Catalog Number: CFP11788. – P. 877–878.

46. Воронин Н.Н. Измерительный комплекс для анализа искажений, возникающих при прохождении полосовых сигналов через нелинейные устройства / Н.Н. Воронин, А.Ю. Абраменко, Г.Г. Гошин // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 1 (31). – С. 11–15.

47. Гошин Г.Г. Исследование влияния неидеальности направленного устройства на точность измерения коэффициента отражения / Г.Г. Гошин, Ф.А. Михеев // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 3 (33). – С. 11–15.

48. Савин А.А. Расчет коэффициента отражения верификационного стандарта Битти с помощью частотно-временной модели / Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), ч. 2. – С. 46–50.

49. Воропаев О.С. Стенд для измерения амплитудно-фазовых распределений тока вдоль провода и исследования структуры электрического поля в околпроводном пространстве // О.С. Воропаев, Г.Г. Гошин // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 2. – С. 49–53.

50. Ладур А.А. СВЧ-зонды для измерения характеристик планарных элементов интегральных схем / Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 1. – С. 178–179.

51. Волков К.В. Виртуальный векторный анализатор сигналов на базе технологии CUDA // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 1 (23). – С. 164–167.

52. Назаров М.А. Абсолютная калибровка сверхкороткоимпульсного измерителя нелинейных характеристик цепей / М.А. Назаров, Э.В. Семенов // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 3 (29). – С. 38–42.

53. Губа В.Г. Классификация и анализ методов калибровки векторных анализаторов цепей / В.Г. Губа, А.А. Ладур, А.А. Савин // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 149–155.

54. Губа В.Г. Применение метода определения параметров устройств с малыми потерями для тестирования смесителей частот / В.Г. Губа, А.А. Савин // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 145–148.

55. Гельцер А.А. Особенности применения chirp-z-преобразования в панорамном векторном анализаторе цепей при реализации опции измерений во временной области / А.А. Гельцер, В.Н. Ульянов // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 162–165.

56. Губа В.Г. Калибровка и применение векторного анализатора цепей для определения параметров частотно-преобразующих устройств / В.Г. Губа, А.А. Савин, В.Н. Ульянов // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), ч. 1. – С. 156–161.

Доценко Владимир Викторович

Генеральный директор АО «НПФ «Микран»

Тел.: +7 (382-2) 900-029

Эл. почта: dvv@micran.ru

Малютин Николай Дмитриевич

Директор НИИ СЭС, проф. каф. КУДР

Тел.: +7 (382-2) 52-79-42

Эл. почта: ndm@main.tusur.ru

Dotsenko V.V., Malyutin N.D.

Development of radar equipment, microwave measurements and electronic component base: the main results of the implementation of complex projects of the Research Institute of Electrical Communications Systems and JSC «NPF» Micran»

We review and analyze the research and development results of the Research Institute of Electrical Communications Systems and JSC «NPF «Micran» obtained during the implementation of complex projects under the resolution of the Government of the Russian Federation No. 218 in 2010–2015 years. The results of development and production are given in the direction of the element base, controlled and passive devices, radars, microwave measurement equipment.

Keywords: microwave element base, controlled devices, passive devices, radar, microwave measurement equipment.