

**Резюме проекта НИР,  
Выполняемого в рамках ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и  
радиоэлектроники» на 2008-2015 годы**

Номер контракта: 14.427.12.0001 от 30 сентября 2013 г.

Тема: **Исследование перспективных типов сверхвысококачественных приборов, разработка технологических принципов их изготовления (монолитные интегральные схемы усилителей для диапазона частот 92-96 ГГц)**

Приоритетное направление: **Информационно-телекоммуникационные системы**

Критическая технология: **Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств**

Период выполнения: 30.09.2013 – 15.11.2015 гг.

Плановое финансирование проекта: - 27,9 млн. руб.,

Бюджетные средства - 19,5 млн. руб.,

Внебюджетные средства - 8,4 млн. руб.

Исполнитель: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сверхвысококачественной полупроводниковой электроники Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН).**

117105, Москва, Нагорный проезд д.7, стр.5

Ключевые слова: НЕМТ наногетероструктуры AlGaIn/AlN/GaN, W-диапазон, монолитная интегральная схема, усилитель мощности, малошумящий усилитель, электронно-лучевая литография.

### **1. Цель исследования, разработки**

Целью работы является исследование и разработка конструктивно-технологических методов формирования перспективных гетероструктур на основе нитрида галлия на сапфировых подложках и создание на этих гетероструктурах монолитных интегральных схем усилителя мощности и малошумящего усилителя с минимальным топологическим размером на уровне 45 нм для диапазона частот 92-96 ГГц (далее - МИС УМ и МИС МШУ, соответственно).

Разработка и изготовление экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ для диапазона частот 92-96 ГГц, предназначенных для широкого применения в современных системах беспроводной передачи данных и связи, исследование их характеристик.

### **2. Основные результаты проекта**

Проведенные патентные исследования подтвердили, что данное направление СВЧ техники является востребованным и интенсивно развивается ведущими дизайн-центрами мира. При успешной реализации данной работы возможно получение охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности.

Выбраны отечественные гетероструктуры AlGaIn/AlN/GaN/Сапфир и разработан новый технологический процесс, оптимизированный для создания транзисторов и усилителей для диапазона частот 90-100 ГГц на их основе, а также разработана тестовая матрица активных и пассивных элементов. Изготовлены и исследованы тестовые пластины с этими элементами.

Разработана маршрутная карта технологии изготовления гетероструктур на основе нитрида галлия на сапфировых подложках и изготовлены макеты гетероструктур на основе нитрида галлия на сапфировых подложках в количестве 2 штук. Проведены их исследование и измерение. Величины электрофизических параметров гетероструктуры при комнатной температуре составляют: подвижность 1289 -1108 (см<sup>2</sup>/В\*с), слоевая концентрация -  $1.9 \cdot 10^{13}$  -  $2.1 \cdot 10^{13}$  (см<sup>-2</sup>), слоевое сопротивление 242 - 296 (Ом).

Созданы модели транзисторов и спроектированы два трехкаскадных усилителя, которые могут являться как усилителями мощности, так и малошумящими усилителями.

Разработана маршрутная карта технологии изготовления экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ.

Проведена разработка эскизной конструкторской и технологической документации для четырех экспериментальных образцов МИС: двухкаскадный МШУ, трехкаскадный МШУ, двухкаскадный УМ, трехкаскадный УМ и разработан комплект фотошаблонов для изготовления экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ.

Основой для комплекта фотошаблонов является базовый рабочий модуль размером 5,35x5,1 мм. Всего на пластине диаметром 50 мм помещаются 44 полных базовых рабочих

модуля. Комплект фотошаблонов состоит из восьми стекол. Размер стекла фотошаблона составляет 127x127 мм. Размер рабочего поля фотошаблона составляет 74,9 x 76,5 мм.

Проведена корректировка маршрутной карты технологии изготовления гетероструктур на основе нитрида галлия на сапфировых подложках. Изменения, внесенные в процесс изготовления гетероструктур, являются результатом исследования, направленного на улучшение морфологии поверхности и гетерограниц в осаждаемых пленках нитридов за счет изменения условий осаждения зародышевых и переходных слоев. Применение разработанного подхода позволяет значительно улучшить качество изготавливаемых гетероструктур.

Разработаны программы и методики исследований СВЧ характеристик экспериментальных образцов МИС МШУ и МИС УМ. Разработанные методики регламентируют проведение измерений малосигнальных S-параметров, выходной мощности и коэффициента шума экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ. Методики предполагают проведение измерений контактным методом, основанным на контакте СВЧ зондов и зондов питания с исследуемыми экспериментальными образцами МИС УМ и МИС МШУ.

Изготовлен комплект фотошаблонов для изготовления экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ. Комплект фотошаблонов состоит из восьми стекол. Комплект фотошаблонов позволяет проводить изготовление экспериментальных образцов МИС УМ и МИС МШУ на рабочих пластинах диаметром от 50 мм до 70 мм.

Проведены дополнительные патентные исследования по ГОСТ Р 15.011-96. Установлено, что примененное в рамках настоящей НИР топологическое решение для построения двухкаскадной МИС МШУ является оригинальным объектом интеллектуальной собственности, подлежащим правовой охране. Подана заявка на регистрацию топологии интегральной микросхемы «Двухкаскадный малошумящий усилитель W-диапазона».

За счет привлеченных внебюджетных средств:

разработаны методы сухой резки созданных гетероэпитаксиальных структур на кристаллы МИС УМ и МИС МШУ. Предложена конструкция реактора с оптической системой ввода и фокусировки лазерного пучка на объекте резки. В качестве базового лазера для проведения экспериментов предложен импульсный лазер на парах меди. Резка проводится лазерным плазмохимическим методом с использованием четыреххлористого углерода. Перспективным реагентом для плазмохимической лазерной резки также является HCl. Дальнейшие исследования позволят определить оптимальные режимы резки;

исследованы методы и средства измерений СВЧ характеристик разрабатываемых МИС;

разработан и изготовлен стенд для измерения СВЧ характеристик МИС;

проведена наладка и доработка стенда для измерения характеристик разрабатываемых МИС УМ и МИС МШУ. Доработанный стенд позволяет проводить измерения выходной мощности МИС УМ и МИС МШУ в диапазоне частот 90 - 94 ГГц и диапазоне мощностей 0 - 50 дБм;

разработана эскизная конструкторская документация по созданию макета оборудования для сухой резки разрабатываемых гетероэпитаксиальных структур на кристаллы МИС УМ и МИС МШУ.

## **2. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки**

В ходе выполнения 3 этапа подана заявка на регистрацию топологии интегральной микросхемы от 24.10.2014 «Двухкаскадный малошумящий усилитель W - диапазона».

## **3. Назначение и область применения результатов проекта**

Разрабатываемые монолитные интегральные схемы на основе структур нитрида галлия для диапазона частот 92 – 96 ГГц должны быть предназначены для применения в перспективных системах беспроводной передачи данных и связи, для обеспечения сбора и передачи потоков информации со скоростями до 5 Гбит/с.

## **4. Эффекты от внедрения результатов проекта**

В результате выполнения данной НИР и постановки последующих ОКР может быть ликвидировано отставание России в области производства монолитных интегральных схем диапазона частот до 100 ГГц. Будет создан задел для последующего промышленного производства МИС УМ и МШУ для систем телекоммуникаций на базе НЕМТ наногетероструктур AlGaIn/AlIn/GaN.

## **5. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

По результатам проведения НИР будут получены 2 свидетельства о регистрации

топологий интегральных микросхем (ИМС), а также возможно оформление ноу-хау по разрабатываемой технологии изготовления образцов МИС. Будет создан проект ТЗ на ОКР по разработке монолитных интегральных схем на структурах нитрида галлия, обеспечивающих создание приемо-передающих устройств для систем телекоммуникаций, работающих в диапазоне частот 92-96 ГГц.

Коммерциализация результатов будет осуществляться путем реализации зарегистрированных топологий интегральных микросхем при проведении предлагаемой ОКР предприятиями холдинга ОАО «Российская электроника» (ОАО «НПП «Исток» им. Шокина», ОАО «НПП «Пульсар», ОАО «ОКБ-Планета») в рамках совместных работ по технологической платформе «СВЧ технологии».

Научный руководитель НИР,  
директор ИСВЧПЭ РАН  
М.П.

П.П. Мальцев