

# МОНОЛИТНЫЙ МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ X-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ 0,15 МКМ GaAs p-HEMT ТЕХНОЛОГИИ

В.Г.Мокеров<sup>1</sup>, В.Я.Гюнтер<sup>2</sup>, С.Н.Аржанов<sup>2</sup>, Ю.В.Федоров<sup>1</sup>, М.Ю.Щербакова<sup>1</sup>, Л.И.Бабак<sup>2</sup>, А.А.Баров<sup>2</sup>,  
М.В.Черкашин<sup>2</sup>, Ф.И.Шеерман<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт СВЧ полупроводниковой электроники РАН, г.Москва, Россия;

<sup>2</sup>ООО "НПФ "Микран", Вершинина, д.47, Томск – 634034, Россия

Тел.: +7(3822) 413403; e-mail: [a\\_barov@micran.ru](mailto:a_barov@micran.ru)

Опубликовано в сборнике трудов 17-ой Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо '2007). 10-15 Сентября, Севастополь, Крым, Украина.

**Аннотация** – В докладе приводятся результаты работы по разработке и изготовлению монолитной интегральной схемы (МИС) малошумящего усилителя (МШУ) X-диапазона на основе 0,15 мкм GaAs p-HEMT технологии.

## I. Введение

В отечественной литературе фактически отсутствуют публикации о разработке СВЧ МИС на основе гетероструктурных материалов и технологий. Между тем, подобные технологии обеспечивают в настоящее время наилучшие показатели СВЧ МИС. Интерес к созданию таких МИС подкрепляется также экономической целесообразностью при масштабном применении в производстве идентичных изделий, таких, например, как приемо-передающие модули РЛС с АФАР и т.п. В докладе приводятся результаты первой в России разработки МИС малошумящего усилителя X-диапазона на основе гетероэпитаксиального материала с использованием 0.15 мкм GaAs p-HEMT технологии ИСВЧПЭ РАН.

## II. Основная часть

Разработанный технологический маршрут предусматривает изготовление на гетеро-эпитаксиальной пластине малошумящих p-HEMT транзисторов, а также планарных конденсаторов, индуктивностей, объемных резисторов и сквозных металлизированных отверстий. Этот минимальный набор элементов является достаточным для проектирования и построения СВЧ МИС.

Исходными данными к разработке МИС послужили измерения параметров опытных образцов малошумящих p-HEMT транзисторов с длиной затвора 0,15 мкм и общей шириной 150 мкм. Транзистор на частоте 10 ГГц имеет минимальный коэффициент шума  $F_{min} \approx 0,65$  дБ и соответствующий коэффициент усиления по мощности  $G_{ass} \approx 12$  дБ ( $V_{gs}=1,3$  В,  $V_{ds}=1,5$  В).

Разработанная МИС (рис.1) представляет собой двухкаскадный усилитель. В первом каскаде применена последовательная обратная связь (ОС) в цепи истока, во втором - параллельная резистивная ОС. Такой выбор обусловлен требованиями обеспечения равномерной АЧХ, согласования МИС с СВЧ трактом и устойчивости. Синтез согласующих цепей и цепи ОС по требованиям к характеристикам каскадов был выполнен с помощью комплекса программ «визуального» проектирования транзисторных СВЧ усилителей и пассивных цепей [1,2]. Методика проектирования усилителя описана в [3].

Питание усилителя осуществляется от однополярного источника напряжения +5 В. Режим по постоянному току обеспечивают однотипные транзисторы с меньшей шириной затвора, которые включены по схеме генератора тока. Следующие этапы проектирования МИС включали разработку топологии (рис.2),

моделирование, оптимизацию и изготовление комплекта фотшаблонов.

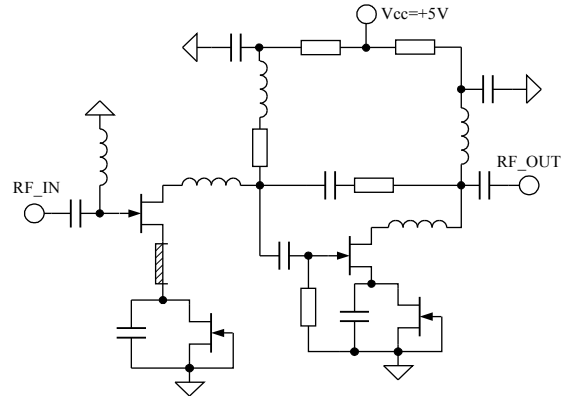


Рис. 1 – Принципиальная схема МИС МШУ

Fig. 1 – Schematic of MMIC LNA

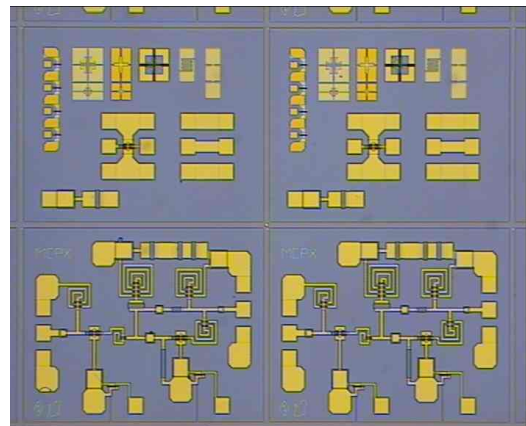


Рис. 2 – Фрагмент топологии пластины

Fig. 2 – MMIC die

Изготовление МИС МШУ производилось на технологической линейке ИСВЧПЭ РАН. С целью определения параметров технологичности изготовленная пластина до разделения на кристаллы тестировалась на СВЧ зондовой установке. Типичная АЧХ усилителя при зондовых измерениях показана на рис. 3. На рис. 4 представлена построенная на основе экспериментальных данных гистограмма распределения коэффициента усиления. В качестве критерия годности при разбраковке кристаллов на пластине выступал коэффициент передачи на частоте 8 ГГц. Общее количество кристаллов МИС на пластине 558 шт.

После разделения на кристаллы опытные образцы годных МИС монтировались в СВЧ модуль и производились дополнительные измерения коэффициентов усиления, шума, отражения по входу/выходу и линейной выходной мощности.

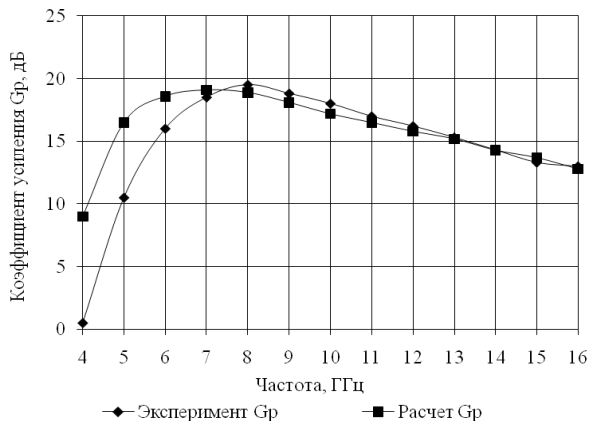


Рис. 3 – Экспериментальная и расчетная АЧХ МШУ (зонд)

Fig.3 – Measured and simulated LNA gain response (probe)

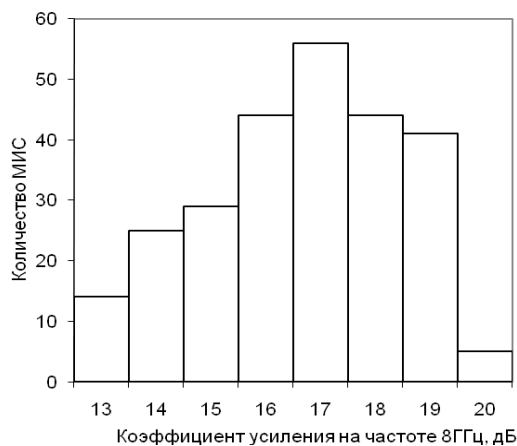


Рис. 4 – Гистограмма распределения коэффициента усиления МШУ по пластине

Fig. 4 – Statistical distribution of LNA gain

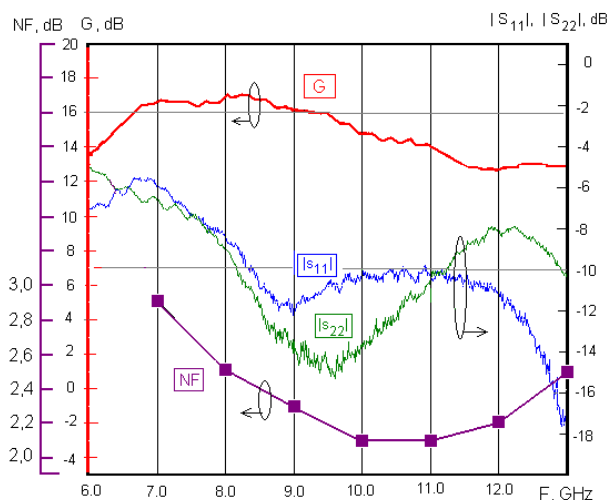


Рис. 5 – Результаты измерений МИС МШУ

Fig. 5 – Measured performances of MMIC LNA

Результаты измерений одного из кристаллов МИС приведены на рис. 5. Измерения показали, что в диапазоне частот 7-10 ГГц МИС МШУ имеют коэффициент усиления 15,5-17 дБ, неравномерность АЧХ около  $\pm 1$  дБ, коэффициент шума от 2,1 до 2,9 дБ, модули входного и выходного коэффициентов отра-

жения от -8 до -12 дБ и выходную мощность +6 дБм при сжатии коэффициента усиления на 1 дБ. Типовой ток потребления МИС 22 мА. Размеры кристалла 1,6x1,2 мм.

### III. Заключение

Проведенная работа включает полный цикл разработки и производства GaAs p-HEMT МИС на основе гетероструктурного материала. Работа является результатом взаимовыгодного и взаимодополняющего сотрудничества двух организаций и была выполнена в сжатые сроки. Высокий выход годных кристаллов с пластины позволяет судить о промышленной пригодности разработанного технологического маршрута, а высокая повторяемость параметров транзисторов по площади пластины позволяет судить о принципиальной возможности разработки и изготовления МИС, содержащих транзисторы с большой периферией затвора, таких как усилители мощности.

### Список литературы

- [1] Бабак Л.И., Черкашин М.В., Зайцев Д.А. Программа «визуального» проектирования корректирующих и согласующих цепей СВЧ устройств // 15-я Межд. Крымская конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2005), Т. 2, С. 423-424.
- [2] Бабак Л.И., Черкашин М.В., Поляков А.Ю. и др. Программы «визуального» проектирования транзисторных СВЧ усилителей // 15-я Межд. Крымская конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2005), Т. 2, С. 425-426.
- [3] Бабак Л.И., и др. «Визуальное» проектирование двухкаскадного монолитного малошумящего усилителя X-диапазона // В наст. сборнике.

### X-BAND MMIC LOW-NOISE AMPLIFIER BASED ON 0.15 $\mu$ m GaAs PHEMT TECHNOLOGY

Mokrov V.G.<sup>1</sup>, Gunter V.Ya.<sup>2</sup>, Arzhanov S.N.<sup>2</sup>, Fedorov Yu.V.<sup>1</sup>, Scherbakova M.Yu.<sup>1</sup>, Babak L.I.<sup>2</sup>, Barov A.A.<sup>2</sup>, Cherkashin M.V.<sup>2</sup>, Sheherman F.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Microwave Semiconductor Electronics, RAS  
Moscow, Russia  
<sup>2</sup>Micran Co.  
47, Verzhinina St., Tomsk, 634034, Russia  
phone: +7(3822) 413403  
e-mail: a\_barov@micran.ru

**Abstract** – The design and fabrication of X-band MMIC low-noise amplifier (LNA) based on 0,15  $\mu$ m GaAs pHEMT technology is presented.

The design and fabrication of X-band MMIC LNA is presented. MMIC is implemented with 0,15  $\mu$ m pHEMT GaAs technology developed in the Institute of Microwave Semiconductor Electronics (Russia).

Two-stage LNA is designed with using «visual» design CAD tools. In 7-10 GHz, it provides power gain  $G = 15,5-17$  dB, noise figure from 2,1 to 2,9 dB, input and output return losses from -8 to -12 dB, and linear output power of +6 dBm.