

УДК 621.375.4

М.В. Черкашин, И.М. Добуш, Л.И. Бабак, Ю.В. Федоров, Д.Л. Гнатюк

Разработка монолитного малошумящего усилителя диапазона частот 30–37,5 ГГц на GaAs рНЕМТ-гетероструктурах

Приведены результаты проектирования и экспериментального исследования монолитного малошумящего усилителя диапазона частот 30–37,5 ГГц. Разработка выполнена с применением методики и программ визуального проектирования СВЧ транзисторных усилителей. Усилитель изготовлен на основе гетероструктурной 0,15 мкм GaAs рНЕМТ-технологии.

Ключевые слова: СВЧ монолитные интегральные схемы, малошумящий усилитель, Ка-диапазон, рНЕМТ, визуальное проектирование.

Введение. Повышение частотного диапазона СВЧ-устройств имеет массу преимуществ, так как позволяет уменьшить мощность, излучаемую передатчиком, повысить плотность канала передачи информации, снизить энергетические и массогабаритные параметры системы в целом и др. Однако переход на новый частотный диапазон требует разработки новых компонентов приемо-передающего тракта.

В статье представлены результаты проектирования и экспериментального исследования малошумящего усилителя (МШУ) для частотного диапазона 30–37,5 ГГц. Усилитель выполнен в виде монолитной интегральной микросхемы (МИС) на основе отечественной 0,15 мкм GaAs рНЕМТ-технологии Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН (ИСВЧПЭ РАН), г. Москва [1].

Требования к характеристикам усилителя и параметры транзистора. В табл. 1 приведены требования, предъявляемые к характеристикам МШУ.

В МШУ используется рНЕМТ-транзистор с шириной затвора 4×30 мкм, который на частоте 35 ГГц имеет минимальный коэффициент шума около $F_{\min} \approx 1,5$ дБ и соответствующий коэффициент усиления по мощности $G_{\text{асс}} \approx 6$ дБ ($V_{gs}=0$ В, $V_d=2,5$ В, $I_d=25\text{--}30$ мА). Отметим, что гетероструктура была выращена таким образом, чтобы для транзистора 4×30 мкм смещение на затворе, соответствующее минимальному коэффициенту шума, было равно $V_{gs} = 0$ В. Это позволило отказаться от отрицательного источника смещения для питания МИС.

Таблица 1

Требования к характеристикам МШУ

Характеристика	Значение
Диапазон частот	30–37,5 ГГц
Коэффициент шума F	Не более 2,0 дБ
Коэффициент усиления G	Не менее 18 дБ
Выходная мощность при снижении усиления на 1 дБ	Не менее 10,0 мВт
КСВН входа и выхода	Не более 2,0
Ток потребления	Не более 60 мА
Напряжение питания	Не более 5 В
Габариты МИС	Не более 1×2 мм ²

Проектирование усилителя. Разработка МШУ была выполнена с применением методики и программ визуального проектирования, разработанных в Лаборатории интеллектуальных компьютерных систем ТУСУРа (г. Томск). Описание самой методики и программ можно найти в [2, 3]. Процесс визуального проектирования на примере расчета двухкаскадного усилителя X-диапазона приведен в [4]. Применение визуального подхода позволило выполнить расчет усилителя по комплексу требований с учетом взаимного влияния каскадов друг на друга в сжатые сроки.

Структурная схема МШУ приведена на рис. 1. Усилитель состоит из трех каскадов. Первый каскад настроен на минимум коэффициента шума, применение индуктивной ОС в цепи истока позволяет сблизить условия согласования по шуму и сигналу. Второй и третий каскады содержат цепи параллельной ОС для выравнивания коэффициента усиления и обеспечения согласования на входе и выходе транзисторов. Кроме того, выходная цепь СЦ4 обеспечивает согласование выхода усилителя с трактом передачи сигнала.

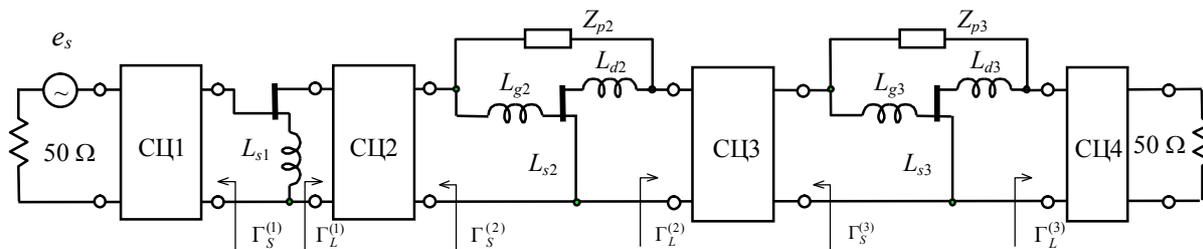


Рис. 1. Структурная схема усилителя

Полученная в результате синтеза схема усилителя представлена на рис. 2. Индуктивности реализованы в виде отрезков микрополосковых линий.

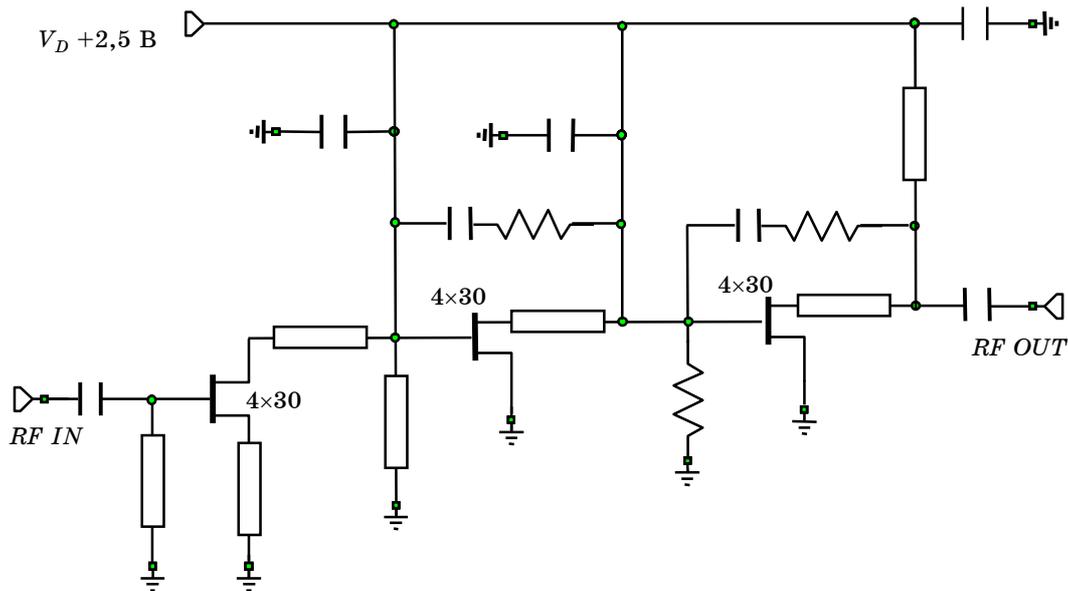


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя

Далее была разработана топология кристалла МИС усилителя на основе микрополосковой конструкции с заземляющими отверстиями. Всего было разработано три топологические ячейки МИС усилителя. Основные различия между ячейками заключаются в топологическом расположении заземляющих отверстий и блокировочных конденсаторов для поиска оптимального решения с точки зрения устойчивости усилителя. Общий вид топологической ячейки LA.3037.1.12 МИС усилителя (размер 1,3×1,9 мм) показан на рис. 3, а. Результаты моделирования МШУ в среде AWR Microwave Office приведены на рис. 3, б и в табл. 2.

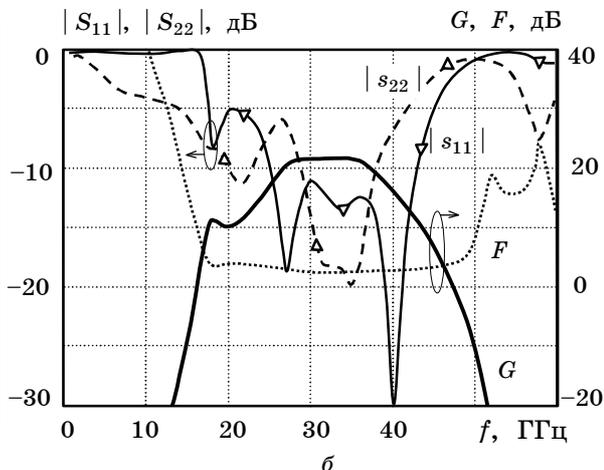
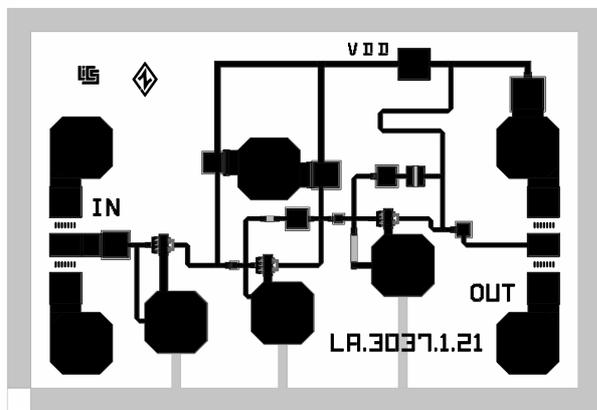


Рис. 3. Топология кристалла МИС усилителя (а) и результаты моделирования (б)

Результаты эксперимента. После изготовления МИС усилителя на технологической линейке ИСВЧПЭ РАН были проведены его экспериментальные исследования. Результаты измерений, полученные непосредственно на пластине с использованием зондовой станции, показаны на рис. 4 и сведены в табл. 2.

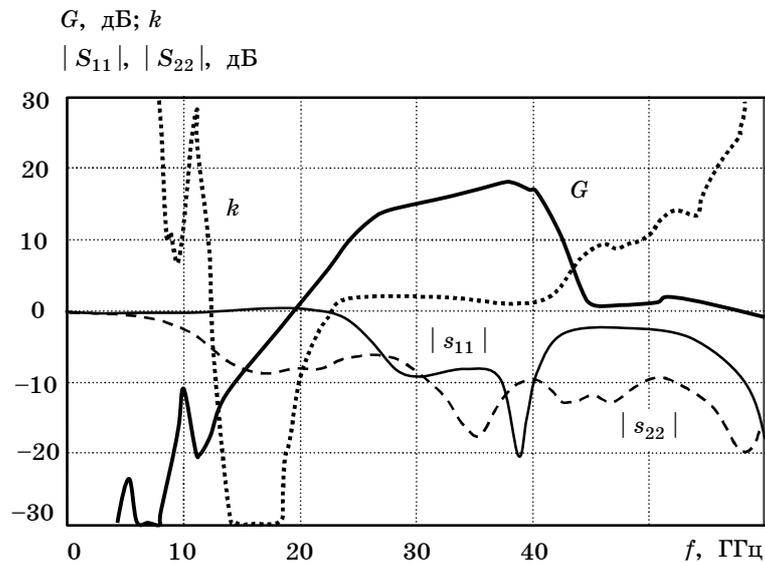


Рис. 4. Экспериментальные характеристики МИС усилителя

Таблица 2

Характеристики МИС усилителя, дБ

Характеристики	G	F	$ S_{11} $	$ S_{22} $
Требования	18–20	2,0	-10,0	-10,0
Моделирование	20,2–21,4	2,3	-11,3	-13,4
Эксперимент	15,3–18,2	–	-8,3	-8,3

Расхождение результатов моделирования и эксперимента в основном связано с тем, что реальные параметры использованных в МШУ транзисторов оказались в определенной степени отличными от тех, которые применялись при проектировании. Достоверные измерения коэффициента шума МШУ провести не удалось, одной из предполагаемых причин является возбуждение усилителя при таких измерениях.

Заключение. В ходе работы над проектом была разработана МИС усилителя диапазона частот 30–37,5 ГГц. По-видимому, лучшие характеристики МШУ миллиметрового диапазона могут обеспечить переход к более высокочастотной mHEMT-технологии и копланарной конструкции без заземляющих отверстий.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ в рамках проектов 08-07-99034-р_офи и 09-07-99020-р_офи, а также в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы», «Создание электронной компонентной базы», «Микроэлектроника» (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1 и 1.3.2, государственные контракты П1418, П1492, П2188, П669, П499, 16.740.11.0092 и 14.740.11.0135).

Литература

1. Мокеров В.Г. Монолитные широкополосные малошумящие усилители X-диапазона на основе 0,15 мкм GaAs p-HEMT-технологии / В.Г. Мокеров, Л.И. Бабак, Ю.В. Федоров и др. – 18-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008). – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 1. – С. 63–64.
2. Бабак Л.И. Комплекс программ «визуального» проектирования транзисторных СВЧ-усилителей и пассивных цепей / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев и др. // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2007. – Ч. 2. – С. 113–114.
3. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств. – Ч. 1. Описание процедуры проектирования / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУРа. – Томск: ТУСУР, 2006. – № 6 (14). – С. 11.

4. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование двухкаскадного монолитного малошумящего усилителя X-диапазона / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Ф.И. Шеерман, А.А. Баров. // 17-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо`2007). – Севастополь: Вебер, –2007.– Т. 1. – С. 101–102.

Черкашин Михаил Владимирович

Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП, декан факультета вычислительных систем ТУСУРа
Тел.: +7-906-948-86-48
Эл. почта: mik_cher@mail.ru

Добуш Игорь Мирославович

Аспирант каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-923-402-92-86
Эл. почта: igadobush@gmail.com

Бабак Леонид Иванович

Канд. тех. наук, зам. директора НОЦ «Нанотехнологии»,
доцент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Дом. тел.: +7 (382-2) 41-47-17, Сот. тел. +7-960-969-91-52
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Федоров Юрий Владимирович

Зав. лаб. Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН (ИСВЧПЭ РАН), г. Москва
Тел.: +7 (495) 123-74-66
Эл. почта: yuraf2002@mail.ru

Гнатюк Дмитрий Леонидович

Мл.научн.сотрудник ИСВЧПЭ РАН, г. Москва
Тел.: +7 (495) 123-62-22

Cherkashin M.V., Dobush I.M., Babak L.I., Fedorov Yu.V., Gnatyuk D.L.

Design of 30-37.5 GHz MMIC low noise amplifier based on GaAs pHEMT heterostructures

The results of designing and experimental investigations of 30-37.5 GHz three-stage MMIC low-noise amplifier are described. While designing, a technique and software tools for the visual design of microwave transistor amplifiers have been used. The amplifier is produced based on the domestic 0.15 μm GaAs pHEMT process.

Keywords: MMIC, low-noise amplifier, Ka-band, pHEMT, visual design.