

*Маковецкая А.А.¹, Пчелин В.А.¹, Лапин В.Г.¹,
Пашковский А.Б.¹, Лукашин В.М.¹, Щербаков С.В.¹,
Журавлев К.С.², Торопов А.И.²*

¹АО «НПП «Исток» им. Шокина»

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова

Мощный внутрисогласованный транзистор X-диапазона на основе транзистора на гетероструктуре с донорно-акцепторным легированием

Представлены первые результаты разработки мощного внутрисогласованного транзистора (ВСТ), изготовленного на основе полевого транзистора на гетероструктуре с донорно-акцепторным легированием (DA-DpHEMT). При длине Г-образного затвора около 0,3 мкм с шириной 4,8 мм на частоте 9,2 ГГц при входной мощности 600 мВт и напряжении на стоке 9,5 В, в импульсном режиме выходная мощность ВСТ на DA-DpHEMT составила более 6 Вт.

Ключевые слова: полевой транзистор, ВСТ, усилитель мощности, донорно-акцепторное легирование.

Транзисторные усилители мощности, основой которых являются гетероструктурные полевые транзисторы с внутренним согласованием (ВСТ), широко востребованы в большом числе систем СВЧ электроники, и с каждым годом к ним предъявляют всё возрастающие требования по выходным характеристикам. Одним из перспективных методов повышения мощности полевых транзисторов является использование для их изготовления AlGaAs-InGaAs-GaAs гетероструктур с дополнительным донорно-акцепторным легированием (DA-DpHEMT-структур), что подробно описано в работах [1-4]. С момента первых разработок полевые транзисторы данного типа продемонстрировали существенное (в 1,5-2 раза) увеличение коэффициента усиления по мощности, по сравнению с приборами на традиционных DpHEMT-структурах. Этот результат был получен на мощном серийном транзисторе с длиной затвора 0,4-0,5 мкм и шириной 0,8 мм. На частоте 10 ГГц в импульсном режиме удельная выходная мощность такого транзистора составила более 1,7 Вт/мм при коэффициенте усиления более 9,5 дБ и КПД до 50%. Однако все измерения мощности проводились с помощью измерительной установки, в которой согласующие трансформаторы обеспечивали хорошее согласование в одной задаваемой точке частотного диапазона. Для максимально эффективного применения DA-DpHEMT, важно исследование транзисторов с существенно большей шириной затвора в реально используемых на практике согласующих схемах и в достаточно широкой полосе частот.

Для изучения возможностей данного типа транзисторов в реальной схеме усилителя были изготовлены DA-DpHEMT-транзисторы с шириной затвора 4,8 мм. Несколько экземпляров транзисторов были смонтированы в идентичные тестовые схемы, обычно используемые в АО «НПП «Исток» им. Шокина» для отбраковки по мощности серийных транзисторов типа pHEMT в диапазоне частот 8-12 ГГц (Рис.1).

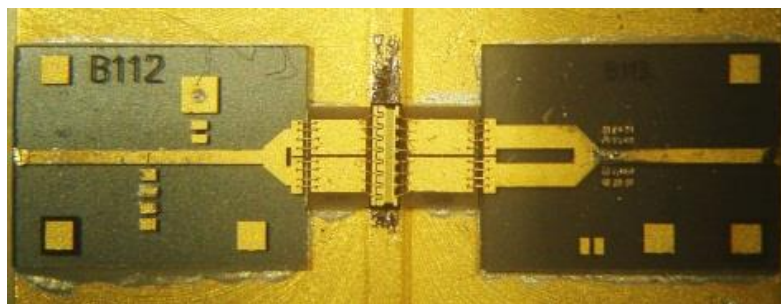


Рис. 1. Фотография тестовой схемы с DA-DpHEMT-транзистором.

Так как тестовая схема изначально была рассчитана для транзисторов другого типа, для согласования транзисторов на гетероструктуре с донорно-акцепторным легированием в диапазоне частот 8,6-9,6 ГГц были использованы простые индиевые подстройки (Рис.2).

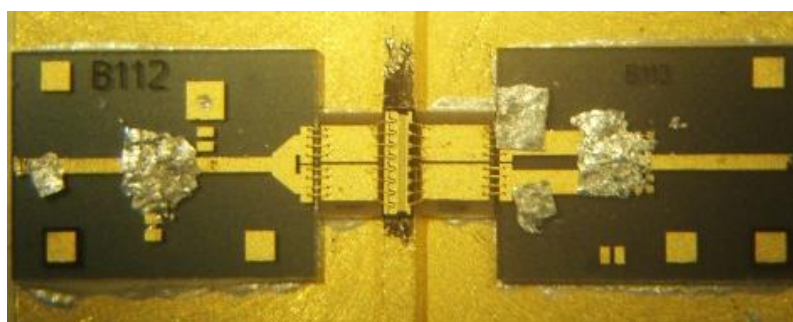


Рис. 2. Фотография тестовой схемы с DA-DpHEMT-транзистором и с индиевыми подстройками.

На рис. 3 приведено семейство графиков измеренных амплитудных характеристик для нескольких тестовых схем с DA-DpHEMT-транзисторами и аналогичная измеренная характеристика для схемы с DpHEMT-транзистором на традиционной гетероструктуре. Из сравнения результатов видно, что выходная СВЧ мощность в тестовых схемах с DA-DpHEMT-транзисторами более чем в 1,5 раза превосходит выходную СВЧ мощность в тестовой схеме с DpHEMT-транзистором. Следует отметить, что оба типа транзисторов, сравниваемых по поведению в составе одинаковых тестовых схем, были изготовлены по одной и той же технологии с примерно одинаковой длиной затвора.

Амплитудно-частотная характеристика одной из тестовых схем (основание 97) приведена на рис.4. Из графика видно, что тестовая схема с DA-DpHEMT-транзистором демонстрирует удельную выходную мощность более 1 Вт/мм (выходную мощность ВСТ более 4,8 Вт) в диапазоне частот шириной не менее 1 ГГц.

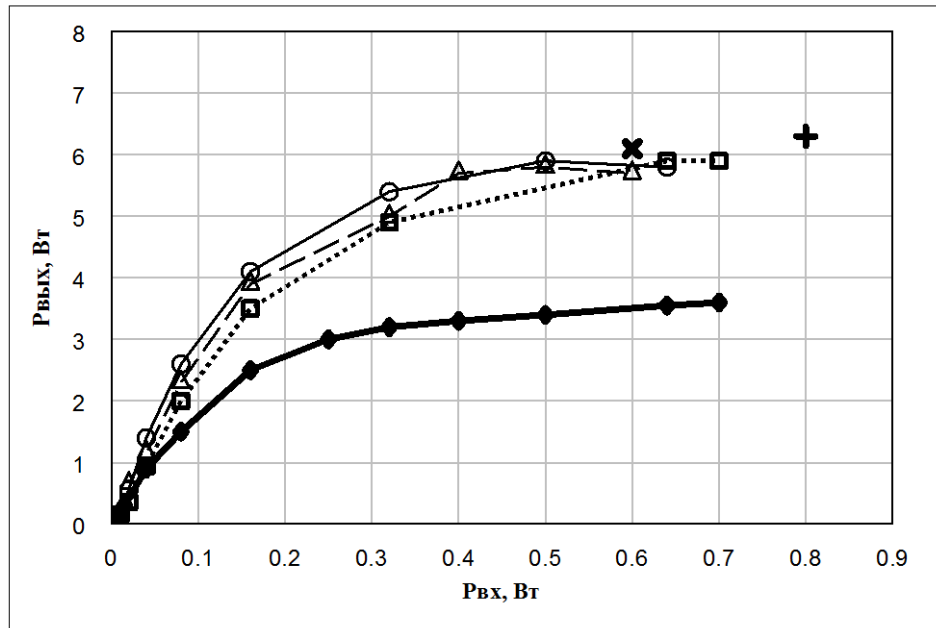


Рис. 3. Амплитудные характеристики тестовых схем на частоте 9,2 ГГц:
 - с DA-DpHEMT-транзисторами: основание № 97 (— Δ — $U_d=9$ В, \times - $U_d=9,5$ В, + - $U_d=10$ В); ---- \square ---- основание № 98, $U_d=9$ В; - \circ - основание № 99, $U_d=9$ В;
 - с DpHEMT-транзистором: — \diamond — основание 11, $U_d=8$ В.

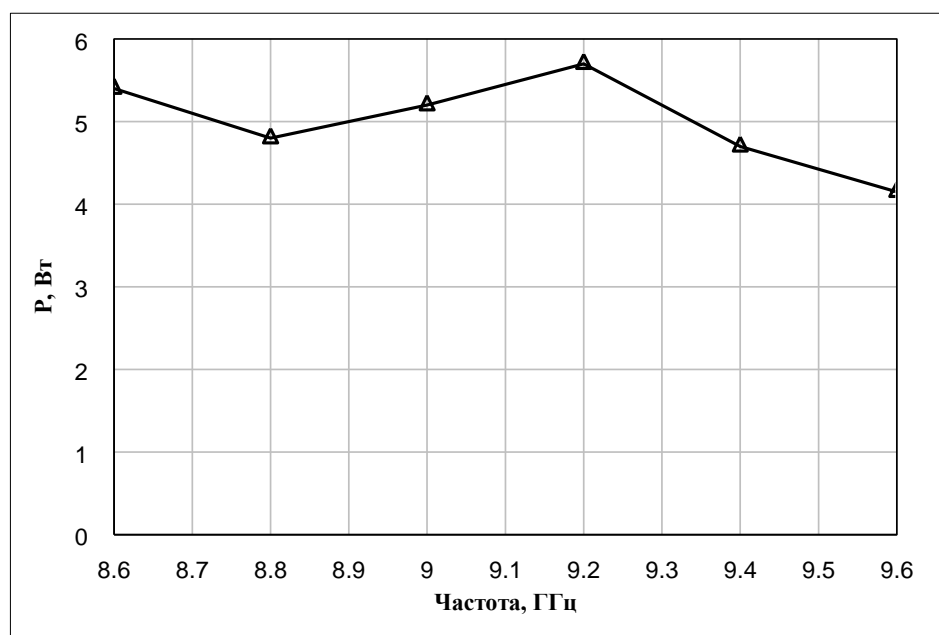


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика тестовой схемы с DA-DpHEMT-транзистором: основание №97, входная мощность $P_{вх}=600$ мВт, рабочая точка - $U_g=-0.7$ В, $U_d=9$ В, постоянный ток стока в рабочей точке: $I_{d0}=1.4$ А.

Приведенные выше результаты позволяют сделать вывод, о перспективности дальнейших исследований DA-DpHEMT-транзисторов.

Библиографический список

1. В.М. Лукашин, А.Б.Пашковский, К.С.Журавлев, А.И.Торопов, В.Г.Лапин, А.Б.Соколов “Уменьшение роли поперечного пространственного переноса электронов и рост выходной мощности гетероструктурных полевых транзисторов” Письма в ЖТФ, 2012, т.38., в. 17, стр. 84-89.
2. В.М. Лукашин, А.Б. Пашковский, К.С. Журавлев, А.И. Торопов, В.Г. Лапин, Е.И. Голант, А.А. Капралова “Перспективы развития мощных полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием”// Физика и Техника Полупроводников, 2014, том 48, В.5, с. 684-692.
3. В.М.Лукашин, А.Б.Пашковский, В.Г.Лапин, С.В.Щербаков, К.С.Журавлев, А.И.Торопов, А.А.Капралова “Управление положением оптимальной рабочей точки мощного гетероструктурного полевого транзистора путем формирования подзатворного потенциального барьера на основе донорно-акцепторной структуры”// Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 3, с. 81 – 87.
4. А.А. Борисов, А.Б. Пашковский, В.М. Лукашин, В.Г. Лапин, С.В. Щербаков, А.А. Маковецкая, К.С. Журавлев, А.И. Торопов “Анализ малосигнальных СВЧ характеристик DA-HEMT” Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника, 2016.