

**А.А. Капралова¹, В.М. Лукашин¹, А.Б. Пашковский¹,
В.Г. Лапин¹, С.В. Щербаков¹, К.И.Петров¹,
К.С. Журавлев², А.И. Торопов²**

¹АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. Шокина»

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова

Исследование малосигнальных СВЧ характеристик полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием

Представлены результаты исследований малосигнальных СВЧ характеристик мощных полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием. Транзисторы продемонстрировали непосредственно измеренный малосигнальный коэффициент усиления около 16 дБ на частоте 15 ГГц. Проведена оценка перспектив применения данного типа приборов в миллиметровом диапазоне длин волн.

Ключевые слова: полевой транзистор, малосигнальный коэффициент усиления, донорно - акцепторное легирование.

Перспективы освоения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн полевыми транзисторами связывают в основном с использованием гетероструктур с квантовыми ямами на основе узкозонных материалов [1-3]. Однако, кроме использования традиционных гетероструктур с селективным легированием, для улучшения СВЧ характеристик полевых транзисторов в настоящее время очень перспективным выглядит использование дополнительного донорно-акцепторного легирования. С момента первых разработок данный тип приборов продемонстрировал существенное (в полтора – два раза) увеличение коэффициента усиления по мощности, по сравнению с приборами на традиционных структурах [4-6]. Однако практически все измерения данных транзисторов проводились в X-диапазоне длин волн при настройке на максимальную мощность. Вопросы малосигнального усиления в миллиметровом диапазоне длин волн практически не рассматривались. Так как исследовались мощные серийные транзисторы с шириной затвора не менее 0,8 мм, то измерения их S-параметров проводились в специальном контактном устройстве в диапазоне 0,5 – 18 ГГц. Поэтому для более корректных оценок как максимального коэффициента усиления в этом диапазоне, так и для аппроксимации результатов на более высокие частоты проводилось определение параметров малосигнальной эквивалентной схемы транзистора, с дальнейшими расчетами по ней. Кроме того, на частоте 15 ГГц для проверки расчетов проводилось непосредственное измерение максимального малосигнального коэффициента усиления с помощью установки с согласующими трансформаторами. Для исследуемых транзисторов с длиной Г-образного затвора около 0,3 мкм его величина составила около 16 дБ. Результаты рассчитанного по эквивалентным схемам максимально возможного коэффициента усиления G_{\max} приведены на рисунке 1.

$$G_{\max} = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| (K - \sqrt{K^2 - 1}), \text{ где } K\text{-коэффициент устойчивости транзистора.}$$

Видно, что результаты расчётов неплохо согласуются с экспериментом, а данные транзисторы в принципе могут работать даже в мм-диапазоне длин волн.

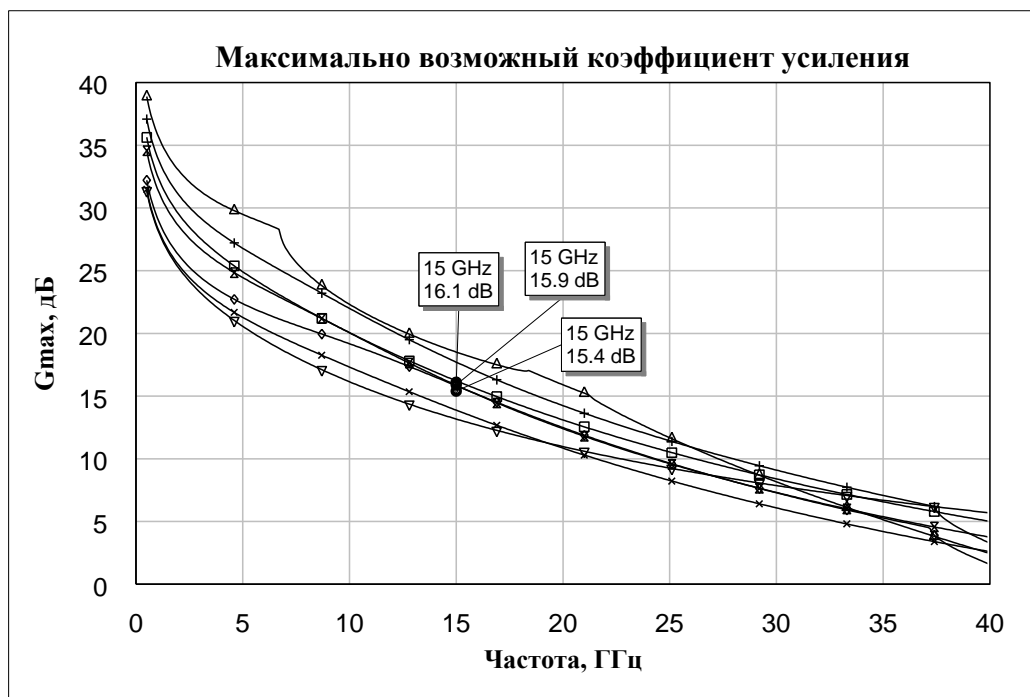


Рисунок 1. Максимально возможный коэффициент усиления при двухстороннем согласовании для разных партий полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием. Точками отмечены результаты измерений нескольких образцов из разных партий.

Использование малосигнальных эквивалентных схем абсолютно оправдано как в диапазоне измерения S-параметров, так и не слишком далеко за границами диапазона измерений. Очевидно, что за границами диапазона данный расчет представляет собой только грубую оценку, аналогичную оценке падения коэффициента усиления на 6 дБ при росте рабочей частоты вдвое. Однако надо учитывать, что данные результаты получены для мощных транзисторов в серийном исполнении при ширине затвора более 0,8 мм и длине одного затворного пальца более 50 мкм. Уменьшение длины пальцев и общей ширины затвора должно существенно улучшить высокочастотные свойства прибора в миллиметровом диапазоне длин волн.

Библиографический список

1. Samoska L.A. An overview of solid-state integrated circuit amplifiers in the submillimeter-wave and THz regime // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, No 1. – p 9–24
2. R.Gavande et al. W – band heterodine receiver module with 27 K noise temperature // IEEE MTT-S Digest – 2012 – p.1-3.
3. C. Zech, A. Hülsmann, R. Weber, A. Tessmann, S. Wagner, M. Schlechtweg, A. Leuther, O. Ambacher A Compact 94 GHz FMCW Radar MMIC based on 100 nm InGaAs mHEMT Technology with Integrated Transmission Signal Conditioning // 2013 8th European Microwave Integrated Circuits Conference, p: 436 – 439
4. 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.

5. 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.

6. 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.