

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.375.4, 621.382.323

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

© 2022 г. И. С. Езубченко^{1,*}, Е. М. Колобкова¹, А. А. Андреев¹, М. Я. Черных¹,
Ю. В. Грищенко¹, П. А. Перминов¹, И. А. Черных¹, М. Л. Занавескин¹

¹Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*E-mail: ezivan9@gmail.com

Поступила в редакцию 01.06.2022 г.

После доработки 08.06.2022 г.

Принята к публикации 15.06.2022 г.

На AlN/GaN-гетероструктурах на подложках кремния созданы и исследованы сверхвысокочастотные транзисторы, на их основе создан широкополосный усилитель мощности для диапазона частот 0.1–30 ГГц. Коэффициент усиления по мощности составил 16 ± 1 дБ во всем рабочем диапазоне.

DOI: 10.56304/S2782375X22020036

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире активно ведется разработка усилителей мощности на основе гетероструктур нитрида галлия для применений в средствах связи, радиолокации и радиоэлектронной борьбы [1].

В X-диапазоне частот (до 12 ГГц) допускается гибридная сборка усилителей мощности [2–4]. При переходе к более высоким частотам (18 ГГц и выше) необходимо монолитное исполнение активных и пассивных элементов на пластине, так как паразитные индуктивности внешних элементов коммутации существенно снижают коэффициент усиления и приводят к ухудшению выходных характеристик микросхем [5]. При изготовлении монолитных интегральных схем (МИС) все пассивные и активные элементы, составляющие устройство, формируются в едином технологическом цикле. Процесс создания МИС на основе гетероструктур нитрида галлия включает в себя ряд технологических этапов [6]. Ключевой технологией изготовления МИС является создание транзисторов с высоким коэффициентом усиления в широком частотном диапазоне. Данное исследование посвящено разработке широкополосного усилителя мощности на базе транзисторов с длиной затвора 100 нм для миллиметрового диапазона длин волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ввиду многочисленного количества операций при формировании широкополосного усилителя мощности малосигнальные СВЧ-характеристики дискретных транзисторов являются ключевыми

параметрами, характеризующими как пригодность гетероструктуры для выбранного частотного диапазона и совершенство технологического процесса, так и работоспособность будущей МИС. Частотные зависимости модуля коэффициента передачи по току $|h_{21}|$, максимально достижимого/стабильного коэффициента усиления по мощности MSG/MAG и коэффициента усиления Масона U для дискретных транзисторов с длиной затвора 100 нм и шириной 2×100 мкм (рис. 1) строили на основе измеренных S -пара-

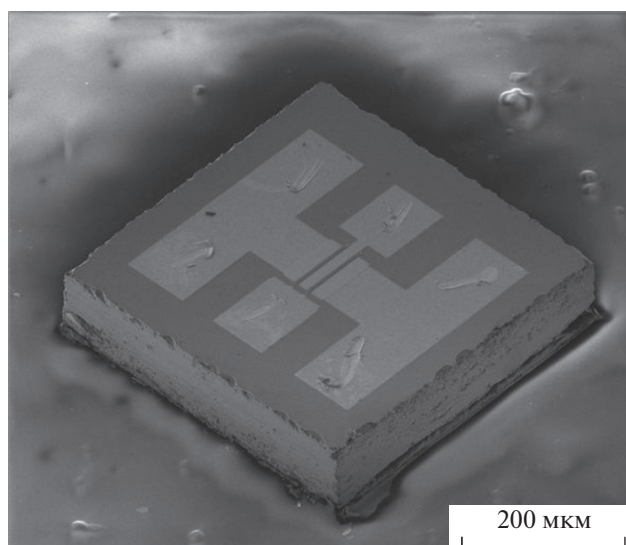


Рис. 1. Изображение дискретного транзистора на кристалле, полученное в растровом электронном микроскопе.

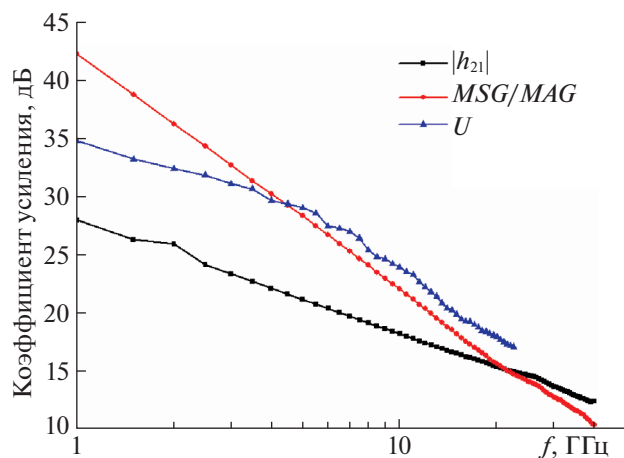


Рис. 2. Частотные зависимости модуля коэффициента передачи по току $|h_{21}|$, коэффициента усиления по мощности MSG/MAG и коэффициента усиления Матсона U . Напряжение смещения сток–исток +5 В, напряжение на затворе $V_g = -1$ В.

метров (рис. 2). Предельные частоты усиления по току f_t и мощности f_{max} , определенные методом линейной экстраполяции, составили 124 и 161 ГГц соответственно. В то же время коэффициент усиления по мощности MSG/MAG вплоть до частоты 30 ГГц был более 13 дБ. Измеренные СВЧ-характеристики дискретных транзисторов приведены в табл. 1.

Высокие предельные частоты и коэффициент усиления по мощности в широком частотном диапазоне свидетельствуют о создании эффек-

Таблица 1. Параметры транзистора 2×100 мкм

Параметр	
Коэффициент усиления по мощности на 30 ГГц, дБ	13.7
Предельная частота усиления по току f_t , ГГц	124
Предельная частота усиления по мощности, f_{max} , ГГц	161

Таблица 2. Параметры усилителя мощности

Параметр	
Рабочий диапазон частот, ГГц	0.1–30
Средний коэффициент усиления по мощности в рабочем диапазоне, дБ	16
Неоднородность коэффициента усиления, дБ	1
Напряжение питания, В	15

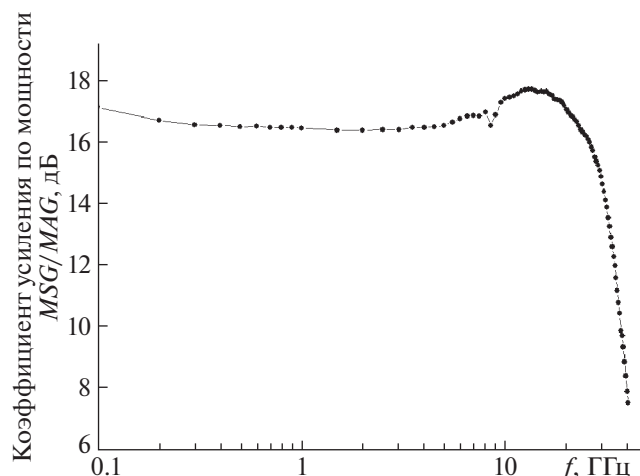


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента усиления по мощности MSG/MAG широкополосного усилителя при напряжении питания 15 В.

тивных транзисторов усиления и позволяют перейти к созданию усилителя мощности на их основе.

На рис. 3 представлены малосигнальные СВЧ-характеристики широкополосного усилителя мощности, созданного на базе дискретных транзисторов с длиной затвора 100 нм. Созданный усилитель мощности характеризуется коэффициентом усиления по мощности более 15 дБ в полосе частот 0.1–30 ГГц при напряжении питания 15 В. Следует отметить высокую равномерность коэффициента усиления во всем рабочем диапазоне: неравномерность не превышает 1 дБ. Характеристики широкополосного усилителя мощности приведены в табл. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе гетероструктуры нитрида галлия на подложке кремния созданы транзисторы с длиной затвора 100 нм, на которых были продемонстрированы высокие СВЧ-характеристики. Создание тестовых транзисторов является необходимым этапом при проектировании и создании МИС. В первую очередь, это необходимо для подтверждения качества гетероструктуры и пригодности ее применения для заданного диапазона частот. Также характеристики транзисторов позволяют оценить совершенство технологии и корректность выбора отдельных технологических приемов.

Созданный усилитель мощности в монолитном исполнении характеризуется высокими коэффициентом усиления и однородностью в диапазоне частот 0.1–30 ГГц.

Полученные результаты находятся на высоком мировом уровне, а также имеют высокий потенциал дальнейшего развития.

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального исследовательского центра “Курчатовский институт” (приказ № 2753 от 28.10.2021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mayeda J., Lie D., Lopez J.* // Texas Symp. Wireless Microwave Circuits Syst. (WMCS). 2017. P. 1. <https://doi.org/10.1109/WMCAS.2017.8070699>
2. *Tayrani R.* // IEEE Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium. 2007. P. 581. <https://doi.org/10.1109/RFIC.2007.380951>
3. *Ghisotti S., Pisa S., Colantonio P.S.* // Electronics. 2021. V. 10. P. 2318. <https://doi.org/10.3390/Electronics10182318>
4. *Peng L., Chen J., Zhang Z. et al.* // IEICE Electron. Express. V. 18. № 19. P. 1. <https://doi.org/10.1587/elex.18.20210313>
5. *Inoue Y., Kanamura M., Ohki T. et al.* // Proc. IEEE CSICS. 2008. P. 1. <https://doi.org/10.1109/CSICS.2008.41>
6. *Андреев А.А., Грищенко Ю.В., Езубченко И.С. и др.* // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45. Вып. 4. С. 52. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2019.04.47340.17567>