УДК 621.382

А.Ю. Ющенко, Г.И. Айзенштат, В.Г. Божков, Л.И. Бабак, И.М. Добуш, А.С. Сальников

СВЧ псевдоморфный транзистор с высокой подвижностью электронов

Приведены результаты разработки 0,3 мкм GaAs pHEMT-транзистора. Найдены параметры эквивалентной схемы созданного транзистора. Приведено сравнение характеристик транзистора с зарубежным аналогом.

Ключевые слова: транзистор с высокой подвижностью электронов, малосигнальная модель.

В настоящее время разнообразные транзисторы на гетероструктурах являются самыми быстродействующими активными элементами. Регулярно публикуются сведения о всё новых рекордных результатах, связанных с совершенствованием технологии и использованием новых материалов. Так, измеренные частоты отсечки f_T на гетеробиполярных транзисторах и различных модификациях полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов (High Electron Mobility Transistor – HEMT) уже превышают значения 400 ГГц [1, 2]. При этом свою важную нишу занимают транзисторы, работающие на более низких частотах.

В настоящей работе сообщается о параметрах отечественного 0,3 мкм GaAs pHEMT-транзистора, предназначенного для работы в частотном диапазоне до 18 ГГц.

Транзисторы изготавливались на гетероструктурах AlGaAs/InGaAs/GaAs диаметром 3 дюйма, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии в Санкт-Петербургском физико-технологическом научно-образовательном центре. На рис. 1 показана последовательность и состав слоев эпитаксиальных структур.

Исходные структуры при комнатной температуре имели холловскую подвижность двумерного электронного газа μ_H = 5500 см^2/В·с и поверхностную плотность электронов n_s=2·10^{12} см$^{-2}$.

Технологический маршрут создания транзисторов включал процессы электронной литографии на трёхслойной маске резистов для формирования субмикронных затворов Т-образной формы. Длина затворов разработанных транзисторов равна 0,3 мкм. Были созданы транзисторы встречно-штыревой конструкции с общей шириной затвора 4×40 = 160 мкм.

n^+-GaAs контактный слой 70 нм
GaAs барьерный слой15 нм
$Al_{0,23}Ga_{0,87}As$ барьерный слой 25 нм
$Al_{0,23}Ga_{0,87}As$ донорный слой 13 нм
$Al_{0,23}Ga_{0,87}As$ спейсер 2 нм
GaAs спейсер 1,5 нм
$In_{0,17}Ga_{0,83}As$ канал 12 нм
GaAs буфер 2 200 нм
Сверхрешетка AlAs/GaAs 28 нм
GaAs буфер 1 200 нм
(100) GaAs подложка 600 мкм

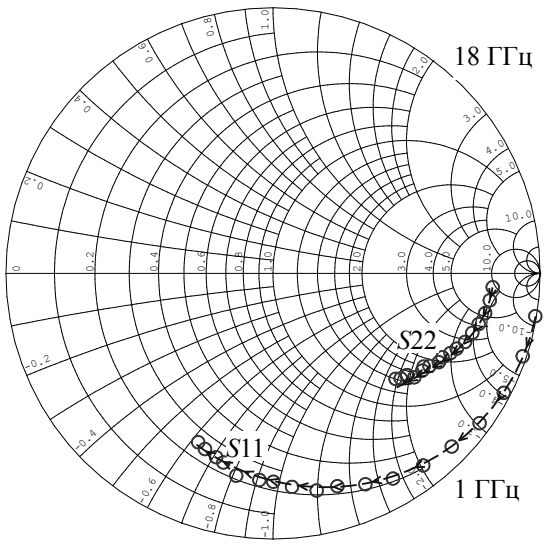
Рис. 1. Схематическое изображение гетероструктуры, на которой формировались транзисторы

Измеренная максимальная крутизна полученных транзисторов равнялась 50–60 мСм. Измерения параметров рассеяния транзисторов в диапазоне частот до 18 ГГц были выполнены на зондовой станции Cascade Summit 11000 в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа, результаты измерений показаны на рис. 2. Значения частоты отсечки транзистора составляли 40–45 ГГц.

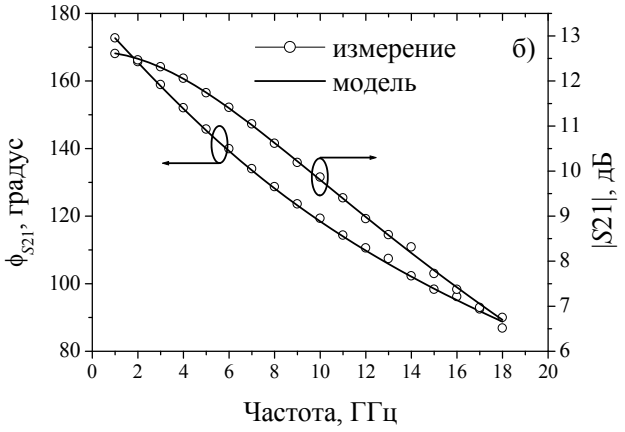
По результатам измерений S-параметров была построена малосигнальная модель транзистора в виде эквивалентной схемы (ЭС) – см. рис. 3. В этой схеме можно выделить внутренние элементы – g_m, R_{ds}, C_{gs}, C_{ds}, C_{gd}, R_i и τ, которые зависят от напряжений смещения, и внешние элементы – L_g, R_g, L_s, R_s, R_d и L_d, не зависящие от условий смещения. Методики определения значений элементов ЭС по S-параметрам подробно описаны в литературе [3–5].

На рис. 2 показано сравнение измеренных и рассчитанных по модели S-параметров транзистора. Как видно, модель достаточно точно описывает экспериментальные данные.

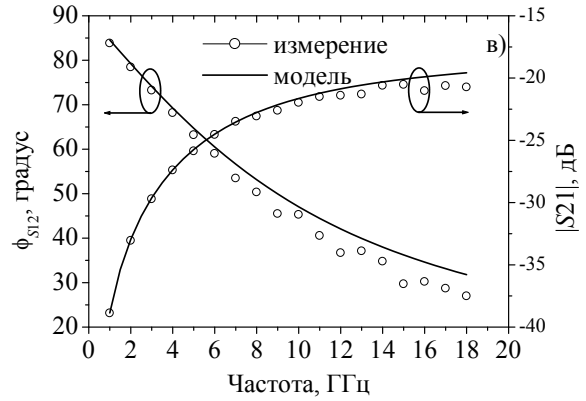
В таблице представлены значения элементов ЭС разработанного транзистора и ближайшего зарубежного аналога – транзистора TC1102 фирмы TRANSCOM с шириной затвора 160 мкм [6].



а



б



в

Рис. 2. Сравнение измеренных и рассчитанных по модели S-параметров транзистора

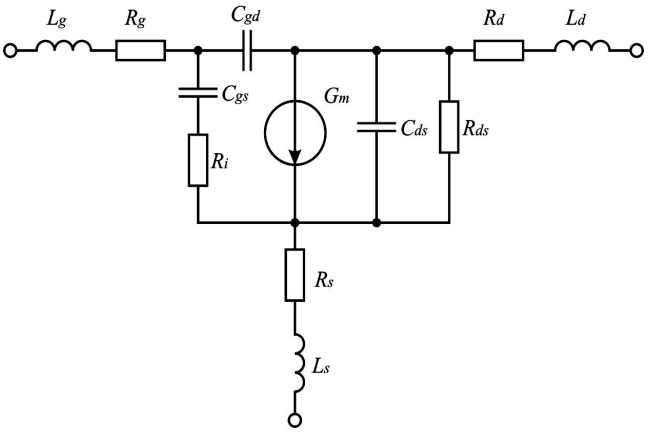


Рис. 3. Эквивалентная схема транзистора

Из таблицы следует, что практически все параметры ЭС для сравниваемых транзисторов совпадают, за исключением сопротивления R_i, что связано с особенностями технологии.

Элементы ЭС транзистора ТС1102 и разработанного транзистора

L_g, нГн	R_g, Ом	C_{gs}, пФ	R_i, Ом	C_{gd}, пФ	g_m, мСм	τ, пс	R_s, Ом	L_s, нГн	C_{ds}, пФ	R_{ds}, Ом	R_d, Ом	L_d, нГн
ТС1102												
0,038	0,97	0,22	1,78	0,027	53,3	1,49	1,72	0,01	0,061	328	1,69	0,023
Разработанный транзистор												
0,029	1	0,21	10,8	0,019	51,8	0,9	1,82	0,004	0,037	476	1,68	0,038

Разработанный транзистор (АП399-5) выпускается в ОАО «НИИПП» г. Томска по ТУ главного конструктора.

Работа выполнена при поддержке 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. Snodgrass W. 150 nm InP HBT process with two-Level Airbridge Interconnects and MIM Capacitors for Sub-Millimeter Wave Research / W. Snodgrass, M. Stuenkel, M. Feng // CS MANTECH Conference, Florida, USA, 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.csmantech.org/Digests/2009/2009% 20Papers/15.4.pdf, свободный (дата обращения: 25.01.2010.

2. Hulsmann A. Advanced mHEMT technologies for spasce applications / A. Hulsmann, A. Leuther, I. Kallfass, R.Weber, A. Tessmann, M. Schlechtweg, O. Ambacher // 20-th International Symposium on Space Terahertz Technology. – Charlottesville, 2009. – P. 178–182.

3. Dambrine G. A New Method for Determining the FET Small-Signal Equivalent Circuit / G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore, E. Playez // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1988. – Vol. 36. – P. 1151–1159.

4. Berroth M. Broadband Determination of the FET Small-Signal Equivalent Circuit / M. Berroth, Ft. Bosch // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1990. – Vol. 38. – P. 891–895.

5. Wurtz L. T. GaAsFET and HEMT Small-Signal Parameter Extraction from Measured S-Parameters // IEEE Transactions on instrumentation and measureement. – 1994. – Vol. 43, № 4. – P. 234–236.

6. Каталог дискретных полевых транзисторов. Официальный сайт фирмы TRANSCOM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.transcominc.com.tw/English/fet-chips.htm, свободный (дата обращения: 12.07.2010).

Ющенко Алексей Юрьевич
Аспирант ТУСУР, науч. сотрудник ОАО «НИИ полупроводниковых приборов» (НИИПП)
Тел.: (382-2) 48-82-48
Эл. почта: ayzen@mail.tomsknet.ru

Айзенштат Геннадий Исаакович
Д-р техн. наук, нач. лаб. ОАО «НИИПП»
Тел.: (382-2) 48-82-48
Эл. почта: ayzen@mail.tomsknet.ru

Божков Владимир Григорьевич
Д-р техн. наук, проф., нач. отд. ОАО «НИИПП»

Бабак Леонид Иванович
Канд. техн. наук, зам. директора НОЦ «Нанотехнологии»,
доцент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 41-47-17
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

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

Сальников Андрей Сергеевич
Мл. науч. сотрудник каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-913-866-44-65
Эл. почта: ansalnikov@gmail.com

Yushenko A.Y., Ayzenshtat G.I., Bozhkov V.G., Babak L.I., Dobush I.M., Salnikov A.S.

Microwave Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor

The designing results of 0.3 μm GaAs PHEMT transistor are presented. The equivalent circuit parameters of the manufactured transistor are given. The transistor parameters are compared with the same ones of a foreign analogue.

Keywords: high electron mobility transistor,small-signal model.