

## Статические характеристики малошумящего полевого транзистора для СВЧ приборов.

*Гроо Е.П.*

ООО “НПФ “Микран”, г. Томск, E-mail: [www.groo318@ngs.ru](mailto:www.groo318@ngs.ru)

Публикация: Научная сессия ТУСУР – 2004. Материалы Всероссийской Научно-Технической Конференции 2004г., ТОМСК, РОССИЯ

Рассмотрена технология изготовления полевого арсенид-галлиевого (GaAs) транзистора с самосовмещенным затвором длиной 0,3 мкм; представлены вольт-амперные характеристики и СВЧ параметры прибора.

Малошумящие полевые транзисторы (ПТ) применяются в интегральных схемах усилителей мощности, переключателей, в СВЧ-модулях радиотехнического оборудования и т.д. и являются одним из основных приборов, используемых в СВЧ технике, что объясняется их хорошими усилительными свойствами в области высоких частот.

Проблемой изготовления транзисторов на GaAs является изготовление малошумящих приборов с длиной затвора до 0,3 мкм.

Проводили исследование по изготовлению ПТШ на материале полученном молекулярно – лучевой эпитаксии в г.Новосибирске и на материале полученном в НИИПП(10-й отдел).

Основные электрические параметры согласно требованиям технического задания по созданию полевого транзистора шириной 900 мкм на частоте 1.9 ГГц:

- коэффициент шума  $K_{ш} < 1$  дБ;
- коэффициент усиления по мощности  $K_{у} > 15$  дБ.

В существующей технологии ПТШ, требуемый коэффициент шума  $K_{ш} < 1$  дБ для малошумящих транзисторов достижим при формировании затвора через маску не более 0.5 мкм.

Полевой транзистор с барьером Шоттки (GaAs ПТШ) состоит из двух омических контактов истока и стока с барьером Шоттки (затвор) между ними, расположенным на тонком проводящем активном слое, который выращен на полуизолирующей подложке (Рисунок 1). Базовая структура GaAs ПТШ содержит тонкий  $n^+$  - контактный слой нанесенный на активный эпитаксиальный слой расположенный поверх полуизолирующей подложке. Перед выращиванием активного слоя для улучшения качества кристаллографии выращивается высокоомный буферный слой [1]. Принцип работы приборов основан на полном обеднении активного слоя при подаче на затвор соответствующего напряжения

обратного смещения. Это означает, что необходима корреляция уровня легирования слоя материала и его толщины [2].

Согласно теоретическому анализу уменьшение размеров приводит к более высоким частотам генерации. Длина затвора – одна из наиболее важных параметров GaAs ПТШ, и она должна быть порядка 0,25 мкм для достижения требуемых коэффициентов усиления и шума в области СВЧ. Другими важными параметрами являются паразитные сопротивления истока и затвора. Толщина активного эпитаксиального слоя также очень мала, обычно от 0,1 до 0,2 мкм при концентрации носителей примерно  $3 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$ . Толщина высокоомного буферного слоя равна 1 - 2 мкм [3].

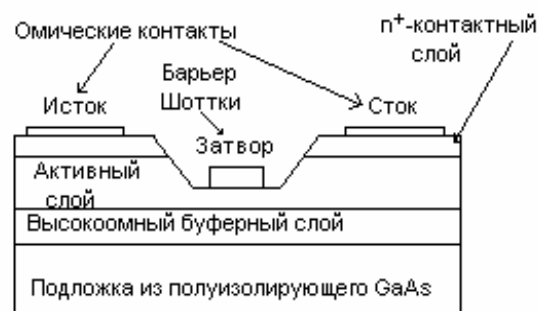


Рисунок 1 - Схематическое изображение GaAs ПТШ с утопленным затвором

На рисунке 2 показано поперечное сечение электродов транзистора. Сплав Au-Ge-Ni – наиболее предпочтительный материал для омического контакта на GaAs [4]. Слой Au является защитным, необходимым для монтажа проволочных выводов, слой V используется в качестве адгезионного материала и служит для предотвращения диффузии между Au и Au-Ge-Ni. Металл затвора должен иметь хорошую проводимость, хорошую адгезию к GaAs, высокую надежность и, главное, не вступать в реакцию с GaAs вплоть до температур 400 °C [5]. На данное время система тугоплавких металлов, таких как Ti-Ta-Mo-Au, является предпочтительной в качестве материала затвора.

На рисунке 2б приведена структура транзистора с уменьшенным сопротивлением затвора малой длины. Барьер Шоттки на затворе выполнен из тугоплавкого материала Mo или W, сверху нанесен слой золота [6]. Слой золота используется и как маска при формировании омических контактов методом самосовмещения. На рисунке 2в показано углубление затвора в структуре с p<sup>+</sup>-контактным эпитаксиальным слоем [7]. Если даже на поверхности нет p<sup>+</sup>-контактного слоя, углубление затвора при его достаточной глубине очень эффективно для уменьшения сопротивления истока. Структура, показанная на рисунке 2г, может быть получена селективным ионным легированием или селективным эпитаксиальным выращиванием [8]. Структура является идеальной, однако очень трудно

контролировать активный промежуток между  $n^+$  - истоковым контактным слоем и затвором, если не применен один из способов самосовмещения.

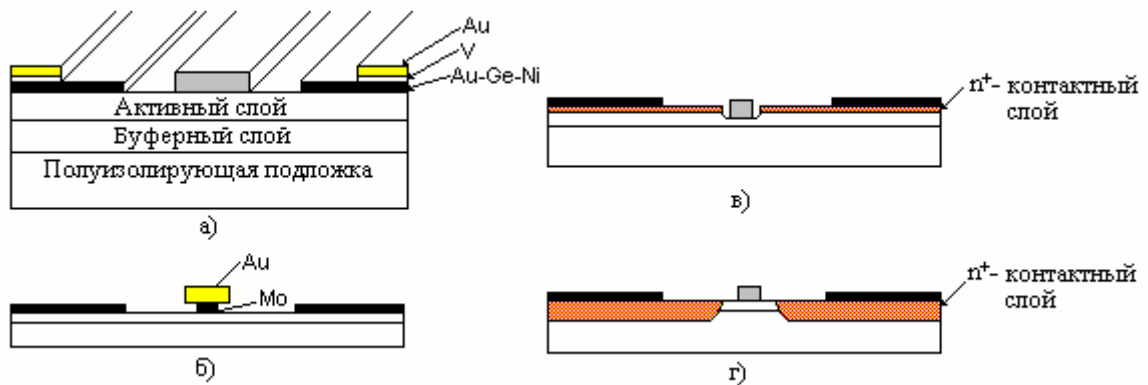


Рисунок 2 - Основные структуры малошумящих GaAs ПТШ: а - плоского типа; б - с улучшенной структурой затвора; в — утопленная; г - с селективным  $n^+$  - контактным слоем.

Для изготовления прибора, используется структура, полученная, ионным легированием примеси в полупроводник (ИЛС). Эта структура выращена на полуизолирующей подложке имеет контактный  $n^+$  слой, концентрация которого  $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , активный  $n_a$  слой с концентрацией  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , буферный  $n_b$  слой с концентрацией  $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$  (рис.3)

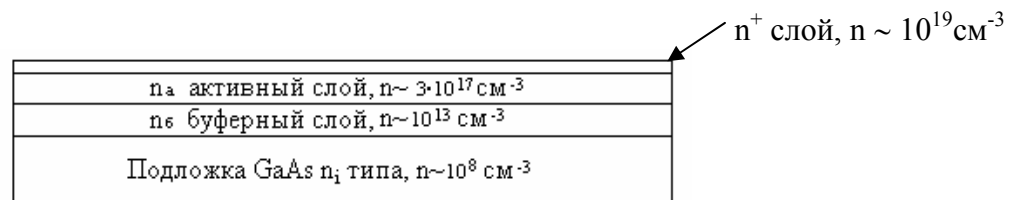


Рисунок 3. – Исходная структура пластины ПТШ.

Технологический процесс изготовления ПТ можно представить следующим образом:

- в первую очередь, с помощью оптической литографии методом “теневого эффекта”, создается субмикронная маска на поверхности пленки двуокиси кремния (рис.4);

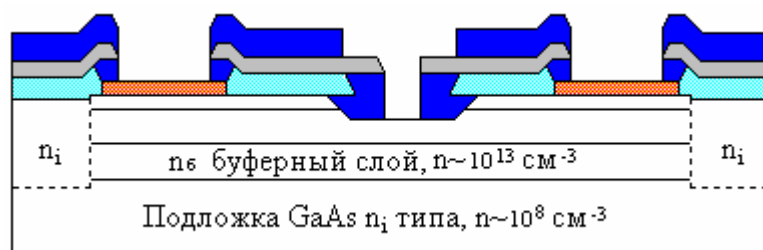


Рисунок 4. – Формирование субмикронного затвора, при использовании оптической литографии.

- полученный таким способом размер окна в маске будет определяться толщиной первоначально нанесенного Al и может достигать вплоть до 0.15 мкм, если отталкиваться от явлений, связанных с волновой природой используемого для экспонирования ультрафиолетового излучения. В пластине в рабочем n-слое вытравливается канал до нужного напряжения отсечки и тока стока насыщения. Затем формируем сам субмикронный затвор, напыляя TaAu, в качестве материала затвора (рис.5). Затем проводим пассивацию поверхности диэлектрическим покрытием.

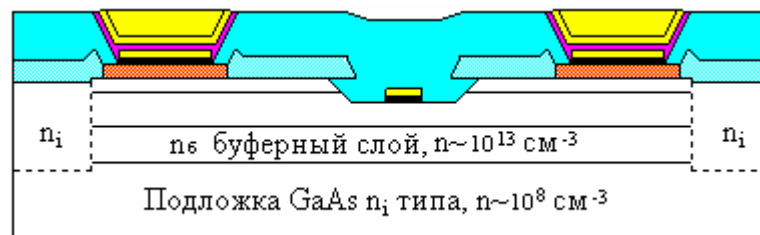


Рисунок 5. – Готовый запассивированный транзистор.

В таблице представлены экспериментальные исследования ПТШ.

**Таблица 1 – Статические характеристики ПТШ,  $I_{c\text{нас}}=100\text{ мА}$**

Параметр	№1	№2	№3	№4	№5
Ток насыщения стока, ( $U_{зи}=0\text{В}$ ) $I_{нас}$ , мА	100	100	100	100	100
Напряжение отсечки, $U_{отс}$ , В	1,8	2	2	1,8	2
Напряжение насыщения стока, $U_{си\text{нас}}$ , В	1,5	1,5	1,7	1,5	1,6
Пробивное напряжение сток-исток, $U_{си\text{проб}}$ , В	25	21,5	23	22,5	20
Пробивное напряжение затвор-сток, $U_{зс\text{проб}}$ , В	17	17	17	17,5	13
Высота барьера затвора, $\phi$ , В	0,6	0,56	0,5	0,6	0,56
Коэффициент идеальности, $\eta$	1,26	1,09	1,26	1,17	1,092
Паразитные сопротивления, $R_n/R_c$ , Ом	0,6/3,6	0,8/4,2	0,4/2,9	0,9/4,6	0,8/4,4
Крутизна, $S$ , мА/В·мкм	0,16	0,14	0,14	0,15	0,14
Емкость затвора, $C_{гз}$ , пФ	1.44/0.29	1.45/0.3	1.4/0.28	1.45/0.3	1.4/0.28
Длина затвора, $L_з$ , мкм	0,43	0,44	0,42	0,44	0,42

Типичные вольтамперные характеристики малошумящего GaAs ПТШ с длиной затвора менее 0.5 мкм представлены на рисунке 6.

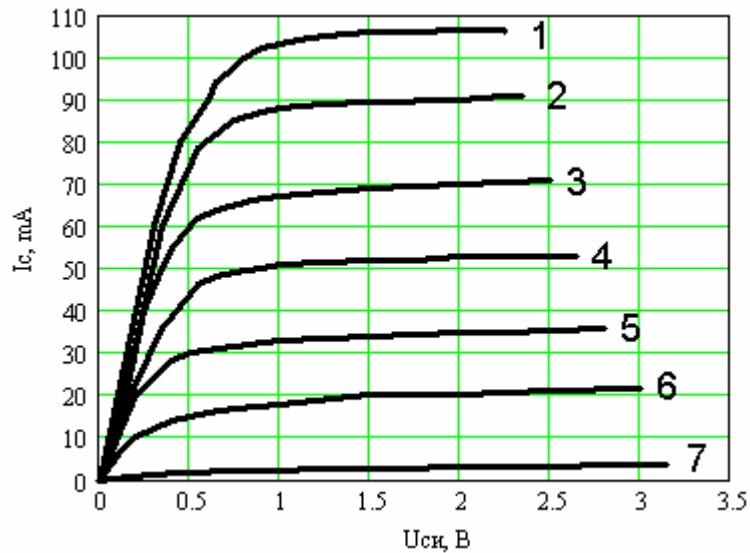


Рисунок 6 - Вольтамперные характеристики GaAs ПТШ при  $I_{c\text{нас}}=100\text{mA}$ : 1 –  $U_{зи}=0\text{В}$ ; 2 –  $U_{зи}=-0.2\text{В}$ ; 3 –  $U_{зи}=-0.4\text{В}$ ; 4 –  $U_{зи}=-0.6\text{В}$ ; 5 –  $U_{зи}=-0.8\text{В}$ ; 6 –  $U_{зи}=-1\text{В}$ ; 7 –  $U_{зи}\text{отс}=-2\text{В}$ .

По анализу статистических параметров ПТШ следует, что экспериментальные образцы ПТШ имеют стабильные значения напряжения отсечки – 1.8 и 2 В при  $I_{\text{нас}}=100\text{ mA}$ , что соответствует качественной границе раздела пленка-подложка.

Приборы обладают стабильными и высокими параметрами напряжения пробоя – 20 В, достигнутые за счет углубленной структуры затвора и качественной отработке процесса травления канала по заданным параметрам.

Экспериментальные образцы так же обладают низкими паразитными сопротивлениями истока и стока. Низкие сопротивления получены за счет хороших полученных омических контактов. Полученные паразитные сопротивления на прямую сказываются на такие параметры как  $K_{ш}$  и  $K_{у}$ .

Приборы имеют хорошие статические характеристики, такие как крутизна ВАХ  $S=0.2\text{ mA/Vмкм}$ , и напряжение пробоя порядка  $U_{пр}=20\text{ В}$  и динамические характеристики, такие как коэффициент шума  $K_{ш}=0.9\text{ дБ}$ , и коэффициент усиления  $K_{у}=17\text{ дБ}$ , полученные за счет малой длины затвора транзистора порядка  $L_3=0.3\text{ мкм}$ .

Приближенные значения коэффициента идеальности к 1 соответствуют тому, что ток через барьер полученного прибора приближен к теоретическому экспоненциальному росту тока через барьер.

В заключении можно сказать что, используя полученные данные при изготовлении мощного малозоумящего транзистора, проводятся разработки для изготовления интегральных схем усилителей на 10 ГГц, переключателей и т.д.

## Список используемой литературы

- 1 Nozaki, T., M. Ogawa, H. Terao and H. Watanabe, Inst. Phys. Conf. Ser. No.24, Chapt. 2, p.46, 1985
- 2 Стриха В.И., Бузанева Е.В., Радзиевский И.А. Полупроводниковые приборы с барьером Шоттки (физика, технология, применение) / Под ред. В. И. Стрихи. М., «Сов, радио», 1974, 248 с.
- 9 Hewitt, B.S., et al., Electron. Letters, 12:309, 1991.
- 4 Н.К. Быкина и др. Влияние технологии формирования омического контакта на параметры ПТШ на арсениде галлия. “Электронная техника”, сер. 1. Электроника СВЧ. Вып 9/433, 1990. – 57с.
- 5 Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технологии изготовления: Пер. с англ. / Под ред. Д. В. Ди Лоренцо, Д. Д. Канделуола. – М.: Радио и связь, 1988. – 496 с.
- 6 Takahashi, S. et al., Proc. 8th Conf. Solid State Device, Tokyo, p. 115, 1987.
- 7 Buthin, R.S. et al., IEEE Int. Electron Devices Meeting, Dig. Tech. Papers, p. 136, 1988.
- 8 Fukuta, K., T. Nozaki, and N. Kawamura, IEEE Trans. Electron Devices, ED-24:1129, 1987.