

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №3

**ОЗНАЙОМЛЕННЯ З КОНСТРУКЦІЯМИ КОРПУСІВ,
ЗОВНІШНІХ ОБОЛОНОК ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ
ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ**

**3 КУРСУ
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ»
Для студентів спеціальності «Електронні прилади та пристрої»**

Київ 2014

Мета роботи: ознайомитись з конструкціями корпусів, зовнішніх оболонок та технологіями виготовлення електронних приладів.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути конструкції вакуумних ламп:
 - діодів;
 - тріодів;
 - тетродів;
 - пентодів;
 - тиратронів;
 - газових розрядників;
 - магнетрону;
 - вакуумних індикаторних елементів.
2. Класифікувати вакуумні прилади за потужністю.
3. Зробити ескізи вакуумних приладів, на які вказав викладач.
4. Розглянути конструкції напівпровідникових приладів:
 - діодів;
 - транзисторів;
 - тиристорів.
5. Замалювати внутрішню конструкцію потужного транзистору зі знятою верхньою частиною корпусу.
6. Класифікувати напівпровідникові прилади за потужністю.
7. Розглянуто та записати основні етапи технологій виготовлення полевого транзистору, напівпровідникової монолітної та гібридної мікросхем.

(Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.)

Вимоги до звіту

1. Ціль даної роботи.
2. Порядок виконання роботи.
3. Звіт до лабораторної роботи повинен містити:
 - ескіз вакуумної лампи, ескіз внутрішньої конструкції потужного транзистору зі знятою верхньою частиною корпусу (додаток А);
 - основні етапи технологій виготовлення полевого транзистору, напівпровідникової монолітної та гібридної мікросхем.
4. Реферат, що містить технологію виготовлення довільного (вибирати може сам студент) електронного приладу, наприклад транзистору, мікросхеми, вакуумної лампи чи конденсатору... реферат повинен містити короткий опис принципу дії приладу, опис основних технологічних операцій та рисунки, що їм відповідають. Об'єм реферату необмежений, але не менше 10 ст. (Додаток В).
5. Висновки по роботі.

(Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.)

Контрольні запитання:

6. Назвати переваги та недоліки використання вакуумних та напівпровідникових приладів.

7. Які бувають конструкції оболонок вакуумних приладів, з яких функціональних елементів вони складаються, з яких матеріалів виготовляються?

8. Які бувають конструкції оболонок напівпровідникових приладів, з яких функціональних елементів вони складаються, з яких матеріалів виготовляються?

9. Назвати основні етапи виготовлення полевого транзистору, монолітної та гібридної мікросхем.

Література.

1. Антонов В. А. "Технология производства электровакуумных и полупроводниковых приборов": Учеб. пособие для вузов- М.: Высш. Школа, 1979.

2. М. Л. Иорш, Ч. А. Кацман, С. В. Птицин. «Основы производства электровакуумных приборов».

3. Березин Г. Н., Могилкина Д. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем», Москва, Радио и связь, 1983.

4. Федоров Л. П. Производство полупроводниковых приборов», Москва, Энергия, 1979.

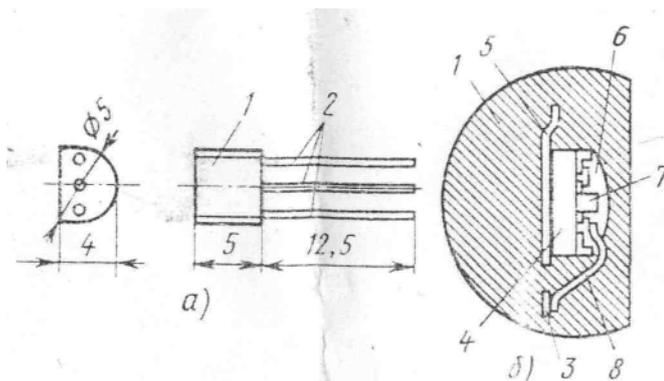


Рис. 1. Транзистор, спресований пластмасою (конструктивне оформлення КТ-25):
a - загальний вигляд, *б* - поперечний розріз (збільшено); 1 - пластмаса,
 2 - виводи, 3, 5, 8 - емітерний, колекторний та базовий виводи, 4 - кристал,
 6 - компаунд, 7 - базова область

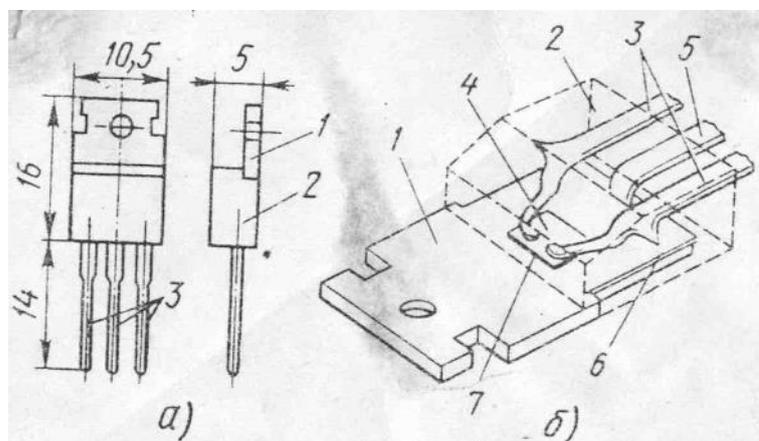


Рис. 2 Потужний транзистор, спресований пластмасою, корпус КТ-28 (збільшено):
a - загальний вигляд, *б* - устрій; 7 - тепловідвід, 2 - пластмасова опресовка,
 3, 5 - виводи, 4 - захисне покриття, 6 - підкладка, 7 - кристал.

Технология изготовления малошумящего полевого транзистора для СВЧ приборов.

Петрова Т.С.; Игнатъев М.Г.

ООО "НПФ "Микран"", г. Томск, E-mail: tanya@micran.ru

Публикация: *Всероссийская Международная Научная Конференция, Институт физики прочности и материаловедения СОП АН, 2003 год.*

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. Это, возможно, реализовать при использовании маски Al-Al для формирования затвора.

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 °С [5]. На данное время система тугоплавких металлов, таких как Ti-Ta-Mo-Au, является предпочтительной в качестве материала затвора.

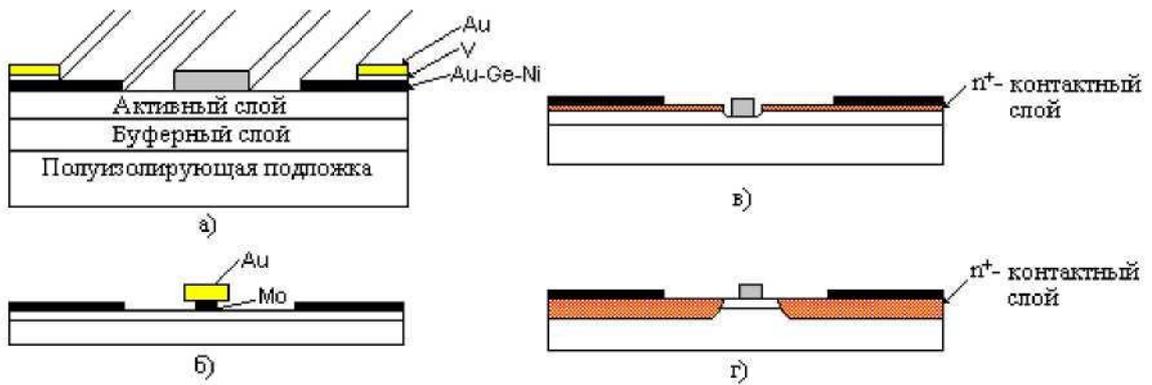


Рисунок 2 - Основные структуры малошумящих GaAs ПТШ:
 а - плоского типа; б - с улучшенной структурой затвора; в - утопленная; г - с селективным p^+ - контактным слоем.

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^+ - контактным эпитаксиальным слоем [7]. Если даже на поверхности нет p^+ - 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 p^+ - истоковым контактным слоем и затвором, если не применен один из способов самосовмещения.

Для изготовления прибора, используется структура, полученная, ионным легированием примеси в полупроводник (ИЛС). Эта структура выращена на полу изолирующей подложке имеет контактный p^+ 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)

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);
- полученный таким способом размер окна в маске будет определяться толщиной первоначально нанесенного Al и может доходить вплоть до 0.15 мкм, если отталкиваться от явлений, связанных с волновой природой используемого для экспонирования ультрафиолетового излучения. В пластине в рабочем p -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.

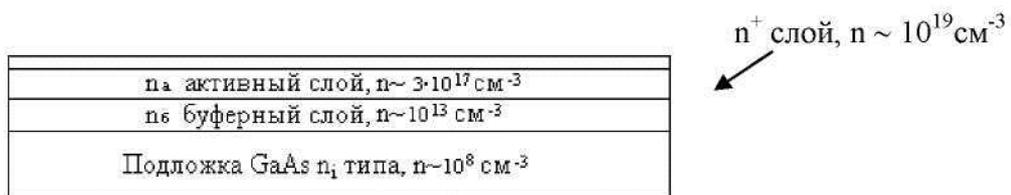


Рисунок 3. – Исходная структура пластины ПТШ.

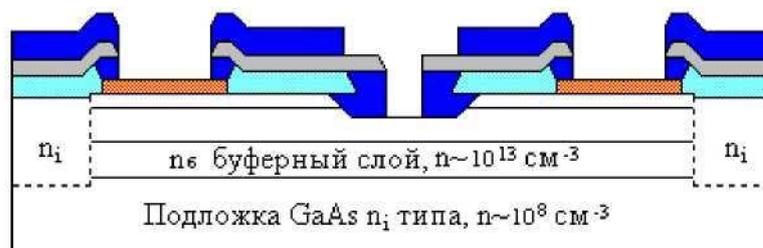


Рисунок 4. - Формирование субмикронного затвора, при использовании оптической

литографии.



Рисунок 5. - Готовый запассивированный транзистор. В таблице представлены экспериментальные исследования ПТШ.

Таблица — Статические характеристики ПТШ, $I_{\text{нас}}=100 \text{ mA}$

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

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

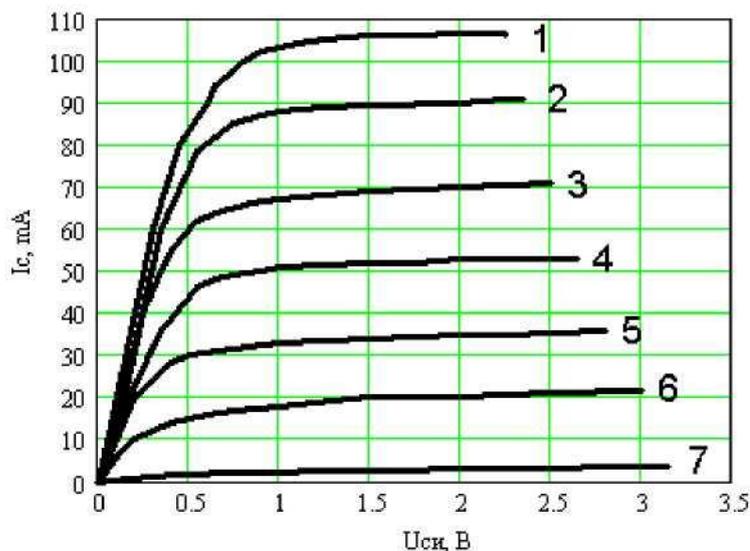


Рисунок 6 - Вольтамперные характеристики GaAs ПТШ при $I_{\text{нас}}=100\text{mA}$: 1 - $U_{\text{зи}}=0\text{В}$; 2 - $U_{\text{зи}}=-0.2\text{В}$; 3 - $U_{\text{зи}}=-0.4\text{В}$; 4 - $U_{\text{зи}}=-0.6\text{В}$; 5 - $U_{\text{зи}}=-0.8\text{В}$; 6 - $U_{\text{зи}}=-1\text{В}$; 7 - $U_{\text{зи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

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 отработки 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 $K_{\text{ш}}$ и $K_{\text{у}}$.

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

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 малошумящего 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.
- 3 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 технологи 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 StateDevice, 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. Elecnron Devices, ED-24:1129, 1987.