

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

**Компьютерное моделирование
характеристик полевого транзистора
с управляющим р-п переходом**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Пырьева Сергея Алексеевича

Научный руководитель

Доц. кафедры

физики твердого тела

к.ф.-м.н.

М.Ю.Калинкин

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

Д.А.Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

Транзисторы получили широчайшее практическое применение в вычислительной технике и радиотехнике. В настоящее время ведутся исследования, направленные на повышение быстродействия электроники и совершенствование свойств транзисторов.

Существуют биполярные транзисторы и полевые. Полевые транзисторы делятся на МДП-транзисторы и транзисторы с управляющим р-п переходом.

Основными преимуществами полевых транзисторов с управляющим переходом перед биполярными транзисторами являются высокое входное сопротивление, малые шумы (обусловлены тем, что носители заряда не пересекают р-п переходов, как в биполярных транзисторах, а двигаются вдоль них), простота изготовления, малое значение остаточного напряжения между истоком и стоком открытого транзистора. Существуют биполярные транзисторы и полевые. Полевые транзисторы делятся на МДП-транзисторы и транзисторы с управляющим р-п переходом.

Последние были выбраны нами для исследования.

Математическое моделирование полевого транзистора можно проводить как в универсальной инженерной среде Mathcad, так и при помощи специализированного программного обеспечения схемотехнического моделирования NI Multisim, Microcap и т.д. Предварительное моделирование полевого транзистора – необходимый элемент разработки нового прибора, т.к. способствует материальных и временных затрат при проектировании.

Цель работы: компьютерное моделирование характеристик полевого транзистора с управляющим р-n переходом. В связи с целью были поставлены следующие задачи:

- 1) Сделать критический обзор по классической теории полевого транзистора и технологии его изготовления;
- 2) Провести математическое моделирование стокзатворных характеристик в системах Mathcad и Multisim;
- 3) Провести измерение указанных характеристик и АЧХ промышленно выпускаемого полевого транзистора марки 2SK170-GR.

Работа включает четыре главы: «1. Теоретическая часть», «2. Микроскопическое исследование и рентгеноспектральный микроанализ поверхности кристалла полевого транзистора 2SK170-GR», «3. Моделирование стоковых характеристик полевого транзистора с управляющим р-n переходом в системе инженерных расчетов Mathcad и САПР Multisim» и «4. Экспериментальное исследование стоковых и амплитудно-частотных характеристик полевого транзистора с управляющим р-n переходом».

В теоретической части рассматривается классическая теория полевых транзисторов, приводится вывод рабочей формулы для последующего моделирования семейства статических стоковых выходных характеристик.

$$I_D = \frac{e^2 \mu_n N_D^2 Z a^3}{6 \epsilon_s L} \left(\frac{3}{a^2} (y_2^2 - y_1^2) - \frac{2}{a^3} (y_2^3 - y_1^3) \right) \quad (1)$$

$$I_{D,sat} = V_P \left(1 - 3 \frac{V_{bi} + V_G}{V_P} + 2 \left(\frac{V_{bi} + V_G}{V_P} \right)^{\frac{3}{2}} \right) \quad (2)$$

Так же рассмотрена технология изготовления полевых транзисторов с управляющим р-n переходом и теория фотолитографии.

Во второй главе с целью исследования структуры корпус полевого транзистора был вскрыт путем механического разлома специальным инструментом. Один из трех выводов представляет собой теплоотводящую пластину с поверхностью серебристого цвета, на которой прикреплен кристалл

полупроводника в виде прямоугольного параллелепипеда. Поверхность кристалла — неровная в результате полученных повреждений при вскрытии. Измерение размеров и высоты кристалла было проведено на цифровом измерительном микроскопе MICROSCOPEKH-7700.

Дальнейшее исследование проводилось на сканирующем электронном микроскопе INCA Penta FET X3 образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ. Были проведены микроскопическое исследование и рентгеноспектральный микроанализ химического состава поверхности фрагмента кристалла полевого транзистора на теплоотводе.

Таким образом, было установлено, что поверхность кристалла состоит из кремния с небольшим содержанием углерода (порядка 13%), а поверхность теплоотвода имеет в своем составе серебро, олово, титан, медь, а также никель. Планарной структуры металлизации дорожек выявить не удалось в связи с повреждениями верхнего слоя кристалла, полученными при вскрытии.

В третьей главе проводилось моделирование стоковых характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом в системе инженерных расчетов Mathcad и САПР Multisim.

Многочисленными были графически построены графики функций 1 и 2. В результате получилось семейство выходных стоковых характеристик для разных напряжений на затворе.

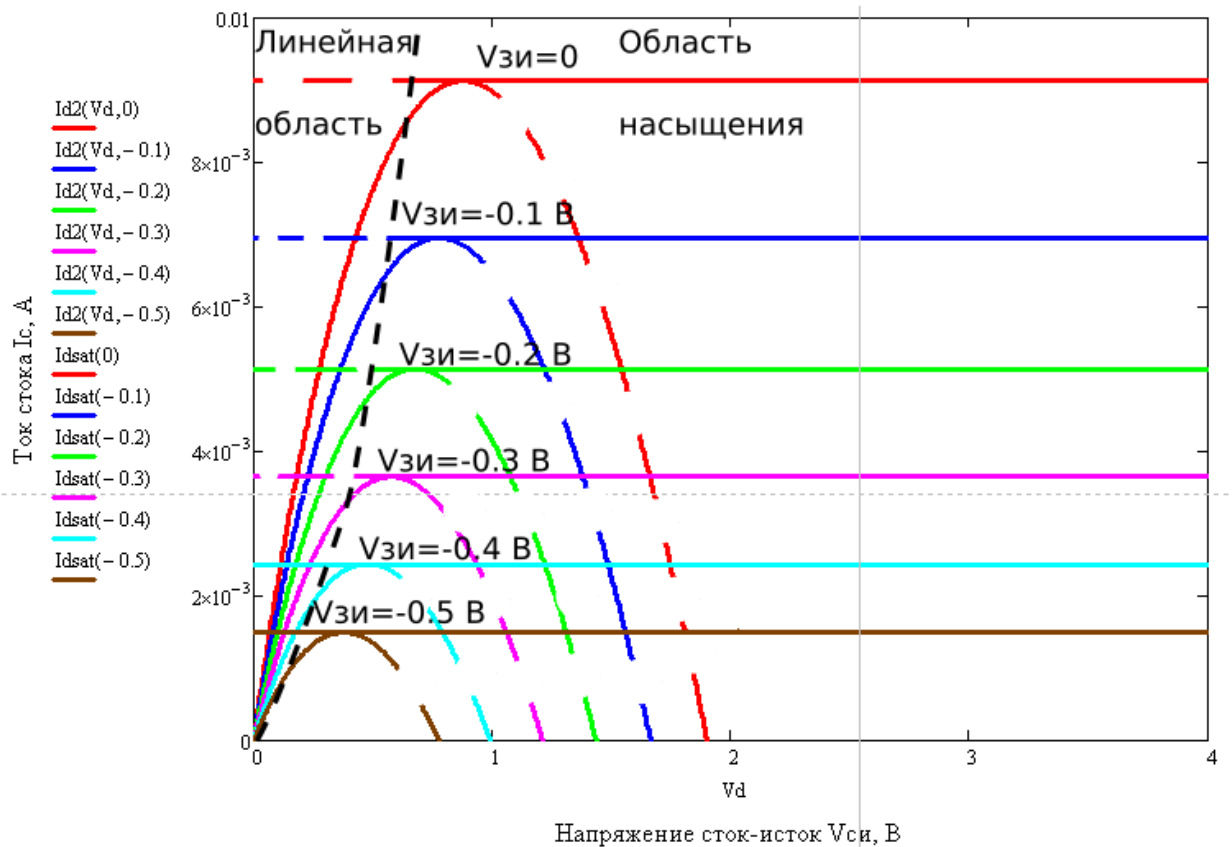


Рисунок 1 – Статические стоковые характеристики JFET-транзистора при разных напряжениях на затворе, полученные моделированием с помощью Mathcad.

В четвертой главе проводился эксперимент. Было проведено моделирование схемы измерения на макетной плате лабораторной измерительной станции NI ELVIS. После чего было экспериментально получено семейство выходных стоковых характеристик.

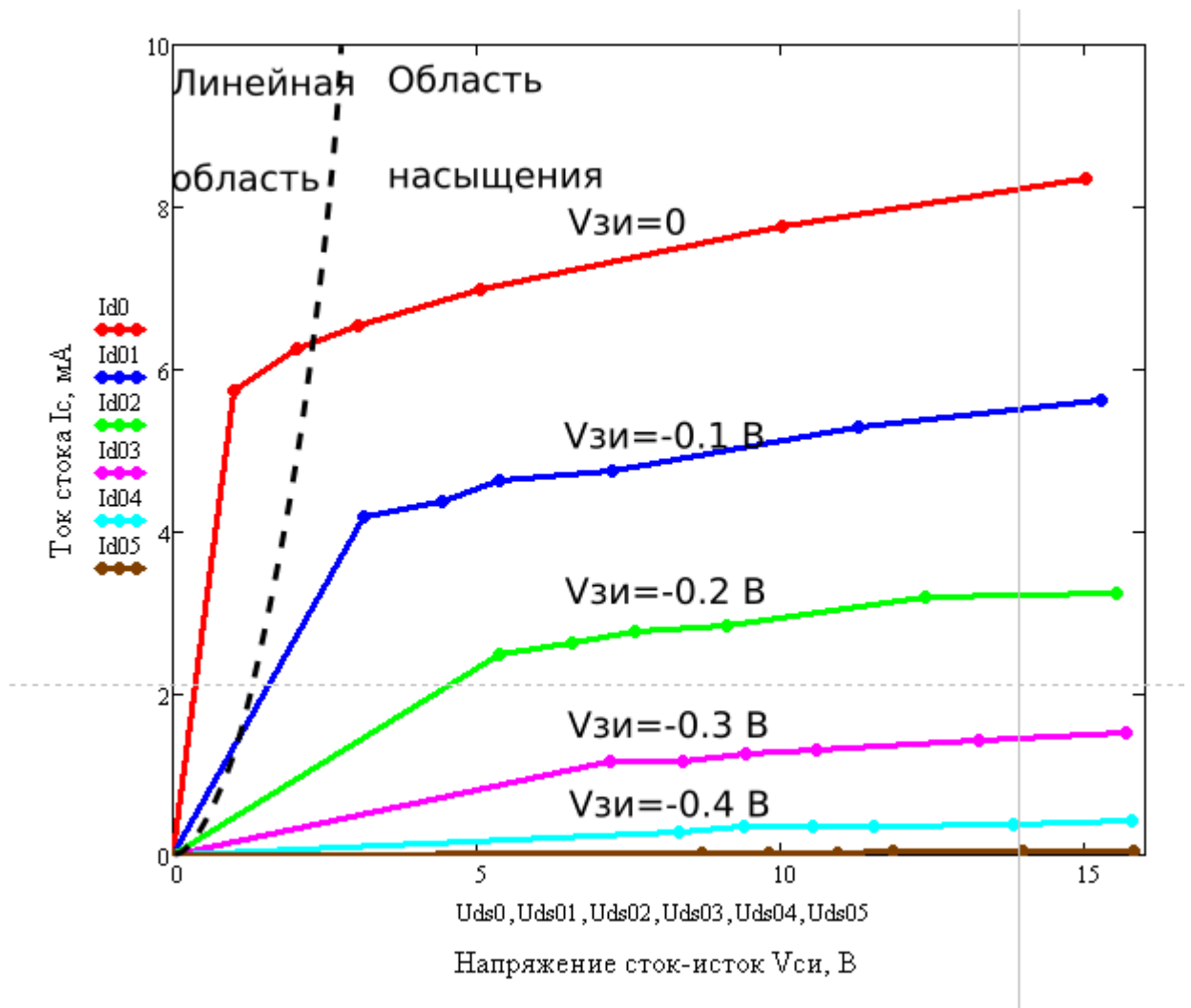


Рисунок 2 – Семейство статических стоковых выходных характеристик JFET-транзистора при разных напряжениях на затворе, полученное экспериментально.

Так же было проведено снятие амплитудно-частотной характеристики исследуемого транзистора.

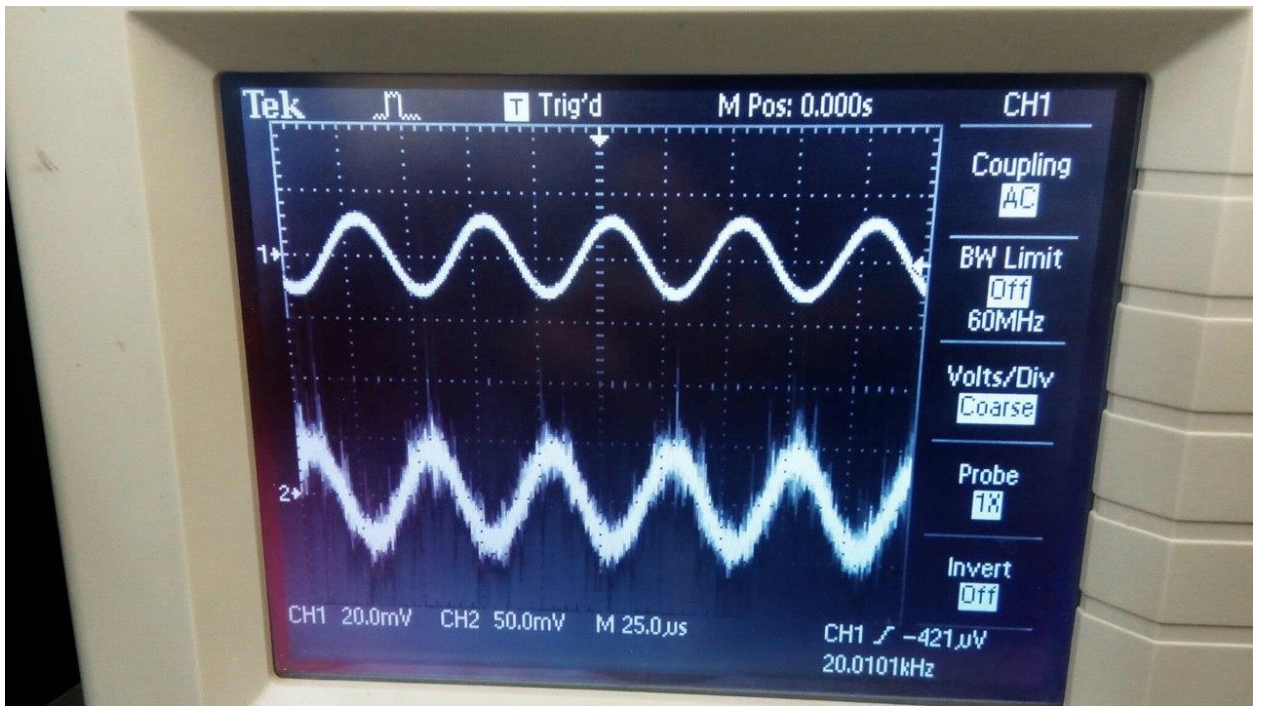


Рисунок 3 – Вид экрана осциллографа с осциллограммами входного (CH1) и выходного (CH2) сигналов во время измерения АЧХ полевого транзистора в точке $f=20$ кГц.

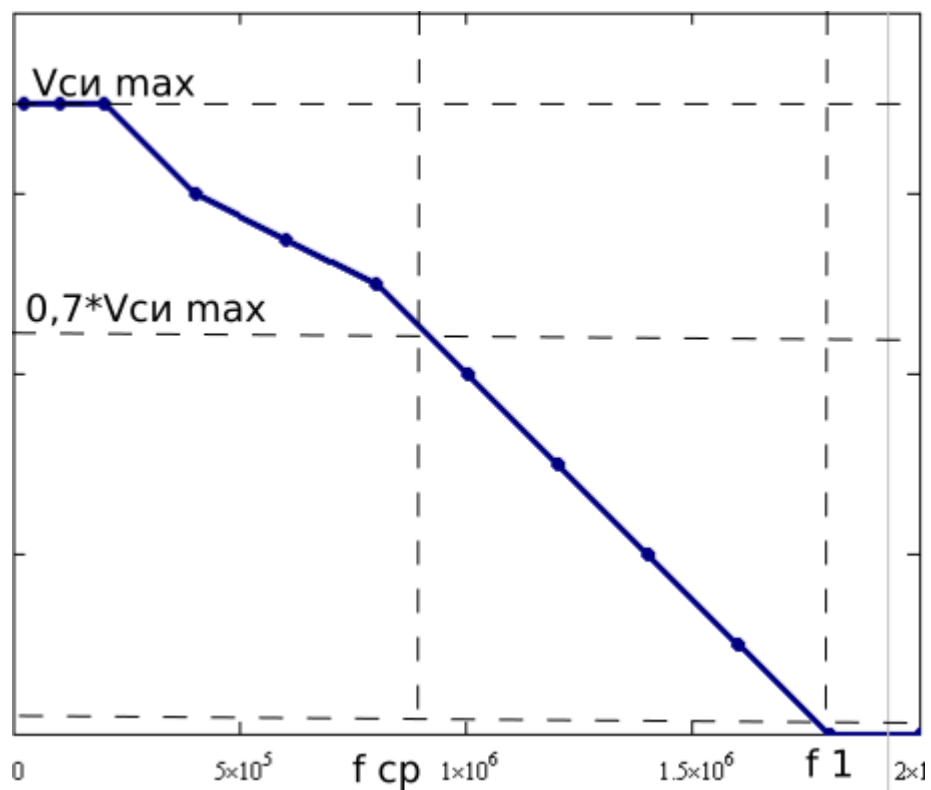


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика JFET-транзистора, полученная экспериментально.

Из АЧХ установлено, что усиление выходного сигнала уменьшается с повышением частоты, и на частоте $f_1=1,8$ МГц усиление прекращается. Частоту среза определим из условия $V_{СИ}(f_{cp})=0.707*V_{СИ}$. Из графика видно, что $f_{cp} =0.9$ МГц. Таким образом, диапазон частот 0 – 0.9 МГц является рабочим диапазоном исследуемого транзистора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выпускной квалификационной работы бакалавра была рассмотрена классическая модель работы полевого транзистора. Проведено моделирование статических стоковых характеристик полевого транзистора в системе инженерных расчетов Mathcad и САПР Multisim. Необходимые для моделирования параметры были взяты из микроскопических измерений и результатов микроанализа кристалла полевого транзистора после его вскрытия (модель 2SK170-GR). В заключении приведены результаты экспериментального исследования статических стоковых характеристик и АЧХ. Результаты эксперимента достаточно хорошо согласуются с результатами компьютерного моделирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. M. Grundman. The physics of semiconductors. An introduction including nanophysics and applications. Second edition, 903, 2010 г.
2. И.К. Верещагин. Физика твёрдого тела. Второе издание, 121, 2001 г.
3. S.M. Sze, K.Ng. Kwok. Physics of semiconductor devices. Third edition, 764, 2007 г.
4. В.И. Санкин, П.П. Шкребий, А.А. Лебедев. Эффекты ванье-штарковской локализации в 6H-SiC планарном полевом транзисторе с р-п-переходом в качестве затвора. 2006 г.
5. Li Sheng S. Semiconductor Physical Electronics. Second Edition. Springer, 708, 2006 г.
6. John O. Attia. Electronics and circuit analysis using Matlab, 400, 1999 г.
7. И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники, 488, 2001 г.
8. Stephen A. Campbell. The science and engineering of microelectronic fabrication. Second edition, 616, 2001 г.
9. M. Bao, K.L. Wang, IEEE Trans. Electron devices, 2006 г.
10. M. Grundman. Solid state electron, 1446, 2005 г.
11. В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 789, 2008 г.
12. Г.Н. Березин, А.В. Никитин, Р.А. Сурис. Оптические основы контактной фотолитографии. М.: Радио и связь, 104, 1982 г.
13. И. Броудай, Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. Под ред. А.В. Шальнова. М.: Мир, 496, 1985 г.
14. С.А. Сычев, Г.М. Серопян. Фотолитографический метод создания тонкопленочных ВТСП структур, 2004 г.
15. Б.А. Лапшинов. Технология литографических процессов, 2011 г.
16. В.Ф. Попов. Ионно-лучевые установки. — Л.: Энергоиздат, 136, 1981 г.
17. Г.Ф. Ивановский, В.И. Петров. Ионно-плазменная обработка материалов. — М.: Радио и связь, 232, 1986 г.

18. Е.З. Мазель, Ф.П. Пресс. Фотолитография и оптика. Планарная технология кремниевых приборов, 1974 г.
19. К.А. Валиев, А.А. Раков. Физические основы субмикронной литографии в микроэлектронике, 1984 г.
20. Г.К. Селиванов, А.В. Ельцова. Светочувствительные полимерные материалы, 1985 г.