

**Кафедра ИУ-4
«Проектирование и технология производства ЭС»**

Журнал практических работ

**по курсу: «Физические основы
микроэлектроники»**

Для студентов приборостроительных специальностей

20___ / ___ учебный год

Студент _____
(фамилия, и. о.)

Группа _____

Преподаватель _____ Допуск к экзамену (зачету) _____ Подпись _____
(фамилия, и. о.) (число)

**Москва
2023**

Программа
к учебному плану направления подготовки 551100 (654300)
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ,
специальностям
220500 Проектирование и технология электронно-вычислительных средств и
200800 Проектирование и технология радиоэлектронных средств.

№	Виды учебных работ	Объем работ в часах		
		Всего	6 сем.	
	На дисциплину	144	144	
1	Аудиторная работа	85	85	
1.1	- лекции	51	51	
1.2	- семинары	17	17	
1.3	- лабораторные занятия	17	17	
1.4	Самостоятельная работа:	59	59	
	Домашние задания:	-	-	
	Курсовая работа	-	-	
	Самостоятельное изучение раздела			
1.5	Виды отчетности по дисциплине			
	Контрольная работа			
	Рубежный контроль		РКЗ (15)	
	Зачеты	-	-	
	Экзамены		экзамен	

Отчет по практической работе № 7 «Оценка высоты потенциального барьера в диоде Шоттки для различных металлов контакта при термодинамическом равновесии с использованием MATLAB»			
дата	Оценка	Бонус за сложность	подпись

Цели работы:

Задачи работы:

Задание повышенной сложности (бонус за сложность – max 2 балла):

-реализация в среде MATLAB методики расчета высоты потенциального барьера в p-n переходе (гетеропереход) n-Ge--pGe удельным сопротивлением 2 Ом*см. Рассчитать изменение потенциального барьера на границе при изменении напряжения от +0,15 В до -5В. Нарисовать зонные диаграммы.

Краткий конспект теоретической части (ответы на контрольные вопросы)

1.	
2.	
3.	
3.	
4.	

5.

6.

7.

8.

9.

10.

11.

12.

Ознакомление с необходимыми справочными данными:

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К или $8.6173303 \cdot 10^{-5}$ эВ·К⁻¹

Заряд электрона $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$; Кл

T = 300; К

Таблица 1 Справочные данные

Параметр	Обозначение	Si	Ge	GaAs	InSb
Ширина запрещенной зоны при 300К, эВ	Eg	1,12	0,61	1,43	0,18
Электронное сродство, эВ	χ	4,05	4,0	4,07	4,6
Удельное сопротивление, Ом*см	ρ	4,5	1,0	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Подвижность электронов, см ² *В ⁻¹ *с ⁻¹	μ_n	1500	3900	8500	78000
Собственная концентрация носителей, см ⁻³	n_i	$1,6 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^{16}$
	Обозначение	Al	Cu	Au	Pt
Работа выхода при 300К, эВ	Φ	4,1	4,4	5,0	5,3

Этапы расчетов и представления результатов

Разработка m.-файла расчета в среде MATLAB

1. Согласно руководству пользователя запустите программную среду MATLAB, в окне редактора (EDITOR) вбейте первую строку следующего содержания:

% Расчет высоты потенциального барьера в диоде Шоттки для различных металлов
% контакта при термодинамическом равновесии.

Это будет заголовок программного модуля в среде MATLAB.

2. Сохраните .m-файл под вашим именем.

Вариант задания соответствует номеру студента в списке группы Приложение 1
Таблица №2 Исходные данные.

3. Последовательно введите значения справочных данных, соблюдая следующие обозначения:

% Расчет высоты потенциального барьера в диоде Шоттки

%исходные данные:

F_Au = 5; % эВ, работа выхода электрона для Au

Ksi_Ge = 4; % эВ Энергия сродства атома к электрону (электронное сродство)

Eg_Ge = 0.66; % эВ Ширина запрещенной зоны для Ge

Ro_Ge= 1 %Ом*см удельное сопротивление германия

%k=1.38*1e-23; %Дж/К

$k = 8.6173303 \cdot 10^{-5} \text{ эВ} \cdot \text{К}^{-1}$ Постоянная Больцмана
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = \text{Кл} \cdot \text{В}$
 $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$; Кл Заряд электрона
 $\mu_{Si} = 1000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ подвижность электронов
 $\mu_{Ge} = 3900 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ подвижность электронов
 $T = 300$; К Температура
 $n_{iGe} = 2.5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ Собственная концентрация носителей

вместо многоточия необходимо вставить конкретные значения для других пар контактов, взятые из справочника Таб.1

4. Введите расчетные формулы, используя следующие обозначения:

% формулы для расчета

$ND_{Ge} = 1 / (q \cdot \mu_{Ge} \cdot R_{oGe})$ %размерность см⁻³ концентрация легирующего вещества (донорная концентрация)

$F_{i0Ge} = k \cdot T \cdot \log(ND_{Ge} / n_{iGe})$ объемное положение уровня Ферми для Ge

$F_{iGe} = K_{SiGe} + E_{gGe} / 2 - F_{i0Ge}$ работа выхода электрона из Ge

$\Delta F_{iGe} = F_{Au} - K_{SiGe} - E_{gGe} / 2 + F_{i0Ge}$ контактная разность потенциалов для пары Ge-Au

или $\Delta F_{iGe} = F_{Au} - F_{iGe}$

.....

Аналогично ввести расчетные формулы для других пар контактов из Таб.1

При вводе формул обратить особое внимание на необходимость соблюдения размерности всех значений в одной системе.

5. Осуществить необходимые расчеты и полученные значения записать в таблицу №2 для каждой пары контактов:

Таблица 2. Контактная разность потенциалов

Параметр	Si	Ge	GaAs	InSb
Al				
Cu				
Au				
Pt				

6. Построить точечный график для данных из таб.1 и таб.2 в осях - вертикальная ось - контактная разность потенциалов, горизонтальная - работа выхода из соответствующего металла (таб.1)

7. Вклеить или нарисовать полученный график.

Место для вклеивания или рисования графика

8. Вклеить листинг программного кода

Место для вклеивания листинга

Пример листинга программного кода (вклеить свой)

```
% Расчет высоты потенциального барьера в диоде Шоттки
%исходные данные:
F_Au = 5; % эВ
Ksi_Ge = 4; % эВ
Eg_Ge = 0.66; % эВ
Ro_Ge= 1 %Ом*см удельное сопротивление германия
%k=1.38*1e-23; %Дж/К
k =8.6173303*1e-5 %эВ·К?1
% 1 Дж = 1 кг·м²/с² = 1 Н·м = 1 Вт·с = Кл·В
q=1.6*1e-19; %Кл
Mn_Si = 1000 %см²*В-1*с-1 подвижность электронов
Mn_Ge = 3900 %см²*В-1*с-1 подвижность электронов
T = 300; %К
ni_Ge = 2.5*1e13 %см-3
% формулы для расчета
ND_Ge=1/(q*Mn_Ge*Ro_Ge) %размерность см-3
Fi_0_Ge = k*T*log(ND_Ge/ni_Ge)
Fi_Ge = Ksi_Ge+ Eg_Ge/2 - Fi_0_Ge
Delta_Fi_Ge = F_Au - Ksi_Ge - Eg_Ge/2 + Fi_0_Ge

.....

.....
```


[illegible]

Контрольные вопросы

1. Какой функцией описывается распределение свободных электронов по степеням свободы в полупроводнике?
2. Какой ток называется током термоэлектронной эмиссии?
3. Что такое электронное сродство?
4. Какие виды контактов различают при контакте металл - полупроводник?
5. От чего зависит тип контакта металл-полупроводник?
6. Какому закону подчиняется невыпрямляющий омический контакт металл-полупроводник?
7. Какую характеристику имеет выпрямляющий контакт металл-полупроводник?
8. В каком случае реализуется нейтральный контакт металл-полупроводник?
9. В каком случае реализуется омический контакт металл-полупроводник?
10. В каком случае реализуется блокирующий контакт металл-полупроводник (барьер Шоттки)?

11. В результате чего в области контакта металл-полупроводник может происходить изгиб энергетических зон?
12. Вследствие какого эффекта возникает потенциальный барьер на границе контакта металл-полупроводник, высота которого равна разности термодинамических работ выхода электронов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.В., Столяров А.А. Физические основы нанотехнологий. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011.
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника.-М.: Техносфера. 2005.
3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанотехнологий.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
4. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем, СПб, Наука, 2001.
5. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники, СПб, 2003.
6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001.
7. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2011.
8. Зиненко, В.И. Основы физики твердого тела [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Зиненко, Б.И. Сорокин, Р.И. Турчин. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2001. 336с.
9. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учебное пособие для вузов / Под ред. Н.Д. Федорова. М.: Радио и связь, 2002.
10. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009.
Н.А. Афанасьева, Л.П. Булат. Физические основы электроники. Учебное пособие. СПб.: СПб ГУНиПТ, 2010. -181с.
11. Андреев В.В., Балмашнов А.А., Корольков В.И., Лоза О.Т., Милантьев В.П. Физическая электроника и ее современные приложения. Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. – 383 с.

Таблица №2 Исходные данные. Вариант задания соответствует номеру студента в списке группы

№ вари анта	Темпера турв, Т, град. Кельвин а
1	135
2	145
3	155
4	165
5	175
6	185
7	195
8	100
9	110
10	120
11	130
12	140
13	150
14	160
15	170
16	180
17	190
18	200
19	210
20	220
21	230
22	240
23	250
24	260
25	270
26	280
27	290
28	300
29	310
30	330

```
% Расчет высоты потенциального барьера в диоде Шоттки
%исходные данные:
F_Au = 5; % эВ, работа выхода электрона для Au
KSI_Ge = 4; % эВ Энергия сродства атома к электрону (электронное сродство)
Eg_Ge = 0.66; % эВ Ширина запрещенной зоны для Ge
Ro_Ge= 1 %Ом*см удельное сопротивление германия
%k=1.38*1e-23; %Дж/К
k =8.6173303*1e-5 %эВ·К-1 Постоянная Больцмана
% 1 Дж = 1 кг·м²/с² = 1 Н·м = 1 Вт·с = Кл·В
q=1.6*1e-19; %Кл Заряд электрона
Mn_Si = 1000 %см²*В-1*с-1 подвижность электронов
Mn_Ge = 3900 %см²*В-1*с-1 подвижность электронов
T = 300; %К Температура (Студент берет температуру согласно варианту задания)
ni_Ge = 2.5*1e13 %см-3 Собственная концентрация носителей
% формулы для расчета
ND_Ge=1/(q*Mn_Ge*Ro_Ge) %размерность см-3
Fi_0_Ge = k*T*log(ND_Ge/ni_Ge) %объемное положение уровня Ферми для Ge
Fi_Ge = Ksi_Ge+ Eg_Ge/2 - Fi_0_Ge % работа выхода электрона из Ge
Delta_Fi_Ge = F_Au - Ksi_Ge - Eg_Ge/2 + Fi_0_Ge % контактная разность потенциалов
```