

Кафедра ИУ-4

«Проектирование и технология производства ЭС»

Журнал практических работ

по курсу: «Физические основы микроэлектроники»

Для студентов приборостроительных специальностей

20___ / ___ учебный год

Студент _____ Группа _____
(фамилия, и. о.)

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 № 8 «Определение типа кремниевого полупроводника и расчет его некоторых параметров с использованием MATLAB на основании данных, полученных с использованием эффекта Холла»			
дата	Оценка	Бонус за сложность	подпись

Цели работы:

Задачи работы:

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

-Написание теоретической части (реферата) по квантовому эффекту Холла (по согласованию с преподавателем) или реализация нижеизложенной методики расчета в среде MATLAB.

Краткий конспект теоретической части (ответы на контрольные вопросы)

1.	
2.	
3.	
4.	

5. _____

6. _____

7. _____

8. _____

9. _____

10. _____

Табл.1. Ознакомление с необходимыми исходными данными:

В экспериментах по изучению эффекта Холла, проведенных с образцами кремния, получены следующие данные:

№	Параметр	Значение
1	Длина образца полупроводника, см, смотри в Прил.1	
2	Ширина образца полупроводника, см, смотри в Прил.1	
3	Толщина образца полупроводника, см, смотри в Прил.1	
4	Ток, мА, смотри в Прил.1	
5	Магнитная индукция, Тл, смотри в Прил.1	
6	Напряжение, приложенное к полупроводнику, В, смотри в Прил.1	
7	Напряжение Холла, мВ, смотри в Прил.1	
8	Температура, град К	300
9	Коэффициент Холла для кремния	1,18

Этапы расчетов и представления результатов

1. Номер варианта задания соответствует порядковому номеру ФИО студента в списке группы. Свой вариант задания следует выбрать из приложения №1 к данному журналу и вписать ручкой данные в таблицу 1 **"Ознакомление с необходимыми исходными данными"** в колонку «Значение».
2. Затем, согласно руководству пользователя запустите программную среду MATLAB, запустите .m-файл, полученный у преподавателя.
3. В полученный программный код вставить свои исходные данные согласно номеру вашего варианта (см приложение №1 к данному журналу) и запустить файл нажатием большой зеленой треугольной кнопки в верхней части меню (команда Run).
Ниже приведены формулы для расчета, используемые в программном коде

3.1. Расчет концентрации основных носителей $N_{\text{осн}}$

$$N_{\text{осн}} = \frac{IB}{qU_H d}$$

Где R_H – постоянная Холла

I – ток через образец

B – магнитная индукция

Q – заряд электрона

d – ширина образца

U_H - напряжение Холла

3.2. Расчет Холловской подвижности носителей

$$\mu_H = \frac{U_H L}{aUB}$$

Где L – длина образца

a – толщина образца

U - напряжение, приложенное к полупроводнику (в направлении тока)

3.3. Расчет подвижности, связанной с протеканием основного тока

$$\mu_{\text{осн}} = \frac{\mu_H}{R_H}$$

3.4. Расчет коэффициента диффузии

$$D = \frac{kT\mu_H}{q}$$

Где k – постоянная Больцмана

T – температура

4. В окне Command Window можно посмотреть результаты расчета с комментариями.

5. Результаты расчета записать в таблицу:

Таб.2 Результаты расчета

Название столбцов	Тип полупроводника, из которого выполнен образец (р-тип или n-тип)	Концентрация основных носителей, см ⁻³	Холловская подвижность носителей, см ² ·В ⁻¹ ·с ⁻¹	Подвижность, связанная с протеканием основного тока, см ² ·В ⁻¹ ·с ⁻¹	Коэффициент диффузии, см ² ·с ⁻¹
Параметр					

6. Обратите внимание на соблюдение необходимых размерностей вводимых параметров и результатов расчета

7. Нарисовать рисунок с образцом кремния в виде параллелепипеда и обозначить все размеры, напряжения (с указанием знаков + и -), тип полупроводника и направление магнитного поля.

Место для изображения рисунка

8. Построить при помощи Matlab график зависимости напряжения Холла на образце от величины магнитной индукции по нижеприведенной формуле для B в диапазоне от 0 до 3 Тл. Остальные параметры взять согласно варианту и расчетным значениям.

$$U_H = \frac{IB}{qN_{\text{осн}}d}$$

Лист с распечаткой графика вклеить в настоящий отчет. Проанализировав полученный график, написать в п.10, после основных выводов причину очень широкого применения в технике эффекта Холла.

Место для вклеивания графика

9. Вклеить листинг программного кода

Место для вклеивания листинга

Фрагмент листинга программного кода (вклеить полный код со своими исходными данными)

```
%Расчет некоторых параметров полупроводника в эксперименте с эффектом Холла
%Расчет концентрации основных носителей, см-3
R_h=1.18 % коэффициент Холла
I=5*1e-3 % A, Ток
B=1 % Тл, магнитная индукция
q=1.6e-19 % Кл, заряд электрона
U_h=2*1e-3 % В, напряжение Холла
d=0.1*1e-2 % М, ширина образца
N_osnovn=(R_h*I*B)/(q*U_h*d)
N_osnovn_sm=N_osnovn*1e-6
fprintf(1,'Концентрация основных носителей, м-3 = %g\r\n' ,N_osnovn)
fprintf(1,'Концентрация основных носителей, см-3 = %g\r\n' ,N_osnovn_sm)
%Расчет Холловской подвижности носителей, см2*В-1*с-1
L=1*1e-2 % М, длина образца в метрах
a=0.2*1e-2 % М, толщина образца в метрах
B=1 %Тл, магнитная индукция
U=0.245 % В, напряжение, приложенное к образцу
Mu_h=(U_h*L)/(a*U*B)
Mu_h_sm=Mu_h*1e4
fprintf(1,'Холловская подвижность носителей, см2*В-1*с-1 = %g\r\n'
,Mu_h_sm)
%Расчет подвижности, связанной с протеканием основного тока
```

[illegible]

Контрольные вопросы

1. Что такое эффект Холла?
2. Что такое Холл-фактор или коэффициент Холла?
3. Что называется холловской подвижностью носителей?
4. Что такое постоянная Холла?
5. От чего зависит постоянная Холла?
6. Каким образом эффект Холла позволяет установить тип полупроводника?
7. Может ли эффект Холла помочь определить степень загрязнения полупроводника неконтролируемыми примесями? Если да, то каким образом?
8. Зависит ли постоянная Холла от температуры?
9. Какой знак (положительный или отрицательный) имеет постоянная Холла для полупроводника p-типа?
10. Какой знак (положительный или отрицательный) имеет постоянная Холла для полупроводника n-типа?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.В., Столяров А.А. Физические основы наноинженерии. - 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 наноэлектроники.- 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.
12. Шалимова К. В. Физика полупроводников. - М.: Энергоатомиздат, 1985 - 392 с.
13. Зеегер К. Физика полупроводников. - М.: Мир, 1977 – 615 с.
14. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. -
.: Радио и связь, 1990 – 264 с.
15. Бонч-Бруевич В. Ш., Калашников С. Г. Физика полупроводников. - М.: Наука, 1990 – 678 с.

Варианты номеров для выполнения задания

Номер варианта соответствует порядковому номеру ФИО студента в списке группы.

Номер варианта	Длина образца полупро водника L , см	Ширина образца полупро водника, d см	Толщина образца полупров одника, a см	Ток, I мА	Магнитная индукция, B Тл	Напряжение, приложенно е к полупроводн ику(в направлении тока), U В	Напряже ние Холла, мВ (положитель ное или отрицательн ое), U_H
1	0,8	0,18	0,08	4,0	0,8	0,15	1,8
2	0,9	0,19	0,09	4,5	0,9	0,2	-1,9
3	1,1	0,21	0,11	5,5	1,1	0,275	-2,1
4	1,2	0,22	0,12	6,0	1,2	0,30	2,2
5	1,3	0,23	0,13	6,5	1,3	0,325	-2,3
6	1,4	0,24	0,14	7,0	1,4	0,345	2,4
7	1,5	0,25	0,15	7,5	1,5	0,375	-2,5
8	1,6	0,26	0,16	8,0	1,6	0,40	2,6
9	1,7	0,27	0,17	8,5	1,7	0,425	-2,7
10	1,8	0,28	0,18	9,0	1,8	0,445	2,8
11	1,9	0,29	0,19	9,5	1,9	0,475	-2,9
12	2,0	0,30	0,20	10,0	2,0	0,50	3,0
13	2,1	0,31	0,21	10,5	2,1	0,525	-3,1
14	2,2	0,32	0,22	11,0	2,2	0,545	3,2
15	2,3	0,33	0,23	11,5	2,3	0,575	3,3
16	2,4	0,34	0,24	12,0	2,4	0,60	-3,4
17	2,5	0,35	0,25	12,5	2,5	0,625	3,5
18	2,6	0,36	0,26	13,0	2,6	0,645	-3,6
19	2,7	0,37	0,27	13,5	2,7	0,675	3,7
20	2,8	0,38	0,28	14,0	2,8	0,70	-3,8
21	2,9	0,39	0,29	14,5	2,9	0,725	3,9
22	3,0	0,40	0,30	15,0	3,0	0,745	-4,0
23	3,1	0,41	0,31	15,5	3,1	0,775	4,1
24	3,2	0,42	0,32	16,0	3,2	0,80	4,2
25	1,0	0,2	0,1	5,0	1,0	0,245	2,0

```
%Расчет некоторых параметров полупроводника в эксперименте с эффектом Холла
%Расчет концентрации основных носителей, см-3
R_h=1.18 % коэффициент Холла
I=5*1e-3 % A, Ток
B=1 % Тл, магнитная индукция
q=1.6e-19 % Кл, заряд электрона
U_h=2*1e-3 % В, напряжение Холла
d=0.1*1e-2 % М, ширина образца
%Расчет концентрации основных носителей N_osnovn_sm, см-3
N_osnovn=(I*B)/(q*U_h*d)
N_osnovn_sm=N_osnovn*1e-6
fprintf(1,'Концентрация основных носителей, м-3 = %g\r\n',N_osnovn)
fprintf(1,'Концентрация основных носителей, см-3 = %g\r\n',N_osnovn_sm)
%
%Расчет Холловской подвижности носителей, см2*В-1*с-1
L=1*1e-2 % М, длина образца в метрах
a=0.2*1e-2 % М, ширина образца в метрах
B=1 %Тл, магнитная индукция
U=0.245 % В, напряжение, приложенное к образцу
Mu_h=(abs(U_h)*L)/(a*U*B)
Mu_h_sm=Mu_h*1e4
fprintf(1,'Холловская подвижность носителей, см2*В-1*с-1 = %g\r\n',Mu_h_sm)
%Расчет подвижности, связанной с протеканием основного тока
Mu_h_osn=Mu_h_sm/R_h
fprintf(1,'Подвижность, связанная с протеканием основного тока, см2*В-1*с-1 = %g\r\n',Mu_h_osn)
%Расчет коэффициента диффузии
k=1.38*1e-23 % Дж/К
T=300
D=k*T*Mu_h_sm/q
fprintf(1,'Коэффициент диффузии, см2*с-1 = %g\r\n',D)
% Рисуем график зависимости напряжения Холла U_holl на образце от величины
% магнитной индукции по нижеприведенной формуле для B
% в диапазоне от 0 до 3 Тл
B=[1:0.1:3]
% Сначала вычисляем значения Холла U_holl
U_holl=I*B/(q*N_osnovn*d)*1000 % умножаем на 1000, чтобы перевести в милливольты
plot(B,U_holl)
xlabel('Магнитная индукция, Тл');
ylabel('Напряжение Холла, мВ');
```