Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 08.09.2026 03:45:51
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____О.Г. Локтионова

«28» 05 _____ 2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Методические указания по выполнению лабораторной работы № 5
по дисциплине «Конструкционные и биоматериалы»

Курск 2023

УДК 621.382

Составитель О. Е. Ключникова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры КПиСС *Е.О. Брежнева*

Исследование эффекта Холла в полупроводниках: методические указания по выполнению лабораторной работы № 5 по дисциплине «Конструкционные и биоматериалы»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.Е. Ключникова. – Курск, 2023. – 9 с.

В методических указаниях излагаются основные понятия и определения и методические рекомендации по подготовке к выполнению лабораторной работы, её проведению и оформлению результатов опытов.

Методические указания соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению «Биотехнические системы и технологии» и рабочей программы дисциплины «Конструкционные и биоматериалы».

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать . Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 0,52. Уч.-изд. л. 0,47 . Тираж 100 экз. Заказ 304 Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение эффекта Холла в полупроводниковом образце германия при комнатной температуре. Измерение зависимости э.д.с. Холла от величины индукции магнитного поля. Определение постоянной Холла.

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Эффект Холла связан с возникновением поперечной э.д.с. в проводнике, по которому протекает электрический ток, если его поместить в магнитное поле. Эффект Холла относится к так называемым гальваническим эффектам, возникающим в веществе при одновременном воздействии на него электрического и магнитного полей. Возникновение поперечной э.д.с. обусловлено действием на носители заряда силы Лоренца, отклоняющей заряженные частицы в направлении, перпендикулярном направлению тока и вектору индукции магнитного поля.

Холл экспериментально установил, что поперечная э.д.с.

$$U_{\text{н}} = R[B \cdot j],$$

где R – коэффициент (или постоянная Холла); j – вектор плотности электрического тока; B – вектор индукции магнитного поля.

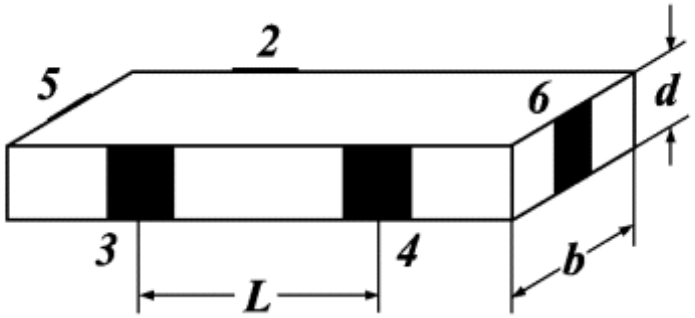

Рис.5.1. Схема образца

Измерения проводят на образце в форме параллелепипеда (рис. 5.1), имеющем два торцовых контакта и три боковых. Контакты **5** и **6** служат для создания тока через образец. Постоянное магнитное поле ***B*** прикладывается перпендикулярно большой грани образца. В соответствии с эффектом Холла между

контактами **2** и **3** образуется холловская разность потенциалов $\boldsymbol{U_{23}}$. Поскольку с холловскими измерениями часто одновременно проводят измерения удельной электропроводности образца, то на боковой поверхности образца имеется дополнительный контакт **4**, который вместе с контактом **3** служит для измерения продольного падения напряжения $\boldsymbol{U_{23}}$ на расстоянии $\boldsymbol{L}$ между контактами. Зная напряжение $\boldsymbol{U_{23}}$, расстояние $\boldsymbol{L}$, ширину $\boldsymbol{b}$ и толщину $\boldsymbol{d}$ образца можно рассчитать величину удельной электропроводности $\boldsymbol{\sigma}$

$$\sigma = \frac{I \cdot L}{U_{34} b d}$$

Для полупроводниковых образцов необходимо учитывать, что ток $\boldsymbol{I}$ в них переносится электронами и дырками.

Вычисление постоянной Холла приводит к следующему выражению:

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{e}} \frac{\boldsymbol{\mu_\rho^2 \cdot \rho - \mu_n^2 \cdot n}}{(\boldsymbol{\mu_\rho \cdot \rho + \mu_n \cdot n})} \qquad (5.1)$$

где $\boldsymbol{n}$, $\boldsymbol{\mu_n}$ и $\boldsymbol{p}$, $\boldsymbol{\mu_p}$ – концентрации и подвижности соответственно электронов и дырок; $\boldsymbol{e}$ – элементарный заряд, численный коэффициент $\boldsymbol{s}$ определяется механизмами рассеяния. Например, при рассеянии на тепловых колебаниях решетки $\boldsymbol{\sigma = 3\pi/8 \approx 1{,}18}$; при рассеянии на ионах примеси $\boldsymbol{\sigma = 316\pi/512 \approx 1{,}93}$. Для металлов и вырожденных полупроводников $\boldsymbol{s}$ =1.

В собственном полупроводнике концентрации свободных электронов и дырок равны, т.е. $\boldsymbol{n = p = n_i}$, поэтому, в соответствии с уравнением (5.1), постоянная Холла

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{e n_j}} \cdot \frac{\boldsymbol{\mu_\rho - \mu_n}}{\boldsymbol{\mu_\rho + \mu_n}} \qquad (5.2)$$

Для полупроводника *n*–типа и *p*–типа соответственно

$$R = -\frac{1}{e_n} \quad ; \qquad R = \frac{1}{e_p} \qquad (5.3)$$

3. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Установка для исследования эффекта Холла реализована на основе универсального лабораторного стенда и содержит следующие элементы:

– электромагнит;

– откачиваемая камера для измерения эффекта Холла;

– соединительные провода;

– источники питания типа ТЕС-41, Б5-47;

– универсальные цифровые вольтметры типа В7-21А.

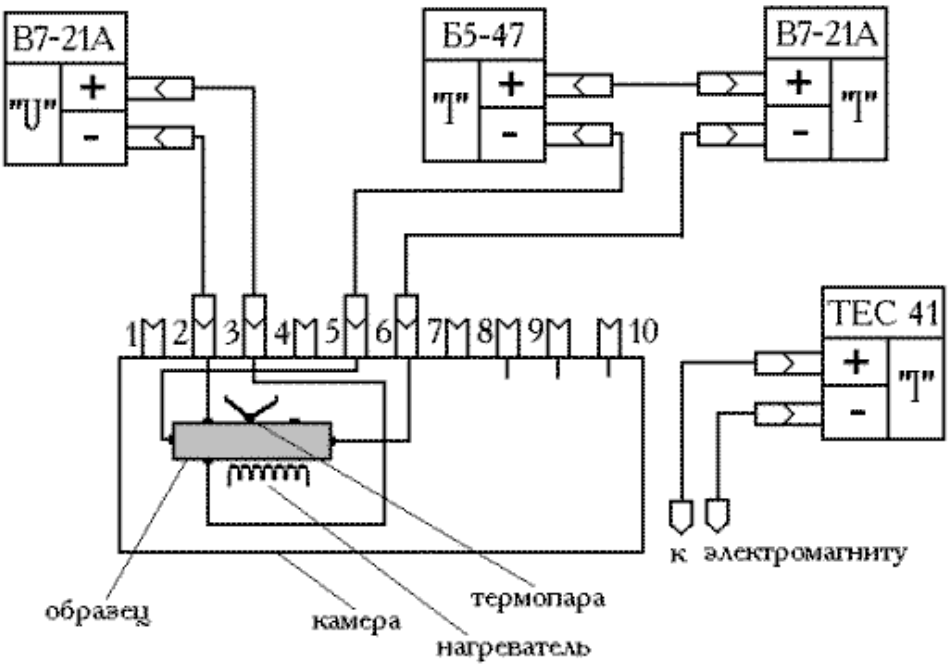

Рис. 5.2 Схема измерительной установки

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 5.2. Закрепленный в держателе образец расположен в откачиваемой камере. Там же располагаются нагревательный элемент и термопара для реализации температурных измерений. Все контакты от элементов вакуумной камеры выведены через разъем на панель электромагнита.

Стабилизированный источник тока ТЭС-41 служит для питания электромагнита. Работа с электромагнитом требует строгого соблюдения правил включения и выключения тока через катушки.

ВНИМАНИЕ! Включать и выключать источник тока необходимо при выведенном до нуля регуляторе тока.

Иначе большие экстратоки замыкания или размыкания могут привести к пробою изоляции обмотки катушки электромагнита.

Источник Б5-47 создает продольный ток через образец $\boldsymbol{I_{56}}$ (между контактами **5** и **6**), который контролируется прибором В7-21А, включенном в режиме амперметра (обозначение"$\boldsymbol{I}$"). Поперечная разность потенциалов $\boldsymbol{U_{23}}$ измеряется вольтметром В7-21А "$\boldsymbol{U}$". При измерении поперечной разности потенциалов следует учитывать, что при расположении контактов **2** и **3** на линии, не строго перпендикулярной оси тока, между ними возникает продольное напряжение. Для устранения его влияния на точность определения э.д.с. Холла, поперечное напряжение измеряют при двух противоположных направлениях магнитного поля. Если при измерении направления поля напряжения $\boldsymbol{U_{23}}$ меняет знак, то э.д.с. Холла

$$\boldsymbol{U}_{\text{н}} = \frac{|\boldsymbol{U}_{+23}|+|\boldsymbol{U}_{-23}|}{\mathbf{2}} \qquad (5.4)$$

где $\boldsymbol{U_{+23}}$ и $\boldsymbol{U_{-23}}$ – поперечные напряжения при противоположных направлениях поля. Если знак не изменяется, то

$$\boldsymbol{U}_{\text{н}} = \frac{|\boldsymbol{U}_{+23}|-|\boldsymbol{U}_{-23}|}{\mathbf{2}} \qquad (5.5)$$

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с описанием лабораторной установки и приборов, используемых в данной работе. Собрать схему в соответствии с рис. 5.2 и получить разрешение на выполнение измерений у преподавателя или инженера.
2. Установить ток электромагнита, равный 2,0 А.
3. Установить ток через образец 1…2 мА.
4. Измерить поперечное напряжение $\boldsymbol{U_{+23}}$ и $\boldsymbol{U_{-23}}$.

ВНИМАНИЕ! При изменении полярности источника питания электромагнита необходимо соблюдать предосторожности, изложенные выше, для предотвращения пробоя изоляции катушек.

5. Вычислить $\boldsymbol{U_H}$ по формуле (5.4) или (5.5).

6. Вычислить постоянную Холла $\boldsymbol{R}$ по формуле

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{U_н b}}{\boldsymbol{I \cdot B}}, \text{ м}^3/\text{Кл} \qquad (5.6)$$

где $\boldsymbol{U_H}$ измеряется в вольтах, $\boldsymbol{b}$ (ширина образца) – в метрах ($\boldsymbol{b}$ = **5,72·10^{-3} м**), $\boldsymbol{I}$ – в амперах, $\boldsymbol{B}$ – в теслах.

Индукция магнитного поля определяется по формуле

$$B = k \cdot I_M$$

где $\boldsymbol{I_M}$ – ток электромагнита в амперах, $\boldsymbol{k}$ **= 0,1 Тл/А** – постоянная электромагнита.

7. Вычислить концентрацию носителей в исследуемом полупроводнике согласно соотношению (5.2), используя значения подвижностей для электронов $\boldsymbol{\mu_n}$ **= 0,38 м^2/В**·с и дырок $\boldsymbol{\mu_p}$ **= 0,18 м^2/В·с**.

8. Исследовать зависимость э.д.с. Холла $\boldsymbol{U_H}$ от величины индукции магнитного поля $\boldsymbol{B}$. Для этого повторить измерения согласно п.п. 2…5 для значений тока магнита в интервале 0,5…2,0 А через 0,25 А. Результаты измерений внести в таблицу.

Форма таблицы

№ измерений	$I_м$, *А*	*B, Тл*	U_{+23}, *мВ*	U_{-23}, *мВ*	U_H, *В*

9. Построить зависимость $\boldsymbol{U_H(B)}$, объяснить полученные результаты.

10. Оформить отчет по работе.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

– краткое описание задачи, поставленной в работе;

– схему измерительной установки;

– заполненную таблицу измерений;

– график зависимости $\boldsymbol{U_H(B)}$;

– расчеты определяемых величин;

– анализ полученных результатов;

– выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить явление Холла.
2. Какими физическими величинами определяется э.д.с. Холла?
3. Объясните назначение контактов на полупроводниковом образце для холловских измерений.
4. Какими физическими явлениями и параметрами полупроводника определяется постоянная Холла?
5. Объясните схему измерительной установки.
6. Почему измерения поперечной разности потенциалов необходимо проводить два раза при противоположных направлениях магнитного поля?
7. Объясните зависимость э.д.с. Холла от величины индукции магнитного поля.
8. Какую физическую информацию можно получить при исследовании эффекта Холла?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы материаловедения : [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина, В.С. Казаков, О.Ю. Фоменко ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Сибирский Федеральный университет. –

Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013. – 152 с. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364047.

2. Биомедицинское материаловедение [Текст]: учебное пособие / С. П. Вихров [и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 383 с.

3. Кореневский, Н. А. Биотехнические системы медицинского назначения [Текст]: учебник / Н. А. Кореневский, Е. П. Попечителев. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 688 с. – Текст : непосредственный.