Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва» в г. Белово

Кафедра горного дела и техносферной безопасности

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Составитель: С.В. Белов

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 5 от 15.01.2020 г.

Рекомендованы к печати

методическим советом филиала

КузГТУ в г. Белово

Протокол № 6 от 22.01.2020 г.

Электронная копия находится в методическом кабинете филиала КузГТУ в г. Белово

### 

*Белово 2020*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ**

**1. Цель работы:** определить постоянную Холла, концентрацию и подвижность носителей тока в полупроводнике.

**2. Подготовка к работе:** ознакомиться с описанием лабораторной работы, изучить в учебниках: [1] §79, [2] §§ 117, 240–242, [3] §§ 22.2, 23.2, 43.1–43.5. Ответить на контрольные вопросы. Для выполнения лабораторной работы студент должен знать: а) суть явления Холла в металлах и полупроводниках; б) особенности принципиальной и монтажной схем установки; в) порядок действия при измерениях; г) методику расчета искомых величин.

# 3. Выполнение работы

# 3.1. Описание лабораторной установки

1. Установка состоит из объекта исследования и устройства измерительного, выполненных в виде конструктивно законченных изделий, устанавливаемых на лабораторном столе и соединяемых между собой кабелем.

2. Объект исследования конструктивно выполнен в виде сборного корпуса (рис. 1), в котором установлены электромагнит (1) и датчик Холла (2). Сверху объект исследования имеет окно, через которое видны полюса электромагнита и плата с датчиком Холла.

Для подключения объекта исследования к устройству измерительному имеется соединительный шнур с разъемом.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1. Объект исследования.  1 – электромагнит; 2 – датчик Холла |

3. Устройство измерительное выполнено в виде конструктивно законченного изделия. В ней применена однокристальная микро – ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить измерение тока электромагнита и датчика, установленного в объекте исследования, а также осуществлять функции управления установкой (установка режимов прямого и обратного измерения и т.п.).

В состав устройства измерительного входят также источники его питания. На передней панели устройства измерительного размещены следующие органы управления и индикации (рис. 2):

- кнопки ТОК “+”,”-” (1) и НАПРАВЛЕНИЕ (2) задают значение и направление тока через датчик Холла и через электромагнит;

- ЭЛ. МАГНИТ – ДАТЧ. ХОЛЛА (3) включает индикацию тока электромагнита (4) или датчика Холла (5), что индицируется соответствующим светодиодом;

- табло мА и мВ индицируют значение тока через датчик Холла и электромагнит и ЭДС Холла.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2. Устройство измерительное.  Кнопки: 1 - ТОК “+”,”-”; 2 – НАПРАВЛЕНИЕ; 3- ЭЛ. МАГНИТ – ДАТЧ. ХОЛЛА. 4 - индикатор тока через электромагнит; 5 – индикатор тока через датчик Холла. |

На задней панели устройства измерительного расположены выключатель СЕТЬ, клемма заземления, держатели предохранителей (закрыты предохранительной скобой), сетевой шнур с вилкой и разъем для подключения объекта исследования.

Устройство измерительное с помощью сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

3. Электрическая схема установки приведена на рис. 3.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3. Схема установки. |

4. Данные необходимые для проведения расчетов.

Коэффициент пропорциональности между током электромагнита и индукцией магнитного поля в его зазоре Κ=3,09 Тл/А.

Входное сопротивление датчика Холла 1,8 кОм.

Размеры датчика Холла (см. рис.4):

а = 42 мкм,

b = 31 мкм,

h = 35 мкм.

|  |
| --- |
| Схема |
| Рис.4. Размеры датчика Холла |

**3.2. Теоретические положения**

Эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности потенциалов UХ между противолежащими точками (рис. 4) на гранях металлической (полупроводниковой) пластины при пропускании постоянного тока Iупр. При этом пластина с током находится в магнитном поле с индукцией , перпендикулярной направлению тока.

Эффект Холла наблюдается во всех проводниках и полупроводниках. Изменение направления тока или вектора  на противоположное вызывает изменение знака разности потенциалов. Исследования показали, что значение постоянной Холла *Rхол* зависит от материала пластины, при этом коэффициент *Rхол* для одних веществ положителен, а для других отрицателен.

***Теория эффекта Холла***

На электрон, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца , где  - средняя скорость упорядоченного движения электронов. В установившемся состоянии сила Лоренца равна силе электрического поля: . Тогда

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Скорость можно найти из выражения для плотности тока

|  |  |
| --- | --- |
| , где . |  |

Отсюда

|  |  |
| --- | --- |
| . | (2) |

С учетом (2) выражение (1) примет вид

|  |  |
| --- | --- |
| . | (3) |

Холловская разность потенциалов связана с напряженностью поперечного электрического поля

|  |  |
| --- | --- |
| . | (4) |

Подставляя (3) в (4), получим

|  |  |
| --- | --- |
| , | (5) |

|  |  |
| --- | --- |
| где  - постоянная Холла. | (6) |

Зная постоянную Холла, можно определить концентрацию носителей тока в пластине.

В работе рассматривается метод измерений основных параметров полупроводниковых материалов (концентрация носителей тока, их подвижность), основанный на эффекте Холла.

Из закона Ома можно выразить сопротивление пластины:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (7) |

С другой стороны

|  |  |
| --- | --- |
| , | (8) |

где γ- удельная электропроводность материала, *S=hb*- площадь поперечного сечения пластины. Из (7) и (8) получим:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (9) |

Удельная электропроводность полупроводника с примесной проводимостью определяется также формулой:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (10) |

где *e* - элементарный заряд, *n*- концентрация основных носителей тока, *μ*- подвижность носителей тока.

**3.3. Порядок выполнения работы**

**3.3.1. Задание 1.** Измерение постоянной Холла и концентрации носителей тока в полупроводнике.

1. Включить установку в сеть.
2. В режиме электромагнита задать ток 1 мА.
3. Перейти в режим датчика Холла.
4. Нажатием кнопки «+» увеличивать ток и записывать значения тока и напряжения в таблицу 1.
5. Нажатием кнопки «сброс» обнулить показания прибора. Изменить полярность. Повторить п.4.
6. Повторить пункты 2-5 при токе электромагнита 2 мА.
7. **В режиме датчика Холла не превышать ток 3мА.**

Таблица 1

*Результаты измерения тока через датчик Холла и Холловской разности потенциалов*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | | | |  | | | | | | |
|  | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**3.3.2. Обработка результатов измерений*.***

1. По данным таблицы 1 построить графики зависимостей Uхол= *f*(I) при двух значениях индукции магнитного поля В1 и В2 (рис. 5).

|  |
| --- |
| Схема2 |
| Рис. 5. Метод расчета постоянной Холла. |

Значения В1 и В2 определяются при помощи коэффициента пропорциональности между током электромагнита и индукцией магнитного поля в его зазоре K = 3,09 Тл/А: *B1=kI1*, *B2=kI2*, *ΔB=kΔI*,. Ток электромагнита принять равным: , .

2. Найти графически угловые коэффициенты *K*1 и *K*2 по координатам двух удаленных точек:

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

Из формулы (5) следует, что , т.е. зависимость  - прямопропорциональная, с угловым коэффициентом равным .

3. Определить его значение:

|  |  |
| --- | --- |
| . |  |

4. Рассчитать постоянную Холла .

5. Вычислить концентрацию носителей тока по формуле:

.

**3.3.3. Задание 2.** Определение удельной электропроводности полупроводника и подвижности носителей тока.

1. Установить ток в режиме датчика Холла 1 мА и записать значение напряжения  в таблицу 2.

2. Повторить п.2 при токах 1,5 мА и 2 мА.

3. Вычислить удельную электропроводность образца по формуле (9) и записать в таблицу 2.

Определить подвижность носителей тока из формулы (10) и записать в таблицу 2.

Таблица 2

*Результаты определения удельной электропроводности проводника и подвижности носителей заряда*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1,0 |  |  |  |
| 1,5 |  |  |  |
| 2,0 |  |  |  |

**4. Контрольные вопросы**



* 1. В чем проявляется эффект Холла?
  2. Вывести формулу для ЭДС Холла и для постоянной Холла.
  3. Как определить постоянную Холла?
  4. Почему постоянная Холла может иметь положительное значение для одних полупроводников и отрицательное – для других?
  5. Что такое подвижность носителей тока?
  6. Как вычисляется подвижность носителей тока?
  7. Каким образом можно использовать датчик Холла для измерения индукции магнитного поля?
  8. Почему в практике используются датчики Холла из полупроводников, а не из металла?
  9. Удельная проводимость  кремния с примесями равна 112 См/м. Определить подвижность  дырок и их концентрацию , если постоянная Холла  3,66 ∙ 10–4 м3/Кл.
  10. Тонкая пластинка из кремния шириной 2 см помещена перпендикулярно линиям индукции магнитного поля ( = 0,5 Тл). При плотности тока 2 мкА/мм2, направленного вдоль пластины, холловская разность потенциалов  оказалась равной 2,8 В. Определить концентрацию носителей зарядов.

**5. Список рекомендуемой литературы**

1. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах / И.В. Савельев. — 15-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань,— Том 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика — 2019. — 500 с.

URL: https://e.lanbook.com/book/113945

2. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. –12-е изд., испр. –М. : Издат. центр «Академия», 2006. –560с.

3. Детлаф, А. А. Курс физики: учеб. пособие для втузов/А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. –5-е изд., стереотип. –М.: Из-дат. центр «Академия», 2005. –720 с.

Составитель

Белов Сергей Викторович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Отпечатано на ризографе.

Тираж экз.

Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. 652644, г. Белово, ул. Ильича 32-а