



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 37

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (ЭФФЕКТ ХОЛЛА)

Цель работы: изучить зависимость поперечной разности потенциалов от величины магнитного поля, перпендикулярного направлению электрического тока в полупроводниковом образце, и определить концентрацию носителей тока.

Теоретическое введение

Если проводник, по которому течет ток, поместить в магнитное поле, то это приведет к возникновению ряда электрических эффектов, которые носят название гальваномагнитных.

Одним из наиболее известных гальваномагнитных эффектов является эффект Холла, открытый американским физиком Холлом, в 1879 году.

Рассмотрим простейшую теорию эффекта Холла.

Пусть по проводнику или полупроводнику, имеющему форму прямоугольного параллелепипеда, течет ток I_0 (рис. 1). Тогда в отсутствии магнитного поля эквипотенциальными поверхностями будут поверхности, перпендикулярные направлению протекания тока. Разность потенциалов между двумя точками А и О, лежащими на одной эквипотенциальной поверхности, будет равна нулю. Если же исследуемый образец поместить в магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен направлению тока и боковым граням образца, то между точками А и О возникает поперечная разность потенциалов, которая равна Холловской ЭДС. Причиной этого явления, получившего название эффекта Холла, является сила Лоренца, действующая на электрический заряд, движущийся в магнитном поле. Математическое выражение силы Лоренца имеет вид

$$f_{\text{Л}} = e[\vec{v}, \vec{B}], \quad (1)$$

где e – заряд электрона,

v – скорость частицы.

В случае, изображенном на рисунке 2а, где носителями заряда являются электроны, сила Лоренца, действующая на них, направлена перпендикулярно направлению движения электронов и индукции магнитного поля. Под действием этой силы электроны будут от нижней грани образца смещаться к верхней грани, и на ней возникнет избыток отрицательных зарядов.

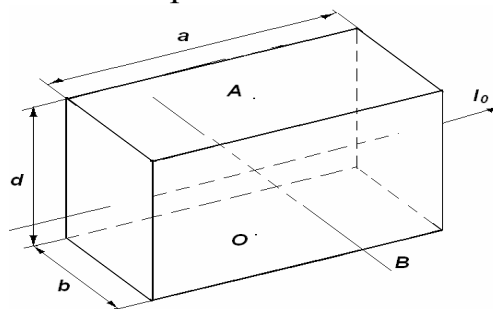


Рис. 1. Датчик Холла

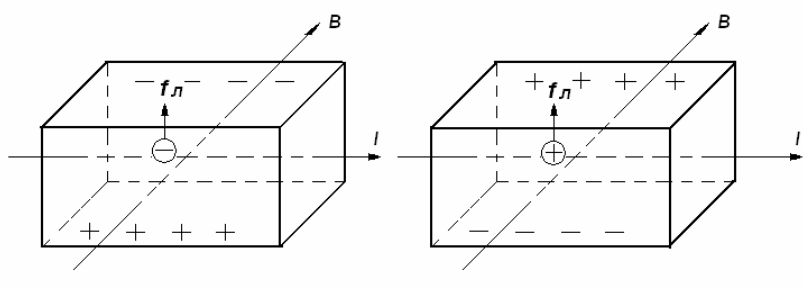


Рис. 2

На противоположной грани – избыток положительных зарядов. В результате такого перераспределения вдоль сечения образца в нем возникает поперечное электрическое поле напряженностью E_x .

Следует заметить, что смещение зарядов и, соответственно, нарастание Холловской ЭДС при данном токе и данной индукции будут продолжаться до тех пор, пока средняя сила Лоренца не уравнивается силой поперечного Холловского электрического поля f_x , действующей на носители заряда в направлении, противоположном силе Лоренца (рис. 2а). Если носителями заряда являются дырки (их заряд равен заряду электрона, но противоположен ему по знаку), то при том же токе I и той же индукции $\vec{B}$ поперечное электрическое поле изменит свое направление на противоположное (рис. 2б).

Получим зависимость Холловской ЭДС от силы тока и индукции магнитного поля. Если считать, что возникшее поперечное поле однородно, то в состоянии равновесия будем иметь:

$$eE_x = evB, \quad (2)$$

где E_x – напряженность Холловского электрического поля.

Здесь мы полагаем, что все электроны имеют одинаковую скорость направленного движения v , причем перпендикулярной $\vec{B}$, $\sin(\vec{v}, \vec{B}) = 1$.

Выражение для плотности тока j имеет вид:

$$j = nev, \quad (3)$$

где n – концентрация электронов.

Подставляя выражение (3) в выражение (2), имеем:

$$enE_x = jB.$$

По определению, плотность тока j связана с силой тока I соотношением:

$$j = \frac{I}{db},$$

где db – площадь поперечного сечения образца.

Следовательно,

$$E_x = \frac{1}{ne} IB \frac{1}{db}, \quad (5)$$

Холловская разность потенциалов между точками А и С будет (рис. 1):

$$\Delta\varphi_x = E_x d. \quad (6)$$

И, подставляя, выражение (6) в выражение (5), будем иметь:

$$\Delta\varphi_x = \frac{1}{ne} IB \frac{1}{b}, \quad (7)$$

Следует отметить, что используемая здесь модель является весьма упрощенной, так как не учитывается статистический разброс носителей по скоростям. В реальной ситуации носители тока имеют различные скорости и, следовательно, сила Лоренца, действующая на разные электроны различная. Те электроны, скорости которых меньше некоторой скорости v , получаемой из выражения (2):

$$v = \frac{E_x}{B}, \quad (8)$$

перемещаются под действием электрического поля к нижней границе образца. А электроны, скорости которых больше v , перемещаются к верхней грани. В состоянии равновесия эти потоки равны. Следовательно, равновесие имеет динамический характер. Расчет, указывающий статистический разброс носителей тока по скоростям, приводит к выражению:

$$\Delta\varphi_x = \frac{k}{ne} IB \frac{1}{b}, \quad (9)$$

Вообще говоря, коэффициент K зависит от условий, при которых происходит измерение. В нашем случае можно считать, что:

$$k = \frac{3\pi}{8}, \quad (10)$$

Следовательно:

$$\Delta\varphi = R_x IB \frac{1}{b}, \quad (11)$$

Здесь R_x – постоянная Холла, равная $R_x = \frac{k}{ne}$.

Как мы уже отмечали знак Холловской ЭДС зависит от типа носителей тока, для проводника с электронной проводимостью $R < 0$, с дырочной $R > 0$. Таким образом, знак постоянной Холла позволяет установить тип носителей.

Если проводник обладает смешанной проводимостью (электронной и дырочной), то постоянную Холла можно рассчитать по формуле:

$$R_x = \frac{3\pi}{8e} \frac{pU_p^2 - nU_n^2}{(pU_p + nU_n)^2}, \quad (12)$$

где p – концентрация дырок,

n – концентрация электронов,

U_p и U_n – подвижности дырок и электронов соответственно.

Подвижность носителей тока является также очень важным параметром. подвижность численно равна средней скорости направленного движения, которую носители тока приобретают под действием электрического поля напряженностью в 1 В/м .

В заключение отметим, что в полупроводниках, в которых концентрация носителей мала, постоянна Холла велика по абсолютной величине. Это дает возможность широко использовать эффект Холла в полупроводниках для измерения электромагнитной индукции.

Целью нашей лабораторной работы будет проверка зависимости Холловской ЭДС от величины индукции магнитного поля, даваемой формулой (2).

Описание установки

Электрическая схема экспериментальной установки дана на рис. 3. Она состоит из 3х самостоятельных цепей.

I. Цепь, питающая электромагнит, содержит амперметр A_1 , реостаты R_1 и R_2 позволяют изменять величину тока I_M , текущего по обмотке электромагнита и контролируемого амперметром A_1 . Клеммы питания электромагнита выведены на шасси справа. С помощью графика $B=f(I_M)$ определяем индукцию магнитного поля между полюсами магнита по величине тока в обмотке.

II. Цепь, возбуждающая электрический ток I_0 в исследуемом образце, содержит амперметр A_2 , реостат R_3 , включенный по схеме потенциометра, и ключ K_2 . При выполнении работы на амперметре A_2 с помощью потенциометра R_3 должен быть установлен ток $I_0 = 2\text{mA}$.

III. Измерительная цепь включает в себя потенциометр Р-306 для измерения Холловской ЭДС, источник стабилизированного напряжения, нуль – гальванометр Г. Источник стабилизированного напряжения подключается к зажимам потенциометра + Б – (соблюдать полярность). К зажимам потенциометра X_1 подключаются клеммы образца, с которых мы снимаем Холловскую ЭДС (клеммы слева на шасси магнита).

Измерение ЭДС методом компенсации, во-первых, позволяет измерить небольшую Холловскую ЭДС с большой точностью, и, во-вторых, этот метод позволяет не принимать во внимание сопротивление проводников и больших переходных сопротивлений, возникающих в местах контакта проводников с исследуемым образцом.

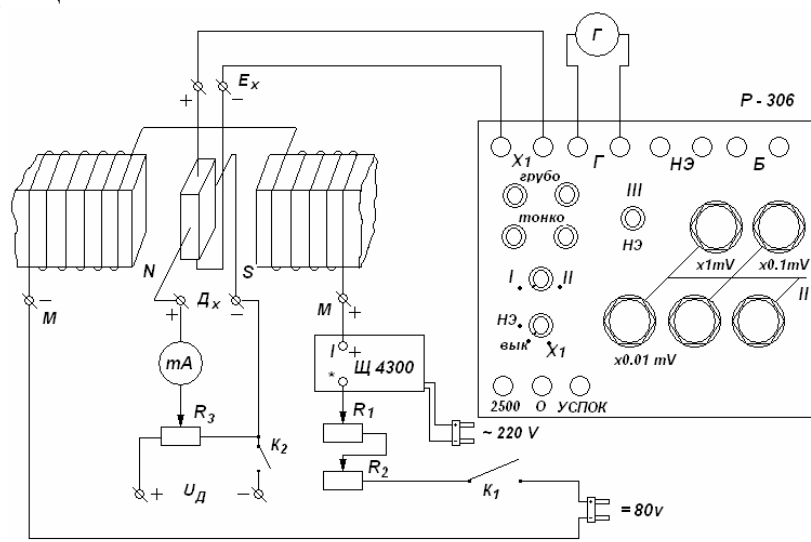


Рис. 3

Техника безопасности

После включения питания установки запрещается прикасаться к токоведущим частям.

Ход работы

I. Подготовить установку к измерениям.

1. Собрать схему согласно рисунку 3.
2. Включить питание установки на силовых счетках. С разрешения преподавателя.
3. Подготовить к работе потенциометр, т.е. установить рабочий ток нормальный элемента.
 - а) Переключатель рода работ III потенциометра устанавливают в положение «НЭ», нажимают кнопку «0». Ручками «грубо» добиваются нулевых показаний гальванометра «Г».
 - б) Переключатель рода работ III устанавливают в положение «Х» и ставят все рукоятки П в нулевое положение.
 - в) Замыкают ключи K_1 и K_2 .

II. Измерение Холловской ЭДС.

Для построения графика зависимости Холловской ЭДС от величины индукции магнитного поля устанавливаем на амперметре A_2 , ток $I_0 = 2\text{mA}$. Убедиться, что при отсутствии магнитного поля ЭДС Холла – ноль. Затем, изменяя в обмотке электромагнита с помощью реостатов R_1 , R_2 ток I_M от 0 до 1,8 А, через каждые 200mA, фиксируем при каждом значении тока I_M Холловскую ЭДС

Для измерения Холловской ЭДС при помощи потенциометра Р-306 поступаем следующим образом.

Нажать кнопку «0» и убедиться, что стрелка ноль – гальванометра отклоняется от нуля. С помощью ручек П потенциометра добиваются компенсации, то есть выводят стрелку ноль – гальванометра на 0. Цифра в окошечках под рукоятками П при условии компенсации дадут нам значение измеряемой Холловской ЭДС в милливольтх. Если вращением рукояток П не удастся добиться компенсации, то означает, что минус Холловской ЭДС мы подали на + потенциометра. Следовательно необходимо поменять местами проводники на зажимах X_1 . Измерение Холловской ЭДС произвести сначала в нарастающем, затем в убывающем магнитном поле. По этим двум измерениям взять среднюю ЭДС. Окончив измерения, построить в декартовой системе координат график зависимости Холловской ЭДС

от величины индукции приложенного магнитного поля. Вычислить тангенс угла наклона θ графика к оси В, определить постоянную Холла R_x по формуле $R_x = \operatorname{tg}\theta \frac{b}{I_0}$,

где b – толщина пластинки датчика Холла.

После того, как определено значение постоянной Холла, необходимо определить тип носителей тока в исследуемом образце. Направление тока в образце задано стрелкой на держателе полупроводникового образца. Знак Холловского заряда на нижней и верхней гранях образца определяется знаком на X_1 клеммах потенциометра Р-306. Направление магнитного поля определяется с помощью магнитной стрелки. Зная все выше указанные параметры определим тип носителей, пользуясь правилом правой руки для электронов или правилом левой - для дырок.

По окончании работы обесточить установку. Тумблер «В» поставить в положение «Выкл».

Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводник?
2. Типы проводимости полупроводников.
3. Объяснить механизм возникновения эффекта Холла.
4. Какой знак имеет постоянная Холла? Почему?
5. Как определить тип носителей тока в проводнике?
6. Определение индукции магнитного поля.

Список рекомендуемой литературы

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука. 1985. § 150.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука. 1978, т.2 § 79.