

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования -
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

А.В.МИХАЙЛИЧЕНКО, В.П. АПАСЬЕВА

ЭФФЕКТ ХОЛЛА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 321А

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 537.633.2(076)
ББК 22.3я73
М 69

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент А.Д. Юрк

Михайличенко А.В.

**М 23 Эффект Холла: методические указания к лабораторной работе
№ 321А / Михайличенко А.В., Апасьева В.П., - Оренбург: ГОУ
ОГУ, 2009. – 7 с**

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по изучению эффекта Холла. Работа включает теоретическое изложение материала, описание методики проведения эксперимента и контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Общая физика» для студентов всех специальностей.

ББК 22.3я73
© Михайличенко А.В., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

1 Лабораторная работа № 321А. Эффект Холла

1.1 Цель работы

1.1.1 Изучить теорию эффекта Холла.

1.1.2 Определить постоянную Холла, концентрацию носителей в исследуемом образце.

1.2 Теоретические сведения

Эффект Холла заключается в возникновении поперечного электрического поля в проводнике или полупроводнике с током при помещении его в магнитное поле. Эффект открыт в 1879 году американским физиком Э.Г. Холлом (Е.Н. Hall) и является одним из наиболее важных гальваномагнитных явлений. Эффект Холла широко используется для исследования электрических свойств металлов и полупроводников. С его помощью можно определить знак носителей тока, их концентрацию и подвижность.

Если проводник, по которому течет ток плотностью $\vec{j}$, поместить в однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$, перпендикулярной $\vec{j}$, то в нем возникнет электрическое поле $\vec{E}_H$, которое перпендикулярно и $\vec{j}$ и $\vec{B}$. Причиной появления электрического поля Холла $\vec{E}_H$, является сила Лоренца, которая действует на заряд q , движущийся в магнитном поле со скоростью $\vec{v}$

$$\vec{F}_L = q[\vec{v} \cdot \vec{B}]$$

Под действием силы Лоренца заряды отклоняются в поперечном к скорости $\vec{v}$ направлении. Электрический ток представляет собой упорядоченное движение зарядов. Скорость упорядоченного движения носителей тока называется дрейфовой скоростью v_d . Для дырок дрейфовая скорость совпадает с направлением плотности тока в образце, для электронов

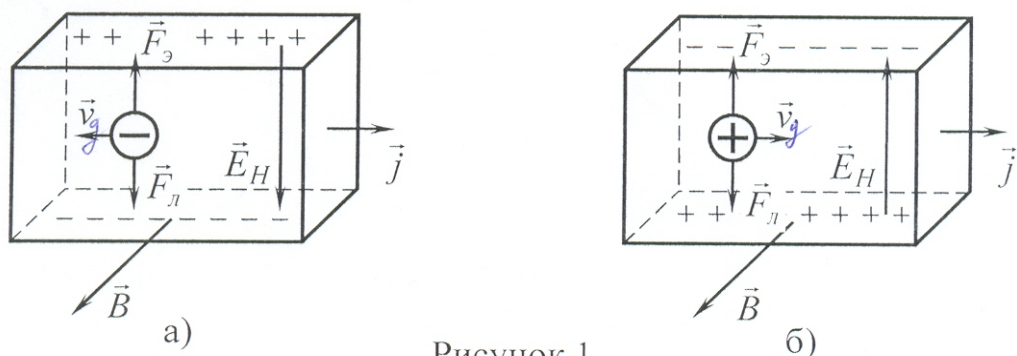


Рисунок 1

дрейфовая скорость противоположна вектору плотности тока (рисунок 1).

В полупроводниках p - и n - типа при одинаковом направлении плотности тока $\vec{j}$ и магнитной индукции $\vec{B}$ сила Лоренца, действующая на носители, направлена одинаково. Но направление вектора напряженности электрического поля Холла $\vec{E}_H$ различно. Таким образом, по направлению поля Холла можно определить знак заряда носителей. Процесс разделения зарядов прекращается, когда напряженность поля Холла $\vec{E}_H$ станет такой, что действие этого поля на заряды будет компенсировать силу Лоренца ($F_{\text{э}} = F_{\text{л}}$)

$$qE_H = qv_n B.$$

Если учесть, что

$$j = nqv_n \quad (1)$$

где n - концентрация носителей заряда в образце, то

$$E_H = \frac{1}{nq} jB \quad (2)$$

где постоянная Холла.

В векторной форме

$$\vec{E}_H = \pm R_H [\vec{j} \cdot \vec{B}] \quad (3)$$

при этом знак « - » относится к носителям тока - электронам, а знак «+» к дыркам. При одновременном существовании носителей двух знаков - дырок и электронов, обладающих различной подвижностью, нахождение постоянной Холла усложняется. Если же (например, в примесном полупроводнике) преобладающую роль играют носители одного знака, то, с учетом статистики Ферми, постоянная Холла

$$R_H = \pm \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{nq} \quad (4)$$

Практически для определения постоянной Холла необходимо измерить ЭДС Холла

$$U_H = E_H \cdot a,$$

и силу тока в образце

$$I = j \cdot S.$$

Здесь $S = a \cdot b$ – площадь поперечного сечения образца, b – толщина образца, a – ширина образца (рисунок 2).

Учитывая это и формулу (3), можно записать

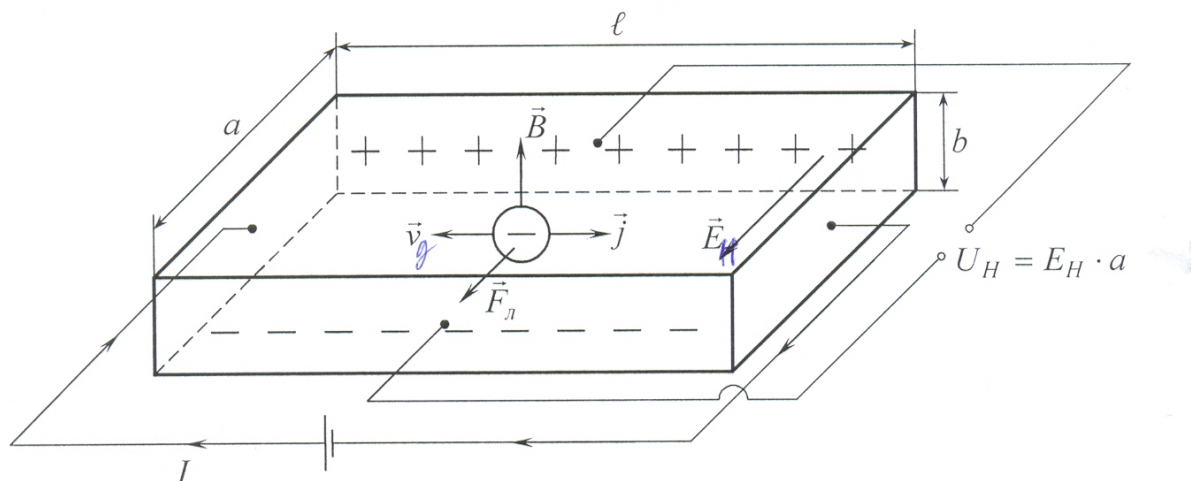


Рисунок 2

$$U_H = |R_H| \cdot \frac{IB}{b}. \quad (5)$$

Из (5) и (4) легко определить концентрацию носителей в образце

$$n = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{IB}{U_H b}. \quad (6)$$

1.3 Практическая часть

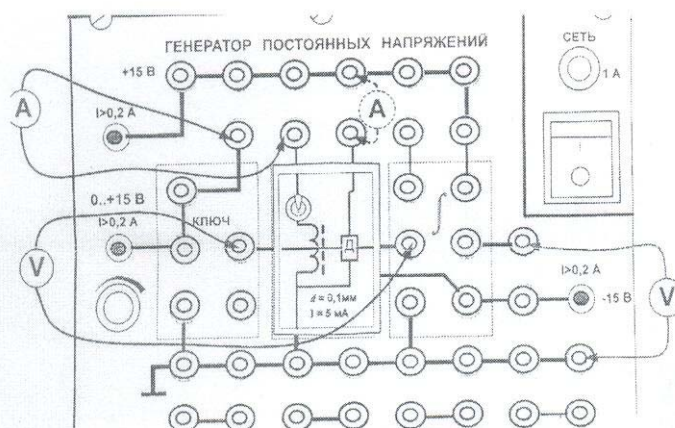
Работа выполняется на стенде учебного лабораторного комплекса «электричество и магнетизм». В блоке генераторов напряжений с наборным полем используется генератор постоянных напряжений. Он предназначен для получения стабилизированных напряжений + 15 В (и обеспечивает постоянный ток в датчике Холла $I_{\text{датч.}}$), - 15 В (не используется в работе) и регулируемого напряжения от нуля до 15 В (включен в цепь обмотки электромагнита).

Блок мультиметров содержит мультиметр МУ60 (установлен с левой стороны блока) и МУ62. Прибор МУ60 по сравнению с МУ62 имеет большую перегрузочную способность на току. Поэтому для измерения токов предпочтительно использовать именно прибор МУ60! При работе с мультиметрами необходимо помнить: перед тем как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!) отключайте щупы от проверяемой цепи или выключайте блок генераторов напряжений.

Миниблок «Датчик Холла» содержит кольцевой стальной сердечник с катушкой. В разрез сердечника встроен датчик Холла. Для расчета

магнитной индукции на этикетке миниблока указаны величина воздушного зазора и число витков катушки.

При установке миниблока на отведенное для него место в наборном поле датчик автоматически подключается к источнику постоянного напряжения 15 В и в нем устанавливается рабочий ток $I_{\text{датч.}} = 3,27 \text{ мА}$, а катушка, создающая магнитное поле, одним выводом подключается к общей точке источников постоянного напряжения. Второй вывод необходимо подключить с помощью проводников через амперметр к выходу генератора 0...15 В и регулятором напряжения установить нужное значение тока. Направление тока можно изменять с помощью двухполюсного переключателя, встроенного в миниблок.



Порядок выполнения работы

- 1 Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке.
- 2 Выведите регулятор генератора постоянного напряжения на ноль (до упора влево). После проверки схемы лаборантом или преподавателем включите блок мультиметров.
- 3 Установите в катушке первое значение тока 20 мА и запишите в таблицу значение ЭДС Холла U_1 . Поменяйте направление тока в катушке переключателем на миниблоке и снова запишите в таблицу значения ЭДС Холла U_2 .
- 4 Увеличивайте шаг за шагом ток в катушке через 20 мА до 200 мА записывайте значения ЭДС при прямом и обратном токе в таблицу.

$I, \text{мА}$	$U_1, \text{мВ}$	$U_2, \text{мВ}$	$U, \text{мВ}$	$B, \text{мТл}$
20				
40				
...				
200				

- 5 Рассчитайте среднее значение ЭДС Холла (U) для каждого значения тока в катушке, а так же магнитную индукцию в зазоре сердечника, на который намотана катушка:

$$B = \frac{\mu_0 \omega}{\delta} I,$$

де I ток в катушке, $\omega = 1200$ – число витков; $\delta = 1,7$ мм – величина зазора;

$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная.

6 Постройте график $U=U(B)$, аппроксимируйте его прямой линией и определите коэффициент наклона:

$$k = \frac{\Delta U}{\Delta B}$$

7 Определите постоянную Холла и концентрацию носителей заряда в полупроводнике:

$$R_H = \frac{k d}{I_{\text{датч.}}}, n \cong \frac{1}{e R}$$

$d = 0,1$ мм – толщина пластины полупроводника;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементарный заряд; $I = 3,27$ мА – ток в датчике Холла.

8 Определить концентрацию атомов в германии, приняв плотность германия

$\rho = 5,46 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ а молярную массу $M = 72,6 \cdot 10^{-3}$ Число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

9 Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоит эффект Холла?
- 2 Что называют силой Лоренца? От каких величин и как она зависит?
- 3 Укажите направление напряженности электрического поля Холла в полупроводниках n- и p-типа. Дайте пояснения к ответу.
- 4 Что понимается под удельной проводимостью, подвижностью и концентрацией носителей тока в полупроводниках? Как связаны эти величины?
- 5 Как по известным значениям удельной проводимости и постоянной Холла вычислить концентрацию и подвижность носителей тока?
- 6 Что произойдет с направлением поля E_H , если одновременно или поочередно изменить направление тока и индукции магнитного поля?
- 7 Какое применение имеет эффект Холла?

Список использованных источников

- 1 Трофимова, Т.И. Курс физики: учебник / Т.И.Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с. с илл.
- 2 Савельев, И.В. Курс физики: учебник: в 2т / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1978. Т2 – 480 с. с илл.
- 3 Епифанов Г.И. Физика твёрдого тела /Г.И. Епифанов. – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с. с илл.