

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 66

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

#### 1. Цель работы

Целью работы является изучение эффекта Холла в полупроводниках, определение коэффициента Холла, концентрации и подвижности носителей тока.

#### 2. Краткая теория

*Эффектом Холла* называется возникновение в образце с током плотностью  $\vec{j}$ , помещенном в магнитное поле  $\vec{B}$ , электрического поля  $\vec{E}$  в направлении, перпендикулярном  $\vec{B}$  и  $\vec{j}$ .

В опытах по изучению этого явления в образцах различных веществ измеряемой величиной является разность потенциалов Холла, однозначно связанная с электрическим полем.

Свойства полупроводников в основном определяются концентрацией носителей тока. Наиболее точный метод определения концентрации носителей основывается на эффекте Холла.

Пусть по пластине сечением  $S$  протекает электрический ток  $J$  в направлении, указанном на рис. 1 (направление движения электронов обратное). Разность потенциалов в отсутствие магнитного поля между электродами  $a$  и  $c$ , лежащими на одном из эквипотенциальных сечений пластины, равна нулю. Если создать магнитное поле  $\vec{B}$ , перпендикулярное направлению тока, то между боковыми гранями (электродами  $a$  и  $c$ ) возникает разность потенциалов Холла.

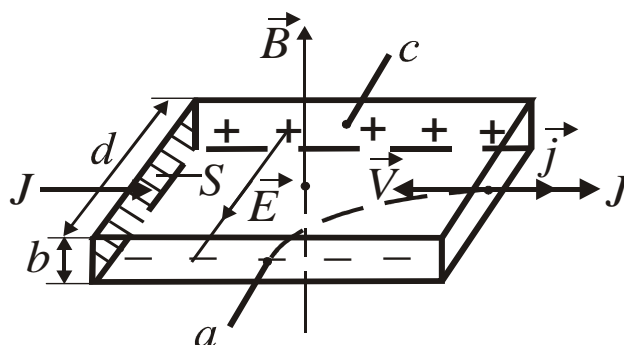


Рис. 1. Объяснение эффекта Холла

Экспериментально установлено, что разность потенциалов Холла  $U$  пропорциональна индукции магнитного поля, силе тока и обратно пропорциональна толщине пластины  $b$ ,

$$U = R_X \frac{JB}{b}. \quad (1)$$

Множитель  $R_X$ , зависящий от рода вещества, называется *коэффициентом Холла*.

Рассмотрим механизм появления разности потенциалов  $U$ . Как известно, на движущийся с дрейфовой скоростью  $V$  заряд  $e$  в магнитном поле действует сила Лоренца, перпендикулярная скорости движения и направлению поля,

$$F = q_e VB. \quad (2)$$

Под действием силы Лоренца носители тока отклоняются к ближней грани пластины, заряжая ее отрицательно. На дальней грани при этом возникает равный по величине положительный заряд. Внутри пластины появляется поперечное электрическое поле  $E$ , а между гранями - разность потенциалов  $U$ .

Отклонение носителей продолжается до тех пор, пока возбужденное ими поле  $E$  не уравновесит отклоняющее действие магнитного поля, или,

$$Eq_e = q_e VB. \quad (3)$$

Умножив обе части этого равенства на концентрацию носителей  $n$ , получим

$$Eq_e n = q_e VBn = jB, \quad (4)$$

где  $j$  - плотность тока в образце.

Учитывая, что

$$j = \frac{J}{S} = \frac{J}{bd}, \quad (5)$$

а

$$U = Ed, \quad (6)$$

имеем

$$U = \frac{1}{nq_e} \cdot \frac{JB}{b} = R_X \frac{JB}{b}. \quad (7)$$

Коэффициент Холла

$$R_X = \frac{1}{nq_e}. \quad (8)$$

Это выражение справедливо для металлов или вырожденных полупроводников, у которых носители тока подчиняются распределению Ферми-Дирака.

Учет статистического распределения скоростей носителей тока в невырожденных полупроводниках приводит к появлению добавочного множителя  $A$ , называемого *холл-фактором*. Значение  $A$  зависит от механизма рассеяния носителей тока. При рассеянии на ионизированных примесных атомах  $A = 1,93$ , при рассеянии на тепловых колебаниях решетки  $A = 3\pi/8$ .

В используемом датчике Холла из арсенида индия

$$R_X = \frac{3\pi}{8nq_e}. \quad (9)$$

Зная  $R_X$ , можно найти концентрацию носителей

$$n = \frac{3\pi}{8R_X q_e}. \quad (10)$$

Одновременное измерение  $R_X$  и электропроводности  $\sigma$  позволяет вычислить подвижность носителей  $u$ , т. е. скорость дрейфа в поле напряженностью 1 В/м. Действительно, электропроводность

$$\sigma = q_e n u. \quad (11)$$

Исключая концентрацию носителей, после преобразований получим

$$u = \frac{8R_X \sigma}{3\pi}. \quad (12)$$

Помимо возможности определения концентрации носителей, эффект Холла позволяет определить знак носителей и тип проводимости. Для электронных полупроводников  $R_X < 0$ , для дырочных  $R_X > 0$ .

При выполнении работы, как правило, не удастся расположить электроды  $a$  и  $c$  (см. рис. 1) на эквипотенциальном сечении образца. Из-за этого имеется некоторая разность потенциалов  $U_0$  между электродами  $a$  и  $c$  в отсутствие магнитного поля  $\vec{B}$ . Ее знак не зависит от направления  $\vec{B}$ . Для исключения  $U_0$ , производят измерения  $U$  при противоположных направлениях  $\vec{B}$ .

$$U' = U + U_0 \quad (\text{прямое поле}), \quad (13)$$

$$U'' = -U + U_0 \quad (\text{обратное поле}).$$

Вычитая из первого выражения второе, получаем, что холловская разность потенциалов

$$U = \frac{U' - U''}{2}. \quad (14)$$

Работа сводится к измерению  $U'$ ,  $U''$  для различных токов, пропускаемых через датчик. По величине  $U$  из (1) находится коэффициент Холла

$$R_x = \frac{Ub}{JB}. \quad (15)$$

Концентрация носителей вычисляется по формуле (10).

По прилагаемым характеристикам датчика  $D$  находится электропроводность

$$\sigma = \frac{\ell}{RS}, \quad (16)$$

где  $\ell$ ,  $R$ ,  $S$  - длина, сопротивление и поперечное сечение датчика.

Зная  $R_x$  и  $\sigma$  по формуле (12) вычисляют подвижность носителей  $u$ .

Области приложения эффекта Холла в науке и технике достаточно разнообразны. В научной практике эффект Холла используют для определения концентрации и типа носителей, для оценки ширины запрещенной зоны, энергии ионизации носителей (по температурной зависимости  $R_x$  в полупроводниках). В комплексе с измерениями электропроводности эффект Холла позволяет вычислять подвижность токоносителей, ее температурную зависимость. В геологических науках подобное применение пока носит эпизодический характер. В области техники специальные датчики Холла широко используются для измерения магнитных полей, в частности, при магнитных методах обогащения полезных ископаемых. Датчики Холла используют для бесконтактного измерения токов в отдельных участках цепи, а также для измерения тока в пучках заряженных частиц. Существуют возможности создания на основе эффекта Холла магнитометров и усилителей.

### 3. Выполнение работы

**3.1. Необходимые приборы:** постоянный магнит, источник постоянного тока  $\mathcal{E}$  на 3 В, датчик Холла Д, магазин сопротивлений РЗЗ, балластное сопротивление  $R_6$ , амперметр А на 0,15 А, ключ К, цифровой вольтметр ЦВ.

#### 3.2. Порядок выполнения работы

Проверяют измерительную схему, руководствуясь рис. 2.

Включают цифровой вольтметр и блок питания в сеть 220 В, дают прогреться в течении 5 мин.

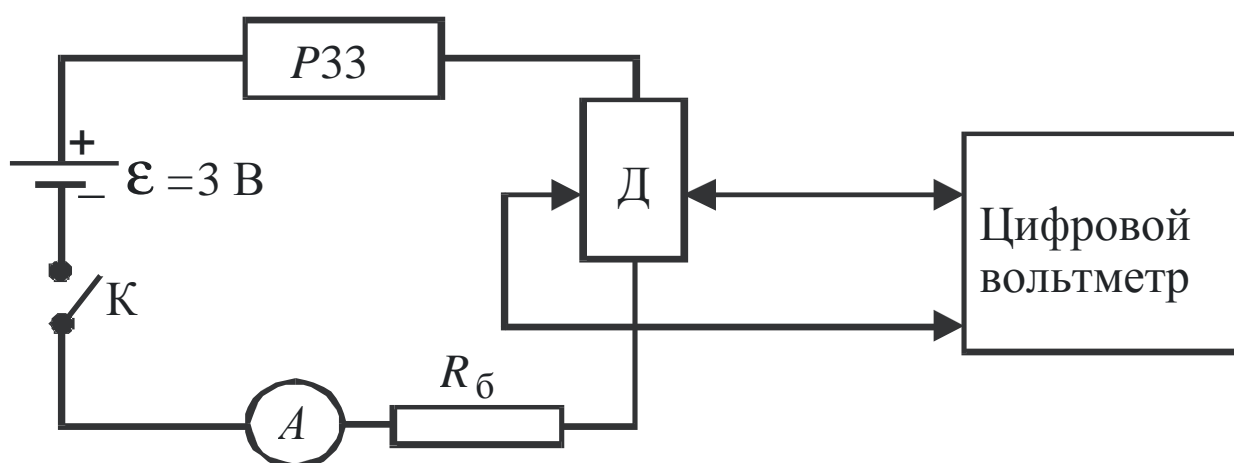


Рис. 2. Схема цепи для изучения эффекта Холла

В присутствии преподавателя ключом  $K$  замыкают цепь питания датчика и с помощью магазина сопротивлений РЗЗ устанавливают ток 0,04 А. Помещают оправу с датчиком Д в зазор магнита. Установив пределы измерения на цифровом вольтметре 100 мВ, производят измерение  $U'$ . Изменив положение датчика в зазоре магнита на  $180^\circ$ , измеряют  $U''$ . Результаты измерений записывают в табл. 1.

Аналогичные измерения производят при остальных токах указанных в таблице. Величина индукции магнитного поля и данные о датчике Холла указаны на лабораторном столе, их записывают в нижнюю строчку таблицы.

По окончании измерений уменьшают ток до нуля, размыкают цепь питания датчика, выключают питание цифрового вольтметра и источника питания.

Таблица 1

## Результаты измерений

$J$	$U'$	$U''$	$U$	$R_X$	$\Delta R_X$	$n$	$\Delta n$	$u$	$\Delta u$
A	мВ			м <sup>3</sup> /Кл		1/м <sup>3</sup>		м <sup>2</sup> /(В·с)	
0,04									
0,05									
0,06									
0,07									
0,08									
Средние значения									
$B =$		$b =$		$S =$		$R =$		$\ell =$	

По данным наблюдений находят средние значения  $R_X$ ,  $n$ ,  $u$  по формулам (15), (10), (12) соответственно, а также средние абсолютные и относительные погрешности этих величин.

Окончательные результаты записывают в виде:

$$R_X = \bar{R}_X \pm \Delta \bar{R}_X, \quad (17)$$

$$n = \bar{n} \pm \Delta \bar{n}, \quad (18)$$

$$u = \bar{u} \pm \Delta \bar{u}. \quad (19)$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается эффект Холла?
2. Вывести формулу для разности потенциалов Холла.
3. Чему равно значение коэффициента Холла для металлов, примесных полупроводников?
4. Поясните схему включения приборов.
5. Расскажите порядок выполнения работы.
6. Как исключить влияние разности потенциалов между электродами датчика в отсутствие магнитного поля?
7. Что называется подвижностью носителей тока, в чем она измеряется?
8. Как вычисляются концентрация и подвижность носителей тока?
9. Приведите примеры применения эффекта Холла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бушманов, Б. Н., Хромов, Ю. А.* Физика твердого тела / Б. Н.Бушманов, Ю. А. Хромов.- М.: Высш. школа, 1971.- 224 с.

*Овчинников, И. К.* Конспект лекций по законам теплового излучения, физике атома и твердого тела / И. К. Овчинников.- Свердловск: Изд. СГИ, 1973.- 216 с.