

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N13.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В МЕТАЛЛЕ С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ХОЛЛА.

**Цель работы:** Ознакомление с эффектом Холла и определение концентрации носителей заряда в полупроводнике.

**Приборы и принадлежности:** Датчик Холла (ДХ), вольтметр (V), миллиамперметр (A), источник тока (G4), потенциометр (R16).

#### Краткая теория.

##### Эффект Холла.

В 1880 г. Холл обнаружил следующее явление: если металлическую пластинку, вдоль которой течёт постоянный электрический ток, поместить в перпендикулярное к ней магнитное поле, то между, параллельными полю и току, гранями (рис.1) возникает разность потенциалов  $U_x = \varphi_1 - \varphi_2$ .

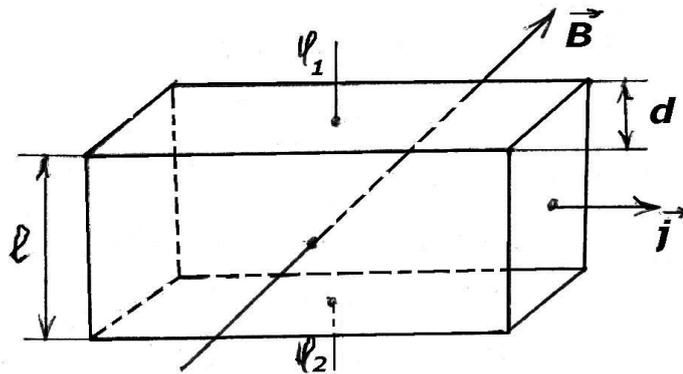


Рис.1

Это явление называют эффектом Холла, или гальваномагнитным явлением.

Эффект Холла очень просто объясняется электронной теорией. В отсутствие магнитного поля ток в пластинке обуславливается электрическим

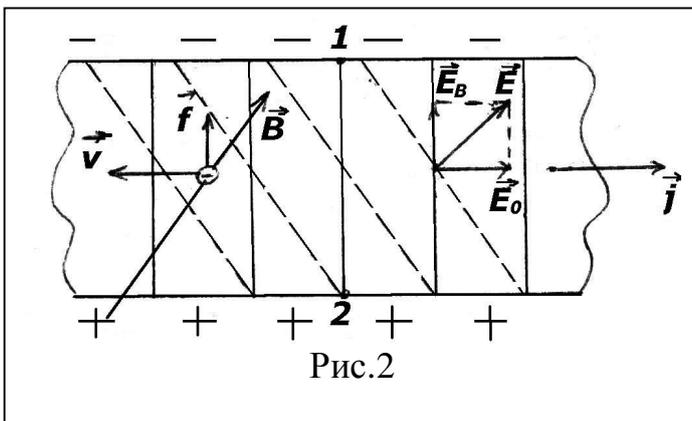


Рис.2

полем  $\vec{E}_0$  (рис.2).

Эквипотенциальные поверхности этого поля образуют систему перпендикулярных вектору  $\vec{E}_0$  плоскостей, изображенных на рисунке сплошными прямыми линиями. Потенциал во всех точках каждой поверхности, а,

следовательно, и в точках 1 и 2 одинаков. Носители тока – электроны – имеют отрицательный заряд, поэтому скорость их упорядоченного движения  $\vec{v}$  направлена противоположно вектору плотности тока  $\vec{j}$ .

При включении магнитного поля каждый носитель оказывается под действием силы Лоренца, направленной вдоль стороны  $l$  пластинки (рис.1) и равной по модулю

$$F_n = e v B \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона, движущийся со скоростью  $v$ ,  $B$  – индукция магнитного поля.

В результате у электронов появляется составляющая в направлении к верхней (на рисунке) грани пластинки. У этой грани образуется избыток отрицательных, соответственно у нижней грани – избыток положительных зарядов.

Следовательно, возникает дополнительное поперечное электрическое поле  $\vec{E}_e$ . Когда напряженность этого поля достигает такой величины, что его действие на заряды будет уравнивать силу (1), установится стационарное распределение зарядов в поперечном направлении. Соответствующее значение  $\vec{E}_e$  определяется из условия:  $e E_e = e v B$ , откуда

$$E_e = v B. \quad (2)$$

Поле  $\vec{E}_e$  складывается с полем  $\vec{E}_0$  в результирующее поле  $\vec{E}$ .

Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны в каждой точке к вектору напряженности поля. Следовательно, они повернутся и займут положения, изображенные на рис.2 пунктиром. Точки 1 и 2, которые прежде лежали на одной и той же эквипотенциальной поверхности, теперь будут иметь разные потенциалы. Чтобы найти напряжение, возникающее между этими точками, нужно умножить  $\vec{E}_e$  на расстояние  $l$  между ними. Выражая, кроме того, в (1)  $v$  через  $j$ ,  $n$  и  $e$  в соответствии с формулой  $j = en v$ , получим:

$$v = \frac{j}{n_0 e}, \text{ где } n_0 \text{ – концентрация электронов.}$$

$$E_e = \frac{j B}{n_0 e} \quad (3)$$

Разность потенциалов:  $U_x = e E_e l$ .

С учётом (3):  $U_x = \frac{j B l}{n_0 e} = \frac{j B l d}{n_0 e d} = \frac{j B S}{n_0 e d}$ , где  $S = l d$  – площадь поперечного сечения

проводника. С учётом того, что ток  $I$ , протекающий через проводник с плотностью тока соотношением  $I = j S$ , получаем:

$$U_x = \frac{B I}{n_0 e d}. \quad (4)$$

В этом выражении  $d$  – толщина пластинки (образца) в направлении магнитного поля.

Обычно формулу (4) записывают в следующем виде:

$$U_x = R \frac{BI}{d} \quad (5)$$

где  $R$  – постоянная Холла:  $R = \frac{1}{n_0 e}$ .

Измеряя постоянную Холла, можно определить  $n_0$  (число электронов в единице объёма).

Важной характеристикой вещества является подвижность в нём носителей тока, под которой подразумевается средняя скорость, приобретаемая носителем в поле, напряженность которого равна единице. Если в поле напряженности  $E$  носители приобретают скорость  $v$ , то подвижность  $b$  равна

$$b = \frac{v}{E}$$

Подвижность можно связать с проводимостью  $\sigma$  и концентрацией носителей  $n_0$ .

$$\sigma = n_0 e b.$$

Откуда

$$b = \frac{\sigma}{n_0 e} = R \sigma.$$

Определив постоянную Холла  $R$  и проводимость  $\sigma$ , можно найти концентрацию в соответствующем образце.

### **Методика измерений и порядок выполнения работы.**

Измерительная схема изображена на рис.3. В данной работе используется два образца. Первый представляет собой медную пластину с толщиной  $d = 0,5$  мм, для которого можно рассчитать постоянную Холла (концентрацию электронов) по известным физико – химическим константам меди – молярной массе  $M$ , плотности  $\rho$ , валентности и универсальным константам – числу Авогадро  $N_A$ , заряду электрона  $e$ . Этот образец необходим для определения магнитной индукции  $B$  поля постоянного магнита по измеренной Э.Д.С. Холла. Измерив  $U_x$  по формуле (5), можно рассчитать  $B$ :

$$B = \frac{U_x d}{RI}. \quad (6)$$

Второй образец – из неизвестного материала, для которого необходимо определить постоянную Холла и рассчитать концентрацию электронов.

### **Задания.**

1. Соберите установку (рис.3). Произведя измерения Э.Д.С. Холла  $U_x$  для медного образца при трёх значениях тока  $I$  в пределах от 0 до 10 А. Постройте график зависимости  $U_x(I)$ . Считая медь одновалентной, вычислить по формуле

$$n_0 = \frac{\rho N_A}{M} \quad (7)$$

концентрацию электронов, а затем и постоянную Холла  $R = \frac{1}{n_0 e}$  для образца.

$$\rho = 8,96 \times 10^3 \text{ кг/м};$$

$$M = 63,55 \times 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$N_A = 6,025 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1};$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл.}$$

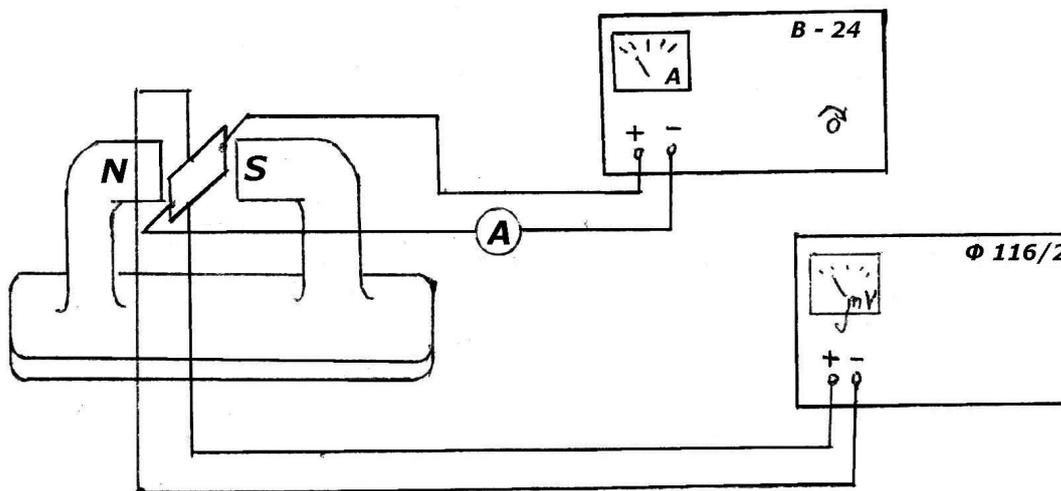


Рис.3

По графику зависимости  $U_x(I)$  найти индукцию магнитного поля  $B$ .

2. Заменить медный образец на неизвестный, произвести измерения постоянной Холла для тех же значений тока  $I$  в пределах от 0 до 10 А и вычислить концентрацию электронов в нём. Толщина неизвестного образца  $d = 0,5 \text{ мм}$ . Оценить ошибки измерений.

### Контрольные вопросы.

1. Какие силы действуют на электрон в проводнике с током, находящемся в магнитном поле?
2. Что такое сила Лоренца и как определить направление действия этой силы?
3. Равна ли полной скорости электрона  $v$ , которая входит в уравнение (2)? Почему?
4. Как из графика  $U_x(I)$  определить  $B$ ?
5. Дайте физическое объяснение формулы (7)?

### Литература.

1. И.В.Савельев. курс общей физики. Т.2, 1968г.
2. Ч.Киттель. Введение в ФТТ. 1978г.
3. П.В.Павлов, А.Ф.хохлов. Физика твёрдого тела. 1985г.

