

Лабораторная работа № 6.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Принадлежности: лабораторная установка – электромагнит, датчик Холла, измерительное устройство.

Цель работы: изучение процессов движения электрических зарядов в полупроводниковых образцах, помещенных в магнитное поле, поперечном току; определение постоянной Холла; расчет концентрации носителей тока в полупроводнике.

Теоретические сведения.

Эффектом Холла называется возникновение в проводнике или полупроводнике с током, помещенном в магнитное поле, электрического поля, перпендикулярного как направлению тока ($\vec{E}_X \perp \vec{j}$), так и направлению магнитного поля ($\vec{E}_X \perp \vec{B}$).

Это явление объясняется действием на движущиеся носители заряда (электроны проводимости и дырки) силы Лоренца, отклоняющей их от первоначального направления движения.

На рис.1. а) показано направление силы Лоренца (ее магнитной составляющей), действующей на электроны проводимости **в полупроводнике *n*-типа (с электронным типом проводимости)**.

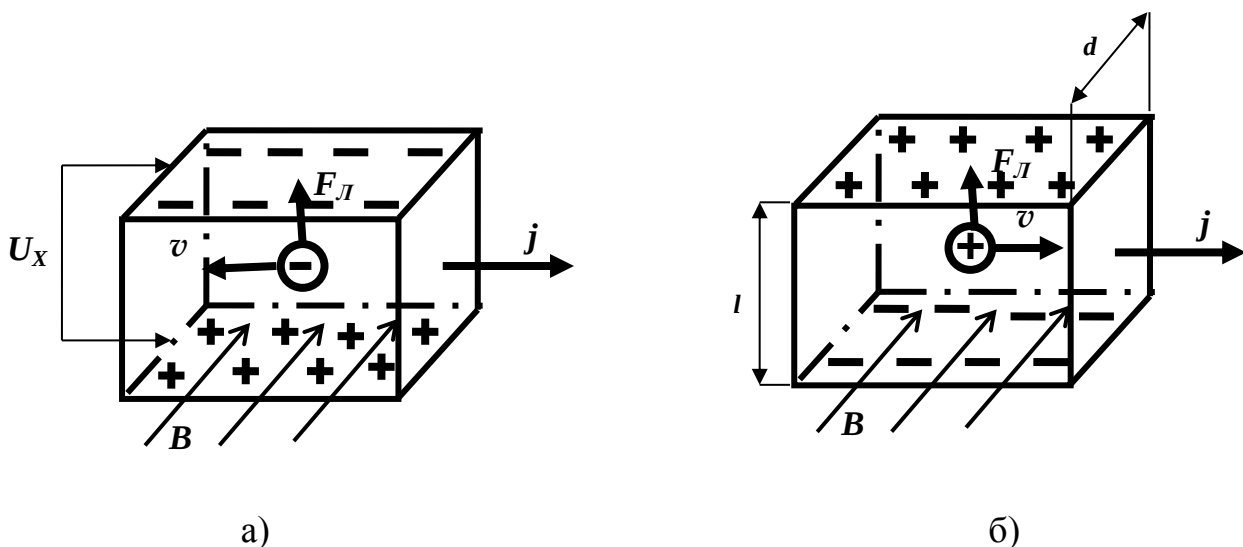


Рис.1.

У отрицательных зарядов вектор скорости $\vec{v}$ и вектор плотности тока $\vec{j}$ направлены в противоположные стороны. На рис.1, а) ток идет слева направо, вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен за плоскость чертежа (от нас). В этом случае, воспользовавшись правилом левой руки, определяем, что электроны отклоняются силой Лоренца вверх. Вследствие этого на верхней грани пластинки полупроводника возникает избыток электронов, а на нижней – их недостаток.

Верхняя грань пластинки заряжается отрицательно, а нижняя – положительно, и внутри пластинки возникает поперечное (к току и к магнитному полю) электрическое поле, напряженность которого E_X , а соответствующее напряжение (холловское напряжение) U_X .

Отклонение носителей заряда в поперечном направлении происходит до тех пор, пока сила, действующая на электроны со стороны возникшего электрического поля,

$$F_{эл} = e \cdot E_X$$

не станет равной силе Лоренца

$$F_L = e \cdot v \cdot B.$$

Тогда

$$e \cdot E_X = e \cdot v \cdot B,$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, v – скорость электрона.

Откуда для напряженности поперечного (холловского) электрического поля получаем

$$E_X = v \cdot B.$$

Если расстояние между гранями пластины равно l , то разность потенциалов (напряжение) между ними

$$U_X = E_X \cdot l = v \cdot B \cdot l.$$

В этом выражении среднюю скорость электронов v можно выразить через плотность тока j : так как

$$j = n \cdot e \cdot v,$$

то

$$v = \frac{j}{ne},$$

где n – концентрация электронов.

Учитывая, что плотность тока $j = \frac{I}{S}$ и площадь поперечного сечения пластинки полупроводника $S = ld$, получим

$$U_X = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{I \cdot B}{d}.$$

Величина

$$R_X = \frac{1}{n \cdot e} \quad (1),$$

постоянная для данного вещества, называется постоянной Холла.

Таким образом, холловское напряжение (ЭДС Холла) имеет вид

$$U_X = R_X \cdot \frac{I \cdot B}{d}. \quad (2)$$

Величины I , B , U_X и d определяются экспериментально. Тогда по их значениям можно определить постоянную Холла R_X (см. формулу (3)).

В **дырочном полупроводнике** (полупроводнике p -типа) основными носителями заряда являются положительные заряды (дырки). Поэтому наблюдается обратная картина, показанная на рис.1, б). Скорость дырок имеет то же направление, что и ток, и при указанном направлении магнитного поля сила Лоренца (ее магнитная составляющая) по-прежнему будет направлена вверх, и заряженные частицы будут накапливаться у верхней грани. Однако, так как дырки заряжены положительно, верхняя грань при этом будет заряжаться положительно, т.е. явление Холла будет иметь обратный знак.

Знак постоянной Холла совпадает со знаком основных носителей заряда. Измерение постоянной Холла для полупроводников позволяет судить о типе

его проводимости: в случае электронной проводимости (n -типа) заряд носителей отрицательный и $R_H < 0$, в случае дырочной проводимости (p -типа) заряд носителей положительный и $R_H > 0$.

Постоянная Холла зависит от концентрации носителей заряда n , и поэтому, измеряя постоянную Холла можно определить их концентрацию.

Для полупроводников постоянная Холла имеет порядок $R_H \sim 0,1 \text{ м}^3/\text{Кл}$.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из датчика (или преобразователя) Холла, помещенного между полюсами электромагнита, и измерительного устройства. Датчик представляет собой тонкую полупроводниковую прямоугольную пластинку с четырьмя электродами для подведения электрического тока и съема ЭДС Холла (рис.2).

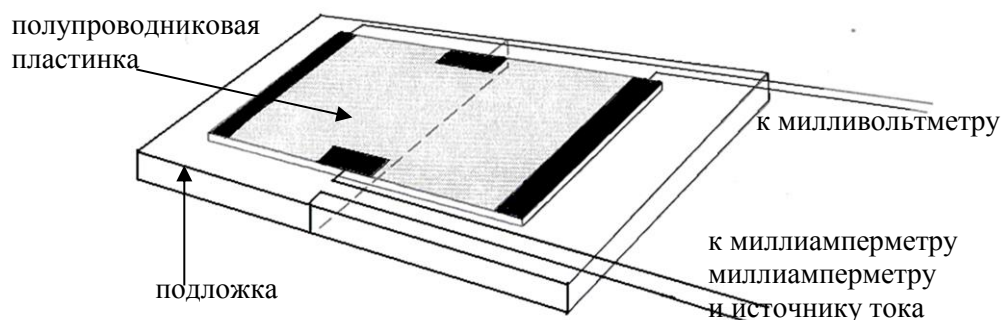


Рис. 2.

Толщина пластинки должна быть минимальной с целью повышения холловского напряжения. Обычно она составляет десятые доли миллиметра. Поскольку полупроводники, в отличие от металлов, являются очень хрупкими, необходимую форму им придают посредством разрезания полупроводниковых слитков алмазной пилой. Хрупкие полупроводниковые пластинки приклеивают на диэлектрическую подложку – слюду, керамику и т.п.

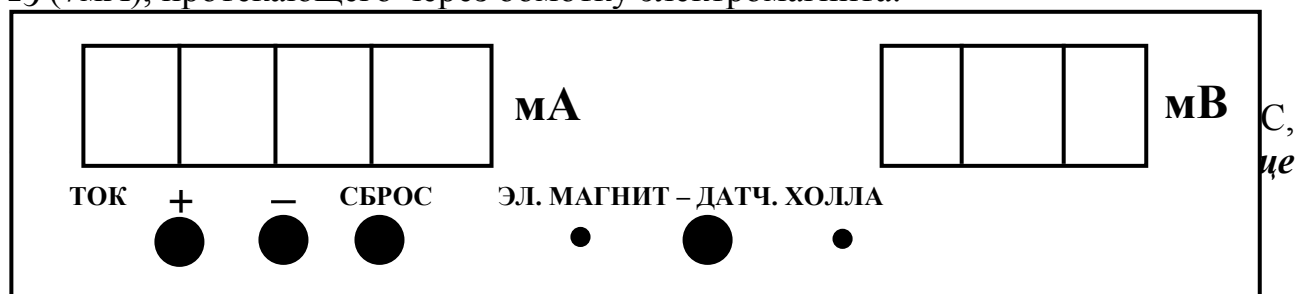
Изготавливают датчики Холла из кремния Si, германия Ge, арсенида галлия GaAs, антимонида индия InSb. Размеры датчика в данной работе $1,2 \text{ мм} \times 1,2 \text{ мм} \times 0,35 \text{ мм}$. Последнее число – толщина пластинки d .

Датчик установлен между полюсами электромагнита в сборном корпусе. Через верхнее окно корпуса видны полюсы электромагнита и плата с датчиком Холла.

Порядок выполнения работы

1. Подключить установку к сети (220 В) и нажать сетевой выключатель "СЕТЬ".

2. Установить определенное направление и величину магнитной индукции B поперечного магнитного поля. Для этого в режиме ЭЛ. МАГНИТ кнопками СБРОС, ТОК «+» ТОК «-» **установить указанное в таблице значение тока I_2 (7мА), протекающего через обмотку электромагнита.**



значений тока I_X , протекающего через датчик. Для каждого значения тока записать в таблицу возникающее напряжение Холла.

4. Изменить направление магнитного поля на противоположное. Для этого нажатием кнопки СБРОС изменить полярность источника питания электромагнита и снова установить заданное в таблице значение тока I_3 электромагнита (-7 мА).

5. Прodelать снова все измерения п. 3.

6. Увеличить магнитное поле, пропустив ток в обмотке 9 мА и повторить измерения.

7. Рассчитать по формуле

$$R_X = \frac{d}{B} \cdot \frac{U_X}{I_X} \quad (3)$$

и занести в таблицу значения постоянной Холла для каждого опыта. При этом значение магнитной индукции B рассчитывается по эмпирической формуле для данного электромагнита

$$B = 6,08 \text{ мТл} + 1,85 \frac{\text{мТл}}{\text{мА}} I_3,$$

где I_3 выражено в мА. Толщина пластинки данного образца $d = 0,35$ мм.

Таблица.

$I_3, (\text{мА})$	7.0						-7.0						9.0						-9.0					
$B, (\text{мТл})$																								
$I_X, (\text{мА})$	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3
$U_X, (\text{мВ})$																								
$R_X, (\text{м}^3/\text{Кл})$																								
$\langle R_X \rangle, (\text{м}^3/\text{Кл})$																								

8. Вычислить среднее значение постоянной Холла $\langle R_X \rangle$, пользуясь которым рассчитать концентрацию носителей тока в полупроводнике:

$$n = \frac{1}{R_X \cdot e}$$

Контрольные вопросы.

1. Какова причина возникновения холловской разности потенциалов? .
2. Что называется постоянной Холла? В каких единицах она измеряется?
3. Как можно использовать эффект Холла для определения индукции магнитного поля?
4. Как изменится холловское напряжение при изменении направления тока в датчике на противоположное? 5. Как изменится холловское напряжение при изменении направления вектора магнитной индукции на противоположное?