

МОСКОВСКИЙ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Студент

Преподаватель

(имя)

(фамилия)

(имя)

(отчество)

_____ группа

(фамилия)



(дата)

Цель работы: Измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

В работе используются: электромагнит с источником питания, амперметр, миллиамперметр, милливольтметр, реостат, цифровой вольтметр, источник питания, образцы легированного германия.

1. Теоретическая часть

Дырки Эффект Холла, возникающий в проводниках, происходит из-за наличия некоторого количества свободных электронов в зоне проводимости и такого же количества дырок в валентной зоне. Чтобы понять причину образования дырок, нужно рассмотреть дырочную проводимость.

Дырочную проводимость можно объяснить при помощи следующей аналогии: если представить ряд людей, сидящих в аудитории, где нет запасных стульев. Когда кто-нибудь из середины ряда хочет уйти, он перелезает через спинку стула в пустой ряд и уходит. Здесь пустой ряд — аналог зоны проводимости, а ушедшего человека можно сравнить со свободным электроном. Теперь представим, что ещё кто-то пришёл и хочет сесть. Из пустого ряда плохо видно, поэтому там он не садится. Вместо этого человек, сидящий возле свободного стула, пересаживается на него, вслед за ним это повторяют и все его соседи. Таким образом, пустое место как бы двигается к краю ряда. Когда это место окажется рядом с новым зрителем, он сможет сесть. В этом процессе каждый сидящий передвинулся вдоль ряда. Если бы зрители обладали отрицательным зарядом, такое движение было бы *электрической проводимостью*. Если вдобавок стулья заряжены положительно, то ненулевым суммарным зарядом будет обладать только свободное место. Это простая модель, показывающая как работает *дырочная проводимость*. Однако на самом деле, из-за свойств кристаллической решётки, дырка не локализована в определённом месте, как описано выше, а размазана по области размером во много сотен элементарных ячеек.

Эффект Холла Магнитного поле в проводнике действует на свободные электроны в зоне проводимости, поэтому между гранями наблюдается добавочная разность потенциалов, связанная с силой Лоренца.

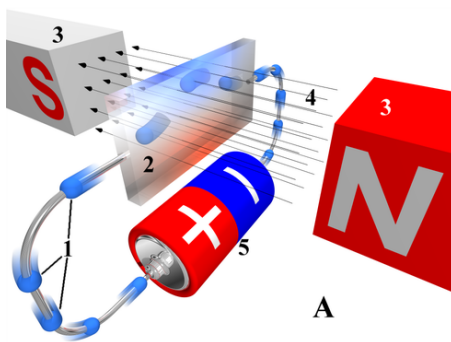


Рис. 1: Пример действия эффекта Холла на свободные заряды

$$\mathbf{F}_\text{Л} = -e\mathbf{E} - e\langle\mathbf{v}\rangle \times \mathbf{B},$$

где e - абсолютная величина заряда электрона, \mathbf{B} - индукция магнитного поля, \mathbf{E} - напряженность электрического поля, $\langle\mathbf{v}\rangle$ - средняя скорость заряда.

Из этого выражения получим разность потенциалов между двумя гранями:

$$U = -E_z l = -|\langle v \rangle| B l \quad (1)$$

С этой возникшей разностью потенциалов и связан Эффе́кт Холла.

Далее, если выразить ток:

$$I = ne|\langle v \rangle| la$$

И совместить его с (1), получим ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_x = U = -\frac{IB}{nea} = -R_x \cdot \frac{IB}{a}, \quad (2)$$

где $R_x = \frac{1}{ne}$ называется *постоянной Холла*.

2. Установка и параметры измерения

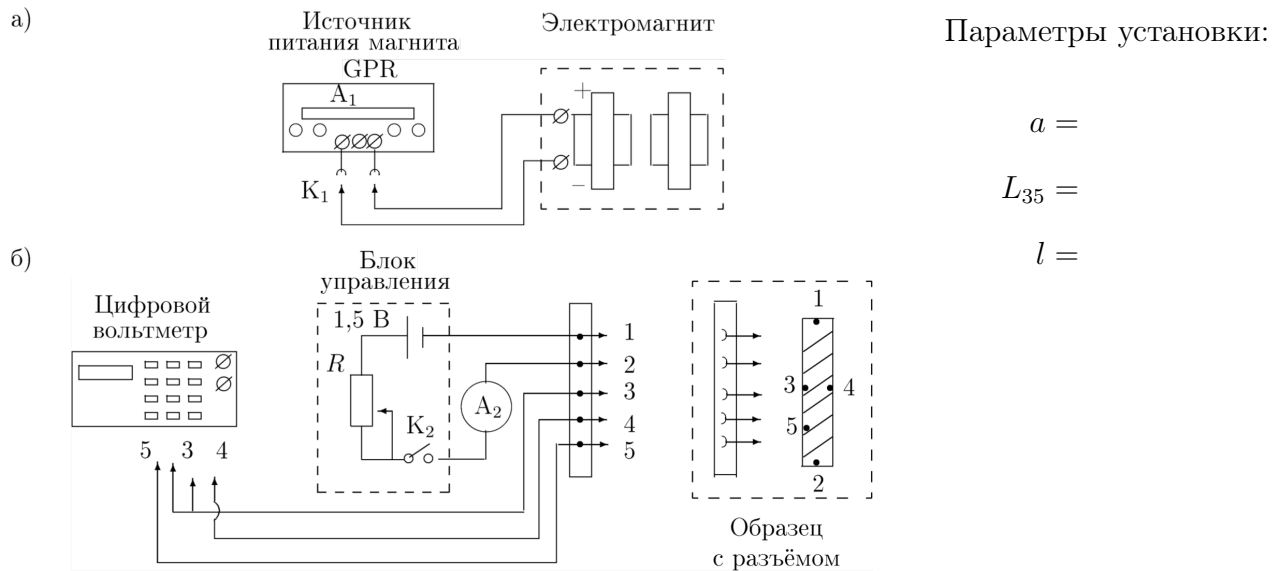


Рис. 2: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

В нашей установке вдоль длинной стороны образца будет течь ток, величина которого регулируется реостатом R_2 . Так как он помещен в электромагнит, между точками 3 и 4 будет возникать разность потенциалов U_{34} , которую мы будем измерять.

Однако между точками 3 и 4 будет возникать некоторое дополнительное падение напряжения U_0 , так как эти точки оказываются не на одной эквипотенциали. Исключить это влияние можно с помощью изменения направления магнитного поля: в одном случае $U_{34} = U_0 - \mathcal{E}_x$, в другом $U_{34} = \mathcal{E}_x - U_0$. Тогда с помощью полуразности избавимся от U_0 в наших измерениях.

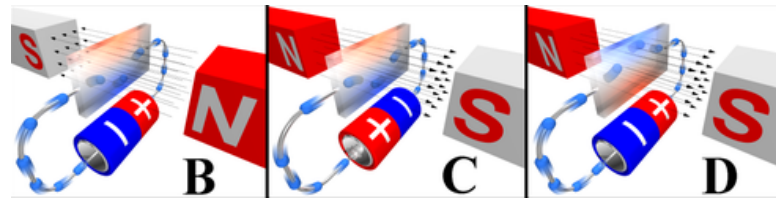


Рис. 3: Эффект Холла при различных направлениях магнитного поля и тока через образец

3. Обработка результатов

Калибровка установки Во время проведения работы мы сняли зависимость магнитного потока Φ от силы тока I , так же нам известно, что $\Phi = BSN$, где $SN = 75 \text{ см}^2 \cdot \text{вит.}$

Таблица 1: Данные для калибровки установки

I , мА								
Φ , мВб								
B , Тл								

Место для графика

Рис. 4: Калибровка установки

С помощью МНК вычислим зависимость, $B =$

Таблица 2: Зависимость ЭДС Холла от магнитного поля

$I, \text{ мА}$	$U_0, \text{ мВ}$	$I_M, \text{ мА}$								
		$B, \text{ Тл}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								
		$U, \text{ мВ}$								
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$								

Проанализируем полученные данные с помощью МНК. Отообразим их в таблице 3:

Таблица 3: Зависимость углового коэффициента от силы тока

$I, \text{ мА}$								
$k, \text{ мВ} \cdot \text{ Тл/мА}$								
$\sigma_k \text{ мВ} \cdot \text{ Тл/мА}$								
$\sigma_I, \text{ мА}$								

Также изобразим эти данные на графике (рис. 6). Опять же с помощью МНК получаем, что

$$K =$$

Из формулы (2) посчитаем постоянную Холла:

$$R_x =$$

Место для графика

Рис. 5: График зависимости $\mathcal{E}_x = f(B)$ для разных I

Место для графика

Рис. 6: График зависимости углового коэффициента от силы тока

Определим концентрацию носителей заряда: $n =$

Вычислим удельную проводимость материала с помощью $U_{35} =$:

$\sigma =$

Рассчитаем подвижность электрона:

$$b =$$

$$\Delta b =$$

4. Вывод
