

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.4

---

## Эффект Холла в полупроводниках

---

*Автор:*

Ришат ИСХАКОВ

513 группа

*Преподаватель:*

Александр Александрович

КАЗИМИРОВ



11 ноября 2016 г.

# 1 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.*

## 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

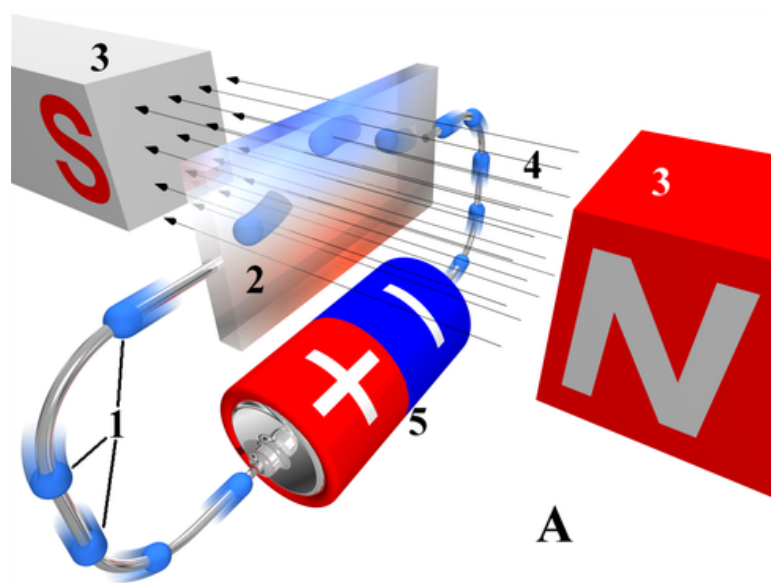


Рис. 1: Пример действия эффекта Холла на свободные заряды

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

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

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:

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

С этой возникшей разностью потенциалов и связан Эффе́кт Холла.

Далее, если выразить ток:

$$I = ne|\langle\mathbf{v}\rangle| la$$

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*.

## Установка и параметры измерения

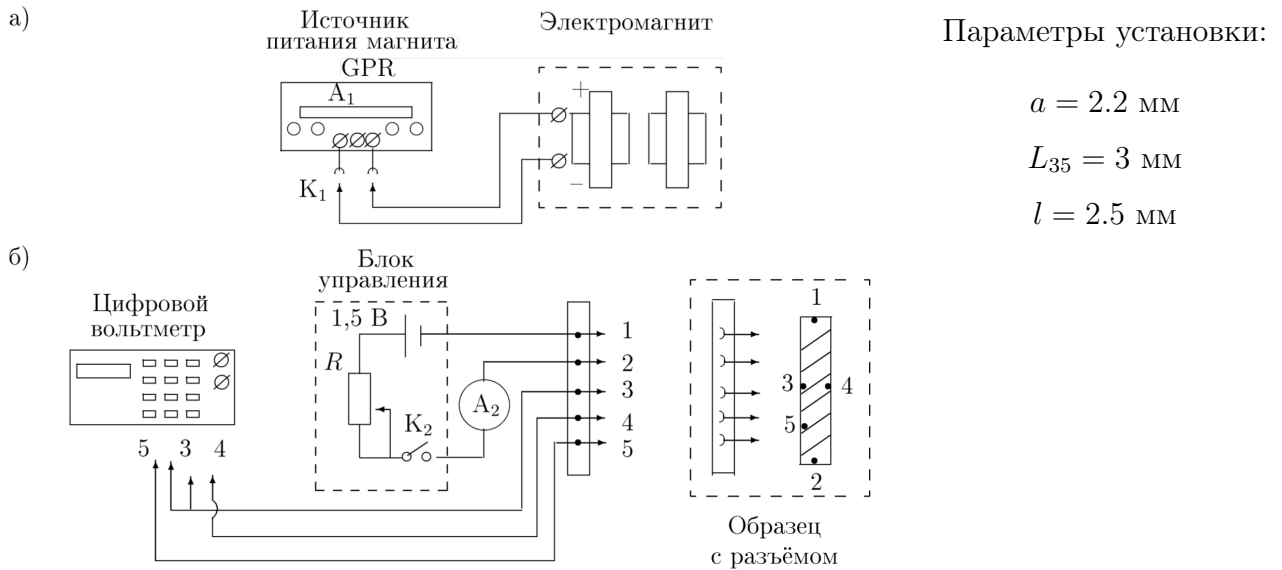


Рис. 2: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

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  $U_{34} = U_0 + \mathcal{E}_x$ . Тогда с помощью полуразности избавимся от  $U_0$  в наших измерениях.

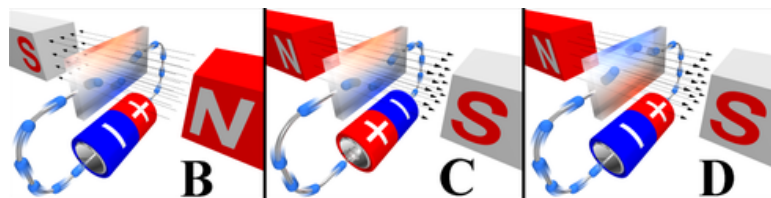


Рис. 3: Эффект Холла при различных направлениях магнитного поля и тока через образец

## 2 Работа и измерения

### Калибровка установки

$I$ , мА	0	0.1	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6
$B$ , Тл	22.4	115.8	431	616.5	791.2	912.4	1000.5	1061.5	1107.9

Таблица 1: Данные для калибровки установки

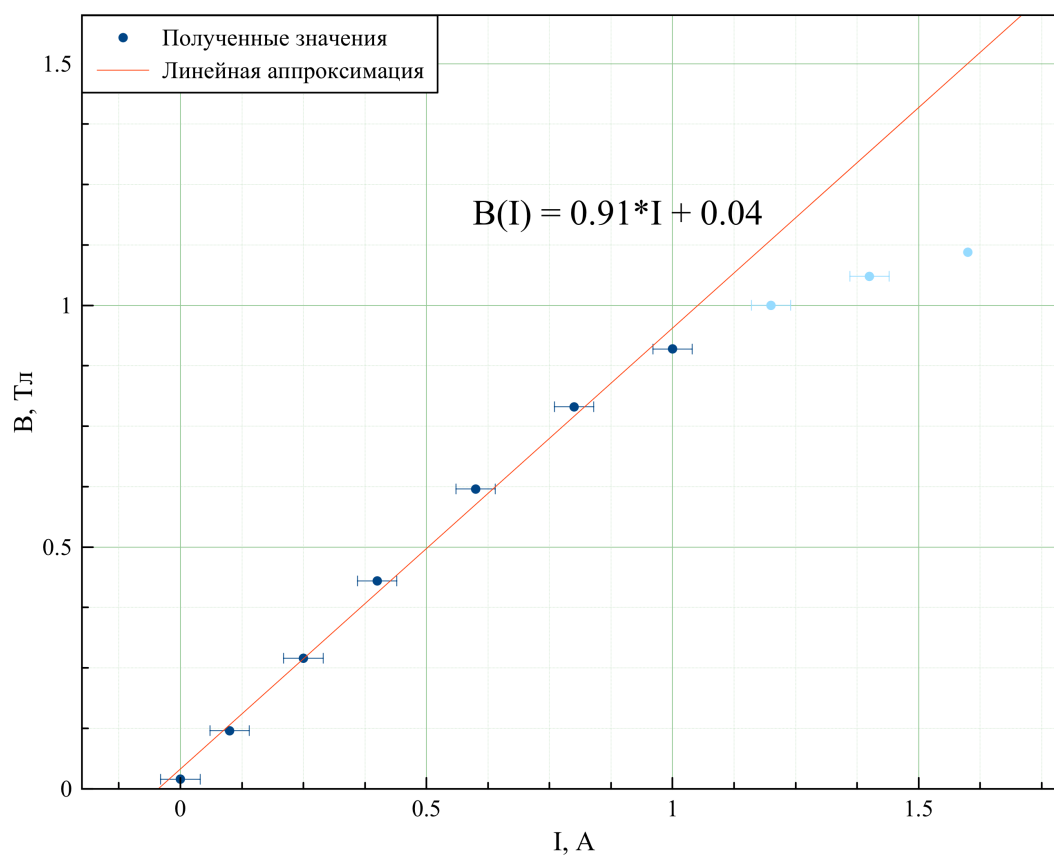


Рис. 4: Уравнение для калибровки установки

$I, \text{ мА}$	$U_0, \text{ мВ}$	$I_M, \text{ А}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1
		$B, \text{ Тл}$	0.131	0.222	0.313	0.404	0.495	0.586	0.768	0.95
0.3	-0.01	$U, \text{ мВ}$	-0.014	-0.02	-0.025	-0.031	-0.036	-0.041	-0.051	-0.059
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.004	-0.01	-0.015	-0.021	-0.026	-0.031	-0.041	-0.049
0.4	-0.014	$U, \text{ мВ}$	-0.02	-0.028	-0.035	-0.042	-0.049	-0.056	-0.069	-0.079
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.006	-0.014	-0.021	-0.028	-0.035	-0.042	-0.055	-0.065
0.5	-0.018	$U, \text{ мВ}$	-0.026	-0.035	-0.044	-0.054	-0.062	-0.07	-0.087	-0.099
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.008	-0.017	-0.026	-0.036	-0.044	-0.052	-0.069	-0.081
0.7	-0.026	$U, \text{ мВ}$	-0.038	-0.051	-0.063	-0.075	-0.088	-0.1	-0.123	-0.139
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.012	-0.025	-0.037	-0.049	-0.062	-0.074	-0.097	-0.113
0.8	-0.031	$U, \text{ мВ}$	-0.045	-0.058	-0.073	-0.088	-0.102	-0.117	-0.141	-0.16
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.014	-0.027	-0.042	-0.057	-0.071	-0.086	-0.11	-0.129
1	-0.039	$U, \text{ мВ}$	-0.055	-0.073	-0.091	-0.11	-0.128	-0.145	-0.176	-0.201
		$\mathcal{E}_x, \text{ мВ}$	-0.016	-0.034	-0.052	-0.071	-0.089	-0.106	-0.137	-0.162

Таблица 2: Зависимость ЭДС Холла от магнитного поля

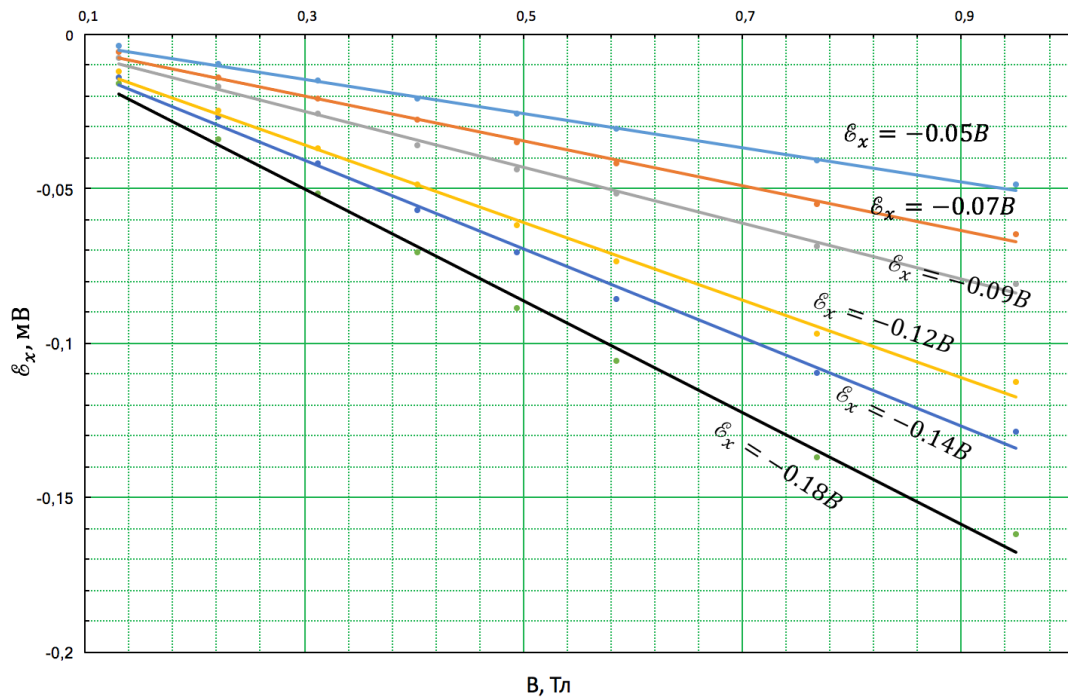


Рис. 5: Построим по полученным данным график зависимости  $\mathcal{E}_x = f(B)$  для разных  $I$

$$U_{35} = -1.72 \text{ мВ}$$

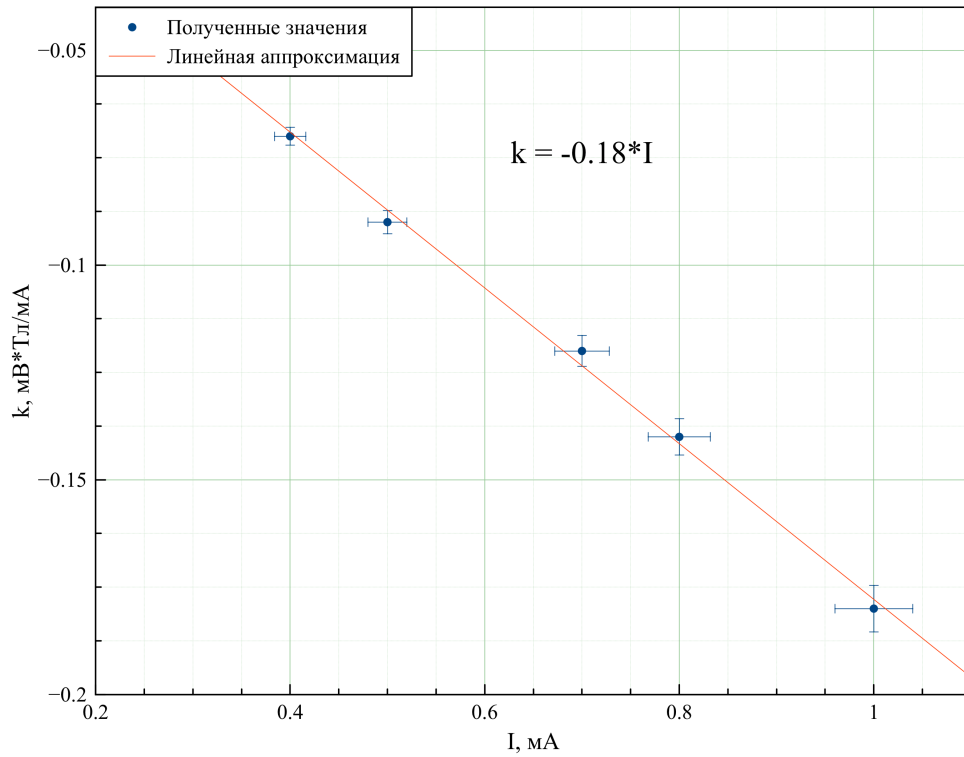


Рис. 6: Построим по полученным углам наклона график зависимости  $k = f(I)$

Тогда  $k_2 = -(181 \pm 3) \frac{\text{мкВ} \cdot \text{Тл}}{\text{мА}}$

Определим постоянную Холла:  $R_x = \frac{\mathcal{E}_x}{IB} \cdot a = -k_2 \cdot a = (398 \pm 12) \cdot 10^{-6}$

Определим концентрацию носителей заряда:  $n = \frac{1}{eR_x} = (1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{22} \text{ 1/м}^3$

Вычислим удельную проводимость материала:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} = (0.3 \pm 0.01) \cdot 10^3 \text{ 1/Ом} \cdot \text{м} \left[ \frac{\text{C}_\text{м}}{\text{м}} \right]$$

Рассчитаем подвижность электрона:  $b = \frac{\sigma}{en} = (1.24 \pm 0.05) \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

### 3 Вывод

Мы определили постоянную Холла для Германия. Полученная проводимость n-типа. Измерили подвижность и концентрацию заряда в полупроводниках.