

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.4

---

Эффект Холла в полупроводниках

---

*Студент:*

Павел СЕВЕРИЛОВ

671 группа



29 ноября 2017 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. Однако на самом деле, из-за свойств кристаллической решётки, дырка не локализована в определённом месте, как описано выше, а размазана по всему полупроводнику.

### Эффект Холла

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:

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

С этой возникшей разностью потенциалов и связан Эффект Холла. Далее, если выразить ток:

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

И совместить его с 1, получим ЭДС Холла:

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

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

## Установка и параметры измерения

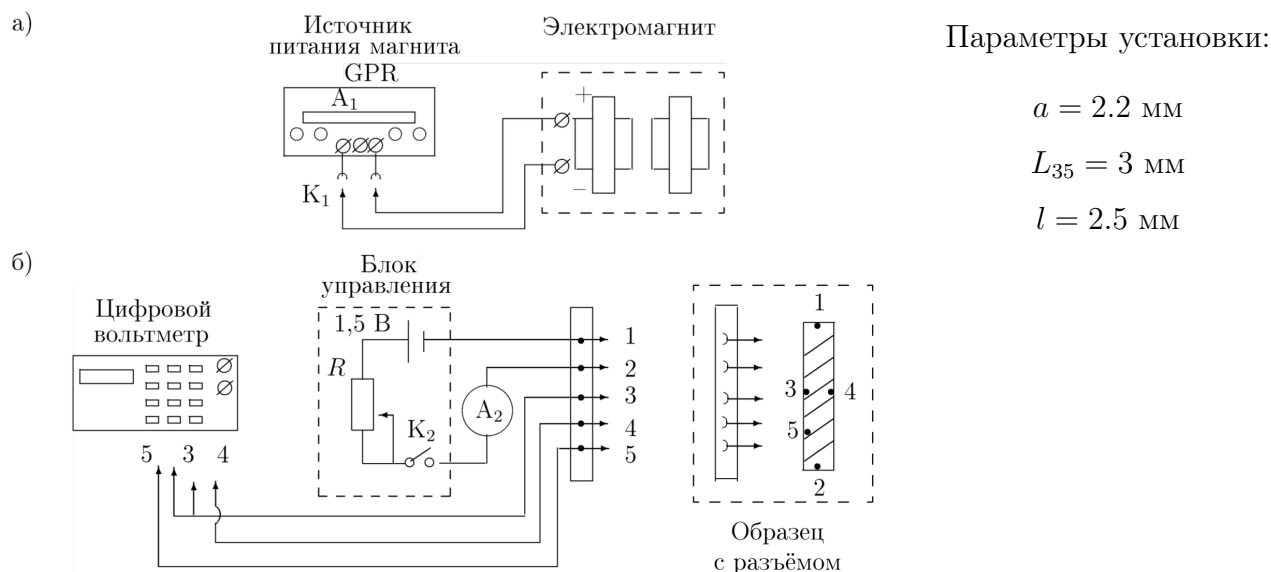


Рис. 1: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

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.

## 2 Работа и измерения

Параметры установки:  $a = 1,5 \text{ мм}$ ;  $L_{35} = 3,0 \text{ мм}$ ;  $l = 1,7 \text{ мм}$

### Калибровка установки

Прокалибруем электромагнит – определим связь между индукцией  $B$  магнитного поля в зазоре электромагнита и током  $I_m$  через обмотку магнита. (с учетом  $\Phi = BSN$ ,  $SN = 75 \text{ см}^2 \text{ вит}$ )

$\Phi$ , мВб	-1.2	-1.7	-2.2	-2.8	-3.3	-3.8	-4.4	-4.8	-5.2
$I_m$ , А	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$B$ , Тл	0,16	0,2267	0,2933	0,3733	0,44	0,5067	0,5867	0,64	0,693

Таблица 1: Данные для калибровки установки

Построим по полученным данным график.

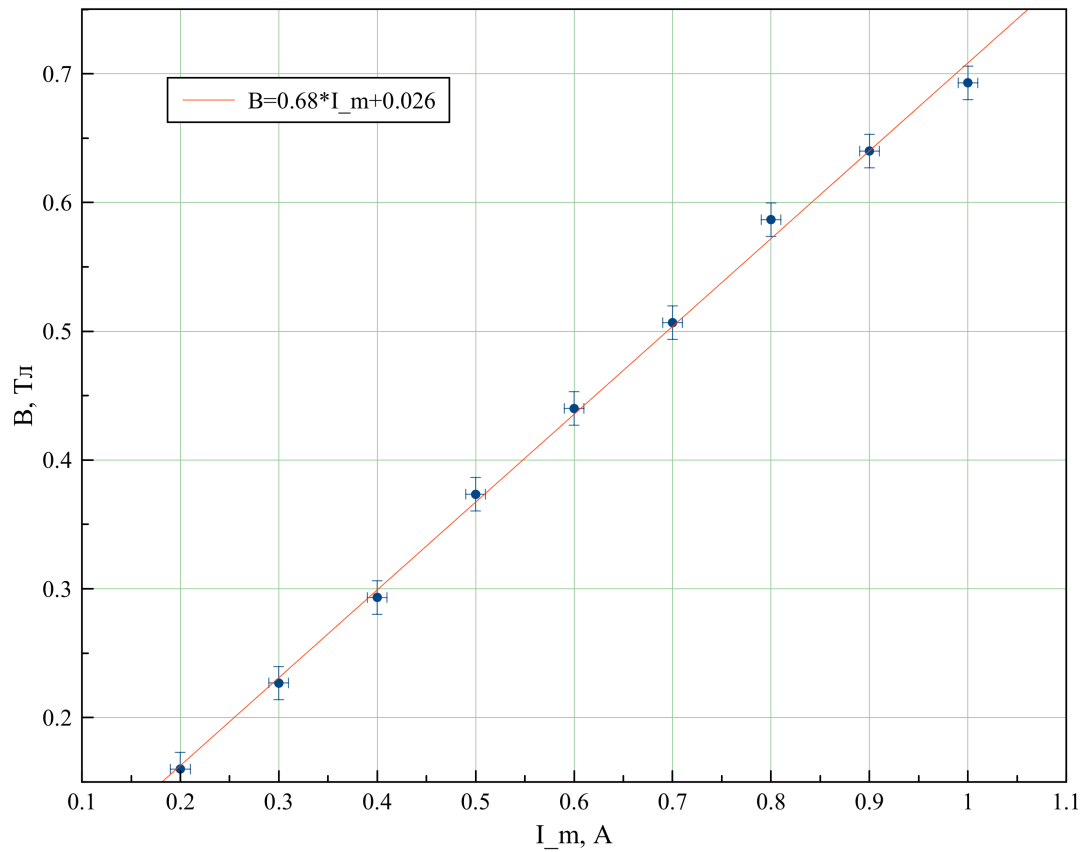


Рис. 2: Уравнение для калибровки установки

Проведем измерение ЭДС Холла при разных значениях тока через образец.

$U_0$ , мВ	$I_{34}$ , мА	$I_m$ , А	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1
-	-	$B$ , Тл	0,23	0,298	0,366	0,434	0,502	0,638	0,706
0,005	0,3	$U_{34}$ , мВ	0,04	0,052	0,065	0,075	0,085	0,105	0,114
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	0,045	0,057	0,07	0,08	0,09	0,11	0,119
0,006	0,4	$U_{34}$ , мВ	0,05	0,066	0,082	0,098	0,111	0,138	0,151
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	0,056	0,072	0,088	0,104	0,117	0,144	0,157
0,006	0,5	$U_{34}$ , мВ	0,062	0,082	0,1	0,12	0,138	0,171	0,187
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	0,068	0,088	0,106	0,126	0,144	0,177	0,193
0,003	0,7	$U_{34}$ , мВ	0,081	0,109	0,137	0,163	0,187	0,235	0,256
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	0,084	0,112	0,14	0,166	0,19	0,238	0,259
0,002	0,9	$U_{34}$ , мВ	0,103	0,137	0,171	0,204	0,238	0,299	0,324
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	0,105	0,139	0,173	0,206	0,24	0,301	0,326
-0,016	1	$U_{34}$ , мВ	-0,141	-0,173	-0,214	-0,25	-0,288	-0,354	-0,383
-	-	$\mathcal{E}_x$ , мВ	-0,157	-0,189	-0,23	-0,266	-0,304	-0,37	-0,399

Таблица 2: Зависимость ЭДС Холла от магнитного поля

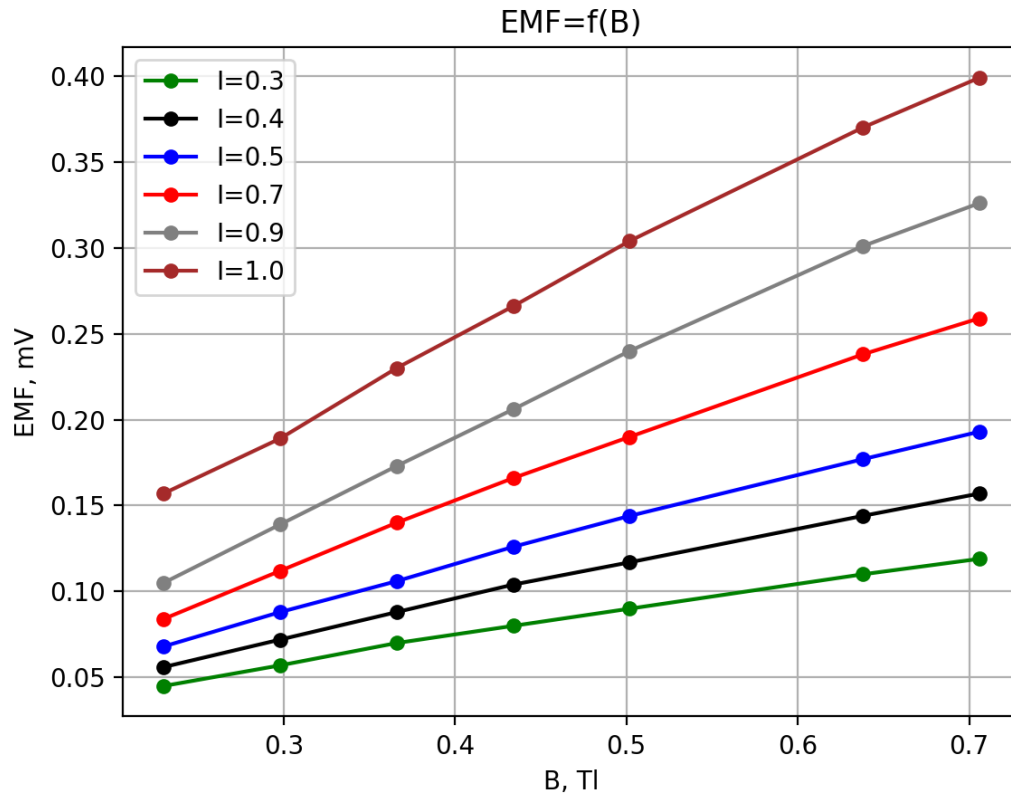


Рис. 3: Построим по полученным данным график зависимости  $\mathcal{E}_x = f(B)$  для разных  $I$

$I_{34}, \text{ мА}$	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1
$k, \text{ мВ/Тл}$	0,1544	0,2112	0,2623	0,3671	0,4682	0,5161

Таблица 3: Углы наклона графиков в зависимости от  $I_{34}$

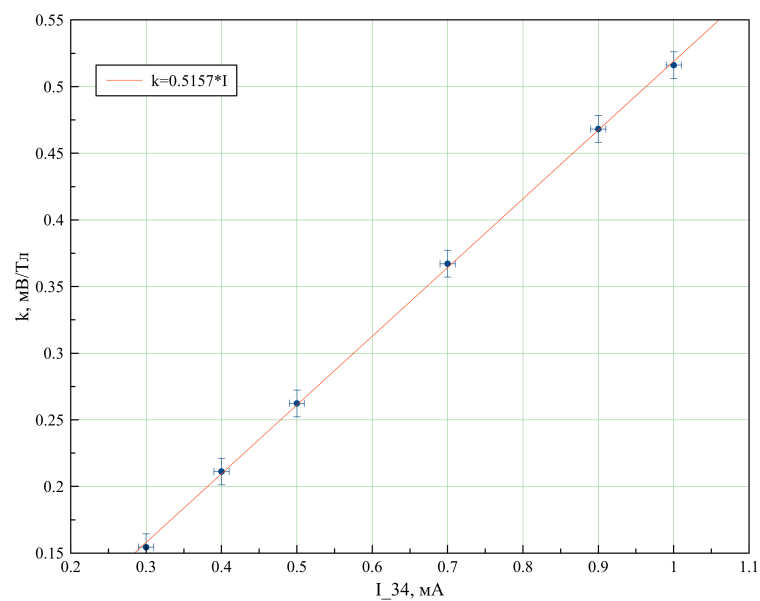


Рис. 4: Построим по полученным углам наклона график зависимости  $k = f(I)$

В итоге из графика получаем

$$k_x = \frac{\mathcal{E}_x}{IB} = (515,7 \pm 10,0) \frac{\text{мкВ}}{\text{мА} \cdot \text{Тл}}$$

Клеммы 3 и 5, при токе  $I = 1$  мА получаем:

$$U_{35} = 1.68 \text{ мВ}$$

Определим постоянную Холла:

$$R_x = \frac{\mathcal{E}_x}{IB} \cdot a = k_x \cdot a = (77,4 \pm 1,5) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

Определим концентрацию носителей заряда:

$$n = \frac{1}{eR_x} = (80,7 \pm 1,6) \cdot 10^{20} \text{ 1/м}^3$$

Вычислим удельную проводимость материала:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} = (700,3 \pm 8,4) \text{ 1/(\text{Ом} \cdot \text{м})}$$

Рассчитаем подвижность электронов:

$$b = \frac{\sigma}{en} = (5,4 \pm 0,1) \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

### 3 Вывод

Убедились в теории возникновения дополнительного ЭДС Холла. Мы определили постоянную Холла для Германия. Полученная проводимость n-типа (характер – электронный). Благодаря эффекту Холла смогли получить важнейшие параметры, определяющие состояние электронов в полупроводнике – получили подвижность и концентрацию заряда в полупроводнике.