

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках.

Автор:

Глеб Уваркин

615 группа

Преподаватель:

Андрей Александрович

Заболотных



16 декабря 2017 г.

Цель работы:

Измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

В работе используются:

Электромагнит с источником питания GPR, батарейка 1,5 В, амперметр, реостат, цифровой вольтметр В7-78/1, милливеберметр, образцы легированного германия.

1 Теоретическая часть

1.1 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.

1.2 Эффект Холла

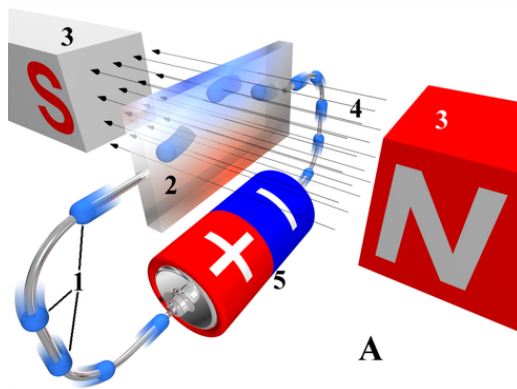


Рис. 1: Пример действия эффекта Холла на свободные заряды

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

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

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 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*.

2 Установка и параметры измерения

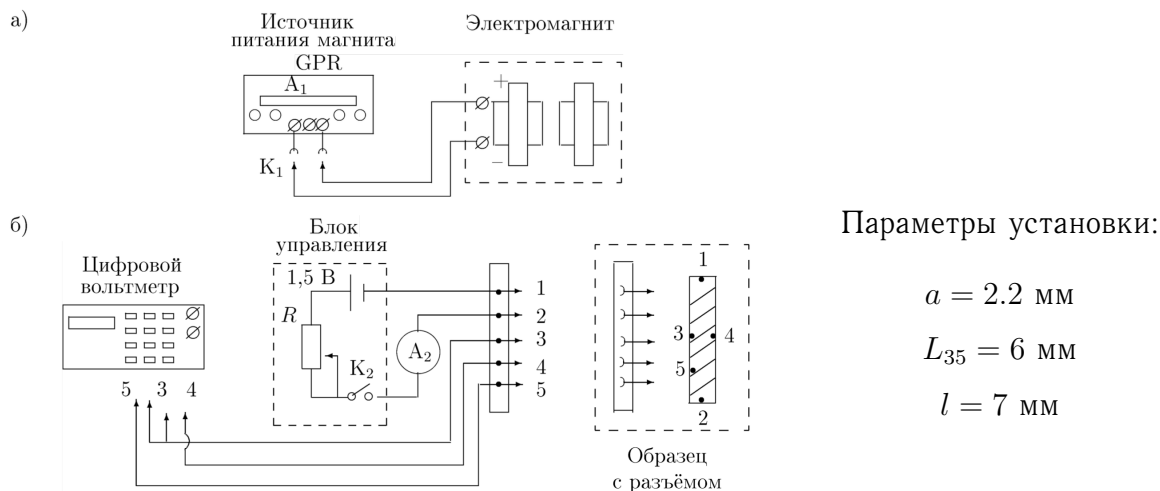


Рис. 2: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

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

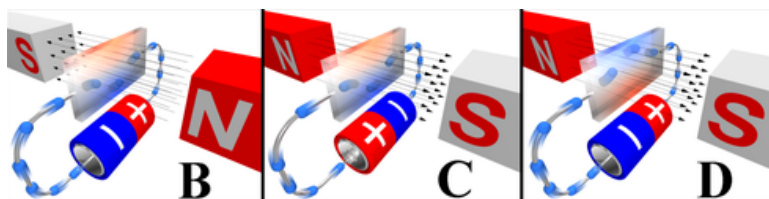


Рис. 3: Эффект Холла при различных направлениях магнитного поля и тока через образец

3 Обработка результатов.

3.1 Градуировка электромагнита.

С помощью милливеберметра исследуем зависимость индукции B магнитного поля в зазоре электромагнита от тока через обмотки магнита. Запишем результат в таблицу (1).

Таблица 1: Зависимость $B = f(I_M)$.

$I_M, \text{ A}$	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
$B, \text{ мТл}$	0.28	2.22	4.58	6.67	8.61	9.86	10.83	11.53

Построим график этой зависимости:

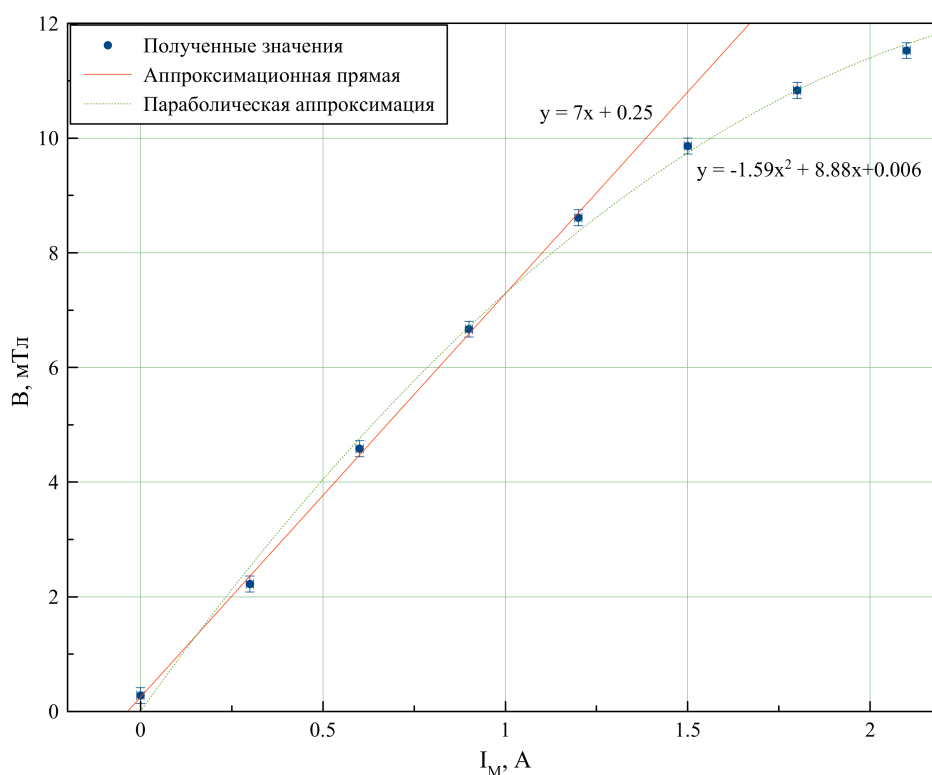


Рис. 4: График зависимости $B = f(I_M)$.

3.2 Измерение ЭДС Холла.

Снимем зависимость ЭДС Холла от величины магнитной индукции B при разных значениях тока I через образец. Построим на одном листе семейство характеристик $\mathcal{E}_x = f(B)$.

Таблица 2: Зависимость ЭДС Холла от магнитного поля

I , мА	U_0 , мВ	I_M , А B , мТл	0 27.8	0.3 222.2	0.6 458.3	0.9 666.7	1.2 861.1	1.5 986.1	1.8 1083.3	2.1 1152.8
0.3	0.066	U , мВ	0.066	0.095	-0.122	0.145	0.164	0.178	0.185	0.192
		\mathcal{E}_x , мВ	0	0.029	0.056	0.079	0.098	0.112	0.119	0.126
0.4	0.087	U , мВ	0.090	0.126	0.162	0.194	0.218	0.236	0.247	0.255
		\mathcal{E}_x , мВ	0.003	0.039	0.075	0.107	0.131	0.149	0.160	0.168
0.5	0.108	U , мВ	0.113	0.159	0.202	0.243	0.274	0.295	0.308	0.318
		\mathcal{E}_x , мВ	0.005	0.051	0.094	0.135	0.166	0.187	0.200	0.210
0.6	0.130	U , мВ	0.135	0.188	0.245	0.289	0.328	0.355	0.371	-
		\mathcal{E}_x , мВ	0.005	0.058	0.115	0.159	0.198	0.225	0.241	-
0.7	0.153	U , мВ	0.159	0.221	0.285	0.340	0.385	0.415	0.434	-
		\mathcal{E}_x , мВ	0.006	0.068	0.132	0.187	0.232	0.262	0.281	-
0.8	0.174	U , мВ	0.180	0.253	0.325	0.395	0.443	0.473	0.494	-
		\mathcal{E}_x , мВ	0.006	0.079	0.151	0.221	0.269	0.299	0.320	-
0.9	0.196	U , мВ	0.204	0.288	0.365	0.435	0.494	0.532	0.556	-
		\mathcal{E}_x , мВ	0.008	0.092	0.189	0.239	0.298	0.336	0.360	-
1.0	0.218	U , мВ	0.227	0.318	0.408	0.485	0.549	0.592	0.619	-
		\mathcal{E}_x , мВ	0.009	0.100	0.190	0.267	0.331	0.374	0.401	-
1.0	0.220	U , мВ	0.212	0.119	0.039	-0.033	-0.088	-0.127	-0.150	-
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.008	-0.101	-0.181	-0.253	-0.308	-0.347	-0.370	-

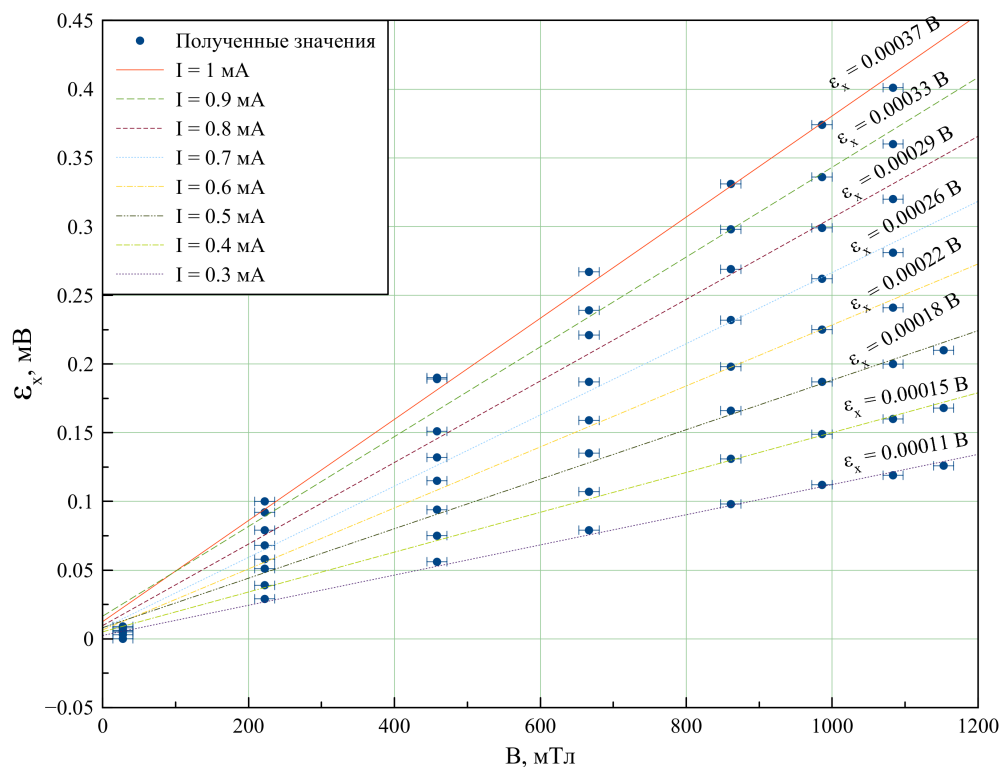


Рис. 5: График зависимости $\mathcal{E}_x = f(B)$ при разных значениях тока I через образец.

С помощью метода МНК определим угловые коэффициенты $K(I) = \Delta\mathcal{E}/\Delta V$ полученных прямых. Построим график $K = f(I)$.

Таблица 3: Зависимость углового коэффициента от силы тока.

I , мА	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
K , мВ/Тл	0.11	0.15	0.18	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37
σ_K , мВ/Тл	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.009	0.012	0.009
σ_I , мА	0.01							

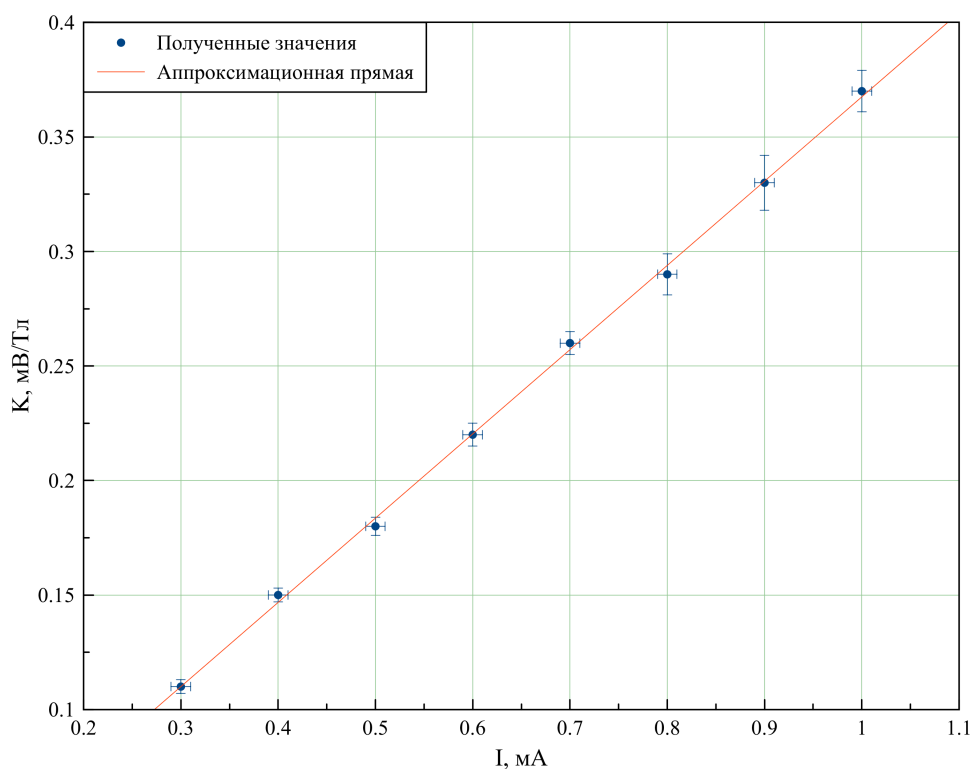


Рис. 6: График $K = f(I)$.

Рассчитаем угловой коэффициент прямой с помощью МНК:

$$k = \frac{\langle K \cdot I \rangle - \langle K \rangle \langle I \rangle}{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2} \simeq 0.368 \frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{8}} \sqrt{\frac{\langle K^2 \rangle - \langle K \rangle^2}{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2} - k^2} \simeq 0.004 \frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$$

Из формулы (2) посчитаем постоянную Холла:

$$R_x = -\frac{\mathcal{E}_x}{IB} \cdot a = -k \cdot a = -(8.1 \pm 0.1) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}.$$

Рассчитаем концентрацию n носителей тока в образце:

$$n = \frac{1}{R_x e} \simeq (7.7 \pm 0.1) \cdot 10^{21} \text{ 1/м}^3$$

Рассчитаем удельную проводимость σ германия с помощью $U_{35} = 2.56$ мВ:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} \simeq 152 \pm 3 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$$

Вычислим подвижность b носителей тока:

$$b = \frac{\sigma}{en} \simeq (1232 \pm 27) \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}} \text{ ()}$$

Запишем результаты расчётов в таблицу:

Таблица 4: Итоговые значения.

$R_x \pm \Delta R_x,$ $10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$	Знак носителя	$n \pm \Delta n,$ $10^{21} \text{ (м}^3\text{)}^{-1}$	$\sigma \pm \Delta\sigma,$ $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$	$b \pm \Delta b,$ $10^4 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$
-8.1 ± 0.1	-	7.7 ± 0.1	152 ± 3	1232 ± 27

4 Вывод.

В данной лабораторной работе был изучен эффект Холла, определены подвижность и концентрация носителей тока, а также их знак в легированном германии.