

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Автор:

Алексей ДОМРАЧЕВ

615 группа

Преподаватель:

Николай Владимирович

Дьячков



18 сентября 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. 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.

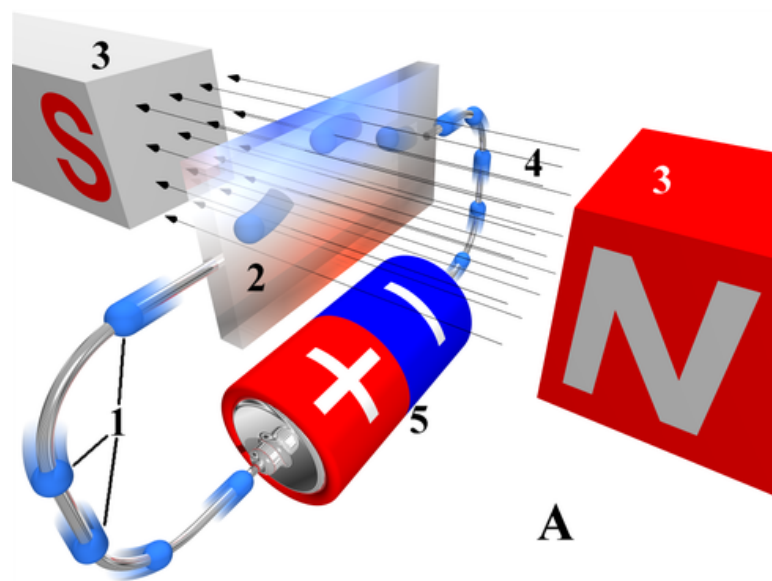


Рис. 1: Пример действия эффекта Холла на свободные заряды

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

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:

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

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

Установка и параметры измерения

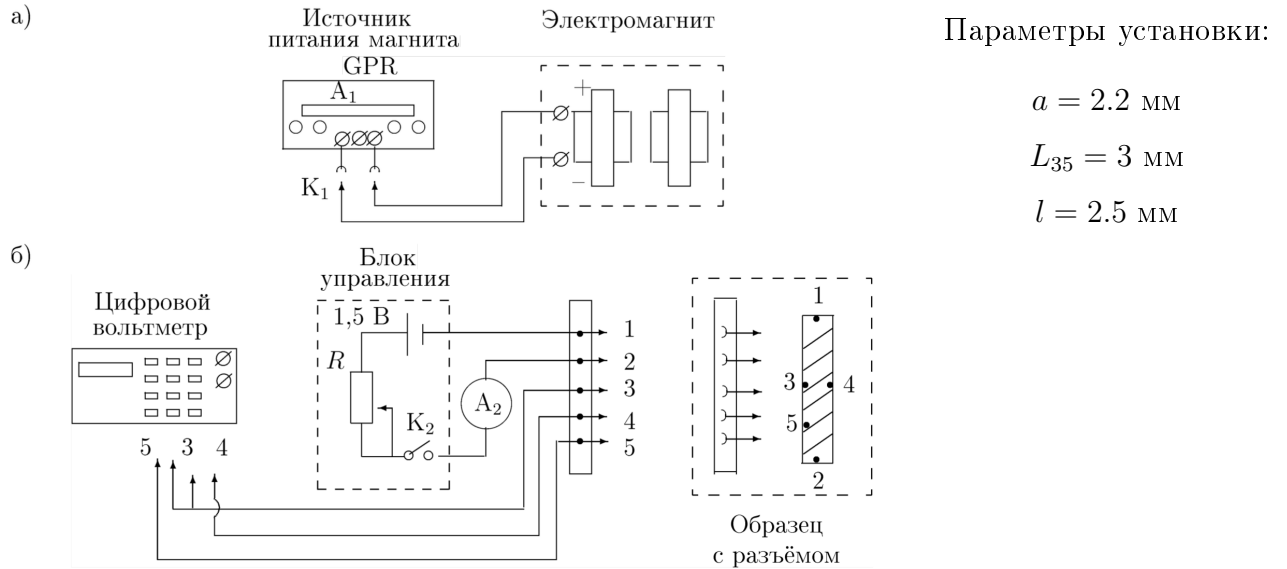


Рис. 2: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

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.

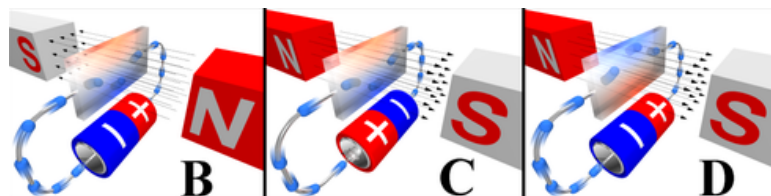


Рис. 3: Эффект Холла при различных направлениях магнитного поля и тока через образец

2 Работа и измерения

Калибровка установки 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	0.20	0.33	0.44	0.57	0.69	0.87	1.00	1.15
Φ , мВб	2.3	2.9	3.4	4.0	4.5	5.2	5.7	6.2
B , Тл	0.31	0.39	0.45	0.53	0.60	0.69	0.76	0.83

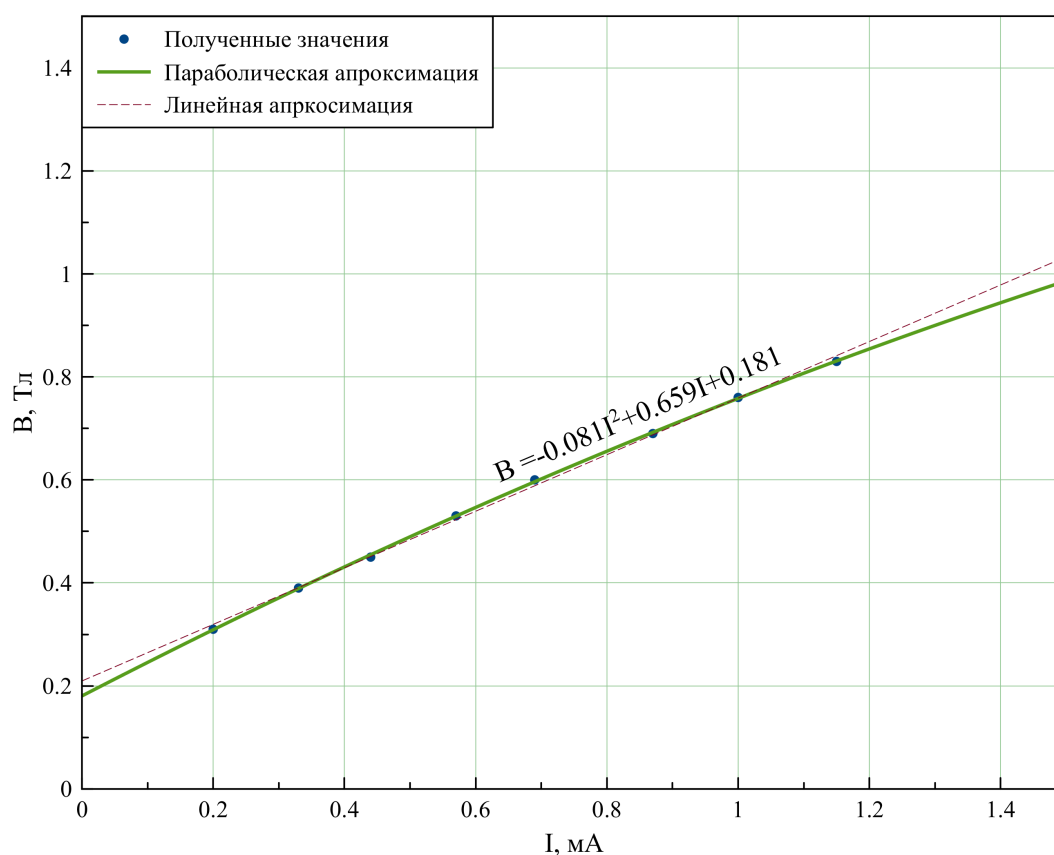


Рис. 4: Калибровка установки

Как можно видеть по графику, параболическая аппроксимация лучше описывает полученную зависимость чем линейная. Из этого можно сделать вывод о том, что индукция

зависит от тока параболически . С помощью рабочей среды Anaconda вычислим зависимость, $B = -0,081 \cdot I^2 + 0,659 \cdot I + 0,181$

Таблица 2: Зависимость ЭДС Холла от магнитного поля

I , мА	U_0 , мВ	I_M , мА B , Тл	0.2 0.309	0.4 0.431	0.6 0.547	0.9 0.708	1.2 0.854	1.5 0.986	1.8 1.104	2.1 1.207
0.3	0.010	U , мВ	0,001	-0.006	-0.014	-0.021	-0.029	-0.036	-0.044	-0.049
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.009	-0.016	-0.024	-0.031	-0.039	-0.046	-0.054	-0.059
0.4	0.012	U , мВ	0.002	-0.007	-0.019	-0.034	-0.047	-0.057	-0.062	-0.067
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.010	-0.019	-0.031	-0.046	-0.059	-0.069	-0.074	-0.079
0.5	0.016	U , мВ	0.003	-0.010	-0.022	-0.041	-0.058	-0.070	-0.079	-0.083
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.013	-0.026	-0.038	-0.057	-0.074	-0.086	-0.095	-0.099
0.6	0.019	U , мВ	0.004	-0.013	-0.027	-0.050	-0.069	-0.083	-0.093	-0.098
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.015	-0.032	-0.046	-0.069	-0.088	-0.102	-0.112	-0.117
0.7	0.023	U , мВ	0.006	-0.012	-0.031	-0.057	-0.081	-0.097	-0.109	-0.114
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.017	-0.035	-0.054	-0.080	-0.104	-0.120	-0.132	-0.137
0.8	0.027	U , мВ	0.005	-0.015	-0.035	-0.065	-0.091	-0.110	-0.123	-0.130
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.022	-0.042	-0.062	-0.092	-0.118	-0.137	-0.150	-0.157
0.9	0.029	U , мВ	0.007	-0.016	-0.039	-0.073	-0.103	-0.124	-0.140	-0.147
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.022	-0.045	-0.068	-0.102	-0.132	-0.153	-0.169	-0.176
1.0	0.033	U , мВ	0.009	-0.017	-0.044	-0.081	-0.114	-0.138	-0.154	-0.162
		\mathcal{E}_x , мВ	-0.024	-0.050	-0.077	-0.114	-0.147	-0.171	-0.187	-0.195
1.0	0.040	U , мВ	0.065	0.092	0.118	0.155	0.189	0.213	0.229	0.237
		\mathcal{E}_x , мВ	0.025	0.052	0.078	0.115	0.149	0.173	0.189	0.197

Опять же заметим, что гиперболическая аппроксимация сильнее удовлетворяет полученным значениям, но из расчетов данных из таблицы 1 видно, что вклад квадратичной составляющей невелик, поэтому будем анализировать полученные данные с помощью МНК. Отообразим их в таблице 3.

Таблица 3: Зависимость углового коэффициента от силы тока

I , мА	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k , мВ · Тл/мА	-0.055	-0.080	-0.100	-0.118	-0.140	-0.157	-0.179	-0.199
σ_k мВ · Тл/мА	0.001	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008
σ_I , мА	0,01							

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

$$K = -(0.202 \pm 0.002) \frac{\text{мкВ} \cdot \text{Тл}}{\text{мА}}$$

Из формулы (2) посчитаем постоянную Холла:

$$R_x = \frac{\mathcal{E}_x}{IB} \cdot a = -K \cdot a = (444 \pm 4) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

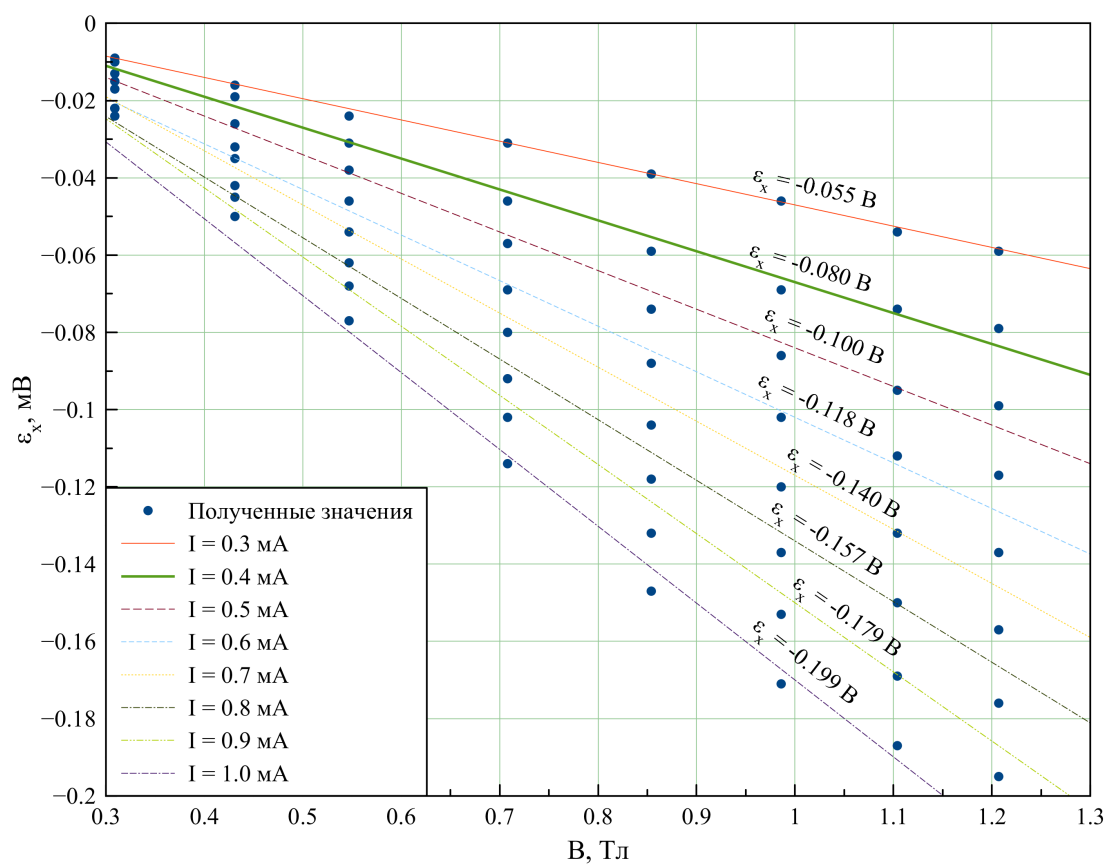


Рис. 5: график зависимости $\mathcal{E}_x = f(B)$ для разных I

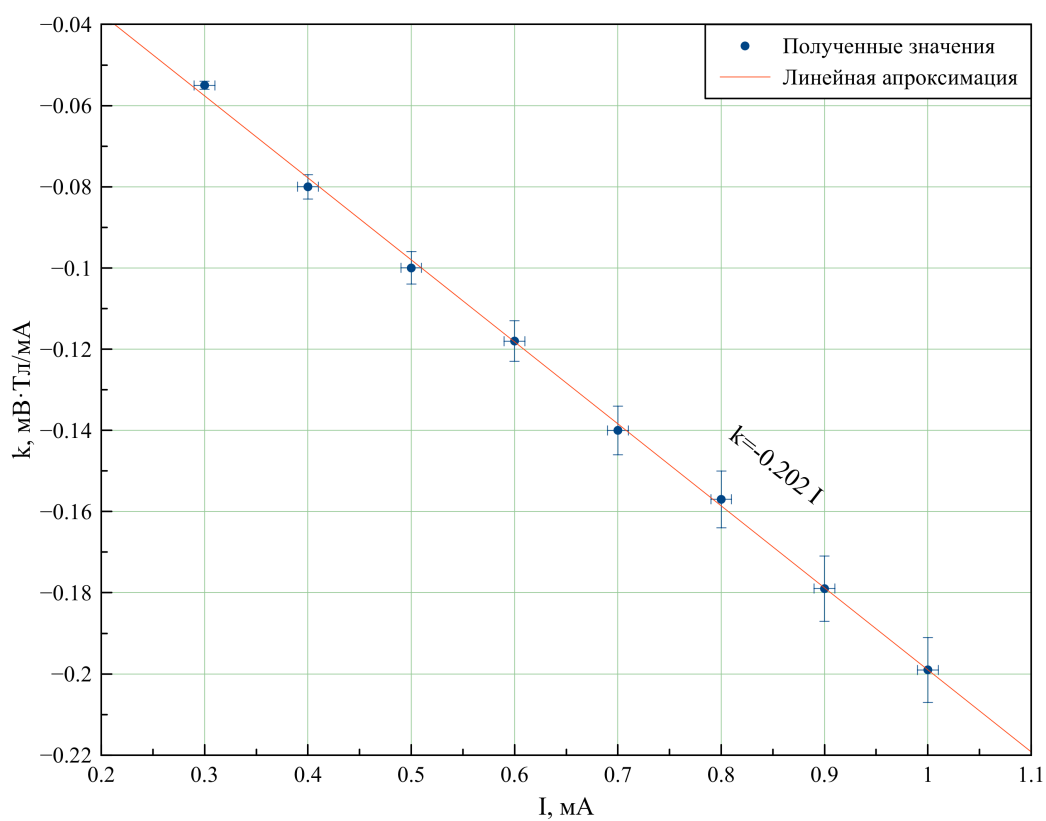


Рис. 6: График зависимости углового коэффициента от силы тока

Определим концентрацию носителей заряда: $n = \frac{1}{eR_x} = (1.4 \pm 0.2) \cdot 10^{22} \text{ 1/м}^3$
 Вычислим удельную проводимость материала с помощью $U_{35} = 1.735 \text{ мВ}$:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} = 314 \pm 3 (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$$

Рассчитаем подвижность электрона:

$$b = \frac{\sigma}{en} = 1.4 \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}, \quad \Delta b = b \cdot \sqrt{\varepsilon_\sigma^2 + \varepsilon_n^2} = 0.2 \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

3 Вывод

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