

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



4 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

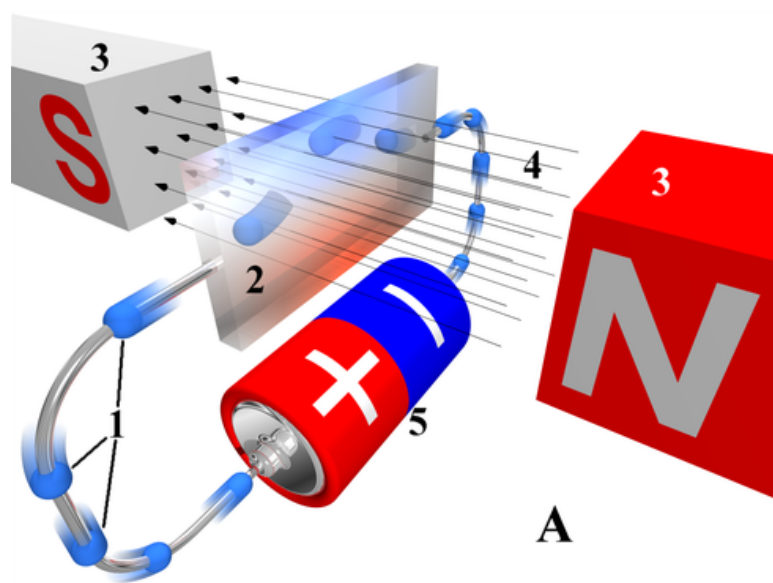


Рис. 1: Пример действия эффекта Холла на свободные заряды

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

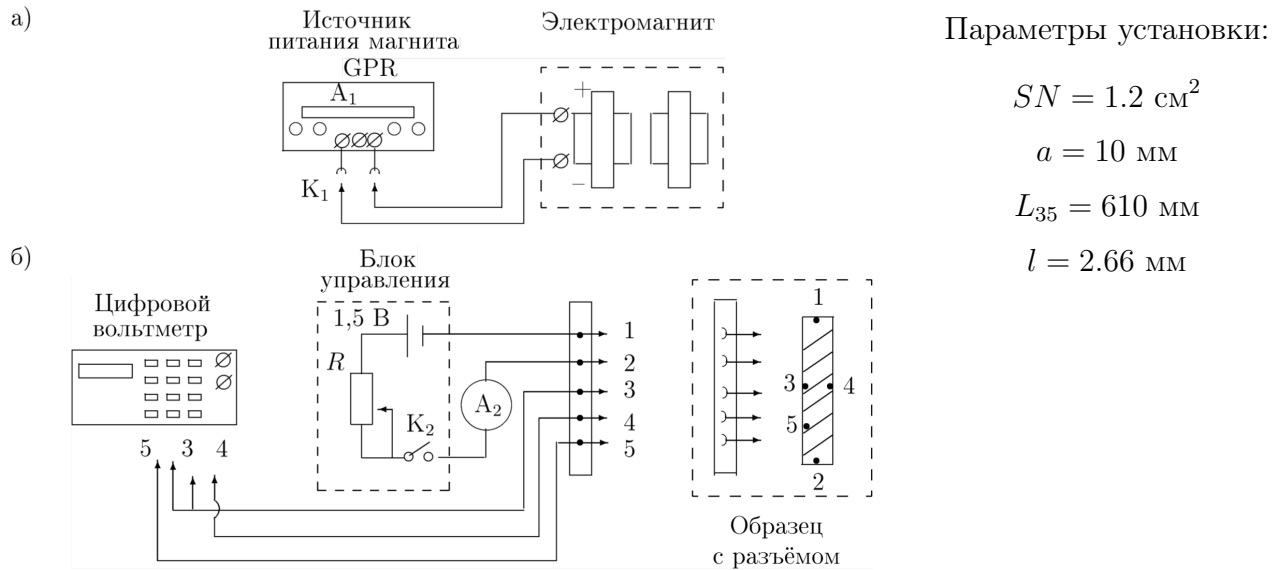


Рис. 2: Схема установки для измерения эффекта Холла в полупроводниках

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.

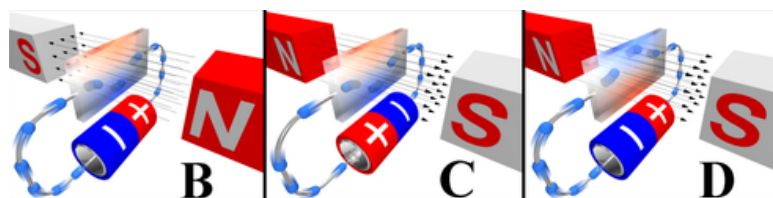


Рис. 3: Эффект Холла при различных направлениях магнитного поля и тока через образец

2 Работа и измерения

Калибровка установки

I , мА	0	0.03	0.12	0.19	0.26	0.34	0.49	0.66	0.81
Φ , мВб	4.8	5	5.5	6	6.5	7	8	9	10
B , Тл	0.64	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.07	1.20	1.33

Таблица 1: Данные для калибровки установки

$$\sigma_I = x \text{ А } \sigma_\Phi = \text{ мВб } \sigma_B = \text{ Тл}$$

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

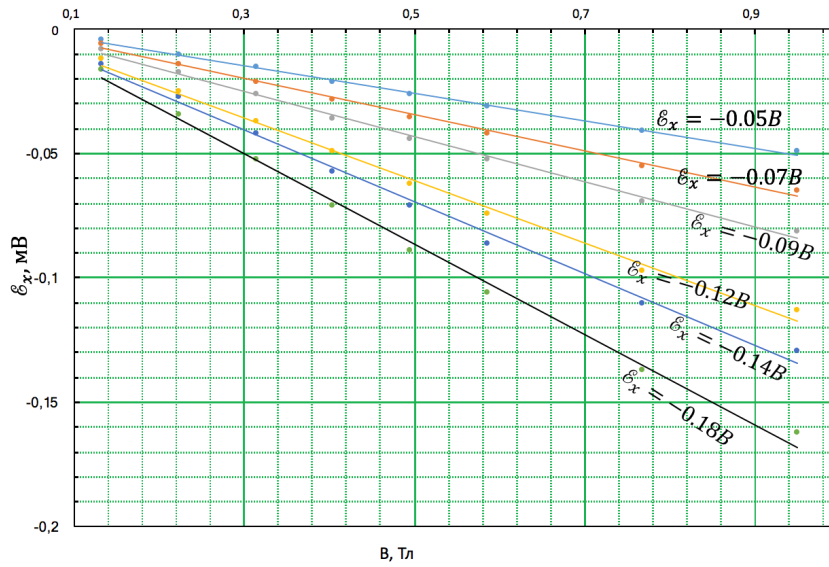


Рис. 4: Построим по полученным данным график зависимости $\mathcal{E}_x = f(B)$ для разных I

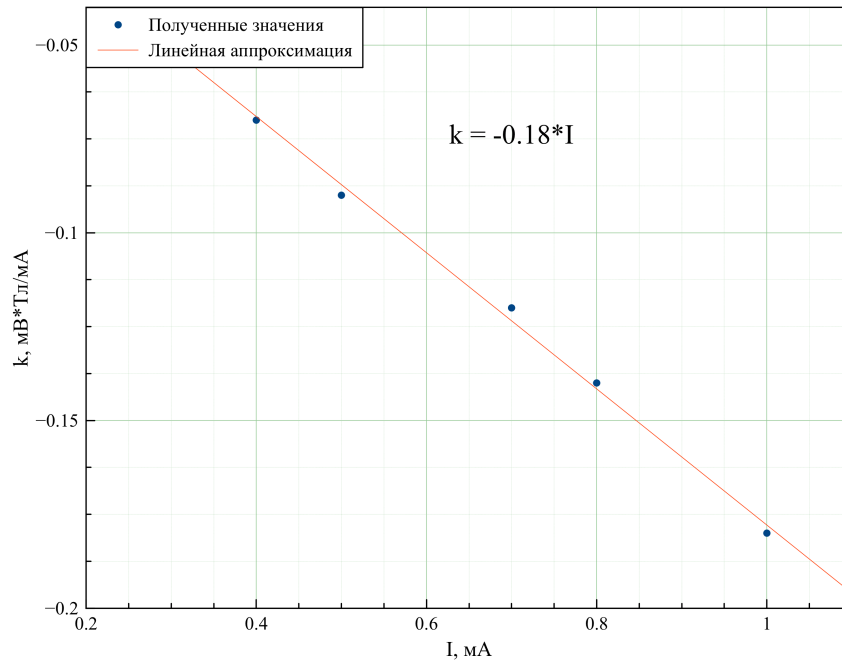


Рис. 5: Построим по полученным углам наклона график зависимости $k = f(I)$

Тогда $k_2 = (-0.18 \pm 0.03) \frac{\text{мВ} \cdot \text{Тл}}{\text{мА}}$

Определим постоянную Холла: $R_x = \frac{\mathcal{E}_x}{IB} \cdot a = k_2 \cdot a = (123 \pm 12)$

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

3 Вывод

В данной лабораторной работе мы измерили значение динамической постоянной гальванометра, критического сопротивления тремя способами и баллистической постоянной.

В измерениях динамической постоянной значения $R_{кр}$ совпадают с учетом погрешности. Наибольшая погрешность в третьем эксперименте, так как большой вклад в погрешность дает скорость реакции человека (отклонения зайчика происходят быстро, необходимо успевать замыкать ключ и считывать значения).