

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лабораторная работа 3.3.4
Эффект Холла в полупроводниках.

Устюжанина Мария
Группа Б01-107

Цель работы: измерение подвижности и конуентрации носителей заряда в проводниках.

В работе используются: электромагнит с регулируемым источником питания; вольтметр; амперметр; миллиамперметр; милливебберметр; источник питания (1.5 В); Образец легированного германия.

1 Теоретическая справка

Суть эффекта Холла состоит в следующем. Пусть через однородную пластину металла вдоль оси x течет ток I (рис. 1).

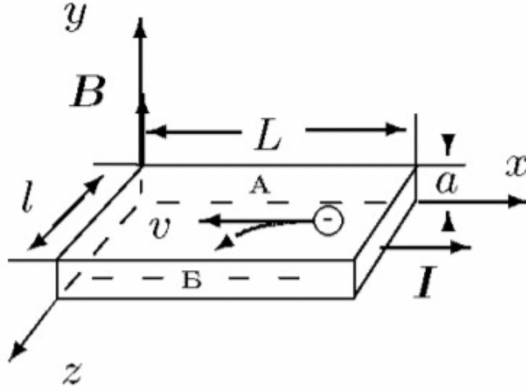


Рис. 1: Образец с током в магнитном поле. \vec{E} - напряженность электрического поля, \vec{B} - индукция магнитного поля.

В проекции на ось z получаем

$$F_B = e|\langle v_x \rangle|B.$$

Под действием этой силы электроны отклоняются к грани Б, заряжая ее отрицательно. На грани А накапливаются нескомпенсированные положительные заряды. Это приводит к возникновению электрического поля E_z , направленного от А к Б, которое действует на электроны с силой $F_E = eE_z$. В установившемся режиме $F_E = F_B$, поэтому накопление электрических зарядов на боковых гранях пластины прекращается. Отсюда

$$E_z = |\langle v_x \rangle|B.$$

С этим полем связана разность потенциалов

$$U_{AB} = E_z l = |\langle v_x \rangle|Bl.$$

В этом и состоит эффект Холла.

Замечая, что сила тока

$$I = ne|\langle v_x \rangle|la,$$

найдем ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_X = U_{AB} = \frac{IB}{nea} = R_X \frac{IB}{a} \quad (1)$$

Константа $R_X = \frac{1}{ne}$ называется постоянной Холла.

В полупроводниках, когда вклад в проводимость обусловлен и электронами и дырками, выражение для постоянной Холла имеет более сложный вид:

$$R_X = \frac{nb_e^2 - pb_p^2}{e(nb_e + pb_p)^2},$$

где n и p - концентрации электронов и дырок, b_e b_p - их подвижности.

2 Экспериментальная установка

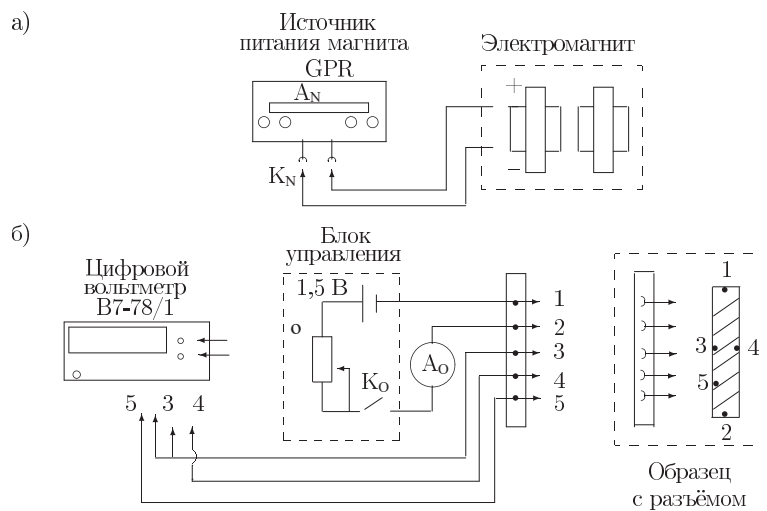


Рис. 2: Электрическая установка для измерения ЭДС Холла.

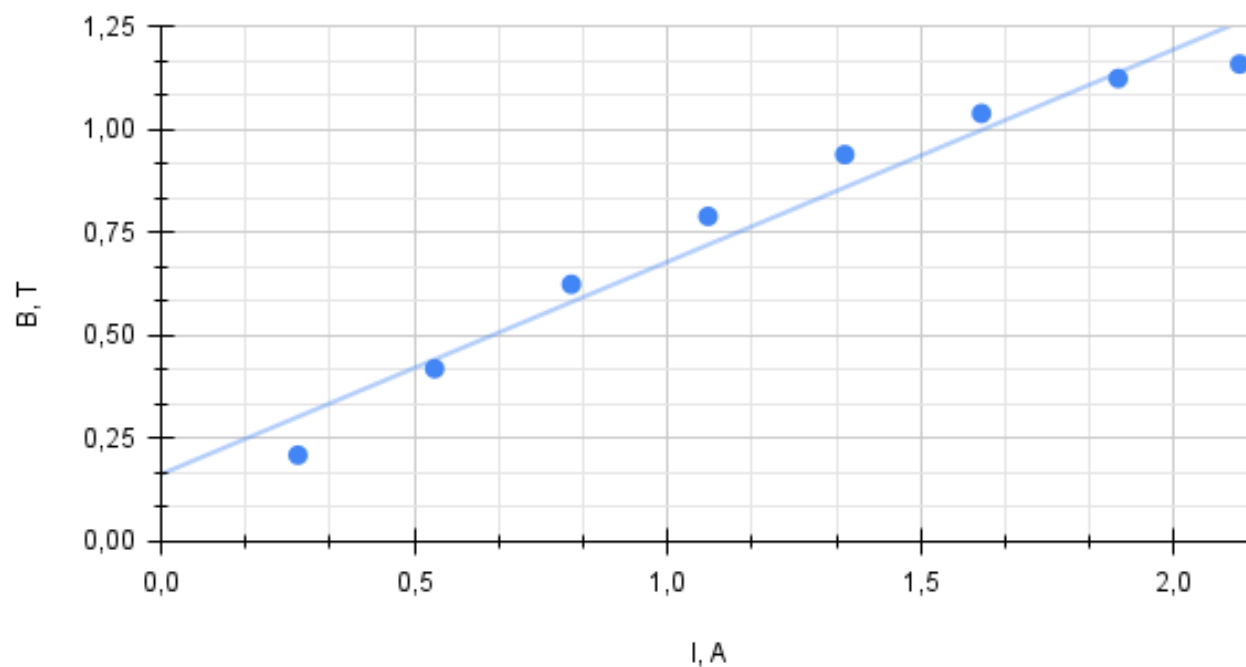
3 Ход работы:

Настроим приборы

1) Построим калибровочную кривую электромагнита (параметр милливебберметра $S \cdot N = 72 \text{ см}^2$):

I, A	B, Тл
0.27	0.21
0.54	0.42
0.81	0.625
1.08	0.79
1.35	0.94
1.62	1.04
1.89	1.125
2.13	1.16

Зависимость $B(I)$.



2) Вычислим зависимость:

$$B = ((0.52 \pm 0.04) \text{ Тл/А}) \cdot I + (0.16 \pm 0.02) \text{ Тл}$$

Вставим образец в зазор выключенного электромагнита и определим начато отсчета напряжения ($U_0 = -0.017 \text{ В}$) между Холловскими контактами при минимальном токе через образец ($I = 0.3 \text{ мА}$).

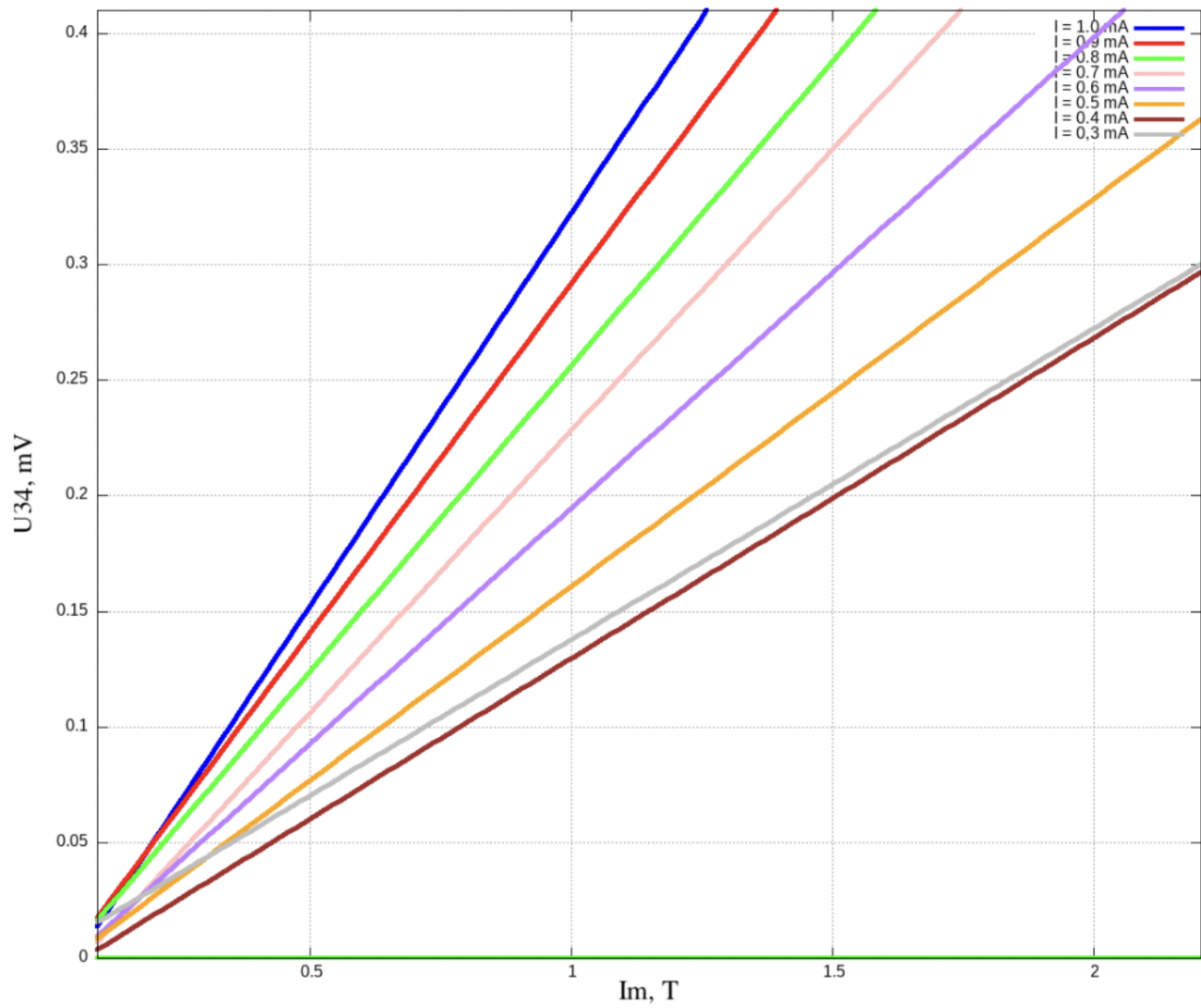
Измерения ЭДС Холла

Получим зависимость холловского напряжения U_{34} от тока через электромагнит I_M для разных токов I через образец:

I, мА	U0, мВ	Im, А	U34, мВ
0.3	-0.017	0.27	-0.04
		0.54	-0.065
		0.81	-0.089
		1.08	-0.111
		1.35	-0.130
		1.62	-0.140
		1.89	-0.150
		2.11	-0.155
0.4	-0.017	0.27	0.013
		0.54	0.044
		0.81	0.074
		1.08	0.102
		1.35	0.123
		1.62	0.138
		1.89	0.148
		2.08	0.153
0.5	-0.025	0.27	0.013
		0.54	0.052
		0.81	0.094
		1.08	0.127
		1.35	0.152
		1.62	0.170
		1.89	0.183
		2.07	0.190
0.6	-0.03	0.27	0.016
		0.54	0.064
		0.81	0.110
		1.08	0.151
		1.35	0.184
		1.62	0.205
		1.89	0.220
		2.06	0.228

I, мА	U0, мВ	Im, А	U34, мВ
0.7	-0.037	0.27	0.017
		0.54	0.074
		0.81	0.128
		1.08	0.175
		1.35	0.214
		1.62	0.240
		1.89	0.257
		2.04	0.265
0.8	-0.042	0.27	0.019
		0.54	0.086
		0.81	0.145
		1.08	0.203
		1.35	0.240
		1.62	0.270
		1.89	0.292
		2.04	0.3
0.9	-0.05	0.27	0.022
		0.54	0.096
		0.81	0.165
		1.08	0.222
		1.35	0.275
		1.62	0.306
		1.89	0.328
		2.03	0.339
1	-0.055	0.27	0.027
		0.54	0.103
		0.81	0.180
		1.08	0.250
		1.35	0.302
		1.62	0.340
		1.89	0.365
		2.03	0.375

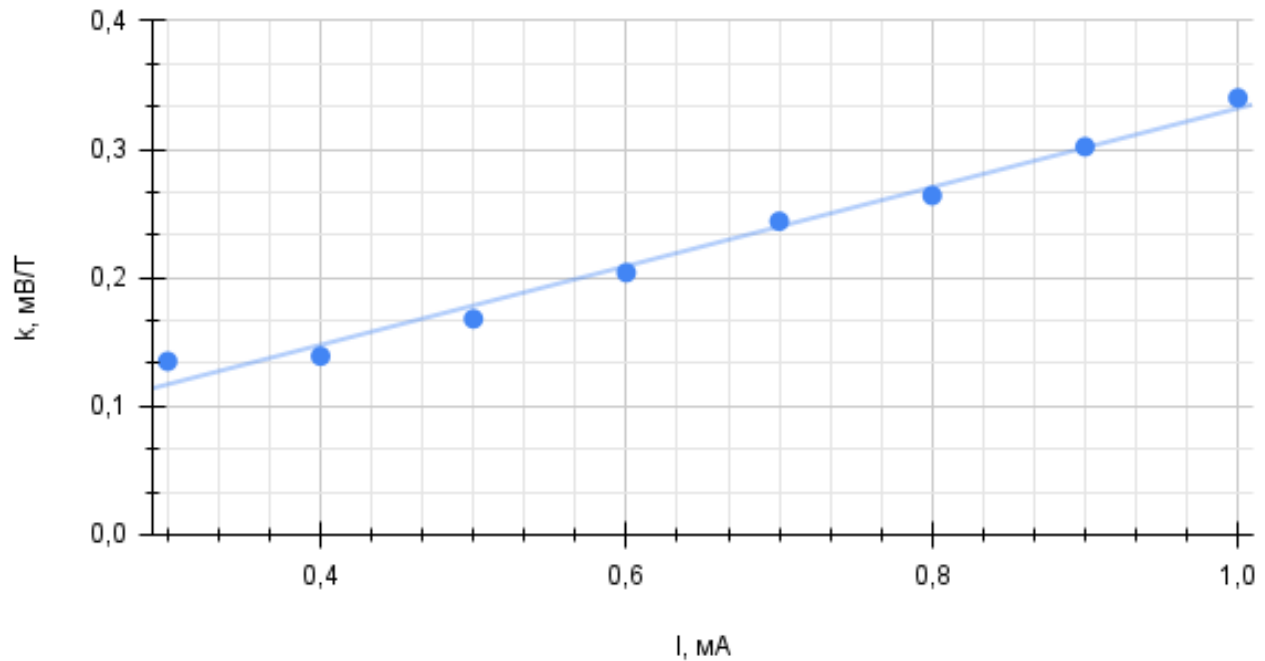
Построим графики $U(B)$ на одном чертеже:



По МНК получим линейную зависимость $U = k \cdot B + b$. Полученные коэффициенты:

I, mA	$k, \text{мВ/Тл}$
0.3	0.135 ± 0.006
0.4	0.139 ± 0.007
0.5	0.168 ± 0.008
0.6	0.204 ± 0.01
0.7	0.244 ± 0.01
0.8	0.264 ± 0.007
0.9	0.302 ± 0.011
1.0	0.340 ± 0.015

Получим зависимость $k(B)$:

Зависимость k (I)

Аппроксимируем: $k = (0.31 \pm 0.014) \frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \text{А}} \cdot I + (0.025 \pm 0.003) \text{мВ/Тл}$, где
По формуле:

$$a = \frac{U_{34}}{B \cdot I} = \frac{R_H}{h}$$

Вычислим постоянную Холла (Учитывая $h = 1.5 \text{ mm}$):

$$R_H = a \cdot h = (0.47 \pm 0.02) 10^{-3} \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$$

А по формуле:

$$R_H = \frac{1}{n \cdot e}$$

Получим значение концентрации n свободных носителей заряда в образце:

$$n = (1.33 \pm 0.31) 10^{-22} \text{ м}^{-3}$$

Найдем удельную проводимость образца. По формуле:

$$\sigma = \frac{I \cdot L_{35}}{U_{35} a l}$$

Взяв значения ($I = 1.0 \text{ mA}$, $U_{35} = 1.681 \text{ мВ}$), учтем параметры образца ($L_{35} = 3.0 \text{ mm}$, $h = 1.5 \text{ mm}$, $l = 1.7 \text{ mm}$), получим:

$$\sigma = (699.8 \pm 81) (\Omega \cdot \text{м})^{-1}$$

Найдем подвижность носителей заряда по формуле:

$$b = \frac{\sigma}{en} = \sigma \cdot R_H = (3285 \pm 395) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

4 Выводы

В работы мы исследовали эффект Холла в легированном германии (полупроводник). Были экспериментально получены постоянная Холла для исследуемого образца $R_H = (0.47 \pm 0.02) 10^{-3} \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$ и концентрация свободных носителей заряда $n = n = (1.33 \pm 0.31) 10^{-22} \text{м}^{-3}$. Мы измерили удельная проводимость образца:

$$\sigma = (699.8 \pm 81) (\Omega \cdot \text{м})^{-1}.$$

По направлению тока в образце и направлению силовых линий электромагнита можно заключить, что образец обладает электронной проводимостью. В работе рассчитали подвижность носителей заряда в образце: $b = (3285 \pm 395) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$. Полученный результат отличается от табличного значения $b_0 = 3900 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$, но не очень сильно. Возможно, это из-за неточности измерения приборов из-за нагрева и наличия примесей в образце.