

Лабораторная работа 3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Работу выполнили:

Морозов Матвей

Бабушкина Татьяна

678 группа

Цель работы: измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

В работе используются: электромагнит с источником питания, амперметр, миллиамперметр, милливеберметр, реостат, цифровой вольтметр, источник питания, образцы легированного германия.

Экспериментальная установка

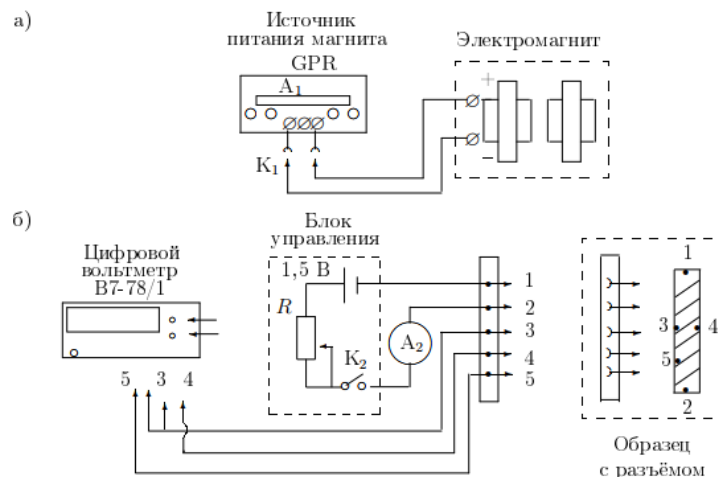


Рис. 1. Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

Обработка результатов

1) Рассчитаем индукцию магнитного поля B для каждого значения тока и построим график зависимости $B = f(I_M)$.

Начальное положение милливеберметра $\Phi_0 = 2,1$ мВб.

$$SN = 75 \text{ см}^2_{\text{вит}}$$

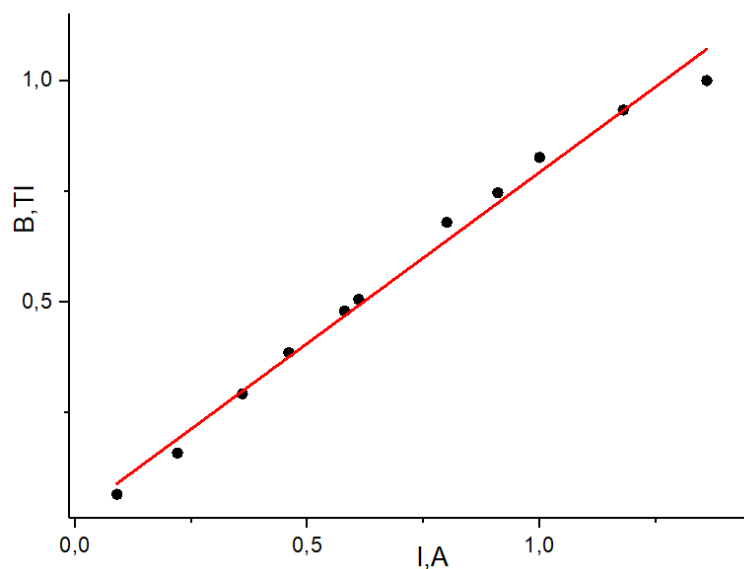
$$\Phi = BSN \Rightarrow B = \frac{\Phi}{SN}$$

$$B_0 = 0,28 \text{ Тл.}$$

Таблица 1. Зависимость B от I_M .

№	$\Phi, \text{мВб}$	$B, \text{Тл}$	$I_M, \text{А}$
1	2,6	0,34	0,09
2	3,3	0,44	0,22
3	4,3	0,57	0,36
4	5,0	0,67	0,46
5	5,7	0,76	0,58
6	5,9	0,79	0,61
7	7,2	0,96	0,80
8	7,7	1,03	0,91
9	8,3	1,11	1,00
10	9,1	1,12	1,18
11	9,6	1,28	1,36

График 1
Зависимость B от I_M .



Найдём угол наклона прямой графика 1 при помощи метода наименьших квадратов.

$$k = \frac{\langle BI \rangle}{\langle B^2 \rangle} \quad \sigma k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle B^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - k^2}$$

$$k = (0,77 \pm 0,03) \frac{B}{I}$$

2) Рассчитаем ЭДС Холла и построим на одном графике семейство характеристик $\varepsilon_x = f(B)$ при разных значениях тока через образец. Определим угловые коэффициенты $K(I) = \Delta \varepsilon / \Delta B$

Таблица 2.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,3\text{мА}$
 $U_0 = 0,011\text{мВ}$

№	I_M, A	$B, \text{Тл}$	$U_{34}, \text{мВ}$
1	0,05	0,039	0,003
2	0,13	0,100	-0,005
3	0,22	0,169	-0,015
4	0,30	0,231	-0,024
5	0,40	0,308	-0,036
6	0,49	0,377	-0,047
7	0,59	0,453	-0,058
8	0,68	0,523	-0,069
9	0,80	0,616	-0,081
10	0,91	0,701	-0,092
11	1,00	0,770	-0,100
12	1,10	0,847	-0,107
13	1,20	0,924	-0,014
14	1,32	1,016	-0,119
15	1,42	1,093	-0,124
16	1,61	1,240	-0,130

Таблица 3.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,4\text{мА}$
 $U_0 = 0,006\text{мВ}$

№	I_M, A	$B, \text{Тл}$	$U_{34}, \text{мВ}$
1	0,04	0,31	0,001
2	0,13	0,10	-0,011
3	0,22	0,17	-0,024
4	0,29	0,22	-0,035
5	0,37	0,28	-0,047
6	0,48	0,37	-0,065
7	0,56	0,43	-0,077
8	0,65	0,50	-0,091
9	0,73	0,56	-0,102
10	0,80	0,62	-0,111
11	0,91	0,70	-0,125
12	1,02	0,79	-0,138
13	1,12	0,86	-0,147
14	1,22	0,94	-0,155
15	1,33	1,02	-0,162
16	1,40	1,08	-0,166
17	1,51	1,16	-0,171
18	1,61	1,24	-0,176

Таблица 4.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,5\text{мА}$
 $U_0 = 0,006\text{мВ}$

№	I_M, A	U_{34}, mV	$B, \text{Тл}$
1	0,03	0,000	0,02
2	0,09	-0,008	0,07
3	0,16	-0,021	0,12
4	0,24	-0,036	0,18
5	0,33	-0,053	0,25
6	0,42	-0,071	0,32
7	0,51	-0,087	0,39
8	0,60	-0,105	0,46
9	0,71	-0,124	0,55
10	0,82	-0,144	0,63
11	0,91	-0,158	0,70
12	1,01	-0,172	0,78
13	1,09	-0,183	0,84
14	1,21	-0,193	0,93
15	1,31	-0,202	1,01
16	1,42	-0,209	1,09
17	1,53	-0,216	1,18
18	1,60	-0,220	1,23

Таблица 5.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,6\text{мА}$
 $U_0 = 0,006\text{мВ}$

№	I_M, A	$B, \text{Тл}$	U_{34}, mV
1	0,03	0,02	0,000
2	0,12	0,09	-0,017
3	0,20	0,15	-0,034
4	0,30	0,23	-0,058
5	0,39	0,30	-0,080
6	0,50	0,39	-0,104
7	0,59	0,45	-0,125
8	0,66	0,51	-0,141
9	0,77	0,59	-0,162
10	0,88	0,68	-0,185
11	1,00	0,77	-0,206
12	1,23	0,95	-0,237
13	1,35	1,04	-0,249
14	1,46	1,12	-0,257
15	1,56	1,20	-0,264
16	1,59	1,22	-0,267

Таблица 6.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,7\text{мА}$
 $U_0 = 0,008\text{мВ}$

№	I_M, A	U_{34}, mV	$B, \text{Тл}$
1	0,05	-0,002	0,04
2	0,11	-0,018	0,08
3	0,19	-0,039	0,15
4	0,28	-0,063	0,22
5	0,37	-0,089	0,28
6	0,46	-0,114	0,35
7	0,55	-0,134	0,42
8	0,73	-0,182	0,56
9	0,83	-0,207	0,64
10	0,93	-0,230	0,72
11	1,05	-0,251	0,81
12	1,14	-0,265	0,88
13	1,32	-0,288	1,01
14	1,42	-0,298	1,09
15	1,56	-0,310	1,20
16	1,59	-0,312	1,22

Таблица 7.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,8\text{мА}$
 $U_0 = 0,009\text{мВ}$

№	I_M, A	$B, \text{Тл}$	U_{34}, mV
1	0,03	0,02	0,003
2	0,15	0,12	-0,034
3	0,23	0,18	-0,057
4	0,32	0,25	-0,084
5	0,41	0,32	-0,011
6	0,48	0,37	-0,132
7	0,58	0,45	-0,161
8	0,68	0,52	-0,192
9	0,74	0,57	-0,209
10	0,82	0,63	-0,229
11	0,91	0,70	-0,253
12	0,98	0,75	-0,274
13	1,07	0,82	-0,291
14	1,22	0,94	-0,313
15	1,37	1,05	-0,331
16	1,48	1,14	-0,342
17	1,58	1,22	-0,351

Таблица 8.

Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 0,9\text{мА}$
 $U_0 = 0,010\text{мВ}$

№	$I_M, \text{А}$	$B, \text{Тл}$	$U_{34}, \text{мВ}$
1	0,05	0,04	-0,006
2	0,15	0,12	-0,035
3	0,24	0,18	-0,069
4	0,33	0,25	-0,100
5	0,42	0,32	-0,132
6	0,54	0,42	-0,179
7	0,64	0,49	-0,205
8	0,77	0,59	-0,249
9	0,87	0,67	-0,279
10	1,01	0,78	-0,317
11	1,10	0,85	-0,336
12	1,20	0,92	-0,355
13	1,32	1,02	-0,372
14	1,45	1,12	-0,388
15	1,53	1,18	-0,397
16	1,57	1,21	-0,402

Таблица 9.

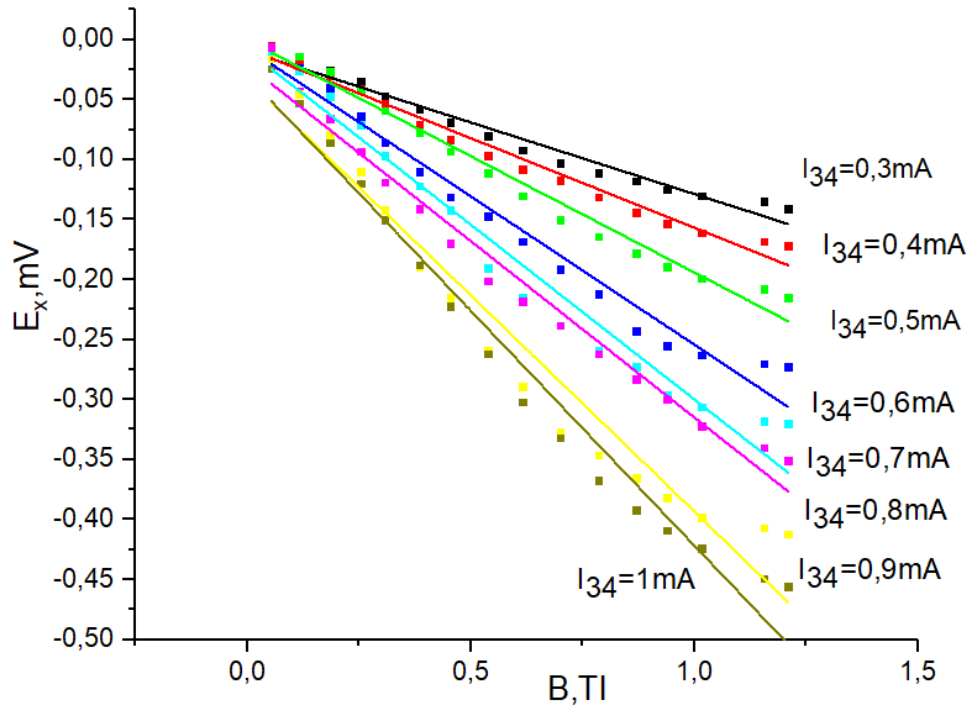
Зависимость U_{34} от B при $I_{34} = 1\text{мА}$
 $U_0 = 0,011\text{мВ}$

№	$I_M, \text{А}$	$B, \text{Тл}$	$U_{34}, \text{мВ}$
1	0,07	0,05	-0,013
2	0,15	0,12	-0,042
3	0,24	0,18	-0,075
4	0,33	0,25	-0,109
5	0,40	0,31	-0,139
6	0,50	0,39	-0,177
7	0,59	0,45	-0,211
8	0,70	0,54	-0,251
9	0,80	0,62	-0,291
10	0,91	0,70	-0,321
11	1,02	0,79	-0,356
12	1,13	0,87	-0,381
13	1,22	0,94	-0,398
14	1,32	1,02	-0,413
15	1,50	1,16	-0,438
16	1,57	1,21	-0,445

$$\varepsilon_x = U_{34} + U_0$$

График 2

Семейство характеристик $\varepsilon_x = f(B)$ при разных значениях тока через образец



Определим угловые коэффициенты $K(I)$ при помощи метода наименьших квадратов.

$$k = \frac{\langle \varepsilon_x B \rangle - \langle \varepsilon_x \rangle \langle B \rangle}{\langle B^2 \rangle - \langle B \rangle^2}, \quad \delta k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle \varepsilon_x^2 \rangle - \langle \varepsilon_x \rangle^2}{\langle B^2 \rangle - \langle B \rangle^2} - k^2}$$

и занесём их в таблицу 10.

Таблица 10.

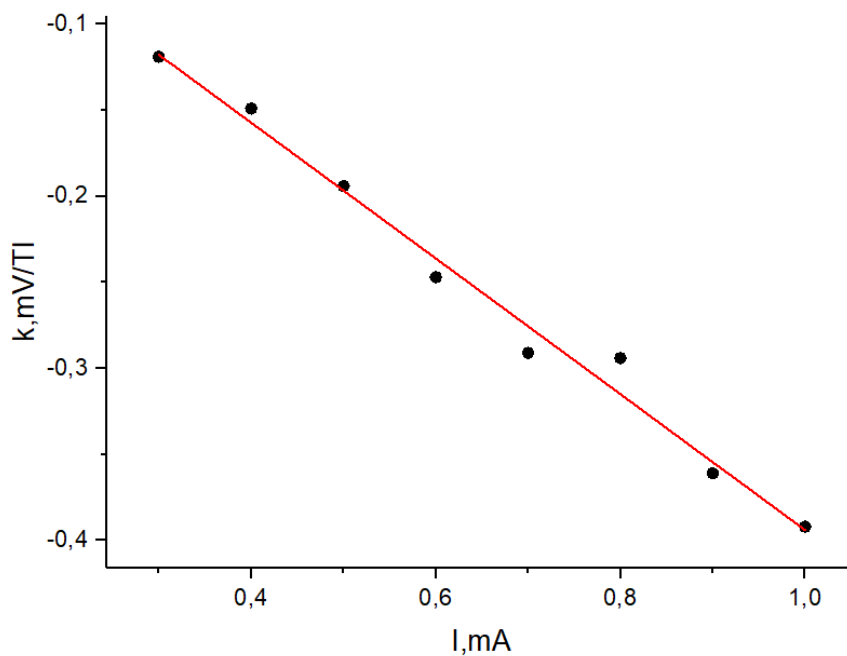
Зависимость K от I_{34}

№	k , мВ/Тл	δk , мВ/Тл	I_{34} , А
1	-0,119	0,005	0,3
2	-0,149	0,006	0,4
3	-0,194	0,007	0,5
4	-0,247	0,011	0,6
5	-0,291	0,014	0,7
6	-0,294	0,011	0,8
7	-0,361	0,022	0,9
8	-0,392	0,017	1,0

3) Построим график $K = f(I)$.

График 3

Зависимость K от I_{34}



С помощью МНК рассчитали тангенс наклона прямой графика 3.

$$k' = (-0,395 \pm 0,019) \frac{\text{В}}{\text{А Тл}}$$

Рассчитаем величину постоянной Холла R_x с помощью формулы $\varepsilon_x = -R_x \frac{IB}{a}$.

$$R_x = -\varepsilon_x \frac{a}{IB} = k' \cdot a, \text{ где } a = 1,5 \text{ мм}$$

$$R_x = (5,92 \pm 0,29) \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

4) Рассчитаем концентрацию n носителей тока в образце по формуле $R_x = \frac{1}{ne}$.

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

$$n = (1,06 \pm 0,07) \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{м}^3}$$

5) Рассчитаем удельную проводимость σ материала образца по формуле $\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al}$

$$L_{35} = 3 \text{ мм}, U_{35} = 1,696 \text{ мВ}$$

$$a = 1,5 \text{ мм}, l = 1,7 \text{ мм}, I = 1 \text{ мА}$$

$$\sigma = (6,93 \pm 0,41) \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{В м}}$$

6) Используя найденные значения концентрации n и проводимости σ , с помощью формулы $\sigma = e \cdot n \cdot b$ вычислим подвижность b носителей тока.

$$b = \frac{\sigma}{ne}$$

$$\delta b = b \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\delta n}{n}\right)^2}$$

$$b = (4,09 \pm 0,36) \cdot 10^3 \frac{\text{м}^2}{\text{Вс}}$$

Вывод

а) Исследовали эффект Холла а образце из германия, нашли для него постоянную Холла

$$R_x = (5,92 \pm 0,29) \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

б) Измерили концентрацию носителей заряда в образце.

$$n = (1,06 \pm 0,07) \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{м}^3}$$

в) Определили, что носителями являются электроны и вычислили их подвижность

$$\sigma = (6,93 \pm 0,41) \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{В м}}$$