

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## Эффект Холла в полупроводниках

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2017 г.

# 1 Цель работы

измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках

## 2 В работе используются:

- электромагнит с источником питания
- амперметр
- миллиамперметр
- милливельберметр
- реостат
- источник питания (1,5 В)
- образцы легированного германия

## 3 Теоретические положения

На электрон, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца. Также на пластине с током, помещённой в магнитное поле, возникает разность потенциалов. В итоге, сила, действующая на электрон:

$$F_1 = -eE - e \langle v \rangle B \quad (1)$$

Под действием этой силы электроны отклоняются к грани Б, на грани А создаётся нескомпенсированный положительный заряд. Из-за разности потенциалов возникает электрическое поле, направленное от грани А к Б:  $F_2 = eE_z$ . Приравнявая  $F_1$  и  $F_2$ , найдём ЭДС Холла:

$$U_{ab} = -\frac{IB}{nea} = -R_x \frac{IB}{a} \quad (2)$$

Также в эксперименте проводится измерение удельной проводимости образца:

$$\sigma = \frac{IL_{34}}{U_{35}al} \quad (3)$$

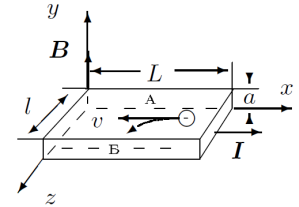


Рис. 1: Образец с током в магнитном поле

## 4 Экспериментальная установка

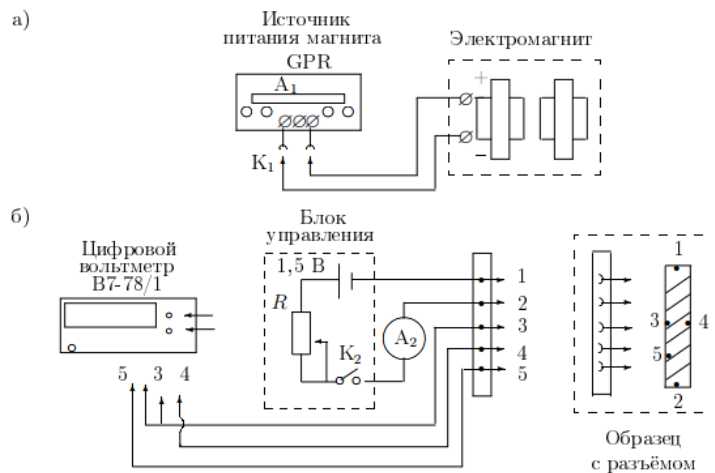


Рис. 2: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

## 5 Выполнение работы

1. Проведём калибровку электромагнита - определим связь между индукцией магнитного поля в зазоре электромагнита и током через обмотку магнита. Для этого снимем зависимость магнитного потока  $\Phi$ , пронизывающего катушку в поле, от тока  $I_M$  ( $\Phi = BSN$ ). Результаты занесём в таблицу 1, а также представим на графике. Уравнение для нахождения  $B$  в зависимости от  $I_M$ :  $B = -0.196I^2 + 0.91I$

Таблица 1: Калибровка электромагнита

$I_M, A$	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.08
$\Phi, \text{мВб}$	0.15	1.7	3.3	4.9	6.25	7.2	7.8	8.3
$B, \text{Тл}$	0.021	0.236	0.458	0.681	0.868	1.000	1.083	1.153

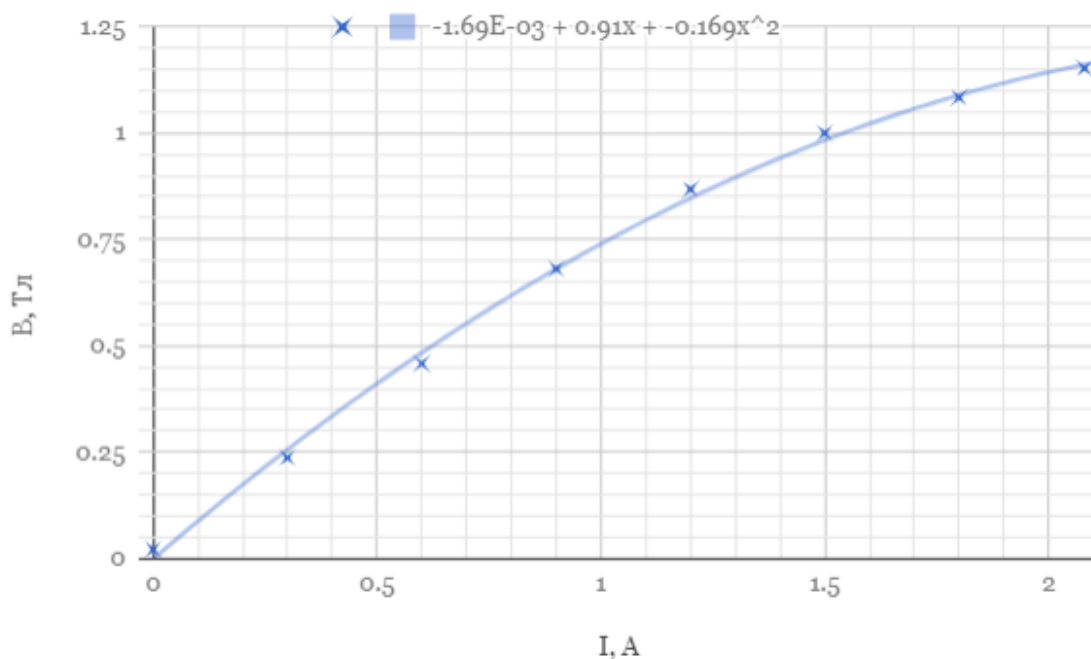


Рис. 3: График калибровки электромагнита

2. Проведём измерение ЭДС Холла. Снимем зависимость напряжения  $U_{34}$  от тока через обмотки магнита (с учётом  $U_0$  при  $I_M = 0$ ). Выполним серию экспериментов для различных токов через образец  $I$  (от 0.3 до 1 мА). Результаты измерений занесём в таблицу 2, построим на одном графике семейство прямых  $U_{34} = f(B)$  (рис. 4)

Таблица 2: Зависимость напряжения в образце от тока в обмотке электромагнита

$I_M, A$	0	0.21	0.42	0.63	0.84	1.05	1.26	1.47	1.68	1.89	2.06
$B, \text{Тл}$	0.000	0.184	0.352	0.506	0.645	0.769	0.878	0.973	1.052	1.116	1.157
$U_{34}, B(I = 0.3\text{мА})$	0.069	0.088	0.107	0.126	0.142	0.156	0.169	0.177	0.184	0.189	0.192
$U_{34}, B(I = 0.4\text{мА})$	0.092	0.116	0.143	0.167	0.189	0.208	0.225	0.236	0.245	0.251	0.255
$U_{34}, B(I = 0.5\text{мА})$	0.115	0.146	0.178	0.209	0.237	0.26	0.281	0.295	0.305	0.301	0.319
$U_{34}, B(I = 0.6\text{мА})$	0.139	0.175	0.215	0.254	0.285	0.313	0.338	0.356	0.368	0.378	0.383
$U_{34}, B(I = 0.7\text{мА})$	0.161	0.205	0.25	0.293	0.332	0.366	0.394	0.415	0.429	0.441	
$U_{34}, B(I = 0.8\text{мА})$	0.184	0.233	0.286	0.335	0.38	0.416	0.449	0.473	0.483	0.502	0.509
$U_{34}, B(I = 1.0\text{мА})$	0.231	0.292	0.358	0.418	0.457	0.521	0.563	0.591	0.613	0.629	0.635

3. Определив угловые коэффициенты прямых рис.4, построим график зависимости  $K = f(I)$  (рис.

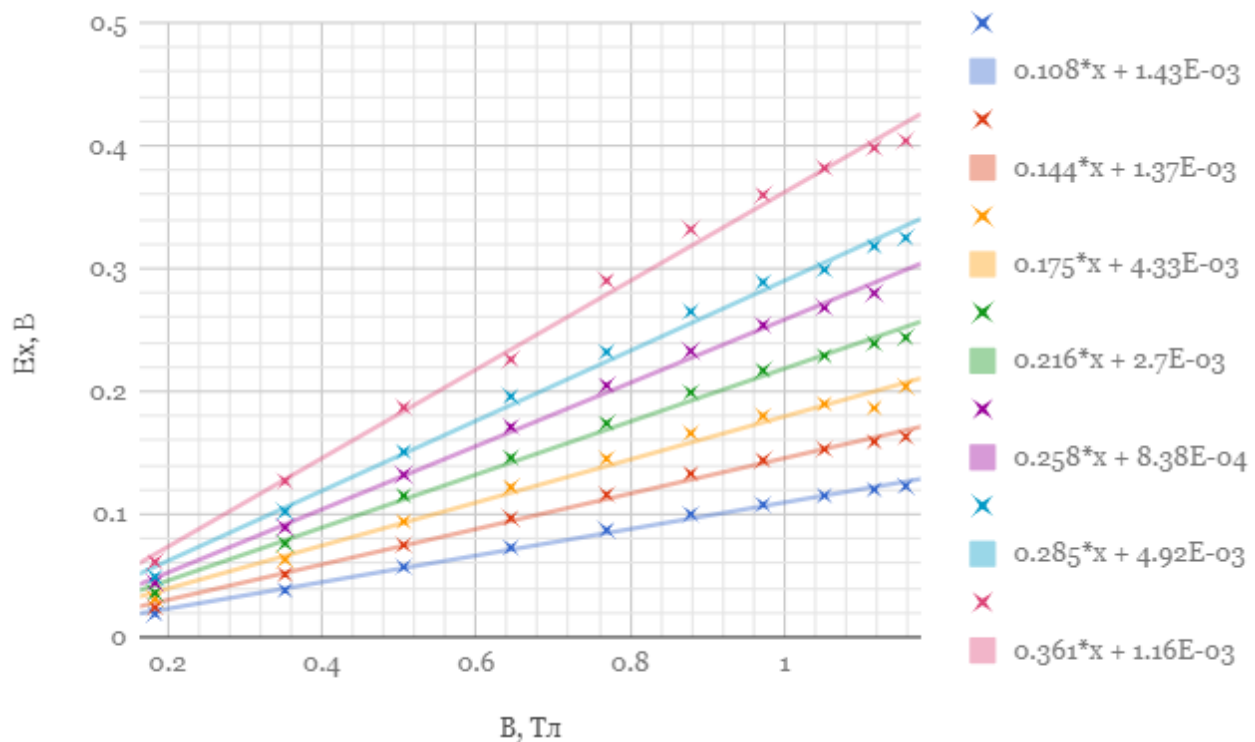


Рис. 4: Семейство зависимостей ЭДС Холла от магнитного поля в электромагните при разных токах через образец

5). По этому графику определим величину постоянной Холла. Погрешность рассчитаем по методу наименьших квадратов, учитывая погрешности приборов

$$R_x = -ka = 0.363 * 2.2 = (7.98 \pm 0.69) 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

Относительная погрешность составляет 8,6%.

4. Учитывая рис. 1, направление тока в образце и знак ЭДС Холла, определим характер проводимости в образце по правилу векторного произведения. Проводимость электронная.

5. Рассчитаем концентрацию носителей тока:

$$n = \frac{1}{R_x e} = (0.78 \pm 0.21) \text{ ед}/\text{м}^3$$

По формуле (3) рассчитаем удельную проводимость исследуемого образца. При  $I = 1 \text{ мА}$   $U_{35} = 2.16 \text{ В}$ , параметры установки:  $a = 2.2 \text{ мм}$ ,  $l = 7 \text{ мм}$ ,  $L_{35} = 6 \text{ мм}$

$$\sigma = 148.9 \text{ 1}/(\text{Ом м})$$

Наконец, рассчитаем подвижность носителей в образце.

$$b = \frac{\sigma}{n e} = 1448 \pm 350 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$$

$$b_{\text{theor}} = 3800 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с}) \text{ для электронной проводимости}$$

## 6 Вывод

В ходе работы был исследован эффект Холла в полупроводнике-германии. Были определены такие характеристики, как постоянная Холла, концентрация холловских частиц, удельная электрическая проводимость германия и подвижность электронов-носителей заряда в нём. Результаты совпали с табличными по порядку величины. Возможная причина несовпадения - характер проводимости в исследуемом образце не чисто электронный, а электронно-дырочный (подвижность носителей заряда уменьшится).

Был проведён небольшой опрос среди студентов, выполнявших эту работу. Выяснилось, что на одной

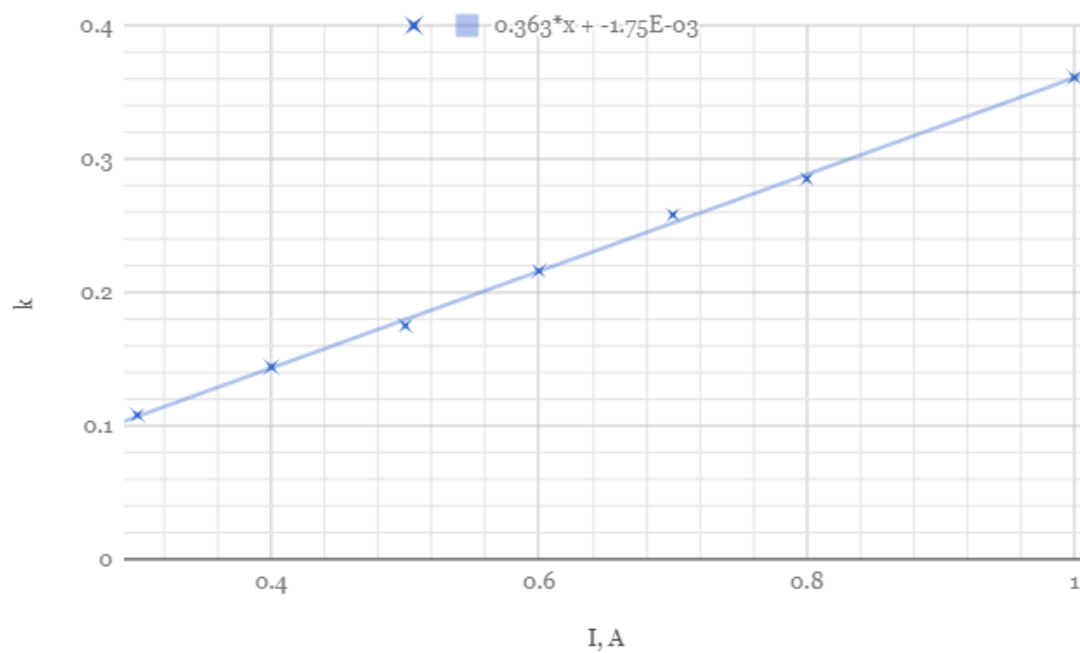


Рис. 5: Определение постоянной Холла

установке (у окна) полученное значение подвижности электронов сходилось с табличным, а на другой (ближе к двери) - была меньше практически на 2000 единиц. Самое разумное объяснение этого - то, что исследуемый образец не является чистым германием, а легированным, с иными свойствами. Даже мельчайшие доли примесей способны изменять подвижность носителей заряда на тысячи единиц.