

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 3.3.4  
**Эффект Холла в полупроводниках**

Гусаров Николай  
Группа Б02-005

Долгопрудный, 2021 г.

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

**В работе используются:** электромагнит с источником питания, миллиамперметр, милливольтметр, реостат, цифровой вольтметр, источник питания, образец легированного германия.

## 1 Расчетные формулы

Эффект Холла - явление возникновения поперечной разности потенциалов при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле.

- ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_x = U_{34} - U_0; \quad (1)$$

- Постоянная Холла:

$$R_x = -\frac{\mathcal{E}_x}{B} \cdot \frac{a}{I}; \quad (2)$$

- Концентрация носителей тока в образце:

$$n = \frac{1}{R_x e} \quad (3)$$

- Удельная проводимость материала образца:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al} \quad (4)$$

- Подвижность носителей тока:

$$b = \frac{\sigma}{en} \quad (5)$$

## 2 Экспериментальная установка

Электрическая установка для измерения ЭДС Холла представлена на (1).

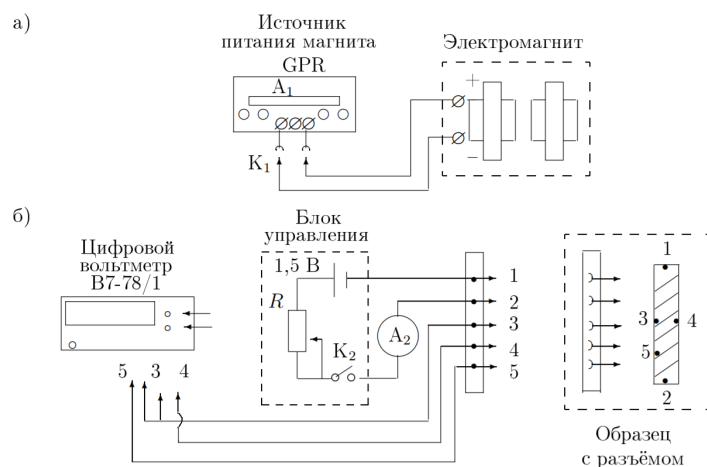


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках.

### 3 Экспериментальные данные

Таблица 1: Параметры установки и исследуемого образца.

Расстояние между контактами 3 и 5 $L_{35}$ , мм	Толщина образца $a$ , мм	Ширина образца $l$ , мм	Постоянная катушки $SN$ , см <sup>2</sup> ·вит.
3	2,2	2,5	72

Таблица 2: Некоторые измеряемые величины и их погрешности.

Величина	$\Phi$ , мВб	$I_M$ , А	$U_{34}$ , мкВ	$I$ , мА
$\Delta$	0,1	0,01	0,001	0,01

Таблица 3: Калибровка электромагнита.  $\Phi/(SN) = B$

$\Phi$ , мВб	$I_M$ , А	$B$ , Тл
4,10	0,73	0,57
1,30	0,21	0,18
2,70	0,47	0,38
5,30	0,96	0,74
6,00	1,14	0,83
6,90	1,39	0,96
7,40	1,61	1,03
8,00	1,87	1,11
8,30	2,12	1,15

Таблица 4: Зависимость  $U_{34}$  от  $I_M$  при фиксированном  $I$ .

$U_0$ , мВ	0,014	0,019	0,023	0,027	0,031	0,035	0,040	0,044	0,036
$I$ , мА	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
$I_M$ , А	$U_{34}$ , мВ								
0,3	0,026	0,036	0,044	0,051	0,058	0,066	0,075	0,083	-0,002
0,6	0,040	0,051	0,063	0,075	0,087	0,100	0,111	0,123	-0,042
0,9	0,051	0,067	0,082	0,098	0,113	0,130	0,145	0,160	-0,079
1,2	0,061	0,081	0,099	0,118	0,137	0,155	0,175	0,194	-0,113
1,5	0,069	0,090	0,111	0,132	0,154	0,176	0,197	0,218	-0,138
1,8	0,074	0,097	0,119	0,142	0,165	0,188	0,211	0,234	-0,153
2,1	0,078	0,100	0,123	0,146	0,170	0,194	0,218	0,242	-0,161

Дополнительно при силе тока в  $I = 1$  мА, протекающем через образец, измерим  $U_{35} = 1,766$  мВ.

## 4 Обработка результатов

Для калибровки электромагнита необходимо экстраполировать график зависимости  $B = f(I_M)$  (рис. 2). С большой точностью теоретическая зависимость является линейной в данном диапазоне токов. С меньшей достоверностью зависимость можно описать многочленом третьей степени. Но именно на него хорошо ложатся экспериментальные точки. Однако в связи прецизионностью источника питания нам достаточно знать конечный набор значений магнитного поля  $B$  и проводить измерения  $U_{34}$  только на них.

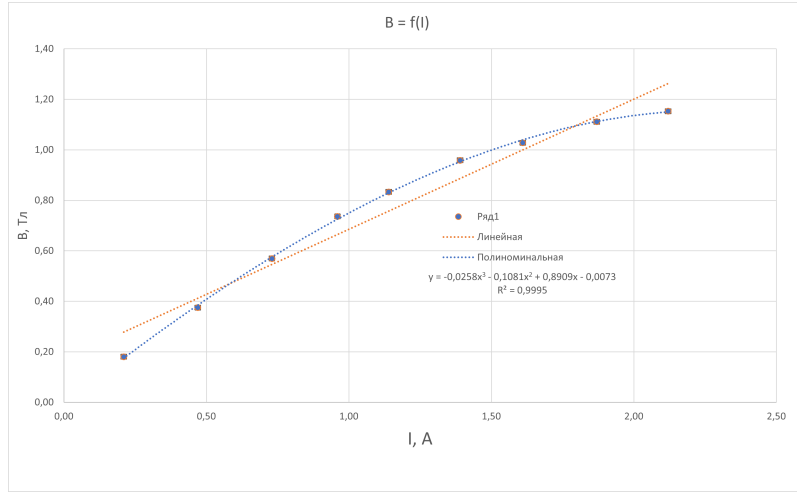


Рис. 2: Зависимость  $B = f(I_M)$ .

Построим серию прямых  $\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_x(B)$  (рис. 3). Отметим, что  $\Delta \mathcal{E}_x = 2\Delta U_{34} = 2 \text{ мкВ}$ , а  $\Delta B = \Delta \Phi / SN = 14 \text{ мТл}$ .

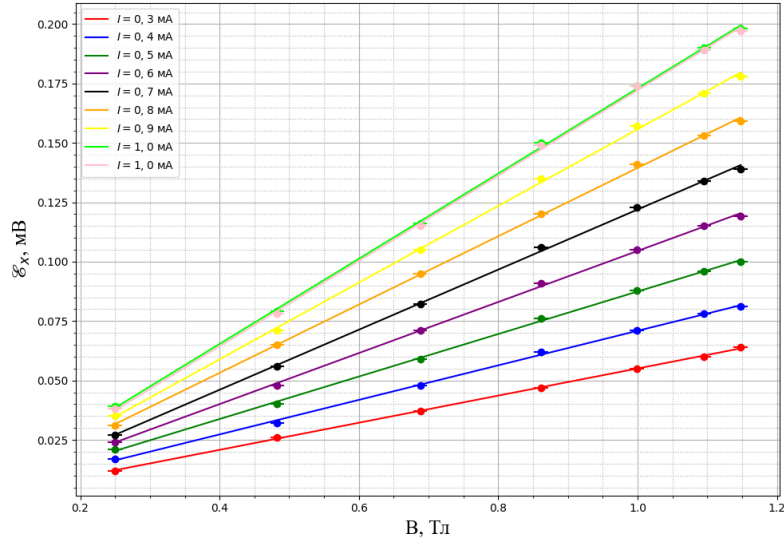


Рис. 3: Серия зависимостей  $\mathcal{E}_x$  от  $B$  при различных  $I$ .

Таблица 5:  $k = \Delta \mathcal{E}_x / \Delta B$ .

$I$ , мА	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
$k$ , мкВ/Тл	57,1	72,7	89,5	107,5	126,5	143,8	161,4	179,93	179,6
$\Delta k$ , мкВ/Тл	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,8

По полученным данным построим график зависимости  $k$  от  $I$  и проанализируем его.

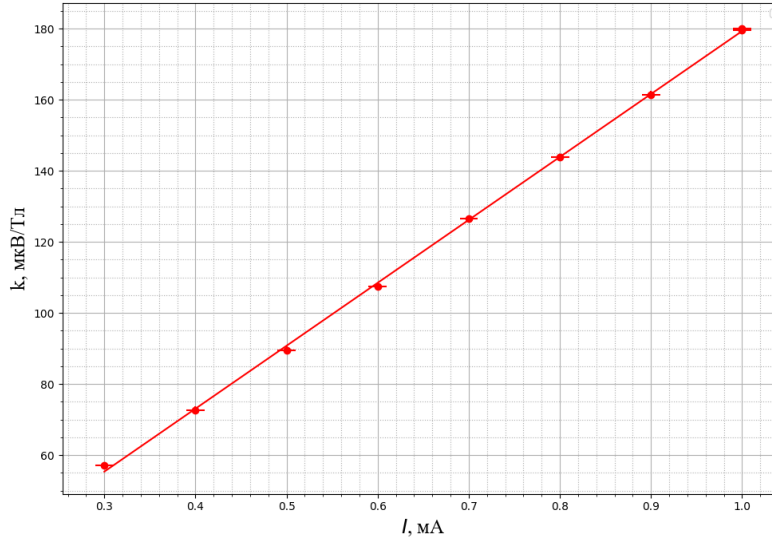


Рис. 4: Зависимость  $k$  от  $I$ .

Методом наименьших квадратов определяем, что  $k/I = (177,1 \pm 1,5)$  (погрешность найдена программой).  $\frac{\text{мВТ}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$ , откуда согласно формуле (2)  $R_x = (389,6 \pm 3,1) \text{ см}^3/\text{Кл}$  ( $\varepsilon_{R_x} = \varepsilon_{k/I}$ ).

Рассчитаем концентрацию носителей тока в образце по формуле (3):  $n = (1606 \pm 12) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$  ( $\varepsilon_{R_x} = \varepsilon_n$ ), удельную проводимость по формуле (4):

$$\varepsilon_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_{35}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \approx 0,01$$

Тогда:  $\sigma = (308,8 \pm 3,9) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ .

Вычислим подвижность носителей тока в материале образца по формуле (5):

$$\varepsilon_b = \sqrt{\left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2} \approx 0,01$$

$$b = (1201 \pm 12) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

## 5 Обсуждение результатов и выводы

В ходе данной лабораторной работы мы исследовали эффект Холла в полупроводнике, а именно в Германии. Нам удалось определить постоянную Холла, которая в данных диапазонах токов и значений магнитной индукции магнитного поля оказалась постоянной и равной  $R_x = (389,6 \pm 3,1) \text{ см}^3/\text{Кл}$ . Так же вычислили концентрацию носителей тока в образце при том предположении, что количество носителей

одного типа намного больше другого типа:  $n = (1606 \pm 12) \cdot 10^{19} \text{ м}^3$ . Зная направление тока в проводнике, полярность вольтметра, направление тока в катушках, можно определить тип проводимости. В нашей работе тип проводимости в Германии оказался электронным.

Более того, мы вычислили подвижность дырок в исследуемом Германии:  $b = (1201 \pm 12) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$  с точностью в 1%. Но наш результат отличается от табличного для носителей в области собственной проводимости  $b_0 = 1800 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$  (при температуре  $T = 293 \text{ К}$ ), по чему можно сделать вывод, что наш образец является не чистым, а с примесями. Хотелось бы отметить, что дополнительная ошибка измерений может быть связана с сильной зависимостью концентрации основных носителей токов от температуры. Действительно, для отрыва электрона от атома полупроводника и превращения его в электрон проводимости необходимо сообщить ему некоторое количество энергии. Естественно, что такая энергия поставляется тепловыми колебаниями атомов решетки. В нашей работе температура образца была как минимум комнатной ( $T = 298 \text{ К}$ ) и как максимум могла повыситься вследствие протекающего через образец постоянного тока.