

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**

Серебренников Даниил  
Группа Б02-826

Долгопрудный, 2019 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).

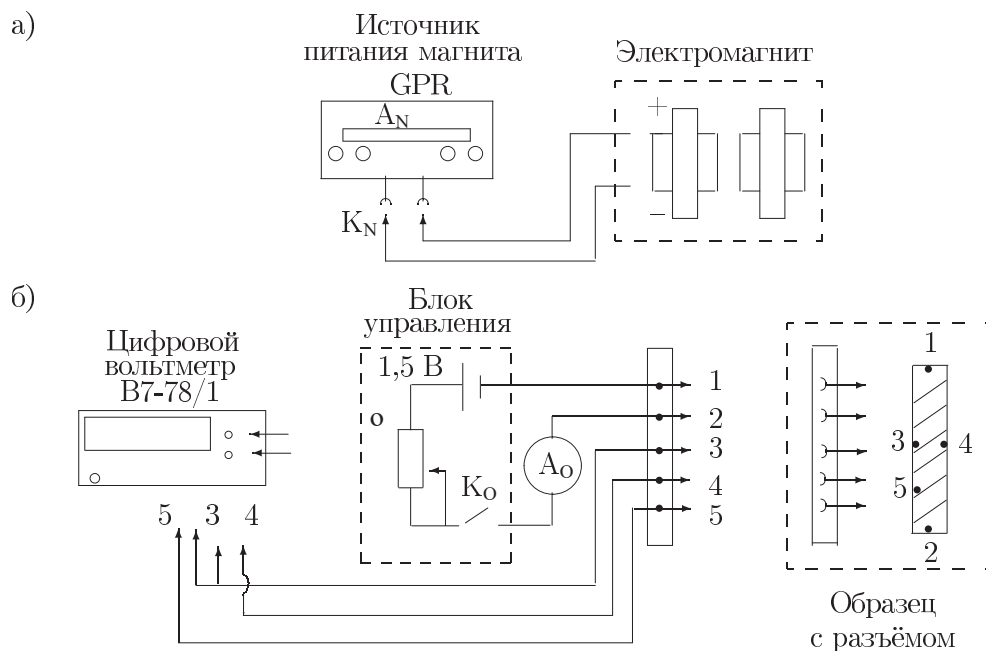


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках.

### 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.
6	2,2	7	72

Таблица 2: Некоторые измеряемые величины и их погрешность.

	$\Phi$ , мВб	$I_M$ , А	$U_{34}$ , мкВ	$I$ , мА
Величина	1,0	1,00	50	0,5
Погрешность	0,1	0,01	1	0,005
$\varepsilon$ , %	1	1	2	1

Таблица 3: Калибровка электромагнита.

№	1	2	3	4	5	6	7	9	9	10
$I_M$ , А	0,61	0,71	0,83	0,91	1,06	1,11	1,15	1,22	1,38	1,45
$\Phi$ , мВб	4,2	4,7	5,4	5,8	6,6	6,7	6,9	7,1	7,6	7,7
$B$ , мТл	583	653	750	806	917	931	958	986	1056	1069

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

$I$ , мА	0,24	0,26	0,28	0,30	0,35	0,45	0,65	0,85	1,00	1,00
$U_0$ , мкВ	-49	-56	-61	-65	-77	-100	-140	-183	-220	-220
№	$U_{34}$ , мкВ									
1	-2	-2	-5	-4	-5	-7	-5	-5	-13	-450
2	4	4	4	3	4	4	10	15	10	-480
3	11	10	10	11	13	17	28	35	35	-508
4	16	15	17	17	21	26	41	55	58	-533
5	23	24	25	25	30	38	58	76	85	-560
6	25	25	27	28	33	44	65	84	94	-570
7	27	27	29	30	35	46	70	90	100	-577
8	28	29	30	33	39	50	74	97	110	-587
9	32	32	35	37	44	56	84	108	125	-603
10	34	35	38	40	47	60	89	115	132	-613

Дополнительно при силе тока в 1 мА, протекающем через образец, измерим  $U_{35} = -2,531$  мВ.

## 4 Обработка результатов

Для калибровки электромагнита необходимо экстраполировать график зависимости  $B = f(I)$  (рис. 2). Не трудно убедиться, что с большой точностью зависимость является линейной в данном диапазоне токов. С меньшей достоверностью зависимость можно описать многочленом третьей степени, на который 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.

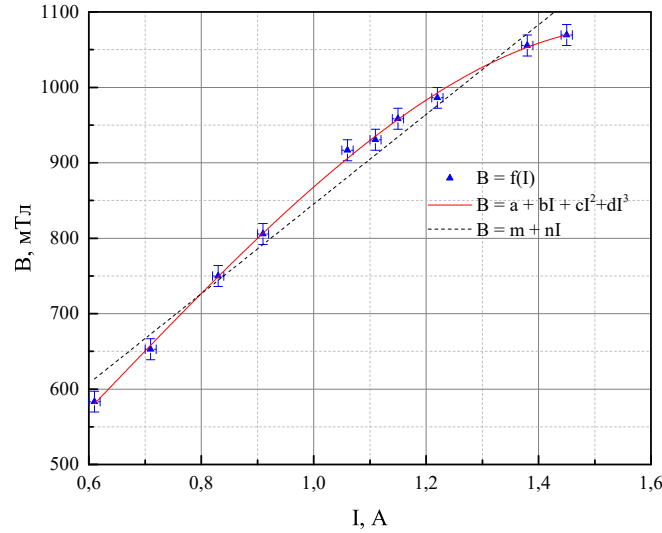


Рис. 2: Зависимость  $B = f(I)$ .

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

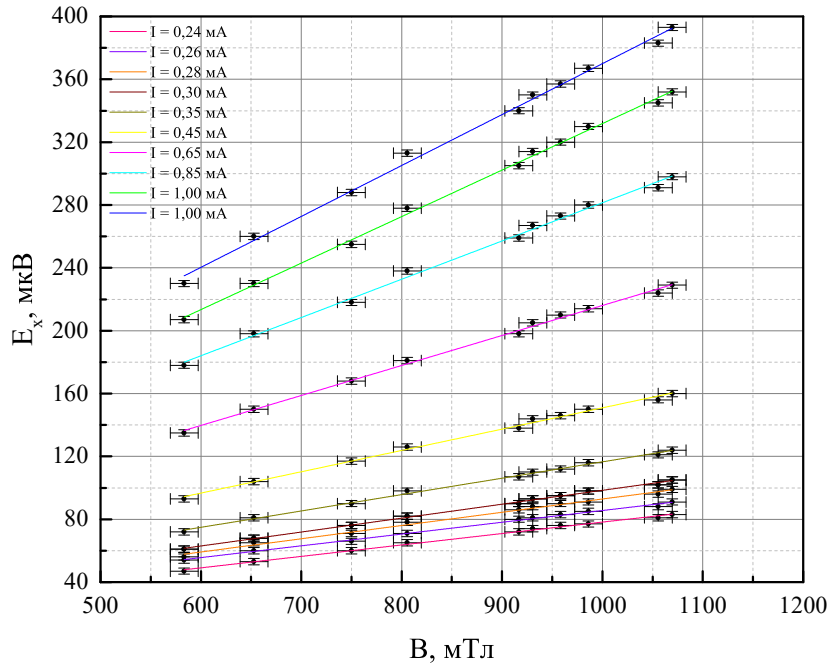


Рис. 3: Серия зависимостей  $\mathcal{E}_x$  от  $B$  при различных  $I$ .

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

$I$ , мА	0,24	0,26	0,28	0,3,0	0,35	0,45	0,65	0,85	1,00	1,00
$k$ , мкВ/Тл	72,7	74,9	84	88,6	104	136	191	244	296	-324
$\sigma_k$ , мкВ/Тл	1,6	1,7	2	1,7	2	3	4	6	5	7

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

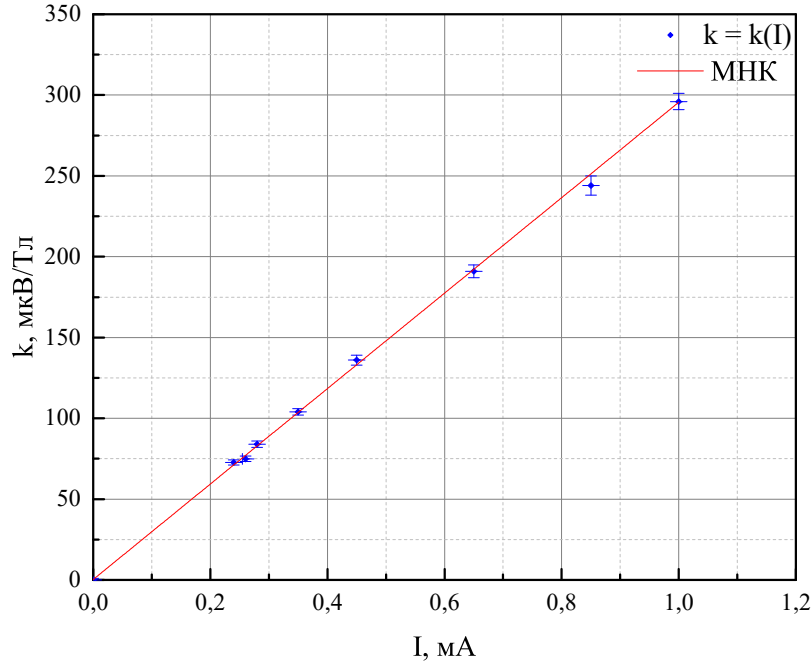


Рис. 4: Зависимость  $k$  от  $I$ .

Методом наименьших квадратов определяем, что  $k/I = (295 \pm 3) \frac{\text{мВт}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}$ , откуда согласно формуле (2)  $R_x = (649 \pm 7) \text{ см}^3/\text{Кл}$ .

Рассчитаем концентрацию носителей тока в образце по формуле (3):  $n = (962 \pm 1) \cdot 10^{19} \text{ м}^3$ , удельную проводимость по формуле (4):  $\sigma = (153,9 \pm 0,8) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ .

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

$$b = (1000 \pm 10) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

## 5 Обсуждение результатов

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  $R_x = 649 \text{ см}^3/\text{Кл}$  с относительной ошибкой 1%. Так же вычислили концентрацию носителей тока в образце при том предположении, что количество носителей одного типа намного больше другого типа:  $n = 962 \cdot 10^{19} \text{ м}^3$ . Зная направление тока в проводнике, полярность вольтметра, направление тока в катушках, можно определить тип проводимости. В нашей работе тип проводимости в Германии оказался дырочным.

Более того, мы вычислили подвижность дырок в исследуемом Германий:  $b = 1000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$  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  $T = 293 \text{ K}$ ), 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 ( $T = 298 \text{ K}$ ) и как максимум могла повыситься вследствие протекающего через образец постоянного тока.

## 6 Выводы

1. Вычислили постоянную Холла:  $R_x = (649 \pm 7) \text{ см}^3/\text{Кл}$ ;
2. Определили концентрацию носителей тока в образце:  $n = (962 \pm 1) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ ;
3. Рассчитали удельную проводимость:  $\sigma = (153,9 \pm 0,8) (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ ;
4. Германий является легированным образцом с подвижностью  $b = (1000 \pm 10) \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ ;
5. Тип носителей в исследуемом материале - дырочный.