

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 (??).

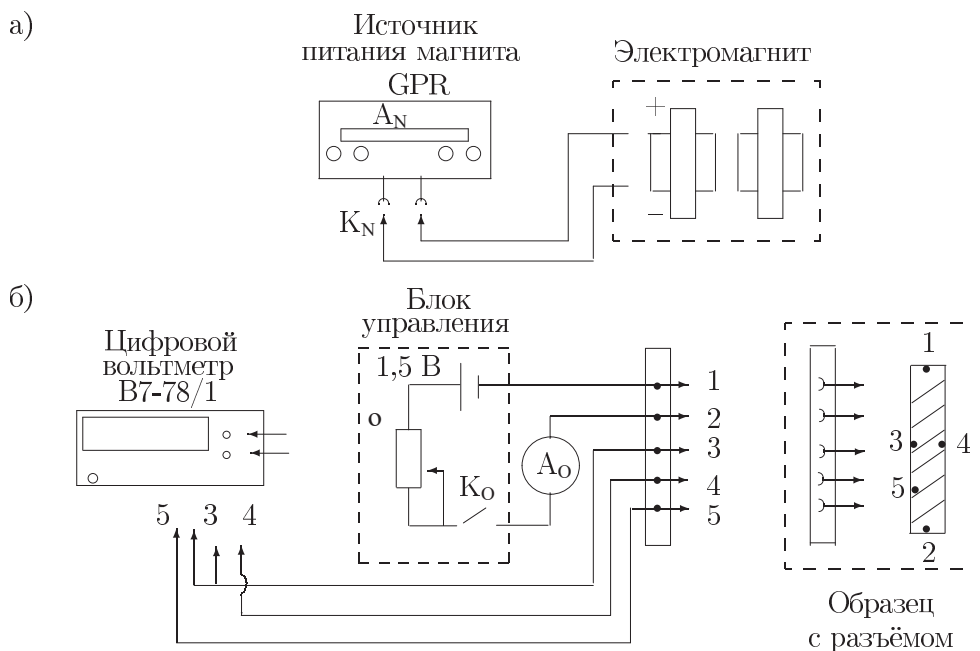


Рис. 1: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках.

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 ² ·вит.
6	2,2	7	72

Таблица 2: Некоторые измеряемые величины и их погрешность.

	Φ , 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
ε , %	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
Φ , 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. ??). 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.

B=f(I) .pdf

Рис. 2: Зависимость $B = f(I)$.

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

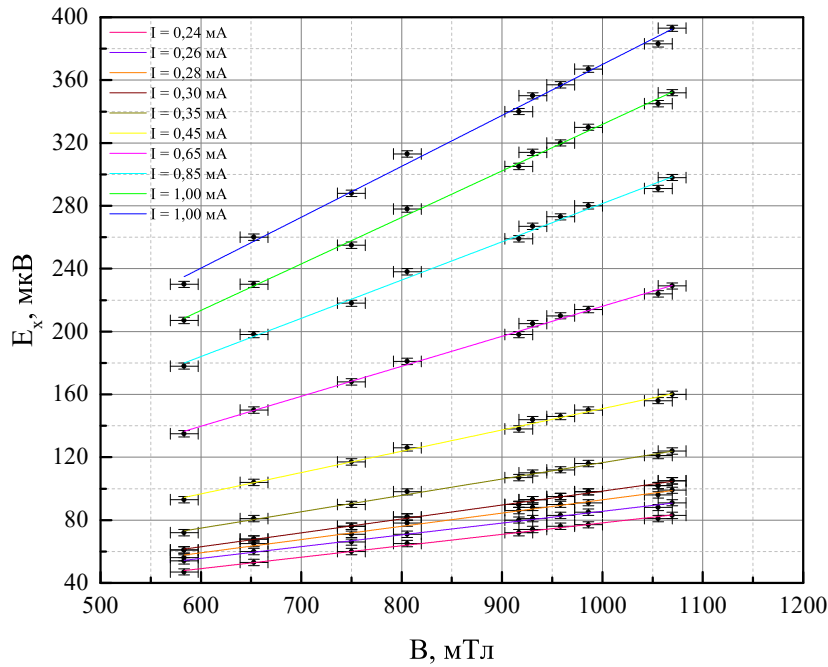


Рис. 3: Серия зависимостей \mathcal{E}_x от B при различных I .

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
σ_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.

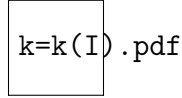


Рис. 4: Зависимость k от I .

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

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

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

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

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 Германии: $b = 1000 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ 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 $T = 293 \text{ К}$), 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.

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.