
Группа Р3208

К работе допущен _____

Студент Ступин Т.Р. Петров В.М. Есоян В.С.

Работа выполнена _____

Преподаватель Сорокина Е.К.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.08

Эффект Холла в примесных полупроводниках

1. Цель работы.

Изучить эффект Холла в примесных полупроводниках. Ознакомиться с методом измерения концентрации и подвижности основных носителей тока в примесных полупроводниках с помощью эффекта Холла.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Исследовать зависимость электропроводности σ от температуры T и определить диапазон температур, соответствующий одному типу проводимости.
2. Исследовать зависимость ЭДС Холла U_x от
 - a. Магнитного поля B при постоянной силе тока I и температуре T .
 - b. Силы тока I при постоянном магнитном поле B и температуре T .
 - c. Температуры T при постоянных значениях I и B .
3. Определить постоянную Холла R_x , концентрацию носителей n и их подвижность μ для различных температур.
4. Определить тип полупроводника (n -тип или p -тип) по знаку ЭДС Холла U_x

3. Объект исследования

Эффект Холла в примесных полупроводниках.

4. Метод экспериментального исследования.

- Измерить продольное напряжение U_{12} при изменении температуры T от комнатной до 365K
- Измерить U'_{34} и U''_{34} при двух противоположных направлениях магнитного поля B
- Измерить:
 - Зависимости U_x от B при постоянных I и T .
 - Зависимости U_x от I при постоянных B и T .
 - Зависимости U_x от T при постоянных I и B .

5. Рабочие формулы и исходные данные.

- Напряжение Холла

$$U_x = R_x \frac{IB}{b}$$

- I – сила тока, протекающего через образец
 - B – индукция магнитного поля
 - b – толщина образца (размер по магнитному полю) (2 мм)
 - R_x – постоянная Холла, зависящая от рода вещества
- Электропроводность

$$\sigma = q_e n \mu$$

- n – концентрация свободных электронов
 - μ – подвижность носителей тока
 - q_e – элементарный заряд
- Экспериментальное определение электропроводности

$$\sigma = \frac{IL_{12}}{U_{12}bd}$$

- L_{12} – расстояние между точками 1 и 2 образца (10 мкм)
 - bd – площадь поперечного сечения образца (2 на 2 мм)
 - U_{12} – напряжение между точками 1 и 2
- Подвижность носителей тока

$$\mu = \frac{V_{др}}{E}$$

- $V_{др}$ – дрейфовая скорость носителей тока при напряженности электрического поля E
- Постоянная Холла

$$R_x = \alpha \frac{1}{q_e n'}$$

- $\alpha = 1.93$ – поправочный множитель (учитывает механизм рассеяния носителей тока в полупроводнике)
- q_e – элементарный заряд
- ЭДС Холла

$$U_x = \frac{U'_{34} - U''_{34}}{2}$$

- U'_{34} – напряжение между точками 3 и 4 при прямом направлении B
- U''_{34} – напряжение между точками 3 и 4 при обратном направлении B

6. Измерительные приборы.

№ n/n	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Блок амперметра-вольтметра АВ1	0–20 В 0–2000 мкА	0.01 В 1 мкА
2	Блок генератора напряжений ГНЗ	0–10 В	0.1 В
3	Термометр	300–400 К	1 К
4	Вольтметр для измерения U_{12}	0–2 В	0.001 В
5	Вольтметр для измерения U_{34}	0–20 В	0.01 В

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

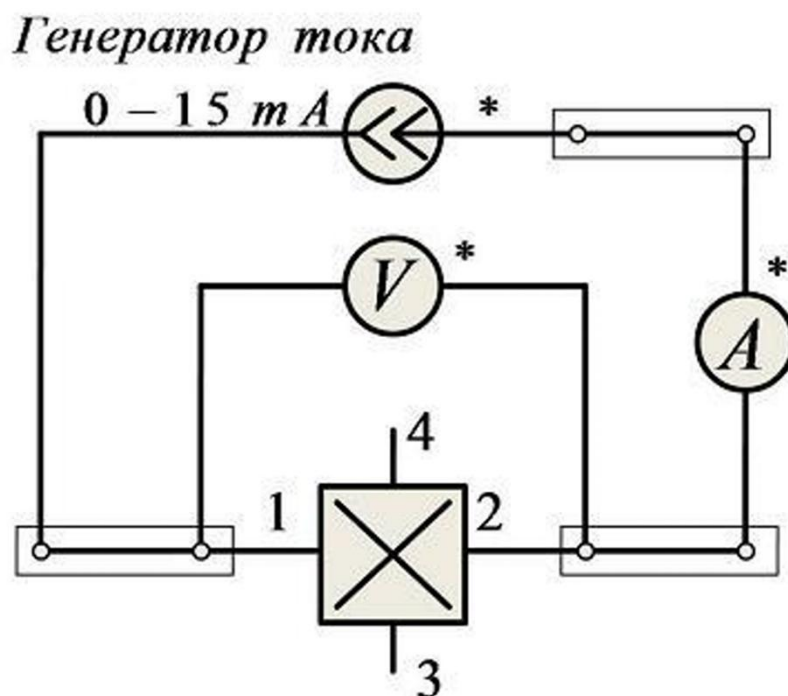


Рисунок 1, схема для исследования электропроводности образца

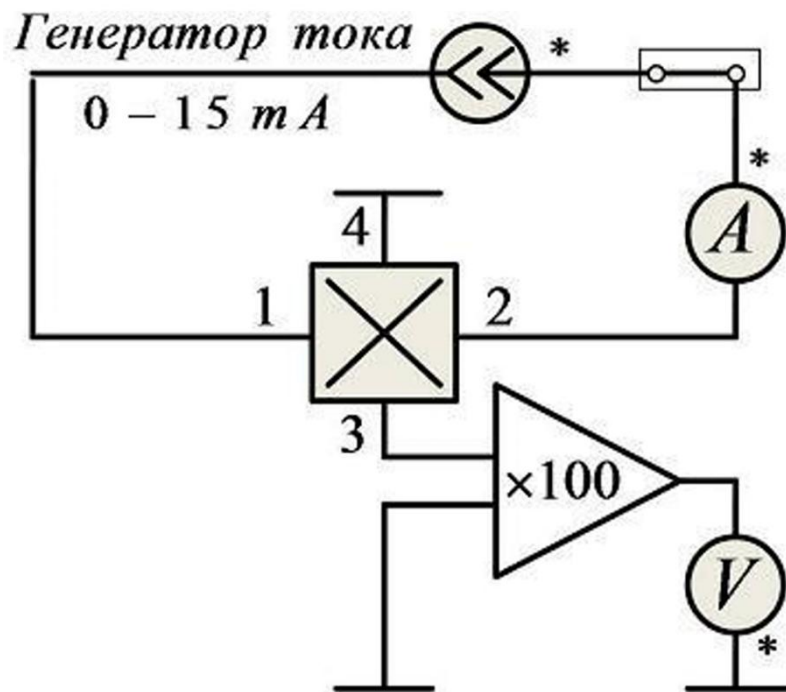


Рисунок 2, схема для измерения ЭДС Холла

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 1, $I = 1 \text{ mA}$

Измерить	$T, \text{ K}$	300	330	350
	$U_{12}, \text{ В}$	0,011	0,01	0,001
Вычислить	$1/T, 1/\text{K}$	0,003	0,003	0,003
	$\sigma, \text{ сименс}$	0,227	0,250	2,500
	$\ln \sigma$	-1,482	-1,386	0,916

Таблица 2, $T = 320 \text{ K}$, $I = 1256 \text{ мкА}$

Измерить	$B, \text{ мТл}$	2	4	12
	$U'_{34}, \text{ В}$	-0,014	-0,006	0,097
	$U''_{34}, \text{ В}$	-0,062	-0,083	-0,172
Вычислить	$U_x, \text{ В}$	0,024	0,039	0,135

Таблица 3, $T = 330 \text{ K}$, $B = 10 \text{ мТл}$

Измерить	$I, \text{ мкА}$	413	610	814
	$U'_{34}, \text{ В}$	0,031	0,046	0,061
	$U''_{34}, \text{ В}$	-0,06	-0,087	-0,116
Вычислить	$U_x, \text{ В}$	0,046	0,067	0,089

Таблица 4, $I = 1387 \text{ мкА}$, $B = 8 \text{ мТл}$

Измерить	$T, \text{ K}$	308	329	344
	$U'_{34}, \text{ В}$	0,041	0,068	0,07
	$U''_{34}, \text{ В}$	-0,109	-0,086	-0,074
Вычислить	$U_x, \text{ В}$	0,075	0,077	0,072

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Заполним таблицу 1.

Для этого вычислим электропроводность σ и величину $\ln\sigma$ для каждого значения T .

Для первого столбца получим

$$\sigma = \frac{IL_{12}}{U_{12}bd} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{0,011 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 0,227 \text{ сименс}$$

Заполним таблицы 2–4, вычислим ЭДС Холла

Для первого столбца таблицы 2 получим:

$$U_x = \frac{U'_{34} - U''_{34}}{2} = \frac{-0,014 + 0,062}{2} = 0,024 \text{ В}$$

Заполним таблицу 5.

Оценим постоянную холла, используя формулу напряжение Холла

$$U_x = R_x \frac{IB}{b} \Rightarrow R_x = \frac{bU_x}{IB}$$

Для первого значения получаем

$$R_x = \frac{bU_x}{IB} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,075}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 18,75 \text{ мЗ/Кл}$$

Оценим концентрацию свободных электронов, используя формулу для расчёта постоянной Холла

$$R_x = \alpha \frac{1}{q_e n} \Rightarrow n = \alpha \frac{1}{q_e R_x}$$

Для первой строки получим

$$n = \alpha \frac{1}{q_e R_x} = 1,93 \cdot \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 18,75} = 6,43 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$$

Наконец оценим подвижность носителей тока используя формулу электропроводности

$$\sigma = q_e n \mu \Rightarrow \mu = \frac{\sigma}{q_e n}$$

Для первой строки получим

$$\mu = \frac{\sigma}{q_e n} = \frac{0,227}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,43 \cdot 10^{17}} = 2,207 \text{ м}^3 \cdot \text{сименс/Кл}$$

Таблица 5, Результаты вычислений

$T, \text{ К}$	308	329	344
$R_x, \text{ м}^3 / \text{ Кл}$	18,75	19,25	18
$n, \text{ м}^{-3}$	$6,43 \cdot 10^{17}$	$6,27 \cdot 10^{17}$	$6,70 \cdot 10^{17}$
$\mu, \text{ м}^3 \cdot \text{сименс/Кл}$	2,207	2,493	23,316

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

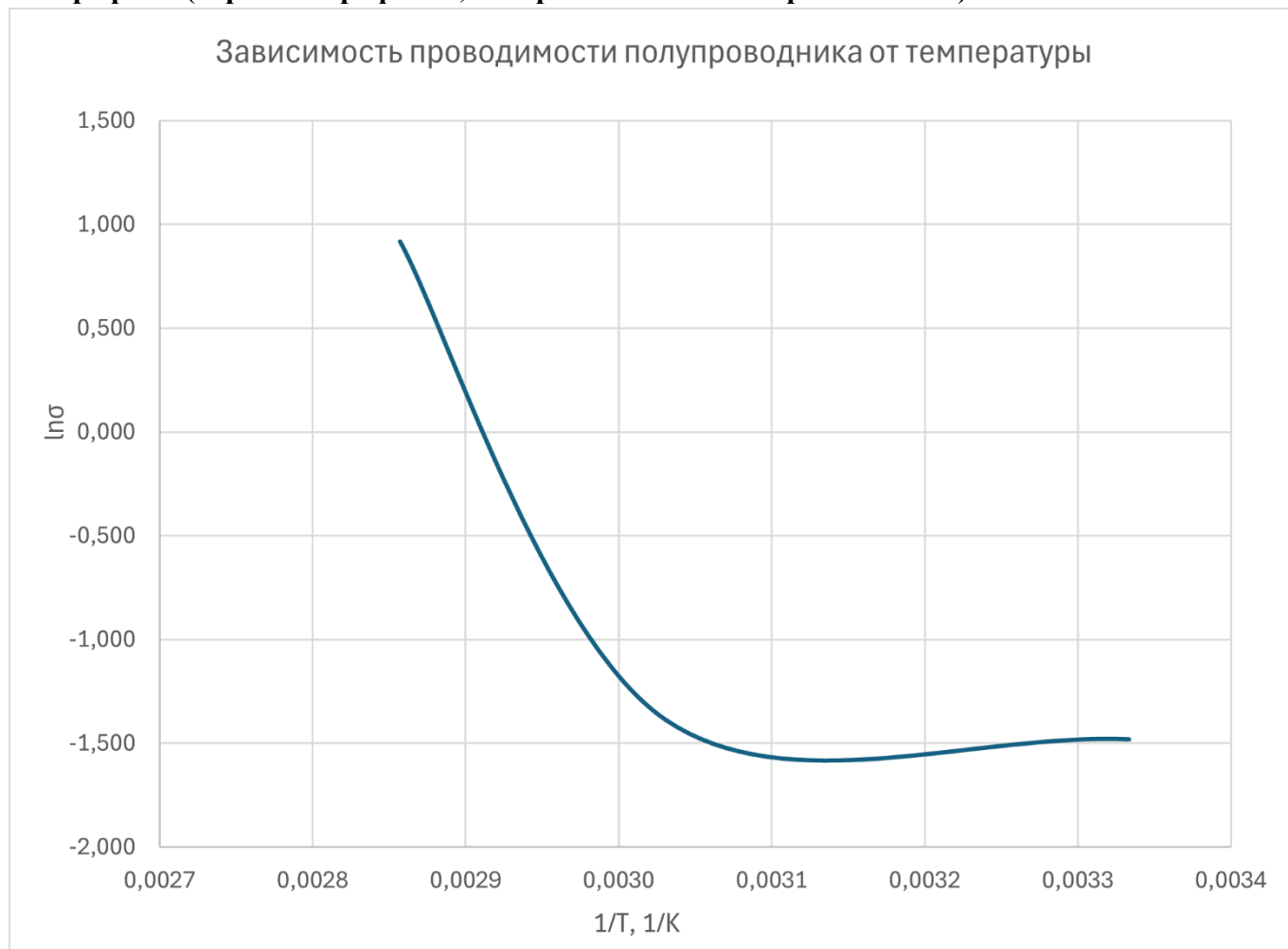


Рисунок 3, график зависимости проводимости полупроводника от температуры

12. Окончательные результаты.

- Зависимость электропроводности σ от температуры T соответствует теоретическим ожиданиям.
- Концентрация носителей n и подвижность μ рассчитаны для различных температур. Значения n находятся в диапазоне от $6,27 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ до $6,70 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, что соответствует примесному полупроводнику.
- Экспериментально изучен эффект Холла в примесном полупроводнике. Установлено, что полупроводник относится к р-типу, так как во всех измерениях ЭДС Холла U_x имеет положительный знак.

13. Выводы и анализ результатов работы.

Изучен эффект Холла в примесном полупроводнике, определены концентрация носителей n , их подвижность μ и тип полупроводника (р-тип). Полученные результаты соответствуют теоретическим ожиданиям.