

Группа 3220

К работе допущен _____

Студент Гафурова Ф. Ф.

Работа выполнена _____

Преподаватель Терещенко Г. В.

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. Изучение эффекта Холла в примесных полупроводниках.
2. Измерение продольного напряжения при различных температурах и вычисление электропроводности и ее логарифма.
3. Исследование зависимости ЭДС Холла от величины магнитного поля при постоянной силе тока и температуре.
4. Исследование зависимости ЭДС Холла от величины тока при постоянной величине магнитного поля и температуре.
5. Исследование зависимости ЭДС Холла от температуры при постоянных величинах магнитного поля и тока.
6. Оценка постоянной Холла, концентрации свободных электронов и подвижности носителей тока для различных температур.
7. Определение типа полупроводников по знаку ЭДС Холла.

3. Объект исследования:

Объектом исследования является примесный полупроводник, используемый в виде образца для демонстрации эффекта Холла, что позволяет определить концентрацию и подвижность основных носителей тока.

4. Метод экспериментального исследования

- Методика эксперимента основывается на последовательном проведении следующих этапов:
- Измерение продольного напряжения между точками 1 и 2 образца для определения его электропроводности по формуле

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

- Измерение ЭДС Холла U_x , возникающей при приложении поперечного магнитного поля к образцу. Для исключения вклада дополнительной продольной разности потенциалов проводятся измерения при двух противоположных направлениях вектора индукции с последующим вычислением

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

- Проведение измерений в заданном температурном диапазоне с обеспечением температурного контроля.
- Использование неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 100 для усиления слабого сигнала с датчика Холла.

5. Измерительные приборы

Наименование	Кол-во
Блок амперметра-вольтметра АВ1	1 шт.
Блок генератора напряжений ГНЗ	1 шт.
Стенд с объектами исследования СЗ-ЭХ01	1 шт.
Соединительные провода с наконечниками	6 шт.

6. Схема установки

1. Собрать схему для измерения продольного напряжения U_{12} между точками 1 и 2 образца (см. рис. 1). Подключить блок амперметра-вольтметра АВ1 и блок генератора напряжений ГНЗ для создания необходимого тока.
2. Установить образец (СЗ-ЭХ01) в магнитном поле, обеспечив возможность изменения направления вектора магнитной индукции для измерения ЭДС Холла.
3. Подключить измерительные зонды для регистрации напряжения между точками 3 и 4, а также предусмотреть схему для устранения вклада продольной разности потенциалов (см. рис. 2).
4. Организовать температурный контроль образца для проведения измерений в диапазоне от комнатной температуры до 380 К.

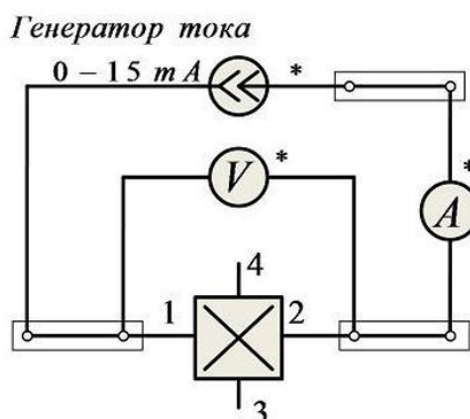


Рисунок 1. Рабочая схема для исследования электропроводимости образца

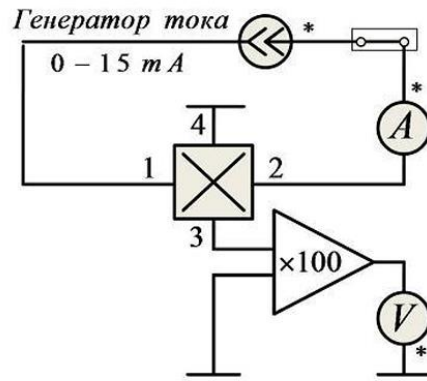


Рисунок 2. Рабочая схема для измерения ЭДС Холла

7. Рабочие формулы и исходные данные:

Электропроводность образца σ – величина обратная его удельному сопротивлению ρ :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Удельное сопротивление входит в формулу для сопротивления образца между точками 1 и 2:

$$R_{12} = \rho \frac{L_{12}}{bd}$$

где L_{12} – расстояние между точками 1 и 2 образца (10 мкм);

bd – площадь поперечного сечения образца (2 на 2 мм).

По закону Ома сопротивление, сила тока и продольное напряжение между точками 1 и 2 связаны между собой соотношением:

$$IR_{12} = U_{12}$$

Формула для экспериментального определения электропроводности образца.

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

При изменении направления вектора магнитной индукции \vec{B} на противоположное, при сохранении направлении тока I , знак ЭДС Холла U_x изменяется, а знак продольной разности потенциалов ΔU не изменяется. Следовательно, при одном направлении \vec{B} напряжение между точками 3 и 4, будет составлять:

$$U'_{34} = U_x + \Delta U$$

А при обратном направлении \vec{B} :

$$U''_{34} = -U_x + \Delta U$$

Вычтем из первого выражения второе и вырази U_x :

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

U_x – ЭДС Холла, ΔU – продольная разность потенциалов

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

Таблица 1 – вычисление электропроводности

Измерить	Т, К	303	330	365
	U_{12} , В	–0,022	0,005	0,05
Вычислить	$1/T$, 1/К	0,0033	0,00303	0,0027
	σ , сименс	0,145	0,637	0,064
	$\ln(\sigma)$	–1,933	–0,452	–2,754

$$I = 10^{-3} \text{ А}, L_{12} = 10 \text{ мкм} = 10^{-5} \text{ м}$$

Пример расчета:

$$\sigma = \frac{IL_{12}}{U_{12}bd} = \frac{10^{-3} * 10^{-5}}{0,022 * 3,14 * 10^{-6}} = 0,145$$

Таблица 2 – зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля

Измерить	В, мТл	15	83	115
	U'_{34} , В	–0,03	–0,16	–0,21
	U''_{34} , В	0,01	0,13	0,19
Вычислить	U_x , В	–0,02	–0,145	–0,2

$$T = 303 \text{ К}, I = 1.881 * 10^{-3} \text{ А}$$

Пример счета:

$$U_x = \frac{U'_{34} - U''_{34}}{2} = \frac{-0,03 - 0,01}{2} = -0,02$$

Таблица 3 – зависимость ЭДС Холла от величины тока

Измерить	I , мкА	1267	1787	601
	U'_{34} , В	–0,019	–0,026	–0,008
	U''_{34} , В	0,007	0,011	0,003
Вычислить	U_x , В	–0,013	–0,0185	–0,0055

$$T = 303 \text{ К}, B = 0,01 \text{ Тл}$$

Пример счета:

$$U_x = \frac{U'_{34} - U''_{34}}{2} = \frac{-0,019 - 0,007}{2} = -0,013$$

Таблица 4 – зависимость ЭДС Холла от температуры

	T, K	310	334	352
Измерить	U'_{34}, B	−0,018	−0,012	−0,019
	U''_{34}, B	0,019	0,026	0,053
Вычислить	U_x, B	−0,0185	−0,019	−0,017

$$I = 1,785 * 10^{-3} A, B = 0,01 \text{ Тл}$$

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

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

$$\text{Для } T = 310 \text{ K: } R_x = \frac{-0,0185 * 2 * 10^{-3}}{1,785 * 10^{-3} * 10^{-2}} = -2,073 \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$\text{Для } T = 334 \text{ K: } R_x = \frac{-0,019 * 2 * 10^{-3}}{1,785 * 10^{-3} * 10^{-2}} = -2,129 \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$\text{Для } T = 352 \text{ K: } R_x = \frac{-0,017 * 2 * 10^{-3}}{1,785 * 10^{-3} * 10^{-2}} = -1,905 \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$n = \frac{a}{q_e R_x}$$

$$\text{Для } T = 310 \text{ K: } n = \frac{1,93}{1,60217663 * 10^{-19} * (-2,073)} = -5,811 * 10^{18} \text{ м}^{-3}$$

$$\text{Для } T = 334 \text{ K: } n = \frac{1,93}{1,60217663 * 10^{-19} * (-2,129)} = -5,658 * 10^{18} \text{ м}^{-3}$$

$$\text{Для } T = 352 \text{ K: } n = \frac{1,93}{1,60217663 * 10^{-19} * (-1,905)} = -6,323 * 10^{18} \text{ м}^{-3}$$

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

$$\text{Для } T = 310 \text{ K: } \mu = \frac{0,144}{1,60217663 * 10^{-19} * (-5,811) * 10^{18}} = -0,155 \frac{\text{м}^2}{\text{В}} * C$$

$$\text{Для } T = 334 \text{ K: } \mu = \frac{0,144}{1,60217663 * 10^{-19} * (-5,658) * 10^{18}} = -0,159 \frac{\text{м}^2}{\text{В}} * C$$

$$\text{Для } T = 352 \text{ K: } \mu = \frac{0,144}{1,60217663 * 10^{-19} * (-6,323) * 10^{18}} = -0,142 \frac{\text{м}^2}{\text{В}} * C$$

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

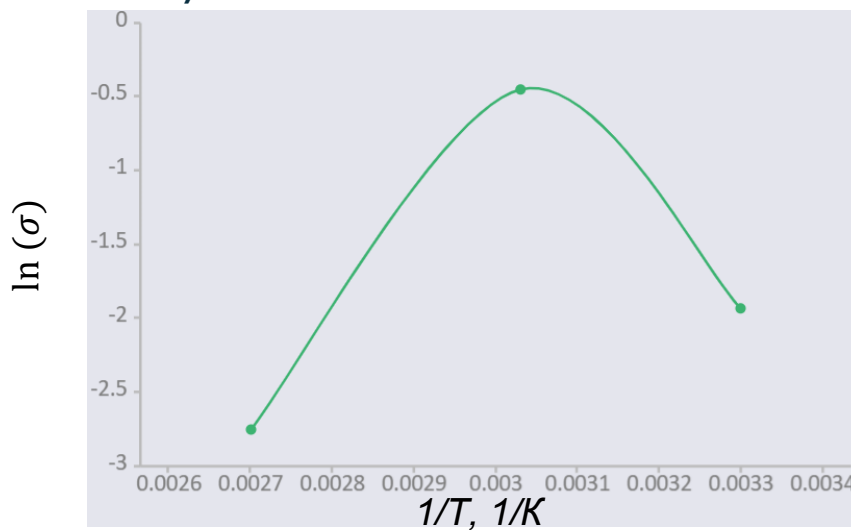


Рисунок 3. График зависимости $\ln(\sigma)$ от $1/T, 1/K$

Участок от 0,00303 до 0,0033 по $1/T$ (соответствует T от 303 до 330 К) соответствует примесной проводимости.

11. Окончательные результаты

Знак напряжения Холла U_x помогает определить тип преобладающих носителей заряда в полупроводнике. Положительное напряжение Холла указывает на то, что основными носителями являются дырки, что соответствует p – типу полупроводника. Отрицательное напряжения Холла говорит о том, что основным носителями являются электроны, что соответствует n – типу полупроводника.

В нашем случае все значения U_x имеют отрицательный знак, что указывает на то, что исследуемый образец является полупроводником n – типа, в котором электроны являются основными носителями заряда.

12. Выводы и анализ результатов работы

В процессе выполнения лабораторной работы я исследовала эффект Холла в примесных полупроводниках и познакомилась с методом определения концентрации и подвижности основных носителей тока с использованием этого эффекта. Я рассчитала напряжение Холла, постоянную Холла, электропроводность, концентрацию свободных электронов в проводнике и подвижность носителей тока. Данный для экспериментов полупроводник оказался n – типа.