

Группа	Р3207	К работе допущен	
Студент	Садовой Г. В.	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. Исследовать зависимость электропроводности σ от температуры T и определить диапазон температур, соответствующий одному типу проводимости.
- 2. Исследовать зависимость ЭДС Холла U_x от:
 - А) Магнитного поля B при постоянной силе тока I и температуре T .
 - В) Силы тока I при постоянном магнитном поле B и температуре T .
 - С) 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

Объектом исследования является эффект Холла в примесных полупроводниках.

4 Метод экспериментального исследования

- 1. Измерить продольное напряжение U_{12} при изменении температуры T от комнатной до 365 К.
- 2. Измерить U_{34}' и U_{34}'' при двух противоположных направлениях магнитного поля B .
- 3. 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:

$$U_x = R_x \frac{IB}{b} \quad (1)$$

где I – сила тока, протекающего через образец;

B – индукция магнитного поля;

b – толщина образца (размер по магнитному полю);

R_x – постоянная Холла, зависящая от рода вещества.

Электропроводность:

$$\sigma = q_e n \mu \quad (2)$$

где n – концентрация свободных электронов μ – подвижность носителей тока $\mu = \frac{V_{др}}{E}$, где $V_{др}$ – дрейфовая скорость носителей тока при напряженности электрического поля E Постоянная Холла:

$$R_x = a \frac{1}{q_e n'} \quad (3)$$

где $a = 1,93$ – поправочный множитель (учитывает механизм рассеяния носителей тока в полупроводнике) $\mu \sim T^{\frac{3}{2}}$

$$n = n_0 \exp\left(\frac{-\Delta E_a}{k_B T}\right)$$

где: ΔE_a – энергия активации примеси

k_B – постоянная Больцмана

Электропроводность образца σ – величина, обратная удельному сопротивлению ρ – $\sigma = \frac{1}{\rho}$ Сопротивление образца между точками 1 и 2:

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

где $L_{12} = 10$ мм – расстояние между точками 1 и 2,

$bd = 2$ на 2 мм – площадь поперечного сечения образца $IR_{12} = U_{12}$

Из полученной системы уравнений следует рабочая формула для экспериментального определения электропроводности:

$$\sigma = \frac{IL_{12}}{U_{12}bd} \quad (4)$$

При одном направлении индукции магнитного поля \vec{B}

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

При обратном:

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

Вычтем из первого выражения второе и выразим U_x

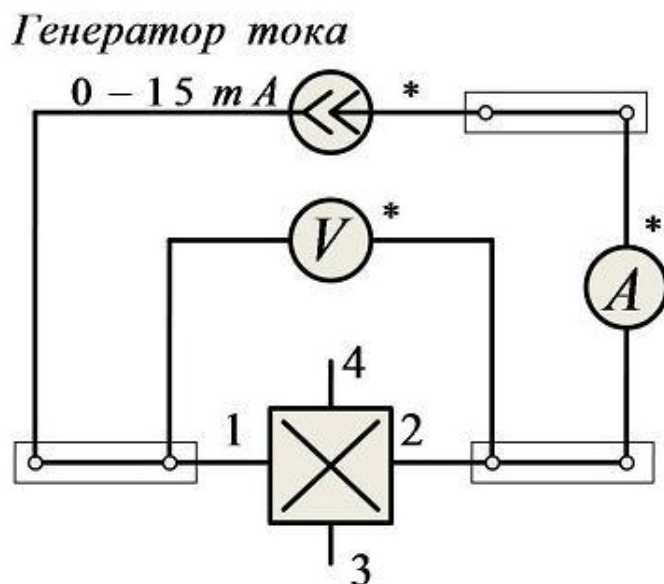
$$U_x = \frac{U_{34}' - U_{34}''}{2} \quad (5)$$

6 Измерительные приборы

Таблица 1: Измерительные приборы

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Погрешность
Блок амперметра-вольтметра АВ1	Напряжение: 0–20 В Ток: 0–2000 мкА	0.01 В 1 мкА	±0.1 % ±0.2 %
Блок генератора напряжений ГНЗ	0–10 В	0.1 В	±0.5 %
Стенд с объектами исследования СЗ-ЭХ01	300–400 К	1 К	±1 К
Вольтметр (для измерения U_{12})	0–2 В	0.001 В	±0.01 В
Вольтметр (для измерения U_{34})	0–20 В	0.01 В	±0.05 В

7 Схема установки



В состав установки входят:

1. Блок амперметра-вольтметра АВ1 – 1 шт.
2. Блок генератора напряжений ГНЗ – 1шт.
3. Стенд с объектами исследования СЗ-ЭХ01 – 1 шт.
4. Соединительные провода с наконечниками – 6 шт.

8 Результаты прямых измерений и их обработки

Таблица 1: I=1мА

Измерить	T, К	300	315	330	340	350	360
	U ₁₂ , В	1,89	2,07	2,28	2,42	2,57	2,72
Вычислить	1/T, 1/К	0,00333	0,00317	0,00303	0,00294	0,00286	0,00278
	σ, сименс	0,00132	0,00121	0,00110	0,00103	0,00097	0,00092
	lnσ	-6,62804	-6,71901	-6,81564	-6,87523	-6,93537	-6,99210

Вычислим электропроводность σ по формуле (4) и величину lnσ для каждого значения T. Пример расчета для T = 300:

$$\sigma = \frac{I L_{12}}{U_{12} b d} = \frac{1 \cdot 10^{-3} * 10 * 10^{-6}}{1,89 * 2 * 10^{-3} * 2 * 10^{-3}} \approx 0,00132$$

Вычислим ЭДС Холла U_x при постоянной силе тока I и постоянной температуре T из выбранного диапазона.

Таблица 2: T=300К, I=1200 мкА

Измерить	B, мТл	2	4	6	8	10	12
	U' ₃₄ , В	-0,014	-0,006	0,025	0,052	0,074	0,097
	U'' ₃₄ , В	-0,062	-0,083	-0,106	-0,125	-0,15	-0,172
Вычислить	U _x , В	0,024	0,039	0,066	0,089	0,112	0,135

Пример расчета для B=2мТл:

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

Вычислим ЭДС Холла при постоянной величине магнитного поля B и постоянной температуре T из выбранного диапазона.

Таблица 3: T=300К, B=12мТл

Измерить	I, мкА	413	502	610	718	814	919
	U' ₃₄ , В	0,031	0,038	0,046	0,054	0,061	0,076
	U'' ₃₄ , В	-0,06	-0,073	-0,087	-0,103	-0,116	-0,125
Вычислить	U _x , В	0,046	0,056	0,067	0,079	0,089	0,101

Вычислим ЭДС Холла при постоянной величине магнитного поля B и постоянном токе I.

Таблица 4: I=1мА, B=8мТл

Измерить	T, К	308	316	329	344	349	360
	U' ₃₄ , В	0,041	0,056	0,068	0,07	0,075	0,088
	U'' ₃₄ , В	-0,109	-0,092	-0,086	-0,074	-0,07	-0,062
Вычислить	U _x , В	0,075	0,074	0,077	0,072	0,0725	0,075

Вычислим по формуле (1) значения R_x для различных температур:

$$U_x = R_x \frac{IB}{b} \Rightarrow R_x = \frac{U_x b}{IB} = \frac{0,075 * 2 * 10^{-3}}{1 * 10^{-3} * 8 * 10^{-3}} = 1875 \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

Таблица 5: Результаты вычислений

T, K	308	316	329	344	349	360
$R_x, \text{м}^3/\text{Кл}$	18,75	18,5	19,25	18	18,125	18,75
$n, \text{м}^{-3}$	$6,43 \cdot 10^{17}$	$6,52 \cdot 10^{17}$	$6,27 \cdot 10^{17}$	$6,70 \cdot 10^{17}$	$6,66 \cdot 10^{17}$	$6,43 \cdot 10^{17}$
$\mu, \text{м}^3 \text{ сименс/Кл}$	0,01285	0,01158	0,01094	0,00963	0,00914	0,00893

Оценим по формуле (3) значения n (концентрация свободных электронов) для различных температур:

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

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

Оценим по формуле (2) значения μ для разных температур:

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

$$\mu = \frac{0,00132 \cdot 18,75}{1,93} \approx 0,01285 \text{ м}^3 \text{ сименс/Кл}$$

9 Графики

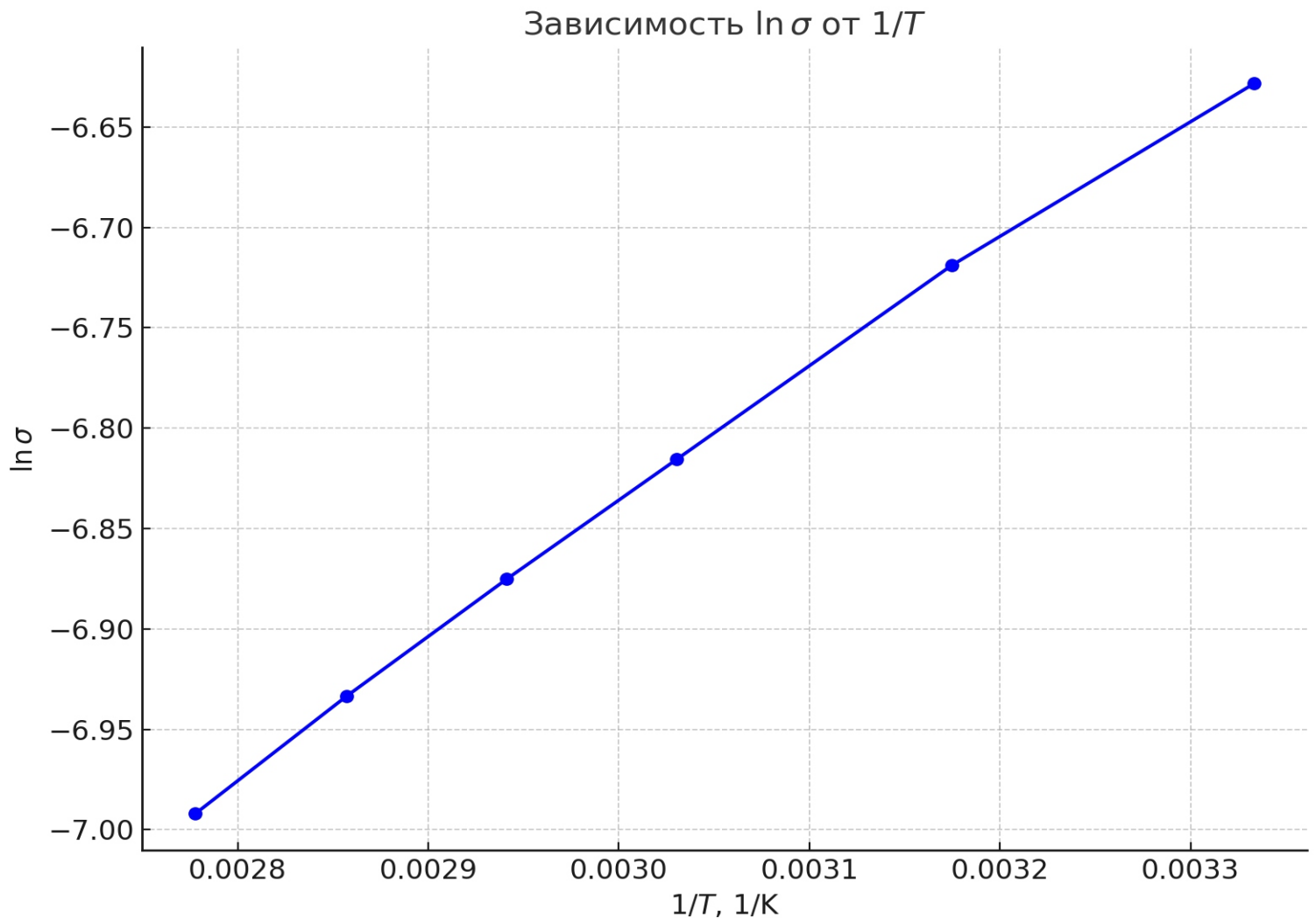


Рис.1

10 Окончательные результаты

Зависимость электропроводности от температуры T показала снижение значения σ при повышении температуры. Такое поведение противоречит теоретическим представлениям о свойствах полупроводников. Возможными причинами отклонения могут быть погрешности в проведении измерений либо особенности исследуемого образца.

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 $6,7 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, 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.

11 Выводы и анализ результатов работы

В ходе работы был исследован эффект Холла в примесном полупроводнике. Были определены концентрация носителей заряда n , их подвижность μ , а также установлен тип полупроводника — р-тип. Полученные результаты в целом соответствуют теоретическим ожиданиям, за исключением аномального характера зависимости электропроводности σ от температуры.