
Группа ЭМ СУиР 2.1.1

К работе допущен _____

Студенты Румянцев А. А., Овчинников
П. А., Чебаненко Д. А.

Работа выполнена _____

Преподаватель Боярский К. К.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.08

Эффект Холла в примесных полупроводниках

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

Задачи

1. Измерить продольное напряжение между точками 1 и 2 при разных температурах
2. Построить график зависимости натурального логарифма электропроводности от обратных значений температур и определить диапазон температур, соответствующий одному типу проводимости
3. Исследовать зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля при постоянной силе тока и постоянной температуре
4. Исследовать зависимость ЭДС Холла от величины тока при постоянной величине магнитного поля и постоянной температуре
5. Исследовать зависимость ЭДС Холла от температуры при постоянной величине магнитного поля и постоянном токе
6. Оценить значения постоянных Холла, концентрации свободных электронов и подвижностей носителей тока для различных температур
7. Определить тип полупроводника по знаку напряжения Холла

Экспериментальная установка

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.

Метод экспериментального исследования

Многократные измерения

Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Вольтметр	Электроизмерительный	0 – 3,50 В	0,10 В
2	Амперметр	Электроизмерительный	0 – $1,50 \cdot 10^{-2}$ А	0,10 А

Схема установки

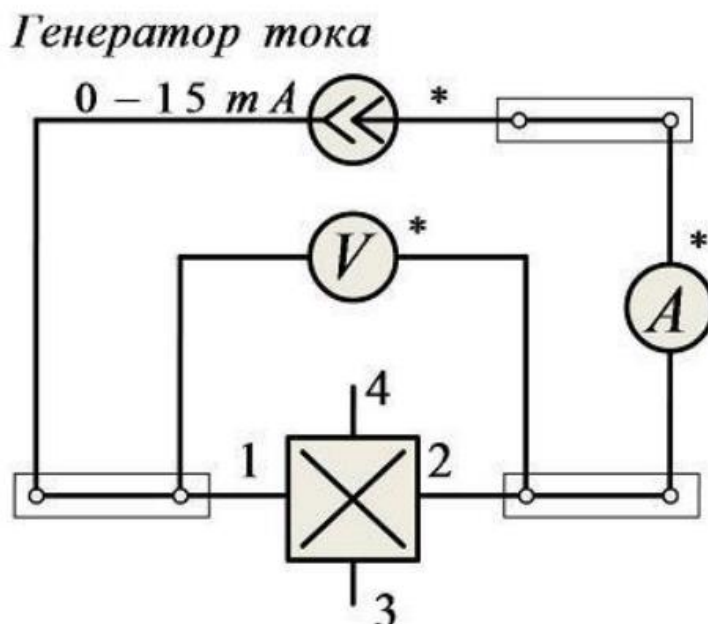


Рис. 1 Рабочая схема для исследования электропроводности образца (1, 2, 3 и 4 – точки на образце)

Результаты прямых измерений и их обработки

Таблица 1

Результаты измерения продольного напряжения U_{12} при разных значениях температуры T при постоянном значении силы тока $I = 1$ мА и вычислений $\frac{1}{T}$, электропроводности σ и $\ln(\sigma)$

Пример вычисления электропроводности, где $L_{12} = 10$ мкм – расстояние между точками 1 и 2 образца, $bd = 2$ на 2 мм – площадь поперечного сечения образца:

$$\sigma = \frac{IL_{12}}{U_{12}bd} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-5}}{2,30 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 1,09 \cdot 10^{-3}$$

T, K	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360
U_{12}, B	2,30	2,38	2,48	2,55	2,63	2,73	2,80	2,91	2,98	3,08	3,16	3,27	3,35
$1/T, 1/K$	$3,33 \cdot 10^{-3}$	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$	$3,08 \cdot 10^{-3}$	$3,03 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \cdot 10^{-3}$	$2,90 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,82 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$
σ , сименс	$1,09 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,98 \cdot 10^{-3}$	$0,95 \cdot 10^{-3}$	$0,92 \cdot 10^{-3}$	$0,89 \cdot 10^{-3}$	$0,86 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,81 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$	$0,76 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
$\ln(\sigma)$	-6,82	-6,86	-6,90	-6,93	-6,96	-7	-7,02	-7,06	-7,08	-7,12	-7,14	-7,18	-7,20

Таблица 2

Результаты исследования зависимости ЭДС Холла U_x от величины магнитного поля B при постоянной силе тока $I = 1000$ мкА и постоянной температуре $T = 300$ К и вычислений напряжения Холла U_x

Пример вычисления U_x :

$$U_x = \frac{U'_{34} - U''_{34}}{2} = \frac{1,32 \cdot 10^{-1} - 1,11 \cdot 10^{-1}}{2} = 0,11 \cdot 10^{-1} B$$

$B, \text{мТл}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U'_{34}, \text{В}$	1,20 $\cdot 10^{-1}$	1,32 $\cdot 10^{-1}$	1,41 $\cdot 10^{-1}$	1,50 $\cdot 10^{-1}$	1,60 $\cdot 10^{-1}$	1,70 $\cdot 10^{-1}$	1,80 $\cdot 10^{-1}$	1,90 $\cdot 10^{-1}$	1,98 $\cdot 10^{-1}$	2,08 $\cdot 10^{-1}$	2,17 $\cdot 10^{-1}$	2,27 $\cdot 10^{-1}$	2,37 $\cdot 10^{-1}$
$U''_{34}, \text{В}$	1,20 $\cdot 10^{-1}$	1,11 $\cdot 10^{-1}$	1,01 $\cdot 10^{-1}$	0,91 $\cdot 10^{-1}$	0,81 $\cdot 10^{-1}$	0,72 $\cdot 10^{-1}$	0,63 $\cdot 10^{-1}$	0,53 $\cdot 10^{-1}$	0,43 $\cdot 10^{-1}$	0,35 $\cdot 10^{-1}$	0,24 $\cdot 10^{-1}$	0,15 $\cdot 10^{-1}$	0,05 $\cdot 10^{-1}$
$U_x, \text{В}$	0	0,11 $\cdot 10^{-1}$	0,20 $\cdot 10^{-1}$	0,30 $\cdot 10^{-1}$	0,40 $\cdot 10^{-1}$	0,49 $\cdot 10^{-1}$	0,59 $\cdot 10^{-1}$	0,69 $\cdot 10^{-1}$	0,78 $\cdot 10^{-1}$	0,87 $\cdot 10^{-1}$	0,97 $\cdot 10^{-1}$	1,06 $\cdot 10^{-1}$	1,16 $\cdot 10^{-1}$

Таблица 3

Результаты исследования зависимости ЭДС Холла U_x от величины тока I при постоянной величине магнитного поля $B = 5 \text{ мТл}$ и постоянной температуре $T = 300 \text{ К}$ и вычислений напряжения Холла U_x (аналогично примеру в таблице 2)

$I, \text{мкА}$	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	4950
$U'_{34}, \text{В}$	0	0,74 $\cdot 10^{-1}$	1,03 $\cdot 10^{-1}$	2,43 $\cdot 10^{-1}$	3,20 $\cdot 10^{-1}$	3,98 $\cdot 10^{-1}$	4,67 $\cdot 10^{-1}$	5,34 $\cdot 10^{-1}$	5,95 $\cdot 10^{-1}$	6,55 $\cdot 10^{-1}$	6,85 $\cdot 10^{-1}$
$U''_{34}, \text{В}$	0	0,26 $\cdot 10^{-1}$	0,63 $\cdot 10^{-1}$	0,95 $\cdot 10^{-1}$	1,23 $\cdot 10^{-1}$	1,50 $\cdot 10^{-1}$	1,70 $\cdot 10^{-1}$	1,85 $\cdot 10^{-1}$	1,99 $\cdot 10^{-1}$	2,02 $\cdot 10^{-1}$	1,93 $\cdot 10^{-1}$
$U_x, \text{В}$	0	0,24 $\cdot 10^{-1}$	0,20 $\cdot 10^{-1}$	0,74 $\cdot 10^{-1}$	0,99 $\cdot 10^{-1}$	1,24 $\cdot 10^{-1}$	1,49 $\cdot 10^{-1}$	1,75 $\cdot 10^{-1}$	1,98 $\cdot 10^{-1}$	2,27 $\cdot 10^{-1}$	2,46 $\cdot 10^{-1}$

Таблица 4

Результаты исследования зависимости ЭДС Холла U_x от температуры при постоянной величине магнитного поля $B = 5 \text{ мТл}$ и постоянном токе $I = 1000 \text{ мкА}$ и вычислений напряжения Холла U_x , постоянной Холла $R_x = \frac{U_x b}{IB}$, где $b = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – толщина образца, концентрации свободных электронов $n = \frac{a}{q_e R_x}$, где $a = 1,93$ – поправочный множитель для учитывания механизма рассеяния носителей тока в полупроводнике, q_e – заряд электрона, подвижности носителей тока $\mu = \frac{\sigma}{q_e n}$

Примеры вычисления R_x , n и μ :

$$R_x = \frac{0,82 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 32,60 \quad n = \frac{1,93}{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 32,60} = 3,70 \cdot 10^{17}$$

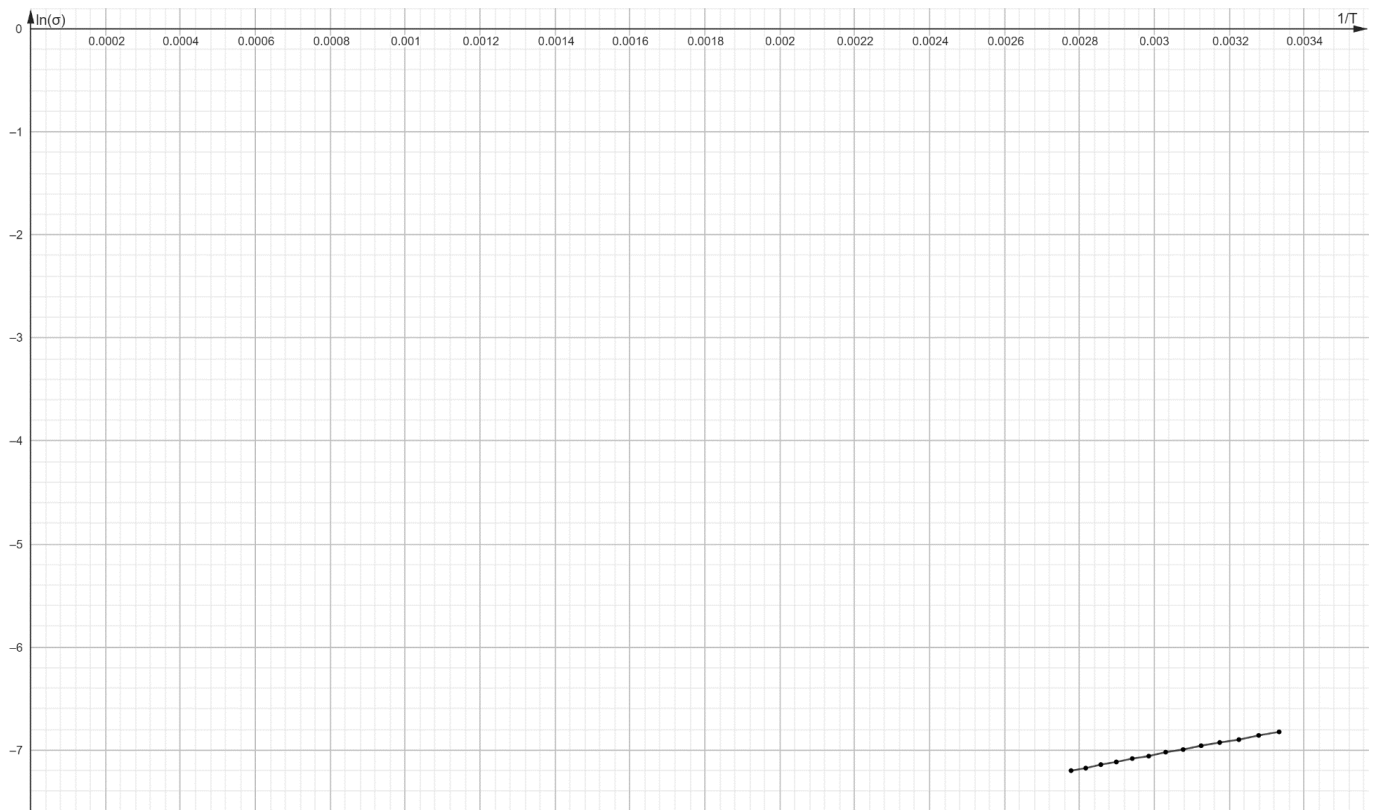
$$\mu = \frac{1,09 \cdot 10^{-3}}{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 3,70 \cdot 10^{17}}$$

$T, \text{К}$	302	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360
$U'_{34}, \text{В}$	1,63 $\cdot 10^{-1}$	1,51 $\cdot 10^{-1}$	1,29 $\cdot 10^{-1}$	1,18 $\cdot 10^{-1}$	1,16 $\cdot 10^{-1}$	1,18 $\cdot 10^{-1}$	1,24 $\cdot 10^{-1}$	1,29 $\cdot 10^{-1}$	1,24 $\cdot 10^{-1}$	1,33 $\cdot 10^{-1}$	1,34 $\cdot 10^{-1}$	1,31 $\cdot 10^{-1}$	1,35 $\cdot 10^{-1}$
$U''_{34}, \text{В}$	0	0,50 $\cdot 10^{-1}$	0,31 $\cdot 10^{-1}$	0,20 $\cdot 10^{-1}$	0,17 $\cdot 10^{-1}$	0,21 $\cdot 10^{-1}$	0,31 $\cdot 10^{-1}$	0,34 $\cdot 10^{-1}$	0,27 $\cdot 10^{-1}$	0,30 $\cdot 10^{-1}$	0,38 $\cdot 10^{-1}$	0,39 $\cdot 10^{-1}$	0,40 $\cdot 10^{-1}$
$U_x, \text{В}$	0,82 $\cdot 10^{-1}$	0,51 $\cdot 10^{-1}$	0,49 $\cdot 10^{-1}$	0,49 $\cdot 10^{-1}$	0,50 $\cdot 10^{-1}$	0,49 $\cdot 10^{-1}$	0,47 $\cdot 10^{-1}$	0,48 $\cdot 10^{-1}$	0,49 $\cdot 10^{-1}$	0,52 $\cdot 10^{-1}$	0,48 $\cdot 10^{-1}$	0,46 $\cdot 10^{-1}$	0,48 $\cdot 10^{-1}$
R_x	32,60	20,20	19,60	19,60	19,80	19,40	18,60	19	19,40	20,60	19,20	18,40	19
n	3,70 $\cdot 10^{17}$	5,96 $\cdot 10^{17}$	6,15 $\cdot 10^{17}$	6,15 $\cdot 10^{17}$	6,08 $\cdot 10^{17}$	6,21 $\cdot 10^{17}$	6,48 $\cdot 10^{17}$	6,34 $\cdot 10^{17}$	6,21 $\cdot 10^{17}$	5,85 $\cdot 10^{17}$	6,27 $\cdot 10^{17}$	6,55 $\cdot 10^{17}$	6,34 $\cdot 10^{17}$
μ	0,18 $\cdot 10^{-1}$	0,11 $\cdot 10^{-1}$	0,10 $\cdot 10^{-1}$	0,10 $\cdot 10^{-1}$	0,10 $\cdot 10^{-1}$	0,09 $\cdot 10^{-1}$	0,09 $\cdot 10^{-1}$	0,08 $\cdot 10^{-1}$	0,08 $\cdot 10^{-1}$	0,09 $\cdot 10^{-1}$	0,08 $\cdot 10^{-1}$	0,07 $\cdot 10^{-1}$	0,07 $\cdot 10^{-1}$

Знак $U_x > 0 \Rightarrow$ полупроводник примесный p -типа

Графики

График зависимости $\ln(\sigma)$ от $\frac{1}{T}$ (см. таблицу 1)



Выводы и анализ результатов работы

В ходе работы был изучен эффект Холла в примесных проводниках, определен тип проводника и изучен метод измерения концентрации и подвижности основных носителей тока в примесных полупроводниках с помощью этого эффекта; построен график $\ln(\sigma)$ от $\frac{1}{T}$