

Группа Р3213 К работе допущен _____

Студент Поленов Кирилл Александрович Работа выполнена _____

Преподаватель Терещенко Г.В. 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 ГН3 – 1 шт.
3. Стенд с объектами исследования С3-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

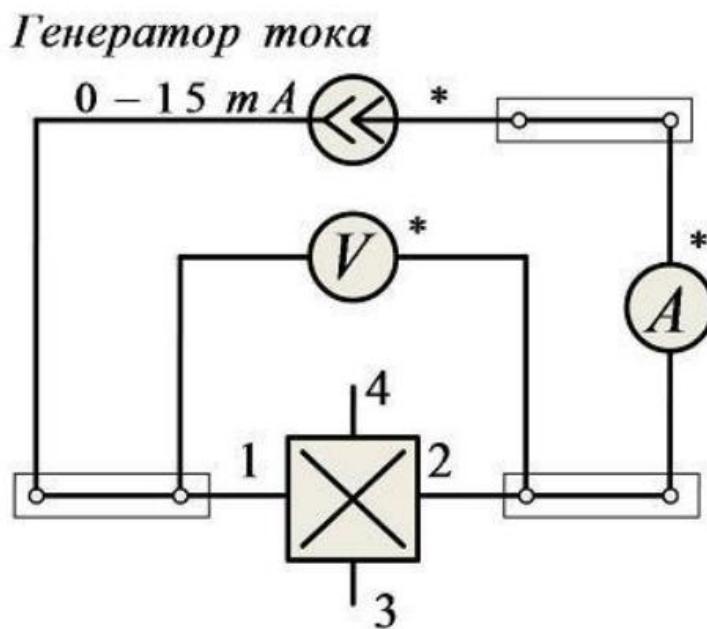


Рис. 1 Рабочая схема для исследования электропроводности образца (1, 2, 3 и 4 – точки на образце)

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
$U_{12}, В$	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
$1/T, 1/K$	$3,33 \cdot 10^{-3}$	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$	$3,08 \cdot 10^{-3}$	$3,03 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \cdot 10^{-3}$	$2,90 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,82 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$
$\sigma, \text{сименс}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,98 \cdot 10^{-3}$	$0,95 \cdot 10^{-3}$	$0,92 \cdot 10^{-3}$	$0,89 \cdot 10^{-3}$	$0,86 \cdot 10^{-3}$	$0,84 \cdot 10^{-3}$	$0,81 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$	$0,76 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
$\ln(\sigma)$	-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 :

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

$B, \text{ мТл}$	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 $B = 5$ мТл и постоянной температуре $T = 300$ 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 $B = 5$ мТл и постоянном токе $I = 1000$ мкА и вычислений напряжения Холла U_x , постоянной Холла $R_x = \frac{U_x b}{IB}$, где $b = 2 \cdot 10^{-3}$ 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 :

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

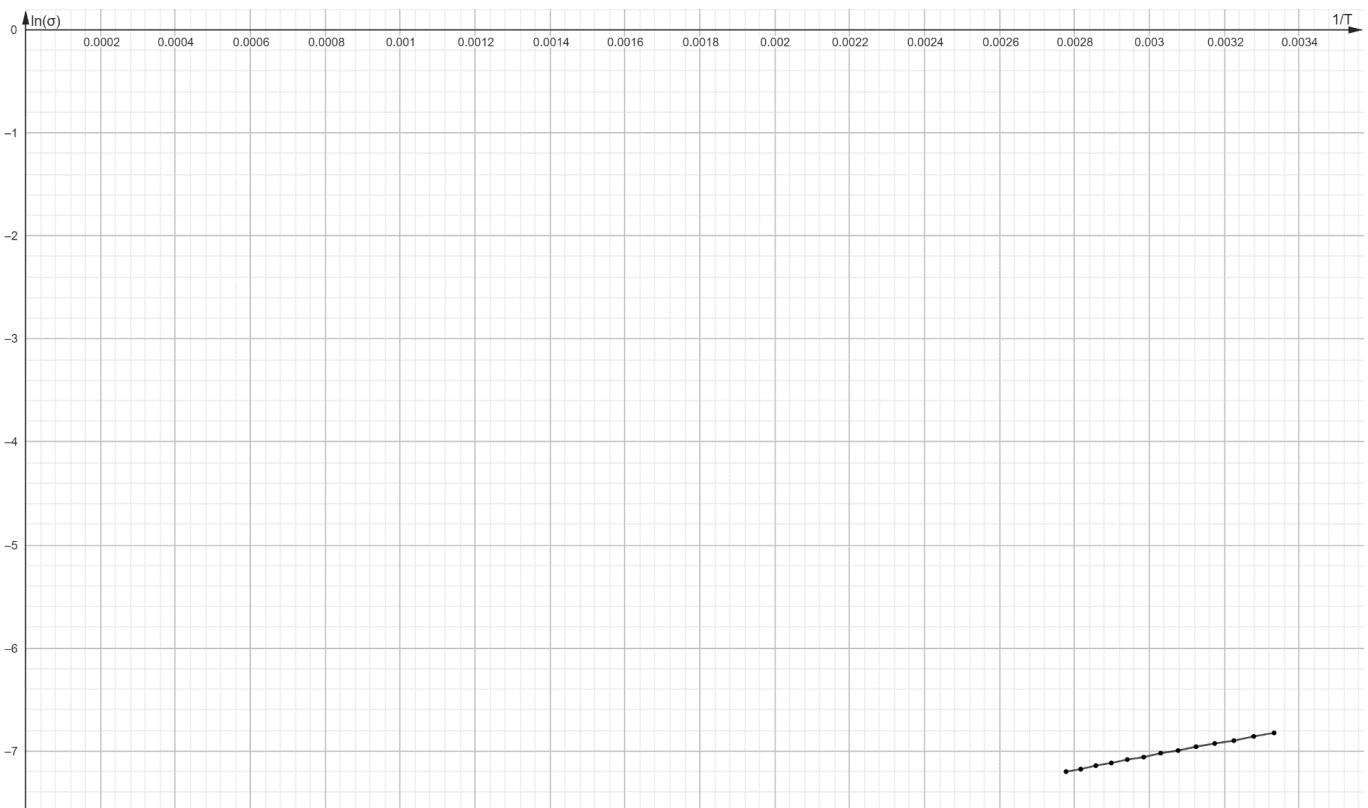
$$\mu = \frac{1,09 \cdot 10^{-3}}{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 3,70 \cdot 10^{17}}$$

T, K	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 $\frac{1}{T}$

①	Помещение	T, K	303	308	313	318	323	328	333	338	343	348
		U _{12,B}	1,98	2,06	2,14	2,21	2,28	2,35	2,42	2,48	2,56	2,63
	353	358	365									

②	B, мВ	0,09	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	U' _{34,B}	0,08	0,07	0,08	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	U'' _{34,B}	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,03

$$T = 302 \cdot 10^{-1}$$

③	I, мА	5	507	1008	1524	209	t1	t2
	U' _{34,B}	0,05	0,40	0,74	1,11		0,17	0,18
	U'' _{34,B}	0,05	-0,08	-0,22	-0,34		-0,03	-0,04

$$\cdot 10^1$$

④	T, K	306	310								
	U' _{34,B}		0,86								
	U'' _{34,B}		-0,65								

$$\cdot 10^1$$

Галенов А.А. №2

Макаров И.С. №11