

Работа 3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Гаврилин Илья Дмитриевич
Б01-101

15 ноября 2022 г.

1 Аннотация

В данной работе изучили эффект Холла на образце из германия. Замерили ЭДС Холла при различных значениях магнитной индукции, получили значение подвижности носителей тока и их концентрации. Оценили погрешности полученных величин.

2 Теоретическая справка

Суть эффекта Холла состоит в следующем. Пусть через однородную пластину металла вдоль оси x течет ток I (рис. 1).

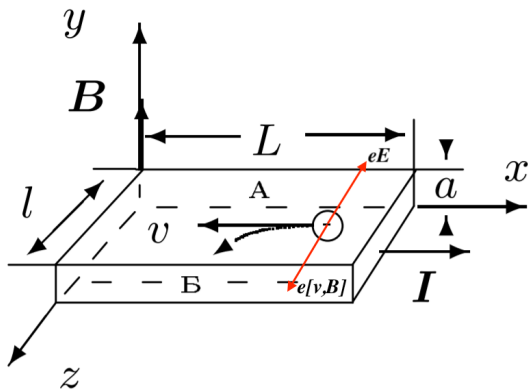


Рис. 1: Образец с током в магнитном поле
на, \vec{E} - напряженность электрического поля, B - индукция магнитного поля.

В проекции на ось z получаем

$$F_B = e|\langle v_x \rangle|B.$$

Под действием этой силы электроны отклоняются к грани Б, заряжая ее отрицательно. На грани А накапливаются нескомпенсированные положительные заряды. Это приводит к возникновению электрического поля E_z , направленного от А к Б, которое действует на электроны с силой $F_E = eE_z$. В установившемся режиме $F_E = F_B$, поэтому накопление электрических зарядов на боковых гранях пластины прекращается. Отсюда

$$E_z = |\langle v_x \rangle|B.$$

С этим полем связана разность потенциалов

$$U_{AB} = E_z l = |\langle v_x \rangle|Bl.$$

Если эту пластину поместить в магнитное поле, направленное по оси y , то между гранями А и Б появляется разность потенциалов.

В самом деле, на электрон (для простоты рассматриваем один тип носителей), движущийся со средней скоростью $\langle \vec{v} \rangle$ в электромагнитном поле, действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_L = -e\vec{E} - e\langle \vec{v} \rangle \times \vec{B},$$

где e - абсолютный заряд электро-

В этом и состоит эффект Холла.

Замечая, что сила тока

$$I = ne|\langle v_x \rangle|la,$$

найдем ЭДС Холла:

$$\mathcal{E}_X = U_{AB} = \frac{IB}{nea} = R_X \frac{IB}{a} \quad (1)$$

Константа $R_X = \frac{1}{ne}$ называется постоянной Холла.

В полупроводниках, когда вклад в проводимость обусловлен и электронами и дырками, выражение для постоянной Холла имеет более сложный вид:

$$R_X = \frac{nb_e^2 - pb_p^2}{e(nb_e + pb_p)^2},$$

где n и p - концентрации электронов и дырок, b_e b_p - их подвижности.

3 Ход работы

- 1) Подготовим экспериментальную установку в соответствии с описанием.
- 2) Изучим характеристики установки: $I_{max} = 2 \text{ A}$, $a = 1.5 \pm 0.1 \text{ mm}$, $L_{3,5} = 3.0 \pm 0.1 \text{ mm}$, $l = 1.7 \pm 0.1 \text{ mm}$, $SN = 75 \text{ см}^2 \text{ вит}$, $r_{\text{внш}} = 5 \text{ Ohm}$.

Градуировка магнита

- 3) Проведем градуировку оборудования.

U, В	13.2	26.8	40.4	53.6	67	80.9	94.8	109
I, А	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
Φ_1 , mWb	4.10	5.20	6.30	7.30	8.25	8.90	9.50	9.90
Φ_2 , mWb	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.00	3.10
$\Delta\Phi$, mWb	1.20	2.30	3.40	4.40	5.35	6.00	6.50	6.80
B, Тл	0.160	0.307	0.453	0.587	0.713	0.800	0.867	0.907

Таблица 1: Градуировка электромагнита

Рассчитав погрешность получаем: $\Delta B = 0.007 \text{ Тл}$.

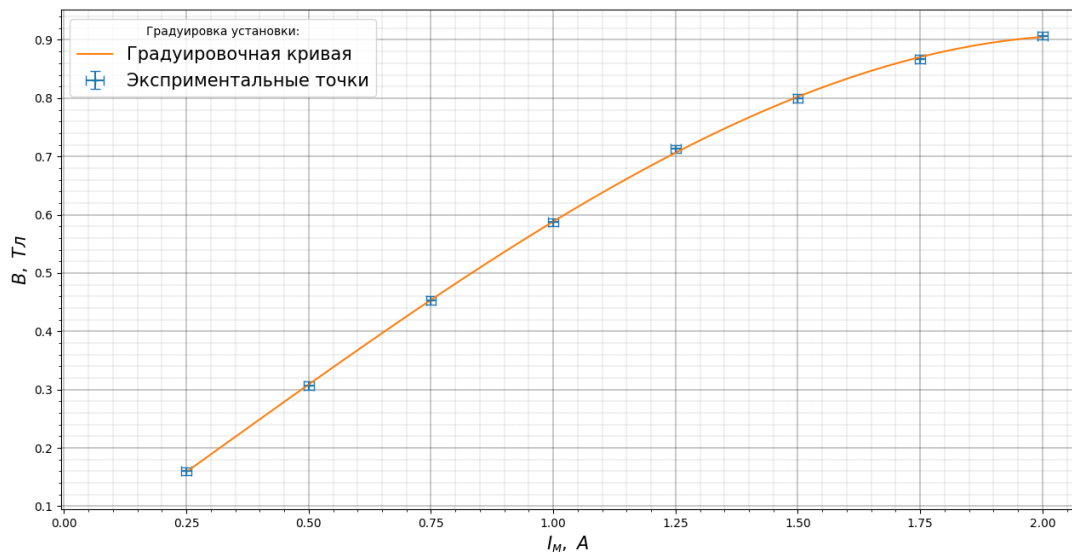


Рис. 2: Градуировка магнита

Измерение ЭДС Холла

	$B, Tл$	0.000	0.160	0.307	0.453	0.587	0.713	0.800	0.867	0.907
$I=0.3 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.026	-0.043	-0.066	-0.089	-0.109	-0.126	-0.140	-0.149	-0.156
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.017	-0.040	-0.063	-0.083	-0.100	-0.114	-0.123	-0.130
$I=0.4 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.028	-0.058	-0.090	-0.119	-0.148	-0.172	-0.189	-0.201	-0.210
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.030	-0.062	-0.091	-0.120	-0.144	-0.161	-0.173	-0.182
$I=0.5 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.036	-0.073	-0.112	-0.150	-0.183	-0.214	-0.236	-0.251	-0.263
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.037	-0.076	-0.114	-0.147	-0.178	-0.200	-0.215	-0.227
$I=0.6 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.043	-0.087	-0.135	-0.179	-0.220	-0.257	-0.283	-0.301	-0.316
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.044	-0.092	-0.136	-0.177	-0.214	-0.240	-0.258	-0.273
$I=0.7 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.050	-0.102	-0.158	-0.209	-0.257	-0.300	-0.330	-0.351	-0.367
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.052	-0.108	-0.159	-0.207	-0.250	-0.280	-0.301	-0.317
$I=0.8 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.057	-0.118	-0.179	-0.240	-0.293	-0.342	-0.376	-0.401	-0.420
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.061	-0.122	-0.183	-0.236	-0.285	-0.319	-0.344	-0.363
$I=0.9 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.064	-0.130	-0.201	-0.270	-0.331	-0.383	-0.425	-0.451	-0.473
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	-0.066	-0.137	-0.206	-0.267	-0.319	-0.361	-0.387	-0.409
$I=1 \text{ mA}$	$U, \text{ мВ}$	-0.061	0.013	0.089	0.160	0.225	0.280	0.321	0.350	0.371
	$\varepsilon_x, \text{ мВ}$	0.000	0.074	0.150	0.221	0.286	0.341	0.382	0.411	0.432

Таблица 2: Измерение ЭДС Холла

ε_x подсчитали как разность с показанием напряжения при выключенном магните.

Поиск коэффициентов наклона

По полученным данным построим графики зависимости $\varepsilon_x = f(B)$, аппроксимируем экспериментальные точки прямой, получим угловые коэффициенты наклона.

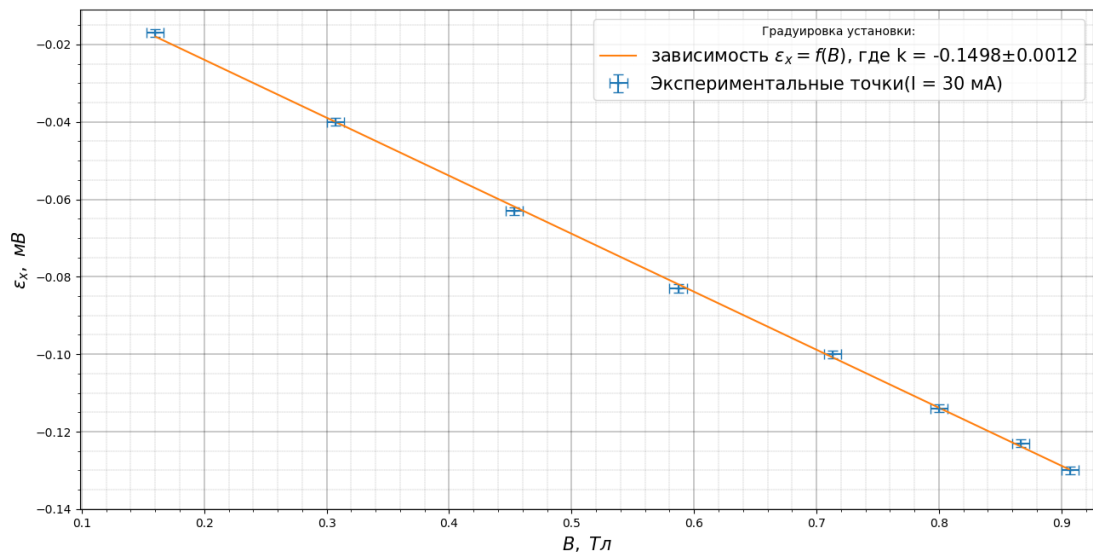


Рис. 3: Зависимость ЭДС Холла от B

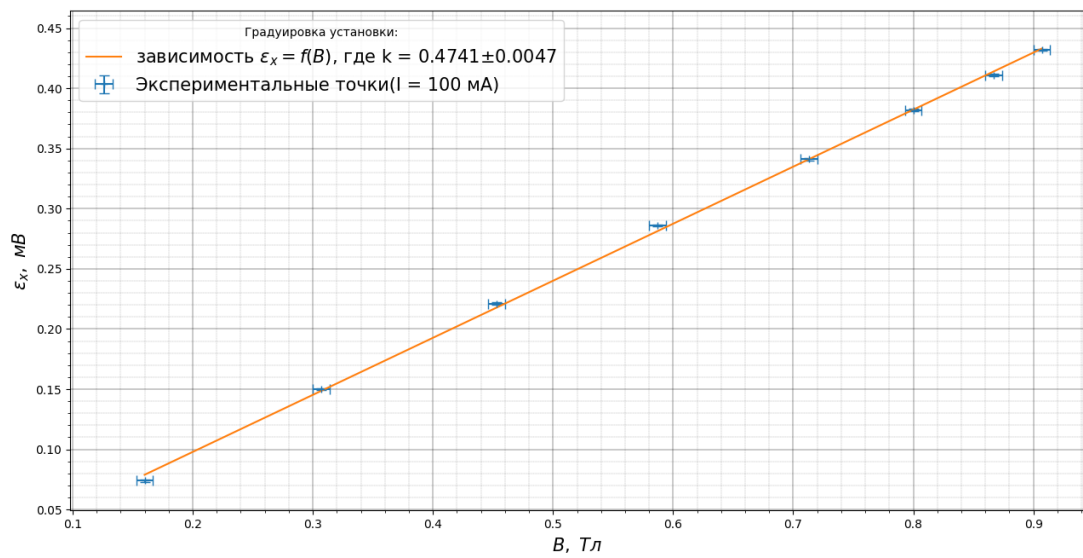
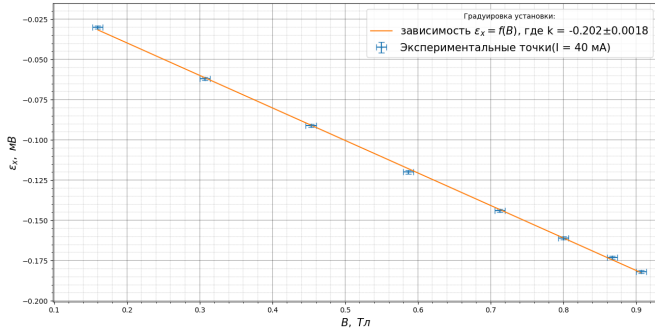
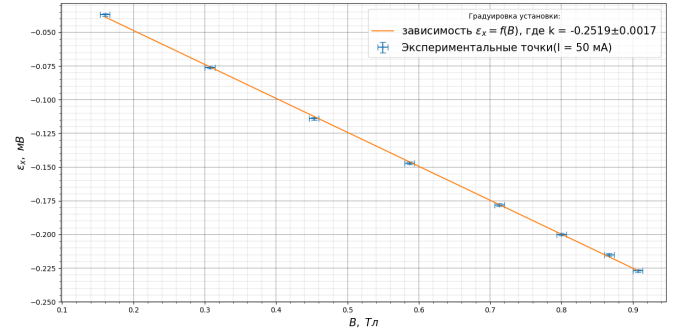


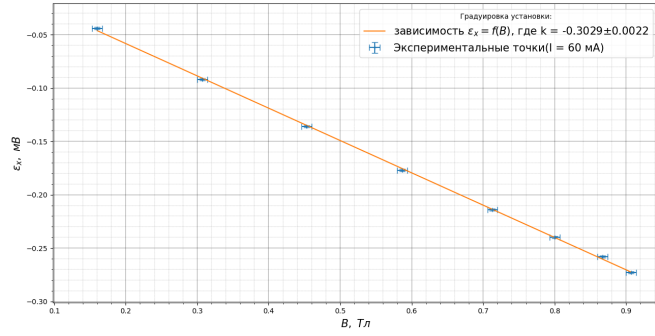
Рис. 4: Зависимость ЭДС Холла от B, при реверсивной полярности



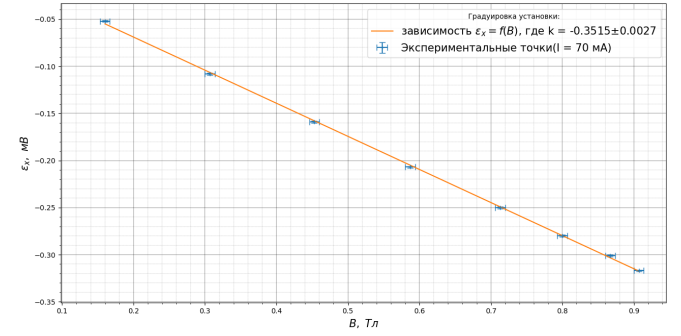
(a) $I = 0.4$ мА



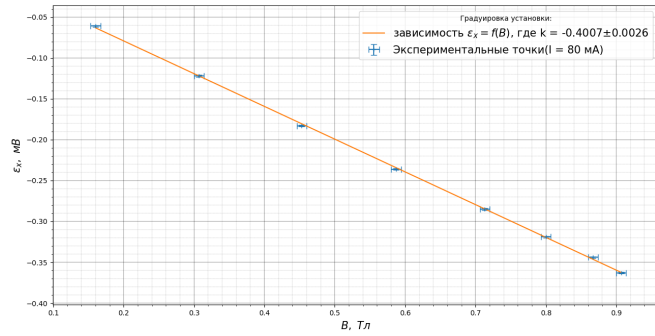
(b) $I = 0.5$ мА



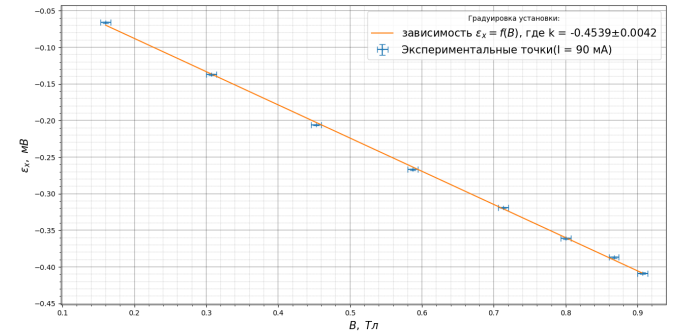
(c) $I = 0.6$ мА



(d) $I = 0.7$ мА



(e) $I = 0.8$ мА



(f) $I = 0.9$ мА

Рис. 5: Зависимость ЭДС Холла от B

Зависимость коэффициента наклона от тока

$I, \text{мА}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$k \cdot 10^{-3}, \text{В/Тл}$	0.1498	0.202	0.2519	0.3029	0.3515	0.4007	0.4539	0.4741
$\Delta k \cdot 10^{-3}, \text{В/Тл}$	0.0012	0.0018	0.0017	0.022	0.0027	0.0026	0.0022	0.0047

Таблица 3: Зависимость коэффициента наклона от тока текущего через образец

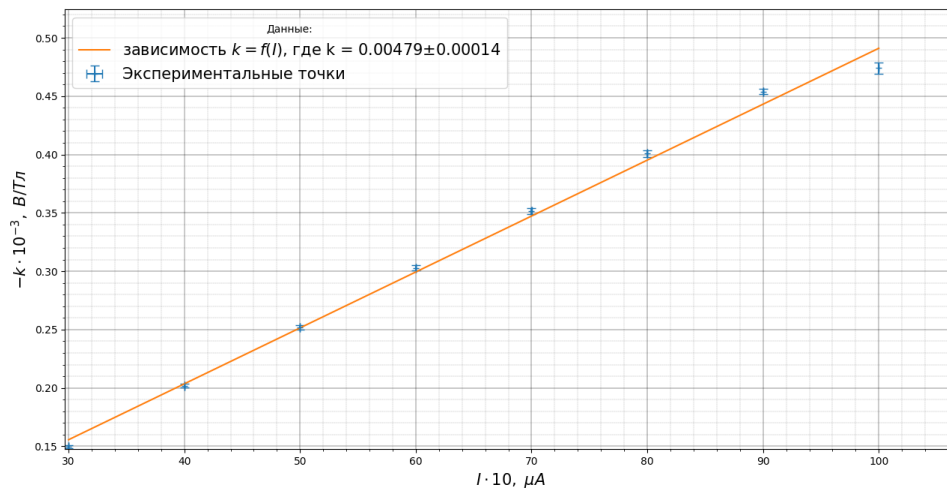


Рис. 6: Зависимость k от тока протекающего через образец

Получили $k = 0.479 \pm 0.014 \text{ В/Тл} \cdot \text{А}$.

Тогда: $R_x = (7.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$, тогда $n = (868 \pm 1) \cdot 10^{19} \text{ м}^3$.

$\sigma = (692 \pm 1.2) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$

$b = \frac{\sigma}{en} = (5000 \pm 50) \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

4 Выводы

1) Тип носителей заряда - дырочный.

3) Нашли Все требуемые характеристики полупроводника (см п.3 Зависимость коэффициента наклона от тока).