

Лабораторная работа "Эффект Холла в полупроводниках"

Шевцов Кирилл Б03-402

14 декабря 2025 г.

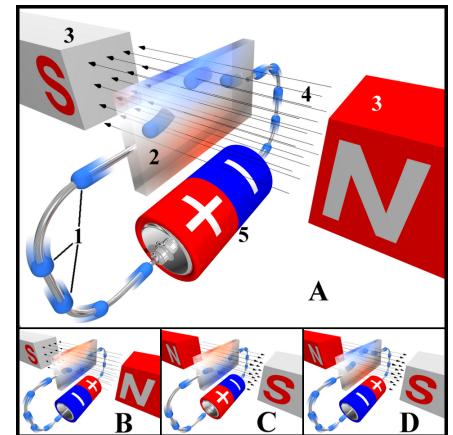
1 Эффект Холла

Эффектом Холла называется явление, при котором на краях образца, помещенного в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярного полю, возникает разность потенциалов.

Эффект Холла связан с природой носителей заряда тока в проводнике. Ток представляется как направленное движение множества носителей заряда, чаще - электронов, но существуют квазичастицы - переносящие положительный заряд.

В электромагнетизме электроны движутся в направлении, обратном направлению тока, ток - поток положительно заряженных частиц.

Во внешнем магнитном поле появляется сила, действующая на заряды - сила Лоренца.



$$\vec{F} = \frac{1}{c}q [\vec{v} \times \vec{B}] \quad (1)$$

Поскольку она направлена перпендикулярно скорости заряда, то она не совершает работы, и не меняет скорость по величине. Траектория движения заряда - окружность, радиус которой:

$$m_e \frac{v^2}{R_D} = qvB \Rightarrow R_D = \frac{m_e v}{qB} \quad (2)$$

Под действием силы Лоренца заряды начинают отклоняться к одной из боковых граней пластины, и скапливаться у одного из краев образца. Поэтому возникает электрическое поле, которое компенсирует скопление заряда у края.

$$q\vec{E} = \frac{q}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] \Rightarrow qE = \frac{q}{c} vB \Rightarrow E = cvB \quad (3)$$

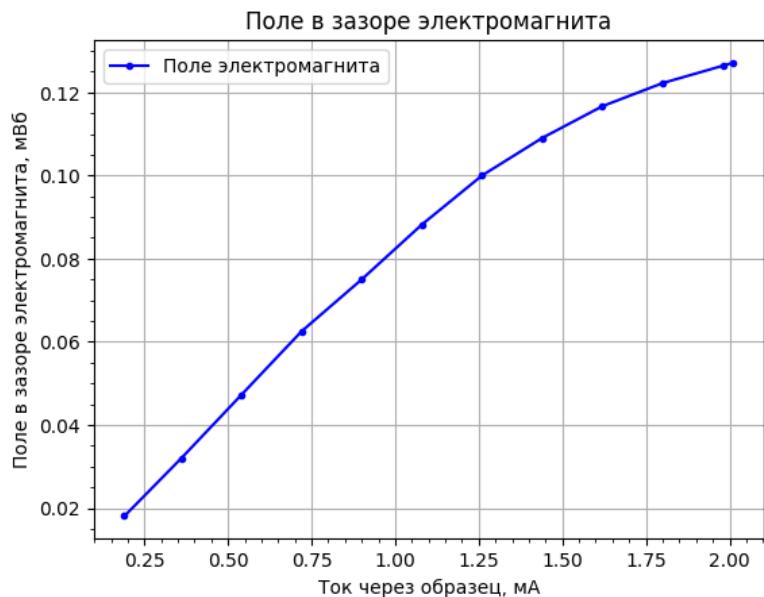
Возникающее поле образует ненулевую разность потенциалов, возникающую на краях образца. Вектор потока $j = nq\vec{v}$, тогда $E = cjB/nq$. Величину $H = (nq)^{-1}$ называют постоянной Холла.

2 Выполнение работы

- Измерим калибровочную кривую электромагнита - зависимость между индукцией в зазоре электромагнита от силы тока, текущей через образец.

J , мА	0,19	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80	1,98	2,01
Φ , мВб	-1,3	-2,3	-3,4	-4,5	-5,4	-6,35	-7,2	-7,85	-8,4	-8,8	-9,1	-9,15

Зависимость $B(J)$ полагается нелинейной



Из явления гистерезиса $B(H) \sim B(NJ) \sim B(J)$ - нелинейные функции.

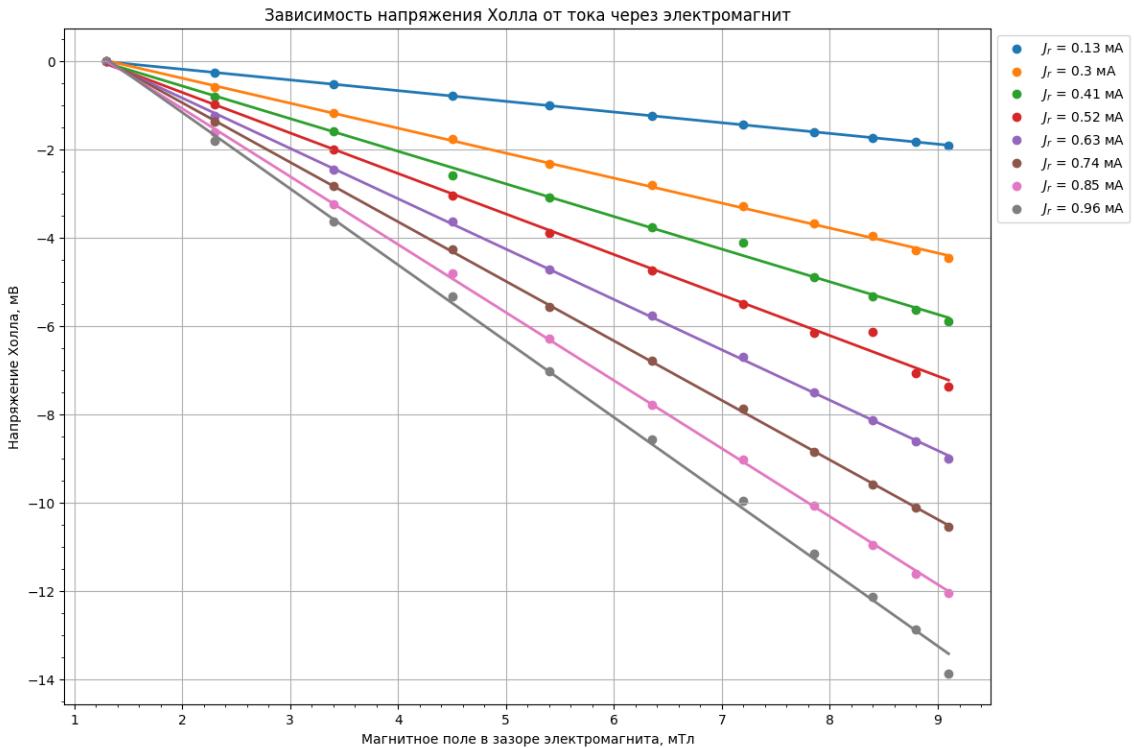
2. Измерим ЭДС Холла при разных токах J_r , текущих через образец: для этого снимем зависимость напряжение от тока J_M , текущего через электромагнит.

J_r	0,13 mA										
$U, \text{ mB}$	0,074	0,335	0,593	0,839	1,075	1,297	1,497	1,667	1,799	1,900	1,979
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,42	1,70	1,88
J_r	0,3 mA										
$U, \text{ mB}$	0,042	0,611	1,215	1,805	2,353	2,847	3,321	3,702	3,994	4,327	4,500
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,42	1,70	1,88
J_r	0,41 mA										
$U, \text{ mB}$	0,058	0,845	1,629	2,629	3,141	3,821	4,153	4,951	5,367	5,684	5,938
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,81
J_r	0,52 mA										
$U, \text{ mB}$	0,056	0,1025	2,058	3,091	3,938	4,788	5,554	6,199	6,178	7,106	7,419
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80
J_r	0,63 mA										
$U, \text{ mB}$	0,027	1,268	2,471	3,651	4,747	5,779	6,716	7,525	8,153	8,633	9,010
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80
J_r	0,74 mA										
$U, \text{ mB}$	0,035	1,395	2,852	4,295	5,591	6,814	7,891	8,879	9,616	10,147	10,572
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,79
J_r	0,85 mA										
$U, \text{ mB}$	0,033	1,639	3,257	4,826	6,309	7,816	9,037	10,096	10,972	11,626	12,062
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,79
J_r	0,96 mA										
$U, \text{ mB}$	0,035	1,821	3,663	5,353	7,042	8,595	9,991	11,177	12,158	12,893	13,893
$J_M, \text{ mA}$	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,79

Замечание: При снятии напряжения с вольтметра графики $U_H(B)$ стоит строить для измеренных напряжений за вычетом напряжения, которое измерено при нулевом токе через образец, когда в электромагнит его не вставили.

3. Носители заряда для образца, изготовленного из германия - это электроны.

4. Графики напряжения Холла от магнитного поля в зазоре, измеренные для германия.



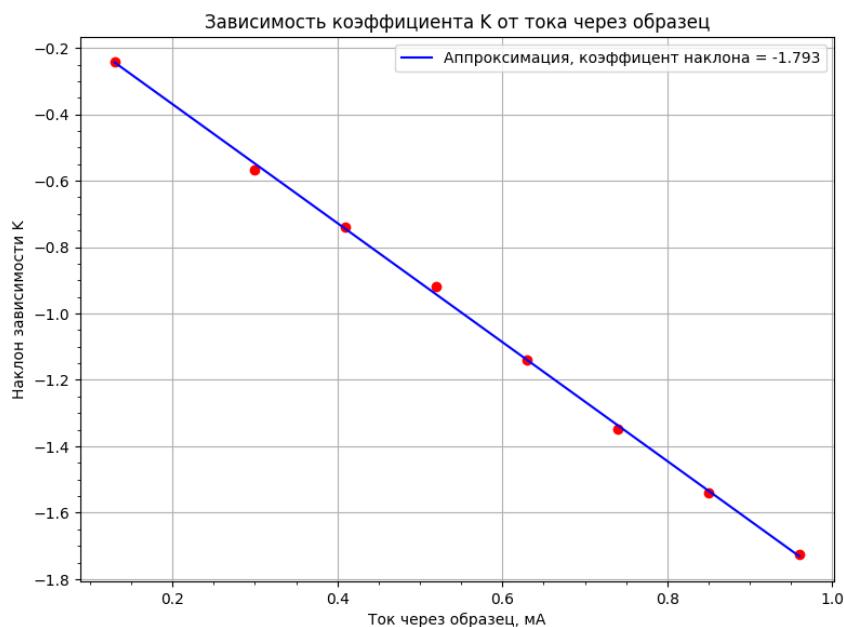
Поскольку $\Phi < 0$ и носители заряда - это электроны (то есть $H < 0$), то наклон графика напряжений от магнитного поля отрицательный.

5. Коэффициенты наклонов графика.

$J_r, \text{ mA}$	0,13	0,30	0,41	0,52	0,63	0,74	0,85	0,96
K	-0.24	-0.57	-0.74	-0.92	-1.14	-1.35	-1.54	-1.73

6. Определив коэффициенты $K = dU_H/dB = [\frac{\text{мВ}}{\text{Тл}}]$, построим график $K(J_r)$

Коэффициент, который рассчитан благодаря графику, есть искомая постоянная Холла $H = [\frac{\text{В}}{\text{Тл} \cdot \text{А}}]$.



Постоянная Холла $H = -1,793 \cdot h = -1,793 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = -3,945 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}\cdot\text{В}}{\text{T}\cdot\text{л}}$. Видим, что знак постоянной Холла зависит от знака заряда - носителя. Для электронов, как типичных носителей заряда, постоянная Холла - отрицательная.

7. Рассчитаем концентрацию n носителей тока, удельное сопротивление ρ_0 , удельную проводимость σ_0 , подвижность μ носителей.

$$n = \frac{1}{Hq} = \frac{1}{3,945 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,58 \cdot 10^{20} \text{ м}^3 = 1,58 \cdot 10^{14} \text{ см}^3 \quad (4)$$

$$\rho_0 = \frac{U_{35}ah}{J_r l} = \frac{80,831 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 0,303 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (5)$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{\rho_0} = 3,3 \frac{\text{См}}{\text{м}} \Rightarrow \mu = \frac{\sigma_0}{nq} = 0,1305 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \quad (6)$$

3 Вывод

В работе исследовалось явление Холла в полупроводниках.

1. Германий является типичным представителем полупроводников и частично проявляет ферромагнитные свойства, согласно кривой намагниченности.
2. ЭДС Холла зависит от знака носителя заряда, если это электрон - то характер проводимости электронный.
3. Носители заряда у германия - электроны.
4. Концентрация носителей заряда германия позволяет отнести его к типичным полупроводникам.
5. Электроны в проводниках движутся с малой подвижностью, что связано с их столкновениями с ионами кристаллической решетки, что уменьшает их дрейфовую скорость.