

Лабораторная работа № 3.3.6
Влияние магнитного поля на проводимость
полупроводников

Струков О. И.
Б04-404

Цель работы: измерение зависимости сопротивления полупроводниковых образцов различной формы от индукции магнитного поля.

В работе используются: электромагнит, миллитесламетр (на основе датчика Холла), вольтметр, амперметр, миллиамперметр, реостат, образцы монокристаллического антимонида индия (InSb) n-типа.

Теоретическая часть

В работе исследуется эффект зависимости сопротивления проводника от магнитного поля на примере диска Корбино.

При отсутствии магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости диска, по диску течёт ток, определяемый по закону

$$I = \frac{U}{R_0}, \quad R_0 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\sigma_0 2\pi r h}$$

Однако при включении магнитного поля индукции B на частицы-переносчики тока начинает действовать сила Лоренца, из-за чего траектория частиц увеличивается в расстоянии, проходимом между двумя точками с фиксированной разницей потенциалов U .

В этом случае проводимость равна

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0}{1 + (\mu B)^2}$$

Закон Ома преобразовывается в следующий вид:

$$I = \frac{U}{R}, \quad R = R_0(1 + (\mu B)^2)$$

Таким образом, зависимость $I(U)$ поменялась из-за геометрических особенностей диска Корбино. Такой эффект называют геометрическим магнетосопротивлением.

Отсюда можно выразить подвижность носителей заряда:

$$k = \frac{R}{B^2} = R_0 \mu^2 \quad \Rightarrow \quad \mu = \sqrt{\frac{k}{R_0}}$$

где k – угловой коэффициент зависимости $R(B^2)$, R_0 – сопротивление при $B = 0$.

Экспериментальная установка

Зависимость $R(B)$ исследуется следующим образом:

1. Производится калибровка электромагнита: находится зависимость индукции создаваемого магнитного поля от тока в контуре электродвигателя $B(I_m)$, который регистрируется амперметром A_1 , чтобы в дальнейшем считать величину магнитного поля с помощью тока в контуре I_m .
2. При постоянной силе тока I_0 , которая настраивается с помощью сопротивления реостата в контуре с источником питания, меняется величина индукции магнитного поля, тем самым меняется напряжение U , подаваемое на диск Корбино. Исследуется зависимость $R(B)$ через калибровочную кривую и зависимость $U(I_m)$.

3. Проводится тот же самый опыт с прямоугольной пластинкой с исследованием зависимости её сопротивления $R(B)$.

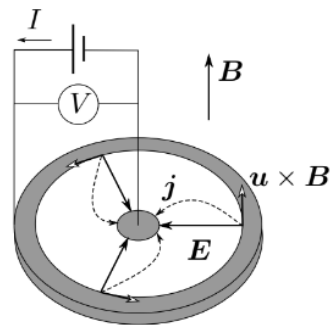


Рис. 1: Диск Корбино

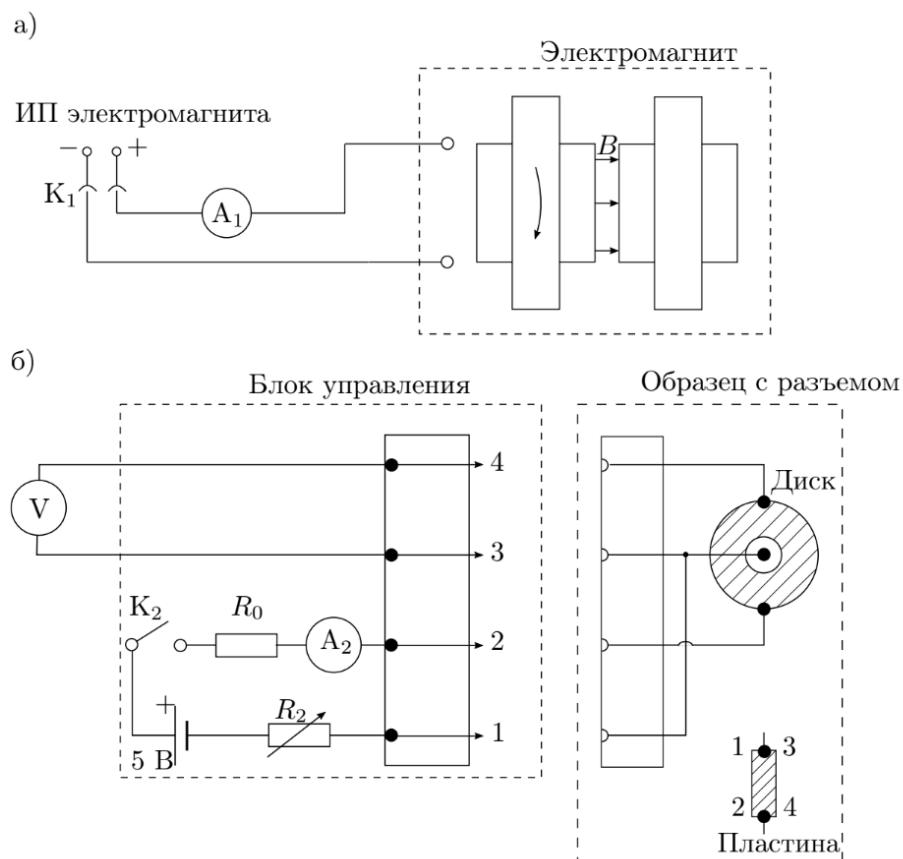


Рис. 2: Схемы экспериментальных установок

Ход работы

1. Были проведена калибровка электромагнита и получена зависимость $B(I)$, которую в рассматриваемом диапазоне значений силы тока можно аппроксимировать квадратичной функцией $B = 11,5 + 1550I - 1560I^2$ (размерность I – А, B – мТл). Экспериментальные представлены в таблице, зависимость изображена на графике.

I, A	B, mT
$(0,00 \pm 0,01)$	$(11,5 \pm 0,1)$
$(0,08 \pm 0,01)$	$(120,3 \pm 0,1)$
$(0,11 \pm 0,01)$	$(151,8 \pm 0,1)$
$(0,16 \pm 0,01)$	$(222,4 \pm 0,1)$
$(0,23 \pm 0,01)$	(288 ± 1)
$(0,29 \pm 0,01)$	(340 ± 1)
$(0,38 \pm 0,01)$	(368 ± 1)

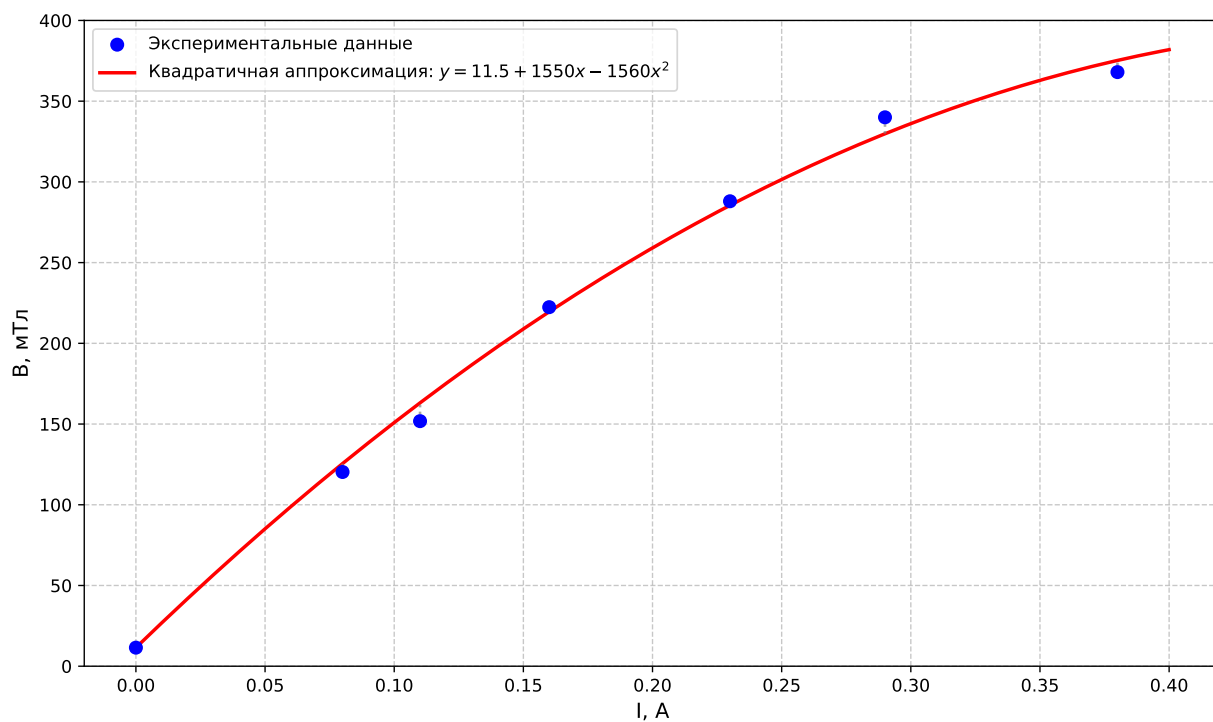


Рис. 3: Зависимость $B = f(I)$.

2. Проведено исследование магнетосопротивления образцов. Для этого сначала была измерена зависимость напряжения на образце от силы тока в электромагните, откуда затем была выражена зависимость $R = f(B^2)$. Результаты исследования с диском Карбино и пластиной, расположенной в первом случае вдоль, а во втором поперёк поля представлены на графике.

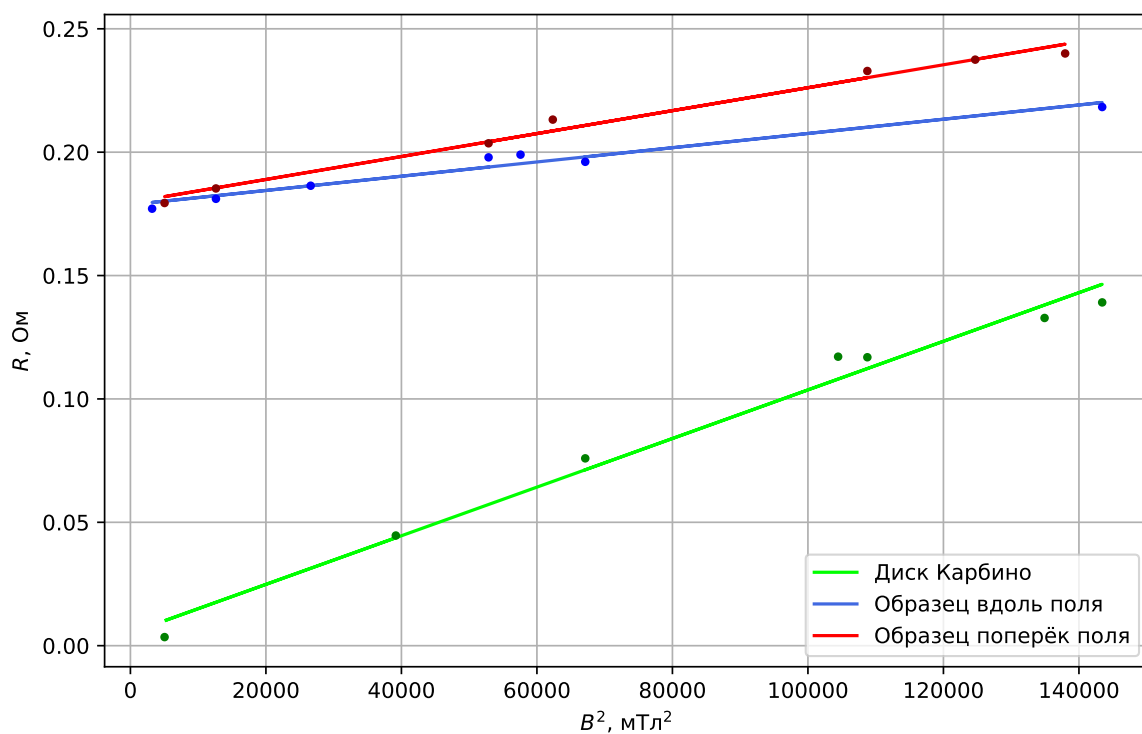


Рис. 4: Зависимость $R = f(B^2)$.

3. Определены угловые коэффициенты наклона прямых k_1 – для диска Карбино, k_2 – для образца вдоль поля, k_3 – для образца поперёк поля, и из них определена подвижность носителей заряда:

k_1	k_2	k_3
$(0,99 \pm 0,09) \text{ Ом/Тл}^2$	$(0,29 \pm 0,04) \text{ Ом/Тл}^2$	$(0,46 \pm 0,06) \text{ Ом/Тл}^2$

μ_1	μ_2	μ_3
$(5,35 \pm 0,4) \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$(1,28 \pm 0,2) \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$(2,6 \pm 0,4) \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$

4. По известным параметрам диска Карбино вычислено его удельное сопротивление:

$$\rho = R_0 \cdot \frac{2\pi h}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

Больший диам. D	Меньший диам. d	Высота h	Сопр. R_0	Удельное сопр. ρ
18 мм	3 мм	1,8 мм	$(0,034 \pm 0,02) \text{ Ом}$	$(2,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

5. Через полученное удельное сопротивление можно выразить концентрацию носителей заряда:

$$n = \frac{1}{\rho e \mu} = (5,4 \pm 0,4) \text{ м}^{-3}$$

Вывод

В результате выполнения работы была проведена калибровка электромагнита, исследована зависимость сопротивления образцов от магнитного поля и найдена концентрация носителей заряда в диске Карбино. Табличное значение подвижности носителей заряда в антимониде индия составляет $7,7 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, что близко к полученному значению, однако не входит в рамки оценённой погрешности. Концентрация носителей заряда равна $1,6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$, это примерно в три раза больше полученного значения.