

Лабораторная работа 3.3.6
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Аксенова Светлана

17 ноября 2020 г.

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

В работе используются: электромагнит, измеритель магнитной индукции Ш1-10, вольтметр, амперметр, миллиамперметр, реостат, образцы монокристаллического антимонида индия (InSb) n -типа.

1 Теоретическое введение

Во внешнем магнитном поле \mathbf{B} на заряды действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{u} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

Эта сила вызывает движение носителей, направление которого в общем случае не совпадает с \mathbf{E} . Действительно, траектории частиц будут либо искривляться, либо, если геометрия проводника этого не позволяет, возникнет дополнительное электрическое поле, компенсирующее магнитную составляющую силы Лоренца. Возникновение поперечного току электрического поля в образце, помещённого во внешнее магнитное поле, называется **эффектом Холла**.

Для исследования зависимости проводимости среды от магнитного поля в работе используется **диск Корбино** (схема представлена на [Рисунке 1](#)). Электрическое поле направлено по радиусу системы, магнитное поле перпендикулярно диску. Ток вынужден протекать под углом к электрическому полю, то есть линии тока представляют собой *спирали*.

Ввиду симметрии системы вклад в полный ток даёт только *радиальная* компонента плотности тока $j_r = \sigma_r E_r$. Полный ток - $I = j_r \cdot 2\pi r h$, r - радиус диска, h - толщина. В системе присутствует один тип носителей, соответственно, проводимость в радиальном направлении σ_r равна

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

где μ - подвижность носителей.

Напряжение между центром и краем диска равно

$$U = \frac{\sigma_r}{\sigma_0} R_0 I, \quad (3)$$

где $R_0 = \frac{1}{\sigma_0 2\pi h} \ln \frac{D}{d}$ - сопротивление диска в отсутствие магнитного поля. Поэтому закон Ома в схеме Корбино можно записать как

$$U = I R_0 (1 + (\mu B)^2). \quad (4)$$

Таким образом, в данной схеме проявляется зависимость сопротивления образца от магнитного поля. Это происходит из-за геометрии системы: магнитное поле искривляет линии тока, делая их длиннее. Такой эффект называют **геометрическим магнетосопротивлением**.

Измерения на диске Корбино проводятся по *двухконтактной* схеме, при этом сопротивление образца суммируется с сопротивлением контактов. Поэтому

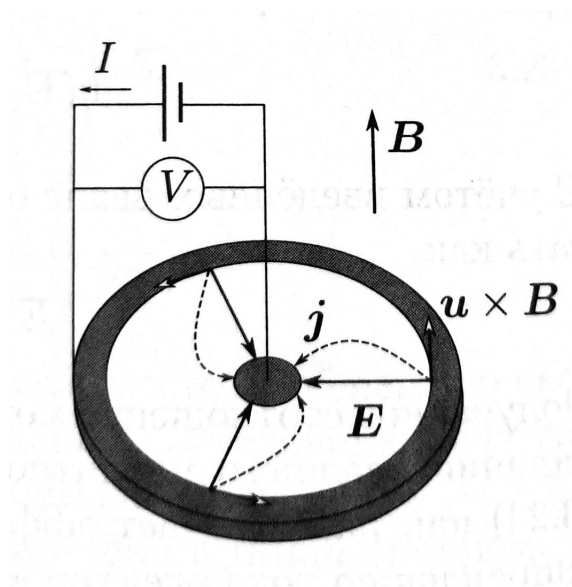


Рисунок 1 – Схема диска Корбино

важно иметь низкоомные контакты к образцу, сопротивлением которых можно пренебречь. Для наблюдения магнетосопротивления выбирают систему с большой подвижностью носителей (полупроводник с низкой эффективной массой электронов).

По диску, помещённому в перпендикулярное ему магнитное поле, пропускается ток в радиальном направлении. Магнитное поле искривляет линии тока, эффективное сопротивление R образца возрастает.

2 Экспериментальная установка

Схема установки представлена на [Рисунке 2](#). В зазоре электромагнита (Рисунок 1а) создаётся постоянное магнитное поле, его величину можно снять с помощью источника питания электромагнита. Ток электромагнита измеряется амперметром A_1 . Магнитная индукция в зазоре измеряется при помощи измеритель магнитной индукции Ш1-10.

Образцы подключаются к источнику постоянного напряжения 5 В. При замыкании ключа сквозь образец течёт ток, величина которого измеряется миллиампертметром A_2 и регулируется реостатом R_2 . Балластное сопротивление R_0 ограничивает ток через образец. Измеряемое напряжение подаётся на вход вольтметра V .

3 Получение и обработка результатов

3.1 Калибровка электромагнита

С помощью прибора измеритель магнитной индукции Ш1-10 была исследована зависимость индукции магнитного поля B от тока I_m через обмотки магнита. Она представлена на [Рисунке 3](#). Коэффициент наклона графика, рас-

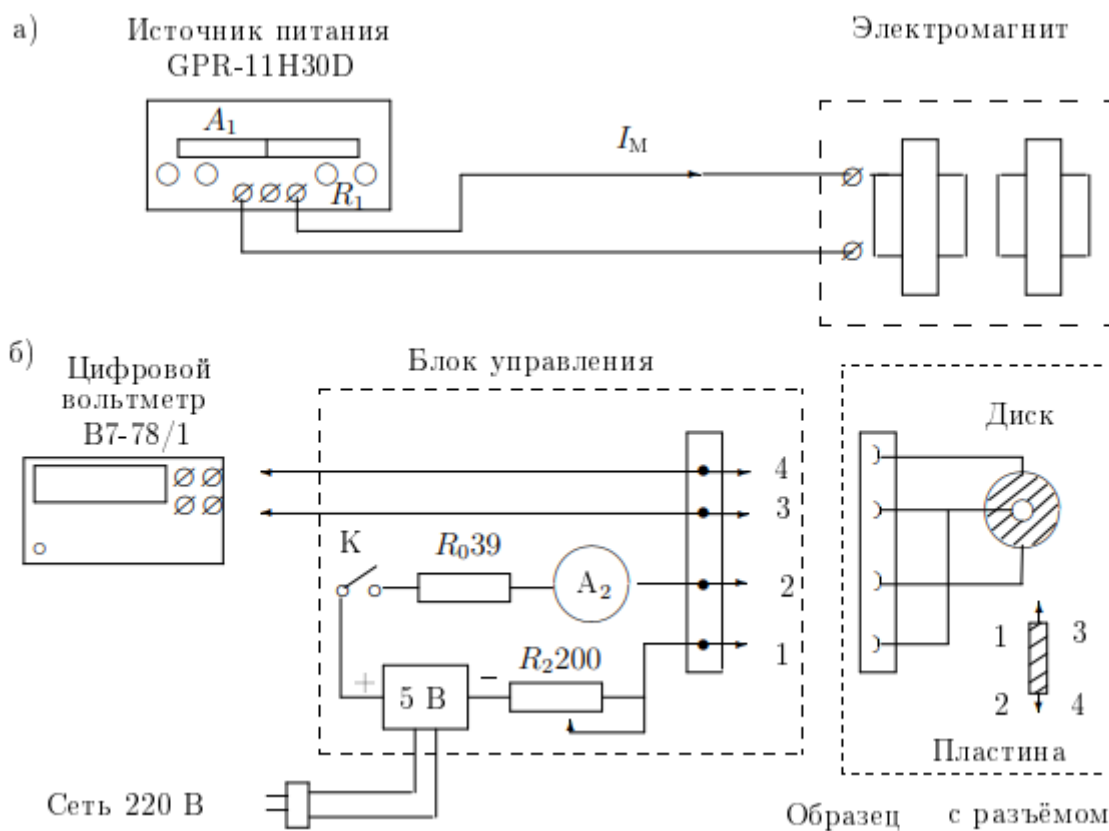


Рисунок 2 – Схема установки для исследования влияния магнитного поля на проводимость полупроводников

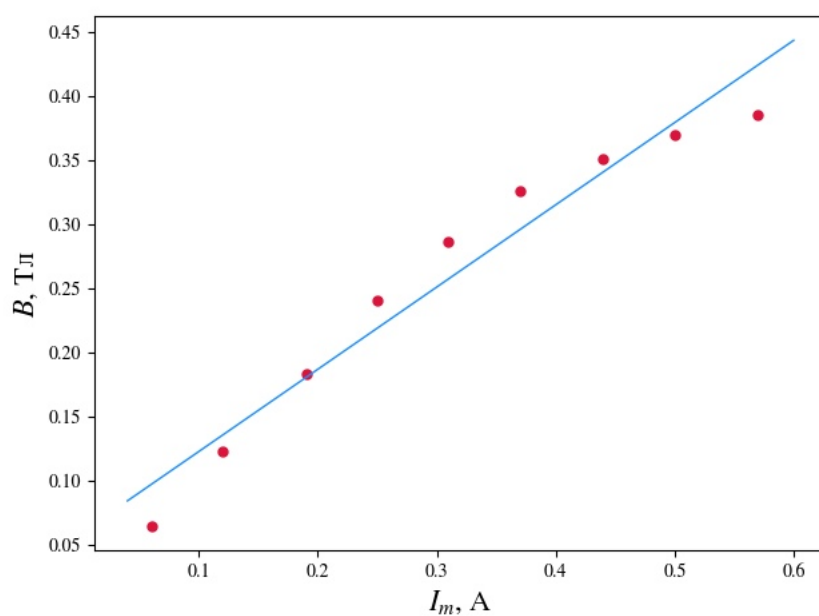


Рисунок 3 – Зависимость индукции магнитного поля B от тока I_m через обмотки магнита

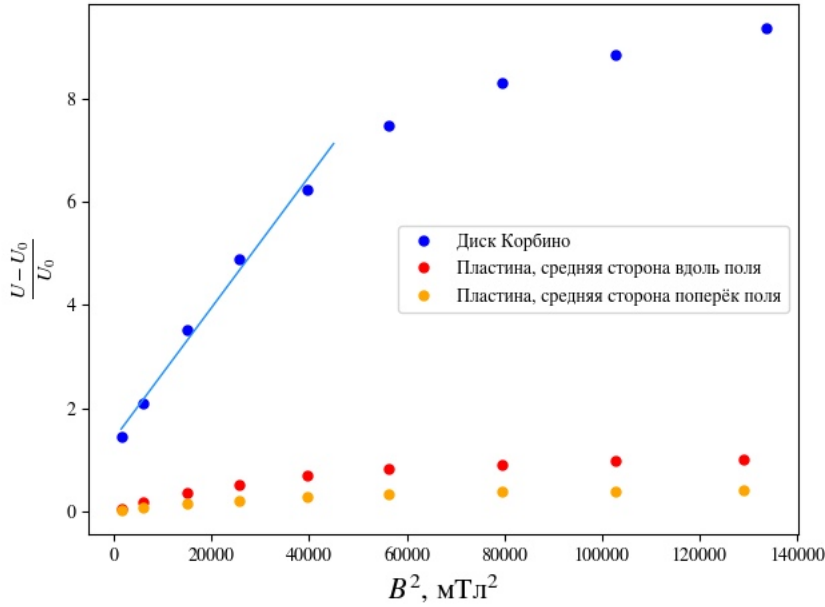


Рисунок 4 – Caption

считанный по МНК

$$k = 0,64 \pm 0,05 \text{ Тл/А.}$$

3.2 Исследование магнетосопротивления образцов

После подключения диска Корбино к электрической цепи при помощи реостата устанавливается начальный ток $I_0 \simeq 22$ мА. Падение напряжения на образце в отсутствие магнитного поля - 0,29 В. Была снята зависимость напряжения U на образце от тока I_m через обмотки магнита при фиксированном токе через образец. После образец был перевернут, направление магнитного поля в результате изменилось. Была снята зависимость напряжения U на образце от тока I_m , новые значения не отличаются от полученных ранее.

Далее измерения проводились для пластинки. Реостатом был установлен ток $I_0 \simeq 10$ мА, падение напряжения на образце в отсутствие магнитного поля - 0,68 В. Зависимость была снята для двух случаев: длинная стороны направлена поперёк поля, средняя в одной серии опытов располагается вдоль, в другой - поперёк поля.

Зависимость для всех трёх измерений представлена на [Рисунке 4](#). По наклону прямолинейного участка была рассчитана подвижность носителей по формуле (4)

$$\mu = (0,77 \pm 0,05) \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

Она отличается от табличной на 0,6% [2].

Было рассчитано сопротивление R_0 диска в отсутствие магнитного поля:

$$R_0 = 13,2 \pm 0,6 \text{ Ом.}$$

По найденному R_0 и геометрическим размерам диска было рассчитано удельное сопротивление ρ_0

$$\rho_0 = 0,083 \pm 0,007 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

и удельная проводимость $\sigma_0 = 1/\rho_0$

$$\sigma_0 = 12 \pm 1 \text{ 1/}(\text{Ом} \cdot \text{м}).$$

Также была рассчитана концентрация носителей тока $n = \sigma_0/(q\mu)$, где $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$n = 9 \pm 1 \text{ 1/м}^3.$$

4 Выводы

В результате было проведено измерение зависимости сопротивления полупроводников разного образца (диск Корбино и пластина) от индукции магнитного поля. Рассчитана подвижность носителей тока для полупроводника, данные хорошо согласуются с табличными. Также была рассчитана удельная проводимость и концентрация носителей тока для антимонида индия.

5 Список литературы

1. [Методическое пособие по выполнению работы](#)
2. Лабораторный практикум по общей физике: Учебное пособие в трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм. 2-е изд., перераб и дополн. / Никулин М.Г., Попов П.В, Нозик А.А. и др.; Под ред. А.В. Максимычева, М.Г. Никулина. – М.: МФТИ, 2019. – 370 с., с. 366

6 Приложение

[Ссылка на данные и их обработку](#)