

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.16

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Цель работы: исследование зависимости ЭДС Холла в полупроводниках от индукции магнитного поля. Определение концентрации и подвижности основных носителей заряда в полупроводнике.

Литература: [4], гл. 11, § 11.4; [13] гл. VII § 100; [19], гл. 4 § 4.3.

Приборы и принадлежности: образец полупроводникового материала – германия (Ge), стабилизатор напряжения постоянного тока ПЗ6-2, цифровой вольтметр, миллиамперметр, электромагнит, выпрямитель ВС-24М.

ВВЕДЕНИЕ

Эффект Холла в полупроводниках заключается в появлении поперечной разности потенциалов в полупроводниковом образце с током, помещенном в магнитное поле. Рассмотрим полупроводниковый образец в виде прямоугольной пластинки с электронным типом проводимости (рис. 5.16.1).

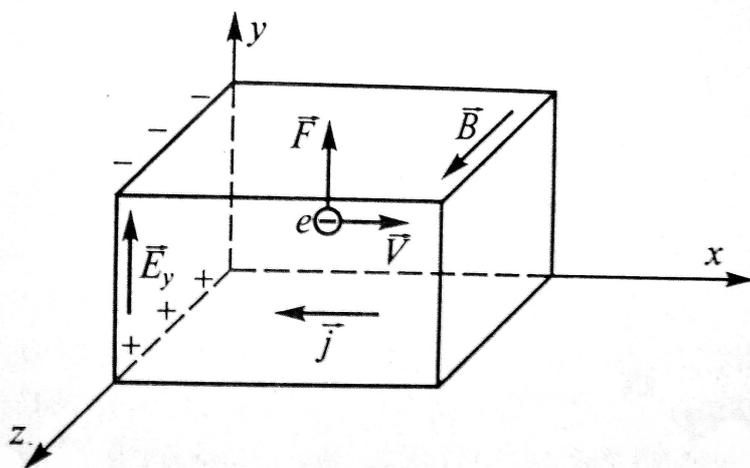


Рис. 5.16.1

Направление средней упорядоченной скорости электрона v противоположно вектору плотности тока j . Магнитное поле перпендикулярно плоскости рисунка. Под действием силы Лоренца электроны будут отклоняться

к верхней грани образца, на которой скапливается отрицательный заряд, на противоположной грани остается нескомпенсированный положительный заряд ионов кристаллической решетки. Возникающая вследствие этого поперечная разность потенциалов называется ЭДС Холла.

Разделение зарядов в образце будет продолжаться до тех пор, пока

электрическая и магнитная составляющие силы Лоренца не уравновесят друг друга. При этом условии (обозначения из рис. 5.16.1)

$$ev_x B_x - eE_y = 0 . \quad (1)$$

Отсюда

$$E_y = v_x B_x = \frac{j_x B}{en_e} = R_H j_x B . \quad (2)$$

Здесь $R_H = \frac{1}{en_e}$ – постоянная Холла, n_e – концентрация электронов. Для отрицательно заряженного электрона постоянная Холла отрицательна:

$$R_H = -\frac{1}{|e|n_e} . \quad (3)$$

Очевидно, постоянная Холла в материале р-типа проводимости, где основными носителями заряда являются дырки, равна:

$$R_H = \frac{1}{en_p} , \quad (4)$$

где n_p – концентрация дырок.

Из сопоставления выражений (3) и (4) видно, что знак постоянной Холла R_H и, следовательно, знак ЭДС Холла U_H будут зависеть от знака носителей заряда в полупроводнике. Если перейти от напряженности поля Холла E_y к ЭДС Холла U_H и от плотности тока j_x к полному току через образец I , то выражение (2) преобразуется к виду

$$U_H = \frac{R_H IB}{d} , \quad (5)$$

где d – размер образца в направлении B .

Из анализа выражений (3), (4) и (5) видно, что значение ЭДС Холла позволяет найти концентрацию и знак носителей заряда.

Если, помимо ЭДС Холла, измерить электропроводность $\sigma = en\mu_n$ (6), то можно найти подвижность основных носителей μ , равную произведению R_H на σ :

$$R_H \sigma = \frac{1}{en} (en\mu) = \mu . \quad (7)$$

Таким образом, измерив ЭДС Холла и проводимость, можно определить

такие важные параметры полупроводника, как знак и концентрация основных носителей заряда и их подвижность.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Измерение ЭДС Холла и удельного сопротивления полупроводниковых образцов производится с помощью схемы, представленной на рис. 5.16.2.

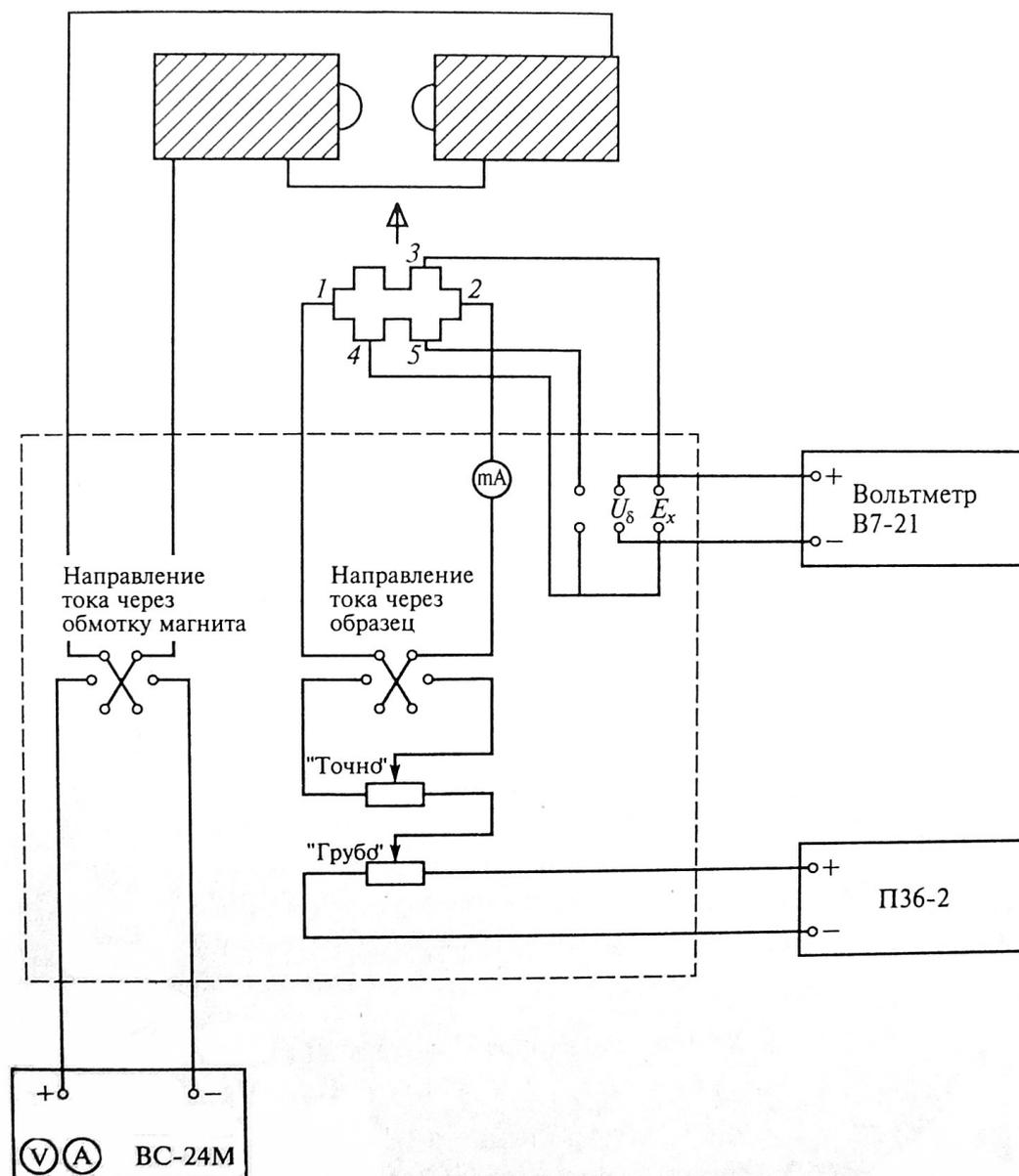


Рис. 5.16.2

Основным элементом схемы является полупроводниковый образец, представляющий собой монокристалл германия с небольшим добавлением примеси (размеры образца: $d = 0,106$ см (в направлении магнитного поля), ℓ

$=0,29$ см (в направлении тока), площадь поперечного сечения $S=0,165 \times 0,106$ см²), изготовленный в виде гантели для обеспечения лучшей эквипотенциальности боковых зондов для измерения ЭДС Холла. Контакты 1, 2 служат для создания электрического тока в образце, 3–5 – для измерения ЭДС Холла, 4–5 – для измерения удельного сопротивления. Сила тока в образце не должна превышать 1 мА.



Полупроводниковый образец помещается между полюсами электромагнита 1. Ток в электромагните создается с помощью выпрямителя ВС-24М. Для изменения направления тока в обмотке магнита имеется специальный переключатель, расположенный на панели управления 2.

Ток в полупроводниковом образце создается с помощью стабилизатора постоянного тока 3 (ПЗ6-2), который снабжен дополнительными потенциометрами для грубой и точной регулировки силы тока и переключателем для изменения направления тока в образце. Ток через образец измеряется миллиамперметром. Потенциометры “грубо”, “точно”, переключатель направления тока и миллиамперметр находятся на панели управления 2.

ЭДС Холла и значение напряжения на образце для расчета сопротивления образца измеряются с помощью цифрового вольтметра 4. Выбор измеряемого параметра осуществляется с помощью переключателя

рода работы на панели управления вольтметра.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Задание 1. Измерение зависимости ЭДС Холла от индукции магнитного поля при постоянной силе тока в образце.

Поддерживая постоянной силу тока в образце (рекомендуется установить значение тока в образце $I=0,5$ мА), измерьте зависимость ЭДС Холла от индукции магнитного поля B , изменяя ток в электромагните от 0,5 А до 4,5 А (через 1 А). Напряженность магнитного поля в зависимости от тока через электромагнит определяется с помощью калибровочного графика. При определенном значении индукции магнитного поля следует проводить 4 измерения, соответствующие двум направлениям тока через образец и противоположным направлениям магнитного поля. Значение ЭДС Холла принимается равным среднему арифметическому из четырех полученных значений.

Результаты занесите в таблицу. По результатам измерений постройте график зависимости $U_{H,cp}$ от B .

Задание 2. Определение концентрации носителей заряда по значению постоянной Холла.

По тангенсу угла наклона графика $U_{H,cp}(B)$ определите постоянную Холла:

$$R_H = \frac{U_H d}{IB} \quad [\text{м}^3/\text{Кл}].$$

Оцените погрешность результата также с помощью графика.

Рассчитайте концентрацию основных носителей заряда:

$$n = \frac{1}{eR_H} \quad [\text{м}^{-3}].$$

Задание 3. Определение подвижности основных носителей заряда.

Измерьте разность потенциалов U_s между зондами 4 и 5 (при выключенном электромагните) и определите проводимость полупроводникового образца:

$$\sigma = \frac{I}{U_{\sigma}} \frac{1}{S}, \text{ (S - площадь поперечного сечения образца).}$$

Зная постоянную Холла R_H и электропроводность, найдите подвижность свободных носителей заряда:

$$m = R_H \sigma .$$

Результаты всех измерений и вычислений занесите в таблицу.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Что такое подвижность носителей тока? Из определения погрешности и закона Ома в дифференциальной форме получите формулу (6).
2. Каковы условия возникновения ЭДС Холла?
3. Каковы особенности зонной структуры полупроводников, диэлектриков и металлов?
4. Как влияют донорные и акцепторные примеси на структуру энергетических уровней полупроводника?
5. Применима ли к электронам в зоне проводимости и к дыркам в валентной зоне классическая статистика Больцмана? Обоснуйте ответ.