

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 90

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ,
ПОДВИЖНОСТИ И ТИПА НОСИТЕЛЕЙ ТОКА
С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ХОЛЛА**

**Задачу поставили и составили описание доц. Авксентьев Ю.И. и доц.
Свирина Е.П.**

Москва 2012 г.

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, ПОДВИЖНОСТИ И ТИПА НОСИТЕЛЕЙ ТОКА С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Целью настоящей работы является исследование эффекта Холла в полупроводнике германия с примесью. Это исследование включает: измерение постоянной Холла, расчет концентрации носителей тока, измерение удельного сопротивления образца, расчет подвижности носителей тока и определение типа носителей тока в полупроводнике.

Основные сведения о проводимости твердых тел

Известно, что электропроводность металлов σ равна

$$\sigma = en\mu, \quad (1)$$

где: n - концентрация или число электронов в единице объёма, а μ - подвижность, т.е. отношение средней скорости упорядоченного движения электронов в электрическом поле к напряжённости \vec{E} . Подвижность μ имеет размерность ($m^2/в.с$). Соотношение (1) легко получить, зная закон Ома для участка цепи $i = \frac{\Delta\phi}{R}$, где $\Delta\phi$ - разность потенциалов, $R = \frac{\rho l}{S}$ - электросопротивление проводника длиной l и сечением S . Здесь ρ - удельное электросопротивление. Выражая силу тока через плотность тока $i = j \cdot S$, а разность потенциалов через напряжённость электрического поля \vec{E} , получаем закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}. \quad (2)$$

Здесь плотность тока

$$\vec{j} = en\vec{v}, \quad (3)$$

где \vec{v} - средняя скорость упорядоченного движения носителей тока, а n - их концентрация. Следовательно, $en\vec{v} = \sigma\vec{E}$ или $\sigma = \frac{env}{E} = en\mu$. Видно, что электропроводность металлов зависит от двух независимых параметров n и μ . Экспериментально установлено, что с повышением температуры электросопротивление металлов растёт, а полупроводников – падает. При этом удельное электросопротивление $\rho = \frac{1}{\sigma}$ различных твёрдых тел может меняться в широком диапазоне значений от $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ до $10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Различие электрических свойств металлов и полупроводников были поняты лишь на основании зонной теории, т.е. квантовой теории твёрдого тела.

Согласно зонной теории при сближении атомов и образовании кристаллической решётки взаимодействия между N атомами приводят к расщеплению каждого энергетического уровня изолированного атома на N подуровней того же атома, находящегося в кристаллической решётке. Эти подуровни образуют зону дозволённых значений энергий. В каждом из состояний зоны в соответствии с квантовыми закономерностями (принцип

Паули) может разместиться не более двух электронов с разными направлениями спинов. На рис. 1 показано расщепление различных уровней энергий изолированных атомов при их сближении и образовании зон энергий в твёрдом теле. Здесь r - расстояние между атомами. Установлено, что не все уровни расщеплены одинаково. Взаимодействие между атомами твёрдого тела

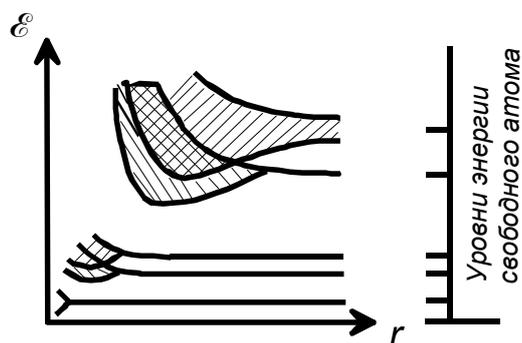


Рис. 1

сильно влияет на энергетические уровни внешних, валентных электронов, которые слабее связаны с ядром и обладают наибольшей энергией. Энергетические уровни внутренних электронов расщепляются очень слабо даже при весьма малых расстояниях между атомами (много меньших, чем расстояние d между атомами кристаллической решётки (см. рис. 1).

Подобно тому, как в изолированном атоме дискретные уровни энергии разделены областями запрещённых (недозволенных) значений энергии, в твёрдом теле разрешённые энергетические зоны разделены зонами запрещённых значений энергии. С увеличением энергии ширина разрешённых энергетических зон увеличивается, а ширина запрещённых зон уменьшается.

Разрешённая энергетическая зона в кристалле, соответствующая одному уровню в изолированном атоме, состоит из N близко расположенных уровней, где N - число атомов твёрдого тела. Энергетическое расстояние между соседними уровнями одной и той же зоны составляет примерно 10^{-22} электронвольт (ЭВ), в то время как общая ширина разрешённых значений энергий зоны может быть равна нескольким ЭВ.

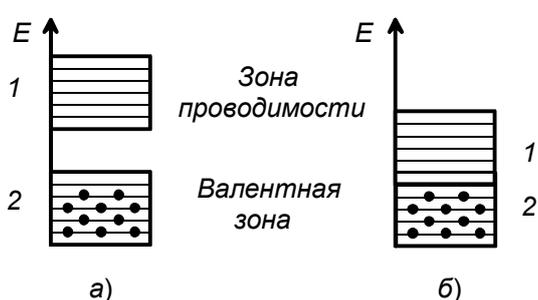


Рис. 2

В твёрдом теле разрешённые энергетические зоны могут быть заполнены либо целиком, либо частично или могут быть совершенно свободными. Валентные электроны атомов при объединении в кристалл образуют валентную зону. Если валентная зона заполнена неполностью, то электроны, расположенные в этой зоне, могут

участвовать в электрической проводимости, т.к. под действием электрического поля они получают энергию всегда достаточную для их перевода на соседний свободный уровень энергии той же незаполненной зоны. В этом случае валентная зона является зоной проводимости, а вещество обладает металлическим типом проводимости (рис. 2 а) (черными кружками на рис. 2 изображены электроны). Твёрдое тело может быть металлом и в том случае, если пустая зона дозволённых значений энергии перекрывается с валентной зоной (рис. 2 б).

Если же в твёрдом теле валентная зона и зона проводимости не перекрываются и разделены полосой запрещённых значений энергии шириной

ΔE и если при $T = 0$ валентная зона полностью заполнена электронами, а зона проводимости полностью пуста, то такое твёрдое тело является полупроводником или диэлектриком (см. рис. 3 а). Ширина запрещённой зоны ΔE диэлектрика составляет десятки ЭВ, в то время как у полупроводников величина ΔE имеет порядок $10^{-1} \div 1$ ЭВ.

С повышением температуры тепловое возбуждение может перевести электроны, занимающие состояния энергии у верхней границы, заполненной валентной зоны на нижние уровни пустой зоны проводимости. Для этого необходимо электрону иметь энергию, равную или большую энергии запрещённой зоны ΔE . Вакантные состояния, образовавшиеся при этом, называются дырками в валентной зоне (на рис. 3б это незаполненные кружки). Дырка ведёт себя как положительный заряд, равный по величине заряду электрона.

Такое вещество, которое при $T \neq 0$ имеет сравнительно небольшое число электронов в зоне проводимости (и соответственно равное число дырок в валентной зоне) называется собственным полупроводником, а величина ΔE называется энергией активации собственной проводимости (рис. 3 б).

Если собственный полупроводник поместить в электрическое поле, то электропроводность будет осуществляться как движением электронов в зоне проводимости, так и движением дырок в валентной зоне. Собственная электропроводность равна:

$$\sigma = en\mu_n + ep\mu_p, \quad (4)$$

здесь n и p - концентрации свободных электронов и дырок, μ_n и μ_p их подвижности. Заряды электрона и дырки равны по величине и противоположны по знаку. Подвижности μ_n и μ_p различны, т.к. движение электронов и дырок происходит в разных зонах, т.е. в неодинаковых условиях. При этом всегда $\mu_n > \mu_p$.

С изменением температуры концентрации n и p меняются по закону Больцмана

$$n = n_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \text{ и } p = p_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}}. \quad (5)$$

Здесь ΔE - ширина запрещённой зоны или энергия активации носителей тока, k - постоянная Больцмана, а n_0 и p_0 - постоянные, характеризующие число энергетических уровней в зоне, почти независимые от температуры.

В примесных полупроводниках имеются атомы примеси либо n -типа, т.е. атомы с избытком валентных электронов по сравнению с числом валентных электронов полупроводника, либо p -типа – атомы с недостатком валентных электронов. Атомы первого типа называются донорами, а атомы второго типа – акцепторами. Полупроводники с избытком атомов донорного

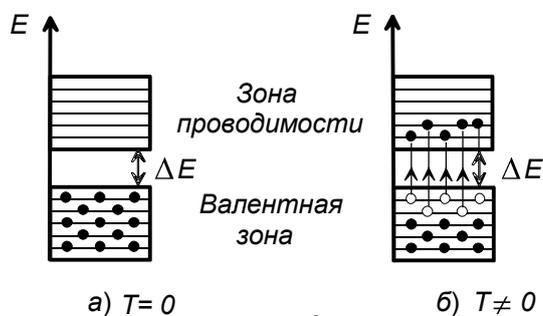


Рис. 3

типа называются n -полупроводниками (электронными), а с избытком атомов акцепторного типа называются p -полупроводниками (или дырочными). Следует иметь в виду, что как n -, так и p -полупроводники электрически нейтральны.

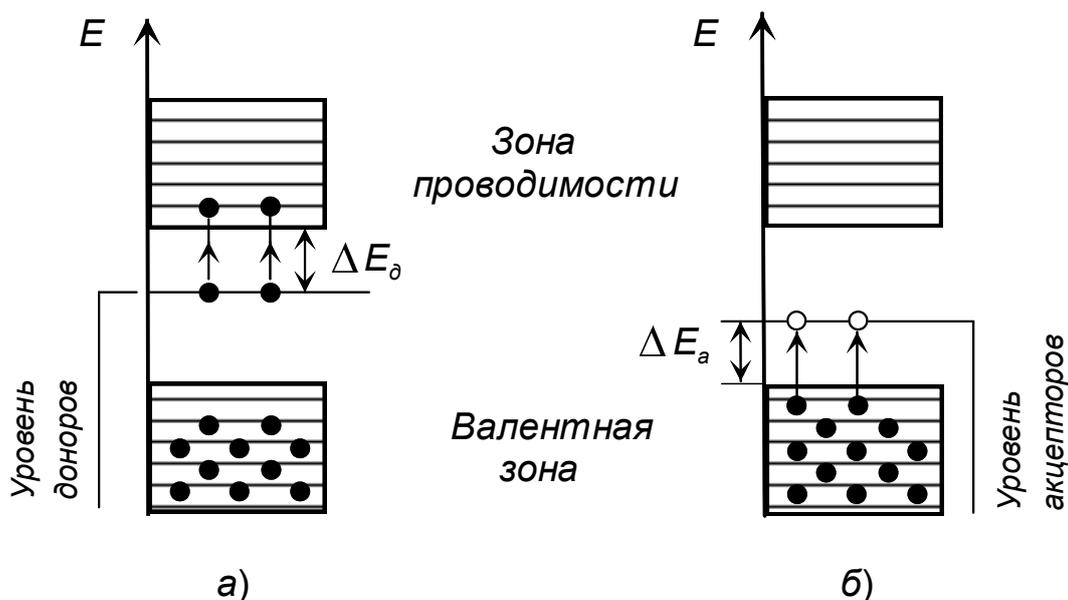


Рис. 4

В n -полупроводнике электропроводность осуществляется в основном движением электронов в зоне проводимости, в p -полупроводнике носителями электрического тока являются дырки в валентной зоне.

На рис. 4 показана зонная структура n и p полупроводников. Здесь ΔE_0 и ΔE_a - энергии активации электронов и дырок соответственно.

Из соотношения (4) следует, что электропроводности примесных n и p полупроводников равны соответственно

$$\sigma_n = en\mu_n \text{ и } \sigma_p = ep\mu_p.$$

Из этих соотношений видно, что по результатам только электропроводности σ_n и σ_p нельзя определить подвижности μ_n и μ_p , так как концентрации носителей тока n и p неизвестны. Поэтому при экспериментальных исследованиях подвижности носителей тока используются результаты измерений не только электропроводности, но и эффекта Холла, позволяющие определить концентрацию и знак носителей тока.

Эффект Холла

Сущность эффекта Холла заключается в следующем. Если пластинку с текущим по ней электрическим током плотности \vec{j} поместить в магнитное поле, вектор магнитной индукции \vec{B} которого перпендикулярен вектору плотности тока \vec{j} , то на боковых поверхностях пластинки в направлении, перпендикулярном векторам \vec{j} и \vec{B} , возникнет разность потенциалов, называемая *холловской разностью потенциалов*.

Рассмотрим механизм возникновения эффекта Холла на примере примесного полупроводника, в котором электрический ток осуществляется носителями одного знака (электронами или дырками). Допустим, мы имеем дело с пластинкой полупроводника n -типа (рис.5, см. движение только отрицательного заряда).

Упорядоченное движение электронов в пластинке происходит со средней скоростью \vec{V} , направленной противоположно вектору \vec{j} . На движущиеся электроны действует сила Лоренца

$$\vec{F}_L = e[\vec{V}\vec{B}] . \quad (6)$$

Если $\vec{V} \perp \vec{B}$, то

$$|F_L| = eVB \quad (6a)$$

Направление силы Лоренца определяется правилом правого буравчика, или правилом левой руки. В результате действия силы Лоренца на движущиеся электроны верхняя грань пластинки заряжается положительно, а нижняя - отрицательно, вследствие чего вдоль оси z возникает электрическое поле, получившее название поля Холла \vec{E}_x .

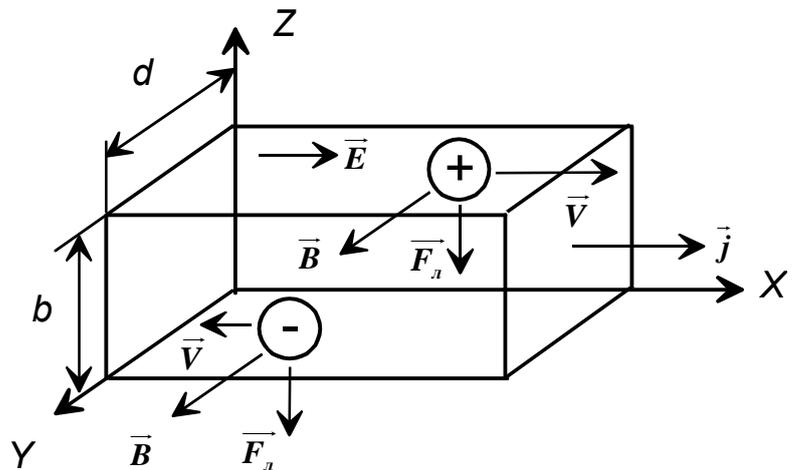


Рис. 5

Если носителями тока являются дырки, то направление скорости их упорядоченного движения совпадает с направлением тока

и сила Лоренца будет отклонять положительные заряды вниз. При этом нижняя грань зарядится положительно, а верхняя - отрицательно (рис.5, см. движение только положительного заряда).

В направлении оси z возникнет поле Холла - \vec{E}_x , но другого знака при тех же направлениях плотности тока \vec{j} и индукции \vec{B} . На этом основании по знаку поля Холла можно экспериментально определить тип носителей тока.

Итак, мы установили, что сила Лоренца, действующая на носители тока вдоль оси z , приводит к появлению вдоль этой оси электрического поля Холла, препятствующего перемещению зарядов (электронов или дырок) к соответствующим граням. Равновесие наступает при условии, когда электрическая сила eE_x уравнивает силу Лоренца, т.е.

$$|F_L| = |F_x|, \quad eVB = eE_x, \quad (7)$$

$$E_x = VB. \quad (8)$$

Отсюда следует, что холловская разность потенциалов (ЭДС Холла) равна

$$\Delta\varphi_x = E_x b = VBb, \quad (9)$$

здесь b - размер пластинки вдоль оси z .

Среднюю скорость упорядоченного движения носителей V можно выразить через силу тока i (используя формулу $j = enV$)

$$V = i/bd \cdot 1/ne,$$

где bd - площадь сечения полупроводника. Следовательно, ЭДС Холла

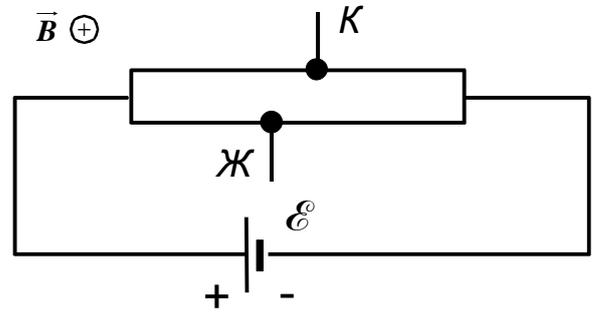


Рис. 6

$$\Delta\varphi_x = bB \cdot \frac{i}{bd} \cdot \frac{1}{en} = \frac{1}{en} \cdot \frac{i}{d} B, \quad (10)$$

или

$$\Delta\varphi_x = R_x \frac{i}{d} B, \quad (11)$$

где $R_x = 1/en$ называется *постоянной Холла*.

Из соотношения (9) видно, что знак ЭДС Холла зависит от направления вектора \vec{B} , т.е. эффект Холла является нечетным эффектом.

При измерении ЭДС Холла необходимо учитывать побочные эффекты, один из которых, например, возникает из-за асимметричного расположения холловских контактов. В нашем случае этот эффект дает основную ошибку. Влияния асимметрии в расположении холловских контактов на результаты измерений можно избежать следующим образом.

Предположим, что холловские электроды $Ж$ и $К$ находятся на разных эквипотенциальных поверхностях образца (и несколько смещены относительно друг друга) (рис.б).

В этом случае между ними возникнет дополнительная разность потенциалов $\Delta\varphi_i$, знак которой зависит только от направления тока через образец. Разность потенциалов, измеряемая между контактами $Ж$ и $К$ $\Delta\varphi_{жк}$ является суммой двух величин, одна из которых (холловская) зависит от направления магнитного поля B , а другая - $\Delta\varphi_i$ от направления B не зависит. Измеряя $\Delta\varphi_{жк}$ при двух равных по величине, но противоположных по направлению значениях индукции магнитного поля B , получим

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_{\text{эск}} + B &= +\Delta\varphi_x + \Delta\varphi_i \\ \Delta\varphi_{\text{эск}} &= -B = -\Delta\varphi_x + \Delta\varphi_i\end{aligned}\quad (12)$$

Решая эту систему уравнений, для холловской разности потенциалов получим следующее выражение:

$$\Delta\varphi_x = \frac{\Delta\varphi_{\text{эск}} + B - \Delta\varphi_{\text{эск}} - B}{2} \quad (13)$$

Как следует из соотношения (11), постоянную Холла R_x и, следовательно, концентрацию носителей тока n можно найти из тангенса угла наклона прямой

$$\Delta\varphi_x = f B .$$

Для определения подвижности носителей тока μ необходимо измерить удельное сопротивление полупроводниковой пластинки ρ . Подвижность μ можно вычислить по формуле:

$$\mu = \sigma / en = R_x \sigma = R_x / \rho, \quad (14)$$

где σ - электропроводность образца, ρ - его удельное сопротивление.

2 Описание установки

Блок-схема установки представлена на рис.7.

В состав установки входят: *электромагнит*; *компас* для определения направления магнитного поля, создаваемого электромагнитом; *источник питания электромагнита Б5-49*; *источник, создающий ток через образец, Б5-46*; *амперметры A_1 и A_2* ; *переключатель Г*, изменяющий направление тока через электромагнит; *клеммная колодка КК*; *цифровой вольтметр В7-22А*; образец.

Взаимное расположение приборов на рис.7 соответствует их размещению на лабораторном столе.

Источники питания Б5-46 и Б5-49 являются стабилизированными источниками постоянного напряжения, поддерживающими с большой точностью 0,01% выходное напряжение в диапазонах 0–10 В и 0–100 В, соответственно. Установка выходного напряжения осуществляется цифровыми кодовыми переключателями напряжения, расположенными в левом верхнем углу (в окошке). Максимальный ток нагрузки стабилизатора Б5-49 равен 1А. Поэтому ток через электромагнит не должен превышать этой величины. Стабилизатор Б5-46 устроен так же, как и стабилизатор Б5-49. Максимальный ток нагрузки

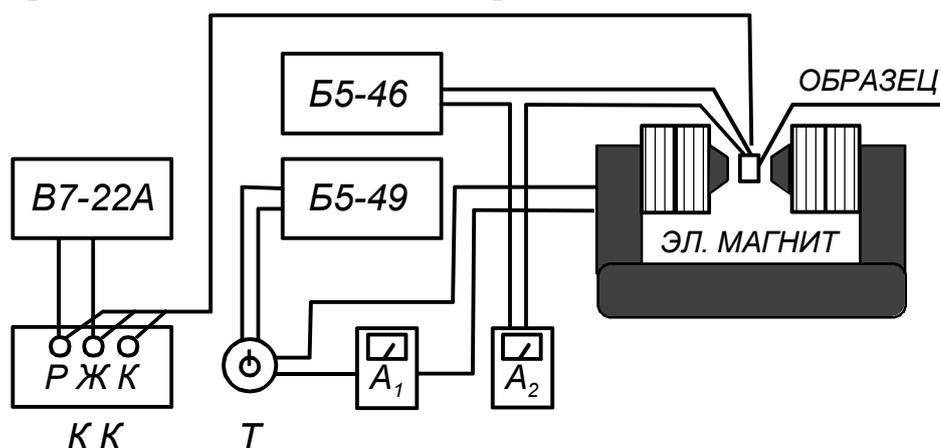


Рис. 7

стабилизатора Б5-46 равен 10А.

Оба стабилизатора питаются от сети переменного тока напряжением ~ 220В и включаются за несколько минут перед началом измерений.

Токи в цепях установки измеряются амперметрами типа М253, класс точности которых равен 0,5. Для измерения тока через магнит служит амперметр А₁, отмеченный в установке надписью *ТОК МАГНИТА*. Амперметр А₂ с надписью *ТОК ОБРАЗЦА* измеряет ток через образец.

Для измерения напряжений используется цифровой вольтметр В7-22А.

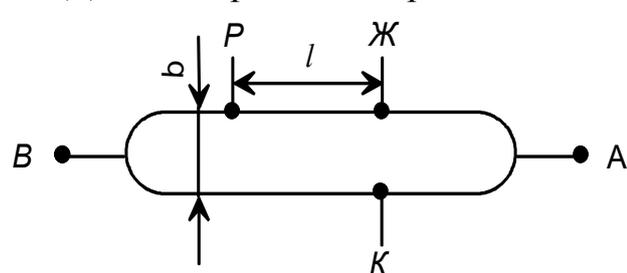


Рис. 8

Результат измерения напряжения высвечивается на индикаторном табло. Знаки + или - перед числом указывают на полярность измеряемого напряжения.

Вольтметр В7-22А питается от сети ~ 220В и включается за 15 мин до начала измерений.

Колodka КК служит для подключения вольтметра к соответствующим точкам образца. Буквенные символы у клемм соответствуют обозначениям, принятым на рис.4, 5.

Объектом исследования во всех трех упражнениях является образец, форма которого показана на рис.8.

Он изготовлен из пластинки полупроводника (германий с примесью). Выбранная форма обеспечивает равномерную плотность тока в тех частях

образца, в которых измеряются разности потенциалов $\Delta\varphi_{жк}$ и $\Delta\varphi_{рк}$, пропорциональные напряжению Холла $\Delta\varphi_x$ и удельному сопротивлению образца соответственно. Контакты $Ж$, $К$ и $Р$ лежат в плоскости, параллельной плоскости полюсных наконечников электромагнита. Характерные размеры образца: $l = 3 \cdot 10^{-3} м$, $d = 7.8 \cdot 10^{-4} м$, $b = 2 \cdot 10^{-3} м$. В целях защиты от механических повреждений он вмонтирован в футляр из оргстекла. Схема расположения образца в электромагните приведена на рис.9.

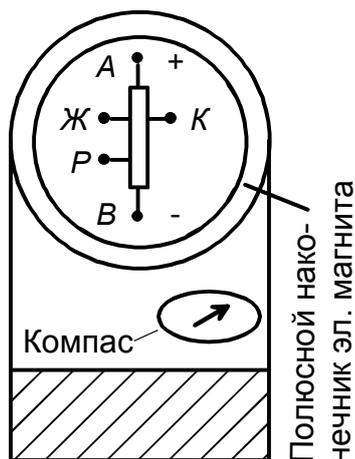


Рис. 9

Рис. 9 соответствует виду на образец со стороны полюсного наконечника электромагнита $П$. Источник напряжения $Б5-46$ подключен к точкам $А$ и $В$ образца так, что точка $А$ соединена с положительным потенциалом. Потенциальные выводы образца $Ж, К, Р$ соединены проводниками с одноименными контактами колодки $КК$.

Подготовка вольтметра $В7-22А$ к измерениям

1. Включить прибор и прогреть его в течение 15 минут.
2. Убедиться в том, что измеряемое напряжение подводится к гнездам $0-2 = *$.
3. Установить переключатель $РОД РАБОТЫ$ в положение $-V$.
4. В блоке клавиш выбора диапазона измерений выбрать клавишу 0.2 . Нажать на нее и оставить в утопленном состоянии.

Упражнение 1 ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ХОЛЛА И РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА

Установить через образец ток $i = 10 мА$, что соответствует выходному напряжению стабилизатора $Б5-46$, равному $9,92 В$.

Концы входного кабеля вольтметра $В7-22А$ вставить в гнезда $Ж$ и $К$ произвольно и не менять их положения до конца измерений.

Измерить с учетом знака разность потенциалов $\Delta\varphi_{жк}$ при токах через магнит, указанных в таблице 1. В соседнем столбце таблицы 1 указаны ориентировочные значения выходного напряжения стабилизатора $Б5-49$, соответствующие этим токам.

Измерения $\Delta\varphi_{жк}$ выполнить для двух направлений тока через электромагнит. Условно можно считать одно направление тока (а, следовательно, и индукции \vec{B}) положительным, другое - отрицательным.

Начинать измерения $\Delta\varphi_{жк}$ необходимо с малых значений токов, переходя последовательно (как указано в табл.1) к большим. Выполнив все измерения при

одном направлении тока, снизить напряжение на электромагните до нуля, изменить положение переключателя направления тока T на противоположное и измерить $\Delta\varphi_{жк}$ при тех же значениях тока через электромагнит, что и ранее.

Индукцию магнитного поля определить по графику. График зависимости индукции $|B|$ от тока через электромагнит находится на лабораторном столе. Значение напряжений $\Delta\varphi_{жк} \pm V$ и индукции $|B|$ записать в табл. 1.

Таблица I

№	Ток электромагнита $I(A)$	Напряжение Б5-49 $U(B)$	Магнитная индукция $B(Тл)$	$\Delta\varphi_{жк}(+B)$ (mV)	$\Delta\varphi_{жк}(-B)$ (mV)	$\Delta\varphi_x$ (mV)
1	0.10	3.0				
2	0.20	6.0				
...				
9	0.90	27				

Для всех значений индукции $|B|$ по формуле (13) вычислить холловскую разность потенциалов $\Delta\varphi_{жк}$. Результаты вычислений записать в табл. 1.

Построить на миллиметровой бумаге график зависимости $\Delta\varphi_x U = f B Тл$.

Найти тангенс угла наклона полученной прямой, который согласно формуле (11) равен $tg\alpha = R_x \frac{i}{d}$. Используя полученное значение тангенса, вычислить постоянную Холла R_x .

При вычислениях выразить ток через образец i в амперах, толщину d образца - в метрах $R_x = B \cdot m / A \cdot Tл$.

Для определения концентрации носителей тока постоянную Холла удобно представить в единицах $R_x = [m^3 / A \cdot c]$. Воспользовавшись соотношением

$$1B = Bб^*) / c = Tл \cdot m^2 / c, \quad (15)$$

получим

$$R_x B \cdot m / A \cdot Tл = R_x [m^3 / A \cdot c] = R_x [m^3 / Кл] \quad (16)$$

По формуле $n = 1 / R_x \cdot e [1 / m^3]$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$, определить концентрацию носителей тока в образце.

Считая, что абсолютные погрешности измерения величин $\Delta\varphi_x, B, d$ равны соответственно $\pm 0.1 мВ$, $\pm 2 \cdot 10^{-3} Тл$, $\pm 1 \cdot 10^{-5} м$, а погрешность величины i

*) $Bб$ (Вебер) – магнитный поток.

определяется классом точности амперметра A_2 , вычислить абсолютную и относительную погрешности измерения R_x и n .

Упражнение 2

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБРАЗЦА И РАСЧЕТ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА

Уменьшить ток через электромагнит до нуля. Переключить входной кабель вольтметра из клеммы K в клемму P .

Измерить разность потенциалов $\Delta\varphi_{рж}$ при трех значениях тока i через образец, указанных в табл. 2 (ток через образец устанавливается кодовыми переключателями стабилизатора Б5–46). Результаты измерений $\Delta\varphi_{рж}$ записать в таблицу 2. В эту же таблицу записать результаты расчета сопротивления $R_{рж}$

$R_{рж} = \Delta\varphi_{рж} / i_{\text{образца}}$ участка $PЖ$ образца, а также абсолютные и относительные ошибки в определении $R_{рж}$.

Вычислить удельное сопротивление образца

$$\rho = \bar{R}_{PЖ} b d / l \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}] \quad (17)$$

и подвижность носителей тока

$$\mu = 1 / \rho \cdot n e = R_x / \rho \left[\text{м}^2 / \text{В} \cdot \text{с} \right]. \quad (18)$$

Таблица 2

№	i образца (mA)	$\Delta\varphi_{PЖ}$ (mV)	$R_{PЖ}$ (OM)	$\bar{R}_{PЖ}$ (OM)	$\Delta R_{PЖ}$ (OM)	Абс погр. (OM)	$\varepsilon_{R_{PЖ}}$ (%)
1	8.0						
2	7.0						
	6.0						

Значения ρ и μ привести с указанием абсолютной и относительной погрешности. Абсолютные погрешности измерения величин b, l, d равны соответственно $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ м, $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ м и $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ м.

Упражнение 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА НОСИТЕЛЕЙ ТОКА

- Установить ток через образец 8 мА .
- Установить ток в обмотках электромагнита $0,8\text{ А}$ $U = 24\text{ В}$.
- Переключить входной кабель вольтметра $B7-22\text{ А}$ из клеммы P в клемму K .
- Определить по показаниям вольтметра полярность напряжения на клеммах K и $Ж$ (конец кабеля, соединенный с положительной входной клеммой вольтметра, отмечен знаком $+$).
- Определить с помощью компаса, укрепленного на корпусе (яреме) электромагнита, направление индукции магнитного поля на образце (стрелка компаса указывает направление индукции магнитного поля между полюсами электромагнита). Северный конец стрелки окрашен в красный цвет.
- Используя правило левой руки, определить тип носителей тока в образце.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните механизм возникновения эффекта Холла.
2. Изменится ли знак э.д.с. Холла, если одновременно изменить направление тока и магнитной индукции на противоположные?
3. Как изменится э.д.с. Холла при замене электронного полупроводника на дырочный?
4. Дайте определение подвижности носителей заряда.
5. Как связаны подвижность и электропроводность полупроводника?
6. Какова связь между постоянной Холла и параметрами образца?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. Пособие: В 5 кн. Кн. 2. Электричество и магнетизм - 4 - е изд., перераб. - М.: Наука. Физматлит. 1998. - 336 с.
Глава 11. Классическая теория электропроводности металлов.
§ 11.1. Природа носителей тока в металлах.
§ 11.2. Элементарная классическая теория металлов.
§ 11.3. Эффект Холла.