

УДК 681.586.728

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКА ХОЛЛА
В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Абенов Т.Е., Кажиякпарова Ж.С., Кадирова Ж.К., Абдрахманова Д.Ж.

*Западно Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск,
e-mail: ghadira@rambler.ru*

В данной статье рассматривается краткая теория возникновения Холловской поперечной разности потенциалов. Приведены принципиальная схема лабораторной установки и порядок проведения эксперимента.

Ключевые слова: Эффектом Холла, датчик, постоянная Холла, силы Лоренца, закон Ома, переключатель

**POSSIBILITY OF USE OF HALL SENSOR IN PHYSICAL WORKSHOP FOR
DETERMINING THE CONCENTRATION OF CHARGE CARRIERS
IN SEMICONDUCTORS**

Abenov T.E., Kazhiakparova J.S., Kadirova J.C., Abdрахmanov D.Z.

West Kazakhstan innovation Technological University, Uralsk, e-mail: ghadira@rambler.ru

This article discusses briefly the theory of occurrence of transverse Hall potential difference. Results printsialnaya diagram of the laboratory setup and the procedure of the experiment.

Keywords: Hall effect sensor, Hall constant, Lorentz force, Ohm's law, the switch

Электропроводность металлов зависит от концентрации электронов проводимости n и от их подвижности l . Обе эти величины, являющиеся важными характеристиками, могут быть определены из опыта. Для измерения концентрации электронов можно пользоваться эффектом Холла. Эффект Холла наблюдается не только в металлах, но и в полупроводниках, причем по закону эффекта можно судить о принадлежности полупроводника к n - или p -типу.

Эффектом Холла называется явление перераспределения зарядов в металле или полупроводнике, через которые течет ток и которые помещены в магнитное поле \vec{B} , в результате чего возникает поперечная разность потенциалов между точками, расположенными на прямой, перпендикулярной как вектору \vec{B} поля, так и направлению тока \vec{j} (рис. 1). Причиной возникновения поперечной разности потенциалов является магнитная составляющая силы Лоренца, действующая на движущийся со скоростью \vec{v} заряд.

$$F_m = q[\vec{v}, \vec{B}]. \quad (1)$$

В результате действия силы отрицательные заряды отклоняются к верхней грани, на нижней появляется их недостаток – положительный заряд (рис. 1,а). Аналогично осуществляется перераспределение положительных зарядов (рис. 1,б). В предположении, что все носители тока имеют одинаковую постоянную скорость движения \vec{v}

и их концентрация n , сила тока через кристалл $i = e \cdot n \cdot \vec{v} \cdot l \cdot d$, найдем:

$$\vartheta = \frac{i}{e \cdot n \cdot l \cdot d}. \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что сторонняя сила \vec{F}_m создает поле $\vec{E}^* = \vec{E}_x$, которое при $\vec{v} \perp \vec{B}$ приводит к появлению сторонней ЭДС – ЭДС Холла:

$$U_x = \vartheta \cdot B \cdot l. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получим:

$$U_x = \frac{1}{en} \frac{B}{d} i. \quad (4)$$

Величина

$$R = \frac{1}{e \cdot n} \quad (5)$$

является характеристикой вещества и называется постоянной Холла. Так как $i = j \cdot l \cdot d$, то напряженность поперечного электрического поля:

$$\vec{E}_x = R[\vec{B}j]. \quad (6)$$

В реальном кристалле полупроводника носители тока испытывают столкновения по различным механизмам, рассеиваются на примесях и колебаниях решетки. Учет этих процессов для полупроводников с собственной (а) и примесной (б) проводимостью приводит к несколько отличным от (4) выражениям для R :

а)
$$R = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{e \cdot n}$$

б)
$$R = \frac{3\pi}{8e} \frac{\mu_p^2 P - \mu_e^2 n}{(\mu_p^2 P + \mu_e^2 n)^2} \quad (7)$$

где μ_e, μ_p – подвижность электронов и дырок, n и p их концентрации.

Установка для проведения эксперимента

В установке смонтированы механическая система перемещения датчика Холла вдоль оси соленоида с фиксацией его положения, блок-питания БП-1 соленоида, стрелочный прибор, регистрирующий ток соленоида, и электронная схема измерения, обеспечивающая регистрацию тока датчика Холла и ЭДС Холла (рис. 2).

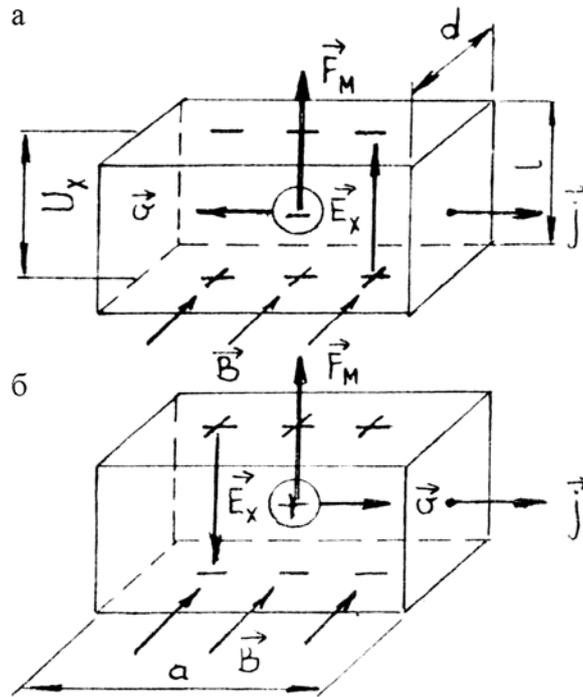


Рис. 1

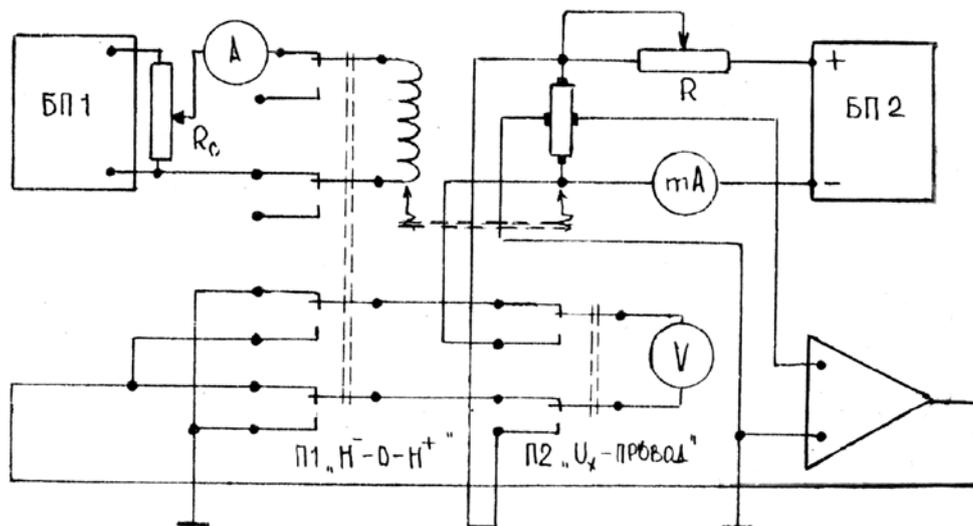


Рис. 2

При определении ЭДС Холла следует учитывать сопутствующие эффекты, которые, в отличие от эффекта Холла, являются четными по полю, т.е. не зависят от направления поля. Это обстоятельство используется для их исключения, – Холловскую ЭДС измеряют при двух направлениях поля, изменяя его переключателем П1 «Н-О-Н⁺». при прямом направлении поля Н⁺ напряжение между Холловскими контактами $U_+ = U_x + U_{\text{доб}}$, при обратном $U_- = -U_x + U_{\text{доб}}$, что после вычитания дает:

$$U_x = 1/2(|U_+| + |U_-|), \quad (8)$$

т.е. $U_{\text{доб}}$, обусловленное четными эффектами, исключено.

Как следует из формулы (4), зависимость ЭДС Холла от величины индукции магнитного поля $U_x = f(B)$ имеет линейный характер. Поэтому тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс (оси OB):

$$\text{tg } \alpha = \frac{i}{d} \cdot R. \quad (9)$$

Откуда определяем постоянную Холла:

$$R = \frac{d}{i} \cdot \text{tg } \alpha. \quad (10)$$

Используя формулу (7), а) можно найти концентрацию носителей:

$$n = \frac{3\pi}{8 \cdot R \cdot e} = \frac{3\pi \cdot i}{8 \cdot e \cdot d} \cdot \text{tg } \alpha. \quad (11)$$

В положении переключателя П2 «провод» определяется удельное электрическое сопротивление кристалла датчика ρ по измеренному падению напряжения U и величине тока i :

$$\rho = \frac{U}{i} \cdot \frac{l \cdot d}{a}. \quad (12)$$

Так как

$$j = e \cdot n \cdot \vartheta = e \cdot n \cdot \mu \cdot E,$$

где μ – подвижность носителей тока, и

$$j = \frac{E}{\rho}, \text{ то} \quad \mu = \frac{1}{\rho \cdot e \cdot n} = \frac{8R}{3\pi \cdot \rho}. \quad (13)$$

Эксперимент осуществляется в такой последовательности. Переключатель П2 перевести в положение « U_x ». Потенциометром

R задать ток через датчик и измерить ЭДС Холла при изменении магнитного поля соленоида в прямом и обратном направлении. Изменения знака поля осуществляется переключателем «Н-О-Н⁺». Для этого датчик поместить на оси соленоида (обычно в центре), для которой известно зависимость индукции поля от тока через соленоид регулируемого потенциометром R_c . ЭДС Холла найти в результате двух измерений по формуле (8). Измерение повторяется несколько раз при других значениях тока через датчик Холла. Затем в положении переключателя П1–«О» и П2–«провод» снять зависимость тока через датчик Холла от разности потенциалов. Изменение напряжения осуществляется потенциометром R . Далее снять распределение поля по оси соленоида в положении П2–« U_x ».

По результатам экспериментальных материалов:

Построить зависимость $U = f(B)$ (градуированную кривую датчика Холла), через полученные точки провести прямую, найти тангенс угла её наклона к оси абсцисс по формуле (10) определить постоянную Холла, а по зависимости (11)–концентрацию носителей.

Проверить выполняемость закона Ома для датчика Холла, для чего построить зависимость $U = f(i)$ провести через полученные точки прямую линию и найти $\text{tg } \alpha$ угла её наклона к оси i . По формуле, следующей из (12),

$$\rho = \frac{l \cdot d}{a} \cdot \text{tg } \alpha.$$

Определить удельное сопротивление кристалла, а по зависимости (13) – подвижность носителей заряда. Студенты выполняют и другие лабораторные работы: эффект Доплера, определение ширины запрещенной зоны полупроводника, проверяются законы волновой оптики с применением гелий – неоновый лазер и т.д.

Студенты убеждаются, что эффект Холла является наиболее эффективным методом изучения энергетического спектра носителей тока в металлах и полупроводниках.

Список литературы

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, Кн. 2: Электричество и магнетизм: учебное пособие. – М.: Астрель, 2008. – 336 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. 7-е изд. – М.: Изд-во «Высш. шк.», 2003. – 540 с.