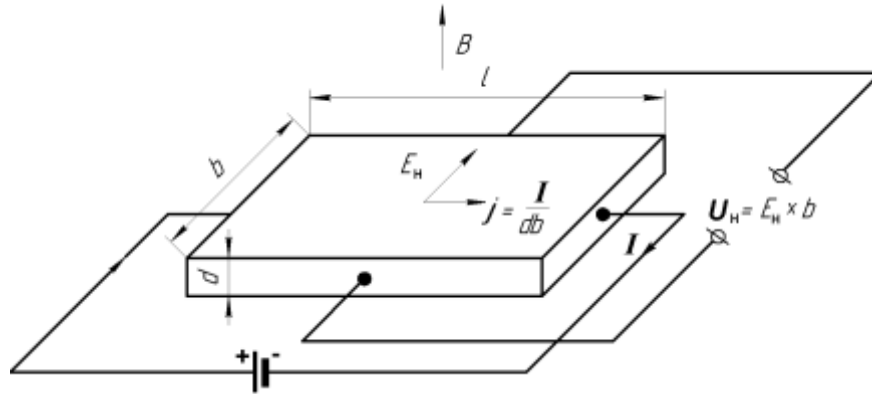


Лабораторна робота № 3

ВИВЧЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ МЕТОДОМ ЕФЕКТА ХОЛЛА

Кінетичні ефекти, що мають місце при одночасному впливі на носії заряду електричного E та магнітного H полів, називаються гальваноманітними ефектами. Явище виникнення поперечного електричного поля та різниці потенціалів у напівпровіднику, в якому протікає струм, поміщеному в магнітне полі, перпендикулярне струму, називається ефектом Холла (рис.1).



Цей ефект відкрито в 1879 р. Дрейфова швидкість електронів у площині (X, Y) під дією електричного поля E_x дорівнює

$$V_x = -j/en, \quad (1)$$

Де e – абсолютна величина заряду електронів, j – щільність струму, n – концентрація електронів.

Заряд, що рухається в магнітному полі вздовж осі X зі швидкістю V_x , відхиляється від напрямку руху під дією сили Лоренца F_L .

$$F = qv \times B \quad (2)$$

Напрямок сили Лоренца визначається правилом лівої руки або векторним добутком $[vB]$. При цьому у виразі (2) необхідно враховувати як знак заряду "e", так і напрямок вектора швидкості V вздовж осі "X". Відповідно до цього відхиляються і позитивні, і негативні заряди до однієї і тієї ж бічної грані у напрямі, перпендикулярному до осі "X". Для електронного напівпровідника грань, на яку спрямована сила Лоренца, набуває негативного потенціалу, а для діркового напівпровідника – позитивного. У напрямку, перпендикулярному до руху носіїв, виникає різниця потенціалів, що обумовлює появу електричного поля. Це поле ортогонально у напрямку початкового електричного поля і зветься поля Лоренца. Так як

$$V_x = \mu_e E_x \quad (3)$$

где μ_e – рухливість електронів, складова електричного поля E_x , паралельна струму, визначається з виразу

$$j = e\mu_e n E_x \quad (4)$$

Спостереження ефекту Холла зводиться до вимірювання поперечної ЕРС, що виникає між вузькими бічними сторонами зразка зі струмом під дією магнітного поля перпендикулярного струму. Ефект Холла описується за допомогою коефіцієнта Холла R_H , що визначається з рівності:

$$E_y = E_H = V_x B = -V j / en = R_H B j, \quad (5)$$

Де E_H – напруга холловського поля. З (5) видно, що для речовини з електронною провідністю (метала або напівпровідника)

$$R_H = - 1/en. \quad (6)$$

У слабких магнітних полях R_H не залежить від магнітної індукції та характеризує лише властивості речовини. Так як $I = jbd$,

$$E_H = V_H / b, \quad (7)$$

$$\text{То, } R_H = V_H \cdot d / B \cdot I \quad (8)$$

Де I – струм, b – ширина зразка, d – товщина зразка вздовж лінії магнітного поля, V_H ЕРС Холла.

В загальному вигляді у вираз (6) необхідно поставити множник (r), що враховує механізм розсіювання і залежить від ступеня виродження електронів у зоні провідності, тобто. Для електронів

$$R_H = -r / en \quad (9)$$

$$\text{для дірок} \quad R_H = r / ep$$

$$\text{де } 1 \leq r < 2.$$

Як видно з (9) знак коефіцієнта Холла збігається із знаком основних носіїв заряду в напівпровідниках. Тому вимірювання постійної Холла дозволяє будувати висновки про характер електропровідності даного матеріалу (електронна або дірочна провідність). У своєму напівпровіднику ($n = p$) коефіцієнт Холла найчастіше негативний з-за більшої рухливості електронів. Ефект Холла добре проявляється у напівпровідників із великою концентрацією носіїв. Питома електропровідність, обумовлена електронами чи дірками, виражається формулами

$$\delta_n = en \mu_e, \quad \delta_p = ep \mu_p, \quad (10)$$

де r і μ_p - концентрація і рухливість дірок, відповідно. В загальному вигляді:

$$R_H \delta / r = \mu; \quad R_H \delta = \mu_H \quad (11)$$

$$\text{где } \mu_H = r\mu,$$

μ_H має розмірність рухливості і називається холлівською рухливістю.

З рис. 1 видно, що магнітне поле змушує електрони та дірки дрейфувати в ту саму сторону щодо напрямку струму, а саме: в праву сторону по ходу струму, у той час як в

електричному полі їх дрейф направлений у протилежні сторони. Те, що заряди різного знака дрейфують під дією сили Лоренца в одному напрямку, дозволяє визначати тип носія заряду (електрон або дірка) за знаком потенціалу грані, до якої відхиляються заряди. Внаслідок появи у напівпровіднику додаткового електричного поля E_y напрямком результуючого електричного поля \vec{E} тепер не збігається з напрямком струму j , а повернено щодо j на деякий кут φ_H , який отримав назву кута Холла. Кут φ між струмом і результуючим електричним полем (рис.2) можна знайти як

$$\operatorname{tg} \varphi = E_y/E_x = B \mu_e. \quad (12)$$

Кут Холла (13) враховує напрямок результуючого електричного поля. Якщо кут φ_H малий, то $\mu_e \ll 1$, що є умовою слабкого поля. Так як

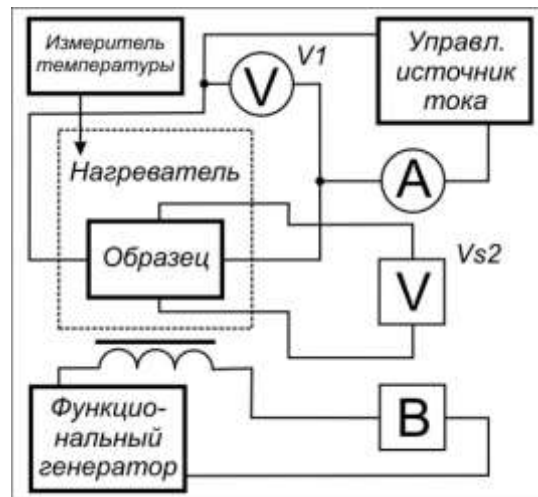
$$\mu_e = e\tau/m, \quad (13)$$

де τ – час вільного пробігу електрона, m – ефективна маса електрона,

$$\operatorname{tg} \varphi_H = -e\tau/m \cdot B = \omega_e \tau = \omega_e / \omega_c, \quad (14)$$

де ω_e – частота циклотронного резонансу, що характеризує частоту обертання електрона по круговій орбіті; $\omega_c = 1/\tau$ – частота зігкнень.

Порядок виконання роботи:



1. При незмінному значенні сили струму $I = 100$ мА, що протікає через зразок, вимірюється залежність ЕРС Холла від індукції магнітного поля, тобто встановлюються вказані в інструкції значення струму через електромагніт та для кожного вимірюється ЕРС Холла V_H

2. Побудувати графік $V_H = f(B)$ і з цього графіка. Визначити чутливість перетворювача Холла. За графіком залежності $U_x = f(B)$ знайдіть кутовий коефіцієнт даної прямої лінії $\operatorname{tg}(b_1)$ (рис.3). Розмір $\operatorname{tg}(b_1)$ є чутливістю датчика: $\operatorname{tg}(b_1) = a$.

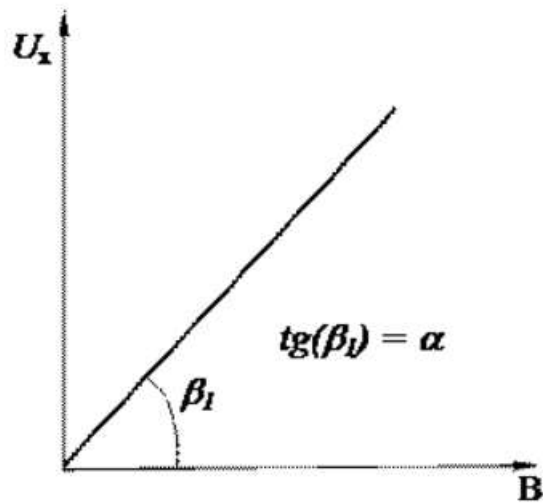


Рисунок 3 – Залежність напруги Хола від магнітної індукції;

B, мТл	EPС, мВ	E _H , В/м	n*10 ¹⁹ , м ⁻³	R _H	α
5,53	13,20		1,152		
12,41	30,55				
19,45	48,15				
26,35	64,95				
33,425	80,75				
44,4	94,65				
47,4	106,20				
54,45	114,70				
61,555	121,75				
68,605	127,40				
75,65	131,80				
82,45	136,00				
89,15	138,85				
95,55	141,60				
102,1	144,65				

В роботі досліджується зразок *n*-типу твердої сполуки *n*-In_{*x*}Ga_{1-*x*}As, *x*=0,37. *b* = 2см;