

## Лабораторна робота № 6.4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ХОЛЛА У НАПІВПРОВІДНИКАХ

**Приналежності:** лабораторна установка - електромагніт, датчик Холла, вимірювальний пристрій.

**Мета роботи:** вивчення процесів руху електричних зарядів в напівпровідникових зразках, поміщених в магнітне поле, поперечному струму; визначення сталої Холла; розрахунок концентрації носіїв струму в напівпровіднику.

#### Теоретичні відомості.

Ефектом Холла називається виникнення в провіднику або напівпровіднику зі струмом, вміщеному в магнітне поле, електричного поля, перпендикулярного як напрямку струму ( $\vec{E}_X \perp \vec{j}$ ), так і напрямку магнітного поля ( $\vec{E}_X \perp \vec{B}$ ).

Це явище пояснюється дією на рухомі носії заряду (електрони провідності і дірки) сили Лоренца, що відхиляє їх від початкового напрямку руху.

На рис. 1.а) показано напрям сили Лоренца (її магнітної складової), що діє на електрони провідності *в напівпровіднику n-типу (з електронним типом провідності)*.

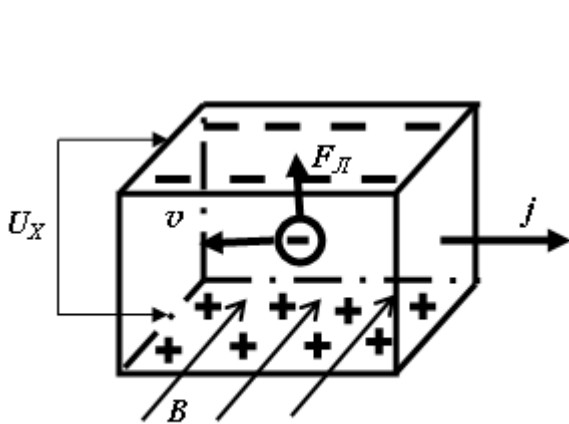


Рис. 1,а

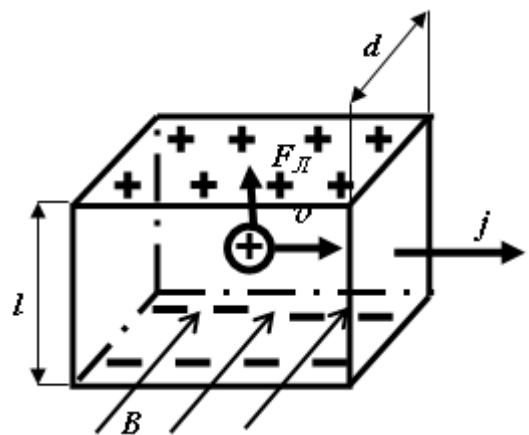


Рис. 1,б

у

негативних зарядів вектор швидкості  $\mathbf{v}$  і вектор густини струму  $\mathbf{j}$  спрямовані в протилежні боки.

На рис.1, а) струм проходить зліва направо, вектор магнітної індукції  $\mathbf{B}$  спрямований за площину креслення (від нас). В цьому випадку, скориставшись правилом лівої руки, визначаємо, що електрони відхиляються силою Лоренца вгору. Внаслідок цього на верхній грані платівки напівпровідника виникає надлишок електронів, а на нижній - їх нестача.

Верхня грань платівки заряджається негативно, а нижня - позитивно, і всередині платівки виникає поперечне (до струму і до магнітного поля) електричне поле, напруженість якого  $E_X$ , а відповідна напруга (холлівська напруга)  $U_X$ .

Відхилення носіїв заряду в поперечному напрямку відбувається до тих пір, поки сила, що діє на електрони з боку електричного поля, яке виникло,

$$F_{эл} = e \cdot E_X$$

не буде дорівнювати силі Лоренца

$$F_l = e \cdot v \cdot B.$$

Тоді

$$e \cdot E_X = e \cdot v \cdot B,$$

де  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл - заряд електрона,  $v$  - швидкість електрона.

Звідки для напруженості поперечного (холлівського) електричного поля отримуємо

$$E_X = v \cdot B.$$

Якщо відстань між гранями платівки дорівнює  $l$ , то різниця потенціалів (напруга) між ними

$$U_X = E_X \cdot l = v \cdot B \cdot l.$$

У цьому виразі середню швидкість електронів  $v$  можна виразити через густину струму  $j$ : оскільки

$$j = n \cdot e \cdot v,$$

то

$$v = \frac{j}{ne},$$

де  $n$  - концентрація електронів.

Враховуючи, що густина струму  $j = \frac{I}{S}$  і площа поперечного перерізу платівки напівпровідника  $S = ld$ , отримаємо

$$U_X = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{I \cdot B}{d}.$$

Величина

$$R_X = \frac{1}{n \cdot e} \quad (1),$$

є сталою для даної речовини, називається сталою Холла.

Таким чином, холлівська напруга (ЕРС Холла) має вигляд

$$U_X = R_X \cdot \frac{I \cdot B}{d}. \quad (2)$$

Величини  $I$ ,  $B$ ,  $U_X$  і  $d$  визначаються експериментально. Тоді за їх значенням можна визначити сталу Холла  $R_X$  (дивись формулу (3)).

У **дірковому напівпровіднику** (напівпровіднику  $p$ -типу) основними носіями заряду є позитивні заряди (дірки). Тому спостерігається зворотна картина, показана на рис.1, б). Швидкість дірок має той самий напрям, що і струм, і при зазна-

ченому напрямку магнітного поля сила Лоренца (її магнітна складова) як і раніше буде спрямована вгору, і заряджені частинки будуть накопичуватися у верхньої грані. Однак, оскільки дірки заряджені позитивно, верхня грань при цьому буде заряджуватись позитивно, тобто явище Холла матиме зворотний знак.

Знак сталої Холла збігається зі знаком основних носіїв заряду. Вимірювання сталої Холла для напівпровідників дозволяє робити висновок про тип його провідності: в разі електронної провідності ( $n$ -типу) заряд носіїв негативний і  $R_H < 0$ , в разі діркової провідності ( $p$ -типу) заряд носіїв позитивний і  $R_H > 0$ .

Стала Холла залежить від концентрації носіїв заряду  $n$ , і тому, вимірюючи сталу Холла, можна визначити їх концентрацію.

Для напівпровідників стала Холла має порядок  $R_H \sim 0,1 \text{ м}^3/\text{Кл}$ .

### Опис лабораторної установки

Установка складається з датчика (або перетворювача) Холла, поміщеного між полюсами електромагніта, і вимірювального пристрою. Датчик являє собою тонку напівпровідникову прямокутну платівку з чотирма електродами для підведення електричного струму і знімання ЕРС Холла (рис. 2).

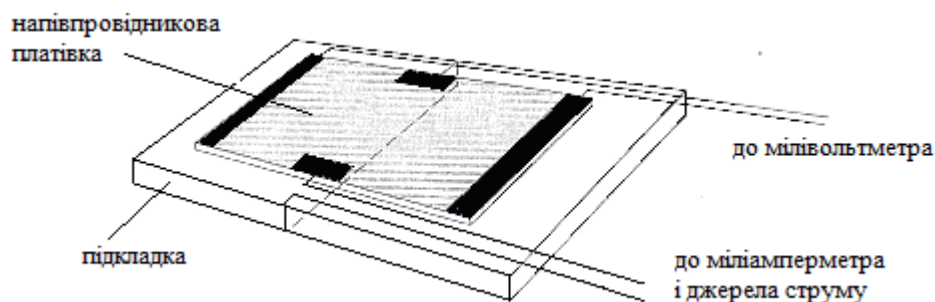


Рис.2.

Товщина пластинки повинна бути мінімальною з метою підвищення холлівської напруги. Зазвичай вона становить десяті частки міліметра. Оскільки напівпровідники, на відміну від металів, є дуже крихкими, необхідну форму їм надають за допомогою розрізання напівпровідникових злитків алмазної пилкою. Крихкі напівпровідникові пластини приклеюють на діелектричну підкладку - слюду, кераміку і т.п.

Виготовляють датчики Холла з силіцію Si, германію Ge, арсеніду галію GaAs, антимоніду індію InSb.

Розміри датчика в даній роботі  $1,2 \text{ мм} \times 1,2 \text{ мм} \times 0,35 \text{ мм}$ . Останнє число - товщина пластинки  $d$ .

Датчик встановлений між полюсами електромагніта в збірному корпусі. Через верхнє вікно корпусу видно полюси електромагніта і плату з датчиком Холла.

У вимірювальному пристрої застосована мікро-ЕОМ, що дозволяє автоматизувати вимірювання.

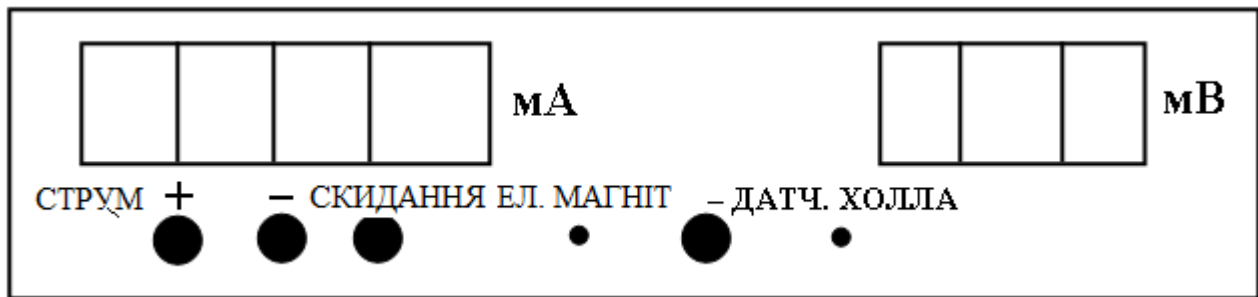


Рис.3.

На передній панелі вимірювального пристрою (рис.3) розміщені:

- Кнопка скидання. Після натискання кнопки скидання значення струму обнуляється і напрям струму змінюється на протилежний.
- Кнопки струм більше (СТРУМ «+») і струм менше (СТРУМ «-») задають значення струму.
- Кнопка «ЕЛ. МАГНІТ - Датч. Холла» перемикає струм або через обмотку електромагніта, що створює поперечне до струму магнітне поле, або через датчик Холла. Вибір відображається відповідними світлодіодами.
- Табло індикації *мА* відображає значення струму, а табло *мВ* відображає ЕРС Холла.

### Порядок виконання роботи

1. Підключити установку до мережі (220 В) і натиснути вимикач "МЕРЕЖА".
2. Встановити певний напрям і величину магнітної індукції  $B$  поперечного магнітного поля. Для цього в режимі ЕЛ. МАГНІТ кнопками СКИДАННЯ, СТРУМ «+» СТРУМ «-» **встановити вказане в таблиці значення струму  $I_E$**  (7мА), що проходить через обмотку електромагніта.
3. Після цього перейти в режим ДАТЧ. ХОЛЛА. Натисканням кнопок СКИДАННЯ, СТРУМ «+» і СТРУМ «-» **задавати послідовно одне із зазначених в таблиці значень струму  $I_x$** , що проходить через датчик. Для кожного значення струму записати в таблицю напругу Холла, що виникає.
4. Змінити напрям магнітного поля на протилежний. Для цього натисканням кнопки СКИДАННЯ змінити полярність джерела живлення електромагніта і знову встановити задане в таблиці значення струму  $I_E$  електромагніта (-7 мА).
5. Виконати знову все вимірювання п. 3.
6. Збільшити магнітне поле, пропустивши по черзі струм в обмотці 9 мА (або інше значення з інтервалу 7 - 10 мА) і повторити вимірювання.
7. Розрахувати за формулою

$$R_x = \frac{d}{B} \cdot \frac{U_x}{I_d} \quad (3)$$

і занести в таблицю значення сталої Холла для кожного досліду. При цьому значення магнітної індукції  $B$  розраховується за емпіричною формулою для даного електромагніта

$$B = 6,08 \text{ мТл} + 1,85 \frac{\text{мТл}}{\text{мА}} I_{\text{э}},$$

де  $I_{\text{э}}$  виражено в мА. Товщина пластинки даного зразка  $d = 0,35$  мм.

Таблиця.

$I_{\text{э}},$ (мА)	7.0						-7.0						9.0						-9.0					
$B,$ (мТл)																								
$I_{\text{д}},$ (мА)	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3	1	2	3	-1	-2	-3
$U_{\text{х}},$ (мВ)																								
$R_{\text{х}},$ (м <sup>3</sup> /Кл)																								
$\langle R_{\text{х}} \rangle,$ (м <sup>3</sup> /Кл)																								

8. Обчислити середнє значення сталої Холла  $\langle R_{\text{х}} \rangle$ , користуючись яким розрахувати концентрацію носіїв струму в напівпровіднику:

$$n = \frac{1}{R_{\text{х}} \cdot e}$$

Елементарний заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

### Контрольні питання.

1. Якою є причина виникнення холлівської різниці потенціалів? .
2. Що називається сталою Холла? В яких одиницях вона вимірюється?
3. Як можна використовувати ефект Холла для визначення індукції магнітного поля?
4. Як зміниться холлівська напруга при зміні напрямку струму в датчику на протилежний?
5. Як зміниться холлівська напруга при зміні напрямку вектора магнітної індукції на протилежний?

### Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т, Луцик П.П.. Т.2. Електрика і магнетизм. К .; «Техніка», 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс фізики - М., «Академія», 2005.
3. Савельєв І.В. Курс фізики Т.2 .: М .: «Наука», 1989.

Уклав Гаркуша І.П.