

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 ГАЛЬВАНОМАГНІТНІ ЯВИЩА

Мета роботи: обчислення ЕРС-Холла та електрофізичних характеристик напівпровідника залежно від впливу електромагнітних полів та структури матеріалу. Теоретичні відомості

Фізичні явища, що виникають в речовині, яка знаходиться в магнітному полі, при проходженні через речовину електричного струму під дією електричного поля, називають *гальваномагнітними ефектами*. Іншими словами, гальваномагнітні явища спостерігаються в речовині при спільній дії електричного і магнітного полів. До гальваномагнітних явищ відносяться:

- 1) ефект Холла;
- 2) магнінорезистивний ефект чи магнітоопір;
- 3) ефект Еттінгсгаузена чи поперечний гальванотермомагнітний ефект;
- 4) ефект Нернста чи повздовжній гальванотермомагнітний ефект.

Ефект Холла за своєю суттю іноді називають гальваномагнітним ефектом.

Вказані вище назви «поперечний» і «повздовжній» гальванотермомагнітні ефекти відображають напрями градієнтів температури відносно струму; відносно магнітного поля вони можуть бути поперечними чи повздовжніми.

Суть ефекту Холла полягає в тому, що на заряд q , що рухається в магнітному полі зі швидкістю v , діє сила Лоренца

$$F = q[vB], \quad (7.1)$$

де B – індукція магнітного поля. Якщо $v \perp B$, то $F = qvB$.

Розглянемо пластинку напівпровідника p -типу, через яку протікає струм, що спрямований перпендикулярно до зовнішнього магнітного поля (рис. 7.1). Сила Лоренца відхиляє дірки до верхньої границі напівпровідника, внаслідок чого їх концентрація там збільшується, а в нижній грані зменшується. У результаті просторового поділу зарядів виникає електричне поле, спрямоване від верхньої грані до нижньої.

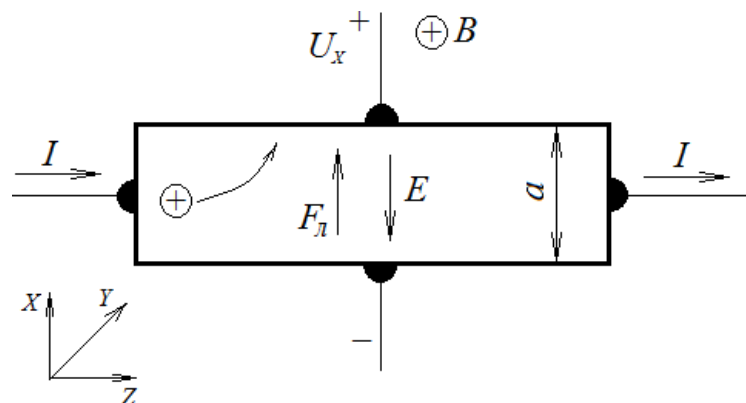


Рисунок 7.1 – Виникнення ЕРС Холла

Це поле перешкоджає поділу зарядів і як тільки створена ним сила стане рівною силі Лоренца: $qE = q[\upsilon B]$, подальший поділ зарядів припиниться. При такій рівновазі потік дірок рухається через пластину, не відхиляючись. Різниця потенціалів між верхньою і нижньою гранню зразка дорівнює

$$U_x = Ed = \upsilon Bd . \quad (7.2)$$

Явище виникнення поперечної ЕРС у напівпровіднику, поміщеному в магнітне поле, називається ефектом Холла, а U_x — відповідно напругою Холла. Підставивши в (7.1) значення швидкості, визначене з формули для струму через пластину,

$$I = jS = q\upsilon ad , \quad (7.3)$$

де a — товщина пластини в напрямку y , одержимо

$$U_x = (IB / qra) = (R / a)IB . \quad (7.4)$$

Величина

$$R = 1 / qp , \quad (7.5)$$

називається коефіцієнтом Холла. Формула (7.4) справедлива для нескінченно довгого напівпровідника в напрямку z ; нею можна скористатися, якщо довжина сенсора більше $2...3d$.

В електронному напівпровіднику при однаковому напрямі I і B (рис. 7.1) сила Лоренца відхиляє електрони в тому ж напрямі, що і дірки, тобто до верхньої грані. Це обумовлено тим, що хоча швидкість електронів і протилежна швидкості дірок, що збігається з напрямом струму, знак заряду електрона також протилежний знаку заряду дірки. Коефіцієнт Холла для n -напівпровідника дорівнює

$$R = -1 / qn , \quad (7.6)$$

а полярність напруги U_x протилежна полярності U_x для діркового напівпровідника.

При виведенні формул (7.5), (7.6) не врахований той факт, що внаслідок розсіювання носіїв заряду в напівпровіднику їх швидкості неоднакові. Врахування цього приводить до множення правих частин цих формул на коефіцієнт A , величина якого залежно від механізму розсіювання знаходиться в інтервалі $1...2$.

У напівпровіднику з провідністю, обумовленою носіями обох знаків,

електрони і дірки відхиляються в одну сторону. У цьому випадку значення R буде меншим, ніж для напівпровідника, з носіями одного знака, і визначається за формулою:

$$R = (A/q) \left[\frac{\mu_p^2 p - \mu_n^2 n}{\mu_p p + \mu_n n} \right]. \quad (7.7)$$

Вимірюючи значення коефіцієнта Холла, наприклад у напівпровіднику n -типу (7.6), і електропровідність ($\sigma_n = q\mu_n n$), можна визначити μ_n і n для даного напівпровідника (при відомому A). Цей метод широко використовується на практиці.

При постійному струмі через зразок величина U_x визначається тільки індукцією магнітного поля B . Тому сенсори ЕРС Холла широко використовуються для вимірювання індукції магнітних полів.

Приклад розв'язування задач

Існує зразок германію з поперечним перерізом $0,1 \times 0,2$ см та концентрацією легувальної домішки 10^{17} см⁻³. Вздовж зразка протікає струм $0,6$ А. Перпендикулярно напрямку струму діє магнітне поле з індукцією $0,5$ Тл. Визначте напругу Холла між контактами до вузьких сторін бокової поверхні зразка.

Розв'язування.

Напруга Холла визначається за виразом:

$$U_x = \frac{IB}{qra} = (R/a)IB;$$

$$U_x = \frac{0,6 \cdot 0,5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{23} \cdot 10^{-2}} = 0,01875 = 18,75 \text{ мВ.}$$

Відповідь: напруга Холла набуває значення $18,75$ мВ.

Задачі для самостійного розв'язування

Задача 1. Зразок міді товщиною 1 мм поміщений в магнітне поле з індукцією $0,5$ Тл. Через зразок протікає струм 20 мА. Обчисліть ЕРС-Холла, якщо концентрацію електронів провідності в міді взяти рівною $8,45 \cdot 10^{28}$ м⁻³.

Задача 2. Обчисліть рухливість та концентрацію електронів в кремнії n -типу, питомий опір якого $1,8 \cdot 10^{-2}$ Ом·м, а коефіцієнт Холла $2,1 \cdot 10^{-3}$ м³/Кл.

Задача 3. Зразок арсеніда галію з питомим опором $5 \cdot 10^{-4}$ Ом·м характеризується коефіцієнтом Холла $3 \cdot 10^{-4}$ м³/Кл. Обчисліть: а) напруженість холлівського поля, що виникає при протіканні через зразок струму густиною 10 мА/мм² і впливу магнітного поля з індукцією 2 Тл; б) напруженість зовнішнього електричного поля для створення заданої густини струму.

Задача 4. Обчисліть ЕРС-Холла, що виникає в пластині германію товщиною $0,5$ мм з власною електропровідністю при температурі 300 К, якщо вздовж пластини протікає електричний струм 10 мА. Вектор магнітної індукції ($B = 0,6$ Тл) перпендикулярний до площини пластини, рухливість електронів $0,39(T/300)^{-3/2}$, рухливість дірок $0,19(T/300)^{-3/2}$, власна концентрація носіїв заряду $2,1 \cdot 10^{19}$ м⁻³, $A=1,18$ (коефіцієнт, що враховує механізм розсіювання).

Задача 5. У приладі для дослідження ефекту Холла у зразку германію при $l = 2,5$ мм, $d = 50$ мкм, $a = 0,25$ мм, $I = 2$ мА, $B = 5 \cdot 10^{-1}$ Тл отримано $U = 85$ мВ (за напрямком струму I), $U_H = -1,25$ мВ. Визначте: а) тип основних носіїв; б) їх концентрацію, в) коефіцієнт Холла; г) рухливість основних носіїв.

Контрольні запитання

1. Які явища називаються гальваномагнітними?
2. Охарактеризуйте рух зарядженої частинки в слабких та сильних магнітних полях.
3. В чому полягає суть ефекту Холла?
4. Поясніть суть ефекту Гаусса.
5. Розкрийте суть ефектів Еттінгсгаузена та Нернста.
6. З яких матеріалів виготовляється датчик Холла і яке його основне призначення?
7. Чи залежить полярність напруги Холла від типу провідності напівпровідника?