

Лабораторна робота № 72

ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ФОТОПРОВІДНОСТІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОТООПОРУ

Мета роботи: вивчення механізму фотопровідності та фотоелектричних властивостей фотоопору.

1 ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

- 1) фотоопір ФС-К1;
- 2) робоча камера (РК);
- 3) джерело світла;
- 4) джерело струму;
- 5) потенціометр;
- 6) вольтметр і мікроамперметр;
- 7) з'єднувальні електропроводи.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Фотоопором називають напівпровідниковий (н/п) пристрій, дія якого заснована на явищі фотопровідності.

Фотопровідність – це додаткова провідність н/п, обумовлена збільшенням концентрації рухливих носіїв заряду під дією світла. Провідність, якою володіє затемнений н/п називають темною.

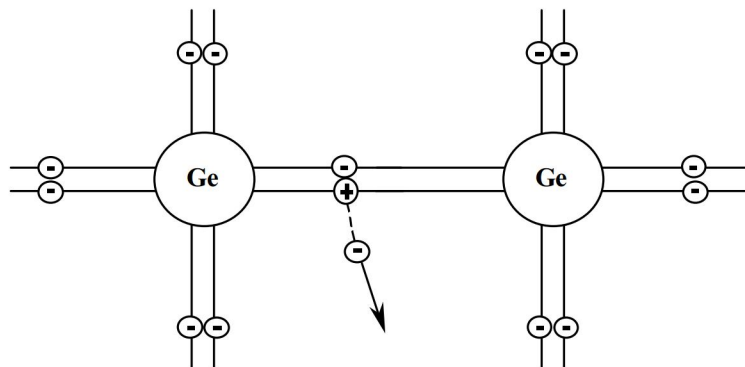


Рисунок 2.1

Розрізняють власну і домішкову фотопровідність в залежності від типу електронних переходів. Розглянемо для прикладу найбільш поширений чотиривалентний напівпровідниковий елемент – германій, кожен атом якого зв'язаний з чотирма найближчими сусідами ковалентним зв'язком за участю валентних електронів (рис. 2.1). Якщо енергії падаючих фотонів світла достатньо, щоб вибити валентний електрон з ковалентного зв'язку, то виникає власна провідність, зумовлена рухом як звільнених електронів так і позитивно заряджених вакансій (дірок), що утворилися на їх місці у ковалентному зв'язку. Поява позитивної дірки порушує стабільність сусідніх зв'язків і може бути заповнена одним із сусідніх електронів. При

накладанні електричного поля матиме місце впорядковане переміщення носіїв заряду обох типів у взаємно протилежних напрямках.

При наближенні ізольованих атомів даного елементу до відстаней, на яких вони знаходяться у твердому тілі, взаємодія між ними приводить до зміщення, розщеплення і розширення їх енергетичних рівнів у так звані енергетичні зони. У енергетичному представленні стану зв'язаних валентних електронів відповідає валентна зона, у якій всі дозволених енергетичні рівні заповнені і переміщення електронів неможливе. Вибитий із зв'язку електрон переходить у новий енергетичний стан, що відповідає зоні провідності. Провідність напівпровідника обумовлена переходом електронів із валентної зони у зону провідності називають власною провідністю. Енергетичний бар'єр між цими зонами називають забороненою зоною, її ширину позначають ΔE .

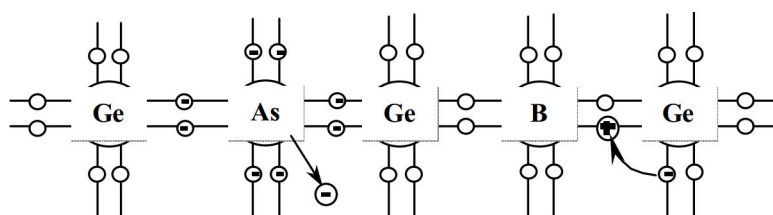


Рисунок 2.2

Якщо у зразку германію частину атомів замінити на атоми п'ятивалентного миш'яку (As) (рис. 2.2), то для звільнення п'ятого електрона не задіяного у формуванні ковалентного зв'язку з сусідніми атомами Ge достатньо значно меншої енергії, ніж для



Рисунок 2.3

розриву ковалентного зв'язку. Це відповідає звуженню ширини забороненої зони для таких електронів миш'яку, що адекватно виникненню додаткового енергетичного рівня у забороненій зоні (рис. 2.3) названого донорним ($\Delta E_d \ll \Delta E$). Донорна домішка створює електронний тип провідності (*n*-тип). Подібно тривалентна домішка, наприклад бору (B), не може забезпечити формування повноцінних завершених ковалентних зв'язків з сусідніми атомами Ge, що призводить

до їх дестабілізації, тобто зменшує енергію зв'язку. Це адекватно виникненню додаткового енергетичного рівня у забороненій зоні (рис. 2.3), названого акцепторним. На нього відносно легко можуть переходити електрони з валентної зони, тобто електрони з дестабілізованих ковалентних зв'язків з сусіднім бором можуть заповнювати сусідню позитивну вакансію, що можна трактувати як рух вакансії. Можливу міграцію дірки у валентній зоні називають *p*-типом провідності, а домішку-акцепторною. Домішкова провідність *n*- та *p*-типу проявляється при значно нижчих температурах, ніж власна.

В електричному колі з фоторезистором проходить струм

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi}}, \quad (2.1)$$

де U_{ϕ} – спад напруги на фоторезисторі; R_{ϕ} – його опір при освітленні.

При невеликих напругах на фотоопорі, сталих температурі та освітленості їх вольт-амперна характеристика має лінійний характер. Відхилення від закону Ома настають при напругах, близьких до граничної для даного фотоопору.

Значення фотоструму I_ϕ залежить від інтенсивності падаючого на фотоопір випромінювання та довжини хвилі. Виходячи з механізму виникнення фотоструму, можна стверджувати, що він є нелінійною функцією світлового потоку. Ця залежність $I_\phi = f(\Phi)$ називається світловою характеристикою фотоопору. В загальному випадку, залежність фотопровідності напівпровідників від падаючого світлового потоку Φ має вигляд:

$$\sigma_\phi = c\Phi^\alpha, \quad (2.2)$$

де $c = \text{const}$; $0 < \alpha < 1$.

Якщо в законі Ома (2.1) опір R_ϕ виразити через питому електропровідність і скористатись виразом (2.2), то отримаємо:

$$I_\phi = c_1 \Phi^\alpha U_\phi, \quad (2.3)$$

де c_1 – стала для даного фотоопору. Однією з важливих характеристик фотоопору є інтегральна чутливість – фізична величина, чисельно рівна фотоструміві, викликаному одиничним світловим потоком:

$$\gamma = \frac{I_\phi}{\Phi}. \quad (2.4)$$

Врахувавши (2.3), отримаємо:

$$\gamma = \frac{c_1 \Phi^\alpha U_\phi}{\Phi} = c_1 \Phi^{\alpha-1} U_\phi.$$

З цього рівняння видно, що інтегральна чутливість не є величиною сталою: вона зростає із зростанням U_ϕ і зменшується із зростанням Φ ($\alpha < 1$). Враховуючи це, вводять поняття питомої інтегральної чутливості:

$$\gamma_0 = \frac{I_\phi}{\Phi U_\phi}. \quad (2.5)$$

Чутливість фотоопорів до монохроматичного випромінювання неоднакова для різних довжин хвиль. Залежність чутливості фотоопору від довжини хвилі опромінення є спектральною характеристикою. Спектральні характеристики різних фотоопорів надто сильно відрізняються одна від одної. Для різних ділянок оптичного діапазону випромінювання використовують різні типи фотоопорів.

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ФОТООПОРУ ТА РОБОЧОЇ СХЕМИ

Конструкційно фотоопори різних типів дуже мало відрізняються один від одного. Основним елементом їх є тонкий шар напівпровідника 2 (рис. 3.1), нанесений на ізолюючу основу 3, наприклад, вакуумним напыленням. По краях шару напівпровідника наноситься металеві контакти 1. В окремих випадках фотоопір виготовляють вирізуванням тонкої пластинки з монокристалу. Виготовлений певним способом фотоопір вміщують у захисний корпус з віконцем і контактними ніжками та при необхідності елементами охолодження (радіатори). У даній роботі для визначення характеристики фотоопору використовується установка, схему якої наведено на рис. 3.2. Коло струму складається з фотоопору ΦO , джерела постійного струму E , потенціометра R , вольтметра V , мікроамперметра A та вимикача K .

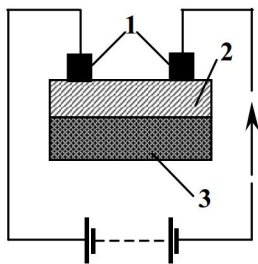


Рисунок 3.1

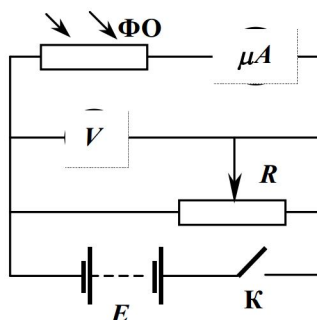


Рисунок 3.2

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1 Скласти електричне коло за схемою рис. 3.2.
- 4.2 Відкрити камеру, де поміщено фотоопір і лампу розжарювання. Ознайомитися з будовою фотоопору і його підключенням в схему.
- 4.3 Ввімкнути блок живлення.
- 4.4 Не вмикаючи лампу, змінювати напругу, прикладену до фотоопору. Одержати дані для побудови темної вольт-амперної характеристики $I=f(U)$ і занести їх у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

темнова

$U, В$				
$I, мкА$				

Побудувати графік $I=f(U)$.

- 4.5 Розмістити лампу на заданій віддалі від фотоопору, ввімкнути її і одержати дані для побудови вольт-амперної характеристики фотоопору при постійній освітленості. Дані занести в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

$r=$

$U, В$				
$I, мкА$				

Побудувати графік в тій самій системі координат, що і графік темної характеристики, використовуючи відповідний масштаб.

- 4.6 Подати на фотоопір постійну напругу і, змінюючи відстань між фотоопором і джерелом світла зняти значення фотоструму. Дані занести в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3

$U=$

$r, м$				
$I, мкА$				
$E, лк$				

- 4.7 За формулою $E = \frac{I}{r^2}$, де I – сила світла лампи, r – відстань між джерелом світла і

фотоопором, обчислити освітленість

Побудувати графік залежності фотоструму від освітленості

.

Всі вихідні дані задаються викладачем.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 5.1 Що таке фотоопір?
- 5.2 Що називають фотопровідністю н/п?
- 5.3 Власна і домішкова фотопровідність напівпровідників.
- 5.4 Поняття донорної та акцепторної домішки.
- 5.5 Якими параметрами характеризується напівпровідниковий ФО?
- 5.6 Що таке спектральна та інтегральна чутливість ФО?
- 5.7 Чим різняться темнова та світлова вольт-амперні характеристики фотоопору?