

Лабораторна робота № 8.3 Внутрішній фотоэффект в напівпровідниках

Мета роботи: дослідити залежність струму через фоторезистор від величини падаючого світлового потоку та величини прикладеної напруги.

Теоретичні відомості

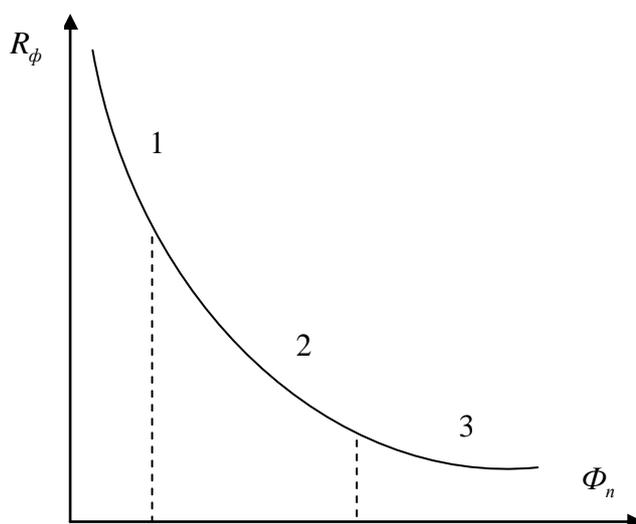
Прилади, робота яких ґрунтується на внутрішньому фотоэффекті, називаються фотоопорами або фоторезисторами.

Фоторезистор ФСД-12, який використовується в роботі, виготовлений з селеніду кадмія, який має ширину забороненої зони 1,5eВ. Максимуму спектральної чутливості даного фоторезистора відповідає довжина хвилі електромагнітного випромінювання $7,8 \cdot 10^{-7}$ м. Інтегральну чутливість фоторезистора можна оцінити відношенням числа квантів, що викликали фотоэффект, до загального числа квантів випромінювання, що потрапили на чутливу поверхню фоторезистора. Оскільки експериментально квантовий вихід визначити складно, інтегральну чутливість визначають як відношення величини відносної зміни опору фоторезистора до приросту потоку енергії випромінювання, що викликав цю зміну:

$$S = \frac{\Delta R_\phi}{R_\phi \cdot \Delta \Phi_n},$$

де R_ϕ - опір чутливого шару фоторезистора під час опромінювання його потоком Φ_n (визначається для середнього значення потоку в проміжку $\Delta \Phi_n$).

На малюнку показано залежність $R_\phi(\Phi_n)$:



Оскільки залежність R_ϕ від Φ_n нелінійна, то інтегральну чутливість S фоторезистора, як правило, визначають на різних ділянках залежності, наприклад, на ділянках 1, 2, 3. В тих випадках, коли в колі фоторезистора змінюється сила струму i (чи напруга на резисторі u), прийнято визначати струмову чи вольтову чутливість S_i як відношення

приросту струму (чи напруги) до приросту світлового потоку $\Delta\Phi_n$, який падає на поверхню фоторезистора, що його викликав:

$$S_i = \frac{\Delta i}{\Delta\Phi_n}.$$

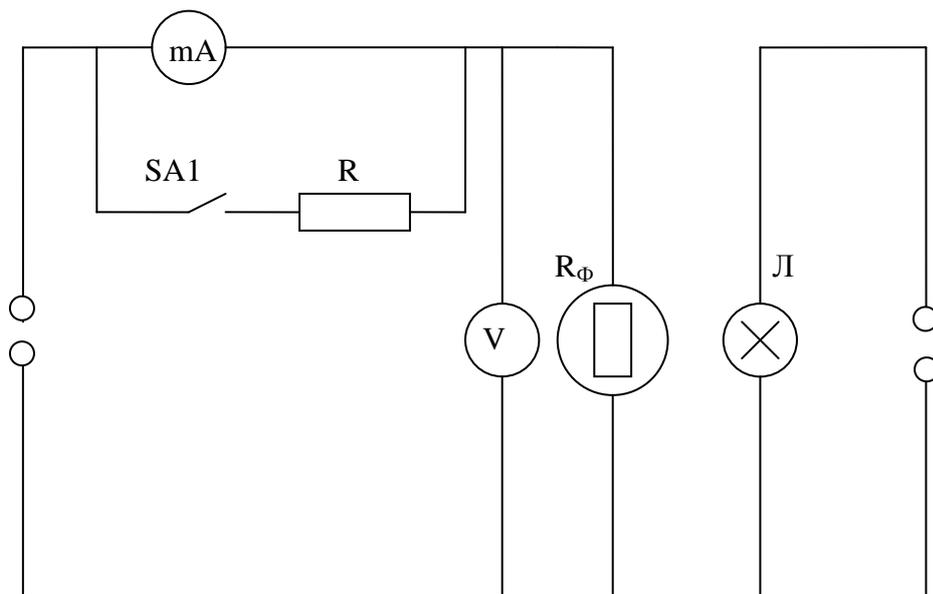
Оскільки сила струму в колі фоторезистора залежить не тільки від падаючого світлового потоку, але й від напруги на фоторезисторі, введено поняття питомої чутливості S_{num} , яка є величиною струмової чи вольтової чутливості, що припадає на одиницю напруги:

$$S_{gbn} = \frac{\Delta i}{\Delta\Phi_n \cdot u},$$

де u - напруга на фоторезисторі.

Опис лабораторної установки та методика експерименту

Схема лабораторної установки показано на малюнку:



Світло від лампи розжарювання падає на фоторезистор R_ϕ та змінює його опір. За допомогою вольтметра вимірюється напруга на фоторезисторі, яка може змінюватися від 0 до 15В. Міліамперметр вимірює силу струму, що тече крізь фоторезистор. При великих падаючих світлових потоках опір R_ϕ під'єднується тумблером SA1 та максимальний струм, що вимірюється, становить 5 мА. Падаючий світловий потік розраховується за формулою:

$$\Phi_n = \frac{I \cdot S}{r^2} \cos \alpha,$$

де I - сила світла лампи; $S = 28\text{мм}^2$ - площа чуттєвого до світла шару фоторезистора; $\alpha = 0$ - кут між напрямком світлового потоку та нормаллю до чуттєвої до світла поверхні; r - відстань від лампи до фоторезистора, що визначається за шкалою на приладі.

Сила світла лампи:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{\Phi}{4\pi},$$

де Φ - світловий потік, що випромінюється лампою; $\omega = 4\pi$ - повний тілесний кут. Світловий потік можна знайти, знаючи величину світлової віддачі лампи

$$H = \frac{\Phi}{P},$$

де $P = ui$ - потужність, що споживається лампою.

Для даної лампи $H = 6,1 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$ при $u = 6,3\text{В}$, $i = 0,22\text{А}$;

$$\Phi = H \cdot u \cdot i = 6,1 \cdot 6,3 \cdot 0,22 = 8,5(\text{лм}).$$

Сила світла лампи $I = \frac{8,5}{4 \cdot 3,14} = 0,43 \text{кд}$.

Підставляючи значення I , площі S чутливої до світла поверхні резистора та відстань r , отримаємо величину падаючого світлового потоку Φ_n :

$$\Phi_n = \frac{0,43 \cdot 28 \cdot 10^{-6}}{r^2} = \frac{12 \cdot 10^{-6}}{r^2}.$$

Отже, падаючий світловий потік змінюється обернено пропорційно до квадрату відстані від фоторезистора до лампи розжарювання.

Порядок виконання роботи

1. Під'єднати до міліамперметра шунт та виставити межу вимірювання сили струму $i_{\text{max}} = 5\text{мА}$.
2. Ввімкнути живлення фоторезистора, встановивши напругу 10В та живлення лампи 6,3В.
3. Визначити силу струму в резисторі при мінімальній відстані між резистором та лампою, а потім, збільшуючи r через 1см, зняти залежність сили струму i від падаючого світлого потоку Φ_n за умови сталої напруги на резисторі. Світловий потік обчислити за формулою: $\Phi_n = \frac{12 \cdot 10^{-6}}{r^2}$ (r виразити в метрах).
4. Обчислити опір фоторезистора R_ϕ для всіх значень сили струму за формулою:

$$R_\phi = \frac{u}{i}.$$

Дані занести в таблицю:

№ п/п	r (м)	i (А)	R (Ом)	Φ_n (лм)	u (В)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

- Побудувати графік залежності R_ϕ від Φ_n .
- Розрахувати за графіком для трьох ділянок інтегральну чутливість фоторезистора

$$S = \frac{\Delta R_\phi}{R_\phi \cdot \Delta \Phi_n},$$

де R_ϕ береться для середнього значення потоку в проміжку $\Delta \Phi_n$

- Побудувати графік залежності i від Φ_n .
- Розрахувати за графіком залежності $i(\Phi_n)$ струмову та питому чутливість фоторезистора для трьох ділянок характеристики.

$$S_i = \frac{\Delta i}{\Delta \Phi_n};$$

$$S_{num} = \frac{\Delta i}{\Delta \Phi_n \cdot u}.$$

- Встановити лампу на відстані 4см від фоторезистора та змінюючи вхідну напругу через 1В (від 10В до 0), зняти залежність сили струму i в резисторі від напруги u при сталому світловому потоці $\Phi_n = const$. Дані занести в таблицю.

№ п/п	u (В)	i (А)
1	10	
2	9	
3	8	
4	7	
5	6	
6	5	
7	4	
8	3	
9	2	
10	1	

- Побудувати графік залежності струму від напруги $i = f(u)$ при сталому світловому потоці.

Контрольні запитання

1. Пояснити властивості напівпровідників з точки зору зонної теорії.
2. Що називають внутрішнім фотоефектом? Описати внутрішній фотоефект з позицій зонної теорії.
3. Чи існує червона границя внутрішнього фотоефекту?
4. Що називають потоком випромінювання?
5. Що називають фоторезистором?
6. Що називають інтегральною чутливістю фоторезистора?
7. Що називають струмовою чутливістю фоторезистора?
8. З якою метою під'єднують шунт до амперметра?
9. Як залежить величина падаючого потоку від відстані між фоторезистором та лампою?
10. Як залежить опір фоторезистора, сила струму в фоторезисторі при $u = const$ від величини падаючого потоку Φ_n ?

Звіт про виконану роботу

1. Величини, які вимірюються:

r - відстань між фото резистором та лампою, $[r] = \text{Ом}$;

i - сила струму в фоторезисторі, $[i] = \text{А}$;

u - напруга на фоторезисторі, $[u] = \text{В}$.

Величини, що обчислюються:

падаючий світловий потік Φ_n : $\Phi_n = \frac{12 \cdot 10^{-6}}{r^2}$; $[\Phi_n] = \text{лм}$;

опір фоторезистора R_ϕ : $R_\phi = \frac{u}{i}$, $[R_\phi] = \text{Ом}$;

інтегральна чутливість фоторезистора S : $S = \frac{\Delta R_\phi}{R_\phi \cdot \Delta \Phi_n}$, $[S] = \text{лм}^{-1}$;

струмова чутливість фоторезистора S_i : $S_i = \frac{\Delta i}{\Delta \Phi_n}$, $[S_i] = \frac{\text{А}}{\text{лм}}$;

питома чутливість фоторезистора S_{num} : $S_{num} = \frac{\Delta i}{\Delta \Phi_n \cdot u}$, $[S_{num}] = \frac{\text{А}}{\text{лм} \cdot \text{В}}$.

2. результати експерименту