

Лабораторна робота 91

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ФОТОЕЛЕМЕНТА

Мета роботи: вивчення принципу роботи фотоелемента та визначення його чутливості.

Прилади та матеріали: лабораторна установка для вивчення залежності фотоструму від освітленості, що включає в себе напівпровідниковий фотоелемент, лампочку розжарювання, джерело живлення (понижуючий трансформатор), стрілочний гальванометр. Лист міліметрового паперу.

Теоретичні відомості

Фотоелемент – пристрій, в якому в результаті поглинання енергії падаючого на нього світла виникає ЕРС або електричний струм.

У фотоелементах використовується явище *фотоефекту*, яке полягає у вибиванні електронів з поверхні твердих тіл під дією падаючого випромінювання. Це явище називається *зовнішнім фотоефектом*.

Фотоефект називається *внутрішнім*, якщо електрони не покидають тверде тіло, а залишаються всередині нього в якості вільних зарядів, які беруть участь у створенні в ньому електричного струму. Внутрішній фотоефект спостерігається в напівпровідниках. Енергія падаючого на напівпровідник світла витрачається на перенесення електронів з валентної зони в зону провідності (рисунок 91.1). Роль *роботи виходу* електронів з тіла при зовнішньому фотоефекті відіграє тут ширина забороненої зони напівпровідника ΔW , яка визначає мінімальну частоту світла ν_{\min} , нижче якої фотоефект не спо-

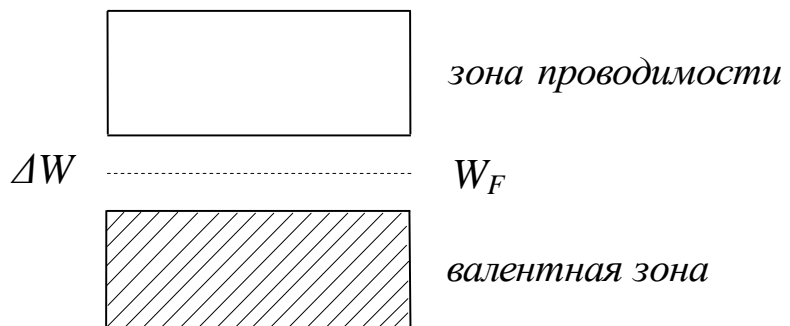


Рисунок 91.1

стерігається. Ця частота називається *червоною межею фотоелементу* і знаходиться з умови:

$$h\nu_{\min} = \Delta W.$$

В даній лабораторній роботі досліджується сірчисто-срібний фотоелемент, схематично зображений на рисунку 91.2. Верхній напівпрозорий електрод 1 являє собою дуже тонкий шар провідника (металевого срібла), нанесений випаровуванням у вакуумі на шар напівпровідника 3 (сірчистого срібла). Між провідником і напівпровідником утворюється проміжний шар 2, який називають *запірним шаром*. Запірний шар має властивість пропускати електрони тільки в одному напрямку (у нашому випадку від металу до напівпровідника), тобто є *електронним вентиляем*. При освітленні фотоелемента світлова енергія частково поглинається електронами металевого напівпрозорого електроду, а частково – електронами напівпровідника.

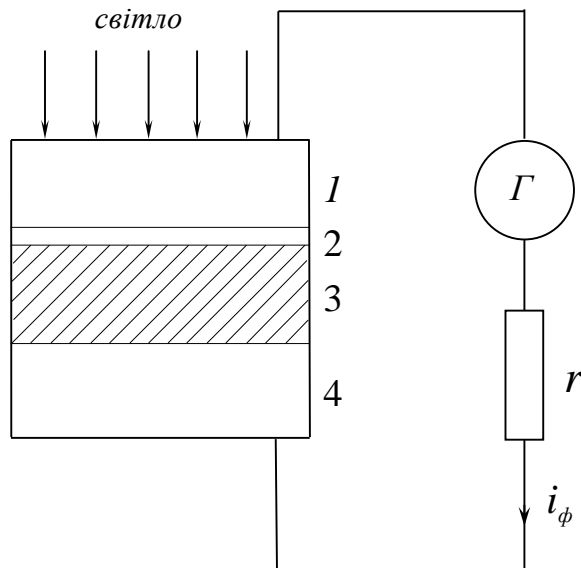


Рисунок 91.2

Запірний шар має властивість пропускати електрони тільки в одному напрямку (у нашому випадку від металу до напівпровідника), тобто є *електронним вентиляем*. При освітленні фотоелемента світлова енергія частково поглинається електронами металевого напівпрозорого електроду, а частково – електронами напівпровідника.

Завдяки вентильним властивостям запірного шару енергетично збагачені електрони при своєму хаотичному русі частіше переходять з металу в напівпровідник, ніж у зворотньому напрямку. Таким чином, падаюче на фотоелемент світло викликає рух електронів всередині фотоелемента від верхнього електроду 1 через запірний шар 2 до напівпровідника 3 та нижнього електроду 4. В результаті цього на верхньому електроді фотоелемента з'являється надлишковий позитивний, на нижньому електроді - надлишковий негативний заряд.

У замкнутому ланцюзі, зображеному на рисунку 91.2, фотоелемент виступає в ролі джерела струму (фотоструму), сила якого i_{ϕ} залежить від освітленості поверхні фотоелемента – чим вона бі-

льше, тим більше фотострум. Кількісною характеристикою цієї залежності слугує *чутливість фотоелемента* η . Вона показує швидкість зміни фотоструму зі зростанням інтенсивності світла і чисельно дорівнює відношенню приросту фотоструму Δi_ϕ до приросту світлового потоку $\Delta \Phi$, падаючого на фотоелемент:

$$\eta = \frac{\Delta i_\phi}{\Delta \Phi}. \quad (91.1)$$

Світловим потоком Φ через поверхню S називається енергія електромагнітного випромінювання W , що переноситься світлом через цю поверхню за одиницю часу:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}. \quad (91.2)$$

Світловий потік, який припадає на одиницю поверхні при нормальному падінні світла, називається *освітленістю* E цієї поверхні:

$$E = \frac{\Phi}{S_\perp}. \quad (91.3)$$

В свою чергу, освітленість E виражається через силу світла I , що випускається джерелом світла:

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad (91.4)$$

де l – відстань від джерела до освітлюваної ним поверхні.

Сила світла вимірюється в *канделах* *):

$$[I] = \text{кд};$$

освітленість - в *люксах*:

$$[E] = \text{лк};$$

*) Одиниця сили світла – *кандела* – є однією з основних одиниць системи СІ. 1 кд – сила світла, що випускається з поверхні $S=1/600000 \text{ м}^2$ повного випромінювача у напрямку нормалі при температурі плавлення платини 2046,6 К і тиску 101325 Па.

світловий потік - в люменах:

$$[\Phi] = \text{лм.}$$

Згідно (91.4), освітленість поверхні становить I лк, якщо джерело світла силою I кд знаходиться від неї на відстані 1 м:

$$I \text{ лк} = I \text{ кд} / 1\text{м}^2.$$

Така освітленість спостерігається у випадку, коли світловий потік в I лм падає нормально на поверхню площею 1 м^2 :

$$I \text{ лк} = I \text{ лм} / 1\text{м}^2.$$

Чутливість фотоелемента η (її середнє значення в деякому інтервалі освітленостей) можна знайти за графіком залежності сили фотоструму від світлового потоку $i_\phi = f(\Phi)$ (див. рисунок 91.5).

Чутливість вимірюється силою фотоструму i_ϕ , вираженою в *амперах* (А), обумовленого світловим потоком Φ в I лм. Одиниця її вимірювання

$$[\eta] = \text{А} / \text{лм.}$$

Опис установки

Експериментальна установка зображена на рисунку 91.3, а її електрична схема – на рисунку 91.4. Фотоелемент ΦE , захищений від зовнішнього освітлення металевою трубкою T , закріплений нерухомо на підставці. Клеми його з'єднані зі стрілочним гальванометром G . Тумблер TB слугує для ввімкнення установки.

Всередині металевої трубки може переміщуватись електрична лампочка (не показана на рисунку), закріплена в трубці меншого діаметру. Лампочка живиться від понижуючого трансформатора TP .

Переміщуючи тонку трубку уздовж своєї довжини, ми змінюємо освітленість фотоелемента. Записуючи показання гальванометра при різних положеннях лампочки, будемо графік залежності $i_\phi = f(\Phi)$, схематично зображений на рисунку 91.5. На цьому графіку вибираємо лінійну ділянку і будемо прямокутний



Рисунок 91.3

трикутник з катетами Δi_ϕ і $\Delta \Phi$. Значення довжин цих катетів підставляємо у формулу (91.1) і знаходимо чисельне значення інтегральної чутливості фотоелемента.

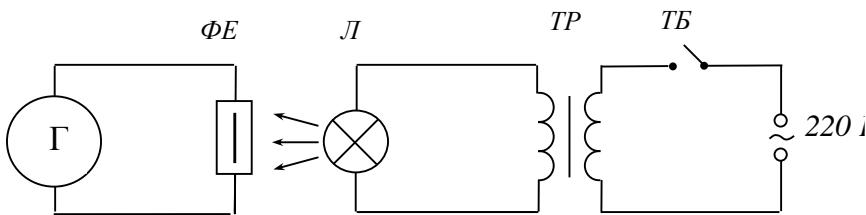


Рисунок 91.4

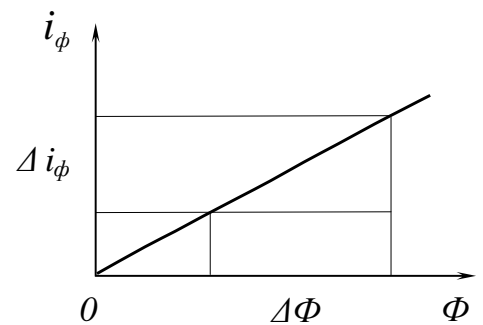


Рисунок 91.5

Порядок виконання роботи

1 За допомогою тумблера ТБ ввімкнути трансформатор, що живить лампочку і, переміщуючи трубку з лампочкою усередині трубки з фотоелементом, встановити таке значення фотоструму, щоб стрілка гальванометра вказувала на 20-у поділку його шкали.

За допомогою міліметрової лінійки виміряти відстань x , на яку висунута трубка з лампочкою. Відстань l між лампочкою і фотоеlementом знаходиться з умови

$$l = x + R,$$

де R – мінімальна відстань між ними (вказана на панелі установки).

Дані записати в таблицю 91.1.

2 Переміщуючи трубку з лампочкою, встановити стрілку гальванометра послідовно на 18-у, 16-у, ... 4-у, 2-у поділки його шкали, щоразу вимірюючи відстань l лампочки від фотоеlementa.

3 Дані досліду занести до таблиці 91.1. Значення фотоструму у 2-му стовпці таблиці знаходять множенням показань гальванометра (числа поділок n , на яке вказує стрілка) на ціну однієї розподілки його шкали C , яка на цій шкалі наведена. Тоді

$$i_{\phi} = n \cdot C, \quad (\text{А}).$$

4 Використовуючи формули (91.4) і (91.3), обчислити значення освітленості E і світлового потоку Φ і занести їх до таблиці. (Чисельні значення площі поверхні фотоеlementa S і сили світла I вказані на панелі установки).

5 Побудувати на міліметровому папері графік залежності $i_{\phi} = f(\Phi)$. Використовуючи лінійну ділянку кривої, побудувати трикутник, співвідношення катетів якого, згідно (91.1), дорівнює інтегральній чутливості фотоеlementa η .

6 Підготувати відповіді на наведені нижче контрольні питання.

Звіт про виконану роботу

1 Робочі формули для визначення освітленості E , світлового потоку Φ та інтегральної чутливості фотоеlementa η :

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad [E] = \text{кд/м}^2 = \text{лк};$$

$$\Phi = E \cdot S, \quad [\Phi] = \text{лм};$$

$$\eta = \frac{\Delta i_{\phi}}{\Delta \Phi}, \quad [\eta] = \text{А/лм}.$$

1.1 Дані, наведені на панелі установки:

Мінімальна відстань від лампочки до фотоелемента

$$R = 8 \text{ см.}$$

Сила світла лампочки

$$I = 2 \text{ кд.}$$

Площа чутливої поверхні фотоелемента

$$S = 1,8 \text{ см}^2.$$

Ціна поділки шкали гальванометра

$$C = 5 \cdot 10^{-8} \text{ А/дел.}$$

3 Результати експерименту

Таблиця 91.1

<i>Показання гальванометра n, поділки</i>	<i>Фото- струм $i_{\phi} = n \cdot C,$ А</i>	<i>Відстань від лампочки до фотоелемента l, м</i>	<i>Освітленість $E = \frac{I}{l^2},$ лк</i>	<i>Світловий потік $\Phi = E \cdot S,$ лм</i>
20				
18				
16				
14				
12				
10				
8				
6				
4				
2				

Контрольні питання

- 1 У чому полягає явище фотоефекту?
- 2 Що таке внутрішній фотоефект?
- 3 Що таке червона межа фотоефекту?
- 4 Поясніть, у чому полягає відмінність між металами і напівпровідниками з точки зору зонної теорії електропровідності твердих тіл.
- 5 Яку властивість має контакт металу з напівпровідником? Що таке електронний вентиль?
- 6 Який пристрій називається фотоелементом? Яке практичне застосування знаходять фотоелементи?
- 7 Дайте визначення світлового потоку, освітленості і сили світла. У яких одиницях вони вимірюються?
- 8 Що називається інтегральною чутливістю фотоелемента? Як її можна виміряти?

Література

- 1 Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. Изд. “Лань”, Спб-Мск-Краснодар, 2003, 480 с.
- 2 Ландсберг Г.С. Оптика. Изд. “Наука”, М., 1989, 760 с.