

Практична робота 6.

Джерела і приймачі випромінювання

Теоретичні відомості

Фоторезистори – це напівпровідникові резистори, що змінюють свій опір у результаті впливу світлового потоку (рис. 2.1). Залежно від спектральної чутливості фоторезистори поділяють на дві групи: для видимої частини спектра і для інфрачервоної частини спектра.

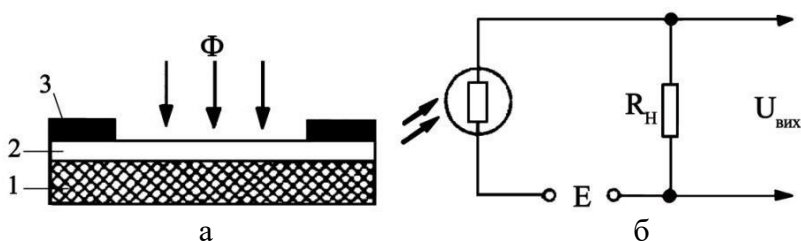


Рисунок 2.1 – Принцип будови (а) та схема ввімкнення (б) фоторезистора

Для фоторезисторів використовують сполуки Cd і Pb. Чутливі елементи виготовляють із моно- або полікристалів цих сполук.

Фоторезистори мають високу стабільність параметрів. Зміна фотоструму є достатньо точною характеристикою його стану. У разі тривалої експлуатації спостерігається стабілізація фотоструму, водночас його величина може змінюватися на 20–30 %. Фоторезистори є чутливими до швидкої зміни температур. Зберігати їх варто за температури 5–35 °C та вологості, не більшої за 80 %.

Вольт-амперна характеристика фоторезистора ФСК-2 наведена на рисунку 2.2.

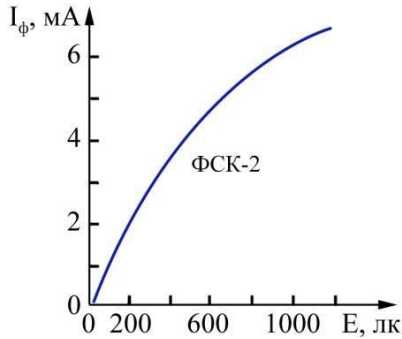


Рисунок 2.2 – Вольт-амперна характеристика фоторезистора ФСК-2

Основні недоліки фоторезисторів – їх інерційність і значний вплив температури, що призводить до великого розкиду характеристик.

Фотодіоди – це напівпровідникові діоди, в яких використовується внутрішній фотоэффект. Світловий потік керує зворотним струмом фотодіодів. У результаті дії світла на електронно-дірковий перехід генеруються пари носіїв заряду, провідність діода зростає й збільшується зворотний струм. Такий режим функціонування називається фотодіодним (фотоперетворювальним) режимом. Другий режим – вентильний (фотогенераторний). На відміну від останнього для фотодіодного режиму необхідним є зовнішнє джерело живлення. Схема ввімкнення фотодіода для функціонування у фотодіодному режимі зображена на рисунку 2.3.

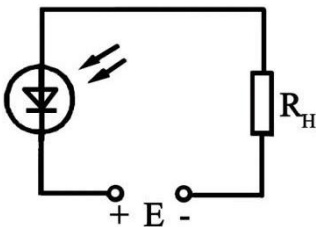


Рисунок 2.3 – Схема ввімкнення фотодіода для функціонування у фотодіодному режимі

Основні характеристики фотодіодів:

1) вольт-амперна ($I = f(U)$) – залежність світлого, темного або фотоструму (при $\Phi = \text{const}$) від прикладеної напруги (рис. 2.4 а);

2) енергетична ($I_{\Phi} = f(\Phi)$) – залежність фотоструму від світлового потоку (при $U = \text{const}$) – лінійна, на неї мало впливає напруга (рис. 2.4 б).

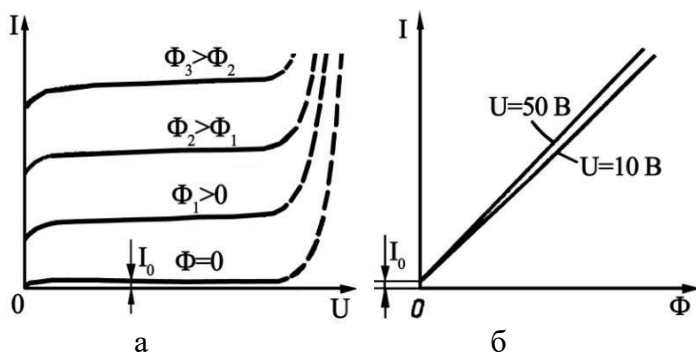


Рисунок 2.4 – Вольт-амперні характеристики для фотодіодного режиму (а) та енергетичні характеристики фотодіода (б)

Фототранзистори – це напівпровідникові прилади з двома p - n -переходами, призначеними для перетворення світлового потоку на електричний струм. Від звичайного біполярного транзистора фототранзистор конструктивно відрізняється тим, що в його корпусі передбачене прозоре вікно, через яке світло може потрапляти на область бази.

Напруга живлення подається на емітер і колектор, його колекторний перехід є закритим, а емітерний – відкритим. База залишається вільною (рис. 2.5). Упродовж освітлення фототранзистора в його базі генеруються електрони й дірки. У колекторному переході розподіляються електронно-діркові, що утворилися способом дифузії, межі переходу. Дірки (неосновні

носії зарядів у напівпровіднику) перекидаються полем переходу в колектор, збільшуючи його власний струм, а електрони (основні носії зарядів) залишаються в базі, знижуючи її потенціал. Зниження потенціалу бази приводить до утворення додаткової прямої напруги на емітерному переході й підсилення інжекції дірок з емітера в базу. Інжектвані в базу дірки, досягаючи колекторного переходу, додатково збільшують струм колектора. Навіть невелика зміна прямої напруги емітера значно змінює струм колектора, тобто фототранзистор є підсилювачем.

Фототиристор – це напівпровідниковий прилад із чотиришаровою $p-n-p-n$ -структурою, що поєднує в собі властивості тиристора й фотоприймача та перетворює світлову енергію на електричну (рис. 2.5).

Опір фототиристорів змінюється в межах від $0,1 \text{ Ом}$ (у відкритому стані) до 10^8 Ом (у закритому), час перемикання становить 10^{-5} – 10^{-6} с .

Зі світлової характеристики $I_{\text{пр}} = f(\Phi)$ при $U_{\text{пр}} = \text{const}$ (рис. 2.6 а) можна зробити висновок, що після ввімкнення фототиристора струм через нього зростає до $I_{\text{пр}} = E_{\text{пр}}/R_{\text{нагр}}$ і більше не змінюється, тобто має два стабільних стани й може бути використаним як елемент пам'яті. Вольт-амперна

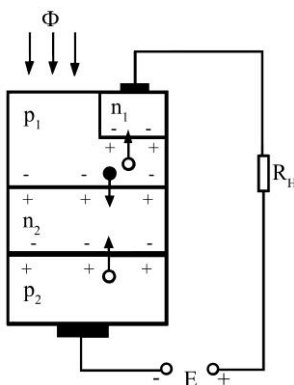


Рисунок 2.5 – Структура фототиристора

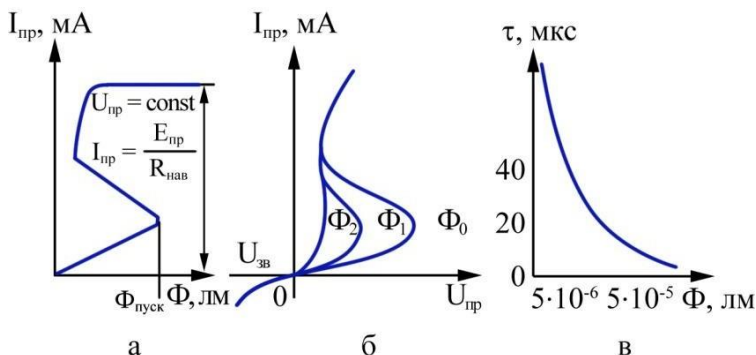


Рисунок 2.6 – Характеристики фототиристора: а – світлова; б – вольт-амперна; в – залежність часу від світлового потоку

характеристика $I_{пр} = f(U_{пр.})$ при $\Phi = \text{const}$ ($\Phi_2 > \Phi_1 > \Phi_0$) свідчить про те, що зі збільшенням світлового потоку напруга та час увімкнення зменшуються.

Світловипромінювальний діод (світлодіод) – напівпровідниковий пристрій, що випромінює некогерентне світло з пропусканням через нього електричного струму (ефект, відомий як електролюмінесценція).

Випромінюване світло традиційних світлодіодів розміщене у вузькій ділянці спектра, а його колір залежить від хімічного складу напівпровідника. Світлодіоди – це малоінерційні джерела випромінювання, що функціонують під прямою напругою.

Матеріали для світлодіодів повинні мати ширину забороненої зони, більшу за 1,7 еВ. Германий і кремній не придатні для цього, тому що ширина забороненої зони в них значно менша. Для сучасних світлодіодів використовують здебільшого арсенід галію GaAs, фосфід галію GaP та карбід кремнію SiC. Додавання до напівпровідника домішок дозволяє одержувати світіння різних кольорів. Використовують також світлодіоди змінного кольору з двома випромінювальними переходами, перший із яких має максимум спектральної

характеристики в червоній частині спектра, а другий – у зеленій. Колір світіння такого світлодіода залежить від співвідношення струмів через переходи. Сучасні світлодіоди можуть випромінювати на довжині хвилі від інфрачервоної до близького ультрафіолету.

Коефіцієнт відбиття розраховують за формулою:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2,$$

де n_1 і n_2 – показники заломлення середовищ, через які проходить світло.

Частку світла, випромінювану через поверхню світлодіода, визначають таким чином:

$$F = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \right].$$

Зовнішня P_0 і внутрішня P_i потужності світлодіода відповідно дорівнюють: $P_0 = F \cdot P_i = \eta \cdot I \cdot U$.

Задачі до теми 2

Задача 1. Ефективність перетворення зовнішньої (електричної) потужності планарного GaAs світлодіода η дорівнює 1,5 % при прямому струмі $I = 50$ мА і різниці потенціалів $U = 2$ В. Оцінити оптичну потужність P_i , що генерується приладом, якщо коефіцієнт заломлення GaAs $n = 3,6$.

Задача 2. Оцінити ефективність перетворення зовнішньої потужності планарного GaAs світлодіода η , якщо внутрішня

оптична потужність P_i становить 30 % від прикладеної електричної потужності. Коефіцієнт заломлення GaAs $n = 3,6$.

Задача 3. На ідеальний фотодіод (тобто з квантовим виходом, що дорівнює 1) падає випромінювання потужністю $P = 10$ мВт за довжини хвилі 0,8 мкм. Розрахувати струм і напругу на виході приладу, коли детектор використовують у режимі фотоструму і фотоЕРС відповідно. Струм витоку при зворотному зміщенні $I_0 = 10$ нА, робоча температура $T = 300$ К.

Задача 4. Фотодіод на основі p - n -переходу має квантовий вихід 50 % на довжині хвилі 0,9 мкм. Розрахувати чутливість R , поглинену оптичну потужність P ($I_{ph} = 1$ мкА) і число фотонів, поглинутих за 1 секунду цієї довжиною хвилі r_{ph} .

Задача 5. Розрахувати квантовий вихід і вихідний фотострум лавинного фотодіода з коефіцієнтом множення $M = 20$, що працює на довжині хвилі $\lambda = 1,5$ мкм. Розрахувати квантовий вихід η і вихідний фотострум I .