

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК**  
**СВІТЛОДІОДІВ**

# Дослідження фізичних характеристик світлодіода

**Мета роботи:** Досліджувати вольт – амперну характеристику світлодіода.

**Устаткування:** Світлодіод типу ЯСКРАВО-ЧЕРВОНИЙ – 103 – А, мілівольтметр, вольтметр.

## *1 Принцип дії світлодіода*

Як джерела випромінювання в оптронах найбільшого поширення набули некогерентні інжекційні світлодіоди на основі GaAs, GaAsP, GaAlAs.

Вказані випромінювачі добре узгоджуються по спектру і швидкодії з кремнієвими фотоприймачами. Інкєкційні лазери на основі цих же матеріалів не дають в оптронах ніяких переваг. У видимій області використовуються випромінювачі на основі світлодіодів GaP, GaAsP, SiC. Вони спектрально узгоджуються з фоторезисторами на основі CdS і CdSe, фотодіодів, фототранзисторів і фототиристорів.

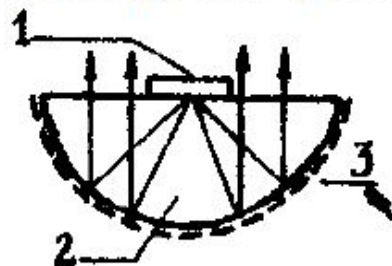
**Світлодіоди** - напівпровідникові випромінювачі на *p-n* переході. у яких використовується спонтанне (некогерентне) рекомбінаційне випромінювання.

**Некогерентний режим** характеризується невеликим значенням струму накачування. Тому світлодіоди можуть працювати в безперервному режимі при кімнатній температурі. Їх світлове випромінювання легко модулюється за рахунок зміни струму накачування.

*Переваги світлодіода* - значна спектральна яскравість. Основна частина енергії випромінювання концентрується в спектральному інтервалі вширшки 4000-5000Е . Мала інерційність світлодіода дозволяє, формувати вельми короткі світлові імпульси з крутим фронтом і з частотою повторення до декількох десятків мегагерц, що значно перевищує можливості лазерних діодів.

*Недолік* - на відміну від лазерних діодів випромінювання світлодіодів не направлене. Значну концентрацію випромінювання уздовж якого-небудь напрямку для таких діодів вдається одержати лише завдяки використанню додаткових зовнішніх фокусуючих лінз або відбивачів. Перспективно використання покриттів, що відображають, нанесених безпосередньо на кристал напівпровідника, якому надається певна форма (рис. 1).

Випромінювання світлодіода виникає при інжекції електронів (неосновних носіїв) через *p-n* перехід. Інжекція носіїв зарядів еквівалентна переходу електронів з валентної зони в зону провідності із зміною енергії, частина якої перетворюється на світлову. Рекомбінаційне випромінювання генерується в шарі, безпосередньо прилеглим до площини розділу *p*- і *n* - напівпровідників і виводиться назовні через *n* - область *p-n* структури з плоскою або з півсферичною поверхнею (рис.2).



1-область, 2- *n*-області, 3- параболічної поверхні з покриттям  
Рисунок 1- Схематичного пристрою відбивного світлодіода





Рисунок 2- Схематичний пристрій півсферичного і плоского світлодіодів

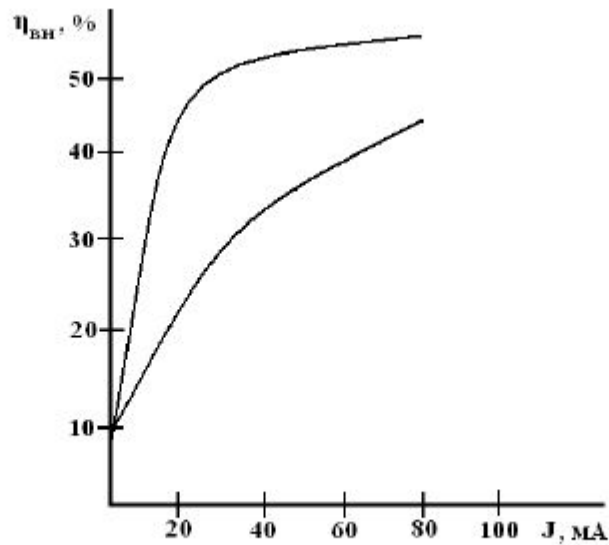


Рисунок 3- Залежності зовнішнього квантового виходу від струму накачування

Доцільно розділити світлодіоди на дві групи: 1) світлодіоди, випромінюючі у видимому діапазоні спектру і використовувані, головним чином, для відображення інформації; 2) ІЧ- світлодіоди, вживані в оптронах і волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Хоча виготовляють світлодіоди обох груп з різних напівпровідникових матеріалів, принцип дії їх однаковий і заснований на явищі спонтанної інжекційної електролюмінесценції — інжекції неосновних носіїв в активну область прямозмщеного  $p$ - $n$ -гомо- або гетероперехіда з подальшою випромінювальною рекомбінацією в цій області.

Специфіка процесів інжекції в світлодіодах полягає в тому, що одна з областей  $p$ — $n$ -переходу повинна бути оптично активна, тобто повинна володіти високим внутрішнім квантовим виходом випромінювання. Припустимо, що такою областю, званою часто базою світлодіода, є  $p$ -область.

Очевидно, що  $p$ - $n$ -перехід з високим *внутрішнім квантовим виходом*, рівним відношенню числа фотонів, що генеруються в базі, до інжекттованих в неї неосновних носіїв, повинен бути виготовлений з прямозонного напівпровідника.

**Для придушення безвипромінювальних переходів вживають різноманітні заходи:**

1) оптимізують випромінювальні структури з метою зниження концентрації дефектів на межах шарів, виключення безвипромінювальної рекомбінації на поверхні і т.д.;

2) використовують якісні епітаксціальні шари, одержані методами рідинної, газової або молекулярно-променевої епітаксії.

Важливим завданням є також зниження частки випромінювання, що поглинається усередині кристала.

**Існує три методи боротьби з цим явищем.**

1. Зменшення енергії фотонів за рахунок компенсації домішок в активній області.

2. Використання непрямозонних напівпровідників

3. Використання ефекту "широкозонного вікна" в гетероструктурах.

При експлуатації світлодіодаважливішим є такий параметр, як *зовнішній квантовий вихід* (або ККД перетворення електричної енергії в світлову), визначуваний відношенням числа фотонів, виведених за межі кристала, до носіїв заряду, що проходять через р-п-перехід.

Як правило, величина *зовнішнього квантового виходу* не перевищує декількох відсотків, оскільки за межі кристала можна винести лише невелику частину випромінювання, що генерується усередині активної області.



Найбільш істотні наступні види втрат:

- 1) на повне внутрішнє віддзеркалення випромінювання, падаючого на межу розділу напівпровідник—оточуюче середовище під кутом, великим критичного;
- 2) на френелевське віддзеркалення для випромінювання, падаючого на межу розділу під кутом, меншим критичного;
- 3) на поглинання випромінювання в об'ємі напівпровідника і в приконтактних областях.

Найбільш значний перший вид втрат.

У сучасних світлодіодах використовують кристали у вигляді півсфери, параболоїда або усіченої сфери Вейерштраса. При цьому спостерігається збільшення частки того, що виводиться випромінюванні до 30—35 %.

## 2. Конструкції світлодіодів

Основу будь-якого світлодіода складає світловипромінюючий кристал з певною комбінацією епітаксіальних шарів, найчастіше вирощених на підкладках з СаАs. Кристал має, як правило, форму квадрата із стороною 0,35—0,5мм. Для підвищення щільності струму через р-п-перехід зменшують розміри активної області до декількох десятків мікрометрів . шляхом формування мезаструктури або ізолюючих аморфних шарів, одержаних протонним бомбардуванням.

Верхній омичний контакт світлодіода повинен, з одного боку, мати мінімальну поверхню для зменшення втрат світла, а з іншого боку, містити майданчик, достатній для зварки, і мати форму, що забезпечує рівномірне розтікання струму за площею *р-п-переходу* .

Нижній контакт може бути суцільним при непрозорій підкладці і у вигляді сітки або набору точок малої площі для кристалів з прозорою під ложкою.

На рис. 5.4 показані конструкції деяких найбільш поширених типів світлодіодів і їх діаграми спрямованості. Як видно,существуют три типу світлодіодів: у металоскляному (яскраво-червоний 102), пластмасовому (яскраво-червоний 307) корпусі і безкорпусні (яскраво-червоний 301).



Перший тип світлодіодів характеризується високою надійністю і стабільністю параметрів

другий — технологічністю і низькою вартістю, великою стійкістю до дії ударних і вібраційних навантажень, можливістю управління діаграмою спрямованості випромінювання у напрямі як її розширення, так і звуження.

Як правило, кристал поміщають в спеціальне поглиблення із стінками, що відображають світло, що дозволяє збільшити силу світла в осьовому напрямі при одночасному поліпшенні сприйняття випромінювання в результаті розширення майданчика, що світиться, і підвищення контрастності.

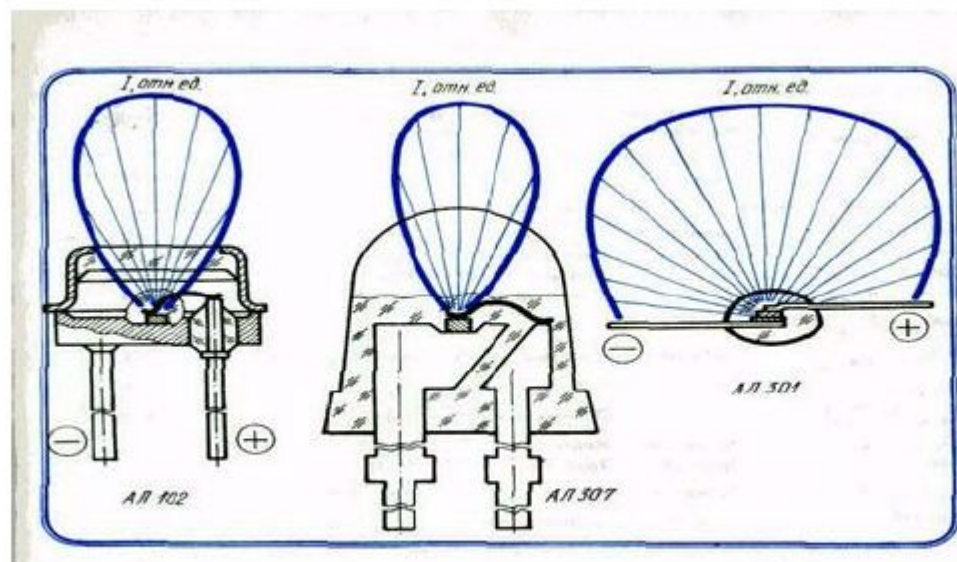


Рисунок 4 - Конструкції деяких найбільш поширених типів світлодіодів і їх діаграми спрямованості

Пластмасовий корпус світлодіодів виготовляють у вигляді півсферичної полімерної лінзи, яка перерозподіляє світловий потік і формує діаграму спрямованості світлодіода. Найчастіше такі лінзи роблять на основі епоксидних компаундів з добавкою фарбників або світлорозсіючих наповнювачів.

Світлодіоди видимого діапазону характеризуються наступними основними параметрами:

- силою світла  $I$
- довжиною хвилі випромінювання в максимумі спектральної смуги  $\lambda_{\max}$  (кольором свічення)
- напівшириною спектральної лінії випромінювання  $\Delta\nu$  ( або  $\Delta\lambda$ ),
- діаграмою спрямованості (або кутом випромінювання  $\Phi$ )
- прямою напругою  $U_{np}$  при заданому прямому струмі  $I_{np}$
- світловою віддачею по потужності або по струму
- зовнішнім квантовим виходом  $\eta_{\text{внш}}$  ККД

$$(\eta_{\text{внш}} = (P_{\text{изл}} q) / (I_{np} h\nu_{\max}), \quad \text{КПД} = P_{\text{изл}} / (I_{np} U_{np}).$$

Для більшості світлодіодів  $\eta_{\text{внш}} \approx \text{ККД}$ .



Для ГЧ світлодіодів замість сили світла  $I_v$  використовують силу випромінювання  $I_e$  ( $I_e = I_v / k$ , где  $k$  - видність випромінювання). В деяких випадках важливе значення мають такі параметри і характеристики світлодіодів, як швидкодія і залежність сили світла (випромінювання) від прямого струму.

Конфігурація поверхні, що виводить, істотно впливає на енергетичні характеристики світлодіодів. У світлодіодах плоскої конструкції значна частина випромінювання, що генерується в  $p-n$  переході, випробовує повне внутрішнє віддзеркалення на межа розділу кристал арсеніду галія - повітря. Випромінювання, падаюче на межу розділу під кутом понад  $170^\circ$  повністю відображається і зрештою поглинається в світлодіоді.

Півсферична поверхня кристала діода дозволяє практично виключити повне внутрішнє віддзеркалення, оскільки випромінювання, падаюче на поверхню півсфери утворює з нормаллю до неї дуже невеликі кути.

Найбільш високими енергетичними характеристиками володіють світлодіоди, у яких  $p$  і  $n$ -області леговані кремнієм. Високі значення **зовнішнього квантового виходу** зберігаються для цих світлодіодів при зміні струму накачування у вельми широких межах (рис. 4).

Крім оптронів, світлодіоди можуть застосовуватися в портативних:устройствах оптичному зв'язку, світлодальновимірювачах, пристроях прихованої сигналізації для заміни звичайних джерел світла.



### 3 Методика виконання роботи

1. Для вимірювання вольтамперної характеристики світлодіода типу ЯСКРАВО-ЧЕРВОНИЙ-103-А (оптрона, що є складовою частиною) необхідно зібрати схему для вимірювання, представлену на рис.5. (без електричного ланцюга міліамперметра в ланцюзі фоторезистора).

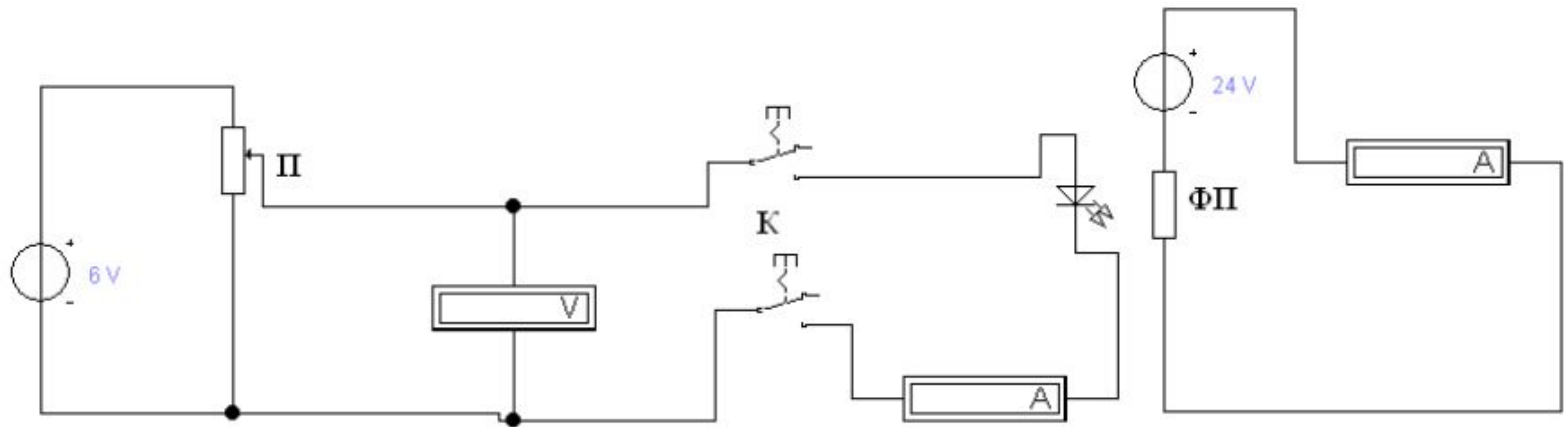


Рисунок 5 – Схема для вимірювання вольтамперної характеристики світлодіода

2.С допомогою потенціометра П напруга подається на світлодіод. Напруга  $U$  реєструється за допомогою вольтметра з шкалою 0-7,5 В. По міліамперметру вимірюються  $I_{np}$  показання струму, що проходить через світлодіод.

3.Одержані дані занести в таблицю 6.1 і побудувати графік залежності  $I_{np} = f(U)$ .

Типова вольт - амперна характеристика світлодіода показана на рис. 6.

4. Написати висновки за наслідками дослідження.

5. Пояснити отримані результати.

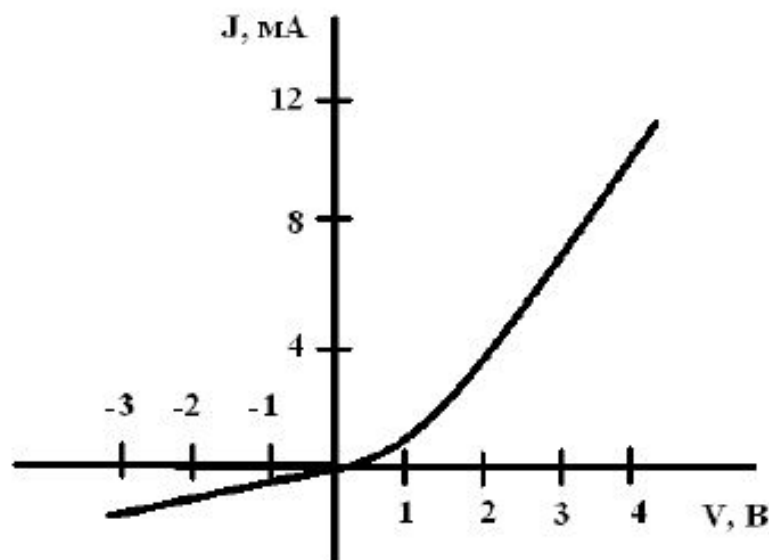


Рисунок 6 - Вольт - амперна характеристика світлодіода

### *Контрольні питання*

- 1.Світлодіоди (дати визначення). Принцип дії світлодіода.
- 2.Чим характеризується некогерентний режим. Які матеріали набули найбільшого поширення для виготовлення некогерентних інжекційних світлодіодів?
- 3.Достоїнства і недоліки світлодіодів. Застосування світлодіодів
- 4.Схематичний пристрій відбивного світлодіода, півсферичного і плоского світлодіодів
- 5.Класифікація світлодіодів.
- 6.Внутрішній квантовий вихід.
- 7.Зовнішній квантовий вихід
- 8.Які заходи вживають для придушення безвипромінюючих переходів?
- 9.За рахунок чого відбувається зниження частки випромінювання, що поглинається усередині кристала? Методи боротьби з цим явищем.
- 10.Найбільш істотні види втрат
- 11.Конструкції світлодіодів, Основні параметри. Залежність зовнішнього квантового виходу від струму накачування.
- 12.Пояснити результат експериментального дослідження



**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ОПТРОНІВ**

**Мета роботи:** Дослідити характеристики оптронів.

**Устаткування :** Оптрон, світлодіоди, міліамперметр, вольтметр

### 1 Короткі теоретичні відомості

**Оптрон** є приладом, що містить джерело і приймач випромінювання, які оптично і конструктивно зв'язані.

**Джерелами випромінювання** можуть бути лампи розжарювання, неонові лампи, електролюмінесцентні випромінювачі, але найчастіше використовуються світлодіоди.

**Приймачі** – фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристри.

**Середовище оптичного каналу** – повітря, скло, пластмаса або інша прозора речовина.

Елементарний оптрон містить 1 джерело і 1 приймач, тому носить назву **оптопара**, складніші оптрони, об'єднані в ІМС з одним або декількома що погоджують або підсилюють пристроями називають **оптоелектронними ІМС**.

**Особливість оптронів** полягає в подвійному перетворенні енергії, звичайно електричної в оптичну і назад з електричним входом і виходом.



Рисунок 1 -Схема оптрона з електричним входом і виходом

Для узгодження параметрів оптронів з іншими елементами електронних схем використовуються додаткові вхідні і вихідні пристрої.

Якщо джерело і приймач електрично не сполучені, то реалізується гальванічна розв'язка входу і виходу. Введення електричного і (або) оптичного зворотного зв'язку істотно розширює можливості генерування, посилення оптичних і електричних сигналів.

**Достоїнствами оптронів** є: висока перешкодозахисна і однонаправленість передачі сигналів; широка частотна смуга пропускання (можливість передачі як імпульсних, так і постійних сигналів); сумісність з іншими виробами мікроелектроніки.

**До недоліків приладів** відносяться: низький ККД, пов'язаний з подвійним перетворенням енергії; чутливість параметрів до зміни температури; високий рівень власних шумів; гібридна технологія.

**Основними елементами оптопар** є джерела і приймачі оптичного випромінювання, а також середовища оптичних каналів. Елементи оптопар повинні бути узгоджені по спектральних характеристиках, швидкодії, температурних властивостях, габаритах.

**Джерелами** звичайно є *інжекційні діоди*, випромінюючі в інфрачервоному діапазоні. *Вимоги до них* включають високий ККД, необхідна швидкодія, вузька спрямованість випромінювання для зниження втрат енергії, малі вхідні струми для узгодження з мікроелектронними схемами управління, постійність квантового виходу в широкому діапазоні вхідних струмів.



Для деяких пристроїв джерел можна використовувати як *лазери*, які можуть мати великі струми управління і вищу вартість). Для виготовлення випромінюючих діодів застосовують такі матеріали, як GaAs, GaAlAs, GaAsP і інші напівпровідникові з'єднання, що дозволяють генерувати випромінювання з довжиною хвилі 0,8-1,6 мкм.

На відміну від світлодіодів, вживаних в індикаторах, для джерел в оптронах **необхідна** мала площа висвічення для зменшення втрат випромінювання і забезпечення узгодження з приймальним вікном фотоприймача. Значення електричних параметрів джерел звичайно складають  $V_{\text{ном}} \sim 1,2-1,7 \text{ В}$ ,  $P_{\text{ном}} \sim 1-50 \text{ мВт}$ .

#### **Вимоги до матеріалу середовища оптичного каналу:**

1) мінімальні втрати світла, тобто спектральне узгодження з випромінювачем і фотоприймачем;

2) високий рівень електричної ізоляції між входом і виходом (опір ізоляції  $\sim 10^{12}$  Ом). Матеріал оптичного каналу може виконувати додаткові функції, такі як конструкційна основа, захист від механічних, кліматичних і радіаційних дій.

#### *Використовується 3 варіанти оптичних середовищ:*

полімерні оптичні клеї, лаки, в'язкі речовини (незасихаючі силіконові склади), деякі марки стекел (наприклад, халькогенідні). Вони мають невисоку електричну міцність ізоляції -  $V_{\text{із}} \sim 100-500 \text{ В}$ .

2 - повітряний канал, в якому додатково можуть використовуватися що фокусують системи з скляних лінз (у пристроях оптичного прочитування інформації)  $V_{\text{із}} \sim 1-5 \text{ кВ}$ .

3 – волоконні світловоди. Вони мають високий опір ізоляції  $V_{\text{із}} \sim 50-150 \text{ кВ}$



## *Техніка безпеки при роботі з лазерами*

Інтенсивність випромінювання лазерів оцінюється по величині енергії або потужності в пучку і виражається в джоулях або ватах. Слід зазначити, що енергія, що вивільняється у вигляді спалахів, може коливатися в широких межах: від десятків до тисячі і більш джоулів в імпульсі.

Результат дії лазерного випромінювання на органи, тканини і організм в цілому залежить від довжини хвилі випромінювання, щільності енергії (потужності) випромінювання, тривалості і частоти імпульсів, часу дії, а також від фізико-хімічних і біологічних особливостей тканин.

**Залежно від ступеня небезпеки випромінювання, що генерується, лазери підрозділяються на 4 класи.**

До лазерів I класу відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких не представляє небезпеки для очей і шкіри.

До лазерів II класу відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких представляє небезпеку при опромінюванні очей прямим або дзеркально-відбитим випромінюванням.

До лазерів III класу відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких представляє небезпеку при опромінюванні очей прямим, дзеркально відбитим, а також дифузно відбитим випромінюванням на відстані 10 см від дифузно відзеркалювальної поверхні, і (або) при опромінюванні шкіри прямим і дзеркально відбитим випромінюванням.

До лазерів IV класу відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких представляє небезпеку при опромінюванні шкіри дифузно відбитим випромінюванням на відстані 10 см від дифузно відзеркалювальної поверхні.



**При роботі з лазерами** необхідно пам'ятати, що залежно від класу небезпеки лазерів на обслуговуючий персонал **можуть впливати наступні несприятливі чинники:**

- лазерне випромінювання - пряме, дзеркально і дифузно відбите;
- світлове випромінювання ламп накачування і факела в зоні обробки матеріалу;
- ультрафіолетове випромінювання від ламп накачування і кварцевих газорозрядних трубок;
- інфрачервоне випромінювання і тепловиділення від устаткування і нагрітих поверхонь при застосуванні могутніх лазерних установок для зварки, різки і термічної обробки великогабаритних виробів;
- шум від працюючих лазерів і технологічної обробки матеріалу;
- гази і аерозолі від працюючих лазерів і оброблюваних матеріалів;
- висока електрична напруга, яка створюється зарядним пристроєм;
- електромагнітні поля ВЧ і НВЧ діапазону від генераторів, використовуваних для накачування лазерів;
- іонізуюче випромінювання при робочій напрузі лазерів понад 10,0 кВ;

Органами, критичними до дії лазерних випромінювань, прийнято рахувати очі і шкірні покриви.

Попадання в орган зору прямого або дзеркально відбитого лазерного випромінювання достатньої потужності з довжиною хвилі у видимій або ближній інфрачервоній області спектру може виявлятися раптовим випаданням частини поля зору (розвитком скотоми) без яких-небудь больових відчуттів. Офтальмологічний в таких випадках виявляються різному ступеню вираженості опіки сітківки, крововиливу в сітківку з подальшим утворенням хоріоретинального рубця і зниженням гостроти зору.

Лазерне випромінювання в ультрафіолетовій і дальній інфрачервоній області спектру поглинається в основному поверхневими елементами ока: кон'юнктивою, рогівкою, кришталиком. Тому лазери, що працюють в ультрафіолетовому діапазоні, можуть



викликати дуже хворобливі кон'юнктивіти і опіки рогівки, схожі з опіками, що спостерігаються при дуговій зварці. Газові лазери на CO<sub>2</sub> ( $\lambda$  - 10,6 мкм) можуть приводити до розвитку скороминущих вогнищ помутніння в рогівці ока, обумовлених денатурацією білків.

Особи, що тривало працюють з лазерами, пред'являють скарги на відчуття стомлення очей до кінця робочого дня, що супроводжується у ряді випадків появою тупих або різучих болів в очних яблуках, відчуттям "нестерпності яскравого світла", слезотечею, або навпаки, відчуттям сухості. Гострота зору, як правило, не міняється, але може наголошуватися підвищення порогів кольоророзрізнення, збільшення часу темпової адаптації, іноді звуження полів зору.

Ураження шкіри людини прямим або дифузно відбитим лазерним пучком може носити найрізноманітніший характер від еритеми до опіку. У найбільш легких випадках дії лазерного випромінювання на шкірні покриви виявляються функціональні зрушення в активності внутрішньошкірних ферментів, в зміні електропровідності шкіри і т.п.

Більшість скарг, що пред'являються такими, що працюють з лазерами, обумовлено неспецифічними функціональними розладами в діяльності нервової і серцево-судинної системи.

До найбільш характерних клінічних синдромів, що виявляються у тих, що працюють з лазерами, з істотно більшою частотою, ніж в адекватних контрольних групах, відносяться астеничний і астено-вегетативний синдром, а також вегетативно-судинні дисфункції. Симптоматика, що виявляється при цьому, не є специфічною.

### **Не рекомендується:**

- дивитися на лазерний промінь і його дзеркальне віддзеркалення;
- вносити у зону лазерного променя блискучі предмети, здатні викликати його дзеркальне віддзеркалення, якщо вони не пов'язані з виробничою необхідністю.



Як елемент електричної схеми оптрон характеризується не випромінювачем, а типом використовуваного фотоприймача, відповідно, розрізняють оптопари, діодного, транзисторного і тиристорного типів резистора.

**Основний матеріал при виготовленні фотоприймачів** - кремній, а фоторезистори звичайно виготовляються з CdS, CdSe або інших халькогенідів.

Швидкодія оптопари обмежується параметрами фотоприймача.

### **Основні параметри і характеристики оптронів**

Елементарний оптрон є чотирьохполюсним приладом, тому має **3 основних характеристики** – вхідну, передавальну і вихідну.

**Вхідна характеристика** є ВАХ випромінювача.

**Вихідна** –соответствующая характеристика фотоприймача (при заданому струмі на вході оптрона).

**Передавальна характеристика** – залежність струму на виході  $J_2$  від струму на вході  $J_1$  (у загальному випадку нелінійна).

### **Параметри**

- Статичний коефіцієнт передачі по струму  $K_J = J_2/J_1$ .

Якщо темновий струм  $J_T$  значний,  $K_J = (J_2 - J_T)/J_1$ . Для більшості оптронів  $K_J$  є паспортним параметром (від 0,5% для діодних 100% для транзисторних).

- Сумарна швидкодія оптрона

часто характеризують часом перемикання  $t_n = t_1 + t_2$ ,  $t_1$  і  $t_2$  – часи наростання і спаду сигналу на виході оптрона.  $t_n$  неоднаково у різних типів оптронів, залежить від режимів роботи і лежить в межах  $10^{-9}$ - $10^{-1}$  с.

- Швидкодія також може характеризуватися **граничною частотою**,  $f_{гр} - 5$  кГц - 10 МГц.

### Параметри ізоляції:

- **максимально допустима напруга між входом і виходом**  $V_{\text{из}}$  *статичне або пікове (при роботі із змінними сигналами)*.
- **Високий опір ізоляції** -  $R_{\text{из}} \sim 10^{12}$  Ом – виключає зворотний зв'язок по струму. Проте, наявність прохідної місткості  $C_{\text{пр}}$  (між входом і виходом оптрона) обумовлює зв'язок по змінному струму, тобто стрибок напруги на виході за час  $t$ . Значення прохідної місткості звичайно складає  $\sim 1$  пФ.

**Конструктивно-технологічне оформлення** проводиться з урахуванням оптимізації функціональних, вартісних і інших параметрів. Основною вимогою є забезпечення ефективного оптичного зв'язку і електричної ізоляції між джерелом і приймачем. На рис. 2 показані найбільш типові конструкції оптопар.

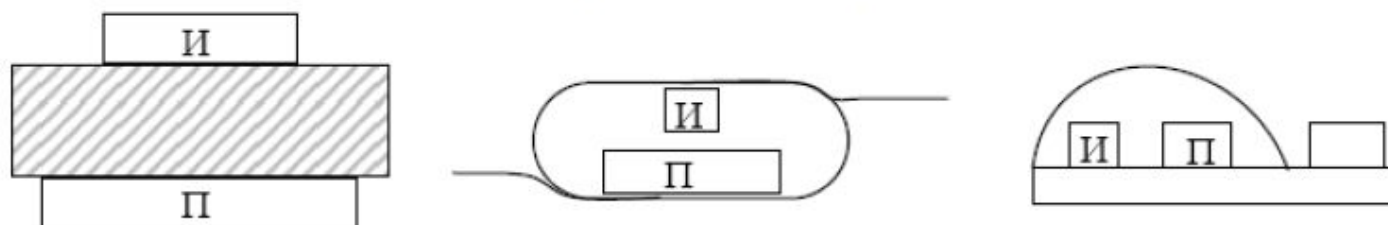


Рисунок 2 - Приклади типових конструкцій оптопар

Для збільшення ефективності передачі світлового потоку від джерела до приймача використовують складніші конструкції оптронів.



## 2 Оптрони, резисторів

У оптронах, резисторів, як приймачі оптичного випромінювання використовуються фоторезистори на основі плівок CdS і CdSe. Особливістю фоторезисторів є порівняно велика інерційність ( $t_{пу} 10^{-1}c$ ), тому джерелами випромінювання в цих оптронах можуть бути лампи розжарювання. Використовуються також світлодіоди на основі GaP, узгоджених по спектру випромінювань.

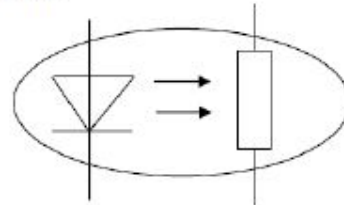
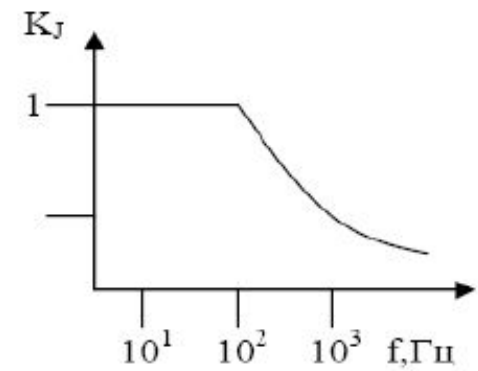
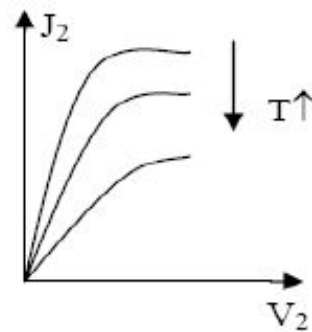
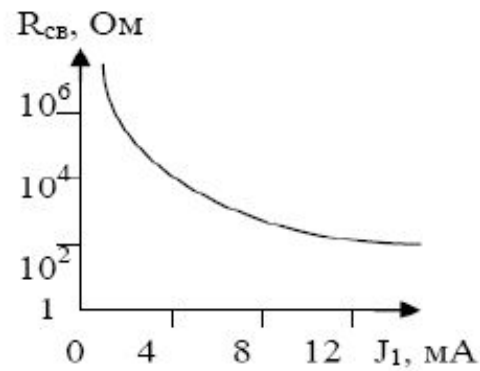


Рисунок 3 -Обозначення оптопар резисторів

У позначеннях вітчизняних оптронів перша буква (або цифра) визначає матеріал випромінювача (А або З – GaAlAs і CaAs), друга буква (0) указує на приналежність приладу до класу оптопар, а третя відображає тип фотоприймача (Д - фотодіод, Т - фототранзистор, У - фототиристор).

Оптопари (історично перший тип оптопар), резисторів, зберігають своє первинне позначення ОЕП (оптоелектронний прилад).



- залежність світлового опору від вхідного струму
- залежність вихідний ВАХ від температури
- залежність коефіцієнта передачі по струму від частоти

Рисунок 4 -Основні характеристики оптопар, резисторів

## Методика виконання роботи

1.Зібрати схему (див. рис. 5) для дослідження

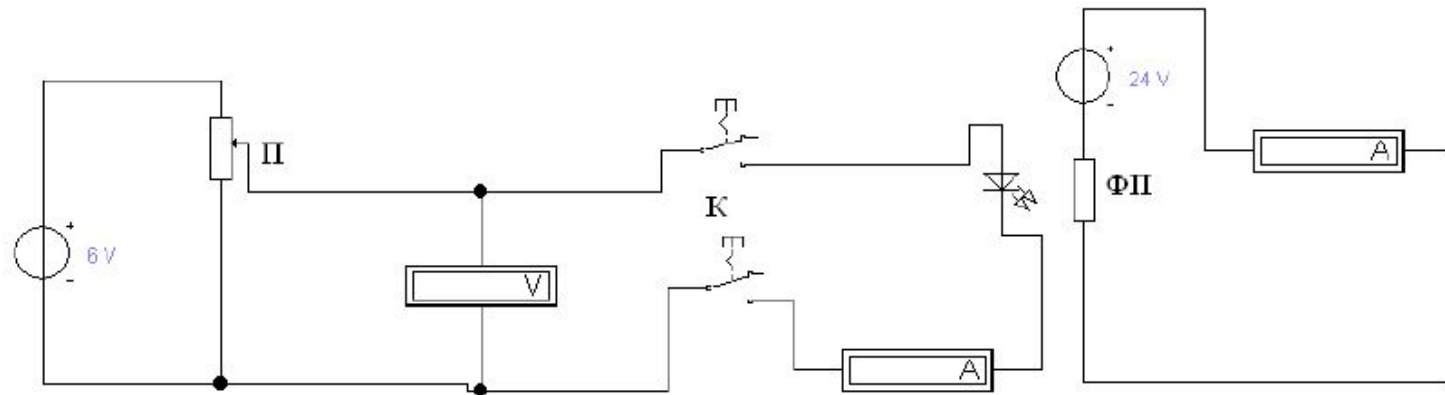


Рисунок 5- Схеми для дослідження оптрона

- 2.Для отримання залежності коефіцієнта пропускання світла через світловоди різної форми провести вимірювання і  $I_{с.ф.}$
- 3.Побудувати графік залежності без світловода безпосередній контакт фотоопору і світлодіода)



### *Контрольні питання*

1. Оптрон . Основні елементи оптопар.
2. Джерелами випромінювання оптопар, приймачі випромінювання оптопар, середовище оптичного каналу.
3. Особливість оптронів . Достоїнства і недоліки оптронів.
4. Вимоги до джерел
5. Вимоги до матеріалу середовища оптичного каналу
6. Які варіанти оптичних середовищ існують?
7. Типи використовуваних фотоприймачів.
8. Основні параметри і характеристики оптронів.
9. Параметри ізоляції
10. Типові конструкції оптопар.
11. Оптрони, резисторів. Основні характеристики оптопар, резисторів
12. Позначення вітчизняних оптронів
13. Пояснити результати досліджень

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОРЕЗИСТОРІВ**



**Мета роботи:** Вивчити характеристики фотоопору.

**Устаткування:** Світлодіод, фоторезистор СФЗ – 1, міліамперметр, вольтметр

### **1 Теоретичні відомості**

**Фоторезистор** – фотоелектричний напівпровідниковий приймач випромінювання, принцип дії якого заснований на ефекті фотопровідності. У основі його використовується **явище внутрішнього фотоефекту (фотопровідності)**. Ефект полягає в тому, що при освітленні однорідного напівпровідника його електропровідність збільшується.

Фоторезистор є звичайно тонкою смужкою напівпровідника з омічними контактами на кінцях.

#### **Основні параметри фоторезисторів:**

- фоточутливість  $S_{\phi}$
- коефіцієнт внутрішнього посилення фотоструму ( $Z$ )
- виявна здатність ( $D^*$ )
- специфічні параметри: опір в темновому  $R_T$  і засвіченому  $R_{св}$  станах
- відношення  $R_T/R_{св}$
- постійні часу релаксації
- фотопровідності  $\tau$ .

**Спрощена теорія фоторезисторів**, що дозволяє пов'язати параметри приладів з параметрами використовуваних матеріалів, використовує наступні **основні допущення**.

- . Геометрично резистор є паралелепіпед (рис. 1).
- . Випромінювання повністю поглинається в напівпровіднику, квантовий вихід внутрішнього фотоефекту  $\eta = 1$ .
- . Плівка освітлена рівномірно і генерація однорідна по товщині.

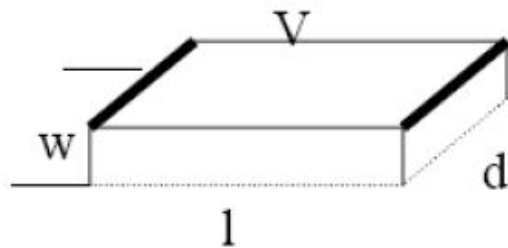


Рисунок 1- Спрощеної схеми фоторезистора

- Поверхневими і контактними ефектами нехтують.
- Дрейф і рекомбінація в об'ємі характеризуються деякими усередненими постійними значеннями  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  і  $\tau_n$ ,  $\tau_p$ .
- У засвіченому стані реалізується високий рівень збудження
- ( $n_\phi \approx p_\phi \gg n_0, p_0$ ).
- Напівпровідник має монополярну провідність, звичайно електронну, тобто неосновні носії заряду відразу ж захоплюються пастками.

*Ці обмеження дозволяють легко визначити всі основні параметри.*



## 2 Основні параметри

- Струм через фоторезистор –  $J_{\Phi} = V_R/R_{св}$ , де  $V_R$  - напруга, прикладена до фоторезистора.
- Відношення темного опору до світлового:  $R_T/R_{св} = \rho_o * \mu_n * \tau_n * e * \lambda * P_{изл} / (hc * V)$ , де  $P_{изл}$  - потужність випромінювання, падаючого на фоторезистор,  $V$  – об'єм фоторезистора.
- Чутливість  $S_V = \mu_n * \tau_n * (e * \lambda / hc) * (V_R / l^2)$ .
- Коефіцієнт посилення  $Z = \mu_n * \tau_n * V_R / l^2 = \tau_n / t_o \pi$ .
- $t_{пр} = l^2 / \mu_n * V_R$  - час прольоту електрона через фоторезистор.

*До особливостей даних співвідношень відноситься те, що значення всіх параметрів зростають, коли  $\mu_n * \tau_n$  зростає, тобто, для фоторезисторів краще використовувати напівпровідники з великими рухливостями  $\mu_n$  і часами життя носіїв  $\tau$*

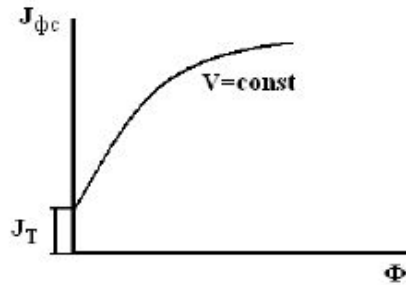


Рисунок 2-Світлова характеристика фоторезистора

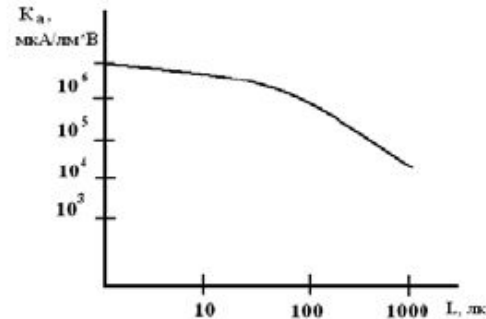


Рисунок 3 –Залежність питомої чутливості фоторезистора від освітленості

Принцип дій фотоопорів заснований на утворенні додаткових рухомих носіїв заряду в результаті поглинання світлової енергії. Під дією променистої енергії виникають додаткові носії струму - електрони і дірки, унаслідок чого зменшується опір напівпровідника. З енергетичної точки зору збільшення провідності пояснюється переходом електронів з валентної зони в зону провідності. Для отримання фотоструму необхідно послідовно включити в ланцюг постійне джерело ЕДС, причому полярність джерела струму байдужа.

Вольт - амперні характеристики фотоопору лінійні в межах максимально допустимої потужності розсіювання на них (рис. 4).

Світлові характеристики фотоопору звичайно нелінійні (рис. 2). Особливістю світлових характеристик наявність темного струму, тобто струму, що протікає через фото опір за відсутності освітленості.

Темновий струм зменшує чутливість фотоопорів до корисного світлового сигналу, і тому наявність темнових струмів небажано.



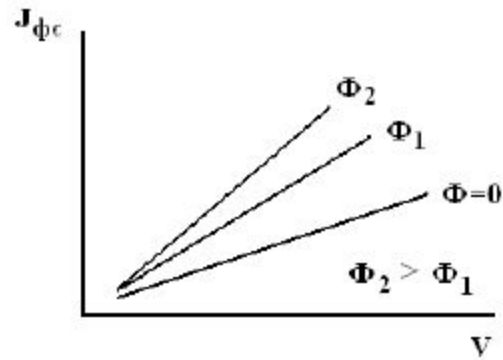


Рисунок 4 –Вольтамперна характеристика фоторезистора при різних значеннях освітленості

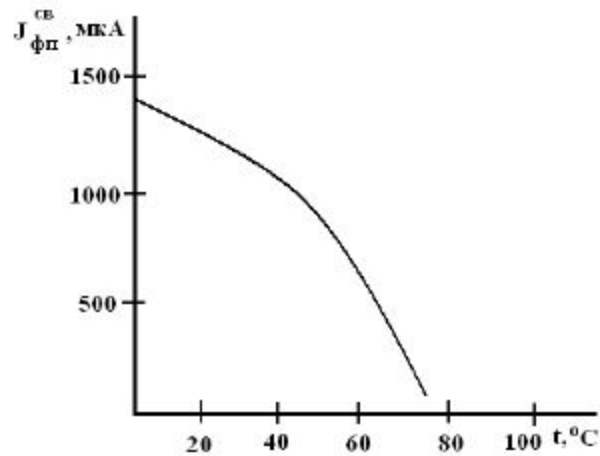


Рисунок 5 -Температурна залежність світлового струму фотоопору типу СФ3-1

Падіння напруги на фотоопорі не повинне перевищувати 25-30 В. При більшій напрузі на фотоопорі унаслідок надмірного його нагріву відбудеться руйнування світлочутливого шару. Струм при цьому, як показано на рис.7.5 зменшується. Залежно від спектральної чутливості фотоопори діляться на три групи фотоопору для видимої частини спектру, фотоопори для інфрачервоної частини спектру і датчики проникаючого випромінювання.

Фотоопори можуть застосовуватися в пристроях перетворення світлових сигналів в електричні, в ланцюгах постійного, змінного і пульсуючого струму.

### *Методика виконання роботи*

1. Досліджувати залежність опору фоторезистора ФСЗ-1 при зміні яскравості випромінювання світлодіода. Схема вимірювання показана на рис. 6.

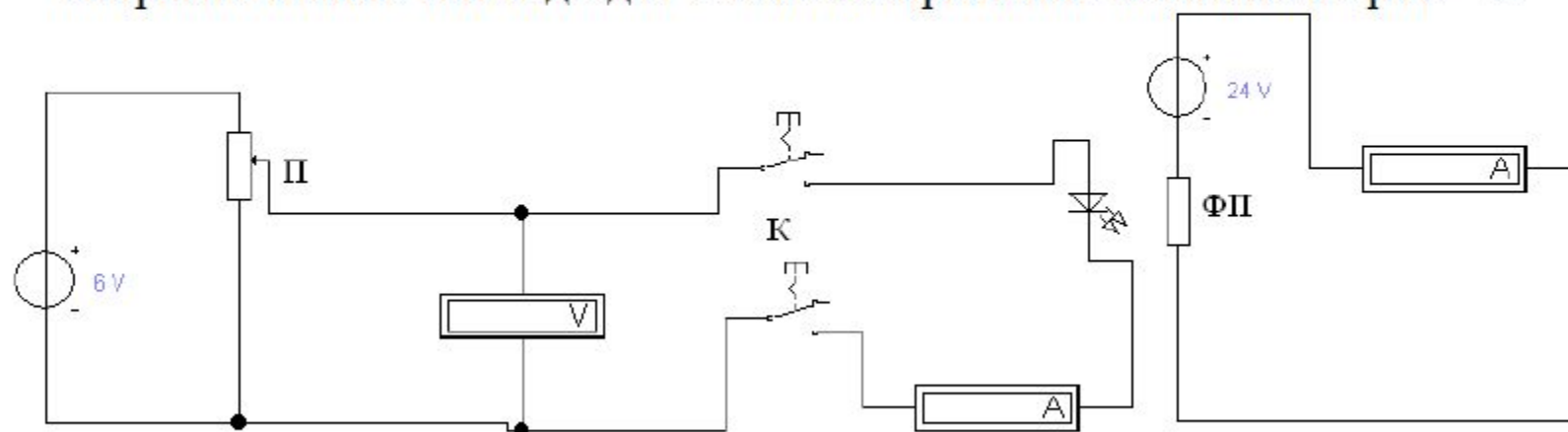


Рисунок 6 - Схема для дослідження фоторезистора



2. Встановивши світлодіод в безпосередній близькості від фотоопору, записати (по міліамперметрам) дані про струм, що проходить через світлодіод і фотоопір і занести в таблицю .

3. По одержаним даним побудувати залежність  $I_{\phi.c.} = f(I_{c.d.})$  .

### *Контрольні питання:*

1. Фоторезистор. Явища внутрішнього фотоефекту .
2. Основні параметри фоторезисторів.
3. Основні допущення спрощеної теорії фоторезисторів
4. Принцип дій фотоопору
5. Вольт - амперні характеристики фотоопору
6. Світлові характеристики фотоопору
7. Темновий струм.