

Лабораторна робота 6

Вимірювання та аналіз вольт-амперної та яскравісної характеристик джерел світла для оптоелектроніки

Мета роботи: освоїти методику визначення основних характеристик джерел світла для оптоелектроніки.

Прилади і матеріали: лабораторний стенд із змінним модулем для світлодіодів та напівпровідникових лазерів.

Теоретичні відомості

В основі роботи напівпровідникових світловипромінюючих діодів і лазерів лежить низка фізичних явищ, найважливішими з яких є інжекція неосновних носіїв в активну область структури електронно-дірковим гомо- чи гетеропереходом і подальша випромінювальна рекомбінація інжекттованих носіїв в активній області структури.

Явище *інжекції неосновних носіїв* слугує основним механізмом введення нерівноважних носіїв в активну область структури світловипромінюючих діодів. В узагальненому вигляді інжекція носіїв *p-n*-переходом може бути представлена наступним чином. Коли в напівпровіднику створюється *p-n*-перехід, то носії в його околі розподіляються таким чином, щоб вирівняти рівень Фермі. В області контакту шарів *n*- і *p*-типів електрони з донорів переходять на найближчі акцептори і утворюється дипольний шар, який складається з іонізованих позитивних донорів з *n*-боку і іонізованих негативних акцепторів з *p*-боку. Електричне поле дипольного шару створює потенціальний бар'єр, який перешкоджає подальшій дифузії електричних зарядів (рис. 6.1).

При створенні на *p-n*-переході електричного зміщення в прямому напрямку потенціальний бар'єр зменшується, внаслідок чого в *p*-область увійде додаткова кількість електронів, а в *n*-область – дірок. Таке дифузійне введення неосновних носіїв називається *інжекцією*.

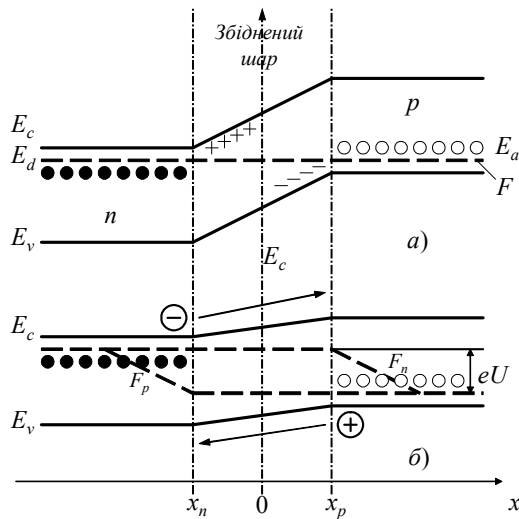


Рис. 6.1. Схематичне зображення зонної діаграми p - n -переходу при термодинамічній рівновазі (а) і при прямому зміщенні (б): E_c – енергія дна зони провідності; E_v – енергія стелі валентної зони; E_d і E_a – енергетичні стани донорів і акцепторів; F_n і F_p – квазірівні Фермі для електронів і дірок; x – віддаль від p - n -переходу

Випромінювальна рекомбінація – єдиний фізичний механізм генерації світла в СД. Найважливішою є рекомбінація за рахунок прямих випромінювальних переходів зона-зона, вона реалізується в прямозонних напівпровідниках (GaAs, InAs, InSb, GaSb, GaN твердих розчинах $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ при $x < 0,4$; $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ при $x < 0,35$ та ін.).

Основні параметри та характеристики оптоелектронних джерел світла та особливості їх визначення розглядаються у цій роботі.

Оптичні характеристики. Спектральний склад випромінювання у видимому діапазоні може бути визначений з допомогою трьох кольорів на двовимірному графіку МКО (рис. 6.2) На цьому графіку розміщення спектрально чистих кольорів має форму підкови, а біле світло, отримане змішуванням однакових за яскравістю трьох основних кольорів, розміщене в центрі графіка з координатами $x = 0,333$ і $y = 0,333$. Вміст третьої складової z , що відповідає синій ділянці спектру, визначається із співвідношення:

$$x + y + z = 1. \quad (6.1)$$

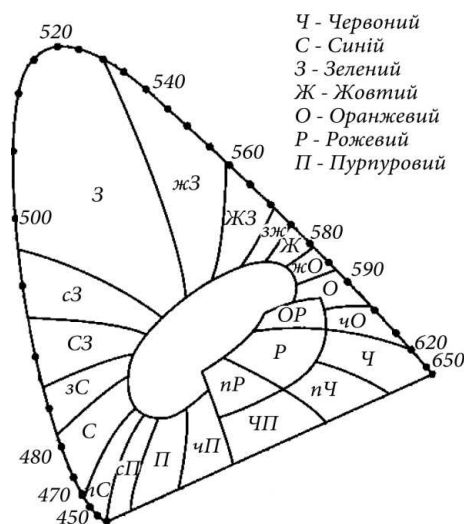
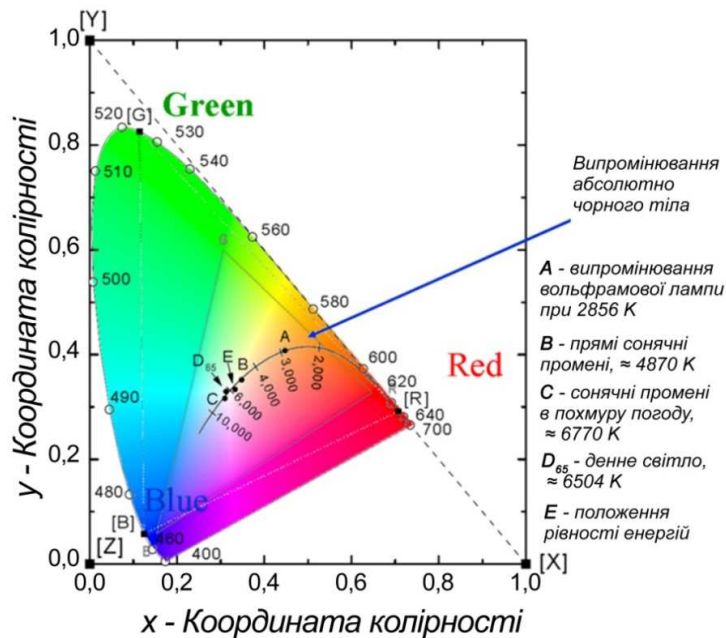


Рис. 6.2. Кольоровий графік МКО (Міжнародна комісія з освітленості, CIE – фр. *Commission internationale de l'éclairage*). Цифрами на кривій позначені довжини хвиль в нанометрах

Довжина хвилі монохроматичного випромінювання $\lambda_{дом}$, що найточніше відповідає заданому поліхроматичному, визначається з точки перетину променя, який розпочинається у точці білого кольору ($x = 0,333$, $y = 0,333$) та проходить через точку заданого кольору, з дугою спектрально чистих кольорів.

Власне сам спектр випромінювання вимірюється за допомогою експериментальної установки, що складається з монохроматора і фотоприймача (напівпровідникового чи фотоелектричного), та еталонного джерела світла

(світловимірювальної лампи розжарення) і подається у вигляді графіка, зображеного на рис. 6.3.

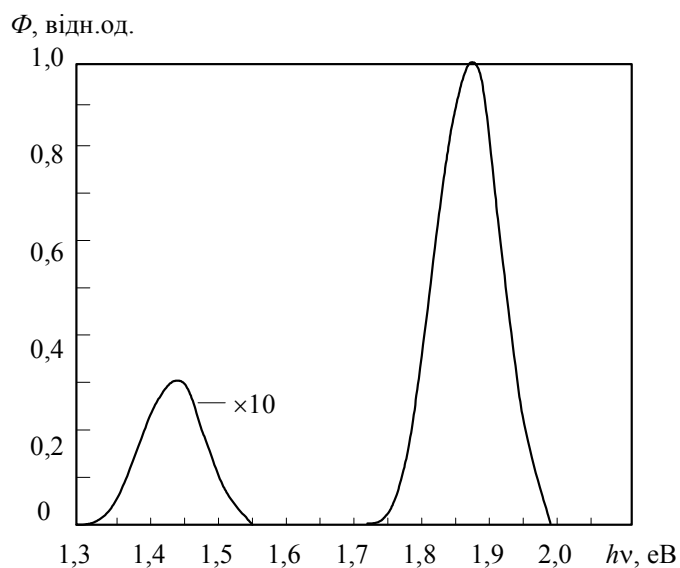


Рис. 6.3. Спектр електролюмінесценції СД з Ga_{0,7}Al_{0,3}As (300 К)

Просторовий розподіл випромінювання визначається за допомогою двокоординатного гоніометра, який дозволяє реєструвати інтенсивність випромінювання на фіксованій віддалі від джерела для повного тілесного кута.

Електричні характеристики. Вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) напівпровідникових елементів оптоелектроніки виконується на комп'ютеризованій установці (рис. 6.4), яка складається з персонального комп'ютера (ПК), керованого блока живлення, оптоелектронного модуля (ОЕМ), цифрового вольтметра та інтерфейса зв'язку і керування.

Досліджуваний елемент увімкнений в електричне коло послідовно з опором R_H , тому струм, який протікає у колі, можна визначити шляхом вимірювання напруги на R_H :

$$I_H = \frac{U_R}{R_H}, \quad (6.2)$$

де U_R – напруга на опорі навантаження, що вимірюється з допомогою мультиметра. Тоді напруга на досліджуваному елементі U_{CD} дорівнюватиме

$$U_{CD} = U - U_R, \quad (6.3)$$

де U – напруга на блоці живлення, яка задається програмно і змінюється з певним кроком. З отриманої таким чином ВАХ визначається *пряма напруга* $U_{\text{п}}$ (точка перетину продовження лінійно наростаючої ділянки ВАХ з віссю напруг) та *диференціальний опір* $R_{\text{д}}$ (котангенс кута нахилу лінійно наростаючої ділянки ВАХ).

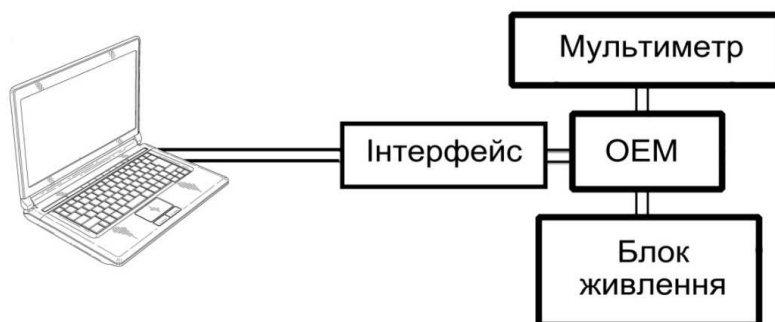


Рис. 6.4. Блок-схема вимірювальної установки

Для вимірювання інтенсивності джерела світла до цифрового вольтметра під'єднується фотодіод ФД–7К, який працює в фотогальванічному режимі. Фото-ЕРС буде пропорційна до інтенсивності СД, однак лише для значень, які не перевищують 100 мВ. Характерний вигляд залежності яскравості свічення B від величини струму I поданий на рис. 6.5. З цієї залежності визначається струм насичення світлодіода ($I_{\text{н}}$).

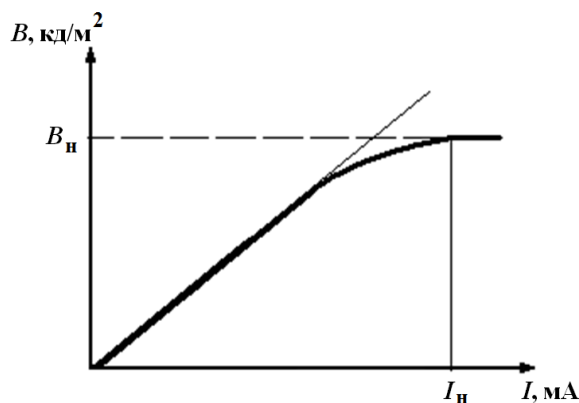


Рис. 6.5. Типова форма яскравісної характеристики світлодіодів

Порядок виконання роботи

1. Вивчити схеми апаратури та програмне забезпечення до неї.
2. Увімкнути апаратуру та перевірити її роботу. Записати послідовність дій,

які виконуються при вимірюванні.

3. Отримати напівпровідникове джерело світла (світлодіод чи лазерний діод) та під'єднати до схеми, враховуючи при цьому полярність.
4. Зняти ВАХ джерела за допомогою відповідної програми. Звернути увагу на вхідні параметри, які задаються програмно і визначають остаточні значення напруги та струму. Обробити файл з результатами вимірювання та побудувати графік, використовуючи для цього відповідний програмний пакет.
5. З вольт-амперної характеристики визначити: пряме падіння напруги на напівпровідниковому джерелі світла та диференціальний опір.
6. Виміряти залежність інтенсивності свічення джерела від струму через нього. Для цього встановити в макет фотодіод ФД–24К або ФД–7К та подбати про його захист від стороннього світла. Визначити струм насичення світлодіода.
7. Візуально дослідити характер свічення досліджуваних джерел (його спектральний склад $I(\lambda)$ та просторовий розподіл $I(\lambda)$ в залежності від робочого струму, де I – сила фотоструму через приймач світла.
8. Дати пояснення одержаним результатам і оформити відповідний звіт з аргументованими висновками.