

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»
Завідувачка кафедри
_____ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

за спеціальністю 171 «Електроніка»
освітньо-наукової програми «Електронні інформаційні системи»
на тему «**СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ LED І**
ГОЛОГРАФІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ»
Здобувача групи ЕПм-21н Микитченка Дмитра Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Дмитро МИКИТЧЕНКО

Керівник завідувачка кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики,
докт. фіз-мат.наук, професор _____ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

Суми – 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-наукова програма
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕЗПФ
Л.В.Однодворець
«01» травня 2024 року

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Микитченка Дмитра Олександровича

Тема роботи: **СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ LED І ГОЛОГРАФІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

затверджена наказом по університету від «16» квітня 2024 р., № 0394-VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 16 травня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета)

Актуальність роботи полягає в розширенні використання напівпровідникових діодів, як приладів виведення графічних та букво-циферних даних, застосування напівпровідникових приладів для інформування оператора на виробничих процесах в зручній та легкій для сприйняття формі. Висока різноманітність індикаторних приладів дає змогу виводу інформації в різноманітні способи, що мають актуальність в певних умовах експлуатації. Однозначною перевагою можна назвати можливість виводу у реальному часі, що дозволяє проводити прямий моніторинг зміни параметрів.

Мета роботи: аналіз фізичних законів роботи, технічно-конструктивних особливостей, принципів функціонування електронних систем та пристроїв відображення інформації та світловипромінюючих діодів як компонентів електронних систем.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить їх розробити)

1. Світловипромінюючі діоди: теоретичні основи та результати експериментів.

2. Конструктивно-технологічні особливості індикаторів та голографічних пристроїв.

3. Методика вимірювання робочих параметрів і характеристик світлодіодів.
4. Результати вимірювань і розрахунків.
5. Висновки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайди № 1-2. Актуальність і мета роботи.

Слайди № 4-8. Фізичні основи роботи світлодіодів.

Слайди № 9-12 Конструкція та параметри індикаторів різних типів.

Слайди № 12-13. Голографічні системи для відображення інформації.

Слайди № 14-15 Методика вимірювань і результати розрахунків.

Слайд №16. Висновки.

Слайд №17. Подяка.

6. Дата видачі завдання 01.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних даних	до 04.05.2024 р.	<i>вик.</i>
2.	Проведення експерименту, моделювання, розрахунків, обробка результатів	до 14.05.2023 р.	<i>вик.</i>
3.	Оформлення тексту кваліфікаційної роботи.	до 16.05.2023 р.	<i>вик.</i>
4.	Попередній захист роботи	17.05.2024 р., онлайн	<i>вик.</i>
5.	Захист кваліфікаційної роботи	23.05.2024 р., 11-40 онлайн	

Здобувач вищої освіти

Керівник

Микитченко Д.О.

Однодворець Л.В.

АНОТАЦІЯ

Обсяг роботи: 42 сторінки, 19 рисунків, 3 таблиці, 22 використаних джерел.

Актуальність теми роботи полягає в розширенні використання напівпровідникових діодів, як приладів виведення графічних та букво-циферних даних, застосування напівпровідникових приладів для інформування оператора на виробничих процесах в зручній та легкій для сприйняття формі. Висока різноманітність індикаторних приладів дає змогу виводу інформації в різноманітні способи, що мають актуальність в певних умовах експлуатації. Однозначною перевагою можна назвати можливість виводу у реальному часі, що дозволяє проводити прямий моніторинг зміни параметрів.

Мета кваліфікаційної роботи магістра: аналіз фізичних принципів роботи конструктивно-технологічних особливостей світловипроміюючих діодів, голографічних систем та індикаторів як компонент електронних систем для відображення та візуалізації інформації; вимірюванні робочих характеристик світлодіодів різного діапазону хвиль.

Прилади: світлодіоди різних типів; вузол комутації (виконаний на перемикачах SA1 та SA2); вимірювальні прилади (мультиметри типу DT-830A); змінний резистор типу ППБ-1А з опором 2,2кОм; імпульсне джерело живлення на базі Push-down генератора з напругою до 10 В.

Отримані результати:

1. Під час виконання кваліфікаційної роботи було вивчено основи функціонування та конструкцію приладів відображення інформації, а саме, детально розглянуто світлодіодні індикатори. Наведені основні показники струму та напруги діодів різного цільового призначення.

2. Продемонстровано механізми перетворення оптичних властивостей кристала під дією електричного поля в корисну та прийнятну для читання інформацію. Зазначені основні конструкції, що використовуються для кольорових світлодіодів.

3. В сучасному світі індикатори набули широкого використання, що обумовлює широкі вимоги до них, а саме вимоги до живлення та куту освітлення, які були розглянуті. Було визначено, що при зміні скважності, можна забезпечувати досить високу потужність випромінювання, на один-два порядки перевищуючу номінальну потужність випромінювання.

4. Провівши дослідження можна вказати основний механізм випромінювання видимого і невидимого спектру, а саме рекомбінація частинок при якій вивільняється надлишкова енергія у вигляді випромінення. По мірі зростання щільності струму через p-n-перехід більше число електронів і дірок інjektується в заборонену зону, виникають вторинні ефекти, збільшуючи число дірок і електронів, які можуть випромінювально рекомбінувати.

5. Установлено, що при зростанні величини електричного струму, опір світлодіода значно знижується експоненціально, а потужність зростає лінійно. У діапазоні прямого струму ВАХ світлодіодів носить нелінійний характер. Світловипромінювальні діоди починають проводити струм починаючи з деякого порогового значення напруги, яке дозволяє досить точно визначити матеріал напівпровідника. Допустимі межі параметрів струму та напруги для роботи світлодіодів: від 0,1 до 6 мА та від 1,3 до 3,5 В відповідно.

Публікація: Результати кваліфікаційної роботи магістра були представлені та обговорені на Міжнародній науково-технічній конференції «Фізика, електроніка, електротехніка, ФЕЕ-2024» (м. Суми, Сумський державний університет).

Ключові слова: випромінювання, гетероструктура, електролюмінесція, індикатор, напівпровідник, голографія, світлодіод.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП.....	7
Розділ 1. ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ LED.....	8
1.1 Принцип роботи світлодіода	8
1.2. Властивості LED елементів	13
1.3 Живлення світлодіодів	17
1.4 Сучасні методи та технології виготовлення світлодіодів	18
Розділ 2. ОГЛЯД СИСТЕМ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ	23
2.1 Багатосегментні індикатори	23
2.2 Шкальні індикатори	28
2.3 Голографічні елементи	30
Розділ 3. ВИМІРЮВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДІВ	34
3.1 Методика вимірювань	34
3.2 Результати експерименту та вимірювань	34
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40

ВСТУП

Аналіз та обробка інформації, моніторинг процесів виробництва та їх керування, були б неможливими без пристроїв відображення інформації. Обширна класифікація даних пристроїв дозволяє перетворювати електричні сигнали в текстову, табличну та графічну інформацію. Як і більшість електричних приладів індикатори мають достатню швидкість для моментального інформування спостерігача.

Висока функціональність дозволяє виводити інформацію через надзвичайно малі проміжки часу, якими можна знехтувати і вважати що оновлення інформації безперервне. Можливим є варіант спрацьовування пристрою відображення інформації з помітними паузами, що зменшує складність та енергоспоживання. Інформація може відтворюватися з певною затримкою коли немає необхідності спостереження в даний момент часу. Індикатори можна поділити на три групи за використанням символів: графічні, алфавітно-цифрові та мнемонічні. В даній роботі основну увагу приділено пристроям на базі світлодіодів, оскільки вони мають високий потенціал використання, та набули широкого вживання в промисловості. Швидкодію для приладів відображення інформації можна розділити на кілька основних характеристик: періодичність зміни інформації на екрані, швидкість поновлення цієї інформації, час накопичення даних для відображення одного кадра. Крім цього потрібно враховувати, що коректне відображення інформації потребує врахування таких фактів, як метод кодування інформації, використовувана символіка та формат даних.

Мета роботи полягала в аналізі фізичних принципів роботи, конструктивно-технологічних особливостей світловипроміюючих діодів, голографічних систем та індикаторів як компонент електронних систем для відображення та візуалізації інформації; вимірюванні робочих характеристик світлодіодів різного діапазону хвиль.

Розділ 1.

ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ LED

1.1 Принцип роботи світлодіода

Електролюмінісценція - це явище, за якого при подачі електричного струму на певний матеріал відбувається його світіння. Це світло може бути видимим або невидимим, залежно від властивостей матеріалу та параметрів електричного струму. У світлодіодах (LED) електролюмінісценція відбувається завдяки внутрішньому перетворенню електричної енергії на світлову енергію. Основним компонентом світлодіодів є напівпровідникові кристали, які можуть виділяти світло, коли через них пропускається електричний струм. Коли електрони та дірки рекомбінують у напівпровіднику, вони випромінюють енергію у вигляді фотонів світла. Цей процес відбувається в узгоджених областях з'єднання напівпровідникових матеріалів (p-n-переході), що є ключовим елементом у світлодіодах. Також це явище має назву випромінювальна рекомбінація оскільки під час цього відбувається рекомбінація електронно-діркової пари з випроміненням кванта світла [1].

Існує також зворотній процес, він виникає, якщо напівпровідниковий кристал буде поглинати світлове випромінення. Кванти світла, в такому випадку, будуть збуджувати електронно-діркові пари. Електронно-діркове з'єднання можна також розірвати надавши йому додаткову енергію іншим чином, наприклад: електронний пучок або струм. На практиці найчастіше використовується збудження струмом. Поглинаючи квант світла енергія якого $\hbar^*\omega_2 > E_g$ більша за енергію забороненої зони, електрон може потрапити до зони провідності. При вивільненні електрона з валентної зони в цій зоні залишається дірка. Блукаючи електрон та дірка можуть також рекомбінувати і при цьому виділити енергію $\hbar^*\omega_1 \geq E_g$. Практика показує, що $\hbar^*\omega_2 > \hbar^*\omega_1$, дана нерівність пояснюється взаємодією електрона з кристалічною решіткою напівпровідника. Схожі процеси також відбуваються і з дірками у валентній зоні [2,3].

Явище утворення електронно-діркової пари тобто рекомбінації поділяють на два види: випромінювальна та безвипромінювальна. Мається на увазі випромінення кванта світла. Нам цікава випромінювальна рекомбінація оскільки вона грає ключову роль в роботі світлодіода та інших пристроїв робота яких ґрунтується на випроміненні. Але на практиці безвипромінювальна рекомбінація не може зникнути повністю і в реальній приладах наявний її певний відсоток. Для покращення роботи приладу відсоток рекомбінації без утворення додаткового випромінення намагаються зменшити [4].

У напівпровідниках, незалежно від того, чи вони леговані додатковими домішками чи ні, завжди присутні обидва типи вільних носіїв заряду: електрони та дірки. У режимі рівноваги, коли на матеріал не діє зовнішній вплив, такий як світло чи електричні поля, виконується закон діючих мас. Цей закон означає, що добуток концентрацій електронів та дірок залишається сталим при заданій температурі:

$$n_0 \times p_0 = n_i^2, \quad (1.1)$$

де n_0 і p_0 – концентрація електронів і дірок;

n_i – власна концентрація.

Уявимо, що кристал легований акцепторними домішками N_a та донорними N_d . Прирівняємо концентрації для спрощення, тобто $N_a = N_d$. За кімнатної температури р-область та n-області наповнені основними носіями за рахунок іонізації домішок [4,5]. Дану особливість можна записати, як ($n_{n0} \approx N_d$) для n-області і для р-області ($p_{p0} \approx N_a$). Кожна область також має не основні носії заряду для n-області це будуть дірки (p_{n0}) і для р-області (n_{p0}). Значення цих величин пов'язані законом діючих мас:

$$n_{n0} \times p_{n0} = p_{p0} \times n_{p0} = n_i^2, \quad (1.2)$$

де n_i – концентрація носіїв у власному НП.

Якщо уявити, що концентрація основних носіїв в областях дорівнює $n_{n0} = p_{p0} = 10^{21} \text{ м}^{-3}$, а $n_i = 10^{19} \text{ м}^{-3}$ то маємо концентрація неосновних носіїв в областях, що дорівнює $p_{n0} = n_{p0} = 10^{16} \text{ м}^{-3}$. З цього прикладу можна побачити різницю

концентрації основних і не основних носіїв заряду в області. Основних носіїв на п'ять порядків більше [6].

Після утворення області з різною провідністю починається активна взаємодія між ними. Електрони з n-області починають потрапляти до р-області, оскільки там вони можуть прорекомбінувати з діркою (рис 1.1). Оскільки електрони провідності були утворені завдяки домішок, то коли електрони пішли в n-області залишилися позитивні іони домішок, що не були скомпенсовані іншими електронами. На це явище можна подивитися і з іншої сторони, як дірка дифундує з р-області до n-області і при цьому утворюючи негативний заряд в залишеній області (варто розуміти, що рух дірок це лише рух електронів в протилежному напрямку).

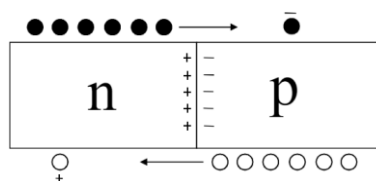


Рисунок 1.1 – Узагальнене зображення p-n-переходу в напівпровіднику

Процес дифундування носіїв з основної області в неосновну з утворенням протилежного заряду для цієї області продовжується до тих пір поки на границях областей не утворяться області з негативним зарядом в р-області і позитивним в n-області. Дані шари утворюючи електричне поле не дозволяють проникати носіям заряду далі. Цей бар'єр має назву контактна різниця потенціалів[1,7].

Прикладення різниці потенціалів до кристала призведе до появи направлено електричного поля в напівпровіднику. Дане поле додається до контактної різниці потенціалів, що призведе до зміни висоти потенціального бар'єра (збільшення або зменшення залежить від напрямків полів). В результаті прикладена різниця потенціалів порушує рівновагу між основними і неосновними носіями, що протікають через бар'єр [1].

Приклавши негативний потенціал до n-області та позитивний до р-області, то напрямок потенціального бар'єра зникне та утвориться поле з протилежним напрямком. Даний тип підключення має назву пряме зміщення. При даному типі

підключення значно збільшується кількість основних носіїв, що проходять крізь бар'єр. Після проходження бар'єра носії стають неосновними в новій області та можуть проникати на глибину, яка визначена рекомбінаційним процесом під назвою інжекція. Варто зазначити, що має місце бути і зворотній процес тобто в області потрапляють носії і стають в цих областях основними носіями. Дані носії компенсують заряд, утворений інжекттованими неосновними носіями. В нашій роботі особливо цікавий струм I_{inj} інжекції, який був створений завдяки прикладеній напрузі, він і є основним джерелом енергії для світлодіода [2,3,8].

До р-n-переходу варто прикладати напругу V_f підібрану до рівня ширини забороненої зони:

$$V_f \approx \frac{E_g}{e}, \quad (1.3)$$

Де $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл –заряд електрона.

Зменшення потенційного бар'єра призводить до термодинамічної нерівноваги між р- і n-областями. В цьому випадку також порушуються і рівні Фермі з обох сторін переходу. Для n-області маємо енергію E_F^C , що розташована у зоні провідності та для р-області E_F^U , що розташована у валентній зоні. Для створення випромінювальної рекомбінації необхідна вузькі вироджені області, що мають електрони в зоні провідності і валентна зона з дірками [9,10]. Цю умову можна створити завдяки дотримання рівності (1.3). Частота квантів буде визначатися за наступною формулою:

$$\nu \approx \frac{e \times V_F}{h}, \quad (1.4)$$

Довжина хвилі випромінення буде визначатися за наступною формулою:

$$\lambda \approx \frac{c \times n \times h}{e \times \nu_f}, \quad (1.5)$$

Де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла;

n – показник заломлення кристала.

В сучасних світлодіодах активна область має вигляд квантової ями (рис. 1.2). Квантові ями це вузькі області, що знаходяться між двома бар'єрними шарами.

Зменшуючи розмір ями можна збільшити інтенсивність рекомбінації та концентрація носіїв. Збільшуючи випромінювальну рекомбінацію час життя носіїв зменшується і збільшується квантовий вихід. Квантовий вихід є важливою характеристикою[4,11] для світлодіодів, він вказує на його внутрішню ефективність і є відношенням народжених фотонів в активній області до кількості електронів, що інжектовані до тієї самої області:

$$\eta_{int} = \frac{P_{int} / (h \times \nu)}{I_{inj} / e} \quad (1.6)$$

де P_{int} – потужність випромінення із активної частини світлодіода;

I_{inj} – струм інжекції.

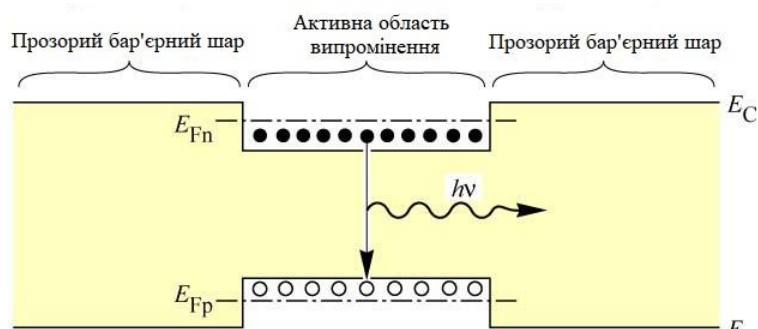


Рисунок 1.2 –Активна область світлодіода

Якщо взяти ідеальний світлодіод, то його квантовий вихід дорівнював би одиниці, але на практиці не всі фотони, що були утворені випромінювальною рекомбінацією, можуть покинути напівпровідник. Реальні світлодіоди затримують частину випромінення в об'ємі кристала. Деякі фотони можуть поглинутися металом, що знаходиться на контакті, деякі фотони взаємодіють з підложкою світлодіода[4,12]. Окрім названих перешкод важливо зазначити таку характеристику, як повне внутрішнє відбиття, що замикає світло в середині напівпровідника. Для визначення такої характеристики введено поняття «коефіцієнт оптичного виводу випромінення». Коефіцієнт показує відношення фотонів, що покинули область світлодіода до фотонів що були створені в ньому за секунду:

$$\eta_{extraction} = \frac{P / h \times v}{P_{int} / h \times v'} \quad (1.7)$$

де P – потужність оптичного випромінення, що вийшло за межі світлодіода.

Цю характеристику беруть за основний показник якості світлодіода. Якщо взяти виробництво. Що не застосовує складних технологій, то максимально можна отримати 50% оптичного виводу випромінення[12,13].

Є ще декілька важливих характеристик світлодіодів, які необхідно знати. ККД тобто коефіцієнт корисної дії:

$$\eta_{power} = \frac{P}{I \times V} \quad (1.8)$$

де $I \times V$ – потужність, що підведена до світлодіода.

Іншою важливою характеристикою світлодіода є його зовнішній квантовий вихід – це відношення випромінених фотонів до кількості електронів, що були інжектвані за секунду:

$$n_{ext} = \frac{P/h \times v}{I/e} = \eta_{int} \times \eta_{extraction} \cdot \quad (1.9)$$

Для підвищення світлової ефективності світлодіода необхідно, щоб основна частина енергії, яка звільняється під час рекомбінації носіїв, витрачалася на випромінювання фотонів. Ефективність також визначається структурою світлодіода і видом використовуваного переходу[13].

1.2. Властивості LED елементів

Є декілька видів величин, якими можна охарактеризувати випромінювання світлодіода: радіометричні і спектрорадіометричні – ці величини можуть бути доповненими за умови випромінення світла видимого спектру, тоді додаються коліметричні та фотометричні величини. На цьому етапі розгляду варто зазначити існування аналогу для кожної енергетичної величини у фотометричних величинах. Різниця тільки у вимірювальних одиницях, для енергетичних величин це одиниці потужності, а для фотометричних величин це функція відносної спектральної

світлової ефективності випромінювання. Важливо сказати, що оптичні властивості світлодіодів вираховуються за тими самими методиками, що і для інших джерел світла, також доцільним є використання інших характеристик, які зазвичай застосовуються для опису випромінюючих пристроїв, оскільки різновидність спектрального випромінювання світлодіодів дуже висока[4,13].

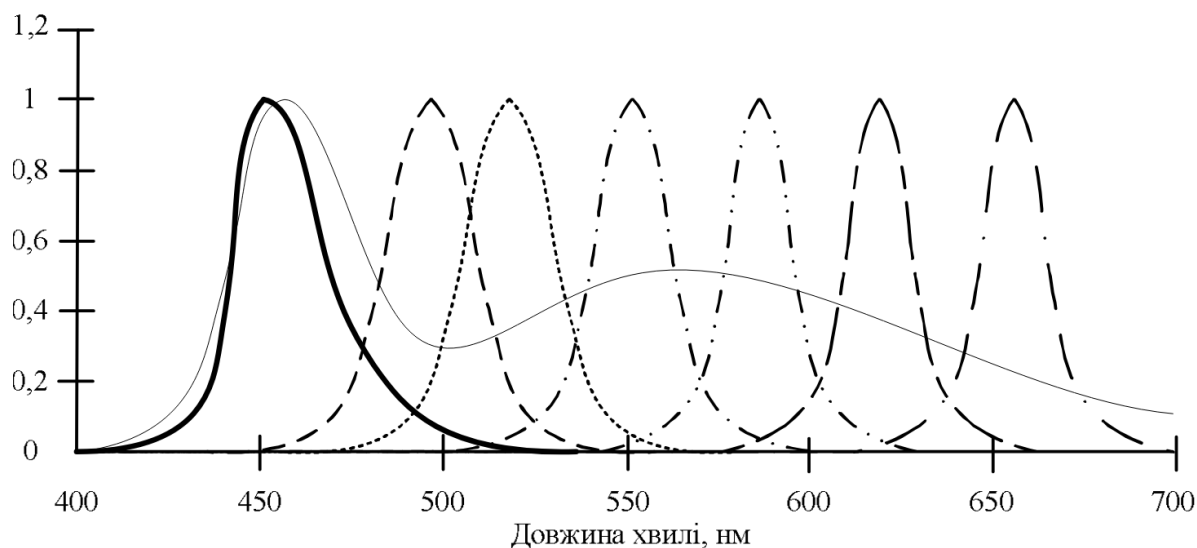


Рисунок 1.3 – Спектральні розподіли потужності світлодіодів.

«Паспортом» світлодіода можна вважати спектральний розподіл оптичного випромінювання, ця характеристика також притаманна і іншим джерелам світла однак для світлодіодів вона відрізняється. Наприклад візьмемо розподіл червоного світлодіода, він не є широкосмуговим (як випромінювання лампи розжарювання) ні монохроматичним (як лазерне випромінювання), але щось опосередковане (квазімонохроматичне), що має певну відстань спектральної смуги. Приклади спектральних розподілів показано на рисунку 1.3. Довжина хвилі сильно впливає на ефективність випромінювання[14].

Варто пам'ятати про важливість дотримання експлуатаційних особливостей світлодіодів оскільки кожен світлодіод потребує своїх значень струму для максимальної ефективності роботи. Ідеальним вважається світлодіод, який здатний регулювати самий себе завдяки струму, що нагріває кристал. Позначимо струм I_f , що проходить через світлодіод з напругою U_f . Зміна температури ΔT_a спричиняє

падіння напруги U'_f за температурний коефіцієнтом α_u і збільшення температури за рахунок збільшення потужності, що відводиться від кристала тепловим опором W :

$$U_f = U'_f [1 + \alpha_u [\Delta T_a + W \times U'_f \times I_f]]. \quad (1.10)$$

Між корпусами та кристалами забезпечується ефективний тепловий контакт. Це дозволяє скоротити час досягнення термодинамічної рівноваги. Додаткове нагрівання дозволяє активно контролювати температуру кристала і, при необхідності, підтримувати її вище температури навколишнього середовища [15,16].

При вимірюванні геометричних параметрів світлодіодів потрібно враховувати їхні розміри, просторовий, кутовий та поверхневий розподіл випромінювання, а також інші характеристики. Наприклад, якщо розглядати світлодіод, що помістили у корпус з мутним матеріалом, то випромінювання буде мати широкий кут (дифузне випромінювання). Прозорий корпус дасть малий кут випромінювання. Вимірювання сили світла та інших світлових параметрів складніше проводити при роботі з малими кутами, оскільки навіть мале відведення від оптичної осі призведе до великої похибки. При роботі з дифузним випромінюванням приблизного виставлення оптичної осі достатньо для точного виміру. Дану властивість легко можна показати використовуючи модель колосиметричного розподілу сили світла довкола оптичної осі I_Θ :

$$I(\theta) = I_0 \cos^{g-1} \theta, \\ U_{\text{від}}(\cos^{g-1}) = \frac{(g-1)\theta^2}{\sqrt{2\theta}}, \quad (1.11)$$

де I_0 – сила світла в напрямку оптичної осі;

Θ – половинний кут;

g – показник експоненти.

При випроміненні з малим кутом тобто до 10° та на відносному значенні сили випромінювання у 50% отримаємо $g = 200$, розбіжність оптичної осі на 1° призводить до похибки в 1 %. Значно краща ситуація у дифузного випромінювання. При куті в 60° показник експоненти рівний 2 та похибка при розбіжності оптичної осі рівна 0,01 % на 1° [1,2].

Великий вплив також мають фотометричні характеристики світлодіодів. Для окремих одиниць важливими є сила світла та світловий потік випромінюючого діода також немало важливими є контраст та допустимі значення відстані, а для модульних систем важлива яскравість. При розгляді інших сфер застосування, також будуть важливими енергетичний потік, енергетична яскравість, сила випромінювання та опроміненість.

Характеристика кольору світлодіода визначається декількома термінами: «домінантна довжина хвилі» і «чистота кольору». Домінантна довжина хвилі - це довжина хвилі світла, яка характеризується найбільшою інтенсивністю випромінювання. У випадку світлодіодів, це довжина хвилі, яка визначає колір світла, що випромінюється. Наприклад, для світлодіодів червоного кольору доміантна довжина хвилі буде близько 620-630 нм. Для пристроїв, що випромінюють біле світло застосовують корельовану колірну температуру, що порівнює зразок з «абсолютним» випромінювачем тієї самої температури [6,12,13,17]. Також біле світло можна охарактеризувати індексом передачі, цей індекс вказує на те, наскільки точно дане джерело світла відтворює кольори порівняно зі штучним джерелом світла, яке має ідеальний спектральний склад.

Яскравості світлодіодів часто не приділяють великої уваги оскільки при огляді світлодіода око знаходиться на великій відстані від джерела тому сприймається, як точка а не площа. Проте не варто недооцінювати яскравість оскільки при близькому розташуванні до ока саме вона може спричинити пошкодження. Лазери поділяються на класи небезпечності, але менше відомо про те, що подібний поділ існує і для світлодіодів. Раніше яскравість світлодіодів не досягала шкідливого рівня, але зараз не лише досягнуті максимальні граничні значення яскравості, а й часто їх перевищують. Метод яким визначають яскравість

найчастіше є ділення сили випромінювання тобто світла на площу, що випромінює, частка від цього ділення і буде шуканою яскравістю. Яскравість також можна знайти за допомогою світності – спрощений метод. Як і з вимірюванням сили світла при дифузійному розподілі, метод ділення дає достатню точність але для малих кутів, що мають сучасні світлодіоди точність погіршується, що спричиняє непередбаченість при створенні класів яскравості [5,6].

1.3 Живлення світлодіодів

Галузі застосування світлодіодів дуже широка та іноді потребує нестандартного режиму роботи. Оскільки кожен світлодіод потребує свого режиму роботи та умов живлення, то варто знати та розуміти, як один режим роботи відрізняється від іншого. Світлодіоди випромінюють світло при підключенні до них постійного струму. Потужність випромінювання зростає швидше за електричну потужність при малому струмі, зі збільшенням струму живлення ситуація змінюється в протилежну сторону. Даний процес відбувається через температуру оскільки температура спричиняє падіння напруги. Дане явище має назву площа насичення. За норму вважається лінійна залежність світлового випромінювання від струму. Варто звернути увагу на відмінність світлодіода від інших джерел світла. Інші джерела мають чітку кореляцію між електричною потужністю та силою випромінювання світлового потоку. Світлодіоди мають інший механізм роботи. Збільшення температури зменшує пряму напругу на кристалі. Тому при конструюванні схем живлення та самого світлодіода варто звертати вагу на температурну залежність і не намагатися стабілізувати живлення без урахування цього параметру [4,11,18].

Базовим режимом роботи є режим модульного струму. При даному режимі на кристал подається постійна напруга та струм. Сила світла, що випромінюється світлодіодом, змінюється відповідно до зміни сили струму, що подається на нього. Це дає змогу регулювати яскравість світла в широкому діапазоні, від повного вимкнення до максимального значення, та дозволяє швидко змінювати

інтенсивність світіння в залежності від потреб застосування. Режим модульованого струму дозволяє ефективно керувати яскравістю світлодіода, забезпечуючи точне регулювання інтенсивності світіння і збільшуючи його продуктивність і довговічність [4].

1.4 Сучасні методи та технології виготовлення світлодіодів

Основою світлодіода можна назвати кристал. Саме виробництво кристалів є початковою стадією виготовлення світлодіодів. На сьогоднішній момент кристали, що створюються з розчину фосфідів алюмінію (Al), індію (In) та галію (Ga) слугують для виробництва діодів жовтого, помаранчевого та червоного кольорів випромінювання. Випромінювання, що має коротку хвилю (близько 450 – 550 нм) можна отримати з кристалів нітриду галію (GaN) а також InGaN і AlGaN (синій, блакитний, зелений). Білі світлодіоди також створюються з нітриду галію, завдяки додаванню люмінофору алюмо-ітрієвого граната (YAG) [9,19].

При конструюванні та розробці перших світлодіодів, для науковців стало проблемою винайдення світлодіода з синім кольором випромінювання. В кінці 80-х років ХХ сторіччя японським вченим вдалося винайти світлодіод з кристалу нітриду галію з р-n-переходом, що був вирощений на підкладці сапфіра (Al_2O_3). На той час синій світлодіод мав ККД близько 1%, що є малим значенням в наш час, але на той час це був великий результат, оскільки решітка мала велику кількість дефектів. Вже через рік активний розвиток в ті часи дав змогу отримати світлодіоди блакитного і зеленого світла з ККД 10%. Світлодіод був створений на основі гетероструктури GaN і його твердих розчинів. Це вдалося зробити завдяки новому методу вирощування нітриду галію. Металоорганічна газофазна епітаксія давала змогу вирощувати кристали з меншою кількістю дефектів. Також був винайдений технологічний процес введення акцепторів магнію, що і дозволило змінювати довжину хвилі випромінювання. В наш час з технологіями, які дозволяють отримувати набагато чистіші кристали з малою кількістю домішок та дефектів, виготовляються світлодіоди синього кольору випромінювання з ККД в 44% [10,20].

Технологія вирощування нітриду галію на підкладці з Al_2O_3 не є єдиною. Компанія Cree запровадила спосіб нарощування на карбіді кремнію (SiC). Ця технологія має переваги та суттєві відмінності від попередників. Основні відмінності є у різниці кристалічної ґратки. У нітриду галію порівняно з сапфіром різниця дорівнює майже 15%, а у нітрида галію порівняно з карбідом кремнію різниця лише у 3,3 % (рис. 1.4). Цей факт вказує на те, що карбід кремнію є кращою кандидатурою в якості підкладки для вирощування, оскільки менша різниця в кристалічній решітці дає меншу кількість дефектів кристалічної будови. До переваг карбід кремнію відноситься і теплопровідність. Al_2O_3 має 30-40 Вт/мК а SiC значно більше (360-470 Вт/мК), ця характеристика прямо впливає на здатність кристала відводити тепло від головної області переходу.

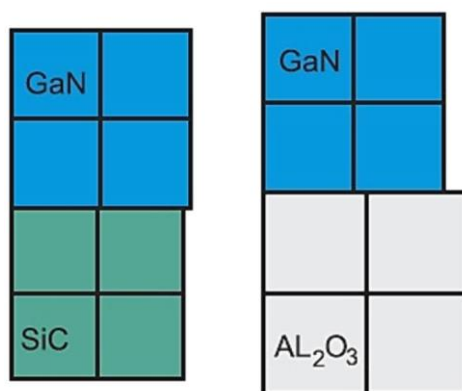


Рисунок 1.4 – Схематичне порівняння відмінностей розмірів кристалічної решітки GaN, SiC, Al_2O_3

Типовий квантовий вихід кристалів гетероструктур GaN та його твердих розчинів, вирощених на підкладках SiC, становить близько 50-60%, крім того, за рахунок вертикального протікання струму вдалося отримати пряме падіння напруги на кристалі при номінальному струмі на 20% нижче, ніж у інших аналогів.

З 2005 р. дві компанії Nichia та Cree забезпечують понад 80% світового виробництва кристалів синього та зеленого випромінювання. При цьому Cree традиційно використовує технологію епітаксійного вирощування GaN на SiC-підкладках, а Nichia – на підкладках Al_2O_3 . Сучасні фабрики також володіють

технологією розщеплення нітриду галію і підкладки з сапфіра з можливістю подальшого компонування з іншими матеріалами [9,14,15].

Останнім часом почався розвиток технології вирощування GaN і його твердих форм на Si-підкладках. Лідерами в цьому є компанія Plessey Semiconductors Ltd., що запроваджує цю технологію у виробництво. Роботи розпочалися у 2011 році, коли компанія придбала патент на вирощування GaN на Si, розроблений у Кембриджському університеті. Дослідники цього університету вже понад п'ятнадцять років активно беруть участь у розробці технологій вирощування GaN і є одними з провідних фахівців з вивчення матеріалів на основі GaN у Великобританії. Насамперед, слід зазначити, що собівартість даних підкладок нижче, ніж технології вирощування GaN на Al_2O_3 — і SiC-подложках. Компанія освоїла технологію вирощування знизивши собівартості виробництва світлодіодних кристалів [2,10,12].

Процес виробництва світлодіодних кристалів компанії Plessey Semiconductors Ltd. починається з вирощування GaN-структури. У процесі зростання структури на Si-підкладці формується буферний шар GaN необхідної якості, на якому вирощується шар GaN n-типу, потім активний шар гетероструктури, що є множинною квантовою ямою, і останнім вирощується шар GaN p-типу (рис 1.5). Для забезпечення планарної структури кристала, тобто коли обидва контакти знаходяться на одній поверхні, фахівці компанії Plessey Semiconductors Ltd [3,10,12]. додатково додають у структуру металізацію та ізолюючий шар. Далі в процесі обробки, після етапу нарощування, підкладка, на якій спочатку структура була вирощена, видаляється, і буферний шар, що звільнився, став тепер верхньою гранню. Формується лінзова структура, що забезпечує поліпшений вивід світла зі структури кристала. На краях кристала частина буферного та наступних за ним шарів стравлюються, і на верхню грань наносяться контакти обох знаків – анод та катод .

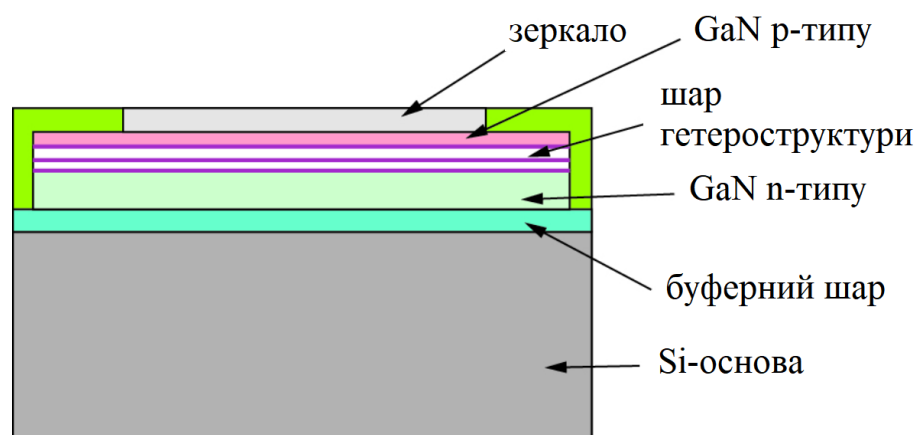


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення гетероструктури GaN/Si

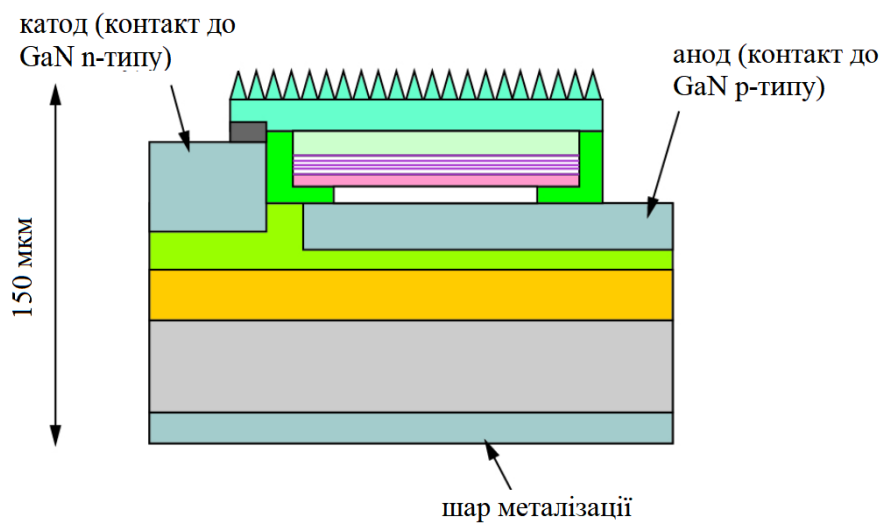


Рисунок 1.6 – Схема світлодіодного кристала на основі гетероструктур GaN/Si

На верхню грань кристала наноситься лінзова структура, що дозволяє покращити коефіцієнт виведення випромінювання. Аналогічну структуру одними з перших почали наносити на кристали EZ-серії фахівці компанії Cree. Дана структура дозволяє забезпечити форму кривої світлорозподілу, близьку до закону Ламберта, що також підвищує ефективність виведення випромінювання. На нижню грань кристала наноситься металізація, що є шаром нікелю і срібла. Цей шар забезпечує гарну адгезію при монтажі кристала в корпус або на друковану плату, а також покращує відведення тепла від кристала [10,20].

Конструкція чіпа компанії Plessey Semiconductors Ltd. передбачає наявність контактів на верхній грані, а нижня грань є ізолюючою. Тому для монтажу кристала на основу не потрібно використовувати електропровідний клей, достатньо скористатися тільки теплопровідним, а також мати високу робочу температуру. Тепловий опір від активної області – р-n-переходу – до нижньої грані підкладки кристалів даної компанії становить $1,3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Максимальна робоча температура р-n-переходу становить $+135 \text{ }^\circ\text{C}$, що є цілком достатнім для активного використання у повсякденному житті [7].

2 РОЗДІЛ. ОГЛЯД СИСТЕМ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

2.1 Багатосегментні індикатори

Найпоширенішим напівпровідниковим індикатором вважають цифрові індикатори. Зручність очевидна оскільки більша кількість інформації виводиться завдяки числам (калькулятори, годинник, термометри, вольтметри і т.д.). На рисунку 2.1 можна побачити різноманітність конфігурацій даного типу індикаторів.

Цифрові індикатори можна класифікувати за конструктивними особливостями на такі категорії: безкорпусні монолітні, монолітні з полімерною герметизацією, гібридні з різноманітними світлопровідниками, а також монолітні в корпусах зі склокераміки. Безкорпусні цифрові індикатори становлять порівняно невелику групу. Вони мають конструкцію на монолітному кристалі з випромінюючими елементами та контактними зонами для підключення виводів. Прикладом таких індикаторів є індикатори, використовувані в наручних годинниках.

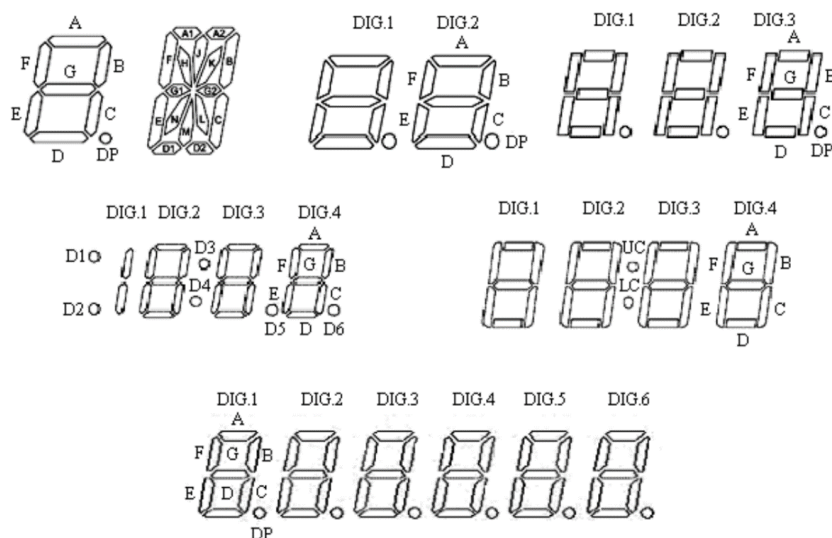
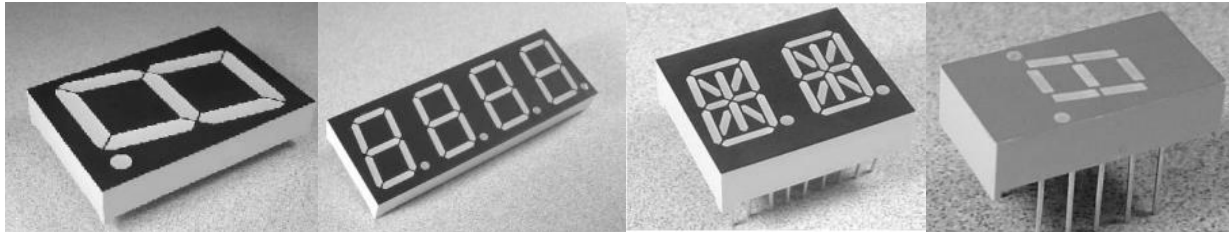


Рисунок 2.1 – Конфігурація інформаційних індикаторів

Найпоширенішим типом цифрових індикаторів є пристрої гібридної конструкції, що використовують принцип розсіювання світла. В їх основі лежить керамічний або текстолітовий тримач, до якого за допомогою струмопровідного клею кріпляться випромінюючі кристали [13].



GNS-3012

FYQ-314

FYD-542

FYS-301

Рисунок 2.2 – Різновиди багатосегментних індикаторів

Сучасні індикатори мають можливість відображати одночасно декілька знаків на одному індикаторі. Різновид знаків для виведення також значно збільшився. Тепер індикатори можуть виводити арабські і римські цифри, букви латинського і грецького алфавітів, а також спец символи. Індикатори також характеризують за їх кількість сегментів у межах однієї області: семисегментні, дев'ятисегментні, п'ятисегментні, 19-сегментні та інші. Досліди численних форматів шрифтів виявив, що за п'ятибальною системою оцінки зображення цифр значну перевагу мають дев'яти-, восьми- і семисегментні індикатори [5]. Якщо розглядати індикатори з точки зору проблем управління, то сучасні індикатори поділені на дві групи. Перша група – застосовуються в промисловості та мають гібридну конструкцію. Вони також визначаються великими розмірами порівняно з іншими індикаторами, кожен сегмент має свій окремий світлодіод та керуючий сигнал підводиться до кожного елемента. На рис. 2.3. показані схеми однорозрядних семисегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-3911 Ax (спільний катод); б – GNS-3911 Bx (спільний анод) [6,21]. Для відображення цифр десяткової системи числення на індикаторі необхідно виконати перетворення двійкового коду в прямий код семисегментних індикаторів.

Таблиця 2.1 – Таблиця істинності перетворювача

N	x ₃	x ₂	x ₁	x ₀	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1

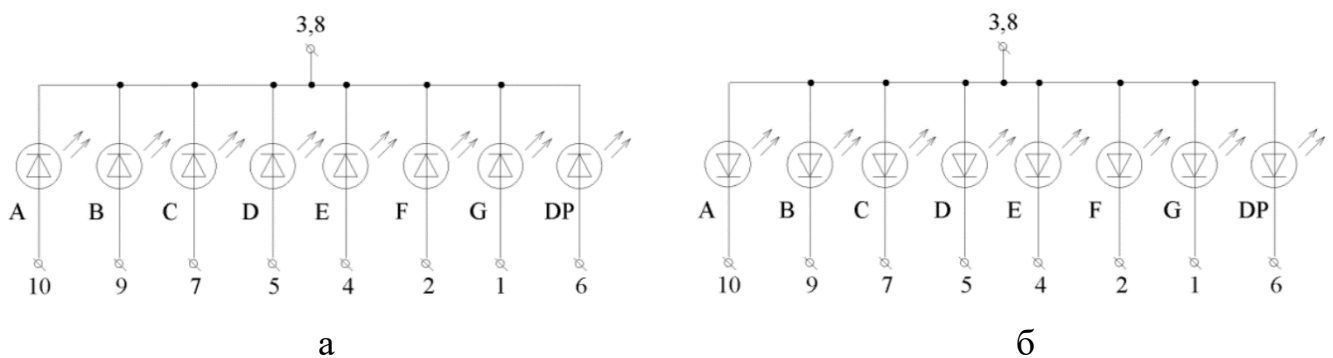


Рисунок 2.3 – Схеми однорядних семисегментних світлодіодних цифрових індикаторів: а – GNS-3911 Ах (спільний катод); б – GNS-3911 Вх (спільний анод)

Відповідно до розташування сегментів, створюємо таблицю істинності перетворювача (табл. 2.1), приписуючи значення логічної “1” тому світлодіоду, який засвічується при відображенні цифри, і логічного “0” – в протилежному випадку [3].

Використовуючи табл. 2.1, можемо записати логічні функції роботи кожного світлодіода:

$$a = \vee 0,2,3,5,6,7,8,9 = \wedge 1,4$$

$$b = \vee 0,1,2,3,4,7,8,9 = \wedge 5,6$$

$$c = \vee 0,1,3,4,5,6,7,8,9 = \wedge 2$$

$$d = \vee 0,2,3,5,6,8,9 = \wedge 1,4,7$$

$$e = \vee 0,2,6,8 = \wedge 1,3,4,5,7,9$$

$$f = \vee 0,4,5,6,8,9 = \wedge 1,2,3,7$$

$$g = \vee 2,3,4,5,6,8,9 = \wedge 0,1,7$$

На рис. 2.3 сегменти індикаторів позначені великими літерами (А-Н), а у формулах, що наведені вище, використані строкові літери. Це пов'язано з різницею стандартів, що використовуються при описанні подібних систем [22]. У вітчизняній літературі використовуються маленькі літери. Разом з тим, більшість фірм, що виробляють індикатори, є закордонними, і в технічній документації на індикатори цих фірм використовуються заглавні літери [21].

Таблиця 2.1 відповідає логіці роботи дешифратора К564ІД5 (CD4056BE, НСС4056BD, ТС4056BF). Умовне графічне позначення дешифратора К561ІД5 приведене на рис. 2.4.

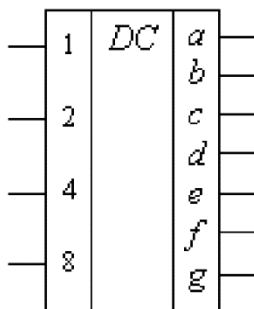
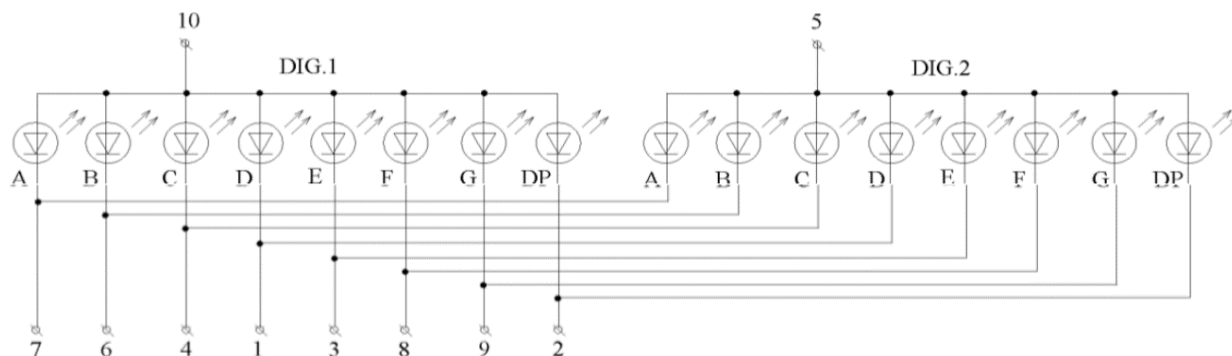
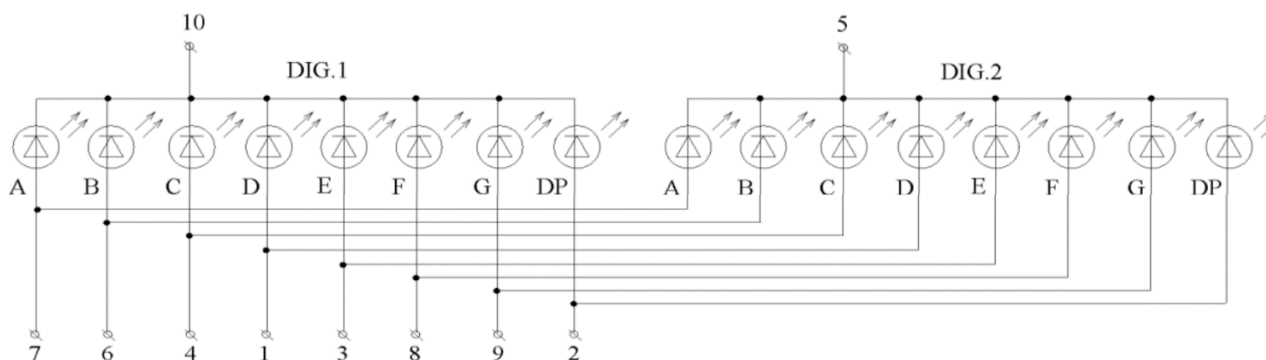


Рисунок 2.4 – Умовне графічне позначення дешифратора К561ІД5



а



б

Рисунок 2.5 – Загальні управляючі входи для однойменних сегментів

Рисунок 2.6 – декількох цифр

До другої групи цифрових індикаторів належать пристрої монолітної конструкції. Вони виготовляються шляхом дифузії напівпровідникових переходів, що дозволяє розміщувати кілька індикаторів на одній підкладці. Таким чином, в одному корпусі такого пристрою може бути від чотирьох до шести і більше індикаторів.

Зазвичай такі індикатори мають спільні керуючі входи для однойменних сегментів кількох цифр (рис. 2.5, а – GND-4021Ax; б – GND-4021Bx). Монолітні індикатори переважно використовуються в пристроях індивідуального користування, таких як наручні годинники, калькулятори, переносні пристрої. Існують два основних методи управління цифровими індикаторами: статичний режим (або режим постійного струму) і мультиплексний режим (режим послідовного стробування цифр) [9,22]. Статичний режим рекомендується для управління напівпровідниковими цифровими індикаторами в пристроях з низькою

інформаційною ємністю. Для цього використовуються індикатори першої групи, що мають окремий керуючий вивід для кожного сегмента індикації.

Мультиплексний режим рекомендується застосовувати для управління напівпровідниковими цифровими індикаторами з великою інформаційною ємністю. У таких пристроях використовуються в основному індикатори другої групи – індикатори монолітної конструкції, що мають управляючі виводи для однойменних сегментів декількох цифр, розміщених в одному корпусі. Мультиплексний режим управління напівпровідниковими цифровими індикаторами дозволяє знизити енергоспоживання індикаторів при збереженні їх характеристик яскравості [2,15,21].

2.2 Шкальні індикатори

Елементи відображення шкальних індикаторів мають форму правильних прямокутників і призначені для індикації рівнів або значень величин. Сучасні шкальні індикатори (ШІ) можна класифікувати за конструктивними особливостями на такі категорії: індикатори без корпусу, з полімерною герметизацією без світлопровідника, зі світлопровідником, в герметичних склокерамічних корпусах.

Всі безкорпусні ШІ виготовляються на одному кристалі, на якому розташовані випромінюючі елементи з розміром поверхні від 30×30 до 50×50 мкм. Крім того, на кристалі є контактні майданчики для підключення ШІ до схеми. Такі індикатори можна інтегрувати у великі інформаційні масиви та застосовувати різні методи організації зчитування даних. Найчисленнішою та швидко зростаючою категорією ШІ є шкальні індикатори зі світлопровідником. Для підвищення контрастності лицьова сторона світлопровідника забарвлюється в чорний колір. Бічні поверхні світлопровідника покривають нікелем, щоб зменшити взаємне засвічування сегментів. Хоча металізація зменшує взаємне засвічування, вона також дещо знижує яскравість світла [16,18].

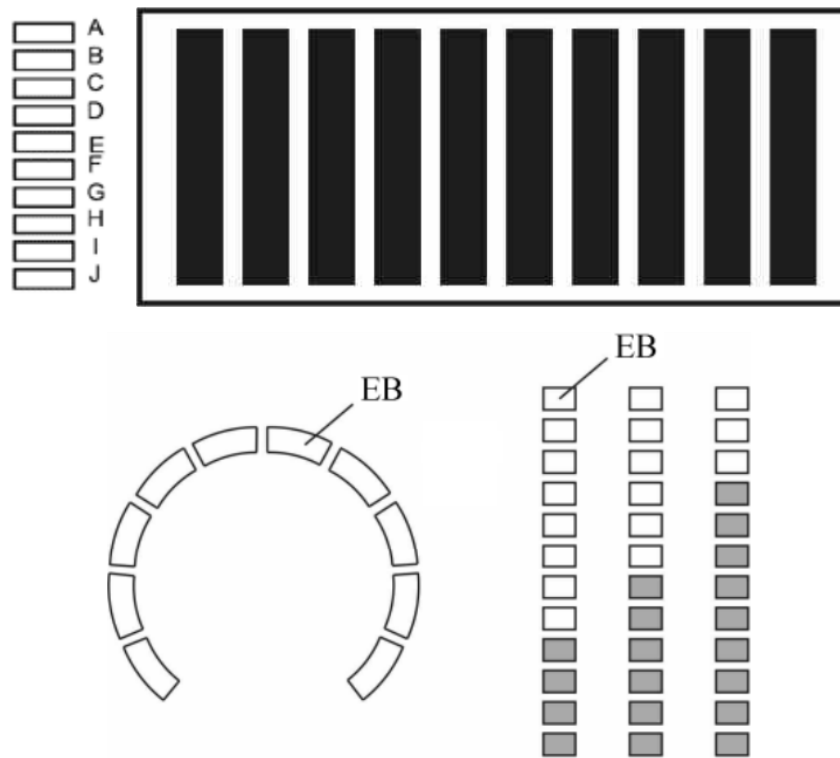


Рисунок 2.6 – Види інформаційних полів шкальних індикаторів

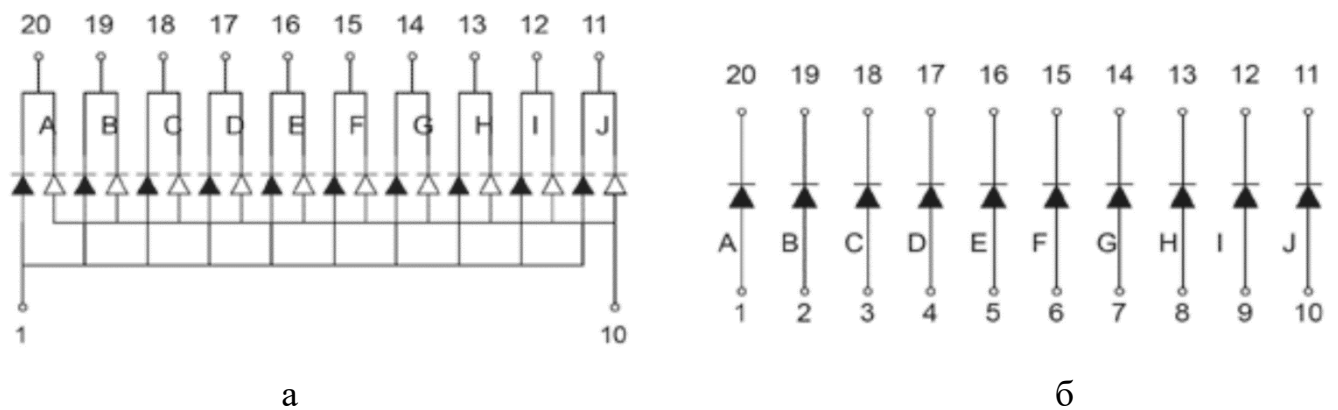


Рисунок 2.7 – Прямокутна світлодіодна лінійка

Всі компоненти приладу, включаючи тримач, кристал, з'єднання та кришку зі світлопровідником, герметично об'єднуються в нероз'ємну монолітну структуру за допомогою оптично прозорого розсіюючого компаунду. Для покращення розсіювання світла на лицьовій стороні приладу деяких конструкцій використовуються циліндричні мікролінзи. Індикатори доступні в різних кольорах світіння. Усі ШІ цього типу дозволяють створювати безшовні з'єднання [4].

На рис. 2.6 представлені види інформаційних полів шкальних індикаторів, а на рис. 2.7 – прямокутна світодіодна лінійка: а – двоколірна GNA-R102510 BEG; б – одноколірна GNA-R102510 Zx [10]. Лінійні шкальні індикатори призначені для відображення аналогової інформації у формі неперервних змін. Використання аналогової форми має кілька переваг: - можливість візуального спостереження за тенденціями зміни параметрів; - висока наочність відносних змін параметрів та виявлення виходу їх значень за межі допустимих норм (особливо за використання багатокольорових шкальних індикаторів); - забезпечення сприйняття оператором значної кількості інформації при мінімальному рівні втоми [4,11,18].

2.3 Голографічні елементи

Голографічні елементи (ГЕ) — це оптичний елемент (наприклад, лінза, фільтр, світлорозділювач або дифракційна решітка), тобто створений за допомогою процесів або принципів голографічного зображення. На рисунку 1 показана основна концепція запису та відображення інформації. Два промені від лазера інтерферують на матеріал для запису. Один промінь - це промінь об'єкта, відбитий або розсіяний від об'єкта, а інший промінь - це опорний промінь. Об'єктний промінь і опорний промінь перетинаються та взаємодіють один з одним, щоб записати інтерференційну картину на спеціальному матеріалі. Ця інтерференційна картина записує інформацію про об'єкт. Коли об'єктом є лінза, інтерференційна картина реконструює оптичний елемент, який виконує функцію лінзи, як показано на рисунку 2.6.

Загалом голографічні елементи поділяються на два основні типи: тонкі та об'ємні. У випадку тонких елементів ефективність низька через падаючі світлові промені, які дифрагують на решітці в різних напрямках, і ефективність дифракції сильно змінюється, коли змінюється кут падіння. Тоді для об'ємних елементів промені падаючого світла дифрагують на решітці лише під певним кутом, тому можна досягти високої ефективності дифракції. Крім того, їх можна класифікувати на типи пропускання та відбиття залежно від геометрії запису.

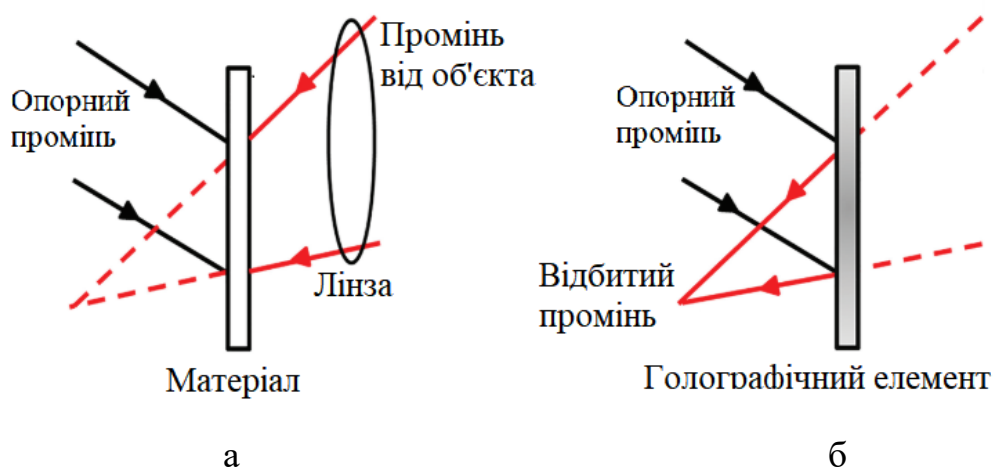


Рисунок 2.8 – Принцип голографічних елементів: (а) запис і (б) відтворення

У передавальному ГЕ об'єктний промінь і опорний промінь знаходяться на одній стороні записуваного матеріалу. Дифрагований промінь виходить з протилежного боку від падаючого променя; промінь проходить через всю товщину матеріалів. У відбиваючому ГЕ об'єктний промінь і опорний промінь знаходяться по різні боки записуваного матеріалу. Дифрагований промінь знаходиться з того самого боку, що й падаючий.

ГЕ мають такі характеристики. На одному записуючому матеріалі можна записати декілька голограм; можливі просторово перекриваючі елементи. Основні голографічні елементи отримуються поверхневою обробкою. Однак зображення отримують шляхом запису інтерференційних картин від двох когерентних світлових променів на фоточутливих матеріалах високої роздільної здатності.

Тому його легко виготовити та тиражувати, а також можна ввести в масове виробництво. Виробництво і функціонування ГЕ засновані на реалізації дифракції та інтерференції світла; його легко використовувати у вузькій смузі пропускання. Осьові синтезовані голограми виконують функції стандартних, силових і компенсуючих оптичних елементів. Напрямок дифрагованого променя визначається смугою інтерференційної картини на поверхні, тоді як ефективність дифрагованого променя визначається напрямком інтерференційної картини та показником заломлення в його внутрішній структурі. Ці характеристики та взаємодії забезпечують як переваги, так і недоліки для будь-якого конкретного застосування.

Характеристики матеріалу для запису мають значний вплив на численні застосування та розвиток голографії. Ідеальний голографічний матеріал має мати наступні властивості: хороша світлочутливість, плоска просторова частотна характеристика, яскрава голограма, відсутність розпливчастості, відсутність поглинання, відсутність усадки, промислова доступність, швидке формуванням голограми, непотрібність у постобробці та стабільність. Щоб виготовити голограму, необхідно розуміти оптичні характеристики записуючого матеріалу.

Як правило, для виготовлення голограм використовуються різні матеріали, такі як емульсія галогеніду срібла, дихромований желатин, фоторезист, фоторефрактив або фотополімер. Фотополімер є одним із матеріалів для запису голограм, який має високу дифракційну ефективність, низьку вартість і чудове співвідношення сигнал/шум. Крім того, після запису голограм не потрібна хімічна або волога обробка. Через такі переваги фотополімер широко використовується в кількох галузях досліджень, які включають оптичні елементи, голографічний накопичувач, голографічний дисплей тощо.

Компанія Bayer MaterialScience розробляє свій фотополімер, який буде простим у використанні, має високу дифракційну ефективність, поліхроматичність та міцність. Такий матеріал буде легко піддаватися впливу, без вологої та термічної обробки. Простота використання та простота обробки дозволяє цьому матеріалу бути придатними для масового виробництва голографічних оптичних елементів.

Плівка Bayfol NX 102 компанії Bayer MaterialScience складається з чотиришарової плівки, самої підкладки, світлочутливого фотополімеру та захисної плівки, як показано на рисунку 2.7. Полікарбонатна (PC) підкладка товщиною 175мкм і поліетилен (PE) 40 мкм використовуються як плівка для заднього покриття та захисна плівка. Захисну плівку можна зняти. Сам фотополімерний шар має товщину 16,8 мкм.



Рисунок 2.9 – Структура плівки Bayfol NX 102

Загалом, є деякі важливі властивості ГЕ, які слід знати. Це ефективність дифракції, селективність за довжиною хвилі та кутова селективність. З багатьох методів опису поведінки решітки, теорія парних хвиль, представлена Когельником, є основним методом завдяки своїй простоті. При фотографуванні інформація передається по ланцюжку: об'єкт, світлова хвиля, фотопластина, око. В голографії ж інформація передається по іншому ланцюжку: об'єкт, світлова хвиля, фотопластина (голограма), світлова хвиля, око. При розгляді голограми око спостерігача сприймає не двовимірне зображення об'єкта, а сам об'єкт як він є. При прочитуванні голограм тривимірних реальних об'єктів спостерігають саме тривимірні реальні об'єкти. Голограма відтворює об'ємне зображення, що має з оптичної точки зору властивості реального об'єкта.

Голографічний метод одержує широке практичне застосування для вирішення різних завдань, таких, як розпізнавання образів, побудова блоків пам'яті великої місткості, введення і виведення інформації, в технології виготовлення мікросхем і багатьох інших.

Розділ 3.

ВИМІРЮВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДІВ

3.1 Методика вимірювань

Для побудови вольт-амперних характеристик (ВАХ) світлодіодів різного кольору світіння як елементів електронних систем візуалізації інформації проведені вимірювання напруги при зміні прямого струму від 0 до 4 мА на лабораторному стенді, зовнішній вигляд і принципова схема якого наведені на рис.2.1 і 2.2. До схеми стенду входять: світлодіоди різних типів; вузол комутації (виконаний на перемикачах SA1 та SA2); вимірювальні прилади (мультиметри типу DT-830A); змінний резистор типу ППБ-1А з опором 2,2кОм; імпульсне джерело живлення на базі Push-down генератора з напругою до 10 В.

Проведемо вимірювання напруги при зміні прямого струму для кожного із світлодіодів. До лабораторного стенду підключаємо два мультиметри: один для регулювання величини струму, другий – для показника значень напруги. Перемикання світлодіоди з одного на другий здійснюється за допомогою вузла комутації.

Основні характеристики світлодіодів наступні: яркісна – залежність яскравості від величини прямого струму, тобто $R = f(I_{пр.})$; світлова – залежність величини світлового потоку або освітленості від величини прямого струму $\Phi(E) = f(I_{пр.})$; спектральна – залежність довжини хвилі випромінювання від величини прямого струму $\Phi(E) = f(I_{пр.})$; вольт-амперна характеристика – залежність прямої напруги від величини прямого струму $U = f(I_{пр.})$.

3.2 Результати експерименту та вимірювань

Довідникові дані та результати вимірювання вольт-амперних характеристик СД різних типів за конструкцією і кольором світіння наведені відповідно у

таблицяз 3.1 і 3.2. На основі отриманих даних побудовані вольт-амперні характеристики та розрахована корисна потужність СД з різним кольором світіння (рис. 3.3).



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенду

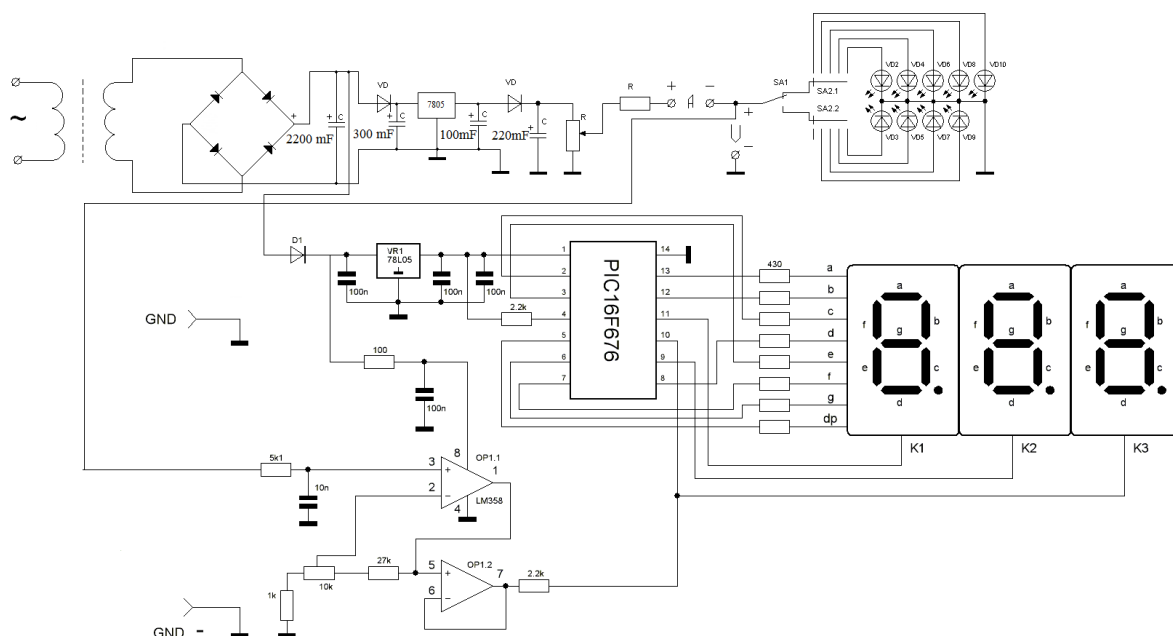


Рисунок 3.2 – Принципова схема лабораторного стенду

Таблиця 2.2 – Параметри світлодіодів видимого діапазону хвиль [6-8]

Тип приладу	Колір світіння	Номинальні робочі параметри при T=25°C				Максимально допустимі параметри при T=25°C	
		I _v , мкКд	I _{пр} , mA	U _{пр} , В	λ _{макс} , нм	I _{пр.макс} , mA	U _{зв.макс} , В
АЛ102АМ	червоний	130	5	2,8	0,69	20	2
АЛ102БМ	червоний	200	10	2,8	0,69	20	2
АЛ102ГМ	червоний	400	10	2,8	0,69	20	2
АЛ307АМ	червоний	200	10	2	0,665	22	2
АЛ307БМ	червоний	900	10	2	0,665	22	2
АЛ307КМ	червоний	2000	10	2	0,665	22	2
АЛ307ЛМ	червоний	6000	10	2	0,665	22	2
АЛ336А	червоний	6000	10	2	0,67	20	2
АЛ336Б	червоний	20000	10	2	0,67	20	2
АЛ336К	червоний	40000	10	2	0,67	20	2
АЛ307ДМ	жовтий	400	10	2,5	0,57	22	2
АЛ307ЕМ	жовтий	1500	10	2,5	0,57	22	2
АЛ307ЖМ	жовтий	6000	10	2,5	0,57	22	2
АЛ336Д	жовтий	4000	10	2,5	0,69	20	2
АЛ336Ж	жовтий	15000	10	2,5	0,69	20	2
АЛ310Д	жовтий	600	10	3,5	0,7	12	4
АЛ310Е	жовтий	250	10	3,5	0,7	12	4
АЛ314Д	жовтий	150	10	2,8	0,69	22	2
АЛ314Е	жовтий	500	10	2,8	0,69	22	2
АЛ102ВМ	зелений	450	20	2,8	0,53	22	2
АЛ102ДМ	зелений	600	20	2,8	0,53	22	2
АЛ336Г	зелений	10000	10	2,8	0,56	20	2
АЛ336В	зелений	10000	10	2,8	0,56	20	2

Таблиця 2.3 – Результати експериментальних вимірювань та розрахунок параметрів СД

U , В	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
АЛ102В – зелений						
I_{np} , мА	0,01	0,54	1,40	1,86	2,45	5,78
P , мВт	0,025	1,40	3,78	5,21	7,11	17,3
АЛ307ЕИ – білий						
I_{np} , мА	0,02	1,23	1,57	2,00	4,24	6,18
P , мВт	0,05	3,20	4,24	5,60	12,30	18,54
АЛ307КМ – блакитний						
I_{np} , мА	0,20	2,00	2,64	3,48	5,40	6,50
P , мВт	0,50	5,20	7,13	9,74	15,67	19,50
КЛД901 – синій						
I_{np} , мА	1,00	1,80	2,52	4,23	6,00	-
P , мВт	2,50	4,68	6,80	11,84	17,40	-
АЛ307Б – червоний						
I_{np} , мА	0,20	0,50	1,00	1,45	2,12	2,72
P , мВт	0,50	1,30	2,70	4,06	6,38	8,16

Дані вольт-амперні характеристики світлодіодів з різними кольорами світіння, що є частиною приладу виведення інформації вказують допустимі межі параметрів струму та напруги для роботи цих діодів: від 0,1 до 6 мА для струму та 1,3 до 3,5 В для напруги. На основі результатів вимірювань ВАХ світлодіодів різних типоміналів і кольору світіння (Рис.2.2 і 2.3) встановлено, що при зростанні величини електричного струму, опір світлодіода значно знижується експоненціально, а потужність зростає лінійно. У діапазоні прямого струму ВАХ світлодіодів носить нелінійний характер.

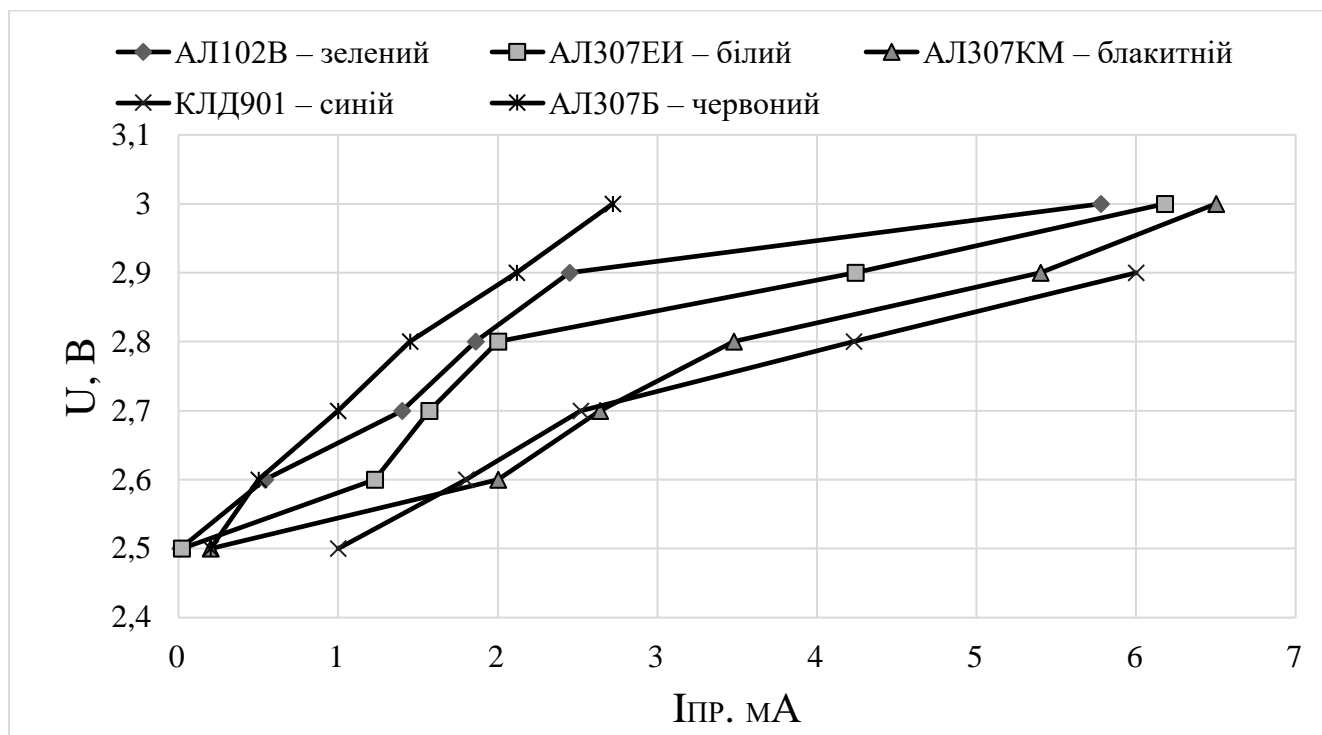


Рисунок 3.3 – Прямі гілки вольт-амперних характеристик світлодіодів. Позиція а: 1 – АЛ102В (зелений колір світіння); 2 – АЛ307ЕИ (білий колір світіння); 3 – АЛ307КМ (блакитний колір світіння). Позиція б: 4 – КЛД901 (синій колір світіння); 5 – АЛ307Б (червоний колір світіння)

Світловипромінювальні діоди починають проводити струм починаючи з деякого порогового значення напруги, яке дозволяє досить точно визначити матеріал напівпровідника.

ВИСНОВКИ

1. Під час виконання кваліфікаційної роботи було вивчено основи функціонування та конструкцію приладів відображення інформації, а саме, детально розглянуто світлодіодні індикатори. Наведені основні показники струму та напруги діодів різного цільового призначення.

2. Продемонстровано механізми перетворення оптичних властивостей кристала під дією електричного поля в корисну та прийнятну для читання інформацію. Зазначені основні конструкції, що використовуються для кольорових світлодіодів.

3. В сучасному світі індикатори набули широкого використання, що обумовлює широкі вимоги до них, а саме вимоги до живлення та куту освітлення, які були розглянуті. Було визначено, що при зміні скважності, можна забезпечувати досить високу потужність випромінювання, на один-два порядки перевищуючу номінальну потужність випромінювання.

4. Провівши дослідження можна вказати основний механізм випромінювання видимого і невидимого спектру, а саме рекомбінація частинок при якій вивільняється надлишкова енергія у вигляді випромінювання. По мірі зростання щільності струму через р-n-перехід більше число електронів і дірок інжектується в заборонену зону, виникають вторинні ефекти, збільшуючи число дірок і електронів, які можуть випромінювально рекомбінувати.

5. Установлено, що при зростанні величини електричного струму, опір світлодіода значно знижується експоненціально, а потужність зростає лінійно. У діапазоні прямого струму ВАХ світлодіодів носить нелінійний характер. Світловипромінювальні діоди починають проводити струм починаючи з деякого порогового значення напруги, яке дозволяє досить точно визначити матеріал напівпровідника. Допустимі межі параметрів струму та напруги для роботи світлодіодів: від 0,1 до 6 мА та від 1,3 до 3,5 В відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матвієнко М.П. Основи електроніки: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 364 с.
2. Стахів П.Г. К.В.І., Г.О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів: Новий світ-2000, 2002. – 128 с.
3. О. В. Борисов Ю.І.Якименко. Твердотільна електроніка : підручник . Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 484 с.
4. 1. Л. А. Назаренко, А. І. Колесник. Фізика і техніка світлодіодів . Харків: Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2021. - 255 с.
5. Стахів П.Г. П.М.В., С.Є.В. Електроніка і мікросхемотехніка елементна база електронних пристроїв. Обереги, 2000. – 300 с.
6. Tooley M. Electronic Circuits: Fundamentals and Applications. 2012. – 320 p.
7. van Driel W.D. et al. Reliability of LED-based systems // Microelectronics Reliability. Pergamon, 2022. - Vol. 129. - P. 114477.
8. Готра З.Ю., Микитюк З.М. Засоби відображення інформації. Електронні дисплеї: навчальний посібник . Вінниця : ВНТУ, 2014. – 162 с.
9. G. S. et al. Semi-classical physics based model in AlGaIn/BGaIn based ultraviolet LED with p-AlGaIn layer sandwiched around electron-blocking layer for droop-free efficiency // Micro and Nanostructures. Elsevier, 2024. - V. 188. - P. 207772.
10. Yadav G., Dewan S., Tomar M. Electroluminescence study of InGaIn/GaIn QW based p-i-n and inverted p-i-n junction based short-wavelength LED device using laser MBE technique // Opt Mater (Amst). North- Holland, 2022. - V.126. - P. 112149.
11. Liu X. et al. RGBW LED mixing temperature compensation method with high output consistency // Opt Laser Technol. Elsevier, 2024. - V. 171. - P. 110440.
12. Li Z. et al. Prediction of junction temperature of white LED based on central wavelength and relative parameter of chromaticity coordinates // Opt Mater (Amst). North-Holland, 2024. - V. 152. - P. 115523.

13. Danyali S. et al. Design PV-fed LED streetlight using Soft-Switching bidirectional DC-DC converter with optimal flux control // *Ain Shams Engineering Journal*. Elsevier, 2024. - P.102844.
14. Zhu L. et al. Microfluidic static droplet generated quantum dot arrays as color conversion layers for full-color micro-LED displays // *Nanoscale Adv.* Royal Society of Chemistry, 2023. - V. 5, № 10. - P. 2743–2747.
15. Goudjil A. et al. An interior-points algorithm for color and CCT control of multichannel LED lighting system using a Smart 18-Channel Spectral Sensor // *Energy Build.* Elsevier, 2023. - V. 298. - P. 113541.
16. Khan M. S.S. Data and information visualization methods and interactive mechanisms: a survey // *Inter. J. Comp. Appl.* – V.34(1). - 2011. - P. 1–14.
17. Liu M. et al. Junction temperature and luminous flux prediction for white LED array based on electrical-photo-thermal modeling // *Case Studies in Thermal Engineering*. Elsevier, 2024. - V. 54.- P. 103940.
18. Albu H. et al. Life cycle assessment of LED luminaire and impact on lighting installation – A case study // *Alexandria Engineering Journal*. Elsevier, 2023. - V.80. - P. 282–293.
19. Kim T. et al. Enhanced quantum efficiency of horizontally aligned individual InGaN/GaN nanorod LEDs by self-assembled Ag nanoparticles // *Appl Surf Sci.* North-Holland, 2024. - V. 656. - P. 159706.
20. Sun L. et al. Interfacial engineering boosted narrow-band ultraviolet LED based on n-PtNPs@ZnO:Ga microwire/AlN/p-GaN heterojunction // *Results Phys.* Elsevier, 2023. - V. 54. - P. 107065.
21. Schroeder W.J., M.K., L. The visualization Toolkit: An Object Oriented Approach to Computer Graphics. Kitware. 2004. - V. VTK. - 528 p.
22. Blumenstein K. W.M., A.W., von S.R., P.H., P.J., Z.M., S.M. Interactive data visualization for second screen applications: State of the art and technical challenges . 2015. - P. 35–48.