Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нанотехнології в біології та медицині» для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 163 – Біомедична інженерія

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Розроблено в рамках проекту “Erasmus+ (CBHE) BioArt “Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів”

Developed in the frame of project “Erasmus+ (CBHE) BioArt“Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees” (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE-JP).

Вінниця
ВНТУ
2020

Рекомендовано - кафедрою біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол засідання кафедри БМІ № 2 від 10.09.2019 р., оновлено, розглянуто зі змінами на засіданні кафедри БМІ № 2 від 09.09.2020 р)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нанотехнології в біології та медицині» для студентів спеціальності 163 - Біомедична інженерія освітня програма Біомедична інженерія / Уклад. С.В. Павлов, Л.Г. Коваль. – Вінниця: ВНТУ, 2020.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт призначений для студентів, які навчаються за рівнем бакалавра зі спеціальності 163 - Біомедична інженерія, освітня програма - Біомедична інженерія.

1 Дослідження взаємодії світла з біотканиною

Теоретичні відомості

Взаємодіючи з речовиною, світло розсіюється і поглинається. При переході з одного середовища в інше змінюється швидкість розповсюдження світла, що призводить до заломлення. Поряд із заломленням на межі двох середовищ світло частково відбивається. Заломлення та відбиття світла використовується в різноманітних оптичних приладах: призмах, лінзах, дзеркалах, що дозволяють формувати зображення.

Вплив лазерного випромінювання на біологічний матеріал або реакція живої тканини на це випромінювання, обумовлено взаємодією фотонів і молекул або з'єднань молекул тканини. Атомарні і молекулярні процеси і наступні біологічні реакції вияснені ще не цілком. Відомі процеси можуть бути підрозділені на фотохімічну взаємодію, термічну взаємодію і нелінійні процеси.

Ступінь того або іншого впливу залежить:

а) від властивостей лазерного випромінювання (довжина хвилі, густота енергії, тривалість опромінення і частота повторення);

б) від властивостей біологічного матеріалу (коефіцієнт поглинання, коефіцієнт розсіювання, густота і т.д.).

У залежності від довжини хвилі, густоти енергії і часу впливу лазерного випромінювання ефект визначається в основному двома внутрішніми параметрами тканини: з одного боку, оптичними властивостями тканини, що опромінюється і, з іншого боку, її термічними властивостями.

При попаданні лазерного променя на тканину можуть спостерігатися три процеси: відбиття, поглинання і/або пропускання – тільки незначний відсоток випромінювання відбивається безпосередньо від поверхні (рис.1).

Промені, що проникають в тканину промені частково поглинаються, частково розсіюються і частково пропускаються (рис. 2).

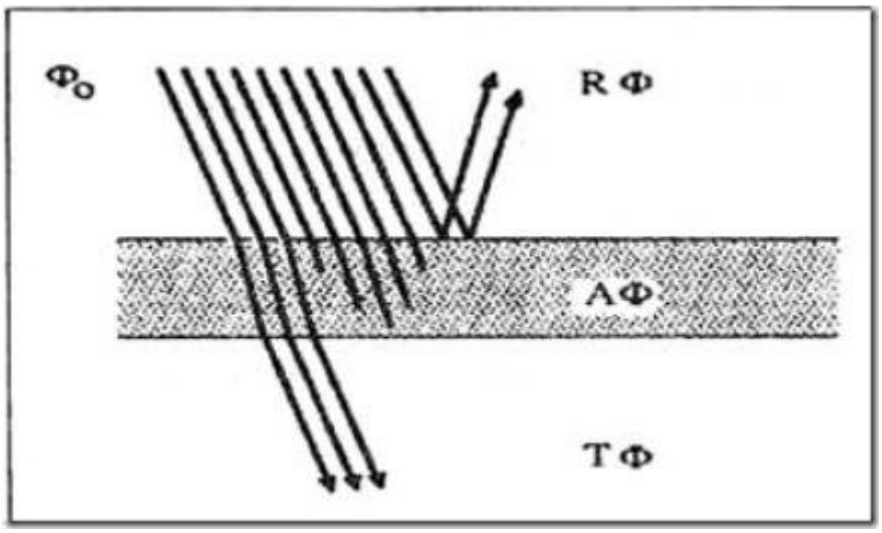


Рисунок 1 – Оптичні властивості прошарку матерії. Падаючий променевий потік розділяється на три частини: відбита частина Rф, поглинена частина Аф

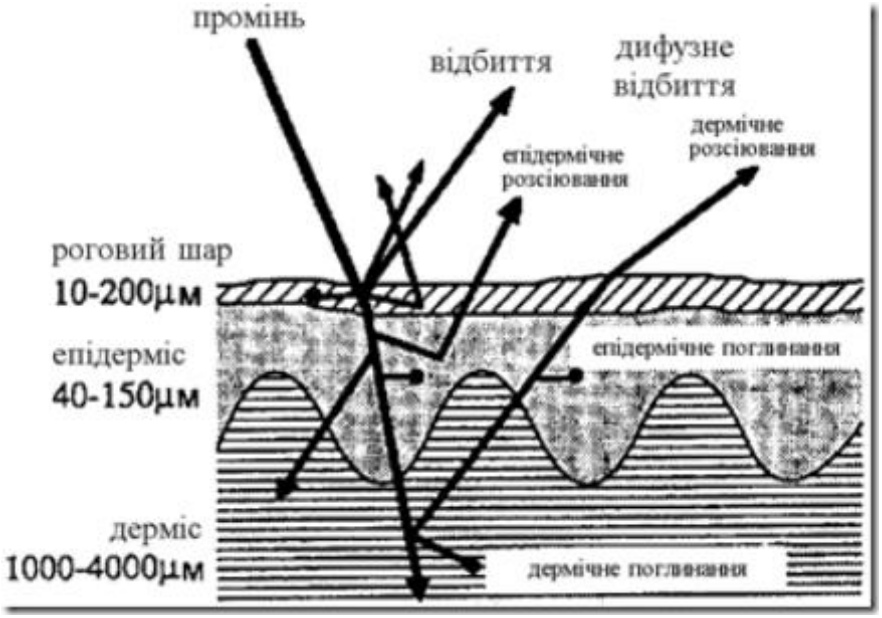


Рисунок 2 – Оптичні властивості лазерного променя на шкірі

У залежності від довжини хвилі випромінювання, що падає відбивається до 60% випромінювання. Розсіювання залежить від негомогенних структур тканини і визначається різними показниками заломлення в різних шарах і різницею між шарами і навколишнім їхнім середовищем. Хвилі з довжиною набагато більшою, ніж діаметр шару (³ 10 мкм), розсіюються клітинними структурами лише в незначному ступені. Але тому що електромагнітний спектр широко використовуваних лазерів простягається від ІЧ (1 мм-0,78 мкм) до УФ (0,38-0,10 мкм) діапазону довжин хвиль, ми практично завжди маємо справу з розсіюванням. Глибину проникнення для довжини хвиль більше 1,0 мкм можна розрахувати на основі закону Ламберта-Бера в першому наближенні

Інтенсивність I випромінювання, що пройшло через прошарок товщиною d визначається співвідношенням:

$I=I_0e^{-ad}$,

де I_0 – інтенсивність при вході в речовину і a – коефіцієнт поглинання.

Розсіювання в біологічній тканині залежить від довжини хвилі лазерного променя. Випромінювання ексимерного лазера УФ діапазону (193, 248, 308 і 351 мкм), а також ІЧ-випромінювання 2,9 мкм ErYAG-лазера і 10,6 мкм CO_2-лазеру мають глибину проникнення від 1 до 20 мкм. Тут розсіювання грає другорядну роль. Для світла з довжиною хвилі 450-590 нм, що відповідає лініям аргону, глибина проникнення складає в середньому 0,5-2,5мм. Як поглинання так і розсіювання грають тут значну роль. Лазерний промінь цієї довжини хвилі хоча і залишається в тканині колімованим у центрі, але він оточений зоною з високим розсіюванням. Від 15% до 40% енергія падаючого пучка світла розсіюється. У області спектра між 590 і 1500 нм, у якій входять лінії Nd:YAG лазера 1,06 і 1,32 мкм, домінує розсіювання. Глибина проникнення складає від 2,0 до 8,0 мм.

У діапазоні від 600 до 1200 нм випромінювання глибше проникає в тканину, із мінімальними втратами на розсіювання і поглинання. У цьому діапазоні випромінювання може досягати до глибоко розташованих об’єктів. Такі лазери як

аргоновий лазер, лазер на барвнику, Nd:YAG- лазер із подвоєнням частоти, Nd:YAG-лазер, діють переважно на гемоглобін, меланін і інші органічні речовини і тому мають коагуляційний ефект. CO2-лазер, що генерує на довжині хвилі 10,6 мкм, або ErYAG-лазер із довжиною хвилі генерації 2,9 мкм через високу ступінь поглинання енергії випромінювання водою може застосовуватися для розрізу тканини.

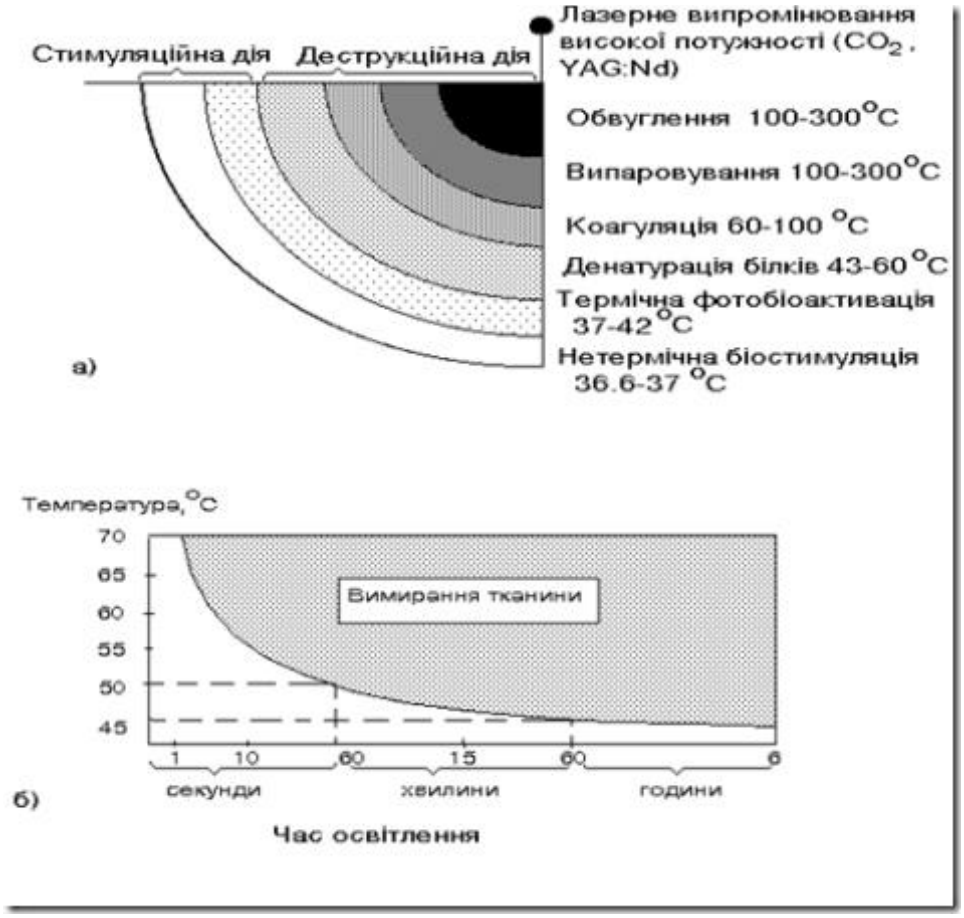


Рисунок 3 – Фототермічні і фотоіонізаційні ефекти в біотканинах

Задання

Опис експериментальної установки

Принципову схему лабораторної установки подано на рис. 1. Вона складається з електричної лампи (1), обойми світлофільтрів (2), поглинача (3), фотодіода (4) та мікроамперметра (5). В якості поглинача можна використовувати як рідкі, так і тверді прозорі речовини. У разі використання рідкої речовини її рівень виміряється за допомогою медичного шприца. Посудина, що знаходиться всередині установки має такі геометричні розміри, що 1 мл відповідає 1мм товщини поглинача. Якщо використовується тверда прозора речовина (плексиглас), то товщина поглинача вимірюється за допомогою штангенциркуля.

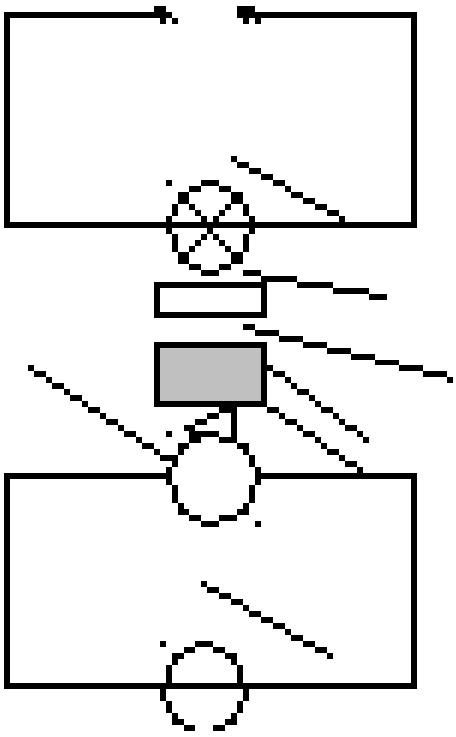


Рисунок 1 – схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

Ввімкнути лабораторну установку.

Для кожного світофільтра зняти покази мікроамперметра при відсутності поглинача (=0 мм).

Ввести шар поглинача товщиною 2 – 4мм; зняти покази мікроамперметра для кожного світлофільтра.

Повторити п.3 5 – 7 разів, збільшуючи кожен раз товщину поглинача на 2 – 4мм.

Результати занести у таблицю 1.

Для кожного випадку обчислити логарифм відношення (де - покази мікроамперметра при відсутності поглинача - перша строчка таблиці).

За даними таблиці 1 для кожного світлофільтра побудувати графіки залежності від .

Використовуючи графіки, за формулою (3) для кожного світлофільтра визначити коефіцієнт поглинання .

Результати занести у таблицю 2.

За даними таблиці 2 побудувати графік залежності .

По графіку визначити довжину хвиль, що відповідають максимуму та мінімуму поглинання.

Вимкнути установку.

Таблиця 1

№ з/п	*x, мм*	№1 фіолетовий	№2 блакитний	№3 темно-	№4 зелений	№5 помаранчевий	№6 червоний

		= 465 нм		= 490 нм		зелений = 505 нм		= 517 нм		= 570 нм		= 660 нм	
1.	**0,00**												
2.													
3.													
4.													
5.													
6.													
7.													
8.													
9.													
10.													

Таблиця 2

λ, н/м						
μ, $м^3$						

Контрольні питання

У чому полягає взаємодія випромінювання з молекулами та атомами речовини?

Який фізичний зміст коефіцієнта поглинання ?

Фізичний зміст дисперсії світла і її зв’язок з поглинанням світла.

Чому криві поглинання і пропускання мають резонансний характер?

2 **Первинні наноматеріали**

Теоретичні відомості

Одним з найважливіших напрямків нанотехнологій є розробка економічних методів виготовлення наноструктур в промислових масштабах. Для багатьох груп наноматеріалів подібні методи вже існують і застосовуються у виробництві. Для отримання двовимірних наноматеріалів (наношарових, в тому числі багатошарових, покриттів) застосовують удосконалені плівкові технології осадження покриттів.

Останнім часом успішно розвиваються сенсори на різних фізичних принципах, в тому числі - оптичні сенсори. Одним із шляхів збільшення чутливості сенсорів є застосування нанопористих матеріалів для покриттів, що контактують з досліджуваної середовищем. Високорозвинена поверхня пор забезпечує велику площу взаємодії рецептора і досліджуваної речовини, що дає можливість збільшення чутливості сенсорів. Унікальна структура вертикальних упорядкованих нанорозмірних пор і формованих в них нанопроволок і наноточок може також служити базою для розвитку нового покоління сенсорів.

Одними з найбільш чутливих сучасних оптичних сенсорів є прилади на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР), що отримують все більше поширення в силу своєї високої чутливості. Серед комерційних сенсорів на основі ППР найбільш широкого поширення набули сенсори, що визначають кутовий зсув мінімуму відображення р-поляризованого світла при найменшій зміні показника заломлення або товщини аналітичного шару на підкладці. Підкладка для сенсора на основі ППР представляє собою скляну пластинку, на якій міститься шар металу (зазвичай золота товщиною близько 50 нм). Залежно від модифікації приладів серії «Плазмон» використовуються пластинки розмірами 20х20 мм, 20х28 мм з напиленими на їх поверхню наношару хрому товщиною 5 нм і золота товщиною 45 нм. Для отримання наношару на такій скляній пластинці необхідно застосовувати методи вакуумного напилення.

Велику цікавість для рефрактометричних досліджень викликають плівки, осаджені методом термічного напилення у вакуумі під кутом 75º, так як вони мають максимальну пористість та розширюють область сенсорного застосування. Авторами роботи було проведено комплекс експериментів, який включав технологію нанесення, вивчення топології структури та впливу цього шару на характеристики ППР. За допомогою вакуумного термічного нанесення під кутом 75 градусів між напрямом на випаровувач та нормаллю до підкладинки було проведено осадження поруватих SiO_x плівок на стандартні діелектричні підкладинки з нанесеним шаром золота.

На рис. 1.1 показана мікрофотографія перерізу плівки SiO_x, осадженої під кутом 75°. Структура плівок не змінювалась внаслідок високотемпературного відпалу у вакуумі чи в атмосфері інертного газу. Подібна структура може спостерігатись для плівок багатьох речовин, скісно осаджених у вакуумі.

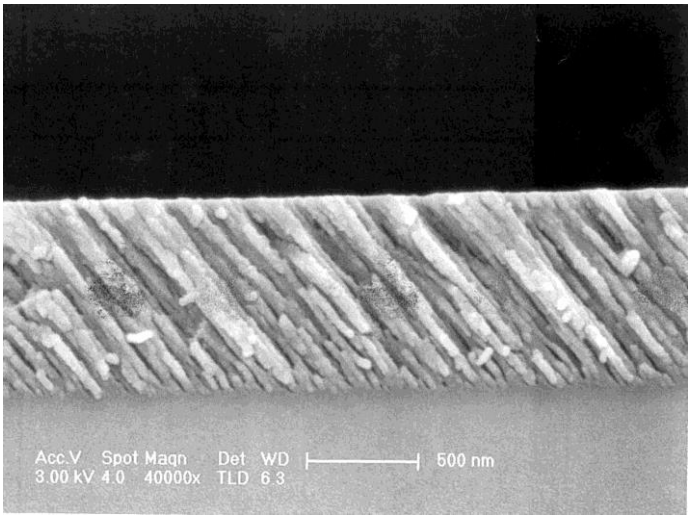


Рис. 1.1. Мікрофотографія структури поруватої плівки SiO_X, осадженої під кутом 75°

Змінюючи кут осадження, можна змінювати як структуру, так і склад додатково нанесеного тонкого шару.

Існують різноманітні методи осадження тонких плівок (рис. 1.2). Інтенсивні дослідження проводяться в галузі модифікації поверхневих шарів пучками заряджених частинок або потоками плазми.

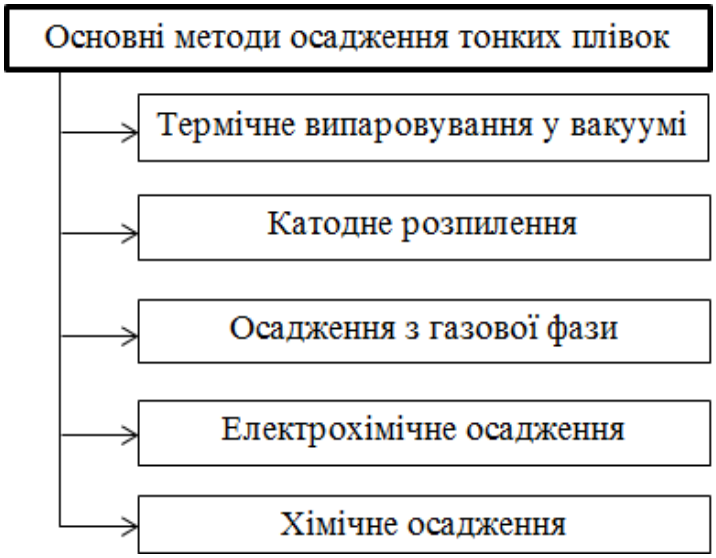


Рис. 1.2. Основні методи отримання плівок

Методи вакуумної технології займають особливе місце серед відомих способів поверхневої обробки. Їх широке впровадження в різні технологічні процеси обумовлене високою продуктивністю, екологічною чистотою, можливістю отримання покриттів практично з будь- якого матеріалу. Застосування вакуумних іонно-плазмових методів дозволяє: формувати поверхневі шари з тугоплавких нітридів, карбідів та інших металоподібних сполук; поєднувати технологічні і експлуатаційні властивості металевої основи з високою корозійною стійкістю і зносостійкістю поверхні; отримувати багатокомпонентні, наноструктуровані покриття та матеріали на основі інтерметалевих з’єднань, 3-D структур і наносистем та ін.

Метод вакуумного розпилення матеріалів на сьогоднішній час широко використовують: це й термічне випаровування у вакуумі і йонне розпилення. Такі операції можна здійснювати на вакуумних універсальних постах.

Для йонного розпилення застосовуються магнетронні системи, які містять в прикатодній області електричне і кільцеподібне магнітні поля, спрямовані перпендикулярно одне до одного. Магнетронне розпилення - технологія нанесення тонких плівок товщиною від десятків нанометрів до декількох мікрон на підкладку за допомогою катодного розпилення мішені в плазмі магнетронного розряду – діодного розряду в схрещених полях (область простору в розрядному об'ємі, де електричне та магнітне поля ортогональні один одному B ⊥ E). При магнетронному розпиленні іони, які бомбардують поверхню катода (мішені), розпилюють її, а речовина мішені, осідаючи на підкладку, може формувати щільну плівку. Основними елементами магнетронних розпилювальних систем (МРС) є катод-мішень, анод і магнітна система. МРС, в залежності від форми катода, поділяються на системи з циліндричним катодом, з плоским катодом (рис.1.3) або з кільцевим катодом S-типу.

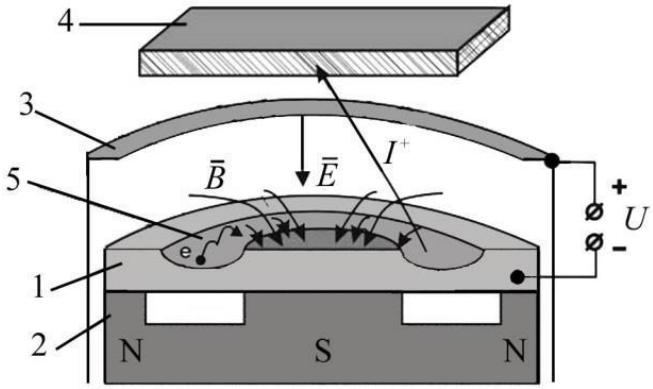


Рис. 1.3. Схема магнетронної розпилювальної системи з плоским катодом: 1 – катод-мішень; 2 – магнітна система; 3 – анод; 4 – підкладка; 5 – зона розпилення.

Якщо між анодом (3) і катодом (1) діє постійна напруга, то в області

між ними виникає неоднорідне електричне поле , яке збуджує тліючий розряд у середовищі робочого газу (зазвичай, чистого Ar). Іони, що утворилися, бомбардують катод, що призводить до двох основних ефектів: емісії електронів і розпилення поверхні катода-мішені. Емітовані з катоду під дією іонного бомбардування електрони прискорюються електричним полем і починають рухатися у напрямі до аноду. При наявності магнітного поля на заряджену частку з зарядом q, що рухається зі швидкістю , діє сила Лоренца, яка змінює напрям руху електронів. При цьому електрони починають рухатися по складним циклоїдальним траєкторіям біля поверхні катода-мішені. Таким чином електрони потрапляють у пастку, що створюється дією двох складових сили Лоренца, обумовлених з одного боку електричним, а з іншого – магнітним полем. В наслідок цього електрони при своєму русі здійснюють по декілька іонізуючих зіткнень з атомами робочого газу до тих пір, доки не анігілюють з іонами плазми. Такий циклоїдальний рух електронів суттєво збільшує ефективність процесу іонізації, причому максимальна густина плазми стає сконцентрованою біля поверхні катода-мішені в області між полюсами магнітного поля. Це обумовлює збільшення інтенсивності іонного бомбардування

поверхні мішені і значне зростання швидкості розпилення, та, як наслідок, швидкості осаджування атомів на поверхні підкладки (4). У результаті цього на поверхні катода утворюється канавка (5) (ерозія поверхні).

Суть термічного вакуумного розпилення полягає в тому, що на поверхню зразка наноситься тонкий шар речовини. Установка за допомогою механічного та дифузійного насосів створює робочий вакуум (до $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ Па) під скляним ковпаком (рис. 1.4). За цих умов середня довжина вільного пробігу молекул випаровуваної речовини перевищує діаметр ковпака, тому атоми матеріалу рухаються в усіх напрямках від джерела прямолінійно і конденсуються на всіх поверхнях, які мають більш низьку температуру включаючи підшарок.

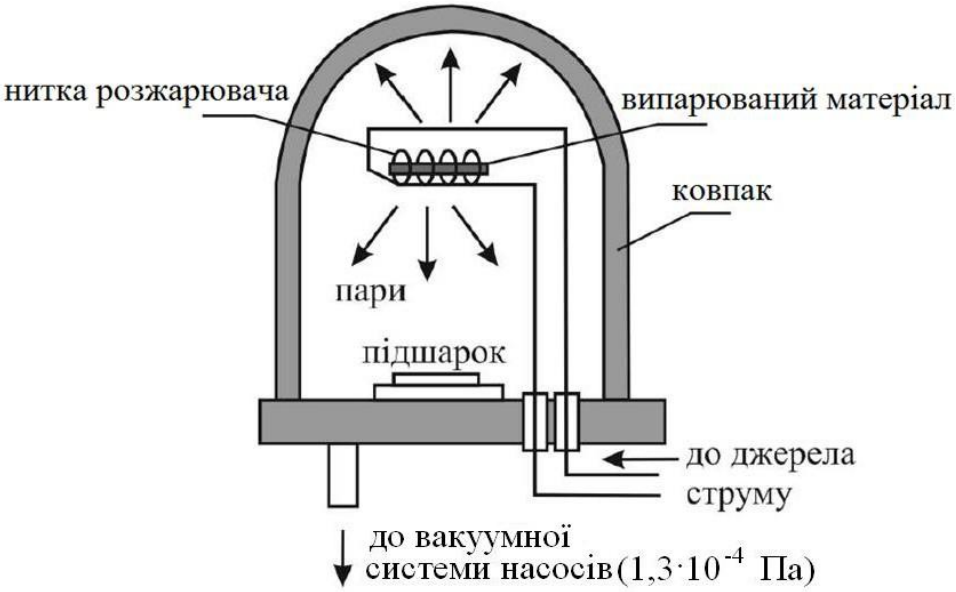


Рис. 1.4. Схема вакуумного напилення

Для розпилення металів використовуються спеціальні вольфрамові або танталові випарники в формі човників, дротяних кошиків, спіральок, розташовані на відстані від випарника. Товщина випаруваної речовини на зразку залежить від відстані, часу випаровування і від орієнтації поверхні зразка щодо випарника. Властивості тонких плівок суттєво залежать від параметрів процесу осадження: швидкості осадження, залишкового вакууму, температури і т. п.

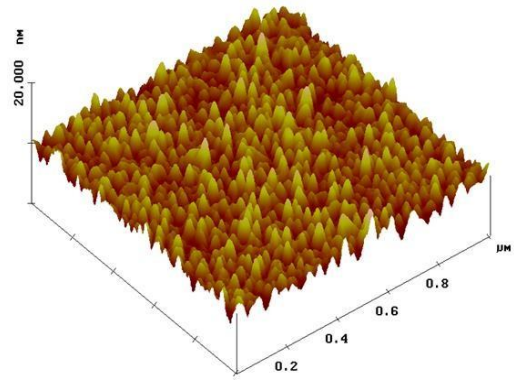


Рис. 1.5. Зображення мікрорельєфу поверхні золотої плівки, отримане за допомогою атомно-силової мікроскопії

Плівки золота для чутливих елементів приладів на основі явища ППР (рис.

1.5), товщиною 40-50 нм, також наносять методом термічного випаровування у вакуумі без підігріву підкладки і швидкості плівки, отримане за допомогою атомно-силової мікроскопії напилення 40-50 Å / с. Під час напилення товщина плівок може контролюватись кварцовим вимірником, який необхідно градуювати. Кращим методом для визначення топології та товщини поверхні, напиленої термічним випаровуванням у вакуумі, є метод атомно-силової мікроскопії (рис. 1.5), що має високу точність визначення мікронерівностей поверхні (до одиниць ангстремів) та відноситься до неруйнуючих методів дослідження. Термічне випаровування у вакуумі можна здійснювати на вакуумному універсальному пості (ВУП).

Вакуумний універсальний пост ВУП-5

Вакуумний універсальний пост ВУП-5 (рис. 1.6) призначений для термічного отримання плівок з різних матеріалів з високою продуктивністю у вакуумному середовищі, а також для підготовки об'єктів, досліджуваних за допомогою електронного мікроскопа або інших аналітичних приладів. Прилад може бути застосований для досліджень в області фізики, геології, мінералогії, біології, медицини, металургії та інших галузях науки і техніки. Основна перевага приладу – його універсальність. На одній і тій самій установці можна отримати однорідні шари металів і сплавів, здійснити нахилення на поверхню будь-яких зразків, здійснити їх очищення і т. д.



Рис. 1.6. ВУП-5

Установка складається з чотирьох блоків (рис.1.7):

1) Основний блок, виконаний в металевому корпусі, який встановлений на підлозі, на верхній панелі блоку встановлений вакуумний ковпак; усередині блоку розташовується дифузійний насос і змонтовані знімні блоки з джерелом живлення і електронними платами. Для охолодження дифузійного насоса в установці передбачений водяний контур охолодження.

2) Блок управління з пультом дистанційного керування. Містить кнопки включення живлення і запуску форвакуумного механічного насоса.

3) Вакуумметр іонізаційно-термопарний (ВІТ-2): прилад встановлений на верхній панелі блоку управління і служить для контролю ступеня вакууму в системі в процесі роботи установки.

4) Форвакуумний насос виконаний в закритому металевому корпусі. Прилад встановлений за основним блоком на підлозі. Забезпечує попереднє відкачування повітря з вакуумної системи.

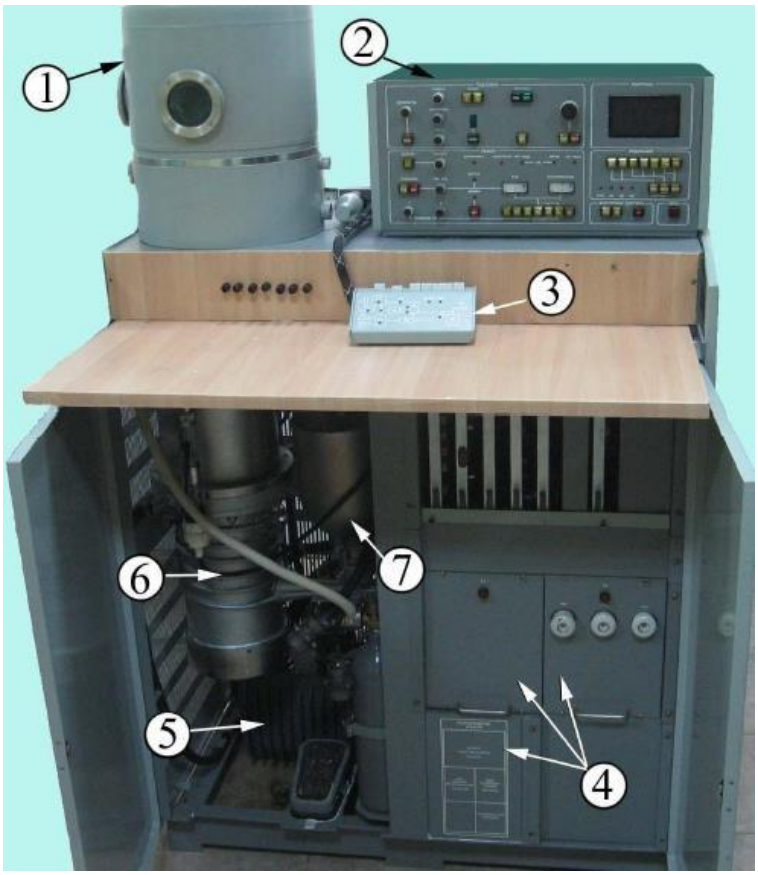


Рис. 1.7. Зовнішній вигляд вакуумного універсального поста ВУП-5: 1 – робочий об’єм; 2 – блок керування та контролю; 3 – пульт дистанційного керування; 4 – блоки живлення; 5 – форвакуумний насос; 6 – високовакуумний насос; 7 – форвакуумний балон

Комплектація ВУП-5:

- пристрій для термічного розпилення з резистивних випарників;
- пристрій для розпилення і покриття об'єктів вуглецевої плівкою (випаровування вугілля);
- електронний випарник для випаровування сипучих речовин з тиглів і для випаровування великої кількості речовини;
- пристрій для іонної обробки об'єктів і двосторонньої полірування (пристрій для іонного травлення);
- пристрій для нагріву столика об'єктів;
- пристрій для повороту і нахилу об'єктів;
- пристрій для приварки катодів електронних гармат електронних мікроскопів;
- автоматична система напуску газу;
- дозуючий пристрій;

- система захисних екранів;
- датчик індикатора товщини;
- система інтерференційного лазерного контролю товщини напилених плівок;
- пристрій для осадження плівок;
- дозатор випаруваних порошкоподібних проб, для реалізації методу дискретного випаровування з метою отримання плівок складних речовин, відповідних за хімічним складом вихідним масивним матеріалами (сплавів, сполук), а також для довантаження випарника без розвакуумування камери.

У цих приладах передбачені столик для нахилу і обертання зразків і пристрій для вимірювання товщини напилення плівок. В умовах високого вакууму випаровування речовин ведеться шляхом їх нагрівання при пропущенні струму через вугільні електроди, коли в місці їхнього зіткнення внаслідок високого опору виникає локальний перегрів (вольтова дуга).

Технічні характеристики ВУП-5:

- залишковий тиск у високовакуумному об’ємі (об’єм, що відкачується дифузійним насосом) при охолодженні азотом $1{,}3\cdot10^{-4}$ Па;
- залишковий тиск у високовакуумному об’ємі при охолодженні пастки водою $1{,}3\cdot10^{-3}$ Па;
- струм розжарення випарників - (200 + 5) А;
- температура столика для нагріву об'єктів - 1100°С;
- температура столика для охолодження об'єктів – мінус 160°С .
- напруга на виході високовольтного випрямляча - (7 ± 0,3) кВ;
- максимальний струм тліючого розряду 47 ± мА;
- температура в районі підкладки пристрою для осадження плівок (час нагрівання не більше 30 хв.) - 300°С .;
- час зміни підкладок не більше 7 с., швидкість обертання підкладок не менше 0,5 $с^{-1}$.
- Прилад повинен експлуатуватись при температурі навколишнього середовища від 15 до 25°С і відносній вологості не більше 80%. Живлення приладу забезпечується від трьохфазної мережі змінного струму напругою 220/380 В, частотою 50 Гц.

Завдання

1. Ознайомитись із принципом роботи та порядокм виконання технологічних операцій по виготовленню тонких плівок на установці ВУП-5
2. Провести технологічні операції по виготовленню тонких плівок за допомогою вакуумного універсального поста.
3. Розрахувати товщину металевої плівки, розрахунок виконати за формулою:

$$T = \frac{M \sin\theta}{4\pi\rho R^2},$$

де M – загальна маса випаровуваного матеріалу;

ρ – питома вага;

θ – кут нахилу напиленої поверхні до випарника; R – відстань від випарника до напиленої поверхні; T – товщина напиленого шару.

Питома вага для Au – $19{,}3 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Контрольні запитання

1. Будова та принцип роботи установки ВУП-5.
2. Яке призначення вакууму в установках для осадження покриттів термічним випаровуванням?
3. Наведіть приклади використання тонких металевих плівок.
4. Охарактеризуйте метод термічного випаровування у вакуумі з метою отримання наношарів.
5. Назвіть методи отримання тонких плівок.

3 **Методи моделювання наноструктур**

Теоретичні відомості

До просторово-періодичних структур з квантовими розмірами (період сумірний з довжиною хвилі електрона) відносять природні структури — кристалічні ґрати твердих тіл, а також штучні — надґрати (НҐ). Кристалічні ґрати утворені періодично розташованими атомами або молекулами, а НҐ — шарами напівпровідників з відмінною шириною забороненої зони.

Електричні, оптичні, теплові та інші властивості кристалічних твердих тіл та НҐ визначаються енергетичним спектром електронів цих періодичних структур. Спектр електронів складається із зон дозволених та заборонених енергій. Розрахунок спектра електронів базується на розгляді руху електрона в одновимірному потенціальному полі, утвореному періодично розташованими прямокутними потенціальними бар'єрами та ямами (рис. 1, модель Кроніга-Пенні). Потенціальні ями відповідають атомам, розташованим у вузлах кристалічних ґрат. При переході від атома до атома електрон долає потенціальний бар'єр. Для НҐ бар'єри і ями відповідають шарам напівпровідників з широкою та вузькою забороненими зонами. Якщо енергія електрона $E>V$, то електронна хвиля проходить над бар'єром, частково відбивається від нього. При $E<V$ електрони частково відбиваються і з відмінною від нуля імовірністю тунелюють крізь бар'єр.

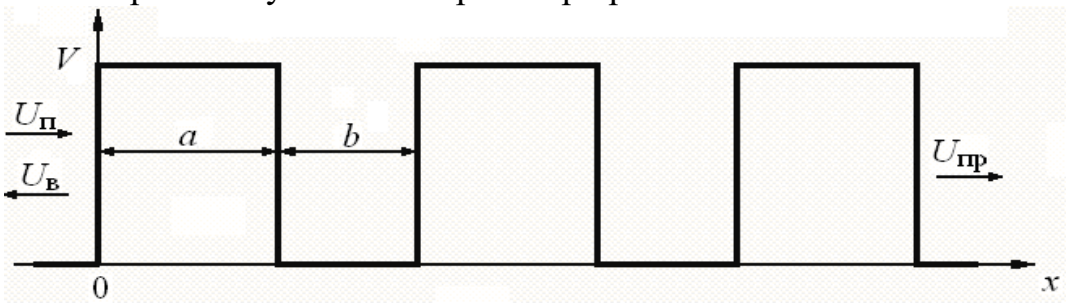


Рисунок 1 — Потенціальна модель кристала та НҐ. V, $U_п$, $U_в$ та $U_{пр}$ — висота бар'єра, амплітуди падаючої, відбитої хвилі та хвилі, що пройшла; a і b — товщина бар'єра і ширина ями

Зручна, наочна модель НҐ — неоднорідна лінія передачі, утворена відрізками з хвильовими імпедансами 1 і Z_a, що, відповідають нормованим хвильовим імпедансам ями та бар'єра (рис. 2)

Значення Z_a визначається формулою $Z_a=\sqrt{(E-V)m_b/Em_a}$ де $m_{b,a}$ — ефективна маса електрона в області ями та бар'єра. При $E<V$ опір Z_a уявний, що відповідає тунелюванню електронів. Розрахунок характеристик зводиться до знаходження вхідного опору лінії $Z_{вх}$ послідовним розрахунком вхідних опорів її відрізків, починаючи з крайнього правого. Знайдений вхідний опір відрізка використовується як опір навантаження наступного відрізка. Коефіцієнти відбиття і проходження НҐ визначаються формулами:

$$R = \frac{1 - Z_{вх}}{1 + Z_{вх}}, \quad T = \sqrt{1 - |R|^2}.$$

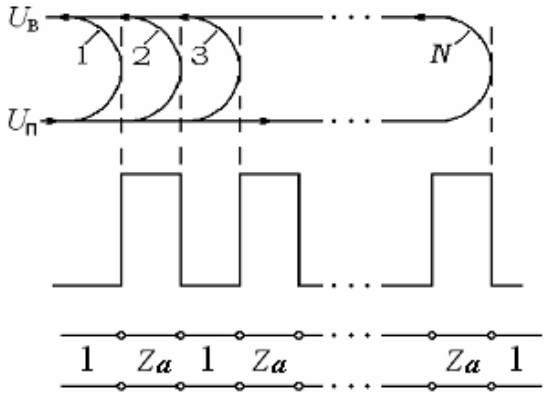


Рисунок 2 — Модель неоднорідної лінії передачі. 1,…, N — хвилі, відбиті від меж бар'єрів.

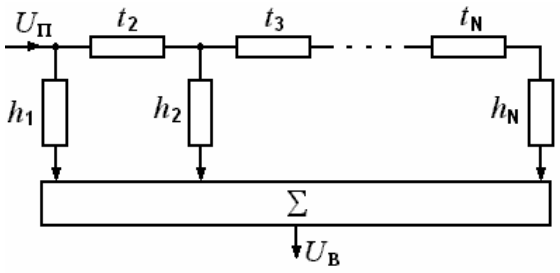


Рисунок 3 — Модель ТФ. $t_2,\ldots,t_N$ — елементи затримки, $h_1,\ldots h_N$ — вагові коефіцієнти, N — кількість відводів.

Якщо модуль коефіцієнта відбиття малий: $|R(E)|<1$ (інтерференція слабких або деструктивна інтерференція сильних відбитих хвиль), достатньо враховувати тільки однократно відбиті хвилі від бар'єрів (при $E<V$) або від їх меж (при $E>V$). У цьому випадку НҐ можна моделювати трансверсальним фільтром (ТФ) (рис. 3). Падаюча хвиля розглядається як вхідний сигнал ТФ, який поширюється вздовж лінії затримки з відводами без втрат. Відводи забезпечують вибірку сигналу. При $E>V$ вагові коефіцієнти h_n прямо пропорційні модулю амплітудного коефіцієнта відбиття від n-ї межі бар'єрів. Вихідний сигнал ТФ (сумарна відбита хвиля НҐ) формується суперпозицією хвиль, відбитих від кожної межі (рис. 2).

Для періодичного ТФ з $h_1=\ldots=h_N$ та $T=1/f_0$, $H(f)=\sin cx$, де $x=N\pi(f-f_0)/f_0$; f_0 — середня частота. На рис. 4 наведено залежність модуля коефіцієнта відбиття від енергії електрона для НҐ, що відповідає такому ТФ. Кількість бар'єрів — 5. Бар'єри і ями утворено шарами $Al_xGa_{1-x}As$ та GaAs завтовшки відповідно 6 та 10 товщин моношару GaAs у напрямку (що дорівнює 2,82665 А). Ефективна маса електрона в області ями та бар'єра дорівнює відповідно $0{,}0665m_0$ та $(0{,}0665+0{,}0835x)m_0$, де m_0 — маса електрона. Висота бар'єра $V = 0{,}1$еВ. V та x зв'язані співвідношенням $V = 0{,}7731x$.

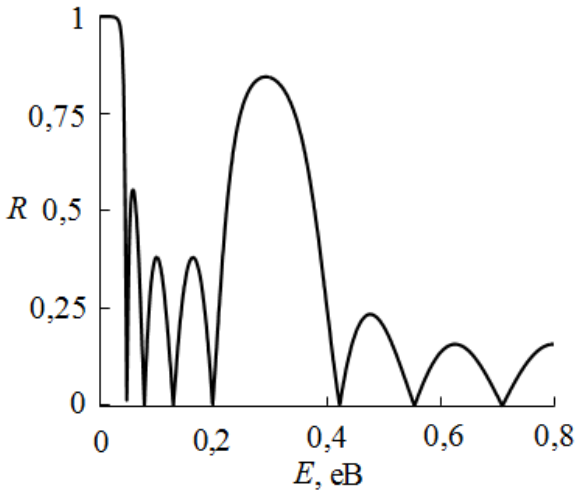


Рисунок 4 — Залежність модуля коефіцієнта відбиття

Кристалоподібні структури (КС) - напівпровідникові надґрати, фотонні і фононні кристали - базові структури наноелектроніки. Принципові особливості кристалів і КС проявляються в одновимірних структурах. Згідно моделі Кроніга - Пенні залежність потенціалу в кристалі відповідає рис. 5,*а*. Таку залежність має і квантово-механічний імпеданс в кристалі або хвильової імпеданс в КС будь-якої природи. Зонна діаграма кристала формується в результаті взаємодії полів падаючої і відбитої бар'єрами хвиль. Імпедансний бар'єр моделює неоднорідність КС. В кристалах і в традиційних КС неоднорідності ідентичні з коефіцієнтами відбиття однієї фази. Такі КС однофазні КСs (single-phase).

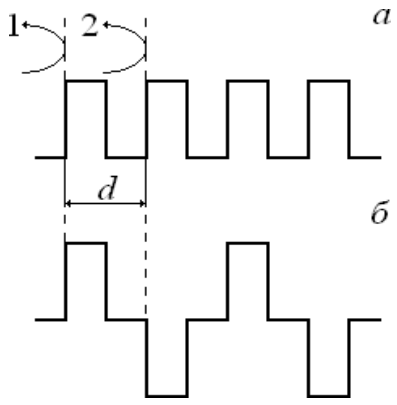


Рисунок 5 — Потенціальна або імпедансна залежність для кристала і КС: кристал і однофазна КС (*а*), *d* — період, 1 і 2 — відбиті хвилі; двофазна КС (*б*)

Штучна КС може мати і більш складну імпедансну залежність, що відкриває додаткові можливості у формуванні її зонної діаграми. Для практичних застосувань значний інтерес становить зниження частот заборонених зон при заданих габаритах КС. Таке зниження забезпечує КС, утворена високо- і низькоімпедансними неоднорідностями, що чергуються (рис. 5,*б*). Позначимо ці неоднорідності і індекси їх параметрів буквами *h* і *l* (high- і low-impedance). Хвильові імпеданси *h*- і *l*-неоднорідностей, нормовані до імпедансу однорідного середовища, відповідають умові $Z_h>1>Z_l$.

Оскільки коефіцієнт відбиття від межі між однорідним середовищем і неоднорідністю з імпедансом *Z* дорівнює $r_Z=(1–Z)/(1+Z)$, відповідні межі *h*- і *l*-

неоднорідностей як джерела відбитих хвиль протифазні.

При виконанні амплітудних і фазових умов:

$$Z_h = Z_l^{-1} \text{ і } \varphi_h = \varphi_l, \quad (1)$$

де $\varphi = ka$ — фазова довжина неоднорідності, k і a — хвильове число і довжина неоднорідності, для коефіцієнтів відбіття від неоднорідностей маємо $r_h = -r_l$.

У цьому випадку протифазні хвилі, відбиті h- і l-неоднорідностями, рівні по амплітуді. Оскільки бреггівський набіг фаз у заборонених зонах з парними номерами кратний 2π радіан, такі хвилі взаємно компенсуються і ці зони в спектрі КС відсутні.

Завдання

1. Вивчити програмні особливості **Mathcad**, необхідні для виконання роботи.
2. Виконати тестовий розрахунок (рис. 4).
3. Виконати моделювання НҐ, утвореної шарами $Al_xGa_{1-x}As$ і GaAs і побудувати графіки залежностей:

номінальні значення кількості бар'єрів N, висоти бар'єра V, товщини бар'єра a, ширини ями b;

діапазон зміни енергії для дослідження залежностей $R(E)$ і $T(E)$;

діапазон зміни N для дослідження залежностей $R(E)$ і $T(E)$ від N;

діапазон зміни a і b для дослідження особливостей залежностей $R(E)$ і $T(E)$.

4. Розробити програму для моделювання однофазної і двофазної КС. Виконати тестовий розрахунок при кількості шарів $N=11$ і $Z=3$.
5. Зробити висновки з аналізом результатів на їх відповідність очікуваним та взаємну відповідність.

4 Дослідження оптичних характеристик при лазерному опромінюванні

Теоретичні відомості

Лазерне джерело випромінювання характеризується високою спрямованістю пучка в порівнянні з некогерентними джерелами. Спрямованість визначається розходженням пучка в просторі та характеризується плоским або тілесним кутом, у межах якого поширюється більша частина випромінювання.

Всі не лазерні джерела мають розходження в межах великого тілесного кута, досягаючи навіть повного 4λ. Хоча на відстані від не лазерного джерела шляхом діафрагмування хвилі можна створити пучок з досить малим розходженням, обумовленим дифракцією, однак при цьому присутні значні втрати випромінювання.

У лазері резонатор «виділяє» в активному середовищі деяку спрямованість, для якої виконується умова самозбудження, - саме в цьому напрямку процеси вимушеного випускання можуть компенсувати втрати. Таким чином, в цих умовах формується випромінювання, яке чітко спрямоване уздовж осі резонатора. Слід зазначити, що навіть при повній просторової когерентності лазерного випромінювання його конусність не дорівнює нулю та визначається дифракцією на випромінюючої апертурі лазера. Такі пучки є дифракційно обмеженими.

На практиці конусність лазерного випромінювання пов'язана не тільки з дифракцією на вихідній апертурі лазера, але й з геометрією резонатора, а також з наявністю оптичних неоднорідностей в речовині. Тому поряд з дифракційною θd розрізняють і геометричну θg конусність лазерного випромінювання.

При вимірюванні розходження лазерного випромінювання необхідно розрізняти структуру поля в ближній та дальній зонах. Дифракція на вихідний апертурі та розсіяння на неоднорідностях активного середовища призводять до утворення компоненти розходження випромінювання, яка зменшується практично до нуля на відстані L0, та визначається наступною залежністю:

$$L0=D20/\lambda \quad (1.1)$$

де D0 – діаметр вихідної діафрагми лазера, λ - довжина хвилі.

При відстані L > L0 випромінювання характеризується майже плоским хвильовим фронтом (наближення Фраунгофера). При L < L0 для опису дифракції використовують наближення Френеля. Розходження лазерно пучка необхідно визначати в дальній зоні (при L > L0), оскільки біля випромінюючої апертури лазера кутовий розподіл має непостійну конфігурацію.

На практиці використовують два визначення розходження. У першому випадку мають на увазі плоский або тілесний кут Qp або θs, що визначає ширину діаграми спрямованості в дальній зоні за заданим рівнем кутового розподілу енергії або потужності, віднесеного до його максимального значення. Найчастіше значення рівня приймається 0,5 та 1/ e , де e - основа натуральних логарифмів. Наведене вище визначення однозначно характеризує випромінювання тільки одномодового лазера, що має діаграму спрямованості без бокових пелюсток, тобто близьку до гаусівського розподілу, величина розподілу інтенсивності за перерізом пучка якого визначається виразом:

$I(r)I0\exp(r^2/r^2_п)$, (1.2)

де I0 - інтенсивність випромінювання на осі пучка, r - відстань від осі пучка, rп - радіус пучка.

При багатомодовому режимі діаграма випромінювання має численні бічні пелюстки, що містять значну частину енергії. Тому величина розходження по заданому рівню енергії або потужності, тобто по суті центрального максимуму розподілу, не дуже показова, якщо невідомо кутовий розподіл енергії або потужності в даному куті. У таких випадках більш зручною характеристикою є енергетична розбіжність лазерного випромінювання (θW.S або θW.P), тобто плоский або тілесний кут, усередині якого поширюється задана частка енергії або потужності випромінювання.

Лазерне випромінювання також характеризують значенням діаметра пучка, тобто діаметра поперечного перерізу пучка лазерного випромінювання, усередині якого проходить задана частка енергії або потужності.

Методи вимірювання розходження лазерного випромінювання

Для практичного визначення розходження використовують три основні методи: метод перерізів, метод реєстрації діаграми спрямованості і метод фокальної плями.

Найбільш простим є метод двох перетинів (рис.1.1). Відповідно до цього методу розходження (або енергетичне розходження) пучка випромінювання визначають шляхом вимірювання діаметрів пучка d1 та d2 в двох поперечних перетинах дальньої зони, віддалених один від одного на відстані L, та обчислення шуканого кута за формулою:

$\theta=2\text{arctg}((d2-d1)/2L)=(d2-d1)/L$, (1.3)

де d1 та d2 - діаметри пучка в двох поперечних перетинах, L – відстань між ними.

Вимірювання діаметрів d1 та d2 проводяться одночасно або послідовно по одному і тому ж критерію - заданого рівня інтенсивності або заданої частці потужності (енергії). Перевагою методу є його простота, однак для забезпечення необхідної точності вимірювань потрібна досить велика (до декількох метрів) база між перетинами, що ускладнює використання цього методу в лабораторних умовах.

Для зменшення лінійних габаритів установки застосовують різні дзеркальні або призмові системи, які називають оптичними лініями затримки.

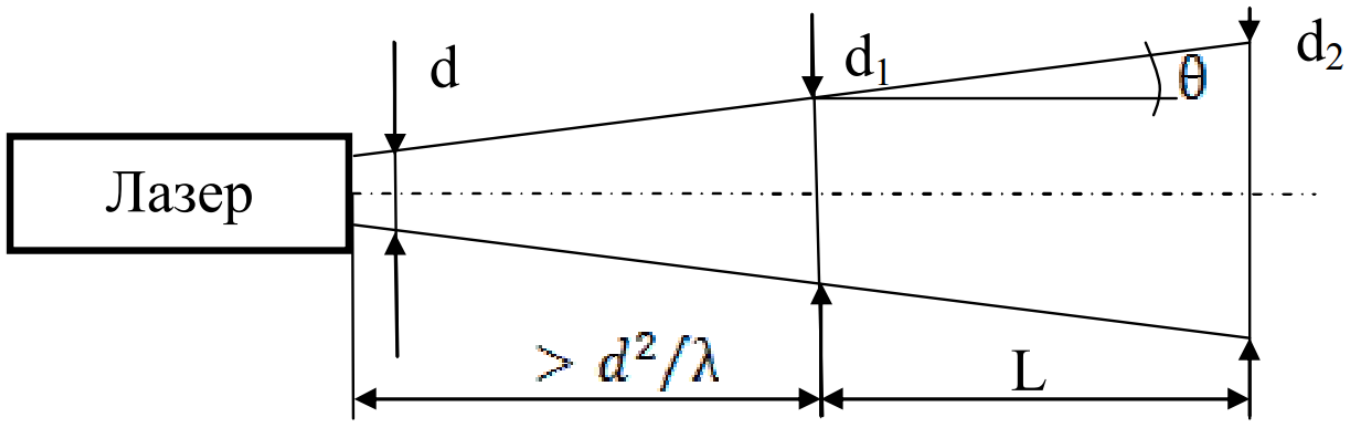


Рис. 1.1. Принципова схема методу двох перетинів

Метод реєстрації діаграми спрямованості дозволяє отримати найбільш повну інформацію про просторовий розподіл лазерного випромінювання (рис.1.2). Для вимірювання діаграми спрямованості можна використовувати фотоелемент або фотоелектронний перетворювач, які розташовані в дальній зоні, фотокатод Ф яких закритий діафрагмою з отвором малого діаметру. Переміщуючи фотоелемент по дузі кола радіусом R , реєструють кутовий розподіл інтенсивності випромінювання. Знаючи діаграму спрямованості, можна розрахувати енергетичне та кутове розходження випромінювання. Вимірювання діаграми спрямованості є складною і трудомісткою процедурою, тому рідко застосовується в метрологічній практиці.

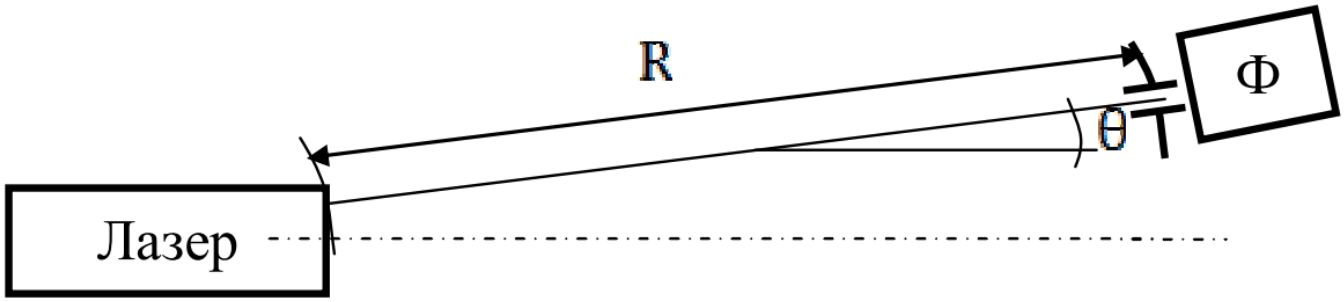


Рис. 1.2. Принципова схема методу реєстрації діаграми спрямованості

Метод фокальної плями є найбільш поширеним методом вимірювання розходження. Для проведення вимірювань в дальній зоні, тобто в області дифракції Фраунгофера, потрібні, як правило, значні відстані від джерела випромінювання. Умову дифракції Фраунгофера можна отримати в фокальній площині ідеальної без аберраційної позитивної лінзи Л (рис.1.3.).

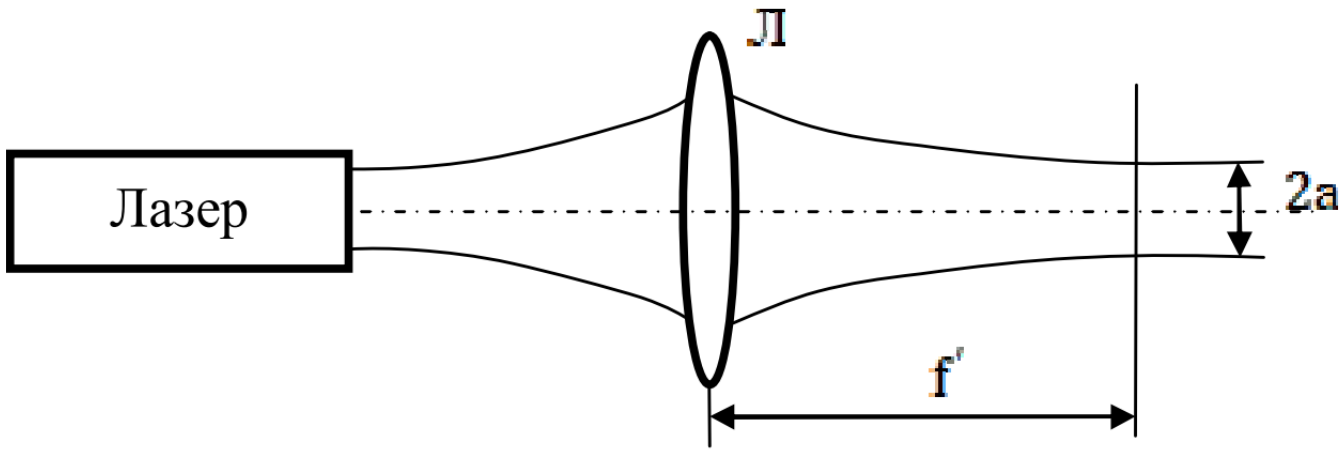


Рис. 1.3. Принципова схема методу фокальної плями

Для переходу до кутового розподілу необхідно лінійний розподіл у фокальній площині розділити на фокусну відстань лінзи, тобто кут розходження випромінювання лазера визначають за формулою:

$$\theta = a/f \text{ , (1.4)}$$

де a - радіус плями на фокальній площині.

У даному методі для виключення впливу дифракції на краях лінзи застосовують довгофокусні лінзи з великою апертурою, що перевищує приблизно в 2 рази діаметр падаючого лазерного пучка, а фокусна відстань лінзи має задовольняти умові:

$$f > 2{,}44\lambda/\theta^{e}w.p \text{ , (1.5)}$$

де λ - довжина хвилі лазерного випромінювання; θW.P – енергетичне розходження лазерного випромінювання, встановлена в стандартах або ТУ на лазери визначених типів. Похибка вимірювання даного методу, в основному, пов’язана з неточністю визначення розміру плями та не перевищує 27%.

Методи вимірювання діаметру перерізу пучка випромінювання

Як у методі фокальної плями, так і в методі перерізів суть вимірювань розходження зводиться до визначення діаметру перерізу пучка з того чи іншого критерію. Для визначення діаметра пучка випромінювання застосовують два основні методи (ДСТУ ISO 12005:2005): метод каліброваних діафрагм (рис.1.4) і метод розподілу щільності енергії (потужності) лазерного випромінювання.

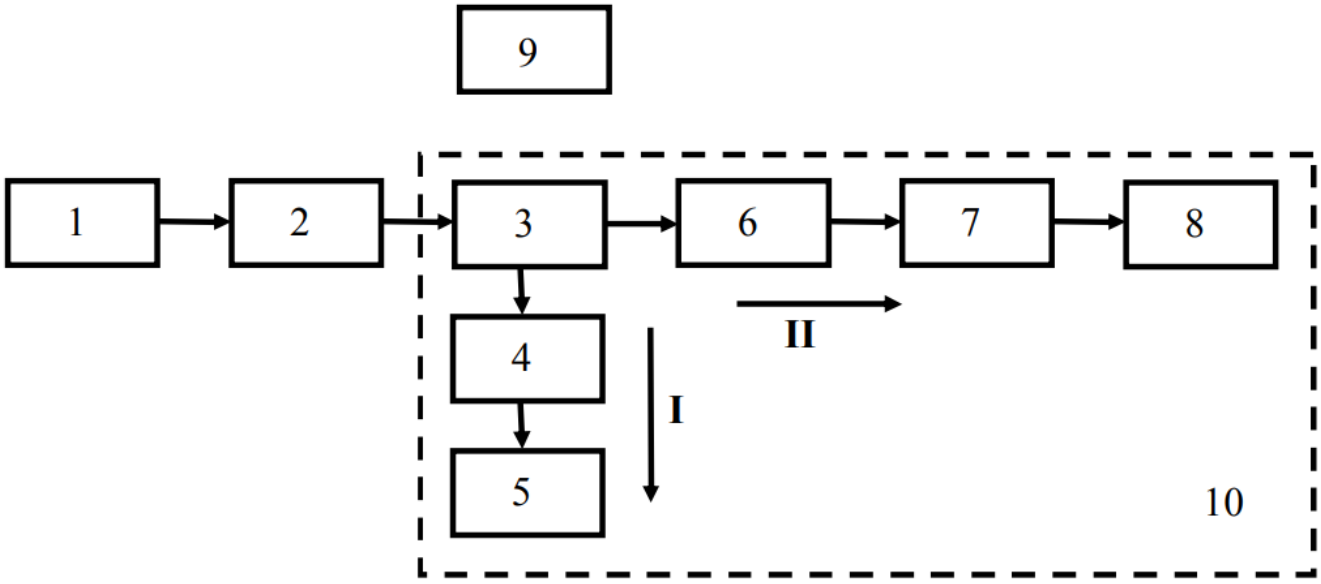


Рис. 1.4. Структурна схема методу каліброваних діафрагм 1 – лазер, 2 – послаблювач, 3 – розгалужувач, 4, 7 – оптична система, 5, 8 – вимірювач потужності, 6 – калібрувальна діафрагма, 9 – юстувальний прилад, 10 – пристрій для вимірювання діаметру пучка випромінювання

У першому випадку використовується діафрагма 6, в якої плавно змінюється діаметр, або змінні калібровані діафрагми. Їх встановлюють безпосередньо в пучку або в фокальній площині лінзи. Змінюючи діаметр діафрагм, регулюють діаметр пучка, в межах якого укладена задана частка енергії (потужності) випромінювання від повної енергії. У схемі такого вимірювача є дві гілки, в одній з яких і вимірюється повна енергія (потужність) пучка I. Далі випромінювання з обох гілок порівнюються.

Розглянутий спосіб є недостатньо точним, а процес вимірювання малооперативним, крім того, він не дає інформації про розподіл поля біля максимуму випромінювання та не дозволяє виявити неоднорідності в розподілі випромінювання.

Для усунення цього недоліку застосовують метод реєстрації розподілу щільності енергії (потужності) лазерного випромінювання в поперечному перерізі пучка. Для цього у видимій області і ближньому інфрачервоному діапазоні спектру використовують фотографування плями випромінювання на фотоплівку або фотопластинку з подальшою обробкою мікрофотометруванням та чисельним інтегруванням.

У разі потужних імпульсних і безперервних лазерів застосовують нейтральні світлофільтри для ослаблення випромінювання. При грубих оцінках досить потужних лазерів розмір плями визначають за розміром отвору, який пропалює пучок лазера в непрозорій мішені (чорна папір, тонкі металеві пластини тощо).

Більш зручним способом вимірювання розподілу інтенсивності в сфокусованій плямі є автокалібрувальний спосіб (рис.1.5), який базується на розподілі лазерного пучка на ряд просторово подібних і досить віддалених один від одного пучків різної інтенсивності за допомогою пластини П встановленої під кутом до пучка лазера. Товста пластина П послаблює і багаторазово розщеплює лазерний пучок.

Якщо коефіцієнт відбиття обох поверхонь дорівнює р, то інтенсивність ln,

пучка з номером n, що виходить з похилої пластини П, можна записати у вигляді (1.6):

$$In=I0(1-p)^{2p2(n-1)}, \quad (1.6)$$

де I0 - інтенсивність пучка, що падає на пластину, p – коефіцієнт відбиття обох поверхонь, n – номер пучка.

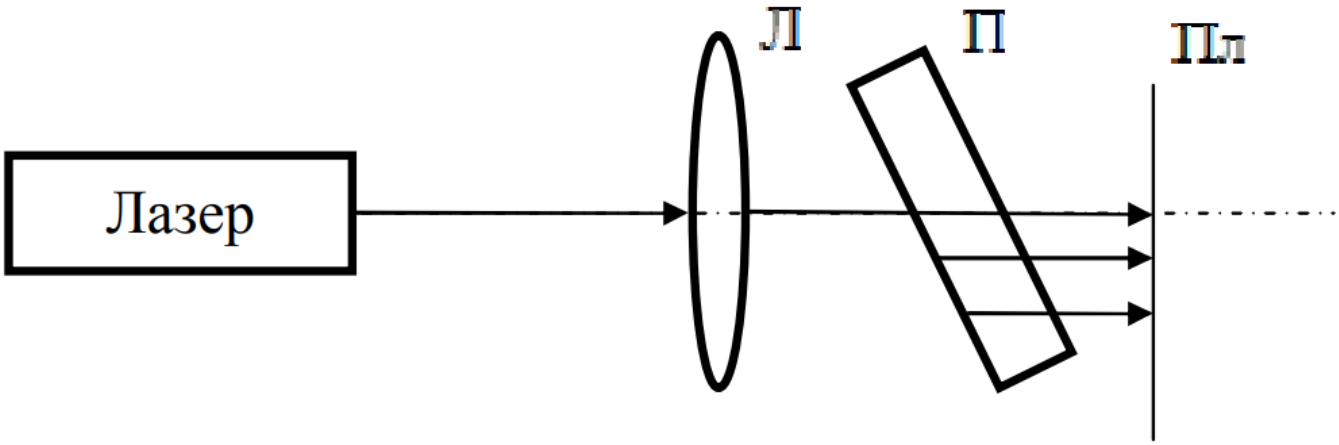


Рис. 1.5. Схема автокалібрувального способу вимірювання розходження випромінювання

Таким чином, на плівці Пл виходить кілька зображень плями з різною експозицією, з яких після обробки денситограм можна досить точно визначити діаметр плями на заданому рівні інтенсивності.

Для більш оперативного отримання даних, а також для перетворення випромінювання в видиму область спектру використовують відикони та дисектори, які дозволяють спостерігати або фотографувати об'єкти в ближніх інфрачервоних (до 1.5 мкм), видимих, ультрафіолетових або рентгенівських променях.

З появою багатоканальних, мозаїчних приймачів випромінювання завдання визначення відносного розподілу щільності енергії або потужності значно спростилося, а швидкість отримання результатів вимірювань істотно підвищилася. Паралельний принцип вимірювання багатоканальних локальних густин потужності і енергії дозволяє проводити аналіз імпульсного і нестабільного в часі і просторі в безперервного випромінювання з видачею результатів безпосередньо на екран дисплея.

Більшість перетворювачів мають до 100 каналів вимірювання з розміром одного елемента від 5x5 до 10x10 мм^2. Матричні приймачі базуються на різних принципах роботи (термоелектричні калориметри, піроелектричні і напівпровідникові прилади) та можуть перекривати видиму й інфрачервону області спектру λ= 0,4...25мкм.

Сучасні фотодіодні, фоторезистивні та фототранзисторні матриці складаються з декількох десятків тисяч елементів з кроком декількох десятків мікрометрів і загальною площею до 15x15 мм^2. Час опитування таких матриць складає долі мілісекунд.

Автоматизована математична обробка інформації з мозаїчних приймачів

забезпечує:

- обчислення енергетичного розходження (не тільки щодо точки з максимальною інтенсивністю, але і відносно центра тяжіння плями або геометричного центру);
- виділення ізорівнів;
- обробку фокальних плям неправильної форми;
- корекцію спотворень вимірювального тракту, включаючи можливість індивідуальної корекції нерівномірності чутливості окремого каналу;
- визначення осі діаграми спрямованості, її дрейф протягом часу

тощо.

Завдання

Скласти схему для практичного визначення розходження пучка лазерного випромінювання за методом перерізів відповідно до рис.1.6.

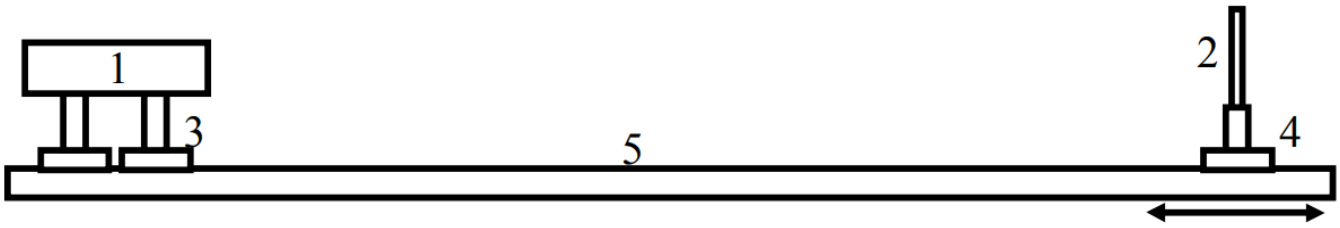


Рис. 1.6. Структурна схема установки для вимірювання розходження випромінювання методом двох перерізів 1 – лазер, 2 – екран, 3 – рейтер для кріплення лазера, 4 – рейтер для кріплення екрану, 5 – оптична лава

Закріпити лазер 1 в двох рейтерах 3 та встановити на оптичну лаву 5.

Закріпити екран 2 в рейтері 4 та встановити на оптичну лаву 5.

Увімкнути блок живлення лазера в мережу.

Встановити екран біля лазера та добитися юстувальними гвинтами рейтерів 3 та 4 того, щоб пляма від лазерного випромінювання попадала чітко в центр перехрестя на екрані.

Екран встановити біля лазера та визначити діаметр d1 . Дані занести в таблицю 1.1.

Переміщати екран по оптичній лаві з кроком 0,25 м та проводити вимірювання діаметру d2 . Дані занести в таблицю 1.1.

Розрахувати значення кута θ за формулою 1.2. Дані занести до таблиці 1.1.

За даними таблиці побудувати графік залежності кута розходження θ випромінювання лазера від положення площини вимірювання Li.

Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.1 - Отримані та оброблені результати

п/п	L1	L2	L3	L4	L5
d1,мм					
d2,мм					
θ					

Контрольні запитання

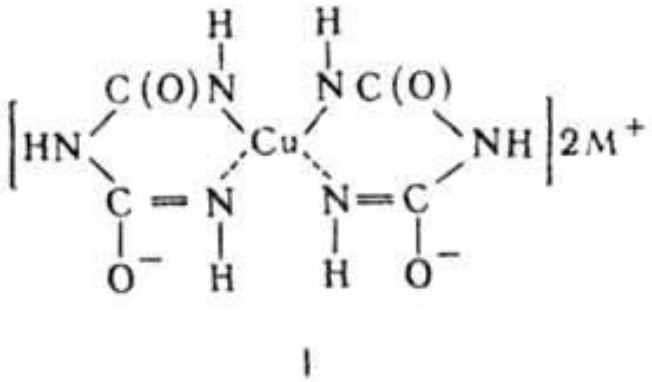
1. Поняття спрямованості та розходження джерел випромінювання.
2. Від чого залежить конусність лазерного випромінювання?
3. В якій зоні визначають розходження лазерного пучка? Обґрунтуйте.
4. У яких випадках плоский або тілесний кут Qp або θs, а у яких енергетичну розбіжність лазерного випромінювання (θW.S або θW.P)?
5. Назвіть та опишіть методи вимірювання розходження лазерного випромінювання.
6. Назвіть та опишіть методи вимірювання діаметру перерізу пучка випромінювання.
7. Опишіть порядок виконання лабораторної роботи.

5 Діагностика гуморальних середовищ

Теоретичні відомості

Біуретова реакція – метод якісного та кількісного визначення білків та продуктів їх часткового гідролізу в крові, сечі та інших рідинах, що полягає у виявленні та колориметрії фіолетового або червоного забарвлення, що з'являється при додаванні до досліджуваної рідини сульфату міді.

Принцип. Білки реагують у лужному середовищі з сірчанокислою міддю з утворенням сполук, забарвлених у фіолетовий колір (біуретова реакція).



I

Рис.5.1. Структура біуретового комплексу

Визначення концентрації білку за калібрувальним графіком. Для багаторазового визначення концентрації зазвичай спочатку будують калібрувальний графік. Для цього в ряд пробірок вносять розчини білку відомих концентрацій таким чином, щоб концентрації включали максимальний діапазон можливих значень; інтервали між концентраціями мають бути рівними. Проводять реакцію в усіх пробірках одночасно та вимірюють оптичну густину. Повторюють побудову калібрувального графіку тричі, результати вимірювання оптичної густини в пробірках з однаковими концентраціями усереднюють, та будують графік залежності оптичної густини E від концентрації C. Графіком можна користуватись для розрахунку концентрації білка в досліджуваних пробах за умови використання того ж фотометричного обладнання та того ж самого реактиву для визначення протягом терміну придатності реактиву. Приготування нового реактиву або зміна обладнання для фотометрії вимагає нової побудови калібрувального графіку.

В разі необхідності можливою є одночасна побудова калібрувального графіку та визначення білку в дослідних пробах. Для цього спочатку готують пробірки з відомими концентраціями білку та дослідні проби. Потім одночасно в усі пробірки додають робочий реагент. Через необхідний час вимірюють екстинкцію в усіх пробах

Виконання вимірювань на спектрофотометрі СФ- 46

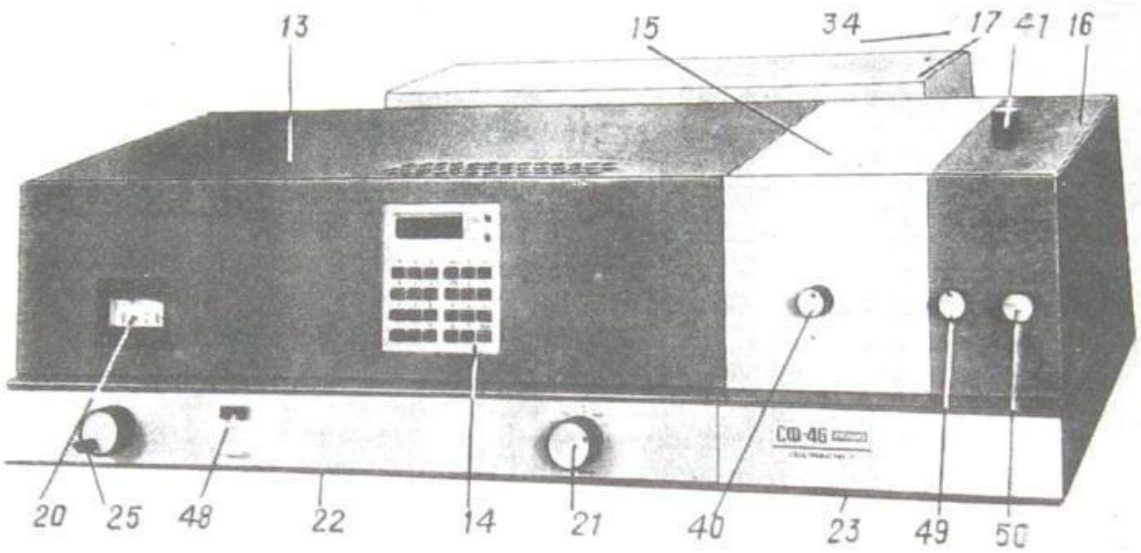


Рис.6.1. Спектрофотометр СФ-46

До початку роботи тумблер «МЕРЕЖА» повинен бути відключений, кришка кюветного відділеня – закрита, рукоятка перемикання шторки (49) – закрита, перемикачем щілини (21) встановити ширину щілини 0,15 нм.

Включити тумблер «МЕРЕЖА».

Натиснути клавішу «ПУСК» на клавіатурі МПС. На табло зліва повинна висвітитися миготлива кома.

Важіль (34) встановити в положення «Н» (лампа розжарювання) або «Д» (дейтерієва лампа). Рукояткою (41) встановити потрібний фотоелемент.

Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через 30 хв після його включення.

Завдання

1. Побудувати калібрувальний графік залежності зразків від концентрації білку
2. Визначити концентрацію білку в досліджуваних зразків. Результати занести в таблицю 5.2.
3. Зробити висновки.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К									

Контрольні питання

1. Що таке альбумін – глобуліновий коефіцієнт, чому він змінюється при патології?
2. Які фотометричні методи визначення концентрації речовини у розчинах ви знаєте?
3. Від чого залежить коефіцієнт поглинання?

4. Що таке спектр поглинання речовини?
5. Чим пояснюється різна забарвлення розчинів?
6. Дайте визначення таких понять: хромофор, ауксохром. Наведіть приклади.
7. На чому ґрунтується визначення концентрації розчинів за допомогою фотометричних методів аналізу?
8. Закон Бугера - Ламберта - Бера.
9. Яким чином здійснюється вибір інтервалу концентрацій стандартних розчинів при побудові калібрувальної кривої?

6 Контроль волоконно-оптичних ліній зв'язку

Загальні відомості

Світловод - пристрій, який обмежує область поширення оптичних коливань і направляє потік світлової енергії в заданому напрямку (оптичне середовище для поширення).

Розрізняють два види світловодів: пласкі та волоконні (рис.1.1). Пласкі (планарні) світловоди у свою чергу підрозділяють на: плівкові, (рис.1.1а) і канальні, (рис.1.1б).



Рисунок 1.1 - Плівкові світловоди, а – плівкові, б – канальні

Волоконні світловоди бувають: одношарові, (рис.1.2а); двошарові, (рис.1.2б); тришарові (рис.1.2в) і т.д.

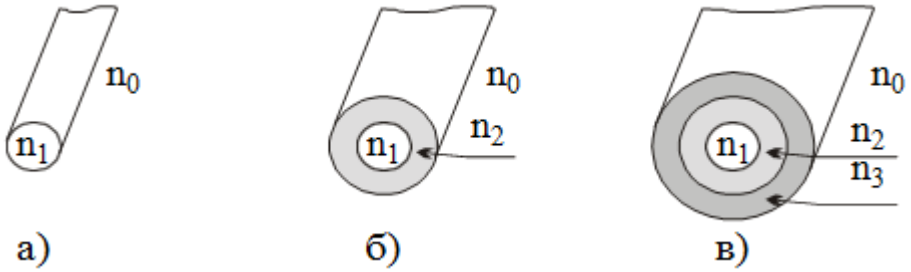


Рисунок 1.2 - Волоконні світловоди, а – одношарові, б – двошарові, в – тришарові

Де ni - показник заломлення (ПЗ) навколишнього середовища; n1- ПЗ середовища, що веде світ; n2 , n3 - ПЗ заломлення оболонки, що відбиває світло і захисної оболонки, відповідно.

Волоконні світловоди. Найбільше поширення у волоконно-оптичних мережах і системах зв'язку (ВОМЗ, ВОСЗ) одержали діелектричні світловоди круглого поперечного перетину, які складаються з двох або декількох концентричних прошарків діелектрика. ПЗ внутрішнього прошарку і серцевини у загальному випадку є функцією радіальної координати і її називають профілем показника заломлення (ПЗ). ПЗ зовнішніх прошарків (оболонок) є постійними. Основні параметри, які характеризують тип ВОС: геометричні розміри; ППЗ; коефіцієнт загасання ВОС; спектральна крива загасання ВОС; дисперсія ВОС; смуга пропускання ВОС; коефіцієнт широкосмугості ВОС; числова апертура NA.

Найпростіший світловод являє собою колоподібний діелектричний стрижень (серцевина з n1, яка оточена діелектричною оболонкою з n2 - рис.1.2.б, в). ПЗ матеріалу серцевини n1, а оболонки n2 вираховуються згідно формул 1.1 і 1.2, відповідно.

$$n1 = \sqrt{\xi 1}, \qquad (1.1)$$

$$n2 = \sqrt{\xi 2}, \qquad (1.2)$$

де ξ1, ξ2 - відносні діелектричні проникності матеріалів ВОС з n1, n2.

Відносна магнітна проникність матеріалу μ звичайно постійна і дорівнює одиниці. Для передачі електромагнітної енергії по світловоду використовується явище повного внутрішнього відбитка на межі поділу двох діелектричних середовищ, тому необхідно, щоб ПЗ серцевини був більше показника заломлення оболонки:

$$n1 > n2, \qquad (1.3)$$

Число і структура мод, які поширюються. У залежності від розміру кута (рис.1.3), який утворюють промені (виходять із крапкового джерела в центр торця ВОС) із віссю світловоду, мають місце кілька типів оптичних хвиль: моди «а», які спрямовуються в середені ВОС; моди оболонки «б»,

що поширюються на порівняно невеличкі відстані;моди «в», які виходять назовні світловоду (рис.1.3).

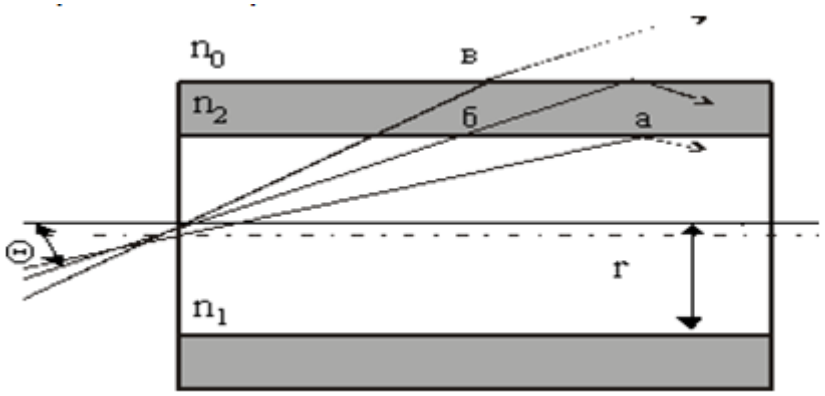


Рисунок 1.3 - Моди в ступінчастому ВОС

Профіль показника заломлення. Для характеристик світловоду велике значення має профіль показника заломлення (ПЗ) в поперечному перетині (рис.1.4-1.7).

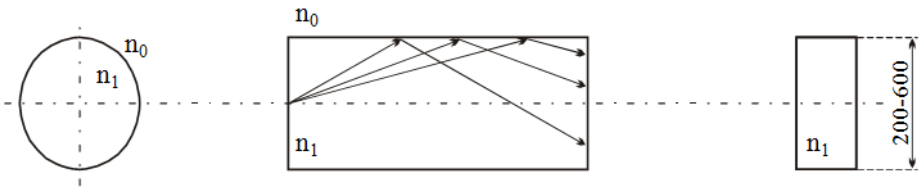


Рисунок 1.4 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна без покриття: хід променів; розміри діаметра серцевини в мкм

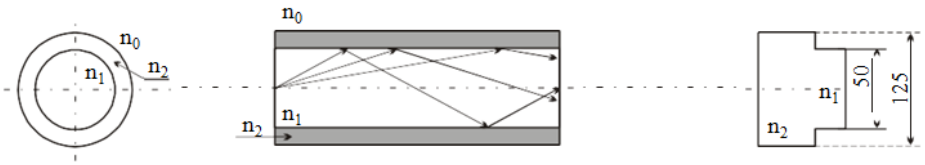


Рисунок 1.5 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового багатомодового світловоду: хід променів; розміри діаметра серцевини і оболонки в мкм

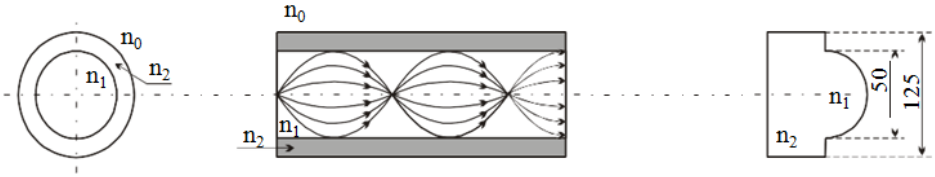


Рисунок 1.6 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна градієнтного багатомодового світловоду: хід променів; розміри серцевини і оболонки в мкм

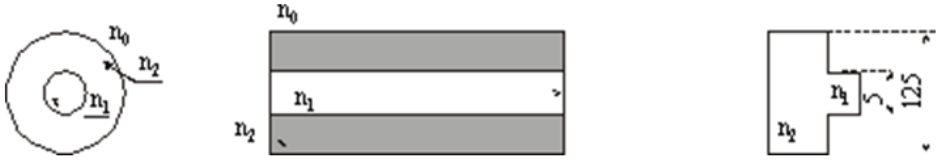
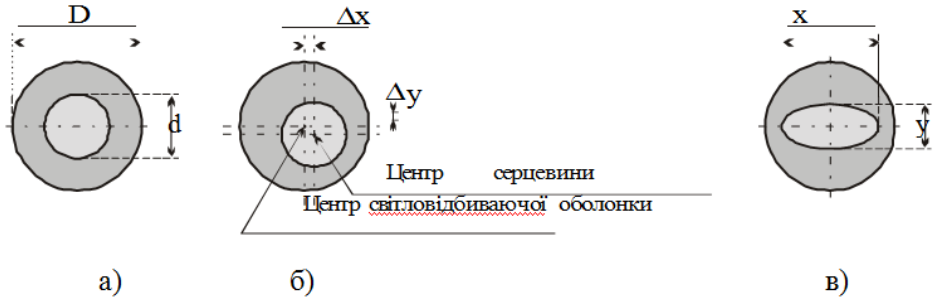


Рисунок 1.7 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового одномодового світловоду: хід променів; розміри діаметра серцевини в мкм

Практичний інтерес мають неоднорідності в поперечному перетині світловоду, тому що вони можуть мати характеристики, які неможливо одержати в однорідних світловодах.

Геометричні розміри світловодів. До основних геометричних розмірів ВОС відносять

діаметри серцевини d і оболонки, які відбиває світло - D (рис.1.12а).



а) б) в)

Рисунок 1.12 - Геометричні розміри ОС

До додаткових розмірів відносять: несоосність (неконцентричність) Δx і Δy серцевини і оболонки; неокруглість (еліпсність) серцевини, а також товщину захисних оболонок. Несоосніть і неокруглість виражається у відсотках.

Конструкції світловодів. Типова конструкція волоконно- оптичного світловоду складається із серцевини, світловідбиваючої оболонки, лакової оболонки і кремній-полімерної оболонки.

Вибір діаметра серцевини визначається багатьма чинниками. Чим більше діаметр, тим більше кількість світлової енергії вводиться у світловод, менше втрати на мікрозгибах, легше здійснювати операції монтажу і з'єднання. Зменшення діаметра серцевини збільшує його гнучкість. Оптимальним для багатомодового кварцового волокна є діаметр серцевини 50 мкм, світловідбиваючої оболонки (в 2,5 рази більше) - 125 мкм. Для одномодового - діаметр серцевини 3…8 мкм, діаметр оболонки - 62,5…125 мкм (через зручність монтажу). При цьому досягаються розміри серцевини сумірні з довжиною хвилі 1,3…1,55 мкм. Одномодові ВОС забезпечують більшу дальність передачі і одержання мінімальної дисперсії чим багатомодові.

Призначення наступних прошарків - усунення впливів на ВОС поперечних сил і збільшення стійкості ВОС на розірвання. У найпростішому випадку це одношарове полімерне покриття, наприклад поліетилен, нейлон із зовнішнім діаметром 0,5...1мм. Краще ці функції виконує двошарове покриття: внутрішній м'який прошарок, наприклад із силіконової гуми, товщиною 50-150 мкм захищає ВОС як від поперечних так і від подовжніх напруг, зовнішній жорсткий прошарок із зовнішнім діаметром 0,5-1 мм сприймає всі зовнішні посилення діючі на світловод. Підхожим матеріалом є нейлон. Альтернативою служить трубчаста конструкція покриття. Трубка (Т) повинна мати гладкі стінки, малу усадку при старінні при високому модулі пругкості. Цими властивостями володіє, наприклад, трубка з поліпропилену. Простір між Т та ВОС, покритим лаком може бути заповнений повітрям, але кращі результати дає заповнення гелем. Така конструкція більш вібростійка і захищає від вологи.

Типи світловодів. Світловоди бувають багатомодові східчасті, багатомодові градієнтні, одномодові, кварц полімерні і полімерні.

Оптичні характеристики. При передачі світлового імпульсу по світловоду виникає його загасання, а також уширення або дисперсія переданих імпульсів. Передача світлового імпульсу по ВОС характеризують три параметри: загасання, дисперсія, час пробігу.

Загасання. При розповсюдженні світла через ОВ його амплітуда зменшується, Це явище має назву загасання. Чим менше загасання (утрати) і чим менше дисперсія, тим більше може бути відстань між регенераційними ділянками або повторювачами.

На загасання світла у волокні впливають такі фактори, як втрати на поглинання an, втрати на розсіювання ap, кабельні втрати ak. Втрати на поглинанні an і на розсіюванні ap разом називають власними втратами ав , у той час як кабельні втрати в силу їх природи називають додатковими втратами.

Сумарні втрати а визначаються по формулі (1.5), що складаються з кількох складових:

$$a = a+aк=an+ap+ak, \qquad (1.5)$$

Дисперсія і смуга пропускання. По ОВ передається не просто світлова енергія, але також корисний інформаційний сигнал. Імпульси світла, послідовність яких визначає інформаційний потік, у процесі поширення розпливаються, що дає неможливим їх виділення при прийомі. Дисперсія (розширення імпульсів) має розмірність часу і визначається як квадратична різниця тривалостей імпульсів на виході і вході кабелю довжини L по формулі:

$$\tau(L)=\sqrt{(t^2_{вих}-t^2_{вх})}, \qquad (1.7)$$

Поширення світла по різних типах волокон. На рисунку 1.21 показано поширення світла по різним типам ВОС, що призводить до виникнення дисперсії і розмиттю форми імпульсів

Довжина хвилі відсічки (cutoff wavelength). Мінімальна довжина хвилі, при якій волокно підтримує тільки одну поширюючу моду, називається довжиною хвилі відсічки. Цей параметр характерний для одномодового волокна. Якщо робоча довжина хвилі менше довжини хвилі відсічки, то має місце багатомодовий режим поширення світла. У цьому випадку з'являється додаткове джерело дисперсії - міжмодова дисперсія, яка веде до зменшення смуги пропускання волокна.

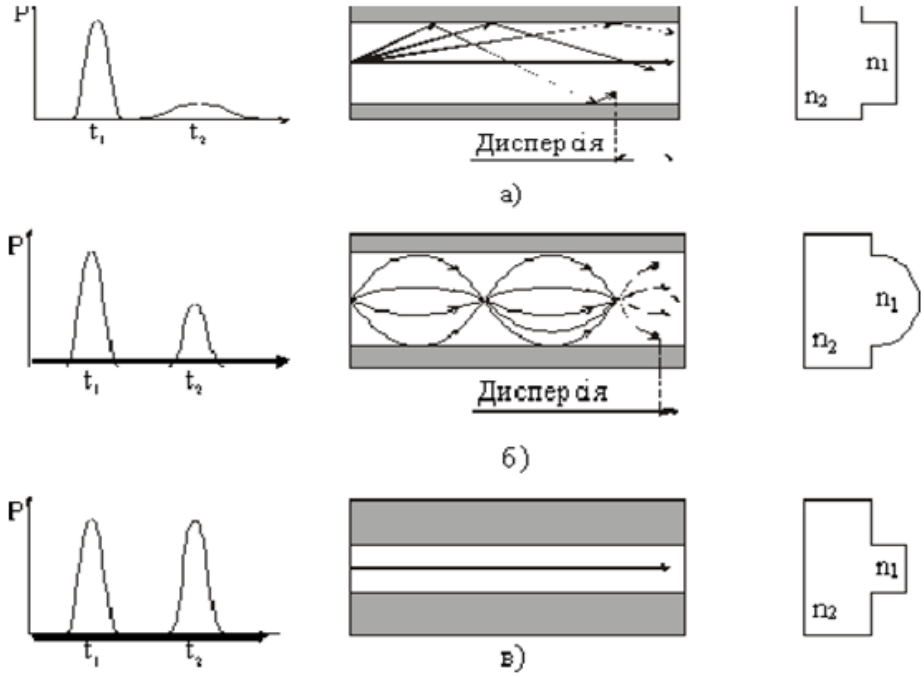


Рисунок 1.21 - Поширення світла у різних ОВ, а) багатомодове східчасте ОВ; б) багатомодове градієнтне ОВ; в) одномодове східчасте ОВ

Дисперсія виникає за двома причинами:

-некогерентність джерел випромінювання, яка зветься хроматичною або частотною, вона ділиться на два види - матеріальну і хвильоводну або внутримодову. Вона обумовлена залежністю ПЗ від довжини хвилі, хвильоводна дисперсія обумовлена направляючими властивостями матеріалу ВОС від довжини хвилі;

-наявністю великої кількості мод, кожна з яких поширюється зі своєю швидкістю, для багатомодового ВОС із $\Delta n = n\,1 - n\,2 = 0{,}015$,

який має більш 800 мод, різниця часу їх поширення складає 60 нс після проходження через волокно довжиною 1км.

Пропускна спроможність ВОС істотно залежить від типу їх властивостей (одномодових, багатомодових і градієнтних), а також від типу випромінювача (лазер або СД).

Міжмодова дисперсія. Міжмодова дисперсія виникає внаслідок різноманітної швидкості поширення мод, і має місце тільки в багатомодовому ОВ. На практиці, особливо при описі багатомодового волокна, частіше користуються терміном смуга пропускання. При розрахунку смуги пропускання W можна скористатися формулою:

$$W = 440/\tau \text{ Мгц, де } \tau \text{ береться в нс.} \qquad (1.9)$$

Вимірюється смуга пропускання в МГц км. З визначення смуги пропускання очевидно, що дисперсія накладає обмеження на дальність передачі і верхньої частоти переданих сигналів. Фізичний зміст W - це максимальна частота модуляції переданого сигналу при довжині лінії 1 км. Якщо дисперсія лінійно росте з ростом відстані, то смуга пропускання залежить від відстані обернуто пропорційно.

Хроматична дисперсія. Хроматична дисперсія складається з матеріальної і хвильоводної складових і має місце при поширенні як в одномодовому, так і в багатомодовому волокні. Проте

найбільше чітко вона виявляється в одномодовому волокні через відсутність міжмодової дисперсії.

Матеріальна дисперсія обумовлена залежністю показника заломлення волокна від довжини хвилі:

$$\tau_{мат}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda L(\lambda/c)(d^2n1/d\lambda^2)=\Delta\lambda LM(\lambda), \quad (1.10)$$

Хвильоводна дисперсія обумовлена залежністю коефіцієнта поширення моди від довжини хвилі:

$$\tau_{мат}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda L(2/c)(n^2/\lambda)=\Delta\lambda LN(\lambda), \quad (1.11)$$

де L - довжина волокна, λ - довжина хвилі, с - швидкість світла, n1 - ПЗ серцевини, М(λ) - питома матеріальна дисперсія, N(λ) – питома хвильоводна дисперсія, Δλ (нм) - поширення довжини хвилі внаслідок некогерентності джерела випромінювання.

Числова апертура. Ефект повного внутрішнього відбитка використовується в оптичних світловодах за рахунок того, що в середині світловода є «скляна серцевина» із показником заломлення n1 і навколо її «скляна оболонка» із показником заломлення n2, при цьому n1 більше n2 (рис.1.22). Повний внутрішній відбиток у ОВ має місце доти, поки введені у світловод промені падають на його торець під

кутом θ і заломлюються під кутом більш (90^o - a0), критичним кутом. Для a0 має місце таке відношення:

$$Sina = n1/n2, \quad (1.13)$$

тобто критичний кут залежить від відношення показників заломлення n1 і n2 . З формули 1.13 випливає, що промені, які відхиляються від осі ОВ на кут не більш (90^o – a0), поширюються в серцевині.

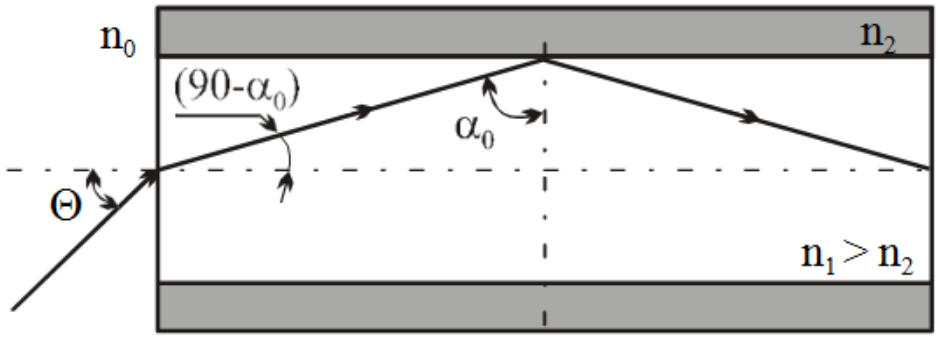


Рисунок 1.22 - Поширення світла у ВОС

Завдання

Ознайомитися з типами ВОС, які використані в роботі і ознайомитися з інструментом і матеріалами, які використовуються в роботі:

мікрометром або мікроскоп;

пристосуваннями і матеріалами для зняття оболонок ВОС.

Хімічним (механічним) шляхом зняти захисні оболонки.

Замірити діаметр ВОС у захисних оболонках і світловоду після зняття оболонок.

Підсвітити один кінець кожного із світловодів і замірити під мікроскопом (приблизно) діаметр ведучої світло жили за допомогою вимірювальної сітки.

Намалювати конструкцію кожного зі світловодів і завдати на малюнки отримані розміри і позначити типи досліджуваних ВОС.

Контрольні питання

1. Що таке світловод і на якому принципі по ньому передається електромагнітна енергія.
2. Устрій ВОС для передачі оптичної інформації.

3.Що таке мода? Число і структура мод, що поширюються, у різноманітних типах ВОС.
4.Направляємі, оболоночні і витікаючі моди.
5.Одномодові і багатомодові, східчасті і градієнтні ВОС.
6.Профіль показника заломлення в різноманітних типах ВОС.
7.Геометричні розміри ВОС в залежності від їхнього типу.
8.Конструкція ВОС.
9.Числова апертура ВОС, її фізична сутність.
10.Загасання, її фізична сутність, основні параметри.
11.Дисперсія, її фізична сутність, основні параметри.

7 Визначення коефіцієнта пропускання за допомогою спектрофотометра СФ-46

Теоретичні відомості

Принцип методу фотометрії.

Фотометричне вимірювання є базовим принципом роботи для багатьох приладів, що використовуються в клінічній хімії. Основними причинами цього є простота вимірювання, задовільні точність і надійність, а також зручність фотометричних методик при їх застосування в автоматичних приладах.

Спектрофотометричні вимірювання ґрунтуються на здатності речовин, що представляють інтерес з клінічної точки зору, селективно поглинати або випромінювати електромагнітну енергію на різних довжинах хвиль. В основному, для використання в лабораторних методиках використовуються хвилі довжиною, що лежать в ультрафіолетовому (200 – 400 нм), видимому (400 – 700 нм) або ближньому інфрачервоному (700 – 800 нм) діапазонах; більшість приладів працюють у видимому діапазоні.

Обладнання для фотометричних вимірювань

Для фотометричних вимірів використовують дві великі групи приладів: фотоколориметри і спектрофотометри. В колориметрах потрібні спектральні діапазони виділяються за допомогою світлофільтрів, які обмежують сегменти спектру, в яких можуть проводиться вимірювання. У спектрофотометрах ділянки спектру виділяються за допомогою призм або дифракційних ґраток, що дозволяє встановлювати будь-яку довжину хвилі в заданому діапазоні.

Конкретна послідовність операцій при вимірюванні оптичної густини або пропускання залежить від конструкції спектрофотометра або колориметру. Однак основні принципи залишаються незмінними. Спочатку встановлюють необхідну довжину хвилі, вибираючи світлофільтр на колориметрі або обертаючи відповідну рукоятку на спектрофотометрі. Потім встановлюють нуль. Для цього в світловий потік поміщають кювету зі стандартним розчином. Змінюючи ширину щілини, домагаються того, щоб показання приладу відповідали величині, яка передбачена в інструкції. На наступному етапі стандартний розчин заміняють досліджуваним і виконують вимірювання величини оптичної густини або пропускання.

Конструкція та принцип дії спектрофотометрів

Сучасні спектрофотометри дозволяють працювати з високо монохроматизированим потоком випромінювання. Вони застосовуються для концентраційного аналізу і при вивченні спектрів поглинання речовин.

Структурну схему спектрофотометра можна представити у вигляді наступних основних блоків: джерело світла, монохроматор, кюветний відділ, фотоелемент, підсилювач, реєструючий пристрій.

Світловий пучок від джерела світла потрапляє в монохроматор через вхідну щілину і розкладається дифракційними ґратками або призмою в спектр. У монохроматичний потік випромінювання, що надходить з вихідної щілини в кюветне відділення, по черзі вводяться контрольний і досліджуваний зразки.

Випромінювання, що пройшло через кювету, потрапляє на фотоелемент, який перетворює світлову енергію в електричну. Електричний сигнал потім підсилюється та реєструється.

Монохроматори. Монохроматор – це оптична система, що відокремлює з усього спектру джерела світла випромінювання хвилі певної довжини. Зазвичай це призми, які по- різному заломлюють світло різних довжин хвиль, або дифракційні ґратки. У видимій області використовуються звичайні скляні призми, але в ультрафіолетовій області вони випромінювання вони не використовуються, оскільки скло починає поглинати вже при $\lambda < 400$ нм, тому призми роблять із кварцу.

В якості монохроматора застосовуються також дифракційні ґратки, які являють собою плоско паралельну пластину з нанесеними на ній паралельними лініями – борозенками. Біле світло через дифракцію на паралельних борозенках розкладається на безперервний спектр. Зазвичай в монохроматорах спочатку виділяють пучок світла з певним діапазоном довжин хвиль за допомогою призми, а потім розкладають його ще раз ґратками. Так отримують суворо монохроматичне світло. Основна перевага дифракційних решіток полягає в тому, що можна збільшувати їх роздільну здатність, оскільки вона прямо пропорційна щільності ліній. Крім того, у всьому діапазоні довжин хвиль дифракційні решітки мають лінійну роздільну здатність, тоді як роздільна здатність призмового монохроматора зі збільшенням довжини хвилі зменшується.

Кювети. Досліджувану речовину розчиняють у відповідному розчині і поміщають в оптично прозорий посудину для вимірювань – кювету. Зазвичай кюветотримач має комірки для чотирьох кювет. Оскільки скло поглинає ультрафіолетове світло, то для проведення вимірювань в ультрафіолетовій області спектра використовують кварцові кювети. Для вимірювань у видимій області можна використовувати пластикові або скляні кювети. При роботі з летючими або хімічно активними речовинами кювети закривають кришками. Оскільки кювета, яка розміщена в спектрофотометрі, стає складовою частиною його оптичної системи, з нею потрібно працювати дуже обережно. Подряпини та бруд на стінках кювети сильно розсіюють або поглинають світло, спотворюючи результати вимірів. Про це особливо треба пам'ятати при роботі в ультрафіолетовій області. Протирати кювети можна м'якою бавовною, мікрофіброю. Не рекомендується застосовувати для цих цілей фільтрувальний папір. Оскільки органічні молекули поглинають в ультрафіолетовій області, в жодному разі не можна торкатися оптичних (прозорих) стінок кювети. Розчин краще заливати в кювету, поставивши її в попередньо вийнятий з приладу кюветотримач. Кювети досить крихкі, особливо кварцові, тому працювати з ними треба обережно, не допускаючи механічних ушкоджень. Вміст кювети має бути гомогенним – це необхідна умова отримання відтворюваних даних. Потрібно стежити за тим, щоб розчин не був мутним. Особливо заважають вимірам пухирці повітря – вони сильно збільшують розсіювання. Не можна наливати в кювету дуже холодний розчин, оскільки при цьому на зовнішніх стінках кювети конденсується водяна пара, а всередині з розчину можуть виділятися пухирці повітря, внаслідок чого стінки стають непрозорими. Якщо кювети забруднені сторонніми домішками, їх слід промити дистильованою

водою і (або) розчинником, в якому розчинено досліджувана речовина. Кювети можна мити м'якими детергентами. Не рекомендується мити кювети концентрованими кислотами або лугами, а також іншими агенти травлення. Кювети потрібно заповнювати до такого рівня, щоб потік випромінювання проходив цілком через шар розчину. Найчастіше використовуються кювети з довжиною оптичного шляху 1 см, в які зазвичай заливають 2,5 – 3 мл розчину. У такі кювети входить 4-5 мл, але заповнюють їх повністю лише в тому випадку коли це необхідно. Є кювети з довжиною оптичного шляху 50, 20, 5, 2 і 1 мм.

Фотоелементи. Фотоелементи перетворюють світлову енергію в електричну. Електричний сигнал потім підсилюється і реєструється. Фотони, бомбардуючи поверхню фотоелемента, вибивають з нього електрони, кількість яких пропорційна інтенсивності світла. Ці електрони рухаються до позитивного електрода. В результаті у замкнутому ланцюгу виникає електричний струм, який реєструється за падінням напруги на опорі, що знаходиться в цьому ланцюзі. Напругу можна підсилити, і після компенсації такого сигналу потенціометром, який відкалібрований в одиницях поглинання, на датчику реєструється безпосередньо поглинання зразка.

Фотопомножувачі зазвичай більш чутливі, ніж прості фотоелементи. Це відбувається через те, що електрони, що вилетіли з фоточутливого шару, прискорюються високою напругою, а через зіткнення в газі виникають вторинні електрони, що і приводить до зростання струму.

Ширина щілини. Від розміру щілини залежить діапазон довжин хвиль світла, що падає на зразок. Тому для отримання достовірних результатів треба працювати при мінімально вузькій для даних умов експерименту щілині. Якщо щілина обрана правильно, то при зміні її розмірів удвічі показання приладу не змінюються. Зазвичай нульове значення поглинання встановлюють щілиною, але в хороших спектрофотометрах це роблять, змінюючи напругу фотоелемента. Таке регулювання дозволяє працювати при постійній ширині щілини.

Конструкція спектрофотометру СФ- 26 та робота з ним

1.Опис приладу

Спектрофотометр СФ-26 призначений для вимірювання коефіцієнта пропускання Т досліджуваного зразка. Коефіцієнт пропускання дорівнює відношенню інтенсивності потоку випромінювання I, що пройшло через досліджений зразок, до інтенсивності потоку випромінювання I0, яке падає на досліджений зразок (або пройшло через контрольний зразок, коефіцієнт пропускання якого приймається за одиницю), та виражається формулою:

$T = I/I0 \times 100$

Вимірювання проводиться за методом електричної автокомпенсації.

У монохроматичний потік випромінювання по черзі вводяться контрольний і досліджуваний зразки. При введенні контрольного зразка стрілка вимірювального приладу встановлюється на ділення 100% регулюванням ширини щілини, і величину встановленого таким чином світлового потоку приймають за 100% пропускання. При введенні в потік випромінювання досліджуваного зразка стрілка вимірювального приладу відхиляється пропорційно зміні потоку, величина коефіцієнта пропускання відраховується за

шкалою, відрегульованою у відсотках пропускання або одиницях оптичної густини.

Оптична схема монохроматора є автоколімаційною. Випромінювання від джерела 1 (рис.4.1) або 1' падає на дзеркальний конденсор 2, який направляє його на плоске поворотне дзеркало 3 і дає зображення джерела випромінювання в площині лінзи 4, розташованої поблизу вхідної щілини 5. Пройшовши через вхідну щілину, випромінювання падає на дзеркальний об'єктив 6 і, відбившись, паралельним пучком направляється на призму 7. Пройшовши призму під кутом, близьким до кута найменшого відхилення, і відбившись від її алюмінійованої грані, диспергований пучок направляється назад на об'єктив і фокусується ним на вихідній щілині 8, яка розташована над вхідною щілиною. При обертанні призми монохроматичне випромінювання різних довжин хвиль проходить через вихідну щілину 8, лінзу 9, контрольний або досліджуваний зразок, лінзу 10 і за допомогою поворотного дзеркала 11 збирається на світлочутливому шарі одного з фотоелементів 12 або 13.

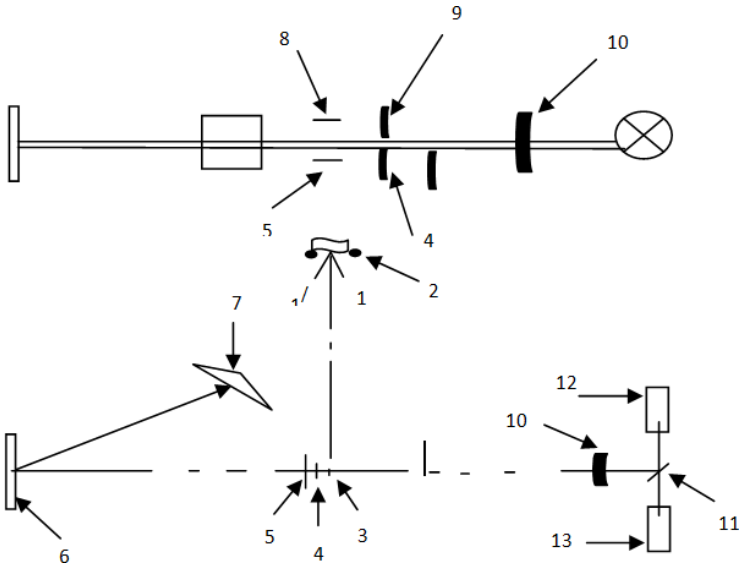


Рис.4.1. Оптична схема спектрофотометру СФ- 26

Об'єктив являє собою сферичне дзеркало з фокусною відстанню 500 мм. Диспергуюча призма має кут заломлення 30о, основу 30 мм та ефективний діаметр

44 мм. Призма, лінзи і захисні пластинки виготовлені з кварцового скла з високим коефіцієнтом пропускання в ультрафіолетовій області спектра.

Для забезпечення роботи спектрофотометра в широкому діапазоні спектра використовуються два фотоелементи і два джерела випромінювання суцільного спектра. Сурм'яно-цезієвий фотоелемент з вікном з кварцового скла застосовується для вимірювань в області спектра від 186 до 650 нм, киснево-цезієвий фотоелемент – для вимірювань в області спектра від 600 до 1100 нм. Довжина хвилі, при якій слід переходити від вимірювань з одним фотоелементом до вимірів з іншим фотоелементом, вказується в паспорті спектрофотометра. Дейтерієва лампа призначається для роботи в області спектра від 186 до 350 нм,

лампа розжарювання – для роботи в області спектра від 340 до 1100 нм.

Для перевірки градуювання використовується ртутно-гелієва лампа.

Спектрофотометр (рис.4.2) складається з монохроматора 14 з вимірювальним приладом 15, кюветного відділення 16, камери 17 з фотоприймачами і підсилювачем і освітлювача 18 з джерелами випромінювання і стабілізатором.

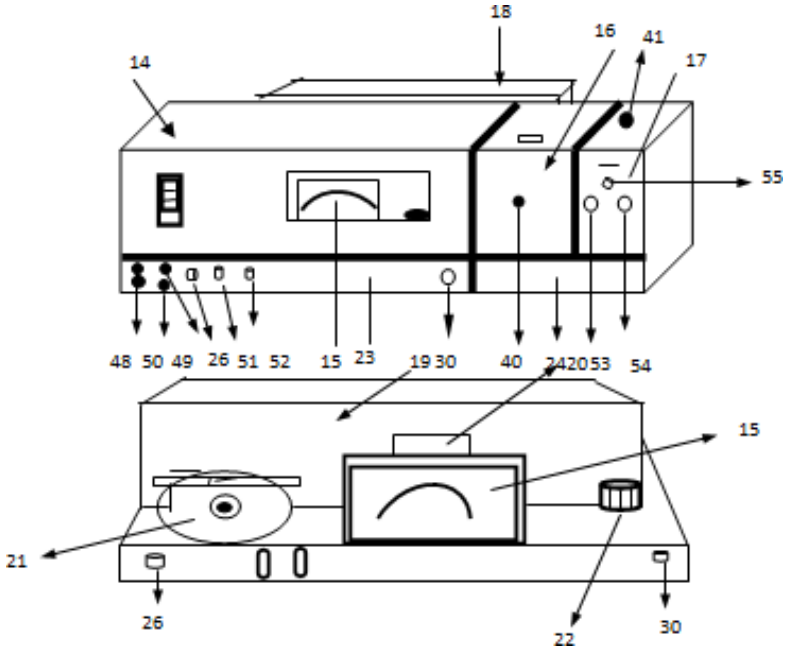


Рис.4.2. Конструкція спектрофотометру СФ- 26

Монохроматор з ущільнюючим захисним кожухом 19, вимірювальний прилад 15 з конвертером 20, шкала довжин хвиль 21, механізм щілини зі шкалою 22 розташовані на основі 23, до якого жорстко кріпиться додаткова основа 24, що несе на собі знімні частини спектрофотометра – кюветне відділення і камеру з фотоприймачами і підсилювачем.

Завдання

Підготовка до роботи

Встановити в робоче положення фотоелемент і джерело випромінювання, що відповідають обраному спектральному діапазону вимірювань.

Закрити фотоелемент, поставивши рукоятку 53 (рис.2) шторки в закрите положення і рукояткою 30 встановіть ширину щілини приблизно 0,1 мм.

Включити тумблер СЕТЬ, після чого повинні загорітися сигнальна лампа СЕТЬ і сигнальна лампа Д або сигнальна лампа Н у відповідності з обраним джерелом.

Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через 30 хв після його включення.

Для включення після лампи розжарювання дейтерієвої лампи перемкніть конденсор рукояткою 34; після хвилинного прогріву лампа автоматично загоряється, одночасно загоряється і відповідна індикаторна лампа на передній панелі.

Вимкнення спектрофотометра виконують тумблером СЕТЬ.

1. Помістити кювету з контрольним зразком (дистильована вода) у кюветний відділ.

2. Помістити кювету з досліджуваним зразком (розчин оксигемоглобіну невідомої концентрації) у кюветний відділ.

3. Встановити довжину хвилі, яка відповідає верхній або нижній границі досліджуваного діапазону (таблиця).

4. Виміряти оптичну густину досліджуваного зразку відносно контрольного згідно розділу ***Вимірювання оптичної густини.*** Результат занести в таблицю.

5. Встановити наступну довжину хвилі (таблиця) і виміряти оптичну густину досліджуваного зразку відносно контрольного.

6. Виміряти оптичну густину досліджуваного зразку при всіх зазначених довжинах хвиль, результати занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Результати експериментальних досліджень

Довжина хвилі λ, нм	340	370	400	405	410	412	415	420	440	460	480	500	520	540	560	600
E																

7. Побудувати графік залежності оптичної густини розчину гемоглобіну бичачого окисленого від довжини хвилі в інтервалі довжин хвиль 340 – 600 нм. Позначити на графіку довжину хвилі, при якій значення оптичної густини є максимальним (λ_{max})

8. Розрахувати концентрацію оксигемоглобіну в досліджуваному розчині.

9. Розрахувати молярні коефіцієнти екстинкції для заданих довжин хвиль.

Контрольні питання

1. Поясніть механізм взаємодії світла з речовиною.
2. Дайте визначення таких понять: пропускання, екстинкція, оптична щільність, молярний коефіцієнт екстинкції.
3. Від чого залежить коефіцієнт поглинання?
4. Що таке спектр поглинання речовини?
5. Чим пояснюється різна забарвленість тіл?
6. На чому ґрунтується визначення концентрації розчинів за допомогою фотометричних методів аналізу?
7. Закон Бугера-Ламберта-Бера.
8. Приклади оптичних вимірювальних приладів. Їх призначення.
9. Накресліть оптичну схему фотометра і поясніть принцип його дії.
10. Види хвильових селекторів.
11. Відмінність спектрофотометра від фотоелектроколориметра.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission

cannot be held responsibility for any use which may be made of the information contained therein.