Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

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

1 **Дослідження інфрачервоної спектроскопії гуморальних середовищ**

Теоретичні відомості

Інфрачерво́на спектроскопі́я, ІЧ спектроскопі́я — різновид молекулярної оптичної спектроскопії, оснований на взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням в ІЧ діапазоні: між червоним краєм видимого спектра (хвильове число 14000 см−1) і початком короткохвильового радіодіапазону (20 см−1).

ІЧ спектри виникають при поглинанні ІЧ випромінення на частотах, що збігаються з деякими власними коливальними і обертальними частотами молекул або з частотами коливань кристалічної ґратки. ІЧ спектри отримують за допомогою спектрометрів різних типів, робочий діапазон яких знаходиться в межах так званої фундаментальної ІЧ області (400 см−1 — 4000 см−1).

Найпоширенішим способом підготовки зразків для інфрачервоної спектроскопії є пресування зразку в таблетку з KBr. На основі ІЧ спектрів можна проводити якісний та кількісний аналіз речовини. Інфрачервона спектроскопія дозволяє отримувати спектри речовини у всіх її агрегатних станах.

Інфрачервона спектроскопія відбивання використовується при дослідженні твердих тіл, особливо монокристалів. Для зразків із сильним поглинанням і поверхневих сполук розроблений так званий метод порушеного повного внутрішнього відбиття.

Інфрачервона спектроскопія застосовується для виявлення і оцінки фаз, вміст яких у руді та гірських породах перевищує 1-5 %. Вона — джерело інформації для вирішення таких питань кристалохімії, як будова складних комплексних аніонів, ізоморфних заміщень у мінералах тощо.

Успішно використовується ІЧ спектроскопія для вивчення флотаційних реагентів, міжфазної зони «адгезив-субстрат», ідентифікації і кількісних вимірювань промислових забруднень, аналізу в польових умовах, вивчення реакцій в атмосфері та ін.

Інфрачервона спектроскопія із хвиловими числами менше 100 см-1 при поглинанні органічною молекулою перетвоюється у енергію обертання. Поглинання є квантованим, тому обертальний спектр молекул складається із дискретних ліній.

Випромінювання у інтервалі 10 000-100 см-1 при поглинанні перетворюється органічною молекулою на енергію коливань. Це поглинання також квантоване, але коливальний спектр складається не з ліній, а із смуг, оскільки кожний коливальний перехід супроводжується змінами обертальних станів.

Поглинання смуг у спектрах позначається через хвильові числа u, які вимірюють у зворотних сантиметрах см-1; ця одиниця є прямо пропорційною енергії коливання, а шкали спектрометрів є лінійними відносно см-1. Хвильові числа також називають "частотами". Це неправильно, оскільки хвильові числа u у см-1 дорівнюють $10^4/\lambda$ у мкм, а частоти u у Гц дорівнюють c/λ у см, де c - швидкість світла.

ІЧ-спектроскопія базується на явищі поглинання хімічними речовинами інфрачервоного випромінювання з одночасним збудженням коливань молекул. Інфрачервоне випромінювання є електромагнітною хвилею та характеризується довжиною хвилі λ, частотою ν і хвильовим числом u, які пов'язані наступною залежністю:

$u = v/(c/n) = 1/ \lambda$

де c — швидкість світла, а n — показник заломлення середовища.

У спектроскопії поглинання, частковим випадком якої є ІЧ-спектроскопія, відбувається поглинання молекулами фотонів певної енергії, яка пов'язана з частотою електромагнітної хвилі через сталу Планка:

$Ep = hv$

При поглинанні фотона відбувається збудження — збільшення енергії молекули: вона переходить із основного коливального стану E1 в деякий збуджений коливальний стан E2 так, що енергетична різниця між цими рівнями дорівнює енергії фотона.

$E2-E1 = hv = hcu$

Енергія поглинутого інфрачервоного випромінювання витрачається на збудження коливальних переходів для речовин у конденсованому стані. Для газів поглинання кванта ІЧ-випромінювання викликає коливальні й обертальні переходи.

Зазвичай в експерименті прилад випромінює одночасно всі довжини хвиль інфрачервоного випромінювання, включаючи ближню ІЧ-область (14 000—4000 см−1), середню ІЧ-область (4000—400 см−1) та дальню ІЧ-область (400—10 см−1). Поглинання випромінювання речовиною кількісно описується законом Бугера — Ламберта — Бера, а спектр отримується при побудові залежності пропускання (T, англ. transmittance, %) чи оптичної густини (D, англ. optical density) від довжини хвилі (частоти, хвильового числа).

Для того, щоб відбулося поглинання випромінювання, необхідне виконання двох умов. По-перше, поглинаються лише хвилі такої частоти, яка дорівнює частоті того чи іншого коливання молекули. По-друге, коливання повинно викликати зміну дипольного моменту молекули. Через це молекули, що не мають дипольного моменту (наприклад, H2, N2, O2, а також солі без ковалентних зв'язків і метали), не поглинають інфрачервоне випромінювання. Інтенсивність смуг в ІЧ-спектрі пропорційна до квадрата зміни дипольного моменту.

Задання

Порядок виконання роботи:

1. Приготувати зразки мінералів для зняття ІЧ-спектрів.
2. Зняти ІЧ-спектри вибраних вами мінералів або вивчити спектри знятих мінералів.
3. Розшифрувати спектри мінералів.
4. Зробити віднесення смуг, починаючи зобласті валентних коливань OH-зв‘язку, потім деформаційних коливань. Знайти в спектрі смуги, відповідальні за SiO-зв‘язку.
5. Знайдені вами смуги поглинання порівняєте з картотекою мінералів і визначите знятий вами мінерал.
6. Отримаєте зняті спектри відомих мінералів.
7. Розшифруйте спектри мінералів, знайдіть характерні частоти для даного мінералу.
8. Зробіть віднесення смуг.
9. Складіть таблиці знайдених вами частот, наприклад:

Таблиця частот в спектрі мусковіту і їх віднесення Мусковіт

/п.п.	ν_{max}, $см^{-1}$	Інтерпретація
	3620	ОН вал.
	3450	H_2O вал.
	1620	H_2O деф.
	980	Si-O
	860	Si-O-Al
	530	Si-O-Al
	480	Si-O

Таблиця смуг поглинання в ІЧ-спектрах мінералів

Мінерал	Частоти смуг поглинання в $см^{-1}$
Каолініт	
Мусковіт	
Біотіт	
Вертікуліт	

Контрольні запитання:

1. На чому заснований метод ІЧ-спектроскопії?
2. Що таке характеристичні смуги поглинання?
3. Які типи коливань в молекулі ви знаєте?
4. Які коливання в ІЧ-спектрах називають активними?
5. На які три основні області поділяють ІЧ-спектр?
6. Чим обумовлені смуги поглинання в ІЧ-області?
7. Як здійснюють підготовку твердих зразків для реєстрації їх інфрачервоних спектрів?
8. Які прилади використовують у ІЧ-спектроскопії?
9. Де застосовують ІЧ-спектроскопію?
10. Які переваги ІЧ-спектроскопії?

2 **Дослідження і розсіювання випромінювання в оптичних системах**

Теоретичні відомості

Розсіяння світла або світлорозсіяння — недзеркальне відображення світла, як, наприклад, матовими поверхнями, або дисперсія — розкладання білих або взагалі складних кольорових променів на більш прості в таких явищах:

1) переломлення в прозорих тілах,

2) переломлення в тілах, що поглинають деякі промені (аномальна дисперсія),

3) дифракційний нормальний спектр,

4) обертання (молекулярне і магнітне) площини поляризації,

5) розбіжність оптичних променів різних кольорів в двоосних кристалах.

Пружне світлорозсіяння — світлорозсіяння, яке не супроводиться зсувом довжини хвилі порівняно з первинним випромінюванням. У випадку, коли центри розсіювання є малими в порівнянні з довжиною хвилі опромінення, пружне розсіювання називають розсіюванням Релея чи розсіювання Мі.

Непружне світлорозсіювання — світлорозсіювання, яке супроводиться зсувом довжин хвиль внаслідок внутрімолекулярних переходів (ефект Рамана, флуоресценція).

Квазіпружне світлорозсіяння — світлорозсіяння, яке супроводиться зсувами довжин хвиль і розширенням ліній внаслідок процесів, залежних від часу.

Розсіюється світло дає інформацію про структуру і динаміку матеріалу.

Види розсіювання, властиві для світла:

Розсіювання Релея - пружне розсіяння на малих частках, розміром багато менше довжини хвилі.

Розсіювання Мі - пружне розсіяння на великих частинках.

Розсіювання Мандельштама - Бріллюена - неупругое розсіювання на коливаннях решітки.

Комбінаційне (раманівське) розсіювання - неупругое розсіювання на атомних коливаннях в молекулі.

Розсіювання Тиндаля - пружне розсіювання світла неоднорідними середовищами.

Комбінаційне розсіювання — непружне розсіювання світла, при якому частота розсіяної хвилі змінюється на величину частоти власних коливань молекули. Випромінювання на частоті меншій від частоти падаючої хвилі називається стоксовим. При стоксовому випромінюванні частина енергії поглинутого фотона йде на збудження коливань у молекулі. Випромінювання на частоті більшій за частоту падаючої хвилі називається антистоксовим. При антистоксовому випромінюванні молекула віддає електромагнітному полю енергію свого коливання. Раманівське розсіювання широко використовується для вивчення коливальних спектрів молекул, характеристики поверхні кристалів тощо.

Дані спектроскопії — найважливіша основа для вивчення будови атомів, молекул та макроскопічних тіл в різних аґреґатних станах, зокрема

різноманітних мінералів. На спектроскопії базується спектральний аналіз. Див. також інфрачервона спектроскопія.

Спектроскопія забезпечує отримання інформації про атоми, молекули, йони, кристали і може використовуватися для визначення структури і складу зразка. Спектроскопія — неоцінимий аналітичний метод, що реалізовується на різних типах спектрометрів (або спектрофотометрів) — ЯМР, ІЧ, УФ, видимої і ближньої ІЧ частини спектра, флуоресцентних спектрометрах.

Аналіз спектрів дозволяє визначати енергетичні рівні досліджуваної системи. Також з наявності й інтенсивності випромінювання певного роду в спектрах проводять якісний і кількісний аналіз складу речовини.

Можна виділити два типи спектроскопії.

У рамках класичної спектроскопії (оптична спектроскопія) спектр отримують завдяки розкладу світла призмою, або дифракційною ґраткою.

Другий тип — Фур'є-спектроскопія. У цьому випадку вимірюється часова залежність коливання системи. Після виконання перетворення Фур'є отримують частотну характеристику системи.

Спектроскопія відбиття — вивчає спектри відбиття електромагнітного випромінювання речовин у видимій, УФ та ІЧ-областях. Для реєстрації спектрів відбиття використовуються спетрофотометри. С.в. застосовуються для вивчення складу і будови поверхневих шарів твердих тіл та мутних середовищ, а також для ідентифікації адсорбованих хімічних сполук.

Втрати з'єднання волоконних світловодів

Мета роботи: розширення знань про механізми виникнення втрат при з'єднанні волоконних світловодів, набуття навичок їх експериментального дослідження та теоретичної оцінки, реалізація оптичної юстування, порівняння втрат для випадків багатомодових і одномодових світловодів.

Робота виконується на лабораторній установці (рис.1), зібраної на оптичній лаві (або плиті). Вона включає в себе: джерело оптичного випромінювання (ЛД або СІД), вхідний (передавальний) волоконний світловод, вихідний (приймальний) світловод, закріплений в мікропозіціонере з лінійними і кутовими переміщеннями і вимірювач оптичної потужності.

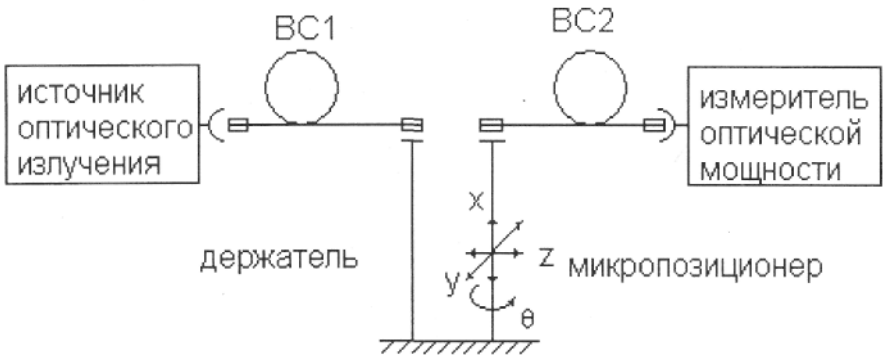


Рис.1 Структурна схема вимірювальної установки

Оптичне випромінювання від джерела вводиться у вхідній світловод ВС1 через один кінець, а інший кінець світловода закріплений в нерухомому

утримувачі. Приймальний (вихідний) волоконний світловод ВС2 одним кінцем закріплений в мікропозіціонере, що забезпечує лінійні і кутові переміщення, а іншим кінцем приєднаний до вимірника оптичної потужності. Зміна взаємного положення світловодів ВС1 і ВС2, що реалізовується за допомогою мікропозіціонера, призводить до зміни коефіцієнта передачі потужності, тобто до зміни втрат з'єднання волоконних світловодів.

При з'єднанні волоконних світловодів безпосередньо торцями (тобто встик) виникають втрати оптичної потужності, зумовлені дією трьох чинників:

- взаємне розташування світловодів;
- неідентичність параметрів світловодів;
- відображення випромінювання від торців світловодів.

У даній роботі вивчаються оптичні втрати, пов'язані зі взаємним розташуванням світловодів, що найбільш часто зустрічається на практиці

Основним завданням при з'єднанні волоконних світловодів є досягнення точної взаємної юстирування світловодів за трьома найбільш важливими параметрами:

- зміщення серцевин світловодів в площині перпендикулярній до їх осі (Поперечне зміщення);
- кут між осями світловодів (кутове неузгодженість);
- зазор між торцями світловодів (поздовжнє зміщення). Втрати з'єднання визначаються за формулою:

$$A = -10\lg T(x, y, z, \theta) \text{ [ДБ]}, \quad (1)$$

де $T(x, y, z, \theta)$ - коефіцієнт передачі за проектною потужністю, що залежить від лінійного і кутового неузгодженості з'єднуються світловодів, а також від типу світловода. Для багатомодових світловодів з параболічним профілем показника заломлення маємо (в разі малих зсувів):

$$T(x)=1-0<85(x/a), \quad (2)$$
$$T(z)=1-zNA(4a), \quad (3)$$
$$T(0)=1-\theta/NA, \quad (4)$$

де x, z, θ - поперечное, поздовжнє і кутовий зсув світловодів відповідно; а - радіус серцевини світловоду; NA - числова апертура. При цьому передбачається, що сполучаються світлопроводи ВС1 і ВС2 є ідентичними і торці світловодів перпендикулярні їх поздовжньої осі.

Для одномодових світловодів коефіцієнти передачі розраховуються за такими формулами:

$$T(x)=\exp(-x2/w2), \quad (5)$$
$$T(z)=(1+4z_1^2)/(z_1^2+(1+2z_1^2)^2), \quad (6)$$
$$T(\theta)=\exp(-(\pi\theta w/\lambda^2)), \quad (7)$$

де w - радіус модового поля в світловоді; $z_1= z / (kw^2)$ нормоване

поздовжнє неузгодженість; λ, k - довжина хвилі випромінювання і хвильове число k =(2π /λ).

Слід зазначити, що формули (2-7) описують зміна коефіцієнта передачі при зміні тільки одного параметра неузгодженості. У загальному випадку T = T (x) T (z) T (θ).

Вимірювання загасання оптичних волокон методом обриву

Мета роботи: освоєння методик вимірювання загасання оптичних волокон.

Метод обриву заснований на порівнянні значення потужності оптичного випромінювання, виміряного на виході довгого відрізка оптичного волокна (ОВ), зі значенням потужності, виміряним на виході його короткого дільниці, утвореної за рахунок обриву ОВ на початку вимірюваного зразка. При вимірі необхідно забезпечити сталість потужності, що вводиться в вимірюваний ОВ, і незмінність модового складу випромінювання. Метод обриву застосовують для вимірювання загасання ОВ, що не армованих оптичними з'єднувачами.

Для вимірювання загасання відбирають відрізки ОВ з відомою довжиною. Торцеві поверхні ОВ повинні бути перпендикулярні осі ОВ і не мати відколів і пошкоджень, що перешкоджають проходженню оптичного випромінювання.

Перпендикулярність торцевих поверхонь до осі ОВ і відсутність на них відколу визначають за допомогою мікроскопа з кратністю збільшення не менше 20.

Вимірювання загасання методом обриву здійснюється на установці, схема якої показана на рис.1. Як джерело випромінювання використовується світлодіод або лазер (довжина хвилі випромінювання фіксована). Положення джерела випромінювання щодо торця ОВ, а також інтенсивність випромінювання повинні бути незмінні протягом часу проведення вимірювань. У даній роботі використовується джерело оптичної потужності ОТМ-1 (λ = 1550 нм). Пристрій введення забезпечує юстирування вхідного кінця ОВ в трьох взаємно перпендикулярних площинах для здійснення оптимального введення енергії в ОВ і жорсткої фіксації ОВ. Змішувач мод забезпечує збудження вимірюваного ОВ з модів складом, відповідним сталому модовая розподілу, для даного типу ОВ. Критерієм сталого модового розподілу є ідентичність розподілу випромінювання в дальній зоні на виході змішувача мод і вимірюваного ОВ. Фільтр мод оболонки, включений послідовно із змішувачем мод, забезпечує висновок мод, що поширюються в оболонці ОВ. Критерієм висновку мод оболонки є відсутність випромінювання в оболонці ОВ після фільтра мод оболонки. Приймач випромінювання повинен мати фоточувствительную майданчик, достатню для реєстрації всього конуса випромінювання, що виходить з ОВ. Чутливість приймача повинна бути однорідна по всій його площі, а перетворювальна характеристика лінійної або відомою. Реєструючий пристрій повинен забезпечувати реєстрацію сигналу у всьому діапазоні сигналів, що надходять з приймача випромінювання. У даній роботі в якості приймача випромінювання і реєструючого пристрою використовується вимірювач оптичної потужності ОТМ-1 (λ = 1550 нм).

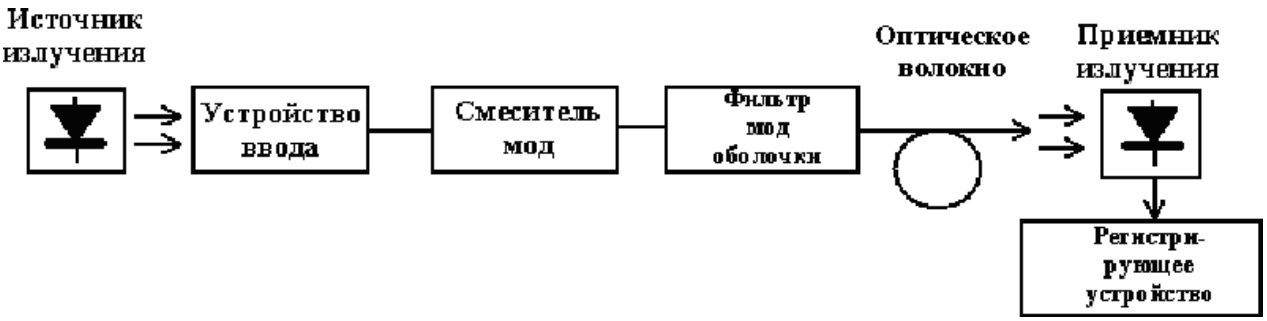


Рис. 1. Схема установки для вимірювання загасання ОВ методом обриву

Завдання

втрати з'єднання волоконних світловодів

I. Багатомодові світлопроводи ВС1 і ВС2

Зібрати установку відповідно до рис.1, використовуючи багатомодові світловоди; виміряти оптичну потужність на виході світловоду ВС1 (Р 1) за допомогою вимірника оптичної потужності; за допомогою мікропозіціонера провести юстування світловода ВС2 в оптимальне положення щодо ВС1, щоб отримати максимальну потужність на виході ВС2 (Р2 max); визначити мінімальні втрати за формулою:

Amin = -10 lg (P1 / P2 max)[ДБ]. (8)

З знайденого оптимального положення за допомогою шкали мікропозіціонера вводити послідовно різні значення неузгодженості: поперечного (x 1, x2, ..., xn), поздовжнього (z 1, z 2, ..., zn), кутового (θ 1, θ 2, ..., θ n).

Для цих положень виміряти вихідну потужність і визначити по формулі (8) втрати з'єднання світловодів ВС1 і ВС2. Із знайдених залежностей А (x), А (z), А (θ) визначити величини неузгодженостей x, z і, які призводять до збільшення втрат на 1 дБ для багатомодових світловодів.

Провести розрахунок залежності втрат з'єднання багатомодових світловодів від величин поперечного (x), поздовжнього (z) і кутового (θ) неузгодженостей. Порівняти розрахункові залежності втрат і певні експериментально в п.1.2.

II. Одномодові світлопроводи ВС1 і ВС2

Зібрати установку відповідно до рис.1, використовуючи одномодові світловоди і провести її юстирування аналогічно п.1.1.

За допомогою мікропозіціонера ввести різні величини поперечних (x), поздовжніх (z), і кутових (θ) неузгодженостей і побудувати експериментальні залежності А (x), А (z), А (θ) аналогічно п.1.2.

Провести розрахунок залежностей А (x), А (z), А (θ), використовуючи формули (5-7), і провести порівняння з експериментальними залежностями

п.2.2. Визначити величини неузгодженостей x, z і θ, які призводять до збільшення втрат на 1 дБ для одномодових світловодів.

вимірювання загасання оптичних волокон методом обриву

1. Перед вимірами ОВ витримують в нормальних кліматичних умовах не менше 3 ч.

2. За допомогою пристрою введення провести юстування вхідного торця вимірюваного ОВ по максимуму сигналу на виході вимірювача оптичної потужності. Фіксують положення вихідного торця ОВ і зареєструвати значення сигналу на виході ОВ.

3. Не змінюючи положення ОВ в пристрої введення, від вихідного кінця вимірюваного ОВ обламати шматок завдовжки 0,5 3 см. Обробити торець відповідно до вимог, зазначених раніше. Підготовлений вихідний торець ОВ знову встановити поблизу фоточутливої майданчика так, щоб все випромінювання потрапляло на майданчик приймача. Зареєструвати значення сигналу на виході ОВ. Повторити вимірювання не менше трьох разів.

4. Не змінюючи положення ОВ в пристрої введення, від вихідного кінця вимірюваного ОВ обламати шматок завдовжки 1 ± 0,2 м. Обробити торець відповідно до вимог, зазначених раніше. Підготовлений вихідний торець ОВ знову встановити поблизу фоточутливої майданчика так, щоб все випромінювання потрапляло на майданчик приймача. Зареєструвати значення сигналу на виході ОВ. Повторити вимірювання не менше трьох разів.

5. Повторити п.3.

6. Розрахувати повні втрати в вимірюваному ОВ по формулі

$$A(\lambda)=T1(\lambda)-T2(\lambda), \quad (1)$$

Де A (λ) - загасання ОВ, дБ; T1 (λ), T2 (λ) - значення сигналів,

що відповідають рівням потужності на вході і виході ОВ, дБм; -

довжина хвилі, на якій проведені вимірювання, мкм.

7. Розрахувати коефіцієнт загасання вимірюваного ОВ на фіксованій довжині хвилі за формулою

$$a(\lambda)=A(\lambda)/(L2-L1), \quad (2)$$

де a(λ) - коефіцієнт загасання ОВ; L1 - довжина короткого відрізка ОВ, км; L2 - довжина довгого відрізка ОВ, км.

Контрольні питання

1. Які причини виникнення втрат при з'єднанні волоконних світловодів?

2. Які неузгодженості найбільш сильно впливають на втрати з'єднання світловодів?

3. Порівняти величини неузгодженостей, що призводять до однакового зміни втрат для багатомодових і одномодових світловодів.

4. Які основні типи втрат в ОВ?
5. Який механізм втрат в короткохвильовій області спектра?
6. Який механізм втрат в довгохвильовій області спектра?
7. Що таке межмодовая дисперсія?
8. Що таке матеріальна дисперсія?
9. У чому основна ідея методу обриву?

3 **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:

$$I(r)I0\exp(r^2/r^2_{п}), \quad (1.2)$$

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:

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

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.

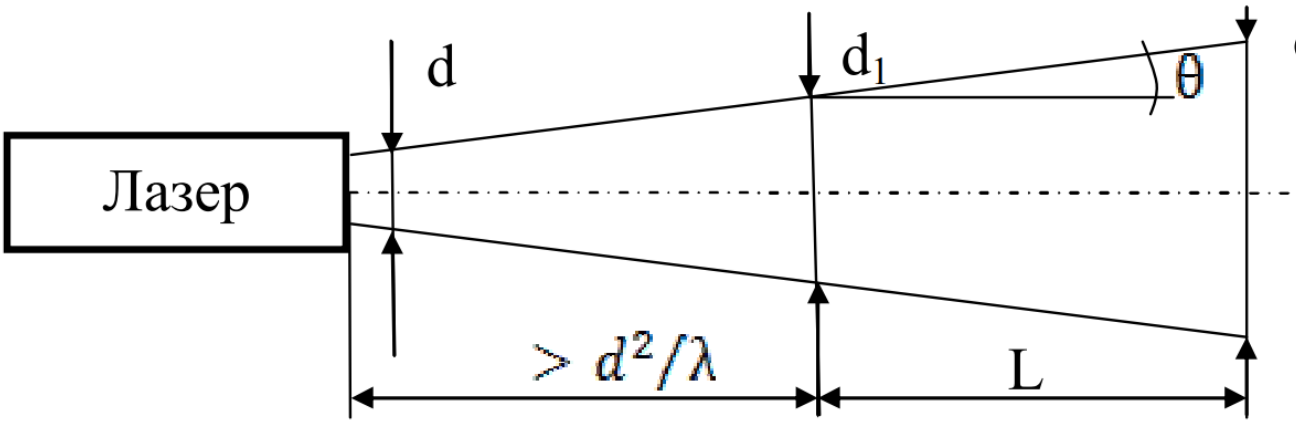


Рис. 1.1. Принципова схема методу двох перетинів

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.

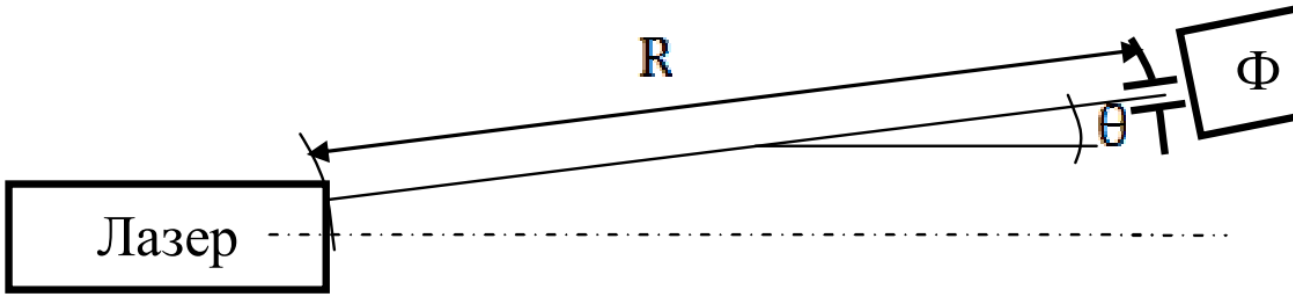


Рис. 1.2. Принципова схема методу реєстрації діаграми спрямованості

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.).

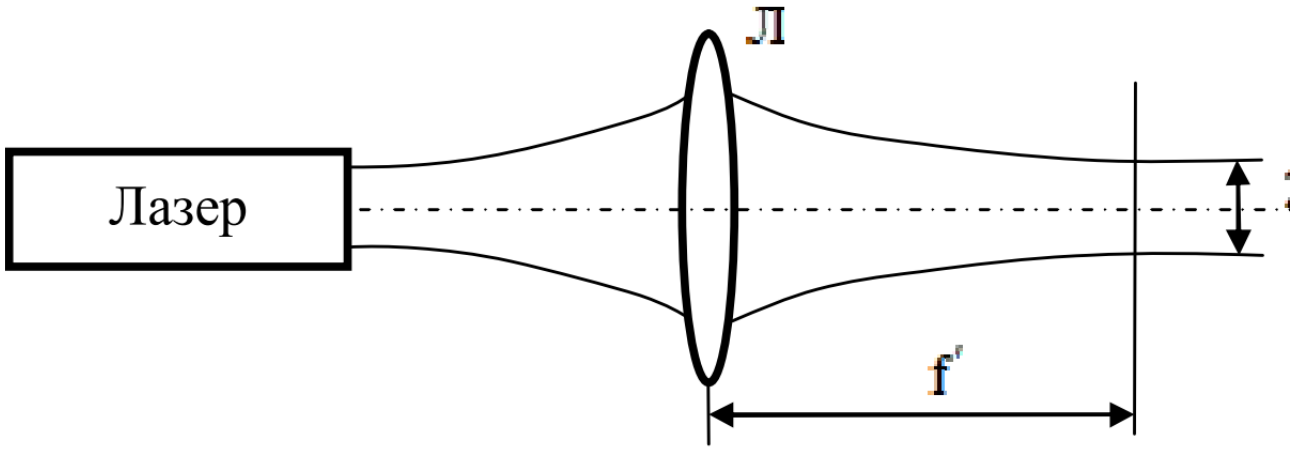


Рис. 1.3. Принципова схема методу фокальної плями

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 а - 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.

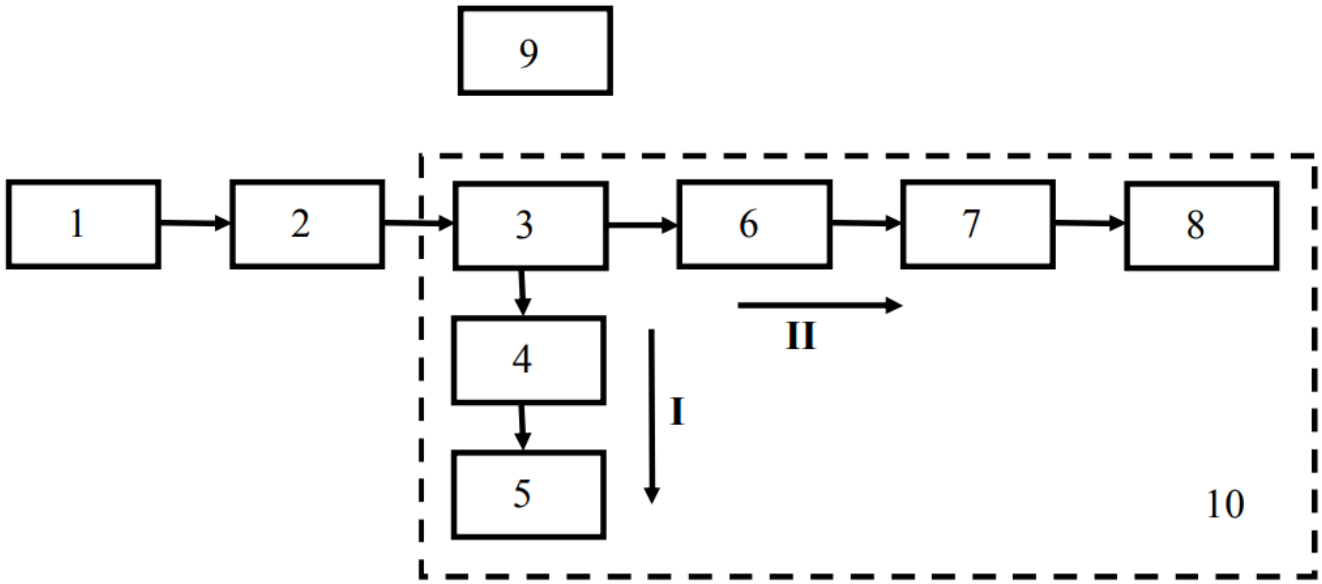


Рис. 1.4. Структурна схема методу каліброваних діафрагм 1 – лазер, 2 – послаблювач, 3 – розгалужувач, 4, 7 – оптична система, 5, 8 – вимірювач потужності, 6 – калібрувальна діафрагма, 9 – юстувальний прилад, 10 – пристрій для вимірювання діаметру пучка випромінювання

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):

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

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

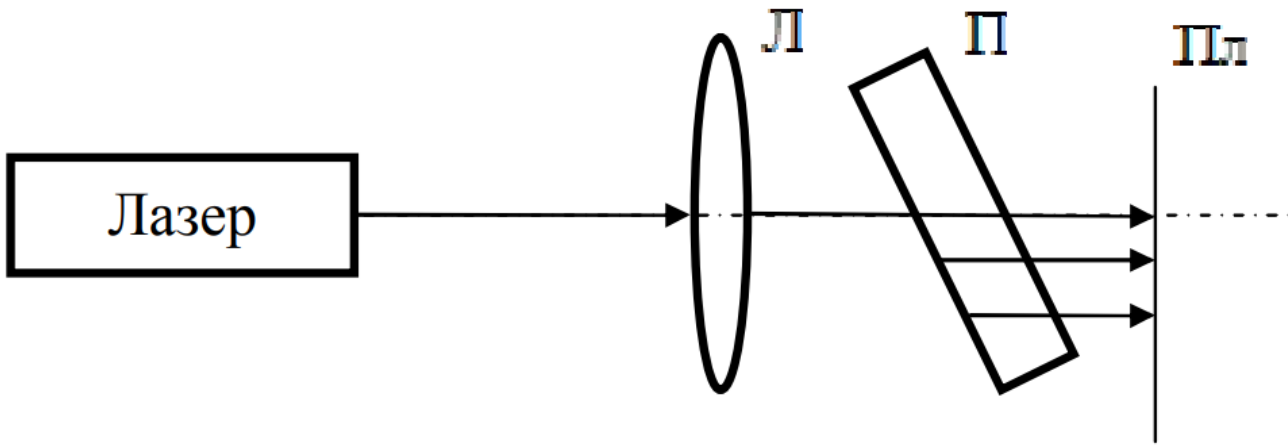


Рис. 1.5. Схема автокалібрувального способу вимірювання розходження випромінювання

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 5х5 до 10х10 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 15х15 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.

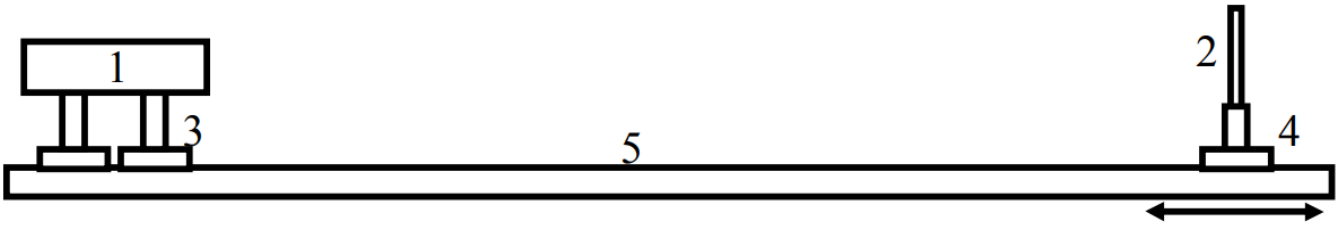


Рис. 1.6. Структурна схема установки для вимірювання розходження випромінювання методом двох перерізів 1 – лазер, 2 – екран, 3 – рейтер для кріплення лазера, 4 – рейтер для кріплення екрану, 5 – оптична лава

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.

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 .

Переміщати екран по оптичній лаві з кроком 0,25 м та проводити вимірювання діаметру d2 .

Розрахувати значення кута θ за формулою 1.2 і побудувати графік залежності кута розходження θ випромінювання лазера від положення площини вимірювання Li.

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.

4 Дослідження уражень рогівки ока при проведенні флуоресцентного аналізу

Теоретичні відомості

Флуоресценція знайшла широке застосування у різноманітних прикладних біологічних та біомедичних дослідженнях. Це фізичне явище, суть якого полягає в короткочасному поглинанні кванта світла флуорофором (речовиною, що здатна флуоресціювати) із наступною швидкою емісією іншого кванту, що має властивості, відмінні від вихідного. Багато напрямків у біофізиці, молекулярній та клітинній біології виникли та розвиваються саме завдяки впровадженню нових методів, що базуються на флуоресценції. Варто навести декілька прикладів.

Для біофізиків флуоресценція стала швидким та чутливим методом дослідження структури, динаміки та функцій біологічних макромолекул — нуклеїнових кислот та білків.

Метод секвенування ДНК за Сангером був значно вдосконалений у другій половині 1980-х років саме завдяки впровадженню флуоресцентної детекції. Важливим наслідком цього стала вища швидкість та надійність секвенування. Окрім цього метод було автоматизовано. Це відкрило технічну можливість проведення широкомасштабного (за масштабами того часу) секвенування та дозволило розпочати проект «Геном людини» на початку 1990-х років. Крім прямого секвенсування (методом Сангера), флуоресценція продовжує використовуватись у методах секвенування ДНК наступних поколінь (англ. Next generation sequencing).

Флуоресценція дала новий поштовх для розвитку клітинної біології. Завдяки конфокальній флуоресцентній мікроскопії та розробці нових флуоресцентних міток на базі зеленого флуоресцентного білка (GFP) та його аналогів з'явилась можливість отримувати специфічні контрастні забарвлення та робити фотознімки з високим розділенням багатьох внутрішньоклітинних білкових структур. Розробка нових флуоресцентних зондів — речовин що змінюють флуоресценцію коли до них приєднується певна молекула — дала можливість детально досліджувати хімічних склад живих клітин та навіть організмів, а також його зміни у часі і просторі, що поклало початок флуоресцентній молекулярній візуалізації (англ. molecular imaging).

Починаючи із середини XX-го століття, аналітичні методи, що базуються на використання явища флуоресценції, широко застосовуються у клінічній хімії та молекулярній діагностиці. Зокрема були розроблені та впроваджені чутливі методи для швидкого аналізу стероїдних гормонів, порфіринів, катехоламінів, метаболітів медичних препаратів та інших діагностично важливих хімічних речовин у сечі та плазмі крові. За допомогою імуноферментного аналізу (ELISA) із використанням флуорогенних субстратів проводять детекцію біомаркерів різних захворювань.

Активно розроблюються методи флуоресцентної діагностики in vivo. Зокрема створені флуоресцентні зонди, що селективно забарвлюють злоякісні утворення та допомагають виявляти їх під час ендоскопічного обстеження або томографії. Також на основі флуоресцентного забарвлення тканин були

розроблені новітні методики проведення хірургічних операцій для видалення злоякісних пухлин (англ.: image-guided surgery). Перед операцією ракова пухлина селективно забарвлюється флуоресцентним барвником. Під час самої операції спеціальне обладнання реєструє флуоресцентний сигнал, дозволяючи хірургу більш точно розрізняти злоякісну та здорову тканину.

Завдання

1. Ознайомитися з методичними вказівками по роботі на приладі.
2. Отримати у викладача пробу.
4. Виставити необхідні значення струму і напруги, а так само інші необхідні параметри для проведення дослідження зразка.
5. Провести сканування проби.
6. Пояснити фізичні явища, які відбуваються при аналізі.
7. Скласти звіт.

5 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.

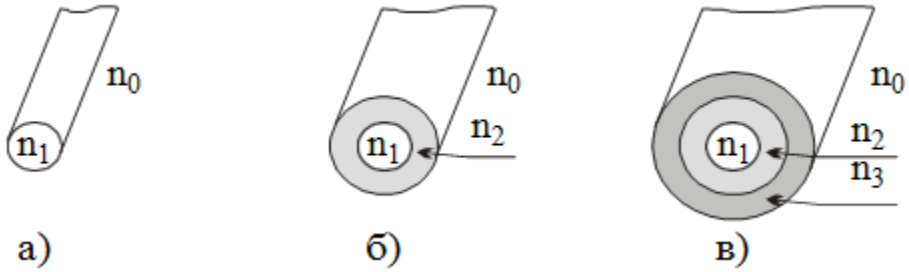


Рисунок 1.2 - Волоконні світловоди, а – одношарові, б – двошарові, в – тришарові

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.

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

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

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, (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).

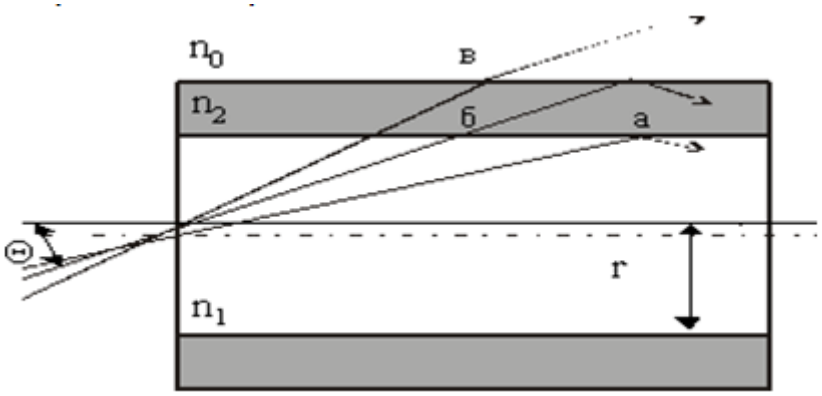


Рисунок 1.3 - Моди в ступінчастому ВОС

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

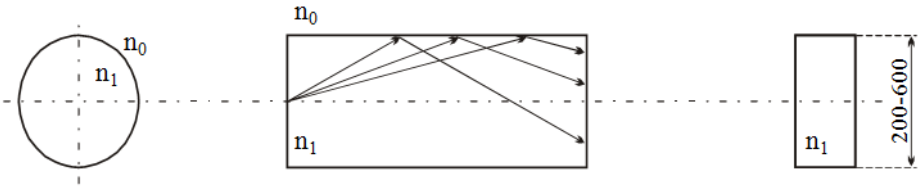


Рисунок 1.4 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна без покриття: хід променів; розміри діаметра серцевини в мкм

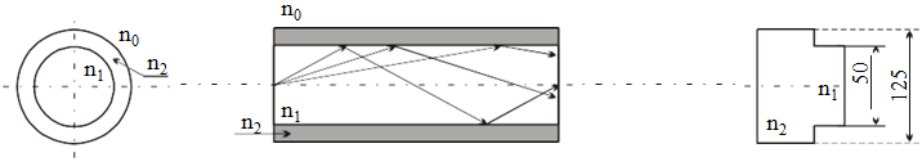


Рисунок 1.5 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового багатомодового світловоду: хід променів; розміри діаметра серцевини і оболонки в мкм

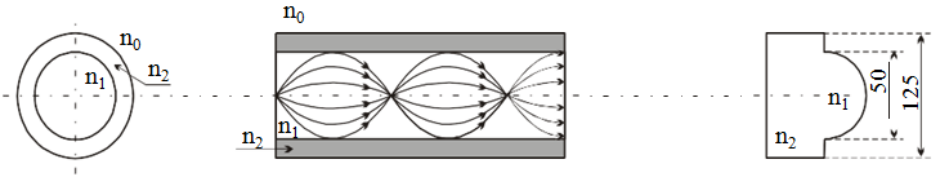


Рисунок 1.6 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна градієнтного багатомодового світловоду: хід променів; розміри серцевини і оболонки в мкм

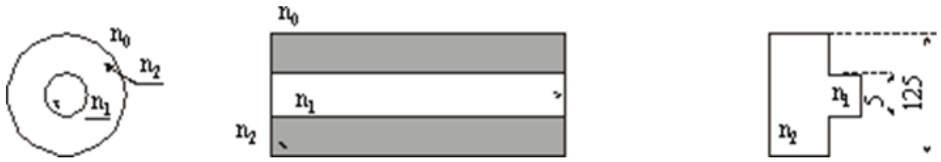
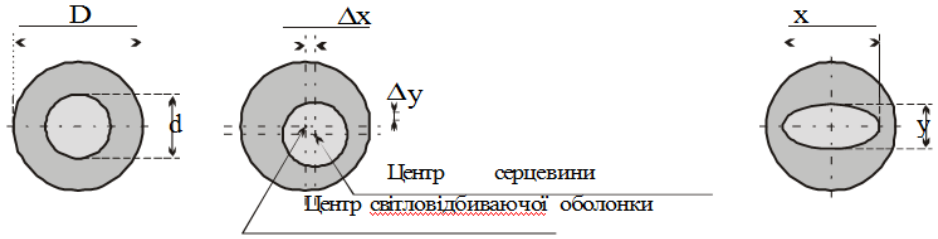


Рисунок 1.7 - Поперечний перетин, розподіл ПЗ для волокна двошарового одномодового світловоду: хід променів; розміри діаметра серцевини в мкм

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:

$$a = a+a_к=a_n+a_p+a_k, \qquad (1.5)$$

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.

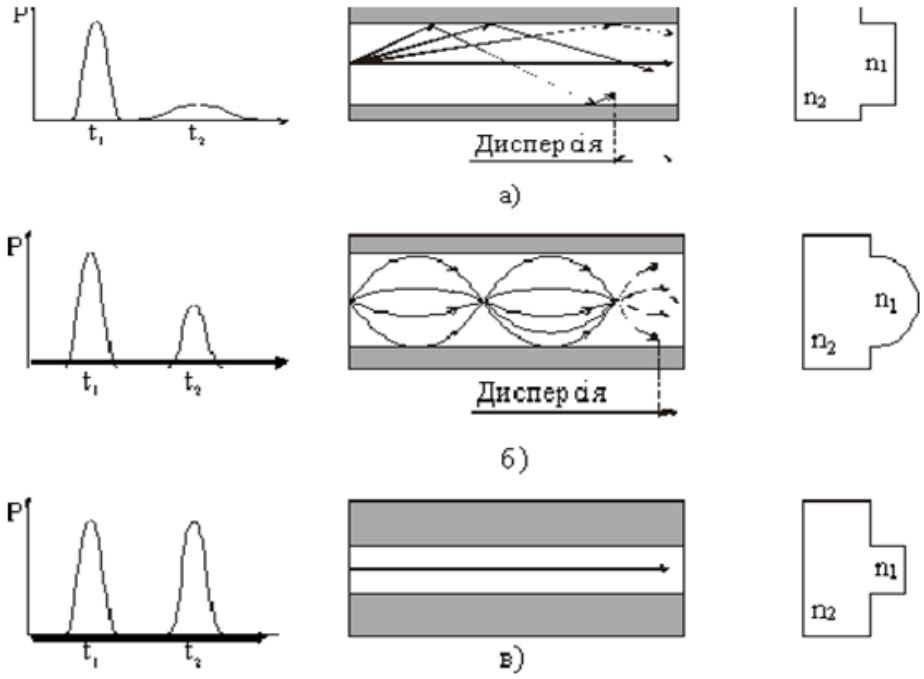


Рисунок 1.21 - Поширення світла у різних ОВ, а) багатомодове східчасте ОВ; б) багатомодове градієнтне ОВ; в) одномодове східчасте ОВ

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:

$W = 440/\tau$ Мгц, де τ береться в нс. (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:

$\tau мат\,(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda L(\lambda/c)(d^2n1/d\lambda^2)=\Delta\lambda LM(\lambda)$, (1.10)

Хвильоводна дисперсія обумовлена залежністю коефіцієнта поширення моди від довжини хвилі:

$\tau мат(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda L(2/c)(n^2/\lambda)=\Delta\lambda LN(\lambda)$, (1.11)

де L - довжина волокна, λ - довжина хвилі, c - швидкість світла, n1 - ПЗ серцевини, $M(\lambda)$ - питома матеріальна дисперсія, $N(\lambda)$ – питома хвильоводна дисперсія, $\Delta\lambda$ (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, (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° – a0), поширюються в серцевині.

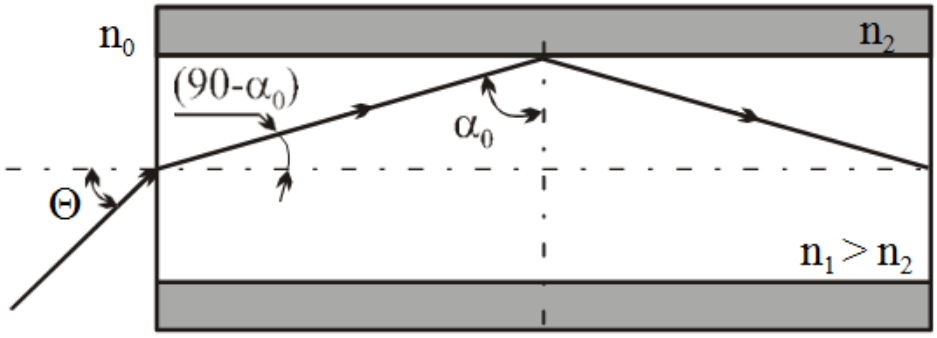


Рисунок 1.22 - Поширення світла у ВОС

Завдання

Скласти реферат з однієї із запропонованих тем.
Теми:

Мультиплексор. Демультиплексор.
Підсилювач сигналу..
Джерело монохромного когерентного оптичного випромінювання. Модулятор.
Фотоприймач.
Оптичний кабель.
Оптична муфта.
Оптичний крос.
Переваги ВОЛП.
Недоліки ВОЛП.
Монтаж ВОЛП.

6 Способи отримання наноматеріалів.

Теоретичні відомості

Наноматеріали — матеріали, створені з використанням наночасток та/або за допомогою нанотехнологій, що мають певні унікальні властивості, зумовлені присутністю цих частинок у матеріалі. До наноматеріалів відносять об'єкти, один з характерних розмірів яких лежить в інтервалі від 1 до 100 нм. Європейська комісія рекомендувала вживати префікс «нано-» стосовно матеріалів (природного та штучного походження), які містять частинки у вільному вигляді, у вигляді груп або агломератів (коли частинки пов’язані певним стороннім матеріалом), як мінімум 50 відсотків з яких має один із лінійних розмірів у межах від 1 до 100 нанометрів. В конкретних випадках, коли йдеться про здоров’я, довкілля або конкурентоспроможність, частка частинок із розмірами від 1 до 100 нанометрів може бути в межах від 1 до 50 відсотків. Наголошується також, що фулерени, графенові пластівці та вуглецеві нанотрубки, в яких один із вимірів може бути менше нанометра (наприклад, товщина листа графена – один атом вуглецю, радіус якої дорівнює 91 пікометру), також належать до наноматеріалів.

Вуглецеві наноматеріали (англ. Carbon nanomaterials) - збірний термін, яким позначають різні низькорозмірні структури або наноструктуровані матеріали, основою яких є вуглець. До вуглецевим наноматеріалів відносять: фулерени і їх похідні; вуглецеві нанотрубки; вуглецеві нановолокна; наноалмази; графени. Вуглецеві наноматеріали часто виступають в якості наповнювача для композитів, найбільш відомими серед яких є композиційні матеріали з полімерною матрицею.

Властивості наноматеріалів, як правило, відрізняються від аналогічних матеріалів в масивному стані. Наприклад, у наноматеріалів можна спостерігати зміну магнітних, тепло- і електропровідних властивостей. Для особливо дрібних матеріалів можна помітити зміну температури плавлення в сторону її зменшення. Для наноматеріалів актуальна проблема їх зберігання і транспортування. Володіючи розвиненою поверхнею, матеріали дуже активні і охоче взаємодіють з навколишнім середовищем, перш за все це стосується металевих наноматеріалів. Застосування наноматеріалів поки не дуже широко розвинене, оскільки докладний їх вивчення тільки почалося і зараз йде накопичення знань про ці матеріали. У генної інженерії вектори на основі наноматеріалів використовуються для доставки біологічно активних речовин в клітини.

Способи отримання наноматеріалів можна розділити на дві групи: збірка з атомів та розпорошення макроскопічних матеріалів.

Збірка з атомів - маніпуляція атомами, спрямоване переміщення і позиціонування атомів в просторі.

Скануюча зондова мікроскопія – метод маніпуляції атомами, використовуючи міжатомні сили між атомом голки і атомом на поверхні, а також електростатичні сили, що діють з боку голки на поверхню, або ж струми високої щільності, можна чіпляти атоми до голки, переміщати їх по поверхні в потрібне місце, видаляти непотрібні, осаджувати додаткові атоми з голки.

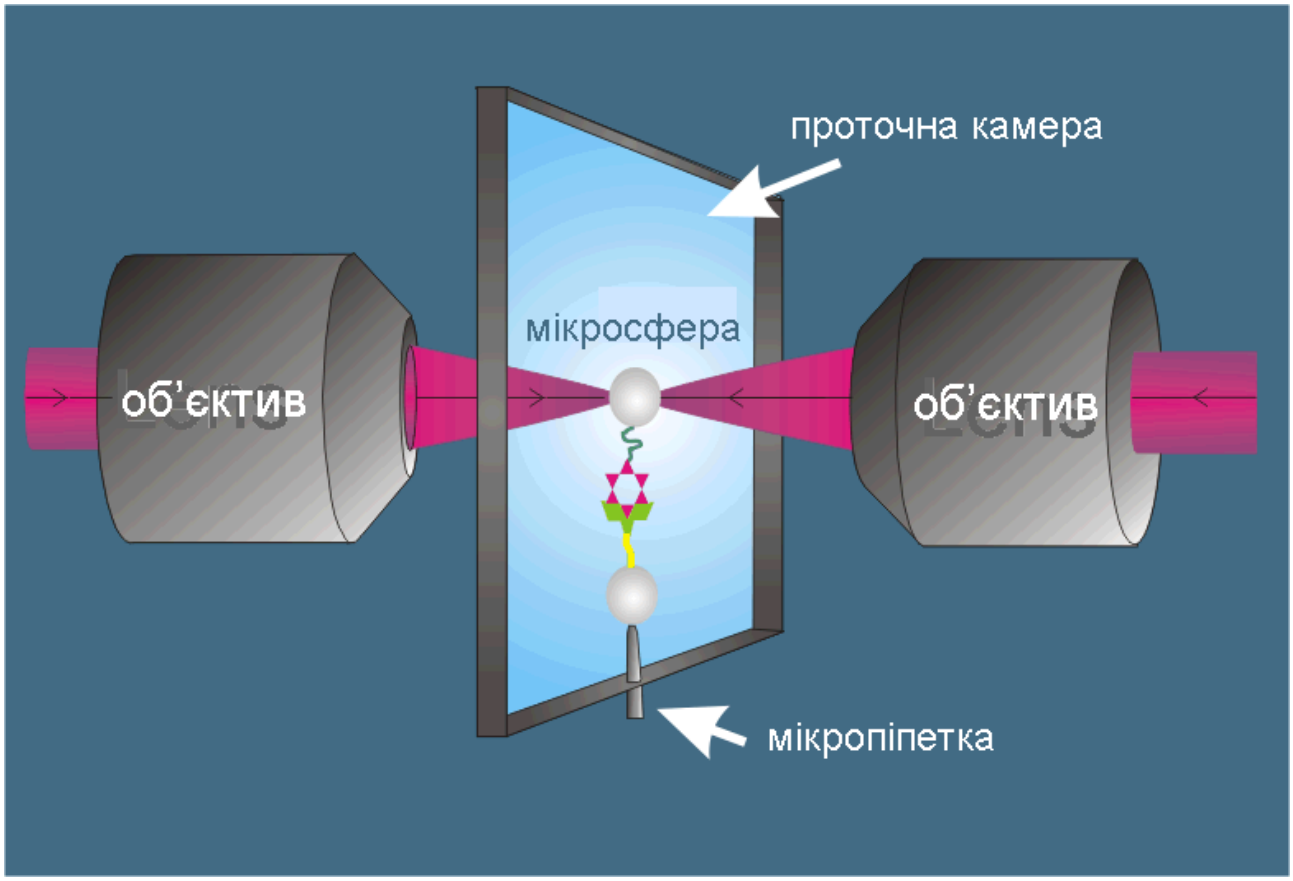
Тобто, для атомних маніпуляцій і спостереження служить один і той же прилад: можна спочатку оглянути поверхню, вибрати об'єкт для маніпуляцій, зробити їх, а потім перевірити результат.

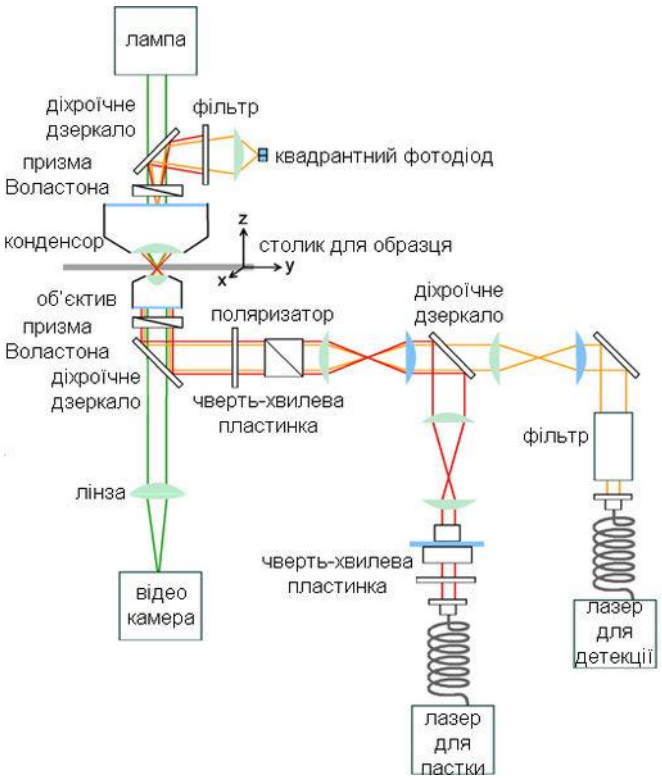
Лазерні щипці, оптичні щипці, оптичний пінцет або оптична пастка — науковий прилад, що дозволяє маніпулювати мікроскопічними об'єктами за допомогою лазерного світла (зазвичай лазерного діоду). Вони дозволяють прикладати сили від фемтоньютонів до наноньютонів і вимірювати відстані від кількох нанометрів до мікронів. Маленькі діелектричні сфери взаємодіють з електричним полем, створеним пучком світла, за рахунок наведеного дипольного моменту. В результаті взаємодії цього диполя з полем, сфера втягується уздовж електричного градієнту поля до точки найвищої інтенсивності світла. Крім градієнтної сили, на сферу також діє розсіююча сила, викликана відбиттям світла від її поверхні. Ця сила штовхає сферу уздовж пучка світла. Проте, якщо промінь сильно сфокусований, градієнт інтенсивності долає силу світлового тиску.

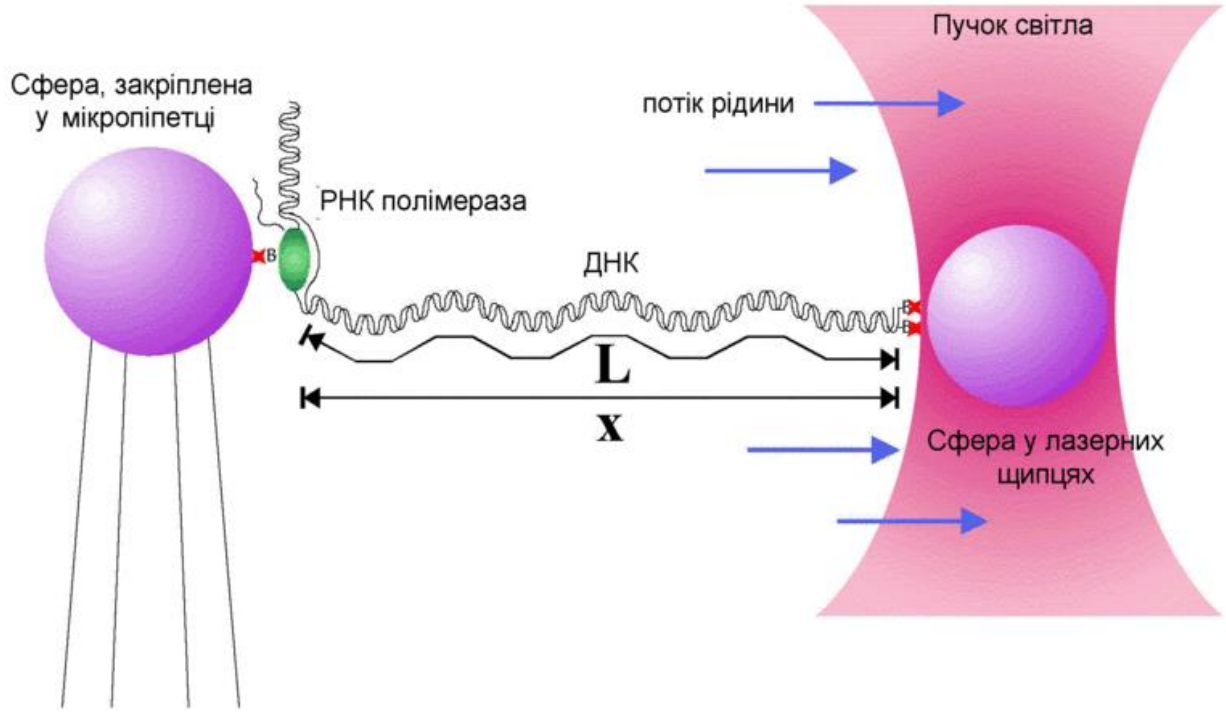
Найпростіше зрозуміти сили, які діють на мікроскопічну частинку з боку сфокусованого променя, можна використовуючи принципи геометричної оптики. Попадаючи на частинку промінь відбивається і заломлюється. При цьому змінюється напрям його руху, а отже й імпульс фотонів. За законом збереження імпульсу, зміна імпульсу передається частинці.

Використовуючи просту діаграму променів і розглядачючи напрямки імпульсів відбитих і заломлених променів, можна помітити, що на мікросферу діють дві різні оптичні сили. Як видно з діаграми, результуюча сила тягне сферу у напрямку області найвищої інтенсивності променя. Ця сила називається градієнтною. Крім того, на сферу діє світловий тиск, штовхаючи її в напрямку падіння променя.

Щоб досліджуваний об'єкт залишався непорушним, необхідно скомпенсувати силу, зумовлену тиском світла. Це можна зробити, використовуючи два зустрічні пучки світла, які штовхатимуть сферу в протилежних напрямках, або за допомогою сильно сфокусованого гаусівського пучка (з високою числовою апертурою, NA>1.0). В цьому випадку світловий тиск компенсується високою градієнтною силою.


проточна камера
мікросфера
об'єктив
об'єктив
мікропіпетка


лампа
діхроїчне дзеркало
фільтр
квадрантний фотодіод
призма Волластона
конденсор
z
столик для образця
y
x
об'єктив
призма Волластона
діхроїчне дзеркало
поляризатор
чверть-хвилева пластинка
діхроїчне дзеркало
фільтр
лінза
чверть-хвилева пластинка
відео камера
лазер для детекції
лазер для пастки



Розпорошення макроскопічних матеріалів – диспергування, тонке подрібнення та розподіл в якомусь об’ємі твердого матеріалу, рідини або газу, в результаті якого виникають дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії, аерозолі.

Різняють: 1. Процес тонкого подрібнення під дією зовнішніх сил більших частинок речовини на менші. 2. Розбавлення завдяки дифузії чи турбулентності. 3. Розсіювання дрібно подрібненої речовини в середовищі (рідкому або газовому).

Методи диспергування: вальцювання або прокатка; хімічний; осадження з газової фази; плазмове розпилення; подрібнення вібраційними, планетарними, кульовими та іншими млинами; ударний стиск вибухом; ультразвукове диспергування; екструзія.

Завдання

Скласти реферат з однієї із запропонованих тем.

Теми:

Властивості наноматеріалів.

Збірка з атомів. Манипуляция атомами.

Розпорошення макроскопічних матеріалів. Диспергування.

Створення наноматеріалів одним із методів диспергування: хімічний, осадження з газової фази, плазмове розпилення, ультразвукове диспергування, екструзія, та інші.

Типи наноматеріалів.

Квазінульмірні, квазіодномірні, квазідвумірні, квазітримірні наноматеріали .

Функціональні, композиційні, конструкційні наноматеріали.

7 **Властивості нанотрубок**

Теоретичні відомості

Нанотру́бки — протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох мікронів, складаються з однієї або декількох згорнутих у трубку гексагональних графітових площин (графенів) і закінчуються зазвичай півсферичною головкою. Відношення довжини до діаметра у нанотрубок сягає 132 000 000: 1, що значно більше, ніж у будь-якого іншого матеріалу. Бувають одно- і багатошарові. Відповідно діаметр цих трубок лежить у межах 0,4—500 нм, а довжина сягає від 1 мкм до декількох десятків мікрометрів (при синтезі довгих волокон — і до десятків см). Утворюються при розкладанні вуглецевмісних газів (CH4, C2H4, C2H2, CO, пари C6H6 тощо) на каталітично активних поверхнях металів (Fe, Co, Ni тощо) при температурах 300–1500 °C. Нанотрубки можуть набувати найрізноманітніших форм — від прямолінійних до скручених волокон (у тому числі спіралей). Головна особливість цих вуглецевих наноструктур (як і фулеренів) — каркасна форма. Виявлені природні форми нанотрубок вуглецю (наприклад, у шунгітах), а також можуть продукуватися штучно. При цьому встановлено, що природні нанотрубки утворюються при обробці вуглецевмісних біологічних тканин особливим грибком — карбоксиметилцелюлофагом, який виявлений, зокрема, в карстових печерах Нової Зеландії та в Карелії (родовище шунгіту).

Основні властивості

Міцнісні властивості. нанотрубки дуже міцні як на розтяг, так і на згинання — модуль пружності вздовж осі трубки становить 7000 ГПа, тоді як для легованої сталі і найпружнішого металу ітрію відповідно 200 і 520 ГПа.

Адсорбція газів нанотрубками може відбуватися на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, а також у міжтрубному просторі. Так, експериментальне вивчення адсорбції азоту при температурі 77 К на багатошарових трубках із мезопорами завширшки 4,0±0,8 нм показало, що на внутрішній поверхні адсорбується у 5 разів більше частинок, ніж на зовнішній, а ізотерми цих процесів мають різний вигляд. Адсорбція у мезопорах загалом відбувається за класичною теорією капілярної конденсації, а обчислений діаметр пор дорівнює 4,5 нм. Певна специфічність процесу пов'язана із тим, що трубки відкриті тільки з одного кінця. Зростки одношарових нанотрубок добре адсорбують азот. Вихідні очищені трубки мали внутрішню питому поверхню 233 м²/г, зовнішню — 143 м²/г. Обробка нанотрубок соляною та азотною кислотами збільшувала сумарну питому поверхню і збільшувала адсорбційну ємність за бензолом та метанолом.

Електропровідність вуглецевих нанотрубок є ключовим параметром цих об'єктів, від неї залежить їх подальше використання з метою мініатюризації приладів мікроелектроніки. Як показують результати чотириконтактних вимірювань температурних залежностей питомого опору плівки нанотрубок, виконаних в діапазоні температур $0{,}03 < T < 300$ К, величина опору, виміряного у напрямку, що збігається з напрямком орієнтації нанотурбок Rпар, знаходиться у діапазоні від 1 до 0,08 Ом. При цьому характер температурної

залежності опору наближений до залежності T1/2. Аналогічною функцією описується температурна залежність опору Rпар, що вимірюється у поперечному напрямку. Анізотропія опору Rперп/Rпар наближена до 8 і практично не залежить від температури. При температурах нижче 0,1 К обидві залежності виходять на насичення. Як видно із порівняння результатів вимірювань із наведеними нижче даними, що отримані для індивідуальних нанотрубок, значення питомого опору плівки нанотрубок суттєво перевищує величину, яка характеризує індивідуальну нанотрубку, питомий опір якої, у свою чергу, близький до відповідного значення для графіту. Звідси випливає, що питомий опір плівки нанотрубок визначається не стільки самими нанотрубками, скільки точками контакту між окремими нанотрубками, так що за перенос заряду відповідає стрибковий механізм. Наявність анізотропії вказує на те, що число точок контакту на одиницю довжини в поздовжньому напрямку значно менше, ніж у поперечному. Падіння опору із ростом температури вказує на активаційний характер стрибкового переносу заряду. При дуже низьких температурах головним механізмом провідності залишається квантове підбар'єрне тунелювання, що обмежує опір. Обробка експериментальних даних дозволила оцінити висоту потенціального бар'єру (10 меВ) та довжину стрибка (10 нм).

Одна з помітних властивостей нанотрубок — чітко виражена залежність електропровідності від магнітного поля. При цьому у більшості дослідів спостерігається ріст провідності із збільшенням магнітного поля, що відповідає результатам модельних передбачень, згідно з якими магнітне поле, лінії якого орієнтуються перпендикулярно до осі зразка, призводить до утворення рівня Ландау у точці перетину валентної зони та зони провідності. Густина станів на рівні Фермі зростає, внаслідок чого провідність збільшується. У рамках даної моделі передбачається, що за низьких температур магнітоопір не залежить від температури, а за температур, що більші або наближені до ширини рівня Ландау, він зменшується із температурою. Ця залежність корелює із результатами вимірювань електричного опору джгутів багатошарових трубок діаметром близько 50 нм. Прояв властивостей напівпровідника або металу в Н.в. також залежить від їх геометричних параметрів і виду каталізатора.

Розрізняють металеві і напівпровідникові нанотрубки. Металеві нанотрубки проводять електричний струм навіть при абсолютному нулі температур, тоді як провідність напівпровідникових трубок рівна нулю при абсолютному нулі і зростає при підвищенні температури. Технічно кажучи у напівпровідникових трубок існує заборонена зона.

Структура нанотрубок

Як випливає з визначення, основна класифікація нанотрубок проводиться за способом згортання графітової площини. Цей спосіб згортання визначається двома числами n і m, які задають розкладання напряму згортання на вектора трансляції графітових ґраток.

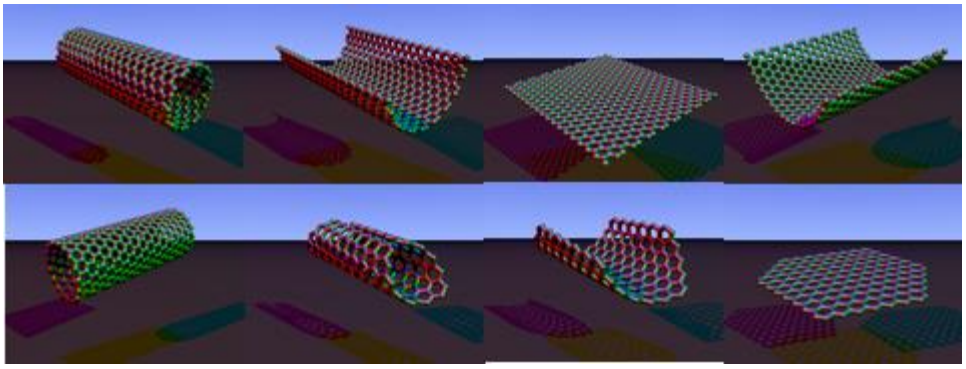
За значенням параметрів (n, m) розрізняють:

прямі (ахіральні) нанотрубки;

крісло (armchair) n=m;

зигзагоподібні (zigzag) m=0 або n=0;

спіральні (хіральні) нанотрубки.



Як неважко здогадатися, при дзеркальному відображенні (n, m) нанотрубка переходить в (m, n) нанотрубку, тому, трубка загального вигляду дзеркально несиметрична. Прямі ж нанотрубки або переходять в себе при дзеркальному відображенні (конфігурація «крісло»), або переходять в себе з точністю до повороту.

Одношарові і багатошарові нанотрубки

Сказане відноситься до простих одношарових нанотрубок. У реальних умовах трубки нерідко виходять багатошаровими, тобто є декількома одношаровими нанотрубками, вкладені одна в іншу.

Одношарові та багатошарові коаксіальні нанотрубки утворюються в результаті згортання смуг плоских атомних сіток графіту у безшовні циліндри. Внутрішній діаметр вуглецевих нанотрубок може змінюватися від 0,4 до кількох нанометрів, а у внутрішній об'єм можуть входити інші сполуки. Одношарові трубки мають менше дефектів, а після високотемпературного випалення у інертній атмосфері можна отримати і бездефектні трубки. Тип будови трубки впливає на її хімічні, електронні та механічні властивості. Індивідуальні трубки агрегують із утворенням різних типів зростків, що мають щілини.

Багатошарові нанотрубки відрізняються від одношарових ширшим набором форм та конфігурацій. Різні види будови виявляються як у поздовжньому, так і в поперечному напрямі. Будова багатошарового типу являє собою сукупність коаксіально вкладених одна в одну одношарових циліндричних нанотрубок. Інший різновид цієї будови, являє собою сукупність вкладених одна в одну коаксіальних призм; остання з наведених структур нагадує сувій (scroll). Для усіх наведених структур характерне значення відстані між сусідніми графеновими шарами, близьке до величини 0,34 нм, що відповідає площинам кристалічного графіту. Реалізація тієї чи іншої будови у певній експериментальній ситуації залежить від умов синтезу нанотрубок.

Здатність до телескопічного руху внутрішніх оболонок та їх унікальні механічні властивості дають змогу до використання багатошарових нанотрубок як основних рухливих частин у майбутніх наномеханічних пристроях. Втягуюча сила, яка призводить до телескопічного руху, обумовлена взаємодією Леннард-Джонса між оболонками, а саме значення сили становить близько 1,5 пН, та залежить від розмірів зразка.

Хіміні властивості нанотрубок

Спочатку головним був метод випаровування графіту у електричній дузі в потоці інертного газу. Його активно використовують і нині.

Подібним способом в присутності CeO2 та нанорозмірного нікелю отримані одношарові вуглецеві нанотрубки 0,79 нм. Дугу замінило випаровування графітової мішені в нагрітій печі стрибаючим променем лазера. Сьогодні все поширенішим стає каталітичний піроліз метану, ацетилену та оксиду вуглецю. Нанотрубки із діаметром 20—60 нм отримані при згорянні метану на дроті Ni — Cr. Багатошарові нанотрубки довжиною 30—130 мкм із внутрішнім діаметром 10—200 нм синтезовані із високим виходом при піролізі аерозолю, розчину бензолу з фероценом за температури 800–950°C.

Метод заснований на використанні розчинів вуглеводнів та каталізаторів. Отримання нанотрубок — процес, що важко контролюється, як правило, він супроводжується утворенням інших форм вуглецю. У наш час під терміном «хімія нанотрубок» мають на увазі синтез, очищення і різні форми хімічної модифікації внутрішньої та зовнішньої поверхні трубок. До хімії нанотрубок можна також віднести введення інших частинок у міжтрубний простір зростків, використання нанотрубок як матриць для отримання різних матеріалів, включаючи адсорбенти, сенсори та каталізатори.

Особливості будови вуглецевих нанотрубок приводять до того, що їх хімія відрізняється від хімії фулеренів і графіту. Фулерени мають невеликий об'єм внутрішньої порожнини, в якій можуть міститися лише кілька атомів інших елементів, у вуглецевих нанотрубок об'єм більший. Фулерен може утворювати молекулярні кристали, графіт — шаровий полімерний кристал. Нанотрубки — проміжний стан. Одношарові трубки ближчі до молекул, багатошарові — до вуглецевих волокон. Окрему трубку прийнято розглядати як одношаровий, а зросток трубок — як двовимірний кристал. Можливі два варіанти заповнення вуглецевих нанотрубок: у процесі синтезу і після отримання трубок. Для заповнення у процесі синтезу важливі добавки сполук, що зупиняють закриття каналу трубки. До таких речовин належить, наприклад, бор. Внутрішні порожнини трубок вдалося заповнити фулеренами C60 та C70. Подібні матеріали становлять інтерес як композити. Цікаво, що в продуктах лазерно-термічного синтезу після їх випалювання у вакуумі при температурі 1100°C знайдені структури типу наностручка. В таких структурах діаметр трубки (1,4 нм) вдвічі перевищує діаметр молекули C60 (0,7 нм), тож молекули фулерену можуть переміщуватися та формувати пари.

З метою з'єднання трубок необхідно відкрити їх кінці, наприклад, шляхом селективного окиснення. Кінці нанотрубок часто закриті п'яти- або шести-вуглецевими циклами, п'ятивуглецеві цикли менш стійкі до окиснення. Окиснення може бути проведене такими газоподібними речовинами, як кисень, повітря, діоксид вуглецю. Можливе використання водних розчинів. Розкриття кінців трубок проходить в концентрованій соляній кислоті. Можлива обробка і іншими кислотами, найбільш часто використовується азотна кислота. Механізм окиснення повністю не вивчений. Заповнення внутрішніх порожнин можна виконувати у рідких середовищах, наприклад, розплавленими оксидами різних металів. При цьому, якщо діаметр трубок менший за 3 нм, утворюється скловидна, а не кристалічна фаза.

Речовини, що вводяться в порожнини каналів вуглецевих нанотрубок, можуть брати участь в різних хімічних реакціях. При термічному розкладі оксидів і їх відновленні були отримані трубки, що вміщували метали, і

виконано внутрішньотрубчасте перетворення оксиду калію на його сульфід. Заповнення внутрішніх порожнин трубок також можна виконувати шляхом хімічного осаджування з газової фази, використовуючи, наприклад, леткі сполуки металів.

Великий та важливий розділ нанохімії вуглецевих трубок присвячено отриманню різних функціональних груп на їх бічних поверхнях. Реалізація цього процесу можлива за тривалої обробки кислотами, при цьому поведінка одношарових нанотрубок залежить від способу їх отримання. З поверхні трубки функціональні групи можна видаляти за допомогою нагріву до температури вище 623 К.

Приєднання функціональних груп до бічних поверхонь вуглецевих трубок використовують для надання різних функцій зондам атомно-силових мікроскопів. Найкращі результати отримують при застосуванні газів.

Використання вуглецевих нанотрубок як матриць дозволяє отримати частинки міді із вузьким розподілом за розміром. Вихідні трубки із діаметрами від 5—10 до 25—35 нм синтезували каталітичним піролізом метану. Вимірюючи концентрацію солі міді у водному розчині і відношення мідь — трубка, отримували після відновлення воднем або наночастинки, або нанодротинки міді. Найменший розмір частинок міді (5—10 нм) досягався за низьких концентрацій солі міді в розчині. Збільшення концентрації солі сприяло утворенню нанодротинок міді діаметром від 100 нм до 5 мкм та довжиною до сотень мікронів.

Інтеркалювання одношарових та багатошарових трубок різне. У багатошарових трубках частинки, що інтеркалюються, розташовані між окремими шарами, в одношарових — потрапляють крізь міжтрубний простір зростків.

Інтеркалювання нанотрубок відрізняється від аналогічного процесу у фулеренах. Фулерени, наприклад, С60, утворюють комплекси з переносом заряду тільки із донорами електронів. За даними спектроскопії і вимірювань провідності, зростки одношарових трубок мають подвійні властивості: вони можуть взаємодіяти і з донорами, і з акцепторами. Кристалічні зростки одношарових трубок мають металічні властивості. У таких трубках спостерігається позитивний температурний коефіцієнт. Введення брому та калію зменшує електроопір трубок за температури 300 К у 30 разів і розширює межі позитивного температурного коефіцієнта. Як наслідок, трубки, леговані бромом або калієм, можна віднести до синтетичних металів.

Застосування вуглецевих нанотрубок

Унікальні властивості Н.в. обумовлюють їх перспективне використання в ряді галузей: як армуючих добавок в композиційних матеріалах, для одержання електропровідних композиційних полімерів, як добавка в метали для одержання надпровідникових матеріалів, компонент холодних емісійних катодів в дисплеях, якісно нове джерело світла, напівпровідникові транзистори з p-n переходами, для виробництва особливих марок графіту, пористого графіту, сировина для виробництва теплоізоляційних матеріалів, як сорбент і сховище водню, як носій каталізаторів, для виготовлення вуглець-літієвих батарей і суперконденсаторів, як мікроелектрод, як мікрозонд, наноантена і т. д.

Надзвичайно продуктивними є хімічні і біологічні галузі застосування вуглецевих нанотрубок.

Сфери, способи та можливості застосування нанотрубок численні і широкі. Навіть беручи до уваги те, що більша частина результатів останніх дослідів може бути невідома громадськості, вже зараз можна передбачити, що нанотрубки із часом стануть універсальним матеріалом для побудови багатьох об'єктів. Застосування нанотрубок можна розділити на кілька категорій за їх властивостями:

фізичні, наприклад, присадка до композитних матеріалів, що дозволяє створити із звичайного полімеру об'єкт із більшою міцністю і витривалістю, ніж із легованих сталей. Завдяки капілярним властивостям нанотрубок нині створюють ємності для водню, що дозволяє у десятки разів збільшити їх об'ємну ємність;

фізико-хімічні — тут відкривається цілий пласт невідомих реакцій та процесів, із часом нанотрубки стануть основним структурним елементом в електроніці та техніці.

Якщо глобально оцінювати застосування нанотрубок, то можна впевнено стверджувати, що ми стали свідками початку ще однієї технічної революції.

В наступні десять років будуть створені нанороботи-репліканти, на основі нанотрубок та інших наноматеріалів. Головною метою їх створення є побудова інших роботів та структур із атомарною якістю. Важко осягнути всі можливості такої перспективи. Ми зможемо, наприклад, перемогти практично всі інфекційні, хронічні, генетичні хвороби, досить буде мати індивідуальну програму керування для нанороботів та один наноробот-реплікант. Він розмножить себе до достатньої кількості і згідно з програмою буде на молекулярному рівні відшукувати збудника хвороби і переробляти його, наприклад, на глікоген.

Втім, окремі дослідники відзначають, що вуглецеві нанотрубки мають канцерогенну дію, подібну до дії азбесту.

Завдання

Скласти реферат з однієї із запропонованих тем.

Теми:

Механічні властивості нанотрубок.

Адсорбні властивості нанотрубок.

Електропровідні властивості нанотрубок.

Магнітні властивості нанотрубок.

Хіміні властивості нанотрубок.

Застосування вуглецевих нанотрубок.

Структура нанотрубок.

Одношарові і багатошарові нанотрубки.

8 **Перспективи наномедицини.**

Теоретичні відомості

Наномедици́на — це медичне застосування нанотехнології. Так само, як і традиційна медицина, вона включає в себе діагностику, лікування та профілактику хвороби, тільки все це виконується молекулярними інструментами. Перехід до нанорозмірів в медичному інструментарії має цілком логічне пояснення. Основний об'єкт впливу сучасної медицини — це клітина, а часто — макромолекули (ДНК, білки, рідше полісахариди). Але якщо розмір клітин 7-20 мкм, а діаметр подвійної спіралі ДНК 2,4 нм, то й інструменти для їх лагодження повинні бути того ж порядку, що і об'єкт, тобто нанометрового діапазону.

Медичне використання наноматеріалів

Використання золотих нанокапсул, які допомагають діагностувати і лікувати рак, використання ліпосом як допоміжний засіб для вакцин в якості транспорту для ліків. Аналогічно, позбавлення від токсичності ліків - це інше застосування наномедицини. Користь від використання нанорозмірів в медичних технологіях полягає в тому, що менші пристрої менш інвазивних, і їх можна імплантувати всередину тіла, крім того значно менше часу займають біохімічні реакції. Ці пристрої швидше і чутливіші, ніж типові засоби доставки ліків. Просування в ліпідної нанотехнології також використовуються в інженерії медичних наноустройств і нових систем доставки ліків, і в розробці медичних сенсорів.

Нанотехнології на чіпі - це ще один вимір технології «лабораторія на чіпі». Магнітні наночастинки, прив'язані до потрібного антитіла, використовуються для позначки специфічних молекул, структур або мікроорганізмів. Золоті наночастинки, помічені короткими сегментами ДНК, можуть бути використані для виявлення генетичної послідовності зразка. Багатобарвне оптичне кодування для біологічних зразків було досягнуто встраиванием квантових точок різного розміру в полімерні мікробуси. Нанопорна технологія для аналізу нуклеїнових кислот конвертує послідовності нуклеотидів безпосередньо в електронні сигнатури.

Доставка ліків

Нанотехнології забезпечила можливість доставки ліків до певних клітин за допомогою наночастинок. Загальний обсяг споживання ліків і побічні ефекти можуть бути значно знижені за допомогою розміщення активного агента тільки в хворому регіоні, і в дозі не більшою, ніж потрібно. Цей вибірковий метод може знизити вартість лікування і страждання людей. Як приклад можна привести дендримери і нанопористі матеріали. Інший приклад - це використання ко-полімерів, які формують міцели для інкапсуляції ліків. Вони можуть зберігати маленькі молекули ліків і транспортувати їх до бажаного місця. Інше бачення проблеми базується на маленьких електромеханічних системах; наноелектромеханічні системи досліджуються для активного вивільнення ліків. Потенційно важливі застосування включають лікування раку за допомогою наночастинок заліза або золотих капсул. Цілеспрямована або персоналізована медицина призначена для зменшення споживання ліків і

вартості лікування, що в результаті дає суспільну користь, знижуючи витрати на охорону здоров'я.

Наночастки можуть використовуватися при комбінованої терапії для зниження стійкості до антибіотиків. Було показано, що наночастинки з оксиду цинку можуть зменшити стійкість до антибіотиків і поліпшити антибактеріальну активність ципрофлоксацину проти мікроорганізму in vitro. Наночастки можуть взаємодіяти з різними протеїнами, які беруть участь в опорі антибіотиків або в фармакологічних механізмах ліків.

Онкологія

Малий розмір наночастинок наділяє їх властивостями, які можуть бути дуже корисними в онкології, особливо в отриманні знімків. Квантові точки (наночастинки з квантово обмеженими властивостями, такими як налаштованим за розміром світловим випромінюванням), коли використовуються разом з МРТ (магнітно-резонансною томографією), можуть виробляти відмінні знімки в місцях пухлини. Ці наночастинки значно яскравіше, ніж органічні фарби і вимагають тільки одного джерела світла для активізації. Це означає, що використання флуоресцентних квантових точок може призвести більш контрастне зображення за меншу вартість, ніж нинішні органічні барвники, що використовуються як контрастні речовини. Проте, зворотна сторона полягає в тому, що квантові точки зазвичай зроблені з досить токсичних елементів.

Хірургія

В університеті Райса продемонстрували використання зварювального апарату для плоті, щоб сплавити два шматки м'яса курки в один шматок. Два шматка м'яса розташували в упор один до одного. Зелена рідина, що містить покриті золотом наноскорини, була налита уздовж шва. Інфрачервоний лазер пройшов уздовж шва і зварив дві сторони разом. Ця технологія може вирішити складності і витоку крові, які виникають, коли хірург намагається зашити артерії, які були розрізані під час трансплантації нирки або серця. Зварювальний апарат для плоті може ідеально заварювати артерії.

Нанотехнологія допомагає просунути використання артроскопії, які являють собою пристрої розміром з олівець і використовуються в хірургії зі світлом і камерами, що дозволяє хірургам робити операції з меншими розрізами. Чим менше розрізи, тим швидше лікування, що краще для пацієнтів. Це також допомагає знайти спосіб зробити артроскоп менше, ніж пасмо волосся.

Тканинна інженерія

Нанотехнологія може допомогти відновити або полагодити пошкоджену тканину. Тканинна інженерія використовує штучно стимулированную проліферацію клітин з використанням відповідних зроблених з наноматеріалів опор і ростових факторів. Як приклад, кістки можуть бути вирощені заново на опорах з вуглецевих нанотрубок. Тканинна інженерія може замінити сьогоднішні звичайні способи лікування, такі, як трансплантація органів або штучні імплантати. Просунуті форми тканинної інженерії можуть привести до продовження життя. Також з нанокристалів фосфату кальцію робляться штучні кісткові композити.

Наномедицина скористається нанороботами (або обчислювальними генами), впровадженими в тіло, щоб полагодити або виявити пошкодження і інфекції. Медичний наноробот може бути розміром 0,5-3 мкм, оскільки це максимальний розмір, допустимий для проходження через капіляри. Вуглець може використовуватися як основний елемент для побудови цих нанороботів в зв'язку з властивою йому міцністю та іншими характеристиками деяких форм вуглецю (алмаз, фулеренові композити), і нанороботи можуть бути зібрані на настільних нанофабрик, спеціалізованих для цього завдання.

Використовуючи ліки і хірургію, лікарі можуть тільки допомагати тканинам лагодити себе. З молекулярними машинами стане можливий ремонт безпосередньо. Клітинний ремонт буде включати ті завдання, які вже доведені живими системами як можливі. Доступ в клітини можливий, оскільки біологи можуть вставляти голки в клітини, не вбиваючи їх. Таким чином, молекулярні машини можуть входити в клітку. Також всі специфічні біохімічні взаємодії показують, що молекулярні системи можуть розпізнавати інші молекули при зіткненні, будувати або перебудовувати кожну молекулу в клітці, і можуть розбирати пошкоджені молекули. Отже, так як природа демонструє прості операції, які потрібні для ремонту клітини на молекулярному рівні, в майбутньому системи на базі наномашин будуть побудовані так, щоб вміли входити в клітини, знаходити відмінності зі здоровою клітиною, і вносити модифікації в структуру.

Завдання

Скласти реферат з однієї із запропонованих тем.
Теми:
Медичне використання наноматеріалів.
Нанотехнології в онкології .
Нанотехнології в хірургії.
Нанороботи.
Конструювання нанокомп'ютерів.
Наноантени.
Нанобіоелектроніка.
Прицільне постачання ліків нанотехнологіями;
Молекулярна візуалізація;
Створення нових лікарських засобів нанотехнологіями;
Методи діагностики нанотехнологіями;
Тканинна інженерія;
Геноміка і протеоміка;
Молекулярні біосенсори;

9 **Стандартизація в нанотехнології**

Теоретичні відомості

Одна з першочергових завдань стандартизації в нанотехнологіях - стандартизація параметрів і властивостей матеріалів, об'єктів, елементів і структур нанотехнологій, які підлягають вимірам. При міжгалузевому і міждисциплінарному характері нанотехнологій, різної термінології і різних дослідницьких і вимірювальних прийомах і методах - це непроста, послідовно вирішити завдання, що несе в собі об'єднуюче начало. До неї впритул примикає інша задача - необхідність стандартизації термінів і визначень в нанотехнологіях, спрямована на рішення проблем спілкування і взаєморозуміння різних груп дослідників не тільки всередині однієї окремо взятої країни, а й у рамках міждисциплінарного обміну інформацією між країнами. Звідси закономірний наслідок - необхідність атестованих і стандартизованих методик виконання вимірювань, методик калібрування і повірки засобів вимірювальної техніки, що застосовуються в нанотехнологіях, і багато іншого, що визначається потребами розвитку інфраструктури наноіндустрії. Особливий аспект стандартизації - рішення задач забезпечення здоров'я та безпеки операторів технологічних процесів і осіб, які взаємодіють з продукцією нанотехнологій на всіх етапах її виробництва, випробувань, досліджень та застосувань, а також екологічної безпеки навколишнього середовища.

Лінійка об'єктів нанотехнологій і власне наноіндустрії надзвичайно широка, простягається від ультрадисперсних середовищ до наноструктурованих багатошарових матеріалів і кристалів. Вона включає квантоворозмірні структури з размерностями локалізації: одна - так звані квантові ями (надтонкі шари), дві - квантові дроту або нитки, три - квантові точки. Особливості фізичних ефектів і протікають при цьому процесів, в тому числі оптичних, люмінесцентних, електричних, магнітних, механічних і багатьох інших, визначаються характерним розміром. Причому в одному і тому ж матеріалі різні ефекти, пов'язані з розміром, проявляються по-різному. Наприклад, особливість оптичних властивостей матеріалу в ультрадисперсних вигляді може проявлятися при одних розмірах наночастинок, а теплофізичних - при інших. Більшість методів досліджень і вимірювань, які широко застосовуються в наноіндустрії, - просвічує і растрова електронна мікроскопії (РЕМ), скануюча зондовая мікроскопія, іонно-польова мікроскопія, Фотоемісійні і рентгенівська спектрометрії і рентгенівська дифрактометрія, вимагають калібрування засобів вимірювальної техніки зі стандартних зразків складу, структури, властивостей з відомими розмірними (тобто геометричними) характеристиками. Наприклад, один з відомих способів визначення розмірів ультрадисперсних частинок полягає в вивченні розсіювання світла на них. Розсіювання залежить від співвідношення розмірів часток, довжини хвилі падаючого випромінювання і поляризації. При визначенні розмірів частинок, як правило, використовується лазерне випромінювання, але для калібрування такого засобу вимірювань необхідний набір ультрадисперсних частинок з дискретним рядом точно заданих розмірів.

Розвиток нанотехнологій посилює вимоги до вимірювальних систем, похибки вимірювань яких повинні бути порівнянні з міжатомними відстанями. Все це вимагає серйозного ставлення до питання забезпечення єдності лінійних вимірювань в нанометровому діапазоні. РЕМ і скануючий зондовий мікроскопи тільки тоді можуть вважатися засобами вимірювань, коли їх параметри будуть відповідним чином атестуватися, калібрувати і контролюватися, причому останнє безпосередньо в процесі вимірювань. Тривимірні заходи або еталони порівняння - матеріальні носії розміру - своєрідний міст між об'єктом вимірів і еталоном метра, є ідеальним засобом для здійснення таких операцій. Важливо одне: культура вимірювань вимагає, щоб будь-який растровий електронний або скануючий зондовий мікроскоп, незалежно від того, де він знаходиться - в науковій або промислової лабораторії, навчальному закладі або бере участь в технологічному процесі, - повинен бути укомплектований заходами, що забезпечують калібрування і контроль параметрів цього складного пристрою. Тільки тоді вимірювання, вироблені на ньому, можуть претендувати на достовірність. Крім того, використання методів і засобів калібрування і атестації растрових електронних і скануючих зондових мікроскопів виробниками відповідних приладів дозволить їм створювати нові прилади з кращими характеристиками, які, в свою чергу, дозволять просунутися далі на шляху розвитку нанотехнологій.

В забезпечення нормативно-методичної бази нанометрології розроблені і послідовно вводяться в дію національні стандарти: ГОСТ Р 8.628-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Заходи рельєфні нанометрового діапазону з монокристалічного кремнію. Вимоги до геометричних форм, лінійними розмірами і вибору матеріалу для виготовлення ». ГОСТ Р 8.629-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Заходи рельєфні нанометрового діапазону з трапецеїдальним профілем елементів. Методика повірки ». ГОСТ Р 8.630-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Мікроскопи скануючі зондові атомно-силові вимірювальні. Методика повірки ». ГОСТ Р 8.631-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Мікроскопи електронні растрові вимірювальні. Методика повірки ». ГОСТ Р 8.635-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Мікроскопи скануючі зондові атомно-силові. Методика калібрування ». ГОСТ Р 8.636-2007 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Мікроскопи електронні растрові. Методика калібрування ». ГОСТ Р 8.644-2008 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Заходи рельєфні нанометрового діапазону з трапецеїдальним профілем елементів. Методика калібрування ». ГОСТ Р 8.696-2010 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Міжплощинні відстані в кристалах і розподіл інтенсивностей в дифракційних картинах. Методика виконання вимірювань за допомогою електронного дифрактометра ». ГОСТ Р 8.697-2010 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Міжплощинні відстані в кристалах. Методика виконання вимірювань за допомогою просвічує електронного мікроскопа ». ГОСТ Р 8.698-2010 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Розмірні параметри наночастинок і тонких плівок. Методика виконання вимірювань за допомогою малокутового рентгенівського дифрактометра ». ГОСТ Р 8.700-2010 «Державна система забезпечення єдності

вимірювань. Методика вимірювань ефективної висоти шорсткості поверхні за допомогою скануючого зондового атомно-силового мікроскопа ».

Завдання

Скласти реферат з однієї із запропонованих тем.

Теми:

Наноелектроніка.

Нанофотоніка.

Нанобіотехнології.

Наномедицина.

Наноматеріали

Методи та інструменти дослідження і сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв.

Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв.

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.