

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до лабораторних робіт
з навчальної дисципліни
«Фізичні основи акустооптики»

Ужгород 2023 рік

Зміст

Лабораторна робота №1. . Вимірювання швидкостей поширення УЗ хвиль в ізотропних матеріалах	3
Лабораторна робота №2. Вимірювання коефіцієнта акустооптичної якості	10
Лабораторна робота №3. Дослідження параметрів акустооптичних модуляторів	16
Лабораторна робота № 4. Дослідження акустооптичних дефлекторів	22
Лабораторна робота № 5. Дослідження акустооптичних фільтрів	27
Література	31

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вимірювання швидкостей поширення УЗ хвиль в ізотропних матеріалах

Мета роботи. Експериментальне визначення величин швидкостей поширення та коефіцієнта згасання УЗ хвиль в ізотропних матеріалах акустооптичним методом.

Теоретичні відомості.

Акустооптика - розділ фізики, що вивчає взаємодію оптичних і звукових хвиль, а також розділ техніки, в якому досліджуються і розробляються прилади, що використовують акустооптичні взаємодії.

Акустооптичні взаємодії називають «акустооптичним ефектом». Хвиля в акустооптичних пристроях збуджується за допомогою різних електроакустичних перетворювачів, найчастіше п'єзоелектричних. Акустооптичні прилади управляються за допомогою електричних сигналів.

Акустооптичний ефект має широке застосування в наукових дослідженнях і в різних технічних пристроях. Акустооптичним методом можна контролювати якість прозорих матеріалів і візуалізувати акустичні поля. Акустооптичні фільтри дозволяють здійснювати дистанційний хімічний аналіз середовища. Крім того, акустооптичні пристрої виявляються високоефективними для аналізу високочастотних радіосигналів. Найважливішою областю застосувань є системи оптичної обробки інформації, включаючи елементи систем оптичного зв'язку та оптичні комп'ютери.

Сенс акустооптичного ефекту полягає в тому, що при поширенні світла в середовищі, відбувається дифракція світла. В залежності від числа утворюються дифракційних порядків розрізняють два основних режиму акустооптичного взаємодії: режим розсіювання Рамана - Ната, відомий також як ефект Дебая - Сірса, і режим дифракції Брегга.

Режим дифракції Рамана – Ната має місце на низьких частотах, тобто при $\frac{\lambda L}{\Lambda^2} \ll 1$, де L - ширина ультразвукового пучка, які перетинаються світлом (глибина взаємодії). Резонансна дифракція має місце при нормальному падінні світла на звуковий пучок.

В цьому випадку світлова хвиля проходить крізь звуковий пучок теж не відбиваючись, а періодична зміна n під дією УЗ призводить до періодичної зміни фази пройденної світлової хвилі. На виході плоска хвиля виявляється фазо-

модульованою: її хвильовий фронт стає «гофрованим». Така хвиля еквівалентна значного числу плоских хвиль, що поширюються під малими кутами до світлового пучка. Дійсно, умова резонансної дифракції $\omega_0 \pm \Omega = \omega'$, $K \pm K' = k'$ виконується одночасно для великого числа порядків дифракції, і при достатній довжині взаємодії L виникає багаторазове розсіювання фотона на фононах. Відповідно, при виході з області акустооптичної взаємодії світловий промінь розбивається на серію променів з частотами $\omega_m = \omega \pm m\Omega$, де $m = 0, \pm 1, \dots$ - номери максимуму, що йдуть з різних напрямків і обумовленими співвідношенням:

$$\sin\theta'_m = \frac{m\lambda}{\Lambda}$$

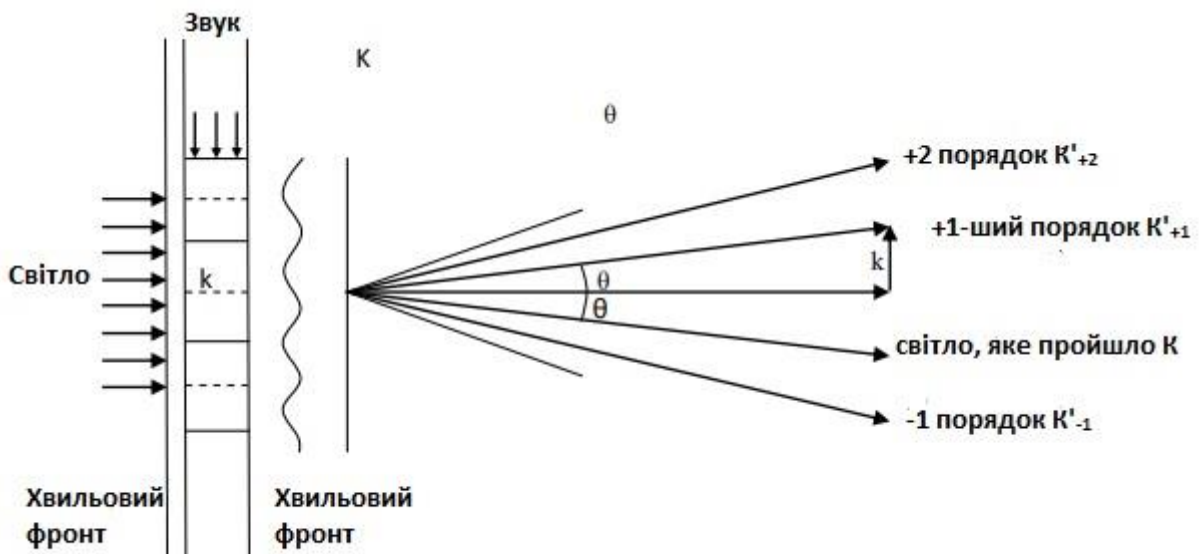


Рис.1.1. Схема дифракції Рамана-Ната

Така дифракція має місце на високих частотах, тобто при $\frac{\lambda L}{\Lambda^2} \gg 1$. Вона виникає, якщо світло падає на звуковий пучок під певним кутом θ Брегга:

$$\theta_B = \arcsin \frac{1}{2} \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (\text{Рис.1.2}).$$

В цьому випадку відхилення світла відбувається тільки в перший порядок дифракції. Пояснити дифракцію Брегга можна тим, що падаюча під кутом до звукової решітки світлова хвиля частково відбивається від неї і інтерференція відбитих променів визначає інтенсивність дифрагуючого світла.

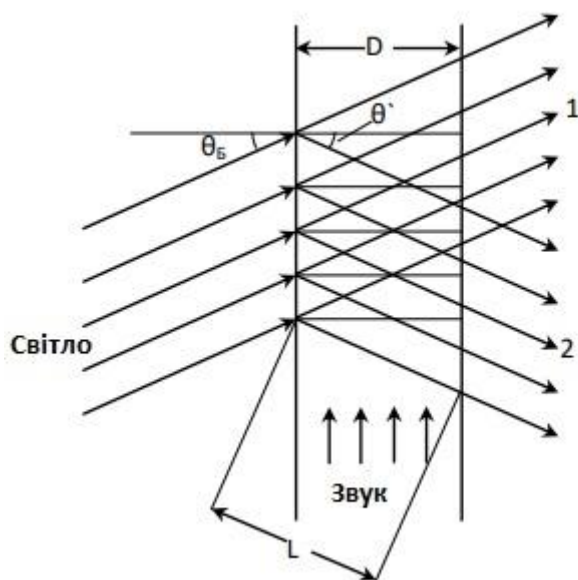


Рис. 1.2. Схема дифракції Брегга.

Інтерференційна картина виникає лише в тому випадку, якщо пучки, відбиті від сусідніх максимумів звукової хвилі, перетинаються, тобто виконується умова:

$$\frac{2\Lambda^2}{L\lambda} < 1$$

Залежно від того, який кут - тупий або гострий утворює хвильовий вектор світла з напрямком поширення звукової хвилі, частота дифрагованого світла дорівнює $\omega + \Omega$ (+ 1-й порядок дифракції) або $\omega - \Omega$ (-1-й порядок дифракції). Цей процес можна представити, як розсіювання фотона на фононі, при якому дотримується закон збереження енергії та імпульсу. При цьому знак - відповідає випусканню фотона, а знак + поглинанню. Дифрагований промінь виходить з звукового пучка під кутом розсіювання θ' . Для даної довжини світлової хвилі λ існує гранична звукова частота $\Omega_{\text{гр}} = 4\pi c_{\text{зв}} / \lambda$, вище якої бреггівська дифракція неможлива. Ця частота відповідає випадку розсіювання світла точно в зворотному напрямку. Енергія падаючого світлового випромінювання розподіляється між проходячим і дифрагованим променями. Інтensивність дифрагованого світла I_1 при бреггівській дифракції зростає зі збільшенням інтенсивності звуку $I_{\text{зв}}$ і довжини взаємодії $L = D / \cos\theta_B$ до тих пір, поки весь падаючий світловий потік не виявиться дифрагованим.

Дифрагований промінь виходить з звукового пучка під кутом θ' ; в ізотропному середовищі $\theta' = \theta_B$.

$$\sin\theta_B = \frac{K}{2k}$$

$$\theta_B = \arcsin\left(\frac{1}{2}\frac{\lambda}{\Lambda}\right) \quad \sin\theta_B \leq 1$$

$$\frac{\lambda}{2\Lambda} < 1 \rightarrow \Lambda > \frac{\lambda}{2}$$

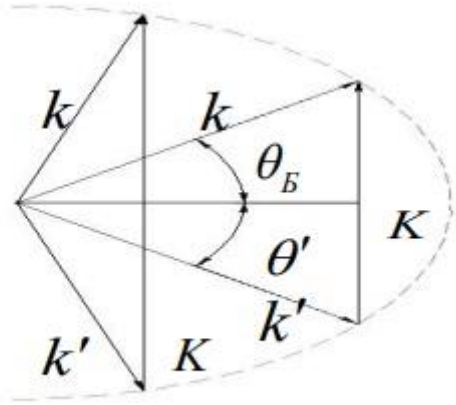


Рис.1.3. Швидкість світла в ізотропному середовищі

В ізотропному середовищі швидкість світла з усіх напрямків однакова, і можна описати коло радіусом k навколо трикутника зі сторонами k , k' , K . Світло буде дифрагувати тільки під тим кутом і для тієї довжини хвилі, для якої існує цей трикутник.

Може бути розглянутий випадок, коли пучок світла розширюється, тобто має набір хвильових векторів. Керуючи частотою (ω , отже, і хвильовим числом K) ультразвуку, можна підбирати під кожен з хвильових векторів електромагнітної хвилі своє значення K і спостерігати дифракцію під різними кутами (виконувати сканування в кутовому секторі

Завдяки акустооптичній дифракції існує можливість вимірювання багатьох параметрів матеріалів, а саме: швидкість і поглинання звуку, модулі пружності другого, третього і більш високих порядків, упругооптичні постійні та інші величини. Так, з умови Брегга по відомим значенням частоти f УЗ і довжини хвилі світла λ і за вимірюваним кутом $2\theta_B$ між падаючим і дифрагованими світловими променями можна визначити швидкість звуку:

$$V_{зв} = \frac{\lambda f}{2 \sin \theta_B}$$

(де θ_B - т. н. кут Брегга). На основі отриманих таким чином даних про значення $V_{зв}$ з різних напрямків розраховується повна матриця модулів пружності $\{C_{ij}, kl\}$.

Завдання для лабораторної роботи

1.Ознайомитися зі схемою експериментальної установки, яка наведена на рис.1 .4

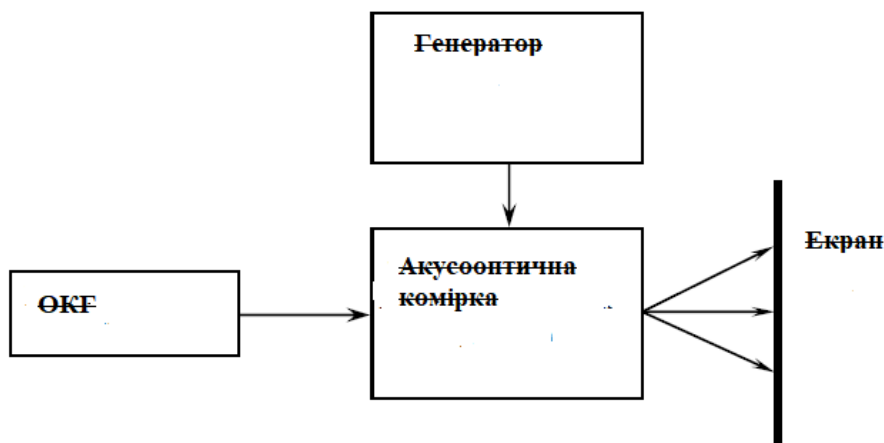


Рис.1.4.Блок-схема експериментальної установки,

Оптична схема складається з джерела оптичного випромінювання ОКГ- 1, генератора сигналів, акустооптичної комірки ,екрана.

Джерелом оптичного випромінювання є лазер 1, що генерує пучок з довжиною хвилі $\lambda = 0.633$ мкм Пучок проходить через акустооптичну комірку 2, встановлений на оптичному столику , що дає змогу переміщувати комірку поступально в різних напрямках, а також повертати її, налаштовуючи на кут Бреґга.

Схематичний вигляд АО комірки наведений на рис.1.5. Еталон 3 та зразок 4, між якими знаходиться акустична зв'язка (олія, салол) щільно притиснуті один до одного за допомогою гвинтів 2, розташованих на торцях комірки.

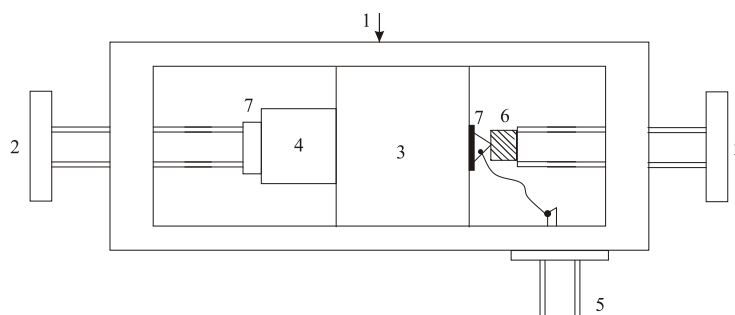


Рис.1.5.Схематичний вигляд АО комірки.

Під цим терміном розуміють пристрій, що представляє собою світлозвукопровід із кристалічного або склообразного матеріалу, на який за допомогою акустичної зв'язки приклеєне п'єзоперетворювач. Світлозвукопровід представляє собою прямокутну призму, грані Х якої отполіровані, щоби пропускати світло. Це так звані оптичні грані. Грані У робляться строго паралельними, якщо необхідно отримати режим стоячих хвиль, або ж непаралельними, якщо треба отримати режим бігучих хвиль. Грань, на яку клеїться п'єзоперетворювач покривається металічним шаром (), який грає роль земляного контакту п'єзоперетворювача.

Акустична зв'язка виконує роль середовища, що забезпечує передачу акустичних коливань п'єзопластини у світлозвукопровід. Роль акустичної зв'язки можуть виконувати дуже багато легкоплавких матеріалів: (воск, парафін, сірка, салол, стильбен ...) що знаходяться при кімнатній температурі у твердій фазі. Поздовжні хвилі проходять і через рідину, тому для них можна використовувати різні масла, смоли і навіть воду.

П'єзопластина, потрібної товщини з напиленням на неї верхнім контактом щільно прижимається до світлозвукопроводу через ще рідку акустичну зв'язку і, не знімаючи тиску, переводять акустичну зв'язку із рідкої фази у тверду.

Керуючий сигнал подається на п'єзоперетворювач через височастотний кабель.

Завдання 1. Вимірювання швидкості звуку в режимі Бреґґа.

1. Встановити частоту сигналу $f \sim 120$ МГц. Виміряти відстань від комірки до екрана L (рис. 8) і відстань r між максимумами $+1$ -го і -1 -го порядків 0 на екрані. Вважаючи кути відхилення світла малими, визначити кут 2Θ і за формулою

$$V_{зв} = \frac{\lambda f L}{r}$$

розрахувати швидкість звуку $v_{зв}$.

Оцінити похибку вимірювання швидкості. Точність вимірювання швидкості поширення залежить від похибки вимірювання частоти, якості оптичної системи і плоскопаралельності оптичних граней досліджуваного зразка .

Завдання 2. Вимірювання швидкості звуку в режимі Рамана-Ната,

1. Встановити частоту частоту генератора $f \approx 30$ МГц, провести вимірювання кута між максимумами вищих порядків, наприклад, між +2-м і -2-м або +3-м і -3-м порядками. Розрахувати швидкість за цими даними. Під час розрахунку врахувати номер порядку, розділивши на нього виміряний кут.

Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- назву та мету роботи;
- короткі теоретичні відомості;
- короткий опис методики експерименту, блок-схему установки;
- результати вимірювань;
- висновки.

Контрольні запитання

1. Які типи акустичних хвиль можуть поширюватися в рідині, ізотропному твердому тілі, анізотропному твердому тілі?
2. Які особливості поширення плоских акустичних хвиль у кристалах?
3. Що таке поляризація акустичної хвилі?
4. У чому полягає акустооптичний ефект? Що таке кут Бреґґа?
5. Які особливості різних режимів акустооптичної взаємодії?
6. Які характеристики акустичного поля можуть бути досліджені методами акустооптики?
7. Що таке діаграма Шеффера-Бергмана і як її отримати експериментально?
ментально?
8. Як змінюється вигляд діаграми Шеффера-Бергмана в разі зміни частоти ультразвуку?
9. Як виміряти згасання акустичної хвилі за допомогою акустооптичного ефекту?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Вимірювання критерію акустооптичної якості

Мета роботи. Вивчення методів дослідження та вимірювання коефіцієнта акустооптичної якості ізотропних матеріалів.

Теоретичні відомості.

На оптичних частотах показник заломлення кристалу можна представити за допомогою індикатриси, коефіцієнти якої являються компонентами тензора відносної діелектричної непроникності B_{ij} . Таким чином, невелика зміна показника заломлення, викликана яким-небудь збуренням, ідентично невеликій зміні форми, розміру і орієнтації індикатриси. Цю зміну найбільш зручно описувати, задаючи малі зміни коефіцієнтів B_{ij} . Зміни показника заломлення, які визвані пружною деформацією називаються фотопружним ефектом. Зміна коефіцієнтів B_{ij} в лінійному випадку називаються фотопружним ефектом. Зміна коефіцієнтів B_{ij} в лінійному випадку записується:

$$\Delta B_{ij} = p_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl} = \pi_{ijkl} \cdot \sigma_{kl} \quad (2.1)$$

де ε_{kl} – компоненти тензора деформації, σ_{kl} – компоненти тензора пружної напруги, p_{ijkl} і π_{ijkl} – компоненти пружньооптичного і п'єзооптичного тензора 4-ранга. Між p_{ijkl} і π_{ijkl} існує наступний зв'язок :

$$p_{ijkl} = \pi_{ijmn} c_{mnkl}, \quad \pi_{ijkl} = p_{ijmn} s_{mnkl} \quad (2.2)$$

де c_{mnkl} і s_{mnkl} – пружні коефіцієнти і коефіцієнти пружної податливості. У загальному випадку p_{ijkl} і π_{ijkl} – називаються пружньооптичними коефіцієнтами.

Симетрія кристалу накладає обмеження на число незалежних компонент в матриці фотопружних коефіцієнтів. Найбільше число незалежних коефіцієнтів p_{ij} у кристалах триклинної системи (36), найменше (2) в ізотропного тіла.

Із рівняння оптичної індикатриси для ізотропного тіла випливає:

$$\Delta B = \left(\frac{1}{n^2} \right) = p \cdot \varepsilon \quad (2.3)$$

$$\Delta \left(\frac{1}{n^2} \right) = \frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{(n_0 - \Delta n)^2} \approx - \frac{2 \Delta n}{n_0^3} \quad (2.4)$$

$$\Delta n = - \frac{n_0^3}{2 p \varepsilon} \quad (2.5)$$

Для кубічного кристалу еліпсоїд показників заломлення має вигляд:

$$\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}{n_0} = 1 \quad (2.6)$$

Якщо в напрямку $[100]$ цього кристалу створена одномірна деформація (тільки $\varepsilon_1 \neq 0$), тоді можна записати

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{12} & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & P_{11} & P_{12} & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & P_{12} & P_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

І рівняння прийме вигляд:

$$\left(\frac{1}{n_0^2} + p_{11} \varepsilon_1 \right) x_1^2 + \left(\frac{1}{n_0^2} + p_{12} \varepsilon_1 \right) x_2^2 + \left(\frac{1}{n_0^2} + p_{12} \varepsilon_1 \right) x_3^2 = 1 \quad (2.8)$$

При поширенні оптичного променя вздовж осі $[010]$ індикатриса отримується із розгляду перерізу еліпсоїда з плоскістю (010) :

$$\left(\frac{1}{n_0^2} + p_{11} \varepsilon_1 \right) x_1^2 + \left(\frac{1}{n_0^2} + p_{12} \varepsilon_1 \right) x_3^2 = 1 \quad (2.9)$$

При акустооптичній взаємодії світлової хвилі, поляризованої вздовж напрямку X_1 або X_3 з акустичною хвилею, яка створює деформацію ε_1 , будуть брати участь пружнооптичні коефіцієнти p_{11} і p_{12} відповідно.

Між деформацією і акустичною потужністю $P_{ак}$ існує наступний зв'язок:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2P_{ак}}{HL\rho V^3}} \quad (2.10)$$

де H, L – перетин прямокутного п'єзоперетворювача, ρ – густина, V – швидкість звуку. Отже,

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = n^2 p \sqrt{\frac{2P_{ак}}{LH\rho v^3}} \quad (2.11)$$

В цьому випадку інтенсивність дифрагованого світла визначається таким чином

$$I_i = I^0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{\lambda_0 \cos \theta_B} \sqrt{\frac{P_{ak} L M_2}{2H}} \right) \quad (2.12)$$

Величина $M_2 = \frac{n^6 p^2}{\rho V^3} \quad (2.13)$ -це комбінація констант

досліджуваного матеріалу. Коефіцієнт акустооптичної якості M_2 визначає інтенсивність дифрагованого світла незалежно від розмірів п'єзоперетворювача та акустичної потужності. Таким чином, при слабкій акустооптичній взаємодії ($I_i \ll I^0$) інтенсивність дифрагованого світла пропорційна акустичній потужності та коефіцієнту акустооптичної якості M_2 .

Найбільш поширеним методом вимірювання коефіцієнта акустооптичної якості M_2 є метод порівнювання АО властивостей еталонного і досліджуваного матеріалів. На цих принципах заснований метод Діксона-Коена. Геометрія АО взаємодії, яка відповідає методу Діксона наведена на рис.2.1(а,б).

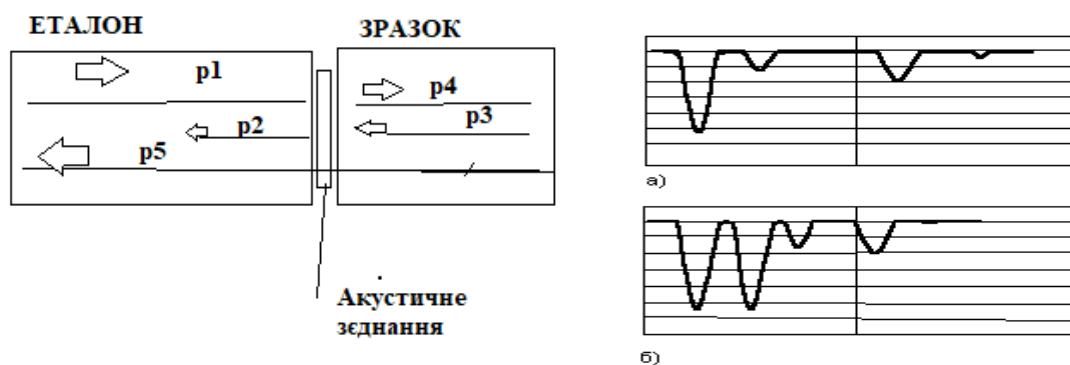


Рис.2.1.Геометрія взаємодії(а) та вид імпульсів на екрані осцилографа(б).

Введемо позначення: p_1 – пікова потужність акустичного імпульсу, який відправляється перетворювачем в еталон; p_2 – частина потужності імпульса p_1 відбитого від границі еталон-зразок; p_3 – потужність прямого акустичного імпульса в зразку який відбився від вільної границі ; p_4 – потужність зворотнього імпульсу в зразку; p_5 – частина потужності імпульса p_1 , який відбився від границі зразок-повітря і повернувся в еталон.

Якщо знехтувати втратами акустичної енергії в акустичній зв'язці та в еталоні та зразку, то мають місце наступне співвідношення:

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{p_5}{p_4} = (1 - R) \quad (2.14)$$

де R – коефіцієнт відбивання акустичного імпульсу на межі поділу 1,2.

На основі всіх введених обмежень Діксон отримав наступний вираз для відносного коефіцієнта M_2 досліджуваного зразка

$$\frac{M_2^0}{M_2^\varepsilon} = \sqrt{\frac{I_3 \cdot I_4}{I_1 \cdot I_5}} \quad (2.15)$$

При виведенні цієї формули рахувалося, що обидва світлозвукопроводи 1 (еталон) і 2 (зразок) просвітлені і, в цьому зв'язку, втратами світла на відбивання можна знехтувати.

Відносна похибка вимірювань методом Діксона оцінюється в кращому випадку $\pm 3\%$ [5]. У принципі, метод Діксона є найсучаснішим методом вимірювання фотопружних властивостей твердого тіла. Однак, практично, його потенційні можливості реалізується неповністю, що веде до зниження точності вимірювань. Найбільша похибка вимірювань можлива в тому випадку, коли в експерименті необхідно вимірювати інтенсивність світла, дифрагованого на дуже слабкому імпульсі p_5 рис. 2.1. Такі умови досягаються, наприклад, при значному поглинанні енергії акустичних хвиль в досліджуваному зразку, або поганий якості акустичної зв'язки. Тоді виникає проблема забезпечення лінійності амплітудних характеристик фотоприймальної та реєструючої частин системи при істотній різниці в рівнях фіксованих оптичних сигналів.

Загальноприйнятим еталоном при вимірюванні фотопружних властивостей є плавлений кварц. Він має невеликі акустичні втрати (~ 0.2 дБ/см при $f \approx 200$ МГц), чудова оптична якість та доступний для широкого вжитку. Його висока твердість та хімічна стійкість робить його досить технологічним у використанні.

Блок-схема установки для вивчення фотопружних властивостей твердого тіла представлена на рис.2.2..

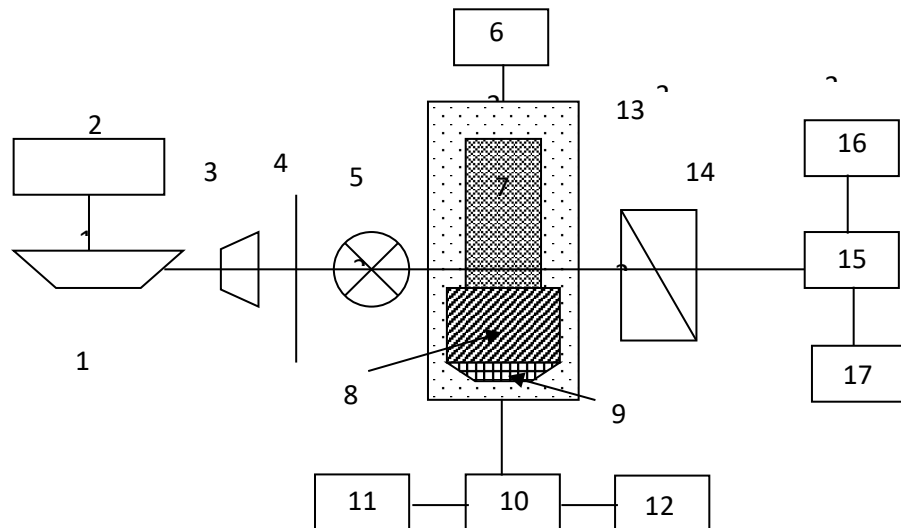


Рис.2.2. Блок-схема установки для вимірювання коефіцієнта акустооптичної якості матеріалів.

Джерелом лазерного випромінювання (1), служив лазер ЛГ-126. Оптичне випромінювання, яке пройшло через систему фокусуючих лінз(3), модулюється

механічним модулятором (5), що дозволяє понизити рівень, оптичного шуму із-за можливостей нестабільності інтенсивності випромінювання ОКГ. Необхідність застосування модулятора викликана і тим, що діапазон модуляції більшості підсилювачів складає не більше 100 кГц, в той час як для ефективної дифракції необхідна модуляція мегагерцового діапазону. При роботі в режимі дифракції Рамана – Ната лазерне випромінювання після модуляції попадає на зразок (7) так, що його хвильовий вектор перпендикулярний хвильовому вектору акустичних коливань. Це досягається тим, що відбитий від поверхні зразка промінь суміщається з падаючим променем.

Високочастотні коливання створюються генератором Г4-119 (10), який в досліджуваній області частот має хорошу стабільність та лінійність амплітудно-частотної характеристики, що дуже важливо для дотримання резонансних умов акустооптичної взаємодії. Вимірювання частоти ультразвукових коливань проводилися з допомогою частотоміра Г5-54 (11). Пружні коливання збуджувалися п'єзоперетворювачем (9), з'єднаним з високочастотним генератором. В роботі використовувався п'єзоперетворювач виготовлений із ніобату літія (LiNbO_3). Узгодження хвильових опорів п'єзоперетворювача та досліджуваного матеріалу відбувалося за допомогою лінії затримки (8) з плавленого кварцу, який володіє малим поглинанням ультразвуку. Акустичний зв'язок між лінією затримки та матеріалом відбувалося за допомогою кремнійорганічного масла.

Випромінювання реєстрував ФЕП (15), який переміщався в площині, перпендикулярній дифракційній картині. З метою пониження рівня оптичного шуму, перед приймачем випромінювання ставиться поляризатор (14), кут повороту якого вибраний по максимальному значенню рівня дифрагованого сигналу (оптичний шум не поляризований на відміну від корисного сигналу). Вимірювання інтенсивностей дифрагованого випромінювання проводилося за допомогою осцилографа С1-79 (17).

Завдання до лабораторної роботи.

1. Зібрати оптичну схему, яка наведена на рис. 1.3. Увімкнути прилади, що входять у стенд згідно описів, що надаються до кожного приладу.
2. Встановити АО комірку на столик, що має вертикальне і горизонтальне переміщення перпендикулярно оптичному променю і поворот у площині дифракції, так щоби промінь проходив через звукове поле в еталонному світлозвукопроводі.
3. Подати неперервну ВЧ напругу на АО комірку і, змінюючи кут падіння світла на світлозвукопровід в межах $\pm 2^\circ$, отримати на екрані, що встановлений перед фотоприймачем, дифракційну картину у виді декількох симетричних дифракційних порядків.
4. Сумістити один із перших дифракційних порядків з центром фотоприймача і переключити ВЧ генератором в імпульсний режим.

5. На екрані осцилографа повинна спостерігатися серія імпульсів різної амплітуди, розділених нерівними проміжками, амплітуда цих імпульсів відповідає інтенсивності світла, що продифрагувало на відповідному акустичному імпульсі.
6. Регулюючи кут падіння світла і положення АО комірки отримати на екрані осцилографа максимальну амплітуду імпульсу I_1 і виміряти її. Настроюючись таким же чином виміряти амплітуду імпульсів I_3 і I_5 .
7. Сумістити АО комірку та щоби промінь світла проходив через звукове поле у зразку. Керуючи кутом падіння світла і положення АО комірки виміряти амплітуду сигналів I_3 і I_5 на екрані осцилографа.
8. Включити механічний переривач. Послабити промінь лазера фільтром, сумістити нульовий порядок з центром фотоприймача і виміряти амплітуду сигналу отриманого від світла, що пройшло через зразок – T_0 . Перемістити АО комірку так, щоби світло проходило через еталон. Виміряти амплітуду сигналу отриманого від світла, що пройшло через еталон T_e . Розрахувати відносний коефіцієнт пропускання

$$T = \frac{T_e}{T_0}.$$
9. Розрахувати коефіцієнт акустичної якості M досліджуваного зразку по формулі Діксона (2.15)

Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- назву та мету роботи;
- короткі теоретичні відомості;
- короткий опис методики експерименту, блок-схему установки;
- результати вимірювань;
- висновки.

Контрольні запитання.

- 1.В чому полягає акустооптичний ефект ?
- 2.Які відомі режими дифракції світла на акустичних хвилях?
- 3.Які параметри визначають коефіцієнт акустооптичної якості матеріалів?
- 4.В чому полягає метод Діксона-Коена?
- 5.Яка відносна похибка методу Діксона-Коена?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Дослідження параметрів акустооптичних модуляторів

Мета роботи. Вивчення принципу роботи, методики розрахунку і визначення основних параметрів акустооптичних модуляторів.

Теоретичні відомості.

За допомогою акустооптичних хвиль можна керувати будь-яким параметром світлової хвилі: амплітудою, фазою, частотою, поляризацією. В відповідності до цього можливі різні типи акустооптичних модуляторів: амплітудні, фазові і т.д. Найбільш широке використання отримали амплітудні модулятори. Принцип їх дії ґрунтується на залежності зміни інтенсивності світлового випромінювання, що пройшло через акустооптичну комірку від амплітуди пружної хвилі. В залежності від способу зміни амплітуди пружної хвилі акустооптичні модулятори поділяються на 2 типи: з біжучою та стоячою акустичною хвилею.

Модулятор з біжучою акустичною хвилею. Схема модулятора зображена на рис. 3.1.

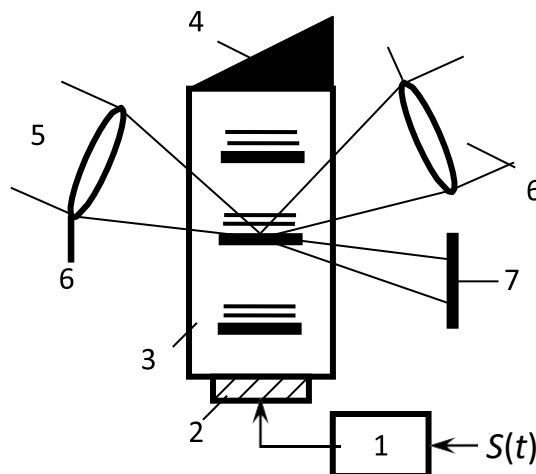


Рис. 3.1. Схема модулятора .

Вона містить генератор ВЧ коливань 1 та акустооптичну комірку 3. Електричні коливання модулюються за амплітудою інформаційним сигналом $S(t)$ і після цього поступають на п'єзоперетворювач 2. Частота несучих коливань f_0 вибирається рівною центральній частоті перетворювача. В комірці збуджується амплітудно-модульована пружна хвиля, на якій дифрагує світловий пучок 5. Режим біжучих акустичних хвиль забезпечується поглиначем 4.

Акустооптичні модулятори біжучої хвилі традиційно поділяються на дві групи: *раман-натовські* та *береговські* (рис. 3.1.). Раман-натовські модулятори працюють на частотах ультразвуку, не перевищуючих взагалі 10 МГц і використовують раман-натовський режим дифракції. При зміні амплітуди

пружної хвилі модулюється інтенсивність всіх максимумів. Якщо робочими максимумами є бокові 6, то в фокальній площині вихідної лінзи 7 розміщується екран 8, затримуючий непродифраговане світло. Загальним недоліком раман-натовських модуляторів є вузька смуга модуляції Δf . Бажання збільшити Δf автоматично приводить до брегівського режиму дифракції. Відмінною особливістю схеми брегівського модулятора є те, що кут падіння вибирається рівним куту Брега. В якості робочого використовується, як правило, максимум першого порядку.

Модульована звукова хвиля в загальному випадку характеризується центральною частотою f_0 та смугою Δf (тобто смугою модуляції). Під смугою модуляції розуміється діапазон частот, в якому ефективність дифракції змінюється не більше ніж на 3 дБ від свого максимального значення. Для нескінчених широких світлових та звукових пучків хвильові вектори мають визначені напрямки. Тому умова брегівської дифракції може бути виконана тільки на одній акустичній частоті (нульова смуга модуляції). На практиці доводиться часто мати справу з обмеженими світловими та звуковими пучками, що приводить до кінцевої кутової розбіжності пучка. Кінцеве кутове розподілення хвильових векторів дозволяє отримати брегівську дифракцію в деякому діапазоні акустичних частот (кінцева смуга модуляції). Ці кути розбіжності пов'язані з довжиною хвилі та шириною пучка і для пучків з дифракційною розбіжністю визначаються наступними наближеними співвідношеннями:

$$\delta\theta = \frac{2\lambda}{\pi w_0}, \quad \delta\phi = \frac{\lambda}{L}, \quad (3.1)$$

де λ та L — довжини хвиль світла та звуку, w_0 — радіус перетяжки світлового пучка, n — показник заломлення середовища. Розбіжний світловий пучок можна уявити у вигляді суперпозиції плоских хвиль, хвильові вектори яких лежать в деякому діапазоні кутів. Для кожної кутової складової світлового пучка умова Брега може виконуватись в діапазоні звукових частот, відповідаючих дозволеним значенням хвильового вектора $\vec{k}$ в межах $\delta\phi$. Дифракцію забезпечує на кожній звуковій частоті своя плоскохвильова складова, що має відмінний від інших напрямки хвильового вектора.

Найважливіші параметри акустооптичної взаємодії визначаються співвідношенням розбіжностей світла та звуку. Для оцінки ефектів, викликаних розбіжністю взаємодіючих пучків пучків в загальному випадку користуються параметром Гордона

$$a = \frac{\delta\theta}{\delta\phi} = \frac{2\lambda L}{\pi w_0 \Lambda}. \quad (3.2)$$

В залежності від величини a можливі три наступні ситуації.

1. $a \ll 1$. Розбіжність падаючого світла набагато менше розбіжності звуку. При цьому дифраговане світло зберігає структуру падаючого, а при зміні частоти звукової хвилі проходить сканування відхиленого променя в кутовому діапазоні $\delta\phi$.
2. $a \gg 1$. Розбіжність звуку менша розбіжності світла. В цьому випадку при заданій частоті звуку дифрагує тільки частина світлового пучка, для якої виконується умова Брега на цій частоті. Дифрагований пучок при цьому має кутову ширину $\delta\phi$. На практиці цей режим використовується для візуалізації акустичного поля, так як дифрагований пучок має структуру звукового.
3. $a \sim 1$. Кутові розбіжності світла та звуку порівняні між собою. Поширення поля дифрагованого світла залежить від поширення як падаючого світлового, так і акустичного пучків. Як буде видно з подальшого розгляду, саме цей режим використовується в акустооптичних модуляторах.

Параметр a визначає ефективність дифракції.

Строгий розрахунок модулятора зводиться до розв'язку задачі про дифракцію світлового пучка на амплітудно-модульованій акустичній хвилі. Однак наближення виразу для смуги модуляції можна отримати з розгляду роботи модулятора в режимі імпульсної модуляції. Припустимо, що на перетворювач потрапляє сигнал у вигляді радіоімпульса з нескінченно крутим фронтом і без спотворювань перетворюється в акустичну хвилю. В цьому ідеалізованому випадку відклик модулятора буде являти собою імпульс з кінцевою тривалістю фронту τ_ϕ оскільки інтенсивність дифрагованого світла досягне стаціонарного значення лише через проміжок часу, необхідного для заповнення ультразвуком всієї області взаємодії.

Отже,

$$\tau_\phi = \frac{d}{v} = \frac{d \cos \theta_B + L \tan \theta_B}{v} = \frac{d}{v \cos \theta_B} \left(1 + \frac{L}{d} \sin \theta_B \right). \quad (3.3)$$

Користуючись тим, що $d = 2w_0$ і $\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\Lambda}$, формулу (3.3) зведемо до вигляду

$$\tau_\phi = \tau \left(1 + \frac{a}{8\pi} \right), \quad (3.4)$$

де

$$\tau = \frac{d}{v \cos \theta_B}.$$

Смуга модуляції визначається виразом

$$\Delta f \approx \tau_\phi^{-1}. \quad (3.5)$$

При $a \ll 1$

$$\Delta f = \frac{v \cos \theta_B}{d}.$$

Точний розрахунок дає наступне значення:

$$\Delta f = 0,75 \frac{v \cos \theta_{\text{в}}}{d} = \frac{0,75}{\tau}. \quad (3.6)$$

Таким чином, для підвищення швидкодії модулятора необхідно максимально зменшувати розміри області взаємодії. На практиці модулюємий пучок доводиться фокусувати в комірку, при чому найбільша смуга модуляції отримується тоді, коли перетягування пучка знаходиться в центрі області взаємодії. Однак як завгодно зменшувати перетягування нема змісту, оскільки, починаючи з деякого моменту це не приведе до розширення смуги модуляції. Фізично це явище пояснюється тим, що при зменшенні d збільшується дифракційна розбіжність падаючого світла в порівнянні з розбіжністю звукового поля. В граничному випадку $a \gg 1$ тривалість фронту, як впливає з (3.3), буде визначатись довжиною області взаємодії L та кутом Брегга (або інакше — несучою звуковою частотою) і не залежить від величини перетягування d . Легко показати, що смуга модуляції в цьому випадку

$$\Delta f = 2 \frac{vA}{L\lambda} = \frac{2v^2}{L\lambda f_0}. \quad (3.7)$$

При оптимізації модулятора потрібно враховувати, що від величини w_0 залежить ступінь перекриття дифрагованого та пройшовшого пучків і, відповідно, контраст модуляції (під *контрастом модуляції* розуміється відношення інтенсивності світла в робочому максимумі при наявності та відсутності акустичного сигналу в комірці). Для досягнення високої контрастності необхідно, щоб радіус перетягування світлового пучка w_0 в області акустичного поля задовільняв умові

$$W_0 = \frac{2v}{\pi f_0} s,$$

де s — коефіцієнт запасу, а $w_n = 2v/\pi f_0$ — радіус перетягування, при якому пройшовший та дифрагований пучки перекриваються на рівні $1/l^2$ за інтенсивністю. Допустима смуга частот в цьому випадку, згідно (3.6)

$$\Delta f_{\text{мо}} = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} f_0.$$

Таким чином, для підвищення контрасту або збільшення смуги необхідно підвищувати несучу частоту. Однак, як впливає з (3.3) в області $a > 1$ смуга модуляції обернено пропорційна частоті і рівна

$$\Delta f_{\text{нл}} = \frac{Av^2}{L\lambda f_0},$$

де A — деяка константа. Максимальна (і гранична) смуга модуляції Δf_{max} досягається в точці

$$\Delta f_{max} = \frac{1}{\sqrt{s}} \sqrt{\frac{\ln 2}{2}} \frac{v}{\sqrt{L\lambda}}. \quad (3.8)$$

Звідси випливає, що гранична смуга АОМ є функцією довжини перетворювача.

Експериментальна установка. В якості досліджуваного модулятора використовується модернізований пристрій АОМ-192. В якості активного елемента такого модулятора використано халькогенідне скло складу As_2S_3 (рис.3.2)

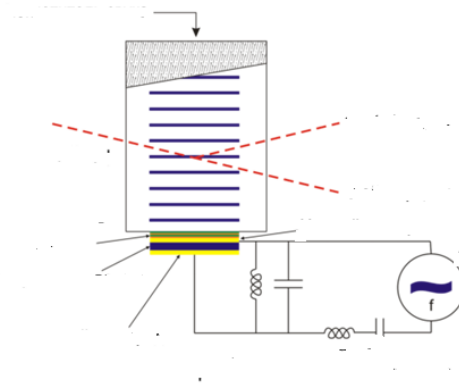


Рис.3.2.Модулятор АОМ-192

Схема установки для вимірювання основних параметрів модулятора зображена на рис. 3. 3.

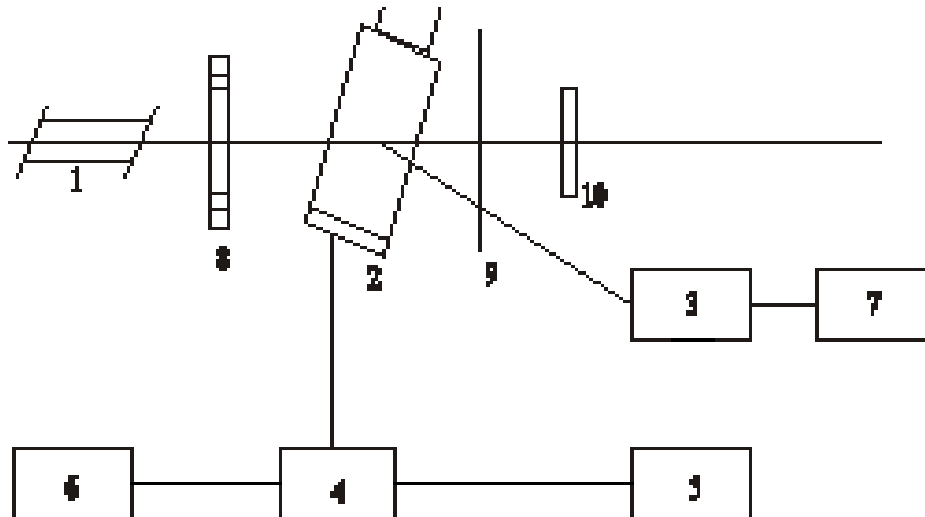


Рис.3.3. Схема установки для вимірювання основних параметрів модуляторів

Промінь світла від гелій-неонового лазера 1 падає на модулятор 3 під кутом Брегга до фронту звукової хвилі. Керуючий сигнал на п'єзоперетворювач подається або від генератора ВЧ сигналів 4, який може керуватися імпульсним генератором 5, або з вихода свіп-генератора вимірювача АЧХ 6. Дифрагований або проходячий світлові пучки реєструються фотоелектронним помножувачем

(ФЕП) 8, сигнал з якого потрапляє або на осцилограф 7, або на вхід вимірювача АЧХ. ФЕП встановлений на столику, який може переміщуватись у взаємно перпендикулярних напрямках. Для забезпечення максимальної інтенсивності дифракції в модуляторі АОМ-192 необхідно, щоб вектор $\vec{E}$ падаючої світлової хвилі був перпендикулярний напрямку поширення звукової хвилі. З цією ціллю перед модулятором встановлюється напівхвильова пластина 2, що дозволяє повертати площину поляризації. Для виділення корисного сигналу з шумів ФЕП при вимірюванні дифракційної ефективності використовується механічний переривач 9.

Завдання до лабораторної роботи.

Завдання 1. Вимірювання дифракційної ефективності.

1. Ввімкнути лазер, живлення ФЕП, генератор, осцилограф. Перед ФЕП поставити білий екран. Подати на п'єзоперетворювач ВЧ сигнал частотою 50 МГц.
2. Юстируванням модулятора (переміщенням по осі z та кутовим поворотом в площинах $x - y$) отримати на екрані дифракційну картину. Екран забрати. Сумістити вхідну апертуру ФЕП з дифрагованим пучком. Ввімкнути механічний переривач. На екрані осцилографа зафіксувати світловий імпульс, вирізаний переривачем. Точним юстуванням досягти максимуму сигналу. Поворотом напівхвильової пластинки встановити оптимальну поляризацію.
3. Виміряти дифракційну ефективність дифракції в 1-й порядок. Для цього необхідно порівняти сигнали від світлового променя, що проходить через модулятор при відсутності напруги на п'єзоперетворювачі і від дифрагованого пучка.

Завдання 2. Вимірювання часу наростання фронту світлового імпульсу

В цьому випадку генератор ВЧ сигналів працює в імпульсному режимі і керується імпульсним генератором. Тривалість імпульсу встановлюється порядку 10 нс. Механічний переривач забирається. Фіксується дифрагований пучок. За час наростання t_r приймається час, за який інтенсивність світлового поля збільшується від 10 до 90% від свого стаціонарного значення.

Завдання 3. Вимірювання частотної характеристики модулятора

1. Вимірювання частотної характеристики модулятора біжучої хвилі проводиться з допомогою вимірювача АЧХ. В цьому випадку напруга на п'єзоперетворювач подається з виходу свип-генератора вимірювача АЧХ, а на його вхід поступає сигнал, зареєстрований ФЕП. Центральна частота свип-генератора встановлюється 50 МГц. Ширина смуги модулятора вимірюється за рівнем 3 дБ.

2. Розрахувати значення параметру за формулою (3.2): при розрахунку прийняти: $\lambda = 0,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, $L = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $w_0 = 10^{-3} \text{ м}$, $v = 2596 \text{ м/с}$, $n = 2,61$.

3. Якщо $a < 1$, то час проходження фронту акустичної хвилі через падаючу світлову за формулою $\tau = t_r / 0,64$. Розрахувати значення величини $\Delta f \tau$.

Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- назву та мету роботи;
- короткі теоретичні відомості;
- короткий опис методики експерименту, блок-схему установки;
- результати вимірювань;
- висновки.

Контрольні запитання.

1. На які види поділяються модулятори?
2. Назвіть параметри модульованої звукової хвилі?
3. В яких модуляторах можна досягти високої частоти модуляції ?
4. Яким співвідношенням визначається кутова розбіжність акустичного пучка ?
5. Яким співвідношенням визначається параметр Гордона?
6. В чому полягає акустооптичний ефект ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Вивчення параметрів акустооптичних дефлекторів

Мета роботи. Ознайомлення з принципами функціонування анізотропного акустооптичного дефлектора на парателуриті та вимірювання його основних параметрів.

Теоретичні відомості.

Акустооптичні дефлектори займають особливе місце завдяки простоті конструкції керування, низьким рівням керуючих сигналів, невеликим габаритам. Вони дозволяють здійснювати як безперервне сканування променя за довільним законом, так і дискретне перемикання в яке завгодно з дозволених положень.

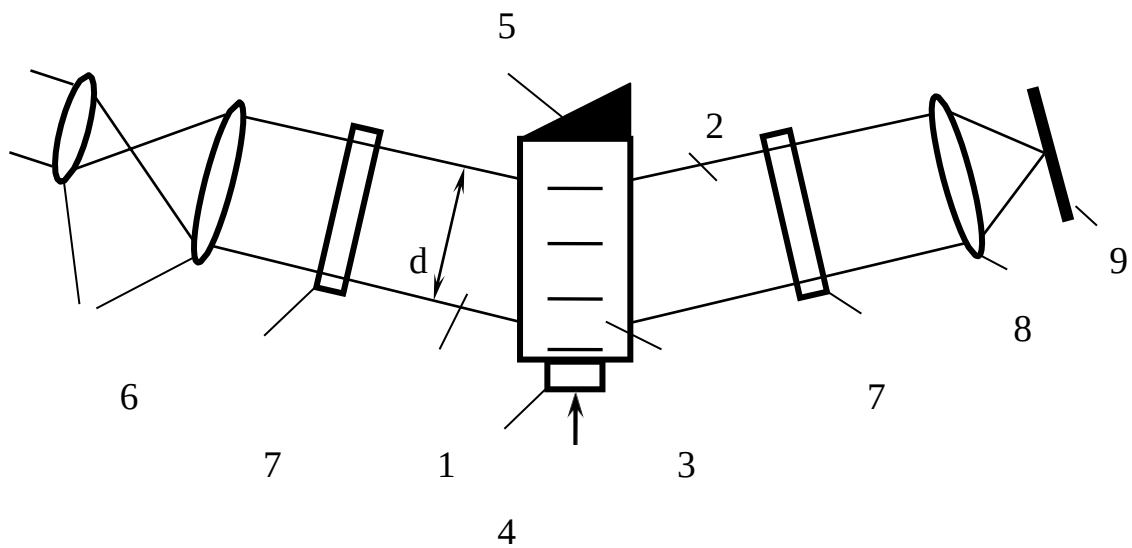


Рис. 4.1. Принципова схема однокоординатного дефлектора: 1 - падаючий світловий пучок; 2 - дифрагований пучок; 3 - акустооптична комірка; 4 - п'єзоперетворювач; 5 - поглинач; 6 - коліматор; 7 - циліндричні лінзи; 8 - сферична лінза; 9 - вихідна площина (екран)

Принцип дії акустооптичних дефлекторів заснований на залежності кута дифракції світла від частоти акустичної хвилі:

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2\lambda} = \frac{\lambda f}{2v}. \quad (4.1)$$

При малих кутах дифракції вимірювання кута сканування прямо пропорційне зміні частоти:

$$\Delta \theta = \frac{\lambda}{2v} \Delta f. \quad (4.2)$$

Однією з найважливіших характеристик дефлектора є число дозованих положень променя N . За критерієм Релея, коли максимум інтенсивності наступного дозованого положення співпадає з першим нулем інтенсивності попереднього дозованого положення променя

$$N = \frac{\Delta \theta}{\phi} = \tau \Delta f, \quad (4.3)$$

де ϕ — кутова ширина світлового пучка на виході з дефлектора, τ — швидкодія дефлектора — час проходження пружної хвилі через апертуру світлового пучка.

Для ізотропної дифракції максимальна ширина діапазона сканування за рівнем 3 дБ

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1,8nv^2}{\lambda L f_0^2} = \frac{1,8}{Q}, \quad (4.4)$$

де L — ширина взаємодії, що забезпечується довжиною п'єзоперетворювача.

Параметр Q визначає не тільки ширину смуги, але і інтенсивність дифракції, тому найбільш широка смуга досягається при $Q = 3,54$. Зрозуміло, що акустична ширина смуги п'єзоперетворювача повинна бути ширше оптичної смуги дефлектора.

Для анізотропної дифракції

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{27}{\sqrt{Q}} = \frac{27v}{f_0} \sqrt{\frac{n}{\lambda L}} \quad (4.5)$$

та можливе сканування світла в смузі частот, яка перевищує октаву.

На відміну від ізотропних дефлекторів вибір матеріалу для анізотропних дефлекторів невеликий. Серед цих матеріалів своїми особливими властивостями виділяється парателурит (TeO_2). Якщо зсувова акустична хвиля збуджується за віссю $[110]$ кристала, а світло поширюється під кутом Брега до оптичної осі, то сильна розбіжність звукового потоку пов'язана з сильною акустичною анізотропією кристалу і провал в середині амплітудно-частотної характеристики пов'язаний з передифракцією в другий порядок, сильно понижують характеристики такого пристрою. Але використання неаксиальних зрізів парателуриту дозволяє уникнути цих недоліків і не тільки вибрати необхідну частоту, але і збільшити діапазон сканування.

Інтенсивність продифрагованого світла з довжиною хвилі λ визначається виразом

$$I_g = I_0 \sin^2 \frac{\pi L}{\cos \theta \lambda_0} \sqrt{\frac{M_2 I_{ak}}{2}}, \quad (4.6)$$

де I_0 — інтенсивність падаючого світла, I_{ak} — інтенсивність акустичної хвилі.

Звідси можна визначити необхідну акустичну потужність для отримання заданої дифракційної ефективності $\eta = I_g / I_0$.

Завдання до лабораторної роботи.

1. Центральним елементом акустооптичного дефлектора є акустооптична дефлекторна комірка. Вона складається з світлозвукопровода, п'єзоперетворювача, акустичної зв'язки між ними, поглинача та тримача або корпусу. Світлозвукопровід з парателуриту зорієнтований та вирізаний таким чином, як показано на рис. 2. Робочі грані світлозвукопроводу, через які проходить звук та світло поліруються за 14 класом чистоти обробки поверхні з площиною 0,5 кільця Ньютона. П'єзоперетворювач з ніобата літія собою пластинку товщиною

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f_0}$$

поліровану з обох боків так само за 14 класом з площиною 0,5 кільця Ньютона і плоскопаралельну не гірше 1 мкм. Грань світлозвукопровода через яку вводиться звук і грані п'єзоперетворювача металізуються з допомогою вакуумного напилення алюмінія. Після цього п'єзоперетворювач приклеюється до звукопроводу акустичною зв'язкою з оптичного клею типу ОК-72 під тиском ($\sim 160 \text{ кгс/см}^2$), забезпечуючи товщину зв'язки набагато менше ніж довжина хвилі звуку в матеріалі зв'язки ($\sim 0,5 \text{ мкм}$). Грань світлозвукопроводу протилежна грані з п'єзоперетворювачем зкошується на кут $\sim 3^\circ$ та з допомогою акустичної зв'язки з'єднується з поглиначем з сплаву МА-8 для позбавлення від відбитої звукової хвилі. Світлозвукопровід з п'єзоперетворювачем та поглиначем закріплюється в тримачі з ВЧ роз'ємом і розпаюються електроди на звукопроводі та п'єзоперетворювачі.

Схема вимірювальної установки зображена на рис.4. 3.

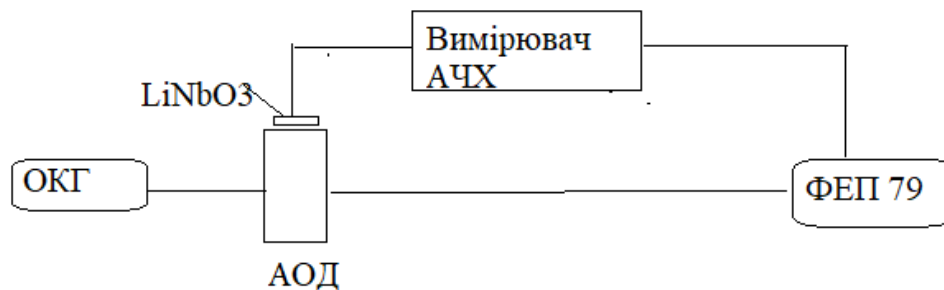


Рис.4. 3. Схема вимірювальної установки рис.4. 3.

Сколімований промінь лазера, проходячи через дефлекторну комірку, дифрагує і, через фокусуючу лінзу, потрапляє на фотоприймач. Керуючий сигнал з виходу приладу для дослідження амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) подається на акустооптичну дефлекторну комірку, а сигнал з фотоприймача подається на вхід приладу для дослідження АЧХ. На екрані приладу спостігається АЧХ дефлекторної комірки та її зміна при зміні кута падіння світла на комірку.

Завдання до лабораторної роботи.

1. Зберіть та включіть установку. Встановіть необхідний діапазон сканування частот. Поставте фокусуючу лінзу на відстані рівній фокусній відстані ($F = 25 \text{ см}$) від комірки і на екрані встановленому на відстані рівній F спостерігайте дифракційну пляму в режимі відсутності сканування частоти (ручне). На основній частоті f_0 поворотом комірки змінюючи кут падіння світла на комірку досягніть максимальної інтенсивності дифракції. Змінюючи частоту вручну або автоматично при різних швидкостях сканування спостерігайте зміну положення продифрагованого променя.

3. Переставте фокусуючу лінзу на відстань рівну від дефлекторної комірки, а фотоприймач на відстань від лінзи. Спостерігайте АЧХ акустооптичної комірки на екрані приладу для дослідження АЧХ. Змінюючи кут падіння світла на дефлекторну комірку досягніть максимальної ширини смуги при приємній ефективності дифракції. Замалюйте отриману АЧХ і за рівнем 3 дБ визначте смугу Δf . Встановіть світловий фільтр на вході фотоприймача.

4. Подайте керуючий сигнал на дефлекторну комірку від більш потужного генератора НВЧ на центральній частоті в режимі меандр. Пересуньте діафрагму таким чином, щоб нульовий порядок попав на фотоприймач. На екрані приладу для дослідження АЧХ визначте ефективність дифракції на заданій частоті при заданому куті падіння світла на дефлекторну комірку, при заданому керуючому сигналі. Яка частина інтенсивності світла дифрагує з нульового (меандр) по відношенню до повної інтенсивності світла (при вимикнутому генераторі).

5. За замальованою АЧХ дефлекторної комірки визначіть смугу частот Δf , за рівнем 3 дБ з точністю ± 1 МГц.

6. Виміряйте апертуру пройшовшого через комірку світла в напрямку поширення звуку. Використовуючи табличне значення швидкості звуку для даного перерізу світлозвукопроводу визначте швидкодію. Розрахуйте число роздільних положень променя для даної дефлекторної комірки за критерієм Релея.

Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- назву та мету роботи;
- короткі теоретичні відомості;
- короткий опис методики експерименту, блок-схему установки;
- результати вимірювань;
- висновки.

Контрольні запитання.

1. Який принцип дії акустооптичних ?
2. Як залежить кут дифракції світла від частоти акустичної хвилі?
3. Яким співвідношенням визначається число дозволених положень променя АОД?
4. Від чого залежить число спостережуваних порядків дифракції ?

5. Яка максимальна ширина діапазона сканування за рівнем 3 дБ в випадку ізотропної дифракції?

6. Яка максимальна ширина діапазона сканування за рівнем 3 дБ в випадку анізотропної дифракції?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження акустооптичних фільтрів

Мета роботи. Ознайомлення з принципами роботи АОФ, вимірювання основних параметрів неколінеарного АОФ.

Теоретичні відомості.

Акустооптичні фільтри (АОФ) призначені для виділення з широкого спектра падаючого світлового потоку вузького діапазону довжин хвиль та перестроювання центральної хвилі λ_0 цього діапазону шляхом зміни керуючої частоти f_a ультразвуку. АОФ характеризується переналаштуванням в заданому діапазоні світлових хвиль з доброю швидкістю сканування, помірним розділенням та високими апертурними характеристиками.

Основні параметри АОФ наступні.

1. Смуга перестроювання $\Delta\lambda$.
2. Смуга пропускання $\delta\lambda$ при фіксованій частоті ультразвуку.
3. Інтенсивність фільтрації I_f .
4. Кутова апертура падаючого світла ϕ .

Найпростішим прикладом АОФ є акустооптична комірка (АОК). Як фільтруючий елемент, АОК характеризується двома перевагами: високою точністю витримування періоду фазової структури по всій комірці та простотою зміни цього періоду. Смуга пропускання АОК для випадку нерозбіжного пучка світла визначається як:

$$\delta\lambda = \frac{2\Lambda^2 \cos \theta}{L}, \quad (5.1)$$

де θ — кут між напрямком поширення світла та фронтом звукової хвилі; L — довжина взаємодії світла та звуку; Λ — довжина звукової хвилі. З (5.1) видно, що найбільш вузька смуга може бути досягнена шляхом збільшення кута падіння світла та довжини взаємодії.

При створенні АОФ спочатку був розглянутий граничний випадок АО взаємодії — колінеарний, де кут падіння рівний 90° . Колінеарна взаємодія вимагає виконання фазового синхронізму

$$\vec{k}_{\text{пад.}} \mp \vec{k}_{\text{ЗВ}} = \vec{k}_{\text{дифр.}} \quad (5.2)$$

де $\vec{k}_{\text{пад.}}$ — хвильовий вектор падаючого світла, $\vec{k}_{\text{дифр.}}$ — хвильовий вектор дифрагованого світла, $\vec{k}_{\text{ЗВ}}$ — хвильовий вектор звуку.

З умови (5.2) витікає закон переналаштування довжини хвилі ПАОФ при зміні частоти ультразвуку:

$$\lambda_0 = \frac{V_{\text{ЗВ}} \Delta n}{f_{\text{ЗВ}}} \quad (5.3)$$

де $f_{\text{ЗВ}}$ — частота ультразвуку, $V_{\text{ЗВ}}$ — швидкість звуку в середовищі АО взаємодії, $\Delta n = n_{\text{пад}} - n_{\text{диф}}$ — різниця показників заломлення падаючого $n_{\text{пад}}$ і продифрагованого $n_{\text{диф}}$ світла.

При умові виконання фазового синхронізму на частоті f_a , для акустооптичної взаємодії плоских хвиль світла та звуку інтенсивність дифрагованого світла I_1 з довжиною хвилі λ_0 визначається як I

$$I_1 = I_0 \sin^2 \frac{L\pi}{\lambda_0} \sqrt{M_2 \frac{I_{ak}}{2}}, \quad (5.4)$$

де I_0 — інтенсивність падаючого світла, I_{ak} — інтенсивність ультразвуку, M_2 — критерій акустооптичної якості, який для даної взаємодії буде

$$M_2 = \frac{n_{ag}^3 n_g^3}{\rho v_a^3} P_{ef}^2, \quad (5.5)$$

де P_{ef} — ефективна фотопружність складова, ρ — густина середовища взаємодії.

При наявності розбіжності світлового потоку смуга пропускання фільтру на фіксованій частоті ультразвуку за рівнем 0,5 буде:

$$2\delta\lambda \approx \frac{18\pi\lambda_0^2}{bL}, \quad (5.6)$$

де b — величина, яка враховує оптичну дисперсію середовища та дещо більша $2\pi(n_2 - n_0)$.

Вся апертура падаючого світла поза кристалом буде

$$\phi = 2n_{\text{пад}} \sqrt{\frac{\lambda_0}{L\Delta n}}. \quad (5.7)$$

Колінеарні фільтри виготовлялись в різних країнах з 1969 року на матеріалах ZiNbO_3 1; α - SiO_2 2,3; CaMoO_4 4; CaWO_4 5. Але колінеарна АО взаємодія обмежена класом використовуваних матеріалів та складністю виготовлення ПАОФ. Фільтрацію світла можна здійснювати, використовуючи неколінеарну геометрію взаємодії. Кількість використовуваних матеріалів розширюється,

конструкція спрощується. Та хоч смуга пропускання дещо збільшується, інтенсивність пропускання, кутова апертура також збільшуються, завдяки вибору матеріалів з кращою АО якістю.

Блок-схема установки для дослідження ПАОФ наведена на рис.5.1. Джерелом оптичного випромінювання (1), служила лампа розжарювання, світло від якої проходило через поляризатор, ПАОФ, аналізатор та попадало на ФЕП. Високочастотні коливання створюються генератором Г4-119, який в досліджуваній області частот має хорошу стабільність та лінійність амплітудно-частотної характеристики. Вимірювання частоти ультразвукових коливань проводилися з допомогою частотоміра Г5-54. Пружні коливання збуджувалися п'єзоперетворювачем (9), з'єднаним з високочастотним генератором. В роботі використовувався п'єзоперетворювач виготовлений із ніобату літія (LiNbO_3).

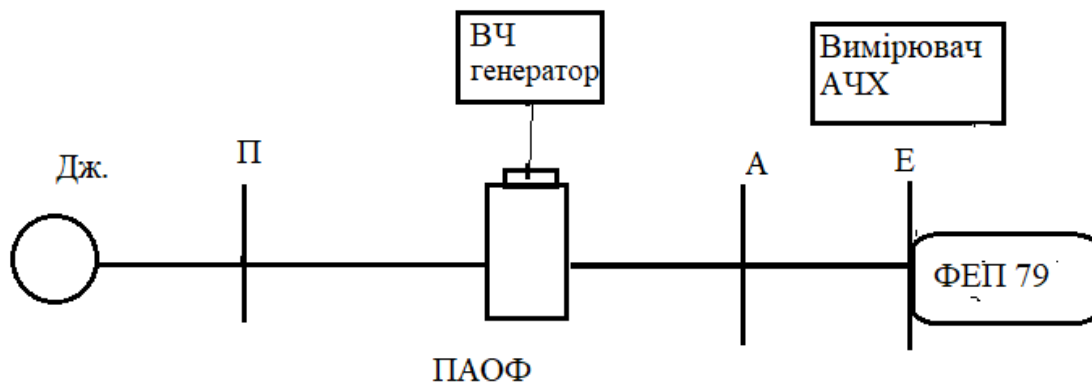


Рис.5.1 Блок-схема установки для дослідження ПАОФ

Завдання до лабораторної роботи.

1. Зібрати оптичну схему, яка наведена на рис. 5.1. Увімкнути прилади, що входять у стенд згідно описів, що надаються до кожного приладу.
2. Встановіть акустооптичний фільтр на юстировальний столик таким чином, щоб світло від лампи розжарення проходило через світлозвукопровід фільтра.
3. Встановіть на вимірювачі частотних характеристик частоту, рівну основній частоті акустооптичного фільтра та мінімальну смугу кочення. Подайте ВЧ сигнал через підсилювач на вхід акустооптичного фільтра. Затемніть.
4. Встановіть екран перед фотоприймачем та, змінюючи юстировальним столиком кут падіння світла на світлозвукопровід фільтра, досягніть опяви на екрані жовтозеленого кольору.
5. Змінюючи частоту на вимірювачі частотних характеристик в бік низьких частот, визначіть частоту, на якій фільтрується синій та фіолетовий колір.

6. Змінюючи частоту в бік високих частот, визначіть частоту, на якій фільтрується червоний колір.
7. Визначіть діапазон робочих частот для фільтрації від фіолетового до червоного кольорів. Встановіть основну частоту акустооптичного фільтра та необхідну смугу колювання. Спостерігайте фільтрацію на екрані при різних швидкостях колювань.
8. Заберіть екран та подайте світло на вхід фотоприймача. На екрані вимірювача частотних характеристик отримайте криву залежності інтенсивності світла від частоти, змінюючи кут падіння світла на світлозвукопровід, центральну частоту та діапазон колювань, досягніть оптимальної характеристики. Замалюйте її.

Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- назву та мету роботи;
- короткі теоретичні відомості;
- короткий опис методики експерименту, блок-схему установки;
- результати вимірювань;
- висновки.

Контрольні запитання.

- 1.Яке призначення має АОФ:
2. Назвіть основні параметри АОФ ?
3. На якій частоті кут дифракції рівний нулю в випадку анізотропної дифракції ?
- 4.Яка інтенсивність дифрагованого світла з довжиною хвилі λ
- 5.В чому полягає акустооптичний ефект ?
- 6.Які відомі режими дифракції світла на акустичних хвилях?

Література

1. М.О. Романюк. Акустооптика. – К.: УМК ВО, 1989. – 88 с.
2. A.Korpel Acusto-optics. CRC Press; 2nd edition (November 6, 1996), 360 p. ISBN-10 : 082479771X ISBN-13 : 978-0824797713
4. Design and fabrication of acousto-optic devices. / Ed. A.P.Goutzoulis and D.R.Pape. N.Y.: Marcel Dekker, 1994.
5. Smit T.M., Korpel A. Measurement of light –sound interaction efficiency solids. IEEE J.Quant.El., 1965, v.QE-1, 1965, v.QE-1, №9, p.283-284.
6. Dixon R.W., Cohen M.G. A new technique for measuring magnitudes photoelastic tensors and its application to lithium niobate. Appl.Phys.Lett., 1966, v.8, №8, p.205-206.
7. Pinnow D.A. Guide lines for the selection of acoustooptic materials. EE J.Quant.El., 1970, v.QE-6, №4, p.223-238.