

Лабораторна робота № 3

ВИВЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ІОННИХ КРИСТАЛІВ В ОБЛАСТІ ОПТИЧНИХ ЧАСТОТ

Мета роботи:

1. Установити природу температурної залежності діелектричної проникності іонних кристалів в області оптичних частот.
2. Експериментально перевірити співвідношення, яке витікає із теоретичного розгляду явища. $\frac{dn}{dT} = -1.8\beta_L$, де $\frac{dn}{dT}$ - зміна показника заломлення іонного кристала із температурою; β_L - коефіцієнт лінійного розширення кристалу.

Обладнання:

кристал LiF, лазер, екран із міліметровою шкалою.

Загальні відомості.

Поляризованість кристала в цілому складається із трьох частин: електронної, іонної та орієнтаційної. Електронна частина поляризованості обумовлена зміщенням електронів в атомі відносно ядра, тобто деформацією електронної оболонки атома. Іонна (або атомна) частина поляризованості пов'язана із зміщенням заряджених іонів відносно інших іонів, що складають кристал. Орієнтаційна або дипольна поляризованість виникає в тих випадках, коли в позиціях кристалічної ґратки знаходяться молекули, які мають постійний діелектричний дипольний момент і орієнтація якого може змінюватися під дією зовнішнього електричного поля. Взагалі рідко буває так, що в одній і тій же речовині три долі поляризованості мають однакову величину. Наприклад, в іонних кристалах дипольна частина поляризованості майже відсутня.

Поляризація, яка обумовлена електронними зміщеннями, установлюється надзвичайно швидко. Час встановлення цього зміщення порівняний з періодом світлових коливань і складає $10^{-14} - 10^{-15}$ сек.

Час встановлення поляризації іонного зміщення порівняний із періодом власних коливань іонів навколо положення рівноваги та складає $10^{-12} - 10^{-13}$ сек. Тому ця частина здатності до поляризації вносить суттєвий вклад до області інфрачервоних частот, а також до області радіо - й мікрохвильових частот. В зв'язку з цим, в області оптичних частот повна здатність до поляризації більшості кристалів майже повністю обумовлена електронною поляризованістю.

В даній лабораторній роботі вивчається природа температурної залежності діелектричної проникності деяких іонних кристалів в області оптичних частот.

Взагалі, зв'язок між діелектричною сталою речовини ϵ і здатністю до поляризації атомів, із яких вона складається, описується рівнянням Клаузіуса-Моссотті (1):

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \sum N_i a_i \quad (1)$$

де N_i - число атомів типу i в одиниці об'єму; a_i - повна здатність до поляризації атомів (молекули) i - того типу.

В області оптичних частот, як це вже було сказано, діелектрична стала майже повністю обумовлена електронною поляризованістю (a_{ie}). В зв'язку з тим, що $\epsilon = n^2$ (1) (n - показник заломлення речовини), то рівняння (1) приймає вигляд

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi}{3} \sum N_i a_{ie} \quad (2)$$

Співвідношення для a_{ie} можна легко одержати із таких міркувань. Рух електрона навколо ядра по замкнутій орбіті можна уявити собі як гармонійні коливання. Якщо орбіта являє собою коло, то ці коливання ізотропні. Якщо ж орбіта має форму еліпса, то коливання анізотропні. Коли сили, які утримують електрон в атомі, такі, що його коливання проходять за гармонійним законом, то згідно з класичною механікою, частота таких коливань

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{b}{m}} \quad (3)$$

де m - маса електрона, b - коефіцієнт пружної сили. Оцінки показують, що величина цієї частоти для більшості іонних кристалів $\sim 10^{-15} \text{ c}^{-1}$. Якраз при цій частоті повинно бути резонансне поглинання енергії зовнішнього поля. Середнє зміщення електрона \bar{x} внаслідок дії електричного поля $E_{\text{лок}}$ можна визначити із умови:

$$eE_{\text{лок}} = b\bar{x} = m\omega_0^2 \bar{x} \quad (4)$$

Статична електронна поляризованість a_e^{cm} за її визначенням $a_e^{cm} = \frac{P}{E_{\text{лок}}}$,

де P дипольний момент атома, $E_{\text{лок}}$ - напруженість електричного поля, що діє на атом в кристалі:

$$a_e^{cm} = \frac{e\bar{x}}{E_{\text{лок}}} = \frac{e^2}{m\omega_0^2} \quad (5)$$

Таким чином, електронна частина поляризації атома в кристалі в області оптичних частот є величиною постійною і не залежить від температури. Тобто, температурна залежність діелектричної проникності кристалів (отже, й показника заломлення) буде визначатися тільки температурною залежністю $N_i(T)$ (див. рівняння (2)). Якщо продиференціювати обидві частини рівняння (2) по температурі, одержимо

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) = \frac{4}{3} \pi a_e \frac{dN_i}{dT} \quad (6)$$

або

$$\frac{3}{(n^2 + 2)^2} \frac{d(n^2)}{dT} = \frac{4}{3} \pi a_e \frac{dN_i}{dT} \quad (7)$$

Помноживши та поділивши праву частину рівняння (7) на N_i та провівши елементарні перетворення, одержимо:

$$\frac{dn}{dT} = \frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{6nN_i} \frac{dN_i}{dT} \quad (8)$$

Але величина $\frac{1}{N_i} \frac{dN_i}{dT}$ - це коефіцієнт об'ємного розширення β з оберненим знаком. Тоді

$$\frac{dn}{dT} = -\frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{6nN_i}\beta = -\frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{2n}\beta_L \quad (9)$$

де $\beta_L = \frac{1}{3}\beta$ коефіцієнт лінійного розширення речовини. Для таких іонних кристалів як NaCl, KCl, KBr в області довжини хвиль 0.3 – 1 мкм, величина $n \approx 1.5$, отже, згідно зі співвідношенням (9), величина $\frac{dn}{dT} \approx -1.8\beta_L$.
 $\beta_L = 5.7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$.

Температурну залежність показника заломлення експериментально можна визначити таким чином. Якщо зразок дослідження вибрати в вигляді трикутної призми і на одну з її граней направити монохроматичний пучок світла, то зв'язок між величиною кута виходу променя зі призми (r) та кутом призми (φ), кутом падіння променя на площину призми (i) та показником заломлення (див рис. 1) визначається співвідношенням (10):

$$n^2 = (\sin i)^2 + \frac{(\sin r + \cos \varphi \sin i)^2}{\sin^2 \varphi} \quad (10)$$

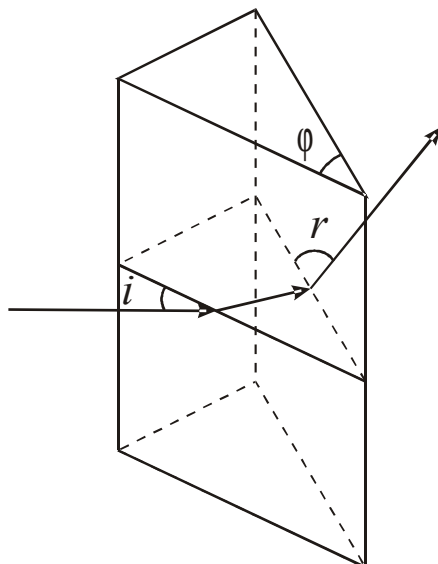


Рис.1. Зв'язок між величиною кута виходу променя із призми (r), кутом призми (φ) та кутом падіння променя на площину призми (i).

Помістивши зразок до спеціальної печі із прорізами для падаючого та вихідного пучка світла можна направити вихідний пучок на екран, який знаходиться на деякій відстані L від зразка. Якщо температура в пічці змінюється від T_1 до T_2 , то пляма світла на екрані переміститься на величину Δh . Очевидно, що $\Delta h = L\Delta r$. При заданих кутах φ та i величина $\Delta r \approx A\Delta n$ де $A = \text{const}$ (див. рівняння (10)). $A = 0.13$.

Таким чином, вимірявши величину Δh при зміні температури від T_1 до T_2 та знаючи L і величину константи A можна вирахувати величину:

Знак величини $\frac{dn}{dT}$ визначається за зменшенням (-) або за збільшенням (+) кута r .

Джерелом монохроматичного світла в роботі є газовий гелій-неоновий лазер з довжиною хвилі $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$.

Після вимірювання величини $\frac{dn}{dT}$ для кристала, який досліджується, співставте значення цієї величини із тим, яке одержано при підрахуванні зі співвідношенням (9). Використовуйте при цьому табличне значення коефіцієнту лінійного розширення кристалу який досліджується.

Порядок виконання роботи.

1. Запропонований викладачем кристал поставте до печі експериментальної установки.
2. Пропустіть промінь гелій-неонового лазера через вхідний отвір печі, кристал та вихідний отвір печі та добийтеся чіткого зображення цього променя на екрані, що знаходиться на відстані L від печі. Зафіксуйте це зображення. $L = 3$ м.
3. Виміряйте величину зміщення променя лазера Δh при нагріванні зразка до трьох указаних викладачем температур.
4. Вирахуйте значення величини при нагріванні до кожної із температур. Найдіть середнє значення цієї величини.
5. Підрахуйте значення величини $\frac{dn}{dT}$ за формулою (9). Співставте її значення з експериментально знайденою величиною $\frac{dn}{dT}$.

Звіт

Зведені до таблиці результати вимірювань

№	T, K	$\Delta h, m$	$\frac{dn}{dT}$	$\left(\frac{dn}{dT}\right)_{cp}$	$\left(\frac{dn}{dT}\right)_{теор}$
1					
2					
3					

Контрольні питання:

1. Що таке поляризованість діелектрика?
2. Чим обумовлена поляризованість в області оптичних частот?
3. Як залежить електронна частина поляризації атома від температури?
4. Чому діелектрична проникність залежить від температури?

Література

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела – М. Наука 1978.
2. Сканави Г. И. Физика диэлектриков – М. 1958.
3. Мотт Н. Ф. Герин Р. В. электронные процессы в ионных кристаллах – М. 1950.