

ФОТОПРУЖНІСТЬ КРИСТАЛІВ CaWO_4 ЗА РІЗНИЦЕЮ ХОДУ І ДВОЗАЛОМЛЕННЯМ

Б. Г. Мищик, Я. П. Кость, А. С. Андрушак, І. М. Сольський
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів МСП, 79601, Україна

(Отримано 7 травня 2010 р.; в остаточному вигляді — 10 березня 2011 р.)

Для тетрагональних кристалів вольфрамату кальцію визначені всі п'єзооптичні коефіцієнти (ПОК) за різницею ходу і двозаломленням, у співвідношення для яких входять як головні абсолютні ПОК, так і поворотні, зсувні та поворотно-зсувні ПОК. Вивчена температурна стабільність найбільших ПОК, а також указано на високу температурну стабільність двозаломлення кристалів CaWO_4 . Найбільші ПОК вольфрамату кальцію вдвічі переважають відповідні ПОК модельного акустооптичного кристала LiNbO_3 . Зважаючи на це та короткохвильову межу області прозорості ~ 130 нм, зроблено висновок, що вольфрамат кальцію є перспективним матеріалом для акустооптичної модуляції світла у видимій та ультрафіолетовій ділянках спектра.

Ключові слова: п'єзооптичні коефіцієнти, різниця ходу, двозаломлення, пружність, температурне розширення, температурна стабільність.

PACS number(s): 78.20.Np

ВСТУП

В [1] продемонстровано, що кристали вольфрамату кальцію (CaWO_4), які належать до тетрагонального класу симетрії $4/m$ [2], є перспективним акустооптичним матеріалом. Тому для них слід всесторонньо дослідити п'єзооптичний ефект (ПОЕ) поляризаційно-оптичним та інтерферометричним методами, який є первинними на шляху до вивчення пружнооптичних характеристик й акустооптичної ефективності. Для тетрагональних кристалів у роботі [3] встановлено робочі співвідношення, які описують взаємозв'язок між п'єзооптичними коефіцієнтами (ПОК) різниці ходу π_{km}^0 та абсолютними ПОК π_{im} для найважливіших геометрій експерименту; у відповідні співвідношення входять як головні коефіцієнти π_{im} ($i, m = 1, 2, 3$), так і неголовні ПОК (зсувний π_{16} , поворотний π_{61} та поворотно-зсувні $\pi_{45}, \pi_{44}, \pi_{66}$). У [3] обговорено доцільність вивчення ПОК різниці ходу з того погляду, що на основі ПОК π_{km}^0 і кількох інтерферометричних вимірювань можна знайти всі абсолютні ПОК π_{im} , як правило, з вищою точністю, ніж лише на основі інтерферометричних даних. Тут індекси i, k, m позначають напрямки поляризації й поширення світла та дії одноосного тиску відповідно. Крім того, величини ПОК π_{km}^0 та відповідні півхвильові напруження є важливими для оцінки можливості їх застосування в пристроях, що працюють за принципом фотопружної модуляції світла [4–6].

У цій статті поляризаційно-оптичним методом на п'ятох зразках різної орієнтації визначено ПОК π_{km}^0 кристалів CaWO_4 . Вивчено температурну стабільність найбільших ПОК, а також залежність від температури двозаломлення цих кристалів із урахуванням їх температурного розширення. Відповідні характеристики є важливими для оцінки температурної стабільності акустооптичних комірок.

І. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

ПОК π_{km}^0 визначено поляризаційно-оптичним методом [7–9] на основі керуючих механічних напружень σ_{km}^0 : $\pi_{km}^0 = -\lambda/\sigma_{km}^0 = -\lambda/(\sigma_{km} \cdot d_k)$, де λ — довжина світлової хвилі, σ_{km} — півхвильове напруження зразка, d_k — товщина зразка в напрямку поширення світла. Розраховано також ПОК двозаломлення π_{km}^* на основі виразу [9]

$$\pi_{km}^* = -\frac{2\delta\Delta n_k}{\sigma_m} = \pi_{km}^0 + 2\Delta n_k S_{km}^*, \quad (1)$$

де σ_m — механічне напруження, S_{km}^* — комбінації коефіцієнтів пружної податливості S_{km}^* (приклад виразу для S_{km}^* див. у розд. II), Δn_k — двозаломлення, $\delta\Delta n_k$ — зміна двозаломлення.

Залежність ПОК π_{km}^0 від температури вивчено методом, детально описаним у [10], який дає змогу визначати температурні зміни π_{km}^0 з похибкою $\sim 0.5\%$. Суть методу полягає у тому, що для будь-якої температури вимірювання півхвильового напруження за допомогою компенсатора різниці ходу встановлюють однакову початкову фазу вимірювання. Цим виключають похибки можливої нелінійності ПОЕ, неоднорідності перетину лазерного променя, недостатньої оптичної якості зразка та оптичних компонент системи.

Урахування температурного розширення при встановленні залежностей $\delta\Delta n_k(T)$ зроблено на основі виразу [10]:

$$\delta\Delta n_k(T) = \delta\Delta_k(T)/d_k - \alpha_k \cdot \Delta n_k \cdot \Delta T, \quad (2)$$

де $\delta\Delta n_k(T)$ та $\delta\Delta_k(T)$ — температурні зміни двозаломлення та різниці ходу $\Delta_k = \Delta n_k \cdot d_k$ відповідно, α_k — коефіцієнт термічного розширення.

Температурні залежності різниць ходу $\delta\Delta_1(T)$ та $\delta\Delta_4(T)$ вивчено поляризаційно-оптичним методом Сенармона при ретельній стабілізації кожної температури вимірювання.

Для розрахунків π_{km}^* і $\delta\Delta n_1(T)$ використано такі значення S_{km} [11], n_i [12] та α_k [13, 14]: $S_{11} = 10.5$; $S_{12} = -5.1$; $S_{13} = -1.7$; $S_{16} = 7.7$; $S_{33} = 8.8$; $S_{44} = 29.8$; $S_{66} = 33.5$ (усе в од. $10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н} = 1 \text{ Бр} \equiv \text{Брюстер}$); $n_1 = n_2 = 1.920$; $n_3 = 1.936$; $n_4 = 1.928$; відповідно $\Delta n_1 = \Delta n_2 = 0.016$; $\Delta n_4 = 0.008$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 12.0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Значення $\Delta n_4 = \Delta n_{\bar{4}}$ визначено як $n_1 - n_4$, де n_4 розраховано на основі відомого виразу $n_4 = n_{\bar{4}} = \sqrt{2n_1n_3/\sqrt{n_1^2 + n_3^2}}$.

II. РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

Досліджено зразки у формі кубиків із ребром $\sim 7 \text{ мм}$. Для вивчення ПОЕ кристалів CaWO_4 виготовлено 5 зразків різної орієнтації (рис. 1). У таблиці вказано відповідні номери зразків. Вибрано саме ті геометрії експерименту, у які входять комбіновані суми абсолютних головних ПОК π_{im} і неголовних ПОК π_{16} , π_{61} , π_{45} , π_{44} та π_{66} . Співвідношення взаємозв'язку між абсолютними ПОК π_{im} та коефіцієнтами

π_{km}^0 для різних геометрій експерименту виведені в [3]. Ці співвідношення й результати цієї роботи необхідні для точного визначення абсолютних ПОК π_{im} на основі комбінації поляризаційно-оптичного та інтерферометричного методів вивчення ПОЕ.

Значення керуючих напружень σ_{km}^0 , ПОК різниці ходу і двозаломлення (π_{km}^0 та π_{km}^*), а також пружного внеску $2\Delta n_k S_{km}^*$ в π_{km}^0 , див. (1), при температурі $T_k = 20^\circ\text{C}$ та довжині світлової хвилі $\lambda = 632.8 \text{ нм}$ подано в таблиці.

Звернемо увагу на те, що для головних геометрій експерименту, коли індекси $k, m = 1, 2, 3$, символ S_{km}^* в (1) і в таблиці дорівнює відповідному коефіцієнту пружної податливості S_{km} . Наприклад, для $k = 1, m = 3$ маємо: $S_{13}^* = S_{13}$. Якщо ж один із указаних індексів має значення $4, \bar{4}, 6, \bar{6}, 6^*, \bar{6}^*, B, \bar{B}$ (див. рис. 1 і табл.), то S_{km}^* складається з комбінованої суми коефіцієнтів S_{km} . Наприклад, при $k = 6, m = \bar{6}$ (стрічка 9 у табл.) вираз для S_{km}^* має вигляд:

$$S_{km}^* = \left(S_{11} + S_{12} - \frac{1}{2} S_{66} \right). \quad (3)$$

Інші вирази для S_{km}^* , на основі яких розраховано пружний внесок в π_{km}^0 (4-а колонка таблиці), узято з [3].

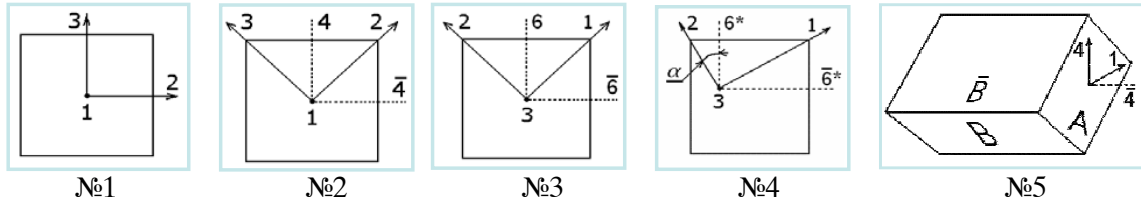


Рис. 1. Схеми орієнтації кристалофізичних осей 1, 2, 3, напрямків 4, 6, 6* та граней B і \bar{B} на зразках для дослідження ПОЕ (для зразка №4 кут $\alpha = 22.5^\circ$).

№ з/п	σ_{km}^0	π_{km}^0	$2\Delta n_k S_{km}^*$ (% від π_{km}^0)	π_{km}^*	№ зразка
1.	$\sigma_{12}^0 = \sigma_{21}^0 = -115$	$\pi_{12}^0 = +5.6$	+0.15 (2.7%)	+5.8	№ 1
2.	$\sigma_{13}^0 = \sigma_{23}^0 = -190$	$\pi_{13}^0 = +3.4$	+0.05 (1.5%)	+3.45	
3.	$\sigma_{31}^0 = \sigma_{32}^0 = 37$	$\pi_{31}^0 = 17.5$	0	17.5	
4.	$\sigma_{14}^0 = \sigma_{1\bar{4}}^0 = +205$	$\pi_{14}^0 = -3.15$	+0.1 (3.2%)	-3.05	№ 2
5.	$\sigma_{41}^0 = \sigma_{\bar{4}1}^0 = -240$	$\pi_{41}^0 = -2.7$	-0.05 (1.85%)	-2.75	
6.	$\sigma_{44}^0 = \sigma_{\bar{4}\bar{4}}^0 = +85$	$\pi_{44}^0 = +7.8$	-0.05 (0.6%)	+7.75	
7.	$\sigma_{36}^0 = \sigma_{3\bar{6}}^0 = 145$	$\pi_{36}^0 = 4.45$	0	4.45	№ 3
8.	$\sigma_{63}^0 = \sigma_{\bar{6}3}^0 = -190$	$\pi_{63}^0 = +3.4$	+0.05 (1.5%)	+3.45	
9.	$\sigma_{66}^0 = \sigma_{\bar{6}\bar{6}}^0 = +120$	$\pi_{66}^0 = -5.4$	+0.2 (3.7%)	-5.2	
10.	$\sigma_{36^*}^0 = \sigma_{3\bar{6}^*}^0 = 85$	$\pi_{36^*}^0 = 7.6$	0	7.6	№ 4
11.	$\sigma_{6^*3}^0 = \sigma_{\bar{6}^*3}^0 = -185$	$\pi_{6^*3}^0 = +3.5$	+0.05 (1.4%)	+3.55	
12.	$\sigma_{4B}^0 = +35$	$\pi_{4B}^0 = -18.5$	+0.08 (0.5%)	-18.4	
13.	$\sigma_{4\bar{B}}^0 = -38$	$\pi_{4\bar{B}}^0 = +17.0$	+0.03 (0.2%)	+17.0	
14.	$\pi_{4B}^0 - \pi_{4\bar{B}}^0 = -18.4 - 17.0 = -35.5$		+0.05 (0.2%)	-35.4	

Примітка: у колонках 4 і 5 індекси k, m такі ж, як у колонці 3.

Таблиця. П'єзооптичні характеристики кристалів вольфрамату кальцію: σ_{km}^0 подані в кГ/см, інші дані — в Бр ($10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$).

Керуючі напруження (колонка 2) подані зі знаками “+” або “-”, які означають, що механічні напруження стиску збільшують або зменшують природну різницю ходу (визначено за допомогою кварцевого клина). У випадку, коли $k = 3$, знаки ПОЕ не встановлені (стрічки 3, 7, 10), оскільки $\Delta n_3 = 0$ і, відповідно, $\pi_{km}^* = \pi_{km}^0$. Для правильного врахування знаків π_{km}^0 і пружного внеску при розрахунку значень π_{km}^* знак коефіцієнтів π_{km}^0 установлено на основі узагальненого правила, сформульованого в [9, 16].

При аналізі результатів, поданих у таблиці, слід звернути увагу на таке.

1. Найбільшими з головних ПОК π_{31}^0 є ПОК $\pi_{31}^0 = -\pi_{32}^0$, який майже удвічі більший від головного ПОК $\pi_{12}^0 = -\pi_{21}^0$ модельного акустооптичного кристала ніобату літію [10, 15]. Це дає підстави вважати, що відповідні абсолютні п’єзо- і пружнооптичні коефіцієнти, а також відповідні коефіцієнти акустооптичної якості

матимуть також великі значення. Частково це підтверджено в [1].

2. Звернімо увагу на симетрично тотожні геометрії, для яких справедливими є такі рівності: $\sigma_{12}^0 = \sigma_{21}^0$, $\sigma_{13}^0 = \sigma_{23}^0$, $\sigma_{31}^0 = \sigma_{32}^0$, $\sigma_{14}^0 = \sigma_{1\bar{4}}^0$, $\sigma_{41}^0 = \sigma_{4\bar{1}}^0$ і т. п. Тобто напрямки 1 і 2, 4 і $\bar{4}$, 6 і $\bar{6}$, 6^* і $\bar{6}^*$ є симетрично тотожними як щодо поширення світла, так і щодо дії одновісного тиску. Тому в таблицю внесені середньоарифметичні значення σ_{km}^0 для симетрично тотожних геометрій експерименту.

Лише дві геометрії експерименту з поданих у таблиці є винятками з цього правила, а саме: $\sigma_{4B}^0 \neq \sigma_{\bar{4}\bar{B}}^0$ і, відповідно, $\pi_{4B}^0 \neq \pi_{\bar{4}\bar{B}}^0$ (це стосується і абсолютних величин і знаків, див. табл.). Нетотожність напрямків B і \bar{B} щодо дії одновісного тиску підтверджується співвідношеннями, які описують ПОЕ для вказаних геометрій експерименту [3], а саме:

$$\pi_{4B}^0 = \frac{1}{8} \left[3\pi_{11} + \pi_{13} - \pi_{33} - 3\pi_{31} - 2\pi_{44} - \sqrt{2}(2\pi_{45} - 3\pi_{16}) \right] n_{\text{сеп}}^3 - \frac{1}{4} \left(S_{11} + 2S_{12} + 4S_{13} + S_{33} - S_{44} - \sqrt{2}S_{16} \right) (n_1 - n_4), \quad (4)$$

$$\pi_{4\bar{B}}^0 = \frac{1}{8} \left[3\pi_{11} + \pi_{13} - \pi_{33} - 3\pi_{31} - 2\pi_{44} + \sqrt{2}(2\pi_{45} - 3\pi_{16}) \right] n_{\text{сеп}}^3 - \frac{1}{4} \left(S_{11} + 2S_{12} + 4S_{13} + S_{33} - S_{44} + \sqrt{2}S_{16} \right) (n_1 - n_4), \quad (5)$$

де $n_{\text{сеп}}^3 = (n_1^3 + n_4^3)/2$ – середнє значення кубів показників заломлення променів, що поширюються в кристалі вздовж напрямку $k = \bar{4}$.

Бачимо, що (4) і (5) відрізняються знаками перед різницею ПОК $2\pi_{45} - 3\pi_{16}$ і перед пружним коефіцієнтом S_{16} . Саме вказані відмінності дають змогу отримати простий вираз для визначення комбінації абсолютних ПОК $2\pi_{45} - 3\pi_{16}$ шляхом віднімання (4) і (5):

$$\pi_{4B}^0 - \pi_{4\bar{B}}^0 = -\frac{\sqrt{2}}{4} (2\pi_{45} - 3\pi_{16}) n_{\text{сеп}}^3 + \frac{\sqrt{2}}{2} S_{16} (n_1 - n_4). \quad (6)$$

У (6) відсутні більшість коефіцієнтів π_{im} і S_{km} , що входять у (4) і (5), тому похибка визначення різниці $2\pi_{45} - 3\pi_{16}$ буде малою.

Зауважимо, що коефіцієнт π_{16} можна визначити незалежно інтерферометричним методом на тому ж зразку B -зрізу (№ 5, рис. 1) [1]. Тоді з (6) можна знайти і π_{45} .

Ще одне цікаве спостереження. У [3] аналітично, а в цій роботі експериментально продемонстровано, що напрямки 4 і $\bar{4}$ для тетрагональних кристалів є симетрично тотожними. Натомість, у [10, 16] доведено, що для тригональних кристалів (класи симетрії 32 і 3m) ці напрямки не є симетрично тотожними як щодо поширення й поляризації світла, так і щодо дії одновісного тиску.

3. Пружні внески в π_{km}^0 є малими (0.05 ÷ 3.7%) за рахунок малих значень двозаломлення Δn_1 і Δn_4 кристалів CaWO_4 . Навіть у випадках, коли у пружний доданок виразу для π_{km}^0 входить велика кількість пружних констант S_{km} , див., наприклад, (4) і (5), взаємодія знаків цих S_{km} формує малі значення суми S_{km} , які разом з малими Δn_k зумовлюють нерівність $2\Delta n_k S_{km}^* \ll \pi_{km}^0$. Тому в межах точності поляризаційно-оптичного експерименту (5 ÷ 7%) справедливою є рівність $\pi_{km}^* = \pi_{km}^0$. Однак, використовуючи ПОК π_{km}^0 і π_{km}^* для визначення абсолютних ПОК π_{im} з високою точністю, пружні внески необхідно враховувати.

4. У роботі [3] на основі аналітичного опису ПОЕ вказано, що для тетрагональних кристалів, які належать до класів симетрії 4, $\bar{4}$, 4/m (CaWO_4), вирази для ПОК різниці ходу π_{63}^0 , $\pi_{\bar{6}3}^0$, $\pi_{6^*3}^0$, $\pi_{\bar{6}^*3}^0$ тотожні виразами для головних ПОК π_{13}^0 та π_{23}^0 , а саме, виходячи з результатів [3], можемо записати:

$$\pi_{63}^0 = -\pi_{\bar{6}3}^0 = \pi_{6^*3}^0 = -\pi_{\bar{6}^*3}^0 = \pi_{13}^0 = -\pi_{23}^0 = \pi_{13} n_1^3 - \pi_{33} n_3^3 - 2S_{13} (n_1 - n_3). \quad (7)$$

Рівність указаних ПОК демонструють результати таблиці (стрічки 2, 8 і 11). Від’ємні знаки при коефіцієнтах π_{63}^0 , $\pi_{\bar{6}^*3}^0$ і π_{23}^0 в (7) – результат застосування узагальненого правила встановлення знаків ПОЕ [9, 16].

Підкреслимо, що застосування узагальненого правила знаків π_{km}^0 є обов'язковим для тих геометрій експерименту, для яких співвідношення містять неголовні ПОК. Наприклад, при некоректному визначенні знаків π_{4B}^0 та $\pi_{4\bar{B}}^0$ знайти величину і знак коефіцієнта π_{45} на основі (6) неможливо.

III. ТЕМПЕРАТУРНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПОЕ І ДВОЗАЛОМЛЕННЯ

Для кристалів CaWO_4 досліджено температурні залежності найбільших ПОК π_{km}^0 (рис. 2) та двозаломлення Δn_1 і Δn_4 (рис. 3). Відносна температурна зміна ПОК невелика: π_{31}^0 зменшується на 0.24% при підвищенні температури на 10 град, π_{44}^0 — на 0.32% і π_{4B}^0 — на 0.19%. Указані значення температурної зміни ПОК є сумірними з відповідними змінами π_{km}^0 кристалів LiNbO_3 [10].

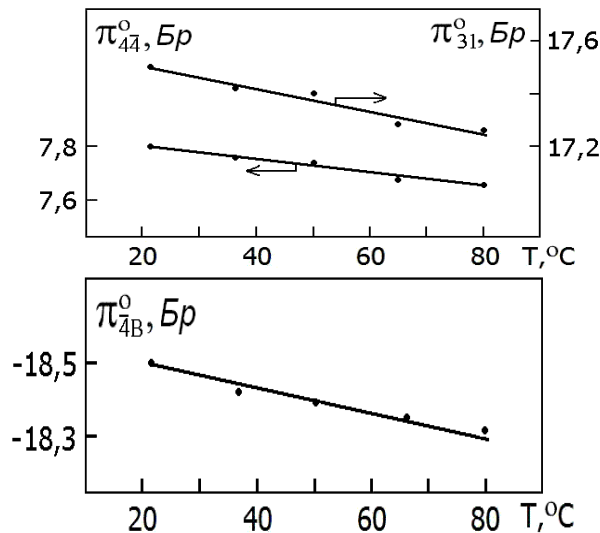


Рис. 2. Температурні залежності ПОК різниці ходу.

Звернемо увагу на те, що відхилення експериментальних точок від графіків $\pi_{km}^0(T)$ не перевищує 0.1%, 0.15% і 0.2% для ПОК π_{4B}^0 , π_{31}^0 і π_{44}^0 відповідно. Вказані відхилення свідчать, що похибки використаної методики вивчення залежностей $\pi_{km}^0(T)$ не перевищують 0.2%.

Температурні зміни двозаломлення Δn_1 на зразку прямих зрізів (№ 1, рис. 1) і зразку Z/45°-зрізу (№ 3, тут $\Delta n_1 \equiv \Delta n_6$) є тотожними і становлять 0.082% на 10 град, а Δn_4 на зразку X/45°-зрізу (№ 2) — 0.091% на 10 град. Підкреслимо, що вказані відносні зміни Δn_k є приблизно в 5 разів менші, ніж у кристалах ніобату літію [10]. Відповідні абсолютні зміни аж у ~25 разів менші, оскільки двозаломлення кри-

сталів LiNbO_3 [17] у 5 разів більше, ніж у вольфраматі кальцію. Розрахована на основі (2) залежність $\Delta n_1(T)$ з урахуванням температурного розширення (ТР) (рис. 3, графік 2) суттєво відрізняється від сумарного ефекту (зміни різниці ходу на одиницю товщини; рис. 3, графік 1), а саме, внесок ТР становить 17% у зміну різниці ходу. Для порівняння: внесок ТР для ніобату літію є суттєво меншим і становить 4%.

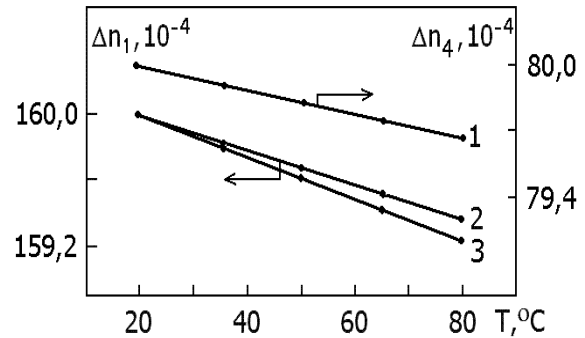


Рис. 3. Температурна залежність двозаломлення: 1, 3 — без урахування температурного розширення (ТР), 2 — із урахуванням ТР.

IV. ВИСНОВКИ

До особливостей ПОЕ за різницею ходу в кристалах вольфраматі кальцію слід віднести: 1) великі значення ПОК π_{31}^0 і π_{4B}^0 (~20 Бр); 2) тотожність напрямків 1 і 2, 4 і 4̄, 6 і 6̄, 6* і 6* як щодо поширення світла, так і щодо дії одновісного тиску, на відміну від ніобату літію, для якого напрямки 4 і 4̄ не є симетрично тотожними [10]; 3) тотожність коефіцієнтів π_{13}^0 , π_{63}^0 та π_{6*3}^0 підтверджена відповідними співвідношеннями [3] та експериментальними даними (див. табл.); 4) висока температурна стабільність ПОЕ та двозаломлення; 5) як ПОК, так і двозаломлення вольфраматі кальцію зменшуються з підвищенням температури.

П'єзооптичні коефіцієнти за різницею ходу та двозаломленням разом з інтерферометричними дослідженнями дають змогу визначити абсолютні ПОК з вищою точністю, ніж лише методами інтерферометрії; докладно про це див. у [18]. Підкреслимо також, що найбільші ПОК вольфраматі кальцію удвічі переважають відповідні ПОК модельного акустооптичного кристала LiNbO_3 [12]. Зважаючи на це та короткохвильову межу області прозорості ~130 нм [19], можна констатувати, що вольфрамат кальцію є перспективним матеріалом для акустооптичної модуляції світла у видимій та ультрафіолетовій ділянках спектра.

- [1] В. Мутсык, Я. Кост', А. Андрущак, І. Солскіі *Proceedings of Xth International Conference TCSET 2010* (Lviv-Slavske, Ukraine, 23–27 February 2010), p. 387.
- [2] J. M. Farley, G. A. Saunders, *Solid State Commun.* **9**, 965 (1971).
- [3] Я. П. Кость, А. С. Андрущак, Б. Г. Мицик, Вісник НУ "Львівська політехніка", сер. електроніка **681**, 118 (2010).
- [4] Ю. Н. Кликушин, А.С. 1000795 СССР *Фотоупругий преобразователь*; опубл. БИ № 8, 1983.
- [5] M. N. Trainer, Patent US 4.648.274. *Photoelastic measuring transducer and accelerometer based thereon*; Date 10.03.1987.
- [6] А. С. Андрущак, Б. Г. Мыцык, Б. В. Осыка, А.С. 1796936 СССР *Фотоупругий преобразователь давления*; опубл. БИ № 7, 1993.
- [7] А. С. Сонин, А. С. Василевская, *Электрооптические кристаллы* (Атомиздат, Москва, 1971).
- [8] Т. С. Нарасимхамурти, *Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов* (Мир, Москва, 1984).
- [9] В. Мутсык, *Ukr. J. Phys. Optics.* **4**, 1 (2003).
- [10] Б. Г. Мицик, А. С. Андрущак, Я. П. Кость, І. М. Сольський, *Журн. фіз. досл.* **12**, 3705 (2008).
- [11] J. M. Farley, G. A. Saunders, D. Y. Chung, *Solid State Phys.* **8**, 780 (1975).
- [12] T. A. Davis, K. Vedam, *J. Opt. Soc. Am.* **58**, 1446 (1968).
- [13] S. N. Achary, S. J. Patwe, M. D. Mathews, A. K. Tyagi, *J. Phys. Chem. Solids* **67**, 774 (2006).
- [14] Н. Г. Рябцев, *Материалы квантовой электроники* (Советское радио, Москва, 1972).
- [15] В. Г. Мутсык *et al.*, *Appl. Opt.* **48**, 1904 (2009).
- [16] В. Мутсык, Я. Прыриз, А. Андрущак, *Cryst. Res. Technol.* **26**, 931 (1991).
- [17] *Акустические кристаллы*: Справочник, под ред. М. П. Шаскольской (Наука, Москва, 1982).
- [18] В. Г. Мутсык *et al.*, *Opt. Mater.* **33**, 26 (2010).
- [19] M. Bass, *Handbook of Optics. Vol. 2* (McGraw-Hill Inc., New York, 1995).

PHOTOELASTICITY OF OPTICAL RETARDATION AND BIREFRINGENCE OF THE CaWO₄ CRYSTALS

В. Н. Мутсык, Я. П. Кост', А. С. Андрущак, І. М. Солскіі
Karpenko Physico-Mechanical Institute
 5 Naukova St., Lviv, 79601, Ukraine

All piezooptic coefficients (POC) of optical retardation and birefringence for calcium tungstate tetragonal crystals were determined. Relations for these coefficients have as main absolute POCs and turning, shift, turning-shift POCs. The temperature stability of the largest POCs was studied and a high temperature stability of the birefringence of CaWO₄ crystals was shown. The largest POCs of calcium tungstate are twice as large as the relevant POCs of the LiNbO₃ model acousto-optic crystal. Taking into consideration that fact and the short-wave limit of transparency region of 130 nm we have concluded that calcium tungstate is a promising material for the light acousto-optic modulation in the visible and ultraviolet spectral regions.