

УДК 537.226, 538.936, 621.315

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ $\text{TlInS}_2$ В ОКОЛІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ

*О. О. Гомоннай<sup>1</sup>, П. П. Гуранич<sup>1</sup>, Р. Р. Росул<sup>1</sup>, О. Г. Сливка<sup>1</sup>,  
І. Ю. Роман<sup>2</sup>, М. Ю. Риган<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46,  
тел. +380-3122-34408, e-mail: gomonnai\_o@ukr.net

<sup>2</sup> Інститут електронної фізики НАН України, 88000, Ужгород, вул. Університетська, 21

<sup>3</sup> Ужгородський НТЦ МОНІ Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, 88000,  
Ужгород, вул. Замкові сходи, 4

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ $\text{TlInS}_2$ В ОКОЛІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ

*О. О. Гомоннай, П. П. Гуранич, Р. Р. Росул, О. Г. Сливка, І. Ю. Роман, М. Ю. Риган*

**Анотація.** Досліджено оптичні властивості шаруватих сегнетоелектриків  $\text{TlInS}_2$  з неспівмірною фазою. Встановлено, що у інтервалі температур 190—220 К спостерігається зміна коноскопічних картин кристалу, відбувається поворот площини, зміна відстані між оптичними осями кристалу. Досліджено температурну зміну двоприменезаломлення та аномальної частини, та встановлено, що при температурах  $T_c = 197$  К та  $T_i = 216$  К спостерігаються аномалії, що відповідають структурним фазовим переходам.

**Ключові слова:** шаруватий кристал, фазовий перехід, двоприменезаломлення

## OPTICAL PROPERTIES OF $\text{TlInS}_2$ FERROELECTRIC NEAR PHASE TRANSITIONS

*O. O. Gomonnai, P. P. Guranich, R. R. Rosul, A. G. Slivka, I. Yu. Roman, M. Yu. Rigan*

**Abstract.** Studies of the optical properties of layered ferroelectric  $\text{TlInS}_2$  with an incommensurate phase were performed. In temperature range 190—220 K change of conoscopic patterns, turn of the plane and distance between optical axes of crystal were obtained. The temperature dependences of birefringence and anomalous part were investigated, and anomalies at temperatures  $T_c = 197$  K and  $T_i = 216$  K, corresponding structural phase transitions were revealed.

**Key words:** layered crystal, phase transition, birefringence

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ $\text{TlInS}_2$ В ОБЛАСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

*А. А. Гомоннай, П. П. Гуранич, Р. Р. Росул, А. Г. Сливка, И. Ю. Роман, М. Ю. Риган*

**Аннотация.** Исследованы оптические свойства слоистых сегнетоэлектриков  $\text{TlInS}_2$  с несоизмеримой фазой. Определено, что в интервале температур 190—220 К наблюдаются изменение коноскопических картин кристалла, происходит поворот плоскости и изменение расстояния между оптическими осями кристалла. Исследовано температурную зависимость двулучепреломления и аномальной ее части, и определено, что при температурах  $T_c = 197$  К и  $T_i = 216$  К наблюдаются аномалии, соответствующие структурным фазовым превращениям.

**Ключевые слова:** слоистый кристалл, фазовый переход, двулучепреломление

## 1. Вступ

Експериментальні дослідження й аналіз температурно-спектрально-баричних діаграм фероїків, які дають можливість встановити співвідношення між деформаціями оптичної індикатриси, зумовленої змінами температури, тиску і довжини хвилі, та запропонувати такі матеріали в якості кристалооптичних датчиків температури й тиску.

Цікавими об'єктами для досліджень такого плану є кристали  $TlMX_2$  ( $M = Ga, In, X = Se, S$ ), які належать до групи низьковимірних шаруватих структур та структур ланцюгового типу. Серед них окреме місце займають квазидвовимірні напівпровідникові кристали  $TlInS_2$ , в яких на основі комплексних експериментальних і теоретичних досліджень встановлено існування неспівмірної фази, складну послідовність фазових переходів (ФП), та можливість кристалізації в різних структурах [1, 2].

Дослідження та аналіз коноскопічних картин кристалів  $TlInS_2$  проводилися в роботах [3, 4], однак дослідження температурної залежності двопронезаломлення кристалів проведено не було.

## 2. Методика експерименту

Досліджувані кристали  $TlInS_2$ , що належать до просторової групи  $C_{2h}^6$ , вирощено у кварцевих ампулах методом Бріджмена. Для досліджень використовувалися зразки розміром від  $5 \times 5 \times 0.25$  мм до  $7 \times 1 \times 3.5$  мм. Дослідження коноскопічних картин кристалів  $TlInS_2$  при різних температурах проведено з використанням лазера з довжиною хвилі  $\lambda = 532$  нм вздовж кристалографічного напрямку  $[001]$ , відстань від зразка до екрана  $l = 86$  мм, товщина зразка складала  $d = 3$  мм. Дослідження двопронезаломлення проводилося методом Сенармона з використанням лазера  $\lambda = 650$  нм та  $\lambda = 532$  нм. Вимірювання температури зразків здійснювалося мідь-константановою термопарою.

## 3. Експериментальні результати

При атмосферному тиску на температурних залежностях діелектричної проникності на частоті 1 кГц  $\epsilon(T)$  кристалів  $TlInS_2$  (рис. 1) фіксуються аномалії, що відповідають структурним ФП при температурах  $T_i = 213.7$  К,  $T_c = 202.5$  К,

$T_{c2} = 198$  К та  $T_c = 192.5$  К, при цьому перехід  $T_c$  має температурний гістерезис в режимах нагрівання й охолодження  $\sim 2$  К, що узгоджується з даними робіт [1,2].

Вивчення коноскопічних картин, тобто інтерференційних картин сегнетоелектриків в направленому світлі при схрещених поляризаторах при зміні температури дозволяють фіксувати структурні ФП. Коноскопічні картини кристалів  $TlInS_2$  при різних температурах представлено на рис. 2. Як видно з рисунків, відстань між оптичними осями залежить від температури і при її зменшенні від  $T = 293$  К до  $T = 183$  К збільшується. Слід відмітити, що суттєві зміни коноскопічних картин спостерігаються саме в температурному інтервалі  $220 - 190$  К і обумовлені послідовними структурними ФП. У результаті аналізу коноскопічних картин, зафіксованих при різних температурах, визначено температурну поведінку кута між оптичними осями та орієнтацію (кут) площини оптичних осей кристала  $TlInS_2$  (рис. 2). Як видно з рисунку, на цих залежностях фіксується максимум при температурі  $T = 193$  К. Зміни відбуваються також в області  $193 - 214$  К, при цьому спостерігається збільшення кута між оптичними осями та зміна орієнтації площини осей при зменшенні температури.

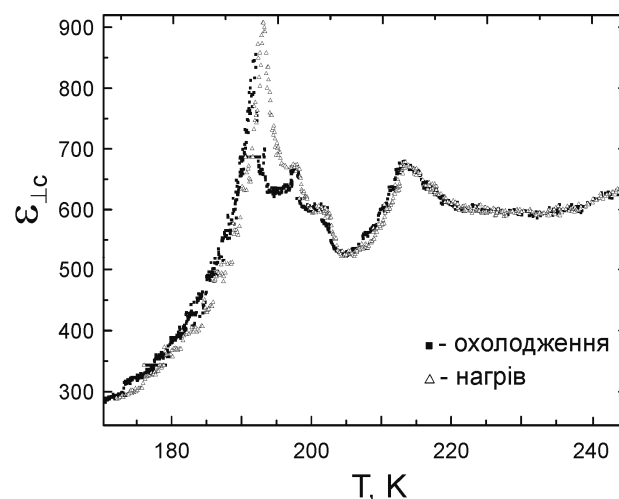


Рис. 1. Температурні залежності діелектричної проникності кристалів  $TlInS_2$  в режимах охолодження та нагрівання на частоті 1 кГц.

Дослідження двопронезаломлення кристалів  $TlInS_2$  проведено нами в температурному інтервалі  $170 \text{ К} < T < 230 \text{ К}$  (рис. 3). На залежності спостерігаються аномалії двопронезаломлення при температурах  $T_c = 197$  К та  $T_i = 216$  К,

які відповідають структурним ФП та корелюють із дослідженнями діелектричної проникності (рис. 1), а також з результатами попередніх досліджень, в тому числі піроелектричного струму [1, 2, 5]. Необхідно відмітити, що температурний гістерезис охолодження — нагрівання для аномалії  $T_c = 197$  К складає  $\Delta T \sim 2$  К, що є характерним для ФП першого роду.

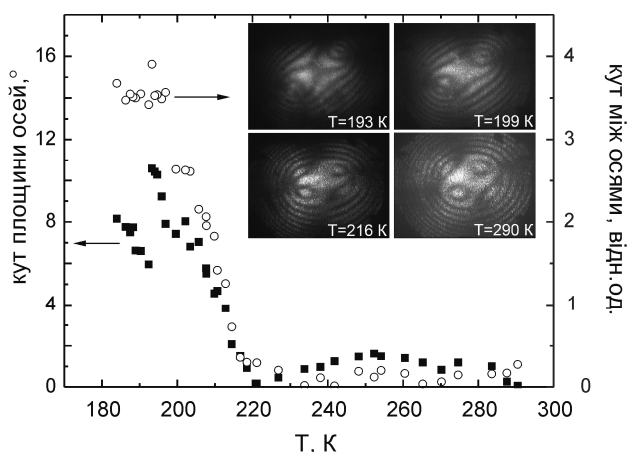


Рис. 2. Температурна поведінка кута між оптичними осями та орієнтація (кут) площини оптичних осей кристалу  $\text{TlInS}_2$ .

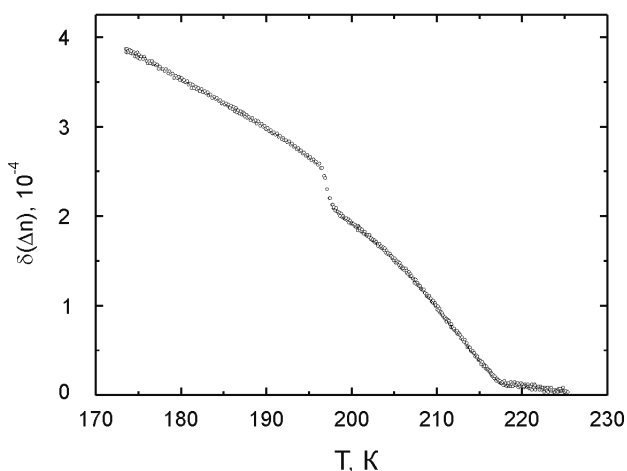


Рис. 3. Температурні залежності двоприменезаломлення кристалів  $\text{TlInS}_2$ .

На рис. 4 приведено температурну залежність аномальної частини двоприменезаломлення. Враховуючи пропорційність аномальної частини двоприменезаломлення сегнетоелектриків квадрату спонтанної поляризації  $P_s^2$ :  $\Delta n = MP_s^2$ , і приймаючи, що значення спонтанної поляризації за нормальних умов для кристалів  $\text{TlInS}_2$  рівне  $P_s = 3.5 \times 10^{-4}$  Кл/м<sup>2</sup> [1, 5], можна оцінити коефіцієнт пропорційності, який складає  $M = 3.26 \times 10^2$  м<sup>4</sup>/Кл<sup>2</sup>.

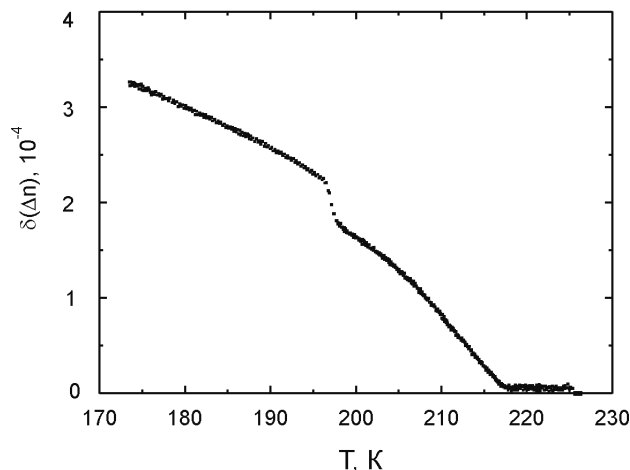


Рис. 4. Температурні залежності аномальної частини двоприменезаломлення кристалів  $\text{TlInS}_2$ .

#### 4. Висновки

Проведено температурні дослідження діелектричної проникності, двоприменезаломлення, коноскопічних карин та аналіз кута площини оптичних осей та відстаней між ними, шаруватих сегнетоелектриків  $\text{TlInS}_2$ . Встановлено, що у інтервалі температур 193—216 К спостерігаються аномалії на температурних залежностях діелектричної проникності, кута площини оптичних осей, та відстані між ними. При температурах  $T_c = 197$  К та  $T_i = 216$  К спостерігаються аномалії на температурних залежностях двоприменезаломлення, які обумовлені структурними ФП.

Дослідження виконано частково в рамках проекту № 5208 програми НАН України — УНТЦ.

#### Література

1. Panich A. M. *Electronic properties and phase transition in low-dimensional semiconductors* // J. Phys.: Condens. Matter. — 2008. — V. 20, № 29. — P. 293202—1—293202—42.
2. Gomonnai O. O., Guranich P. P., Rigan M. Y., Roman I. Y., Slivka A. G. Effect of hydrostatic pressure on phase transitions in ferroelectric  $\text{TlInS}_2$  // High Pressure Research. — 2008. — V. 28, № 4. — P. 615—619.
3. Mamedov, N.; Shim, Y.; Yamamoto, N.; Park, YK; Polarized transmission intensity studies of off-zone-center incommensurate semiconductors-ferroelectrics  $\text{TlMeX}_2$ , Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers.— 2002.— V. 41, № 11B.— p. 7254—7259.

4. Shim, YG; Uneme, N; Abdullayeva, S; Mamedov, N; Yamamoto, N. Light figure studies of optical anisotropy induced by nanoscale spatial modulation in  $\text{TlInS}_2$ .// Journal of Physics and Chemistry of Solids.— 2005.— V. 66, № 11.— p 2116—2118.
5. Гомоннай А. А., Гураич П. П., Сливка А. Г., Риган М. Ю., Роман И. Ю. Барическое поведение пироэлектрического коэффициента слоистых кристаллов  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlGaSe}_2$ // Физика и техника высоких давлений. — 2009. — Т. 19, № 1. — С. 151—156.