

PACS: 77.22

ISSN 1729-4428

Б.М. Калівошка, С.С. Новосад

## Електретний стан у кристалах йодистого кадмію, зумовлений термоградієнтною поляризацією

*Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова, 50, Львів, 79005, Україна,  
E-mail: [kfbme@electronics.wups.lviv.ua](mailto:kfbme@electronics.wups.lviv.ua), [novosad@physics.wups.lviv.ua](mailto:novosad@physics.wups.lviv.ua)*

Конденсаторним методом з ізолюючими контактами досліджено електретні властивості шаруватих кристалів йодистого кадмію, поляризованих у процесі їх одностороннього охолодження в темноті від 295 до 90 К. Виявлено, що у зразках формується термоградієнтний електретний стан, внаслідок чого кристал набуває фоточутливості у прикрайовій та інфрачервоній областях спектру. Під час попереднього опромінення при кімнатній температурі в  $\text{CdI}_2$  створюється фотохромний електретний стан, присутність якого приводить до зміни напрямку термоградієнтного електричного поля.

**Ключові слова:** йодистий кадмій, градієнт температур, електретний стан, спектральна чутливість, деполаризація.

*Стаття постуила до редакції 07.08.2005; прийнята до друку 15.11.2005.*

### Вступ

Шаруваті кристали  $\text{CdI}_2$  із сильно анізотропним характером хімічного зв'язку є перспективними матеріалами для оптоелектроніки і голографічного запису інформації [1-3]. Також вони представляють інтерес як електретні матеріали [3,4], сцинтилятори для систем реєстрації іонізуючого випромінювання [5, 6] і як матриці для одержання наноструктур [7]. У зв'язку з цим важливими є дослідження електронно-іонних процесів перенесення, локалізації і рекомбінації зарядів у зразках кристалів на основі цієї сполуки при наявності в них градієнта температури. Про такі дослідження, уперше проведені нами, повідомлялось в роботах [8,9]. Було виявлено, що в процесі одностороннього охолодження зразків у вакуумному кріостаті від температури 295 до 90 К спостерігається їх термоградієнтна поляризація, яка приводить до появи електретного стану (ЕС). Зроблено припущення, що природа ЕС пов'язана з просторово неоднорідним заповненням центрів захоплення термогенерованими носіями заряду. Дана робота є продовженням досліджень ЕС в кристалах  $\text{CdI}_2$ , що виникають у процесі їх термоградієнтної поляризації.

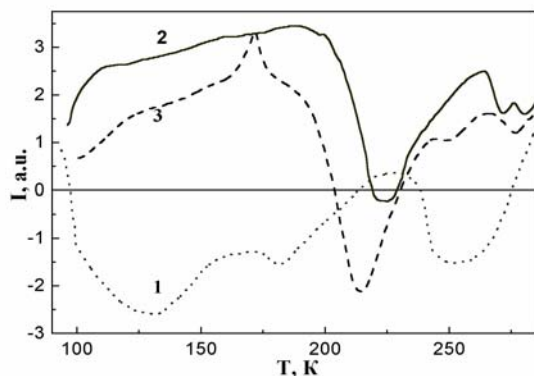
### I. Експериментальна частина

Кристали  $\text{CdI}_2$  були вирошені методом Бріджмена-Стокбаргера із сировини, додатково очищеної комплексним методом [3]. Зразки, виготовлені сколюванням по площинах спайності у вигляді пластин розміром  $\sim 10 \times 10 \times 1$  мм<sup>3</sup>, були розміщені між ізолюючими контактами вимірювального конденсатора. Виміри проводились у металічному кріостаті в умовах вакууму  $\sim 10^4$  Торр. Одностороннє охолодження зразків від 295 до 90 К здійснювалось нерівномірно зі швидкістю 0,3-0,5 К/с. Фотоелектретний стан (ФЕС) у кристалах при 90 К формувався шляхом їх опромінення світлом з  $\lambda = 365$  нм протягом 3-5 хв при наявності зовнішнього електричного поля напруженістю  $2 \cdot 10^3$  В/см, яке створювалось шляхом подавання напруги на обкладки вимірювальної конденсаторної комірки від блоку живлення. Світло скеровувалось паралельно до кристалографічної осі  $C_6$  кристалу  $\text{CdI}_2$ . Вектор напруженості зовнішнього електричного поля під час утворення ФЕС був паралельним до напрямку поширення світла. Як джерело оптичного збудження використовували ксенонову лампу ДКсЕл-1000. Спектри фотодеполяризації вимірювали при постійному числі квантів інтенсивності збуджуючого світла для різних довжин хвиль в діапазоні 300-550 нм. У більш довгохвильовій області спектру (до 1800 нм) виміри проводились при постійній ширині щілини монохроматора 0,02-0,03 мм. Опромінення кристалів  $\text{CdI}_2$  здійснювалось при кімнатній температурі (295 К) інтегральним світлом від ксенонової лампи в атмосфері повітря протягом 10

хв. Струми поляризації і деполіризації в діапазоні  $10^{11}$ - $10^{13}$  А реєструвались за допомогою електрометричного вольтметра ВК2-16 з еталонним опором  $R_e = 10^{12}$  Ом і записувались потенціометром КСП-4. Температура зразків контролювалась диференціальною мідь-константановою термопарою. Термо-е.р.с. термопару вимірювалася за допомогою вольтметра В7-21.

## II. Результати та їх обговорення

Крива струму поляризації, який спостерігається при односторонньому охолодженні зразка  $CdI_2$ , приведена на рис. 1 (крива 1). Видно, що ця залежність характеризується рядом максимумів та інверсією струму як в початковій і кінцевій стадіях охолодження, так і в області 220-240 К. Максимальні струми поляризації спостерігаються в інтервалі температур 120-130 К. У процесі нагрівання кристалу крива термостимульованої деполіризації (ТСД) має ряд слабо роздільних максимумів та інверсію струму в області 220-230 К (рис. 1, крива 2). Із порівняння цих даних випливає, що криві струмів при охолодженні та нагріванні зразка характеризуються якісною симетричністю. Додаткове опромінення при 90 К прогрітого до 350 К і знову охолодженого кристалу світлом із прикорйової області 365 нм протягом 3 хв приводить до послаблення струмів деполіризації та більш чіткого прояву піків в околі 170 і 215 К різного знаку (пор. криві 2 і 3 на рис. 1). Струми поляризації і деполіризації також виявлено в кристалах  $CdI_2$ , активованих домішками Cu і Ag, при їх односторонньому охолодженні (нагріванні) [8].



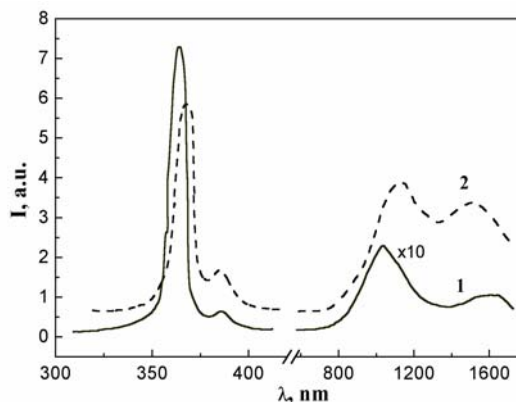
**Рис. 1.** Крива струму термоградієнтної поляризації кристалу  $CdI_2$  при однібічному охолодженні від 295 до 90 К (1);

крива струму термостимульованої деполіризації термоградієнтного електретного стану  $CdI_2$  (2);

крива струму термостимульованої деполіризації електретного стану попередньо прогрітого до температури 350 К, охолодженого і опроміненого при 90 К світлом з довжиною хвилі 365 нм протягом 3 хв зразка  $CdI_2$  (3).

Поляризований під час охолодження кристал йодистого кадмію володіє фоточутливістю в прикорйовій та інфрачервоній областях спектру (рис. 2). Зокрема, на кривій фотодеполіризації

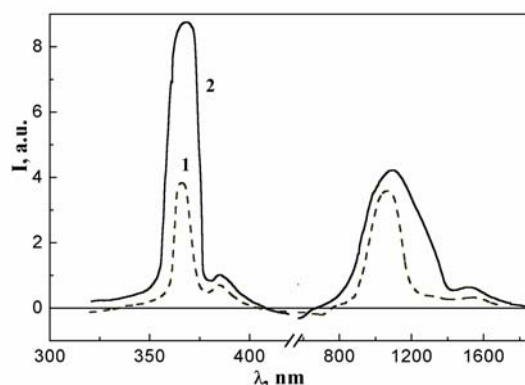
термоградієнтного ЕС спостерігаються інтенсивний максимум в області 365 нм, невеликий максимум в області 385 нм і максимумами проміжної інтенсивності при 1050 та 1650 нм (крива 1). Додаткове опромінення зразка при 90 К світлом з довжиною хвилі 365 нм протягом 3 хв приводить до зменшення струму фотодеполіризації приблизно на порядок, при цьому слабо впливає на контур спектру (крива 2).



**Рис. 2.** Спектральна чутливість термоградієнтного електретного стану кристалу  $CdI_2$  при 90 К (1);

спектральна чутливість електретного стану кристалу  $CdI_2$ , опроміненого при 90 К світлом з довжиною хвилі 365 нм протягом 3 хв (2).

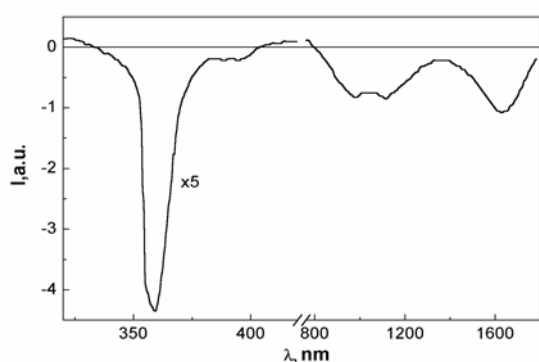
Результати дослідження впливу зовнішнього електричного поля різної полярності на спектральну чутливість  $CdI_2$  при його охолодженні показані на рис. 3.



**Рис. 3** Спектральна чутливість електретного стану кристалу  $CdI_2$ , охолодженого від 295 до 90 К у присутності зовнішнього електричного поля величиною  $2 \cdot 10^3$  В/см (1) і  $-2 \cdot 10^3$  В/см (2).

Електричне поле величиною  $2 \cdot 10^3$  В/см, прикладене до зразка при кімнатній температурі протягом 3 хв, і наступне його охолодження до 90 К у присутності цього ж поля, послаблює чутливість  $CdI_2$  в області 365 нм приблизно на 45 % і майже вдвічі при цьому зростає інтенсивність максимуму при 1100 нм та приблизно у стільки ж разів зменшується чутливість кристалу в області 1500-1700 нм (пор. криву 1 рис. 3 з кривою 1 рис. 2). Зміна напрямку зовнішнього електричного поля підсилює фоточутливість кристалу в області 365 і 1100 нм (пор. криву 2 рис. 3 з кривою 1 рис. 2).

У процесі опромінення зразків йодистого кадмію інтегральним світлом ксенонової лампи при кімнатній температурі в атмосфері повітря протягом 10 хв. не виявлено видимих змін в їх спектрах поглинання. Проте при однобічному охолодженні опромінених кристалів у вакуумі зафіксовано струми поляризації протилежної полярності, порівняно із струмами поляризації неопромінених зразків. На кривій спектральної чутливості такого кристалу також спостерігаються характерні для спектральної чутливості неопроміненого  $\text{CdI}_2$  максимуми протилежної полярності приблизно вдвічі меншої інтенсивності (рис. 4).



**Рис. 4.** Спектральна чутливість електретного стану кристалу  $\text{CdI}_2$ , попередньо опроміненого в атмосфері повітря при 295 К інтегральним світлом від ксенонової лампи протягом 10 хв і охолодженого до 90 К.

Відомо [10], що у процесі однобічного охолодження в зразку напівпровідника виникає градієнт температури. Оскільки при низькій температурі носії заряду мають меншу енергію і рухливості, ніж при високій, то у кристалі відбувається напрямлений рух заряджених частинок в полі градієнта температури, тобто протікає дифузійний струм, стимульований охолодженням. У випадку електронного напівпровідника на “гарячому” торці зразка виникає додатній об’ємний заряд, оскільки електрони дифундують від “гарячої” області до “холодної”. У дірковому напівпровіднику навпаки – на “гарячому” торці виникає від’ємний об’ємний заряд [11,12]. Дифузія носіїв триватиме до тих пір, поки у зв’язку з їх переміщенням не виникне електричне поле (термо-е.р.с.), котре врівноважить діючі на заряди сили. Суттєвий вплив на утворення термо-е.р.с. при низьких температурах має також ефект захоплення електронів фононами [12]. Величина термо-е.р.с. власного напівпровідника визначається лише шириною забороненої зони і співвідношенням рухливостей електронів та дірок. При нагріванні зразка в полі температурного градієнта делокалізація носіїв заряду відбувається нерівномірно по товщині зразка. Викликаний градієнтом температури градієнт концентрації носіїв заряду приводить до їх дифузії. Напрямок струму у зовнішньому колі співпадає з напрямком температурного градієнта у випадку вивільнення дірок з рівнів прилипання, а у випадку звільнення

електронів дифузійний струм має протилежний напрям. Тому максимуми струму ТСД при 170 і 215 К, що спостерігаються на кривій термостимульованої деполяризації додатково опроміненого при 90 К світлом 365 нм протягом 3 хв зразка  $\text{CdI}_2$ , очевидно, зумовлені звільненням носіїв заряду різного знаку з відповідних центрів захоплення.

Авторами [13] виявлено, що при охолодженні кристалу  $\text{CdS}$  від 480 К в темноті в області температур 300-80 К на температурній залежності провідності спостерігається ділянка різкого наростання струму  $I_T$  з пониженням температури, при цьому  $I_T$  при даній температурі тим більше, чим більша швидкість охолодження. Як показали вимірювання ефекту Холла, ріст  $I_T$  при охолодженні пов’язаний із збільшенням концентрації електронів провідності. Виявлений ефект має місце як в чистих, так і в активованих різними домішками кристалах  $\text{CdS}$  незалежно від способу їх вирощування, а також в кристалах  $\text{CdSe}$  і  $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ . Аномальна провідність нерівноважна: спостерігається зменшення  $I_T$  з часом, причому швидкість релаксації збільшується з ростом температури. Очевидно, з цим пов’язана залежність аномальної провідності від швидкості охолодження. Аномальну провідність можна погасити інфрачервоним (ІЧ) світлом, причому спектр гасіння співпадає зі спектром ІЧ гасіння фотоструму в кристалах  $\text{CdS}$ . Виключення ІЧ світла не приводить до відновлення провідності. В області температур, де спостерігається аномальна температурна залежність провідності (АТЗП), на  $r$ -центрах фоточутливості знаходяться дірки. У роботі [13] зроблено висновок, що процес генерації електронів і дірок зумовлений перебудовою іонної підсистеми в приповерхневій області кристалу  $\text{CdS}$  при охолодженні. Зроблено припущення, що АТЗП є фундаментальною властивістю поверхні (0001) напівпровідників  $\text{A}_2\text{B}_6$  з гексагональною структурою. В роботі [14] розглянуто новий метод збудження люмінесценції – термоградієнтна люмінесценція, в якому використовується перенесення нерівноважних носіїв заряду до випромінювальної поверхні за рахунок градієнта температури.

З огляду на результати роботи [10] можна припустити, що в процесі різкого охолодження зразків на основі йодистого кадмію між їхніми гранями може виникати різниця температур порядку 25-35 К. З отриманих результатів з урахуванням літературних даних [3,4,15], де описані фотоелектретні властивості йодистого кадмію при низьких температурах, впливає, що утворення електретного стану при 90 К після однобічного охолодження зразків пов’язане з електронними процесами: просторово неоднорідним заповненням пасток нерівноважними електронами і дірками, стимульованим однобічним охолодженням [10, 16]. Тобто в цьому явищі, як і в термоградієнтній люмінесценції [14], також спостерігається напрямлений рух делокалізованих носіїв заряду в полі температурного градієнта. При температурах вище 180-200 К в утворенні електретного стану

можуть також брати участь іонні процеси [3,17]. Термоградієнтний електретний стан має ґратковий характер, оскільки спостерігається як у неактивованих, так і в активованих кристалах  $\text{CdI}_2$ .

Із попередніх досліджень [17] та роботи [18] відомо, що при кімнатній температурі у  $\text{CdI}_2$  переважає р-тип провідності, а в області нижче 200 К матеріал характеризується п-типом провідності. Додатковими дослідженнями встановлено, що температурна залежність екзоелектронної емісії даного кристалу подібна до температурної залежності струму поляризації в процесі охолодження зразка. Причому виявлено, що струми екзоелектронної емісії спостерігаються і при нагріванні кристала в інтервалі температур 85-195 К з максимумом біля 120 К приблизно в 5 разів меншої інтенсивності. В області температур близьких до кімнатної дрейфова рухливість і час життя дірок у  $\text{CdI}_2$  є більшою, ніж дрейфова рухливість і час життя електронів ( $\mu_p \tau_p > \mu_n \tau_n$ ). З пониженням температури величини  $\mu_p$  і  $\tau_p$  значно зменшуються. В інтервалі 220-240 К, імовірно, має місце ситуація, коли  $\mu_p \tau_p \approx \mu_n \tau_n$  [19]. Тому при такій температурі кристал характеризується слабкими струмами поляризації і деполіризації. При  $T < 220$  К, очевидно,  $\mu_p \tau_p < \mu_n \tau_n$ . Тоді можемо припустити, що під час охолодження досліджуваного кристалу під впливом градієнта температур в інтервалі 90-200 К з більш “гарячої” області зразка у “холоднішу” дифундують переважно електрони, а дірки в основному захоплюються пастками. В результаті чого “гаряча” поверхня кристалу заряджається додатньо, а “холодна” – від’ємно. Значний ріст термо-е.р.с., що спостерігається в області 120-130 К, може бути додатково зумовлений захопленням носіїв заряду фононами в полі температурного градієнта [12]. Імовірно, в  $\text{CdI}_2$ , аналогічно як і в  $\text{CdS}$  [20, 21], джерелом електронів є мілкі донорні центри типу  $\text{Cd}_i^0$ , а термодірки утворюються в результаті руйнування комплексів типу  $\Gamma^0\Gamma$  [3].

Ріст струму протилежної полярності в кристалі після припинення охолодження при температурі близько 90 К можна пояснити тим, що після спадання градієнту температури по товщині зразка до нуля, починається часткова темнова деполіризація утвореного термоградієнтного електретного стану [16]. При цьому може мати місце локалізація електронів на мілких пастках. В міру нагрівання кристалу  $\text{CdI}_2$  в області 90-100 К спостерігається релаксація залишкової нерівноважної провідності. При подальшому підвищенні температури відбувається термодеполіризація утвореного електретного стану  $\text{CdI}_2$  як в результаті звільнення носіїв із пасток, так і за рахунок утвореного нового градієнтного поля зворотнього напрямку. Раніше аналогічні струми термостимульованої деполіризації електретного стану, зумовленого внутрішнім полем термо-е.р.с., були зафіксовані у зразках  $\text{CdI}_2$  з омичними контактами [17].

Виявлений інтенсивний максимум спектральної чутливості електретного стану при 365 нм

розміщений в області довгохвильового спаду власного поглинання [3, 4]. При цьому типі деполіризації руйнування внутрішнього електричного поля електрета відбувається фотоносіями обох знаків. Згідно з теорією де Вора [22], максимум fotocутливості в прикорайовій області може бути зумовлений переходом від об’ємної до поверхневої рекомбінації генерованих збудженням носіїв заряду. Мала fotocутливість йодистого кадмію в області сильного поглинання 310-350 нм, пов’язаного із зона-зонними переходами [1, 3], зумовлена значними приповерхневими рекомбінаціями генерованих опроміненням електронів і дірок, які в результаті незначної величини просторового розділення не встигають вийти за межі приповерхневої області кристалу і тому не дають помітного вкладу у фотодеполіризацію.

Слабкий за інтенсивністю пік fotocутливості в області 385 нм, очевидно, зумовлений неконтрольованою домішкою Pb [23]. При збудженні в цій області поява струму деполіризації пов’язана з фотоносіями, що виникають у результаті делокалізації домішкових електронних збуджень [24]. Два піки fotocутливості в ІЧ області спектру можна співставити з фототермічною іонізацією центрів типу  $F$  і  $F'$  [17]. У роботах [3, 25] максимумами в ІЧ області спектру спостерігались при дослідженні індукованої фотопровідності монокристалів на основі  $\text{CdI}_2$ , опроміненіх світлом з області фундаментального поглинання. Вивільнені під дією ІЧ світла електрони з центрів  $F$ - типу потрапляють в область локалізованого додатнього заряду, нейтралізують його, що приводить до руйнування внутрішнього електричного поля електрета рухливими носіями заряду одного знаку. Наявність чутливості зразка в ІЧ області спектру є додатковим доказом об’ємного характеру розподілу заряду. Чутливість кристалу  $\text{CdI}_2$  до дії світла в ІЧ області з ростом температури зменшується і зникає вище 200 К, коли повністю спустошується рівень прилипання з глибиною 0,23 еВ [4].

Збільшення fotocутливості  $\text{CdI}_2$  як в області краю власного поглинання (365 нм), так і в ІЧ області спектру, внаслідок прикладання до зразка зовнішнього електричного поля (-2-10 В/см) може бути викликано тим, що у даному випадку напрям зовнішнього електричного поля співпадає з напрямом внутрішнього поля, зумовленого термоградієнтною поляризацією. Зростання максимуму в області 1100 нм, імовірно, пов’язане з перелокалізацією зовнішнім полем заряду з мілких оптично активних центрів прилипання  $F$ - типу на більш глибокі в результаті тунельних процесів [26]. У випадку дії на зразок під час охолодження зовнішнього електричного поля іншої полярності, спостерігається гальмування процесу термоградієнтної поляризації як результат часткової взаємної компенсації протилежно напрямлених полів, що накладаються.

Зміна напрямку термоградієнтного електричного поля, яке виникає у зразку під час його однобічного

оохолодження, після додаткового опромінення  $\text{CdI}_2$  при кімнатній температурі може бути пов'язана з фотолізом матеріалу. Відомо [3], що при опроміненні УФ світлом кристалів  $\text{CdI}_2$  в області температур 100-300 К інтенсивність фоторозкладу досить слабка. При опроміненні світлом широкого спектрального діапазону нерівноважні фотоносії, як правило, генеруються у приповерхневій частині зразка, де поглинається світло з області краю власного поглинання [2]. Фотоелектрони переважно захоплюються центрами типу  $\text{Cd}_i^+$ , перетворюючи їх у  $\text{Cd}_i^0$ , які накопичуються у приповерхневій області поблизу крайових дефектів і в районі дислокацій. Більш рухливі фотодірки при наявності поля Дембера [17] мігрують у глибину кристалу і захоплюються центрами  $\Gamma$ , перетворюючи їх на атомарний йод. Центри  $\Gamma^0$  із вузловими іонами  $\Gamma$  можуть утворювати асоціати  $\Gamma^0\Gamma$ . Ці оптично генеровані дефекти є попередниками фотолізу в  $\text{CdI}_2$ . Подібні локалізовані стани в забороненій зоні не приводять до появи фотоіндукованого поглинання, однак зумовлюють зміну показника заломлення [3]. Приповерхневі і просторові заряди утворюють сильне електричне поле, напрямлене нормально до опромінюваної поверхні. Такий просторовий розподіл нерівноважних носіїв приводить до виникнення фотохромного електретного стану [9]. Термогенеровані під час охолодження зразка носії заряду рухаються у полі фотохромного електрета і перерозподіляються так, щоб нейтралізувати цей електретний стан, що призводить до зміни напрямку термоградієнтного електричного поля у забарвленому кристалі  $\text{CdI}_2$ .

## Висновки

Отже, проведені дослідження показали, що у процесі однобічного охолодження кристал йодистого

кадмію поляризується. При цьому формується термоградієнтний електретний стан, який має ґратковий характер. Утворення термоградієнтного електретного стану в  $\text{CdI}_2$  викликано зміною рухливостей і відносної концентрації термогенерованих нерівноважних носіїв заряду при їх неоднорідному об'ємному розподілі, автолокалізації та захопленні на пастках в процесі поляризації зразка внутрішнім полем термо-е.р.с.

Поляризований під час охолодження кристал йодистого кадмію володіє фоточутливістю в прикрайовій та ІЧ областях спектру. Виявлений інтенсивний максимум спектральної чутливості електретного стану при 365 нм, розміщений в області довгохвильового спаду власного поглинання, зумовлений переходом від об'ємної до поверхневої рекомбінації генерованих збудженням носіїв заряду. Фоточутливість в ІЧ області спектру пов'язується з фототермічною іонізацією центрів F- типу. Термоградієнтний електретний стан кристалів  $\text{CdI}_2$  руйнується під час їх тривалого опромінення при 90 К світлом з діапазону максимальної фоточутливості.

У процесі попереднього оптичного опромінення при кімнатній температурі в атмосфері повітря у кристалі  $\text{CdI}_2$  в результаті фотолізу формується фотохромний електретний стан у приповерхневій області зразків. Наявність внутрішнього електричного поля такого стану приводить до зміни напрямку термоградієнтного електричного поля, що виникає в опроміненому  $\text{CdI}_2$  під час його охолодження.

**Калівошка Б.М.** – ст. лабор. каф. фізичної і біомедичної електроніки;

**Новосад С.С.** – к. ф.-м. н., ст.н.с., пров.н.с. каф. загальної фізики.

- [1] Я.О. Довгий, І.В. Кітик. *Електронна будова і оптика нелінійних кристалів*: Монографія, Світ, Львів, 176 с. (1996).
- [2] V. Bondar. Photostimulated transformation of defects in cadmium iodide with copper and coactivators // *Materials Science & Engineering B*, **71**, pp. 258-262 (2000).
- [3] *Широкозонные слоистые кристаллы и их физические свойства* / Под ред. А.Б. Лысковича, Львов: Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 148 с. (1982).
- [4] А.Б. Лыскович, О.Б. Кушнир, А.В. Гальчинский. Фото- и термодеполаризационные процессы в кристаллах  $\text{CdI}_2$  // *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **19**(11), с.с. 1823-1826 (1983).
- [5] С.С. Новосад, Р.М. Турчак, О.Б. Кушнир, Я.А. Пастырский. Спектрально-кинетические характеристики активированных кристаллов йодистого кадмия // *Неорганические материалы*, **37**(8), сс. 1005-1009 (2001).
- [6] А.Б. Лыскович. Оптические свойства слоистых кристаллов галоидных соединений кадмия // *Изв. АН СССР, сер. Физ.*, **43**(6), сс. 1006-1111 (1979).
- [7] D. Kim, T. Karasawa, I. Aka, T. Komatsu, T. Kobayash. Dynamical properties of confined excitons in  $\text{BiI}_3$  microcrystallites and ultra-thin films embedded in  $\text{CdI}_2$  matrices // *Journal of Luminescence*, **66-67**, pp. 443-447 (1996)
- [8] Б. Калівошка, С. Новосад. У зб. тез міжнародної конференції молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики "ЕВРИКА-2004", Львів, с.68 (2004).
- [9] Б.М. Калівошка, С.С. Новосад, І.М. Матвіїшин. У зб. тез Конференції молодих вчених та аспірантів ІЕФ"2005, Ужгород, с. 114 (2005).

- [10] О.В. Гальчинський, Я.М. Захарко, І.Б. Катерник. Вплив градієнта температури на криві струмів термостимульованої деполяризації // *УФЖ*, **37**(8), сс. 1249-1252 (1992).
- [11] Л.С. Стилбанс. *Физика полупроводников*. Москва, "Современное радио", 452 с. (1967).
- [12] К.В. Шалимова. *Физика полупроводников*. М.: Энергоатомиздат, 392 с. (1985).
- [13] Н.Е. Корсунская, И.В. Маркевич, Е.П. Шульга. Эффект генерации электронов и дырок в кристаллах CdS, стимулированных охлаждением // *УФЖ*, **33**(11), сс. 1673-1675 (1988).
- [14] A. Mevid, V. Sotnikov. The thermogradient luminescence // *4 th Int. Conf. Infrared. Phys.*, Zurich. Aug. 22-26, Proc.-[Zurich] s.c., pp.645-646. (1988).
- [15] И.М. Болеста, А.В. Гальчинский, И.В. Китык. Фоточувствительность кристаллов CdI<sub>2</sub>-Cd // *ФТТ*, **37**(5), сс. 1536-1540 (1995).
- [16] Ю.А. Гороховатский. *Основы термодеполяриционного анализа*. М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 173 с. (1981).
- [17] В.М. Kostyuk., А.В. Lyskovich, I.M. Matviishyn, S.S. Novosad. Thermo- and X-ray stimulated electrical processes in CdI<sub>2</sub> scintillators // *Functional materials*, **7**(2), pp. 220-223 (2000).
- [18] M.R. Tubbs. The Optical Properties and Chemical Decomposition of Halides with Layer Structure II // *Phys. stat. sol. (b)*, **67**, pp.11-49 (1975).
- [19] А.Б. Лыскович, С.А. Пирога. Термостимулированный диффузионный ток в кристаллах йодистого кадмия // *УФЖ*, **31**(4), сс. 595-597 (1986).
- [20] И.Л. Дроздова, И.Е. Корсунская, И.В. Маркевич, М.К. Шейнкман. Природа метастабильных центров, ответственных за аномальную температурную зависимость проводимости грани (0001) кристалла CdS // *ФТП*, **30**(2), сс. 328-330 (1996).
- [21] Н.І. Каширіна, В.В. Кислюк, М.К. Шейнкман. Просторовий розподіл рухомих іонів у напівпровіднику під дією електричного поля // *УФЖ*, **44**(7), сс. 856-862 (1999).
- [22] H. De Vore. Spectral distribution of photoconductivity // *Phys. Rev.*, **101**(1), pp. 48-55 (1956).
- [23] А.В. Глосковский, М.Р. Панасюк, Л.И. Ярицкая, Н.К. Глосковская. Примесные зоны в кристаллической системе CdI<sub>2</sub>-PbI<sub>2</sub>// *ФТТ*, **45**(3), сс. 390-394 (2003).
- [24] Ч.Б. Лущик, Х.Ф. Кязмбре, Н.Е. Лущик, Э.С. Тийслер, И.В. Яэк. Делокализация примесных возбуждений и квазилокальные электронные возбуждения в активированных ионных кристаллах // *Труды ИФА. АН ЭССР*, **35**, сс. 5-38 (1969).
- [25] С.А. Пирога, І.В. Кітик. Про механізм домішкової фотопровідності у монокристалах CdI<sub>2</sub> // *УФЖ*, **42**(4), сс. 472-473 (1997).
- [26] П.А. Пипинис. Туннельная делокализация электронов в полупроводниках (обзор) // *Литовский физический сборник*, **25**(5), сс. 3-17 (1985).

B.M. Kalivoshka, S.S. Novosad

## Electret state in cadmium iodide crystals caused by the thermogradient polarization

*Ivan Franko' Lviv National University, 50, Dragomanov Str., Lviv, 79005, Ukraine*

Electret properties of cadmium iodide layered crystals polarized during one side cooling in the dark from 295 to 90 K by the capacitor method with insulating contacts were investigated. The formation of thermogradient electret and photosensitivity in the bandgap absorption and infrared regions of spectrum were detected. The photochromic electret state is creating in CdI<sub>2</sub> during it preirradiation at room temperature which cause the change of the thermogradient electret field direction.