

PACS: 77.22

ISSN 1729-4428

І.С. Новосад, О.М. Бордун

## Електретні стани в кристалах $PbI_2$

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
бул. Університетська 1, м. Львів, 79000, Україна,  
тел. (0322) 964-679, e-mail: [novosadis@rambler.ru](mailto:novosadis@rambler.ru)*

В даній роботі проведено комплексне дослідження електретного стану (ЕС) неактивованих кристалів йодистого свинцю. Встановлено, що ЕС створюється як при охолодженні та темновій поляризації, так і при фотополяризації світлом з області 515 нм та з області власного поглинання при 85 К. Дія ІЧ-світла на фотополяризований кристал при 85 К призводить до значного послаблення fotocутливості в прикраєвій області, про те слабо впливає на fotocутливість в області власного поглинання. При цьому зареєстровано інтенсивний струм фотодеполяризації "спалахового" типу, кінетика релаксації якого описується двома експонентами. З аналізу отриманих та літературних даних випливає, що спектральна чутливість фотоелектретного стану в ІЧ-області спектру може бути пов'язана з центрами F-типу.

**Ключові слова:** йодистий свинець, електретний стан, спектральна чутливість фотоелектретного стану, центри захоплення.

*Стаття постуила до редакції 22.01.05 ; прийнята до друку 13.05.05*

Вивчення електретних станів (ЕС) має значний науковий інтерес оскільки дає інформацію про електронні процеси у високоомних напівпровідниках [1,2]. Для з'ясування механізмів поляризації, деполіризації та практичного використання електретів важливими є дослідження зі встановлення природи і визначення параметрів локальних центрів, що забезпечують утворення ЕС [1-4].

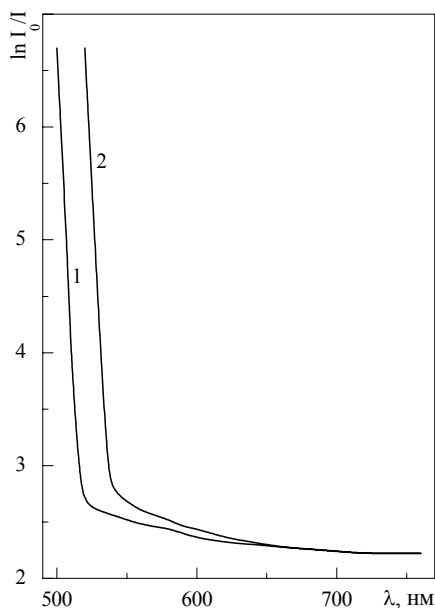
Електретні властивості кристалів йодистого свинцю на даний час залишаються мало вивченими. У попередніх роботах [5,6] вперше повідомлялось, що ЕС в  $PbI_2$  при низьких температурах утворюються в процесі однобічного охолодження зразків, їх темновій поляризації і фотополяризації при збудженні світлом із області власного та домішкового поглинання.

В даній роботі узагальнено раніше опубліковані та отримані нові результати комплексного дослідження ЕС неактивованих кристалів йодистого свинцю, вирощених методом Бріджмена-Стокбаргера із солі, додатково очищеної методом напрямленої кристалізації [7]. Зразки, виготовлялись методом сколювання по площинах спайності розміром  $\sim 1 \times 10 \times 10$  мм<sup>3</sup>. При дослідженні впливу температури на спектральні характеристики йодистого свинцю використовувалося однобічне нагрівання (охолодження) зразків. Методики дослідження електретних властивостей  $PbI_2$  були аналогічні методикам, описаним в роботах [6,8,9]. Для усунення впливу неконтрольованих підсвіток в області максимальної fotocутливості на результати

дослідження, спектри фотодеполяризації знімали зі сторони довгих хвиль.

При 85 К спектри поглинання отриманих кристалів  $2H-PbI_2$  (просторова група  $D_{3d}^3$ ) характеризуються різким довгохвильовим спадом в області 500-516 нм і слабкою сходинкою при 520-620 нм (рис. 1, крива 1). Підвищення температури до 295 К призводить до зміщення довгохвильового краю поглинання в низькоенергетичну область приблизно на 20 нм і при цьому практично не впливає на пропускання в області 620-760 нм (рис. 1, крива 2).

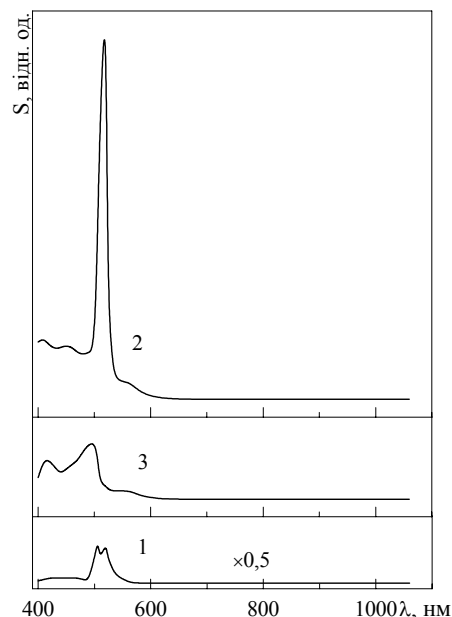
В процесі однобічного охолодження від 295 до 85 К при виникненні градієнта температури вздовж товщини зразка виявлена незначна поляризація  $PbI_2$ , обумовлена внутрішнім полем термо-е.р.с. [10,11] у напрямку, рівнобіжному до кристалографічної осі  $C_6$  [7]. З огляду на результати роботи [12] зроблено припущення, що при охолодженні зразка зі швидкістю  $\sim 1,0-2,0$  К/с між його поверхнями ( $10 \times 10$  мм<sup>2</sup>) виникає різниця температури 20-30 К. Поляризований у процесі охолодження кристал при 85 К характеризується слабкою fotocутливістю в основному в прикраєвій області спектру (рис. 2, крива 1). Утворення ЕС в  $PbI_2$  при 85 К також виявлено при їх темновій поляризації електричним полем напруженістю  $\sim 10^3$  В/см. При зміні напрямку поляризуючого поля міняється знак гетерозаряду на відповідній поверхні фотоелектрета. Спектри фотодеполяризації поляризованого таким чином зразка містять неелементарну смугу з максимумом близько 515 нм. Після фотополяризації при



**Рис. 1.** Спектри поглинання кристала PbI<sub>2</sub> при температурах 85 (1) і 295 К (2).

збудженні світлом з області 515 нм при 85 К кристал характеризується відносно малою fotocутливістю в області власного поглинання, інтенсивною смугою 515 нм і слабкою сходинкою в області 549-600 нм (рис. 2, крива 2). Опромінення фотополяризованого кристала при 85 К довгохвильовим світлом лампи розжарення через світлофільтр КС-18 призводить до значного зменшення його fotocутливості в прикраєвій області спектра. При цьому відносно менше послаблюється fotocутливість в області власного поглинання (рис. 2, крива 3). Довгохвильове випромінювання також руйнує ЕС, утворені при охолодженні та при темновій поляризації зразків.

В процесі опромінення ІЧ-світлом (через світлофільтр КС-18) кристала, фотополяризованого при збудженні світлом із області 515 нм, спостерігається інтенсивний струм фотодеполяризації “спалахового” типу (рис. 3 а), кінетика релаксації якого описується двома експонентами з часами  $\tau_1 \approx 7$  с і  $\tau_2 \approx 60$  с. Після фотополяризації при збудженні світлом з області сильного поглинання ( $\lambda = 495$  нм), PbI<sub>2</sub> при 85 К характеризується відносно високою fotocутливістю як у прикраєвій області, так і в області зона-зонних переходів (рис. 3 б, крива 1). Видно, що при збільшенні довжини хвилі фотодеполяризуючого світла від 350 до 420 нм спектральна чутливість фотоелектретного стану (СЧ ФЕС) зменшується приблизно у два рази. В більш довгохвильовій області спектра фотодеполяризації селективно та інтенсивніше спостерігається максимум при 475 нм і відносно послаблений максимум при 515 нм. Для порівняння приведено спектр фотодеполяризації

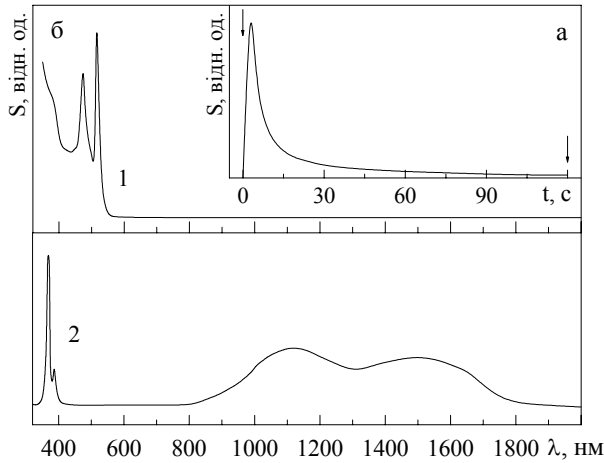


**Рис. 2.** СЧ ФЕС при 85 К кристала PbI<sub>2</sub>, поляризованого в процесі охолодження (1), фотополяризованого світлом з області 515 нм (2) фотополяризованого світлом з області 515 нм і додатково опроміненого світлом через світлофільтр КС-18 (3).

шаруватого ізоструктурного кристалу CdI<sub>2</sub>, виміряного в аналогічних умовах при низькій температурі (рис. 3 б, крива 2). Цей спектр містить інтенсивний максимум при 365 нм в області довгохвильового спаду власного поглинання [7] і менш інтенсивні максимуми при 384, 1120 і 1510 нм. Особливим для CdI<sub>2</sub> є те, що він, на відміну від PbI<sub>2</sub>, характеризується слабкою fotocутливістю в області власного поглинання, пов'язаної з прямими зона-зонними переходами [7]. ФЕС в кристалі CdI<sub>2</sub> створюється просторово неоднорідним заповненням рівнів захоплення носіями заряду [9].

Таким чином, з наведених результатів досліджень випливає, що при 85 К спектр поглинання отриманих кристалів PbI<sub>2</sub> характеризується різким довгохвильовим спадом в області 500-516 нм. Підвищення температури до 295 К призводить до зміщення довгохвильового краю поглинання в низькоенергетичну область, при цьому практично не впливає на пропускання в домішковій області. При низьких температурах ЕС в PbI<sub>2</sub>, утворені як в процесі охолодження та при темновій поляризації електричним полем, так і при фотополяризації світлом з області власного поглинання і в прикраєвій області, ефективно руйнуються дією на кристал ІЧ-світла.

Край поглинання йодистого свинцю в широкій температурній області (4,2-380 К) вивчався в роботах [13,14]. Зростання коефіцієнта поглинання при збільшенні енергії кванта фотона в цій області добре описується урбахівською експоненціальною залежністю. В області зона-зонних переходів коефіцієнти поглинання достатньо великі



**Рис. 3.** а – Кінетика струму фотодеполяризації при опроміненні кристала  $\text{PbI}_2$  світлом через світлофільтр КС-18 після фотополяризації світлом 515 нм. Стрілками позначено включення і виключення ІЧ опромінення. б – СЧ ФЕС при 85 К кристала  $\text{PbI}_2$ , фотополяризованого світлом з області 495 нм (1) і кристала  $\text{CdI}_2$ , фотополяризованого світлом з області 365 нм протягом 3 хв. (2).

( $K \sim 10^6 \text{ см}^{-1}$ ). Тому в більшості випадків дані про краєві екситони, а також про переходи з участю більш високоенергетичних зон отримують зі спектрів відбивання [15]. З [15,16] відомо, що довгохвильовий край власного поглинання  $\text{PbI}_2$  формується екситонною смугою в області близько 480-500 нм. Вона приписується прямому екситонному переходу. Коефіцієнт температурного зміщення довгохвильового спаду для плівок  $\text{PbI}_2$   $\alpha = -1,0 \cdot 10^{-4} \text{ еВ/град}$ . Із отриманих спектрів поглинання визначено, що коефіцієнт температурного зміщення довгохвильового краю екситонного поглинання для кристалу  $\text{PbI}_2$   $\alpha \approx -0,8 \cdot 10^{-4} \text{ еВ/град}$ . Таке температурне зміщення довгохвильового краю поглинання пояснюється не тільки зміною постійної ґратки, але і взаємодією екситонів з фононами [17].

Експериментальні результати і теоретичні розрахунки приведені в [7,15,18,19] свідчать про наявність двох максимумів густини станів в валентній зоні йодистого свинцю. Ширина валентної зони становить 4,5 еВ. В її формуванні приймають участь 5р-стани йоду і 6s-стани свинцю [15]. Найвища валентна зона  $2\text{H-PbI}_2$  формується з 6s-станів  $\text{Pb}^{2+}$  з домішками 5р-станів  $\Gamma$ , а найнижча зона провідності складається з 6р-станів  $\text{Pb}^{2+}$ . Смуги, що спостерігаються у спектрах поглинання нижче 4 еВ інтерпретуються як катіонні екситонні переходи ( $6s \rightarrow 6p$ ) в А-точці зони Брілюена. Смуги з енергіями більшими ніж 4 еВ приписані переходам з найнижчої 5р-подібної валентної зони йоду в зону провідності [20].

В роботі [21] при дослідженні енергетичного спектра власних дефектів кристалів йодистого

свинцю методом фотопровідності також виявлено, що ці системи при 88 К характеризуються фоточутливістю як в прикраєвій, так і в інфрачервоній області спектру. З огляду на результати роботи [21] можна вважати, що довгохвильовий максимум СЧ ФЕС  $\text{PbI}_2$  знаходиться в області  $\sim 2450 \text{ нм}$ .

Виявлену в [22,23] аномальну фотонапругу, що генерується у плівках йодистого свинцю при опроміненні світлом з енергією квантів, що значно перевищує ширину забороненої зони, пов'язують з аномальним демберівським ефектом. При зменшенні довжини хвилі ( $\lambda < 320 \text{ нм}$ ) світло поглинається в поверхневих шарах плівки, і при цьому аномальний демберівський ефект переходить в нормальний.

При високих температурах поверхня зразків, що опромінюються світлом, завжди заряджається від'ємно, що вказує на р-тип провідності кристалів  $\text{PbI}_2$  [22]. З пониженням температури дрейфова рухливість дірок значно зменшується. В роботі [24] при вивченні фотовольтаїчних властивостей неактивованих кристалів йодистого свинцю в широкому температурному інтервалі показано, що при температурі нижче 180 К неактивовані  $\text{PbI}_2$  є напівпровідником n-типу, а при вищих температурах характеризується р-типом провідності.

В спектральному розподілі фото-е.р.с. (ФЕРС) кристалів  $\text{PbI}_2$  при 300 К в області 400-540 нм в [25] виявлено один широкий максимум при 460 нм, зумовлений міжзонним поглинанням. Другий слабкий максимум при 505 нм спостерігається в області довгохвильового краю поглинання, за яким відбувається різкий спад сигналу ФЕРС. Мінімум ФЕРС в області краю поглинання відповідає максимуму екситонного поглинання [25].

Отримані результати дослідження СЧ ФЕС якісно корелюють із результатами дослідження приведеними в [22,23,25]. Відомо [1,2], що механізм утворення ФЕС в напівпровіднику під дією світла, що викликає власну або домішкову фотопровідність, полягає у створенні вільних носіїв заряду, їх зміщені в об'ємі зразка під дією зовнішнього поляризованого поля з наступним неоднорідним розподілом на локальних центрах. Якщо в процесі утворення ФЕС відсутній обмін носіями між електродами і кристалом, останній виявляється в цілому електрично нейтральним. В цьому випадку поляризація фотоелектрета обумовлена внутрішнім розділенням електронів і дірок. При цьому поверхня кристала, повернута до катоду, несе додатний заряд і відповідно поверхня, повернута до аноду, – від'ємний. В такому випадку внутрішнє поле фотоелектрета може бути утворене тільки за рахунок неоднорідного розподілу (локалізації) генерованих збудженням носіїв заряду на пастках.

Можна припустити, що фоточутливість кристалів  $\text{PbI}_2$  в інфрачервоній області спектра, аналогічно як і кристалів  $\text{CdI}_2$  [10] та кристалів  $\text{CdF}_2$  [26], обумовлена електронними центрами F-типу, пов'язаними з аніонними вакансіями. Деполяризація фотоелектрета при опроміненні зразків світлом з ІЧ-області та з області 515 нм має в основному об'ємний

характер. В першому випадку звільнені з пасток електрони можливо рекомбінують з дірками, локалізованими поблизу Pb<sup>+</sup>-центрів [27]. У другому випадку генеровані збудженням нерівноважні носії заряду руйнують внутрішнє поле ЕС, утвореного в PbI<sub>2</sub> при просторово розділеній локалізації на центрах захоплення носіїв заряду, генерованих раніше у процесі фотополяризації.

Фоточутливість йодистого свинцю в області власного поглинання ( $K \geq 10^5 \text{ см}^{-1}$ ) має в основному приповерхневий характер. Максимум спектральної чутливості при 475 нм і сходинок в області 370-390 нм можуть бути пов'язані з <sup>3</sup>P<sub>1</sub> і <sup>1</sup>P<sub>1</sub> станами іонів Pb<sup>2+</sup>, відповідно [15,28]. Мінімум спектральної чутливості в області 490-510 нм відповідає області екситонного поглинання [25]. Значне наростання фоточутливості PbI<sub>2</sub> при збільшенні енергії квантів збуджуючого світла в спектральній області < 400 нм очевидно зумовлено електронними переходами з 5р-станів валентної зони, зумовленої іонами Г, в зону провідності, пов'язаної з 6р-станами іонів Pb<sup>2+</sup> [7,18-20].

Для з'ясування ролі міжзонних переходів у формуванні СЧ ФЕС PbI<sub>2</sub> в області власного поглинання додатково розглянемо кристалічну і зонну структуру та СЧ ФЕС кристалів йодистого кадмію [7]. Їх ґратка також будується шляхом паралельного пакування елементарних пакетів-сендвичів I-Cd-I. Зв'язки в середині шарів мають переважно іонно-ковалентний характер, а між шарами – ван-дер-вальсовий [7,15]. При вирощуванні із розплаву в основному отримуються кристали 4H-CdI<sub>2</sub>, з просторовою групою симетрії  $C_{6v}^4$ . Симетрія 2H-політипів сполук PbI<sub>2</sub> і CdI<sub>2</sub> є  $D_{3d}^3$  [15,29,30]. Проте зонна структура йодистого кадмію відрізняється від зонної структури йодистого свинцю. Верхня валентна зона CdI<sub>2</sub> утворена 5р-станами іонів йоду, а дно зони провідності формується 5s-станами іонів кадмію [7].

Вище зазначалось, що зразки кристалів CdI<sub>2</sub> з товщинами ~1,0 мм після фотополяризації при збудженні в прикраєвій області характеризуються максимумом фоточутливості, що розміщений в області довгохвильового спаду власного поглинання (360-370 нм) [7,9]. Згідно з теорією де Вора [31], даний максимум, може бути обумовлений переходом від об'ємної до поверхневої рекомбінації вільних носіїв заряду. Слабка фоточутливість йодистого кадмію в області сильного поглинання ( $K \geq 10^5 \text{ см}^{-1}$ ), пов'язаного з зона-зонними переходами [8,9], зумовлена значними приповерхневими рекомбінаціями генерованих опроміненням електронів і дірок, які в результаті незначної величини одиничного зсуву  $\mu\tau$  (де  $\mu$  – дрейфова рухливість,  $\tau$  – час життя носія заряду), не встигають вийти за межі приповерхневої області кристала і тому не дають помітного вкладу в фотодеполяризацію.

Йодистий свинець характеризується більшою величиною одиничного зсуву носіїв заряду [7,22]. Тому в області сильного фундаментального

поглинання кристали PbI<sub>2</sub>, на відміну від CdI<sub>2</sub>, мають більш високу фоточутливість як після фотополяризації при збудженні в області 515-520 нм, так і при більш високоенергетичному збудженні ( $\lambda = 495 \text{ нм}$ ). При цьому в першому випадку поява фотоносіїв при збудженні кристала в прикраєвій області може бути зумовлена розпадом екситонних станів на електронно-діркові пари на дефектах кристала [7,21], а в другому випадку фотоносії можуть додатково генеруватись як в результаті зона-зонних переходів з 6s- в 6р-станів іонів Pb<sup>2+</sup>, так і в результаті електронних переходів з 5р-станів валентної зони, зумовленою іонами Г, в зону провідності, пов'язаної з 6р-станами іонів Pb<sup>2+</sup> [7,18-20]. Значна фоточутливість йодистого свинцю в прикраєвій області також може бути обумовлена переходом від об'ємної до поверхневої рекомбінації вільних носіїв заряду.

Виникнення електроелектретного стану (ЕЕС) при низьких температурах при темновій поляризації PbI<sub>2</sub> найбільш імовірно пов'язано з іонізацією електричним полем Pb<sup>+</sup> і Pb<sup>0</sup> [22,27] та локалізацією звільнених електронів на вакансіях йоду. В області цих температур звільнення електронів з цих центрів може здійснюється в результаті тунельних переходів з участю фонона (акустичного чи оптичного) [32,33]. Утворення термоградієнтного ЕС викликано зміною рухливостей і відносної концентрації електронів і дірок при їх неоднорідному розподілі, автолокалізації і захопленні на пастках [7,22,24] у процесі виникнення термо-е.р.с. при однобічному охолодженні зразків [11,34].

На основі наведених результатів можна зробити наступні висновки:

1. Фотополяризовані кристали PbI<sub>2</sub> володіють високою фоточутливістю в прикраєвій області 515-520 нм, яка зумовлена розпадом екситонних станів на електронно-діркові пари.

2. Фоточутливість кристалів в області фундаментального поглинання (350-490 нм) пов'язана з генерацією носіїв заряду в результаті зона-зонних переходів з 6s-станів Pb<sup>2+</sup> та 5р-станів Г на 6р-стани іонів Pb<sup>2+</sup>.

3. Виникнення ЕЕС при низьких температурах при темновій поляризації PbI<sub>2</sub> найбільш імовірно спричинене іонізацією електричним полем Pb<sup>+</sup> і Pb<sup>0</sup> та локалізацією звільнених електронів на вакансіях йоду.

4. Утворення ЕС при однобічному охолодженні зразків викликано зміною рухливостей і відносної концентрації електронів та дірок при їх неоднорідному розподілі, автолокалізації та захопленні на пастках у процесі виникнення термо-е.р.с.

5. ЕС, які утворюються при низьких температурах в PbI<sub>2</sub> при фото- і темновій поляризації електричним полем та при однобічному охолодженні зразків ефективно руйнуються дією на кристал ІЧ-світла. Фоточутливість кристалів в ІЧ-області спектра пов'язується з електронними центрами F-типу.

**Новосад І.С.** – інженер кафедри загальної фізики фізичного факультету;

**Бордун О.М.** – к.ф.-м.н., доц. кафедри фізичної та біомедичної електроніки факультету електроніки.

- [1] П.Н. Ковальский, А.Д. Шнейдер. *Фотоэлектретный эффект в полупроводниках*. “Вища школа”, изд-во при Львов. ун-те, Львов. 150 с. (1977).
- [2] В.М. Фридкин. *Физические основы электрофотографического процесса*. Из-во “Энергия”, М.-Л. 288 с. (1966).
- [3] Т.В. Панченко. Электретные свойства кристаллов силикосилинита // *Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій “Нові технології”*, 1-2(4-5), сс. 27-33 (2004).
- [4] А.А. Камшилин, М.Г. Митева, М.П. Петров. Фотоэлектретное состояние в силикате висмута // *Письма в ЖТФ*, 7(4), сс. 251-255 (1985).
- [5] І. Новосад, О. Бордун, О. Юрченко. Термо- і фотостимульовані процеси в кристалах на основі йодистого свинцю // *Збірник тез “Міжнародної конференції молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА-2004”*, Львів, Україна, сс. 112-113 (2004).
- [6] С.С. Новосад, І.С. Новосад, І.М. Матвишин. Люминесценция и фоточувствительность кристаллов  $PbI_2$  // *Неорганические материалы*, 38(10), сс. 1253-1259 (2002).
- [7] *Широкозонные слоистые кристаллы и их физические свойства* / Под ред. А.Б. Лысковича, “Вища школа”, изд-во при Львов. ун-те, Львов, 148 с. (1982).
- [8] І.М. Болеста, А.В. Гальчинский, І.В. Китык. Фоточувствительность кристаллов  $CdI_2-Cd$  // *ФТТ*, 37(5), сс. 1536-1540 (1995).
- [9] А.Б. Лыскович, О.Б. Кушнир, А.В. Гальчинский. Фото- и термодеполяризационные процессы в кристаллах  $CdI_2$  // *Изв. АН СССР Неорганические материалы*, 19(11), сс. 1823-1826 (1983).
- [10] В.М. Kostyuk, А.В. Lyskovich, І.М. Matviishyn, S.S. Novosad. Thermo- and X-ray-stimulated electrical processes in  $CdI_2$  scintillators // *Functional materials*, 7(2), pp. 220-223 (2000).
- [11] Ю.А. Гороховатский. *Основы термодеполяризационного анализа*. Наука, М. 173 с. (1981).
- [12] О.В. Гальчинський, Я.М. Захарко, І.Б. Катерник. Вплив градієнта температури на криві струмів термостимульованої деполяризації // *УФЖ*, 37(8), сс. 1249-1252 (1992).
- [13] V. Imai. Fundamental edge absorption in  $PbI_2$  // *Ibid*, 9(1), pp. 205-207 (1971).
- [14] J. Dugan, N. Henish. Optical absorption and conductivity of  $PbI_2$  // *J. Phys. Chem. Solidi*, 28(4), pp. 1885-1890 (1967).
- [15] М.С. Бродин, І.В. Блонский. *Экситонные процессы в слоистых кристаллах*. Наук. думка, Киев. 256 с. (1986).
- [16] М.Т. Костишин, В.А. Цендровський. Розщеплення екситонної смуги поглинання у спектрі  $PbI_2$  // *УФЖ*, 18(2), сс. 329-331 (1973).
- [17] В.А. Извошников. Образование дефектов в йодистом свинце и изменение его оптических свойств при термической обработке (о механизме фотопроводимости) // *ФТТ*, 8(10), сс. 3127-3129 (1966).
- [18] J. Robertson. Electronic Structure of  $SnS_2$ ,  $SnSe_2$ ,  $CdI_2$  and  $PbI_2$  // *J. Phys. C: Sol. State Phys.*, 12(2), pp. 4753-4767 (1979).
- [19] Ch. Schluter, M. Schluter. Electronic structure and optical properties of  $PbI_2$  // *Phys. Rev.*, 9(4), pp. 1652-1663 (1974).
- [20] T. Hayashi, K. Tovoda and M. Itoh. Absorption spectra of  $PbI_2$  layered crystals in 2-100 eV range // *J. Phys. Soc. Jap.*, 57(5), pp. 1861-1862 (1988).
- [21] В.С. Балашкив, Г.М. Григорович, В.П. Немецкий. Энергетический спектр собственных дефектов в кристаллах  $PbI_2$  // *УФЖ*, 37(2), С. 229-232 (1992).
- [22] І.З. Ирдутный, М.Т. Костышин, О.П. Касярум, В.И. Минко, Е.В. Михайловская, П.Ф. Романенко. *Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл-полупроводник*. Наук. думка, Киев. 240 с. (1992).
- [23] Е.М. Усков, В.П. Петров АФН эффект в пленках иодистого свинца // *ФТП*, 5(8), С. 2204-2207 (1971).
- [24] H. Takeshi, N. Shunji, A. Nobuvoso. Temperature dependence of the photovoltaic effect in  $PbI_2$  single crystals // *Jap. J. Appl. Phys.*, 20(5), pp. 1003-1004 (1981).
- [25] М.Т. Костишин, В.М. Шарый, Е.В. Михайловская. Фото-э.д.с. в  $PbI_2$  и ее связь с фотолизом системы  $PbI_2-Ag$  // *Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематографии*, 25(3), сс. 197-200 (1980).
- [26] A. Lutomirska-Wittlin, A. Sradkowski, B. Krukowska-Fulde. Infra-red color centers in  $CdF_2$  // *Phys. Stat. Sol.*, A58(2). К 123-К 125 (1980).
- [27] J. Arends, J.F. Verwey. ESR on UF irradiated lead halides at 80°K // *Phys. Stat. Sol.*, 23(1), pp. 137-145 (1967).
- [28] A.J. Bruce, J.A. Duffy. Thin film absorption spectra of lower valent p block halides // *Thin Solids Films*, 101(2): Electron. and Opt., pp. 179-192 (1983).

- [29] Я.О. Довгий, И.В. Китык. Нелинейно-оптические эффекты в кристаллах CdI<sub>2</sub>-2H с центросимметричными слоями // *Оптика и спектроскопия*, **70**(1), сс. 170-172 (1991).
- [30] Я.О. Довгий, И.В. Китык. *Електронна будова і оптика нелінійних кристалів: Монографія*. Світ, Львів. 176 с. (1996).
- [31] H. De Vore Spectral distribution of photoconductivity // *Phys. Rev.*, **101**(1), pp. 48-55 (1956).
- [32] А.Ю. Киверис, Ш.П. Куджмаускас, П.А. Пипинис. Изучение механизма ионизации центров захвата электрическим полем в CdS-Ag-фосфорах // *ФТТ*, **20**(11), сс. 3472-3474 (1978).
- [33] П.А. Пипинис. Туннельная делокализация электронов в полупроводниках (обзор) // *Литовский физический сборник*, **25**(5), сс. 3-17 (1985).
- [34] П. Гроссе. *Свободные электроны в твердых телах. (Пер. с нем.)*. Мир, М. 270 с. (1982).

I.S. Novosad, O.M. Bordun

## The Electret States in PbI<sub>2</sub> Crystals

*'Ivan Franko' Lviv National University,  
Franko Lviv National University, 1, Universytetska Str., Lviv, 79000, Ukraine,  
tel. (0322) 964-679, e-mail: [novosadis@rambler.ru](mailto:novosadis@rambler.ru)*

In this paper the complex investigation of electret states (ES) of nonactivated iodide lead crystals have been carried out. It is established, that ES are created by cooling and the dark polarization, and by photopolarization by light from region of 515 nm and by light from region of intrinsic absorption at 85 K. The effect of IR-light on the photopolarized crystal at 85 K gives in the considerable decreasing of the photosensitivity in near edge region, but weakly influences on the photosensitivity in the region of intrinsic absorption. Thus the intensive current of a photodepolarization "flash" type which kinetics of a relaxation is featured by two exponential curves have been registered. On the basis of the analysis of the received and literary data the spectral sensitivity of photoelectret states in IR spectral region can be tied with F-type centres.