

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 535.343.2

Проф. З.П. Чорний, д-р фіз.-мат. наук;
доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

РАДІАЦІЙНА ЧУТЛИВІСТЬ КРИСТАЛІВ ФЛЮОРИТІВ, ЛЕГОВАНИХ ТАЛІЄМ

В одномірній моделі розраховано параметри радіаційної чутливості кристалів флюоритів, легОВАНИХ талієм. Визначено граничні концентрації центрів забарвлення залежно від концентрації домішки талію в кристалі флюориту.

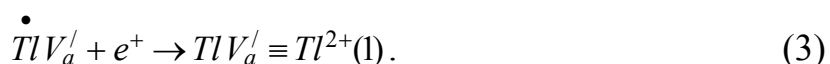
Ключові слова: кристали, центри забарвлення, радіація.

Вступ. У попередніх наших роботах [1, 2] у моделі іонного ланцюга розраховано радіаційні параметри кристалів флюоритів з точковими дефектами дипольного типу, створених або іонами лужних металів, або киснем відповідно. У цій роботі досліджено радіаційні властивості кристалів флюориту з домішково-вакансійними диполями, до складу яких входять іони талію.

Структура точкових дефектів і центрів забарвлення. З цілого класу кристалів зі структурою флюориту, легОВАНИХ талієм, на сьогодні в літературі експериментально досліджені лише кристали $\text{SrCl}_2\text{-Tl}^+$. Іони талію входять в матрицю кристалів хлористого стронцію у вигляді іонів заміщення [3]. Надлишковий негативний заряд іона талію компенсує вакансія хлору. За температур $T < 200 \text{ K}$ компенсація заряду має локальний характер: у кристалі утворюються домішково-вакансійні диполі (ДВД) $\text{TlV}_a^{\bullet/}$ типу. За температур $T < 110 \text{ K}$ ДВД заморожені в ґратці кристала. В області температур $110 < T < 200 \text{ K}$ аніонні вакансії здійснюють ротацію в околі домішкового іона. За $T > 200 \text{ K}$ настає термодисоціація диполя:

$$\text{TlV}_a^{\bullet/} \xrightarrow[kT]{200\text{K}} \text{Tl}^{\bullet} + \text{V}_a^{\bullet/}. \quad (1)$$

Структура центрів забарвлення, що виникають при опроміненні кристалів $\text{SrCl}_2\text{-Tl}^+$, залежить від температури опромінення зразків. Якщо кристали опромінювати за $T < 130 \text{ K}$, то в них генеруються $\{\text{Tl}^{2+}(1)\text{-Tl}^0(1)\}$ -комплементарні пари. Виникнення центрів забарвлення є наслідком локалізації носіїв заряду на іонах талію:



де: $\text{Tl}^0(1)$ – центр є атомом талію, в околі якого розміщена аніонна вакансія, $\text{Tl}^{2+}(1)$ -центр – Tl^{2+} -іон заміщення, в околі якого локалізована одна аніонна вакансія.

Якщо кристали опромінювати за $T > 130\text{ K}$, то в утворених радіацією $\{Ti^{2+}(1)-Ti^0(1)\}$ -комплементарних парах відбувається обмін аніонною вакансією між дірковим та електронним центром забарвлення, що зумовлює зміну структури центрів забарвлення:

$$Ti^{2+}(1) \equiv TiV_a^+ \frac{130K}{kT} Ti^{2+} + V_a^+, \quad (4)$$

$$V_a^+ + Ti^0(1) \xrightarrow[kT]{130K} Ti^0(2). \quad (5)$$

Таким чином в області 130 K відбуваються термоіндуковані перетворення $\{Ti^{2+}(1)-Ti^0(1)\}$ пар в пари $\{Ti^{2+}-Ti^0(2)\}$ -центрів забарвлення.

Моделі ДВД і утворених радіацією центрів забарвлення в кристалах $SrCl_2-Ti^+$ наведено на рис. 1.

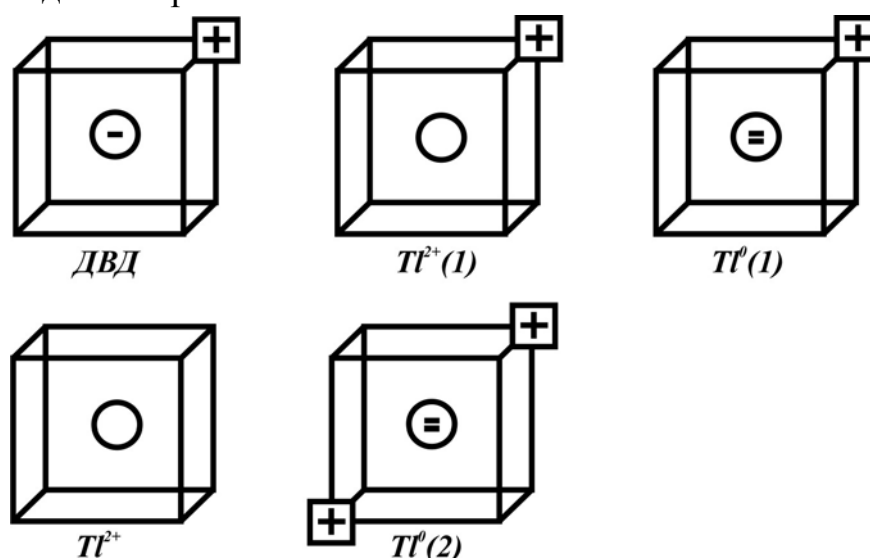
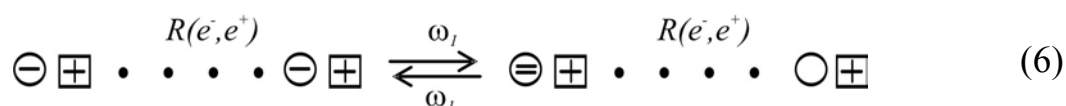


Рис. 1. Моделі талієвих центрів забарвлення

Генерація центрів забарвлення за низьких температур ($T < 130\text{ K}$). Механізм генерації центрів забарвлення за низьких температур можна описати такою схемою:



$\ominus \oplus \cdot \cdot \cdot \ominus \oplus \cdot \cdot \cdot$ – фрагмент іонного ланцюга, довжину якого обмежують домішково-вакансійні диполі; $\ominus$ – Ti^+ -іон; $\oplus$ – позитивно заряджена аніонна вакансія V_a^+ ; $\ominus \oplus$ – домішково-вакансійний диполь (ДВД); $\circ \oplus$ – Ti^{2+} -іон, в околі якого розміщена аніонна вакансія ($Ti^{2+}(1)$ -центр); $\circ$ – Ti^{2+} -іон, розміщений у катіонному вузлі; $\ominus$ – Ti^0 -атом, розміщений у катіонному вузлі; $\ominus \oplus$ – Ti^0 -атом, в околі якого розміщена аніонна вакансія ($Ti^0(1)$ -центр); $\ominus \oplus \cdot \cdot \cdot \circ \oplus$ – фрагмент іонного ланцюга, довжину якого обмежує пара центрів забарвлення; $R(e^-, e^+)$ – створена іонізуючою радіацією R електронно-діркова пара (e^-, e^+) ; ω_1 – імовірність захоплення носіїв заряду (e^-, e^+) парою ДВД і, відповідно, створення $\{Ti^{2+}(1)-Ti^0(1)\}$ -пари центрів забарвлення; ω_2 – імовірність руйнування $\{Ti^{2+}(1)-Ti^0(1)\}$ -пари внаслідок лока-

лізації носіїв заряду (e^- , e^+) на центрах забарвлення і, відповідно, відновлення пари ДВД.

Термоіндуковані перетворення центрів забарвлення. Утворені радіацією $Tl^{2+}(1)$ - і $Tl^0(1)$ -центри спостерігаються в кристалі до температури порядку 130 К. За вищих температур відбуваються термоіндуковані перетворення:



Символічні позначення на схемі (7) такі ж самі, що й на схемі (6).

$\oplus \ominus \oplus$ – Tl^0 -атом талію, в околі якого розміщені дві аніонні вакансії – $Tl^0(2)$ -центр.

Механізм генерації центрів забарвлення при $T > 130$ К. Механізм генерації центрів забарвлення за $T > 130$ К описується такою схемою:



де ω_3 – імовірність руйнування $\{Tl^{2+}-Tl^0(2)\}$ -пари центрів забарвлення внаслідок рекомбінаційних процесів (висвітлювальна дія рентгенівських променів).

Обговорення результатів. За своїми радіаційними властивостями кристали $SrCl_2-Tl^+$ подібні до кристалів флюоритів, легованих лужними металами або киснем (кристали MeF_2-Me^+ і MeF_2-O^{2-} [1, 2]). Подібно до легованих кристалів флюоритів гранична концентрація центрів забарвлення у кристалах $SrCl_2-Tl^+$ становить величину порядку 10-20 % від концентрації пар диполів у кристалі (опромінення кристала при 90 К) і зростає в декілька разів зі зростанням температури (табл. 1).

Табл. 1. Параметри, що характеризують радіаційну чутливість кристалів $SrCl_2-Tl^+$

c	l	ω_1	ω_2	ω_3	c_1/c_0	n_1	c_2/c_0	n_2	c_2/c_1
0,50	6 а	0,100	0,40	0	0,200	$5 \cdot 10^{18}$	1,0	$2,5 \cdot 10^{19}$	5,0
0,10	10 а	0,069	0,37	0	0,170	$8,5 \cdot 10^{17}$	1,0	$5,0 \cdot 10^{18}$	5,9
0,01	21 а	0,032	0,36	0	0,082	$4,1 \cdot 10^{16}$	1,0	$5,0 \cdot 10^{17}$	12,0

Примітка: c – молярна концентрація іонів талію в кристалі; l – середня відстань між іонами талію у ґратці кристала; а – параметр іонного ланцюга; $c_0 = 1/2c$ – молярна концентрація пар ДВД в кристалі; c_1 – гранична концентрація центрів забарвлення, що утворюються під час опромінення кристалу за $T < 130$ К; c_2 – гранична концентрація центрів забарвлення, що утворюються у кристалі, якщо його опромінювати за $T > 130$ К; n_1 (см^{-3}) – гранична густина центрів забарвлення, що утворюються на стадії насичення забарвлення кристала, якщо його опромінювати за $T < 130$ К; n_2 (см^{-3}) – гранична густина центрів забарвлення, що утворюються на стадії насичення забарвлення кристала, якщо його опромінювати за $T > 130$ К;

Концентрації центрів забарвлення та їх густину визначали згідно з такими формулами:

$$c_1 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} c_0; \quad n_1 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} n_0, \quad (9)$$

$$c_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_3} c_0; \quad n_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_3} n_0, \quad (10)$$

де n_0 – концентрація пар ДВД в кристалі до його опромінення.

Істотна відмінність між кристалами $\text{SrCl}_2\text{-Tl}^+$, з одного боку, і кристалами $\text{MeF}_2\text{-Me}^+$ і $\text{MeF}_2\text{-O}^{2-}$, з іншого, полягає в тому, що в кристалах $\text{SrCl}_2\text{-Tl}^+$ в межах кімнатної температури відсутня висвітлювальна дія іонізуючої радіації ($\omega_3=0$). За відсутності висвітлювальної дії рентгенівських променів кристал досягає граничної радіаційної чутливості: внаслідок опромінення кристала всі наявні в кристалі ДВД за рахунок локалізації носіїв заряду перетворюються в центри забарвлення ($c_2=c_0$). Відсутність висвітлювальної дії рентгенівських променів на центри забарвлення зумовлена тим, що Tl^{2+} - і $\text{Tl}^0(2)$ -центри електронейтральні стосовно ґратки.

Висвітлювальна дія рентгенівських променів в іонному ланцюгу типу $\text{Tl}^{2+}\text{-Tl}^0(2)$ може виникнути лише внаслідок захоплення зонних електронів дірковими центрами забарвлення, а вільних дірок – електронними центрами забарвлення:



Оскільки активаторні центри забарвлення Tl^{2+} і $\text{Tl}^0(2)$ – це електронейтральні комплекси, то можна розглядати перебіг альтернативних реакцій, коли електрон локалізується на електронному центрі забарвлення, а дірка на дірковому.



Принципова відмінність між рівняннями (11) і (12), з одного боку, та (13) і (14) з іншого, – полягає в тому, що в першому випадку внаслідок рекомбінаційних процесів відновлюються ДВД, а в другому випадку – створюються нові за структурою центри забарвлення. Розглянемо імовірність перебігу зазначених реакцій в моделі іонного ланцюга [4].

З кристалографічного погляду, потрібно вилучити реакцію (13), що передбачає утворення в ґратці кристала Tl^{3+} -іона – у кристалічній ґратці перетворення $\text{Me}^{2+} \rightarrow \text{Me}^{3+}$ у ртутеподібних іонах експериментально не виявлено, а, отже, імовірність перебігу реакції (13) рівна нулю.

На рис. 2 зображено зміну величини електричного потенціалу вздовж іонного ланцюга $\text{Tl}^{2+}\text{.....Tl}^0(2)$. Характер потенціалу, наведеного на рис. 2, унеможливорює локалізацію електрона на Tl^0 -атомі, що входить до складу електронного центра $\text{Tl}^0(2)$. А отже, реакція (14) не проявляється.

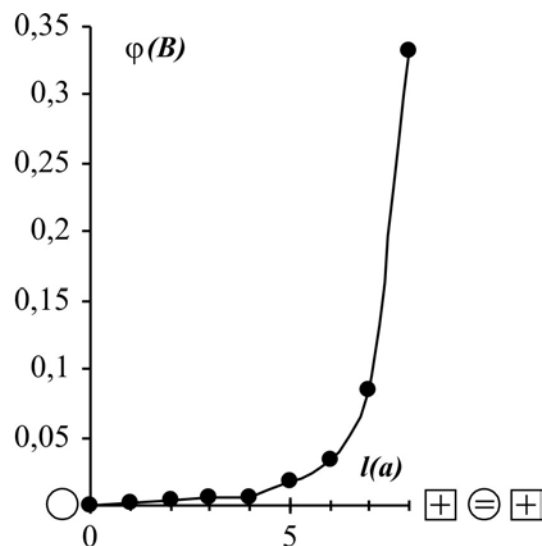


Рис. 2. Зміна величини електричного потенціалу вздовж іонного ланцюга, довжину якого обмежують $\text{Tl}^{2+}\text{.....Tl}^0(2)$ центри

Окрім реакції (11) зі захоплення електрона дірковим центром забарвлення, може бути місце реакція, внаслідок якої електрон захоплюється однією з вакансій $Tl^0(2)$ -центра:



Розглянемо детальніше процес захоплення електронів на центрах забарвлення (реакції (11) і (15)). Локалізація електрона на центрах забарвлення (рис. 3, б і 4, б) змінює характер розподілу електричного потенціалу вздовж іонного ланцюга (рис. 5 і 6). Характер електричного поля, наведений на рис. 5 і 6, змушує дірку направлено дрейфувати в напрямку до електронного центра забарвлення. Дрейф завершується процесом рекомбінації і відновленням початкової структури електронного центра. Як наслідок, висвітлювальна дія радіації в забарвлених кристалах $SrCl_2-Tl^+$ відсутня.

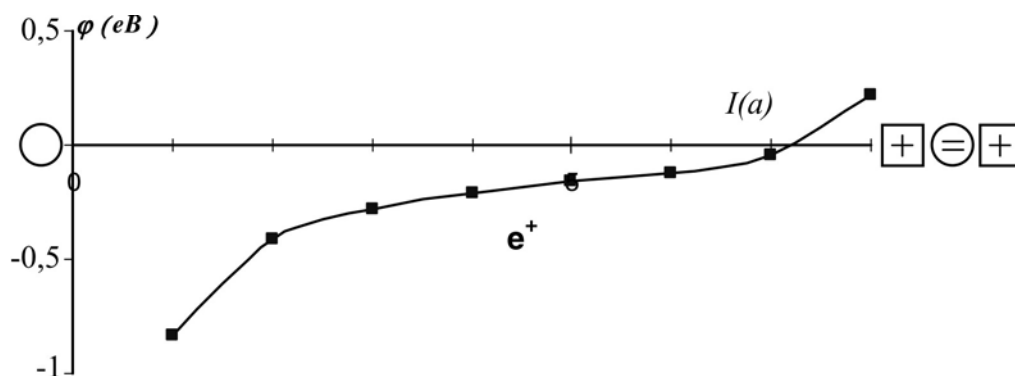
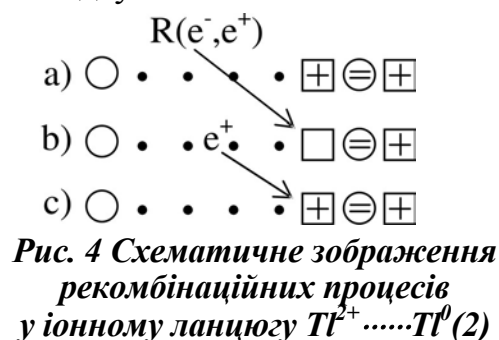
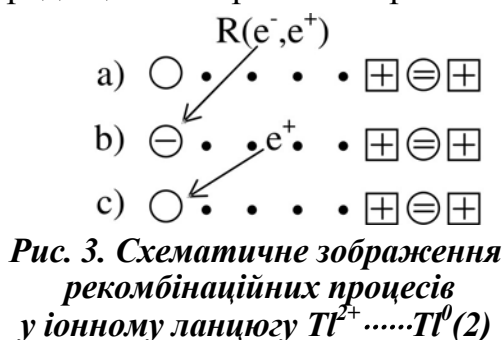


Рис. 5. Зміна величини електричного потенціалу вздовж фрагмента довжини іонного ланцюга типу $Tl^{2+} \dots Tl^0(2)$

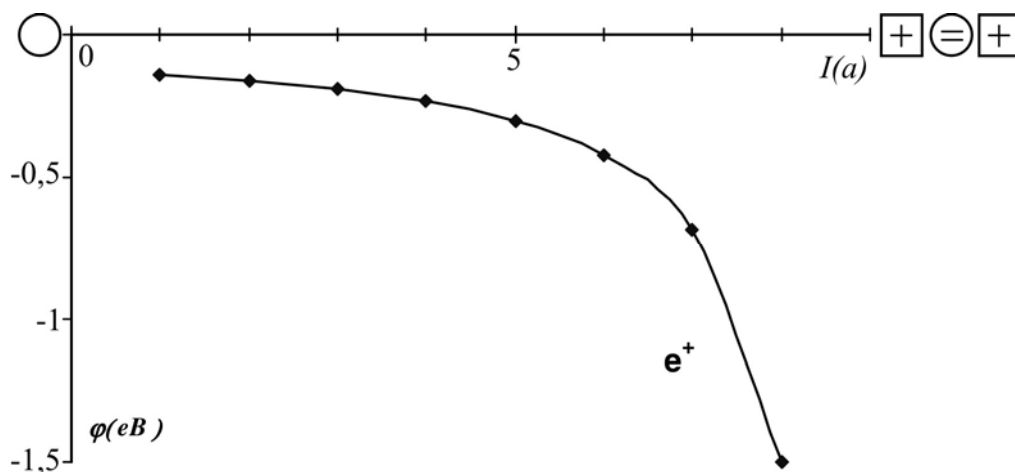


Рис. 6. Зміна величини електричного потенціалу вздовж фрагмента довжини іонного ланцюга типу $Tl^{2+} \dots FTl^0(1)$

Література

1. Чорний З.П. Радіаційна чутливість кристалів флюоритів, легованих лужними металами / Чорний З.П., Салапак В.М. // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.4. – С. 121-126.

2. Чорний З.П. Радіаційна чутливість кристалів флюоритів, легованих киснем / Чорний З.П., Салапак В.М. // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 126-131.

3. Крочук А.С. Іонні термоструми в радіаційно забарвлених кристалах $\text{SrCl}_2 \cdot \text{TlCl}$ / Крочук А.С., Чорний З.П., Щур Г.О., Салапак В.М., Говор М.В. // УФЖ. – 1999. – Т. 44, № 11. – С. 1428-1433.

4. Чорний З.П. Генерація центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів: одновимірна модель / Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.1. – С. 170-174.

Чорний З.П., Салапак В.М. Радиационная чувствительность кристаллов флюоритов, легированных таллием

В одномерной модели рассчитаны параметры радиационной чувствительности кристаллов флюоритов, легированных таллием. Определены граничные концентрации центров окраски в зависимости от концентрации примеси таллия в кристалле флюорита.

Ключевые слова: кристаллы, центры окраски, радиация.

Chornij Z.P., Salapak V.M. Radiation sensitivity of fluoride crystals which are alloyed with thallium

In the single-measured model the radiation sensitivity parameters are calculated in fluoride crystals which are alloyed with thallium. The maximum concentrations of the color centers were determined as a function of concentration thallium impurities.

Keywords: crystals, color centers, radiation.

УДК 630.3.001.12/1

Доц. О.С. Мачуга, канд. фіз.-мат. наук –
НЛТУ України, м. Львів

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ТА ВОДОСХОВИЩ

Методика призначена для комплексного опрацювання та систематизації натурних та документальних даних для експлуатованих гідроспоруд. Під час натурних спостережень визначають геометричні розміри греблі та водосховища, а також параметри річкового потоку: його швидкість, глибину та ширину. Дані щодо розмірів водосховища також можливо отримати із документальних джерел. Об'ємні та відносні характеристики гідроспоруди та водойми визначають шляхом обчислення за наведеними формулами.

Ключові слова: параметри гідроспоруд, водосховище.

Актуальність проблеми. Доцільність проектування та будівництва нових гідроспоруд, зокрема на малих гірських ріках, визначається економічною та екологічною необхідністю. Можливість відбору енергії річкового потоку для енергозабезпечення місцевої промисловості, берегоукріплення та заходи щодо мінімізації негативних наслідків руйнівних повеней та паводків, рекреаційні потреби тощо – чинники, які зумовлюють необхідність спорудження гідротехнічних споруд. Під час проектування та будівництва таких