

числа qfA_1 з індикаторними функціями відповідно $I_{qfA_1}(v)$ універсуму $V \subset R$, кожному $u_2 \in U_2$ ставиться у відповідність одне і те ж, або різні квантові нечіткі дійсні числа qfA_2 з індикаторними функціями відповідно $I_{qfA_2}(v)$ універсуму $V \subset R$ і так далі $u_N \in U_N$ ставиться у відповідність одне і те ж, або різні квантові нечіткі дійсні числа qfA_N з індикаторними функціями відповідно $I_{qfA_N}(v)$ універсуму $V \subset R$. Тоді N -арне квантове нечітке відношення другого роду $q_{II}fR$ задається декартовим добутком

$$q_{II}fA_1 \times q_{II}fA_2 \times q_{II}fA_3 \times \dots \times q_{II}fA_N,$$

індикаторна функція якого при кожному фіксованому $u_1, u_2, u_3, \dots, u_N$ буде рівна індикаторній функції $I_{qfA}(v)$, $v \in V \subset R$ квантового нечіткого дійсного числа qfA , яке рівне добутку квантових нечітких дійсних чисел $qfA_1, qfA_2, qfA_3, \dots, qfA_N$ з індикаторними функціями $I_{qfA_1}(v), I_{qfA_2}(v), I_{qfA_3}(v), \dots, I_{qfA_N}(v)$, $v \in V \subset R$, що відповідають цим фіксованим $u_1, u_2, u_3, \dots, u_N$ і так $\forall (u_1, u_2, u_3, \dots, u_N), (u_1, u_2, u_3, \dots, u_N) \in U_1 \times U_2 \times U_3 \times \dots \times U_N$.

Висновки. Отже, введено означення нових математичних об'єктів, що формують математичну основу моделювання зберігання нечітких відношень другого роду у f -системах на базі $q_{II}f$ -систем.

Література

1. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений / А.П. Рыжов. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – 81 с.
2. Мацеевский С.В. Нечеткие множества / С.В. Мацеевский : учебн. пособ. – Калининград : Изд-во КГУ, 2004. – 176 с.
3. Пастух О.А. Квантові нечіткі множини з комплексно значною характеристичною функцією і їх використання для квантового комп'ютера / О.А. Пастух // Вісник Хмельницького національного у-ту. – 2006. – Т.1, № 2. – С. 158-161.
4. Пастух О.А. Основи зв'язку між математичними формалізмами інформаційних систем, нечітких інформаційних систем та квантових інформаційних систем / О.А. Пастух // Вісник Хмельницького національного у-ту. – 2008. – № 3. – С. 87-98.

УДК 535.343.2 Проф. З.П. Чорній, д-р фіз.-мат. наук; асист. І.Б. Пірко;
доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук; асист. М.В. Дячук –
НЛТУ України, м. Львів

ІОННІ ЛАНЦЮГИ З ТОЧКОВИМИ ДЕФЕКТАМИ ДИПОЛЬНОГО ТИПУ: ПОВТОРНЕ ОПРОМІНЮВАННЯ

У одновимірній моделі розраховано ефективність генерування F_A і F_D -центрів у кристалах флюоритів, легованих лужними металами. Показано, що ефективність утворення F_D -центрів на порядок вища за ефективність утворення F_A -центрів.

*Prof. Z.P. Chornij; assist. I.B. Pirko; assoc. prof. V.M. Salapak;
assist. N.V. Diachuk – NUFWT of Ukraine, L'viv*

Ionic chains with point defects of dipole type: recurring irradiation

In the single-measured model the efficiency is calculated of generation F_A and F_D -centers in fluoride crystals which are alloyed with alkaline metals. It is shown that the efficiency of F_D -centers formation is one level higher than of F_A -centers.

Вступ. Відомо [1-3], що іонні кристали з точковими дефектами дипольного типу (кристали $\text{CaF}_2\text{-Me}^+$, $\text{SrF}_2\text{-Me}^+$, $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$, де $\text{Me}^+ = \text{Li}^+$, Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+), легко забарвлюються під дією іонізуючої радіації. Природу центрів забарвлення (ЦЗ), їхню структуру та механізм генерування широко досліджували в літературі протягом останніх 60 років [4-8]. Причому дослідження мають виключно експериментальний характер. Упродовж останніх років у нашій лабораторії розвивається одновимірна модель іонного кристала, в рамках якої можна теоретично оцінити радіаційну чутливість кристалів та механізм їх утворення [9-14]. У цій роботі вперше модель іонного ланцюга застосовано для вивчення радіаційних процесів, які відбуваються в іонних кристалах під час їхнього повторного опромінювання.

1. Розрахунок ефективності генерування центрів забарвлення в одновимірній моделі

Механізм генерування центрів забарвлення за низькотемпературного опромінювання кристала. У одновимірній моделі [7-14] кристали галогенідів двоховалентних металів (ГДМ), легованих лужними металами, можна зобразити у вигляді іонного ланцюга з вкрапленими домішково-вакансійними диполями (ДВД). Іонізуюча радіація генерує в ланцюгу електронно-діркові пари. Утворення центрів забарвлення є наслідком локалізації носіїв заряду на домішково-вакансійних диполях (ДВД). Структура ЦЗ залежить від температури, за якої відбувається опромінювання зразків. На рис. 1 схематично зображено механізм генерування центрів забарвлення, коли опромінювання відбувається за 78 К. За такої температури в кристалах ГДМ дірки автолокалізуються, а електрони захоплюються на ДВД. За таких умов в кристалі утворюються $(F_A\text{-}V_K)$ -пари (рис. 1, рівняння (1) і (2)). Частина дірок захоплюється на ДВД, утворюючи $(F_A\text{-}V_{KD})$ -комплементарні пари центрів забарвлення (рис. 2, рівняння (2) і 3)). Таким чином, за низькотемпературного опромінювання в іонних ланцюгах типу ДВД...ДВД радіація генерує $(F_A\text{-}V_K)$ та $(F_A\text{-}V_{KD})$ -пари центрів забарвлення.

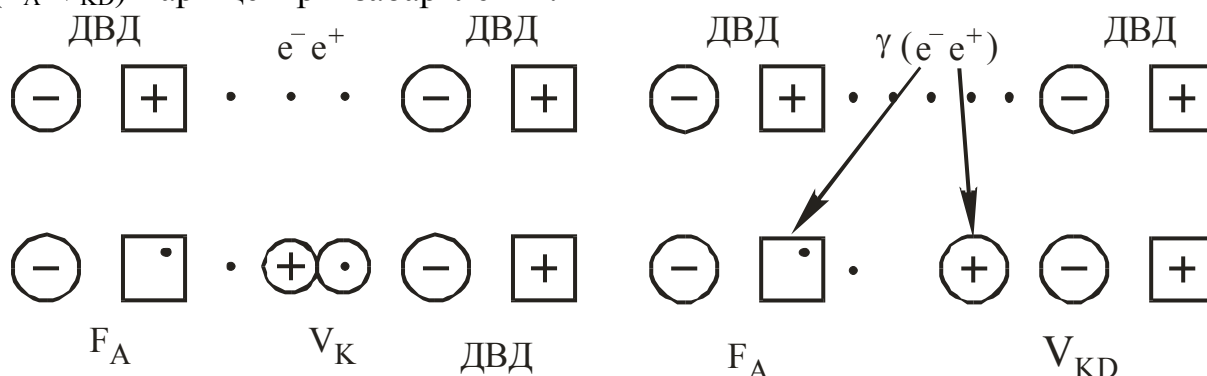


Рис. 1. Схематичне зображення механізму утворення $(F_A\text{-}V_K)$ -пар центрів забарвлення в кристалах флюоритів, легованих лужними металами

Рис. 2. Схематичне зображення механізму утворення $(F_A\text{-}V_{KD})$ -пар центрів забарвлення:

де: $\ominus$ – катіон лужного металу; $\boxplus$ – аніонна вакансія; $\oplus\oplus$ – V_K -центр; $\ominus\boxplus$ – F_A – центр; $\ominus\boxplus$ – домішково-вакансійний диполь

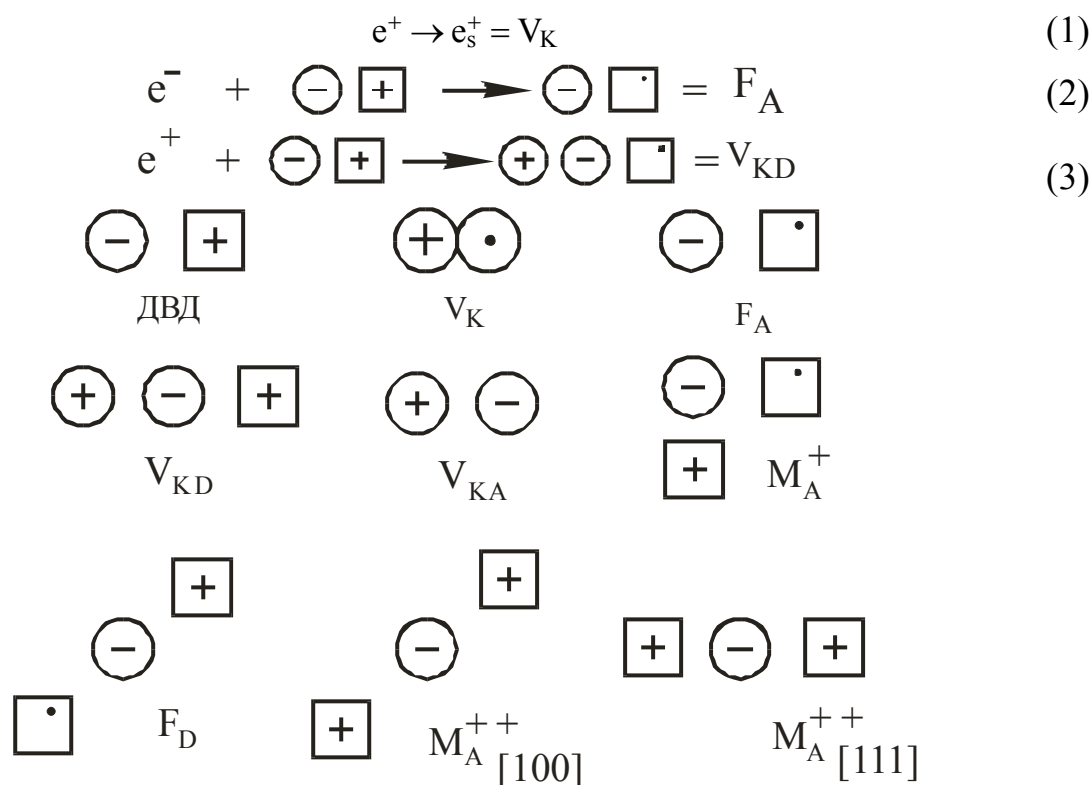


Рис. 3. Моделі центрів забарвлення і структура дефектів

Термоіндуковані перетворення центрів забарвлення в області температур 110-140 К. В області температур 100-130 К V_K -центри в кристалах ГДМ стають мобільними [2, 5]. Мобільні дірки рекомбінують з F_A -центрами або локалізуються на ДВД. Схематично ці процеси зображено на рис. 4 і 5.

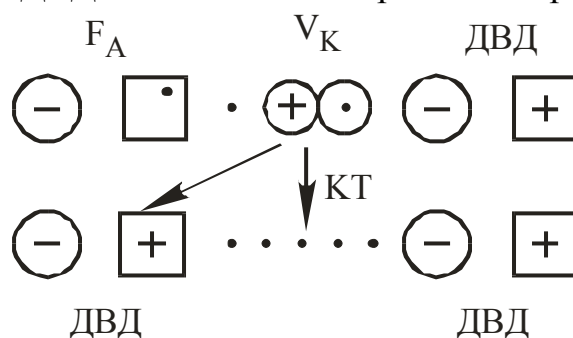


Рис. 4. Схематичне зображення термоіндукованої рекомбінації дірок з F_A -центрами

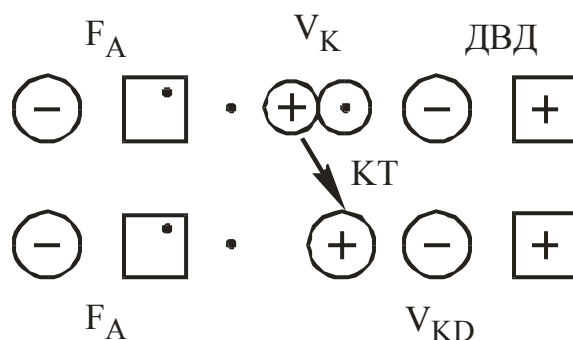


Рис. 5. Схематичне зображення термоіндукованого механізму утворення V_{KD} -центрів

Внаслідок рекомбінації мобільних дірок з F_A -центрами концентрація F_A -центрів зменшується, а відповідно концентрація ДВД частково відновлюється (рівняння (4)). Рекомбінаційні процеси супроводжуються виникненням максимуму термолюмінесценції. За альтернативного механізму мобільні дірки захоплюються на ДВД з утворенням $(V_{KD}-F_A)$ -пар (рис. 5, рівняння (3)).



Отже, внаслідок протікання реакцій (3) і (4) забарвлений кристал, прогрітий до температури порядку 140 К або опромінений за такої температури, містить виключно (F_A-V_{KD}) -пари центрів забарвлення і ДВД.

Термоіндуковані перетворення центрів забарвлення в області 200 К. V_{KD} -центри стабільні до температури порядку 200 К, а за вищих температур вони термодисоціюють [3]. Термічна дисоціація відбувається шляхом відходу аніонної вакансії від V_{KA} -центра. Мобільні вакансії захоплюються F_A -центрами, внаслідок чого утворюються M_A^+ -центри. Процес термодисоціації і утворення M_A^+ -центрів, схематично зображений на рис. 6, і описуються рівняннями (5-7).

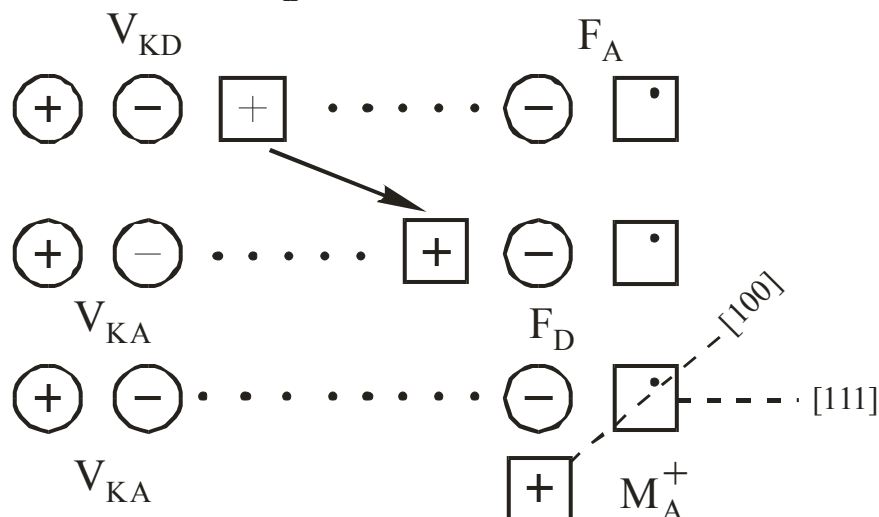


Рис. 6. Схематичне зображення $(F_A-V_{KD}) \rightarrow (M_A^+-V_{KA})$ – перетворень

Термодисоціація V_{KD} -центра потребує енергії активації, величина якої описується рівнянням (8):

$$E = E_0 + \frac{1}{4} E_{зв}, \quad (8)$$

де: E_0 – енергія активації міграції вільної аніонної вакансії, $E_{зв}$ – енергія кулонівського зв'язку між іоном лужного металу та аніонною вакансією.

У кристалах CaF_2 $E_0 \approx 0,5$ еВ [2], а $E_{зв} \approx 1,0$ еВ [3]. Відповідно температура міграції аніонної вакансії $T \approx 120$ К, а термодисоціації $T_d > 180$ К [2,

3]. Отже, перетворення $(F_A-V_{KD}) \rightarrow (F_D-V_{KA})$ -комплементарні пари понижують енергію кристалічної ґратки на 0,5 еВ, а $F_D \rightarrow M_A^+$ додатково понижують енергію на 0,2 еВ [2].

Оптичне знебарвлення кристала. Якщо кристали, що містять $(M_A^+-V_{KA})$ -центри забарвлення, оптично засвітити в M_A^+ -смугах поглинання, то вони знебарвлюються. На рис. 7 схематично зображено механізм знебарвлення для випадку, коли підсвічують кристал за температури 78 К. Процес знебарвлення описується рівняннями (9-11):

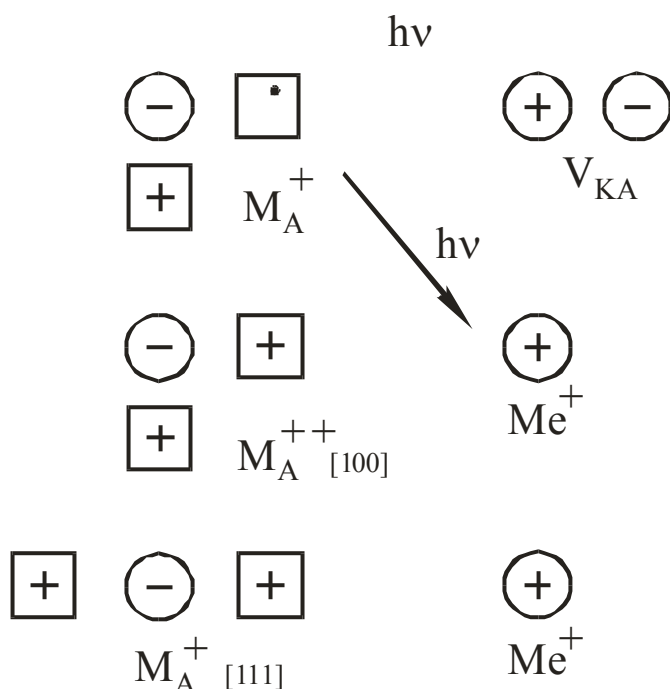
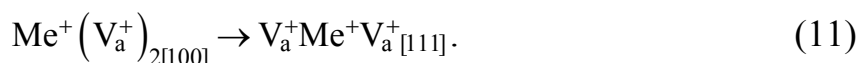
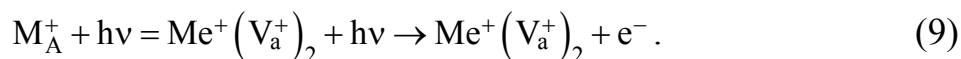
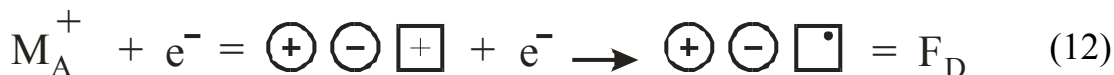


Рис. 7. Схематичне зображення механізму оптичного знебарвлення $(M_A^+-V_{KA})$ -центрів забарвлення $(M_A^+-V_{KA}) \rightarrow (M_A^{++}-Me^+)$ – фотоіндукованого перетворення.

Генерування центрів забарвлення у разі повторного опромінення кристала. Знебарвлений за 78 К кристал містить два типи іонних ланцюгів: ланцюги типу $Me^+V_a^+ \dots Me^+V_a^+$ і ланцюги $V_a^+Me^+V_a^+ \dots Me^+$. Останні виникають під час оптичного знебарвлення кристала (під час оптичного руйнування $(M_A^+-V_{KA})$ -комплементарних пар. Якщо знебарвлений кристал повторно опроміняти, то крім механізму, описаного в пункті 1.1, додатково треба розглянути розпад електронно-діркової пари в іоному ланцюгу $V_a^+Me^+V_a^+ \dots Me^+$. Під час такого розпаду в кристалі генеруються (F_D-V_{KA}) -пари (рис. 8, рівняння (12-14)).



$$F_D = \boxed{+} \ominus \boxed{\cdot} = V_A^+ Me^+ V_A^0 \rightarrow M_A^+ \quad (14)$$

Внаслідок перетворення (11)→(12) енергія ланцюга зменшується на 1 еВ. Рівняння (12) описує термоактиваційне перетворення внутрішньоагрегатного центра забарвлення ($F_D \rightarrow M_A^+$ -перетворення). Кожне з таких перетворень додатково понижує потенціальну енергію іонного ланцюга на величину порядку 0,4 еВ.

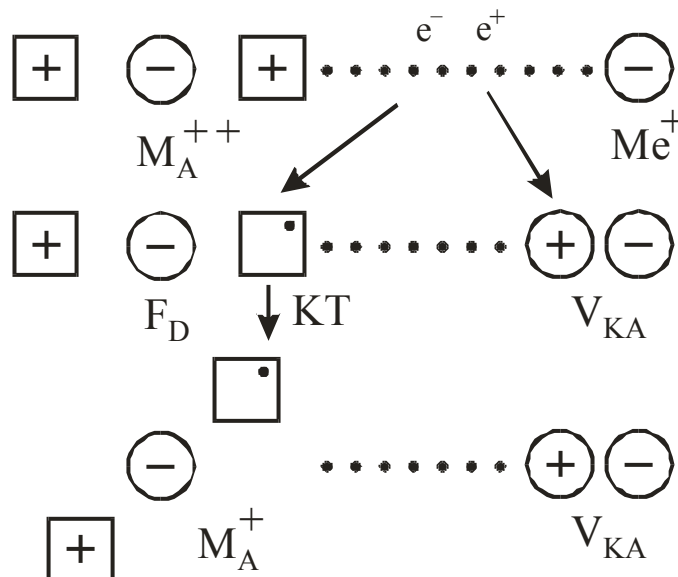


Рис. 8. Схематичне зображення механізму утворення $(M_A^+ - V_{KA})$ -пар центрів забарвлення під час повторного опромінювання кристалів

2. Розрахунок ймовірності генерування центрів забарвлення під час повторного опромінення кристала

Методика розрахунку. Під час повторного опромінення кристала потрібно розрахувати:

- 1) w_1 – ймовірність утворення центра забарвлення при розпаді електронно-діркової пари в іонному ланцюгу типу ДВД...ДВД (табл. 1);
- 2) w_2 – ймовірність висвітлювальної дії електронно-діркової пари в іонному ланцюгу, довжина якого обмежена F_A і V_{KD} -центрами (табл. 2);
- 3) w_3 – ймовірність утворення $(F_D - V_{KA})$ -центрів під час розпаду електронно-діркової пари в іонному ланцюгу $V_a^+ Me^+ V_a^0 \dots Me^+$ (табл. 3);
- 4) w_4 – ймовірність висвітлювальної дії електронно-діркової пари під час її розпаду в іонному ланцюгу типу $(F_D \dots V_{KA})$ -пари (табл. 4).

Табл. 1. Ймовірність утворення центрів забарвлення під час розпаду електронно-діркової пари в іонному ланцюгу типу $D - D^+ \dots D - D^+$

с	l	w_1	n_1/n_0	n_2/n_0
0,5	6 а	0,08	0,16	0,135
0,1	10 а	0,06	0,15	0,127
0,01	21 а	0,03	0,08	0,074

Примітка: w_1 – під час першого опромінення кристала, n_1 – концентрація $(F_A - V_{KD})$ -центрів забарвлення на стадії насичення під час першого опромінення; n_2 – під час повторного опромінення; n_0 – концентрація ДВД перед опроміненням кристала; с – концентрація диполів; l – середня відстань між диполями; а – параметр ґратки

Табл. 2. Ймовірність знебарвлення під час розпаду електронно-діркової пари в іонному ланцюгу типу $D - D_0 \dots D^+ D - D^+$

c	l	w ₂	n ₀₁ /n ₀	n ₀₂ /n ₀
0,5	6 a	0,435	0,84	0,72
0,1	10 a	0,39	0,85	0,73
0,01	21 a	0,36	0,92	0,86

Примітка: w₂ – під час першого опромінення кристалу; n₁ – концентрація (F_A-V_{KD})-центрів забарвлення на стадії насичення під час першого опромінення; n₂ – під час наступного опромінення; n₀ – концентрація ДВД перед опроміненням кристала; c – концентрація диполів; l – середня відстань між диполями; a – параметр ґратки; n₀₁ – концентрація ДВД в кристалі після першого опромінення; n₀₂ – після другого опромінення.

Табл. 3. Ймовірність утворення (F_D-V_{KA})-центрів під час повторного опромінення кристала

c	l	w ₃	n ₃ /n ₀
0,5	6 a	0,40	0,142
0,1	10 a	0,34	0,14
0,01	21 a	0,32	0,07

Примітка: n₃ – концентрація диполів в кристалі при повторному опроміненні; n₀ – початкова концентрація диполів; c – концентрація диполів; l – середня відстань між диполями; a – параметр ґратки.

Табл. 4. Ймовірність знебарвлення (F_D-V_{KA})-центрів під час розпаду електронно-діркової пари

c	l	w ₄
0,5	6 a	0,11
0,1	10 a	0,13
0,01	21 a	0,13

Примітка: c – концентрація диполів; l – середня відстань між диполями; a – параметр ґратки

Розрахунки виконували за методикою, описаною в роботі [15]. Проаналізуємо результати теоретичних розрахунків, наведених в табл. 1-4. Введемо такі позначення:

- n₀ – концентрація диполів, які містив кристал до його опромінення;
- n₁ – концентрація (F_A-V_{KD})-пар, які утворюються у кристалі після першого опромінення за 78 К (стадія насичення забарвлення кристала);
- n₀₁ – концентрація пар диполів після першого опромінення кристала;
- n₂ – концентрація (F_A-V_{KD})-пар, які утворилися в кристалі під час його повторного опромінення;
- n₀₂ – концентрація (V_a⁺Me⁺V_a⁺...Me⁺)-пар, які утворилися в кристалі після його оптичного знебарвлення за 78 К;
- n₃ – концентрація (F_D-V_{KA})-пар, які утворилися в кристалі під час його повторного опромінення;
- n₄ – концентрація (V_a⁺Me⁺V_a⁺...Me⁺)-пар після повторного опромінення кристала.

Згідно з роботою [15],

$$n_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2} n_0 \quad (15)$$

$$n_{01} = \frac{w_2}{w_1 + w_2} n_0 \quad (16)$$

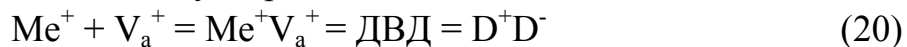
$$n_2 = \frac{w_1}{w_1 + w_2} n_{01} = \frac{w_1 w_2}{(w_1 + w_2)^2} n_0 \quad (17)$$

$$n_{02} = n_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2} n_0 \quad (18)$$

$$n_3 = \frac{w_3}{w_3 + w_4} n_{02} = \frac{w_1 w_3}{(w_1 + w_2)(w_3 + w_4)} \quad (19)$$

Результати розрахунків наведено в табл. 1-4.

Зміна зарядового стану точкових дефектів під час радіо-, термо- та фотоіндукованих процесів. Утворення точкових дефектів в іонному кристалі не порушує принципу електронейтральності кристала: сумарний заряд позитивно заряджених дефектів компенсують негативно заряджені дефекти: $nD^+ = nD^-$, де n – концентрація точкових дефектів, а D^+ і D^- позначають зарядовий стан дефекта. Для кристалів флюоритів $D^+ = V_a^{+2}$, а $D^- = Me^{+2}$. З високих температур обидва типи точкових дефектів рухомі і наявний просторовий спосіб компенсації заряду: в будь-якому елементарному об'ємі кристала кількість D^+ і D^- дефектів однакова. За $T < 700$ К Me^{+2} -іони в замороженні у ґратку флюорита, а замороження аніонних вакансій відбувається за температур, менших 120 К [16, 17]. У температурній області 120-400 К аніонні вакансії розташовані в околі домішкового іона, утворюючи домішково-вакансійні диполі:



Рівняння (20) описує перехід від просторового способу компенсації зарядів до локального: внаслідок кулонівської взаємодії між дефектами утворюється домішково-вакансійний диполь.

Зміна зарядового стану дефекта за радіаційного опромінення кристала. До опромінення кристали флюоритів, леговані лужними металами, містили ДВД. Іонний ланцюг можна зобразити у вигляді $D - D^+ \dots D - D^+$ (D^- – іон лужного металу, D^+ – вакансія фтору).

За опромінення внаслідок локалізації носіїв заряду на ДВД виникають центри забарвлення (рівняння (1-3), рис 1 і 2). Таким чином, внаслідок опромінення у кристалі виникають заряджені точкові дефекти типу $D_0D^- - \dots D^+D^- - D_1^+$ (де D^0 – F-центр, D_1^+ – локалізована дірка).

Отже, під дією радіації відбувся перехід від дефектів дипольного типу до заряджених і просторово розділених точкових дефектів (перехід від локального способу компенсації зарядів до просторового) (табл. 1).

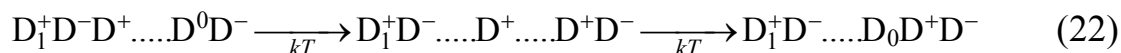
Висвітлювальна дія рентгенівських променів відбувається внаслідок локалізації носіїв заряду на центрах забарвлення і зумовлює відновлення ДВД у ґратці кристала (рівняння 20):



Як видно з табл. 1 і 2, ймовірність висвітлювальної дії w_2 рентгенівських променів майже на порядок вища порівняно з ймовірністю генерування центрів забарвлення w_1 . Ця обставина зумовлена тим, що сила кулонівської

взаємодії між зарядженими дефектами (монополь-монопольної взаємодії) є значно вища за силу монополь-дипольної взаємодії. В першому випадку носії заряду знаходяться в електричному полі, потенціал якого змінюється по закону $\varphi \approx \frac{1}{na}$, в другому $\varphi \approx \frac{1}{n(n-1)a^2}$, де n – кількість вузлів кристалічної ґратки, на яку віддалені носії заряду від точкового дефекту, a – параметр ґратки.

Термоіндуковані перетворення. Утворені радіацією центри забарвлення мають надлишковий електричний заряд відносно кристалічної ґратки. Нагріваючи кристал, їх можна перетворити в електронейтральні центри забарвлення:



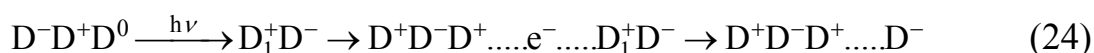
Рівняння (22) відбувається за рахунок термоактиваційного відщеплення аніонної вакансії (D^+ -дефекта) від ДВД з подальшою її локалізацією на F_A -центрі. Внаслідок протікання реакції (22) потенціальна енергія ланцюга зменшується на 1 еВ [2].

Фотоіндуковані перетворення. Під дією квантів світла електрони із стаціонарних станів переходять в збуджені стани з подальшим термоактиваційним переходом в зону провідності. Зонний електрон рекомбінує на центрі забарвлення. Оптичне знебарвлення за 78 К відбувається таким чином:



За цих умов шляхом засвітки кристала його можна повернути у вихідний стан, в якому він знаходився до його опромінення (див. пункт 1.4).

Оптичне знебарвлення забарвлених кристалів, прогрітих до кімнатної температури і охолоджених до 78 К. За цих умов кристал містить $(M_A^+ - V_{KA})$ -комплементарні пари, а механізм знебарвлення таких кристалів описується реакцією:



Після знебарвлення кристал містить просторово розділені точкові дефекти (див. пункт 1.3).

Радіаційно стимульовані процеси за повторного опромінення кристалів. Оптично знебарвлений кристал містить два типи іонних ланцюгів:



Під час повторного опромінення носії зарядів локалізуються як на дефектах першого, так і другого типів. У першому випадку виникають $(F_A - V_{KD})$ -пари (див. п.1), в другому випадку $(F_D - V_{KA})$ -пари:



Ймовірність протікання реакції (25) приведена в табл. 3, а висвітлювальна дія – в табл. 4 (ймовірності w_3 і w_4).

Якщо порівняти між собою значення ймовірностей, приведених в табл. 1 і 4, то видно, що $w_1 \approx w_4$, $w_2 \approx w_3$. Такий збіг результатів зумовлений

тим, що ймовірності утворення центрів забарвлення та їх висвічування залежить від зарядового стану структурних дефектів.

Під час першого опромінення кристала (табл. 1) ми маємо справу з ланцюгом, обмеженим дефектами дипольного типу (ланцюг $D - D^+ \dots D - D^+$).

Під час розрахунку висвітлювальної дії рентгенівських променів (табл. 2) розпад електронно-діркової пари відбувається в ланцюгу $D - D_0 \dots D^+ D - D^+$.

Під час утворення F_D -центрів електронно-діркова пара розпадається в іонному ланцюгу $D - \dots D^+ D - D^+$ (на заряджених дефектах).

Висвітлювальна дія V_{KA} -центрів відбувається внаслідок локалізації носіїв заряду в іонному ланцюгу $D - D_1^+ \dots D_0 D - D^+$ (дефекти дипольного типу).

З врахуванням сказаного вище концентрації F_A і V_{KD} та F_D - V_{KA} -центрів збігаються:

$$n_2 \approx n_3 = \frac{w_1 w_2}{(w_1 + w_2)^2} n_0. \quad (26)$$

Результати теоретичних розрахунків, отримані в цій роботі, будуть зіставлені з експериментальними результатами в наших наступних публікаціях.

Література

1. **Kachan S.I., Salapak V.M., Chornyi Z.P., Pirko I.B., Kushnir T.M.** Relaxation properties of defect complexes in $SrCl_2$ -Tl – crystals. Functional materials. – 2004. – Vol. 11, № 4. – P. 696-701.
2. **Electron colour centers** in SrF_2 -Na crystals. Physic of strong body. – 2004. – Vol. 48/2. – P. 239-242.
3. **Reorientation of M_A^+ -centers** in CaF_2 : Me⁺-crystals. Phys. Stat. Sol. – 2001. – Vol. 223. – P. 757-765.
4. **Феофилов П.П.** Поляризованная люминесценция кубических кристаллов // УФН. – 1956. – Т. 58, № 1. – С. 69-84.
5. **Martin P., Hamaidia A., Margerie S.** Paramagnetic colour centres in SrF_2 -Na⁺ // J. Phys. C: Sol. State. Phys. – 1985. – Vol. 18, № 32. – P. 5947-5961.
6. **Bollman W.** Formation Enthalpy of Shottky Defects in Alkali Halide Crystals and of Anti-Frenkel Defects in CaF_2 -Type Crystals // Phys. Stat. Sol. (a). – 1980. – Vol. 61, № 2. – P. 395-410.
7. **Hamaidia A., Hachimi A., Margerie J. and Hamidy J.F.** EPR of Colour Centres in Alkali-Metal Doped Calcium and Strontium Fluorides // Phys. Stat. Sol. (b). – 1986. – Vol. 138, № 2. – P. 213-218.
8. **Чорний З.П., Панасюк М.Р., Крочук А.С., Максимович Х.К., Щур Г.А.** Влияние фотохимической окраски на термостимулированные токи деполяризации в кристаллах $SrCl_2$ -K // Український фізичний журнал. – 1982. – Т. 27, №8. – С. 1219-1223.
9. **Качан С.І., Пірко І.Б., Салапак В.М., Чорний З.П.** Домішково-вакансійні агрегати в легованих кристалах флюоритів // Вісник НУ "Львівська політехніка": Електроніка. – 2004. – № 513. – С. 131-136.
10. **Чорний З.П., Качан С.І., Пірко І.Б., Салапак В.М.** Релаксація електрично заряджених центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів. Одновимірний модель // Вісник НУ "Львівська політехніка": Електроніка. – 2005. – № 532. – С. 90-98.
11. **Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В.** Механізм генерації центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів: одновимірний модель // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.1. – С.298-307.
12. **Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В.** Генерування центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів: одновимірний модель // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.1. – С.170-174.
13. **Чорний З.П., Кульчицький А.Д., Пірко І.Б., Белянінова Н.П.** Рекомбінаційні процеси та термоіндуковані перетворення центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів. Одновимірний модель // Наукові записки УАД. – 2005. – Вип. 8. – С.58-63.

14. Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В. Вплив домішкових аніонів на ефективність генерації центрів забарвлення в кристалах $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$. Одновимірна модель // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів : НЛТУ України. – 2006, випуск 16.2. – С.112-118.

15. Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В. Радіаційні процеси в іонних ланцюгах, легованих чужерідними іонами. І. Іонні ланцюги з точковим дефектами дипольного типу // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів : НЛТУ України. – 2009, в друці.

16. Чорний З.П. Реорієнтація та термодисоціація домішково-вакансійних комплексів у кристалах $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$ // Журнал фізичних досліджень. – 1999. – Т.3, №4. – С.513-518.

17. Чорний З.П., Панасюк М.Р., Крочук А.С., Щур Г.А., Максимович Х.К. Исследование реориентации примесно-вакансионных диполей в кристаллах $\text{SrCl}_2\text{-Me}^+$ // Известия вузов. Сер. физ. – 1984. – №9. – С.106-108.

УДК 331.5.024.52

Ст. викл. Л.М. Кравчук – ПВНЗ "Університет економіки і підприємництва"

МОДЕЛЮВАННЯ АКТИВНОСТІ ВИПУСКНИКІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ НА РИНКУ ПРАЦІ

Присвячено моделюванню активності випускників вищих навчальних закладів на основі законів нечіткої логіки. Інформаційною базою дослідження виступили результати анкетування випускників чотирьох вищих навчальних закладів м. Хмельницького. Отримані результати дають змогу ранжувати випускників за п'ятьма рівнями активності: високий, вище середнього, середній, нижче середнього та низький, завдяки чому можна спрогнозувати поведінку випускників і певним чином впливати на кон'юнктуру ринку праці.

Senior lecturer L.M. Kravchuk – University of Economics and Entrepreneurship

Design of activity of graduating students of higher educational establishments at the market of labour

The article is devoted the design of activity of graduating students of higher educational establishments on the basis of laws of fuzzy logic. The results of questionnaire of graduating students of four higher educational establishments of Khmel'nickiy city came forward the informative base of research. The got results enable to conduct sorting graduating students after five levels of activity: high, higher middle, middle, below middle and low, that enables to forecast the conduct of graduating students and definitely to influence on the state of affairs of labour-market.

Економіка України, як і багатьох європейських держав, переживає фінансово-економічну кризу, що, безумовно, ще більше посилює прояв негативних тенденцій у сфері зайнятості населення. Щодня поповнюється "армія" безробітних новими звільненими працівниками, внаслідок чого зростає рівень безробіття, знижується рівень життя населення та підвищується соціальне напруження в суспільстві. Особливо вразливою в таких умовах є молодь, а саме випускники вищих навчальних закладів, які лише розпочинають свою професійну діяльність. Останніми роками намітилась тенденція, що тисячі підготовлених на сучасному рівні випускників ВНЗ не можуть знайти роботу за спеціальністю, а тому вимушені працювати на робочих місцях, які не відповідають їхньому кваліфікаційному рівню. Дешевизна робочої сили високої кваліфікації гальмує зростання конкурентоспроможності економіки, стимулює вплив інтелектуального капіталу. Таким чином, значні кошти, які нап-