

матричної звичайної та перестановної криптосистеми з різними ключами шифрування на кожному раунді, реалізація якого значно підвищує його криптостійкість до брутальних атак.

Література

1. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц / Ф.Р. Гантмахер. – М. : Изд-во "Физматлит", 2010. – 560 с.
2. Голуб Дж. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. ван Лоун. – М. : Изд-во "Мир", 1999. – 548 с.
3. Грицок П.Ю. Особливості реалізації матричної Аффінної криптосистеми захисту інформації / П.Ю. Грицок, Ю.І. Грицок // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.5. – С. 346-356.
4. Ємець В. Сучасна криптографія: Основні поняття / В. Ємець, А. Мельник, Р. Попович. – Львів : Вид-во БаК, 2003. – 144 с.
5. Красиленко В.Г. Матричні аффінно-перестановочні алгоритми для шифрування та дешифрування зображень / В.Г. Красиленко, С.К. Грабовляк // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків : Вид-во ХУПС ім. Івана Кожедуба. – 2012. – Вип. 3(101), т. 2. – С. 53-61.
6. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения / А.П. Стахов. – М. : Изд-во "Советское Радио", 1977. – 246 с.
7. Стахов А.П. Гармония Мироздания и Золотое Сечение: древнейшая научная парадигма и ее роль в современной науке, математике и образовании / А.П. Стахов. – У 2-ох ч. – Ч. 1. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.obretenie.info/txt/stahov/harmoni1.htm>
8. Стахов А.П. Гармония Мироздания и Золотое Сечение: древнейшая научная парадигма и ее роль в современной науке, математике и образовании / А.П. Стахов. – У 2-ох ч. – Ч. 2. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.obretenie.info/txt/stahov/harmoni2.htm>
9. Хорошко В.О. Методи та засоби захисту інформації : навч. посібн. / В.О. Хорошко, А.О. Четков. – К. : Вид-во "Юніор", 2003. – 502 с.
10. Hoggat, V.E. Fibonacci and Lucas Numbers / V.E. Hoggat. – Houghton-Mifflin, Palo Alto, California, 1969.
11. Stakhov A.P. Brousentsov's ternary principle, Bergman's number system and ternary mirror-symmetrical arithmetic / A.P. Stakhov // The Computer Journal. – 2002. – Vol. 45, No. 2. – Pp. 222-236.
12. Stakhov A.P. Introduction into Fibonacci Coding and Cryptography / A.P. Stakhov, V. Massingua, A.A. Sluchenkova. – Харьков : Изд-во "Основа" Харьковского университета, 1999 г.

Грицок Ю.И., Грицок П.Ю. Методы и средства генерирования Q_p -матриц Фибоначчи – ключей для реализации криптографических преобразований

Рассматриваются особенности эффективного генерирования Q_p -матриц Фибоначчи, которые могут использоваться как ключи (де)шифрования для многоаундовой матричной криптографической системы преобразования информации. Выяснено, что основная проблема многоаундовой матричной аффинной криптосистемы заключается в генерировании множества обычных и обратных матриц – ключей (де)шифрования информации, элементами которых должны быть целые числа. Разработана процедура генерирования множества Q_p -матриц Фибоначчи, которая по известным значениям степени матрицы (n) и p -чисел Фибоначчи позволяет получать соответствующее множество ключей (де)шифрования информации, осуществлять их расширения для каждого раунда, что обеспечивает не только эффективный способ их образования и хранения, но и создает удобство при передаче по каналам связи.

Ключевые слова: защита информации, шифрование/дешифрование информации, числа Фибоначчи, Q_p -матрицы Фибоначчи, криптографическая система, матричные Аффинные преобразования, многоаундовая матричная криптографическая система.

Gryciuk Yu.I., Grytsyuk P.Yu. The methods and means of the generation of Fibonacci Q_p -matrices – Keys for the Implementation of Cryptographic Conversion

The features of effective generation of the Fibonacci Q_p -matrix have been considered. Those matrices are used as decryption/encryption keys for the multi-round matrix cryptographic system of the information transformation. It was found that in multi-round affinity matrix cryptosystem the main problem is to generate a plurality of the conventional and inverse keys-matrices of the information encryption/decryption that must be integers. The procedure for generating a plurality of Fibonacci Q_p -matrix has been developed. This procedure relies on the known degree of matrix values (n) and p -numbers Fibonacci and lets us set of the appropriate information encryption/decryption keys, implement expansion keys for each round. This provides an efficient way of their formation and storage and creates the ease of transmitting channels.

Keywords: information security, encryption/decryption information. Fibonacci numbers, Fibonacci Q_p -matrix, crypto-graphic system, matrix Affine transformation, matrix multi-rounds cryptographic system.

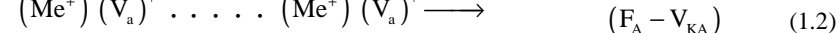
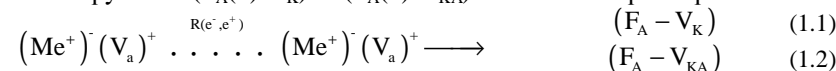
УДК 535.343.2 Проф. З.П. Чорний, д-р фіз.-мат. наук; доц. І.Б. Пірко, канд. фіз.-мат. наук; доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук; ст. викл. М.В. Дячук; доц. О.Р. Онуфрив, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

ГЕНЕРАЦІЯ ЦЕНТРІВ ЗАБАРВЛЕННЯ У КРИСТАЛАХ ФЛЮОРИТІВ З ТЕРМІЧНО НЕРІВНОВАЖНИМИ СТРУКТУРНИМИ ДЕФЕКТАМИ

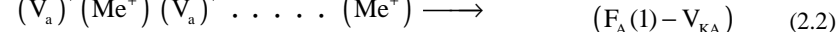
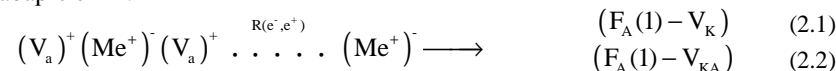
У моделі лінійного кристала досліджено механізм генерації центрів забарвлення у кристалах $\text{CaF}_2\text{-Me}^+$, що містять термічно нерівноважні $(\text{Me}^+\text{-V}_a^+\text{Me}^+\text{V}_a^+)$ -пари дефектів (Me^+ – іон лужного металу, V_a^+ – вакансія іона фтору). Розраховано імовірність утворення у ґратці кристала $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K)$ і $(\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ -комплементарних пар при розпаді електронно-діркової пари, кінетику наростання центрів забарвлення та їх граничні концентрації. Досліджено механізм $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K) \rightarrow (\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ та $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K) \rightarrow (\text{M}_A^+\text{-V}_{KA})$ -перетворень. Проаналізовано вплив автолокалізації дірок на радіаційну чутливість кристалів флюоритів.

Ключові слова: кристал, радіація, центри забарвлення.

Вступ. Відомо [1-5], що іони лужного металу входять у ґратку кристалів флюоритів у вигляді іонів заміщення: за $T < 400$ К утворюють з аніонними вакансіями домішково-вакансійні диполі $(\text{Me}^+)(\text{V}_a^+)$, де (Me^+) – іон лужного металу, а (V_a^+) – вакансія іона фтору. Домішково-вакансійні диполі (ДВД) є ефективними пастками для носіїв електричного заряду. При опроміненні кристалів іонізуючою радіацією внаслідок локалізації електронів і дірок на ДВД у ґратці кристала генеруються $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K)$ та $(\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ -комплементарні пари:



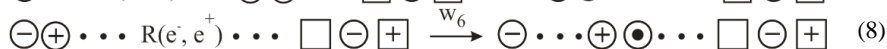
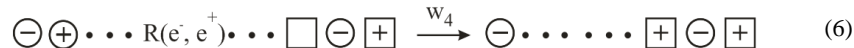
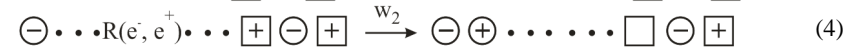
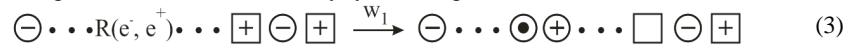
У роботах [6-8] розроблено методику, яка дає змогу перетворити термічно рівноважні дефекти дипольного типу в термічно нерівноважні електрично заряджені дефекти – в $(\text{Me}^+\text{-V}_a^+\text{Me}^+\text{V}_a^+)$ -пари дефектів. Показано [6-8], що при опроміненні кристалів з термічно нерівноважними структурними дефектами у ґратці кристала генеруються $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K)$ і $(\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ -комплементарні пари центрів забарвлення:



Мета цієї роботи – дослідити ефективність виходу реакцій (2.1) та (2.2).

1. Радіаційні процеси у кристалах флюоритів з (Me⁺-V_a⁺Me⁺V_a⁺)-точковими дефектами. У кристалах флюоритів структура центрів забарвлення і механізм їх генерації залежить від температури, за якої опромінюється кристал іонізуючою радіацією. Якщо кристал опромінювати за температури, за якої дірки автолокалізуються, то генерація центрів забарвлення протікає згідно з рівняннями (2.1) і (2.2). Якщо кристал опромінювати за температури, за якої дірки мобільні, то генерація центрів забарвлення відбувається згідно з рівнянням (2.2). У кристалах CaF₂ дірки "заморожені" у ґратці кристала за T < 120 К. 0°-міграція V_K-центрів настає в області T ≈ 120 К, а 90° міграція – за T ≈ 140 К. Виходячи з цього ефекту, розрахунки радіаційної чутливості кристалів проводили окремо для кристалів, опромінених за T < 120 К і для T > 140 К.

1.1. Кристали, опромінени за T < 120 К. У моделі лінійного кристала радіаційні процеси можна описати сукупністю рівнянь:



У рівняннях (3)-(8) використано такі позначення:

R(e⁻, e⁺) – створена іонізуючою радіацією (e⁻, e⁺) електронно-діркова пара;

••• – іони основи кристала;

⊖ – іон лужного металу;

⊙ – іон фтору;

⊕ – аніонна вакансія;

⊕ – локалізована дірка;

⊙ ⊕ – автолокалізована дірка (V_K-центр);

⊖ ⊕ – дірка, локалізована біля іона лужного металу (V_{KA}-центр);

□ – F-центр;

⊖ □ – F_A-центр;

□ ⊖ ⊕ – F-центр, локалізований біля ДВД (F_A(1)-центр);

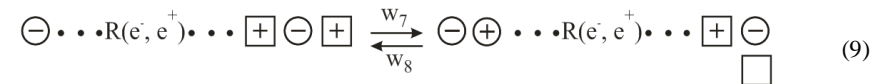
w₁ і w₂ – імовірність утворення (F_A(1) - V_K) і (F_A(1) - V_{KA})-комплементарних пар при розпаді (e⁻, e⁺)-пари в іонному ланцюгу;

w₃ і w₄ – імовірність радіаційного висвітлення (F_A(1) - V_K) і (F_A(1) - V_{KA})-комплементарних пар відповідно;

w₅ і w₆ – імовірність радіаційно стимульованих (V_K → V_{KA}) і (V_{KA} → V_K)-перетворень відповідно.

1.2. Кристали, опромінени за T > 150 К. За T > 150 К дірки мобільні, тому стабільні V_K-центри в забарвленому кристалі відсутні. За таких умов у процесі опромінення кристала реалізуються лише реакції, які описуються рівняннями (4), (6). Однак внаслідок мобільності дірок імовірності генерації (F_A(1)-V_{KA})-центрів (рівняння 4) та їх радіаційного руйнування (рівняння 6) набувають нових значень, які потрібно заново розрахувати. Справа в тому, що за T > 150 К у кристалах CaF₂-Me⁺, окрім електронно-діркових процесів, потрібно врахувати іонні процеси. Відомо [6], що в кристалах флюоритів за T < 120 К іонні процеси "заморожені". За T = 120 ÷ 150 К наявний ротаційний рух аніонних вакансій в околі домішкового іона. З цієї причини за T > 150 К внаслідок термоактиваційних процесів аніонної вакансії відбувається F_A(1) → M_A⁺ -термоактиваційні перетворення [6-8].

За наявності F_A(1) → M_A⁺-перетворень механізм утворення центрів забарвлення протікає за наступною схемою:



⊕ ⊖ – M_A⁺-центр; w₇ і w₈ – імовірності утворення (M_A⁺-V_{KA})-пар при розпаді електронно-діркової пари в ґратці кристала та їх висвітлення відповідно.

На стадії насичення забарвлення кристала настає радіаційно стимульована рівновага між процесом утворення центрів забарвлення та їх радіаційного висвітлення:

$$\frac{C_3}{C_0} = \frac{w_7}{w_7 + w_8}; \quad \frac{C_d}{C_0} = \frac{w_8}{w_7 + w_8}, \quad (10)$$

де: C₃ – концентрація (F_A(1)-V_{KA})-пар на стадії насичення забарвлення; C_d і C₀ – концентрація комплементарних дорадіаційних дефектів (Me⁺-V_a⁺Me⁺V_a⁺)-пар на стадії насичення забарвлення та в неопроміненому кристалі, відповідно.

2. Розрахунок радіаційних параметрів. Розрахунок радіаційних параметрів кристалів флюоритів, що містять термічно нерівноважні точкові структурні дефекти, проводили за методикою, описаною в роботах [9, 10] в декілька етапів. На першому етапі проведено розрахунки імовірностей реалізації реакцій, що описуються рівняннями (3)-(9) (табл. 1). На другому етапі визначали величину енергії E іонізуючої радіації, яку необхідно затратити для реалізації цих реакцій:

$$E = 1,5E_g / w_7; \quad E^* = 1,5E_g / w_8. \quad (11)$$

E_g – ширина забороненої зони кристала; w – імовірність реалізації реакцій (3)-(9) (табл. 2). Наступний етап досліджень – розрахунок кінетики утворення центрів забарвлення (рис. 1-4) і визначення граничних концентрацій центрів забарвлення (табл. 3 і 4).

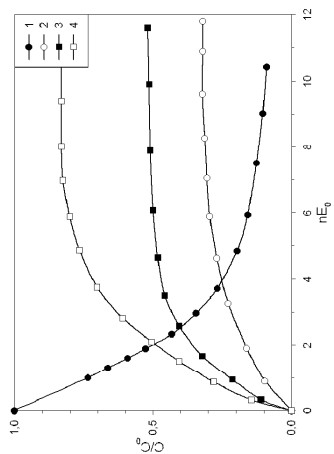


Рис. 2. Кінетика радіаційного руйнування (Me⁺-Va⁺+Me⁺+Va⁺)-комплементарних пар дефектів (1) та утворення (FA(1)-VK) (2) і (FA(1)-VK_A)-пар центрів забарвлення (3) і FA(1)-центрів (4). Кристал CaF₂-0,025 мол. % NaF; T=80 K.

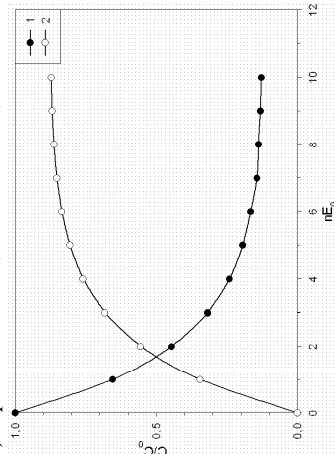


Рис. 4. Кінетика радіаційного руйнування (MA⁺-VK_A)-комплементарних пар (2) в кристалах CaF₂-0,025 мол. % MeF (T>150 K). C - концентрація центрів, n = 1,2,3,...; Eg=15 keV - ширина забороненої зони.

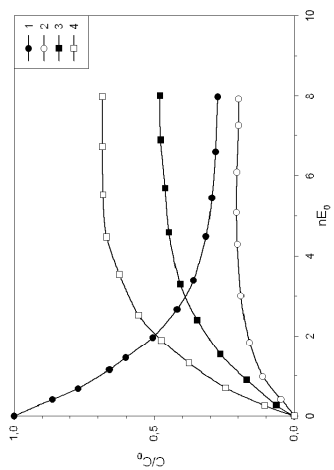


Рис. 1. Кінетика радіаційного руйнування (Me⁺-Va⁺+Me⁺+Va⁺)-комплементарних пар дефектів (1) та утворення (FA(1)-VK) (2) і (FA(1)-VK_A)-пар центрів забарвлення (3) і FA(1)-центрів (4). Кристал CaF₂-0,2 мол. % NaF; T=80 K.

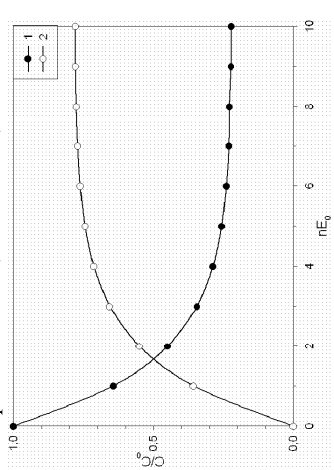


Рис. 3. Кінетика радіаційного руйнування (Me⁺-Va⁺+Me⁺+Va⁺)-комплементарних пар (2) в кристалах CaF₂-0,2 мол. % MeF (T>150 K). C - концентрація центрів, n = 1,2,3,...; Eg=15 keV - ширина забороненої зони.

Табл. 1. Розрахункові значення величини імовірності утворення центрів забарвлення w₁ і w₂ (рівняння 3 і 4), їх радіаційного висвітлення w₃ і w₄ (рівняння 5 і 6) та радіаційно стимульованих перетворень w₅ і w₆ (рівняння 7 і 8) при розпаді електронно-діркової пари у кристалах CaF₂-Na⁺ з термічно нерівноважними дефектами (T<120 K)

№	C, мол. %	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
1	0,2	0,119	0,214	0,143	0,133	0,210	0,083
2	0,025	0,236	0,102	0,056	0,033	0,090	0,121

Табл. 2. Енергія радіації E, яка витрачається для створення комплементарної пари центрів забарвлення і для радіаційного руйнування E* в eV

C, мол. %	E ₁	E ₁ *	E ₂	E ₂ *	E ₃	E ₃ *	E ₁₂	E ₁₂ *
0,2	126	105	70	113	42	150	45	111
0,025	64	268	147	545	43	315	44	383

E₁ і E₁* – енергія іонізуючої радіації, яка витрачається на створення (F_A(1)-V_K)-комплементарних пар та її радіаційного руйнування, відповідно; E₂ і E₂* – те ж саме, тільки для (F_A(1)-V_{K_A})-пар; E₃ і E₃* – те ж саме для (M_A⁺-V_{K_A})-пар; E₁₂ і E₁₂* – те ж саме, коли паралельно і незалежно генеруються (F_A(1)-V_K) і (F_A(1)-V_{K_A})-пари (рівняння 3 і 4).

Табл. 3. Концентрації центрів забарвлення на стадії насичення забарвлення кристалів

№	C, мол. %	C ₁ /C ₀	C ₂ /C ₀	(C ₁ +C ₂)/C ₀	C ₂ /(C ₁ +C ₂)	C ₁ /(C ₁ +C ₂)
1	0,2	0,214	0,494	0,708	0,302	0,698
2	0,025	0,512	0,362	0,873	0,585	0,415

Табл. 4. Радіаційні параметри кристалів, опроміненних за T≈150 K

№	C, мол. %	w ₇	w ₈	C ₃ /C ₀	C ₃ /(C ₁ +C ₂)	C ₃ /C ₂
1	0,2	0,3571	0,1000	0,7812	1,103	1,581
2	0,025	0,0476	0,0476	0,8788	1,007	2,428

C – концентрація іонів лужних металів у кристалі; C₀ – концентрація (Me⁺-V_a⁺Me⁺-V_a⁺)-пар (C₀=0,5C); C₃ – концентрація (M_A⁺-V_{K_A})-пар на стадії насичення (температура опромінення кристала T>150 K); C₁ і C₂ – концентрація (F_A(1)-V_K) і (F_A(1)-V_{K_A})-центрів на стадії насичення забарвлення (T<120 K).

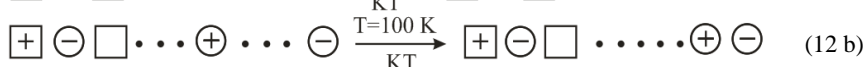
3. Обговорення результатів досліджень

3.1. Радіаційна чутливість кристалів. Кристали флюоритів з термічно нерівноважними точковими дефектами (Me⁺-V_a⁺Me⁺-V_a⁺) мають надвисоку радіаційну чутливість до забарвлення. На стадії насичення забарвлення кристала 70÷90 % із наявних у кристалі дорадіаційних дефектів, захопивши носії електричного заряду, утворюють центри забарвлення (див. табл. 3 і 4, рис. 1-4). У високолегованих кристалах гранична концентрація центрів забарвлення досягає 10¹⁹ центрів/см³, що на порядок вище порівняно з лужно-галоїдними кристалами [11].

Причина надвисокої чутливості досліджених кристалів очевидна. Дорадіаційні дефекти (Me⁺)-іони і (V_a⁺Me⁺-V_a⁺)-комплекси мають надлишкові відносно кристалічної ґратки електричний заряд, тоді як центри забарвлення

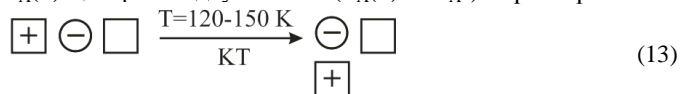
($F_A(1)$, M_A^+ і V_{KA} -центри) є дефектами дипольного типу. Оскільки величина напруженості електричного поля, створеного монодиполем, вища за напруженість, створеної диполем, то імовірність локалізації вільних носіїв заряду на до-радіаційних дефектах (утворення центрів забарвлення) вища порівняно з імовірністю їх рекомбінації з центрами забарвлення (висвітлення центрів забарвлення ($w_3 > w_5$, $w_4 > w_6$, $w_7 > w_8$, див. табл. 3 і 4). З цієї причини енергія E , яку потрібно затратити для генерації комплементарної пари центрів забарвлення, менша за енергію E^* їх руйнування ($E_{12} = 3E_g$, $E_3 \approx 3E_g$, $E_{12} = (8 \div 28) E_g$, $E_3^* = (10 \div 21) E_g$, див. табл. 2, $E_g = 15$ еВ – ширина забороненої зони).

3.2. Термоактиваційні перетворення центрів забарвлення. Забарвлений за низьких температур кристал флюориту містить ($F_A(1)-V_K$) і ($F_A(1)-V_{KA}$)-пари центрів забарвлення. Оскільки V_K -центри у кристалах флюориту стабільні за $T < 100$ К [10], то під час нагрівання забарвленого кристала до цієї температури – центри стають мобільними. Термоактиваційне знебарвлення V_K -центрів може відбуватися двома шляхами: внаслідок рекомбінації мобільних дірок з $F_A(1)$ -центрами (термічне висвітлення) або за рахунок захоплення дірок іонами лужного металу.



Оскільки сила кулонівського притягання мобільної дірки з боку \ominus -іона лужного металу більша за силу притягання до $\boxed{+} \ominus \square$ -комплекса ($F_A(1)$ -центра), то мобільна дірка дрейфує до домішкового іона, захоплюється ним, утворюючи $\ominus \boxed{+}$ -дипольний комплекс (V_{KA} -центр). Отже, під час нагрівання до температури $T \approx 100$ К відбуваються ($F_A(1)-V_K$) \rightarrow ($F_A(1)-V_{KA}$)-перетворення, внаслідок яких діркові центри забарвлення змінюють свою конфігурацію.

За подальшого прогрівання кристала до температур $120 \div 150$ К змінюють свою конфігурацію $F_A(1)$ -центри – відбуваються ($F_A(1) \rightarrow M_A^+$)-перетворення.



Температура, за якої відбуваються ($F_A(1) \rightarrow M_A^+$)-перетворення, збігається з температурою ротації домішково-вакансійного диполя T_r . За $T < T_r$ – диполи "вморожені" у ґратку кристала. За $T \geq T_r$ аніонна вакансія здійснює перескоки по восьми еквівалентних позиціях аніона, які розташовані в першій координаційній сфері домішкового іона (ротаційний рух вакансії навколо домішкового іона). Коли внаслідок ротаційного руху аніонна вакансія розташується по сусідству з F-центром (рівняння 12), виникає бівакансійний центр (M_A^+ -центр). Термоактиваційні ($F_A(1) \rightarrow M_A^+$)-перетворення енергетично вигідні, оскільки енергія кристалічної ґратки зменшується на величину $E \approx 0,4$ еВ (де E – енергія зв'язку в M_A^+ -центрах).

Висновки. Отже, опромінений кристал за низьких температур $T < 100$ К, який містить ($F_A(1)-V_K$) і ($F_A(1)-V_{KA}$)-комплементарні пари центрів, після про-

рівання до 150 К містить ($M_A^+ - V_{KA}$)-пари. Оскільки реакції (12 б) і (13) протікають безрекомбінаційно, то сумарна концентрація центрів у процесі нагрівання не змінюється. Розрахунки показали (див. табл. 4), що граничні концентрації центрів на стадії насичення показанні, які можна досягнути за рахунок опромінення кристала за низьких температур $T < 100$ К і за температур $T > 150$ К практично збігаються: $(C_1 + C_2) / C_3 \approx 1$. Це значить, що автолокалізація дірок не впливає на радіаційну чутливість кристалів.

Література

1. Shellay R.D. Ionic thermocurrent study of the dipole-dipole interaction in CaF_2 doped with NaF / R.D. Shellay, G.R. Miller // J. Sol. State Chem. – 1970. – Vol. 1, No. 2. – Pp. 218-226.
2. Ong S.H. Thermal depolarization in crystals $\text{CaF}_2: \text{Na}^+$, $\text{SrF}_2: \text{Na}^+$ and $\text{BaF}_2: \text{K}^+$ / S.H. Ong, P.W. Jacobs // Can. J. Phys. – 1979. – Vol. 57, No. 7. – Pp. 1031-1034.
3. Шепкин В.Д. Импульсный ДЯЯР в $\text{CaF}_2\text{-Na}$ / В.Д. Шепкин, Д.И. Вайнштейн, Р.А. Даутов, А. Винокуров // Физика твердого тела : сб. науч. тр. – 1977. – Т. 19, вып. 7. – С. 2104-2106.
4. Чорний З.П. Ионные термотоки в радиационно окрашенных кристаллах CaF_2 / З.П. Чорний, Г.А. Щур, С.И. Качан, С.П. Дубельт // Известия вузов. – Сер.: Физическая. – 1988. – № 6. – С. 116-117.
5. Чорний З.П. Исследование ионных термоток в кристаллах $\text{SrCl}_2\text{-K}$ / З.П. Чорний, М.Р. Панасюк, А.С. Крочук // Известия вузов. – Сер.: Физическая. – 1982. – № 9. – С. 80-83.
6. Чорний З.П. M_A^+ -центри в кристалах зі структурою флюориту. Механізм утворення фотоіндукованого дихроїзму / З.П. Чорний, С.І. Качан, І.Б. Пірко, В.М. Салапак // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Елементи теорії та прилади твердотілої електроніки. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2001. – № 427. – С. 109-115.
7. Чорний З.П. Просторова орієнтація та процес реорієнтації R_A^+ -центрів забарвлення в легованих кристалах CaF_2 / З.П. Чорний, В.М. Салапак, І.Б. Пірко, Т.М. Кушнір // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Елементи теорії та прилади твердотілої електроніки. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 454. – С. 24-28.
8. Чорний З.П. Іонні процеси в радіаційно забарвлених кристалах $\text{SrCl}_2\text{-Tl}$ / З.П. Чорний, В.М. Салапак, І.Б. Пірко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Електроніка. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 455. – С. 213-219.
9. Чорний З.П. Центри забарвлення в кристалах $\text{CaF}_2\text{-Na}$ і $\text{CaF}_2\text{-Li}$. II. Результати теоретичних досліджень / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Фізика і хімія твердого тіла : зб. наук. праць. – 2013. – Т. 14. – № 4. – С. 717-720.
10. Чорний З.П. Радіаційні процеси в кристалах флюоритів з точковими дефектами дипольного типу. Одновимірний модель / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 3. – С. 70-78.
11. Лушчик Ч.Б. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах / Ч.Б. Лушчик, А.Ч. Лушчик. – М. : Изд-во "Наука", 1989. – 263 с.

Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук М.В., Онуфрив О.Р. Генерация центров окраски в кристаллах флюоритов с термически неравновесными структурными дефектами

В модели линейного кристалла исследован механизм генерации центров окраски в кристаллах $\text{CaF}_2\text{-Me}^+$, содержащие термически неравновесные ($\text{Me}^+ - V_a^+ \text{Me}^+ V_a^+$)-пары дефектов (Me^+ – ион щелочного металла, V_a^+ – вакансия иона фтора). Рассчитана вероятность образования в решетке кристалла ($F_A(1)-V_K$) и ($F_A(1)-V_{KA}$)-комплементарных пар при распаде электронно-дырочной пары, кинетику нарастания центров окраски и их предельные концентрации. Исследован механизм ($F_A(1)-V_K$) \rightarrow ($F_A(1)-V_{KA}$) и ($F_A(1)-V_K$) \rightarrow ($M_A^+ - V_{KA}$)-преобразования. Проанализировано влияние автолокализации дырок и радиационной чувствительности кристаллов флюоритов.

Ключевые слова: кристалл, радиация, центры окраски.

Chorniy Z.P., Pirko I.B., Salapak V.M., Dyachuk M.V., Onufriv O.R. Generation of Color Centers in Crystals with Thermally Unstable Fluorites Structural Defects

The mechanism of generation of color centers in crystals $\text{CaF}_2\text{-Me}^+$, containing thermally nonequilibrium $(\text{Me}^+\text{-V}_a^+\text{Me}^+\text{V}_a^+)$ -pair defects (Me^+ – alkali metal ion, V_a^+ – fluoride ion vacancy) is investigated in the model of linear crystal. The probability of formation of the crystal lattice $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K)$ and $(\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ -pairs in the decay electron-hole pair, and also the growth kinetics of color centers and their concentration limits are calculated. The mechanism for $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K) \rightarrow (\text{F}_A(1)\text{-V}_{KA})$ and $(\text{F}_A(1)\text{-V}_K) \rightarrow (\text{M}_A^+\text{-V}_{KA})$ -conversion is studied. The influence of autolocalization holes and radiation sensitivity crystal fluorite is analysed.

Keywords: crystals, radiation, colour centres, fluorites.

**5. ОСВІТЯНСЬКІ ПРОБЛЕМИ
ВИЩОЇ ШКОЛИ**

УДК 004.42 Асист. Н.М. Пасєка – Прикарпатський НУ ім. Василя Стефаника

**ВИКОРИСТАННЯ КОГНІТИВНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ НАБУТТЯ
КОМПЕТЕНТНОСТІ ПЕДАГОГІВ У ГАЛУЗІ ІНФОРМАТИКИ**

Стратегічними напрямками модернізації освіти є впровадження у навчальний процес засобів інформаційних та комунікативних технологій, які відповідають проблемам саморозвитку особистості в новій соціокультурній ситуації та проявленню їх у різних напрямках розвитку. Розглянуто використання когнітивних методів для формування професійної компетенції майбутнього педагога інформатики у розрізі когнітивної гексаграми. Розроблено модель компетентності майбутнього педагога інформатики та проведено системний аналіз факторів впливу на формування професійної компетентності студентів з використанням сучасних інформаційних технологій.

Ключові слова: інформаційні технології в освіті, рівень когнітивного розвитку, професійна компетентність майбутніх педагогів, інформаційна компетентність, професійна мобільність, критерії підготовки педагогів, когнітивна гексаграма.

Актуальність. На сучасному етапі розвитку інформаційне суспільство вносить свої зміни в усі сфери підготовки компетентності майбутніх педагогів у галузі інформатики. Одна із головних проблем постала перед вищою освітою – підготовка кваліфікованого випускника до професійної діяльності в інформаційному суспільстві. Вирішення цієї проблеми пов'язане з формуванням компетентності студентів у галузі інформатики, сучасних інформаційних технологій і комп'ютерної техніки. Нові інформаційні технології відкривають студентам доступ до нетрадиційних джерел знань, підвищують ефективність до самостійної роботи та дають нові можливості для закріплення фахових знань. Компетентність викладача визначає суспільно визначений перелік знань, умінь, навичок, завдяки яким викладач може здійснювати складні поліфункціональні, надпредметні види діяльності.

Глобальне впровадження комп'ютерних інформаційно-комунікативних технологій у всі сфери діяльності, формування нових комунікацій і високоавтоматизованого інформаційного середовища стало не тільки початком перетворення традиційної системи освіти, а й першим кроком до формування інформаційного суспільства.

Актуальний рівень когнітивного розвитку використовує комп'ютерні моделі, взяті з теорії штучного інтелекту та експериментальних методів.

Процес когнітивного розвитку дає змогу створити систему т. зв. сильноного штучного інтелекту, який буде володіти здібностями до творчості та самостійного навчання. Когнітивна наука складається з кількох взаємопов'язаних наукових дисциплін (рис. 1).

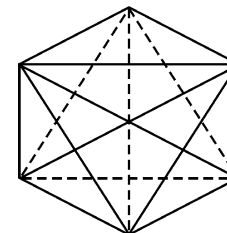


Рис. 1. Когнітивна гексаграма