

**Stepanchuk S.P. Analytical review of researches of sawing exactness is on band machine-tools**

The analytical review of results of the known researches of sawing exactness is executed on band machine-tools for saws of logs. On the basis of results of analytical review a purpose and tasks of subsequent researches is formulated. On the basis of results of analysis tasks are put certainly ways of subsequent researches the decision of which will provide the increase of exactness of saw narrow band saws due to the increase of inflexibility and firmness of working branch of saw and dynamic optimization of the cutting mode.

**Keywords:** exactness, band machine-tool, saw, waviness.

УДК 535.343.2

*Проф. З.П. Чорній, д-р фіз.-мат. наук;*

*доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів*

**РАДІАЦІЙНА ЧУТЛИВІСТЬ КРИСТАЛІВ ФЛЮОРИТІВ,  
ЛЕГОВАНИХ ЛУЖНИМИ МЕТАЛАМИ**

В одномірній моделі розраховано параметри радіаційної чутливості кристалів флюоритів, легованих лужними металами. Визначено граничні концентрації центрів забарвлення залежно від концентрації домішки лужного металу в кристалі флюориту. Здійснено аналіз результатів дослідження та їхнє зіставлення з експериментом

**Ключові слова:** кристали, центри забарвлення, радіація.

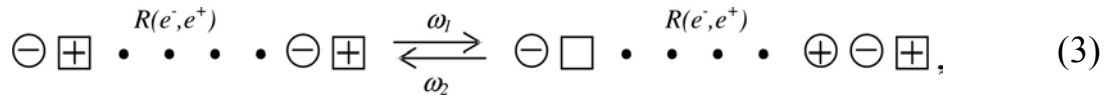
**Вступ.** Загальновідомо, що чисті кристали флюоритів  $MeF_2$  ( $Me = Ca, Sr, Ba$ ) стійкі до дії рентгенівських променів: за температури  $T > 80$  К радіація не генерує в кристалах стабільних центрів забарвлення. Радіаційну чутливість кристалів флюоритів можна збільшити на кілька порядків за величиною, якщо кристали легувати домішками лужних металів  $Me^+$  ( $Me^+ = Li^+, Na^+, Rb^+, Cs^+$ ). Механізм утворення центрів забарвлення в кристалах  $MeF_2-Me^+$  та їхню структуру в літературі інтенсивно досліджували в останні п'ять десятиліть. Однак за відсутності відповідної теорії експериментальні дані не систематизовано. У попередніх наших роботах [1-6] показано, що системний підхід до розуміння радіаційних процесів у кристалах флюоритів можна здійснити в межах моделі іонного ланцюга з вкрапленими точковими дефектами. Ця модель дає змогу, враховуючи зарядовий стан дорадіаційних точкових дефектів, оцінити радіаційну чутливість іонних кристалів: розрахувати енергію, що витрачається на створення комплементарної пари центрів забарвлення, їхні граничні концентрації, енергетичний вихід активаторної та власної люмінесценції, теплові втрати енергії. Такі розрахунки виконано на кристалах флюоритів, коли кристали опромінюються при низьких температурах [1-6], тобто коли домішково-вакансійні диполі (ДВД) заморожені в ґратці кристала. У цьому дослідженні температурний діапазон, в якому опромінюються кристали, розширений. Розглянуто радіаційні процеси за наявності в кристалах мобільних дірок і аніонних вакансій.

**1. Кристали флюоритів, опромінених при  $T < 90$  К.** При низьких температурах іони лужного металу входять в ґратку кристала у вигляді ДВД типу  $MeV_a'$ , де  $Me$  – негативно заряджений відносно ґратки іон лужного металу, а  $V_a'$  – позитивно заряджена аніонна вакансія. Як показано в попередніх наших ро-

ботах [7-13], якщо кристали опромінювати при низьких температурах, то в них генеруються  $\{F_A-V_{KD}\}$  комплементарні пари центрів забарвлення, що утворюються внаслідок локалізації носіїв заряду на ДВД:



Структури ДВД,  $F_A$  – і  $V_{KD}$  – центрів наведено на рис. 1, а механізм їхнього утворення можна описати схемою:



де:  $\ominus \oplus \cdot \cdot \cdot \cdot \ominus \oplus \cdot \cdot \cdot$  – фрагмент іонного ланцюга, довжину якого обмежують домішково-вакансійні диполі;

$\ominus$  – іон лужного металу  $Me$ ;

$\oplus$  – позитивно заряджена аніонна вакансія  $V_a^{\bullet}$ ;

$\ominus \oplus$  – домішково-вакансійний диполь (ДВД);

$\square$  –  $F$ -центр;

$\ominus \square$  –  $F_A$ -центр;

$\oplus$  – локалізована дірка;

$\oplus \ominus \oplus$  – дірка, локалізована в околі ДВД ( $V_{KD}$ -центр);

$R(e^-, e^+)$  – створена іонізуючою радіацією  $R$  електронно-діркова пара ( $e^-, e^+$ );  $\omega_1$  – імовірність захоплення носіїв заряду ( $e^-, e^+$ ) парою ДВД і, відповідно, створення  $\{F_A-V_{KD}\}$  пари центрів забарвлення;  $\omega_2$  – імовірність руйнування  $\{F_A-V_{KD}\}$  пари внаслідок локалізації носіїв заряду ( $e^-, e^+$ ) на центрах забарвлення і, відповідно, відновлення пари ДВД.

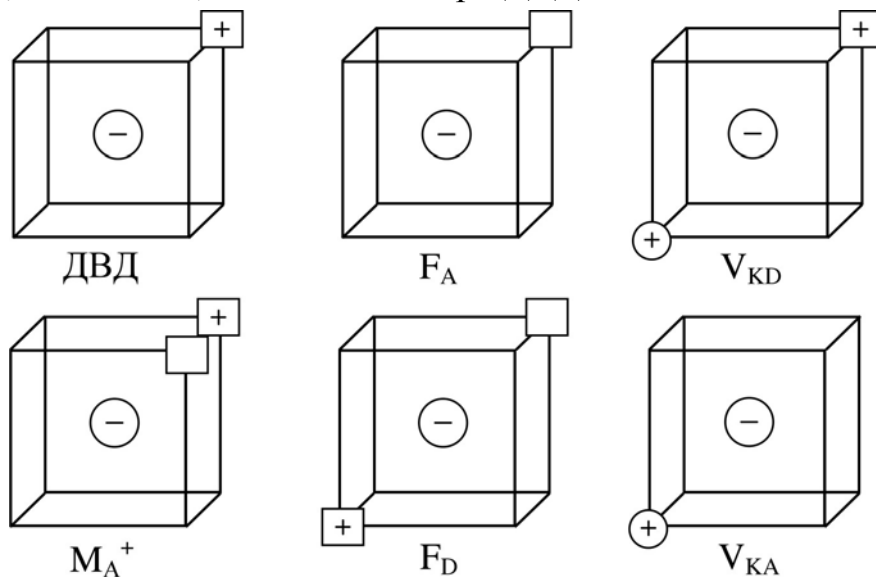


Рис. 1. Моделі ДВД і центрів забарвлення

У міру нагромадження центрів забарвлення вступає в дію зворотна реакція, що є наслідком захоплення дірок  $F_A$  – центрами й електронів  $V_{KD}$ -центрами [11]:

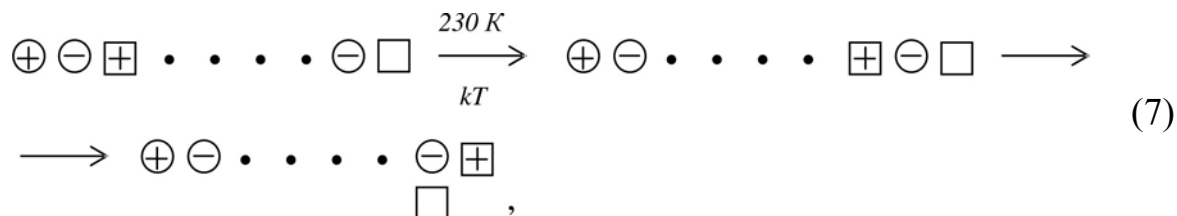


Внаслідок висвітлювальної дії знебарвлення кожної пари центрів забарвлення супроводжується виникненням відповідної пари диполів. На стадії насичення забарвлення кристала настає динамічна рівновага між процесами генерації центрів забарвлення та висвітлювальною дією радіації. Згідно з роботою [6], концентрація центрів забарвлення на стадії насичення забарвлення визначають виразом:

$$c_1 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} c_0, \quad (6)$$

де:  $c_1$  – концентрація  $\{F_A-V_{KD}\}$ -комплементарних пар у забарвленому кристалі;  $c_0$  – концентрація пар ДВД у кристалі перед його опроміненням.

**2. Термоіндуковані перетворення.**  $\{F_A-V_{KD}\}$  пари термічно стабільні до температури порядку  $T \sim 200$  К [7-9]. При вищих температурах аніонна вакансія термоактиваційно відщеплюється від діркового центра. Мобільна вакансія локалізується на  $F_A$ -центрі й утворюється  $M_A^+$ -центр. Внаслідок імпульсного прогріву забарвленого кристала до температур  $T > 200$  К  $\{F_A-V_{KD}\}$  – пара центрів зникає в кристалі та утворюється  $\{M_A^+-V_{KA}\}$  комплементарна пара. Моделі  $M_A^+$  - і  $V_{KA}$  – центрів зображені на рис. 1, а механізм їхнього утворення можна описати такою схемою:



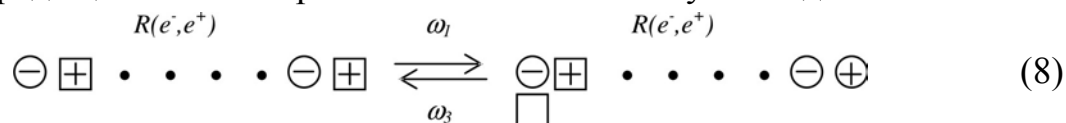
де  $\oplus \ominus$  -  $V_{KA}$ -центр (дірка, локалізована в околі лужного металу);

$\boxplus \ominus \square$  -  $F$ -центр, локалізований в області ДВД –  $F_D$ -центр;

$\ominus \boxplus$  -  $M_A^+$ -центр (аніонна бівакансія з локалізованим електроном,  $\square$  розташована в околі домішкового іона).

$\{M_A^+-V_{KA}\}$  пари генеруються не тільки після імпульсного прогріву кристала до температури  $T \sim 230$  К (рівняння (7)), а й безпосередньо під час опромінення за  $T > 230$  К [9].

**3. Генерація центрів забарвлення в області КТ.** Процес їхнього утворення та радіаційного знебарвлення можна описати у вигляді такої схеми:



де  $\omega_1$ - і  $\omega_3$ - імовірності утворення  $\{M_A^+-V_{KA}\}$ -пар та їхнього знебарвлення відповідно.

Оскільки  $M_A^+$  і  $V_{KA}$  є дефектами дипольного типу то імовірності  $\omega_1$  і  $\omega_3$  збігаються за величиною. Тому гранична концентрація  $\{M_A^+ - V_{KA}\}$  пар, які утворилися в кристалах, опромінених за кімнатних температур, описується рівнянням

$$c_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_3} c_0 = \frac{1}{2} c_0, \quad (9)$$

де:  $c_2$  – концентрація  $\{M_A^+ - V_{KA}\}$  пар на стадії насичення забарвлення кристала, опроміненого при  $T > 200$  К;  $c_0$  – концентрація пар ДВД перед опроміненням кристала.

У таблиці наведено результати розрахунків радіаційної чутливості кристалів флюоритів, легованих лужними металами, залежно від концентрації домішки і температури опромінення

**Табл. Параметри радіаційної чутливості кристалів  $CaF_2-Me^+$**

| c    | l   | $\omega_1$ | $\omega_2$ | $c_1/c_0$ | $c_2/c_0$ | $c_2/c_1$ | E, eB |
|------|-----|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 0,50 | 6a  | 0,100      | 0,27       | 0,27      | 0,50      | 1,85      | 150   |
| 0,10 | 10a | 0,069      | 0,29       | 0,19      | 0,50      | 2,60      | 220   |
| 0,01 | 21a | 0,032      | 0,29       | 0,10      | 0,50      | 5,00      | 470   |

**Примітка:** c – концентрація домішкових іонів (ДВД) у кристалі; l – середня відстань між домішковими іонами в ґратці кристала; a – стала кристалічної ґратки;  $\omega_1$  і  $\omega_2$  – імовірності утворення центрів забарвлення та їхнього висвітлення за розпаду електронно-діркової пари відповідно;  $c_1$  і  $c_2$  – граничні концентрації комплементарних пар центрів забарвлення, що утворюються в кристалі після радіаційного опромінення при температурах  $T = 90$  К і  $T > 220$  К, відповідно;  $c_0 = c/2$  – концентрація пар диполів в кристалі до його опромінення; E – енергія іонізуючої радіації, яку необхідно затратити для створення пари центрів забарвлення.

#### 4. Обговорення результатів та їхнє зіставлення з експериментом.

Генерація центрів забарвлення в кристалах  $MeF_2-Me^+$  відбувається внаслідок локалізації створених радіацією носіїв заряду на ДВД. Виникнення центрів забарвлення супроводжується радіаційним руйнуванням ДВД. В міру нагромадження центрів забарвлення концентрація ДВД в кристалі зменшується, а концентрація центрів забарвлення відповідно зростає. На стадії насичення забарвлення кристала встановлюється динамічна рівновага між концентрацією центрів забарвлення і ДВД, а, отже, експериментально можна визначити граничну концентрацію ДВД, які зруйнувала радіація. Ми в 90-х роках провели дослідження струмів ТСД у кристалах  $CaF_2-Me^+$  до їхнього опромінення і після опромінення на стадії насичення забарвлення (опромінення проводили при  $T = 90$  К) [11, 12]. Встановлено, що для кристалів з вмістом домішки порядку 0,1-0,2 мол % в шихті розплаву концентрація зруйнованих радіацією ДВД становить величину порядку 15 % від початкової концентрації в кристалі, що задовільно корелює з теоретичними розрахунками, наведеними в табл. 1. Щодо впливу температури опромінення на ефективність руйнування ДВД, то такі дослідження на сьогодні проведено лише в кристалах  $SrCl_2-K^+$

[11]. Якщо кристали опромінювати за температури  $T > 160$  К, то ефективність руйнування ДВД радіацією збільшується в 2,0-2,5 рази, а гранична концентрація ДВД, зруйнованих радіацією, досягає 40 %, що узгоджується з теоретичними розрахунками (табл. 1). На порядок чутливіші до опромінення (порівняно зі струмами ТСД) є спектри наведеного поглинання. Оптична густина в смугах поглинання в кристалах, опромінених у межах кімнатних температур (особливо в слабологованих кристалах), зростає майже на порядок. Системних досліджень зміни оптичної густини в спектрах наведеного поглинання зі зміною температури опромінення в літературі не проводилось. Лише в окремих роботах відзначено, що оптична густина спектрів наведеного поглинання в кристалах, опромінених при КТ, вища порівняно з кристалами, опроміненими при низьких температурах. Такі системні експериментальні дослідження планують провести найближчим часом у нашій лабораторії, що дасть змогу встановити, наскільки модель іонного ланцюга адекватно відображає радіаційну чутливість кристалів флюоритів.

### Література

1. **Чорній З.П.** Механізм генерації центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів. Одновимірний модель / З.П. Чорній, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.1. – С. 298-307.
2. **Чорній З.П.** Генерація центрів забарвлення в легованих кристалах флюоритів. Одновимірний модель / З.П. Чорній, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.1. – С. 170-174.
3. **Чорній З.П.** Релаксація електрично заряджених центрів забарвлення в кристалах флюоритів. Одновимірний модель / З.П. Чорній, С.І. Качан, І.Б. Пірко, В.М. Салапак // Вісник НУ "Львівська політехніка". "Електроніка". – 2005. – № 532. – С. 90-98.
4. **Чорній З.П.** Рекомбінаційні процеси та термоіндуковані перетворення центрів забарвлення в кристалах флюоритів. Одновимірний модель / З.П. Чорній, А.Д. Кульчицький, І.Б. Пірко, Н.П. Белянінова // Наукові записки : наук.-техн. зб. – Львів : Українська АД. – 2005. – Вип. 8. – С. 58-63.
5. **Чорній З.П.** Радіаційні процеси в іонних ланцюгах, легованих чужорідними іонами та іонні ланцюги з точковими дефектами дипольного типу / З.П. Чорній, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.6. – С. 298-305.
6. **Чорній З.П.** Іонні ланцюги з точковими дефектами дипольного типу: повторне опромінювання / З.П. Чорній, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Науковий Вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.7. – С. 275-285.
7. **Kachan S.I.** Relaxation properties of defect complexes in  $\text{SrCl}_2\text{-Tl}$  – crystals / S.I. Kachan, V.M. Salapak, Z.P. Chornyj, I.B. Pirko, T.M. Kushnir // Functional materials. – 2004. – Vol. 11, № 4. – P. 696-701.
8. **Chornyj Z.P.** Electron colour centers in  $\text{SrF}_2\text{-Na}$  crystals / Z.P. Chornyj, S.I. Kachan // Physic of strong body. – 2004. – Vol. 48/2. – P. 239-242.
9. **Chornij Z.P.** Reorientation of  $M_A^+$ -centers in  $\text{CaF}_2\text{: Me}^+$ -crystals / Z.P. Chornij, I.M. Kravchuk, G.O. Shchur, V.M. Salapak // Phys. Stat. Sol. – 2001. – Vol. 223. – P. 757-765.
10. **Чорній 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.
11. **Чорній З.П.** Влияние фотохимической окраски на термостимулированные токи деполяризации в кристаллах  $\text{SrCl}_2\text{-K}$  / З.П. Чорний, М.Р. Панасюк, А.С. Крочук, Х.К. Максимович, Г.А. Щур // Украинский физический журнал. – 1982. – Т. 27, № 8. – С. 1219-1223.
12. **Чорній З.П.** Ионные термоотоки в радиационно окрашенных кристаллах  $\text{CaF}_2$  / З.П. Чорний, Г.А. Щур, С.И. Качан, С.П. Дубельт // Известия ВУЗов. – Сер.: Физическая. – 1988. – № 6. – С. 116-117.

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

**Чорний З.П., Салапак В.М. Радиационная чувствительность кристаллов флюоритив, легированных щелочными металлами**

В одномерной модели рассчитаны параметры радиационной чувствительности кристаллов флюоритов, легированных щелочными металлами. Определены предельные концентрации центров расцветки в зависимости от концентрации примеси щелочного металла в кристалле флюорита. Проведено анализ результатов исследования и их сопоставление с экспериментом

*Ключевые слова:* кристаллы, центры расцветки, радиация.

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

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

*Keywords:* crystals, color centers, radiation.

УДК 666.972      Доц. Г.Я. Шевчук, канд. техн. наук; асист. Н.І. Топилко,  
канд. техн. наук; студ. Б.М. Навогольник – НУ "Львівська політехніка"

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННИХ СУМІШЕЙ ІЗ КОМПЛЕКСНИМИ МОДИФІКАТОРАМИ**

Досліджено вплив комплексних модифікаторів на властивості високорухливих бетонних сумішей. Показано ефективність застосування додатків-модифікаторів під час монолітного, мостового і дорожнього будівництва, які забезпечують підвищену міцність і щільність. Встановлено, що використання комплексного модифікатора Sika Plast на основі полі карбоксилату забезпечує отримання не лише високорухливих бетонних сумішей з тривалим терміном збереження, а й бетонів заданих класів із покращеними будівельно-технічними властивостями.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку будівництва виникає потреба раціонального використання енергетичних і матеріальних ресурсів із покращеними фізико-механічними властивостями та показниками довговічності. Застосування сучасних технологій монолітного бетонування потребує нового підходу до регулювання властивостей цементобетону за допомогою комплексних добавок поліфункціональної дії, які дають змогу отримати будівельні конструкції з високорухомих бетонних сумішей з покращеними експлуатаційними характеристиками. Такі властивості мають високофункціональні бетони, які поєднують у собі високу міцність, довговічність за високої легкоукладальності бетонних сумішей. Аналіз проблеми в галузі монолітного бетонування свідчить, що бетони нової генерації, до яких належать високофункціональні бетони, можна отримати завдяки застосуванню добавок-модифікаторів [1-3]. У цьому плані значний практичний інтерес представляють суперпластифікатори на основі полікарбоксилатів та добавки пластифікатора. Одним із таких суперпластифікаторів є ціла низка добавок фірми Sika [4, 5].