

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

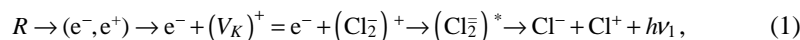
УДК 535.343.2 Проф. З.П. Чорній, д-р фіз.-мат. наук; проф. В.І. Вайданич, канд. фіз.-мат. наук; ст. викл. І.Б. Пірко, канд. фіз.-мат. наук; асист. М.В. Дячук; доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

РАДІОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ КРИСТАЛІВ ВаCl₂-Pb ЗА ТЕМПЕРАТУРИ T < 145 К

У моделі лінійного кристала досліджено механізм збудження власної і активаторної люмінесценції у кристалах ВаCl₂-Pb. Показано, що за температури T<145 К спектр радіолюмінесценції складається із трьох смуг свічення з максимумами в області 300 нм (власна люмінесценція), 320 нм та 550 нм (активаторне свічення). Розраховано кінетику наростання люмінесценції та її енергетичний спектр. Досліджено механізм виникнення радіолюмінесценції. Смути люмінесценції при 300 нм і 320 нм виникають внаслідок рекомбінації зонних електронів з V_K та V_{KA}-центрами відповідно. Смуга 550 нм обумовлена рекомбінацією мобільних дірок з Pb²⁺ іонами.

Ключові слова: кристал, радіація, люмінесценція, центри забарвлення.

1. Люмінесценція чистих кристалів ВаCl₂-Pb. Радіація створює у кристалі множини (e⁻, e⁺)-електронно-діркових пар. Спосіб, в який релаксують (e⁻, e⁺)-пари, залежить від температури кристала. Якщо T>145 К і дірки мобільні, то релаксація (e⁻, e⁺)-пари відбувається безвипромінювально з виділенням тепла. Коли T<145 К, то дірки автолокалізуються і рекомбінація зонних електронів з автолокалізованими дірками обумовлює власну люмінесценцію кристала [1, 2]:



де: R – іонізуюча радіація; V_K=Cl₂²⁻ – автолокалізована дірка (квазімолекулярний іон хлора); (Cl₂⁻)^{*} – збуджений стан автолокалізованого екситона; hν₁ – квант власного свічення кристала (λ_{max}=300 нм).

У лінійній моделі кристала рівняння (1) виглядає таким чином:



У рівнянні (2) використано такі позначення: (e⁻, e⁺) – створена радіацією у ґратці кристала електронно-діркова пара (енергія її утворення E≈1,5E_g, де E_g – ширина забороненої зони); – крапками позначено іони основи кристала; ⊕ – автолокалізована дірка.

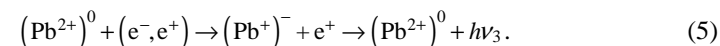
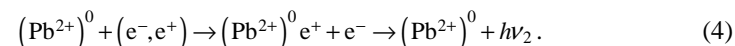
Вирахуємо енергетичний вихід власної люмінесценції кристалів ВаCl₂:

$$\eta_e = \eta_0 \frac{E_{h\nu}}{1,5E_g}, \quad (3)$$

де: η_e – енергетичний вихід радіолюмінесценції; η₀ – квантовий вихід свічення автолокалізованих екситонів; E_{hν} – енергія кванта свічення.

На сьогодні квантовий вихід η₀ автолокалізованих екситонів у кристалах ВаCl₂ не вивчено. Очевидно, що η₀<1, тому η_e<0,4.

2. Активаторна радіолюмінесценція в кристалах ВаCl₂-Pb. Відомо, що іони свинцю входять у ґратку кристала ВаCl₂ у вигляді іонів заміщення ((Pb²⁺)⁰-іонів і виступають центрами захоплення вільних носіїв заряду. При локалізації дірки в околі іона свинцю утворюються V_{KA}-центри забарвлення ((Pb²⁺)⁰ e⁺-центри), а при захопленні свинцем електрона виникають (Pb⁺)⁻-центри забарвлення. Утворені радіацією центри забарвлення відіграють роль центрів випромінювальної рекомбінації:



Реакції (4) і (5) описують механізм виникнення активаторної люмінесценції в області 320 і 550 нм, відповідно. У додаток до цих смуг свічення у кристалах ВаCl₂-Pb збуджується власна люмінесценція в області 300 нм (рівняння 1). Очевидно, що із збільшенням вмісту активатора у кристалі вихід активаторної люмінесценції зростає, а власної падає.

До опромінення кристалів ВаCl₂-Pb²⁺ іонізуючою радіацією синтезовані кристали містять тільки один тип точкових дефектів (Pb²⁺)⁰-іони. У лінійній моделі такий кристал можна зобразити у вигляді нескінченно довгого іонного ланцюга [3-5]:



Крапками позначено іони основи, ○-(Pb²⁺)⁰-іони. Як видно з рівняння (6), лінійний кристал складається із N фрагментів (ділянок) типу ○●●●○, величину (довжину) яких обмежують дефекти.

Будова забарвленого лінійного кристала складніша. У цьому випадку лінійний кристал включає в себе чотири типи фрагментів:



де ⊖ – (Pb⁺)⁻-іон; ⊕ – V_K-центр; ⊕○ – V_{KA}-центр.

Рівняння (7.2-7.4) зображують структуру утворених радіацією центрів забарвлення.

3. Розрахунки ймовірності випромінювальної релаксації -пар. При опроміненні забарвленого кристала іонізуючою радіацією релаксація створених радіацією (e⁻, e⁺)-пар має місце в усіх ділянках лінійного кристала, конфігурації

яких описуються рівняннями (7.1-7.4). Для кожної із зазначених конфігурацій розраховано ймовірності випромінювального розпаду (e^- , e^+)-пар. Результати розрахунків наведено в табл. 1 та 2.

Табл. 1.1. Ймовірності випромінювальної релаксації (e^- , e^+)-пар у кристалах $BaCl_2-Pb$.

C, мол. %	○ • • • • ○			⊖ • • • • ⊕ ○		
	$w_{11} (h\nu_1)$	$w_{12} (h\nu_2)$	$w_{13} (h\nu_3)$	w_{21}	w_{22}	w_{23}
0,2	0,2381	0,3810	0,0635	0,7024	0,2976	0,1598
0,0125	0,5608	0,2196	0,0157	0,6381	0,3619	0,1000

Табл. 1.2. Ймовірності випромінювальної релаксації (e^- , e^+)-пар у лінійному кристалі $BaCl_2-Pb$

C, мол. %	⊖ • ⊕ • • • ○			⊖ • ⊕ • ⊕ • • ⊖	
	w_{31}	w_{32}	w_{33}	w_{41}	w_{43}
0,2	0,5095	0,1429	0,1063	1,000	0,8000
0,0125	0,8429	0,0804	0,1150	1,000	0,2813

w_{11} , w_{21} , w_{31} , w_{41} – ймовірності випромінювання $h\nu_1$ -кванта світла ($\lambda_{max}=300$ нм) при розпаді (e^- , e^+)-пари в ділянках лінійного кристала, конфігурації яких зображені в рівняннях (7.1-7.4); w_{12} , w_{22} , w_{32} – те саме для активаторного свічення ($\lambda_{max}=320$ нм); w_{13} , w_{23} , w_{33} , w_{43} – те саме для активаторної люмінесценції ($\lambda_{max}=550$ нм); C – молярна концентрація $PbCl_2$ у кристалі.

4. Залежність інтенсивності люмінесценції від дози опромінення. З табл. 1 випливає, що в рекомбінаційних процесах, які обумовлюють свічення кристала, беруть участь (виступають центрами забарвлення) як іони активатора, так і центри забарвлення.

До опромінення іонізуючою радіацією лінійний кристал – це регулярна послідовна сукупність ділянок іонів з конфігурацією, яку описує рівняння (6). Позначимо загальна кількість даних конфігурацій числом N.

Після опромінення забарвлений кристал містить чотири типи конфігурацій, структура яких представлена рівняннями 7.1-7.4.

Позначимо:

1. N_1 – кількість конфігурацій типу ($Pb^{2+}-Pb^{2+}$) в забарвленому кристалі (рівняння (7.1));
2. N_2 – кількість конфігурацій типу (Pb^+-V_K) (рівняння 7.2);
3. N_3 – кількість конфігурацій типу (Pb^+-V_{KA}) (рівняння 7.3);
4. N_4 – кількість конфігурацій типу ($Pb^+-V_K-V_K-Pb_+$) (рівняння 7.4).

Очевидно, що загальна кількість ділянок, з яких складається лінійний кристал, в процесі його опромінення не змінюється:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4. \quad (8)$$

Визначимо відносний вклад кожної конфігурації в структуру іонного кристала:

$$\frac{N_1}{N} + \frac{N_2}{N} + \frac{N_3}{N} + \frac{N_4}{N} = 1. \quad (9)$$

Введемо нові позначення:

$$[Pb^{2+}] = \frac{N_1}{N}, \quad [V_K] = \frac{N_2}{N}, \quad [V_{KA}] = \frac{N_3}{N}, \quad [2V_K] = \frac{N_4}{N}.$$

Враховуючи нові позначення:

$$[Pb^{2+}] + [V_K] + [V_{KA}] + [2V_K] = 1. \quad (10)$$

Величини, які розташовані в лівій частині рівняння (10), відображають концентрацію (нормовану на одиницю) пар Pb^{2+} -іонів і комплементарних пар центрів забарвлення. Позначимо через I_1 , I_2 , I_3 відносну інтенсивність (нормовану на одиницю) смуг люмінесценції в області 300 нм, 320 нм і 550 нм ($h\nu_1$, $h\nu_2$, $h\nu_3$ -фотони), відповідно:

$$I_1 \approx n_1 = [Pb^{2+}]w_{11} + [V_K]w_{21} + [V_{KA}]w_{31} + [2V_K]w_{41}, \quad (11.1)$$

$$I_2 \approx n_2 = [Pb^{2+}]w_{12} + [V_K]w_{22} + [V_{KA}]w_{32} + [2V_K]w_{42}, \quad (11.2)$$

$$I_3 \approx n_3 = [Pb^{2+}]w_{13} + [V_K]w_{23} + [V_{KA}]w_{33} + [2V_K]w_{43} \quad (11.3)$$

де: n_1 , n_2 , n_3 – кількість фотонів (нормоване на одиницю) $h\nu_1$, $h\nu_2$, $h\nu_3$, відповідно, які виникають при випромінювальній релаксації (e^- , e^+)-пари у кристалі $BaCl_2-Pb$.

5. Вклад власної та активаторної люмінесценції в сумарне свічення кристалів $BaCl_2-Pb$. У моделі лінійного кристала розраховано вклад кожної з конфігурацій (рівняння (7.1-7.4) у сумарне свічення кристала. Розрахунки проведено за формулами (11.1-11.3). Для розрахунків використано значення ймовірностей, наведених у табл. 1.

Результати розрахунків наведено в табл. 2-8 і відображено на рис. 1-3.

Табл. 2. Випромінювальна релаксація (e^- , e^+)-пар у ділянці лінійного кристалу конфігурації ($Pb^{2+} \dots Pb^{2+}$)

n	$[Pb^{2+}]$	I_1	I_2	I_3
1	1,000	0,2385	0,3810	0,0635
2	0,6825	0,1628	0,2600	0,0433
3	0,5257	0,1254	0,2003	0,0334
4	0,4455	0,1063	0,1697	0,0289
5	0,4032	0,0962	0,1545	0,0256
6	0,3805	0,0907	0,1450	0,0242
7	0,3679	0,0877	0,1402	0,0234
8	0,3564	0,085	0,1358	0,0226
9	0,3538	0,0849	0,1348	0,0225

I_1 , I_2 , I_3 – відносні інтенсивності (нормовані на одиницю) у смугах люмінесценції 300 нм, 320 нм, 550 нм. $[Pb^{2+}]$ – концентрація конфігурацій типу ($Pb^{2+} \dots Pb^{2+}$). n=1, 2, 3 – кількість ізодоз радіації, поглинутих кристалом. Кристал $BaCl_2$ -0,2 мол. % $PbCl_2$. $I_1=[Pb^{2+}]w_{11}$, $I_2=[Pb^{2+}]w_{12}$, $I_3=[Pb^{2+}]w_{13}$

Табл. 3. Випромінювальна релаксація (e^-, e^+)-пари при її розпаді в конфігурації ($Pb^{+...}V_{KA}$)

n	$[V_{KA}]$	I_1	I_2	I_3
2	0,1270	0,0892	0,0378	0,0196
3	0,1798	0,1263	0,0535	0,0278
4	0,2000	0,1448	0,0595	0,0309
5	0,2067	0,1452	0,0615	0,0320
6	0,2078	0,1460	0,0618	0,0322
7	0,2072	0,1455	0,0617	0,0321
8	0,2061	0,1448	0,0613	0,0319
9	0,2053	0,1442	0,0611	0,0319

Позначення ті самі, що в табл. 2. $I_1=[V_{KA}] w_{21}$, $I_2=[V_{KA}] w_{22}$, $I_3=[V_{KA}] w_{23}$.

Табл. 4. Випромінювальна релаксація (e^-, e^+)-пари при її розпаді в ділянці лінійного кристала з концентрацією ($Pb^{+...}V_K...Pb^{2+}$)

n	$[V_K]$	I_1	I_2	I_3
2	0,1905	0,0971	0,0272	0,0203
3	0,2850	0,1452	0,0407	0,0303
4	0,3383	0,1724	0,0483	0,0360
5	0,3700	0,1885	0,0529	0,0393
6	0,3892	0,1985	0,0556	0,0414
7	0,4009	0,2043	0,0573	0,0426
8	0,4081	0,2079	0,0583	0,0434
9	0,4129	0,2104	0,0590	0,0439

$I_1=[V_K] w_{31}$, $I_2=[V_K] w_{32}$, $I_3=[V_K] w_{33}$.

Табл. 5. Випромінювальна релаксація (e^-, e^+)-пари в конфігурації ($Pb^{+...}V_K...V_K...Pb^{+}$)

n	$[2V_K]$	I_1	I_3
3	0,0095	0,0095	0,076
4	0,0162	0,0162	0,0130
5	0,0201	0,0201	0,0160
6	0,0225	0,0225	0,0180
7	0,0240	0,0240	0,0192
8	0,0249	0,0249	0,0199
9	0,0254	0,0254	0,0203

$I_1=[2V_K] w_{41}$, $I_3=[2V_K] w_{43}$

Табл. 6. Випромінювальна релаксація (e^-, e^+)-пари в забарвленому лінійному кристалі $BaCl_2-0,2$ мол. %

n	I_1	I_2	I_3
1	0,2385	0,3810	0,0635
2	0,3491	0,3250	0,0832
3	0,4069	0,2945	0,0991
4	0,4397	0,2775	0,1088
5	0,4500	0,2689	0,1129
6	0,4577	0,2624	0,1158
7	0,4615	0,2592	0,1173
8	0,4626	0,2554	0,1178
9	0,4674	0,2549	0,1186

% $PbCl_2$, що містить всі чотири типи конфігурацій точкових дефектів (рівняння 7.1-7.4). Значення I_1, I_2, I_3 розраховано за формулами 11.1-11.3

Табл. 7. Випромінювальна релаксація (e^-, e^+)-пари у забарвленому лінійному кристалі $BaCl_2-0,025$ мол. % $PbCl_2$.

n	I_1	I_2	I_3
1	0,5608	0,2196	0,157
2	0,6117	0,2002	0,354
3	0,6496	0,1853	0,510
4	0,6780	0,1739	0,640
5	0,6995	0,1649	0,741
6	0,7156	0,1580	0,804
7	0,7329	0,1525	0,877
9	0,7444	0,1450	0,962
11	0,7540	0,1404	1,007
13	0,7596	0,1376	1,037

Табл. 8. Залежність інтенсивності сумарної люмінесценції ($I=I_1+I_2+I_3$), нормованої на одиницю, від дози опромінення кристала $BaCl_2-Pb$

n	C, мол. %		
	0	0,0025	0,200
1	1,0000	0,7961	0,6830
2	1,0000	0,8324	0,7573
3	1,0000	0,8859	0,8005
4	1,0000	0,9159	0,8260
5	1,0000	0,9385	0,8318
6	1,0000	0,9540	0,8359
7	1,0000	0,9731	0,8380
9	1,0000	0,9856	0,8409
11	1,0000	0,9951	
13	1,0000	1,0000	

C – молярна концентрація $PbCl_2$ в кристалі; n=1, 2, 3... – кількість ізодоз радіації, поглинутої кристалом (величина однієї ізодози поглинутої кристалом $E=1,5E_g$ на одну конфігурацію пари структурних дефектів; E_g – ширина забороненої зони кристала.

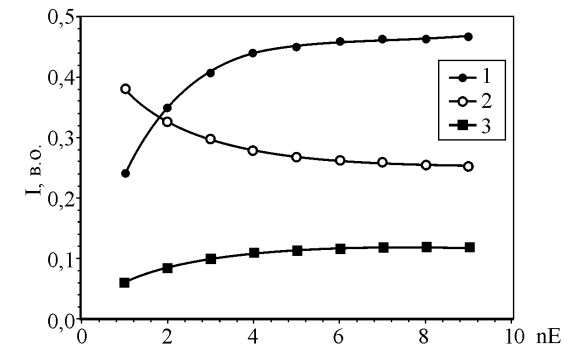


Рис. 1. Кінетика наростання (спад) інтенсивностей I_1, I_2, I_3 у смугах люмінесценції 300 нм (крива 1), 320 нм (крива 2) та 550 нм (крива 3): $I=1, 2, 3, \dots$; $E=1,5E_g$. Кристал $BaCl_2-0,2$ мол. % $PbCl_2$

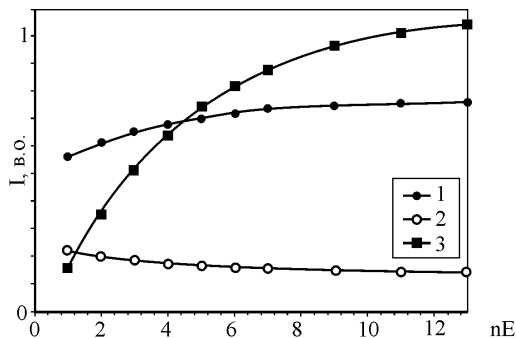


Рис. 2. Кінетика наростання (спаду) інтенсивностей I_1, I_2, I_3 в смугах люмінесценції 300 нм (крива 1), 320 нм (крива 2) та 550 нм (крива 3): $n=1, 2, 3, \dots$; $E=1,5 \text{ Eg}$. Кристал $\text{BaCl}_2\text{-}0,025 \text{ мол. \% PbCl}_2$

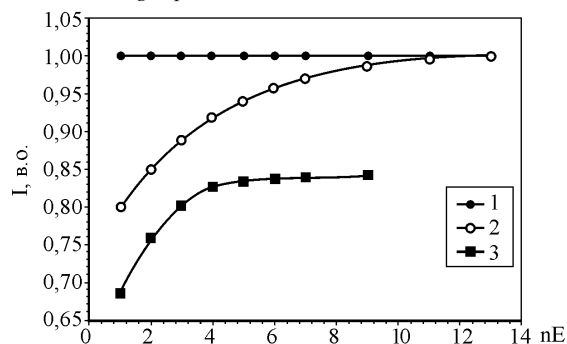


Рис. 3. Кінетика наростання сумарної люмінесценції ($I=I_1+I_2+I_3$) у кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$: 1-0 мол. % PbCl_2 , 2-0,025 мол. % PbCl_2 , 3-0,025 мол. % PbCl_2 .

Висновки:

1. За $T < 145 \text{ K}$ радіація генерує три типи центрів забарвлення: $(V_K)^+$, $(V_{KA})^+$, $(Pb^{2+})^-$ (рівняння 7.2-7.4). Утворені центри забарвлення мають надлишковий відносно ґратки кристала електричний заряд і виступають ефективними центрами рекомбінації. Наявність у кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ трьох типів центрів рекомбінації обумовлюють виникнення під дією іонізуючої радіації трьох смуг люмінесценції. При рекомбінації електронів з $(V_K)^+$ та $(V_{KA})^+$ -центрами виникають смуги люмінесценції в області 300 нм і 320 нм, відповідно, а рекомбінація мобільних дірок з $(Pb^{2+})^-$ -іонами обумовлює появу смуги свічення в області 550 нм (рівняння 1, 4, 5).
2. Забарвлений кристал $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ містить чотири типи структурних дефектів (рівняння 7.1-7.4). Іонізуюча радіація збуджує свічення в кожному з них. В процесі опромінення кристала відбувається тільки перерозподіл їх вкладу в сумарний вихід радіолюмінесценції. На початковій стадії опромінення кристала домінуючу роль відіграють іони свинцю (табл. 2). Із збільшенням дози опромінення концентрація $[Pb^{2+}]$ -іонів зменшується (табл. 2), відповідно концентрація $[V_K]$, $[V_{KA}]$, $[2V_K]$ – центрів зростає (табл. 3-5). На стадії насичення забарвлення випромінювальна релаксація (e^- , e^+)-пар відбувається в основному на центрах забарвлення (табл. 2-5).

3. Під дією іонізуючої радіації в кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ протікають два взаємно конкурентні процеси: процес генерації центрів забарвлення (безвипромінювальний процес, рівняння 7.2-7.4) і процес радіостимульованого їх руйнування (випромінювальний процес, рівняння 1, 4, 5). На стадії насичення забарвлення кристала настає динамічна рівновага між цими процесами і, відповідно, інтенсивність люмінесценції досягає стаціонарного значення (табл. 6, 7, рис. 1, 2).
4. За умови автолокалізації дірок в ґратці кристала ($T < 145 \text{ K}$ у кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$) концентрація автолокалізованих дірок вища за концентрацію дірок, локалізованих в околі Pb^{2+} -іонів ($[V_K] > [V_{KA}]$), табл. 3, 4), що й обумовлює домінуючу роль власної люмінесценції у спектрі випромінювання (табл. 3, 4, рис. 1, 2).
5. Повільне розгоряння радіолюмінесценції у кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ (рис. 3, криві 2, 3) обумовлене тим, що на початковій стадії опромінення кристала переважає процес утворення центрів забарвлення, який протікає безвипромінювально. В чистих кристалах BaCl_2 , які не забарвлюються, стаціонарного значення виходу радіолюмінесценції досягається миттєво (рис. 3, крива 1).
6. Процес виникнення активаторного свічення протікає двохстадійно. На першому етапі має місце захоплення носіїв заряду Pb^{2+} -іонами з утворенням активаторних центрів забарвлення ($(Pb^{2+})^-$ і $(V_{KA})^+$ -центрів). На другому етапі має місце радіостимульоване руйнування (висвітлення) центрів забарвлення (рівняння 4, 5). Реалізація обох етапів відбувається за умови, що створені радіацією носії електричного заряду є мобільними. Тому, коли за пониженої температури кристала діркові процеси "заморожуються" внаслідок їх автолокалізації, вихід активаторної люмінесценції зменшується. Це явище має назву низькотемпературного гасіння активаторної люмінесценції.

У табл. 9 наведено розраховані значення інтенсивності I_1 та I_2 у смугах люмінесценції 320 нм і 550 нм для температури $T > 145 \text{ K}$ (дірки мобільні) і $T < 145 \text{ K}$ (дірки автолокалізовані).

Табл. 9. Інтенсивність люмінесценції I_2 та I_3 у максимумах смуг люмінесценції 320 нм і 550 нм

C	T < 145 K		T > 145 K	
	I_2	I_3	I_2	I_3
0,2	0,2549	0,1186	0,3573	0,2599
0,025	0,1376	0,1037	0,2294	0,1987

C – молярна концентрація PbCl_2 у кристалі. T=145 K – температура автолокалізації дірок.

Як видно із даних, наведених у табл. 9, у досліджених кристалах $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ вихід активаторної люмінесценції з пониженням температури зменшується в 2-2,5 раза. У кристалах із вмістом активатора $C < 0,01 \text{ мол. \%}$ активаторна люмінесценція зменшується за величиною на порядок.

Література

1. Чорній З.П. Процес виникнення активаторного свічення протікає двохстадійно / З.П. Чорній, Х.К. Максимович, В.І. Вайданич // Вісник Львівського університету ім. Івана Франка. – Сер.: Фізична. – Львів: Вид-во Львів ун-ту ім. Івана Франка. – 1978. – Вип. 13. – С. 45-51.
2. Вайданич В.І. Забарвлений кристал $\text{BaCl}_2\text{-Pb}$ містить чотири типи структурних дефектів / В.І. Вайданич, Х.К. Максимович, З.П. Чорній // Вісник Львівського університету ім. Івана

Франка. – Сер.: Фізична. – Львів : Вид-во Львів ун-ту ім. Івана Франка. – 1971. – Вип. 6/14. – С. 20-26.

3. Chorniy Z.P. Crystals SrCl₂-K radiation sensitivity / Z.P. Chorniy, I.B. Pirko, V.M. Salapak // Functional materials. – 2011. – Vol. 18, № 2. – Pp. 206-210.

4. Чорний З.П. F_D-центри в кристалах флюоритів, легованих лужними металами / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.Р. Панасюк // Журнал фізичних досліджень : зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 1602-1-1602-8.

5. Чорний З.П. Центри забарвлення в кристалах CaF₂-Na і CaF₂-Li. I. Результати експериментальних досліджень / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Фізика і хімія твердого тіла : зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Т. 13, № 4. – С. 879-882.

Чорний З.П., Вайданич В.И., Пірко І.Б., Дячук Н.В., Салапак В.М.

Радиолюминесценция кристаллов BaCl₂-Pb при температуре T <145 K

В моделі лінійного кристалла досліджено механізм возбуждення собственої і активаторної люмінесценції в кристалах BaCl₂-Pb. Показано, що при температурах T < 145 K спектр радиолюмінесценції складається з трьох полос свечення з максимумами в області 300 нм (собственная люмінесценція), 320 нм і 550 нм (активаторное свечення). Рассчитана кинетика нарастания люмінесценції і її енергетический спектр. Исследован механизм возникновения радиолюмінесценції. Полосы люмінесценції при 300 нм і 320 нм возникают вследствие рекомбинации зонных електронів з V_K і V_{KA}-центрами соответственно. Полоса 550 нм обусловлена рекомбинацией мобильных дырок с (Pb⁺) ионами.

Ключевые слова: кристаллы, радиация, люминесценция, центры окраски.

Chornij Z.P., Vajdanitch V.I., Pirko I.B., Djachuk N.V., Salapak V.M. Radioluminescence BaCl₂-Pb Crystals at Temperatures T <145 K

In the linear model of the crystal the mechanism of excitation own and activator of luminescence in crystals BaCl₂-Pb is investigated. It is shown that at temperatures T < 145 K range radioluminescence consists of three bands of luminescence with maxima at 300 nm region (own luminescence), 320 nm and 550 nm (luminescence activator). The luminescence kinetics of growth and its energy spectrum are calculated. The mechanism of occurrence radioluminescence is studied. Luminescence bands at 300 nm and 320 nm result from the recombination of electrons with V_K band and V_{KA}-centers, respectively. Five hundred fifty nm band is due to recombination of mobile holes with (Pb⁺) ions.

Key words: crystals, radiation, luminescence, color centers.

УДК 539.1.074:621.319.5

Проф. В.Б. Дудикевич¹, д-р техн. наук;

проф. В.М. Максимович¹, д-р техн. наук;

асист. Ю.М. Костів¹, канд. техн. наук; ген. директор Р.Т. Сму²

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДОЗИМЕТРИЧНОГО ДЕТЕКТОРА З МЕРТВИМ ЧАСОМ НЕПРОДОВЖУВАЛЬНОГО ТА ПРОДОВЖУВАЛЬНОГО ТИПІВ

Розроблено модель дозиметричного детектора (ДД), що може працювати у двох режимах – з мертвим часом непродовжувального та продовжувального типів. В основі структурної схеми моделі є генератор псевдовипадкових чисел (ГПВЧ). Наведено статичні характеристики моделі для різних значень потужності експозиційної дози, чутливості детектора і тривалості мертвого часу. Представлено результати дослідження статистичних характеристик для випадку програмної реалізації ГПВЧ з допомогою стандартної функції середовища Delphi – random. Модель може бути використана на етапах

проекування і попередніх випробувань дозиметричних пристроїв, що мають у своєму складі детектори різних типів.

Ключові слова: дозиметричний детектор, генератор псевдовипадкових чисел, статистичні характеристики.

Постановка проблеми. Моделі дозиметричних детекторів (ДД) доцільно розглядати разом із моделлю джерела випромінювання (ДВ), повністю імітуючи таким чином вихідний сигнал детектора. Своєю чергою модель ДВ може бути відтворена за допомогою генератора пуассонівських імпульсних послідовностей (ГППП). Так само, як і моделі ДВ, моделі ДД можуть створюватись як програмними, так і апаратними.

У роботах [1, 2] запропоновано імітаційні моделі ДД з мертвим часом непродовжувального типу, досліджено їх характеристики.

Метою роботи є створення моделі ДД, що може працювати у двох режимах – з мертвим часом непродовжувального та продовжувального типу.

Виклад основного матеріалу. Структурну схему моделі ДД, що призначена як для програмної, так і для апаратної реалізації, наведено на рис. 1.

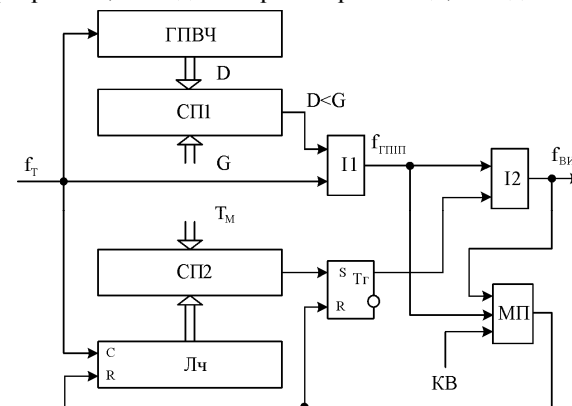


Рис. 1. Структурна схема моделі ДД

До її складу входять: генератор псевдовипадкових чисел ГПВЧ, лічильник Лч, схеми порівняння СП₁ і СП₂, тригер Тг, мультиплексор МП і логічні елементи множення І₁ і І₂.

Частина моделі, що складається з генератора ГПВЧ, схеми порівняння СП₁ і логічного елемента І₁, утворює ГППП, вихід якого є виходом логічного елемента І₁. З кожним вхідним імпульсом, частота повторення яких дорівнює f_m, на виході ГПВЧ формується чергове випадкове число D, значення якого знаходяться в межах 0 < D < 1. У випадку коли D < G, де 0 < G < 1, на виході СП₁ формується сигнал, який дає змогу черговому вхідному імпульсу пройти на вихід генератора.

Середня частота повторення вихідних імпульсів ГППП визначається виразом:

$$f_{\text{ср}} = G \cdot f_m \tag{1}$$

¹ НУ "Львівська політехніка";

² приватне підприємство "Науково-виробниче приватне підприємство "Спаринг – Віст Центр";