

DEFINITION OF THE ENERGY INTENSITY OF THE OPEN TYPE IRRADIATE INSTALLATION DEPENDING ON OPTICAL PARAMETERS IRRADIATED ENVIRONMENT

T. Knizhka, I. Nazarenko

Annotation. *Studied the energy intensity of the open type irradiate installations. Defined the optimum parameters of a coefficient of light transmission and thickness irradiated environment.*

Key words: *irradiation of water solutions, UV radiation, the energy efficiency of irradiation.*

УДК 535.37

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІРОФОСФАТІВ ЦИНКУ / МАНГАНУ

*В. В. Бойко, О. В. Гоменюк,
кандидати фізико-математичних наук
С. Г. Неділько, доктор фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Досліджено люмінесцентні властивості безводних подвійних фосфатів двовалентних металів цинку/мангану, $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Показано, що іони мангану, Mn^{2+} , у матриці дифосфату цинку формують три типи центрів випромінювання, де іон Mn^{2+} знаходиться в нормальному октаедричному оточенні; в октаедрах, що мають вакансії кисню, та в тетраедричному оточенні. З центрами першого типу пов'язується смуга червоного випромінювання з максимумом в околі 690–700 нм; центри другого типу зумовлюють довгохвильову смугу червоного випромінювання (максимум в околі 730 нм); смуга «зеленого» випромінювання (максимум в околі 450–470 нм) обумовлена центрами третього типу.*

Ключові слова: *центр люмінесценції, загасання, пастка, пірофосфат.*

Індивідуальні дифосфати цинку ($Zn_2P_2O_7$), мангану ($Mn_2P_2O_7$) та магнію ($Mg_2P_2O_7$) відомі своїми практичними застосуваннями. На їх основі виготовляють термостійкі пігменти, каталізатори, тверді електроліти, антикорозійні рідини і т. д. [1, 2]. Відомими є і їхні оптичні властивості [3, 4]. Дифосфати, які мають у своєму складі одночасно цинк і манган (магній), вміст яких можна контролювано змінювати, мають, порівняно з індивідуальними дифосфатами, інші, для певних цілей – поліпшені фізико-хімічні, а відповідно, й експлуатаційні характеристики. Очевидно, їх оптичні, зокрема люмінесцентні властивості, також мають відрізнятися від характеристик індивідуальних дифосфатів.

Важливим аспектом є те, що дифосфати цинку допускають введення до їх складу мангану у широкому діапазоні – аж до повної заміни ним іонів цинку. Крім того, сполуки $Zn_2P_2O_7$ та тверді розчини $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ можуть існувати не тільки у вигляді безводних сполук, а й у вигляді гідратів, причому з різним і, що дуже важливо, контрольованим вмістом молекул води, що можуть модифікувати оптичні властивості дифосфатів двовалентних металів.

Відомості щодо структури, хімічних і фізичних властивостей дифосфатів, у складі яких одночасно є два катіони, Zn і Mn (Mg), стосуються, в основному, безводних твердих розчинів дифосфатів або ж гідратованих подвійних солей на основі одно- і двовалентного металу [5 – 7]. Дані щодо гідратованих твердих розчинів дифосфатів, зокрема, цинку й мангану (магнію) у літературі відсутні.

Мета досліджень – визначення люмінесцентних властивостей безводних подвійних фосфатів двовалентних металів цинку/мангану $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Такі дослідження мають не тільки науковий інтерес з позиції фізики люмінесцентних процесів у таких матеріалах, але й дають інформацію щодо структури гідратів подвійних фосфатів цинку/мангану, що відомі своїми практичними застосуваннями. Тому такі дослідження є актуальними та перспективними.

Матеріали та методика досліджень. З'ясування умов синтезу концентраційної серії зазначених дифосфатів виконувалося із застосуванням методу остаточних концентрацій. Як вихідні реагенти використовувалися водні розчини сульфатів $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ та дифосфату $K_4P_2O_7$ марки “ч.д.а”. Як оптимальні було взято наступні співвідношення у складі реагентів: $P_2O_7^{4-}/(Zn^{2+} + Mn^{2+}) = 0,2$; $k = Zn/Mn$ змінювали в межах 5,67–0,8. Безводні кристали отримували шляхом нагрівання синтезованих пентагідратів до температур $T = 853$ К.

Люмінесценція досліджувалася при $T = 4,2, 77$ та 300 К. Зразки розміщувалися в гелієвому або азотному кріостатах, у рідкому гелії або азоті за температури зразків $4,2$ або 77 К, відповідно. Люмінесценцію збуджували випромінюванням лазера ИЛГИ-501 (довжина хвилі збудження $\lambda_{36} = 337,1$ нм) та випромінюванням ксенонової лампи ДКеЕл-1000 (область довжин хвиль збудження $300 - 650$ нм), яке розкладали в спектр за допомогою подвійного призмового монохроматора ДМР – 4. Спектрометр ДФС – 12 (обернена лінійна дисперсія $10 \text{ \AA}/\text{мм}$) використовували для реєстрації спектрів люмінесценції.

Спектри люмінесценції при збудженні в області вакуумного ультрафіолету та спектри, збуджені в цій області, вимірювалися на станції SUPERLUMI синхротрону DESY в м. Гамбург (Німеччина). Спектри люмінесценції записувалися в діапазоні довжин хвиль $275-950$ нм і спектри збудження люмінесценції – у діапазоні $50-334$ нм за температур від низьких (гелієвих) 10 К до 300 К.

Спектри рентгенолюмінесценції реєструвалися за одночасного опромінення неперервним рентгенівським джерелом приблизно впродовж

1200 с, за кімнатної температури та за температури рідкого азоту ($T = 300$ і 77 К, відповідно).

Результати досліджень. Люмінесцентні властивості кристалів дифосфатів двовалентних металів $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ вивчалися в широкій області довжин хвиль збудження, $\lambda_{зб} = 50 - 630$ нм, і за температур від $4,2$ до 300 К. У спектрах фотолюмінесценції (ФЛ) індивідуального дифосфату цинку, $Zn_2P_2O_7$, при $T = 300$ К спостерігається широка складна смуга синьо-рожевого випромінювання з максимумом обвідної в околі 475 нм (рис. 1, крива 1).

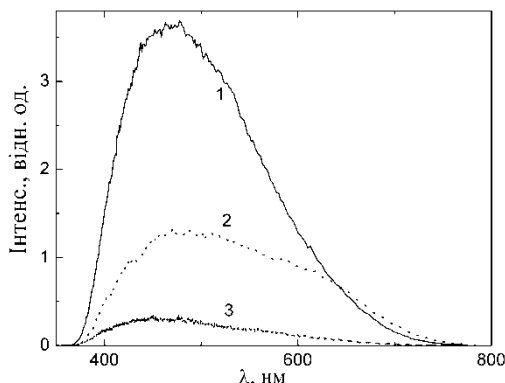


Рис. 1. Спектри ФЛ $Zn_2P_2O_7$ (1), $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (2), $Mn_2P_2O_7$ (3); $T = 300$ К, $\lambda_{зб} = 337,1$ нм

З появою мангану у складі сполуки інтенсивність ФЛ падає більше, ніж удвічі. При цьому зростає відносна інтенсивність довгохвильової сторони спектра ФЛ в області $500-600$ нм, а в діапазоні, $600-750$ нм, з'являється неявно виражений компонент спектра (рис. 1, крива 2). При подальшому збільшенні вмісту Mn ($x > 1$) інтенсивність довгохвильової частини спектра ФЛ падає і для сполуки $Mn_2P_2O_7$ спектр має максимум при $450-470$ нм (рис. 1, крива 3).

Пониження температури зразків від кімнатної до 77 К супроводжується помітним (~ 6 разів) спадом інтенсивності описаної короткохвильової ФЛ, однак, водночас, в довгохвильовій області випромінювання з'являється інтенсивна смуга червоного випромінювання з максимумом, λ_m , в околі 690 нм (рис. 2).

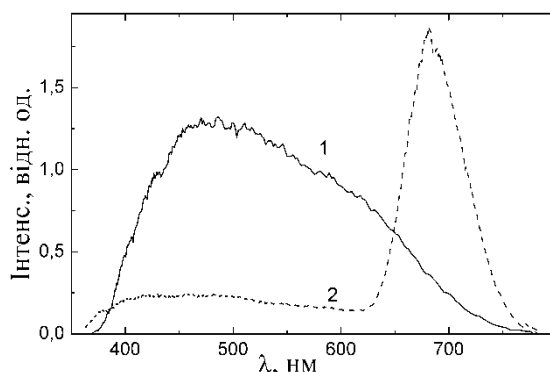


Рис. 2. Спектри ФЛ кристалів $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$; $T = 300$ (1) і 77 К (2), $\lambda_{зб} = 337,1$ нм

Смуга червоного випромінювання переважає в спектрах випромінювання фосфату $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ не тільки при фотозбудженні. У спектрах рентгенолюмінесценції (РЛ) за низьких температур інтенсивність червоної смуги переважає інтенсивність короткохвильової в ~ 100 разів, а за кімнатної температури ця смуга, як і при фотозбудженні, – відсутня (рис. 3). При збудженні жорстким, вакуумним ультрафіолетом вона домінує в спектрах люмінесценції в усьому діапазоні температур: 4,2 - 300 К (рис. 3).

Інтенсивність рентгенолюмінесценції $I(РЛ)$, від часу опромінення зразків рентгенівським випромінюванням порівняно не сильно залежить від типу сполуки, якщо зразки опромінюють при $T = 77$ К (рис. 4, криві 2, 3, 5), і достатньо сильно змінюється залежно від складу сполуки, якщо зразки опромінюють за кімнатної температури (рис. 4, криві 1, 4).

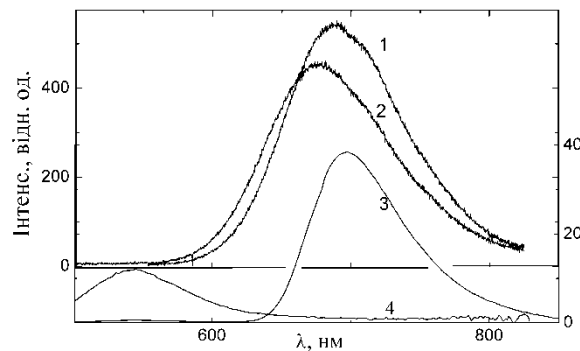


Рис. 3. Спектри люмінесценції при ВУФ збудженні (1, 2; $\lambda_{36} = 170$ нм) та спектри РЛ (3, 4) сполуки $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$; $T = 10$ (1) і 300 (2) та 77 (3) і 300 К (4)

За кімнатної температури дозова залежність $I(РЛ)$ є значно сильнішою у випадку індивідуального фосфату цинку (крива 1), ніж у випадку подвійного фосфату $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (рис. 4, крива 4).

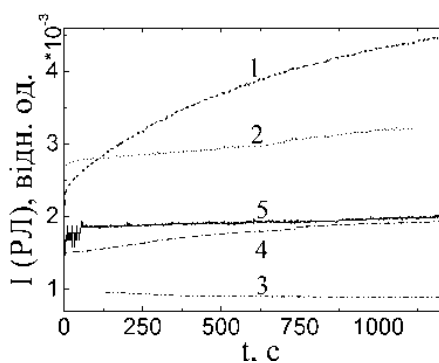


Рис. 4. Криві $I(РЛ)$ для сполук $Zn_2P_2O_7$ (1, 2), $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (3, 4) та $Mn_2P_2O_7$ (5), залежно від часу опромінення; $T = 300$ (1, 4) і 77 К (2, 3, 5)

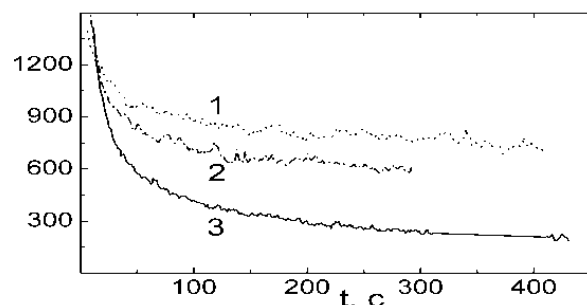


Рис. 5. Криві фосфоресценції сполук $Zn_2P_2O_7$ (1, 2), $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (3); $T = 300$ (1) і 77 К (2, 3)

Дані рис. 4 корелюють із даними щодо впливу температури на швидкість загасання фосфоресценції: з пониженням температури зразків

$Zn_2P_2O_7$ від кімнатної до 77 К загасання фосфоресценції відбувається швидше (рис. 5, криві 1, 2). Заміна атомів цинку на манган також призводить до більш швидкого загасання свічення (рис. 5).

Наведені дані свідчать, що пастки, відповідальні за запасання світлосуми, як у нелегованих, так і в легованих манганом сполуках, є відносно мілкими: пониження температури до 77 К уже сильно зменшує імовірність звільнення з них носіїв. Крім того, з цих даних випливає, що іони мангану створюють нові рівні захоплення, а також ефективно взаємодіють із пастками й частину електронів із заповнених пасток вивільняють на себе, перекриваючи тим самим канал їх переходу на центри власного випромінювання матриці.

Результати досліджень кривих термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) узгоджуються із наведеними вище даними щодо поведінки кривих запасання світлосуми, кривих загасання фосфоресценції, спектрами РЛ та спектрами свічення при збудженні вакуумним ультрафіолетом. Дійсно, якщо для індивідуального фосфату $Zn_2P_2O_7$ спостерігається два чітких піки при 140 та 184 К у низькотемпературній частині кривої ТСЛ і два невеликої інтенсивності піки в області високих температур при 265 і 295 К, то для твердого розчину $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ спектр пасток є подібним, але, значною мірою, неоднорідно розширеним: у спектрі ТСЛ спостерігається широка смуга, яка знаходиться в тому самому діапазоні температур 100–250 К, а тому її можна розглядати як утворену суперпозицією згаданих вище піків, але за умови їх енергетичної неоднорідності. Крім того, для подвійного фосфату додаються і деякі нові піки. Це, очевидно, як пік в області низьких, ~ 120 К, так і особливо піки за більш високих температур, зокрема в околі 160 та 210 К. У результаті, крива ТСЛ у цілому зміщується в область більш високих температур (рис. 6).

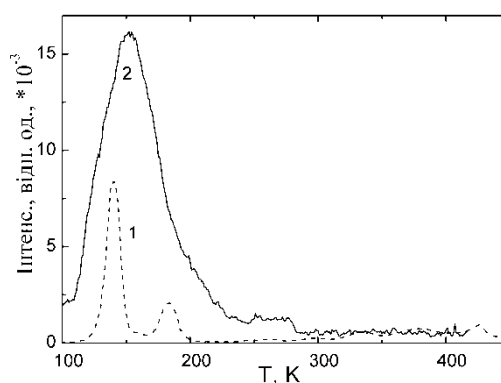


Рис. 6. Криві ТСЛ сполук $Zn_2P_2O_7$ (1) та $Zn_{1,04}Mn_{0,96}P_2O_7$ (2)

Для ТСЛ монофосфату цинку можна провести елементарні оцінки глибини рівнів захоплення, яким відповідають піки ТСЛ при 140 та 184 К.

Аналіз форми цих піків свідчить, що вони є більш протяжними з боку низьких температур, що, як відомо, є ознакою так званої лінійної кінетики ТСЛ (імовірність повторного захоплення електронів на пастки багато менша від імовірності їх рекомбінації на центрах свічення). З урахуванням цієї обставини, глибину пастки E_t можна оцінити за відомою елементарною формулою [8]:

$$E_t = \frac{2T_m^2}{\delta},$$

де T_m – положення максимуму,
 δ – напівширина піка кривої ТСЛ.

Одержані за цією формулою значення становлять ~ 2100 і 2500 см^{-1} , відповідно для піків при $T = 140$ і 184 К . Як відомо, наведена вище формула для E_t дає значення, завищені на 20–40 %, порівняно із реальними, а отже, і дійсні величини E_t слід оцінювати значеннями 1500–1750 та 1780–2080 см^{-1} .

Таким чином, обидва типи сполук, без мангану та з манганом, мають подібну систему дефектів (пасток). Ця система, очевидно, є доволі складною, що зумовлює різний відгук сполуки певного складу на збудження різного типу. Так, енергія близького ультрафіолету (наприклад, 337,1 нм), у сполуках із манганом за низьких температур ефективніше потрапляє до центрів червоного свічення, ніж до центрів власного свічення, і тому в спектрах ФЛ за низьких температур спостерігається тільки червона смуга, тоді як за температур порядку кімнатної її інтенсивність дуже незначна (див. рис. 1 та рис. 2).

При високоенергетичному ВУФ збудженні, яке, очевидно, викликає міжзонні переходи, у спектрах легованих сполук, незалежно від температури зразків, в основному, виявляють довгохвильову червону смугу випромінювання, а свічення матриці – відсутнє. Очевидно, за умови низьких температур, як при «низькоенергетичному» УФ збудженні, коли вільні носії зарядів не утворюються, так і при ВУФ збудженні енергія збудження від матриці ефективно передається до домішкових іонів мангану, («пряме» збудження центрів червоної люмінесценції також, можливо, має місце). Із цього випливає, що при УФ та ВУФ збудженнях в люмінесцентних процесах беруть участь дефекти, які безпосередньо взаємодіють із центрами червоної люмінесценції.

Це, однак, мають бути дефекти різного типу, які відрізняються положенням енергетичних рівнів. Ті з них, що формують глибокі рівні, є більш ефективними при ВУФ збудженні, а дефекти з мілкими рівнями актуальні при УФ збудженні. За наявності мангану, за низьких температур енергія збудження від дефектів передається переважно на центри люмінесценції, пов'язані саме з іонами мангану, і тільки за підвищення температури до кімнатної енергія збудження дефектної матриці передається і до центрів власного свічення. Розташування рівнів дефектів на різній глибині зумовлює різну температурну поведінку червоної люмінесценції залежно від типу збудження: «високоенергетичне» ВУФ чи «низькоенергетичне» УФ збудження. У результаті, при УФ збудженні червона люмінесценція швидко загасає з підвищенням температури, при ВУФ збудженні – загасання є повільним.

Описані вище зміни кривих ТСЛ, (рис. 6), показали, що, у результаті легування фосфату цинку іонами мангану, генеруються пастки з більш глибокими рівнями. При рентгенівському збудженні, утворені вільні носії зарядів, очевидно, більш ефективно захоплюються пастками, безпосередньо зв'язаними з іонами мангану, ніж із центрами власного свічення,

унаслідок чого, за низьких температур інтенсивність червоної люмінесценції значно переважає інтенсивність власного свічення. Глибина цих пасток, як показали наведені вище результати розрахунків, є якраз такою, що може забезпечувати за кімнатної температури сильне загасання червоної РЛ і посилення власної РЛ (рис. 3).

Введення іонів мангану до складу дифосфату цинку призводить до змін, очевидно, не тільки в ансамблі дефектів кристалічної решітки. Наведені дані свідчать, що на основі іонів мангану формуються нові, домішкові, центри люмінесценції, з якими слід асоціювати смуги випромінювання в діапазоні 450 – 650 нм, (див. рис. 1, 2), та смугу червоного випромінювання з максимумом в околі 700 нм (див. рис. 2, 3). Дійсно, є загальновідомим, що «зелене» свічення в діапазоні 400–600 нм у сполуках, які містять домішковий манган, або манган, що входить до їх складу, можуть спричиняти двозарядні іони Mn^{2+} у кисневому оточенні, близькому до тетраедричного, а іони Mn^{2+} , які знаходяться в октаедричному кисневому оточенні, характеризуються червоною люмінесценцією в діапазоні 600–800 нм [1–6]. У складних матрицях, до складу яких входять комплексні оксидні молекулярні аніони, інколи одночасно виявляють центри обох типів. Наведені вище дані свідчать про можливість реалізації такої ситуації і для досліджених нами фосфатів.

Можливість одночасного формування на основі іонів мангану центрів різного типу – в октаедричному та тетраедричному оточенні, впливає з даних щодо структури дифосфатів цинку та мангану. Вважається, що в $Zn_2P_2O_7$ координаційне число для цинку дорівнює 5 або 6 [9]. Подібну невизначеність можна розглядати як наслідок існування в матриці дифосфату цинку полієдрів, що містять іони цинку, переважно з кількістю атомів кисню: 4 та 6. Така можливість, на наш погляд, зумовлена вже вихідною будовою решітки кристала $Zn_2P_2O_7$, в якій існує два нееквівалентних атоми цинку і, якщо один із них має здатність легше, ніж інший, втрачати два атоми кисню, то в решітці будуть існувати кисневі полієдри переважно двох типів. Не виключено, що певною мірою в структурі решітки представлено і полієдри з п'ятьма атомами кисню, які можна розглядати як дефектні октаедри.

Якщо іони мангану в оточенні чотирьох атомів кисню є центрами «зеленої» люмінесценції, то характеристики свічення тих, що знаходяться в середині полієдрів із п'яти киснів, можуть бути близькими до характеристик октаедричних центрів. Аналіз червоної люмінесценції підтверджує, що спостережене нами червоне випромінювання дійсно є складним.

По-перше, про це свідчить різна температурна поведінка червоного випромінювання залежно від типу збудження: УФ, ВУФ або ж рентгенівське. По-друге, смуги цього випромінювання при різного типу збудження хоча і мають дуже близькі положення максимумів, однак форма смуг помітно відрізняється. Так, при ВУФ збудженні, контур смуги (крива 1 на рис. 3) описується однією широкою ($\delta = 1770 \text{ см}^{-1}$) гаусової форми кривою з $\nu_M = 14370 \text{ см}^{-1}$ ($\lambda_M = 696 \text{ нм}$); УФ збудження призводить до асиметричної кривої (крива 2 на рис. 2) в якій домінує значно вузький ($\delta = 1120 \text{ см}^{-1}$)

компонент гаусової форми з $\nu_M = 14580 \text{ cm}^{-1}$ ($\sim 686 \text{ nm}$), із доданком ще одного довгохвильового контуру: $\nu_M = 13700 \text{ cm}^{-1}$ ($\lambda_M = 730 \text{ nm}$); $\delta = 640 \text{ cm}^{-1}$). У спектрі при рентгенівському збудженні (крива 3 на рис. 3) також маємо суму двох гаусових контурів із максимумами при 14425 cm^{-1} (693 nm) та 13690 cm^{-1} (730 nm) і напівширинами 990 та 1490 cm^{-1} . Розклад згаданих спектрів на складові показано на рис. 7.

Формування поліедрів з кількістю атомів кисню менше, ніж 6, означає існування в решітці кристалів певної кількості кисневих вакансій, які можуть бути ядрами центрів власної люмінесценції дифосфатів. З наведених даних зрозуміло, що співвідношення кількості дефектів та домішкових центрів випромінювання, зумовлених манганом, має впливати на люмінесцентні характеристики досліджених сполук. Важливим є і сам тип дефекту, від якого може залежати конкурентоспроможність каналів передачі енергії збудження: до центрів власного свічення (загасання), чи то до центрів домішкової люмінесценції.

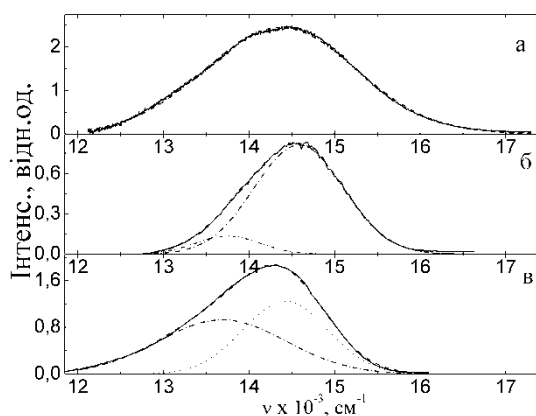


Рис. 7. Розклад спектрів люмінесценції на гаусові складові:

- а) при УФ збудженні: спектр 2 з рис. 2; б) при ВУФ збудженні: спектр 1 з рис. 3; в) при рентгенівському збудженні: спектр 3 з рис. 3

Висновки

Наведені результати дають змогу стверджувати, що домішкові іони мангану, Mn^{2+} , у матриці дифосфату цинку формують три типи центрів випромінювання: Mn^{2+} в октаедричному оточенні, таких центрів має бути переважна більшість; іони Mn^{2+} з дефектами у вигляді вакансій кисню в їх октаедричному оточенні та іони Mn^{2+} у тетраедричному оточенні. З центрами першого типу пов'язується смуга червоного випромінювання з максимумом в околі $690\text{--}700 \text{ nm}$, яка переважає в усіх наведених спектрах; центри другого типу зумовлюють довгохвильову смугу червоного випромінювання (максимум в околі 730 nm); смугу «зеленого» випромінювання слід зіставляти з центрами третього типу. Дефекти іншого типу, ніж кисневі вакансії у першій координаційній сфері іонів мангану та віддалені дефекти, очевидно, спричинюють неоднорідне розширення смуг червоного випромінювання.

Одним із чинників, які можуть впливати на характеристики процесів люмінесценції, безумовно, є молекули води, атоми яких можуть входити до найближчого оточення двовалентного металу решітки. Тому в частині

2 цієї роботи буде розглянуто основні прояви впливу води на люмінесцентні властивості сполук $Zn_{2x}Mn_xP_2O_7$.

Список літератури

1. Arthur L. Smith. Luminescence of three forms of Zinc Orthophosphate: Mn // J. of the Electrochemical Society. – 1951. – V. 98, № 9. – P. 363–368.
2. B. Han, R. Y. Korotkov, B. W. Wessels, M. P. Ulmer Optical properties of Mn^{4+} ions in GaN:Mn codoped with Mg acceptors // Applied Physics Letters. – 2004. – V. 84, Is. 26. – P. 5320–5322.
3. Muuga I. A., Lushchik N. E. The sensitized luminescence of the $Ca_3(PO_4)_2$ - Ga, Mn and $Ca_3(PO_4)_2$ -In, Mn // Research on the luminescence / Proceedings of the Institute of Physics and Astronomy, Academy of Sciences of the Estonian SSR / Tartu. – 1962. – V. 21. – P. 51. (in Russian).
4. J. Lakshmana Rao, B. Deva Prasad Raju, N. O. Gopul, K. V. Narasimhulu. Electron paramagnetic resonance and optical absorption studies on Mn^{2+} ions doped in $KZnClSO_4 \cdot 3H_2O$ single crystals // Physica B. – 2005. – V. 355. – P. 207–215.
5. A. Patra, Gary A. Baker, Sheila N. Baker. Effects of dopand concentration and annealing temperature on the phosphorence from $Zn_2SiO_4:Mn^{2+}$ nanocrystals // Journal of Luminescence. – 2005. – V. 111. – P. 105–111.
6. Fuhai Su, Baoshan Ma, Kun Ding [et al.]. Luminescence temperature and pressure studies of Zn_2SiO_4 phosphors doped with Mn^{2+} and Eu^{3+} ions // Journal of Luminescence. – 2006. – V. 116. – P. 117–126.
7. Crispin Calvo. The crystal structure and phase transitions of β - $Zn_2P_2O_7$ / Crispin Calvo // Canad. J. of Chem. – 1965. – V. 43. – P. 1147–1153.
8. Kaminskiy A. A. The laser crystals. – Moscow : Nauka, 1975. – 268 p.
9. Constant Z. A. Divalent metal phosphates. – Riga : Zinatne, 1987. – 371 p.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПИРОФОСФАТОВ ЦИНКА / МАРГАНЦА

В. В. Бойко, О. В. Гоменюк, С. Г. Недилько

Аннотация. *Исследованы люминесцентные свойства безводных двойных фосфатов двухвалентных металлов цинка / марганца, $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$). Показано, что ионы марганца, Mn^{2+} , в матрице дифосфата цинка формируют три типа центров излучения, где ион Mn^{2+} находится в нормальном октаэдрическом окружении; в октаэдрах, имеющих вакансии кислорода, и в тетраэдрическом окружении. С центрами первого типа связывается полоса красного излучения с максимумом в окрестности 690–700 нм; центры второго типа обуславливают длинноволновую полосу красного излучения (максимум в окрестности 730 нм), полоса «зеленого» излучения (максимум в окрестности 450–470 нм) обусловлена центрами третьего типа.*

Ключевые слова: *центр люминесценции, затухание, ловушка, пирофосфат.*

THE LUMINESCENCE PROPERTIES Zn/Mn PYROPHOSPHATE

V. Boyko, O. Gomenyuk, S. Nedilko

Annotation. *Luminescence properties of two valence metals anhydrous double phosphates $Zn_{2-x}Mn_xP_2O_7$ ($x = 0 \div 2$) have been investigated. It was shown that Mn^{2+} ions form three types of the emission centers where Mn^{2+} ion can be located, first in the regular octahedral oxygen environment, second, in defect octahedra that has oxygen vacancy, and third, – in the tetrahedral oxygen environment. Red emission with peak position near 690–700 nm is accompanied with the first type of luminescence centers; second type of the centers determines other red luminescence (peak position is near 730 nm) and third type of the centers originates “green” emission (peak position is about 450–470 nm).*

Key words: *luminescence centre, decay, trap, pyrophosphate.*

УДК 621.314.55(088.8)

ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ТРАНСФОРМАТОР ІЗ ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ СТРУМУ ЗВАРЮВАННЯ

*М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
І. С. Зубков, студент магістратури
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Наведено конструкцію зварювального трансформатора, запропоновано спосіб плавного регулювання струму зварювання, виконано розрахунки параметрів магнітопроводу для регулювання струму зварювання.*

Ключові слова: *зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання, первинна обмотка, вторинна обмотка.*

Зварювальні трансформатори, які широко використовують у виробництві, мають серйозні недоліки щодо регулювання величини струму зварювання. Традиційно таке регулювання здійснюється механічними механізмами, за допомогою яких змінюють величину проміжку у магнітопроводі або між його обмотками. Механічні механізми ненадійні та потребують більш ретельного технічного обслуговування (регулювання, змащення). До того ж, електрична суть регулювання величини струму зварювання полягає у збільшенні (максимальний струм) чи зменшенні (мінімальний струм) магнітного потоку розсіювання, тобто втратами електроенергії. Магнітні поля розсіювання, замикаючись через металеві частини транс-