

С. С. Новосад¹, І. С. Новосад¹, М. М. Рудка², Б.М. Калівощка¹,
В.Є. Гончарук², І.М. Кравчук², С.Б. Харамбура²

Люмінесцентні та електрофізичні властивості кристалів бромистого кадмію

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська, 1,
Львів, 79000, Україна, novosadss@rambler.ru

²Національний університет "Львівська Політехніка", вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

У роботі узагальнено результати комплексного дослідження спектрально-люмінесцентних і електрофізичних характеристик кристалів бромистого кадмію, вирощених методом Стокбаргера-Бріджмена. Показано, що спектральний склад низькотемпературної люмінесценції кристалів CdBr_2 при оптичному, лазерному і рентгенівському збудженні формується одними і тими ж центрами свічення. Природа власної люмінесценції з максимумом при 560 нм пов'язується з автолокалізованими екситонами. Випромінювання в смузі 490 нм інтерпретується як анігіляція гетероядерних аніонних екситонів $(\text{BrI}^{2-})^*$, локалізованих на неконтрольованій домішці йоду. Свічення в області 630-650 нм спричинене аніонними екситонами, локалізованими на вакансіях бромів. Розглядаються особливості електронних збуджень, випромінювального і безвипромінювального розпаду екситонів. Обговорюються механізми перенесення заряду, природа центрів рекомбінації та захоплення.

Ключові слова: бромистий кадмій, люмінесценція, фотопровідність, центри свічення, центри захоплення.

Стаття постуила до редакції 10.09.2010; прийнята до друку 15.06.2011.

Вступ

Оптико-люмінесцентні та електрофізичні властивості кристалів бромистого кадмію досліджувались в ряді робіт (див. напр. [1 - 14]). Механізми збудження люмінесценції та перенесення заряду, природа центрів рекомбінації і захоплення в цьому шаруватому кристалофосфорі ще однозначно не встановлені та інтерпретуються по-різному. У зв'язку з цим у даній роботі узагальнено отримані раніше [3, 6] та нові результати комплексного дослідження спектрально-люмінесцентних та електрофізичних характеристик неактивованих кристалів бромистого кадмію.

І. Експериментальна частина

Кристали CdBr_2 були вирощені методом Стокбаргера-Бріджмена зі солі кваліфікації "чда", додатково очищеної комплексним методом [2]. Для дослідження оптико-люмінесцентних властивостей зразки у вигляді пластин розміром $\sim 15 \times 15 \times 1 \text{ мм}^3$ вирізали з кристалічного злитка і сколювали вздовж шарів тонким лезом бритви. Вимірювання спектрів поглинання проводили на спектрофотометрі "Specord

М-40". У випадку дослідження спектрів фотолюмінесценції (ФЛ) в якості джерела оптичного збудження використовували азотний лазер ЛГІ-21 та ксенонову лампу ДКсЭл-1000. Дослідження проводили в металічних кріостатах в умовах вакууму $\sim 10^{-4}$ Торр. Світло від ксенонової лампи скеровували паралельно до головної кристалографічної вісі С кристала. Спектри люмінесценції досліджували з допомогою монохроматора СФ-4А з фотоелектронним помножувачем ФЭУ-51, сигнал з якого підсилювався підсилювачем постійного струму і подавався на двохкоординатний реєструючий пристрій ПДА-1. Для рентгенівського збудження кристалів використовували апарат УРС-55А (трубка БСВ2-Сu, $U = 45 \text{ кВ}$, $I = 12 \text{ мА}$). Опромінення кристалів рентгенівськими квантами здійснювали через берилієве вікно кріостата. У випадку дослідження спектрів люмінесценції випромінювання проходило крізь зразок. При дослідженні кривих термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) інтегральне свічення реєстрували зі сторони падаючого на кристал збуджуючого випромінювання. Нагрівання зразків здійснювали зі швидкістю $\sim 0,15 \text{ К/с}$. Температуру зразків контролювали диференціальною мідь-константовою термопарою, розміщеною на

кристалотримачі поблизу зразка. Термо-е.р.с. термопари вимірювали з допомогою вольтметра В7-21А.

Для вивчення електрофізичних властивостей CdBr_2 дослідні зразки виготовляли розміром порядку $10 \times 6 \times 1 \text{ мм}^3$. У випадку вимірювання фотопровідності (ФП) до кристала з омичними контактами прикладали електричне поле напруженістю $E = 400 \text{ В/см}$ від блоку анодних батарей або джерела живлення УИП-1. Спектри ФП реєстрували при постійному числі квантів збуджуючого світла для різних довжин хвиль в області 240 - 550 нм, що досягалось шляхом зміни ширини щілини монохроматора ДМР-4. Струми провідності та термоактиваційні струми в діапазоні $10^{-11} - 10^{-12} \text{ А}$ реєстрували з допомогою електрометричного вольтметра ВК2-16 з еталонним опором $R_c = 10^{12} \text{ Ом}$ і записували потенціометром КСП-4. Криві термостимульованого струму (ТСС) досліджували на зразках з контактами, нанесеними у двох основних орієнтаціях. Напрямок вектора напруженості зовнішнього електричного поля був паралельний та перпендикулярний щодо головної кристалографічної вісі C . При цьому зразки опромінювали світлом з області власного поглинання ($\lambda = 235 \text{ нм}$) при температурі 80 К протягом 20 хв. Після виключення опромінення і витримки CdBr_2 в темноті протягом 5 хв до зразка прикладали зовнішнє електричне поле та включали лінійне нагрівання.

II. Результати та їх обговорення

Зразки отриманого кристала CdBr_2 при температурі 80 К характеризуються краєм поглинання біля 255 нм і слабкою смугою 273 нм, поглинання якої слабо змінюється при нагріванні кристала і при температурах вище 180 К вона попадає в ділянку власного поглинання. При 295 К край фундаментального поглинання бромистого кадмію знаходиться в області 280 - 285 нм.

Раніше [6] показано, що у разі збудження CdBr_2 з області власного поглинання світлом з довжиною хвилі 260 нм при температурі 80 К, крім відносно слабкого випромінювання з максимумом 385 нм, спостерігається інтенсивна ФЛ в широкому спектральному діапазоні з максимумом близько 550 нм. При нагріванні кристала від 80 до 295 К випромінювання в короткохвильовій смузі сильно гаситься і при температурах вище 140 К практично не спостерігається. Люмінесценція з максимумом при 550 нм також зазнає температурного гасіння в декілька стадій і в інтервалі температур вище 180 К характеризується незначною інтенсивністю. Збудження зразка CdBr_2 при 295 К світлом з області краю фундаментального поглинання (280 нм) зумовлює слабку люмінесценцію в широкому спектральному діапазоні з максимумом при 510 нм.

Спектр ФЛ у випадку збудження CdBr_2 випромінюванням азотного лазера при 85 К характеризується інтенсивною неелементарною смугою з максимумом в області 567 нм і слабкою смугою 385 нм (рис. 1а). Враховуючи дані праць

[3,9], цей спектр розкладено на гаусові компоненти. При цьому виявлено індивідуальні смуги з максимумами близько 385, 490, 560, 635 та 730 нм. Слід зазначити, що спектр низькотемпературного випромінювання CdBr_2 у випадку двофотонного збудження випромінюванням азотного лазера суттєво залежить від умов вирощування кристалів і наявності в них неконтрольованої домішки йоду [15].

У разі рентгенівського збудження неактивовані кристали бромистого кадмію при 85 К характеризуються швидким розгоранням і загасанням стаціонарної люмінесценції та незначним запасанням світлосуми. При цій температурі спектр випромінювання нагадує спектр ФЛ [6] і представлений слабкою смугою з максимумом близько 395 нм та інтенсивною широкою неелементарною смугою 555 нм (рис. 1б). Цей спектр також апроксимується індивідуальними смугами 385, 490, 560, 635 та 730 нм.

З ростом температури від 85 до 275 К рентгенолюмінесценція (РЛ) CdBr_2 в області 555 нм зазнає сильного температурного гасіння в декілька стадій і при вищих температурах слабо проявляється

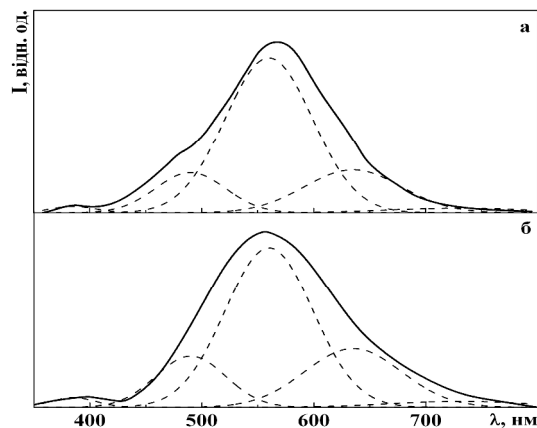


Рис. 1. Спектри ФЛ (а) та РЛ (б) кристала CdBr_2 при 85 К. Штриховими лініями показана апроксимація гаусовими контурами спектрів люмінесценції.

(рис. 2,а, крива 1). При кімнатній температурі кристал характеризується малим виходом РЛ з максимумом близько 635 нм. На кривій ТСЛ CdBr_2 після рентгенівського опромінення зразка, крім домінуючого піка при 171 К, спостерігаються малоінтенсивні піки при 110, 133 і 154 К та слабкі піки при вищих температурах (рис. 2а, крива 2). Для порівняння на рис. 2,б показано криві ТСЛ бромистого кадмію, отримані після оптичного збудження при 80 К. З цього рисунка (крива 1) видно, що у разі збудження зразка світлом з довжиною хвилі 262 нм кристал запасав відносно малу світлосуму і на кривій ТСЛ спостерігаються максимуми при 99, 124, 159, 209, 236 К та сходинка в області 255 К, причому основна світлосума локалізована в ділянці піка 209 К. При збудженні кристала світлом з довжиною хвилі 275 нм крива ТСЛ характеризується основним піком 156 К та піками проміжної інтенсивності в областях 105, 117, 130 і 170 К і слабкими максимумами в

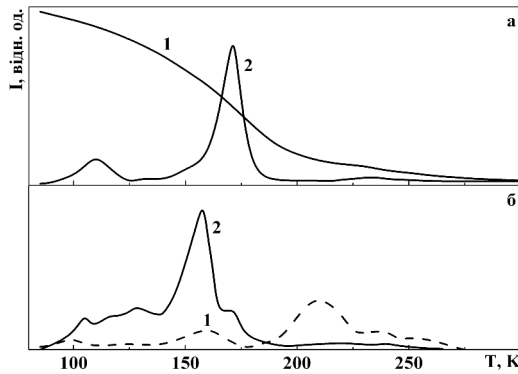


Рис. 2. а - Температурний хід смуги РЛ 555 нм (1) та крива ТСЛ (2) кристала CdBr_2 , збудженого рентгенівськими променями при 85 К; б - Криві ТСЛ кристала CdBr_2 , опроміненого при 80 К світлом з довжинами хвилі 262 (1) та 275 нм (2).

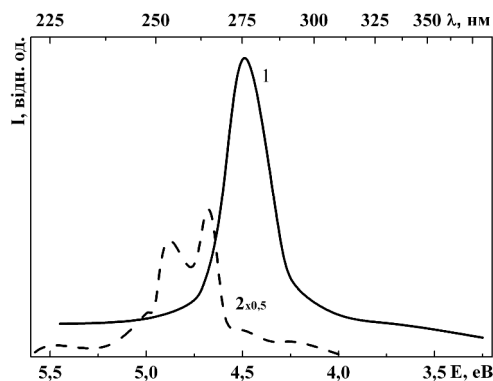


Рис. 3. Спектри ФП кристала CdBr_2 при 295 (1) та 80 К (2).

інтервалі температур 200-250 К (рис. 2б, крива 2).

Результати дослідження ФП кристала CdBr_2 при 295 К у випадку освітлення базової поверхні зразка, коли зовнішнє електричне поле напрямлене перпендикулярно до кристалографічної вісі С, подано на рис. 3. З рисунка (крива 1) видно, що спектр ФП представлений практично одним інтенсивним широким неелементарним максимумом 278 нм в прикраєвій області, який відповідає переходу від поверхневого до об'ємного збудження зразка. ФП в CdBr_2 при 80 К значно послаблена. При цій температурі спектр ФП містить домінуючий максимум 268 нм в прикраєвій області, менш інтенсивний максимум при 254 нм, слабкі максимуми 228 і 246 нм в області власного поглинання та малоінтенсивні нечіткі максимуми біля 278 і 292 нм у спектральній області, що прилягає до власного поглинання з низькоенергетичної сторони (рис. 3, крива 2).

Виявлено [6], що після збудження CdBr_2 при 80 К в області власного поглинання в температурному інтервалі 80 - 195 К, де проявляються піки ТСЛ (рис. 2,б), практично не реєструються максимуми ТСС, а проявляються при вищих температурах. Так крива ТСС у випадку нанесення контактів на протилежні базові поверхні досліджуваного зразка, що забезпечує паралельний напрям вектора напруженості зовнішнього електричного поля до

головної кристалографічної вісі С, в області температур 195 - 270 К представлена слабким максимумом близько 208 К та інтенсивним максимумом при 232 К.

Якщо зовнішнє електричне поле напрямлене перпендикулярно до вісі С, то крива ТСС в цьому температурному інтервалі характеризується основним максимумом близько 208 К, максимумом меншої інтенсивності при 232 К та темновою провідністю, яка різко зростає при нагріванні зразка від 250 до 310 К.

Наведені експериментальні результати, а також аналіз даних праць [3, 6, 8], свідчать про те, що спектральний склад низькотемпературної люмінесценції досліджених кристалів CdBr_2 при оптичному, лазерному і рентгенівському збудженнях формується одними і тими ж центрами свічення. Випромінювання бромистого кадмію з максимумом 380 - 390 нм в [3] приписується синглетним автолокалізованим екситонам (АЛЕ). Люмінесценція кристала в довгохвильовій смузі зумовлена в основному трьома центрами різної природи, що відповідають за свічення в індивідуальних смугах з максимумами близько 490, 560 і 635 нм. У процесі нагрівання кристала від 85 до 295 К зміна спектрального складу люмінесценції зумовлена перерозподілом інтенсивності між цими елементарними смугами. Природа люмінесценції CdBr_2 з максимумом в області 550 - 565 нм в роботі [3] пов'язувалась з триплетними АЛЕ. На користь цього висновку свідчить той факт, що дане свічення ефективно збуджується в області власного поглинання і характерне для неактивованих кристалів [2, 6]. Сильне температурне гасіння люмінесценції АЛЕ може бути зумовлене як іонними процесами, так і звільненням дірок з центрів свічення та їх безвипромінювальною рекомбінацією на більш глибоких електронних центрах [2, 8].

Присутність домішки йоду в бромистому кадмії спричинює появу діркових центрів рекомбінації та діркових пасток в забороненій зоні [3]. З неконтрольованою домішкою йоду пов'язується випромінювання з максимумом при 490 нм та смуга поглинання 273 нм, що спостерігається при низьких температурах в області довгохвильового краю власного поглинання CdBr_2 [3, 10, 12, 15]. Легування кристала домішкою йоду призводить до значного зростання поглинання в ділянці 273 нм [15 - 17]. При цьому люмінесценція сильно легуваних кристалів $\text{CdBr}_2\text{:I}$ незалежно від області збудження характеризується максимумом при 490 нм. Смуга збудження 273 нм і випромінювання з максимумом 490 нм кристала інтерпретуються як збудження і анігіляція аніонних екситонів, локалізованих на домішкових іонах йоду [3, 10, 12, 15 - 18].

В [19, 20] зроблено припущення, що смуга 630 - 650 нм, яка спостерігається в спектрах люмінесценції "чистих" кристалів бромистого кадмію, може бути зумовлена α -центрами. Тобто свічення в цій смузі виникає в результаті випромінювальної релаксації аніонних екситонів біля вакансії бромі. При цьому основним механізмом релаксації є механізм, коли

дірки, звільнені з мілких пасток, рекомбінують з електронами, локалізованими на глибоких рівнях [18]. При високих температурах (вище 250 К) люмінесценція бромистого кадмію в смузі 630 - 650 нм, можливо, зумовлена комплексними центрами, утвореними міжвузловинними атомами кадмію, вакансіями галюїду [19].

З отриманих результатів досліджень ФП бромистого кадмію випливає, що пониження температури від 295 до 80 К супроводжується значним зменшенням фотоструму і зсувом основного максимуму 278 нм в область 268 нм синхронно зі зміщенням краю фундаментального поглинання [2]. При низькій температурі, крім цього максимуму, який відповідає переходу від поверхневого до об'ємного збудження зразків, проявляється максимум 254 нм, пов'язаний з прямими зона-зонними переходами фотогенерованих електронів [2]. Слабкі максимуми ФП 228 і 246 нм в області сильного власного поглинання, можливо, зумовлені поверхневими дефектами. Малоінтенсивні максимуми біля 278 і 292 нм можна відповідно пов'язати з неконтрольованою домішкою йоду [15] і міжвузловинними атомами кадмію [19].

Порівняння кривих ТСЛ зразків CdBr_2 при різних видах збудження показує, що положення піків в основному зберігається, змінюється лише співвідношення їх інтенсивностей. Тобто під впливом різних видів збуджень утворюються однакові дефекти, але залежно від характеру збудження змінюється лише їх відносна концентрація. Відносна інтенсивність піків ТСЛ визначається спектральною залежністю швидкості генерації вільних носіїв, часом їх життя та ефективністю заповнення дірками центрів, на яких йде випромінювальна рекомбінація [2].

При низькій температурі у разі зона-зонного збудження в області 250 - 263 нм генеровані вільні електрони захоплюються на пастках і рекомбінують з фотодірками на центрах рекомбінації, що зумовлюють власне свічення з максимумом при 560 нм. При такому збудженні центри рекомбінації, відповідальні за свічення при 490 нм, заповнюються дірками відносно слабо. У випадку оптичного збудження в області поглинання 270 - 280 нм, пов'язаної з домішкою йоду, ефективно збуджується люмінесценція гетероядерних екситонів $(\text{BrI}^2)^*$ в смузі 490 нм. З підвищенням температури в результаті зростання імовірності розпаду гетероядерних екситонів з переходом носіїв в валентну зону та зону провідності, спостерігається гасіння свічення в смузі 490 нм і зростання ФП [10]. При температурі 80-90 К в результаті слабого безвипромінювального розпаду екситонів [21 - 23] ефективно генеруються гетероядерні центри Н-типу BrI , відповідальні за пік ТСЛ при 156 К, та центри F-типу, що зумовлюють фотоіндуковану чутливість кристалів бромистого кадмію в області 750-1800 нм [2]. При цьому основна частина електронів і дірок швидко рекомбінують в генетичних парах, не встигаючи внести свій вклад у ФП. Збільшення енергії оптичного збудження приводить до більшого

розлітання компонентів пари і зменшення імовірності генетичних рекомбінацій. А це в свою чергу призводить до збільшення часу життя носіїв в зонах і відповідно до зростання ФП.

Накопичення F-H-пар в матеріалі CdBr_2 , можливо, як і в KCl:I [24], реалізується в результаті одночасного протікання механізму потенціального зміщення і дисоціативного механізму. Термостимульована тунельна рекомбінація таких діркових і електронних центрів призводить до появи випромінювання в області 490 нм.

На основі отриманих результатів дослідження ТСЛ кристалів бромистого кадмію і даних праць [3, 18, 19] можна вважати, що пік ТСЛ при 171-173 К, який ефективно проявляється на кривих ТСЛ після рентгенівського збудження зразків, зумовлений делокалізацією гетероядерних центрів Vк-типу BrI [21, 22] та їх рекомбінацією з центрами F-типу [20]. Природа піка ТСЛ в області 154 - 156 К може бути пов'язана з H-центрами [22]. Відносно слабкий прояв цього піка на кривих ТСЛ кристалів бромистого кадмію після рентгенівського збудження зумовлений малою ефективністю створення френкелівських дефектів рекомбінаційним механізмом [22]. Пік з максимумом в області 108 - 114 К може бути зумовлений пастками в приповерхневих розпорядкованих шарах кристала, збагачених неконтрольованою домішкою кисню [3].

З даних дослідження ТСС випливає, що шарувата структура зумовлює анізотропію електричних властивостей CdBr_2 . Виявлена особливість кривої ТСС при реєстрації струму через об'єм досліджуваного зразка може бути викликана тим, що крім струму, зумовленого нерівноважними носіями, які звільняються з центрів захоплення, куди вони потрапили в процесі зона-зонного опромінення кристалів при низьких температурах, реєструються також струми термостимульованої деполіризації електричного стану, зумовленого ефектом Дембера [3, 25, 26].

У випадку реєстрації струму перпендикулярно до напрямку головної кристалографічної вісі С на кривій ТСС бромистого кадмію в основному проявляються піки, зумовлені носіями, які звільняються з центрів захоплення на приповерхневій частині зразка, і також відносно інтенсивно реєструється іонна провідність, оскільки при температурах близьких до кімнатної рухливість носіїв, насамперед вакансій та міжвузловинних іонів, в напрямі вздовж площини шарів приблизно у сотні разів перевищує рухливість в перпендикулярному до шарів напрямі [2].

Виявлена антикореляція між величиною ТСС і інтенсивністю ТСЛ CdBr_2 в інтервалі температур 80-195 К може бути викликана значним захопленням основних носіїв на центрах рекомбінації та термостимульованою тунельною випромінювальною рекомбінацією в генетичних парах дефектів [23, 27] при низьких температурах. Кореляція між ТСЛ і ТСС в інтервалі температур 195 - 270 К вказує на рекомбінаційну природу ТСЛ з перенесенням заряду через зону провідності.

Висновки

На основі аналізу розглянутих результатів досліджень встановлено, що спектральний склад низькотемпературної люмінесценції кристалів CdBr_2 при оптичному, лазерному і рентгенівському збудженнях в основному формується одними і тими ж центрами свічення. Природа власної люмінесценції з максимумом при 560 нм пов'язується з АЛЕ. Випромінювання в смузі 490 нм інтерпретується як анігіляція гетероядерних аніонних екситонів $(\text{BrI}^{2-})^*$, локалізованих на неконтрольованій домішці йоду. Свічення в області 630 - 650 нм спричинене аніонними екситонами, локалізованими на вакансіях бромів. Основний вклад в низькотемпературну люмінесценцію вносять електрони, які швидко рекомбінують в генетичних парах з дірками, локалізованими на центрах свічення. Відносна інтенсивність піків ТСЛ визначається спектральною залежністю швидкості генерації вільних носіїв, часом їх життя та ефективністю утворення діркових центрів, на яких відбувається випромінювальна рекомбінація. Антикореляція між величиною ТСС та

інтенсивністю ТСЛ CdBr_2 в інтервалі температур 80-195 К може бути зумовлена значним захопленням основних носіїв на центрах рекомбінації та термостимульованою тунельною випромінювальною рекомбінацією в генетичних парах дефектів при низьких температурах. Кореляція між ТСЛ і ТСС в інтервалі температур 195 - 270 К у випадку збудження CdBr_2 в області власного поглинання вказує на рекомбінаційну природу ТСЛ з перенесенням заряду через зону провідності.

Новосад С.С. – к.ф.-м.н., провідний науковий співробітник кафедри загальної фізики;

Новосад І.С. – к.ф.-м.н., інженер I категорії кафедри загальної фізики;

Рудка М.М. – к.ф.-м.н., доцент кафедри фізики;

Калівошка Б.М. – майстер виробничого навчання кафедри фізичної і біомедичної електроніки;

Гончарук В.Є. – к.ф.-м.н., доцент кафедри техногенно-екологічної безпеки;

Кравчук І.М. – к.ф.-м.н., доцент кафедри фізики;

Харамбура С.Б. – к.ф.-м.н., доцент кафедри фізики.

- [1] H. Nakagawa, K. Hayashi, H. Matsumoto. Relaxed excitonic states in cadmium halide crystals (I). CdBr_2 and CdBr_2I // *Memoris Facult. Eng. Fukui Univ.*, **26**(1), pp. 29-47 (1978).
- [2] *Широкозонные слоистые кристаллы и их физические свойства* / Под ред. А. Б. Лысковича, “Вища школа”, изд-во при Львов. ун-те, Львов. 148 с. (1982).
- [3] С.С. Новосад. Спектральні характеристики кристалів бромистого кадмію // *УФЖ*, **46**(1), сс. 56-61 (2001).
- [4] М.Р. Панасюк. Люминесценция CdBr_2 при низких температурах // *Физическая электроника. Респ. межвед. научно-техн. сборник*, 26, сс. 79-82 (1983).
- [5] В.Д. Бондарь, А.Б. Лыскович, И.В. Маркевич, М.К. Шейнкман. Ударное возбуждение центров свечения при безызлучательной оже-рекомбинации носителей заряда в кристаллах бромистого кадмия // *ФТТ*, **35**(7), сс. 1847-1851 (1993)
- [6] M. Rudka, S. Charambura, V. Antonyuk et al. Luminescent properties of CdBr_2 // *J. Phys. Study*, **4**(3), pp. 303-305 (2000).
- [7] З.А. Хапко, А.С. Волошиновский, М.С. Пидзырайло, П.А. Родный. Рентгенолюминесценция галоидов кадмия // *Оптика и спектроскопия*, **74**(1), сс. 146-149 (1993).
- [8] В.Д. Бондарь, А.Б. Лыскович, С.Б. Харамбура. Центры медленной рекомбинации в кристаллах бромистого кадмия // *УФЖ*, **28**(3), сс. 427-429 (1983).
- [9] S. Kawabata, H. Nakagawa. Life-time resolved emission spectra in CdBr_2 crystals // *J. Lumin.*, **112**(1-4), pp. 58-61 (2005).
- [10] А.Б. Лыскович, О.Б. Кушнир. Исследование оптических и фотоэлектрических свойств кристаллов галоидных соединений кадмия // *В сб. Материалов XXI совещания по люминесценции (кристаллофосфоры)*. 9-12 октября, Ставрополь, СССР, с. 149 (1973).
- [11] О.Б. Кушнир, А.Б. Лыскович, Б.А. Симкив. Термостимулированные токи в бромистом кадмии // *УФЖ*, **20**(7), сс. 1204-1207 (1975).
- [12] О.Б. Кушнир. Фотопроводність активованих кристалів бромистого кадмію // *УФЖ*, **18**(10), сс. 1729-1731 (1973).
- [13] В.Д. Бондар, В.Д. Тимошук. Іонна провідність та перенесення зарядів в кристалах бромистого кадмію // *Вісник Львів. унів. Сер. фіз.*, 13, сс. 36-39 (1978).
- [14] А.Б. Лыскович, О.Б. Кушнир, А.В. Гальчинский, Ю.Я. Рушак. Фоточувствительные уровни прилипания в кристаллах бромистого кадмия // *УФЖ*, **30**(6), сс. 848-850 (1985).
- [15] А.Б. Лыскович, С.К. Жеребецкий, З.Р. Чорный, Г.М. Пенцак. Спектры поглощения кристаллов галоидных соединений кадмия // *УФЖ*, **15**(4), сс. 606-612 (1970).
- [16] С.С. Новосад, Б.М. Костюк. Вплив домішки йоду на спектральні характеристики фотохромного матеріалу $\text{CdBr}_2:\text{Ag}$ // *УФЖ*, **43**(7), сс. 871-875 (1998).
- [17] S.S. Novosad, I.S. Novosad. Influence of iodine impurity on photochemical and emission processes in $\text{CdBr}_2:\text{Cu}$ crystals // *Functional Materials*, **11**(2), pp. 258-263 (2004).

- [18] С.С. Новосад, І.С. Новосад, А.В. Бородчук. Влияние примеси иода на люминесцентные свойства фотохромного материала $\text{CdBr}_2:\text{Cu}$ // *Неорганические материалы*, **41**(2), сс. 187-190 (2005).
- [19] S.S. Novosad. $\text{CdBr}_2:\text{Cd}$ crystal spectral characteristics // *Functional Materials*, **7**(1), pp. 56-61 (2000).
- [20] И.А. Парфианович, Э.Э. Пензина. *Электронные центры окраски в ионных кристаллах*. Восточно-Сибирское книжное изд-во, Иркутск. 208 с. (1977).
- [21] Э.Д. Алукер, Д.Ю. Лусис, С.А. Чернов. *Электронные возбуждения и радиолуминесценция щелочно-галлоидных кристаллов*. Зинатне, Рига. 252 с. (1979).
- [22] Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик. *Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах*. Наука, М. 264 с. (1989).
- [23] А.Ч. Лущик, Ч.Б. Лущик. Безызлучательный распад электронных возбуждений в люминесцирующих твердых телах // *Изв. Рос. АН. Сер. физ.*, **56**(2), сс. 88-95 (1992).
- [24] С.А. Чернов, В.В. Гаврилов, С.С. Эцин. Эффективность накопления и кинетика аннигиляции F-H-пар в чистых и активированных иодом кристаллах KCl // *ФТТ*, **25**(6), сс. 1712-1715 (1982).
- [25] В.М. Kostyuk, А.В. Lyskovich, І.М. Matviishyn, S.S. Novosad. Thermo- and X-rays stimulated electrical processes in CdI_2 crystals // *Functional Materials*, **7**(2), pp. 220-223 (2000).
- [26] В.Л. Малевич. Монте-Карло моделирование эффекта Дембера в n-InAs при фемтосекундном лазерном возбуждении // *ФТП*, **40**(2), сс. 160-165 (2006).
- Я.Р. Боганс, И.Ф. Лейнерте-Нейланде, А.А. Гайлитис. Тушение туннельной люминесценции при оптической стимуляции // *В сб. Материалов XXI совещания по люминесценции (кристаллофосфоры)*. 9-12 октября, Ставрополь, СССР, с. 107 (1973).

S.S. Novosad¹, I.S. Novosad¹, M.M. Rudka², V.M. Kalivoshka¹,
V.E. Goncharuk², I.M. Kravchuk², and S.B. Kharambura²

Luminescent and Electro-Physical Properties of Cadmium Bromide Crystals

¹Ivan Franko National University of Lviv,

1, Universytetska Str., Lviv, 79000, Ukraine, tel. (0322) 394-679, e-mail: novosadss@rambler.ru

²Lviv Polytechnic National University, 12, St. Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine

The results of comprehensive study of spectral-luminescent and electro-physical characteristics of cadmium bromide crystals grown by Stockbarger-Bridgman technique have been generalized in the paper. It was shown, that at optical, laser and X-ray excitations the spectral distribution of low-temperature luminescence of CdBr_2 crystals is created by the identical emission centers. The nature of intrinsic luminescence with maximum at 560 nm is connected with self-localized excitons. The emission in the 490 nm band is interpreted as annihilation of heteronuclear anion excitons (Br^{2-})* localized on uncontrolled iodine impurity. The luminescence in the 630-650 nm regions was caused by anion excitons localized on bromine vacancies. The features of electron excitations, the radiation and non-radiation excitons decay are described. The mechanisms of charge transfer, the nature of recombination and capture centers are discussed.