

Т.А. ПРОКОФ'ЄВ, О.В. ІВАНЧЕНКО

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
(Просп. Гагаріна, 72, Дніпро 49010; e-mail: tichonprok@yahoo.de)

## ВПЛИВ ГАЛЬМУВАННЯ ДИСЛОКАЦІЙ У ПРОЦЕСІ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЮ ІОНІВ $Mn^{2+}$ В МОНОКРИСТАЛАХ ZnS

УДК 535.37; 548.0

*У роботі досліджено експериментальні спектри фотолюмінесценції іонів  $Mn^{2+}$  у зразках монокристалів ZnS для різних значень пластичної деформації. Виявлено особливості у спектрах фотолюмінесценції у зразках, що руйнуються при малих деформаціях. У результаті розкладання спектрів на індивідуальні складові одержано індивідуальні смуги, які зумовлені випромінюванням іонами  $Mn^{2+}$  з різним локальним оточенням у монокристалах ZnS при різних значеннях пластичної деформації. Розраховано зміни відносної кількості випромінюючих іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS при зміні величини пластичної деформації для кожної з одержаних індивідуальних смуг. У результаті розкладання виділено нову індивідуальну смугу з максимумом випромінювання при  $\lambda_{max} \approx 588$  нм, а також запропоновано пояснення механізму її виникнення при переміщенні, гальмуванні і зупинці часткових дислокацій у процесі пластичної деформації. Ключові слова: фотолюмінесценція, іони  $Mn^{2+}$ , монокристали ZnS, пластична деформація, розкладання спектрів на індивідуальні складові.*

### 1. Вступ

Відомо, що пластична деформація (ПД) призводить до переорієнтації кристалічної структури монокристалів ZnS з домішкою іонів  $Mn^{2+}$  з мікродвійникової і політипів в однеорієнтовану кубічну структуру сфалериту [1–6]. Даний процес помітно впливає на випромінювальні властивості даних монокристалів. При ПД відбувається зміна квантово-механічної взаємодії іонів  $Mn^{2+}$  з кристалічною решіткою монокристалів ZnS. Рух дислокацій може змінювати найближче оточення марганцевих центрів (МЦ), що приводить до суттєвих змін умов збудження їх випромінювання як у бік поліпшення, так і у бік погіршення [7, 8]. У більшості випадків відбувається невеликий сплеск інтенсивності випромінювання на початковій стадії ПД, коли

дислокації зсуваються зі своїх ростових позицій, долають дію позитивного заряду компенсуючого поля рідовського циліндра і зустрічаються з дією негативно заряджених складових домішкових атмосфер Коттрелла [7–9]. Далі, у міру розвитку процесів ПД відбувається зменшення інтенсивності індивідуальних смуг з різною швидкістю безпосередньо до фізичного руйнування деформованих монокристалів [8]. У результаті цього інтенсивність загального експериментального спектра знижується зі зміщенням максимуму у довгохвильову область спектра на 5–7 нм.

Оскільки до деформації далеко не для всіх іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS умови збудження були сприятливі для виникнення фотолюмінесценції (ФЛ) (кількість люмінесцентних іонів  $Mn^{2+}$  у даних кристалах не перевищує 1–2% від загальної кількості всіх МЦ [10]), то зміна цих умов у процесі ПД змінює кількісне співвідношення між випро-

© Т.А. ПРОКОФ'ЄВ, О.В. ІВАНЧЕНКО, 2022

мінюючими і не випромінюючими МЦ. При цьому відбуваються і зміни співвідношень між випромінюючими МЦ з різними типами локальної симетрії. Також, в результаті наявності неконтрольованої дефектної структури, рух дислокацій здатен приводити до утворення нових типів локальної симетрії для МЦ в деформованих кристалах ZnS.

Слід також врахувати той факт, що сам процес ПД досить складно прогнозувати експериментально. Неможливість отримання навіть двох абсолютно однакових зразків з однаковою дефектною структурою, практично завжди призводить до того, що одне і теж деформуюче зусилля викликає абсолютно різні значення ПД для різних зразків.

Всі ці зміни і особливості знаходять відображення у змінах спектрів ФЛ досліджуваних монокристалів за формою, положенням максимуму і інтенсивності [7–10]. Їх детальне з'ясування і було метою цієї роботи.

## 2. Зразки і методика експерименту

Було досліджено монокристали ZnS з домішкою іонів  $Mn^{2+}$ , які вирощені з розплаву при  $T = 2073$  К під тиском аргону близько 150 атм., за методом Бріджмена–Стокбаргера.

За даними рентгеноструктурного аналізу монокристали мали кубічну структуру Td симетрії і містили велику кількість різноманітних дефектів [11], що призводило до утворення мікродвійникової структури. Було виявлено наявність блоків, що являли собою області монокристала, розорієнтовані один від одного на  $2-3^\circ$  та були роз'єднані дислокаційними стінками. За даними емісійного спектрального аналізу, у “чистих” монокристалах ZnS були виявлені домішки Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Cu у концентраціях, що не перевищують  $10^{-5}$  г MnS/г ZnS (г/г). Всі досліджувані зразки були отримані шляхом сколу по площині спайності, тобто паралельно осі (111)C, від більших блоків монокристалів з подальшою механічною обробкою, шліфівкою та поліровкою.

Відполіровані зразки, які підлягали деформації, спочатку мали розміри  $18 \times 1,8 \times 3,6$  мм. Деформуюча напруга прикладалася під кутом  $45^\circ$  до площини ковзання (111)C. ПД було проведено при  $T = 423$  К зі швидкістю  $\approx 5 \cdot 10^{-8}$  м/с. Спектри ФЛ реєстрували після кожного етапу деформування зразків.

Експериментальні спектри ФЛ іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS являють собою сумарне випромінювання декількох індивідуальних смуг люмінесценції, що перекриваються між собою. Кожна з цих смуг пов'язана з випромінюванням МЦ з певною локальною симетрією. Тип локальної симетрії, яку пов'язують з кожною смугою МЦ, кількість смуг і положення їх максимумів описано в роботах [10, 12–15]. Згідно з цими даними, індивідуальну смугу ФЛ з максимумом  $\lambda_{max} = 557$  нм пов'язують з випромінюванням іонів  $Mn^{2+}$ , які розташовані в дефектах упаковки з локальною симетрією  $C_{3v}$  (вузли типу AS і PN) та у полі з кубічною локальною симетрією Td (вузли типу AN) [10, 12]. Індивідуальну смугу з  $\lambda_{max} = 578$  нм – з випромінюванням МЦ, що знаходяться поблизу дислокацій і точкових дефектів [12–14]. Випромінювання смуги з  $\lambda_{max} = 600$  нм зіставляється з випромінюванням МЦ, що знаходяться у кубічному локальному оточенні, в октаедричних меживузлях [12, 13, 15]. Індивідуальна смуга з  $\lambda_{max} = 635$  нм, за даними роботи [15], пов'язана з випромінюванням вкрапленої фази  $\alpha$ -MnS в ZnS.

Виходячи з цього, для того щоб простежити за процесами, що відбуваються при ПД і їх впливом на ФЛ іонів  $Mn^{2+}$  з різним локальним оточенням у монокристалах ZnS, а також зв'язати виявлені зміни у спектрах ФЛ зі змінами кристалічної ґратки монокристалів ZnS, необхідно провести розкладання експериментальних спектрів ФЛ на індивідуальні складові та простежити за їх змінами при різних умовах збудження. У даній роботі було використано метод розкладання на індивідуальні складові, який також був застосований в [8, 16] при аналізі таких же монокристалів. Це дозволяло виділяти індивідуальні смуги при їх відомій кількості і положеннях максимумів. Також, було практично застосовано метод аналізу спектрів люмінесценції, що дозволило виділити раніше невідомі (без будь-якої апріорної інформації про положення максимумів, напівширини і кількість індивідуальних смуг), слабо виражені або сильноперекриті сусідніми індивідуальні смуги, які описані в роботі [17].

## 3. Результати

До початку пластичної деформації відмінностей між спектрами ФЛ різних зразків практично не

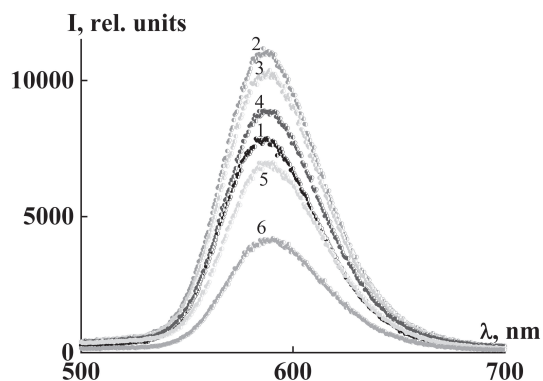


Рис. 1. Експериментальні спектри ФЛ іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS при ступені ПД  $\varepsilon = 0$  (1), 1,4 (2), 4,22 (3), 8,8 (4), 17,96 (5) і 25% (6)

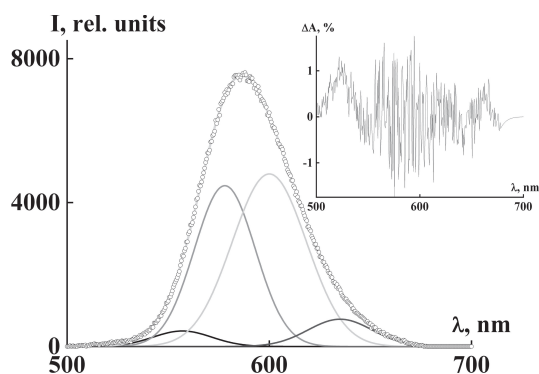


Рис. 2. Розкладання спектра ФЛ монокристалів ZnS:Mn на індивідуальні смуги з  $\lambda_{max} = 557, 578, 600$  та  $635$  нм;  $C_{Mn} = 10^{-2}$  г/г,  $\lambda_{exit} = 408$  нм,  $\varepsilon = 0\%$ ; точки – експериментальний загальний спектр ФЛ; лінії – розрахункові функції інтенсивностей індивідуальних смуг ФЛ і їх сума; на вставці – функція відхилення огинаючої розкладання ( $\Delta A$  [8]) від експериментальних спектрів

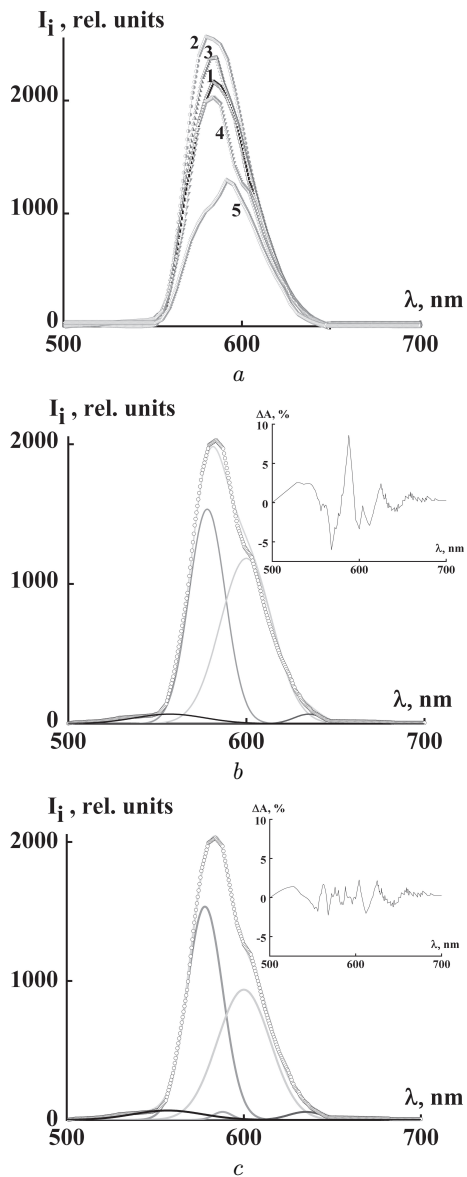
було. Низька швидкість прикладення деформуючого зусилля і дослідним шляхом підібрані геометричні розміри деформованих зразків у більшості випадків (у наших дослідженнях приблизно в 90%) дозволяли отримувати досить високі значення ПД –  $\varepsilon$  до їх фізичного руйнування. Значення  $\varepsilon$  досягали величини 25–27% [8]. Отримані у цих дослідженнях спектри було успішно розкладено на чотири індивідуальні смуги, які описано вище, з використанням способу [8, 16]. Дані результати дозволили побудувати цілком адекватні моделі випромінюючих МЦ для кожної індивідуальної смуги у процесі ПД (рис. 1, рис. 2).

Було відзначено, що приблизно в 10% досліджених випадків зразки руйнувалися при досить

невеликих значеннях  $\varepsilon \approx 5-7\%$ . В їх спектрах ФЛ (рис. 3, а) виникали особливості, що не можна пояснити тільки неякісною підготовкою, обробкою зразків, або неточністю проведення експериментів. Найбільш чітко ці особливості було виявлено у зразках з довжиною хвилі збудження  $\lambda_{exit} = 396$  нм і концентрацією марганцю  $C_{Mn} = 10^{-2}$  г/г при температурі рідкого азоту  $T = 77$  К. Спроби розкласти дані спектри на чотири відомі індивідуальні смуги не дозволили отримати достатньо адекватні кількісні моделі випромінювання МЦ у монокристалах ZnS, оскільки розкид відхилень суми індивідуальних смуг від значень експериментального спектра в інтервалі довжин хвиль [8], який пов'язаний з випромінюванням іонів  $Mn^{2+}$ , становив близько 10%, (рис. 3, б).

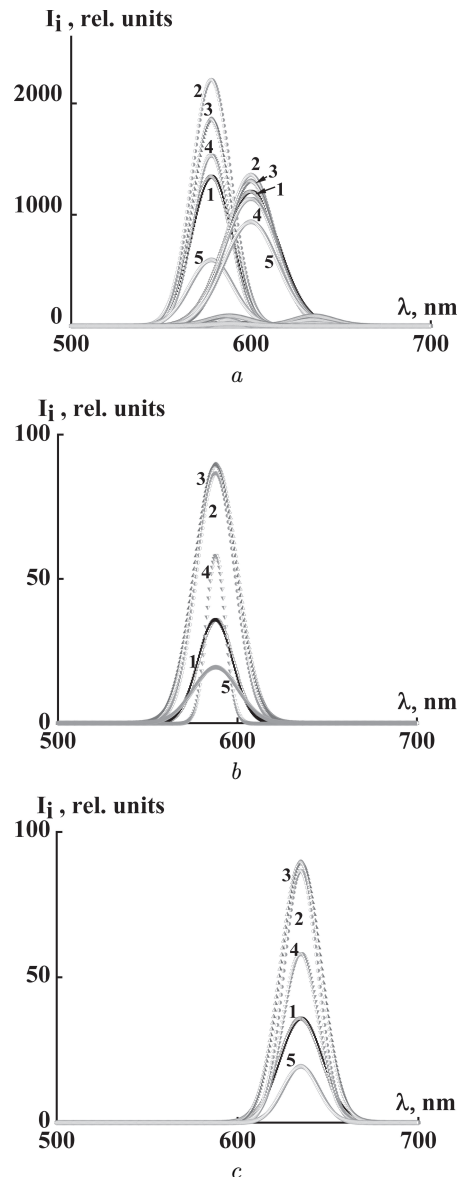
З урахуванням того, що в інших 90% досліджених випадків, використаний спосіб давав цілком прийнятні результати, було припущено, що дана помилка викликана впливом на точність виділення з експериментального спектра відомих чотирьох індивідуальних смуг інших причин. Однією з причин є можливість виникнення у процесі ПД 10% атипових випадків ще однієї індивідуальної смуги з невідомим положенням максимуму, яка слабо виявляється і сильно перекривається сусідніми. Для її виділення був використаний метод аналізу, що представлений у роботі [17]. У результаті були визначені координати максимуму невідомої раніше смуги –  $\lambda_{max} \approx 588$  нм і проведено подальше розкладання атипових спектрів ФЛ на п'ять індивідуальних смуг з використанням способу, який представлений в [8, 16]. Отримані після цього результати дозволили побудувати модель, яка відображає зміни випромінювання індивідуальних смуг пов'язаних з випромінюванням МЦ з різною локальною симетрією у монокристалах ZnS у процесі ПД. Розкид значень помилки в інтервалі довжин хвиль, в якому реєструвалося випромінювання іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS, не перевищував 1,8–2% (рис. 3, в). Зміни розрахованих індивідуальних смуг показано на рис. 4.

Треба відзначити, що максимум в області 588 нм чітко виявлявся у графіку функції помилки  $\Delta A$  лише при деформації 4,3% (тобто перед самим руйнуванням). Розкладання на індивідуальні складові при менших деформаціях було проведено вже після урахування цього виявленого максимуму.



**Рис. 3.** Атипові експериментальні спектри ФЛ іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS при різному ступені ПД  $\varepsilon = 0$  (1), 1,57 (2), 1,8 (3), 4,33 (4), 6,4% (5),  $\lambda_{exit} = 396$  нм,  $C_{Mn} = 10^{-2}$  г/г (а) і їх розкладання на 4 (b) та 5 (c) індивідуальних смуг при  $\varepsilon = 4,33\%$ ; точки – експериментальний загальний спектр ФЛ; лінії – розрахункові функції інтенсивності індивідуальних смуг ФЛ і їх сума; на вставці – функція відхилення огинаючої розкладання  $\Delta A$  від експериментальних спектрів

Індивідуальна смуга з  $\lambda_{max} = 557$  нм виявлялася тільки при одному значенні  $\varepsilon = 4,3\%$  у вигляді широкої кривої Гауса (рис. 3). У всіх інших дослід-



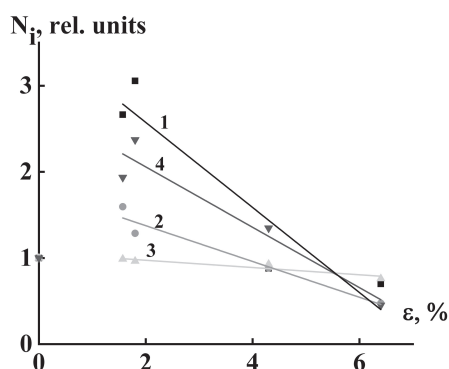
**Рис. 4.** Індивідуальні смуги атипових спектрів ФЛ іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS при різному ступені ПД  $\varepsilon = 0$  (1), 1,57 (2), 1,8 (3), 4,33 (4), 6,4% (5) (а);  $\lambda_{exit} = 396$  нм,  $C_{Mn} = 10^{-2}$  г/г. На рис. b та c наведені показані на рис. a індивідуальні смуги з  $\lambda_{max} \approx 588$  нм та  $\lambda_{max} = 635$  нм відповідно у збільшеному масштабі

джених випадках її інтенсивність випромінювання практично дорівнювала нулю. Тому, вона на рис. 4 не представлена.

На відміну від результатів, отриманих в [8], де зміни індивідуальних смуг характеризувалися

**Параметри індивідуальних смуг іонів  $Mn^{2+}$  в монокристалах ZnS при різних значеннях ПД**

$\epsilon, \%$	$\lambda_{max} \approx 588$ нм			$\lambda_{max} = 578$ нм			$\lambda_{max} = 600$ нм			$\lambda_{max} = 635$ нм		
	$S_i$	$w_i$	$A_i$	$S_i$	$w_i$	$A_i$	$S_i$	$w_i$	$A_i$	$S_i$	$w_i$	$A_i$
0	866,3	22,7	35,9	37838,8	26,5	1343,0	46148,7	35,9	1208,0	1060,2	27,8	35,9
1,57	2308,2	25,0	86,7	60337,7	25,6	2212,0	45579,6	31,5	1359,0	2051,4	22,2	86,7
1,8	2648,1	27,8	89,6	48692,2	24,6	1859,0	44472,2	32,1	1302,0	2514,0	26,3	89,6
4,3	762,1	12,3	58,1	33512,0	22,2	1418,0	42858,6	35,1	1146,0	1428,7	23,1	58,1
6,4	606,1	29,4	19,4	17939,5	28,4	593,5	35102,0	35,2	936,9	477,6	23,2	19,4



**Рис. 5.** Залежність відносної кількості центрів світіння іонів  $Mn^{2+}$  в монокристалах ZnS –  $N_i$ , які пов'язані з випромінюванням індивідуальних смуг МЦ з  $\lambda_{max} = 588$  нм (1), 578 (2), 600 (3), 635 нм (4) відповідно, від ступеня ПД –  $\epsilon$  і одержаних при розкладанні атипових експериментальних спектрів ФЛ на індивідуальні складові.  $\lambda_{exit} = 396$  нм,  $C_{Mn} = 10^{-2}$  г/г

площами під їх кривими, у дослідженнях атипових випадків, які проведені у даній роботі, спостерігалися досить істотні зміни півширини і амплітуди. Тому, для більшої інформативності було наведено не тільки площини під кривими індивідуальних смуг, що пропорційні кількості випромінюючих МЦ з певним типом локальної симетрії (інтегральна яскравість –  $S_i$ ), а й приведено більш повні результати, що відображають також зміни напівширин ( $w_i$ ) і амплітуд максимумів ( $A_i$ ). Результати наведені у таблиці.

На підставі цієї інформації були пораховані зміни відносної кількості центрів світіння іонів  $Mn^{2+}$  з різним локальним оточенням у кристалічній ґратці ZnS, які пов'язані з випромінюванням різних індивідуальних смуг люмінесценції при різних зна-

ченнях  $\epsilon$ . При цьому за одиницю прийнято відносна кількість відповідних центрів світіння  $N_i$  у недеформованих монокристалах. Результати наведені на рис. 5.

**4. Обговорення результатів та висновки**

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав, що найменші відносні зміни площі, півширини і амплітуди максимуму характерні для індивідуальної смуги з  $\lambda_{max} = 600$  нм. Найбільші відносні зміни площі і амплітуди максимуму характерні для смуг з  $\lambda_{max} = 558$  нм і 635 нм. Також, для смуги з  $\lambda_{max} = 558$  нм спостерігалися найбільші коливання півширини з мінімумом при  $\epsilon = 4,3\%$ . Характер зміни інтегральної яскравості  $N_i$  деяким чином корелює з результатами [8], але значно відрізняється за величиною  $\Delta N_i / \Delta \epsilon$ . При цьому, для смуги з  $\lambda_{max} = 558$  нм ця величина має найменше значення при  $\epsilon = 4,3\%$ .

Ми вважаємо, що для виділення нових індивідуальних смуг повинні бути досить серйозні підстави, оскільки кожна нова індивідуальна смуга існує не сама по собі, а безпосередньо пов'язана з певною кількістю випромінюючих центрів у кристалічній ґратці досліджуваного матеріалу, у нашому випадку, випромінюючих іонів  $Mn^{2+}$  у монокристалах ZnS, що мають певне локальне оточення. Для недеформованих монокристалів число таких варіантів локальної симетрії досить добре вивчено [10–15]. Для більшості деформованих кристалів, як правило їх кількість залишалася незмінною і в наших дослідженнях було визначено за допомогою математичного підходу [8, 16]. У досліджених нетипових випадках поява нової смуги корелювала з раннім руйнуванням зразків при невеликих де-

формаціях, що відображено певним чином й в спектрах ФЛ (рис. 3, рис. 4, таблиця). З нашої точки зору, у даному випадку у деформованих монокристалах можуть виникнути області “загальмованих дислокацій”. Якщо гальмування виникає з участю випромінюючих МЦ, то це помітно і у спектрах ФЛ. Це можна пояснити за допомогою докладного розгляду процесу руху часткових дислокацій в монокристалах ZnS.

При достатній величині деформуючого зусилля відбувається зрушення дислокацій зі своїх вихідних позицій з подальшим переміщенням з об'єму до поверхні монокристала. На шляху руху дислокація стикається з різними перешкодами, які здійснюють на її рух гальмуючий ефект. До числа таких перешкод можуть відноситися як різного роду дефекти, так і безпосередньо іони  $Mn^{2+}$ , оскільки їх іонний радіус більше, ніж радіус іона цинку. Оскільки часткова дислокація, це дефект лінійний, то поодинокі перешкоди хоч і здійснюють гальмівний вплив, але можуть бути досить легко подолані. Інша справа, коли таких перешкод декілька і вони також розташовані в одну лінію, яка паралельна самій дислокації – лінійка перешкод. У цьому випадку при певній кількості перешкод рух дислокації може бути припинено. При цьому, ймовірність зупинки руху дислокації тим вище, чим більша кількість перешкод знаходиться у такій лінійці. Подібні лінійки перешкод найбільш ймовірно можуть утворювати МЦ, що розташовані у вузлах ґратки, які заміщають іони  $Zn^{2+}$  з якими пов'язано випромінювання смуги з  $\lambda_{max} = 557$  нм, оскільки їх кількість найбільша у порівнянні з усіма іншими типами випромінюючих МЦ. Оскільки внесок МЦ з таким типом локального оточення у випромінювання мінімальний, то це слабо відображується у спектрах ФЛ. Велика полуширина цієї лінії може бути викликана великим розкидом кількості відповідних МЦ у лінійках, що перешкоджають руху часткових дислокацій.

При тривалій зовнішній механічній нарузі відбувається переміщення інших дислокацій у шарах, які розташовані вище або нижче того, в якому сталася зупинка. Як і у попередньому випадку, цей рух може бути припинено при зустрічі з набором перешкод, що витягнуті у лінію та паралельні самій дислокації, або все закінчується природним шляхом при виході дислокації на поверхню зразка. У кінцевому підсумку, виникає ситуація, ко-

ли більшість дислокацій або вийшли на поверхню, або загальмовані в об'ємі. Триваюче прикладання рівномірного деформуючого зусилля до поверхонь паралельних граней призводить до його нерівномірного розподілу в об'ємі, що у кінцевому підсумку призводить до руйнування деформованого зразка.

Таким чином, проведені детальні дослідження спектрів ФЛ зразків монокристалів ZnS з домішкою іонів  $Mn^{2+}$ , які руйнуються при малих значеннях ПД –  $\epsilon \approx 5-7\%$ , показали, що виявлені відмінності викликані впливом руху і гальмування часткових дислокацій у процесі ПД на зміну найближчого оточення МЦ. Показана можливість виділення нової індивідуальної смуги ФЛ з  $\lambda_{max} = 588$  нм, що, на наш погляд, пов'язана з іонами  $Mn^{2+}$ , які знаходяться в октаедричних меживузлах, до яких наблизилась часткова дислокація. Локальна симетрія даних МЦ може бути змінена внаслідок переміщення і фіксації біля них часткових дислокацій. Якщо кількість таких, розташованих у лінію МЦ стає достатньо великою, то це може бути причиною раннього руйнування деформованих зразків монокристалів.

Зазначені особливості розташування МЦ, що впливають на ФЛ, атипові і характерні приблизно для 10% досліджених зразків. У більшості випадків, кількість витягнутих у лінію МЦ, що перешкоджають і здатні зупинити рух дислокацій, а також, які впливають на спектри ФЛ, незначна і руйнування зразків відбувається при досить великих величинах ПД –  $\epsilon$ .

1. Б.А. Абдикамалов, С.И. Бредихин, М.П. Кулаков, В.Ш. Шехтман, С.З. Шмурак. Фазовый переход при пластической деформации кристаллов сернистого цинка. *ФТТ* **18**, 2463 (1976).
2. С.И. Бредихин, С.А. Омельченко, С.З. Шмурак, Н.А. Якунина. ЭПР  $Mn^{2+}$  в пластически деформированных монокристаллах ZnS. *ФТТ* **23**, 903 (1981).
3. С.И. Бредихин, С.З. Шмурак. Люминесценция пластически деформируемых кристаллов ZnS. *ЖЭТФ* **73**, 1460 (1977).
4. С.И. Бредихин, С.А. Омельченко, С.З. Шмурак. Изменения зарядовых состояний центров в кристаллах сульфида цинка с дислокациями. *ЖЭТФ* **90**, 209 (1986).
5. *Электронные свойства дислокаций в полупроводниках* Ред. Ю.А. Осипьяна (Эдиториал УРСС, 2000) [ISBN: 5-8360-0068-9].
6. С.А. Омельченко, С.И. Бредихин, П.А. Берлов, М.Ф. Буланый, С.З. Шмурак, А.Я. Якунин. Кинетика

- деформационной переориентации структуры кристаллов сульфида и селенида цинка. *ФТТ* **24**, 2803 (1982).
7. М.Ф. Буланый, А.А. Горбань, А.В. Коваленко, Б.А. Полежаев, Т.А. Прокоф'єв, О.В. Хмеленко. Исследование фотолюминесценции ионов  $Mn^{2+}$  в пластически деформированных монокристаллах ZnS. *Изв. Вузов. Физика* **45**, 66 (2002).
  8. Т.А. Прокоф'єв, А.В. Іванченко, В.В. Гнатушенко. Люминесцентный анализ изменений кристаллической решетки монокристаллов ZnS с примесью ионов  $Mn^{2+}$  в процессе пластической деформации. *Журн. прикл. спектр.* **86**, 195 (2019).
  9. С.А. Омельченко, М.Ф. Буланый, О.В. Хмеленко. Влияние электрических полей неподвижных дислокаций на фотолюминесценцию и ЭПР в деформированных кристаллах ZnS. *ФТТ* **45**, 1608 (2003).
  10. М.Ф. Буланый, А.В. Коваленко, Б.А. Полежаев. Спектры марганцевых центров свечения в сульфиде цинка. *Журн. прикл. спектр.* **69**, 747 (2002).
  11. А.Я. Якунин, И.В. Штамбур, А.С. Кушнир, А.С. Омельченко. Спектры ЭПР  $Mn^{2+}$  в нормальных и дефектных местах кристаллической решетки ZnS. *Изв. Вузов. Физика*. **10**, 44 (1973).
  12. Н.Е. Gumlich. Electro- and photoluminescence properties of  $Mn^{2+}$  in ZnS and ZnCdS. *J. Lumin.* **23**, 73 (1981).
  13. Г.Е. Архангельский, Н.Н. Григорьев, М.В. Фок, Н.А. Якунина. Влияние пластической деформации на люминесценцию и электронный парамагнитный резонанс кристаллов ZnS-Eu. *Тр. ФИАН* **164**, 43 (1985).
  14. М.Ф. Буланый, Б.А. Полежаев, Т.А. Прокоф'єв. О природе марганцевых центров свечения в монокристаллах сульфида цинка. *ФТП* **32**, 673 (1998).
  15. Н.Д. Борисенко, М.Ф. Буланый, Ф.Ф. Коджеспиров, Б.А. Полежаев. Свойства центров свечения в монокристаллах сульфида цинка с примесью марганца. *Журн. прикл. спектр.* **55**, 452 (1991).
  16. Т.А. Прокоф'єв, В.В. Гнатушенко. Пат. 125082, Україна, МПК(2006): G01N 21/64 (2006.01), G01N 19/00, G01J 3/00, G09B 23/26 (2006.01), опубл. 25.04.2018, бюл. № 8/2018.
  17. Т.А. Прокоф'єв, В.В. Гнатушенко, О.В. Іванченко, Пат. 122574, Україна, МПК(2020.01): G01N 21/62 (2006.01), G01J 3/00, G06N 7/00, опубл. 10.12.2020, бюл. № 23/2020.
- Одержано 06.12.21

*T.A. Prokofiev, A.V. Ivanchenko*

EFFECT OF DISLOCATION  
HINDERING DURING PLASTIC  
DEFORMATION ON THE PHOTOLUMINESCENCE  
OF  $Mn^{2+}$  IONS IN ZnS SINGLE CRYSTALS

Experimental photoluminescence spectra of  $Mn^{2+}$  ions in single-crystalline ZnS specimens under various plastic deformations have been studied. Features in the photoluminescence spectra of specimens destroyed at small deformations are found. By resolving the spectra, individual spectral bands caused by the emission of  $Mn^{2+}$  ions with different local environments in ZnS single crystals subjected to various plastic deformations are obtained. Changes in the fraction of emitting  $Mn^{2+}$  ions in ZnS single crystals owing to changes in the plastic deformation magnitude are calculated for each individual band. A new individual band with a maximum emission at  $\lambda_{max} \approx 588$  nm is identified, and an explanation is proposed for the mechanism of its appearance at the displacement, hindering, and stopping of partial dislocations in the course of plastic deformation.

*Keywords:* photoluminescence,  $Mn^{2+}$  ions, ZnS single crystals, plastic deformation, spectrum resolution.