

УДК: 546.546.16:546.650+546.221/546.47

ISSN 1729-4428 (Print)

ISSN 2309-8589 (Online)

В.Ф. Зінченко¹, О.В. Мозкова³, А.В. Бабенко^{1,2}, П.Г. Дога¹, І.Р. Магунов¹,
Р.Є. Хома²

Дослідження взаємодії Цинку сульфід з Європію (III) фторидом спектроскопічними методами

¹Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України, Одеса, Україна, vfzinchenko@ukr.net;

²Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Одеса, Україна, anton.octane.sr@gmail.com;

³Державне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», Київ, Україна, olgamozk@ukr.net

Проведено дослідження взаємодії сульфід Цинку, одержаного методом самопоширюваного високотемпературного синтезу та очищеного від кисню, з фторидом Європію (III). Вивчено оптичні властивості отриманих систем. На спектрах люмінесценції спостерігається зменшення її інтенсивності для зразків після їх термообробки, що відбувається через можливий перебіг реакції з частковим зникненням фториду Європію (III). Висунуто припущення щодо окисно-відновного механізму взаємодії між реагентами з утворенням фториду Європію (II) та інших сполук.

Ключові слова: фторид Європію, сульфід Цинку, ІЧ спектроскопія, фотолюмінесцентна спектроскопія.

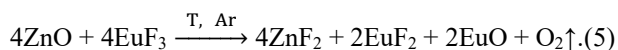
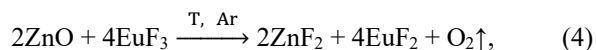
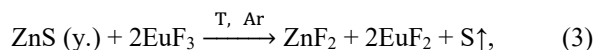
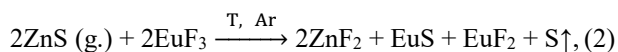
Подано до редакції 30.03.2025; прийнято до друку 30.10.2025.

Вступ

Сульфід Цинку є одним з найбільш поширених й широко уживаних матеріалів для інтерференційної оптики ІЧ діапазону спектру [1-3], що пов'язано з технологічністю й високими експлуатаційними параметрами одержуваних з нього покриттів. Крім того, сульфід Цинку, легований добавками металів (Ag, Ln (Ln – La ÷ Lu) [4] виявляє цікаві люмінесцентні властивості, що робить цей матеріал важливим для практичного застосування. Проте сульфід Цинку притаманні певні недоліки, пов'язані з наявністю у його складі домішки оксиду Цинку, яка погіршує властивості утворюваних тонких плівок [5]. Нами запропоновано підходи, що дозволяють частково нівелювати шкідливий вплив зазначеної домішки, зокрема, за допомогою добавок, таких як сульфід лантанів [6]. В цьому плані можна відрізнити роботу японського автора [7], в якій встановлено неперервний характер зміни показника заломлення покриття зі складом системи ZnS–CeF₃, що є досить цікавим з позиції регулювання оптичних

властивостей. Аналогічних робіт із використанням фторидів інших лантановидів у поточній науковій літературі не виявлено. Натомість з'явилася достатньо велика кількість публікацій, що стосується синтезу, дослідження та проблеми можливого застосування наночастинок сульфід Цинку, легуваних сполуками лантановидів, переважно, Європію [8-11] та Церію [12]. Це пов'язано з тим, що такого роду об'єкти виявляють цікаві спектральні властивості і можуть бути застосовані у різноманітних оптичних пристроях. Слід зазначити, що дані зі структури та оптичних властивостей наносистем досить сильно відрізняються, а то й суперечать одне одному. Так, у роботі [8] встановлено, що легування Європієм призводить до зниження ширини забороненої зони з 4.2 eV до 3.9 eV порівняно з нелегованими частинками ZnS. При надмірному легуванні від 10 до 20% відбувається перетворення сполуки Європію на Eu₂O₃. Цікавим є виявлений авторами [9] факт наявності легувальної домішки у валентному стані Eu²⁺ у нанодротах ZnS, що було підтверджено методом електронного парамагнітного резонансу. Аналогічний результат щодо валентного стану Eu²⁺ у легуваному

Європієм сульфіді Цинку було отримано авторами [10] на основі вивчення впливу окиснювального середовища на спектри люмінесценції, а саме, зникненні широкої смуги, притаманної внутрішньо-йонним переходам у йоні Eu^{2+} з максимумом поблизу 530 нм і заміною її на характерну для Eu^{3+} «зубчасту» смугу [10]. Щоправда, автор робить обмовку, що зазначене явище спостерігається лише у допованих наночастинках і відсутня в об'ємному матеріалі ZnS. Досить багато публікацій стосується дослідження електронної структури та оптичних властивостей методом з перших принципів, прикладом яких є стаття М. Hedjar [11] для низки зразків сульфиду Цинку, легованого Sm, Eu, Gd та Er. У роботі, яка визначається вельми перспективною на основі спінополяризованої теорії функціоналу спінової густини проведено прогнозування властивостей матеріалів на основі зазначених систем. Фотолюмінісцентні властивості нанокompatитів систем $\text{CeF}_3\text{--ZnS}$ зі змінним складом (від 1:1 до 1:7 за масою) були досліджені і представлені авторами [12]. Через перекриття спектрів випромінювання та поглинання ZnS спостерігається посилення передачі енергії від CeF_3 до наночастинок ZnS. Передбачено вплив наноструктури типу ядро-оболонка на люмінесценцію. При розгляді сполук як претендентів на роль добавки звертає на себе увагу фторид Європію (III), тобто лантаніду, який є схильним до зміни валентного стану з Eu(III) до Eu(II) за умов інертної атмосфери, високої температури та наявності відновника, роль якого і має відігравати сам ZnS. Аналогічним чином можна звернути увагу на систему ZnS--CeF_3 , що містить фторид Церію, тобто елементу, здатного до прояву ступенів окиснення (III) та (IV). Задачею даного дослідження є встановлення методом спектроскопії характеру взаємодії між сульфідом Цинку та фторидом Європію. Передбачено здійснити шляхом високотемпературної обробки у інертному середовищі окисно-відновні реакції (1-5):



та встановити їх механізм.

Для цього мають бути задіяні ІЧ спектроскопія пропускання в далекому (до 200 cm^{-1}) ІЧ діапазоні спектру та твердофазна фотолюмінісцентна спектроскопія порошків у діапазоні від 300 до 750 нм. Крім того, буде встановлено зміну у масі зразків після високотемпературного (900 °C) прожарювання. У перспективі можливо застосування одержаних композитів як матеріалів для інтерференційних покриттів з визнанням їхніх оптичних і експлуатаційних властивостей. Буде зроблено

висновок про вплив оксидних домішок у ZnS на процеси, що відбуваються між EuF_3 та ZnS та про доцільність їх визначення.

I. Експериментальна частина

Готували зразки системи ZnS--EuF_3 у молярному співвідношенні 1:2 шляхом прожарювання при 900 °C дрібнодисперсної суміші реагентів, запресованої у таблетки діаметром 8 мм та завтовшки 10 мм. Вихідні матеріали придбано у фірмі СНВП «Нові матеріали і технології (Одеса)». Сульфід Цинку одержано методом самопоширюваного високотемпературного синтезу з суміші порошків цинку та сірки, взятих у молярному співвідношенні 1:1 так, як описано в [3]. За вмістом домішок важких металів (Cu, Fe, Ni, тощо) продукт синтезу відповідав кваліфікації ос.ч, натомість вміст кисню не нормувався. Один із вихідних продуктів синтезу ZnS було піддано обробці з видаленням з нього оксидних домішок за методикою, описаною у [4]. Їх позначено, відповідно, як ZnS (y.) та ZnS (g.); це пов'язано з тим, що перший зі зразків мав біле з жовтуватим (yellowish) відтінком забарвлення, у той час як другий мав сіруватий (grayish) відтінок. Фторид Європію, EuF_3 синтезовано взаємодією Eu_2O_3 з фторувальним агентом - фторидом амонію, NH_4F з наступним перепплавленням продукту в індукційній печі. Його кваліфіковано як ос. ч. препарат. Зразки досліджено спектроскопічними методами, а саме, ІЧ спектроскопією пропускання [13, 14] та люмінесцентною спектроскопією [13].

ІЧ-спектри записували в координатах $T = f(\tilde{\nu})$, де T означає пропускання і $\tilde{\nu}$ - хвильове число, використовуючи ІЧ спектрофотометр з Фур'є перетворенням Frontier Perkin-Elmer (Perkin-Elmer Inc., Waltham, MA, USA) в діапазоні хвильових чисел 4000-200 cm^{-1} [13]. ІЧ-спектри пропускання записували для зразків шихти та розтертих у порошок таблеток, запресованих у матрицю попередньо зневодненого нагріванням при 180 °C CsI кваліфікації ос.ч. (виробництво Інституту монокристалів НАН України, Харків) у масовому співвідношенні зразок: матриця = 1:20 [14]. Для ІЧ спектроскопії пропускання спектральний діапазон становив 4000-200 cm^{-1} , а роздільна здатність приладу становила біля 0.4 cm^{-1} ; відтворюваність довжини хвилі становила приблизно 0.008 cm^{-1} ; а відношення сигнал/шум перевищувало 50 000:1 [13].

Спектри люмінесценції та збудження записували на спектрофлуориметрі Fluorolog FL3-22 (HORIBA Jobin Yvon Inc, Longjumeau Cedex, Франція). Джерелом збудження слугувала ксенонова лампа потужністю 450 Вт (модель 1907). Для видимої області спектра як детектор випромінювання використовувався фотопомножувач R928P. Діапазон довжин хвиль збудження становив від 240 до 600 нм, діапазон довжин хвиль люмінесценції – від 290 до 850 нм. Фотопомножувач реєстрував інтенсивність випромінювання шляхом підрахунку окремих фотонів світла, зберігаючи пропорційність у діапазоні від 1000 до 2 000 000 відліків за секунду (CPS). На основі цього діапазону чутливості було налаштовано вхідні та

вихідні щілини приладу, відповідно. Вимірювання люмінесценції проводили в спеціалізованій кюветі для твердих порошкових матеріалів глибиною 1.5 мм і площею поверхні 70 мм². Перед реєстрацією спектра люмінесценції кристалічний зразок подрібнювали до однорідного дрібного порошку [13].

ІЧ спектри вихідних сполук ZnS та EuF₃ кардинально відрізняються одне від одного (рис. 1). У свою чергу, те ж стосується зразків ZnS (у.) та ZnS (g.). Характерною для обох зразків ZnS є наявність виразної смуги з максимумом поглинання в області біля 300 см⁻¹. При цьому смуга поглинання ZnS (g.) є менш виразною; натомість, у спектрі пропускання ZnS (у.) наявна смуга поглинання при 415 см⁻¹, що відображає наявність домішки ZnO. При додаванні EuF₃ до ZnS інтенсивність смуг поглинання першою змінюється несуттєво, у той же час інтенсивність головної смуги ZnS у ІЧ спектрі пропускання різко падає, і за цим показником зазначена смуга посідає чи не найостанннє місце серед усіх смуг шихти. При цьому її положення піддається помітному гіпсохромному зсуву. Ці зміни досі є незрозумілими з точки зору оптики дрібнодисперсних матеріалів.

Ще більш значними є зміни, що відбуваються з ІЧ спектрами пропускання спеченого зразка ZnS – EuF₃ порівняно з механічною сумішшю. Так, смуга поглинання в цілому зберігається, але в ній піки

змінюють своє розташування та інтенсивність. Деяко зберігаються піки поглинання вихідної сполуки EuF₃, натомість піки поглинання ZnS для обох зразків зникають майже цілком.

Сpektри люмінесценції, представлені на рисунках 5 - 10, виявилися вельми насиченими на інформаційний зміст і, водночас, достатньо складними для інтерпретації. Форма спектрів люмінесценції зразків ZnS (у.) та ZnS (g.) (рис. 5) суттєво відрізняється від такої для EuF₃ (рис. 6). Вони є вельми широкими смугами у діапазоні довжин хвиль 400-700 нм для спектрів люмінесценції та 275-425 нм для спектрів збудження (останні є суттєво вузькими). Природньо, що найвищу інтенсивність виявляють смуги люмінесценції, що відповідають 4f-4f електронним переходам у йонах Eu³⁺ (EuF₃), а саме, в області з довжиною хвиль люмінесценції 575-625 нм та збудження при 275-425 нм.

На рисунках 7 та 8 смуги спектрів збудження та люмінесценції відповідно мають схоже розташування одне до одного, однак, значно відрізняються за інтенсивністю і зовсім відрізняються від спектрів, зображених на рисунках 9 і 10. Складається враження, що розташування смуг спектрів збудження та люмінесценції останніх, відповідно, схожі, проте, їх форми досить різні, а інтенсивність відрізняється приблизно у 2 рази.

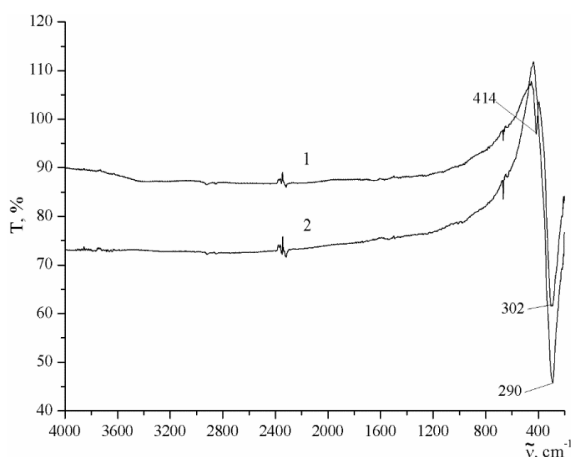


Рис. 1. Інфрачервоні спектри пропускання ZnS (у.) (1) та ZnS (g.) (2) у діапазоні 4000-200 см⁻¹

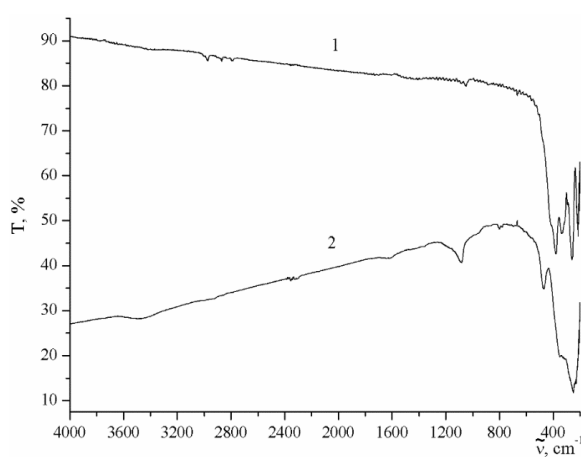


Рис. 2. Інфрачервоні спектри пропускання EuF₃ (1) та EuF₂ (2)

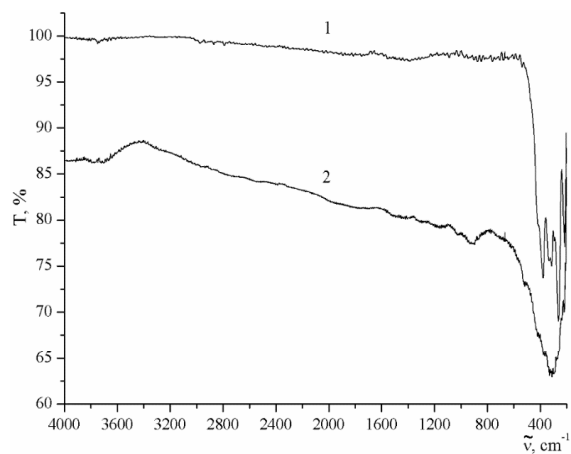


Рис. 3. Інфрачервоні спектри пропускання системи ZnS (у.) – EuF₃: 1 - механічна суміш; 2 - зразок після термообробки

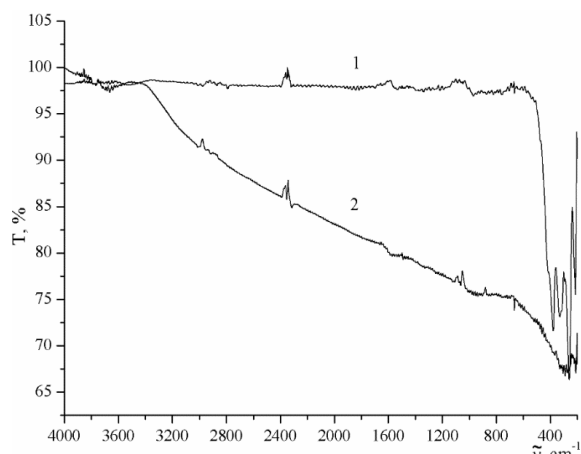


Рис. 4. Інфрачервоні спектри пропускання системи ZnS (g.) – EuF₃: 1 - механічна суміш; 2 - зразок після термообробки

II. Обговорення результатів

Одержані результати показують суттєві зміни у характері спектрів різного типу, при цьому найсуттєвіші з них відбуваються на стадії перетворення шихти – сплав (спек). Це вказує, без сумніву, на певні хімічні перетворення у процесі спікання. Додатково слід зазначити той факт, що зразок ZnS (g.) – EuF₃ після спікання втратив 3.05%

своїєї ваги, ZnS (y.) – EuF₃ – 4.54%. З усіх можливих летких продуктів при 900 °C таку здатність виявляє сірка, яка має утворюватися за реакціями (1-3), про що свідчить поява нальоту майже білого кольору на холодних частинах реактору. Зазначені вище величина втрати маси (якщо врахувати лише втрату сірки), за розрахунком має становити 6.2% від загальної ваги таблетки. Отже, відносна втрата маси

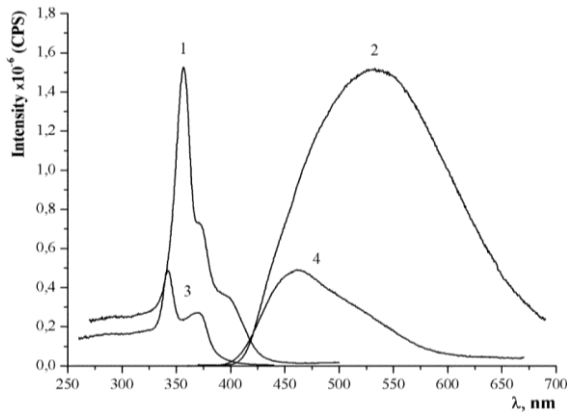


Рис. 5. Спектри збудження та люмінесценції ZnS (y.) (1, 2) та ZnS (g.) (3, 4), щілини 5-1 нм: 1 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 531$ нм, 2 - спектр люмінесценції при $\lambda_{exc} = 357$ нм; 3 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 461$ нм, 4 - спектр люмінесценції при $\lambda_{exc} = 342$ нм

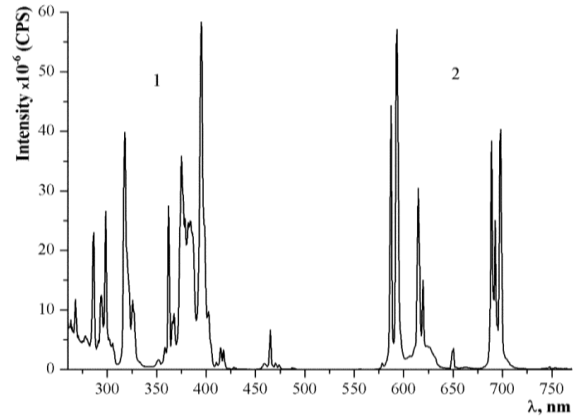


Рис. 6. Спектри збудження та люмінесценції EuF₃ з щілиною 1-1 нм: 1 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 593$ нм, 2 - спектр люмінесценції при $\lambda_{exc} = 395$ нм

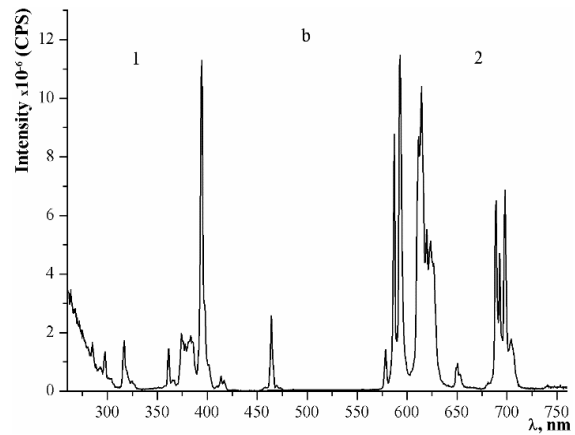
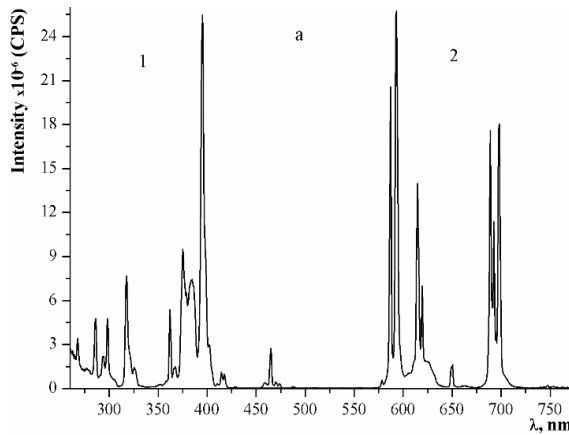


Рис. 7. Спектри збудження та люмінесценції EuF₃ у системі ZnS (y.) – EuF₃ з щілиною 1.5-1 нм: (a) - механічна суміш; (b) - термооброблений зразок; 1 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 593$ нм, 2 - спектр люмінесценції при $\lambda_{exc} = 395$ нм

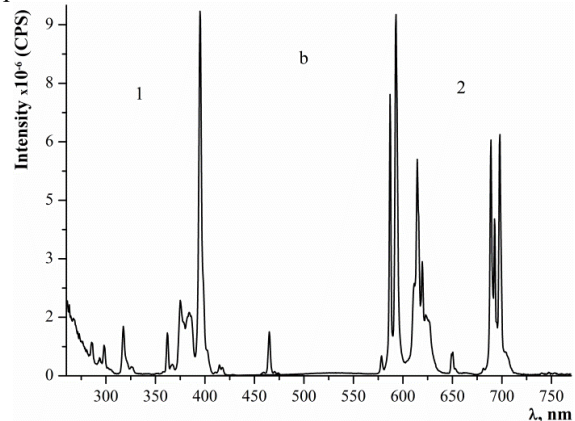
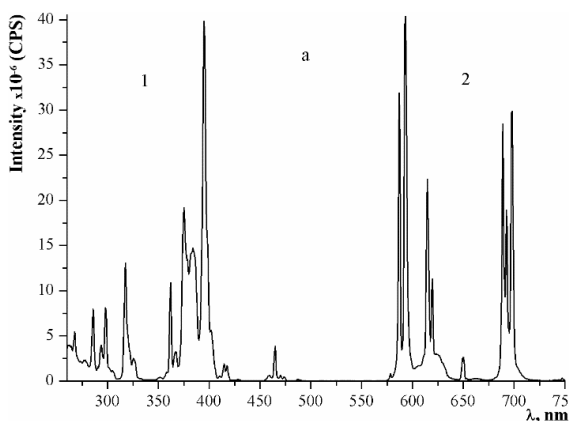


Рис. 8. Спектри збудження та люмінесценції EuF₃ у системі ZnS (g.) – EuF₃ з щілиною 1.5-1 нм: (a) - механічна суміш; (b) - термооброблений зразок; 1 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 593$ нм, 2 - спектр люмінесценції при $\lambda_{exc} = 395$ нм

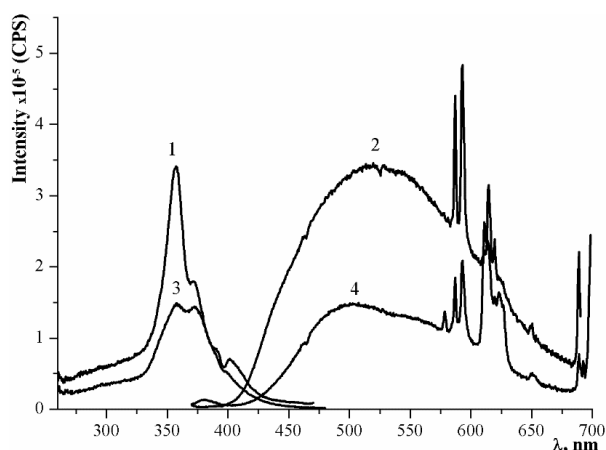


Рис. 9. Спектри збудження та люмінесценції ZnS (y.) у системі: ZnS (y.) – EuF₃ механічної (1, 2) та термообробленої (3, 4) сумішей, щільності 5-1 нм: 1 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 520$ нм, 3 - спектр збудження при $\lambda_{em} = 504$ нм; 2, 4 - спектри люмінесценції при $\lambda_{exc} = 357$ нм.

не перевищує 48.3%, тобто біля половини; цей факт збереження значної частини зразка у незмінному вигляді підтверджується даними усіх видів спектроскопії, за винятком хіба ІЧ спектроскопії пропускання.

Додавання ZnS (g.) призводить до суттєвого (30%) зниження інтенсивності люмінесценції EuF₃, очевидно, через відбиття й розсіювання за рахунок ефекту розведення речовини, що випромінює, такою, що не люмінесцює. Ще більший (до 50%) ефект чинить добавка ZnS (y.). Можливо, це пов'язано як з вищою дисперсністю матеріалу, так і з наявністю певного вмісту оксидної домішки. При цьому ефект падіння інтенсивності є помітнішим у спектрі збудження порівняно зі спектром люмінесценції. І, нарешті, найпомітнішим чином на спектрах люмінесценції EuF₃ позначається прожарювання шихти; в результаті якого інтенсивність люмінесценції знижується на 75 – 80%, за винятком ZnS (g.). У даному випадку причиною падіння є, скоріш за усе, хімічна взаємодія між компонентами з перетворенням на інші сполуки Європію, зокрема, EuF₂, який не випромінює взагалі [5]. Крім того, не виключено утворення інших сполук Європію, що не є активними щодо випромінювання. Інтенсивність люмінесценції ZnS є значно нижчою – у декілька разів та десятків разів порівняно з EuF₃. При цьому, на відміну від EuF₃, природу люмінесценції та її механізм для ZnS остаточно не з'ясовано [5]. Беззаперечним є той факт, що інтенсивність люмінесценції ZnS (y.) є у декілька разів вищою (рис. 9) порівняно з такою для ZnS (g.) (рис. 10), що дозволяє вважати, що головним джерелом випромінювання, найімовірніше, є домішка оксигенвмісної сполуки, ZnO. Як і у випадку іншого компонента, EuF₃, для зразків ZnS помічено зменшення у декілька разів інтенсивності при додаванні його до суміші (ефект розведення). Суттєво позначається на інтенсивності люмінесценції (падіння у 2 рази) прожарювання суміші, але порівняно з вихідним компонентом, а не із їхньою сумішшю; отже, однозначно встановити, який ефект більш

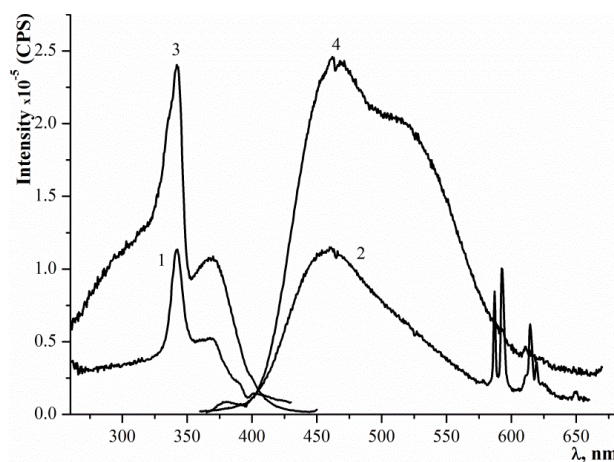


Рис. 10. Спектри збудження та люмінесценції ZnS (g.) у системі: ZnS (g.) – EuF₃ механічної (1, 2) та термообробленої (3, 4) сумішей, щільності 5-1 нм: 1, 3 - спектри збудження при $\lambda_{em} = 461$ нм; 2, 4 - спектри люмінесценції при $\lambda_{exc} = 342$ нм.

суттєво позначається на інтенсивності люмінесценції – розведення чи взаємодія – поки що не вдалось. В той же час, інтенсивність люмінесценції термообробленого зразку системи ZnS (g.) – EuF₃, навпаки, є вищою за таку для механічної суміші, що наразі виглядає дещо парадоксальним. Дещо несподіваним виявився факт відсутності люмінесценції Eu(II); проте, відомо, що EuF₂, який утворюється, на нашу думку, внаслідок реакцій (1-5), сам по собі не володіє люмінесцентними властивостями [5].

Висновки

У результаті аналізу систем ZnS–EuF₃ методами інфрачервоної та люмінесцентної спектроскопії отримано дані, які вказують на перебіг реакції за, ймовірно, окисно-відновним механізмом з утворенням сполук Європію (II). Також на це вказують такі ознаки, як помітна втрата ваги та суттєве зниження інтенсивності люмінесценції механічної суміші після її термообробки, за винятком термообробленого зразка системи ZnS (g.) – EuF₃. З'ясовано, що люмінесценція вихідного зразка системи ZnS (y.) – EuF₃ має більшу інтенсивність, ніж у зразка системи ZnS (g.) – EuF₃ за тих же умов. Вочевидь, таке явище відбувається за рахунок домішки ZnO у вихідному ZnS (y.), наявність якої підтверджується інфрачервоними спектрами. Зважаючи на характер і склад продуктів взаємодії у системі ZnS–EuF₃, можна передбачити її перспективність для застосування як основи матеріалу для оптики ІЧ діапазону спектру.

Подяки:

Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку проекту № III.9.25 (446) НАН України.

Зінченко В.Ф. – доктор хімічних наук, професор, завідувач відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;

Мозкова О.В. – завідувач лабораторії оптичних покриттів;

Бабенко А.В. – провідний інженер відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів; аспірант;

Дога П.Г. – молодший науковий співробітник відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;

Магунов І.Р. – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів;

Хома Р.Є. – доктор хімічних наук, професор, в.о. директора Фізико-хімічного інституту захисту здоров'я людини і довкілля.

- [1] M. Friz, F. Waibel, *Coating materials, Optical interference coatings*, Springer Series in Optical Sciences, 88, 105 (2003); https://doi.org/10.1007/978-3-540-36386-6_5.
- [2] J. McCloy, *International development of chemical vapor deposited zinc sulfide*, (Proceeding Window and Dome Technologies and Materials X. Defence and Security Symposium, Orlando), 6545 (654503) (2007); <https://doi.org/10.1117/12.717870>.
- [3] P. Kloczek, *Handbook of infrared optical materials*, (Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong, 1991); <https://doi.org/10.1201/9781315213996>.
- [4] V.F. Zinchenko, I.R. Magunov, G.V. Volchak, O.S. Mazur, O.H. Ieromin, S.V. Kuleshov, P.G. Doga, A.V. Babenko, *Sulfidation of Zinc oxide by interaction with Antimony sulfide*. Physics and Chemistry of Solid State, 25(2), 399 (2024); <https://doi.org/10.15330/pcss.25.2.399-405>.
- [5] V.F. Zinchenko, I.R. Magunov, O.V. Mozkova, B.A. Gorshtein, *The problem of oxide impurities in zinc sulfide - a material for infrared optics (Review)*. Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii, 3, 22 (2023); <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2023-148-3-22-28>.
- [6] V.F. Zinchenko, N.O. Chivireva, G.I. Kocherba, V.Ya. Markiv, N.M. Belyavina, *Influence of Ln_2S_3 ($Ln - Gd, Dy$) dopant on the crystal structure and optical properties on zinc sulfide*, Chemistry of metals and alloys, 3(3/4), 75 (2010); http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khms_2010_3_3-4_6.
- [7] Sh. Fujiwara, *Refractive Indices of Evaporated Cerium Fluoride-Zinc Sulfide Films*, J. Opt. Soc. Am, 53(11), 1317 (1963); https://doi.org/10.1364/JOSA.53.1317_1.
- [8] G.S. Lotey, Z. Jindal, V. Singhi, N.K. Verma, *Structural and photoluminescence properties of Eu-doped ZnS nanoparticles*, Mat. Sci. Semicond. Proc, 16(6), 2044 (2013); <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2013.07.039>.
- [9] S.Y. Lee, Y.H. Shin, Yongmin Kim, Sangdan Kim, Sanghyun Ju, *Thermal quenching behavior of emission bands in Eu-doped ZnS nanowire*, J. Lumin. 131, 1336 (2011); <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2011.03.026>.
- [10] W. Chen, J.O. Malm, V. Zwiller, Y. Huang, S. Liu, R. Wallenberg, J.O. Bovin, L. Samuelson, *Energy structure and fluorescence of Eu^{2+} in ZnS:Eu nanoparticles*, Phys. Rev. B: Condens. Matter, 61(16), 1 (2000); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.61.11021>.
- [11] H. Hedjar, S. Meskine, A. Boukourt, H. Bennacer, M.R. Benaidane, *First-principles studies of electronic structure, magnetic and optical properties of rare-earth ($RE = Sm, Eu, Gd$, and Er) doped ZnS*, Comput. Condens. Matter, 30, 1 (2022); <https://doi.org/10.1016/j.cocom.2021.e00632>.
- [12] H. Ahmadi, M. Bagherzadeh, M. Raeisi, F. Payami, *Preparation and characterization and photoluminescence properties of CeF_3 -ZnS nanocomposites*, J. Mater. Sci. - Mater. Electron, 31, 3215 (2020); <https://doi.org/10.1007/s10854-020-02869-y>.
- [13] V. Zinchenko, G. Volchak, N. Chivireva, P. Doga, Y. Bobitski, O. Ieromin, S. Smola, A. Babenko, M. Sznajder, *Solidified Salt Melts of the $NaCl-KCl-CeF_3-EuF_3$ System as Promising Luminescent Materials*, Materials, 17, 5565 (2024); <https://doi.org/10.3390/ma17225565>.
- [14] V.F. Zinchenko, V.E. Chyhrynov, O.V. Mozkova, I.R. Mahunov, L.V. Sadkovska, *The influence of the interaction in the $GeO-GeO_2$ and $Ge-GeO_2(SnO_2)$ systems on the optical properties of composites*, Ukr. khim. Zhurn, 79(10), 91, (2013); http://nbuv.gov.ua/UJRN/UKhZh_2013_79_9-10_18.

V.F. Zinchenko¹, O.V. Mozkova³, A.V. Babenko^{1,2}, P.G. Doga¹, I.R. Magunov¹,
R.E. Khoma²

Study of the interaction of Zinc sulfide with Europium (III) fluoride by spectroscopic methods

¹O.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Odesa, Ukraine, vfzinchenko@ukr.net;

²Odesa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine, anton.octane.sr@gmail.com;

³State Enterprise for Special Instrument Making «Arsenal», Kyiv, Ukraine, olgamozk@ukr.net

A study was conducted on the interaction of Zinc sulfide, obtained by the method of self-propagating high-temperature synthesis, and purified from oxygen with Europium (III) fluoride. The optical properties of the obtained systems were studied. The luminescence spectra show a decrease in its intensity for the samples after their heat treatment, which occurs due to the possible reaction with partial disappearance of Europium (III) fluoride. A hypothesis was proposed regarding the redox mechanism of interaction between the reagents with the formation of Europium (II) fluoride and other compounds.

Keywords: Europium fluoride, Zinc sulfide, IR spectroscopy, photoluminescence spectroscopy.