

PACS numbers: 42.30.-d, 63.22.dc, 68.37.Ps, 78.20.Ci, 78.30.-j, 78.60.Hk, 81.15.-z

## Структура і коливні спектри тонких плівок $Y_2O_3:Eu$

О. М. Бордун<sup>1</sup>, І. О. Бордун<sup>1</sup>, І. Й. Кухарський<sup>1</sup>, В. В. Пташник<sup>1</sup>,  
Ж. Я. Цаповська<sup>1</sup>, Д. С. Леонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Драгоманова, 50,  
79005 Львів, Україна

<sup>2</sup>Технічний центр НАН України,  
вул. Покровська, 13,  
04070 Київ, Україна

Досліджено структуру поверхні тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$ , одержаних методом ВЧ-іонно-плазмового напорошення, при зміні концентрації активатора в межах 1,0–7,5 мол.%. Виміряно спектри ІЧ-відбивання одержаних систем тонка плівка  $Y_2O_3:Eu$ –підкладинка з топленого кварцу  $\nu$ - $SiO_2$  у спектральній області 400–1600  $cm^{-1}$  при  $T = 295$  К. Проведено інтерпретацію смуг, пов'язаних з коливними процесами у плівках  $Y_2O_3:Eu$ . Встановлено, що смуги ІЧ-відбивання з максимумами в області 1218 і 1253  $cm^{-1}$  є достатньо чутливими до зміни концентрації активатора  $Eu^{3+}$ , розміру кристалітів, які формують плівку, та структурної досконалості одержаних плівок.

The structure of the surface of thin films of  $Y_2O_3:Eu$  obtained by RF sputtering when the activator concentration varies within the range 1.0–7.5 mol.% is investigated. The spectra of IR reflection of the thin film  $Y_2O_3:Eu$ –fused quartz ( $\nu$ - $SiO_2$ ) substrate system at 295 K in region 400–1600  $cm^{-1}$  are measured. The peaks in the vibrational spectrum of films  $Y_2O_3:Eu$  are interpreted. AS revealed, the peaks of IR reflection with maxima at 1218 and 1253  $cm^{-1}$  are quite sensitive to changes of  $Eu^{3+}$  activator concentration, size of crystallites forming the film, and structural perfection of obtained films.

Исследована структура поверхности тонких плёнок  $Y_2O_3:Eu$ , полученных методом ВЧ-ионно-плазменного напыления, при изменении концентрации активатора в пределах 1,0–7,5 мол.%. Измерены спектры ИК-отражения полученных систем тонкая плёнка  $Y_2O_3:Eu$ –подложка из плавленного кварца  $\nu$ - $SiO_2$  в спектральной области 400–1600  $cm^{-1}$  при  $T = 295$  К. Проведена интерпретация полос, связанных с колебатель-

ними процесами в плёнках  $Y_2O_3:Eu$ . Установлено, что полосы ИК-отражения с максимумами в области  $1218$  и  $1253\text{ см}^{-1}$  являются довольно чувствительными к изменению концентрации активатора  $Eu^{3+}$ , размеру кристаллитов, которые формируют плёнку, и структурному совершенству полученных плёнок.

**Ключові слова:** оксид ітрію, тонкі плівки, кристаліти, коливні спектри.

**Key words:** yttrium oxide, thin films, crystallites, vibrational spectra.

**Ключевые слова:** оксид иттрия, тонкие плёнки, кристаллиты, колебательные спектры.

*(Отримано 17 січня 2017 р.)*

## 1. ВСТУП

В останні роки інтерес до тонких плівок металооксидних матеріалів зумовлений широкими можливостями їх використання в оптоелектроніці і приладобудуванні. Такі плівки та інші матеріали, леговані рідкісноземельними металами (РЗМ), є ключовими елементами сучасних пристроїв генерації, передачі і керування оптичними сигналами. Серед таких матеріалів особливе місце займає  $Y_2O_3:Eu$ , який вже пройшов етап досліджень і серійно випускається, однак, поки що у вигляді порошкових катодолюмінаторів. Враховуючи лінійну залежність яскравості свічення від густини струму збудження, відомі фірми-виробники безальтернативно використовують лише  $Y_2O_3:Eu$  як червону компоненту проєкційних телевізорів, а також при створенні плоских повноколірних вакуумних флуоресцентних дисплеїв (ВФД) і дисплеїв з польовою емісією (ФПЕ) [1–3].

Недоліком даного матеріалу є незадовільна морфологія частинок, що не забезпечує гладкого і рівномірного покриття екранів і високої роздільної здатності. Така ситуація зумовила активне вивчення різноманітних наноструктурних об'єктів на основі  $Y_2O_3:Eu$  [4–7]. Було помічено, що ряд властивостей даного матеріалу змінюється, коли розмір кристалів досягає нанометрових розмірів. Дані зміни можуть бути викликані як квантово-розмірними ефектами, так і посиленням ролі різних поверхневих ефектів. Комбінація малих розмірів кристалічних частинок і наявність легувальної домішки, — люмінесцентного центра, — йона  $Eu^{3+}$  забезпечує рівномірне покриття екрана при нанесенні тонких плівок  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ , які складаються з нанокристалічних зерен, ефективність і стабільність люмінесценції і сприяє розширенню потенційних областей застосування.

Для розуміння процесів безвипромінювального перенесення

енергії електронного збудження в таких плівках необхідно дослідити спектри відбивання в ІЧ-області, що надають інформацію про будову і властивості плівок, про характер фононних і домішкових переходів. Це і зумовило дослідження впливу концентрації активатора на структурні характеристики та фононний спектр тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$ , яких наведено у даній роботі.

## 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Тонкі плівки  $Y_2O_3:Eu$  товщиною 0,2–0,5 мкм одержані ВЧ-йонно-плазмовим розпорошенням в атмосфері 100% кисню або 100% аргону в системі з використанням магнетного поля зовнішніх соленоїдів для компресії і додаткової йонізації плазмового стовпа на підкладках із топленого кварцу  $\nu\text{-SiO}_2$ . В якості вихідної сировини використовувалися  $Y_2O_3$  марки ИтО-И і  $Eu_2O_3$  марки «ос.ч.». Концентрація активатора змінювалася в межах від 1,0 до 7,5 мол.%. Після нанесення плівок проводилося їх термооброблення на повітрі при температурі 950–1050°C. Рентгенодифракційні дослідження показали наявність полікристалічної структури з переважаючою орієнтацією в площині (222). Вигляд одержаних дифрактограм практично аналогічний до дифрактограм чистих плівок  $Y_2O_3$ , які наведені нами в [8]. При цьому у плівках  $Y_2O_3:Eu$ , одержаних в атмосфері аргону, дещо більшу інтенсивність має рефлекс від площини (440).

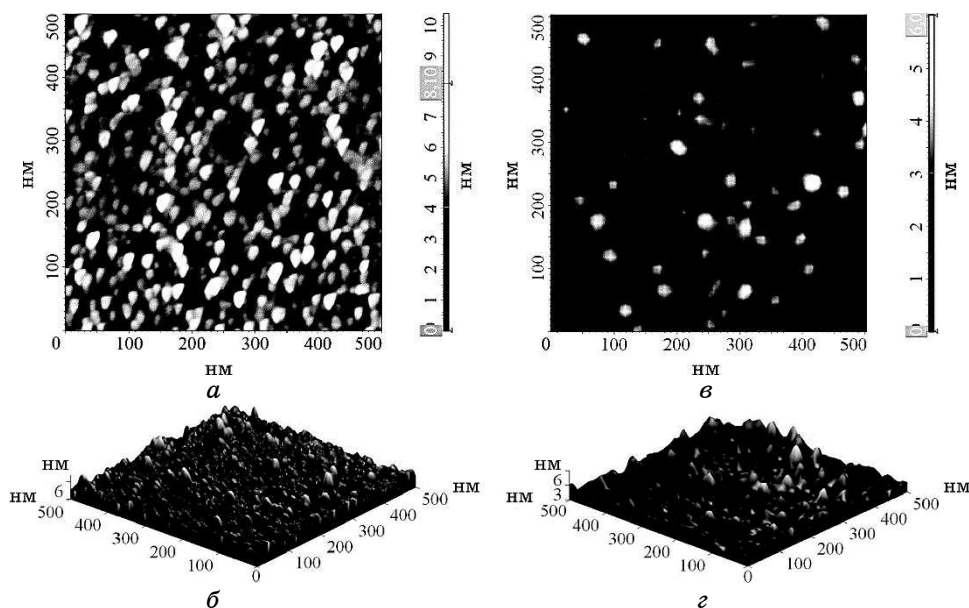
Морфологія поверхні плівок досліджувалася за допомогою атомно-силового мікроскопа (АСМ) 'Solver P47 PRO'. Обробка експериментальних даних і виконання обчислень параметрів морфології поверхні проводилося за допомогою програмного пакету 'Image Analysis 2'.

Вимірювання спектрів ІЧ-відбивання проводилося на двопробному спектрофотометрі 'Specord 75 IR' з розрізненням у досліджуваній області не гірше  $2\text{ см}^{-1}$ .

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Характерні мікрофотографії поверхні плівок  $Y_2O_3:Eu$  з різною концентрацією активатора, одержані за допомогою АСМ, наведено на рис. 1, 2. Як видно з одержаних результатів, на розміри кристалічних зерен і шерсткість поверхні плівок істотний вплив має концентрація активатора  $Eu^{3+}$ . При цьому навіть метода одержання менш чутлива до даних параметрів структури плівок (рис. 1). Типові структурні параметри поверхні плівок  $Y_2O_3:Eu$  наведено в табл. 1.

Характерним є те, що плівки  $Y_2O_3:Eu$  одержані ВЧ-йонно-

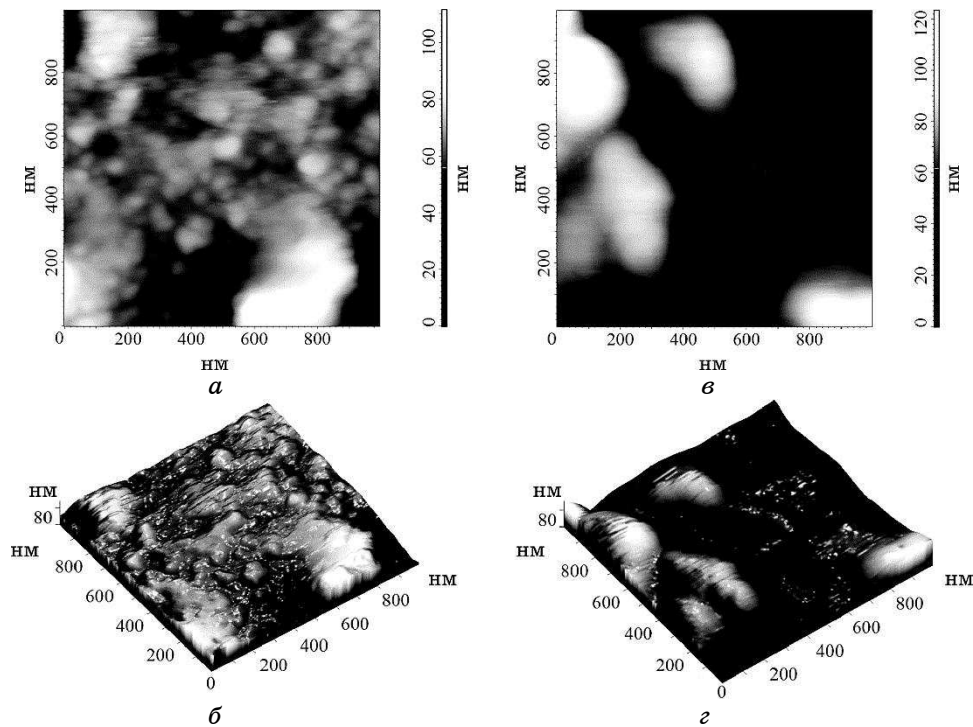


**Рис. 1.** Зображення морфології поверхні тонких плівок  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ , одержаних методом дискретного випаровування (*a, б*) і ВЧ-йонно-плазмового розпорощення в атмосфері аргону (*в, г*) з концентрацією активатора у 1 мол.%. Зображення *a* і *в* — двовимірні, *б* і *г* — тривимірні.<sup>1</sup>

плазмовим напорошенням мають дещо більші розміри кристалічних зерен, ніж при дискретному напорошенні, хоча характеризуються меншою шерсткістю поверхні. При цьому збільшення концентрації активатора  $\text{Eu}^{3+}$  приводить до істотного збільшення як розмірів кристалітів, так і шерсткості рельєфу поверхні плівок  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  (рис. 2).

Характерні спектри ІЧ-відбивання тонких плівок  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  з різними концентраціями активатора на кварцових підкладках та спектри відбивання чистих підкладок наведено на рис. 3. При цьому спектр відбивання тонких плівок потрібно розглядати як суперпозицію спектрів відбивання тонкої плівки і пропускання нею відбитого від кварцової підкладки ІЧ-випромінення. Для аналізу спектрів відбивання системи плівка  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}-\text{SiO}_2$  потрібно врахувати явище інтерференції у плівці, яке визначається товщиною плівки  $d$  і показниками заломлення  $n$  та екстинкції  $k$ . У відповідності до [9] коефіцієнт відбивання такої системи  $R = |r|^2$ , а

$$r = \frac{r_{12} \exp(-2i\Psi) + r_{23}}{\exp(-2i\Psi) + r_{12}r_{23}}$$



**Рис. 2.** Зображення морфології поверхні тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$ , одержаних методом ВЧ-йонно-плазмового розпорощення в атмосфері аргону при концентраціях активатора у 2,5 мол.% (а, б) і 5 мол.% (в, г). Зображення а і в — двовимірні, б і г — тривимірні.<sup>2</sup>

— амплітуда відбивання від шару, індекси 1, 2, 3 відносяться до повітря, плівки та підкладки відповідно,  $\Psi = (2\pi h\nu)\sqrt{\epsilon_2 - \sin^2 \phi}$ ,  $\phi = 0$ .

Проведені розрахунки свідчать про наявність провалу у спектрі відбивання, мінімум якого знаходиться поблизу  $1400 \text{ см}^{-1}$ , що узгоджується з експериментальними спектрами відбивання систем плівка-підкладка. Це, найімовірніше, і є причиною досить слабкої інтенсивності смуг відбивання у спектральній області  $1300\text{--}1600 \text{ см}^{-1}$ , хоча у спектрах монокристалічних і порошкових зразків ці лінії досить помітні [10, 11]. Положення інтерференційного мінімуму залежить від  $d$ ,  $n$ ,  $k$ , методику визначення яких описано нами в [12].

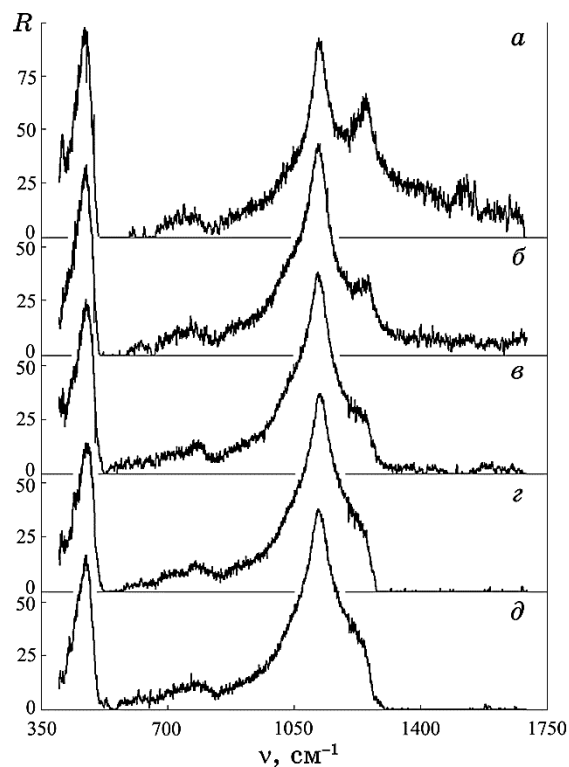
На одержаних спектрах ІЧ-відбивання систем плівка-підкладка спостерігається ряд вузьких смуг, спектральне положення яких не змінюється при зміні  $d$ ,  $n$ ,  $k$ . Віднімаючи спектр кварцової підкладки від спектра системи плівки на підкладці, можна одержати смуги, що відповідають фононному

відбиванню безпосередньо у плівках  $Y_2O_3:Eu$ .

Порівнюючи спектри ІЧ-відбивання тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  з

**ТАБЛИЦЯ 1.** Шерсткість поверхні плівок, середні розміри зерен і площі кристалітів в тонких плівках  $Y_2O_3:Eu$ .<sup>3</sup>

Концентрація активатора $Eu^{3+}$ , мол.%	Метод одержання	Шерсткість поверхні, нм	Середній розмір зерна, нм	Середня площа кристалітів, $nm^2$
1,0	Дискретне випаровування	5,65	15,68	242
1,0	ВЧ-розпорощення	5,31	15,86	307
2,5	ВЧ-розпорощення	17,62	43,14	8027
5,0	ВЧ-розпорощення	81,33	352,94	111157
7,5	ВЧ-розпорощення	—	—	—



**Рис. 3.** Спектри ІЧ-відбивання тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  (5,0 мол.%), напорошених в атмосфері кисню (*а*) та аргону (*б*), тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  (2,5 мол.%), напорошених в атмосфері аргону (*в*), плівок  $Y_2O_3:Eu$  (1,0 мол.%), напорошених в атмосфері аргону (*г*), і чистої підкладки (*д*).<sup>4</sup>

різною концентрацією активатора, бачимо, що вони мають подібну структуру, однак збільшення концентрації активатора приводить до зростання відбивання в області  $1230\text{--}1250\text{ см}^{-1}$  (рис. 3). Коливні моди в  $Y_2O_3$  при нульовому хвильовому векторі (фундаментальні коливання) повністю визначаються коливаннями атомів елементарної комірки. Плівки оксиду ітрію  $Y_2O_3$  мають кубічну структуру [8] і відносяться до просторової групи  $Ia\bar{3}$ . Атоми ітрію займають дві позиції з точковою симетрією  $C_2$  і  $C_{3i}$  [13]. У спектрах комбінаційного розсіяння можуть проявлятися 22 коливні моди  $4A_g + 4E_g + 14F_g$  [14]. В ІЧ-спектрах проявляються переходи і за участю  $A_u$ -,  $E_u$ - та  $T_u$ -коливних мод [14–16]. Згідно з [17] у спектральній області  $100\text{--}1184\text{ см}^{-1}$  розташовані смуги фундаментальних коливань  $Y_2O_3$ . При цьому смуги, частоти яких перевищують  $300\text{ см}^{-1}$ , відносяться до внутрішніх коливань поліедрів  $YO_6$ . У спектральній області понад  $1184\text{ см}^{-1}$  спостерігаються двофононні процеси й обертони фундаментальних коливань.

Спостережувані смуги у спектрах ІЧ-відбивання плівок  $Y_2O_3:Eu$  наведено у табл. 2. Інтерпретацію коливних мод проведено з використанням результатів теоретико-групової аналізи і з можливими комбінаціями частот у центрі Бріллюєнової зони [14, 15, 18]. Як видно з таблиці 2, положення смуг двофононного поглинання добре узгоджується з можливим набором комбінацій однофононних частот, зумовлених коливанням ітрієвого октаедра  $YO_6$ .

Зазначимо, що між деякими частотами фононних коливань у тонкоплівкових і монокристалічних зразках спостерігаються відхилення, які перевищують роздільчу здатність вимірювань чи дисперсію фононних гілок. Таку ситуацію, найімовірніше, зумовле-

**ТАБЛИЦЯ 2.** Частоти й інтерпретація фононних переходів у тонких плівках  $Y_2O_3:Eu$ .<sup>5</sup>

Частоти, $\text{см}^{-1}$	Інтерпретація	Тип переходу
406	405	$T_u$
425	431	$T_g$
1218	830 + 383	$E_g + E_g$
1253	830 + 431	$E_g + T_g$
1381	1184 + 194	$A_g + E_g$
1419	948 + 471	$E_g + T_g$
	830 + 592	$E_g + F_g$
1432	948 + 480	$E_g + F_g$
	830 + 596	$E_g + T_g$
1503	1184 + 318	$A_g + F_g$
1594	1184 + 402	$A_g + F_g$
1650	1184 + 468	$A_g + F_g$

но тим, що плівки мають полікристалічну структуру, яка складається з нанорозмірних кристалітів, середні розміри яких змінюються від 16 до 353 нм при зміні концентрації активатора від 1 до 5 мол.%. Згідно з [19] смуги комбінаційного розсіювання для монокристалів і нанокристалічних керамік  $Y_2O_3$  є практично ідентичними. Тому, ймовірно, важливішим є вплив активатора. Зокрема, якщо врахувати, що згідно з [14] коливання фрагментів  $Eu-O$  мають менші частоти фононних переходів, ніж фрагментів  $Y-O$ , то в активованих плівках  $Y_2O_3:Eu$  має спостерігатися деяке зменшення частоти фононних переходів у фрагментах  $Y(Eu)-O$  при зростанні концентрації активатора. Це зафіксовано нами для коливних мод з частотами 406 і 425  $cm^{-1}$ , де величина частоти коливання при зростанні концентрації активатора зменшувалася до 6  $cm^{-1}$ .

Характерною особливістю спектрів ІЧ-відбивання тонких плівок  $Y_2O_3$ , одержаних методом дискретного випаровування [20] та спектрів комбінаційного розсіювання й ІЧ-відбивання порошкових зразків  $Y_2O_3$ , [15, 21] є наявність групи з чотирьох достатньо інтенсивних смуг в області 1100–1200  $cm^{-1}$ , які зумовлені деформаційними коливаннями фрагментів  $Y-O-H$  [22]. Відносно менша інтенсивність цих смуг у спектрах ІЧ-відбивання тонких плівок порівняно з порошкоподібними зразками вказує на меншу кількість водню у складі тонких плівок. Проведені експериментальні дослідження дегідратації в [22] виявили виділення водню в  $Y_2O_3$  до температури понад 1000°C. Враховуючи, що у спектрах ІЧ-відбивання одержаних нами тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  дані смуги відсутні, можна зробити висновок, що використання методи ВЧ-напорошення уможливорює одержати однорідніші плівки, ніж при дискретному напорошенні, і вміст водню в них є істотно меншим.

Одержані нами результати (рис. 3) показують, що смуги ІЧ-відбивання в області з максимумами 1218 і 1253  $cm^{-1}$  є достатньо чутливими до величини концентрації активатора  $Eu^{3+}$ , розміру кристалітів, які формують плівку  $Y_2O_3:Eu$ , та структурної досконалості плівок. Зокрема, зростання концентрації активатора і відповідно збільшення розміру кристалітів, а також зменшення структурної досконалості за рахунок напорошення у різних атмосферах [8] приводять до зростання інтенсивності даних смуг.

#### 4. ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показують, що при ВЧ-йонно-плазмовому напорошенні тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  збільшення концентрації активатора в межах 1,0–5,0 мол.% приводить до істотного збільшення розмірів кристалітів, які формують плівку від 16 до 353



нм відповідно. Одержані в роботі результати при дослідженні коливних спектрів можна використати при вивченні структури та досконалості тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$ , перебудови їхньої структури під час фазових переходів. Спектри ІЧ-відбивання корисні для інтерпретації плівок  $Y_2O_3:Eu$ , активованих різною концентрацією активатора, і дають можливість кількісно оцінювати величину цієї концентрації.

## ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА—REFERENCES

1. N. Yamamoto, *Cathodoluminescence* (Croatia: InTech: 2012).
2. А. С. Бугаев, В. Б. Киреев, Е. П. Шешин, А. Ю. Колодяжный, *УФН*, **185**, № 8: 853 (2015); A. S. Bugaev, V. B. Kireev, E. P. Sheshin, and A. Yu. Kolodyazhnyi, *Uspekhi Fiz. Nauk*, **185**, No. 8: 853 (2015) (in Russian).
3. S. H. Cho, S. H. Know, J. S. Yoo, C. W. Oh, J. D. Lee, K. J. Hong, and S. J. Kwone, *J. Electrochem. Soc.*, **147**, No. 8: 3143 (2000).
4. Q. Dai, M. E. Foley, C. J. Breshike, A. Lita, and G. F. Strouse, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, No. 39: 15475 (2011).
5. C. Shanga, X. Shang, Y. Qu, and M. Li, *Chem. Phys. Lett.*, **501**, Nos. 4–6: 480 (2011).
6. R. Srinivasan, N. R. Yogamalar, J. Elanchezhian, R. J. Joseyphus, and A. C. Bose, *J. Alloys Comp.*, **496**, Nos. 1–2: 472 (2010).
7. P. Packiyaraj and P. Thangadurai, *J. Lumin.*, **145**: 997 (2014).
8. O. M. Bordun, I. O. Bordun, and I. Yo. Kukharskyu, *J. Appl. Spectrosc.*, **82**, No. 3: 390 (2015).
9. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Электродинамика сплошных сред* (Москва: Наука: 1982); L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Ehlektrodinamika Sploshnykh Sred* (Moscow: Nauka: 1982) (in Russian).
10. X. Li, Q. Li, Z. Xia, L. Wang, W. Yan, J. Wang, and R. I. Boughton, *Cryst. Growth Des.*, **6**, No. 10: 2193 (2006).
11. S. X. Lu and Y. G. Liu, *J. Non-Cryst. Sol.*, **353**: 1037 (2007).
12. O. M. Bordun, I. O. Bordun, and I. Yo. Kukharskyu, *J. Appl. Spectrosc.*, **79**, No. 6: 982 (2013).
13. M. Buijs, A. Meyerink, and G. Blasse, *J. Lumin.*, **37**, No. 1: 9 (1987).
14. M. V. Abrashev, N. D. Todorov, and J. Geshev, *J. Appl. Phys.*, **116**, No. 10: 103508 (2014).
15. G. Schaack and J. A. Koningstein, *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, No. 8: 1110 (1970).
16. N. D. Todorov, M. V. Abrashev, V. Marinova, M. Kadiyski, L. Dimova, and E. Faulques, *Phys. Rev. B*, **87**, No. 10: 104301 (2013).
17. А. Андерсон, *Применение спектров комбинационного рассеяния* (Москва: Мир: 1977); A. Anderson, *Primenenie Spektrov Kombinatsionnogo Rasseyaniya* (Moscow: Mir: 1977) (Russian translation).
18. J. Gouteron, J. Zarembowitch, and A. Lejus, *CR Acad. Sci. Paris*, **289**: C243 (1979).
19. А. А. Каминский, К. Ueda, Н. J. Eichler, S. N. Bagaev, К. Takaichi, J. Lu, А. Shirakawa, Н. Yagi, and Т. Yanagitani, *Laser Phys. Lett.*, **1**, No. 1: 6 (2004).
20. О. М. Бордун, I. М. Бордун, *Укр. фіз. журн.*, **41**, № 4: 445 (1996);

- O. M. Bordun and I. M. Bordun, *Ukr. Fiz. Zhurn.*, **41**, No. 4: 445 (1996) (in Ukrainian).
21. В. Н. Стрекаловский, Ю. Н. Макурин, Г. Г. Касимов, Э. Г. Вовкотруб, *Изв. АН СССР. Неорган. материалы*, **22**, № 12: 2067 (1986); V. N. Strekalovskiy, Yu. N. Makurin, G. G. Kasimov, and Eh. G. Vovkotrub, *Izv. AN SSSR. Neorgan. Materialy*, **22**, No. 12: 2067 (1986) (in Russian).
22. К. Накомото, *ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений* (Москва: Мир: 1991); K. Nakomoto, *ИК-Спектры і Спектры КР Неорганічеських і Координатійних Соєдинєній* (Moscow: Mir: 1991) (Russian translation).

---

<sup>1</sup>*Ivan Franko National University of Lviv,  
50, Drahomanov Str.,  
UA-79005 Lviv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Technical Centre, N.A.S. of Ukraine,  
13, Pokrovska Str.,  
UA-04070 Kyiv, Ukraine*

<sup>1</sup> Fig. 1. SEM micrographs of surface of thin films of  $Y_2O_3:Eu$  obtained by discrete evaporation (*a*, *б*) and RF ion-plasma sputtering in an argon atmosphere (*в*, *г*) with activator concentration of 1 mol.%. Images *a* and *в* are two-dimensional, *б* and *г* are three-dimensional.

<sup>2</sup> Fig. 2. SEM micrographs of surface of thin films of  $Y_2O_3:Eu$  obtained by RF ion-plasma sputtering in an argon atmosphere with activator concentration of 2.5 mol.% (*a*, *б*) and 5 mol.% (*в*, *г*). Images *a* and *в* are two-dimensional, *б* and *г* are three-dimensional.

<sup>3</sup> TABLE 1. The roughness of film surface, the average grain size and area of the crystallites in thin films  $Y_2O_3:Eu$ .

<sup>4</sup> Fig. 3. IR-reflection spectra of thin films  $Y_2O_3:Eu$  (5.0 mol.%) obtained in an atmosphere of oxygen (*a*) and argon (*б*), thin films  $Y_2O_3:Eu$  (2.5 mol.%) obtained in an argon atmosphere (*в*), films  $Y_2O_3:Eu$  (1.0 mol.%) obtained in an argon atmosphere (*г*), and pure quartz substrate (*д*).

<sup>5</sup> TABLE 2. Frequencies and interpretation of phonon transitions in thin films  $Y_2O_3:Eu$ .