

АНОТАЦІЯ

Кофлюк І. М. Формування структури та оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок на основі оксиду ітрію, активованого іонами європію.

– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» (10 – Природничі науки). – Львівський національний університет імені Івана Франка, Міністерство освіти і науки України. Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2023.

Дисертаційна робота присвячена експериментальному дослідженню та теоретичному обґрунтуванню структурних, оптичних і люмінесцентних властивостей чистих та активованих тривалентними іонами рідкісноземельного металу Eu^{3+} тонких плівок Y_2O_3 .

На сьогоднішній день триває активний пошук та дослідження нових люмінофорів та розширення сфери застосування раніше синтезованих люмінофорів. Значно розширили можливості у даній області сучасні методи синтезу наноматеріалів. Наноструктурні матеріали мають властивості, які часто суттєво відрізняються від властивостей з їх макроскопічними аналогами. Ці особливості у першу чергу визначаються зміною електронного розподілу, яка зумовлена малими розмірами об'єктів дослідження. Важливим ефектом при зменшенні розмірності є зростання відношення поверхні до об'єму і, таким чином, посилення ролі поверхневої енергії.

Оксид ітрію є перспективним матеріалом, який вже використовується на практиці і передбачається розширення областей його застосування в різних галузях оптоелектроніки, зокрема як компоненти білих світлодіодних люмінофорів, матеріалів для перетворення з підвищенням частоти при виготовленні лазерів, особливо в інфрачервоному діапазоні, та в прозорій електроніці. Цей матеріал може бути використаний для перетворення інфрачервоного світла на світло з коротшою довжиною хвилі, таке як зелене світло, що має більш високу частоту. Перспектива використання його як матеріалу для оптичних пристроїв визначається великою шириною забороненої зони ($\sim 5,5$ eV), низькою енергією фонів (~ 600 cm^{-1}) і високим коефіцієнтом пропускання в широкій спектральній області (230-8000 нм).

Крім того, висока корозійна стійкість, висока термічна, механічна, хімічна стабільність та малотоксичні властивості роблять його досить перспективним матеріалом для застосування у біологічних процесах. Також, оксид ітрію широко використовується як вихідний матеріал матриці для введення різних легуючих домішок рідкісноземельних елементів при створенні біологічних зображень та фотодинамічної терапії.

Кристалічні тонкі плівки Y_2O_3 , леговані рідкісноземельними елементами, є привабливою системою для широкого спектру пристроїв фотоніки, включаючи квантові технології. Ці квантові технології спрямовані на використання оптичних або спінових переходів з тривалим часом когерентності для досягнення нових функцій, таких як квантове зберігання або обробка інформації. Оксид ітрію, легований Eu^{3+} , є практично ідеальним люмінофором з червоним випромінюванням та одним із найбільш широко використовуваних в оптоелектронних пристроях.

Метою дисертаційної роботи є встановлення впливу методів та умов одержання на формування структури тонких плівок Y_2O_3 та $Y_2O_3:Eu$, на оптичні характеристики, особливості екситон-фононної взаємодії в цих плівках і використання спектральних та кінетичних характеристик катодолюмінесценції тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ для аналізу їх структурної досконалості.

Об'єкт дослідження – дифрактограми, мікрофотографії поверхні тонких плівок, оптико – спектральні, люмінесцентні та кінетичні характеристики свічення тонких плівок Y_2O_3 , Sc_2O_3 , $Y_2O_3:Eu$ та $Gd_2O_3:Eu$.

Предмет дослідження – процеси та закономірності, що визначають формування структури тонких плівок, поглинання світла різних довжин хвиль, вплив структурних дефектів на спектральні та кінетичні характеристики катодолюмінесценції тонких плівок оксидів ітрію та гадолінію, активованих європієм.

Описано особливості отримання тонкоплівкових зразків $Y_2O_3:Eu$ методом високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення в різних атмосферах. На основі рентгенофазового аналізу досліджено фазовий склад отриманих плівок та розглянуто різні причини розширення дифракційних смуг. Показано, що збільшення в розпилюваній атмосфері Ag вмісту O_2 приводить до зменшення розмірів нанокристалів, які формують плівку $Y_2O_3:Eu$, від 5.9 до 5.0 нм та зменшення

структурної досконалості плівок і збільшення в них механічних напружень. Показано, що при ВЧ іонно-плазмовому напиленні в атмосфері суміші аргону й кисню різного процентного складу одержуються тонкі плівки $Y_2O_3:Eu$ з розмірами кристалітів 5.5 – 7.0 нм. Відпал на повітрі приводить до впорядкування кубічної структури плівок і збільшення розмірів кристалітів до 28.0 – 32.0 нм.

Показано, що швидкість нанесення тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ при ВЧ-розпиленні визначається тиском робочого газу і дана залежність характеризується оптимальним значенням тиску. Встановлено, що збільшення парціального тиску кисню в розпилювальній атмосфері ($Ar+O_2$) приводить до зменшення швидкості напилення. Показано, що швидкість нанесення плівок $Y_2O_3:Eu$ практично не залежить від концентрації активатора в межах від 0 до 10 мол. %, а плівки з концентрацією активатора 7.5 мол. % володіють найвищою яскравістю катодолюмінесценції.

Досліджено структуру поверхні та спектри катодолюмінесценції отриманих тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ та $Gd_2O_3:Eu$, отриманих методом ВЧ іонно-плазмового напилення. На основі форми спектрів КЛ показано можливість утворення нерегулярних розчинів оксиду ітрію та європію, гадолінію та європію у відповідних плівках. Встановлено, що іони Eu^{3+} більш рівномірно замінюють іони Gd^{3+} у кубічній гратці $Gd_2O_3:Eu$ порівняно із заміщенням іонами Eu^{3+} іонів Y^{3+} у кубічній гратці Y_2O_3 .

За допомогою методу атомно-силової мікроскопії (АСМ) досліджено морфологію поверхні тонких плівок. Показано, що при переході від ВЧ розпилення до дискретного випаровування зростає середня квадратична шорсткість поверхні при близьких величинах діаметрів нанокристалічних зерен на поверхні плівок. Встановлено, що розподіл зерен за діаметром при ВЧ-розпиленні відповідає нормальному логарифмічному розподілу з одним центром розподілу, а при дискретному випаровуванні з двома центрами розподілу. Співвідношення центрів розподілу вказує на зрощування зерен між собою.

Описано особливості отримання тонкоплівкових зразків $Y_2O_3:Eu$ методом високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення з різною концентрацією активатора 1, 2.5 і 5 мол.%. Досліджено морфологію поверхні цих тонких плівок та показано, що при зростанні концентрації активатора зростає середній розмір кристалічних зерен які формують плівки. На основі аналізу результатів розподілу

розмірів зерен встановлено, що при концентраціях активатора 1 і 5 мол. % спостерігаються мономодальні розподіли, а при концентрації активатора 2.5 мол. % спостерігається бімодальний розподіл за рахунок зростання вторинних зерен. Проведено аналіз логнормальної залежності, яку використано для опису розподілу розмірів кристалічних зерен.

Досліджено довгохвильовий край смуги фундаментального поглинання тонких плівок Y_2O_3 і Sc_2O_3 , одержаних методом дискретного випаровування у вакуумі. На основі його температурної залежності досліджено екситон-фононну взаємодію, що дало можливість інтерпретувати край поглинання як поглинання автолокалізованих екситонів. Для аналізу експериментальних результатів використано модель сильно легovanого або дефектного напівпровідника в квазикласичному наближенні. Використання даної моделі дозволило оцінити радіус основного електронного стану a , радіус екранування r_S і концентрацію вільних носіїв заряду N у досліджуваних плівках.

Досліджено довгохвильовий край смуги фундаментального поглинання тонких плівок Y_2O_3 , отриманих методом високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення в різних атмосферах. Показано, що при нанесенні плівок в атмосфері аргону, кисню або суміші даних газів край міжзонного поглинання добре апроксимується емпіричним правилом Урбаха. Для аналізу експериментальних результатів проаналізовано дифрактограми отриманих плівок, а для опису крайового поглинання використано модель сильно легovanого або дефектного напівпровідника у квазикласичному наближенні. Використання цієї моделі дозволило визначити, залежно від атмосфери розпилення, радіус основного електронного стану a , радіус екранування r_S та середньоквадратичний потенціал Δ .

Здійснено дослідження спектрів та кінетик розгоряння і згасання КЛ тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ одержаних методом високочастотного іонно-плазмового розпилення. Після аналізу форми спектрів КЛ, при різних енергіях збудження, показано можливість створення нерегулярних розчинів оксиду ітрію та європію у зразках $Y_2O_3:Eu$ та зростання числа іонів активатора у стані пониженої симетрії C_2 у глибині плівки щодо поверхні. Встановлено, що постійна часу загасання катодолюмінесценції для свічення 612 нм знаходиться в області 1.8–4.1 мс. Величина постійної часу

загасання - складна функція, яка залежить від атмосфери нанесення плівок, концентрації активатора та тривалості збуджуючих імпульсів. Здійснено дослідження особливостей розгоряння КЛ та на основі її затримки запропоновано здійснювати аналіз структурної досконалості тонких плівок $Y_2O_3:Eu$. Поліпшення передачі енергії від поглинених плівкою електронів до активаторних центрів спостерігається при збільшенні дози опромінення, тобто тривалості збуджуючих імпульсів КЛ від 3×10^{-4} с до 10^{-3} с. Виходячи з кінетики згасання люмінесценції проаналізовано вплив структурних неоднорідностей плівок на механізм передачі енергії поглинених електронів до іонів активатора і зроблено висновок, що приповерхневі шари є структурно більш неоднорідними ніж об'ємні.

Ключові слова: оксид ітрію, тонкі плівки, морфологія поверхні, кристалічна структура, край фундаментального поглинання, густина станів, спектри люмінесценції, кінетика люмінесценції.

ABSTRACT

Kofliuk I. M. Structure formation and optical-luminescence properties of thin films based on yttrium oxide activated by europium ions. - Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty of 105 "Applied Physics and Nanomaterials" (10 - Natural Sciences) - Ivan Franko National University of Lviv, Ministry of Education and Science of Ukraine. Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2023.

The thesis is devoted to experimental investigation and theoretical explanation of the structural, optical and luminescent properties of pure and rare-earth metal activated Y_2O_3 thin films doped with trivalent Eu^{3+} ions.

Nowadays, there is an active search for and research of new phosphors and an expansion of the scope of previously synthesized phosphors. Modern methods of synthesizing nanomaterials have significantly expanded the possibilities in this area. Nanostructured materials have properties that often differ significantly from those of their macroscopic counterparts. These features are primarily determined by changes in the electronic distribution caused by the small size of the objects of study. An important consequence of size reduction is an increase in the surface to volume ratio and, thus, an increase in the role of surface energy.

Yttrium oxide is a promising material that is already being used in practice, and its application areas are expected to expand in various optoelectronics fields, including as a component in white LED phosphors, materials for frequency upconversion in laser manufacturing, especially in the infrared range, and in transparent electronics. This material can be used to convert infrared light into light with a shorter wavelength, such as green light, which has a higher frequency. The prospect of using it as a material for optical devices is determined by its wide bandgap (~ 5.5 eV), low phonon energy (~ 600 cm^{-1}), and high transmittance coefficient in a wide spectral range (230-8000 nm). In addition, its high corrosion resistance, high thermal and mechanical stability, chemical stability, and low toxicity make it a very promising material for use in biological processes. Furthermore, yttrium oxide is widely used as a starting material for introducing various rare earth element dopants into the matrix when creating biological imaging and photodynamic therapy.

Crystalline thin films of Y_2O_3 doped with rare-earth elements are an attractive system for a wide range of photonic devices, including quantum technologies. These quantum

technologies aim to utilize optical or spin transitions with long coherence times to achieve new functionalities such as quantum storage or information processing. Yttrium oxide doped with Eu^{3+} is an ideal luminescent material with red emission and one of the most widely used in optoelectronic devices.

The purpose of this dissertation work is to establish the influence of the method and conditions of obtaining on the formation of the structure of thin films of Y_2O_3 and $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$, on the peculiarities of exciton-phonon interaction in these films, and to use the spectral and kinetic characteristics of cathodoluminescence of thin films of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ to analyze their structural perfection.

A research object is diffractograms, microphotographs of the surface of thin films, optic-spectral, luminescent, and kinetic characteristics of the luminescence of thin films of Y_2O_3 , Sc_2O_3 , $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ and $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}$.

The paper describes the peculiarities of obtaining $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin-film samples by radio-frequency (RF) ion-plasma sputtering in different atmospheres. On the basis of X-ray phase analysis, the phase composition of the obtained films is investigated and various reasons for the broadening of diffraction bands are considered. It is shown that an upscaling of the O_2 content in the sputtered Ar atmosphere leads to a decrease in the size of the nanocrystallites forming the $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ film from 5.9 to 5.0 nm and a decrease in the structural perfection of the films and an increase in mechanical stresses in them. It has been shown that thin films of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ with crystallite sizes of 5.5-7.0 nm are obtained by RF ion-plasma sputtering in an atmosphere of a mixture of argon and oxygen of different percentages. Annealing in air leads to an ordering of the cubic structure of the films and an increase in the size of crystallites to 28.0 - 32.0 nm.

It has been shown that the deposition rate of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin films at RF sputtering is determined by the pressure of the working gas and this dependence is characterized by an optimal value. It is established that an increase in the partial pressure of oxygen in the sputtering atmosphere ($\text{Ar}+\text{O}_2$) leads to a decrease in the sputtering rate. It is shown that the deposition rate of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ films is practically independent of the activator concentration in the range from 0 to 10 mol. %, and films with an activator concentration of 7.5 mol. % have the highest cathodoluminescence brightness.

The surface structure and cathodoluminescence spectra of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ and $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin films obtained by the RF ion-plasma sputtering method have been investigated. Based on the shape of the Raman spectra, the possibility of the formation of irregular solutions of

yttrium and europium oxide, gadolinium, and europium in the corresponding films is shown. It was found that Eu^{3+} ions replace Gd^{3+} ions in the $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ cubic lattice more evenly than the replacement of Y^{3+} ions by Eu^{3+} ions in the Y_2O_3 cubic lattice.

The surface morphology of thin films has been studied by atomic force microscopy (AFM). It is shown that during the transition from RF sputtering to discrete evaporation, the mean square surface roughness increases at close values of the diameters of nanocrystalline grains on the surface of the films. It was found that the distribution of grains by diameter at RF sputtering corresponds to a normal logarithmic distribution with one distribution center and at discrete evaporation with two distribution centers. The ratio of the distribution centers indicates that the grains are spliced together.

The peculiarities of obtaining $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin-film samples by radio-frequency (RF) ion-plasma sputtering with different activator concentrations of 1, 2.5, and 5 mol% are described. The surface morphology of these thin films was studied and it was shown that the average size of the crystalline grains forming the films increases with increasing activator concentration. Based on the analysis of the results of the grain size distribution, it was found that at activator concentrations of 1 and 5 mol. % monomodal distributions are observed at an activator concentration of 2.5 mol. %, a bimodal distribution is observed due to the growth of secondary grains. The lognormal dependence was analyzed and used to describe the distribution of crystal grain sizes.

The long-wavelength edge of the fundamental absorption band of Y_2O_3 and Sc_2O_3 thin films prepared by the method of discrete evaporation in a vacuum has been studied. On the basis of its temperature dependence, the exciton-phonon interaction was investigated, which allowed us to interpret the absorption edge as the absorption of self-localized excitons. To analyze the experimental results, we used a model of a heavily doped or defective semiconductor in the quasi-classical approximation. The use of this model allowed us to estimate the radius of the ground electronic state a , the shielding radius r_s , and the concentration of free charge carriers N in the studied films.

The long-wavelength edge of the fundamental absorption band of Y_2O_3 thin films obtained by radio-frequency (RF) ion-plasma sputtering in different atmospheres has been studied. It is shown that when the films are deposited in an atmosphere of argon, oxygen, or a mixture of these gases, the edge of the interband absorption is well approximated by the empirical Urbach's rule. To analyze the experimental results, we analyzed the diffractograms of the obtained films, and to describe the edge absorption, we used the model of a heavily

doped or defective semiconductor in the quasi-classical approximation. The use of this model allowed us to determine, depending on the sputtering atmosphere, the radius of the ground electronic state a , the shielding radius r_s , and the root-mean-square potential Δ .

The spectra and kinetics of the cathodoluminescence (CL) ignition and quenching of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin films obtained by RF ion-plasma sputtering have been investigated. On the basis of the shape of the CL spectra at different excitation energies, the possibility of the formation of irregular yttrium and europium oxide solutions in $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin films and the increase in the number of Eu^{3+} ions in the state of reduced C_2 symmetry in the depth of the film relative to the surface is shown. The CL decay time constant for the 612 nm luminescence was determined, its value being in the range (1.8 - 4.1) ms. It is shown that this value is a complex function that depends on the type of sputtering atmosphere, activator concentration, and duration of the excitation pulses. The peculiarities of the CL ignition are investigated and it is proposed to analyze the structural perfection of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ thin films on the basis of the CL ignition delay. An improvement in the energy transfer from the electrons absorbed by the film to the activator centers is observed with an increase in the irradiation dose, i.e., the duration of the CL excitation pulses from 3×10^{-4} s to 10^{-3} s. Based on the kinetics of luminescence decay, the influence of structural inhomogeneities of the films on the mechanism of energy transfer from absorbed electrons to activator ions is analyzed and it is concluded that the near-surface layers are structurally more heterogeneous than the bulk layers.

Keywords: yttrium oxide, thin films, surface morphology, crystal structure, fundamental absorption edge, density of states, luminescence spectra, luminescence kinetics.

СПИСОК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у вітчизняних наукових фахових виданнях

1. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid, O. Ya. Mylyo, D. S. Leonov Synthesis and Structure of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2019. – V. **17**, № 4. – P. 711–716. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15407/nnn.17.04.711>
2. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska. Morphology of Thin Films $Y_2O_3:Eu$ Obtained by Different Methods // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – V. **18**, №1. – 53-58. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15407/nnn.18.01.053>
3. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska, D. S. Leonov Effect of Activator Concentration on the Morphology of Thin Films of $Y_2O_3:Eu$ Obtained by Radio-Frequency Sputtering // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – V. **18**, № 3. – P. 715-722. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15407/nnn.18.03.717>
4. **I.M. Kofliuk** Thin oxide films for transparent electronics and full color displays / O.M. Bordun, B.O. Bordun, I.M. Kofliuk, I.Yo. Kukharskyy, I.I. Medvid, M.V. Protsak // 2021 IEEE XIIth International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT) Proceedings, Ukraine, Lviv, May 19-21, 2021, P.33-36. <https://doi.org/10.1109/ELIT53502.2021.9501095>
5. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska and D. S. Leonov Surface Morphology of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films at Different Activator Concentrations // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2022. – V. **20**, № 1. – P. 91-96. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15407/nnn.20.01.091>
6. O.M. Bordun, I.O. Bordun, **I.M. Kofliuk**, I.Yo. Kukharskyy, I.I. Medvid, I. M. Kravchuk, M. S. Karkulovska, D.S. Leonov Deposition of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films by Radio-Frequency Sputtering // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii – 2022, – V. **20**, № 3 – P. 639–645. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15407/nnn.20.03.639>

7. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid Density of states and interband light absorption in Y_2O_3 and Sc_2O_3 thin films // *Physics And Chemistry Of Solid State*. - 2022. -V. **23**, № 1. - pp.40-44. (Scopus, Q4)
<https://doi.org/10.15330/pcss.23.1.40-44>
8. O. Bordun, B. Bordun, **I. Kofliuk** I. Kukharskyy, I. Medvid Analysis Of Spectral And Kinetic Characteristics Of Cathodoluminescence Of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films As A Red Component Of Full-Color High-Resolution Fluorescent Displays // *Electronics and information technologies* – 2022. Issue **18**.– P. 34–43.
<https://doi.org/10.30970/eli.18.4>

Статті у закордонних наукових фахових виданнях:

1. O.M. Bordun, I.O. Bordun, I. Yo. Kukharskyy, **I.N. Kofliuk**. Features of Formation and Cathodoluminescence of Thin Films of Yttrium and Gadolinium Oxides Activated by Europium // *J. Appl. Spectrosc.* – 2019. – V.**86**, №4. – 711-714. (Scopus, Q4)
<https://doi.org/10.1007/s10812-019-00884-4>
2. O. M. Bordun, I. O. Bordun, I. M. Kofliuk, I. Yo. Kukharskyy, I. I. Medvid Influence of the Composition of the Radio-Frequency Sputtering Atmosphere on the Density of States and Interband Light Absorption in thin Y_2O_3 Films // *J. Appl. Spectrosc.* – 2022. – V.**88**, №6. – p. 1152–1156. (Scopus, Q4)
<https://doi.org/10.1007/s10812-022-01292-x>

Тези доповідей і матеріали наукових конференцій

1. **Кофлюк І.М.** Вплив концентрації активатора на структуру та катодолумінесцентні властивості тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ / І. Кофлюк, С. Марцеховський // Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2018» (Тези доповідей). - Львів 2018. – с. В19.
2. **Кофлюк І.М.** Зміна морфології поверхні та особливості катодолумінесценції тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ при зростанні концентрації активатора / І.М. Кофлюк // Матеріали науково-практичної коференції «Реформування та розвиток гуманітарних та природничих наук». – Харків 2019. – С.119-121.

3. **Kofliuk I.M.** Morphology of thin films $Y_2O_3:Eu$ obtained by different methods / Bordun O.M., Bordun I.O, Kofliuk I.M., Kukharskiy I.Yo. // XXII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids, Ukraine, Lviv, June 17-19, 2020. P.87-88.
4. **Кофлюк І. М.** Вплив концентрації активатора на морфологію тонких плівок $Y_2O_3:Eu$, одержаних високочастотним розпиленням / Кофлюк І. М. , Медвідь І. І. // Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА–2020, Україна, Львів, 6-7 жовтня 2020 р. – с. С11.
5. **Kofliuk I.M.** Thin oxide films for transparent electronics and full color displays / Bordun O.M., Bordun B.O., Kofliuk I.M., Kukharskyu I.Yo., Medvid I.I., Protsak M.V. //2021 IEEE XIIth International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), Ukraine, Lviv, May 19-21, 2021.
6. **Kofliuk I.M.** Microstructure and cathodoluminescence of $Y_2O_3:Eu$ i $Gd_2O_3:Eu$ thin films / Bordun O.M., Kofliuk I.M., Kukharskyu I.Yo., // 9th International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials" (NANO-2021), Ukraine, Lviv, August 25-27, 2021.
7. **Kofliuk I.M.** Spectral and kinetic characteristics of cathodoluminescence of $Y_2O_3:Eu$ thin films / Bordun O.M., Bordun B.O., Kofliuk I.M., Kukharskyu I.Yo., Medvid I.I. //OMEE-2021 6th International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and application (OMEE), Ukraine, Lviv, September 28 - October 2, 2021, P.127.
8. **Кофлюк І. М.** Вплив концентрації активатора на морфологію тонких плівок $Y_2O_3:Eu$, одержаних високочастотним розпиленням / Іванна Медвідь, Богдан Бордун, Ірина Кофлюк, Данило Максимчук// Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА–2022, Україна, Львів, 18-20 жовтня 2022 р. – В. В1.