

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ФІЗИЧНОЇ ОПТИКИ ІМЕНІ О.Г.ВЛОХА

**Медвідь Іванна Іванівна**

УДК 535.34; 535.373

**ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕКОМБІНАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ТОНКИХ  
ПЛІВКАХ НА ОСНОВІ СКЛАДНОГО ОКСИДУ  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$**

01.04.05 – оптика, лазерна фізика

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

ЛЬВІВ – 2018

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана у Львівському національному університеті імені Івана Франка, Міністерство освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Бордун Олег Михайлович,**  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка,  
професор кафедри фізичної та  
біомедичної електроніки

**Офіційні опоненти:** доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник  
**Падляк Богдан Володимирович,**  
Інститут фізичної оптики імені О. Г. Влоха МОН України,  
м. Львів,  
завідувач сектору спектроскопії

доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник  
**Попович Дмитро Іванович,**  
Інститут прикладних проблем механіки і математики  
імені Я. С. Підстригача НАН України,  
завідувач відділу фізико-математичного моделювання  
низьковимірних систем

Захист відбудеться “9” листопада 2018 р. о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.071.01 при Інституті фізичної оптики імені О. Г. Влоха за адресою: 79005, м. Львів, вул. Драгоманова 23.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту фізичної оптики імені О. Г. Влоха за адресою: 79005, м. Львів, вул. Драгоманова 23.

Автореферат розісланий “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, канд. фіз.-мат. наук,  
ст. наук. співроб.

КОСТИРКО М.Є.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На даний час інтерес до металооксидних матеріалів зумовлений широкими можливостями їх використання у сучасній оптоелектроніці та приладобудуванні. Велика ширина забороненої зони, великі значення діелектричної проникливості роблять їх перспективними при розробці повноколірних екранів, відбиваючих покриттів, газових сенсорів, детекторів випромінювання ультрафіолетового діапазону. Дослідження сполуки  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , яка належить до провідних прозорих оксидів, зокрема у тонкоплівковому стані, отриманої різними способами, виявили ряд цікавих властивостей. В результаті чисті або леговані плівки  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  використовуються як прозорі провідні електроди, фотолюмінофори, катодолюмінофори чи електролюмінофори залежно від способу одержання і легуючої домішки. Плівки, одержані в окислювальній атмосфері, проявляють діелектричні властивості. Якщо плівки вирощують у відновному середовищі, то вони володіють напівпровідниковими властивостями (*n*-тип провідності). В загальному, оптичні та електричні характеристики плівок  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  визначаються методами виготовлення, режимами нанесення і наступними технологічними прийомами, а також введенням домішок, які здатні цілеспрямовано змінювати властивості тонких шарів оксидів. З цією метою в роботі поряд з плівками  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  були досліджені тонкі плівки  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ , у яких частина іонів  $\text{Ga}^{3+}$  була замінена на іони  $\text{Y}^{3+}$ , що не вимагало локальної компенсації електричного заряду. Це зумовлено тим, що плівки  $\text{Y}_2\text{O}_3$  є також доволі перспективними з точки зору їх використання в оптоелектроніці і люмінесцентній техніці.

Дослідження оптико-люмінесцентних властивостей тонких плівок видається достатньо актуальним, оскільки це дає важливу інформацію про їх енергетичну будову. Такі дослідження дають можливість краще дослідити центри люмінесценції у тонких плівках на основі  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , оскільки ефективність люмінесценції в цих плівках у значній мірі визначається особливостями рекомбінаційного процесу, зумовленого, як правило, центрами свічення дефектного походження.

Одним із важливих завдань для розширення використання люмінесцентних плівок на основі  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  є збільшення їх провідності. Невисока провідність люмінофорів при електронному опроміненні приводить до накопичення електронів на люмінесцентному екрані, внаслідок чого зменшується ефективність люмінесценції. Для зміни провідності плівок на основі  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  використовується декілька методів, один з яких – відпал у різних атмосферах при високих температурах.

У зв'язку з цим в роботі досліджуються оптико-люмінесцентні та електрофізичні властивості тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ , отриманих методом високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення, який є оптимальним

для одержання напівпровідникових та діелектричних плівок.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі фізичної та біомедичної електроніки Львівського національного університету імені Івана Франка відповідно з держбюджетними темами: „Оптоелектронний пристрій та нанобіотехнологія кількісної оцінки бактерицидної дії колоїдних розчинів наночастинок металів” (номер державної реєстрації № 0115U003256) і “Оптоелектронний пристрій для реєстрації клітинних об’єктів” (номер державної реєстрації № 0112U001289).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є вивчення оптичних властивостей тонких плівок на основі  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ , особливостей їх люмінесцентних характеристик залежно від умов одержання, встановлення механізмів випромінювання та дослідження характеристик центрів свічення, визначення методів збільшення електропровідності цих плівок і, як наслідок, створення на цій основі ефективних люмінесцентних матеріалів для дисплейного застосування.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- одержання тонких плівок на основі  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ ;
- дослідження структури, хімічного складу та морфології поверхні отриманих зразків;
- вивчення оптичних властивостей одержаних тонких плівок в області краю фундаментального поглинання та у видимій області спектру;
- вивчення спектрального складу, особливостей люмінесценції досліджуваних сполук та визначення центрів люмінесценції;
- аналіз отриманих експериментальних результатів та інтерпретація механізмів випромінювання і фотостимульованих процесів у люмінесцентних тонких плівках на основі  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ .

**Об’єкт дослідження** – оптико-спектральні, люмінесцентні та електрофізичні характеристики тонких плівок на основі  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ .

**Предмет дослідження** – процеси, що супроводжують поглинання світла різних довжин хвиль, механізми генерації та релаксації електронних збуджень, фотоелектричні процеси в люмінесцентних матеріалах на основі тонких плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ .

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої в роботі мети використано такі методи дослідження:

- метод рентгенівської дифрактометрії;
- метод атомно-силової мікроскопії;
- спектрофотометричний метод для визначення оптичних параметрів;
- метод люмінесцентної спектроскопії;
- метод кореляційної спектроскопії;

– метод інфрачервоної спектроскопії.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Під час виконання дисертаційної роботи вперше:

- отримано методом ВЧ іонно-плазмового розпилення на підкладках з плавленого кварцу тонкі плівки  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  товщиною 0.2 – 0.8 мкм;
- досліджено кристалічну структуру, морфологію поверхні та якісний склад одержаних плівок. Встановлено, що при використанні методу ВЧ іонно-плазмового розпилення на аморфних підкладках з плавленого кварцу осаджуються полікристалічні плівки відповідного хімічного складу, структура яких визначається умовами термообробки. При цьому склад атмосфери відпалу не виявляє суттєвого впливу на розміри кристалітів, які становлять 30 – 34 нм;
- досліджено спектри ІЧ відбивання тонких плівок  $\beta$ - $Ga_2O_3$  на кварцових підкладках, проведено інтерпретацію отриманих результатів, встановлено частотні зміщення коливних мод у нанокристалітах плівки  $\beta$ - $Ga_2O_3$  відносно монокристалічних зразків та показано, що величини цих зміщень є суттєво меншими ніж у відомих нанотрубках  $\beta$ - $Ga_2O_3$  подібних розмірів;
- встановлено, що для плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ , відпалених у атмосфері кисню та аргону спостерігається нормальна дисперсія показника заломлення, а відновлених у атмосфері водню – аномальна. Показано зв'язок дисперсійної кривої у видимій області з кристалохімічними властивостями в тонких плівках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та встановлено, що основний вклад у дисперсійну криву у видимій області дає смуга поглинання, зумовлена електронними переходами з 2p-станів атомів O, які формують верхній заповнений рівень валентної зони у дно зони провідності, утворене гібридизованими 2p-станами O і 4s-станами Ga;
- досліджено область краю фундаментального поглинання та встановлено кореляцію між величиною оптичної ширини забороненої зони  $E_g$  і складом атмосфери відпалу. Зокрема виявлено, що оптична ширина забороненої зони  $E_g$  зростає від 4.66 еВ для плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ , відпалених у атмосфері кисню до 4.87 еВ після відновлення відпалених плівок у атмосфері водню. Показано, що зсув краю фундаментального поглинання в плівках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  при зміні складу атмосфери відпалу зумовлений ефектом Бурштейна-Мосса;
- встановлено складний характер спектрів люмінесценції тонких плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta$ - $Ga_2O_3$  при різних видах та енергіях збудження, проведено розклад спектрів на елементарні складові та визначено центри люмінесценції в досліджуваних плівках. Розглянуто природу двох інтенсивних смуг з максимумами в області 3.00 і 3.15 еВ, а також двох слабоінтенсивних смуг свічення з максимумами в області 4.00 і 4.25 еВ. Дві інтенсивні смуги пов'язуються з асоціатом, зумовленим взаємодією вакансій кисню і галію, слабоінтенсивні – з рекомбінацією екситонів на квантових ямах, сформованих акцепторними

кластерами. Близькість постійних часу загасання для смуги з максимумом 3.15 eV (105 мкс) і для смуги з максимумом 3.00 eV (114 мкс) підтверджує їх зв'язок зі спільним асоціатом;

– досліджено провідність та фотоелектричні властивості тонких плівок  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та встановлено, що після відпалу у відновній атмосфері водню відбувається значне зменшення питомого опору плівок від 10<sup>11</sup> Ом×см для свіжонанесених плівок до 10<sup>8</sup> Ом×см. Проведено аналіз отриманих результатів. Показано, що незалежно від складу атмосфери відпалу в тонких плівках  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> спостерігається ефект фотопровідності, який пов'язується із зона-зонними переходами зі створенням вільних носіїв заряду в зоні провідності.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в роботі експериментальні і практичні результати мають важливе значення для матеріалознавства та оптоелектроніки, серед найсуттєвіших з яких слід зазначити наступні.

1. Встановлено оптимальні умови одержання тонких полікристалічних плівок (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на аморфних підкладках із плавленого кварцу та досліджено кореляцію умов одержання з оптико-спектральними характеристиками даних плівок.

2. Встановлений зв'язок дисперсійних властивостей з кристалохімічними властивостями тонких плівок (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дає можливість впливати на дисперсійні властивості при зміні технологічних умов одержання.

3. Встановлений зв'язок спектрів люмінесценції з кристалохімічними властивостями тонких плівок (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дає змогу цілеспрямованіше використовувати зміни технологічних умов одержання з метою корегування люмінесцентно-спектральних властивостей даних плівок.

4. Показано вплив відновної атмосфери відпалу на підвищення електропровідності тонкоплівкових люмінофорів на основі  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для застосування в катодолюмінесцентних чи електролюмінесцентних екранах, в польово-емісійних дисплеях.

**Особистий внесок здобувача.** Пошук та аналіз літературних джерел за тематикою дисертаційного дослідження виконано автором особисто. Постановка завдання здійснювалась за безпосередньої участі автора. Підготовка експериментів, одержання тонкоплівкових зразків на основі (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, всі оптико-люмінесцентні дослідження спектрів проведені безпосередньо за участю автора. В теоретичних розрахунках автор брала участь у постановці завдань та проведенні обчислень. Більшість математичної обробки оптичних спектрів виконана дисертантом особисто. Автор приймала участь в обговоренні результатів досліджень та підготовці матеріалів до друку. Висновки даної дисертаційної роботи належать автору.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях:

- Науково-технічна конференція “Фізика, електроніка, електротехніка 2015” (м. Суми, 2015);
- Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА–2015 (м. Львів, 2015);
- XV International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (Ivano-Frankivsk, 2015);
- Науково-технічна конференція “Фізика, електроніка, електротехніка 2016” (м. Суми, 2016);
- IV Міжнародна науково-практична конференція “Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка” (м. Кременчук, 2016);
- Науково-технічна конференція “Фізика, електроніка, електротехніка 2017” (м. Суми, 2017);
- XVI International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (Ivano-Frankivsk, 2017);
- International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and applications (Lviv, 2017);
- щорічних звітних наукових конференціях Львівського національного університету 2014 – 2016 рр.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з них 7 статей у реферованих виданнях та 8 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 148 сторінок включно зі списком використаних джерел, що містить 150 найменувань. Результати роботи проілюстровано на 36 рисунках і в 9 таблицях.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано предмет, об’єкт, мету і завдання дослідження, відзначено наукову новизну та практичну цінність дисертаційної роботи, наведено відомості про апробацію.

У **першому розділі** дисертації проаналізовано літературні дані, розглянуто особливості структури, фізико-хімічні, оптико-спектральні та електрофізичні властивості люмінофорів на основі оксиду галію та особливості досліджень системи  $Y_2O_3-Ga_2O_3$ .

У першій частині розділу розглянуто фізичні властивості оксиду галію, його поліморфні модифікації та їх відмінності.

У другій частині розділу проаналізовано кристалічну та електронну структуру  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Оксид галію  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  належить до моноклінної сингонії з просторовою групою  $C2/m$ . Елементарна комірка  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  містить дві кристалографічні нееквівалентні позиції Ga (Ga(I) та Ga(II)), а також три кристалографічні позиції O (O(I), O(II) та O(III)). Верх валентної зони в даній сполуці формується в основному 2p станами O, а дно зони провідності в основному складається з 4s станів Ga.

Третя та четверта частини розділу присвячені розгляду оптико-люмінесцентних та електрофізичних властивостей даної сполуки. Розглянуто особливості спектрів пропускання, поглинання, дисперсійні залежності показника заломлення, проаналізовано спектри люмінесценції та наведено моделі для пояснення механізмів свічення.

Спектр люмінесценції  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  утворює широку смугу, яка зумовлена вкладом у загальне свічення рекомбінаційних випромінювальних процесів на дефектних центрах, енергетичні рівні яких розташовані в межах забороненої зони. Форма спектру люмінесценції залежить від умов одержання даної сполуки. Тому виникає завдання встановлення елементарних смуг, які формують сумарний спектр люмінесценції, дослідження центрів свічення, які зумовлюють ці смуги та вивчення їхньої природи.

Розглянуто провідність  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , яка може змінюватися від діелектричної до напівпровідникової і яка залежить від умов отримання та подальших технологічних прийомів.

У завершенні розділу наведено фазову діаграму системи  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та встановлено умови існування стабільних сполук у даній системі.

У **другому розділі** описано особливості отримання тонкоплівкових зразків на основі  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  методом ВЧ іонно-плазмового розпилення. Наведено результати досліджень структури отриманих зразків тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  на рентгенівському дифрактометрі Shimadzu XDR-600.

Встановлено, що дані плівки мають полікристалічну структуру, яка дещо відрізняється залежно від способу термообробки плівок. Аналіз дифрактограм показує, що структура плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відповідає моноклінній кристалічній структурі  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Встановлено, що при відпалі у атмосфері кисню переважна орієнтація плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  спостерігається у площинах (110), (002), (111) і (512). При відпалі в атмосфері аргону переважає орієнтація плівок у площинах (002) і (111) і має місце відносне зменшення орієнтації у площинах (110) і (512). Для плівок, відпалених у атмосфері водню, спостерігається перерозподіл одержаних рефлексів і орієнтація таких плівок переважає в площинах (201),  $(31\bar{1})$ ,  $(40\bar{3})$  і  $(31\bar{3})$ . Окрім появи найбільш інтенсивного рефлексу від площини (201), який є



характерним для структури  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  на дифрактограмі спостерігається рефлекс від площини (321), який є характерним для  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ . На основі дифракційної картини за рівнянням Шеррера розраховано розміри кристалітів  $D$ , які формують отримані плівки  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ .

Досліджено морфологію поверхні тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , отриману за допомогою АСМ, визначено розміри зерен на поверхні плівки та середню квадратичну шорсткість поверхні. Встановлено зв'язок зміни атмосфери відпалу зі змінами розмірів зерен і шорсткістю рельєфу поверхні.

Описано установки для дослідження оптичних, фотоелектричних та фотолюмінесцентних властивостей даних тонких плівок, а також установку для вимірювання спектрів ІЧ-відбивання. Подано опис спектрофотометричної методики Валєєва, за допомогою якої були визначені оптичні константи тонких плівок на основі  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ . Наведено опис використаного в роботі методу Алєнцева-Фока для розкладу спектрів люмінесценції на елементарні складові.

У **третьому розділі** наведено результати досліджень дисперсійних властивостей та крайового поглинання тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  та дослідження спектрів ІЧ-відбивання для відпалених та невідпалених плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

Аналізуючи спектри ІЧ-відбивання системи плівка  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  потрібно врахувати явище інтерференції у плівці, яке визначається товщиною плівки  $d$  і показниками заломлення  $n$  та екстинкції  $k$ . Встановлено, що на одержаних спектрах ІЧ-відбивання систем плівка-підкладка спостерігається ряд вузьких піків, спектральне положення яких не змінюється із зміною  $d$ ,  $n$  та  $k$ . Шляхом віднімання спектра ІЧ-відбивання кварцової підкладки від спектра плівки на підкладці можна одержати піки, що відповідають фонному відбиванню безпосередньо у плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Встановлено, що спектри ІЧ-відбивання відпалених та невідпалених плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  мають подібну структуру, однак у відпалених плівках спектр є більш розвинений. Інтерпретацію піків у спектрах ІЧ-відбивання тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  пов'язано з коливаннями Ga-O фрагментів у структурних тетраедричних  $\text{GaO}_4$  та октаедричних  $\text{GaO}_6$  комплексах.

На основі спектрофотометричної методики Валєєва [1\*] проведено визначення показника заломлення, коефіцієнта поглинання та товщин досліджуваних тонких плівок. Встановлено, що в спектральній області 400 – 900 нм одержані тонкі плівки  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  характеризуються високим значенням показника заломлення  $n$ . Плівки відпалені в атмосфері кисню і аргону характеризуються нормальною дисперсією, а для плівок відпалених в атмосфері водню спостерігається ділянка з аномальною дисперсією в ближній УФ області.

Використання одноосциляторної апроксимаційної моделі Вемпле-Ді Доменіко [2\*]

$$n^2 - A = \frac{E_0 E_d}{E_0^2 - E^2} \quad (1)$$

дало можливість визначити  $E_0$  – енергію смуги поглинання, яка визначає спектральний хід показника заломлення,  $E_d = \beta N_c Z_a n_e$  – параметр, що називається дисперсійною енергією. У результаті проведених розрахунків для тонких плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  відпалених у атмосфері кисню (I) і в атмосфері аргону (II), встановлено координаційне число  $N_c$  першої координаційної сфери катіона, параметр іонності  $\beta$ , оцінено ступінь іонності хімічного зв'язку  $f_i$  за дисперсійною енергією та проведено його порівняння з розрахунками за формулою Полінга. Характерні параметри апроксимації співвідношення (1), визначені з допомогою регресивного аналізу, подані у таблиці 1.

Таблиця 1

Кристалохімічні та енергетичні параметри дисперсійної кривої у співвідношенні (1)

Плівка	$A$	$E_0$ , eV	$E_d$ , eV	$f_i$	$N_c$
$(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3(I)$	1.75	7.79	9.57	0.90	3.78
$(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3(II)$	1.63	6.28	8.47	0.86	2.82

Отримані результати показують, що відпал в атмосфері аргону приводить до зменшення координаційного числа  $N_c$  катіона, що зумовлюється тим, що відпал у безкисневій атмосфері приводить до збільшення числа кисневих вакансій.

Показано, що дисперсія показника заломлення плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  визначається особливостями їх енергетичної будови, кристалохімічними властивостями і в значній мірі залежить від умов термообробки плівок. Встановлено, що при термообробці в атмосфері кисню або аргону у видимій області спектра нормальна дисперсія показника заломлення визначається в основному переходами із зони 2р-станів кисню, що формують верхній заповнений рівень валентної зони у дно зони провідності, утворене гібридизованими 2р-станами кисню і 4s-станами галію.

Для визначення характеру переходів, що відповідають за поглинання енергії в плівках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ , проведено дослідження краю фундаментального поглинання. В результаті проведених досліджень було встановлено, що незалежно від атмосфери термообробки, коефіцієнт поглинання  $\alpha(h\nu)$  тонких плівок в області краю фундаментального поглинання описується степеневою залежністю

$$\alpha(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g)^{1/2}}{h\nu}, \quad (2)$$

з якої можна визначити величину забороненої зони  $E_g$ . Такий хід краю поглинання характерний для дозволених прямих фотопереходів.

Аналіз краю фундаментального поглинання за допомогою співвідношення (2) показує, що оптична ширина забороненої зони у тонких плівках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  є більшою ніж у плівок  $\beta-Ga_2O_3$  і вона зростає при заміні кисневої атмосфери відпалу (I) на атмосферу відпалу аргону (II) і особливо після наступного відновлення в атмосфері водню (III). При цьому також спостерігається збільшення коефіцієнта  $A$  у співвідношенні (2). Характерні величини отриманих значень  $E_g$  і  $A$  для досліджуваних плівок, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Ширина забороненої зони  $E_g$ , коефіцієнт  $A$  у співвідношенні (2), зведена ефективна маса  $\mu$  та концентрація  $N$  вільних носіїв заряду у тонких плівках  $\beta-Ga_2O_3$  та  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$

Плівка	$E_g$ , eV	$A$ , $cm^{-1} \times eV^{-1/2}$	$\mu$	$N$ , $cm^{-3}$
$Ga_2O_3$	4.60	$1.35 \times 10^7$	$0.281m$	
$(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ (I)	4.66	$2.40 \times 10^8$	$0.349m$	$1.32 \times 10^{18}$
$(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ (II)	4.77	$2.49 \times 10^8$	$0.416m$	$3.41 \times 10^{18}$
$(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ (III)	4.87	$3.63 \times 10^8$	$0.641m$	$5.20 \times 10^{18}$

Показано, що в тонких плівках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ , отриманих методом високочастотного іонно-плазмового розпилення, край фундаментального поглинання формується прямими дозволеними фотопереходами електронів незалежно від атмосфери термообробки. При цьому оптична ширина забороненої зони  $E_g$  зростає від 4.66 eV для плівок, відпалених у атмосфері кисню до 4.77 eV для плівок, відпалених у атмосфері аргону і до 4.87 eV після відновлення відпалених плівок у атмосфері водню.

Зростання енергії ширини забороненої зони при зміні концентрації носіїв заряду пояснюється на основі ефекту Бурштейна-Мосса [3\*]

$$E_g = E_{g0} + \Delta E_g^{B-M}, \quad (3)$$

де  $E_{g0}$  - власна ширина забороненої зони, а  $\Delta E_g^{B-M}$  - зсув Бурштейна-Мосса у зв'язку із заповненням нижніх енергетичних рівнів у зоні провідності. Величина даного зсуву виражається наступним чином:

$$\Delta E_g^{B-M} = (h^2 / 8\pi^2 \mu) (3\pi^2 N)^{2/3} \quad (4)$$

де  $N$  – концентрація вільних носіїв заряду, а  $\mu$  – їх зведена ефективна маса.

У результаті для плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  відпалених у атмосфері кисню маємо  $\mu \approx 0.281 t$ , для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відпалених у атмосфері кисню маємо  $\mu \approx 0.349 t$ , відпалених у атмосфері аргону  $\mu \approx 0.416 t$  і для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відновлених у атмосфері водню  $\mu \approx 0.641 t$ . Деяке збільшення величини зведеної ефективної маси після легування плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  домішкою  $\text{Y}_2\text{O}_3$  і особливо після їх відпалу в атмосфері аргону чи відновлення у атмосфері водню можна пояснити зростанням концентрації домішок чи дефектів на яких можуть локалізуватись вільні носії заряду. Оцінена концентрація вільних носіїв заряду для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відпалених у атмосфері кисню  $N \approx 1.32 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , відпалених у атмосфері аргону  $N \approx 3.41 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  і для плівок, відновлених у атмосфері водню  $N \approx 5.20 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  свідчить, що визначені величини концентрації вільних носіїв заряду у досліджуваних плівках є характерними для вироджених напівпровідників, для яких є властивим ефект Бурштейна-Мосса.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню люмінесцентних та електрофізичних властивостей тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  та  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

Проведено дослідження спектрів люмінесценції тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  і показано, що свічення обох типів плівок є близьким між собою і утворює дві широкі неелементарні смуги, форма яких залежить від хімічного складу, умов одержання та енергії збудження. Методом Алєнцева-Фока проведено розклад спектрів люмінесценції на елементарні складові. Для цього використано спектри люмінесценції, виміряні в області збудження 4,6 – 5,6 еВ (270 – 220 нм). Характерні спектри ФЛ отриманих тонких плівок, відпалених у різних атмосферах наведені на рис. 1 (а–г).

Встановлено, що незалежно від атмосфери термообробки у спектрах люмінесценції обох типів плівок домінують дві смуги свічення з максимумами в області 3,15 та 3,00 еВ (395 та 415 нм). Спектральне положення максимуму даних смуг дещо змінюється при зміні атмосфери відпалу. Характерні максимуми виділених смуг люмінесценції для різних типів плівок наведено у таблиці 3.

Встановлено, що для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  спостерігається вища відносна інтенсивність свічення люмінесценції порівняно з плівками  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Крім того, в обох типах плівок відпал у атмосфері кисню приводить до зростання інтенсивності люмінесценції приблизно у два рази відносно невідпалених зразків. Для плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  відпал в атмосфері аргону чи у атмосфері водню збільшує інтенсивність свічення приблизно у 2,5 рази. Для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  таке зростання буде дещо меншим, особливо для плівок відпалених у водні (таблиця 3). Це можна пояснити тим, що при відпалі в інертній чи відновній атмосфері відносно окисної атмосфери зростає густина дефектів (зокрема кисневих вакансій), яка приводить до зростання міграцій електронів на безвипромінювальні центри.

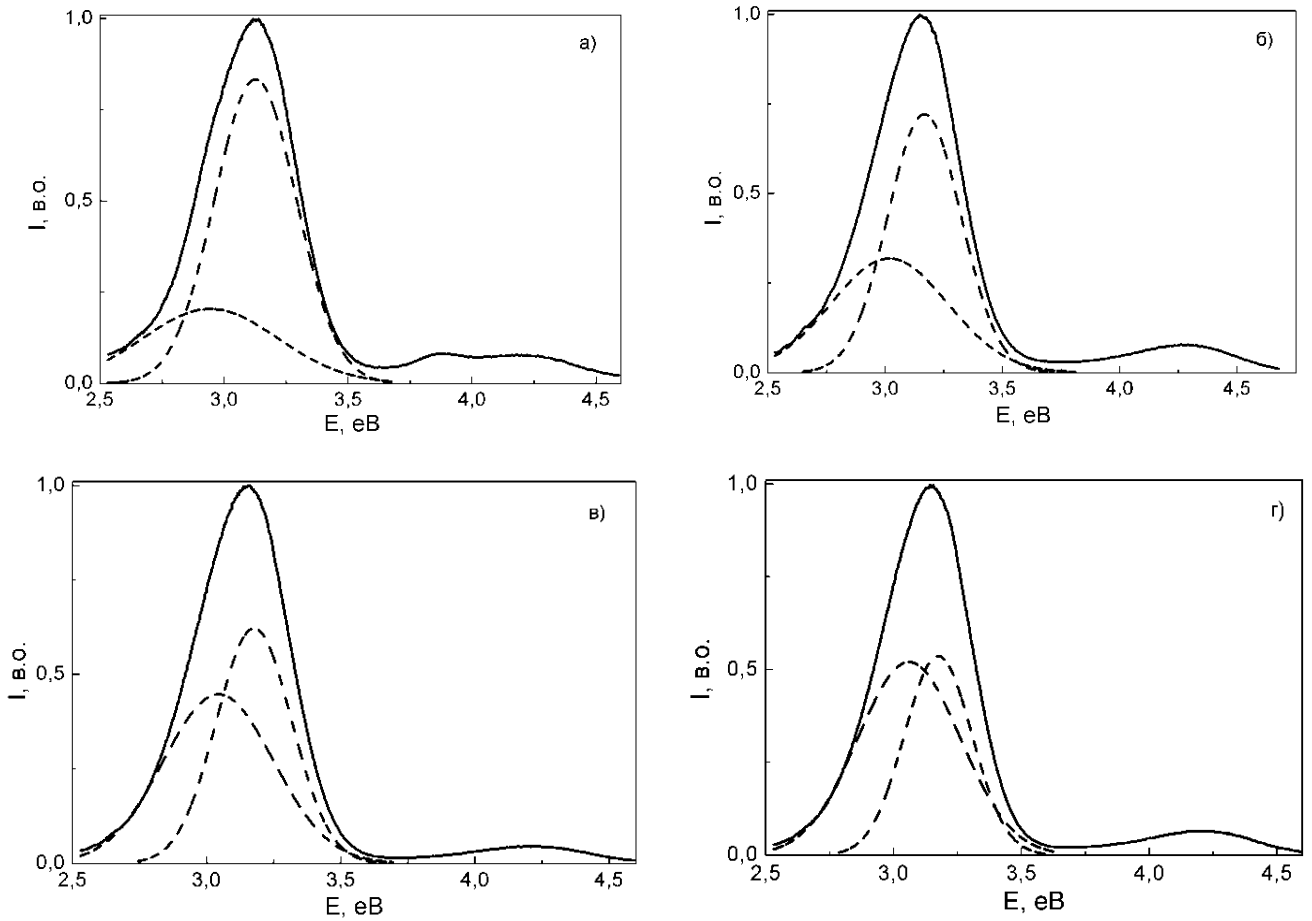


Рис. 1. Спектри фотолюмінесценції відпалених у кисні тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  (а) та тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відпалених у кисні (б), аргоні (в) і водні (г) при енергії збудження 5,05 еВ,  $T=295$  К. Штрихові лінії – елементарні складові

Характерні смуги збудження УФ люмінесценції з максимумом при 3,15 еВ і синього світіння з максимумом при 3,00 еВ наведені на рис. 2 (а,б).

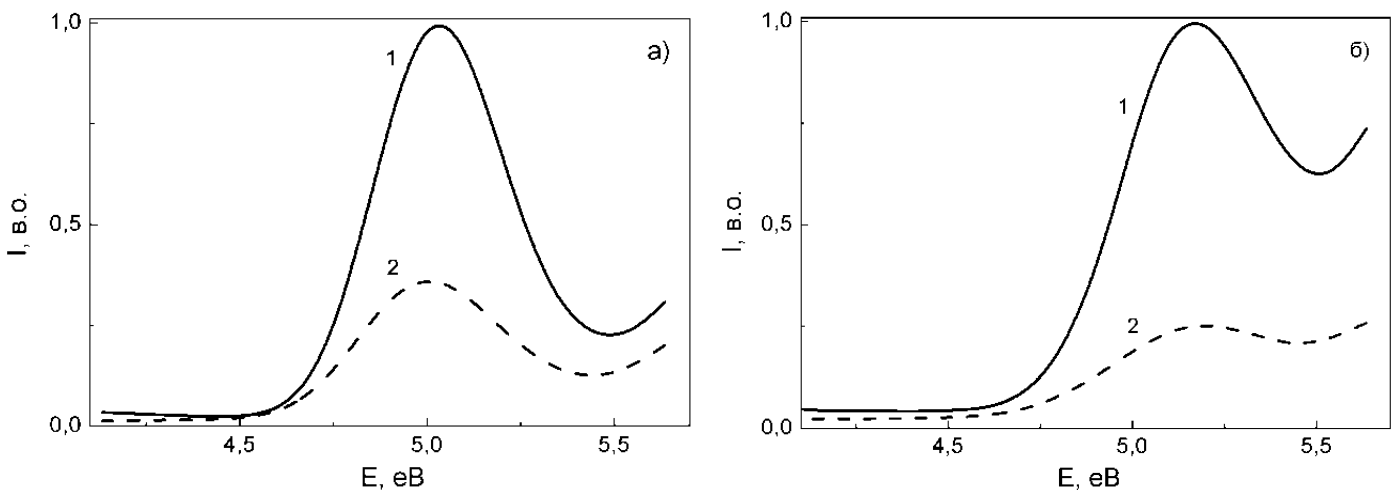


Рис. 2. Спектри збудження люмінесценції для УФ смуги світіння з максимумом в області 3,15 еВ (1) і смуги синьої люмінесценції з максимумом в області 3,0 еВ (2) у відпалених у кисні плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  (а) і відпалених у аргоні плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  (б)

Як видно з рисунку при переході від плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  до  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  максимумами смуг збудження дещо зсуваються у високоенергетичну область.

Таблиця 3

Відносні інтенсивності ФЛ, спектральне положення максимуму і півширини смуг УФ та синьої люмінесценції та віддалі між донорним і акцепторним центрами в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$

Плівка (атмосфера відпалу)	$I_{фл}$ , в.о.	УФ люмінесценція		Синя люмінесценція		$R_{max}$ , Å
		$h\nu_{max}$ , eV	$\Delta$ , eV	$h\nu_{max}$ , eV	$\Delta$ , eV	
$\text{Ga}_2\text{O}_3$ (невідпалена)	70	3,18	0,36	3,03	0,57	4,37-4,81
$\text{Ga}_2\text{O}_3$ (кисень)	125	3,14	0,34	2,95	0,42	4,56-5,02
$\text{Ga}_2\text{O}_3$ (аргон)	160	3,16	0,35	3,03	0,48	4,48-4,93
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ (невідпалена)	120	3,18	0,35	3,03	0,55	4,42-4,88
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ (кисень)	230	3,15	0,34	3,03	0,46	4,5-4,97
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ (аргон)	195	3,18	0,34	3,03	0,47	4,49-4,95
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ (водень)	135	3,18	0,36	3,04	0,59	4,22-4,65

Отримані результати підтверджують зв'язок смуги з максимумом в області 3,15 eV з анігіляцією зв'язаного екситона і смуги з максимумом в області 3,0 eV з рекомбінацією на донорно-акцепторній парі. Визначено віддаль  $R_{max}$  між донорним і акцепторним центрами на основі отриманих значень півширин спектру  $W_{1/2}$  для смуги синьої люмінесценції, яка відповідає рекомбінації в донорно-акцепторних парах. При цьому обидві смуги пов'язуються з асоціатом, зумовленим взаємодією вакансій кисню і галію ( $V_O V_{Ga}$ )'.

Досліджено спектри фотолюмінесценції відпалених у атмосфері кисню тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відпалених у атмосфері кисню та аргону при енергії збудження 4,95 eV. Смуги свічення з максимумами в області 4,00 і 4,25 eV на даних спектрах пов'язуються з рекомбінацією екситонів на квантових ямах, сформованих акцепторними кластерами.

Проведено вимірювання часу загасання люмінесценції тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  для двох найбільш інтенсивних смуг свічення з максимумами в області 3,15 eV і 3,0 eV при збудженні у максимумі фотозбудження при 5,05 eV (245 nm). Встановлено, що незалежно від типу плівки, кінетика загасання люмінесценції для обох смуг свічення у досліджуваних плівках добре

апроксимується моноекспоненціальними функціями (рис. 3). Постійна часу загасання в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  для УФ смуги люмінесценції з максимумом в області 3,15 еВ становить 105 мкс і для синьої смуги свічення з максимумом в області 3,0 еВ – 114 мкс. Для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  ці величини відповідно становлять 108 мкс і 116 мкс.

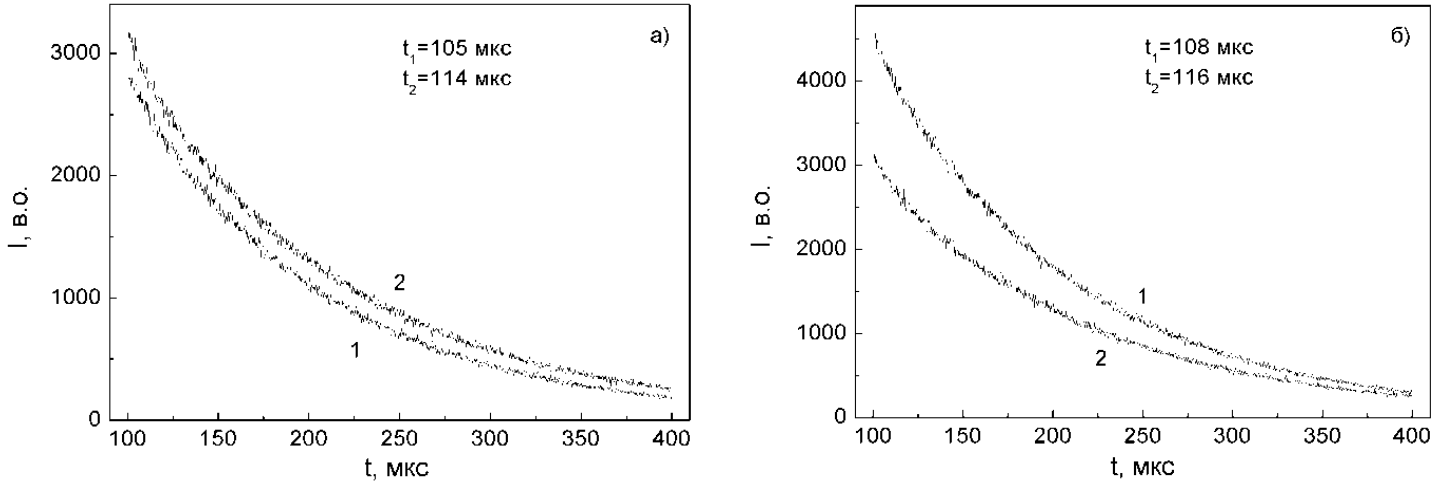


Рис. 3. Кінетика загасання люмінесценції тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  (а) і  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  (б) після відпалу в кисні для УФ свічення з максимумами в області 3,15 еВ (1) і для синього свічення з максимумом в області 3,0 еВ (2)

Досліджено зміну електропровідності тонкоплівкових люмінофорів  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  при їх відпалі в атмосфері кисню, аргону і водню. Визначено енергію термічної активації провідності у досліджуваних плівках при вимірюванні температурної залежності електропровідності. Характерні енергії термічної активації електропровідності для отриманих плівок наведено у таблиці 4.

Таблиця 4  
Енергія термічної активації електропровідності в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$

Тонка плівка	Атмосфера відпалу	Енергія термічної активації електропровідності, еВ
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	Кисень	0.84
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	Аргон	1.30 (300-400 К) 0.40 (400-450 К)
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	Водень	0.15
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$	Кисень	0.87
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$	Аргон	1.38 (300-400 К) 0.40 (400-450 К)
$(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$	Водень	0.25

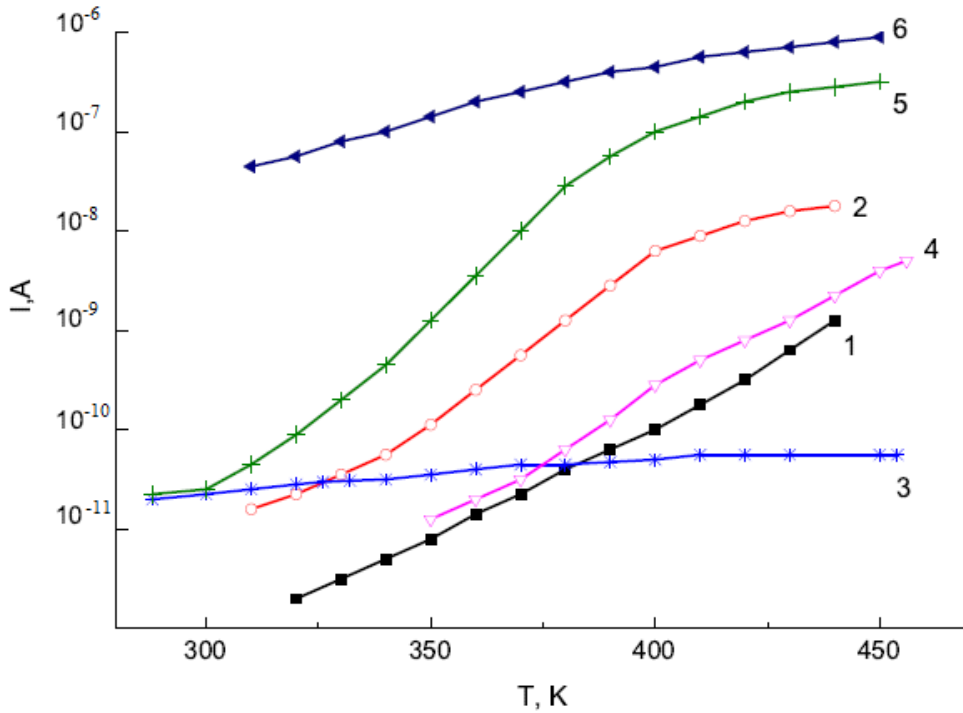


Рис. 4.  
Температурна залежність електропровідності тонких плівок  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  після відпалу у кисні (1) та аргоні (2) і тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  відразу після нанесення (3) та після відпалу у кисні (4), аргоні (5) та водні (6)

Показано, що відпал у відновній атмосфері водню тонких плівок  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  приводить до суттєвого зменшення опору до величини питомого опору  $10^8 \text{ Ом}\times\text{см}$  відносно  $10^{11} \text{ Ом}\times\text{см}$  для плівок відпалених у окисній атмосфері кисню чи інертній атмосфері аргону. При цьому у високоомних плівках провідність пов'язується зі звільненням електронів з глибоких донорних рівнів з енергіями залягання в області  $0.84 - 0.87 \text{ eV}$  для плівок, відпалених у атмосфері кисню та  $1.30 - 1.38 \text{ eV}$ , для плівок, відпалених у атмосфері аргону і пов'язаних з кисневими вакансіями. У відновлених у атмосфері водню плівках провідність пов'язується зі звільненням електронів з мілких донорних рівнів з енергіями залягання в області  $0.15 - 0.40 \text{ eV}$ , які пов'язуються з міжвузловими атомами галію.

Встановлено, що у тонких плівках  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  незалежно від складу атмосфери термообробки спостерігається ефект фотопровідності. Характерні спектри фотопровідності отриманих плівок наведені на рис. 5. Отримані спектри показують, що найменша величина фотоструму спостерігається в плівках  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , відпалених в атмосфері кисню, в яких найменша кількість кисневих вакансій. Найбільша величина фотоструму характерна для невідпалених плівок з неповністю сформованою структурою. Як видно з рис. 5, на спектрах відпалених плівок  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  незалежно від атмосфери відпалу, в спектральній області  $220 - 270 \text{ nm}$  спостерігаються дві смуги фотопровідності, що перекриваються між собою і результуючий спектр представляє суперпозицію цих смуг.



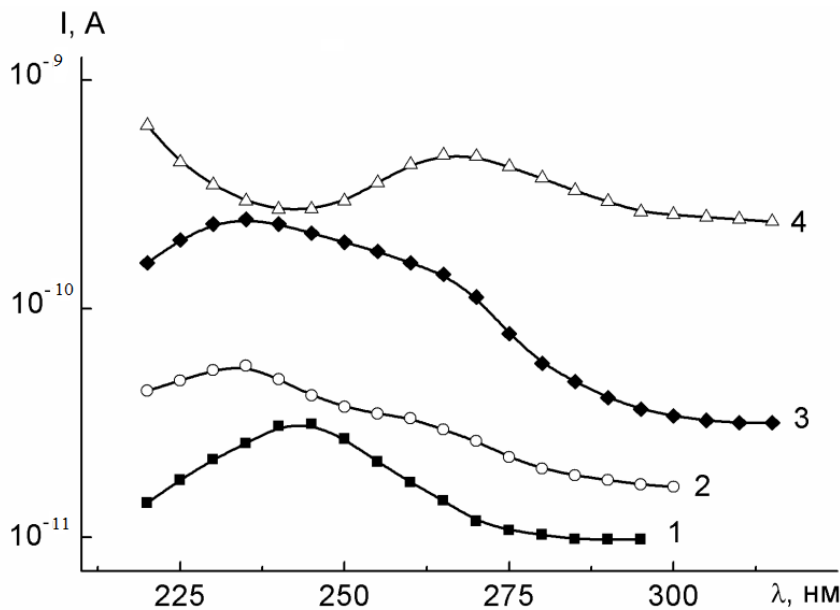


Рис. 5. Спектри фотопровідності ( $T = 295 \text{ K}$ ) тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  після відпалу в кисні (1), аргоні (2), після відновлення у водні попередньо відпалених в аргоні (3) і невідпаленої плівки (4)

Порівняння спектрів фотопровідності, збудження люмінесценції і ширини забороненої зони показує, що фотопровідність в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  обумовлена зона-зонними переходами зі створенням вільних носіїв заряду в зоні провідності.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

У процесі виконання дисертаційної роботи досліджено оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  з моноклінною кристалічною структурою. Встановлено складний характер люмінесцентного свічення, проведено розклад спектрів люмінесценції на елементарні складові та встановлено природу смуг збудження та свічення.

На основі аналізу та узагальнення отриманих результатів сформульовано наступні висновки.

1. При ВЧ іонно-плазмовому розпиленні на підкладках з плавненого кварцу осаджуються полікристалічні тонкі плівки  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ , структура яких визначається способом термообробки. При відпалі в атмосфері кисню переважна орієнтація плівок спостерігається в площинах (110), (002), (111) і (512). При відпалі в атмосфері аргону переважає орієнтація плівок у площинах (002) і (111) та має місце відносне зменшення орієнтацій в площинах (110) і (512). При відпалі у атмосфері водню орієнтація плівок переважає в площинах (201),  $(31\bar{1})$ ,  $(40\bar{3})$  і  $(31\bar{3})$  та спостерігається наявність фази  $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ . Структура всіх типів плівок відповідає моноклінній кристалічній структурі  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Показано, що склад атмосфери відпалу не виявляє суттєвого впливу на розміри кристалітів, які становлять 30 – 34 нм.

2. При ВЧ іонно-плазмовому розпиленні на підкладках з плавленого кварцу осаджуються полікристалічні плівки  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  з середніми розмірами кристалітів 30 нм і середньою квадратичною шорсткістю поверхні близько 7 нм. Термообробка плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  в атмосфері кисню, аргону чи водню приводить до зростання розмірів зерен до 45 нм і збільшення середньої квадратичної шорсткості поверхні до 15 нм.

3. На основі інтерпретації піків у спектрах ІЧ-відбивання системи тонка плівка  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  – підкладка з плавленого кварцу, що пов'язані з коливаннями Ga–O фрагментів у структурних тетраедричних  $\text{GaO}_4$  та октаедричних  $\text{GaO}_6$  комплексах показано, що частотні зміщення коливних мод у нанокристалітах плівки  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  розмірами 30 – 45 нм є суттєво меншими, ніж у нанотрубках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  діаметром 15 – 45 нм.

4. Встановлено, що в спектральній області 400 – 900 нм в тонких плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  при термообробці в атмосфері кисню або аргону спостерігається нормальна дисперсія показника заломлення, яка визначається в основному переходами із зони 2p–станів кисню, які формують верхній заповнений рівень валентної зони у дно зони провідності, утворене гібридизованими 2p–станами кисню і 4s–станами галію. Для плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ , відновлених у атмосфері водню в ближній УФ області спостерігається аномальна дисперсія.

5. Показано, що в тонких плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ , отриманих ВЧ іонно-плазмовим розпиленням, край фундаментального поглинання формується прямими дозволенними фотопереходами електронів незалежно від атмосфери термообробки. При цьому оптична ширина забороненої зони  $E_g$  зростає від 4.66 еВ для плівок, відпалених у атмосфері кисню до 4.77 еВ для плівок, відпалених у атмосфері аргону і до 4.87 еВ після відновлення відпалених плівок у атмосфері водню. Оцінено зведену ефективну масу вільних носіїв заряду та встановлено, що їх концентрація після відпалу у атмосфері кисню становить  $1,32 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , після відпалу в атмосфері аргону –  $3,41 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  та після відновлення у атмосфері водню –  $5,20 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , що характерно для вироджених напівпровідників. Показано, що зсув краю фундаментального поглинання в плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  зумовлений ефектом Бурштейна–Мосса.

6. Варіювання умов одержання тонких плівок і використання методу Аленцева-Фока для розділення спектрів люмінесценції показує, що спектри люмінесценції тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  складаються з двох інтенсивних смуг, які перекриваються між собою і максимумами яких розташовані в області 3.00 та 3.15 еВ і двох більш слабких смуг в УФ області з максимумами в області 4.00 і 4.25 еВ. Показано зв'язок смуги з максимумом в області 3.15 еВ з анігіляцією зв'язаного екситона і смуги з максимумом в області 3.00 еВ з рекомбінацією на донорно-акцепторній парі. Обидві смуги пов'язуються з асоціатом, зумовленим взаємодією

вакансій кисню і галію ( $V_O V_{Ga}$ ), що найімовірніше визначає близькість часів загасання даних смуг. Смуги з максимумами в області 4.00 і 4.25 eV пов'язуються з рекомбінацією екситонів на квантових ямах, сформованих акцепторними кластерами.

7. Досліджено електропровідність тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та показано, що відпал даних плівок у відновній атмосфері водню приводить до суттєвого зменшення опору до величини питомого опору  $10^8 \text{ Ом}\times\text{см}$  відносно  $10^{11} \text{ Ом}\times\text{см}$  для плівок, відпалених у окисній атмосфері кисню чи інертній атмосфері аргону. У високоомних плівках провідність пов'язується зі звільненням електронів з глибоких донорних рівнів з енергіями залягання в області 0.84 – 0.87 eV, для плівок відпалених у атмосфері кисню, та 1.30 – 1.38 eV, для плівок, відпалених у атмосфері аргону і пов'язаних з кисневими вакансіями. У відновлених у атмосфері водню плівках провідність пов'язується зі звільненням електронів з мілких донорних рівнів з енергіями залягання в області 0.15 – 0.40 eV, які пов'язуються з міжвузловими атомами галію.

8. Показано, що незалежно від складу атмосфери відпалу в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , одержаних ВЧ іонно-плазмовим розпиленням, спостерігається ефект фотопровідності. Порівняння спектрів фотопровідності, збудження люмінесценції та ширини забороненої зони показує, що фотопровідність в тонких плівках зумовлена зона-зонними переходами з утворенням вільних носіїв заряду у зоні провідності.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1\*. А. С. Валеев, “Определение оптических постоянных тонких слабопоглощающих слоїв”, *Опт. и спектр.* **15** (4), 500–535 (1963).
- 2\*. S. H. Wemple and M. Di Domenico, “Behavior of the electronic dielectric constant in covalent and ionic materials”, *Phys. Rev. B.* **3**, 1338 – 1351 (1971).
- 3\*. Ж. Панков, *Оптические процессы в полупроводниках* (Мир, Москва, 1973), с. 458

## СПИСОК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. О. М. Бордун, І. І. Медвідь та І. Й. Кухарський, “Електропровідність тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ ”, *Вісник Львівського університету. Серія фізична.* **50**, 28–36 (2015). (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)

2. О. М. Бордун, І. І. Медвідь, І. Й. Кухарський та Б. О. Бордун, “Центри люмінесценції в тонких плівках  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”, Фіз. і хім. тверд. тіла. **17** (1), 53–59 (2016). (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в інтерпретації спектрів досліджуваних зразків, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
3. О. М. Бордун, Б. О. Бордун, І. І. Медвідь, І. Й. Кухарський, В. В. Пташник та М. В. Партика, “Структура і коливні спектри тонких плівок  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”, Фіз. і хім. тверд. тіла. **17** (4), 515–519 (2016). (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в інтерпретації спектрів досліджуваних зразків, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
4. О. М. Bordun, I. Yo. Kukharskyu and I. I. Medvid, “Dispersion Properties of (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films”, J. Appl. Spectrosc. **83** (1), 141–144 (2016). (Здобувачеві належить проведення експериментального вимірювання спектрів пропускання тонких плівок на основі (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та розрахунок на основі спектрів пропускання величин показників заломлення та товщин тонких плівок, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
5. О. М. Бордун, І. Й. Кухарський, І. І. Медвідь та Ж. Я. Цаповська, “Крайове поглинання тонких плівок (Y<sub>0.06</sub>Ga<sub>0.94</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”, Фіз. і хім. тверд. тіла. **18** (1), 89–93 (2017). (Здобувачеві належить проведення вимірювань оптичних спектрів в області краю фундаментального поглинання та проведення математичної обробки спектрів з метою визначення величини ширини забороненої зони, термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
6. О. М. Бордун, Б. О. Бордун, І. Й. Кухарський, І. І. Медвідь, Ж. Я. Цаповська та Д. С. Леонов, “Структура та електропровідність тонких плівок  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”, Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. **15** (2), 299–308 (2017). (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
7. О. М. Bordun, B. O. Bordun, I. Yo. Kukharskyu and I. I. Medvid, “Photoluminescence Properties of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films Produced by Ion-Plasma Sputtering”, J. Appl. Spectrosc. **84** (1), 46–51 (2017). (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

1. І. І. Медвідь, Б. О. Бордун, “Дисперсійні властивості тонких плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ ”, Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2015», ФЕЕ – 2015, 20 – 25 квітня 2015, Суми. – Суми (Україна), 2015. – с. 136 (Здобувачеві належить проведення експериментального вимірювання спектрів пропускання тонких плівок на основі  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та розрахунків на основі спектрів пропускання величин показників заломлення та товщин тонких плівок, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
2. І. І. Медвідь, Б. О. Бордун, “ Крайове поглинання тонких плівок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ ”, Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «ЄВРИКА – 2015», 13 – 15 травня 2015, Львів. – Львів (Україна), 2015. – с. В11 (Здобувачеві належить проведення вимірювань оптичних спектрів в області краю фундаментального поглинання та проведення математичної обробки спектрів з метою визначення величини ширини забороненої зони, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
3. O. M. Bordun, I. I. Medvid, B. O. Bordun, M. V. Matviishyn, “Dispersion of Refractive Index of Thin Films Based on  $\beta$ - $Ga_2O_3$ ”, Materials of the XV International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, 11 – 16 May 2015, Ivano-Frankivsk. – Ivano-Frankivsk (Ukraine), 2015. – pp. 259 (Здобувачеві належить проведення експериментального вимірювання спектрів пропускання тонких плівок, розрахунків на основі спектрів пропускання величин показників заломлення та товщин тонких плівок, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
4. І. І. Медвідь, Б. О. Бордун, “Центри люмінесценції в тонких плівках  $\beta$ - $Ga_2O_3$ ”, Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2016», ФЕЕ – 2016, 18 – 22 квітня 2016, Суми. – Суми (Україна), 2016. – с. 134 (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в інтерпретації спектрів досліджуваних зразків, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
5. І. І. Медвідь, О. М. Бордун, Б. О. Бордун, “Вплив умов одержання на електропровідність тонких плівок  $\beta$ - $Ga_2O_3$  та  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ ”, IV Міжнародна науково-практична конференція «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка», 26 – 28 травня 2016, Кременчук. – Кременчук (Україна), 2016. – с. 147 (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих

результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)

6. І. І. Медвідь, Б. О. Бордун, “Структура та коливні спектри тонких плівок  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ”, Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2017», ФЕЕ – 2017, 17 – 21 квітня 2017, Суми. – Суми (Україна), 2017. – с. 112 (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в інтерпретації спектрів досліджуваних зразків, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
7. О. М. Bordun, В. О. Bordun, І. І. Medvid, L. V. Kukharska, “Structure and Photoelectrical Properties of  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  Thin Films”, Materials of the XVI International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, 15 – 20 May 2017, Ivano-Frankivsk. – Ivano-Frankivsk (Ukraine), 2017. – pp. 272 (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)
8. О. М. Bordun, В. О. Bordun, І. І. Medvid, “Structure and Thermally Stimulated Luminescence of  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  Thin Films”, Book of Abstract International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and applications, ОМЕЕ–2017, 29 May – 2 June 2017, Lviv. – Lviv (Ukraine), 2017. – pp. 161 (Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, проведення експерименту та участь в аналізі отриманих результатів, проведення термообробки досліджуваних зразків в атмосфері кисню, аргону та водню)

## АНОТАЦІЯ

**Медвідь І. І. Оптичні властивості та рекомбінаційні процеси в тонких плівках на основі складного оксиду  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ . – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика. – Інститут фізичної оптики імені О. Г. Влоха Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

Дисертація присвячена експериментальному дослідженню і теоретичному обґрунтуванню оптичних, люмінесцентних і електропровідних властивостей тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  та  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ .

Досліджено структуру тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  та  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , отриманих методом високочастотного іонно-плазмового розпилення, після відпалу у різних атмосферах. Виміряно спектри ІЧ-відбивання системи тонка плівка  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  – підкладка з плавленого кварцу  $\nu$ - $\text{SiO}_2$  в області  $400$ – $1600$   $\text{cm}^{-1}$  при  $T=295$  К.

Проведено інтерпретацію піків у спектрі плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , що пов'язані з коливаннями Ga–O фрагментів у структурних тетраедричних  $\text{GaO}_4$  та октаедричних  $\text{GaO}_6$  комплексах. Досліджено дисперсію світла в тонких плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  та встановлено параметри одноосциляторної трипараметричної моделі. Методом оптичної спектроскопії досліджено область краю фундаментального поглинання тонких плівок  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ . Встановлено, що дані плівки формуються у моноклінній структурі  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Оптична ширина забороненої зони даних плівок є більшою ніж у плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  і становить 4,66 еВ для плівок, відпалених у атмосфері кисню, 4,77 еВ для плівок, відпалених у атмосфері аргону і 4,87 еВ для плівок, відновлених у атмосфері водню. Оцінено зведену ефективну масу вільних носіїв заряду у плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  після відпалу плівок у атмосфері кисню та аргону та після відновлення у атмосфері водню. Встановлено, що концентрація носіїв заряду після відпалу у атмосфері кисню становить  $1.32 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , після відпалу в атмосфері аргону –  $3.41 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , та після відновлення у атмосфері водню –  $5.20 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , що характерне для вироджених напівпровідників. Показано, що зсув краю фундаментального поглинання в тонких плівках  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  зумовлений ефектом Бурштейна-Мосса.

Досліджено спектри фотолюмінесценції та збудження люмінесценції тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ . Методом Аленцева-Фока проведено розклад спектрів фотолюмінесценції на елементарні складові. Розглянено природу двох інтенсивних смуг свічення з максимумами в області 3,00 і 3,15 еВ, а також двох слабоінтенсивних смуг свічення з максимумами в області 4,00 і 4,25 еВ. Визначено постійні часу загасання для смуг з максимумами в області 3,00 та 3,15 еВ для різних типів плівок. Досліджено електропровідність тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  та  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  залежно від умов одержання і атмосфери термообробки. Встановлено, що після відпалу у відновній атмосфері водню відбувається значне зниження питомого опору плівок від  $10^{11} \text{ Ом} \times \text{см}$  для плівок відпалених у атмосфері кисню чи аргону до  $10^8 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Визначено енергії активації температурного гасіння донорних центрів, що виникають у одержаних плівках та проведено аналіз отриманих результатів. Показано, що незалежно від наявності та складу атмосфери відпалу в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  спостерігається ефект фотопровідності. Порівняння спектрів фотопровідності зі спектрами збудження люмінесценції показує, що фотопровідність в тонких плівках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  пов'язана з зона-зонними переходами зі створенням вільних носіїв заряду в зоні провідності.

**Ключові слова:** оксид галію, тонка плівка, коливні спектри, показник заломлення, дисперсія, край фундаментального поглинання, фотолюмінесценція, фотопровідність.

## АННОТАЦИЯ

**Медведь И.И. Оптические свойства и рекомбинационные процессы в тонких пленках на основе сложного оксида  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ . - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика, лазерная физика.- Институт физической оптики имени О.Г. Влоха Министерства образования и науки Украины, Львов, 2018.

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию и теоретическому обоснованию оптических, люминесцентных и электропроводящих свойств тонких пленок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  та  $\beta-Ga_2O_3$ .

Исследована структура тонких пленок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  и  $\beta-Ga_2O_3$ , полученных методом высокочастотного ионно-плазменного распыления, после отжига в разных атмосферах. Измерены спектры ИК-отражения системы тонкая пленка  $\beta-Ga_2O_3$  – подложка из плавленного кварца  $\nu-SiO_2$  в области  $400 - 1600 \text{ см}^{-1}$  при  $T = 295 \text{ K}$ . Проведено интерпретацию пиков в спектре пленок  $\beta-Ga_2O_3$ , связанные с колебаниями Ga-O фрагментов в структурных тетраэдрических  $GaO_4$  и октаэдрических  $GaO_6$  комплексах. Исследована дисперсия света в тонких пленках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  и определены параметры одноосциляторной трехпараметрической модели. Методом оптической спектроскопии исследовано область края фундаментального поглощения тонких пленок  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ . Установлено, что данные пленки формируются в моноклинной структуре  $\beta-Ga_2O_3$ . Оптическая ширина запрещенной зоны данных пленок является большей чем в пленках  $\beta-Ga_2O_3$  и составляет 4,66 эВ для пленок, отожженных в кислороде, 4,77 эВ для пленок, отожженных в аргоне и 4,87 эВ для пленок, восстановленных в атмосфере водорода. Оценена сводная эффективная масса свободных носителей заряда в пленках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  после отжига пленок в атмосфере кислорода или аргона и после восстановления в водороде. Установлено, что концентрация носителей заряда после отжига в кислороде составляет  $1.32 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , после отжига в атмосфере аргона –  $3.41 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , и после восстановления в водороде –  $5.20 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , что характерно для вырожденных полупроводников. Показано, что смещение края фундаментального поглощения в тонких пленках  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$  обусловлено эффектом Бурштейна-Мосса.

Исследовано спектры фотолюминесценции и возбуждения люминесценции тонких пленок  $\beta-Ga_2O_3$  и  $(Y_{0.06}Ga_{0.94})_2O_3$ . Методом Аленцева-Фока проведено разложение спектров фотолюминесценции на элементарные составляющие. Рассмотрено природу двух интенсивных полос свечения с максимумами в области 3,00 и 3,15 эВ, а также двух слабоинтенсивных полос свечения с максимумами в области 4,00 и 4,25 эВ. Определены постоянные времени затухания для полос с



максимумами в области 3,00 и 3,15 эВ для различных типов пленок. Исследована электропроводность тонких пленок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  и  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  в зависимости от условий получения и атмосферы термообработки. Установлено, что после отжига в восстановительной атмосфере водорода происходит значительное снижение удельного сопротивления пленок от  $10^{11}$  Ом $\times$ см для пленок отожженных в кислороде или аргоне до  $10^8$  Ом $\times$ см. Определены энергии активации температурного тушения донорных центров, возникающих в полученных пленках и проведен анализ полученных результатов. Показано, что независимо от наличия и состава атмосферы отжига в тонких пленках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  наблюдается эффект фотопроводимости. Сравнение спектров фотопроводимости со спектрами возбуждения люминесценции показывает, что фотопроводимость в тонких пленках  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  связана с зона-зонными переходами с созданием свободных носителей заряда в зоне проводимости.

**Ключевые слова:** окись галлия, тонкая пленка, колеблющиеся спектры, показатель преломления, дисперсия, край фундаментального поглощения, фотолюминесценция, фотопроводимость.

## ABSTRACT

**Medvid I.I. Optical properties and recombination processes in thin films based on composite oxide  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$ .** - Manuscript.

Thesis for the Degree of Candidate of Sciences in Physics and Mathematics by the Speciality 01.04.05 - optics, laser physics. Institute of Physical optics named of O. G. Vlokh, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

The thesis is devoted to experimental investigation and theoretical explanation of optical, luminescence and electrically conductive properties of  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  and  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  thin films.

The purpose of this dissertation is to study the optical properties of thin films on the basis of  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  and  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , the features of their luminescent characteristics, depending on the conditions of obtaining, the establishment of radiation mechanisms and the study of the characteristics of centers of glow, determination of methods for increasing the electrical conductivity of these films, as a consequence, the creation on this basis of effective luminescent materials for display applications.

The structure of  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  and  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  thin films, obtained by high-frequency ion-plasma sputtering, after annealing at different atmosphere was investigated. The spectra of IR reflection of system thin film  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  – fused quartz substrate  $\nu\text{-SiO}_2$  in

region  $400\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$  at 295 K were measured. The peaks in the spectrum of films  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , associated with vibration of Ga – O fragments in structural tetrahedral  $\text{GaO}_4$  and octahedral  $\text{GaO}_6$  complexes was interpreted. Light dispersion in  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  thin films is studied and parameters of the three-parameter single oscillation model are determined. Fundamental absorption edge of  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  thin films was investigated, using the method of optical spectroscopy. It was established that these films are formed in the monoclinic structure of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . The optical band gap of these films is greater than  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  films and is 4.66 eV for films annealed in oxygen atmosphere, 4.77 eV for the films annealed in argon atmosphere and 4.87 eV for the films, restored in a hydrogen atmosphere. Consolidated effective mass of free charge carriers in  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  films after annealing and after reconstitution in hydrogen was estimated. It was found that the concentration of charge carriers after annealing in oxygen atmosphere is  $1.32 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ , after annealing in argon atmosphere –  $3.41 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$  and after reconstitution in hydrogen is  $5.20 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ , which is typical for degenerated semiconductors. It was shown that the shift of fundamental absorption edge in thin films  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  is caused by Burstein-Moss effect.

Photoexcitation and photoluminescence spectra of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  and  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  thin films was investigated. Luminescence spectra were factorized on ultimate constituents using Alentsev-Fock method. The nature of two intensive luminescent band with maxima in region 3.00 and 3.15 eV and two faint intensive luminescent band with maxima in region 4.00 and 4.25 eV was discussion. Luminescence decay time for band with maximum in region 3.00 and 3.15 eV in different types of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  and  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  thin films was established. The electrical conductivity of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  and  $(\text{Y}_{0.06}\text{Ga}_{0.94})_2\text{O}_3$  thin films depending on the conditions and atmosphere of thermal treatment were investigated. After annealing in reducing atmosphere of hydrogen obtained a significant decrease in the resistivity of thin films from  $10^{11}\text{ Ohm}\times\text{cm}$  for films annealed in oxygen or argon to  $10^8\text{ Ohms}\times\text{cm}$  was found. The activation energy of temperature quenching donor centers that is in obtained thin films was determined and the analysis of the results was investigated. Irrespective of the composition of the atmosphere in annealing  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  thin films photoconductivity observed effect it was shown. Compare photoconductivity spectra with the spectra excitations of luminescence indicated that the photoconductivity of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  thin films associated with band-band transitions with the creation of free charge carriers in the conduction band.

**Key words:** gallium oxide, thin film, vibrational spectra, refractive index, dispersion, fundamental absorption edge, photoluminescence, photoconductivity.