

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої Вченої ради Д 26.207.01 про відповідність спеціальності і профілю ради дисертаційної роботи **Євтушенка Арсенія Івановича** “**Оптичні та електрофізичні властивості плівок на основі ZnO та NiO**”, поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – Фізика твердого тіла.

Комісія у складі членів спецради д.ф.-м.н. Бистренка О.В., д.ф.-м.н. Єлісєєва Є.А., д.ф.-м.н. Онопрієнка О.О., розглянувши дисертаційну роботу Євтушенка А.І. “**Оптичні та електрофізичні властивості плівок на основі ZnO та NiO**”, поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, прийшла до наступного висновку:

1. Актуальність теми.

Розробка нових та вдосконалення параметрів вже існуючих матеріалів для електроніки, оптоелектроніки та фотовольтаїки потребує з'ясування фізичних процесів, які визначають вплив структури та елементного складу на їх функціональні властивості в залежності від технологічних умов осадження плівок, що є актуальною проблемою фізики твердого тіла та сучасного фізичного матеріалознавства. Останніми роками притягує до себе значний інтерес дослідників такий сучасний напрямок як “прозора” електроніка, яка використовує напівпровідники з широкою забороненою зоною ($E_g > 3 \text{ eV}$). Цей напрямок пропонує багато нових і корисних застосувань у автомобільній, аерокосмічній, побутовій, екологічній галузях. Серед вимог, що ставляться до нових матеріалів, є їх низька вартість, що забезпечує суттєвий економічний ефект, та відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище як матеріалу, так і технології його виробництва. Тому актуальним є розробка матеріалів прозорої електроніки на основі широкозонних оксидів *n*- та *p*-провідності. Дисертаційне дослідження є комплексною експериментальною роботою, спрямованою на детальний комплексний аналіз фізичних властивостей плівок і наноструктур *n*- та *p*-типу провідності на основі ZnO, NiO, в залежності від умов їх конденсації, що є важливим та актуальним для розробки приладів прозорої електроніки, оптоелектроніки та фотовольтаїки.

2. Наукова новизна роботи відображена наступними основними положеннями:

1. Встановлено закономірності формування електрофізичних та оптичних властивостей плівок n^+ -ZnO:Al, що вирощені методом високочастотного магнетронного розпилення в режимі пошарового росту, від складу плівок, температури та умов конденсації. Легування ZnO алюмінієм з вмістом 0,2...1,2 ат. % призводить до генерації власних акцепторних дефектів O_i та електрично-нейтральних комплексів, у результаті чого електрична активність алюмінію зменшується на 20...40 %. Оптичне пропускання у видимому діапазоні випромінювання та електроопір тонких плівок n^+ -ZnO:Al змінювалися на 83...96 % та $6 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-1} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, відповідно. Зокрема, отримано плівки n^+ -ZnO:Al, вирощені в умовах низького парціального тиску кисню, з електроопором $6 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ і оптичним пропусканням 95 % у видимому діапазоні випромінювання, що достатньо для їх практичного використання в прозорій електроніці, оптоелектроніці тощо, як альтернативу плівкам ITO.

2. Показано, що з ростом вмісту Al (0,5...7 ат. %) в плівках ZnO, вирощених методом атомно-пошарового осадження, концентрація та рухливість електронів, питомий опір змінюються в діапазонах $(0,9 \dots 4) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $16 \dots 6 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $(4,2 \dots 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, відповідно. Збільшення концентрації Al в плівках ZnO приводить до збільшення ефективної маси електронів

з 0,37 до 0,49 m_0 . Основними механізмами розсіювання в плівках є розсіювання на границях зерен та на іонізованих домішках Al при їх високому вмісті.

3. Встановлено закономірності зміни випромінювальної рекомбінації від температури для плівок ZnO, вирощених методом MOCVD за атмосферного тиску на підкладках SiC (0001), зрізаних при різних кутах ($0...8^\circ$) до базисної площини підкладки. Аналіз спектрів фотолюмінесценції від температури показав домінуючий пік випромінювання екситонів, зв'язаних на нейтральних донорах (D^0X) при низькій температурі (4 K) та переважне випромінювання вільних екситонів (FX) при високих температурах. Показано, що кут зрізу підкладки SiC 8° є оптимальним для квазіепітаксійного росту плівок ZnO з покращеними оптичними властивостями.

4. На основі аналізу спектрів фотолюмінесценції виявлено, що збільшення концентрації Mg у вихідному реагенті та збільшення температури осадження приводять до зростання інтенсивності крайової фотолюмінесценції в УФ частині спектра і до гасіння емісії з глибоких рівнів у видимій області спектра випромінювання наноструктур ZnO:Mg, вирощених методом MOCVD за атмосферного тиску, за рахунок зміни умов конденсації та морфології наноструктур. За температур осадження ($250...315^\circ\text{C}$) формуються полікристалічні чи наноструктуровані плівки ZnO, а збільшення температури осадження до 315°C та вмісту ацетилацетонату Mg (AAMg) від 5 до 10 мас. % у вихідній суміші з ацетилацетонатом Zn (AAZn) приводить до формування квазівпорядкованих гексагональних стрижнів ZnO.

5. Виявлено високу електропровідність $\sim 500\text{ См}\cdot\text{см}$, оптичну прозорість $\sim 86\%$ у видимому діапазоні випромінювання та дірковий тип провідності в нелегованих тонких плівках ZnO, вирощених в умовах високого парціального тиску кисню методом реактивного іонно-променевого розпилення.

6. Встановлено фізичні закономірності росту в присутності рідкої фази Zn-Ag-O при температурах осадження $380...500^\circ\text{C}$ методом MOCVD за атмосферного тиску квазівпорядкованих гексагональних нанострижнів та нанодротів ZnO:Ag, а саме: формування наноструктур відбувається за механізмом пар-рідина-тверде тіло, причому Ag входить у міжвузля ґратки наноструктур ZnO і є домішкою донорного типу. У вирощених квазівпорядкованих наноструктурах ZnO:Ag спостерігається суттєве підсилення (на порядок) УФ фотолюмінесценції за рахунок зменшення вмісту невипромінюючих власних дефектів в ґратці ZnO.

7. Визначено вплив умов конденсації на структуру, оптичні та електричні властивості тонких плівок NiO, осаджених методом магнетронного розпилення в режимі пошарового росту. Показано, що осаджені плівки мають коефіцієнт пропускання у видимому діапазоні випромінювання на рівні 0,4...0,5, ширину забороненої зони в межах 3,28...3,33 еВ, гладку поверхню з шорсткістю 1,4...4,0 нм та розміром зерен в діапазоні 16...43 нм.

3. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

Результати досліджень мають велике практичне значення для створення новітніх оксидних плівок і наноматеріалів з унікальним комплексом оптичних та електричних властивостей, використання яких в якості робочих елементів приладів прозорі електроніки, оптоелектроніки та фотовольтаїки дозволить досягти суттєвого підвищення їх функціональних характеристик. Зокрема встановлено, що вирощування плівок ZnO:Al в умовах низького парціального тиску кисню є ефективним для покращення їх параметрів: питомого опору до $6\cdot 10^{-4}\text{ Ом}\cdot\text{см}$ при оптичному пропусканні 95 % у видимому діапазоні випромінювання, а конденсація нелегованих плівок ZnO в умовах високого парціального тиску кисню є сприятливою для отримання в них діркового типу провідності. Запропоновані здобувачем режим

пошарового росту в магнетронному розпиленні для вирощування нелегованих та легованих плівкових оксидних матеріалів та метод, який використовує концентроване сонячне випромінювання для синтезу нелегованих та легованих плівок та наноструктур ZnO, можуть бути використані для отримання ефективних приладів прозорої електроніки, оптоелектроніки та фотовольтаїки. Показано, що легування домішками Ag, Mg та Co наноструктур ZnO, вирощених методом MOCVD за атмосферного тиску, дозволяє ефективно впливати на їх спектри фотолюмінесценції, що є важливим для розробки світлодіодів на основі ZnO.

4. Вірогідність і обґрунтованість результатів, положень та висновків забезпечується використанням сучасних експериментальних та аналітичних методів досліджень таких як: рентгеноструктурний аналіз; сканувальна і трансмісійна електронна мікроскопія; атомно-, магнітно-силова та Кельвін-зонд мікроскопія; рентгенівська фотоелектронна та емісійна спектроскопія; енергодисперсійний рентгеноспектральний аналіз; багатокутова еліпсометрія; нерезонансна і резонансна мікроскопія комбінаційного розсіювання світла; інфрачервона Фур'є-спектроскопія; вторинно-іонна мас-спектроскопія; вимірювання електричних, фотоелектричних, оптичних і фотолюмінісцентних властивостей; комп'ютерна обробка експериментальних даних та розрахунки. При кількості трьох і більше вимірювань проводилась статистична обробка значень такому порядку: визначали абсолютну статистичну похибку; розраховували середнє арифметичне значення результатів вимірювань, отриманих в одних і тих же умовах; розраховували середньоквадратичне відхилення виміряної величини та її довірчий інтервал.

Наукові положення та висновки дисертації є надійними та обґрунтованими. Вони базуються на значному обсязі результатів власних досліджень і їх всебічному аналізі та узгодженні отриманих результатів із літературними даними, підтверджуються публікаціями у фахових вітчизняних та міжнародних наукових виданнях, обговоренням результатів досліджень на українських та міжнародних конференціях, застосуванням комплексу методів дослідження, які взаємно доповнюють один одного.

5. Особистий внесок здобувача. Формулювання мети, вибір об'єктів дослідження та постановку задач проведено дисертантом разом з науковим консультантом д.ф.-м.н., проф. Лашкарьовим Г. В. Пошук та аналіз літературних даних, планування наукового експерименту виконано дисертантом самостійно. Експериментальні роботи по вирощуванню плівок та наноструктур оксидів методами магнетронного та іонно-променевого розпилення, MOCVD за атмосферного тиску були виконані спільно з Карпенком О. Ю. (Інститут фізики, НАН України, Суми), Душейком М. Г. (НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ) та к.ф.-м.н. Карпиною В. А. (ІПМ НАН України, Київ), відповідно. Рентгеноструктурний аналіз зразків виконано спільно з к.т.н. Биковим О.І. (ІПМ НАН України, Київ), рентгенівську фотоелектронну та емісійну спектроскопію – спільно з д.ф.-м.н. Хижуном О. Ю. (ІПМ НАН України, Київ), комбінаційне розсіювання світла, ІЧ Фур'є-спектроскопію, фотолюмінесценцію, параметри плівок методом багатокутової еліпсометрії – разом з д.ф.-м.н. Стрельчуком В. В., к.ф.-м.н. Коломисом О. Ф., к.ф.-м.н. Романюком В. Р. та к.ф.-м.н. Мамікінім С. В. (ІФН, НАН України, Київ), температурну залежність фотолюмінесценції – спільно з к.ф.-м.н. Штеплюком І. І., моделювання дефектів – разом з к.ф.-м.н. Овсянніковою Л. І., та опромінення високоенергетичними електронами – спільно з к.ф.-м.н. Миронюком Д. В. (ІПМ НАН України, Київ). Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень мікроструктури, морфології поверхні, елементного складу, електронних, оптичних і електричних властивостей оксидів в ІПМ НАН України та в центрах колективного користування приладами НАН України. Обробку та аналіз експериментальних результатів, встановлення впливу умов конденсації, концентрації домішок і

відпалу на властивості вирощених оксидів виконано дисертантом самостійно та обговорено зі співавторами статей.

6. Матеріали дисертації повною мірою викладено у 50 наукових працях, у тому числі у 22 статтях [1...22] у наукових журналах, індексованих SCOPUS або WoS, 5 статтях у наукових фахових виданнях України [23...27], 1 статті у матеріалах Scopus конференції [28] та 22 тезах доповідей на міжнародних і національних конференціях [29...50]. Серед журнальних публікацій – 2 статті в реферованих журналах, віднесених до 1-го квартиля (Q1), 12 статей – 2-го квартиля (Q2), 3 статті – 3-го квартиля (Q3) і 5 статей – 4-го квартиля (Q4) відповідно до класифікації SCImago.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в журналах першого квартиля (Q1) за класифікацією SCImago:

1. **Ievtushenko A.** The effect of magnetron power and oxygen pressure on the properties of NiO films deposited by magnetron sputtering in layer-by-layer growth regime / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Khyzhun, O. Bykov, O. Olifan, P. Lytvyn, O. Yarmolenko, V. Tkach, V. Baturin, O. Karpenko // Vacuum. – 2023. – V. 215. – P. 112375. doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112375. *(Особистий внесок здобувача (далі ОВ): пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

2. **Ievtushenko A.** X-Ray photoelectron spectroscopy study of highly-doped ZnO:Al,N films grown at O-rich conditions / A. Ievtushenko, O. Khyzhun, I. Shtepliuk, O. Bykov, R. Jakiela, S. Tkach, E. Kuzmenko, V. Baturin, O. Karpenko, O. Olifan, G. Lashkarev // J. Alloys and Compounds. – 2017. – V. 722. – P. 683-689. doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.06.169. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

Статті в журналах другого квартиля (Q2) за класифікацією SCImago:

3. **Ievtushenko A.** Effect of magnesium doping on the structure, optical properties and photocatalytic efficiency of ZnO nanostructures deposited by atmospheric pressure MOCVD / A. Ievtushenko, V. Karpyna, L. Myroniuk, D. Myroniuk, L. Petrosian, O. Olifan, O. Kolomys, V. Strelchuk // Chemical Physics Letters. – 2024. – V. 857. – P. 141720 (6 pp). doi.org/10.1016/j.cplett.2024.141720. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

4. **Karpyna V.A.** Argon and oxygen pressure influence on the properties of NiO films deposited by magnetron sputtering in layer-by-layer growth regime / V.A. Karpyna, **A.I. Ievtushenko**, O.I. Bykov, O.F. Kolomys, V.V. Strelchuk, S.P. Starik, V.A. Baturin, O.Yu. Karpenko, O.S. Lytvyn // Physica B: Condensed Matter. – 2024. – V. 678. – P. 415740. doi.org/10.1016/j.physb.2024.415740. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

5. **Karpyna V.** Effect of Cobalt Doping on Structural, Optical, and Photocatalytic Properties of ZnO Nanostructures / V. Karpyna, L. Myroniuk, D. Myroniuk, O. Bykov, O. Olifan, O. Kolomys, V. Strelchuk, M. Bugaiova, I. Kovalchuk, **A. Ievtushenko** // Catalysis Letters. – 2024. – V. 154. – P. 2503–2512. doi.org/10.1007/s10562-023-04493-x. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

6. **Ievtushenko A.** The effect of Ag doping on the structure, optical, and electronic properties of ZnO nanostructures deposited by atmospheric pressure MOCVD on Ag/Si substrates / A. Ievtushenko, V. Dzhagan, O. Khyzhun, O. Baibara, O. Bykov, M. Zahornyi, V. Yukhymchuk, M. Valakh, D. R. T. Zahn, K. Naumenko, P. Zaremba and S. Zagorodnya // Semiconductor Science and Technology. – 2023. – 38. – P. 075008 (14pp). doi.org/10.1088/1361-6641/acd6b2. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
7. **Ievtushenko A.** Behavior of Al Impurity in ZnO Films: Influence of Al-Level Doping on Structure, X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Transport Properties / A. Ievtushenko, O. Baibara, M. Dranchuk, O. Khyzhun, V. Karpyna, O. Bykov, O. Lytvyn, V. Tkach, V. Baturin, and O. Karpenko // Phys. Status Solidi A. – 2023. – V. 220. – P. 2200523 (1 of 7). doi.org/10.1002/pssa.202200523. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
8. **Shtepliuk I.** Temperature-Dependent Photoluminescence of ZnO Thin Films Grown on Off-Axis SiC Substrates by APMOCVD / I. Shtepliuk, V. Khranovsky, **A. Ievtushenko**, R. Yakimova // Materials. – 2021. – V. 14. – P. 1035 (15pp). doi.org/10.3390/ma14041035. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті*).
9. **Karpyna V.** Raman and Photoluminescence Study of Al_xN-Codoped ZnO Films Deposited at Oxygen-Rich Conditions by Magnetron Sputtering / V. Karpyna, **A. Ievtushenko**, O. Kolomys, O. Lytvyn, V. Strelchuk, V. Tkach, S. Starik, V. Baturin, O. Karpenko // Phys. Status Solidi B. – 2020. – V. 257. – P. 1900788 (1 of 7). doi.org/10.1002/pssb.201900788. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
10. **Ievtushenko A.** The effect of Zn₃N₂ phase decomposition on the properties of highly-doped ZnO:Al_xN films / A. Ievtushenko, O. Khyzhun, V. Karpyna, O. Bykov, V. Tkach, V. Strelchuk, O. Kolomys, S. Rarata, V. Baturin, O. Karpenko and G. Lashkarev // Thin Solid Films. – 2019. – V. 669. – P. 605-612. doi.org/10.1016/j.tsf.2018.11.052. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
11. **Golovynskyi S.** High transparent and conductive undoped ZnO thin films deposited by reactive ion-beam sputtering / S. Golovynskyi, **A. Ievtushenko**, S. Mamykin, M. Dusheiko, I. Golovynska, O. Bykov, O. Olifan, D. Myroniuk, S. Tkach, J. Qu // Vacuum. – 2018. – V. 153. – P. 204-210. doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.04.019. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
12. **Ievtushenko A.** Effect of Ag doping on the structural, electrical and optical properties of ZnO grown by MOCVD at different substrate temperatures / A. Ievtushenko, V. Karpyna, J. Eriksson, I. Tsiaoussis, I. Shtepliuk, G. Lashkarev, R. Yakimova and V. Khranovsky // Superlattices and Microstructures. – 2018. – V. 117. – P. 121-131. doi.org/10.1016/j.spmi.2018.03.029. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).
13. **Ievtushenko A.** Solar Explosive Evaporation Growth of ZnO Nanostructures / A. Ievtushenko, V. Tkach, V. Strelchuk, L. Petrosian, O. Kolomys, O. Kutsay, V. Garashchenko, O. Olifan, S. Korichev, G. Lashkarev and V. Khranovsky // Applied Science. – 2017. – V. 7. – P. 383 (9pp.). doi.org/10.3390/app7040383. (*OB: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).

14. Popovych V.I. Effect of argon deposition pressure on the properties of aluminum-doped ZnO films deposited layer-by-layer using magnetron sputtering / V.I. Popovych, **A.I. Ievtushenko**, O.S. Lytvyn, V.R. Romanjuk, V.M. Tkach, V.A. Baturyn, O.Y. Karpenko, M.V. Dranchuk, L.O. Klochkov, M.G. Dushejko, V.A. Karpyna, G.V. Lashkarov // Ukr. J. Phys. – 2016. – V. 61. – P. 334-339. doi.org/10.15407/ujpe61.04.0325. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

Статті в журналах третього квартіля (Q3) за класифікацією SCImago:

15. **Ievtushenko A.I.** The influence of substrate temperature on the structure and optical properties of NiO thin films deposited using the magnetron sputtering in the layer-by-layer growth regime / A.I. Ievtushenko, V.A. Karpyna, O.I. Bykov, M.V. Dranchuk, O.F. Kolomys, D.M. Maziar, V.V. Strelchuk, S.P. Starik, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko, O.S. Lytvyn // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2023. – V. 26. – P. 398-407. doi.org/10.15407/spqeo26.04.398. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

16. Karpyna V.A. Photocatalysis and optical properties of ZnO nanostructures grown by MOCVD on Si, Au/Si and Ag/Si wafers / V.A. Karpyna, L.A. Myroniuk, D.V. Myroniuk, M.E. Bugaiova, L.I. Petrosian, O.I. Bykov, O.I. Olifan, V.V. Strelchuk, O.F. Kolomys, V.R. Romanjuk, K.S. Naumenko, L.O. Artiukh, O.Y. Povnitsa, S.D. Zahorodnia, **A.I. Ievtushenko** // Him. Fiz. Tehnol. Poverhni. – 2023. – V. 14. – P. 83-92. doi.org/10.15407/hftp14.01.083. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

17. Myroniuk L. A. Structural, vibrational and photodegradation properties of CuAl₂O₄ films / L. A. Myroniuk, M. G. Dusheyko, V. A. Karpyna, D. V. Myroniuk, O. I. Bykov, O. I. Olifan, O. F. Kolomys, V. V. Strelchuk, A. A. Korchovy, S. P. Starik, V. M. Tkach, **A. I. Ievtushenko** // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2022. – V. 25. – P. 164-172. doi.org/10.15407/spqeo25.02.164. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

Статті в журналах четвертого квартіля (Q4) за класифікацією SCImago:

18. **Ievtushenko A.** The effect of substrate bias voltage on the properties of Al-doped ZnO films deposited by magnetron sputtering / A.I. Ievtushenko, V.A. Karpyna, O.F. Kolomys, S.V. Mamykin, P.M. Lytvyn, O.I. Bykov, A.A. Korchovy, S.P. Starik, V.V. Bilorusets, V.I. Popenko, V.V. Strelchuk, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2024. – V. 27. – P. 418-426. doi.org/10.15407/spqeo27.04.418. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

19. Karpyna V. Structure, Optical and Photocatalytic Properties of ZnO Nanostructures Grown on Ag-Coated Si Substrates / V. Karpyna, L. Myroniuk, O. Bykov, D. Myroniuk, O. Kolomys, V. Strelchuk, L. Petrosian, **A. Ievtushenko** // Acta Physica Polonica A – 2022. – V. 142. – P. 644-650. doi.org/10.12693/APhysPolA.142.644. (**OB:** пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).

20. Myroniuk D.V. Influence of Substrate Temperature and Magnesium Content on Morphology Evolution and Luminescence of Mg-doped ZnO Films / D.V. Myroniuk, L.A. Myroniuk, V.A. Karpyna, L.I. Petrosian, **A.I. Ievtushenko** // Journal of nano- and electronic physics. – 2021. – V. 13. – P.

05008(6pp). doi.org/10.21272/jnep.13(5).05008. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

21. Ovsianikova L.I. The Study of the Behavior of Al Impurity in ZnO Lattice by a Fullerene Like Model / L.I. Ovsianikova, G.V. Lashkarev, V.V. Kartuzov, D.V. Myroniuk, M.V. Dranchuk, **A.I. Ievtushenko** // Physics and Chemistry of Solid state. – 2021. – V.22. – P. 204-208. doi.org/10.15330/pcss.22.2.204-208. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; обговорення результатів моделювання; участь у написанні тексту статті).*

22. Romanyuk V. Optical and Electrical Properties of Highly Doped ZnO:Al Films Deposited by Atomic Layer Deposition on Si Substrates in Visible and Near Infrared Region / V. Romanyuk, N. Dmitruk, V. Karpyna, G. Lashkarev, V. Popovych, M. Dranchuk, R. Pietruszka, M. Godlewski, G. Dovbeshko, I. Timofeeva, O. Kondratenko, M. Taborska, **A. Ievtushenko** // Acta Physica Polonica A. - 2016. – V. 129. – P. 36-40. doi.org/10.12693/APhysPolA.129.A-36. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; обговорення результатів; участь у написанні тексту статті).*

Публікації, що входять до Переліку фахових видань України:

23. **Ievtushenko A.I.** The influence of substrate temperature on the properties of Cu-Al-O films deposited by reactive ion beam sputtering method / A.I. Ievtushenko, M.G. Dusheyko, V.A. Karpyna, O.I. Bykov, P.M. Lytvyn, O.I. Olifan, V.A. Levchenko, A.A. Korchovyi, S.P. Starik, S.V. Tkach, E.F. Kuzmenko, G.V. Lashkarev // Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics. – 2017. – V. 20. – P. 314-318. doi.org/10.15407/spqeo20.03.314. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

24. **Євтушенко А.І.** Вплив тиску кисню на властивості тонких плівок ZnO:Al, вирощених методом пошарового росту при магнетронному розпиленні / А.І. Євтушенко, О.І. Биков, Л.О. Клочков, О.С. Литвин, В.М. Ткач, О.М. Куцай, С.П. Старик, В.А. Батурин, О.Ю. Карпенко, М.Г. Душейко, Г.В. Лашкарьов // Фізика і хімія твердого тіла. – 2015. – Т.16. – С. 667-674. doi.org/10.15330/pcss.16.4.667-674. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

25. **Ievtushenko A. I.** Effect of magnetron power on properties of ZnO:Al thin films deposited by layer-by-layer method in magnetron sputtering / A. I. Ievtushenko, V. A. Karpyna, V. I. Popovych, O. S. Lytvyn, V. R. Romanyuk, V. M. Tkach, V. A. Baturin, O. Y. Karpenko, V. M. Kuznetsov, M. V. Dranchuk, M. G. Dusheyko and G. V. Lashkarev // Nanostructural Materials Science. – 2015. – V. 1. – P. 43-49. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

26. Myroniuk D.V. Effect of electron irradiation on transparent conductive films ZnO:Al deposited at different power sputtering / D.V. Myroniuk, **A.I. Ievtushenko**, G.V. Lashkarev, V.T. Maslyuk, I.I. Timofeeva, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko, V.M. Kuznetsov, M.V. Dranchuk // Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics. – 2015. – V.18. – P. 286-291. doi.org/10.15407/spqeo18.03.286. *(ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій).*

27. Dranchuk M.V. Effect of substrate temperature on structural and electrical properties of Al-doped zinc oxide thin films deposited by layer-by-layer method at magnetron sputtering / M.V. Dranchuk, **A.I. Ievtushenko**, V.A. Karpyna, O.S. Lytvyn, V.R. Romanyuk, V.M. Tkach, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko, V.M. Kuznetsov, V.I. Popovych, M.G. Dusheyko, G.V. Lashkarev Effect

of substrate temperature on structural and electrical properties of Al-doped zinc oxide thin films deposited by layer-by-layer method at magnetron sputtering// Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2015. – V. 12. – P. 5-12. (*ОВ: пошук та аналіз літературних даних; експериментальне дослідження; обробка та обговорення результатів; участь у написанні тексту статті та підготовки ілюстрацій*).

Публікації у матеріалах міжнародних конференцій:

28. Koval V. Reactive ion beam sputtered molybdenum oxide thin films for optoelectronic application / V. Koval, M. Dusheyko, A. Ivashchuk, S. Mamykin, **A. Ievtushenko**, V. Barbash, M. Koliada, V. Lapshuda, R. Filov // 2020 IEEE 40th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO). – 2020. – Kyiv, Ukraine. – P. 246-250. doi.org/10.1109/ELNANO50318.2020.9088736. (*ОВ: пошук та аналіз літературних даних; обговорення результатів; участь у написанні тексту статті*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Матеріали та тези конференцій:

29. **Ievtushenko A.I.** Effect of layer by layer growth method in magnetron sputtering on deposition transparent conductive aluminum-doped ZnO thin films / A.I. Ievtushenko, G.V. Lashkarev, V.I. Lazorenko, L.O. Klochkov, O.I. Bykov, V.M. Tkach, M. Kutsay, S.P. Starik, O.S. Lytvyn, M.G. Dusheyko, V.A. Baturin, A.Y. Karpenko // XIV International Conference “Physics and technology of thin films and nanosystems”, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2013. – P. 29.

30. **Ievtushenko A.I.** ZnO microstructures grown on coated Si substrates by method of explosive evaporation of precursor / A.I. Ievtushenko, V.M. Tkach, L.O. Klochkov, V.V. Strelchuk, V.V. Garashchenko, O.F. Kolomys, V.I. Popovych, G.V. Lashkarev // Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface”, simultaneously with Workshop “Nanostructured Biocompatible/Bioactive materials”, Kyiv, Ukraine, 2015. – P. 125.

31. Попович В.І. Вплив параметрів магнетронного розпилення на структуру, оптичні та електричні характеристики плівок оксиду цинку, легованих алюмінієм / В.І. Попович, М.В. Дранчук, О.С. Литвин, В.Р. Романюк, В.А. Батурин, О.Ю. Карпенко, В.М. Ткач, Л.О. Клочков, Г.В. Лашкарьов та **А.І. Євтушенко** // Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників “Лашкарьовські читання – 2015” з міжнародною участю, Київ, Україна, 2015. – С. 58.

32. **Ievtushenko A.I.** The structure and optic properties of ZnO thin films deposited by reactive ion beam sputtering / A.I. Ievtushenko, M.G. Dusheyko, O.I. Bykov, S.V. Mamykin, O.I. Olifan, D. O. Putiak, V.O. Ulianova // International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2017), Chernivtsi, Ukraine, 2017. – P. 442.

33. **Ievtushenko A.** The morphology and Kelvin probe microscopy study of pure and Ag-doped ZnO nanostructures / A. Ievtushenko, V. Khranovsky, V. Karpyna, J. Ericksson, R. Yakimova // Young scientists conference on semiconductor physics with international participation «Lashkaryov's readings», Kyiv, Ukraine, 2017. – P. 36-37.

34. **Ievtushenko A.I.** The properties of NiO thin films grown at different magnetron sputtering conditions on Si and glass wafers / A.I. Ievtushenko, V.A. Karpyna, P.M. Lytvyn, A.A. Korchovyi, O.I. Olifan, S.V. Tkach, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko, G.V. Lashkarev // XVI International Conference dedicated to memory Professor Dmytro Freik “Physics and technology of thin films and nanosystems”, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2017. – P. 11-12.

35. **Ievtushenko A.** The development of deposition technologies for n- and p-type oxide films for transparent electronics / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Bykov, O. Olifan, M. Dusheyko, O. Kolomys, A. Korchovyi, P. Lytvyn, S. Mamykin, V. Strelchuk, V. Tkach, S. Starik, V. Baturin, O. Karpenko,

G. Lashkarev // Young scientists conference on semiconductor physics with international participation «Lashkaryov's readings», Kyiv, Ukraine, 2018. – P. 8-9.

36. **Ievtushenko A.** Properties optimization for n-ZnO and p-NiO films deposited by magnetron and ion-beam sputtering methods / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Bykov, O. Olifan, M. Dusheyko, S. Mamykin, V. Tkach, G. Lashkarev // 6th International Samsonov Memorial Conference “Material Science of Refractory Compounds”, Kyiv, Ukraine, 2018. – P. 16.

37. **Ievtushenko A.** The effect of substrate bias on structure, optical and electrical properties of wide bandgap oxides films / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Bykov, O. Kolomys, S. Mamykin, O. Olifan, V. Baturin, O. Karpenko, V. Strelchuk, G. Lashkarev // Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface”, Kyiv, Ukraine, 2018. – P. 70.

38. **Ievtushenko A.** The characteristics of NiO thin films grown by layer-by-layer method in magnetron sputtering at different technological parameters / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Bykov, O. Olifan, O. Kolomys, S. Mamykin, A. Korchovyi, V. Strelchuk, P. Lytvin, V. Tkach, V. Baturin, O. Karpenko // Scientific conference “Functional materials for innovative energy” (FMIE 2019), Kyiv, Ukraine, 2019. – P.68.

39. **Ievtushenko A.** The effect of substrate temperature and air annealing on the structure, optical and electrical properties of MoO_x thin films deposited by reactive ion-beam sputtering / A. Ievtushenko, M. Dusheiko, S. Mamykin, V. Koval, O. Olifan, O. Kolomys, S. Korichev, V. Strelchuk, V. Tkach // Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface” and Workshop “Metal-based Biocompatible Nanoparticles: synthethis and applications”, Kyiv, Ukraine, 2019. – P. 89.

40. **Ievtushenko A.** On the properties of as-grown and annealed MoO₃ thin films deposited by reactive ion-beam sputtering / A. Ievtushenko, V. Koval, S. Mamykin, O. Kolomys, O. Bykov, O. Olifan, V. Strelchuk, V. Tkach, M. Dusheiko // 6th International conference HighMathTech, Kyiv, Ukraine, 2019. – P.60.

41. Ovsianikova L. I. The investigation of the behavior of Al, Ga, In impurities in ZnO lattice by a fullerene-like model / L. I. Ovsianikova, G.V. Lashkarev, V. V. Kartuzov, D. V. Myroniuk, M. V. Dranchuk, **A. I. Ievtushenko** // 6th International conference HighMathTech, Kyiv, Ukraine, 2019. – P. 62.

42. **Ievtushenko A.** The morphology, electronic structure, optical properties and cytotoxicity of Ag-doped ZnO nanostructures / A. Ievtushenko, O. Khyzhun, V. Karpyna, O. Bykov, M. Zahornyi, V. Dzhan, V. Yuhymchuk, M. Valakh, S. Zagorodnya, K. Naumenko, P. Zaremba, V. Khranovskyy // The International Meeting “Clusters and nanostructured materials (CNM-6)”, Uzhgorod, Ukraine, 2020. – P. 73-75.

43. Myroniuk D. V. Investigation of the morphology and luminescence properties of Mg-doped ZnO nanostructures grown at different substrate temperatures / D. V. Myroniuk, V. A. Karpyna, L. A. Myroniuk, V. D. Khranovskyy, **A.I. Ievtushenko** // The International Meeting “Clusters and nanostructured materials (CNM-6)”, Uzhgorod, Ukraine, 2020. – P. 120-123.

44. **Ievtushenko A.** The optical properties of annealed ZnO nanostructures grown on Ag-coated Si substrates / A. Ievtushenko, V. Karpyna, L. Myroniuk, O. Bykov, D. Myroniuk, M. Zahornyi, O. Kolomys, V. Strelchuk // Young scientists conference on semiconductor physics «Lashkaryov's readings», Kyiv, Ukraine 2021. – P. 32-34.

45. **Ievtushenko A.** The properties of pure and Ag-doped ZnO nanocomposites / A. Ievtushenko, V. Karpyna, I. Shtepliuk, J. Ericksson, R. Yakimova, V. Khranovskyy // 7th International Samsonov Memorial Conference “Material Science of Refractory Compounds” (MSRC), Kyiv, Ukraine, 2021. – P. 20.

46. **Ievtushenko A.** On the properties of highly-doped ZnO:Al,N films grown at oxygen-poor and oxygen-rich conditions / A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Khyzhun, O. Bykov, O. Kolomys, V. Strelchuk, V. Tkach, V. Baturin, O. Karpenko // Ukrainian conference with international participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" devoted to the 35th anniversary of the Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop "Nanostructures and nanomaterials in medicine: challenges, tasks and perspectives", Kyiv, Ukraine, 2021. – P. 88.

47. **Ievtushenko A.** Materials science growth aspects of high-quality oxide thin films for photovoltaics / A. Ievtushenko, V. Karpyna, I. Shtepliuk, O. Khyzhun, O. Bykov, O. Olifan, S. Mamykin, O. Kolomys, V. Strelchuk, P. Lytvyn, V. Tkach, V. Garashchenko, V. Baturin, O. Karpenko, V. Koval, M. Dusheiko // The IIIth scientific conference "Functional materials for innovative energy" (FMIE 2021), Kyiv, Ukraine, 2021. – P. 32.

48. **Ievtushenko A.I.** Effect of substrate bias on the properties of Al-doped ZnO films deposited by magnetron sputtering / A.I. Ievtushenko, V.A. Karpyna, O.I. Bykov, O.I. Olifan, S.V. Mamykin, O.F. Kolomys, V.V. Strelchuk, P.M. Lytvyn, A.A. Korchovyi, V.M. Tkach, S.P. Starik, V.A. Baturin, O.Y. Karpenko // XIX International Freik Conference On Physics and Technology of thin films and nanosystems, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2023. – P. 24.

49. **Ievtushenko A.I.** Co, Mg, and Cd-doped ZnO photocatalytic coatings for water purification / A.I. Ievtushenko, L.A. Myroniuk, V.A. Karpyna, D.V. Myroniuk, R.I. Didus, O.I. Olifan, O.F. Kolomys, V.V. Strelchuk, Ya.O. Kolomys, O.Yu. Povnitsa, L.O. Artiukh, K.S. Naumenko, S.D. Zahorodnia // Ukrainian Conference with International Participation "CHEMISTRY, PHYSICS AND TECHNOLOGY OF SURFACE", Kyiv, Ukraine, 2023. – P. 68.

50. **Ievtushenko A. I.** On the photocatalytic activity of pure polycrystalline ZnO coatings grown by atmospheric pressure MOCVD and magnetron sputtering / A. I. Ievtushenko, V. A. Karpyna, L. A. Myroniuk, D. V. Myroniuk, O.I. Olifan, O. F. Kolomys, V. V. Strelchuk, S. P. Starik, V.A. Baturin, O. Y. Karpenko // Ukrainian Conference with International Participation "CHEMISTRY, PHYSICS AND TECHNOLOGY OF SURFACE", Kyiv, Ukraine, 2024. – P. 111.

Вважаємо, що дисертація Євтушенка А. І. "Оптичні та електрофізичні властивості плівок на основі ZnO та NiO", поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 (Фізика твердого тіла), виконана на високому науковому рівні і відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 – "Фізика твердого тіла" та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.207.01. У докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, відсутні академічний плагіат, фабрикації та фальсифікації.

Робота може бути рекомендована до захисту на спеціалізованій вченій раді Д26.207.01 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Рекомендуються офіційні опоненти:

1. Доктор фізико-математичних наук, професор **Карбівський Володимир Леонідович** - завідувач відділу "Фізики наноструктур" Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України

2. Доктор фізико-математичних наук, старший дослідник **Владимирський Ігор Анатолійович** - директор Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона, Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

3. Доктор фізико-математичних наук, старший дослідник **Насека Юрій Миколайович** - заступник завідувача відділу "Кінетичних явищ та поляритоніки" Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Автореферат відповідає змісту дисертації і може бути надрукований у поданому вигляді.

Висновок комісії затверджено на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.207.01 від " 30 " серпня 2025 р., протокол № 2.

Члени комісії:

доктор фізико-математичних наук



Олексій БИСТРЕНКО

доктор фізико-математичних наук



Євген ЄЛІСЄЄВ

доктор фізико-математичних наук



Олексій ОНОПРІЄНКО