

О.З. Діденко, П.Є. Стрижак, Г.Р. Космамбетова, Н.С. Кальчук

Синтез і морфологія низькорозмірних квантових систем ZnO/MgO

*Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України
Україна, 03028, Київ, просп. Науки, 31; (044) 525-66-45; didenko_oz@yahoo.co.uk*

Розроблено методику приготування нанорозмірних твердофазних систем ZnO/MgO шляхом нанесення попередньо синтезованих наночастинок оксиду цинку з колоїдного розчину на носій. Методами електронної спектроскопії та просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ) досліджено морфологію композитів, що містять наночастинок оксиду цинку. Встановлено, що розмір наночастинок, розрахований за допомоги моделі ефективної маси по краю смуги поглинання електронних спектрів, лише відносно узгоджується з аналогічною величиною, знайденою за даними ПЕМ. Виявлено добру відповідність між функціями розподілу частинок по розмірах, що отримані з аналізу спектрів поглинання/відбиття і даних ПЕМ, як для колоїдного розчину наночастинок ZnO, так і для порошку ZnO/MgO.

Ключові слова: наночастинок ZnO, MgO, просвічуюча електронна мікроскопія, електронна спектроскопія, розподіл частинок за розміром.

Стаття постуила до редакції 19.05.2008; прийнята до друку 15.12.1008

Нанорозмірні частинки, характеризуються аномальними фізико-хімічними властивостями порівняно з масивним зразком сполуки такого самого хімічного складу. Зокрема, при переході до ультрадисперсних частинок відбуваються зміни температури плавлення, електронних, магнітних, оптичних, каталітичних та ін. властивостей [1-5]. Розвиток нових технологій одержання наноматеріалів та приладів контролю за їх структурними та розмірними характеристиками сприяв створенню широкого кола методів синтезу нанорозмірних частинок металів та їх оксидів: лазерне газофазне напылення, електрохімічне осадження, механохімічне дроблення, темплатний синтез та синтез в колоїдних розчинах [3-7]. Оксид цинку є одним з оксидів металів, для наночастинок якого з розміром до 10 нм спостерігаються квантоворозмірні ефекти, що позначаються на збільшенні ширини забороненої зони, редокс потенціалу валентної зони та зони провідності [8]. Поява специфічних властивостей відкриває можливість створення на базі нанорозмірного ZnO нових матеріалів з метою використання їх в оптико-електронній техніці, мікроелектроніці, процесах перетворення сонячної енергії в хімічну тощо [3-5,8]. Нажаль, на відміну від чистого ZnO, в літературі існує небагато робіт щодо синтезу наночастинок оксиду цинку, що включені у твердотільну матрицю [9]. В той саме час, такі матеріали могли б знайти своє застосування при створенні високоефективних

каталізаторів гетерогенно-каталітичних процесів шляхом нанесення нанорозмірних частинок активного компонента на інертний носій з розвиненою поверхнею.

При синтезі нових наноматеріалів із заданими властивостями першочергове значення має розробка методичних способів дослідження і контролю їх розмірних та структурних характеристик. Основними методами вивчення дисперсності й розподілу частинок за розмірами порошкових матеріалів є просвічуюча, скануюча електронна мікроскопія (ПЕМ, СЕМ, відповідно) та рентгенофазовий аналіз (РФА). Незважаючи на універсальність та інформативність даних методів, їх можливість обмежені у випадку дослідження низькоконцентрованих високодисперсних систем. Це зумовлено недостатнім рівнем чутливості методу РФА, низькою роздільною здатністю до нанесених частинок менших за 10 нм, а також складнощами препаративного приготування зразків для електронної мікроскопії.

Простим та зручним методом оцінки розміру наночастинок в порошкових зразках є електронна спектроскопія дифузного відбиття. Відомо, що з переходом від масивних об'єктів до частинок з розміром менше 10 нм в електронних спектрах спостерігається зсув краю смуги поглинання в ультрафіолетову область, величина якого залежить від розміру наночастинок. Крім того, даний метод відрізняється високою чутливістю, що дозволяє виявляти сполуки, вміст яких менше 1 %.

У даній роботі запропоновано спосіб синтезу твердофазних систем на основі наночастинок оксиду цинку з розміром до 10 нм, нанесених на оксид магнію, досліджено їх морфологію й структуру методами просвічуючої електронної мікроскопії та електронної спектроскопії дифузного відбиття. Вибір оксиду магнію як розріджувача і білого стандарту забезпечує можливість ідентифікації у видимій та УФ областях світла спектрів поглинання, притаманних саме оксиду цинку [10].

I. Експериментальна частина

В роботі використовували оксид магнію («х.ч.»), ацетат цинку дігідрат («х.ч.»), гідроксид натрію («х.ч.») та ізопропіловий спирт («х.ч.») як розчинник. Оксид магнію прожарювали за температури 773 К протягом 4 год. в потоці повітря. Ізопропіловий спирт сушили прожареним оксидом кальцію і двічі переганяли з відбором середньої фракції.

Синтез колоїдного розчину наночастинок ZnO. Колоїдний розчин наночастинок ZnO готували шляхом взаємодії ацетату цинку і гідроксиду натрію в ізопропанольному середовищі згідно методики, що описана в роботах [11,12]. Для формування наночастинок ZnO реакційну суміш

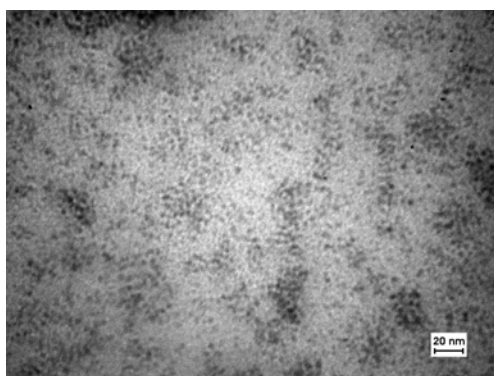
($[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ і $[\text{NaOH}] = 1,14 \cdot 10^{-2} \text{ М}$), приготовану змішуванням вихідних розчинів за температури 273 К, витримували в термостаті 2,5 год. при температурі 333 К.

Синтез твердофазного зразка ZnO/MgO. Зразок ZnO/MgO готували додаванням 27 мл колоїдного розчину наночастинок оксиду цинку до суспензії з 1 г MgO і 10 мл ізопропілового спирту за температури 277 К. Одержану суміш витримували 15 хв. при постійному перемішуванні, після чого її фільтрували, промивали, сушили до повного видалення розчинника і прожарювали при 623 К протягом 4 год.

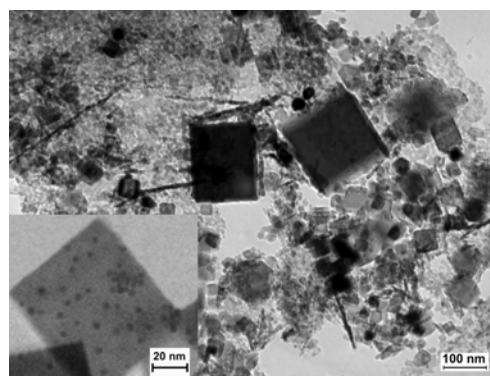
Вміст оксиду цинку в зразку ZnO/MgO визначали титриметричним методом [13]. Після нанесення наночастинок ZnO з колоїдного розчину на MgO з подальшою обробкою твердофазної зразки були досліджені на вміст оксиду цинку. Концентрація нанесеного оксиду цинку в зразках становила 0,9 %.

Дослідження колоїдних розчинів ZnO і нанесених зразків ZnO/MgO проводили за допомоги просвічуючого електронного мікроскопа «ПЭМ-125К» і спектрофотометра «Specord M-40». Розмір наночастинок ZnO визначали по ПЕМ-фотографіям, а також по електронним спектрам поглинання колоїдного розчину ZnO і електронним спектрам дифузного відбиття порошку ZnO/MgO.

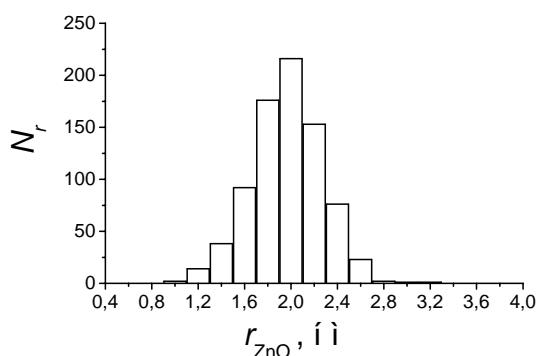
Для оцінки точності визначення розміру



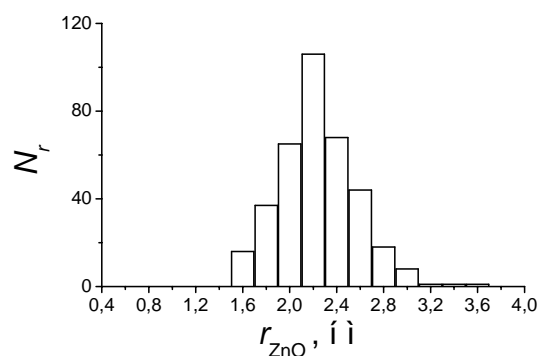
a



б



б



з

Рис. 1. ПЕМ-фотографії наночастинок ZnO та їх розподіл по розмірах: *a* – в колоїдному розчині; *б* – в твердофазному зразку ZnO/MgO. Умови синтезу колоїдного розчину наночастинок ZnO: $[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2] = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ М}$; $[\text{NaOH}] = 1,14 \cdot 10^{-2} \text{ М}$; температура визрівання $T_b = 333 \text{ К}$; час визрівання $t_b = 2,5 \text{ год}$.

наночастинок ZnO, що розрахований з електронних спектрів поглинання, було виконано декілька незалежних досліджень зразків. Результати статистичної обробки одержаних даних свідчать про те, що похибка визначення радіуса наночастинок ZnO становить $\pm 0,04$ нм. Ця величина відповідає відтворюваності визначення радіуса наночастинок оксиду цинку даним методом.

Зразки для отримання ПЕМ-зображень готували нанесенням краплі колоїдного розчину ZnO або суспензії порошку ZnO/MgO в ізопропіловому спирті, на мідну сіточку, покриту тонкою вуглецевою плівкою, з подальшою сушкою на повітрі. Побудову гістограм розподілу частинок по розмірах використовували за декількома ПЕМ-фотографіям зразків.

II. Результати та обговорення

ПЕМ-фотографії наночастинок ZnO, що визрівали в колоїдному розчині протягом 2,5 год., синтезованого порошкового зразка ZnO/MgO, а також відповідні ним гістограми розподілу частинок ZnO по розмірах наведені на рис. 1. З даних, що наведені на рис. 1, *а*, випливає, що наночастинки ZnO з колоїдного розчину мають практично сферичну форму. Середній радіус наночастинок ZnO ($\langle r_T \rangle$) становить 2,0 нм, а середнє квадратичне відхилення $\sigma = 0,30$ нм (рис. 1, *б*). На ПЕМ-фотографії твердофазного зразка ZnO/MgO (рис. 1, *в*) чітко видні великі частинки MgO (20-100 нм), що мають кубічну структуру. Наночастинки ZnO, розташовані на поверхні носія, візуалізуються на ПЕМ-фотографіях з більшою роздільною здатністю. Середнє значення радіуса наночастинок ZnO становить 2,2 нм, а $\sigma = 0,32$ нм (рис. 1, *г*). Таким чином, за даними просвічуючої електронної мікроскопії після нанесення на MgO розмір наночастинок ZnO змінюється мало (на 0,2 нм) порівняно з розміром

наночастинок в колоїдному розчині. Незмінною залишається й дисперсія розподілу частинок ZnO по розмірах. Слід зазначити, що точність визначення розміру наночастинок ZnO в порошку ZnO/MgO обмежена контрастом на ПЕМ-фотографії між нанесеними частинками оксиду цинку і носієм, що обумовлює певні складності при інтерпретації даних [9].

На рис. 2 наведено електронний спектр поглинання колоїдного розчину ZnO (*а*) і спектр дифузного відбиття порошкового зразка ZnO/MgO (*б*). Для порівняння на рис. 2, *б* також наведений електронний спектр дифузного відбиття макрокристалічного ZnO. Для коректного зіставлення спектрів зразок макрокристалічного ZnO було приготовано шляхом змішування заводського порошку оксиду цинку і носія в ізопропанолі з подальшою обробкою, що описана вище при одержанні ZnO/MgO. Вміст ZnO в суміші становив приблизно 1%. Низький вміст оксиду цинку в надлишку непоглинаючого оксиду магнію забезпечує мінімізацію впливу поверхневого відбиття на спектри дифузного відбиття [10].

Електронні спектри колоїдного розчину наночастинок ZnO (див. рис. 2, *а*) і твердофазного зразка ZnO/MgO (див. рис. 2, *б*) характеризуються наявністю зсуву краю смуги поглинання в короткохвильову область (близько 364 нм і 378 нм, відповідно) відносно макрокристалічного ZnO. Положення краю смуги поглинання визначали екстраполяцією прямолінійної ділянки спектра до перетину з віссю абсцис (див. позначення стрілкою на рис. 2, *а*). Для макрокристалічного ZnO в приготованому 1%-ому зразку край смуги поглинання знаходиться в області 389 нм, що відповідає ширині забороненої зони $E_g^{bulk} = 3,19$ eV і практично співпадає зі довідниковою величиною для масивного ZnO (3,2 eV) за кімнатної температури [14]. Поява зсуву краю смуги поглинання в УФ-область свідчить про наявність в досліджуваних

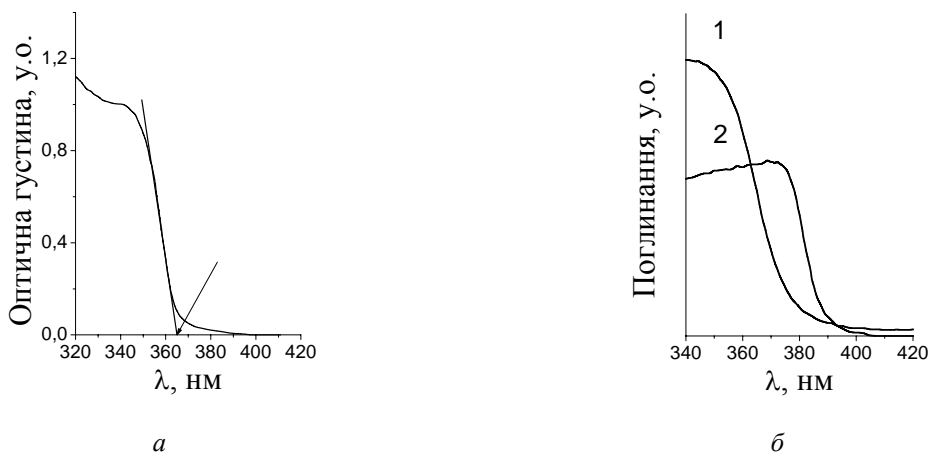


Рис. 2. *а* – Електронний спектр поглинання колоїдного розчину наночастинок ZnO; *б* – електронні спектри дифузного відбиття твердофазного зразка ZnO/MgO (1) і 1 %-го макрокристалічного ZnO/MgO (2). Умови синтезу наночастинок ZnO в колоїдному розчині такі саме, як на рис. 1.

колоїдному розчині та порошку частинок оксиду цинку з розміром в так званому квантовому інтервалі (менше 10 нм), в межах якого зонна структура оксиду цинку є розмірозалежною. Для наночастинок оксиду цинку в колоїдному розчині ширина забороненої зони становить приблизно 3,44 еВ, а в порошок ZnO/MgO – 3,31 еВ. Збільшення ширини забороненої зони для наночастинок оксиду цинку, як наслідок проявів квантоворозмірних ефектів, вказує на те, що синтезована твердофазна система ZnO/MgO, так само як вихідний колоїдний розчин, є квантовою.

Розмір частинок ZnO оцінювали як значення рішення квадратного рівняння моделі ефективної маси, що кількісно описує зв'язок між розширенням забороненої зони й радіусом наночастинок [15-17]:

$$E^*(r) = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2er^2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) - \frac{1.8e}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} - \frac{0.124e^3}{\hbar^2 (4\pi\epsilon\epsilon_0)^2} \times \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right)^{-1}$$

де r – радіус наночастинок ZnO (м); E^* – енергія локалізації екситону на наночастиці ZnO (еВ); E_g^{bulk} – ширина забороненої зони макрокристалічного ZnO; \hbar – редукована стала Планка; m_e^* і m_h^* – ефективна маса електрона й дірки, відповідно; m_e – маса вільного електрона; e – заряд вільного електрона; ϵ – відносна діелектрична проникність; ϵ_0 – електрична стала.

Радіус наночастинок ZnO в колоїдному розчині, що розрахований за величиною зсуву краю смуги поглинання (r_s), становить $2,43 \pm 0,04$ нм і дещо перевищує величину, визначену по ПЕМ-фотографії. Аналогічний результат було отримано й для твердофазного зразка ZnO/MgO. Значення радіуса наночастинок ZnO, розраховане по краю спектра дифузного відбиття порошку ZnO/MgO, дорівнює $3,31 \pm 0,04$ нм. При цьому для твердофазного зразка

невідповідність розмірів наночастинок ZnO, одержаних обома методами, значно більша, ніж у випадку колоїдного розчину. Такий результат обумовлений декількома обмеженнями, що виникають при застосуванні моделі ефективної маси для розрахунку розміру частинок [9,16,17]. З одного боку, розмір частинок залежить від вибору значень параметрів моделі, наприклад, ефективних мас електрона й дірки. З іншого боку, на формування спектра поглинання основний вплив спричиняє розподіл частинок за розмірами в цілому, а не окремі наночастинок. Незважаючи на перевагу частинок середнього розміру, вагомим є внесок у спектр поглинання більших частинок, кількість яких невелика, однак їхній сумарний об'єм більше об'єму дрібніших частинок. Тому розмір частинок, розрахований за моделлю ефективної маси, перевищує найбільш імовірне значення наночастинок, що отримане з аналізу даних просвічуючої мікроскопії. Для коректного розрахунку значень середнього і найбільш імовірного розмірів наночастинок ZnO по електронним спектрам виникає потреба знаходження функції розподілу частинок по розмірах.

В гранично розведених розчинах інтенсивність оптичного поглинання A за даної довжини хвилі визначається загальною кількістю частинок певного розміру [18,19]:

$$A(r) \propto \int_r^\infty 4\pi r^3 n(r) dr,$$

де $n(r)$ – функція розподілу наночастинок по розмірах. Таке співвідношення є слушним за умови, якщо наночастинок мають сферичну форму і коефіцієнт поглинання не залежить від їх розміру. Після диференціювання по радіусу, а також з урахуванням того, що $n(r) = 0$ при $r \rightarrow \infty$, співвідношення між функцією розподілу частинок по розмірах і локальним нахилом

Таблиця

Розмірні характеристики наночастинок ZnO в колоїдному розчині та твердофазному зразку ZnO/MgO, отримані методами просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ) та електронної спектроскопії поглинання/відбиття (ЕС)

Зразок	$\langle r \rangle$, нм		σ , нм		r_s , нм
	ПЕМ	ЕС	ПЕМ	ЕС	
Колоїдний розчин	2,0	2,12	0,30	0,19	$2,43 \pm 0,04$
Порошок ZnO/MgO	2,2	2,26	0,32	0,29	$3,31 \pm 0,04$

Примітка:

$\langle r \rangle$, нм – середнє значення радіуса наночастинок ZnO;

σ , нм – середнє квадратичне відхилення;

r_s , нм – значення радіуса наночастинок ZnO, розраховане по краю смуги поглинання електронних спектрів за допомогою моделі ефективної маси.

Умови синтезу наночастинок ZnO в колоїдному розчині такі самі, як на рис. 1.

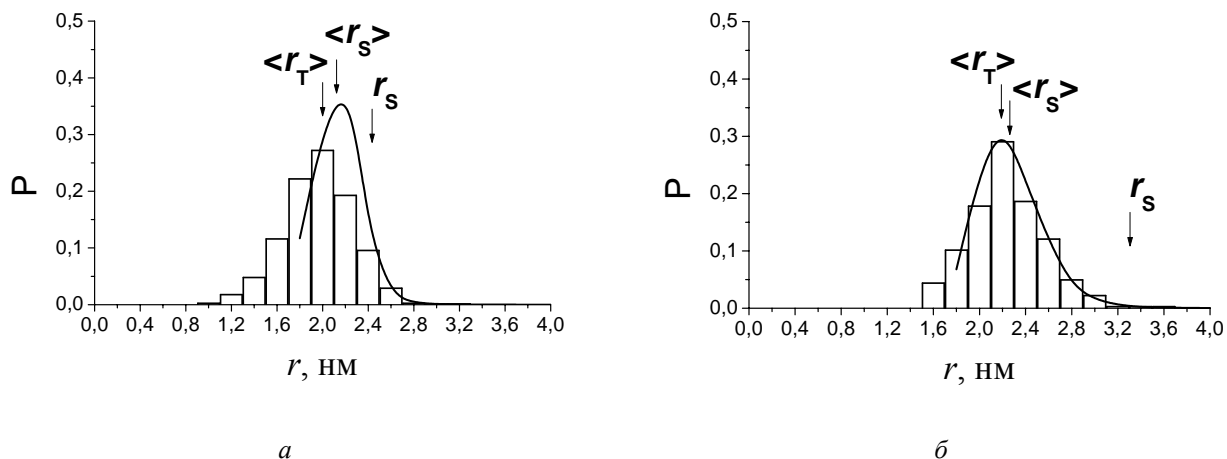


Рис. 3. Нормовані функції розподілу наночастинок ZnO по розмірах, що отримані з аналізу даних просвічуючої електронної мікроскопії (гістограма) і електронної спектроскопії поглинання/відбиття (лінія): *a* – для колоїдного розчину; *б* – для твердофазного зразка ZnO/MgO. Умови синтезу наночастинок ZnO в колоїдному розчині такі самі, як на рис. 1. Умовні позначення: $\langle r_T \rangle$, $\langle r_s \rangle$ – середнє значення радіуса наночастинок ZnO, розраховане з даних ПЕМ і електронної спектроскопії поглинання/відбиття, відповідно; r_s , нм – значення радіуса наночастинок ZnO, розраховане по краю смуги поглинання електронних спектрів за допомогою моделі ефективної маси.

електронного спектра поглинання набуває вигляд:

$$n(r) \propto \frac{dA}{dr} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$$

Результати розрахунків, що наведені на рис. 3, *a*, свідчать про добру відповідність нормованих функцій розподілу наночастинок ZnO по розмірах в колоїдному розчині, отриманих на основі електронного спектра поглинання та ПЕМ-фотографії, що в свою чергу узгоджується з літературними даними [19].

За аналогією зі спектром поглинання колоїдного розчину було проаналізовано спектр дифузного відбиття синтезованого твердофазного зразка ZnO/MgO. З огляду на низьку концентрацію оксиду цинку (до 1%), систему ZnO/MgO можна прийняти як розведену суміш. Зіставлення результатів дослідження порошку ZnO/MgO двома методами (рис. 3, *б*) свідчить про відповідність отриманих даних.

В таблиці наведено зіставлення розмірних характеристик наночастинок ZnO в колоїдному розчині та твердофазному зразку ZnO/MgO, розрахованих за відповідними ПЕМ-фотографіями та електронними спектрами. Значення середнього радіуса наночастинок оксиду цинку в колоїдному розчині та порошку ($\langle r_s \rangle$), що розраховані по електронним спектрам (2,12 нм і 2,26 нм, відповідно), практично співпадають з аналогічними величинами, знайденими по ПЕМ-фотографіям ($\langle r_T \rangle$). Слід зазначити, що розподілі частинок по розмірах, розраховані по електронним спектрам мають дещо менший розкид, ніж гістограми відповідних ПЕМ-зображень. Середнє квадратичне відхилення розмірів наночастинок відносно середнього, знайдене по електронному спектру поглинання колоїдного

розчину, становить 0,19 нм. У випадку порошку ZnO/MgO функція розподілу наночастинок ZnO по розмірах, розрахована по електронному спектру дифузного відбиття, практично співпадає з гістограмою (див. рис. 3, *б*), а $\sigma = 0,29$ нм.

Аналіз даних, наведених на рис. 3 і в таблиці свідчить про можливість використання електронної спектроскопії для оцінки розміру наночастинок ZnO як у колоїдному розчині, так і твердофазній системі ZnO/MgO. Для визначення середнього і найбільш імовірного розміру наночастинок, близьких до дійсних значень, необхідною умовою є розрахунок функції розподілу частинок по розмірах, виходячи з залежності інтенсивності поглинання від об'єму наночастинок. Знайдене в такий спосіб значення середнього розміру наночастинок відповідає аналогічній величині, розрахованій за даними просвічуючої електронної мікроскопії. Значення радіуса наночастинок ZnO, отримане за допомогою моделі ефективної маси по краю смуги поглинання (r_s), може бути використано лише при порівняльному аналізі розмірів наночастинок у різних зразках.

Таким чином, нами розроблено методику приготування нанорозмірних твердофазних систем ZnO/MgO шляхом нанесення колоїдних наночастинок оксиду цинку на носій. Показано можливість використання електронної спектроскопії поглинання/відбиття не лише для визначення розміру наночастинок у колоїдному розчині, але і для наночастинок, нанесених на твердий носій.

Роботу виконано за фінансової підтримки цільових комплексних програм фундаментальних наукових досліджень НАН України “Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології” (“Архітектура активних частинок нанофазних каталізаторів редокс-перетворень малих молекул (NO_x, CH₄, CO, H₂)”) та “Фундаментальні проблеми

водневої енергетики” (“Низькотемпературні гетерогенно-каталітичні методи вибіркового

окислення монооксиду вуглецю для очистки водню”).

Діденко О.З. – канд. хім. наук, науковий співробітник;

Стрижак П.Є. – докт. хім. наук, проф., завідувач відділу Інституту фізичної хімії;

Космамбетова Г.Р. – канд. хім. наук, ст. науковий співробітник;

Кальчук Н.С. – аспірант.

- [1] И.П. Суздалев, П.И. Суздалев. Дискретность наноструктур и критические размеры нанокластеров // *Успехи химии*, **75**(8), сс. 715-752 (2006).
- [2] G.B. Sergeev. *Nanochemistry*. Elsevier. 262 p. (2006).
- [3] *Nanomaterials: synthesis, properties and applications*. Eds. A.S. Edelstein, R.C. Cammarata. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia. 596 p. (2001).
- [4] *Nanoscale Materials in Chemistry*. Eds. K.J. Klabunde. Wiley-Interscience, NY. 304 p. (2001).
- [5] C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, M.A. El-Sayed Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes // *Chem. Rev.*, **105**(4), pp. 1025-1102 (2005).
- [6] J.D. Aiken III, R.G. Finke. A review of modern transition-metal nanoclusters: their synthesis, characterization, and applications in catalysis // *J. Mol. Catal. A.*, **145**(1-2), pp. 1-44 (1999).
- [7] Д.М. Фреїк, Б.П. Яцишин. Технологічні аспекти нанокластерних і нанокристалічних структур // *Фізика і хімія твердого тіла*, **8**(1), сс. 7-24 (2007).
- [8] R. Viswanatha, S. Sapra, B. Satpati, P.V. Satyam, B.N. Dev, D.D. Sarma. Understanding the quantum size effects in ZnO nanocrystals // *J. Mater. Chem.*, **14**(4), pp. 661-668 (2004).
- [9] M. Wark, H. Kessler, G. Schulz-Ekloff. Growth and reactivity of zinc and cadmium oxide nano-particles in zeolites // *Micropor. Mater.*, **8**(5-6), pp. 241-253 (1997).
- [10] Г. Кортюм, В. Браун, Г. Герцог. Принципы и методика измерения в спектроскопии диффузного отражения // *УФН*, **85**(2), сс. 365-380 (1965).
- [11] D.W. Bahnemann, C. Kormann, M.R. Hoffmann. Preparation and characterization of quantum size zinc oxide: a detailed spectroscopic study // *J. Phys. Chem.*, **91**(14), pp. 3789-3798 (1987).
- [12] D.W. Bahnemann. Ultrasmall metal oxide particles: preparation, photophysical characterization, and photocatalytic properties // *Israel J. Chem.*, **33**, pp. 115-136 (1993).
- [13] Ф. Умланд, А. Янсен, Д. Тириг, Г. Вюнш. *Комплексные соединения в аналитической химии*. Пер. с нем. Мир, М. 536 с. (1975).
- [14] *Физико-химические свойства полупроводниковых веществ*. Справочник. Под. ред. А.В. Новоселовой. Наука, М. 340 с. (1979).
- [15] L. Brus. Electronic wave functions in semiconductor clusters: experiment and theory // *J. Phys. Chem.*, **90**(12), pp. 2555-2560 (1986).
- [16] E.M. Wong, P.G. Hoertz, C.J. Liang, B.-M. Shi, G.J. Meyer, P.C. Searson. Influence of organic capping ligands on the growth kinetics of ZnO nanoparticles // *Langmuir*, **17**(26), pp. 8362-8367 (2001).
- [17] E.M. Wong, J.E. Bonevich, P.C. Searson. Growth kinetics of nanocrystalline ZnO particles from colloidal suspensions // *J. Phys. Chem. B.*, **120**(40), pp. 7770-7775 (1998).
- [18] *Optical properties of metal clusters*. Eds. U. Kreibig, M. Vollmer. Springer Series in Materials Science, **25**, Springer, Berlin, Heidelberg. 552 p. (1995).
- [19] N.S. Pesika, K.J. Stebe, P.C. Searson. Relationship between absorbance spectra and particle size distributions for quantum-sized nanocrystals // *J. Phys. Chem. B.*, **107**(38), pp. 10412-10415 (2003).

O.Z. Didenko, P.E. Strizhak, G.R. Kosmambetova, N.S. Kalchuk

Synthesis and Morphology of the ZnO/MgO Low-Dimensional Quantum Systems

*L.V. Pisarzhevsky Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine
31, Nauky Av., Kyiv-28, 03028, Ukraine*

The procedure of ZnO/MgO nanosized solid system synthesis by deposition of initially formed ZnO nanoparticles from colloidal solutions on support was proposed. The morphology of ZnO-containing composites was investigated by UV-Vis spectroscopy and transmission electron microscopy (TEM). It was shown the particle sizes obtained by the “effective mass model” from absorption edge in electron spectrums are only in relative agreement with those estimated from TEM micrographs. The good agreement between the particles size distribution obtained from electron spectra and from analysis of TEM images both for colloid and ZnO-supported systems were observed.