

ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ ОКСИДУ ЦИНКУ В ПРИСУТНОСТІ СУРФАКТАНТУ FARMASOAT

Хмарук Ю., Смітюх О., Янчук О.

Волинський національний університет ім. Лесі Українки, пр. Волі, 13, Луцьк, Волинська область, Україна, 43025, E-mail: HmarukUra@gmail.com

Розвиток фундаментальних і прикладних концепцій щодо наноматеріалів та нанотехнологій в наступні роки може призвести до радикальних змін у багатьох сферах людської діяльності: матеріалознавстві [1], енергетиці, електроніці, комп'ютерних науках, машинобудуванні [2], медицині [3], сільському господарстві [4] та екології [5]. Нарівні з комп'ютерно-інформаційними технологіями та біотехнологіями, нанотехнології слугують основою для науково-технічної революції. Дослідження показали, що властивості наноструктурованих матеріалів змінюються залежно від розміру та форми частинок [6-8]. У матеріалознавстві напівпровідників, розмір синтезованих наночасток та їх дисперсність мають велике значення. Зазвичай надається перевага монодисперсним порошкам. Для цього до реакційних сумішей додаються різні стабілізатори розміру частинок. Перш за все, водорозчинні полімери та сурфактанти служать стабілізаторами [9-11]. Тому пошук таких речовин для синтезу монодисперсних нанорозмірних порошків та плівок є актуальним.

Під час нашого дослідження вивчаємо вплив метилгідроксипропілцелюлози (Farmacoat) на розміри отриманих порошкоподібних осадів за допомогою двоелектродного електрохімічного методу. Ми вже давно використовуємо цей метод синтезу через його очевидні переваги порівняно з іншими методами [10-15].

Farmacoat — це метилгідроксипропілцелюлоза (де замість етиленоксиду для молекулярної заміни використовується оксид пропілену). Вищезгаданий продукт має заміщення метоксигрупою (DS) і гідроксипропокси-групою (MS) на рівнях 29 % і 9 % відповідно. Розмір часток становить 50-70 мікрон. Це один з варіантів для утворення плівок.

Нанорозмірні частинки осаду оксиду цинку отримують через електроліз водного розчину, що містить 1 М хлорид натрію та Farmacoat при концентрації від 0,2 до 2,0 г/л в гальваностатичному режимі з двома електродами — сталевим катодом з площею поверхні 5 см² та циліндричним анодом з цинку при постійній температурі 90°C. Для перемішування електроліту використовувався магнітний змішувач. Для джерела постійного струму використовувався пристрій з напругою 5-46 В. Протягом 20 хвилин через розчин електроліту пропускався постійний струм 2,5 А. Нумерація зразків, вміст сурфактантів та напруга під час електролізу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Нумерація зразків, вміст сурфактантів та напруга під час електролізу.

Зразок	Вміст сурфактанту, г/л	Напруга, В
F1	0,2	5,0
F2	0,4	5,4
F3	0,6	5,4
F4	0,8	5,4
F5	1,0	5,4
F6	1,2	5,4
F7	1,4	4,6
F8	1,6	5,2
F9	1,8	5,6
F10	2,0	6,0

Отримання синтезованих нанопорошків та механізм електролітичного утворення оксиду цинку описані в [10-15].

Рентгенофазовий аналіз встановив, що всі зразки є чистим оксидом цинку в модифікації вурциту. Піки на всіх дифрактограмах повністю збігаються з теоретичним дифрактограмою для оксиду цинку в модифікації вурциту (SG P63mc) (рис. 1а та б).

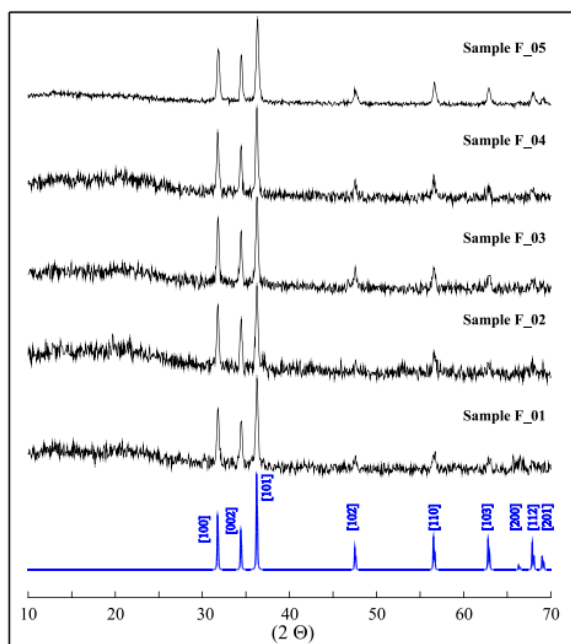


Рис. 1(а) – Дифрактограми осадів, отриманих для зразків F1-F5 при температурі 90 °С, часі електролізу 20 хвилин, силі струму 2,5 А та різних концентраціях сурфактантів (z/n): F1 – 0,2; F2 – 0,4; F3 – 0,6; F4 – 0,8; F5 – 1,0.

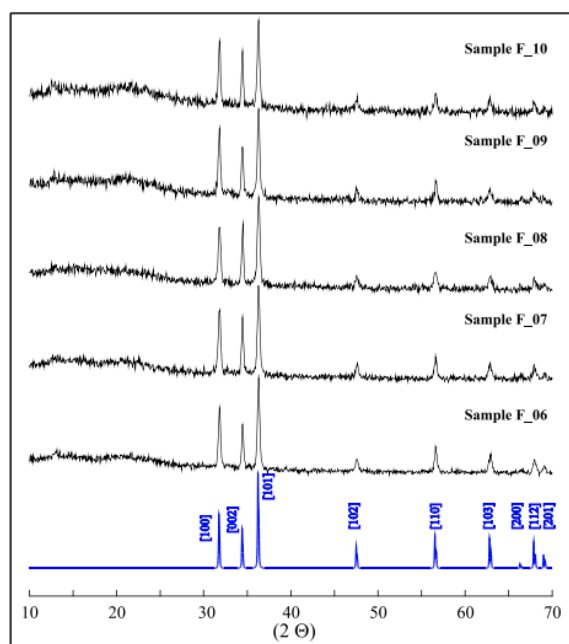


Рис. 1(б) – Дифрактограми осадів, отриманих для зразків F1-F5 при температурі 90 °С, часі електролізу 20 хвилин, силі струму 2,5 А та різних концентраціях сурфактантів (z/n): F6 – 1,2; F7 – 1,4; F8 – 1,6; F9 – 1,8; F10 – 2,0.

Кристалічна структура синтезованого нанooksиду може бути описана як гексагональне щільне пакування (рис. 2в), у якому атоми цинку розташовані в тетраедричних порожнинах.

Структура демонструє два типи міжатомних відстаней: $\delta(\text{Zn-O}) = 1,9598 \text{ \AA}$ та $\delta(\text{Zn-O}) = 2,042 \text{ \AA}$ (рис. 2а). Загалом, кристалічна структура характеризується низьким коефіцієнтом упаковки одиничної комірки. Це вказує на те, що, базуючись на другому координаційному середовищі (рис. 2б), ми бачимо, що 3/8 тетраедричних порожнин заповнені атомами цинку, тоді як всі октаедричні порожнини залишаються незаповненими. Такий матеріал можна легувати різними елементами, зокрема атомами заліза чи кобальту, що може покращити магнітні властивості та інші характеристики.

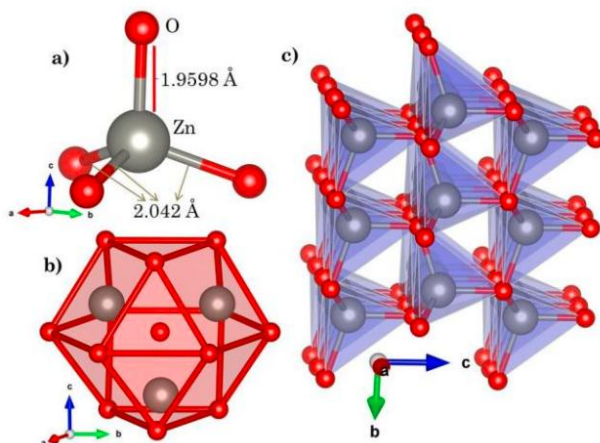


Рис. 2 – Проекція кристалічної структури синтезованих наночастинок ZnO:

а) тетраедр $[\text{ZnO}_4]^{6-}$; б) друге координаційне оточення; в) розташування тетраедрів $[\text{ZnO}_4]^{6-}$

Структура є нецентросиметричною, що вказує на можливість прояву нелінійних оптичних властивостей. З урахуванням усього вищезазначеного, стає зрозуміло, що синтезований матеріал має перспективне значення для матеріалознавства в галузі створення матеріалів з контрольованими властивостями.

Використовуючи метод Шерера [16], середню товщину отриманих частинок було визначено за максимальними піками дифрактограми. Виявилося, що товщина частинок, розрахована цим методом, знаходиться в діапазоні від 24 до 29 нм. Середня товщина частинок

Section 1. Fundamental problems of physics, chemistry and ecology

становить 27 ± 2 нм. Спостерігається тенденція до збільшення товщини зі збільшенням вмісту сурфактанту. Це свідчить про те, що частинки є нанорозмірними за товщиною.

Порошкоподібні частинки осаду були синтезовані вперше шляхом електролізу водного розчину з постійним вмістом хлориду натрію (1 М) та сурфактанту FARMACOAT (в діапазоні від 0 до 2 г/л) при постійній високій густині струму ($0,5 \text{ А/см}^2$) з розчинним цинковим анодом при постійній температурі 90°C протягом 20 хвилин. Всього було проаналізовано 10 варіантів осаду. Рентгенофазовий аналіз виявив утворення оксиду цинку в модифікації вурциту (SG P63mc). Розмір часток був визначений за отриманими дифрактограмами за методом Шерера. Частинки оксиду цинку мають пластинчасту форму з шириною 133-233 нм і довжиною 329-539 нм. Усі отримані осадки складаються з наночасток з товщиною в діапазоні від 25 до 29 нм.

1. Bawoke Mekuye, Birhanu Abera, [Nanoselect 4 No 8, 486](#) (2023).
2. Taha Basheer Taha, Azeez Abdullah Barzinjy, Faiq Hama Seaeed Hussain, Togzhan Nurtayeva, [Memories – Materials, Devices, Circuits and Systems 2, 100011](#) (2022).
3. Abid Haleem, Mohd Javaid, Ravi Pratap Singh, Shanay Rab, Rajiv Suman, [Global Health J. 7 No 2, 70](#) (2023).
4. K. Neme, A. Nafady, S. Uddin, Y.B. Tola, [Heliyon 7 No 12, e08539](#) (2021).
5. A. Aghababai Beni, H. Jabbari, [Res. Eng. 15, 100467](#) (2022).
6. Ashutosh Sharma, Goldie Oza, [Nanotechnology: Synthesis, Characterization and Applications, 1st Ed.](#) (CRC Press: 2023).
7. Kenneth J. Klabunde, Ryan M. Richards, [Nanoscale 2nd Ed.](#) (New Jersey: Published by John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken: 2009).
8. Geoffrey A. Ozin, André C. Arsenault, Nanotechnology: A Chemical Approach to Nanomaterials (Cambridge: RSC Publishing: 2005).
9. S.V. Volkov, Ye.P. Kovalchuk, V.M. Ohenko, O.V. Reshetniak, Nanokhimiia. Nanosystemy. Nanomaterialy (K.: Naukova dumka: 2008) [In Ukrainian].
10. R.V. Korol, O.M. Yanchuk, O.V. Marchuk, V.F. Orlov, I. Moroz, O.L. Vyshnevskiy, [Phys. Chem. Solid State 22 No 2, 380](#) (2021).
11. O.V. Smitiukh, O.M. Yanchuk, O.V. Marchuk et al., J. [Nano- Electron. Phys. 16 No 5, 05032](#) (2024).
12. O.V. Smitiukh, O.V. Marchuk et al., [J. Nano- Electron. Phys. 16 No 6, 06016](#) (2024).
13. A.H. Reshak, O.M. Yanchuk, D.I. Prots et al., Int. [J. Electrochem. Sci. 9 No 11, 6378](#) (2014).
14. O.M. Yanchuk, J. Ebothe, A.M. El-Naggar et al., [Physica E86, 184](#) (2017).
15. O.V. Smitiukh, O.M. Yanchuk, O.V. Marchuk et al., [J. Nano- Electron. Phys. 16 No 1, 01024](#) (2024).
16. P. Scherrer, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften, Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse 2, 98 (1918).