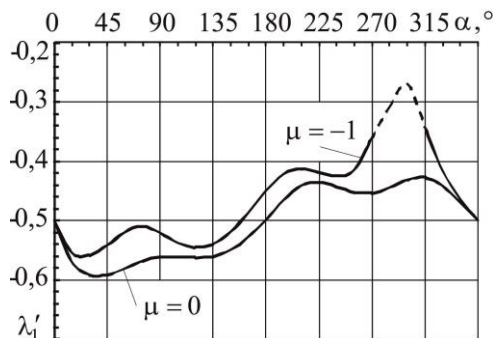


вузьких інтервалах кутів зламу може набути комплексних значень, які обумовлюють фізично некоректні просторові осциляції переміщень (штрихована ділянка на графіку  $\lambda_1'(\alpha)$  для  $\mu = -1$ , рис. 3). Розв'язання цього протиріччя вбачаємо в утворенні зони передруйнування в околі вершини.



**Рис. 3. Залежність показника сингулярності напружень від кута зламу межі поділу для  $E_1/E_2=0,3$**

#### Список використаних джерел:

1. Дудик М.В. Дослідження напружено-деформованого стану біля кутової точки межі поділу матеріалів, з якої виходить міжфазна тріщина // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2014. – № 3. – С. 87-98.
2. Камінський А.О., Дудик М.В., Кіпніс Л.А. Маломасштабна контактна зона з тертям берегів біля вершини міжфазної тріщини // Вісник Київського нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки. – 2014. – № 1. – С. 62-67.

**Миронець О.В.**

*студент,*

*Рівненський державний гуманітарний університет*

### **ОТРИМАННЯ НАНОКРИСТАЛІВ СПОЛУК ЦИНКУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

Оксид цинку – прямозонний напівпровідниковий матеріал з шириною забороненої зони 3,37 еВ і високою енергією зв'язку екситона  $\sim 60$  меВ, що робить його перспективним матеріалом для створення різних оптоелектронних пристроїв. Крім того, ZnO має низьку вартість, біологічну сумісність та високу екологічність, внаслідок чого знаходить практичне застосування у напівпровідниковій промисловості, медицині, хімічній технології, косметичі і фармакології. Різноманітність шляхів отримання, морфології і розмірності досліджених сполук відкриває нові перспективи їх застосування в екології, біотехнології та біомедицину. Оксид цинку використовують при виготовленні елементів сонячних батарей, світловипромінюючих діодів видимого і ультрафіолетового випромінювання, прозорих тонкоплівкових транзисторів,

п'єзоелектричних приладів, біосенсорів і різних датчиків. Останнім часом інтерес до ZnO значно зріс у зв'язку з можливістю його синтезу в наноструктурном вигляді [1-4].

Для отримання нанокристалів сполук цинку використовують різні методи, в тому числі: золь-гель осадження, металорганічне осадження з газової фази, молекулярно-променева епітаксія, магнетронний, термічний, метод лазерної абляції в рідині, гідротермальний, хімічний, електролітичний [6-9]. Описані методи мають свої переваги і недоліки. Електрохімічний, електролітичний методи не потребують складної апаратури, високих температур і тисків, дефіцитних хімічних реактивів [10-11].

Мета роботи: дослідити залежність фізичних властивостей отриманих нанокристалів сполук цинку електролітичним способом від складу і температури електроліту для вибору оптимальних режимів синтезу.

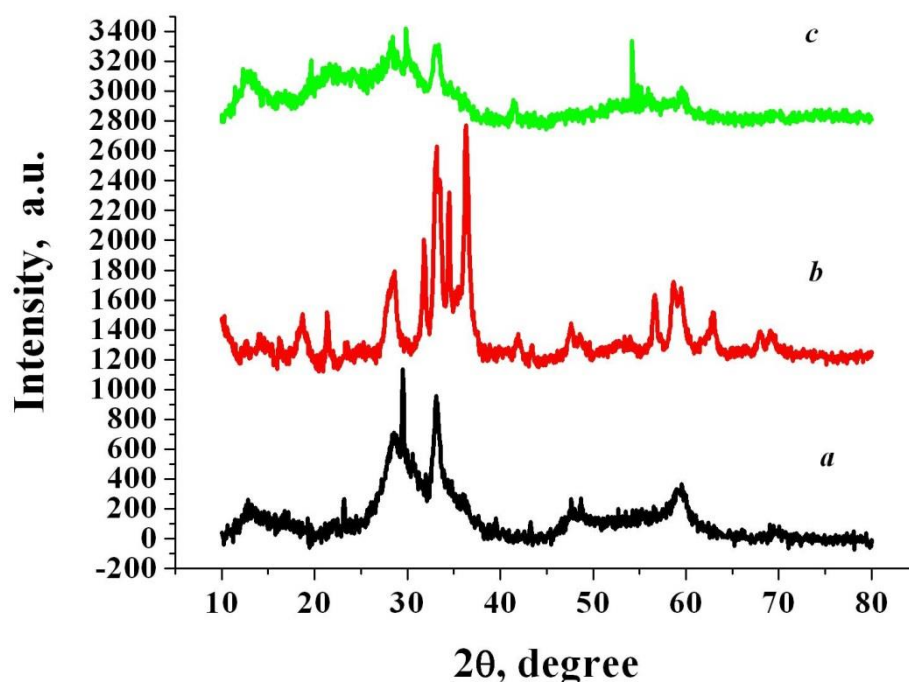
Методика експерименту. Нанокристалічні порошки сполук цинку отримані в скляному електролізері з циліндричними цинковими електродами. В якості електроліту використовувалися розчини тіосульфату натрію (кристалогідрат  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), сульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) і сірчистого натрію 9-водного ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) в дистильованій воді. Живлення електролізера здійснювалося від регульованого стабілізованого джерела постійного струму. Густина струму в експериментах становила  $1,3 \cdot 10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>. Температура електроліту змінювалася в межах від кімнатної до 100°C. Тривалість синтезу становила 3 години. Для рівномірного розчинення цинкових електродів використовувався реверс напрямку струму кожні 30 хвилин. Після закінчення синтезу, отримані зразки фільтрувалися з допомогою паперового фільтра, промивалися п'ятикратним об'ємом дистильованої води і висушували при кімнатній температурі.

Рентгенівські дослідження виконані при кімнатній температурі на дифрактометрі ДРОН-4 з використанням  $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання. Сканування проводилося при фокусуванні за Бреггом–Брентано ( $\theta$ – $2\theta$ ). Анодна напруга, струм, крок сканування дифрактограми і час експозиції становили 41 кВ, 21 мА, 0,05° і 5 відповідно.

Результати і їх обговорення. На рис. 1. показані експериментальні дифрактограми зразків, отриманих електролітичним способом при кімнатній температурі. Електроліт був приготований розчиненням у дистильованій воді наступних солей: а – тіосульфату натрію (кристалогідрат  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); б – сульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ); с – сірчистого натрію 9-водного ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Концентрації електролітів розраховували таким чином, щоб ваговий вміст сірки у всіх було однаковим.

Експериментальні дифрактограми були описані функцією Гаусса та отримані характеристики рентгенівських рефлексів: кутове положення  $2\theta$ , напівширина  $\beta$  (ширина на половині висоти рефлексу), інтегральна інтенсивність  $I$ . У випадку електроліту містить тіосульфат натрію (рис. 1а) реєструються рефлекси з кутовим положенням  $2\theta$ : 28,4°, 47,9° і 55,2°, які індексуються як (111), (220) і (311) кубічної сингонії сульфиду цинку відповідно. Значна напівширина рефлексів свідчить про малі розміри частинок. Крім того, на дифрактограмі присутні інтенсивні рефлекси з кутовим

положенням  $2,8^\circ$ ,  $29,4^\circ$ ,  $33,0^\circ$ ,  $59,4^\circ$ . Аналіз літературних джерел [13-14] показав, що дані рефлекси характерні для гідроцінкита –  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ .



**Рис. 1.** Рентгенівські дифрактограми зразків отриманих в електролітах:  
 а –  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ; б –  $Na_2SO_3$ ; в –  $Na_2S \cdot 9H_2O$

З аналізу рис. 1 можна зробити висновок, що у разі використання електроліту з  $Na_2S \cdot 9H_2O$ , присутні рефлекси характерні для сульфїду цинку ( $2\theta$ :  $28,0^\circ$ ,  $47,6^\circ$  і  $55,1^\circ$ ) і гідроцінкита ( $2\theta$ :  $12,5^\circ$ ,  $29,6^\circ$ ,  $33,1^\circ$  і  $59,7^\circ$ ). Порівняно з дифрактограмою рис. 1а, інтенсивність рефлексів сульфїду цинку менше, а гідроцінкїту вища.

Отримані результати використовувалися для розрахунку розмірів нанокристалів з використанням формули Дебая–Шеррера [15]:

$$D = 0,89\lambda/(\beta \cos\theta),$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;  $\beta$  – півширина рефлексу;  $\theta$  – кут дифракції. Фізичне значення півширини обчислено за формулою

$$\beta = (\beta_1^2 - \beta_2^2)^{1/2},$$

де  $\beta_1$  – експериментальне значення півширини рентгенівського рефлексу;  $\beta_2$  – інструментальне значення півширини рентгенівського рефлексу.

Інструментальне значення півширини рентгенівських рефлексів визначалося на основі аналізу рентгенівських дифрактограм еталонних порошків кремнію і  $Al_2O_3$ , які були отримані за таких самих умов.

Для випадку використання декількох рефлексів визначали середнє арифметичне значення розміру нанокристалів. В випадку розрахунку розмірів нанокристалів  $ZnS$  (електроліт  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) використали рефлекси з індексами Міллера (111), (220) і (311);  $ZnO$  (електроліт  $Na_2SO_3$ ) – (100), (002),

(101), (102), (110), (103). Для визначення розмірів нанокристалів гідроцинка були використані рефлекси з індексами Міллера (200) чи (020), а для ZnS (електроліт  $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) – рефлекс (111). Отримані результати розрахунків показані в таблиці 1.

Таблиця 1

**Розміри нанокристалів**

№п/п	Електроліт	(ZnS) D, нм	(ZnO) D, нм	( $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ ) D, нм
1	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,8	-	2,3
2	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	-	25,1	5,6
3	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	1,6	-	2,3

**Висновок.** Результати отримання нанокристалів сполук цинку електродіалітичним методом суттєво залежать від складу електроліту.

**Список використаних джерел:**

1. Х.А. Абдуллин, М.Т. Габдуллин, Л.В. Гриценко, Д.В. Исмаилов, Ж.К. Калкозова, С.Е. Кумеков, Ж.О. Мукаш, А.Ю. Сазонов, Е.И. Теруков ФТП, 50 (8), 1030 (2016).
2. Н.М. Лядов, А.И. Гумаров, Р.Н. Кашапов, А.И. Носков, В.Ф. Валеев, В.И. Нуждин, В.В. Базаров, Р.И. Хайбуллин, И.А. Файзрахманов ФТП, 50 (1), 44 (2016).
3. Raguvaran R, Anju Manuja, Balvinder Kumar Manuja Immunome Res, 11(2), 1 (2015).
4. Ikram Ul Haq, Abdul-Majeed Azad Sensors, 12, 8259 (2012).
5. П.Н. Крылов, Р.М. Закирова, И.А. Князев, Н.В. Костенков, Э.А. Романов, И.В. Федотова ФТП, 49 (10), 1371 (2015).
6. V. Sesha Sai Kumar, K. Venkateswara Rao Journal of nano- and electronic physics 5(2), 02026(бпр) (2013)
7. В.С. Бураков, Е.А. Невар, М.И. Неделько, Н.В. Тарасенко Письма в ЖТФ, 34(16), 1 (2008).
8. В.А. Светличный, И.Н. Лапин Известия высших учебных заведений (Физика), 56(5), 86 (2013).
9. В.Р. Гаєвський, Б.Д. Нечипорук, М.Ю. Новоселецький, Б.П. Рудик, УФЖ 58(4), 388 (2013) (V.R. Gaevs'kyi, B.D. Nechiporuk, N.Yu. Novoselets'kyi, B.P. Rudyk, Ukr.J. Phys. 58(4), 385 (2013)).
10. Niyamat Beedri, Yusuf Inamdar, Suhail Anjum Sayyed, Arif Shaikh, Sandesh Jadkar, Habib Pathan Chemistry & Chemical technology, 8(3), 283 (2014).
11. Ю.Ф. Лаворик, Нечипорук Б.Д., Новоселецький Н.Е., Парасюк О.В., Рудик Б.П., Филоненко В.В. Патент на изобретение №92078, Украина, (2010).
12. Preston-Thomas H (1990) The international temperature scale of 1990 (ITS-90). Metrologia 27:3–10
13. Nehal A. Salahuddin, Maged El-Kemary, Ebtisam M. Ibrahim Nanoscience and Nanotechnology 5(4), 82 (2015).
14. Wang Wen-Zhong, Liang Yu-Jie, Shi Hong-Long, Zhang Gu-Ling Chin. Phys. Lett. 31(9), 097802-1 (2014).
15. V.D. Mote, Y. Purushotham, B.N. Dole, Journal of theoretical and applied physics, 6, 1, 2251, (2012).