

та  $\eta$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> де фаза  $\beta$ -CuZn є у вигляді зародків у контактній зоні та розглядається випадок з ростом лише  $\eta$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> фази. Було проаналізовано рівняння балансу потоків для кожного із трьох випадків на основі яких було розраховано критичну товщину  $\eta$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> фази за досягнення якої починається ріст  $\beta$ -CuZn фази у дифузійній парі Cu /  $\alpha$ -SnZn та були розраховані залежності критичної товщини  $\beta$ -CuZn фази від концентрації цинку в  $\alpha$ -SnZn фазі та від термодинамічного параметру, що визначається співвідношенням потенціалів Гіббса фаз.

#### Список використаних джерел і літератури

1. Gusak A. M. Diffusion-Controlled Solid State Reactions: in Alloys, Thin-Films, and Nano Systems / A. M. Gusak, Y. A. Lyashenko, S. V. Kornienko, M. O. Pasichnyy, A. S. Shirinyan, T. V. Zaporozhets // Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. – 476 с.
2. Tu K. N. Department Physics and materials challenges for lead-free solders / K. N. Tu, A. M. Gusak, M. Li // JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, – 93(3), – 2002. – P. 1335-1353
3. Liu Y. Ultra-thin intermetallic compound formation in microbump technology by the control of a low Zn concentration in solder / Y. Liu, L. Pu, A. Gusak, X. Zhao, C. Tan, K. N. Tu // Materialia, Vol. 12, – 2020, 100791
4. Yang S. C. Analysis and Experimental Verification of the Volume Effect in the Reaction Between Zn-Doped Solders and Cu / S. C. Yang, Y. W. Wang, C. C. Chang, C. R. Kao // Journal of ELECTRONIC MATERIALS, – Vol. 37 (10), – 2008, P. 1591-1597.
5. Yang S. C. Strong Zn concentration effect on the soldering reactions between Sn-based solders and Cu / S. C. Yang, C. E. Ho, C. W. Chang, C. R. Kao // J. Mater. Res, – Vol. 21 (10), – 2006, P. 2436-2439
6. Pstrus J. Early stages of wetting of copper by Sn–Zn eutectic alloy / J. Pstrus // Journal of Materials Science: Materials in Electronics, – Vol. 29 – 2018, P. 20531–20545.
7. Chou Ch. Phase equilibria of the Sn–Zn–Cu ternary system / Ch. Chou, S. Chen // Acta Materialia, – 54, – 2006, P. 2393-2400.
8. Гусак А. М. Принцип максимальности производства энтропии при выборе пути эволюции диффузионно-взаимодействующих систем / А. М. Гусак, Ю. О. Ляшенко Общая схема и применение к твердофазным реакциям // Журнал функциональных материалов. – 1(5), – 2007, С.170-180.
9. Ляшенко Ю. О. Критерий пригнічення росту фази в потрійній системі на основі принципу максимальності виробництва ентропії / Ю. О. Ляшенко, S. Chen // Вісник Черкаського університету. Серія «Фізико-математичні науки», – 114, – 2007, P. 47-55.
10. Lyashenko Yu. A. Suppression criterion of the phase growth based on extremal principles of nonequilibrium thermodynamics / Yu. A. Lyashenko // Defect and Diffusion Forum, – Vol. 277, – 2008, P. 39-46

**Науковий керівник:** д.ф.-м.н., професор кафедри фізики Ляшенко Ю.О.

*Коломієць Д. І.*

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

## **ФОРМУВАННЯ НАНОВОЛОКОН ОКСИДІВ МЕТАЛІВ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИВНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ**

Протягом останнього десятиліття одновимірні наноструктури, такі як нанотрубки та нановолокна, привернули надзвичайну увагу своїми новими фізичними властивостями та потенційними застосуваннями при побудові нанорозмірних електронних та оптоелектронних пристроїв оскільки це відкриває спектр технологічних можливостей застосування в таких напрямках як електроніка, фотоніка, накопичення енергії тощо [3]. Досі різноманітні одновимірні наноструктури з різними морфологіями та складом успішно виготовляли за допомогою таких методів як дуговий розряд, використання великих тисків, термічного випаровування тощо [2].

Наноструктури у вигляді нанопоясів були успішно синтезовані для напівпровідникових оксидів цинку, олова, індію, кадмію та галію шляхом простого випаровування бажаних комерційних оксидних порошків при високих температурах [1-4]. Синтезовані оксидні нанопояси є чистими, структурно однорідними та монокристалічними і більшість із них не містить дефектів та дислокацій. Вони мають переріз із типовою шириною від 30 до 300 нанометрів, співвідношенням ширини до товщини від 5 до 10 і довжиною до декількох міліметрів.

Але не так давно був розроблений більш ефективний підхід до створення подібних наноструктур на основі оксидів [1]. Поперечний переріз наноструктур, що виготовлені даним підходом, відрізняється від попередніх методик. Цей підхід має виняткові переваги в створенні наноструктур за допомогою зміни динаміки реакцій, яку важко отримати за допомогою інших методів. Звичайно існує велика кількість альтернативних способів виготовлення наноструктур [2-4], але слід зазначити, що дані методи потребують більш складних технологічних умов (високий тиск та температура, високотехнологічне обладнання) синтезу наноструктур.

Нещодавні дослідження в даному напрямку, показують, що інтенсивний механічний вплив на систему може суттєво змінити динаміку реакцій, що призводить до зміни наноструктур, що в свою чергу створює новий шлях для гідротермального синтезу [1]. Було висловлено припущення, що формування нанопояскових структур, створених на основі даного підходу, може відбуватися і в інших оксидних системах.

Дана робота присвячена експериментальному дослідженню особливостей формування та отримання видовжених наночастинок. Для цього був розроблений алгоритм для синтезу наноматеріалів, шляхом інтенсивного перемішування водних розчинів/суспензій промислових порошків  $V_2O_5$  з вмістом  $NaCl$ . Також був сконструйований прилад що забезпечує можливість оперативної зміни та плавного налаштування робочої температури, регулювання швидкості обертання в діапазоні 100-1500 об/хв та стабілізацію швидкості обертання з точністю  $\pm 5\%$ , та вимірювання показника в'язкості досліджуваної суспензії.

#### Список використаних джерел і літератури

1. Xianhong Ruia. Ambient dissolution-recrystallization towards large-scale preparation of  $V_2O_5$  nanobelts for high-energy battery applications / R. Xianhong, T. Yuxin, O. Malyi, A. Gusak, Y. Zhang // Journal of Nano Energy. – 2016. – V. 22. – P. 583-593.
2. Yuxin Tang. Mechanical Force-Driven Growth of Elongated Bending  $TiO_2$ -based Nanotubular Materials for Ultrafast Rechargeable Lithium Ion Batteries / Y. Tang, Y. Zhang, J. Deng, J. Wei // Advanced Materials. – 2014. – V. 26. – P. 6111-6118.
3. Z. L. Wang. Nanobelts, Nanowires, and Nanodiskettes of Semiconducting Oxides – From Materials to Nanodevices / Z. L. Wang // Advanced Materials. – 2003. – V. 15. – P. 432-436.
4. Zheng Wei Pan. Nanobelts of Semiconducting Oxides / Z. Wei Pan, Z. Rong Dai, Z. Lin Wang // Science. – 2001. – V. 291. – P. 1947-1949.

**Науковий керівник:** к.ф.-м.н., доцент Пасічний М.О.

**Морозович В. В.**

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

## ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОВЕРХНІ СТАЛІ НА ПОДАЛЬШИЙ ПРОЦЕС ТВЕРДОЇ КАРБОНІЗАЦІЇ

У роботі досліджено вплив попередньої холодної деформації поверхні сталі за SMAT технологією [1, 2] (поверхневою механічною обробкою тертям) на подальший процес твердої карбонізації зразків сталі марки 40X. Методами рентгенівського дифракційного аналізу досліджено вплив SMAT обробки на зміну текстури сталевих зразків.

На даний час розроблено різноманітні підходи до пояснення впливу попередньої пластичної деформації на процес формування дифузійних прошарків у металевих сплавах. Зокрема, згідно з однією точкою зору попередня пластична деформація ускладнює дифузію атомів впровадження [3]. В основі цієї моделі лежить теорія про те, що атоми впровадження активно взаємодіють з дислокаціями. Дислокації виступають в ролі «пасток», що адсорбують та притягують атоми розчинених елементів. Також є наукові роботи, результати яких свідчать про те, що попередня пластична деформація і утворені при цьому дефекти структури сприяють більш активній дифузії впроваджуваних компонентів [4, 5]. У зв'язку з цим дослідження впливу попередньої холодної деформації за технологією SMAT обробки на процес послідувочої карбонізації сталі 40X, потребує більш детального дослідження.