

8. Мехтiev, М. Ф. Асимптотический анализ некоторых пространственных задач теории упругости для полых тел [Текст] / М. Ф. Мехтiev. – Баку: «Элм», 2008. – 320 с.
9. Мехтiev, М. Ф. Метод однородных решений в анизотропной теории оболочек [Текст] / М. Ф. Мехтiev. – Баку: Чашыоглу, 2009. – 336 с.
10. Ахмедов, Н. К. Асимптотический анализ трехмерной задачи теории упругости для радиально – неоднородного трансверсально - изотропного полого цилиндра [Текст] / Н. К. Ахмедов, С. Б. Акперова // Известия Российской Академии Наук. Механика твердого тела. – 2011. – № 4. – С. 170–180.
5. Akhmedov, N. K., Gasanova, N. S. (2016). Studying the problem of torsion of a spherical shell with variable shear module. Transactions of NAS of Azerbaijan, 36 (7), 3–10.
6. Ahmedov, N. K., Mamedova, T. B. (2011). Zadacha kruchenija dlja radial'no-neodnorodnoj transversal'no-izotropnoj sfery maloj tolshhiny. Vestnik Bakinskogo Universiteta, 1, 83–91.
7. Akperova, S. B. (2010). Analiz zadachi kruchenija transversal'no-izotropnogo cilindra maloj tolshhiny s peremennymi moduljami sdviga. Vestnik Donskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta, 10(5(48)), 623–629.
8. Mehtiev, M. F. (2008). Asimptoticheskij analiz nekotoryh prostanstvennyh zadach teorii uprugosti dlja polyh tel. Baku: «Jelm», 320.
9. Mehtiev, M. F. (2009). Metod odnorodnyh reshenij v anizotropnoj teorii obolochek. Baku: Chashyoglu, 336.
10. Ahmedov, N. K., Akperova, S. B. (2011). Asimptoticheskij analiz trehmernoj zadachi teorii uprugosti dlja radial'no – neodnorodnogo transversal'no – izotropnogo pologo cilindra. Izvestija Rossijskoj Akademii Nauk. Mehanika tverdogo tela, 4, 170–180.

Bibliography (transliterated):

1. Lur'e, A. I. (1970). Teoriya uprugosti. Moscow: Nauka, 939.
2. Bejtmen, G., Jerdeji, A. (1967). Vysshie transcendentnye funkicii. Moscow: Nauka, 296.
3. Kolmogorov, A. N., Fomin, S. V. (2006). Jelementy teorii funkicii i funkcional'nogo analiza. FIZMATLIT, 572.
4. Lomakin, V. A. (1976). Teoriya uprugosti neodnorodnyh tel. Moscow: MGU, 367.

Поступила (received) 18.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз завдання кручення для радіально-неоднорідного сферичних пояс з закріпленою бічний поверхню/ Н. С. Гасанова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.3–7. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Анализ задачи кручения для радиально-неоднородного сферического пояса с закрепленной боковой поверхностью/ Н. С. Гасанова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.3–7. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis torsion problem for radial-inhomogeneous spherical belt with a side surface of the fixing/ N. S. Gasanova// Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221). – P.3–7. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гасанова Натаван Сабір кизи – старший викладач кафедри «Геометрія», Гянджінський державний університет, вул. Гейдар Алієв, 187, м Гянджа, Азербайджан, AZ2000, e-mail: raufhesenovgence@gmail.com.

Гасанова Натаван Сабир кызы – старший преподаватель кафедры «Геометрия», Гянджинский государственный университет, ул. Гейдар Алиев, 187, г. Гянджа, Азербайджан, AZ2000, e-mail: raufhesenovgence@gmail.com.

Hasanova Natavan Sabir – Ganja State University, senior lecturer in "Geometry", str. Heydar Aliyev, 187 Ganja, Azerbaijan, AZ2000; tel.: 050-333-61-14; e-mail: raufhesenovgence@gmail.com.

УДК 546.814-31

К. С. РЕБРОВА, Т. А. ДОНЦОВА, І. М. АСТРЕЛІН

СТАНУМУ (IV) ОКСИД, ОТРИМАНИЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ, ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

В статті розглядається золь-гель синтез чутливих металоксидних шарів на основі стануму (IV) оксиду, перевагою якого є висока однорідність та розвинена площа поверхні синтезованих матеріалів. Синтезовані нанокристалічні порошки SnO₂ було досліджено термічним аналізом, електронною мікроскопією та дифракційними методами аналізу. Показано, що тип розчинника чинить значний вплив на розміри ОКР та частинок SnO₂. Вивчені вольт-амперні характеристики плівок з порошків стануму (IV) оксиду свідчать про суттєву відмінність в їх електропровідності. Винайдені результати свідчать, що отримані порошки можна використовувати в газових сенсорах за більш низьких температур.

Ключові слова: стануму (IV) оксид, золь-гель метод, газові сенсори, нанокристалічні порошки, вольт-амперні характеристики.

В статье рассматривается золь-гель синтез чувствительных металоксидных слоев на основе олова (IV) оксида, преимуществом которого является высокая однородность и развитая площадь поверхности синтезированных материалов. Синтезированные нанокристаллические порошки SnO₂ были исследованы термическим анализом, электронной микроскопией и дифракционным методами анализа. Показано, что тип растворителя оказывает значительное влияние на размеры ОКР и частиц SnO₂. Исследованные вольт-амперные характеристики пленок из порошков олова (IV) оксида свидетельствуют о существенных отличиях в их электропроводности. Полученные результаты свидетельствуют, что синтезированные порошки можно использовать в газовых сенсорах при более низких температурах.

Ключевые слова: олова (IV) оксид, золь-гель метод, газовые сенсоры, нанокристаллические порошки, вольт-амперные характеристики.

© К. С. Реброва, Т. А. Донцова, І. М. Астрелін. 2016

The article discusses the advantages of metal oxide gas sensors based tin (IV) oxide. For the tin (IV) oxide synthesis was chosen sol-gel method, it is advantage a high uniformity and a developed surface area of synthesized materials. Synthesis and characterization of tin (IV) oxide was conducted.

The result of the study is: SnO₂ powders obtained by sol-gel method and their physical and chemical properties that are investigated by thermal analysis, electron microscopy and diffraction methods of analysis. It is shown that the type of solvent has a significant impact on the size of crystallites and particles of SnO₂. The current-voltage characteristics of the SnO₂ films studied and significant difference in their electrical conductivity is showed.

As scientific innovation first investigated electrical properties of tin oxide powders obtained by sol-gel method in different environments.

The practical significance of the results that obtained data allow the use of tin (IV) oxide layers as sensitive gas sensors at lower temperatures. It will significantly reduce energy consumption metal oxide gas sensor as a whole.

Keywords: tin (IV) oxide, sol-gel method, gas sensors, nanocrystalline powders, current-voltage characteristics.

Вступ. Дослідження в області газових сенсорів та їх розробка диктуються потребами контролю стану довкілля і середовища життєдіяльності персоналу в хімічних, металургійних, газо-, вугле- і нафтодобувних виробництвах. Серед різних типів газових сенсорів твердотільні мають ряд переваг, основною з яких є їх портативність. Поміж останніх особливої уваги заслуговують металоксидні газові сенсори через їх низьку вартість та простоту виготовлення [1]. Однак, такі сенсори мають й суттєві недоліки: малий ресурс роботи і невисоку селективність в аналізі газових сумішей. У зв'язку з цим виникає необхідність більш глибокого дослідження процесів створення чутливих шарів та аналіз їх фізико-хімічних характеристик з метою більшої керованості їх властивостями.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Стануму (IV) оксид (SnO₂) – напівпровідник з шириною забороненої зони 3,6 eV, що має досить широку область практичного використання: прозорі і електропровідні плівки різного призначення, каталізатори та фотокаталізатори, електроди, газові сенсори тощо [2–4]. Особливий інтерес до стануму (IV) оксиду обумовлений його використанням в газових сенсорах резистивного типу, чутливих до слідових концентрацій горючих та токсичних газів [5, 6].

Зазвичай SnO₂ одержують такими способами як хімічне осадження з водних та неводних розчинів, золь-гель метод з різними варіаціями, розкладання термічно нестабільних сполук стануму та специфічними методами синтезу [7–10]. Золь-гель технологія на сьогоднішній день є однією з найбільш перспективних, суттєвою перевагою якої є можливість досягнення високої однорідності та розвинутої площі поверхні синтезованих матеріалів [11]. Тим не менш, залишається не дослідженим вплив багатьох факторів в процесі синтезу стануму (IV) оксиду золь-гель методом на його фізико-хімічні характеристики, а, отже, й електричні та сенсорні властивості, які є визначальними для SnO₂ при використанні його як чутливий шар в газових сенсорах.

Ціль та задачі дослідження. Метою даної роботи було дослідження впливу типу середовища процесу на фізико-хімічні характеристики нанокристалічних порошків SnO₂, при їх отриманні золь-гель методом.

Для досягнення поставленої мети були поставлені завдання:

1. синтезувати порошки золь-гель методом;
2. дослідити їх фізико-хімічні та електричні характеристики.

Матеріали та методи. Для синтезу порошків SnO₂ використовували стануму (IV) хлорид п'ятиводний, аміак 25 % мас., ізопропіловий спирт, бензило-

вий спирт та дистильовану воду. Всі реактанти були кваліфікації «хч».

Синтез зразків SnO₂ проводили згідно методики, що наведена в [11]. При цьому синтез здійснювали в трьох середовищах: в дистильованій воді, ізопропіловому та бензиловому спиртах. Синтезовані зразки SnO₂, що отримані в різних середовищах та за різних температур прожарювання, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Синтезовані зразки SnO₂

Зразки	Середовище	T _{прож.} , К
1	Вода	Без прожарювання
2		673
3		773
4	Ізопропіловий спирт	Без прожарювання
5		673
6		773
7	Бензиловий спирт	Без прожарювання
8		673
9		773

Термічний аналіз отриманих зразків SnO₂ проводили на повітрі в термоаналізаторі Derivatigraф Q-1500 (Угорщина) в платиновому тиглі з використанням прожареного Al₂O₃ як стандарту при швидкості нагріву 10 град/хв.

Розміри частинок отриманих зразків визначали за допомогою просвічуючого електронного мікроскопа ПЕМ 100-01. Прискорююча напруга при роботі ПЕМ становила 80 кВ.

Одержані зразки стануму (IV) оксиду досліджували методом рентгенофазового аналізу (РФА) на дифрактометрі Rigaku Ultima IV у мідному випромінюванні ($\lambda=0,154056$ нм) зі швидкістю розгортки 0,02 град·с⁻¹ при напрузі 40 кВ та силі струму 40 мА.

Вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) проводилися на оригінальних тестових зразках газових датчиків. Принципова схема конструкції датчика газу показана на рис. 1, яка складається із скло-керамічною підкладки, покритої нікелевими електродами і приєднаними до неї посрібленими мідними дротами, вкритими тефлоновим покриттям. Чутливий шар стануму (IV) оксиду наносили на підкладку шляхом осадження із спиртового розчину.

На рис. 2 показана блок-схема, за якої досліджували електричні властивості чутливих шарів. При цьому зразок стануму (IV) оксиду розміщували в трубчастій печі для створення температури повітря до 150 °С.

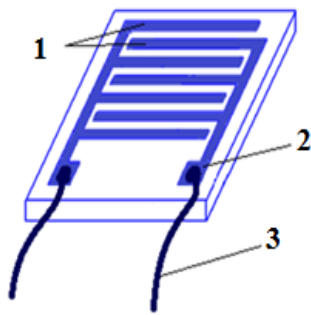


Рис. 1 – Схема газового датчика: 1 – нікелеві електроди, 2 – контактна площадка, 3 – дроти

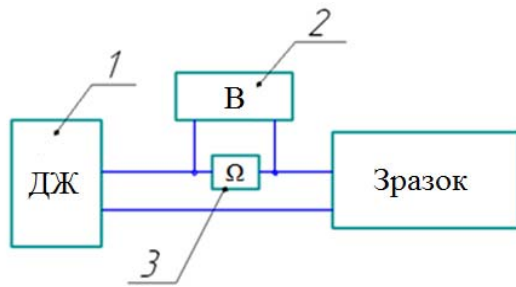


Рис. 2 – Блок-схема для вивчення вольт-амперних характеристик зразків: 1 – джерело живлення, 2 – вольтметр, 3 – резистор

Результати дослідження порошків SnO₂. Характеризацію синтезованих порошків SnO₂ було проведено термічним аналізом, електронною мікроскопією та дифракційними методами аналізу. На рис. 3 наведені термограми зразків 1, 4 та 7.

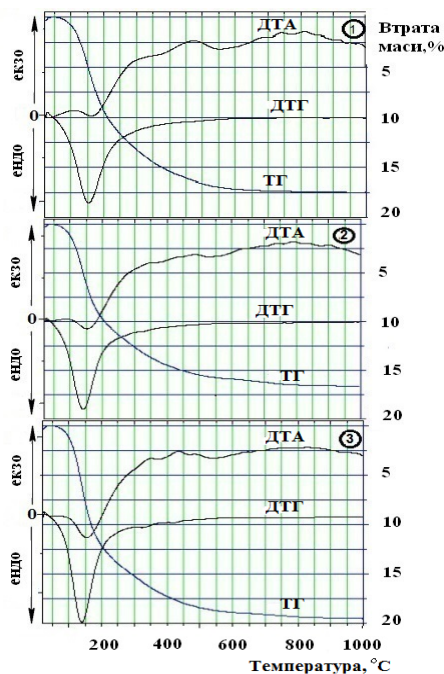


Рис. 3 – Термограми зразків SnO₂: 1 – зразок 1, 2 – зразок 4, 3 – зразок 7

На рис. 4, а представлені дифрактограми зразків SnO₂, термооброблені за двох температур, а на рис. 4, б – електронні зображення кристалічних порошків SnO₂, одержані в різних середовищах.

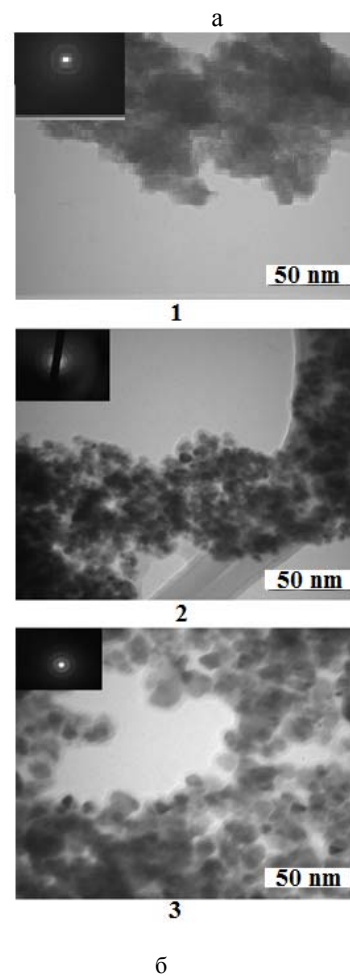
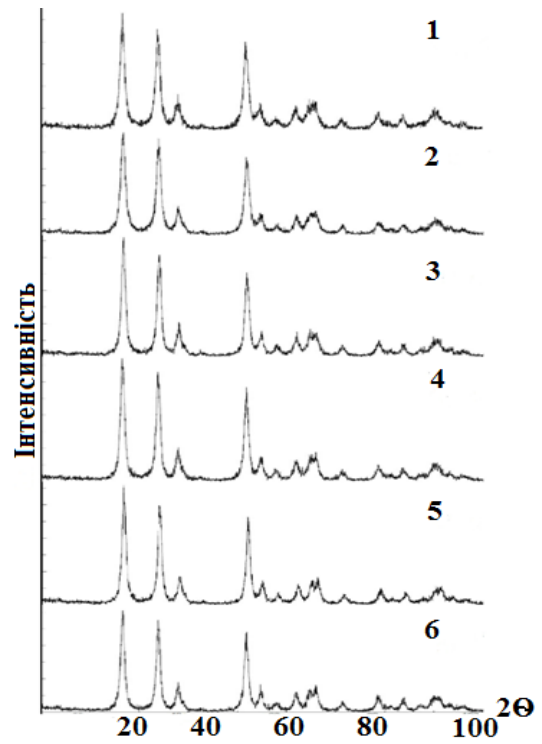


Рис. 4 – Характеризація порошків SnO₂: а – дифрактограми (1 – зразок 2, 2 – зразок 3, 3 – зразок 5, 4 – зразок 6, 5 – зразок 8, 6 – зразок 9); б – електронні фотографії (1 – зразок 3; 2 – зразок 6; 3 – зразок 9)

Також, зразки SnO₂, що термооброблені за температур 400 °С, досліджувались на вольт-амперні характеристики. На рис. 5 наведені відповідні результати.

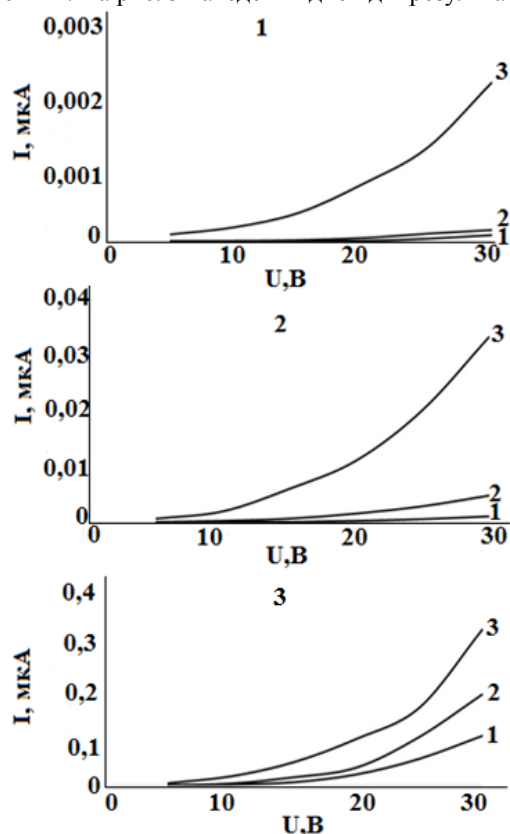


Рис. 5 – Вольт-амперні характеристики плівок SnO₂ за різних температур (1 – 50 °С, 2 – 100 °С, 3 – 150 °С) на повітрі: 1 – зразок 2; 2 – зразок 5; 3 – зразок 8

Обговорення результатів. Як видно з рис. 3, в усіх випадках за температур 110-150 °С втрачається волога (зразок 1 – до 17,5 % мас., зразок 4 – до 16 % мас., зразок 7 – до 19 % мас.), що також додатково підтверджується відповідним ендотермічним ефектом. Далі, за температури близько 350 °С, фіксується слабкий екзотермічний ефект, який пов'язаний з кристалізацією стануму (IV) оксиду. Таким чином, на підставі цього, були обрані подальші температури термообробки отриманих гелів, а саме, 400 та 600 °С (зразки 2, 3, 5, 6, 8 та 9).

Представлені дифрактограми (рис. 4, а) термооброблених за двох температур зразків SnO₂ були автоматично проаналізовані пакетом програм PDXL з використанням баз даних ICDD/PDF2 і COD. Всі зразки ідентифіковані як чистий SnO₂ (стандартна картка № 00-041-1445).

Розмір областей когерентного розсіювання рентгенівського випромінювання (ОКР) дослідних зразків розраховували за формулою Шерера, які становили: 4,6 і 5,4 нм для зразків 2 і 3; 6,8 і 6,9 нм для зразків 5 і 6; 7,0 і 7,4 нм для зразків 8 і 9.

Згідно рис. 4, б, всі зразки мають губчасту структуру агрегатів розміром більше ніж 200 нм. При цьому, спостерігається вплив розчинника на губчасту структуру та розмір окремих частинок в залежності від типу використаного розчинника в процесі синтезу: при синтезі у водному середовищі утворюються найменші частинки, а при синтезі у бензиловому спирті –

найбільші. На нашу думку, це пов'язано, в першу чергу, зі структурними особливостями молекул розчинника. Одержані дані щодо розмірів частинок узгоджуються з отриманими величинами ОКР.

Як видно з рис. 5, природа розчинника чинить істотний вплив на електричні характеристики плівок зі SnO₂, провідність яких відрізняється між собою на порядок. Найкращою провідністю характеризується плівка зі SnO₂, що синтезована в бензиловому спирті, а найгіршою – синтезована в дистильованій воді. Виявлену залежність можна пояснити впливом розмірів кристалітів та частинок – вони утворюють різну кількість контактів між частинками у плівці, що відображається на кінцевому опорі. Плівки SnO₂, отримані в органічних розчинниках, будуть більш перспективні при роботі газових сенсорів за низьких температур, особливо це стосується плівки зі зразку 8, яка, на нашу думку, може працювати за 50 °С.

Висновки. Золь-гель метод є перспективним методом створення чутливих елементів газових сенсорів, так як дозволяє варіювати великою кількістю параметрів синтезу, що відображається на кінцевих властивостях отримуваних порошків SnO₂.

Тип розчинника чинить значний вплив на розміри ОКР та частинок стануму (IV) оксиду та істотний вплив на ВАХ. Провідність одержаних плівок з порошків SnO₂, які синтезовані в різних розчинниках, суттєво відрізняються один від одного (на порядок), що обумовлено різною кількістю контактів між частинками.

Плівки зі стануму (IV) оксиду, синтезованого в органічних розчинниках, є більш перспективними для використання в газових сенсорах через потенційну можливість їх роботи за низьких температур, що дозволить значно знизити енергоспоживання металоксидного газового сенсору в цілому.

В подальшому необхідно більш глибоко дослідити вплив різних розчинників на електричні властивості та сенсорні характеристики за низьких температур плівок на основі стануму (IV) оксиду.

Список літератури:

1. *Нагірняк, С. В.* Одновимірні наноструктури стануму (IV) оксиду як чутливий матеріал для газових сенсорів [Текст] / *С. В. Нагірняк, Т. А. Донцова, І. М. Астелін* // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2015. – № 5. – С. 119–128.
2. *Guozhong, C.* Nanostructures and nanomaterials: synthesis, properties and applications [Text] / *C. Guozhong*. – World scientific, 2004. – 448 p.
3. *Babar, A.* Electrical and dielectric properties of co-precipitated nanocrystalline tin oxide [Text] / *A. R. Babar, S. S. Shinde, A. V. Moholkar, K. Y. Rajpure*. // Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – № 505 (2). – P. 743–749. doi: [10.1016/j.jallcom.2010.06.131](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.06.131)
4. *Fang, X.* Inorganic semiconductor nanostructures and their field-emission applications [Text] / *X. Fang, Y. Bando, U. K. Guatam, D. Golberg* // Journal of materials chemistry. – 2008. – № 18 (5). – С. 509–522. doi: [10.1039/b712874f](https://doi.org/10.1039/b712874f)
5. *Nagirnyak, S. V.* The Effect of the Synthesis Conditions on Morphology of Tin (IV) Oxide Obtained by Vapor Transport Method [Text] / *S. V. Nagirnyak, V. A. Lutz, T. A. Dontsova, I. M. Astrelin*. // Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications. – 2016. – № 183. – P. 331–342. doi: [10.1007/978-3-319-30737-4_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4_28)
6. *Nagirnyak, S. V.* Synthesis and characterization of tin (IV) oxide obtained by chemical vapor deposition method [Text] / *S. V. Nagirnyak, V. A. Lutz, T. A. Dontsova, I. M. Astrelin* // Nanoscale

- Research Letters. – 2016. – № 11. – P. 11–18. doi: [10.1186/s11671-016-1547-x](https://doi.org/10.1186/s11671-016-1547-x)
7. *Calderer, J.* Synthesis and characterisation of metal suboxides for gas sensors [Text] / *J. Calderer, P. Molinas, J. Sueiras, E. Llobet, X. Vilanova, X. Correig, A. Rodriguez*, // *Microelectronics reliability*. – 2000. – № 40 (4–5). – P. 807–810. doi: [10.1016/s0026-2714\(99\)00306-6](https://doi.org/10.1016/s0026-2714(99)00306-6)
 8. *Cabot, A.* Analysis of the noble metal catalytic additives introduced by impregnation of as obtained SnO₂ sol-gel nanocrystals for gas sensors [Text] / *A. Cabot, J. Arbiol, J. Morante, U. Weimar, N. Barsan, W. Göpel* // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2000. – № 70 (1–3). – P. 87–100. doi: [10.1016/s0925-4005\(00\)00565-7](https://doi.org/10.1016/s0925-4005(00)00565-7)
 9. *Tan, L.* Hydrothermal Synthesis of SnO₂ Nanostructures with Different Morphologies and Their Optical Properties [Text] / *T. L. Tan, L. Wang, Y. Wang* // *Journal of Nanomaterials*. – 2011. – P. 1–10. doi: [10.1155/2011/529874](https://doi.org/10.1155/2011/529874)
 10. *Михайленко, Н. О.* Очищення забруднених водних середовищ магнітокерокованими сапонітовими сорбентами [Текст] / *Н. О. Михайленко, О. В. Макарчук, Т. А. Донцова, С. В. Горобець, І. М. Астрелін* // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 4/10 (76). – С. 13–20. doi: [10.15587/1729-4061.2015.46573](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46573)
 11. *Донцова, Т. А.* Використання темплатного золь-гель методу для отримання наночастинок стануму (IV) оксиду [Текст] / *Т. А. Донцова* // *Наукові вісті НТУУ «КПІ» : науково-технічний журнал*. – 2015. – № 3(101). – С. 98–103.
- Bibliography (transliterated):**
1. Nagirnyak, S. V., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. (2015). One-dimensional tin (IV) oxide nanostructures as gas-sensing materials. *Science news of NTUU "KPI"*, 5. 119–128.
 2. Guozhong, C. (2004). *Nanostructures and nanomaterials: synthesis, properties and applications*. World scientific, 448.
 3. Babar, A. R., Shinde, S. S., Moholkar, A. V., Rajpure, K. Y. (2010). Electrical and dielectric properties of co-precipitated nanocrystalline tin oxide. *Journal of Alloys and Compounds*, 505 (2), 743–749. doi: [10.1016/j.jallcom.2010.06.131](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.06.131)
 4. Fang, X., Bando, Y., Gautam, U. K., Golberg, D. (2008). Inorganic semiconductor nanostructures and their field-emission applications. *Journal of materials chemistry*, 18 (5), 509–522. doi: [10.1039/b712874f](https://doi.org/10.1039/b712874f)
 5. Nagirnyak, S., Lutz, V., Dontsova, T., Astrelin, I. (2016). The Effect of the Synthesis Conditions on Morphology of Tin (IV) Oxide Obtained by Vapor Transport Method. *Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications*, 183, 331–341. doi: [10.1007/978-3-319-30737-4_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30737-4_28)
 6. Nagirnyak, S. V., Lutz, V. A., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. (2016). Synthesis and Characterization of Tin (IV) Oxide Obtained by Chemical Vapor Deposition Method. *Nanoscale Research Letters*, 11 (1), 11–18. doi: [10.1186/s11671-016-1547-x](https://doi.org/10.1186/s11671-016-1547-x)
 7. *Calderer, J., Molinàs, P., Sueiras, J., Llobet, E., Vilanova, X., Correig, X., Rodríguez, A.* (2000). Synthesis and characterisation of metal suboxides for gas sensors. *Microelectronics Reliability*, 40 (4–5), 807–810. doi: [10.1016/s0026-2714\(99\)00306-6](https://doi.org/10.1016/s0026-2714(99)00306-6)
 8. *Cabot, A., Arbiol, J., Morante, J. R., Weimar, U., Barsan, N., Göpel, W.* (2000). Analysis of the noble metal catalytic additives introduced by impregnation of as obtained SnO₂ sol-gel nanocrystals for gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 70 (1–3), 87–100. doi: [10.1016/s0925-4005\(00\)00565-7](https://doi.org/10.1016/s0925-4005(00)00565-7)
 9. *Tan, L., Wang, L., Wang, Y.* (2011). Hydrothermal Synthesis of SnO₂ Nanostructures with Different Morphologies and Their Optical Properties. *Journal of Nanomaterials*, 1–10. doi: [10.1155/2011/529874](https://doi.org/10.1155/2011/529874)
 10. *My'xajlenko, N. O., Makarchuk, O. V., Donczova, T. A., Gorobecz', S. V., Astrelin, I. M.* (2015). Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10(76)), 13–20. doi: [10.15587/1729-4061.2015.46573](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46573)
 11. *Dontsova, T. A.* 2015. The Template Sol-Gel Method for Synthesis of Tin (IV) Oxide Nanoparticles. *Science news of NTUU "KPI"*, 3 (101), 98–103.

Надійшла (received) 18.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Стануму (IV) оксид, отриманий золь-гель методом, як матеріал для газових сенсорів/ К. С. Реброва, Т. А. Донцова, І. М. Астрелін// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.7–12. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Оксид олова (IV), полученный золь-гель методом, как материал для газовых сенсоров/ Е. С. Реброва, Т. А. Донцова, И. М. Астрелин// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.7–12. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Tin (IV) oxide obtained by a sol-gel method as a material for gas sensors/ Kateryna Rebrova, Tetiana Dontsova, Ihor Astrelin//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221). – P.7–12. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Реброва Катерина Сергіївна – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», магістрант кафедри технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології; проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: katerinka.rebrova@mail.ru

Реброва Екатерина Сергеевна – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», магистрант кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии; проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: katerinka.rebrova@mail.ru

Rebrova Kateryna – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Master of the Department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Peremogy Avenue, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: katerinka.rebrova@mail.ru

Донцова Тетяна Анатоліївна – кандидат хімічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології; проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: dontsova@ua.fm

Донцова Татьяна Анатольевна – кандидат химических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», доцент кафедры технологии

неорганических веществ и общей химической технологии; проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: dontsova@ua.fm

Dontsova Tetiana – PhD, Docent, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Docent of the Department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Peremogy Avenue, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: dontsova@ua.fm

Астрелін Ігор Михайлович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», декан Хіміко-технологічного факультету; проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

Астрелін Ігорь Михайлович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», декан Химико-технологического факультета; проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

Astrelin Ihor – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Dean of the Faculty of Chemical Technology, Peremogy Avenue, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

УДК 621.763: 667.637.22

В. П. КАШИЦЬКИЙ, В. М. МАЛЕЦЬ, С. М. ЩЕГЛОВ

ТЕРМОЦИКЛІЧНА ТА КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ МОДИФІКОВАНИХ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ

Досліджено вплив агресивних середовищ та знакозмінних температур на епоксикомпозитні матеріали, що містять високодисперсні частинки. Оптимізовано склад та розроблено технологію обробки епоксиполімерної композиції на стадії формування. Підтверджено перспективність застосування високодисперсних наповнювачів з метою покращення фізико-механічних характеристик епоксикомпозитних матеріалів, які використовують для створення високоякісних покриттів з покращеним комплексом експлуатаційних властивостей.

Ключові слова: епоксикомпозит, високодисперсний порошок, корозійна стійкість, тріщиностійкість, фізичне поле, ультразвук, електромагнітне поле.

Исследовано влияние агрессивных сред и знакопеременных температур на эпоксикомпозитные материалы, содержащие высокодисперсные частицы. Оптимизирован состав и разработана технология обработки эпоксиполимерной композиции в стадии формирования. Подтверждено перспективность применения высокодисперсных наполнителей с целью улучшения физико-механических характеристик эпоксикомпозитных материалов, используемых для создания высококачественных покрытий с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: эпоксикомпозит, высокодисперсный порошок, коррозионная стойкость, трещиностойкость, физическое поле, ультразвук, электромагнитное поле.

The influence of aggressive environments and alternating temperatures on epoxy composite material that contains super fine particles was investigated. Optimized composition and processing technology of epoxy polymer composition in its formative stages. Investigated and substantiated the influence of the tracks in the electromagnetic field and ultrasound on the physical and mechanical properties of epoxy composites containing fine-particle ferro-, para- and diamagnetic nature. Found that developed epoxy composites have very high corrosion resistance in dilute acids, enabling their use in aggressive environments. The expediency of using protective coatings epoxy composites full of highly modified powders and physical fields under the influence of alternating temperatures. The optimum technological modes of formation epoxy composites using external physical fields. On the basis of researches methods modified epoxy compositions to form a bilayer protective coating.

Keywords: epoxy composite, highly dispersed powder, corrosion resistance, fracture toughness, physical field, ultrasound, electromagnetic field.

Вступ. Проблема підвищення ресурсу, надійності, безвідмовності і ремонтоздатності технологічного обладнання є актуальною задачею для хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв. Вибір конструкційного матеріалу для експлуатації обладнання у складних умовах, необхідно здійснювати так, щоб за низької вартості і не дефіцитності матеріалу використати ефективну технологію виготовлення деталі. Крім цього необхідно враховувати експлуатаційні фактори, основними з яких є інтенсивність агресивного середовища та температура. Перспективним вирішенням даної задачі є розробка та застосування полімеркомполітів, зокрема, на основі епоксидних смол, які мають ряд переваг порівняно з іншими реакційноздатними полімерами завдяки високій технологічності, адгезійній міцності, твердості, зносостійкості, стійкості до зміни температур та корозійній стійкості.

Довговічність полімеркомполітних матеріалів визначається їх здатністю протистояти агресивному впливу хімічних середовищ, низьких та знакозмінних

температур. Залежно від агресивного середовища та впливу знакозмінних температур може відбуватися зниження механічних характеристик даних матеріалів в результаті активації поверхнево-адсорбційного ефекту або внаслідок хімічних взаємодій.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Хімічна стійкість полімеркомполітів залежить насамперед від наявності в них активних центрів (ненасичених зв'язків, функціональних груп, атомів галогенів), які під впливом агресивного середовища можуть змінюватися. Корозія полімеркомполітів відбувається в гетерогенній системі в результаті дифузії агресивного середовища, що викликає набухання або хімічно взаємодіє з полімером. Підвищення хімічної стійкості досягається шляхом модифікації структури матриці полімеркомполіту високодисперсними наповнювачами за рахунок утворення додаткових зв'язків, які збільшують стійкість полімеркомполітних матеріалів та покриттів.

© В. П. Кашицький, В. М. Малець, С. М. Щеглов. 2016