



Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна)

Handbook of the XXIV International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (June 5, 2024, Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303521>

SnO₂ ЯК ЧУТЛИВИЙ ШАР У ГАЗОВИХ СЕНСОРАХ ДЛЯ МЕДИЧНИХ ЦІЛЕЙ

Євгенія ЮЗУПКИНА, Тетяна ДОНЦОВА

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Берестейський проспект, 37, Київ, 03056, Україна

e-mail: yuzupkina.yevhenia@gmail.com

Анотація

У роботі представлені дослідження щодо золь-гель синтезу порошків стануму (IV) оксиду для використання їх у газових сенсорах. Прожарювання одержаних після золь-гель методу осадів проводили за температур 250 °С, 400 °С, 550 °С, які аналізували за допомогою рентгенівської дифракції та методом низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту.

Ключові слова: станум (IV) оксид, наночастинки, золь-гель, газовий сенсор, рентгенівська дифракція, пористі характеристики.

Газові сенсори, що визначають надлишковий вміст газових біомаркерів хвороб, є одним із перспективних неінвазивних методів індикації захворювання в організмі людини. Це пов'язано з тим, що такі пристрої можуть визначити невеликі концентрації летких органічних сполук зі швидкою реакцією та високою чутливістю. При цьому сенсори мають компактний розмір, низьку вартість та низьку потужність роботи за кімнатної температури [1].

Основними складовими хеморезистивних сенсорів для визначення газу у видихуваному повітрі є [2]: підкладка, чутливий шар, електроди, мікронагрівач і захисний шар (рисунк 1). Підкладку зазвичай виробляють з керамічних матеріалів (Al₂O₃ або SiO₂) для створення стабільної та ізолюючої основи для датчика. Платинові, нікелеві або золоті електроди необхідні для передачі зміни в електричному сигналі, який утворюється через взаємодію чутливого шару з цільовим газом. Нагрівальний елемент підтримує робочу температуру сенсору. Всі компоненти є важливими складовими для ефективної роботи газового сенсору, де чутливий шар має вирішальне значення, чутливість та селективність якого встановлюється експериментальним шляхом.

Нанорозмірні оксиди металів часто використовуються у газових сенсорах. Наприклад, для індикації такої хвороби, як діабет, у видихуваному людиною повітрі визначають надлишкові концентрації ацетону. Високу чутливість при аналізі останнього дають наступні оксиди металів [4]: WO₃, TiO₂, In₂O₃, ZnO, SnO₂. У цьому дослідженні увага приділяється станум (IV) оксиду, оскільки чутливий шар на основі даного наноматеріалу є високоселективним по відношенню до ацетону. Розрізняють [5] наступні поширені методи синтезу SnO₂: гідротермальний, випаровування, золь-гель, хімічне осадження з парової фази (CVD) та електроспінінг.

Метою даної роботи є золь-гель синтез наночастинок станум (IV) оксиду, а також їх характеристикація.

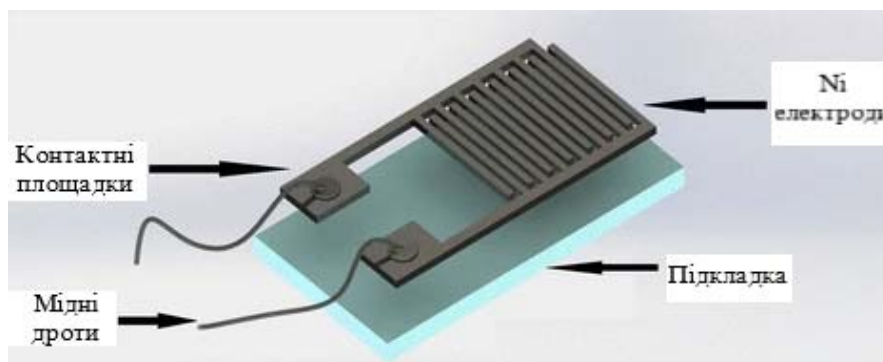


Рис. 1. Будова хеморезистивного газового сенсору [3]

Наважку $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ масою 3,51 г розчинили в 50 cm^3 дистильованої води в склянці, до якої додали 50 cm^3 поліетиленгліколю. Отриману суміш перемішували на магнітній мішалці і при цьому туди додавали по краплях 25 % водний розчин аміаку зі швидкістю 10 крапель/хвилину. Після додавання приблизно 70 крапель водного аміаку золь-гель утворювався приблизно протягом 7 хвилин. Отриманий гель фільтрували, а потім промивали дистильованою водою для видалення надлишку аміаку. Потім вміст фільтрувального паперу обережно переносили в тигель. Осад сушили при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 4 годин, а отриманий порошок прожарювали протягом 1 години за температур $250 \text{ }^\circ\text{C}$, $400 \text{ }^\circ\text{C}$, $550 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рентгенівська дифракція була використана для отримання інформації про склад та структурні властивості отриманих нанопорошків. Отримані дифрактограми свідчать, що для кожної температури прожарювання утворюється фаза SnO_2 (каситерит). Деякі структурні характеристики отриманих зразків наведені у таблиці 1, з якої можна бачити, що із підвищенням температури зростає розмір кристалітів та збільшується ступінь кристалічності, що узгоджується з літературними даними [6].

Таблиця 1. Структурні параметри зразків SnO_2

Температура прожарювання, $^\circ\text{C}$	2θ	(hkl)	d, Å	Розмір кристалітів, Å	Параметри решітки		
					a	b	c
250	26,60°	(110)	3,349	23	4,759	4,759	3,202
	33,58°	(101)	2,666				
	51,72°	(211)	1,766				
400	26,94°	(110)	3,306	42	4,742	4,742	3,195
	33,86°	(101)	2,645				
	51,95°	(211)	1,759				
550	26,895°	(110)	3,312	101	4,731	4,722	3,181
	34,12°	(101)	2,625				
	51,99°	(211)	2,356				

Пористість та питому площу поверхню отриманих порошків SnO_2 визначали низькотемпературною адсорбцією/десорбцією азоту. На рисунку 2 зображено ізотерми адсорбції N_2 частинками станум (IV) оксиду з різними температурами прожарювання. Ізотерма адсорбції-десорбції зразку SnO_2 з температурою прожарювання $250 \text{ }^\circ\text{C}$ має тип I(b)

відповідно до класифікації IUPAC 2015 року [7]. Тип I(b) зустрічається у матеріалів, що мають розподіл розмірів пор у ширшому діапазоні, включаючи ширші мікропори та вузькі мезопори. За температури прожарювання 400 °C зразок станум (IV) оксиду має IV(a) тип ізотерми адсорбції азоту, яка притамана мезопористим адсорбентам. Прожарений за температури 550 °C зразок SnO₂ має ізотерму сорбції типу V, яка свідчить про відносно слабкі взаємодії адсорбент–адсорбат.

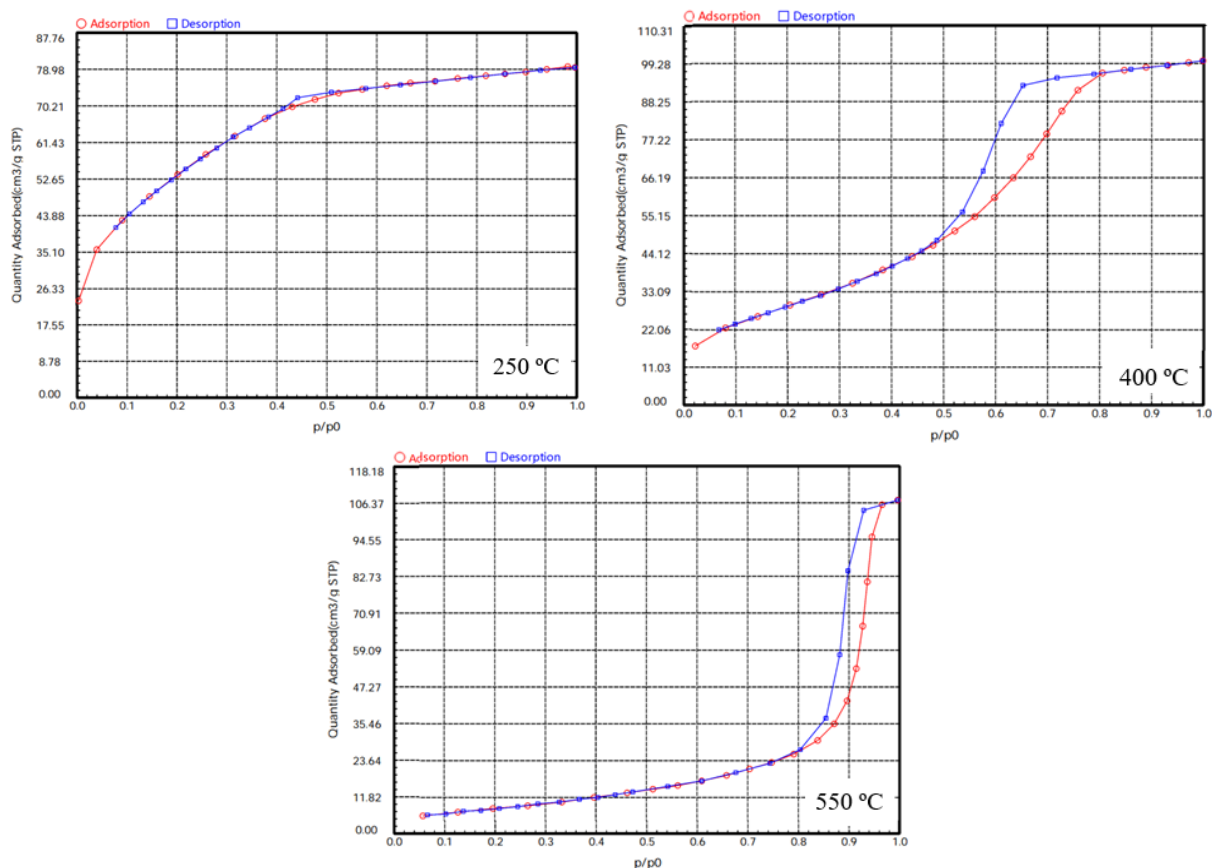


Рис. 2. Ізотерми адсорбції-десорбції азоту частинками SnO₂, отриманих за різних температур

У таблиці 2 наведені основні пористі характеристики – питома площа поверхні, об’єм пор та середній розмір пор для кожного зразку. Зі збільшенням температури прожарювання питома площа поверхня зменшується, що пов’язано із збільшенням розміру частинок та ступеня агломерації. Збільшення середнього діаметра пор відбувається за рахунок агломерації між частинками, що призводить до спікання пор із зменшенням однорідності розмірів і кількості пор [8].

Таблиця 2. Площа поверхні, об’єм пор та середній розмір пор частинок SnO₂

Температура прожарювання, °C	Площа поверхні (БЕТ), м ² /г	Загальний об’єм пор, см ³ /г	Середній розмір пор, нм
250	198,075	0,123	2,490
400	108,241	0,155	5,723
550	31,310	0,166	21,158

Таким чином, нанопорошки станум (IV) оксиду були синтезовані золь-гель методом. Їх характеристика за допомогою рентгенівської дифракції підтвердила, що за даних умов утворюється чиста фаза SnO₂ (каситериту) із тетрагональною структурою. Підвищення температури прожарювання при синтезі призводить до збільшення кристалітів. Аналіз пористої структури порошоків показав, що в усіх зразках переважають мезопори, розмір яких зростає відповідно до підвищення температури при синтезі.

У майбутньому планується детальніше дослідження впливу температури прожарювання на інші характеристики, а також аналіз впливу модифікаторів на властивості чутливого матеріалу, а також визначення електричних і сенсорних характеристик до певних газів.

Література

1. Lagopati, N.; Valamvanos, T.-F.; Proutsou, V.; Karachalios, K.; Pippa, N.; Gatou, M.-A.; Vagena, I.-A.; Cela, S.; Pavlatou, E.A.; Gazouli, M.; et al. The Role of Nano-Sensors in Breath Analysis for Early and Non-Invasive Disease Diagnosis. *Chemosensors* **2023**, *11*, 317. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11060317>.
2. Wawrzyniak, J. Advancements in Improving Selectivity of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors Opening New Perspectives for Their Application in Food Industry. *Sensors* **2023**, *23*, 9548. <https://doi.org/10.3390/s23239548>.
3. Tereshkov, M.; Dontsova, T.; Saruhan, B.; Krüger, S. Metal Oxide-Based Sensors for Ecological Monitoring: Progress and Perspectives. *Chemosensors* **2024**, *12*, 42. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12030042>.
4. Masikini, M.; Chowdhury, M.; Nemraoui, O. Review—Metal Oxides: Application in Exhaled Breath Acetone Chemiresistive Sensors. *Journal of The Electrochemical Society* **2020**, *167* (3), 037537. <http://dx.doi.org/10.1149/1945-7111/ab64bc>.
5. Kong, Y.; Li, Y.; Cui, X.; Su, L.; Ma, D.; Lai, T.; Yao, L.; Xiao, X.; Wang, Y. SnO₂ nanostructured materials used as gas sensors for the detection of hazardous and flammable gases: A review. *Nano Materials Science* **2021**. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2021.05.006>.
6. Aziz, M.; Saber Abbas, S.; Wan Baharom, W. R. Size-controlled synthesis of SnO₂ nanoparticles by sol-gel method. *Materials Letters* **2013**, *91*, 31–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2012.09.079>.
7. Thommes, M. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* **2016**, *38* (1), 25. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.
8. Gaber, A.; Abdel-Rahim, M. A.; Abdel-Latif, A. Y.; Abdel-Salam, M. N. Influence of Calcination Temperature on the Structure and Porosity of Nanocrystalline SnO₂ Synthesized by a Conventional Precipitation method. *International Journal of Electrochemical Science* **2014**, *9* (1), 81–95. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)07699-X](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)07699-X).
9. Patel, G. H.; Chaki, S. H.; Kannaujia, R. M.; Parekh, Z. R.; Hirpara, A. B.; Khimani, A. J.; Deshpande, M. P. Sol-gel synthesis and thermal characterization of SnO₂ nanoparticles. *Physica B: Condensed Matter* **2021**, *613*, 412987. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.412987>.

SnO₂ AS A SENSITIVE LAYER IN GAS SENSORS FOR MEDICAL PURPOSES

Yevheniia YUZUPKINA

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-5101-925X>

Tetiana DONTSOVA

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-8189-8665>

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303521>

Keywords: *tin (IV) oxide, nanoparticles, sol-gel, gas sensor, X-ray diffraction, porous characteristics.*

Abstract

The paper presents research on the sol-gel synthesis of tin (IV) oxide powders for gas sensors. The precipitates obtained after the sol-gel method were calcined at temperatures of 250 °C, 400 °C, 550 °C, which were analyzed using X-ray diffraction and the method of low-temperature nitrogen adsorption-desorption.