

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ГАЗОЧУТЛИВІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Аврамов Владислав, Родін Богдан

Науковий керівник: канд. техн. наук Дяденчук А. Ф.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного, м. Мелітополь, Україна*

У статті розглянуто основні види та принцип дії напівпровідникових газочутливих сенсорів попередніх робіт. Описано будову найпростішого напівпровідникового датчику. Проведено огляд деяких наукових робіт, в яких розкрито перспективи та особливості виготовлення напівпровідникових газових сенсорів на основі графену, вуглецевих нанотрубок, поруватих напівпровідників, а також поєднання даних матеріалів з газочутливими металооксидними напівпровідниками. Дані наноматеріали, завдяки своїм механічним та електричним параметрам, великому співвідношенню поверхні до об'єму, є досить перспективними для виготовлення високочутливих газових сенсорів. Розглянуто переваги та недоліки деяких з них.

Ключові слова: напівпровідниковий сенсор, газочутливий датчик, графен, вуглецеві нанотрубки, поруваті напівпровідники.

Semiconductor gas sensitive sensors based on nanomaterials

V. Avramov, B. Rodin

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

The article presents the main types and principles of operation of semiconductor gas-sensitive sensors of previous works. The structure of the simplest semiconductor sensor is described. A review of some scientific papers, which revealed the prospects and features of the manufacture of semiconductor gas sensors based on graphene, carbon nanotubes, porous semiconductors, as well as the combination of these materials with gas-sensitive metal oxide semiconductors. Due to their mechanical and electrical parameters, high surface-to-volume ratio, these nanomaterials are very promising for the production of highly sensitive gas sensors. The advantages and disadvantages of some of them are considered.

Key words: semiconductor sensor, gas-sensitive sensor, graphene, carbon nanotubes, porous semiconductors.

Постановка проблеми. Наразі актуальним є питання виготовлення газових сенсорів (ГС) та подальше їхнє застосування для забезпечення безпеки приміщень, контролю навколишнього середовища тощо [1]. Перспективними приладами є газоаналізатори на основі напівпровідникових сенсорів. Проблема виготовлення газових сенсорів піднімає питання залежності сигналу сенсора від параметрів чутливого шару та отримання і дослідження чутливих шарів із необхідними параметрами. Незважаючи на інтенсивні дослідження в

цьому напрямі, розробка дешевих високочутливих ГС із заданими характеристиками в цілому не є можливою – вирішено тільки окремі питання відносно зв'язку між умовами виготовлення і характеристиками сенсорів [2].

Метою статті є розгляд основних видів напівпровідникових газочутливих сенсорів.

Виклад основного матеріалу (результатів) дослідження. В основі принципу дії напівпровідникових сенсорів лежить зміна електрофізичних параметрів датчиків під час протікання на їх поверхні хемосорбції газу, який аналізується, або окисно-відновних реакцій з його участю. Такі ГС можна розділити на дві великі групи [6]:

- металооксидні сенсори;
- структури метал-діелектрик-напівпровідник чи метал-напівпровідник.

Газовий сенсор являє собою плівковий резистор, що змінює свій опір під час взаємодії з газом, який аналізується. Напівпровідниковий сенсор є невеликою ізольованою підкладкою (зазвичай до 9 мм²), на якій розташовані вимірювальні електроди та нагрівач. На поверхню електродів наноситься чутливий шар, в якості яких використовують тонкі напівпровідникові плівки.

На опір чутливого шару значною мірою впливає тип провідності напівпровідника (n- чи p-тип) і тип домішок [3]. При адсорбції акцепторних часток на поверхні напівпровідника з провідністю n-типу опір чутливого шару збільшується (акцепторний сигнал), а при адсорбції донорних часток – зменшується (донорний сигнал). Зворотною буде залежність для напівпровідників із p-типом провідності. На поверхні напівпровідника n-типу при хемосорбції кисню локалізується від'ємний заряд утворений захопленими електродами, що призводить до збіднення приповерхневого шару. Коли сорбується газ, який взаємодіє з сорбуючим киснем, провідність приповерхневої області істотно зростає у випадку, якщо газ володіє відновлювальними властивостями і зменшується, якщо окисними. Для напівпровідників p-типу все відбувається навпаки.

Наразі встановлено, що збільшення питомої поверхні використовуваних у газових сенсорах матеріалів призводить до підвищення чутливості, а також залежить від властивостей всіх складових елементів сенсора. Тому перед науковими групами багатьох країн постає задача розробки нових напівпровідникових газових сенсорів, що володіють рядом переваг.

Ще в 40-х роках минулого століття виникло питання про вплив адсорбції газів на електрофізичні характеристики напівпровідників і, відповідно, про детектування газових домішок за зміною цих характеристик [3]. Серед перших аналітичних приладів, що використовувалися для цілей промислового аналізу в 1940-1950 роках, були рН-сенсори. В кінці 60-х – на початку 70-х років почали використовувати методи газової хроматографії і хімічні методи аналізу. Всупереч всім успіхам можливим було виготовлення сенсорів лише в одиничних екземплярах. Значні успіхи були досягнуті в роботах із вивчення елементарних фізико-хімічних процесів, що протікають на поверхні оксидів металів. Результати цих робіт узагальнено в [4].

Новим поштовхом було дослідження властивостей графену – вчені багатьох країн приступили до досліджень процесів взаємодії газу з його поверхнею, а також поєднання плівок графену з іншими газочутливими матеріалами (ZnO, SnO₂, Pd, Pt тощо) [5-6]. Вважається, що газочутливість графену пов'язана із зарядовим обміном між адсорбованими частками газів і графеном, що призводить до зміни концентрації вільних електронів з останнім.

Відкриття вуглецевих нанотрубок (ВНТ) в 1991 році призвело до висновку, що вони є потенціальними сенсорними елементами для ГС. Для покращення чутливості і селективності таких елементів розглянуто можливість легування ВНТ різноманітними металами.

Важливим кроком для подальшого розвитку виготовлення напівпровідникових сенсорів стало застосування поруватих напівпровідників, які мають значну внутрішню поверхню та властивості об'ємних напівпровідників при мінімальному розмірі, в різноманітних приладах

електроніки [7-8]. Так у роботі [8] встановлено, що резистивні сенсори володіють великою по порядку адсорбційною чутливістю, ніж ємнісні. Однак сенсорні елементи на основі поруватого Si мають і недоліки, які ускладнюють проєктування аналізаторів газу [9]. Разом з тим продовжуються дослідження газочутливих властивостей поруватих металооксидних напівпровідників і структур на їхній основі (SiC, Al₂O₃, TiO₂, ZnO та ін.) [10-11]. Унікальні структурні властивості таких матеріалів особливо корисні для застосування їх як активних шарів у газових сенсорах. Вони застосовуються для ємнісного, резистивного чи оптичного зондування. Перевагами таких датчиків є невисока вартість та проста схема включення, до недоліків можна віднести короткий час неперервної роботи внаслідок розходу робочого шару, що вступає у взаємодію з газом, що детектується.

Висновки та перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження. Таким чином, досягнення вчених відкривають перспективи для впровадження в практику аналізу напівпровідникових газових сенсорів. Нові наноматеріали, завдяки своїм механічним та електричним параметрам, великому співвідношенню поверхні до об'єму, є досить перспективними для виготовлення довгострокових, високочутливих газових сенсорів з низьким енергоспоживанням. Однак досі залишається актуальним питання розробки та дослідження напівпровідникових газових сенсорів на основі наноматеріалів.

Список літератури

1. Арутюнян В. М. Газовые сенсоры на основе декорированных углеродных нанотрубок. *Известия НАН Армении. Физика*. 2015. Т. 50, № 4. С. 448-475.
2. Bendahan M., Guerin J., Boulmani R., Aguir K. WO₃ sensor response according to operating temperature. *Sensors and Actuators B*. 2007. V. 124. P. 24-29.
3. Williams D. E., Pratt K. F. E. Microstructure effects on the response of gas-sensitive resistors based on semiconducting oxides. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2000. V. 70 (1-3). P. 214-221.
4. Handbook of sensors and actuators 4. Semiconductor Sensors in Physical-Chemical Investigations. / Ed. L. Yu. Kupriyanov. Elsevier. Amsterdam–Lausanna–New York–Oxford–Shannon–Tokio, 1996. 400 p.
5. Singh G., Choudhary A., Haranath D., Joshi A. G., Singh N., Singh S., Pasricha R. ZnO decorated luminescent graphene as a potential gas sensor at room temperature. *Carbon*. 2012. V. 50. P. 385-394.

6. Molina J., Fernandez J., Garcia C., del Rio A. I., Bonastre J., Cases F. Electrochemical characterization of electrochemically reduced graphene coatings on platinum. Electrochemical study of dye adsorption. *Electrochimica Acta*. 2015. V. 166. P. 54-63.
7. Kidalov V. V., Dyadenchuk A. F., Khrypko S. L., Khrypko O. S. Investigation the Structures ZnO:Al/SiO_x/PorSi/p-Si/Al. *Physics and Chemistry of Solidstate*. 2017. V. 18, № 2. P. 180-183.
8. Монастирський Л., Яремик Р., Оленич І., Парандій П. Багатоелементні сенсорні системи на основі поруватого кремнію. *Вісник Львівського ун-ту. Серія фізична*. 2011. Вип. 46. С. 189-195.
9. Saarinen J. J., Weiss S. M., Fauchet P. M., Sipe J. E. Optical sensor based on resonant porous silicon structures. *Optics Express*. 2005. V. 13, № 10. P. 3754-3764.
10. Московченко Н. Н., Светличный А. М. Газоанализаторы на основе пористого карбида кремния. *Технология и конструирование в электрон. аппаратуре*. 2006. № 3. С. 32-35.
11. Radecka M., Jasinski M., Klich-Kafel J., Rekas M., Lyson B., Czapla A., Lubecka M., Sokolowski M., Zakrzewska K., Heel A., Graule T. J. TiO₂-based Nanopowders for Gas Sensor. *Ceramic Materials*. 2010. V. 62 (4). P. 545-549.