

ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ГАЗІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ

© Марікуца У., 2008

Розглянуто принципи побудови електронних хімічних сенсорів, які використовуються в системах моніторингу хімічного складу довкілля та існуючі системи розпізнавання газів на основі електронних сенсорів.

Principles of construction of electronic chemical sensors applying in the systems of monitoring of chemical composition of environment and existent systems of gas recognition on the basis of electronic sensors are considered in this article.

Вступ

Актуальним є розроблення вбудованих систем у тих сферах, в яких для визначення в режимі реального часу тих чи інших параметрів досліджуваної системи використовують непрямі багато-параметричні методи вимірювання із застосуванням декількох сенсорних перетворювачів. При використанні таких ВС стає можливим контроль якості промислової продукції, виявлення з достатньою точністю інформації як про склад, так і про концентрацію окремих компонент в багато-компонентних сумішах, наявності тих чи інших речовин в навколишньому середовищі. Такі системи є особливо цінними для моніторингу довкілля, в криміналістиці, митному контролі, діагностичному контролі стану промислових виробів та споруд, виявленні в них прихованих дефектів.

Електронні сенсори

Серед електронних сенсорів хімічного складу газового середовища найширше застосовуються сенсори резистивного типу, напівпровідникові (на основі МДП-структур), на основі п'єзоелектричних елементів та оптичні сенсори [1, 2, 3].

Робота сенсорів резистивного типу ґрунтується на зміні провідності, маси або інших фізичних параметрів металооксидних або полімерних плівок в результаті поглинання ними молекул певних хімічних речовин. Промислового значення набули сенсори, чутливі елементи яких будуються на основі плівок SnO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , з яких найчастіше використовують оксид стануму (IV). Для підвищення чутливості металооксидної плівки до аналізованого газу її підігрівають до декількох сотень градусів Цельсія.

Серед МДП-структур найширше використовують сенсори на основі польових транзисторів (рис. 1), затвор яких покритий плівкою з перехідного металу (паладію, платини, іридію). Їхня робота ґрунтується на тому, що в результаті каталітичної реакції між покриттям затвора та аналізованим газом зменшується струм в каналі транзистора. Величина зміни струму пропорційна до концентрації газу.

Сенсори на основі п'єзоелектричних елементів поділяються на кварцові мікроваги (рис. 2) і сенсори на основі поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) (рис. 3). Робота кварцових мікроваг полягає в зміні маси полімерної плівки на поверхні кварцового резонатора внаслідок поглинання нею молекул аналізованого газу. Це зумовлює зміну резонансної частоти кварцу, величина якої пропорційна до концентрації газу. Робота сенсорів на основі ПАХ полягає у тому, що швидкість поширення акустичної хвилі на поверхні покритої полімерною мембраною п'єзоелектричної пластини залежить від маси мембрани, яка поглинає аналізований газ. Інформаційним параметром сенсорів на основі поверхневих акустичних хвиль є зсув фаз між фазою змінного електричного струму, який збуджує поверхневу хвилю, і фазою струму на виході вторинного перетворювача.

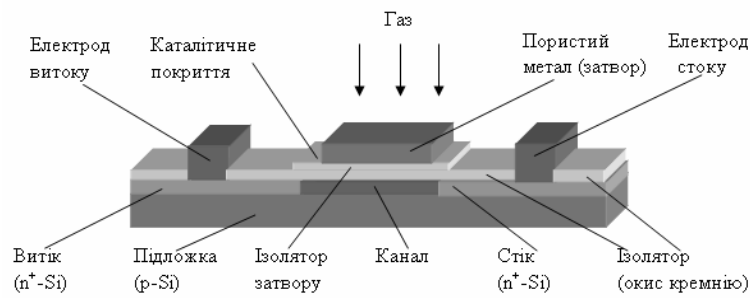


Рис.1. Будова напівпровідникового сенсора

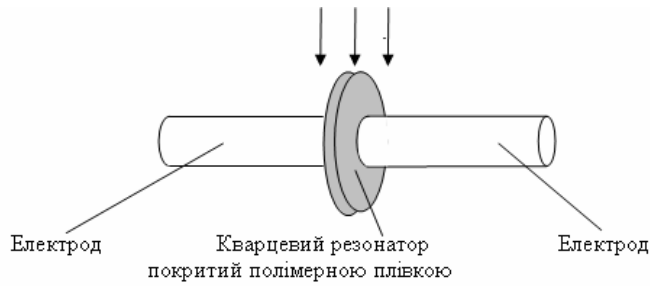


Рис.2. Будова п'єзоелектричного сенсора на основі кварцових ваг

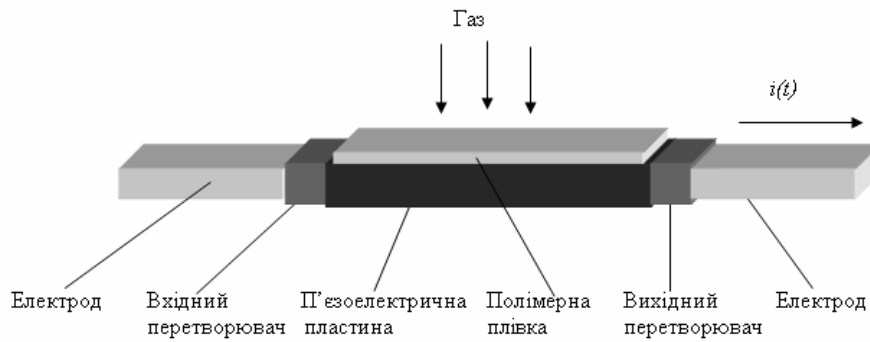


Рис.3. Будова п'єзоелектричного сенсора на основі ПАХ

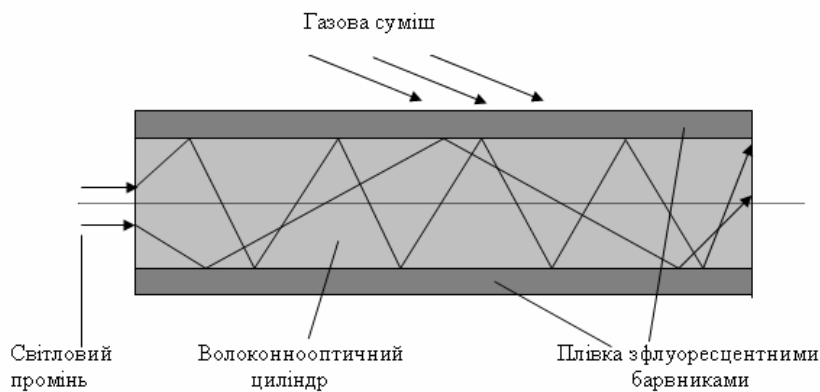


Рис. 4. Будова спектрофотометричного сенсора

Серед оптичних сенсорів своєю універсальністю відрізняється спектрофотометричний (рис. 4). Основою цього сенсора є волоконно-оптичний циліндр, поверхня якого покрита плівковою матрицею, що містить різні флуоресцентні барвники. Газу, якими обдувають поверхню циліндра,

по-різному взаємодіють з барвниками, змінюючи спектр їхнього флуоресцентного випромінювання. Спектральний аналіз світлового променя від зовнішнього джерела, який пройшов крізь волоконно-оптичний циліндр і опитав матрицю флуоресцентних барвників, дає інформацію про наявність в навколишньому середовищі аналізованих хімічних речовин.

Порівняльні характеристики електронних сенсорів для аналізу хімічного складу газу наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики електронних хімічних сенсорів

№ з/п	Тип сенсора	Інформативний сигнал	Технологія виготовлення	Чутливість	Переваги	Недоліки
1	Плівковий полімерний	Провідність	Напівпровідникова	0,1...100 ppm	Невисока вартість	Необхідне підігрівання
2	Плівковий металооксидний	Провідність	Напівпровідникова	5...500 ppm	Невисока вартість	Чутливий до вологи
3	Напівпровідникові	Електричний струм	MOSFET	1 ppm	Висока чутливість	Недовговічний
4	П'єзоелектричний на основі кварцових ваг	Частота	MEMS	1 ng	Висока чутливість	Висока вартість
5	П'єзоелектричний на основі поверхневих акустичних хвиль	Фаза	MEMS	1 pg	Висока чутливість	Висока вартість
6	Оптичний	Спектр флуоресцентного сигналу	MEMS	1 ppm	Стійкий до завад	Недовговічний

Описані види електронних хімічних сенсорів завдяки високій технологічності дають змогу порівняно легко автоматизувати вимірювання і тому широко використовуються у системах моніторингу довкілля.

Технічні засоби контролю

У галузі розроблення та виробництва технічних засобів для якісного та кількісного аналізу вмісту в повітряному середовищі хімічних речовин працюють багато зарубіжних фірм. У табл. 2 наведено особливості плівкових і напівпровідникових сенсорів для контролю газового середовища, які випускаються фірмою UST Umweltsensortechnik GmbH.

Таблиця 2

Сенсори фірми UST Umweltsensortechnik

№ з/п	Назва сенсора	
1	GGG 1000T	Ідентифікація горючих газів
2	GGG 1300T	Ідентифікація CO, H ₂ , CH ₄
3	GGG 2000T	Ідентифікація CO, H ₂ , C ₂ H ₅ OH
4	GGG 3000T	Аналіз концентрації вибухонебезпечних газів виду C _x H _y
5	GGG 4000T	Ідентифікація NH ₃
6	GGG 5000T	Ідентифікація NO ₂ , O ₂
7	GGG 6000T	Ідентифікація H ₂
8	GGG 7000T	Ідентифікація NO ₂

На рис. 5 наведено залежності активного опору металооксидних плівок сенсора GGS 3000T від концентрації метану (CH₄) та пропану (C₃H₈).

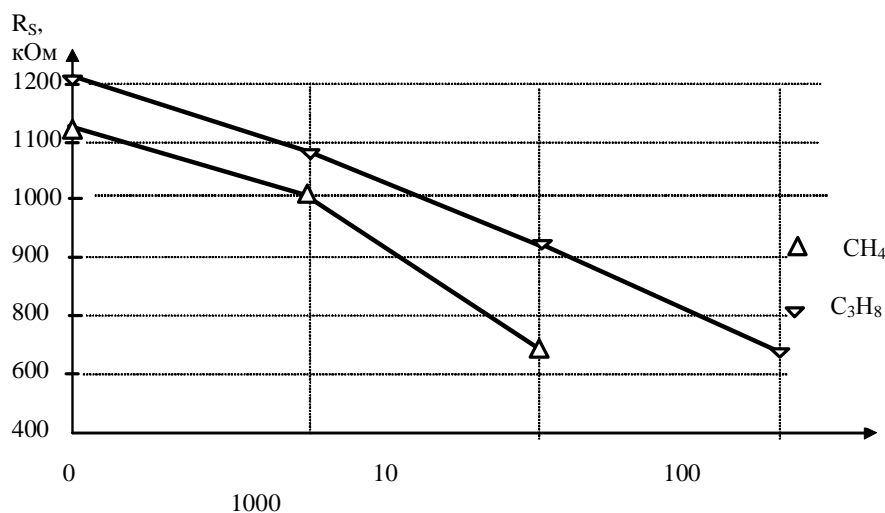


Рис. 5. Залежність опору R_s сенсора GGS 3000 T від концентрації газів CH_4 і C_3H_8

Крім окремих газових сенсорів, зарубіжні фірми випускають матричні сенсори, які містять декілька чутливих елементів в одному корпусі. На базі окремих і матричних сенсорів випускається багато детекторів, індикаторів, аналізуючих приладів та автоматизованих систем для виявлення як окремих газів, так і їхніх сумішей.

У табл. 3 наведено порівняльні характеристики аналізаторів газових сумішей, які випускаються зарубіжними фірмами.

Наведені системи ідентифікації та вимірювання концентрації аналізованих газів використовуються для екологічного моніторингу навколишнього середовища, контролю якості повітря на промислових підприємствах, виявлення заборонених для перевезення хімічних речовин при митному контролі в аеропортах та при перетині кордону, в системах забезпечення безпеки об'єктів, що охороняються, харчовій промисловості та медицині.

Таблиця 3

Системи моніторингу газових сумішей зарубіжних фірм

№ з/п	Фірма-розробник	Тип сенсора	Кількість чутливих елементів	Web адреса
1	Німеччина: Lennartz Electronic GmbH	Плівкові, кварцові ваги	До 40	www.lennartz.elektronik.de
2	Великобританія: EEV Ltd. Chemical Sensors System	Плівкові, п'єзоелектричні	До 28	www.eev.com
3	США: Cyrano Sciences Inc	Плівкові полімерні	32	www.cyranosciences.com
4	Великобританія: Aroma Scan PLC	Плівкові полімерні	32	www.aromascan.com
5	Франція: Alpha MOS-Multi Organoleptic	Плівкові, п'єзоелектричні	До 24	www.alpha-mos.com
6	Швеція: Nordis Sensor Technologies AB	Плівкові, оптичні, напівпровідникові, кварцові ваги	22	www.nordissensor.com
7	Великобританія: Bloodhound Sensor Ltd	Плівкові полімерні	14	www.bloodhound.com
8	Німеччина: Airstense Analysis GmbH	Плівкові металооксидні	10	www.airstense.com
9	Німеччина: Rst Rostock KO GmbH	Плівкові, п'єзоелектричні	До 10	www.rst-rostock.de
10	Німеччина: Hkr- Sensorsysteme GmbH	Кварцові ваги	6	home.t-online.de

У Швейцарському федеральному технологічному інституті [1] на базі інтегральної мікросхеми розроблена система аналізу газової суміші. Інтегральна мікросхема містить матрицю п'єзоелектричних сенсорів, виконаних за MEMS-технологією, і модуль вимірювання та обробки отриманої інформації. П'єзоелектричні мікроваги виконані у вигляді кварцової пластини (консолі), покритої полімерною плівкою завтовшки 10 мкм. Поглинання цією плівкою аналізованого газу збільшує її масу. В результаті цього зменшується резонансна частота кварцової консолі. Діапазон зміни резонансної частоти становить 10...25 мГц. Концентрація С газу є пропорційною до різниці резонансних частот: $C = k(f_0 - f_{0x})$, де f_0 – початкове значення резонансної частоти консолі за нульової концентрації аналізованого газу; f_{0x} – виміряне значення резонансної частоти консолі за наявності в повітряному середовищі аналізованого газу.

Описана система дає змогу визначати у довірливості концентрацію октану, пропанолу, трихлорметану і толуолу.

Характерні особливості систем моніторингу газових сумішей на основі електронних хімічних сенсорів такі:

1. Переважна більшість відомих систем моніторингу газових сумішей характеризуються похибкою ідентифікації та визначення концентрації аналізованого газу в діапазоні 10...20 %.

2. На практиці технологічно важко виготовити електронний сенсор, який реагував би вибірково на один із аналізованих газів. Як правило, електронні сенсори володіють вищою чутливістю до одного або декількох газів, і нижчою чутливістю до інших газів багатоконпонентної газової суміші.

3. У разі використання матричних сенсорів на основі металооксидних плівок вибір конкретного сенсора може здійснюватися нагріванням його чутливого елемента до температури реагування на аналізований газ.

4. Пониження селективності сенсорів резистивного типу за наявності інших газів, особливо водню.

5. Методи ідентифікації та визначення концентрації газів, які використовуються системами моніторингу газових сумішей на основі електронних хімічних сенсорів, належать до багатопараметричних непрямих методів вимірювань, які вимагають математичної обробки вимірювальної інформації за складними алгоритмами.

Висновки

Розглянуті технічні системи ідентифікації та вимірювання концентрації аналізованих газів використовуються для екологічного моніторингу навколишнього середовища, контролю якості повітря на промислових підприємствах, виявлення заборонених для перевезення хімічних речовин при митному контролі в аеропортах та при перетині кордону, в системах забезпечення безпеки об'єктів, що охороняються, харчовій промисловості та медицині. Сфера застосування такої системи залежить від типу комплектації сенсорів. Такі прилади можуть використовуватися у військових цілях для визначення токсичних і біологічних агентів, а також службами безпеки аеропортів і митними терміналами, а саме для виявлення вибухових і наркотичних речовин при контрольних перевірках пасажирів. Але наявні прилади мають певні недоліки Вони повинні забезпечувати однозначну оцінку за наявності різного роду заважаючих факторів. Тому актуальним залишається розроблення завадостійких методів контролю наявності хімічних агентів.

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання. В 3 томах. Том 2 / За редакцією З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595 с. 2. Balthes H., Lange D., Koll A. The Electronic Nose in Liliput. – IEEE Spectrum, № 9, 1998. 3. H. Troy Nagle, Ricardo Gutierrez-Osna, Susan S. Schiffman. The How and why of Electronic Nose // IEEE Spectrum, № 9, 1998. 4. Романов В. Электронный нос: элементная база и принципы построения. // ЕКУС. – Киев: VD MAIS, 2002, № 10. 5. Романов В. Пленочные мультисенсоры для идентификации запахов и газов. // ЕКУС. – Киев: VD MAIS, 2003, № 8. 6. Петренко В., Цубин А., Гренишен Н. Интеллектуальный цифровой датчик влажности и температуры воздуха с защитой от росы // ЕКУС. – Киев: VD MAIS, 2002, № 11.