

# SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

---

## СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

---

---

УДК 004.942

### РОЗПІЗНАВАННЯ ГАЗІВ НА ОСНОВІ МІКРОКОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ СЕНСОРІВ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ

*Л. С. Монастирський, О. І. Петришин, Б. П. Коман, Р. І. Яремик*

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Драгоманова, 50, 79005, м. Львів, Україна  
E-mail: liu\_mon@yahoo.com

### РОЗПІЗНАВАННЯ ГАЗІВ НА ОСНОВІ МІКРОКОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ СЕНСОРІВ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ

*Л. С. Монастирський, О. І. Петришин, Б. П. Коман, Р. І. Яремик*

**Анотація.** Робота присвячена проблемі детектування горючих і токсичних газів, а також їх попарного розпізнавання на основі вимірювання зміни технічних параметрів ПК, зокрема дослідженню концентраційних залежностей опору, ємності та частотної залежності імпедансу сенсорів ПК. Для розпізнавання газів запропоновано обробляти дані сенсорів ПК за допомогою мікрокомп'ютерних систем.

**Ключові слова:** газові сенсори, поруватий кремній, мікрокомп'ютерний аналіз даних, детектування газів, морфолід пеларгонової кислоти, аміак, пропан, леткі органічні сполуки

## GAS IDENTIFICATION ON THE BASIS OF MICROCOMPUTER ANALYSIS OF POROUS SILICON SENSOR DATA

*L. S. Monastyrskii, O. I. Petryshyn, B. P. Koman, R. J. Yaremyk*

**Abstract.** The work deals with the problem of detecting the combustible and toxic gases, as well as their pairwise recognition on the basis of measuring the changes in technical parameters of PS, particularly investigating the concentration dependences of resistance, capacitance and frequency dependence of impedance of PS sensors. For gas detection, it is proposed to process the sensor's data by means of microcomputer systems.

**Keywords:** gas sensors, porous silicon, microcomputer analysis of data, gas detection, pelargonic morpholide acid, ammonia, propane, volatile organic compounds

## РАСПОЗНАВАНИЕ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СЕНСОРОВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

*Л. С. Монастырский, О. И. Петришин, Б. П. Коман, Р. Я. Яремик*

**Аннотация.** Работа посвящена проблеме детектирования горючих и токсичных газов, а также их парного распознавания на основе измерения изменения технических параметров ПК, в частности исследованию концентрационных зависимостей сопротивления, емкости и частотной зависимости импеданса сенсоров ПК. Для распознавания газов предложено обрабатывать данные сенсоров ПК с помощью микрокомпьютерных систем.

**Ключевые слова:** газовые сенсоры, пористый кремний, микрокомпьютерный анализ данных, детектирования газов, морфолид пеларгоновой кислоты, аммиак, пропан, летучие органические соединения.

### Вступ

На сьогоднішній день гостро стоїть проблема контролю токсичних, горючих, вибухонебезпечних та інших шкідливих речовин у повітряній атмосфері [1,2].

У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці мікроелектронних систем детектування газів для промислових, офісних і житлових приміщень, які можуть бути компонентами "інтелектуальних" систем захисту життя і здоров'я людини. Типові напівпровідникові сенсори газів працюють на ефекті зміни вольт-амперної характеристики, ємності або провідності чутливого елемента при адсорбції. Одним із недостатків таких сенсорів є їх неселективність до різних газів.

Як показали наші попередні дослідження, нанопоруватий кремній є високочутливим до

низьких концентрацій газів, таких як метан, водень, оксиди азоту, аміак та ін.[3]. Нами запропоновано застосування в ролі чутливого елемента нанопоруватого кремнію та спосіб попарного розпізнавання газів сенсорами на його основі.

Молекули газів при адсорбції на поверхні напівпровідника можуть захоплювати електрони з об'єму, що веде до підвищення опору напівпровідника n-типу провідності. Для іншого газу електрони можуть інжектуватись в об'єм, що приводить до зменшення опору зразка. Результируючий опір структури буде визначатись конкуренцією між цими процесами, тобто сумарною концентрацією адсорбованих молекул.

При адсорбції заряджених частинок більш чутливою може бути зміна поверхневого по-

тенціалу напівпровідника, що призводить до зміни вольт-амперної характеристики бар'єрної гетероструктури.

Сенсори, як правило, не є селективними. Тому для розпізнавання і аналізу різних газів застосовують спеціальні методи. Зокрема, застосовують лінійки або матриці сенсорів, розробляють схеми опитування окремих сенсорів та математичної обробки даних з допомогою комп'ютера.

В роботі досліджувались процеси детектування пар таких токсичних газів як морфолід пеларгонової кислоти (МПК) та газ аміак, а також горючо-вибухонебезпечних газів пропан та легких органічних сполук тютюнового диму. Ці групи газів є шкідливими для людського організму. При певних концентраціях таких газів в житлових та офісних приміщеннях у людей спостерігається підвищена втомлюваність і слабкість. Серед компонентів тютюнового диму є більше десяти шкідливих речовин, зокрема октан, декан, дихлорбензол, ксилол, тетрахлоретилен, діоксан, хлороформ та ін.

Морфолід пеларгонової кислоти - бойова отруйна речовина з групи ірритантів, та газ з різким задушливим запахом – аміак мають сильну подразнюючу дію на очі та органи дихання людини. У значних концентраціях викликають больові відчуття на шкірі.

### Результати вимірювань та їх обговорення

В роботі вивчались зміни технічних параметрів чутливих елементів – гетероструктур поруватого кремнію при взаємодії з цими речовинами в газоподібному стані. Для цього проводились вимірювання вольт-амперної характеристики, опору та ємності зразків при безпосередньому контакті з газами при зміні їх концентрації в об'ємі.

Вольт-амперні характеристики гетероструктур поруватого кремнію мали типовий діодний характер. Хід прямої та зворотної віток змінювався при появі в об'ємі досліджуваних газів. Зокрема на вигляд вольт-амперної характеристики впливала концентрація газу МПК. Найбільші зміни прямого струму спостерігались при напругах зміщення, більших 4 В, а зворотнього струму - при напругах, мен-

ших -2 В (Рис.1.). Концентрація газу змінювалась в межах 0 – 0,45 об'ємних процентів (ОП). Зростання струму при збільшенні концентрації газу МПК свідчило про інжекцію носіїв заряду при адсорбції газу поруватим кремнієм.

На прямих вітках вольт-амперної характеристики видно, що при напругах, більших 4 В, для високих концентрацій газу струм має місце режим екстракції носіїв.

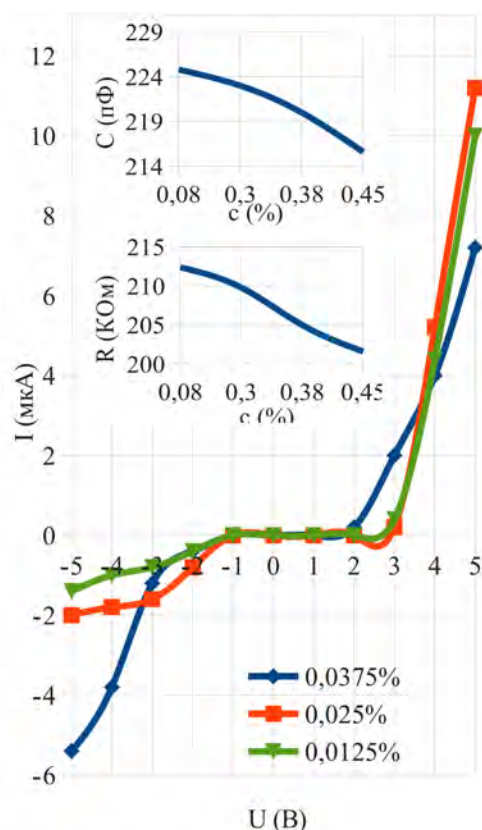


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики та залежності ємності  $C$  і опору  $R$  поруватого кремнію від концентрації газу МПК.

Дослідження залежності опору та ємності гетероструктур поруватого кремнію від величини концентрації газу МПК в оточуючій атмосфері показало їх зростання при збільшенні концентрації газу від нульової до 0.05 ОП. (Рис. 2,а,б). Дослідження вольт-амперної характеристики гетероструктур поруватого кремнію показали, що більш чутливими до адсорбції аміаку є зворотні вітки при напругах, менших ніж -1 В.

Коли напруга менша 4 В, спостерігався режим посилення інжекції для таких концентрацій газу (Рис. 2).

Ємність та опір гетероструктур поруватого кремнію при зростанні концентрації газу аміаку збільшувались, на відміну від аналогічних залежностей при адсорбції газу МПК.

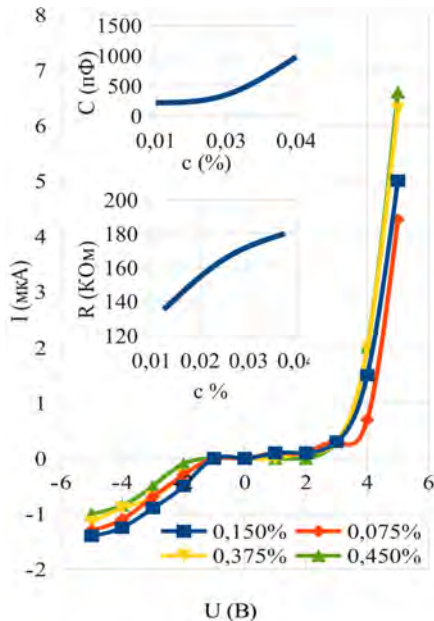
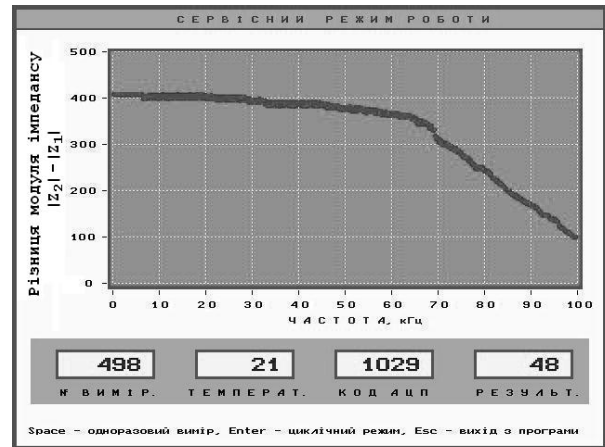


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики та залежності ємності  $C$  і опору  $R$  поруватого кремнію від концентрації газу аміаку в об'ємі.

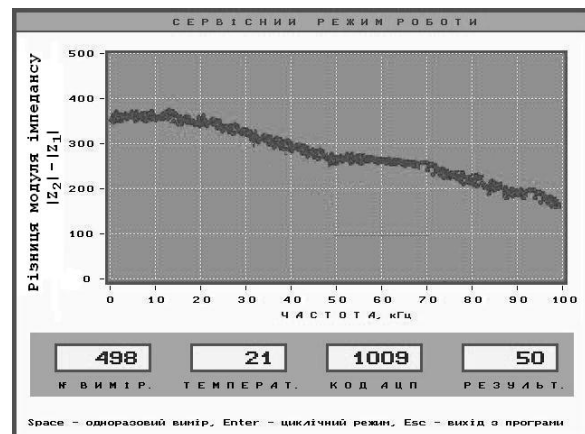
Для пари газів пропану та тютюнового диму характер зміни ємності та опору чутливого елемента поруватого кремнію був однаковим: опір та ємність в обох випадках зростали при адсорбції різних газів. Тому для розпізнавання цих газів досліджувались залежності імпедансу зразків від частоти струму, що проходив через структуру при різних за величиною концентраціях газу.

Розроблена нами система вимірювання повного комплексного опору (імпедансу) сенсорних елементів містила генератор, який формував послідовності сигналів збудження в діапазоні 1-1000кГц. Сигнал відклику сенсора оброблявся з допомогою аналого-цифрового перетворення платою мікроконтролера фірми Atmel серії Atmega328P на основі плати розширення Arduino Uno, з подальшим опрацюванням і графічною візуалізацією на мікрокомп'ютері Raspberry Pi. Діапазон вимірювання імпедансу знаходився в межах 100 Ом -10 МОм. Для збільшення чутливості і достовірності даних розраховувались різниці значення імпедансу двох сенсорів, один з яких

поміщався в контейнер з контрольованим газовим середовищем, а другий знаходився на повітрі. Результируючий різницевий сигнал від двох сенсорів використовувався як ідентифікатор типу газу та визначав його концентрацію (Рис. 3.).



а)



б)

Рис.3 Залежності різниці модулів імпедансу двох сенсорів від частоти струму при дії газу пропану (а) та тютюнового диму (б) для зразків ПК.

### Висновки

Для розпізнавання двох токсичних газів МПК і аміаку вимірювались вольт-амперні характеристики та визначались концентраційні залежності ємності та опору гетероструктур ПК. При адсорбції МПК та зростанні концентрації останнього ємність та опір поруватого кремнію n- типу спадали. Тобто при адсорбції молекул газу МПК здійснюється механізм інжекції електронів в шар ПК.

Якщо ПК знаходиться в зоні дії аміаку, то ємність та опір зразка зростають, тобто ре-

лізується режим екстракції електронів. Таким чином, різний характер залежностей опору та ємності дозволяє розпізнавати ці гази.

Для іншої пари газів – летких органічних сполук тютюнового диму та горюче-вибухонебезпечного газу пропану спостерігається однаковий вплив полярних молекул газу на підсистему носіїв ПК (опір та ємність зростають), однак розпізнавання газів в цьому випадку здійснюється за аналізом зміни вигляду частотної залежності різницевого значення імпедансу зразків ПК, що адсорбують ці гази. Такі залежності суттєво відрізняються, що і дає можливість ідентифікувати їх (Рис. 3). Розроблена нами сенсорна система містить чутливий елемент ПК n-типу провідності, модуль вимірювання імпедансу та його частотної залежності, модуль підсилення сигналу, його аналого-цифрового перетворення з допомогою мікроконтролера фірми Atmel серії Atmega 328P із платою розширення Arduino Uno та чисельної обробки даних з допомогою мікрокомп'ютера Raspberry Pi.

Отримані результати можуть бути застосовані в сучасних системах “розумного будинку” [4].

#### Список використаної літератури

[1]. Skryshevskiy V. A. Fizychni osnovy napivprovidnykovykh fizychnykh sensoriv / V. A. Skryshevskiy. - K:VPTs «Kyivskiy universytet», 2006. - 190 p. (in Ukrainian).

[2]. Humidity sensors using porous silicon layer with mesa structure / S.-J. Kim, J.-Y. Park, S.-H. Lee, S.-H. Yi // Journal of Physics D: Applied Physics. - 2000. - V.33, No 15. P. - P. 1781-1784.

[3]. Pat. #92968 Ukraine, MPK: G01N 21/00, G01N 20/00, H01L 27/14. Sposib otrymmannya hazovoho sensora / Monastyrskiy L. S., Morozov L. M., Olenych I. B., Sokolovskiy B. S.; zaiavnyk i vlasnyk Lvivskiy natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. - # a200904358; zaiavl. 05.05.2009; opubl. 27.12.2010, Biul. #24. <http://uapatents.com/patents/morozov-leonid-mikhajlovich> (in Ukrainian).

[4]. Model roboty pidsystem osviltrennia ta okhorony intelektualnoho budynku/ Tesliuk V. M., Berehovska Kh. V., Berehovskiy V. V.//Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2013. – Vyp. 23.-S.10. P. 297-303. (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 08.06.2016 р.

UDC 004.942

## GAS IDENTIFICATION ON THE BASIS OF MICROCOMPUTER ANALYSIS OF POROUS SILICON SENSOR DATA

*L. S. Monastyrskii, O. I. Petryshyn, B. P. Koman, R. J. Yaremyk*

Ivan Franko National University of Lviv

### Summary

The paper deals with the problem of detecting the combustible and toxic gases, as well as their pairwise recognition on the basis of measuring the changes in technical parameters of porous silicon (PS), particularly investigating the concentration dependences of resistance, capacitance and frequency dependence of impedance of PS sensors. For gas identification, processing of the sensor's data by means of microcomputer systems is proposed. The work investigates the processes of detection of such toxic gases as pelargonic morpholide acid (PMA) and ammonia, as well as flammable explosive gases propane and volatile organic compounds of tobacco smoke. With this aim it is carried out measurements of volt-ampere characteristics (VAC), resistance and frequency dependence of

impedance of heterostructure (HS) in the conditions of direct contact with gases at changing their concentration in volume.

For identification of two toxic gases PMA and ammonia VAC are measured and concentration dependences of capacity and resistance of HS based on PS are determined. At adsorption of PMA and increase of its concentration the capacity and resistance of n-type PS decrease. When PS is located in the region of action of ammonia the capacity and resistance increase, i.e. the regime of extraction of electrons is realized. Thus, different character dependences of resistance and capacity allows to identify these gases.

For another pair of gases – volatile organic compounds of tobacco smoke and flammable explosive gas propane it is observed the same influence of polar molecules of the gas on the subsystem of charge carriers of PS (resistance and capacity increase), however identification of gases in this case is carried out by means of analysis of changing the shape of frequency dependence of the difference value of impedance of PS samples that adsorb these gases.

**Keywords:** gas sensors, porous silicon, microcomputer analysis of data, gas identification, peltarmonic morpholide acid, ammonia, propane, volatile organic

УДК 004.942

## РОЗПІЗНАВАННЯ ГАЗІВ НА ОСНОВІ МІКРОКОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ СЕНСОРІВ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ

*Л. С. Монастирський, О. І. Петришин, Б. П. Коман, Р. І. Яремик*

Львівський національний університет імені Івана Франка

### Реферат

Робота присвячена проблемі детектування горючих і токсичних газів, а також їх попарного розпізнавання на основі вимірювання зміни технічних параметрів ПК, зокрема дослідженню концентраційних залежностей опору, ємності та частотної залежності імпедансу сенсорів ПК. Для розпізнавання газів запропоновано обробляти дані сенсорів ПК за допомогою мікрокомп'ютерних систем. В роботі досліджувались процеси детектування пар таких токсичних газів як морфолід пеларгонової кислоти (МПК) та газ аміак, а також горючо-вибухонебезпечних газів пропан та летких органічних сполук тютюнового диму. Для цього проведені вимірювання ВАХ, опору, ємності зразків та частотної залежності імпедансу ГС при безпосередньому контакті з газами при зміні їх концентрації в об'ємі.

Для розпізнавання двох токсичних газів МПК і аміаку вимірювались вольт-амперні характеристики та визначались концентраційні залежності ємності та опору гетероструктур ПК. При адсорбції МПК та зростанні концентрації останнього ємність та опір поруватого кремнію n-типу спадали. Якщо ПК знаходиться в зоні дії аміаку, то ємність та опір зразка зростають, тобто реалізується режим екстракції електронів. Таким чином, різний характер залежностей опору та ємності дозволяє розпізнавати ці газу.

Для іншої пари газів – летких органічних сполук тютюнового диму та горючо-вибухонебезпечного газу пропану спостерігається однаковий вплив полярних молекул газу на підсистему носіїв ПК (опір та ємність зростають), однак розпізнавання газів в цьому випадку здійснюється за аналізом зміни вигляду частотної залежності різницевого значення імпедансу зразків ПК, що адсорбують ці газу.

**Ключові слова:** газові сенсори, поруватий кремній, мікрокомп'ютерний аналіз даних, розпізнавання газів, морфолід пеларгонової кислоти, аміак, пропан, леткі органічні сполуки