

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ З МАТРИЧНИХ СЕНСОРІВ НА ПОРУВАТИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ

ОКСАНИЧ А. П., ПРИТЧИН С. Е.,
КОГДАСЬ М.Г., МАЩЕНКО М.А.,
ОСТРІКОВСЬКА Д. А.

Пропонується нова структура сенсору газу у вигляді матриці, а також розробляється система обробки первинних сигналів сенсорів газів на поруватих напівпровідниках. Визначається характеристики матричного сенсору. Встановлюється, що поруватість чутливого до водню контакту Pd / por-GaAs діода Шотткі впливає на швидкість і чутливість сенсора. Пори в сенсорі Pd / por-GaAs збільшують швидкість проникнення водню в порівнянні з контактом Pd/GaAs.

Ключові слова: діод Шотткі, матричний сенсор, поруватий GaAs, контролер.

Key words: S Schottky diode, matrix sensor, porous GaAs, controller.

1. Вступ

Для контролю технологічних середовищ та безпеки виробництва необхідні сенсори концентрації газів. Сьогодні для цих цілей широко використовуються сенсори на основі напівпровідників. Недоліком таких сенсорів є недостатньо високий діапазон робочих температур, їх низька селективність і стабільність. Особливо перспективними є розробки на поруватому GaAs, оскільки робота напівпровідникового сенсора тим ефективніше, чим більше розвинена поверхня кристалу. Одним із напрямків застосування поруватого GaAs є виготовлення сенсорів газу, які можуть працювати при кімнатній температурі і мають підвищену швидкодію [1–4].

Незважаючи на інтенсивне дослідження властивостей поруватого напівпровідника, таких як ємність, електропровідність, фотолюмінесценція та велика площа питомої поверхні, що забезпечує високу хімічну активність матеріалу до і після впливу газових середовищ, сенсорні, оптичні та електрофізичні властивості вивчені недостатньо. Тому виникає необхідність отримання параметрів контакту Шотткі, які в свою чергу визначаються його вольт-амперними характеристиками (ВАХ). Створення таких сенсорів актуальне, адже дозволить вирішувати комплексну задачу моніторингу атмосфери, контроль технологічних середовищ і безпеки промислового виробництва з використанням пристроїв електроніки [5 – 7].

2. Постановка задачі

Розроблені раніше автоматизовані комплекси дозволяють проводити вимірювання параметрів напівпровідникових структур, однак використані для його реалізації вимірювальні методики та їх схемотехнічні рішення мають низьку часову стабільність, високу чутливість до стану навколишньої атмосфери і невисоку точність вимірювання електричних величин.

Мета роботи полягає у підвищенні точності розрахунку параметрів сенсорів газів та збільшенні достовірності отриманої інформації.

Для досягнення цієї мети поставлені та розв'язані такі задачі:

- аналіз сенсорних елементів на основі поруватих плівок GaAs;
- аналіз методів визначення вольт-амперних характеристик (ВАХ);
- розробка структури та алгоритму роботи системи;
- розробка управляючого програмного забезпечення;
- визначення характеристик отриманих сенсорів.

3. Розробка структури сенсору та системи обробки первинних сигналів

Під терміном матричний сенсор будемо розуміти об'єднання групи сенсорів, виготовлених на одній підкладці поруватого напівпровідника (рис. 1).

При виготовленні матричного сенсора на пластину напівпровідника з тильної сторони наносять контакт Au/Ge-Ni-Au, а з протилежної формують сім шарів поруватих напівпровідників діаметром 10 мм, з однаковими режимами травлення. На кожен поруватий шар напильють контакт Pd діаметром 3 мм.

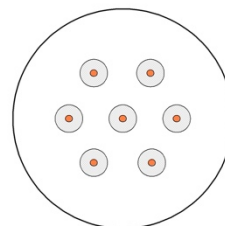


Рис. 1. Схематичне зображення мультисенсора
Конструктивне виконання сенсора газу на поруватому арсеніді галію наведено на рис 2. Для реалізації селективності сенсора в конструкції використовується селективна мембрана.

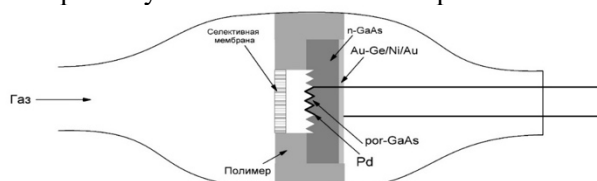


Рис. 2. Конструкція сенсора газу з використанням pGaAs на базі діода Шотткі

Для калібрування та проведення випробувань використовувався стенд, який дозволяє подавати як один газ, так і суміш газів, контролювати концентрацію газу і будувати вольтамперні характеристики. Для калібрування сенсора всередині колби створюється вакуум до 10^{-3} . Швидкість потоку газу підтримувалася постійною 0,3 л/хв. Для впливу газу на сенсор він містився на вбудованій в колбі диск нагрівача, його електроди з'єднувалися із зовнішніми контактами платиновими стяжками. Після впорскування газу в колбу крізь витратомір вимірювалися вольт-амперні характеристики, чутливість і час відгуку сенсора при різних температурах, а потім порівнювалися з результатами, отриманими у разі вакууму [8] (рис. 3).

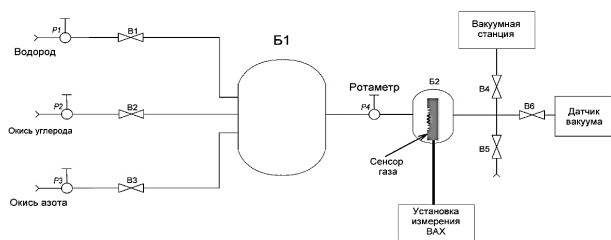


Рис. 3. Схема системи дослідження роботи сенсорів газів на поруватих напівпровідниках

Весь процес автоматизації визначення та аналізу параметрів сенсорних елементів можна розділити на три етапи: узгодження сигналів, формування моделей, збереження і виведення даних. Електрична структурна схема системи показана на рис. 4.

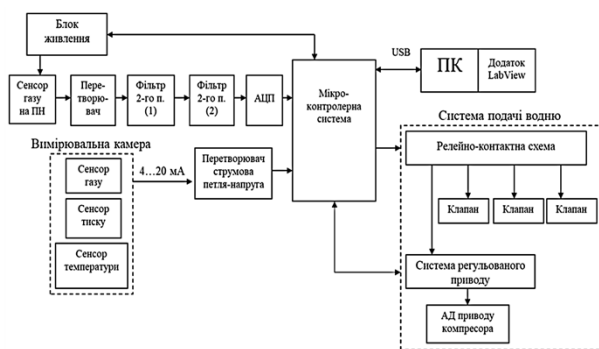


Рис. 4. Структурна схема системи обробки первинних сигналів сенсорів газів на поруватих напівпровідниках

Апаратна частина комплексу включає:

- вимірювальну камеру;
- сенсорний елемент на основі діодів Шотткі, що утворюється поруватими плівками GaAs, сенсори тиску та газу, сенсор струму та напруги;
- блок узгодження та управління, що включає перетворювач інтерфейсів;
- пристрій збору даних;
- комп'ютер з програмним забезпеченням та послідовним інтерфейсом USB.

До мікроконтролерної системи послідовно підключений перетворювач інтерфейсів «струмова петля-напруга» та сенсор струму та напруги по інтерфейсу I²C. Блок узгодження та управління забезпечує регулювання клапанів, двигуна насоса при надходженні необхідного значення сигналу для відкачування і напуску атмосфери. Як об'єкт вимірювань використовується сенсорний елемент на основі діодів Шотткі, заснований на методі прямого перетворення.

4. Програмно-технічне рішення для матричних сенсорів

Для системи обробки первинних сигналів сенсорів газів на поруватих напівпровідниках в середовищі моделювання StarUML була спроектована UML-діаграма класів моделі системи, що показано на рис. 5.



Рис. 5. UML-діаграма класів

На діаграмі основним класом є «Система управління», який здійснює регулювання подачі водню, ввімкнення або вимкнення вакуумного насоса. Для отримання вимірювань використовуються класи «Сенсор тиску», «Сенсор газу», «Сенсор газу на ПН». Після опитування сенсорів створюються об'єкти класів, а потім передаються на вхід як виміряні параметри класу «Перетворювач». Ці класи мають відношення «агрегація». Система управління приймає дані з перетворювачів, тому класи мають зв'язок «узагальнення». Параметри використовуються для реалізації методів класу «Система відображення даних», класи знаходяться у відношенні «асоціація».

UML-діаграма діяльності. Алгоритм роботи програми був розділений на два рівні – верхній та нижній. Алгоритм роботи верхнього рівня показано на рис. 6.

1. Початок роботи програми.
2. Після початку роботи програми перевіряємо, чи ввімкнено режим «Вакуум». Якщо так, то задаємо значення вакууму, якщо ні – перевіряємо, чи ввімкнено режим «Повітря».
3. Після задання значення вакууму переходимо до пункту 6.
4. Якщо ввімкнено режим «Повітря», то переходимо до пункту 6.

5. Перевіряємо, чи ввімкнено режим «Водень». Якщо так, то задаємо концентрацію водню (H_2), якщо ні – переходимо до пункту 10.
6. Проводимо установку значень U_{\max} , U_{\min} , $U_{\text{крок}}$.
7. Передаємо дані на мікроконтролер (МК).
8. Проводимо зчитування даних з мікроконтролера (МК).
9. Якщо перевірене значення відповідає умові $U_{\text{вим}} \geq U_{\max}$, то програма розраховує параметри діоду Шоттки та будує графік ВАХ.
10. Перевіряємо, чи натиснута кнопка «Стоп». Якщо так, то завершуємо програму, якщо ні – переходимо до пункту 2.



Рис. 6. UML-діаграма діяльності верхнього рівня

Алгоритм роботи нижнього рівня показано на рис. 7.

1. Початок роботи програми.
2. Після початку роботи програми перевіряємо, чи ввімкнено режим «Вакуум»? Якщо так, то вимірюємо значення вакуума, якщо ні – виконуємо пункт 5.
3. Перевіряємо, чи відповідає виміряне значення вакуума умові $R_{\text{вим}} \geq 10^{-3}$. Якщо так, то вмикаємо вакуумний насос, якщо ні – вимикаємо його.
4. Закриваємо клапан.
5. Перевіряємо, чи ввімкнено режим «Повітря». Якщо так, то виконуємо пункт 4.
6. Перевіряємо, чи ввімкнено режим «Водень». Якщо так, то виконуємо пункт 7.
7. Починаємо подачу водню.
8. Якщо кількість водню відповідає умові $H_{2\text{вим}} \leq H_{2\text{зад}}$, то виконуємо пункт 7, якщо ні – вимикаємо насос та закриваємо клапан.
9. Проводимо установку значень U_{\max} , U_{\min} , $U_{\text{крок}}$.

10. Проводимо зчитування значень напруги (U) та струму (I) з МК.
11. Дані з МК передаємо на комп'ютер.
12. Перевіряємо, чи натиснута кнопка «Стоп». Якщо так, то завершуємо програму, якщо ні – переходимо до пункту 2.

Комплекс забезпечує виконання таких функцій:

- вимірювання ВАХ сенсорів газів на основі поруватих плівок GaAs;
- розрахунок параметрів діоду Шоттки;
- збір і зберігання отриманих даних;
- представлення отриманої інформації у графічному і цифровому вигляді.

Інтерфейс програми має 2 вкладки, що показано на рис. 8, 9. Графік ВАХ на вкладці в «Умови вимірювання» відображається в режимі реального часу. На вкладці в «Результат розрахунків» відображається графік ВАХ в напівлогарифмічному режимі, а також значення розрахованих параметрів коефіцієнта ідеальності, послідовного опору та висоти бар'єру Шоттки.

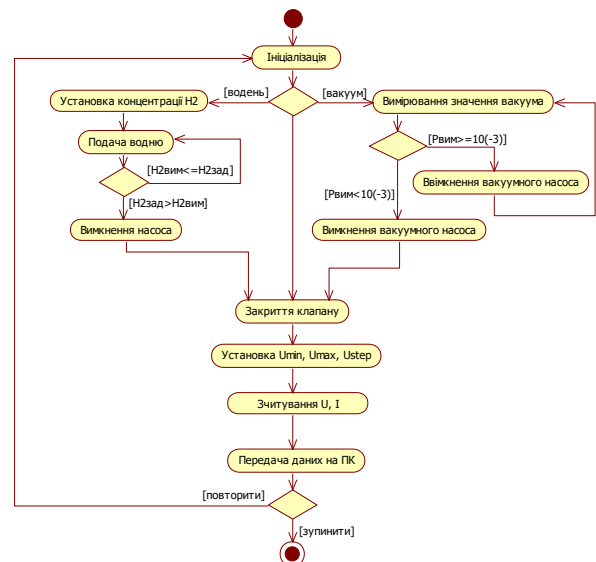


Рис. 7. UML-діаграма діяльності нижнього рівня

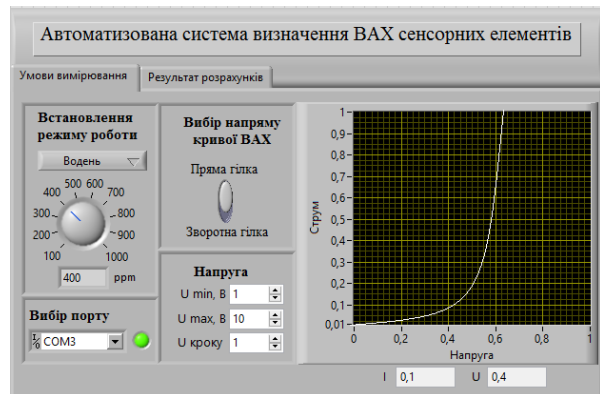


Рис. 8. Лицьова панель. Вкладка «Умови вимірювання»

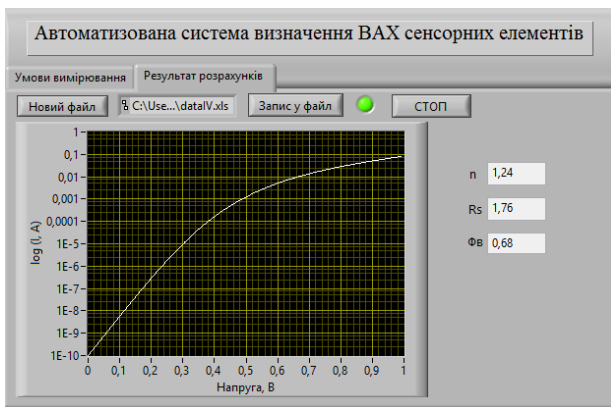


Рис. 9. Лицьова панель.
Вкладка «Результат розрахунків»

Основні характеристики для отриманого сенсора подано в таблиці. Основною перевагою отриманого сенсора є можливість його роботи без нагрівальних елементів.

Характеристики сенсорів газів з рGaAs на основі діода Шотткі

Параметри	Непоруваті плівки GaAs	Матричний сенсор
Чутливість, %	0	93,5 – 87,1
Час відгуку, с	1,5	Менше 1 с – 1,2 с
Робочий діапазон, °С		+20...+50
Діапазон концентрацій водню, ppm		100-1000
Робоча вологість, %		20~90 %
Відносна похибка вимірювання, %		10

Експериментальні результати довели, що чутливість поруватого зразка значно вища, ніж у непоруватого. Це може відбуватися завдяки більшій кількості адсорбованих атомів на межі поділу поруватого зразка порівняно з непоруватим. Ми порівняли зміни одночасно у Pd/GaAs і Pd/pGaAs зразках у разі відсутності та присутності газоподібного водню.

5. Висновки

При розробці інформаційно-вимірювальної системи були вирішені такі задачі:

1. Забезпечено наочність і доступність отримання інформації для вивчення електричних характеристик сенсорних елементів та виконання досліджень.
2. Досягнуто відносно низьку вартість комплексу і можливість його реалізації в умовах освітніх установ для вирішення науково-дослідних і навчальних завдань.
3. Надано гнучку можливість доопрацювання і зміни програмного забезпечення комплексу для нових задач дослідження, реалізації різних алгоритмів обробки сигналів та подання інформації.

Встановлено, що поруватість чутливого до водню контакту Pd / por-GaAs діода Шотткі впливає на швидкість і чутливість сенсора. Пори в сенсорі Pd / por-GaAs збільшують швидкість проникнення водню в порівнянні з контактом Pd/GaAs.

Література: 1. Лукаш С.И., Алрс Х., Райш Р. Исследование изменения параметров сенсоров в устройстве газового анализатора в процессе измерений // УСиМ. 2001. № 3. С. 279–285. 2. Таланчук П.М., Мороз О.С. Теорія напівпровідникових сенсорів. Ч. 1. К., 1997. 56 с. 3. Алрс Х., Гладун В., Лукаш Л., Лукаш С. Принципы формирования пространства признаков для задачи распознавания газов в атмосфере при помощи программного обеспечения "CONFOR" // Искусственный интеллект. Донецк, 1999. № 2. С. 386–391. 4. Лукаш С.И. Перетятько В.Ю. Комп'ютерна програма попередньої обробки даних. Свід. ПА № 4461 від 03.07.2001. 5. Erlebacher J., Sieradzki K. and Searson P.C. Computer-Simulations of Pore Growth in Silicon // I Appl. Phys. 1994. V.76, №1. P.182-187. 6. Aukkaravittaypun S., Thanachayanont C., Theapsiri T., Veerasai W., Sawada Y., Kondo T., Tokiwa S., Nishide T. Temperature programmed desorption of F-doped SnO2 films deposited by inverted pyrosol technique // Jour. of Thermal Analysis and Calorimetry. 2006. Vol.85. №3. P.811 – 815. 7. Марков Х.М. Оксид азота и оксид углерода – новый класс сигнальных молекул // Успехи физиологических наук. 1996. № 4. С. 30 – 43. 8. Olowolafe J. O., Ho P. S., Hovel H. J., Lewis J. E., and Woodall J. M. Contact reactions in Pd/GaAs junctions // Appl. Phys. 1979. №50. С. 955–962.

Transliterated bibliography:

1. Lukash S.I., Alrs Kh., Rajsh R. Issledovanie izmeneniya parametrov sensorov v ustrojstve gazovogo analizatora v processe izmerenij // USiM. 2001. # 3. S. 279–285.
2. Talanchuk P.M., Moroz O.S. Teoriia napivprovidnykovykh sensoriv. Ch. 1. K., 1997. 56 s.
3. Alers Kh., Gladun V., Lukash L., Lukash S. Princzi-py' formirovaniya prostranstva priznakov dlya zadachi raspoznavaniya gazov v atmosfere pri pomoshhi pro-grammnogo obespecheniya "CONFOR" // Iskustvenny'j intellekt. Doneczk, 1999. # 2. S. 386–391.
4. Lukash S.I. Peretiatko V.Iu. Kompiuterna prohrama poperednoi obrobky danykh. Svid. PA № 4461 vid 03.07.2001.
5. Erlebacher J., Sieradzki K. and Searson P.C. Computer-Simulations of Pore Growth in Silicon // I Appl. Phys. 1994. V.76, №1. P.182-187.
6. Aukkaravittaypun S., Thanachayanont C., Theapsiri T., Veerasai W., Sawada Y., Kondo T., Tokiwa S., Nishide T. Temperature programmed desorption of F-doped SnO2 films deposited by inverted pyrosol technique // Jour. of Thermal Analysis and Calorimetry. 2006. Vol.85. №3. P.811 – 815.
7. Markov Kh.M. Oksid azota i oksid ugleroda – novy'j klass signal'ny'kh molekul // Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 1996. # 4. S. 30 – 43.
8. Olowolafe J. O., Ho P. S., Hovel H. J., Lewis J. E., and Woodall J. M. Contact reactions in Pd/GaAs junctions // Appl. Phys. 1979. №50. С. 955–962.

Надійшла до редколегії 10.12.2019

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гученко Н.И.

Оксанич Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, директор НДІ технології напівпровідників і інформаційно-управляючих систем КрНУ ім. М. Остроградського, завідуючий кафедрою автоматизації та інформаційних систем. Наукові інтереси: методи і апаратура контролю структурно-досконалих напівпровідникових монокристалів, поруваті напівпровідники. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел. (05366) 30157. E-mail: oksanich@kdu.edu.ua.

Притчин Сергій Емільйович, д-р техн. наук, доцент, проф. кафедри автоматизації та інформаційних систем КрНУ ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: автоматизація процесів управління виробництвом напівпровідникових матеріалів. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел.: (05366) 30157. E-mail: pritchinse@ukr.net.

Когдась Максим Григорович, канд. техн. наук, доц. кафедри автоматизації та інформаційних систем КрНУ ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: автоматизація процесів управління виробництвом напівпровідникових матеріалів. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел.: (05366) 30157. E-mail: kogdasMax@gmail.com

Машенко Михайло Анатолієвич, аспірант кафедри автоматизації та інформаційних систем КрНУ ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: автоматизація процесів управління виробництвом напівпровідникових матеріалів. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел. (05366) 30157.

Остріковська Дар'я Анатоліївна, магістр кафедри автоматизації та інформаційних систем КрНУ ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: автоматизація процесів управління виробництвом напівпровідникових матеріалів. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел. (05366) 30157.