

---

АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ  
ACOUSTOELECTRONIC SENSORS

---

УДК 536:621.315.59

**СЕНСОР ВОДНЮ НА ОСНОВІ АКУСТОЕЛЕКТРОННОГО ЕЛЕМЕНТУ  
І ШАРУВАТИХ СТРУКТУР**

*Я. І. Лепіх*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при ОНУ імені І. І. Мечникова, E-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

**СЕНСОР ВОДНЮ НА ОСНОВІ АКУСТОЕЛЕКТРОННОГО ЕЛЕМЕНТУ  
І ШАРУВАТИХ СТРУКТУР**

*Я. І. Лепіх*

**Анотація.** Наводяться результати розробки і дослідження мікроелектронного сенсора водню, побудованого на основі акустoeлектронного елемента на поверхневих акустичних хвилях і шаруватих структур з двох матеріалів, один з яких виконує функцію молекулярного сита.

**Ключові слова:** сенсор водню, поверхневі акустичні хвилі, шаруваті структури, молекулярне сито

**HYDROGEN SENSOR ON A BASIS OF ACOUSTOELECTRONIC ELEMENT  
AND LAYERED STRUCTURES**

*Ya. I. Lepikh*

**Abstract.** Results of development and research of a microelectronic hydrogen sensor constructed on the basis of an element on surface acoustic waves and layered structures from two materials one of which execute function of a molecular sieve are presented.

**Keywords:** hydrogen sensor, surface acoustic waves, layered structures, a molecular sieve

**СЕНСОР ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО ЭЛЕМЕНТА  
И СЛОИСТЫХ СТРУКТУР**

*Я. И. Лепих*

**Аннотация.** Приводятся результаты разработки и исследования микроэлектронного сенсора водорода, построенного на основе акустоэлектронного элемента на поверхностных акустических волнах и слоистых структурах из двух материалов, один из которых выполняет функцию молекулярного сита.

**Ключевые слова:** сенсор водорода, поверхностные акустические волны, слоистые структуры, молекулярное сито

## Вступ

В системах контролю технологічних середовищ і моніторингу природного навколишнього середовища існує важлива проблема – забезпечення систем сенсорами водню.

Водень — газ без кольору та запаху, який не можливо визначити органолептичним способом. Через те що водень є вибухонебезпечною речовиною, виникає необхідність безперервного визначення його концентрації особливо у замкнених просторах, наприклад, вугільних шахтах.

Основні підходи до розв'язання означеної проблеми базуються на використанні методів мікроелектроніки, що дозволяють одночасно з досягненням необхідних метрологічних характеристик вирішувати задачі мініатюризації виробів.

В [1], наприклад, описується сенсор для контролю водню, що складається з діелектричної підкладки, нагрівача і базується на основі газочутливого шару з напівпровідникового оксиду. Однак такий сенсор має досить низьку чутливість і вибірковість до водню, і у той же час — високу чутливість до інших газів, зокрема, до парів етанолу, хлориду-22, NO. Крім того, як і всі інші подібні напівпровідникові сенсори він має необхідність у нагрівальному елементі.

Адсорбційний сенсор [2], у якому використовується п'єзоелектрична підкладка, на яку нанесено адсорбційний шар між зустрічно-штирковим перетворювачем (ЗШП) акустоелектронного елемента містить поляризатор, п'єзоелектричний трансформатор, джерело живлення поляризатора, фільтр нижніх частот, фазообертачі та змішувачі сигналів. Однак і цей сенсор має ряд суттєвих недоліків: невисокі метрологічні характеристики — низькі чутливість і вибірковість, конструктивна і схематехнічна складність, необхідність використання високої напруги (декілька кіловольт), підвищені складність і небезпека експлуатації, великі масогабаритні параметри.

Кращими характеристиками відрізняється сенсор водню [3], що містить п'єзоелектричний звукопровід з ніобату літію ( $\text{LiNbO}_3$ ) YZ-зрізу, вхідний і вихідний ЗШП і шар паладію на поверхні звукопроводу між ЗШП. Дія сенсора базується на зміні умов поширення поверхневої акустичної хвилі (ПАХ) при абсорбції і десорбції водню шаром паладію.

Недоліком цього сенсора є недостатньо висока вибірковість і чутливість до водню внаслідок того, що шар паладію є одночасно чутливим і до інших газів, що може призвести до помилкових спрацьовувань систем контролю. Крім того, чутливість та інші характеристики такого сенсора суттєво залежать від температури, що також є недоліком.

## Результати досліджень і їх обговорення

Нами розроблено сенсор водню [4] з підвищеними вибірковістю і чутливістю та суттєво спрощеною його конструкцією.

Сенсор містить п'єзоелектричний звукопровід із вхідним і вихідним ЗШП і чутливим до водню шаром матеріалу між ними. З метою підвищення чутливості і вибірковості сенсора між перетворювачами (акустоелектронного елемента на ПАХ) на звукопровід нанесені один на другий два шари чутливих до водню матеріалів, причому перший із шарів виконано з тетраетиленглікольдиметанкрилату (ТЕГДМ), а другий з бутадієнакрилонитрольного сополімеру (СКН-27).

Нанесені два шари є чутливими до водню (ТЕГДМ володіє високою проникністю для водню, а СКН-27 — високою розчинністю водню) і, таким чином, здійснюється подвійна селекція водню із суміші газів, що призводить до підвищення вибірковості відносно таких супутніх газів, як кисень, азот, двоокис вуглецю тощо, а також підвищення чутливості.

На рис. 1 схематично представлено конструкцію сенсора та механізм його роботи.

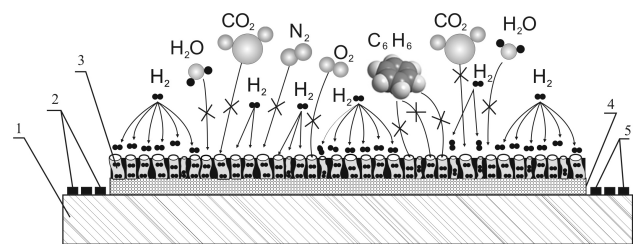


Рис. 1. Схематична конструкція сенсора і механізм роботи сенсора

Сенсор водню (рис. 1) містить звукопровід з п'єзоелектричного кварцу ( $\text{SiO}_2$ ) 1, вхідний ЗШП 2, шар ТEGДМ 3, шар СКН-27 4 і вихідний ЗШП 5.

Вимірювальна структурна схема сенсора (рис. 2) містить джерело електричного сигна-

лу (генератор) 1, власне сенсор 2, чутливий до водню, підсилювач 3, пристрій, який реєструє 4. В якості пристрою для реєстрації може використовуватися цифровий індикатор концентрації водню.

Сенсор працює у такий спосіб. Електричний сигнал, що надходить від генератора 1 (рис. 2) перетворюється вхідним ЗШП 2 у ПАХ, що поширюється звукопроводом включно через подвійний шар чутливих матеріалів і досягає вихідного ЗШП 5, де ця ПАХ перетворюється вихідним ЗШП 5 у електричний сигнал, що підсилюється підсилювачем 3 до рівня, необхідного для подальшої обробки і реєстрації пристроєм 4. У випадку наявності водню в області чутливих до нього шарів матеріалів, умови поширення ПАХ змінюються, що призводить до зміни параметрів сигналу — амплітуди, частоти і фази. Вибраний для контролю параметр реєструється пристроєм 4. При цьому величина зміни сигналу визначається зміною концентрації водню.

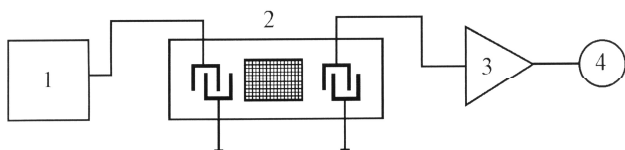


Рис. 2. Структурна схема сенсора водню

Зміна умов поширення ПАХ відбувається внаслідок зміни механічного навантаження на робочу поверхню елемента на ПАХ і акустичного імпедансу шарів ТЕГДМ і СКН-27, через які проходить ПАХ, тому що проникаючий у шари водень призводить до зміни їх щільності і пружності. При цьому основну роль у зміні імпедансу відіграє шар СКН-27, що має найбільш високе (з числа полімерів) значення розчинності водню (коефіцієнт розчинності при 25 °С становить  $\sigma = 0,27$ ). Істотне підвищення вибіркової датчика забезпечується подвійною селективністю: спочатку водень фільтрується верхнім шаром ТЕГДМ, який відіграє роль молекулярного сита, що має один з найбільш високих серед відомих полімерів коефіцієнтів проникності водню, рівний 47 оди-

ницям відносно проникності азоту, а потім ще раз фільтрується, розчиняючись у вибіркового до нього СКН-27 (для порівняння — той же азот має приблизно на порядок гіршу розчинність —  $\sigma = 0,032$ ).

Сенсор виготовлено методами тонкоплівкової технології з використанням звукопроводу з п'єзокварцу ST-зрізу з робочою частотою 100 МГц.

Проведені порівняльні дослідження розробленого нами сенсора і сенсора [3].

У суміш газів водню  $H_2$  і повітря складом 78 %  $N_2$  та 20 % кисню  $O_2$ , змінювали концентрацію водню у межах від 0 до 500 ppm порціями 5, 10, 20, 50, 100, 250, 500 ppm, що заміряли розробленим мікроелектронним сенсором водню і виготовленим [37]. При цьому прилад, що реєструє, підключений до прототипу перестав реагувати на водень при його кількості в газовій суміші рівній 20 ppm, підключений до нашого сенсора реєстрував водень при його кількості в газовій суміші — 5 ppm.

## Висновок

Розроблений сенсор з чутливим покриттям з молекулярним ситом на робочій поверхні елемента на ПАХ має суттєво кращі основні характеристики вибіркової і чутливості. Шляхом підбору і комбінації матеріалів для шаруватих структур на поверхні елемента на ПАХ можна створювати сенсори чутливі до різних аналітів.

## Література

1. Монов В. Н., Симонов Л. А., Захаров А. А. Адсорбционный датчик. Патент Российской Федерации № 2084882. Опубл. 20.07.1997.
2. Бутурлин А. И., Дидкевич А. Я., Заикин В. А., Чахунашвили Г. Б. Проводниковые датчики состава газа. Электронная промышленность. 1988, Вып. 10 (178), С. 40.
3. Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41, № 3, pp. 300–301.
4. Лепіх Я. І., Сминтина В. А. Сенсор водню // Патент України № 49429 від 26.04.2010. Опубл. Бюл. № 8 від 26.04.2010.