

МІКРОЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С. В., Дружинін А.О.,

Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В. Г., Романов В.О.

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

E-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Інтелектуальні системи належать до нових науково-технічних досягнень, які мають перспективу застосування практично у всіх галузях людської діяльності та спроможні кардинально змінити організацію і структуру різних видів виробництва, тестування біологічно- і хімічно-активних речовин, аналіз і контроль в системах охорони здоров'я та моніторингу довкілля. Однак ефективна робота інтелектуальних систем можлива лише за умови забезпечення їх високоякісною первинною інформацією. Це вимагає створення принципово нових мікроелектронних датчиків на основі нових функціональних матеріалів з застосуванням нових підходів до використання фізичних, хімічних, біохімічних і біофізичних ефектів, застосування сенсорних масивів та високочутливих, точних і стабільних вимірювальних каналів, широкого використання інформаційних мереж та впровадження високих технологій для реалізації цих засобів.

Датчики нового покоління, повністю інтегровані в інтелектуальні системи, повинні забезпечити вищезначені вимоги за метрологічними і експлуатаційними характеристиками в режимі on-line, а також мікромініатюризацію з одночасним підвищенням надійності.

В даній доповіді представлені результати комплексних досліджень і розробок колективу авторів за значний період часу, направлених на створення мікроелектронних датчиків нового покоління різних типів і призначення, інтегрованих в інтелектуальні системи і організації їх виробництва.

Проведено теоретичний аналіз і моделювання ряду фізичних ефектів, електрохімічних і фізичних процесів, які були покладені в основу створених мікроелектронних датчиків нового покоління різних типів.

Результати роботи базуються значною мірою на вивченні властивостей широкої номенклатури нових функціональних матеріалів і структур, в тому числі нанорозмірних.

Вперше на основі електрофізичних та п'єзорезистивних досліджень полікремнієвих шарів на діелектричних підкладках (КНІ-структури) створені п'єзорезистивні датчики механічних величин (тиску, зусилля, деформації) з граничними характеристиками і стабільними в інтервалі температур – 40...+ 140 °С, з високою чутливістю до вимірюваного параметру. Показано, що для таких датчиків придатні структури на основі полікремнію з концентрацією $N > 1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ після лазерної рекристалізації.

На базі КНІ-структур створено:

– датчик для аеродинамічних досліджень, чутливість – $4 \div 10 \text{ мВ}/(\text{В} \cdot \text{бар})$;

– датчик медико-біологічного призначення, чутливість $\approx 10 \text{ мВ}/(\text{В} \cdot \text{бар})$.

Датчики тиску на основі ємнісного ефекту мають чутливість $\approx 3 \cdot 10^{-2} \text{ пФ}/\text{мм Hg}$ для діапазону вимірюваних тисків 0...300 мм Hg, що значно вище, ніж у аналогів.

Виготовлено базові чутливі елементи датчиків зусилля з чутливістю 3,1 мВ/(В·Н).

Створено мікроелектронні двофункційні датчики тиску-температури для різних діапазонів тиску (0 ... $1,6 \times 10^5 \text{ Па}$; 0 ... $2,4 \times 10^5 \text{ Па}$) і температури (–40 ... +60 °С; 20 ... +150 °С). Чутливість датчиків до тиску 5–15 мВ/(В·бар), а температурний коефіцієнт опору термочутливого елемента становить 0,386 %·град⁻¹.

Ряд результатів досліджень мають пріоритетний характер. До таких, зокрема, належить ідея використання кутової залежності фазової швидкості ПАХ Релея в кристалічних п'єзоелектриках, а також безконтактного збудження і детектування ПАХ. Показано, що реалізація цієї ідеї дозволяє суттєво збільшити керованість характеристиками акустоелектронних пристроїв на ПАХ, зокрема, керованість частотою в 5–6 разів більше,

ніж іншими відомими методами. Розробка цієї ідеї зробила її базовою для створення нового класу датчиків фізичних величин.

Розроблений на цьому принципі уніфікований перетворювач на ПАХ для датчиків різного функціонального призначення дозволяє не тільки кардинально підвищити показники основних метрологічних параметрів, але і отримувати дані контрольованих параметрів у режимі on-line і, таким чином, розв'язати проблему спрощеного спраження датчиків з ЕОМ та інтелектуалізації їх в цілому.

Таким чином, створено датчик тиску для АЕС з діапазоном 98–2450 кПа, основною похибкою 0,5 %, споживаною потужністю не більше 300 мВт, пожежо-вибухобезпечний, з високою стабільністю, що забезпечується використанням п'єзокварцу SiO_2 ST-зрізу з нульовим значенням ТКЧ.

Вперше запропоновано і розвинено теоретичні засади напряду ближньопольової сенсорики на основі резонансних вимірювальних перетворювачів (РВП) апертурного типу. Розроблено методи і датчики для неруйнівного безелектродного контролю напівпровідникових матеріалів і структур при виробництві інтегральних схем. Створено датчики надвисокої частоти (НВЧ) для потреб технології мікроелектроніки, біофізики і біотехнологій, вологометрії сипучих матеріалів, включаючи сільгосппродукти, гігрометрії технологічних газових середовищ тощо.

Створено мікроелектронні датчики водневомістких газів в інтегральному виконанні. Типовий датчик виготовляється за планарною технологією на кремнієвих підкладках і являє собою невелику інтегральну схему (ІС) з двох метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) транзисторів, з'єднаних у мостовій схемі, один з яких містить газочутливий каталітично-активний паладієвий електрод, а другий має електрод з титану.

Розроблено лабораторні прототипи електрохімічних систем із заданими характеристиками для проведення експресного аналізу концентрацій важливих метаболітів людини (глюкози, сечовини, креатиніну, холіну, ацетилхоліну), деяких білків і пептидів, формальдегіду, метанолу, етанолу та ряду токсичних речовин (глікоалкалоїдів, пестицидів, гіпохлориту, ціанідів, іонів важких металів). Частина з них було апробовано в аналізах реальних зразків (сироватка крові, розчини пестицидів та продуктів їхньої деградації), що продемонструвало високий рівень кореляції з загальноприйнятими методами.

Створено портативну інтелектуальну систему Флоратест, яка містить набір виносних оптичних датчиків і портативний базовий блок з вбудованим мікрокомп'ютером для обробки, відображення і передачі даних як по дротовому, так і бездротовому інтерфейсу.

Інтелектуальні сенсорні системи, що включають електронний вимірювальний канал, являють собою послідовність функціональних ланок (вимірювальних перетворювачів), які зв'язують чутливий елемент мікроелектронного датчика з засобами інтелектуальної обробки отриманої інформації (комп'ютером). В розроблених приладах чутливий елемент, як правило, є невід'ємною частиною однієї з цих ланок.

Загалом розроблено біля 40 датчиків і 15 інтелектуальних систем з їх використання. На даний час впроваджено у виробництво і випускається в серійному і одиничному виробництві біля 30 типів датчиків і систем.

Основні науково-технічні результати роботи опубліковано у 9 монографіях, більш як у 400 публікаціях у наукових виданнях, в тому числі міжнародних, що містяться у базі SCOPUS -174 з сумарним імпакт-фактором 201,209, загальний ідентифікатор SJR=14,071, індекс цитування становить 1841,16. Новизна та конкурентоспроможність технічних рішень захищені понад 70 авторськими свідоцтвами і патентами України та міжнародними патентами.

Прилади неодноразово демонструвалися на міжнародних (CeBIT 2003, CeBIT2007, CeBIT 2008, Ганновер-Мессе - 1997, 1998, 1999, 2010 (Німеччина), Ехро-2000, Ехро-2003) та національних (Барвіста Україна 2008, Барвіста Україна 2009, та інші) виставках.