

УДК 537.219+535.36,+535.37+ 536:621.315.59

Я.І. ЛЕПІХ¹, А.А. ЄВТУХ², В.О. РОМАНОВ³

¹ Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОНмолодьспорт і НАН України при Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

² Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України

просп. Науки, 41, Київ, 03028, Україна

³ Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України

просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03680, Україна

СУЧАСНІ МІКРОЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розв'язано комплексну проблему створення мікроелектронних датчиків нового покоління на основі нових принципів, функціональних матеріалів і структур для забезпечення інтелектуальних систем первинним сигналом високої якості в режимі on-line та інтеграції їх в інтелектуальні системи широкого народногосподарського призначення.

Ключові слова: мікроелектронні датчики, сенсори, інтелектуальні системи.

ВСТУП

Інтелектуальні системи належать до нових науково-технічних досягнень, які мають перспективу застосування практично в усіх галузях людської діяльності та спроможні кардинально змінити організацію і структуру різних видів виробництва, тестування біологічно та хімічно активних речовин, аналіз і контроль у системах охорони здоров'я та моніторингу довкілля. З кожним роком зростає роль інтелектуальних систем як складника інформаційно-комунікаційних технологій, що зумовлює якісні зміни не лише у сферах економіки чи політики, а й у суспільстві загалом. Інформаційні ресурси набувають стратегічного значення для національних інтересів і безпеки держави.

Однак ефективна робота інтелектуальних систем можлива лише за умови забезпечення їх високоякісною первинною інформа-

цією. Це потребує створення принципово нових мікроелектронних датчиків на основі сучасних функціональних матеріалів з використанням новітніх фізичних, хімічних, біохімічних і біофізичних ефектів, застосування сенсорних масивів та високочутливих, точних і стабільних вимірювальних каналів, широкого впровадження інформаційних мереж і високих технологій для реалізації цих засобів.

Мікроелектронні датчики є основними елементами інформаційно-вимірювальних інтелектуальних систем будь-якого призначення і визначають, крім метрологічних і експлуатаційних, також економічні характеристики. Це зумовило інтенсивний розвиток науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у цій галузі провідними світовими фірмами й університетами. Проблема загострилася через те, що за метрологічними характеристиками вимоги до датчиків наблизились до граничних значень. При цьому в багатьох випадках висувають-

ся підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик, таких як радіаційна стійкість, пожежо- і вибухобезпечність, розширений діапазон робочих температур, довготривала стабільність характеристик та надійність.

Слід зазначити, що кардинальні засади у створенні датчиків нового покоління — інтелектуальних датчиків — пов'язані з використанням нових принципів їх побудови і сучасних функціональних матеріалів, у тому числі наноструктурованих.

Водночас розвиток мікроелектроніки і перспективної наноелектроніки, методів автоматизованого конструювання, а також значно збільшені сучасні можливості мікропроцесорної техніки та особливості її використання у високоефективних інформаційних (інтелектуальних) системах потребують реалізації нових підходів до створення датчиків. Датчики нового покоління, повністю інтегровані в інтелектуальні системи, мають забезпечити виконання вищезначених вимог у режимі on-line, а також відповідати принципам мікромініатюризації з одночасним підвищенням надійності систем.

Інтелектуальні сенсорні системи, до яких входить електронний вимірювальний канал, є послідовністю функціональних ланок (вимірювальні перетворювачі), які зв'язують чутливий елемент мікроелектронного датчика із засобами інтелектуального оброблення отриманої інформації (комп'ютер). Датчик може бути конструктивно відокремлений від наступних вимірювальних перетворювачів або може включати вторинний аналоговий і аналого-цифровий вимірювальні перетворювачі, а також мікроконтролер, що керує процесом вимірювань і виконує підготовку даних для інтелектуального оброблення. Отже, в сучасних інтелектуальних системах мікроелектронний датчик, як джерело первинної інформації, є невід'ємною і ключовою ланкою інтегрованого комплексу апаратних та програмних засобів.

Останнім часом основну увагу приділяють перетворювачам, для виготовлення

яких застосовують сучасні досягнення мікроелектронної технології. Інтерес до використання таких перетворювачів, зокрема біосенсорів, зумовлений високою чутливістю й селективністю, відсутністю потреби в технологічно складному електроді порівняння, здатністю до мініатюризації та високого рівня інтеграції, можливості створення мультисенсорів і розміщення на одному кристалі перетворювача разом зі схемою оброблення інформації; а головне — низькою собівартістю в масовому виробництві. При цьому навіть одноразове використання таких датчиків є економічно вигідним, значною мірою розширюється сфера застосування біосенсорів, зокрема в польових умовах, і можна очікувати значний економічний ефект від подальшого їх впровадження у практику.

Очевидно, що розв'язання такої проблеми потребує комплексного підходу, що полягає у використанні нових функціональних матеріалів, структур, ідей, конкурентоспроможних методів і принципів побудови датчиків, а отже, фундаментальних міждисциплінарних досліджень, новітніх методів і технологій виробництва.

Нами вирішено комплекс завдань, що стосуються досліджень, розроблення й організації виробництва мікроелектронних датчиків нового покоління різних типів і призначення, інтегрованих в інтелектуальні системи.

Для цього:

- вивчено й використано ряд нових датчиків фізичних, хімічних, біофізичних ефектів у процесі створення нових класів мікроелектронних датчиків нового покоління;
- розв'язано низку проблем забезпечення інтелектуальних систем якісною первинною інформацією за допомогою створених датчиків та їх широкого застосування в різних галузях народного господарства, спеціальної техніки, медицини тощо;
- розроблено підходи до вирішення проблем інтеграції датчиків із засобами обчислювальної техніки, побудови мультисенсорних вимірювальних приладів і забезпечення

високих метрологічних та експлуатаційних параметрів і надійності інтелектуальних систем.

На жаль, у межах статті неможливо детально розглянути всі нові функціональні матеріали й фізичні явища та ефекти, покладені в основу створення мікроелектронних датчиків різного призначення. Наведено лише деякі основні приклади нових функціональних, у тому числі наноструктурованих, матеріалів і датчиків, розроблених для інтелектуальних систем.

НОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ДАТЧИКІВ

Одним із шляхів кардинального поліпшення головних характеристик датчиків є застосування нових функціональних матеріалів. Розглянемо основні з них, які було використано для створення мікроелектронних датчиків нового покоління.

Новими матеріалами для *напівпровідникових датчиків механічних і теплових величин* є:

- ниткоподібні кристали Si, Ge, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$;
- наноструктурні Si, SiGe;
- мікроструктури «кремній на ізоляторі» (КНІ).

Для оцінювання можливості створення п'єзорезистивних датчиків механічних величин для широкого інтервалу температур на основі ниткоподібних кристалів Si проведено дослідження тензометричних характеристик кристалів. Кристали для досліджень добирали так, щоб концентрація домішки (бору) відповідала як діелектричному, так і металевому боку переходу метал–діелектрик (ПМД). За розробленою методикою експериментально визначали температурні залежності опору ниткоподібних кристалів Si за різних деформацій балки, за якими обчислювали залежності відносної зміни опору кристалів від деформації балки за фіксованих температур (4,2; 77; 300 К) і температурні залежності коефіцієнта тензочутливості. Для кристалів Si:B3 ($N_a = 5,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), закріплених на інварній балці, в температурному інтервалі 77–300 К спостерігався класичний п'єзоопір, а за гелієвих температур тензо-

метричні характеристики вже суттєво різняться за своїм виглядом. Особливістю цих характеристик є стрімке зростання опору таких кристалів як при деформації розтягу, так і при деформації стиску.

Під час створення *напівпровідникових газових датчиків* було отримано й досліджено такі нові функціональні матеріали:

- нанопористий кремній;
- нанопористий кремній, модифікований частковим окисненням;
- сплав Pd+Cu;
- нанокompозитні каталітично активні електроди Pd+WO₃;
- мезопористий композит «пористий кремній + Cu».

Основними особливостями нанопористого кремнію є: 1) унікальна комбінація кристалічної структури і великої внутрішньої поверхні (200–500 м²/см³), що посилює адсорбційні ефекти; 2) дуже висока активність поверхневих хімічних реакцій, значна зміна поверхні в результаті різних видів обробки; 3) гнучкість для використання нових ефектів у квантово обмежених структурах (збільшена ширина забороненої зони, модуляція оптичних властивостей, фотолюмінесценція); 4) можливість модифікації морфології завдяки заданим розмірам пор (пор) від нано- до мікрометрового діапазону; 5) простота і дешевизна технології, сумісної із загальноприйнятою кремнієвою КМОН-технологією; 6) можливості створення композитних металевих затворів із варіацією газової проникності.

Розроблено технологію вирощування пористого кремнію методом електрохімічного травлення для метал–діелектрик–напівпровідникових (МДН) газових сенсорів, яка дозволяє отримати пористий кремній із наперед заданими параметрами, придатними для застосування в газових датчиках для виявлення певних газів або сумішей газів.

Введення металів або оксидів металів у пори пористих матеріалів істотно змінює їхні фізичні та хімічні властивості, в результаті чого формується новий матеріал, так званий мезопористий композит. Оскільки в

пористих твердих тілах пори відкриті для повітря, у таких мезопористих композитах відбувається взаємодія як між стінками пор і частинками, так і між вільною поверхнею частинок у порах та навколишнім газовим середовищем. Наноструктуровані мезопористі матеріали є перспективними для розроблення каталітичних систем. Селективне осадження каталітично активних металів у порах значно збільшує площу поверхні, покритої каталізатором, що зумовлює підвищення чутливості газових датчиків. Як свідчать результати експериментів, модифікація міддю шару пористого кремнію (PS(Cu)) методом електрохімічного осадження надає йому селективності до сірководню, дає можливість стабілізувати електрофізичні характеристики структур і виготовляти датчики без застосування дорогих каталітично активних паладієвих електродів. Зміну вольт-амперної характеристики (ВАХ) діодної Шоткі-структури Al-PS(Cu)-Si під впливом сірководню концентрацією 25 ppm в атмосфері азоту показано на рис. 1. Під дією сірководню спостерігається зменшення сили струму як у прямому, так і у зворотному напрямках порівняно з впливом на структуру повітря чи азоту.

Серед матеріалів для акустoeлектронних датчиків на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) було досліджено:

- монокристалічні п'єзодіелектрики різних кристалографічних зрізів (SiO_2 , LiIO_3 , LiNbO_3 , $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ та ін.), а також полікристалічні — п'єзокераміка різних систем, зокрема цирконат-титанат свинцю (Murata, Японія);

- шаруваті структури п'єзоелектрик — напівпровідник, п'єзоелектрик — плівка Ленгмюра–Блоджетт;

- комплексні сполуки германію з багатосировними органічними кислотами тощо, які є особливо важливим і перспективним новим функціональним матеріалом для таких датчиків.

Досліджено електрофізичні, плівкоутворювальні за методом Ленгмюра–Блоджетт та адсорбційні властивості цих матеріалів.

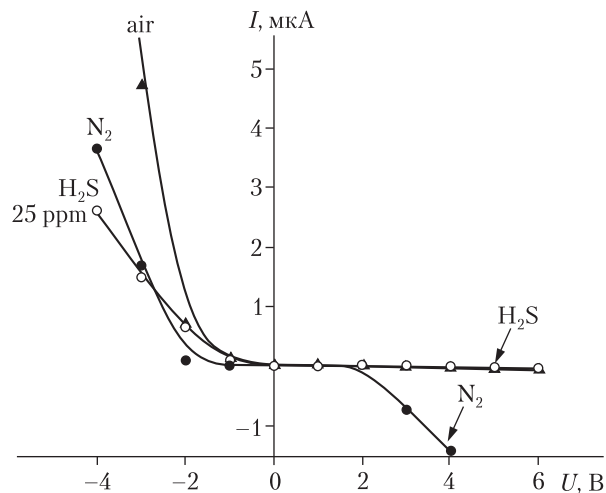


Рис. 1. ВАХ структур Al-PS(Cu)-Si під дією різних газових середовищ

НОВІ ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА БІОФІЗИЧНІ ЕФЕКТИ

В основу розроблення сучасних мікроелектронних датчиків для інтелектуальних систем покладено низку нових фізичних, хімічних та біофізичних ефектів.

Ефекти, використані в напівпровідникових датчиках механічних і теплових величин:

- різні типи активаційних залежностей $\sigma(T)$ для електропровідності ниткоподібних кристалів Si;

- зменшення енергії активації E_3 у разі деформації кристалів зі слабким і проміжним рівнями легування;

- зростання енергії активації E_2 зі збільшенням рівня деформації;

- стрибкоподібний механізм провідності за температури рідкого гелію і нижчої, до 1,7 К, у мікрочасталах кремнію з концентрацією домішки, що відповідає діелектричному боку переходу метал-діелектрик;

- гігантське зростання коефіцієнта тензочутливості, $GF_{4,2K} \approx -5,7 \cdot 10^5$, за гелієвих температур у мікрочасталах Si, легованих бором до концентрації $N_a \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, яка відповідає близькості до ПМД з діелектричного боку;

- значне зменшення температурної залежності опору полікремнієвих резисторів після лазерної рекристалізації шарів полі-

кремнію для проміжного рівня легування бором, $N_a < 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$;

- зміна знака і значне збільшення від'ємного температурного коефіцієнта опору після лазерної рекристалізації.

Ефекти, використані в напівпровідникових датчиках газів:

- фізико-хімічні процеси у структурах з нанопористим кремнієм при адсорбції газів;
- особливості росту плівки оксиду на пористому кремнії;
- процеси «старіння» газових сенсорів у результаті окиснення металу;
- зростання каталітичної активності наноматеріалів;
- висока каталітична активність мезопористих композитів.

Коротко розглянемо фізико-хімічні процеси в МДН-структурах із нанопористим кремнієм при адсорбції газів. Встановлено механізм відгуку на водень МДН-структур на основі пористого кремнію з Pd і композитним Cu_xPd сітчастими електродами в газі H_2 /повітря за кімнатної температури. Кисень і водень займають ті самі центри на поверхні Pd. Однак у разі чистої поверхні Pd адсорбований водень взаємодіє з адсорбованим киснем, унаслідок чого утворюються молекули води, що з часом десорбуються з металевої поверхні. Інша картина спостерігається для Cu_xPd -електродів. Мідь має вищу хімічну спорідненість до кисню порівняно з Pd. Тому кисень адсорбується переважно на центрах на поверхні Cu, а водень — на Pd. Атоми водню здатні переходити з паладію на поверхню міді (явище спіловеру) і збиратися на межі поділу діелектрик–метал. Адсорбція кисню на електродах Cu_xPd дає сигнал відгуку протилежного знака щодо адсорбції водню на чистих паладієвих електродах.

Ефекти, використані в акустoeлектронних датчиках на ПАХ:

- кутова залежність фазової швидкості ПАХ у монокристалічних п'єзоелектриках;
- механізм безконтактного збудження і детектування ПАХ у п'єзоелектриках (рис. 2);

- оптоакустичний ефект для керування параметрами акустооптоелектронного пристрою;

- фізичні ефекти в шаруватій структурі напівпровідник — фоточутливий п'єзоелектрик;
- фізико-хімічні ефекти в датчиках газів на ПАХ із сорбційною плівкою Ленгмюра–Блоджетт.

Вплив анізотропії на поширення ПАХ навів на думку про застосування цього ефекту для керування характеристиками акустoeлектронних пристроїв, а також для створення датчиків фізичних величин різного призначення. Для використання кутової залежності швидкості поширення ПАХ у монокристалах застосовано метод безконтактного збудження і детектування ПАХ у п'єзокристалічному акустопроводі.

Базова конструкція датчика на ПАХ із сорбційною плівкою Ленгмюра–Блоджетт складається із п'єзоелектричного акустопроводу і двох (вхідного й вихідного) зустрічно-штирових перетворювачів ПАХ, між якими на робочій поверхні акустопроводу розміщена мономолекулярна плівка із сорбційного матеріалу із заданими рецепторними властивостями. Принцип роботи такого датчика полягає в тому, що взаємодія плівки з компонентами газового середовища через зміну масового навантаження чи пружних констант впливає на умови поширення ПАХ, а отже, і на параметри вихідного сигналу — ПАХ-відгуку.

Фізичні ефекти в НВЧ-датчиках:

- ближньопольова взаємодія чутливого елемента з об'єктом для побудови первинних вимірювальних перетворювачів на основі резонаторів;
- підвищення чутливості, точності й локальності багатопараметрового контролю напівпровідникових матеріалів у разі використання резонансних первинних перетворювачів (РПП) із коаксіальною вимірювальною апертурою;
- принцип відновлення значення резонансної частоти РПП після внесення в його поле проби шляхом переміщення її в апертурі РПП;

- принцип безелектродного вимірювання та контролю рухливості носіїв у напівпровідниках через відношення сигналів фотодіелектричного ефекту і фотопровідності;

- ідеї, алгоритми та методики підвищення роздільної здатності в мікрохвильовій сканувальній мікроскопії.

Суть ефекту підвищення чутливості, точності й локальності багатопараметрового контролю напівпровідникових матеріалів у разі використання РПП із коаксіальною вимірювальною апертурою полягає в тому, що мікрохвильові датчики на основі таких РПП розробляти передусім для підвищення локальності багатопараметрового контролю напівпровідникових матеріалів. Надалі вони виявилися також ефективними для побудови НВЧ-волономірів з малим об'ємом проб. Особливо актуальним стало їх використання в сканувальній мікрохвильовій мікроскопії. Вперше детально розроблено теорію цих датчиків, що уможливило їх оптимальне проектування різної спрямованості. Дослідження показали, що датчики такого типу за певних співвідношень у геометрії апертурно утворювальної частини дають змогу одночасно підвищувати чутливість і локальність контролю. Така їх особливість пов'язана зі значенням нормальної до зразка складової НВЧ електричного поля в апертурі в утворенні сигналів вимірювальної інформації $\Delta Q/Q$ та $\Delta f/f$.

Ефекти в біодатчиках і системах:

- виявлено і встановлено фундаментальні закономірності процесів формування біомолекулярних шарів і шляхів оптимального поєднання біоселективного матеріалу з поверхнями фізичних перетворювачів;

- розроблено різні принципи реєстрації сигналу в електрохімічних біосенсорах;

- проведено оптимізацію робочих характеристик лабораторних прототипів електрохімічних біосенсорів;

- розроблено науково-технологічні засади створення біосенсорів на основі рН-чутливих польових транзисторів.

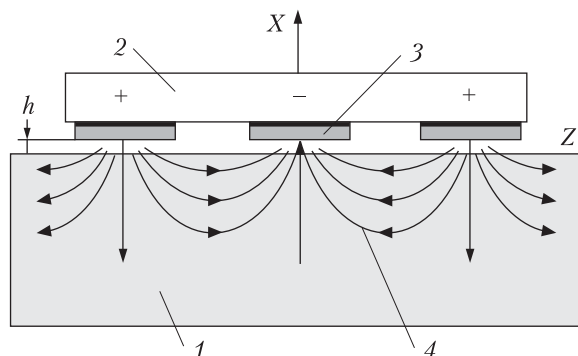


Рис. 2. Геометрія ПАХ безконтактного збудження: 1 – п'єзоелектричний напівпростір; 2 – діелектрична пластина; 3 – електроди зустрічно-штирового перетворювача; 4 – силові лінії електромагнітного поля

Запропоновано різні методи іммобілізації біологічно активних компонентів, а саме: інкапсуляції, співполімеризації, електростатичного зв'язування, ковалентного зв'язування, гідрофобної взаємодії, включення в полімер, включення в ліпосоми та наносоми.

Урахування нових ефектів в інтелектуальних системах з мікроелектронними датчиками:

- здійснено аналіз узагальненої схеми компенсаційно-мостового кола, у дві гілки якого включено відповідно активний S1 і пасивний S2 елементи диференційного кондуктометричного перетворювача;

- створено амперометричні перетворювачі для використання в сенсорних системах;

- розроблено науково-технологічні засади створення біосенсорів на основі кондуктометричних перетворювачів;

- з'ясовано фізичні процеси, що визначають чутливість мостової схеми до зміни провідності досліджуваного розчину.

Проведено всебічний теоретичний аналіз фізико-хімічних процесів у кондуктометричних комірках. Обрано найкращий дизайн, оптимальні матеріали і геометрію для кондуктометричних перетворювачів. Визначено оптимальні умови їх подальшого використання в сенсорах.

ПРИКЛАДИ СТВОРЕНИХ
НОВИХ КЛАСІВ ДАТЧИКІВ

1. Датчики фізичних величин

1.1. Датчики на основі ниткоподібних кристалів кремнію. До них належать датчики для вимірювання пульсацій тиску (рис. 3) з такими основними параметрами:

- діапазон тисків – $0-5 \cdot 10^4$ Па;
- діапазон пульсацій тиску – $0-500$ Гц.

1.2. Датчики на основі полікремнієвих шарів у КНІ-структурах. Це мікроелект-

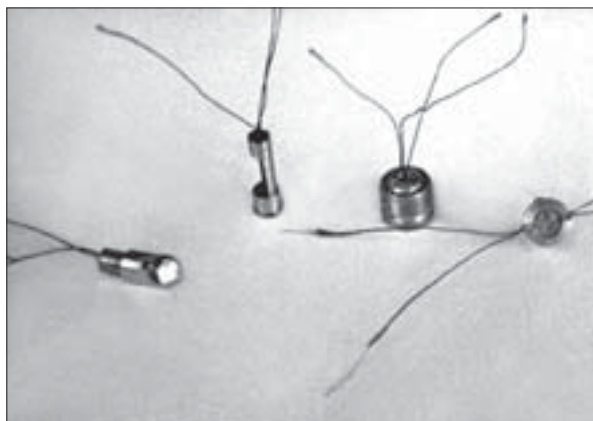


Рис. 3. Датчики для вимірювання пульсацій тиску: зліва направо – два датчики для дослідження локальних течій газу по тракту компресора газотурбінного двигуна; датчик тиску для двигунів внутрішнього згоряння; датчик тиску за профілем лопатки компресора



Рис. 4. Датчик кута повороту

ронні датчики на основі КНІ-структур: *датчики тиску-температури; ємнісні датчики тиску; н'єзорезистивні датчики зусилля.*

1.3. Датчики на поверхневих акустичних хвилях. Прикладом є датчик генераторного типу з пристроєм на ПАХ, призначений для вимірювання кута повороту (рис. 4). Основні технічні характеристики:

- максимальний вимірюваний кут – 60° ;
- похибка вимірювання кута – не більш як $2'$;
- діапазон робочих частот вихідного сигналу – $15,6-16,6$ МГц.

1.4. НВЧ-датчики. Призначені для вимірювання фотопровідності, часу життя та швидкості поверхневої рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в напівпровідникових зливках, пластинах, плівках на підкладках. Діапазон вимірювання:

- часу життя носіїв – $10^{-8}-1$ с із похибкою не більш як $\pm 2\%$;
- швидкості поверхневої рекомбінації – 10^2-10^4 см/с із похибкою не більш як $\pm 5\%$.

2. Датчики газів

2.1. Датчики на основі МДН-структур. Основними галузями застосування *датчиків газів H_2 , H_2S* є реєстрація витоків в атмосферу водневмісних газів за кімнатної температури й нормального атмосферного тиску та вимірювання низьких концентрацій водню і H_2S за кімнатної температури в повітрі або газових сумішах інертних газів за атмосферного та низького тиску ($10-380$ мм рт.ст.). Основні характеристики датчиків:

- діапазон концентрацій – $1-1000$ ppm;
- точність визначення – $\pm 5\%$;
- чутливість – $1-2$ ppm;
- час відгуку – $8-10$ с;
- час відновлення – $3-5$ с.

2.2. Датчики на поверхневих акустичних хвилях. Датчик аміаку побудовано на основі акустoeлектронного елемента на ПАХ із чутливим шаром комплексної сполуки – комплексонату германію, сформованого методом Ленгмюра–Блоджетт. Його основні технічні характеристики:

- чутливість – $0,02$ об. %;

- швидкодія — 5 с;
- час регенерації без підігріву — 30 с.

2.3. НВЧ-датчики. Датчики для вологості гігрометрії призначені для вимірювання вологовмісту в сипких і пористих середовищах та гігрометрії технологічних газів. Основні параметри і переваги таких датчиків:

- відсутність потреби в калібруванні;
- знешкодження заважаючих факторів;
- висока експресність.

3. Біодатчики і мультисенсорні системи

3.1. Біодатчики. Біохімічний реактор з мікроелектронним датчиком теплового потоку (рис. 5). Чутливими елементами є два термометри опору ($R_0 = 4 \text{ кОм}$); матеріал — Ni, Pt з 4-провідним під'єднанням; об'єм проби — до 0,2 мл. Диференційний мікроелектронний датчик електропровідності розчинів із зустрічно-гребінчастою топологією: крок гребінки — 40 мкм, ширина зубців — 20 мкм; матеріал електродів — Ni, Pt, Au.

3.2. Мультисенсорна система для визначення основних метаболітів крові. Диференційні рН-ПТ-електроди, змонтовані на спеціальних платах з розніжними виводами. Основні технічні характеристики системи:

- число каналів — 4;
- рН-чутливість — 40–45 мВ/рН;
- час однократного вимірювання — 0,1 с;
- час, потрібний для біохімічного аналізу, — 15–20 хв;
- робочий об'єм кювети — 1–2 мл.

4. Інтелектуальні системи

4.1. Портативна інтелектуальна система «Флоратест» для експрес-діагностики стану рослин (рис. 6). Основні галузі та переваги використання:

- експресне оцінювання життєдіяльності рослин після посухи, морозу, щеплення, внесення пестицидів тощо;
- експресне визначення оптимальних доз хімічних добрив та біологічних добавок, що дає змогу оптимізувати кількість добрив і добавок та зменшити вміст нітратів у овочах;
- експресне визначення забруднення води, ґрунтів і повітря пестицидами, важкими металами та промисловими викидами;

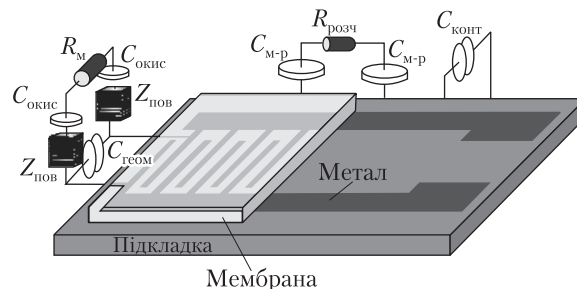


Рис. 5. Схематичне зображення кондуктометричного біодатчика



Рис. 6. Портативний флуориметр «Флоратест» для експрес-діагностики стану рослин

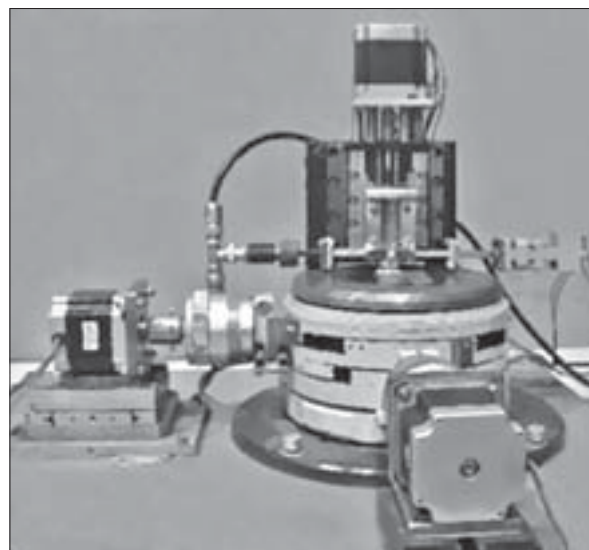


Рис. 7. Сканувальний мікрохвильовий мікроскоп

- економія енергетичних і водних ресурсів у разі штучного поливу;
- створення технології прецизійного землеробства;
- у разі страхового землеробства прилад дає змогу отримати прогностичні результати щодо майбутнього врожаю;
- автоматизація досліджень у галузі фізіології рослин.

4.2. Сканувальний мікрохвильовий мікроскоп із мікрохвильовим датчиком резонаторного типу (рис. 7). Призначений для багатопараметрової локальної діагностики функціональних шарів у плівковій та напівпровідниковій електроніці; контролю неоднорідності розподілу поверхневого опору або розподілу електрично активної домішки, часу життя та рухливості носіїв, фоточутливості по поверхні об'єкта тощо.

ВИСНОВКИ

1. Розв'язано важливу комплексну науково-технічну проблему — створення нових класів мікроелектронних датчиків нового покоління для високоефективних інтелектуальних систем і самих систем з інтегрованими в них датчиками широкого народногосподарського призначення, у тому числі в інтересах безпеки держави.

2. Вперше виявлено, вивчено і використано низку нових механізмів впливу фізичних, хімічних та біологічних чинників на чутливі елементи датчиків, що дало можливість цілеспрямованого формування мікро- і наноструктурованих функціональних матеріалів та структур на їх основі; застосування нових принципів і науково-технічних підходів у створенні мікроелектронних датчиків нового покоління з високими основними характеристиками — чутливістю, селективністю, стабільністю і довговічністю; досягнення кардинального поліпшення якості первинного сигналу для інтелектуальних систем.

3. Створено уніфіковані, високочутливі й селективні вимірювальні канали для перетворення, аналогового і цифрового оброблення сигналів, які зв'язують чутливий елемент мікроелектронного датчика із засо-

бами інтелектуального оброблення отриманої інформації (комп'ютер).

4. Реалізовано прогресивні технології формування чутливих елементів для перетворення на електричний сигнал у режимі on-line визначуваних величин з подальшим їх обробленням інтелектуальними системами.

5. Розроблені технології є основою для вітчизняного конкурентоспроможного виробництва високоефективних мікроелектронних датчиків для інтелектуальних систем широкого використання, що дає змогу виключити імпорт високовартісних аналогів.

6. Розроблено наукову базу з використання оптичних, акустоелектронних, напівпровідникових, електромеханічних, біохімічних, біофізичних, хімічних явищ і ефектів, створено понад чотири десятки типів датчиків нового покоління для інтелектуальних систем і самих систем з інтегрованими в них датчиками. Організовано їх серійне виробництво, орієнтоване на ресурси України, і впровадження в різні галузі промисловості, медицини, сільського господарства, охорони навколишнього середовища, науки та оборони України.

Публікацію підготовлено на основі матеріалів комплексної роботи «Мікроелектронні датчики нового покоління для інтелектуальних систем» (автори: Я.І. Лепіх, Ю.О. Гордієнко, С.В. Дзядевич, А.О. Дружинін, А.А. Євтух, С.В. Ленков, В.Г. Мельник, В.О. Проценко, В.О. Романов), удостоєної Державної премії України в галузі науки і техніки за 2011 р.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В. та ін. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем / за ред. Я.І. Лепіха. — Одеса: Астропринт, 2010. — 296 с.
2. Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В. та ін. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління / за ред. Я.І. Лепіха, В.О. Романова. — Одеса: Астропринт, 2011. — 352 с.

Стаття надійшла 25.10.2012 р.

Я.И. Лепих¹, А.А. Евтух², В.А. Романов³

¹ Межведомственный научно-учебный физико-технический центр МОНмолодежьспорт и НАН Украины при Одесском национальном университете им. И.И. Мечникова ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

² Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева

Национальной академии наук Украины просп. Науки, 41, Киев, 03028, Украина

³ Институт кибернетики им. В.М. Глушкова Национальной академии наук Украины просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03680, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Решена комплексная проблема создания микроэлектронных датчиков нового поколения на основе новых принципов, функциональных материалов и структур для обеспечения интеллектуальных систем первичным сигналом высокого качества в режиме on-line и интеграции их в интеллектуальные системы широкого народнохозяйственного назначения.

Ключевые слова: микроэлектронные датчики, сенсоры, интеллектуальные системы.

Ya.I. Lepikh¹, A.A. Evtukh², V.A. Romanov³

¹ Mechnikov Odessa National University
2 Dvoryanska St., Odessa, 65082, Ukraine

² Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of National Academy of Sciences of Ukraine
41 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine

³ Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine
40 Glushkov Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

MODERN MICROELECTRONIC SENSORS FOR INTELLIGENT SYSTEMS

The problem of creation of the new generation integrated microelectronic sensors based on new principles, functional materials and structures has been solved. Sensors provide the intelligent systems with primary high-quality on-line signals and are integrated into intelligent systems of the broad economic purposes.

Keywords: microelectronic transducers, sensors, intelligent systems.