

СЕКЦІЯ 5
АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 532.6

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КРАЙОВОГО КУТА ЗМОЧУВАННЯ ГІДРОФОБНОГО ПОКРИТТЯ

Барна О. Б., Барна С. М.

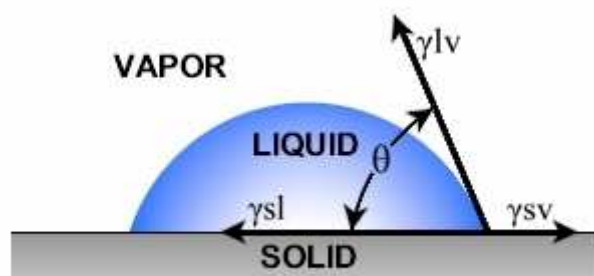
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна*

E-mail: olha.barna@nung.edu.ua, osbarna@gmail.com

Гідрофобне покриття – це загальний термін, який використовується для опису речовини, що наноситься на поверхню для відштовхування води. Гідрофобні молекули є неполярними. Оскільки молекули води полярні, то гідрофобні речовини погано розчиняються в них. Як приклад гідрофобної поверхні може бути поверхня рослини (рис. 1, а). Крайовий кут змочування (ККЗ) води (θ , рис. 1, б) на гідрофобних поверхнях є досить великим ($>90^\circ$).



а)



б)

Рис. 1. Зображення краплі води: а - на листку рослини; б - ілюстрація області трифазного контакту тверде тіло – рідина – повітря

На даний час широко використовуються різні водовідштовхувальні речовини для захисту скляних поверхонь від пилу, бруду, розчинених у воді солей. Наприклад, одним з поширених питань проблематики сервісного обслуговування і експлуатації сонячних батарей є те, як часто необхідно очищати поверхню від пилу та інших забруднень. Через забруднення поверхні сонячних батарей (пил, бруд, листя, пташиний послід) значно знижується потрапляння світла на фотоелементи, що призводить до зменшення генерації електроенергії. Розрахунки показують, що при рівномірному розподілі всього 4 кубічних сантиметрів пилу на одному квадратному метрі поверхні, ефективність сонячної батареї падає на 40%.

Також таке покриття широко використовується, наприклад, для нанесення на лобове скло автомобіля, що дає такі ефекти:

- скло з гідрофобним покриттям покращує видимість на 33% порівняно з необробленим склом, причому для усієї скляної поверхні, включаючи ті місця, до яких склоочисники не можуть дістатися;

- на швидкості, що перевищує 80 км/год, вода скочується з поверхні гідрофобного скла, не затримуючись, що покращує видимість, а також уповільнює зношення склоочисників.

- гідрофобне покриття поверхні скла полегшує видалення паморозі, комах, бруду та пилу, сприяючи легшому процесу очищення автомобільного скла.

При великій кількості різноманітних гідрофобних покриттів для скляних поверхонь, що є поширеними на даний час, виникає потреба у визначенні якісних властивостей цих покриттів.

Одним із найбільш інформативних параметрів, що відображають якість гідрофобного покриття, є його водовідштовхувальна здатність. Ця здатність характеризується, в свою чергу, крайовим кутом змочування водою гідрофобної поверхні скла.

Рівновага точки трифазного контакту твердої поверхні, рідини і газу описується відомим рівнянням Юнга [1-5]:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta, \quad (1)$$

де γ_{sv} - поверхнева енергія на межі контакту тверде тіло-повітря (solid-vapor); γ_{sl} - поверхнева енергія на межі контакту тверде тіло – рідина (solid-liquid); γ_{lv} - поверхнева енергія на межі розділу фаз рідина-повітря (liquid-vapor), фактично це поверхневий натяг рідини; θ - ККЗ (рис. 1, б).

Найпростішим і найпоширенішим методом вимірювання статичного ККЗ є метод лежачої краплі, у якому ККЗ вимірюється оптичним тензіометром (також відомий як гоніометр контактного кута або аналізатор форми краплі) [2]. При вимірюванні контактного кута цим методом краплю рідини (зазвичай води) розміщують на поверхню досліджуваного зразка, а зображення краплі роблять за допомогою камери з високою роздільною здатністю. Тоді кут контакту автоматично визначається програмним забезпеченням. Потім зображення підбираються за допомогою відповідного алгоритму, як правило, на основі рівняння Юнга, щоб визначити контактний кут між краплею та твердим тілом. Якщо ККЗ θ менший 90 градусів, то поверхня вважається гідрофільною, а якщо кут контакту перевищує 90 градусів, поверхня є гідрофобною. Розрахунок ККЗ за допомогою рівняння Юнга можливе за умови таких припущень щодо поверхні (оскільки даний метод застосовується для ідеальних поверхонь) [4]: поверхня є гладкою, твердою, хімічно однорідною, нерозчинною та не вступає в контакт з рідиною.

Оскільки на практиці часто порушується принаймні одне з цих припущень, вимірний ККЗ технічно є діапазоном стабільних контактних кутів, які існують на основі таких факторів, як хімічна однорідність, відсутність рельєфу і шорсткості поверхні. З метою охоплення всього діапазону кутів для поверхні зразка вимірюються динамічні ККЗ (натікання і відтікання). Різниця між

контактними кутами натікання та відтікання називається гістерезисом контактного кута.



Рис. 2. Ілюстрація методу лежачої краплі для дослідження ККЗ

Метод нахилу поверхні відноситься до методів вимірювання контактного кута натікання і відтікання. У цьому методі краплю розміщують на поверхні, після чого тверду основу разом з краплею нахиляють до моменту, поки крапля не почне рухатися (нахиляють на найбільший кут до моменту скочування краплі з поверхні). Контактний кут натікання вимірюється проти напрямку руху краплі, кут відтікання вимірюють за напрямом руху краплі (рис. 3). Метод також дозволяє визначити так званий кут скочування, який є кутом нахилу твердої поверхні, при якому крапля починає рухатися. Цей метод найбільш придатний для досліджування ККЗ супергідрофобних поверхонь.

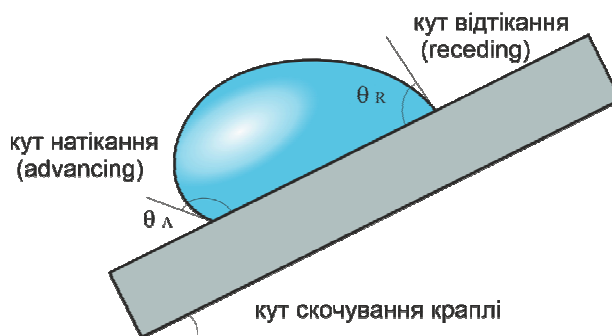


Рис. 3. Ілюстрація методу вимірювання контактного кута натікання і відтікання за допомогою нахиленої основи

При методі вимірювання контактного кута натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою виконують наступні операції. Голку, через яку подається рідина (вода), розміщують близько до твердої поверхні. Розмір краплі, як правило, води, поступово збільшується шляхом закачування в краплю більшої кількості рідини. Коли лінія контакту краплі з твердою поверхнею починає рухатися, вимірюється контактний кут натікання. Після цього розмір краплі поступово зменшують шляхом втягування рідини назад у дозатор. Коли контактна лінія починає відходити, вимірюється контактний кут відтікання (рис. 4). Даний метод підходить найбільше для дослідження змочування гідрофобних поверхонь.

Отже, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що з метою дослідження водовідштовхувальних властивостей покриття скляних поверхонь

найбільш повну інформацію можна отримати шляхом вимірювання ККЗ натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою.



Рис. 4. Метод вимірювання контактного кута натікання та відтікання за допомогою дозатора з голкою

Даний метод дозволяє отримати гістерезис ККЗ, що значно підвищує точність отриманих значень.

Ключові слова: водовідштовхувальна поверхня, гідрофобність, крайовий кут змочування, крапля.

Література

- [1] J. W. Drelich et al., “Contact angles: History of over 200 years of open questions”, *Surface Innovations*, 8 (1–2), p. 3-27, 2019.
- [2] Yuan, Yuehua, and T. Randall Lee. Contact angle and wetting properties. *Surface science techniques*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, p. 3-34. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1.
- [3] Marmur, Abraham. Thermodynamic aspects of contact angle hysteresis. *Advances in colloid and interface science*, 50, 1994, p. 121-141.
- [4] D. Y. Kwok, & A. W. Neumann, “Contact angle measurement and contact angle interpretation”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 81(3), pp. 167–249, 1999. [https://doi.org/10.1016/s0001-8686\(98\)00087-6](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(98)00087-6).
- [5] M. A. Tabar, A. D. Monfared, F. Shayegh, F. Barzegar, & M. H. Ghazanfari, “Super gas wet and gas wet rock surface: State of the art evaluation through contact angle analysis”, *Petroleum*, 9(1), pp. 1-7, 2023.

УДК 681.518.52

ДАТЧИК ПОЛУМ’Я ІЗ ЗАПОБІГАННЯМ ПОМИЛКОВОГО СПРАЦЮВАННЯ ВІД ЛАМП РОЗЖАРЕННЯ

Божко К. М., Ільченко А. А., Мушкет К. Я.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: bozhkonew@ukr.net, ilchenko.nastya79@gmail.com, k.mushcat@gmail.com

Використання в системах пожежної безпеки інфрачервоних датчиків полум’я (Рисунок 1) є популярним конструктивним рішенням, оскільки ці пристрої мають суттєві переваги перед своїми аналогами, а саме:

- бюджетний кошторис, що дозволяє створювати розподілені системи із масивами датчиків і охопленням великої площі спостереження;
- простоту налаштування чутливості і граничної відстані спрацювання;
- наявність аналогового і цифрового виходів, що дозволяє інтегрувати їх із мікроконтролерними засобами.

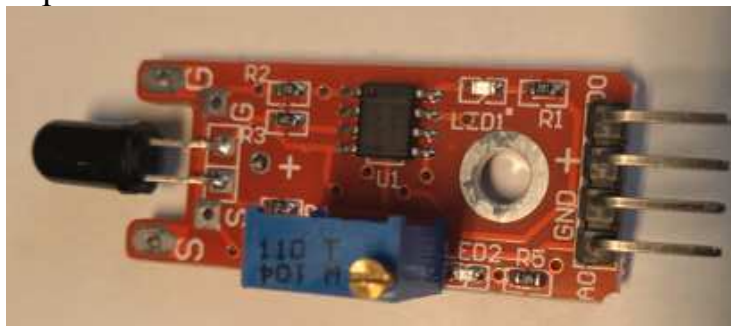


Рис. 1. Датчик полум'я типу KY- 026

Схему датчика полум'я наведено на Рисунку 2.

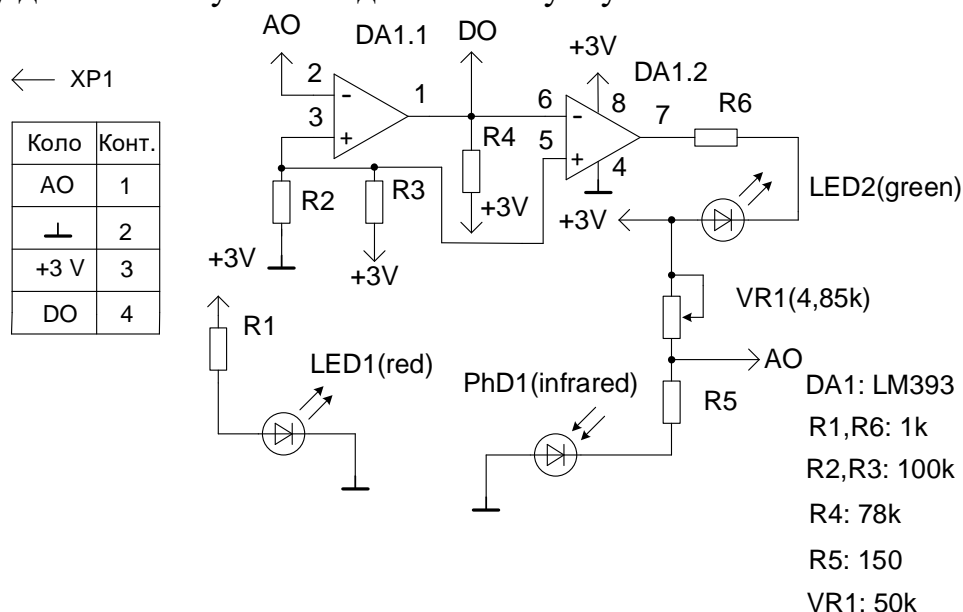


Рис. 2. Схема електрична принципова датчика полум'я типу KY- 026

Схема датчика побудована на інфрачервоному фотодіоді та компараторі LM393. Фотодіод включено у зворотному напрямі (фоторезистивному режимі). При освітленні діода інфрачервоними хвилями від джерела полум'я його опір зменшується. При цьому падіння напруги на нижньому плечі дільника напруги, який утворюють змінний резистор (тример) VR1 та резистор R5 разом із фотодіодом PhD1, зменшується до величини, яку задає дільник R2, R3. Одночасно з цим на виході 1 компаратора DA1.1 напруга збільшується від нуля до рівня логічної одиниці.

На другому компараторі, навпаки, напруга стрибком падає до нульового рівня, внаслідок чого починає світитись світлодіод LED2. Вихід DO – цифровий. Його призначення – сигнал пожежі для мікроконтролера (наприклад,

із сімейства Arduino). Схема датчика має також аналоговий вихід АО. Світлодіод LED1 вказує на включення живлення.

Датчик полум'я типу КУ- 026 має такі експлуатаційні параметри:

- хвильовий діапазон 760-1100 нм;
- кут виявлення 60 градусів;
- відстань виявлення 1м;
- напруга живлення 3-5 В;
- аналогова напруга при спрацюванні 0,2 В;
- розміри 36 x 16 мм.

В процесі дослідження датчика було встановлено, що він помилково спрацьовує від нагрітих електричних приладів, зокрема освітлювальних ламп розжарення. На фоні постійної складової сигналу АО була виявлена синусоїда із частотою 100 Гц, що свідчить про модуляцію світлового сигналу від лампи розжарення мережевою напругою 220 В, 50 Гц. Подвійна частота модуляції виникає внаслідок однакової потужності, яку споживає спіраль лампи в додатному і від'ємному півперіодах синусоїди. Осцилограму сигналу АО датчика при хибному спрацюванні від ламп розжарення наведено на Рисунку 3.



Рис. 3. Сигнал АО із модуляцією синусоїдою 100 Гц (канал 1 – жовтий)

Для запобігання помилкових спрацювань датчика полум'я від ламп розжарення та нагрівальних електричних приладів запропоновано вдосконалити датчик. Структурна схема вдосконаленого датчика наведена на Рисунку 4.

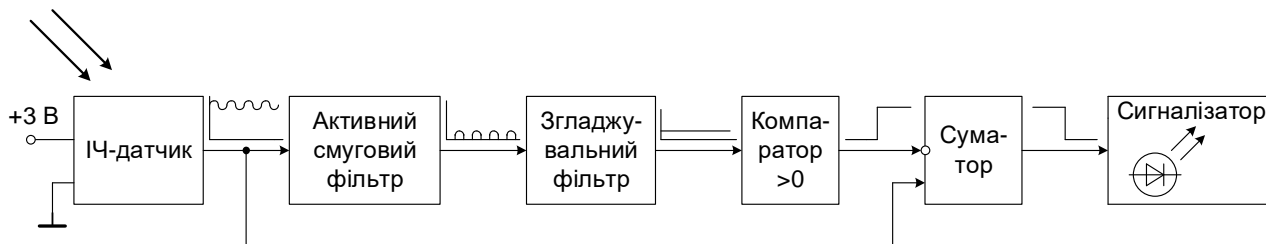


Рис. 4. Структурна схема вдосконаленого датчика полум'я

Принцип дії вдосконаленого датчика полягає в наступному. Сигнал від інфрачервоного фотодіода надходить до смугового активного фільтра із центральною частотою 100 Гц. За наявності в сигналі фотодіоду синусоїди 100 Гц, вона відокремлюється від сталої складової і підсилюється протифазно. Після цього пульсуючий однополярний сигнал на конденсаторі згладжувального фільтра перетворюється на сталу напругу. Після ланки компаратору сигнал набуває рівня логічної одиниці. На суматорі сигнали віднімають один від одного, при цьому сигнал від компаратора подають із від’ємним знаком. Після суматора вмикається коло сигналізатора із світлодіодом. В схемі використано операційний підсилювач LM 324. Каскади схеми були досліджені на лабораторному стенді (Рисунок 5).

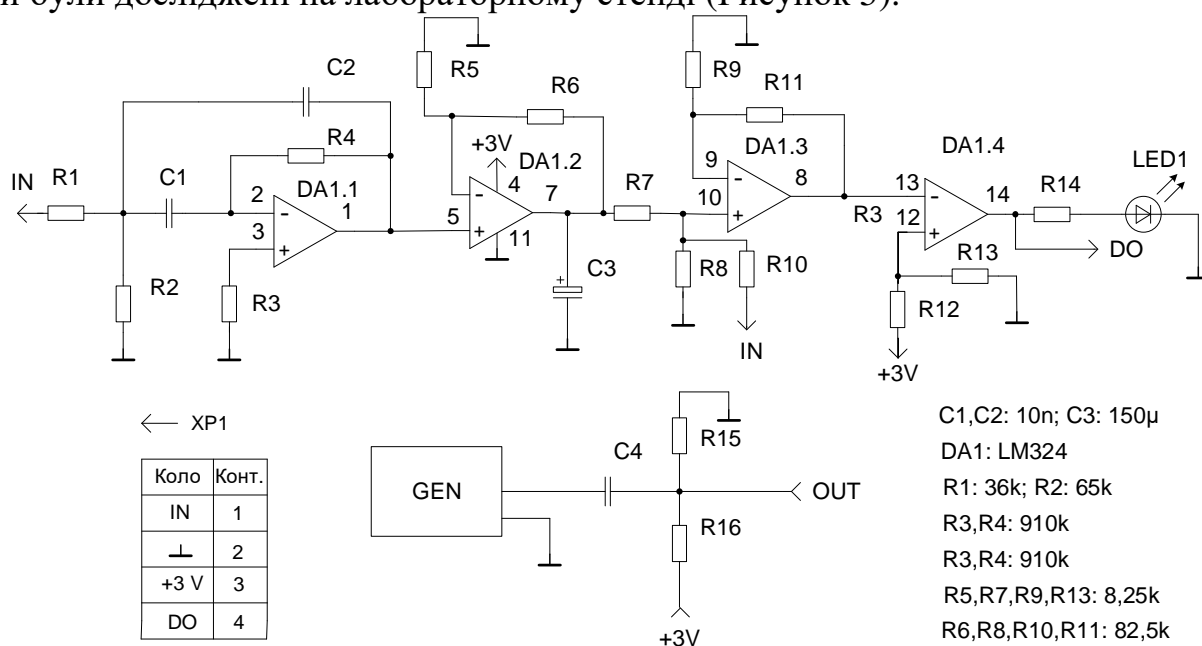


Рис. 5. Схема електрична принципова вдосконаленого датчика полум'я у складі стенду: GEN – генератор синусоїди 100 Гц; сигнал OUT з виходу змішувача C4, R15, R16 подають до входу IN схеми датчика

Противфазний сигнал до вхідної синусоїди після першого каскаду схеми – смугового активного фільтра – наведено на Рисунок 3 (канал 2 – бузковий).

Одночасно із налаштуванням схеми датчика на стенді було проведено моделювання його роботи в середовищі Multisim11. Результат моделювання наведено на Рисунок 6.

Модель датчика дозволила отримати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) смугового фільтра за допомогою Бодє-плоттера (Рисунок 7), що значно прискорило процес налаштування, зокрема уточнення номіналів компонентів фільтра.

Висновок: розробка вдосконаленої схеми датчика полум'я дозволяє уникнути появи помилкових пожежних сигналів і підвищити їх достовірність.

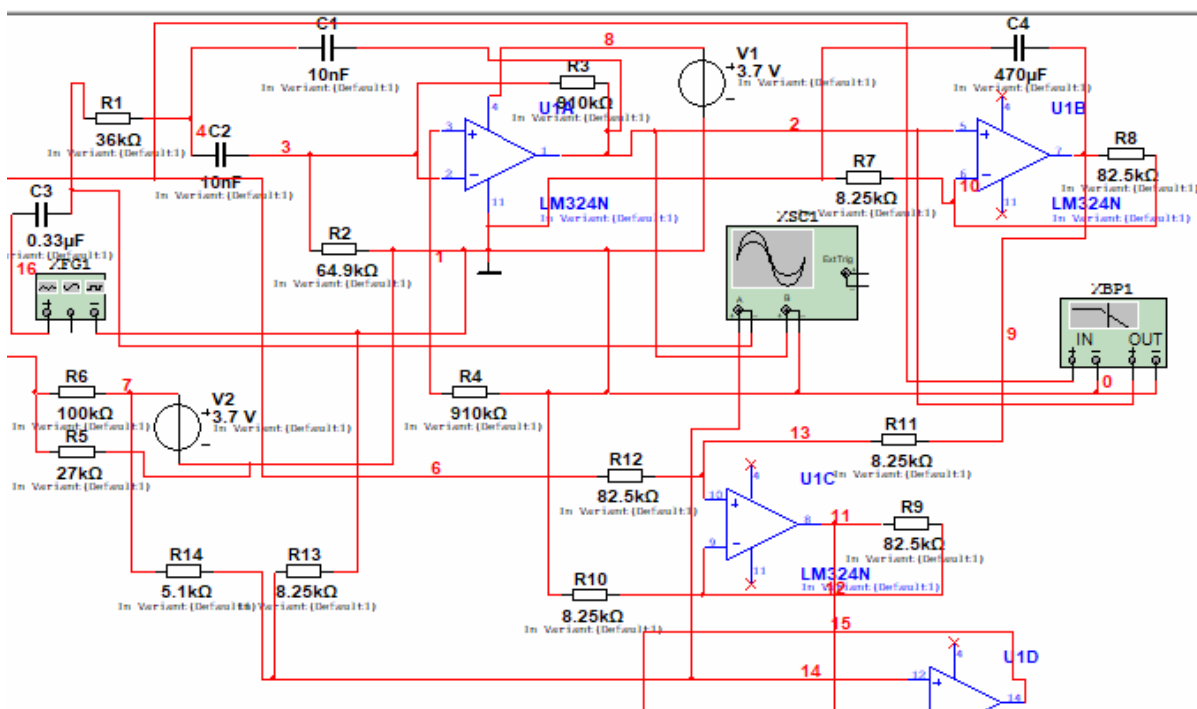


Рис. 6. Моделювання схеми вдосконаленого датчика в програмі Multisim 11

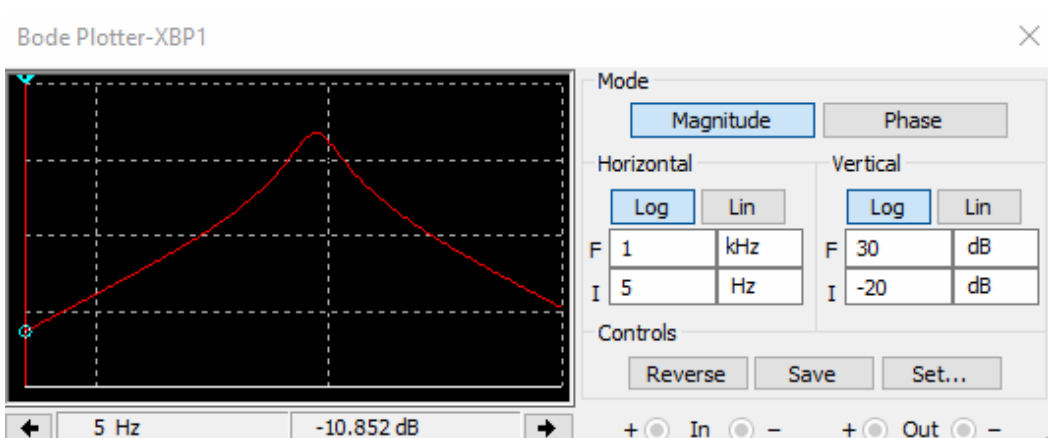


Рис. 7. Моделювання АЧХ смугового фільтра датчика полум'я

Ключові слова: датчик полум'я, амплітудно-частотна характеристика.

УДК 621.38

ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Воскресенський В. Б.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз

Служби безпеки України, Київ, Україна

E-mail: vova.komarova@gmail.com

Розвиток суспільства призвів до зростання випромінювання за рахунок появи штучних, створених людиною джерел електромагнітних полів, які

перевищують природні в кілька разів. Такими джерелами випромінювання є різне обладнання, яке широко використовується в промисловості, побуті, військовій області та сфері державної безпеки.

Це, наприклад: лінії високовольтних електропередач; різного типу ретранслятори, телевізійні станції та радіостанції; обладнання засобів зв'язку (як цивільне, так і військове); електричний транспорт та побутова техніка (телевізори, мікрохвильові печі, пральні машини); обладнання (промислове) для високочастотного нагрівання металів та сплавів; комп'ютери, ноутбуки; різні засоби вимірювальної техніки; радіолокатори (радары) різних типів; спеціалізоване військове та антитерористичне обладнання; радіозакладки різних модифікацій; та інше.

Електромагнітні поля оточують нас всюди і реальність доводить, що дійсно необхідно проводити моніторинг величин їх випромінювань і тримати рівень випромінювання під жорстким контролем. Перевищення гранично допустимих величин дуже небезпечно для здоров'я людини. Сила негативного впливу залежить від тривалості, режиму і характеру опромінення, частотного діапазону, площі поверхні тіла і індивідуальних особливостей [1].

У 1995 році Всесвітня Організація Охорони Здоров'я (ВООЗ) **офіційно запровадила термін “глобальне електромагнітне забруднення довкілля”**. ВООЗ включила проблему електромагнітного забруднення навколишнього середовища в перелік пріоритетних проблем людства. Рівень цього забруднення кожні десять років зростає в 10–15 разів.

В Україні діють ряд нормативних вітчизняних документів щодо нормування рівнів електромагнітних випромінювань та їх впливу на організм людини (Табл. 1).

Окрім того, необхідно звернути увагу на діяльність міжнародної комісії із захисту від неіонізуючих випромінювань (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) яка є некомерційною науковою організацією, що розташована у Німеччині.

За результатами тривалих досліджень було розроблено норми граничних рівнів неіонізуючих випромінювань. В останній редакції ці норми визначено у документі «Настанова щодо обмеження опроміненень для змінних у часі електричних, магнітних та електромагнітних полів (в діапазоні частот до 300 ГГц)» (*Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*) (далі – Настанова), яку було затверджено у 1998 році [2].

Наведені у Настанові вимоги щодо обмежень опроміненень для електромагнітних полів (ЕМП) покладені у основу відповідних міжнародних стандартів та директив Європарламенту (табл. 2).

Основною метою розроблення Настанови було визначення гранично допустимих рівнів змінного електромагнітного поля, які можуть негативно впливати на здоров'я людини. При цьому, під негативним впливом мається на

увазі наслідки дії випромінювання, які мають негативні прояви як на здоров'я окремої людини, так і її потомства.

Таблиця 1

№ п/п	Позначення	Назва	Вид нормативного документу
1	ДСанПіН 3.3.6.096-2002	Державні санітарні норми (СН) та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів	Державні санітарні норми і правила
2	ДСаНіП 239-96	Державні СН і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань	Державні санітарні норми і правила
3	№ 99 від 05.02.2014	Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів	Наказ Міністерства енергетики України
4	№ 1040 від 29.11.2013	Методика розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля	Наказ МОЗ України
5	№ 246 від 21.05.2007	Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій	Наказ МОЗ України
6	№ 2760 від 30.11.2020	Про затвердження Зміни до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань	Наказ МОЗ України

Особливо важливим в Настанові є визначення **густини потоку енергії електромагнітного випромінювання**, як єдиної фізичної величини для оцінки впливу ЕМП на здоров'я, яку можна легко виміряти зовні тіла людини. В Настанові визначено граничні рівні, які надають можливість адекватно оцінювати рівень захисту від змінного електромагнітного поля.

Густина потоку енергії – це потужність на одиницю площини перпендикулярно розташованої до напрямку поширення електромагнітної хвилі (ЕМХ). Звичайно вона виражена в одиницях Ватт на квадратний метр (Вт/м²).

Значення граничних рівнів випромінювань з урахуванням ЕМП на різних частотах, наведених у Настанові, представлено у таблиці 3.

Таким чином, згідно із зазначеною Настановою, *гранична допустима еквівалентна просторова густина потоку енергії для населення у смузі частот 2-300 ГГц дорівнює 10 Вт/м² або 1000 мкВт/см²* (1Вт = 1 000 000 мкВт, 1м² = 10 000 см², тому 10 Вт/м² = 10 000 000 мкВт ÷ 10 000 см² = 1000 мкВт/см²).

Отже, при проектуванні, будівництві та експлуатації різних цивільних об'єктів обов'язково необхідно враховувати вимоги до допустимих наявних рівнів електромагнітних випромінювань. Це дуже актуальне питання нашого сьогодення.

Таблиця 2

№ п/п	Позначення	Назва	Вид нормативного документу
1	Затверджено у 1998 році	Настанова щодо обмеження опроміненень для змінних у часі електричних, магнітних та електромагнітних полів (в діапазоні частот до 300 ГГц)» (<i>Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)</i>)	Настанова ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючих випромінювань)
2	№ 2004/40 від 29 квітня 2004 р.	Мінімальні вимоги щодо безпеки й охорони здоров'я працівників за наявності ризиків від дії фізичних факторів електромагнітних полів	Директива Європарламенту і Ради ЄС
3	IEC 62226-1 ed1.0 (2004-11) Частина 1, 2	Вплив ЕМП на людину та його нормативне обмеження	Стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (IEC)
4	IEC 62226-3-1 ed1.0 (2007-05) Частина 3 – 1	Вплив ЕМП на людину та його нормативне обмеження	Стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (IEC)

Таблиця 3

Смуга частот	Напруженість електричного поля, В/м	Еквівалентна просторова густина потоку енергії, Вт/м ²
10-400 МГц	28	2
400-2000 МГц	1,375f ^{1/2} (МГц)	f/200 1
2-300 ГГц	61	10

Примітка. f – позначення частоти в МГц

Ключові слова: електромагнітне поле, випромінювання, електромагнітне забруднення довкілля.

Література

- [1] В. Литвин, «Шкідливий чинник - невидимка», *Охорона праці*, (322), № 4, с. 48-51, 2021.
 [2] О. В. Бажинов, М. М. Кравцов, *Електромагнітна безпека транспортних засобів: монографія*. Харків, Україна, 2021.

УДК 544.7

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОШАРІВ ОКСИДУ ЦИНКУ В СЕНСОРИЦІ ТА МЕДИЧНИХ ІМПЛАНТАХ

¹Качур Н. В., ²Маслов Ю. В., ¹Федоренко А. В., ¹Маслов В. П., ³Дорожинська Г. В.
¹Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна
²Стоматологічна клініка «Віледа», Київ, Україна
³Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: ypmaslov@ukr.net

Оксид цинку – широко відомий напівпровідниковий матеріал [1]. Він має застосування в оптоелектроніці, польових транзисторах, сонячних елементах, фотолюмінесцентних пристроях, газових сенсорах тощо [2, 3]. В медицині оксид цинку використовують в кремах, присипках, зубній пасті та пломбах, що свідчить про його безпечність та біосумісність для людського організму. Цей матеріал екологічно безпечний, дешевий і міцний, а його властивості можна змінювати за допомогою легування [4]. Ще однією перевагою цього матеріалу є те, що його наночастиці можна наносити на поверхню за золь-гель технологією [5]. Це проста технологія, яка, на відміну від, наприклад, вакуумного нанесення чи осадження з газової фази, не потребує високовартісного обладнання та дозволяє достатньо точно контролювати наноструктуру поверхні. Мікроструктура поверхні залежить від ступеню концентрації ацетату цинку в розчині для нанесення плівки, а також режимів нанесення (швидкості обертання центрифуги при використанні метода центрифугування або швидкості занурення та витягання, якщо використовується метод вертикального занурення, температури відпалу). В залежності від температури відпалу можна синтезувати як аморфні, так і кристалічні наноплівки. Об'єм пор може варіювати від 0 до 65%, а їх розмір від 0,4 нм до 5 нм [5]. Такі особливості технології дозволяють контролювати властивості поверхні, зокрема, її гладкість та гідрофільність.

Одним з перспективних є напрямок застосування наноплівок оксиду цинку в сенсорах на основі поверхневого плазмонного резонансу для контролю рідких та газових середовищ, в тому числі у видимій та інфрачервоній ділянках оптичного випромінювання [6]. Поверхневі плазмон-поляритони - це електромагнітні збудження, що поширюються в тонкому шарі на межі розділу метал – діелектрик [7]. Явище поверхневого плазмонного резонансу (ППР) є чутливим до змін на цій межі. ППР-чутливий елемент складається з підкладки з оптичного скла на яку нанесений тонкий адгезивний шар хрому (5 нм) та чутливий шар золота товщиною 30-50 нм. В процесі експлуатації наночастиці золота зношуються і чутливий елемент потрібно замінювати. Це дуже важливо для виробничого ППР-контролю складу шлікерів з абразивними компонентами при виготовленні керамічних виробів цивільного та військового призначення. Тому актуальною є задача підвищення строку служби ППР-чутливого

елементу. Попередні дослідження показали [8], що використання наноплівки оксиду цинку товщиною 5-10 нм дозволяє підвищити термін експлуатації чутливого елемента за рахунок зменшення в порівнянні з золотом втричі коефіцієнта тертя та покращити показники плазмонного резонансу за рахунок релаксації золотої плівки чутливого елемента ППР при високотемпературному відпалі при 400-500 °С при золь-гель нанесенні наноплівки оксиду цинку.

Одним із перспективних застосувань наноплівок оксиду цинку в медицині є нанесення таких покриттів на зубні імпланти для підвищення їх приживлюваності в кістці щелепи пацієнта. Сучасні імпланти виготовляють з титанових сплавів. Їх приживлюваність складає 90-96% [9]. Причиною відторгнення імпланту є виділення домішок зі сплаву через взаємодію з кислотами і лугами, а також через вплив бактерій, які живуть в ротовій порожнині. Для зменшення цього впливу на титанові імпланти наносять спеціальні покриття, які підвищують приживлюваність та мають антибактеріальні властивості [10]. Одним з таких покриттів є оксид цинку, який є безпечним та бактерицидним. Дослідження [9] показали кращу приживлюваність імплантів, які характеризуються високою гідрофільністю. Оксид цинку як масивний матеріал є гідрофобним, але відомо, що в нанорозмірному стані матеріали можуть мати змінювати властивості, зокрема переходити з гідрофобності до гідрофільності. До того ж на змочуваність впливає мікроструктура поверхні, а саме розмір пор. Тому застосування золь-гель технології, яка дозволяє контролювати мікроструктуру поверхні, для нанесення нанозахисної плівки на титанові імпланти є перспективною.

Для дослідження впливу товщини наноплівки оксиду цинку на її гідрофільність на підкладинки з мікроскопного покривного скла (Volles) за золь-гель технологією були нанесені плівки оксиду цинку товщиною 5-20 нм. А саме 2,2 мг ацетату цинку розчиняли в 50 мл ізопропілового спирту та перемішували магнітною мішалкою при температурі 50–60°C протягом 30 хвилин. В якості стабілізатора додавали 0,6 мл моноетаноламідю. Зразки поміщали в центрифугу і піпетдозатором наносили на поверхню скла синтезований гель. Зразки висушувались при обертанні центрифуги з частотою 100 об/хв та одночасному потоці повітря з температурою 70°C, відпалювали в муфельній печі 30 хвилин за температури 150°C, а потім ще 1 годину за температури 500°C для утворення плівки оксиду цинку [11]. На приготовані зразки наносили краплі. Візуальна форма та розміри крапель на зразках фіксувалися на цифрову камеру в макро режимі. Знімався як вигляд зверху, після чого за допомогою програмного забезпечення створювалася маска, за допомогою якої встановлювалася площа краплі в пікселях. Так і вигляд збоку де вимірювалася за допомогою програмного забезпечення висота краплі та її радіус. Розміри в пікселях перераховувались в розміри в міліметрах відповідно до встановлених в тому ж положенні еталонів. З експериментів було визначено, що оптимальною товщиною покриття за показником гідрофільності є 5-10 нм.

Підсумовуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що золь-гель наноплівки оксиду цинку товщиною 5-10 нм є перспективними як захисне покриття для сенсорів на основі поверхневого плазмонного резонансу, що дозволяють суттєво збільшити термін експлуатації чутливого елемента, навіть при контролі абразивних суспензій. В медицині перспективним є застосування тонких плівок оксиду цинку в якості захисного покриття титанових зубних імплантів доцільно використовувати наноплівки оксиду цинку теж товщиною 5-10 нм.

Ключові слова: оксид цинку, золь-гель технологія, поверхневий плазмонний резонанс, зубний імплант.

Література

- [1] N. J. O’Neil, *The Merck index : an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*, 15th ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2013.
- [2] J. X. Wang *et al.*, “Zinc oxide nanocomb biosensor for glucose detection,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 88, no. 23, 2006.
- [3] D. K. Sharma, S. Shukla, K. K. Sharma, and V. Kumar, “A review on ZnO: Fundamental properties and applications,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 49.
- [4] A. Mahroug, S. Boudjadar, S. Hamrit, and L. Guerbous, “Structural, optical and photocurrent properties of undoped and Al-doped ZnO thin films deposited by sol-gel spin coating technique,” *Mater. Lett.*, vol. 134, 2014.
- [5] C. J. Brinker and G. W. Scherer, *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. 2013.
- [6] N. V. Kachur, “Prospects and trends in the development of devices and methods based on the phenomenon of surface plasmon resonance in the infrared range (REVIEW),” *Optoelektronika ta napivprovidnikova Teh.*, vol. 57, pp. 7–17, 2022.
- [7] S. A. Maier, *Plasmonics: Fundamentals and applications*. 2007.
- [8] A. V. Fedorenko, K. M. Bozhko, N. V. Kachur, A. V. Kosiakovskiy, and V. P. Maslov, “Optical and electrical properties of zinc oxide nanofilms deposited using the sol-gel method,” *Semicond. Physics, Quantum Electron. Optoelectron.*, vol. 27, no. 1, 2024.
- [9] Y. Zhang, K. Gulati, Z. Li, P. Di, and Y. Liu, “Dental implant nano-engineering: Advances, limitations and future directions,” *Nanomaterials*, vol. 11, no. 10. 2021.
- [10] J. Butler, R. D. Handy, M. Upton, and A. Besinis, “Review of Antimicrobial Nanocoatings in Medicine and Dentistry: Mechanisms of Action, Biocompatibility Performance, Safety, and Benefits Compared to Antibiotics,” *ACS Nano*, vol. 17, no. 8, pp. 7064–7092, 2023.
- [11] Н. В. Качур, А. В. Федоренко, В. П. Маслов, та. інш., «Технологія нанесення тонких плівок з ZnO для чутливих елементів сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу», на *XXII Міжнар. наук.-техн. конф. Приладобудування стан та перспективи*, Київ, 2023, с. 149–151

УДК 539.394

ВПЛИВ ДОДАТКОВОГО ШАРУ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ ТА ПЛАСТИКОВОЇ ПІДКЛАДКИ НА ЧУТЛИВІСТЬ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Романчук Владислав, Самойлов Антон, Дорожинський Гліб

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна
E-mail: vladyslav.v.romanchuk@gmail.com, samoylov_anton@ukr.net, gvdorozinsky@ukr.net*

При переході енергії від падаючої р-поляризованої світлової хвилі до колективних коливань плазми вільних електронів (плазмону) в тонкій металевій плівці, що розташована на межі між двома діелектриками з різним значенням показника заломлення (ПЗ), виникає фізичне явище - поверхневий плазмонний резонанс (ППР). Це явище вже третє десятиліття використовується для побудови високочутливих оптичних сенсорів та дослідження оптичних характеристик металевих і напівпровідникових наноструктур. Сенсори газоподібних середовищ на основі явища ППР переважно побудовані за оптичною схемою Кречмана та складаються з джерела монохроматичного поляризованого випромінювання (лазера), призми повного внутрішнього відбиття, фотоприймача та підкладки з нанесеною металевою плівкою (чутливого елемента), котра зі сторони металу безпосередньо контактує з досліджуванним середовищем, а зі сторони скла оптично з'єднана через імерсію з призмою. При зміні ПЗ досліджуваного середовища внаслідок протікання в ньому фізичних, хімічних чи біомолекулярних процесів змінюються умови збудження поверхневих плазмонів (резонансний кут чи резонансна довжина хвилі), які можна відслідковувати в реальному часі. Основними перевагами ППР-сенсорів є висока роздільна здатність по ПЗ ($10^{-5} \dots 10^{-7}$) і використання малої кількості речовини порядку мікролітрів без застосування маркерів [1].

Чутливі елементи є витратними матеріалами, оскільки нанометровий шар золота швидко забруднюється та стирається, особливо при дослідженні біологічних взаємодій. Тому доцільним є зниження собівартості чутливих елементів шляхом використанням пластику як матеріалу підкладки на заміну коштовному оптичному склу [2]. Відомо, що для збільшення чутливості ППР-сенсора необхідно використовувати матеріал підкладки з показником заломлення близьким до ПЗ досліджуваного середовища [3], а застосування додаткового шару діелектрика над металевою плівкою також підвищує чутливість газового ППР-сенсора [4] за рахунок збільшення площі взаємодії.

Оскільки аналіз літератури показав, що систематичних досліджень використання плазмонної структури діелектрик-метал-діелектрик не проводилось, метою нашої роботи було визначення доцільності застосування такої структури із зовнішнім шаром політетрафторетилену (ПТФЕ) для підвищення чутливості газового ППР-сенсора. Для цього було проведено чисельне моделювання характеристик відбиття при ППР за допомогою матриць

Джонса та формул Френеля [5] для довжини хвилі збудження плазмон-поляритонів 650 нм. У якості металевої плівки було обрано золото, як високо стабільний метал в високою концентрацією вільних електронів. В якості матеріалів підкладок було обрано діелектричні матеріали з різним показником заломлення, а саме: стиролакрилонітрил SAN, оптичне скло марки BK-7, кварц марки KU-2 та полідиметилсилоксан PDMS. Чутливість ППР-сенсора визначали як відношення зміни резонансного кута до зміни ПЗ досліджуваного середовища, яке зміну цього кута викликало. Величину зміни ПЗ було обрано 10^{-4} та 10^{-5} , що відповідає зміні ПЗ при заміщенні кімнатного повітря на такі тестові газоподібні речовини як гелій, азот та вуглекислий газ.

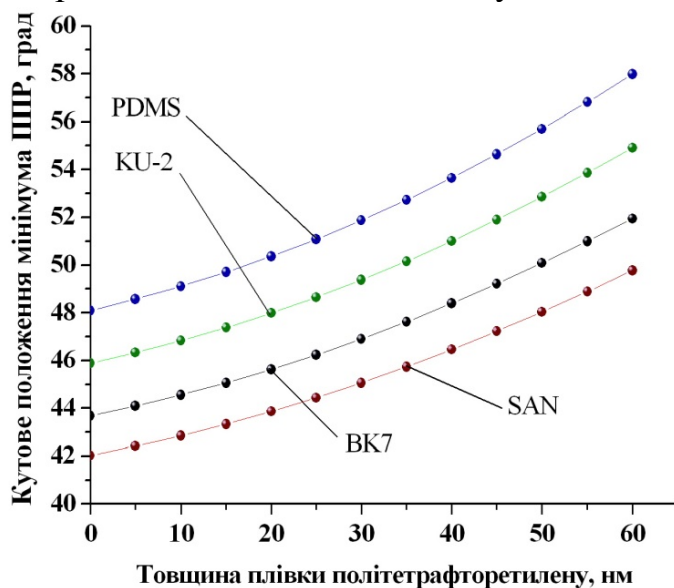


Рис. 1. Розраховані залежності положення резонансних кутів ППР від товщини додаткового шару ПТФЕ при використанні підкладок з різних матеріалів.

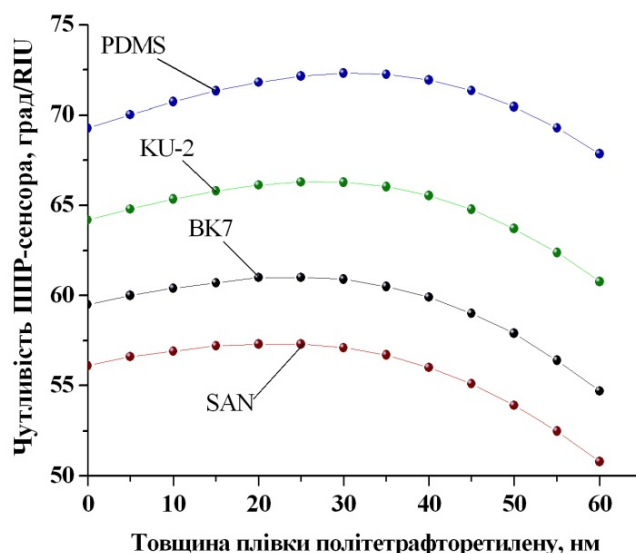


Рис. 2. Розраховані залежності чутливості ППР-сенсора від товщини додаткового шару ПТФЕ при використанні підкладок з різних матеріалів.

З розрахованих характеристик видно, що вплив додаткового шару ПТФЕ на положення резонансного кута та чутливість ППР-сенсора залежить від матеріалу підкладки. Зі збільшенням товщини додаткового шару ПТФЕ кути ППР зростають. З погляду збільшення чутливості сенсора, оптимальна товщина додаткового шару ПТФЕ становить від 20 нанометрів для SAN до 30 нанометрів для PDMS. Моделюванням показано, що чутливість газового сенсора залежить від товщини додаткового шару, але суттєво не залежить від концентрації досліджуваної речовини у середовищі. Підкладки з PDMS з додатковим шаром ПТФЕ оптимальної товщини збільшує чутливість газового сенсора на 22 % у порівнянні з золотою плівкою на підкладці зі скла ВК-7 та на 30 % порівняно з підкладкою з SAN.

Таким чином результати чисельного моделювання показали ефективність та доцільність застосування плазмонної структури діелектрик-метал-діелектрик для підвищення чутливості ППР-сенсорів газоподібних речовин.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, газовий сенсор, політетрафторетилен, чутливість, полімерна підкладка.

Література

- [1] Homola J., Yee S. and Gauglitz G., «Surface plasmon resonance sensors: review. Sensors and Actuators. B.», №54, с. 3 - 15, 1999.
- [2] С. О. Костюкевич, К. В. Костюкевич, Р. В. Христосенко, А. А. Коптюх, Н. Л. Москаленко, В. О. Лисюк, В. І. Погода, «Сенсор поверхневого плазмонного резонансу з чутливим елементом на полімерній основі», *Оптоелектроніка та напівпровідникова техніка*, №51, с. 143 - 149, 2016.
- [3] A. Shalabney and I. Abdulhalim., «Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors», *Laser Photonics Rev.*, №4, с.571 - 606, 2011.
- [4] Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, К. П. Гриценко, Ю. В. Коломзаров, П. М. Литвин, Т. П. Дорошенко, «Особливості застосування додаткового наночару політетрафторетилену у сенсорах на основі явища поверхневого плазмонного резонансу», *Оптоелектроніка та напівпровідникова техніка*, №54, с. 88 - 95, 2019.
- [5] R. M. A. Azzam, N. M. Bashara, «Ellipsometry and polarized light», North Holland Publishing Company, с. 83-98, 1977.

УДК 504.06, 621.38, 004.94

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ У ЗАВДАННЯХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Рудницький Р. Р., Защепкіна Н. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: romarudnytskiy@gmail.com, nanic1604@gmail.com

Вступ. На протязі останніх десятиліть, особливого прогресу досягли інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів. Такі системи здатні не тільки вимірювати вибрані показники оточуючого середовища та/або хід виробничого процесу, а й

проводити оцінку впливів контрольованого процесу, тобто здатні забезпечувати функцію прогнозування.

В останні роки у створенні прогностичних моделей у сфері екологічного моніторингу та контролю навколишнього середовища (*environmental control, EC*) досить широко використовуються системи штучного інтелекту (ШІ) та нейронні мережі (НМ) різної архітектури та наповнення. Це потребує наявності великих масивів агрегованих даних для моделювання та прогнозування.

Мета роботи. Відомо, що результат моделювання чи прогнозування, при роботі ІВС, залежить не тільки від вибраних методів та засобів обробки інформації, але й від властивостей вхідних даних що повинні відповідати певному набору критеріїв, - не повному, але достатньому для валідного результату відображення описуваної моделі або прогнозу реальному стану явища чи процесу що досліджується. Такими властивостями вхідної (вимірювальної інформації) для ІВС, як технічної системи обробки інформації, та для завдань формування її БД, можна вважати в першу чергу: точність, достовірність та повноту (за Глушковим В.М).

Але, вже в процесі обробки даних засобами ІВС, на перше місце виходять характеристики інформації (даних) що дозволяють її адекватну інтерпретацію кінцевим користувачем – людиною. Тому до критеріїв оцінки властивостей обробленої ІВС інформації додаються такі як: зрозумілість, об'єктивність, ергономічність, доступність, релевантність та ін.

Це дозволяє людині, як кінцевому користувачу технічної системи в повній мірі контролювати досліджуваний процес чи явище, зробити висновки, висунути, спростувати/підтвердити гіпотези про стан досліджуваного об'єкту в майбутньому, тобто - провести повноцінний описовий аналіз (*descriptive analysis, DA*) із застосуванням доступного для обробки набору факторів аналізу.

Результати дослідження. Розглянемо коротко можливі процеси агрегації даних (*data aggregation processes, DAP*) в БД ІВС та приклади їх використання.

Основні складові DAP при побудові БД включають: необроблені дані як джерело агрегації, агрегатну функцію, яка виконує обчислення на основі необроблених даних і агреговані дані як результат агрегації. Науковцями пропонується розглядати DAP як послідовність із трьох упорядкованих кроків, кожен з яких, можливо, включає серію дій щодо складових, а саме:

1. *Підготовка необроблених даних для DAP*, від джерела даних до системи агрегації, яка називається *агрегатором*. Цей крок може включати пошук, вилучення, транспортування та нормалізацію необроблених даних із передаванням даних за допомогою інформаційних каналів (ІК) в ІВС, тобто засобами технічної системи, та із використанням способів міжпрограмної взаємодії (*application programming interface, API*), якщо це необхідно.

2. *Агрегація необроблених даних*. Агрегатор застосовує функцію агрегування, яка перетворює необроблені дані в агреговані дані.

3. *Постобробка агрегованих даних* Агреговані дані можуть додатково оброблятися агрегатором, наприклад, зберігатися в постійному сховищі (зовнішній БД) або передаватися в інші інформаційні процеси [1].

Важливим є пошук «правильної» агрегатної функції, яка служить для цілей агрегації заданого набору необроблених даних. При цьому бажано зберегти таку архітектуру DAP щоб були враховані усі обмеження показників сутностей, особливо – пов’язані із часом (для технічних систем реального часу).

Для сталості часових характеристик процесів агрегації даних розробники рекомендують визначити властивості, пов’язані з часом, для складових DAP та функціональні залежності, які можуть впливати на ці властивості на високому рівні. Такі функції, починаючи від функціональних (наприклад, обмін даними) і закінчуючи екстрафункціональними (наприклад, суворість часових обмежень), відрізняються залежно від програм та API що використовуються [2].

Для ілюстрації розмежування часових та екстрафункціональних процесів можна навести розглянуту авторами [3] методику агрегації даних у запропонованій системі контролю навчального процесу на базі системи обліку даних користувачів CRM архітектури. Система використовує REST API (з англ. *REpresentational State Transfer*) протокол для збору даних та здатна працювати із заданим користувачем набором правил (*RESTful service*) для агрегації даних в СУБД та їх подальшої фільтрації. За принципом REST архітектури, система має бути розділена на серверну частину та клієнтську частину. Для кожної з частин вибираються свої технології направлені на виконання відповідних завдань.

Важливим є також вибір типу БД для завдань DAP (реляційна чи NoSQL). Вибір БД та СКБД буде залежати в першу чергу від набору властивостей сутностей та їх можливих взаємозв’язків. При значній кількості колекцій сутностей БД та відсутності наперед відомих закономірностей їх взаємодії більш доцільним є застосування NoSQL БД що використовують денормалізацію та гарно масштабуються. Для завдань екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів в реальному часі доцільним є застосування підходів описаних авторами [4] при побудові ІС системи агрегації даних (*Data Aggregation System, DAS*) із використанням NoSQL БД (рис. 1).

Архітектура представленої DAS розроблена як серія незалежних компонентів, які можуть масштабуватися незалежно один від одного, працюють на одному системному вузлі, мають кілька вузлів і дублюючих компонентів для завдань масштабування.

Веб-сервер обробляє сеанси користувача, незалежно від того, чи запити надходять з браузера чи автоматизованих сценаріїв (моделювання). Зроблені запити передаються на сервер кешу для обробки. Веб-сервер періодично опитує поточний статус і відображає його користувачеві за допомогою AJAX (асинхронний Javascript і XML), доки запит не буде виконано. Хеш MD5 вхідного запиту використовується для ідентифікації правильного результату.

Архітектура ІС дозволяє виведення результатів в машинозчитуваних форматах, а також представлення у форматі доступному для читання людиною.

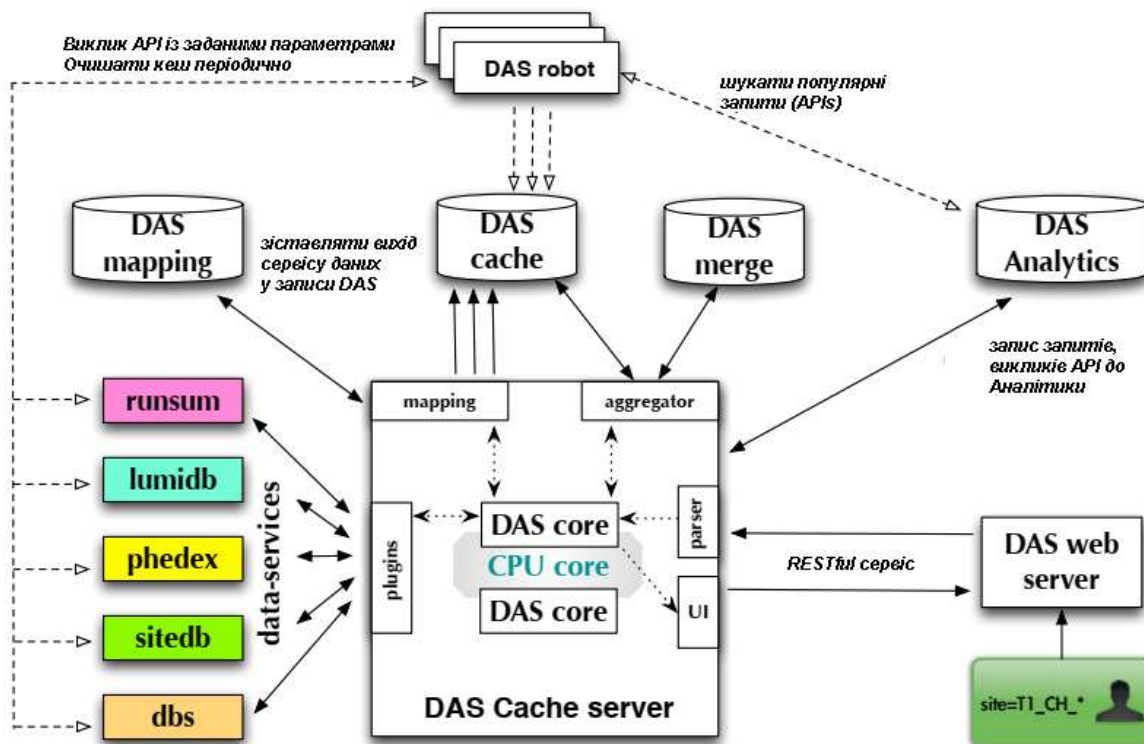


Рис. 1. Архітектура побудови DAS, що показує взаємозв'язки між веб-сервером, сервером кешу, аналітикою, службами даних і NoSQL БД (кеш і злиття) [4].

Наведена вище система агрегації даних (DAS), у випадку застосування в завданнях екологічному моніторингу та контролю виробничих процесів, отримує вхідні дані (вимірювальну інформацію) після проходження рівнів, що представлені програмними засобами для вирішення спеціалізованих завдань.

Найвищий рівень представлений програмними модулями прийняття рішень, що безпосередньо контролюють технологічні процеси або дозволяють проводити комплексну оцінку екологічного стану. Проміжний рівень ІВС включає програмні компоненти, що дозволяють проводити комплексний аналіз вимірюваних даних. Низовий рівень представлений програмними модулями обробки первинної вимірювальної інформації, що надходить із ВК окремих ланок. На низовому рівні ІВС застосовуються системи керування базами даних (СКБД) що містять агреговану первинну вимірювальну інформацію [5].

Висновки. Агрегація даних, в широкому розумінні, застосовується саме для завдань відображення відповідних властивостей інформації (даних) та взаємозв'язків між ними (кількісних та якісних) в досліджуваному масиві даних БД ІС та є основою для описового аналізу (DA) досліджуваного об'єкту, реальні характеристики якого відображає певна технічна система (ІВС).

Агрегація даних (*data aggregation*), у вузькому (прикладному) розумінні, є одним із важливих етапів технологічного процесу обробки інформації для забезпечення роботи ІС різного складу та призначення. Для повноцінного функціонування ІС необхідно наявність у її складі бази даних (БД) реляційного або нереляційного типу, що містить перелік сутностей (елементів БД) та опис взаємозв'язків між ними. При цьому виникає необхідність застосування системи керування БД (СКБД) різної архітектури та ступеню інтеграції із інформаційною системою.

Для побудови ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів доцільно застосування процесів агрегації даних (*DAP*) із розмежування часових та екстрафункціональних процесів для повноцінної роботи такої системи в режимі реального часу. Вибір типу БД ІВС залежить від вимог кінцевого користувача. Реляційні БД будуть мати в описаних вище умовах більшу швидкодію та напрацювання до появи помилок, в то же час NoSQL БД – будуть мати кращу масштабованість та ергономічність для завдань кінцевого користувача.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, ІВС, екологічний моніторинг, агрегація даних, Data Aggregation System, RESTful сервіс, реляційна БД, нереляційна БД.

Література

- [1] Cai, Simin & Gallina, Barbara & Nyström, Dag & Seceleanu, Cristina. (2019). Data aggregation processes: a survey, a taxonomy, and design guidelines. *Computing*. 101. 10.1007/s00607-018-0679-5.
- [2] Jesus P, Vaquero C, Almeida PS (2015) A survey of distributed data aggregation algorithms. *IEEE Commun. Surv. Tutor* 17(1):381-404.
- [3] Н. Защепкіна, Р. Рудницький, О. Наконечний, та О. Маркіна, (2021). «Застосування методів агрегації даних в інформаційній системі контролю навчального процесу», *Measuring and computing devices in technological processes*. 12-20. 10.31891/2219-9365-2021-68-2-2.
- [4] Ball, Gordon & Kuznetsov, Valentin & Evans, D. & Metson, S.. (2011). Data Aggregation System - a system for information retrieval on demand over relational and non-relational distributed data sources. *Journal of Physics: Conference Series*. 331. 10.1088/1742-6596/331/4/042029
- [5] Н. М. Защепкіна, В. Г. Здоренко, О. А. Наконечний, та Р. Р. Рудницький «Застосування програмного додатка для агрегації даних спектрометричних вимірювань», *Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф., 1-8 листоп. 2021 р., Нетанія (Ізраїль)*. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – С. 92-95.

УДК 544.7

УДОСКОНАЛЕНИЙ СЕНСОР ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ З ПОКРИТТЯМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ОКСИДУ ЦИНКУ І НАНОАЛМАЗІВ

¹⁾Дорожжінська Г. В., ²⁾Федоренко А. В., ²⁾Качур Н. В., ²⁾Маслов В. П.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

E-mail: ypmaslov@ukr.net

Відомо, що сенсорні прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) успішно використовуються для виявлення та вимірювання рідких та газоподібних середовищ. Під час їх роботи виникають проблеми, пов'язані зі зносом їх чутливих елементів. Це особливо спостерігається при дослідженні зразків з абразивними компонентами, такими як суспензії, що використовують при виготовленні керамічних виробів. В результаті виникає необхідність заміни чутливих елементів, що значно здорожує вимірювання. Щоб вирішити цю проблему було запропоновано нанесення наноплівки оксиду цинку за золь-гель технологією [1]. Дослідження підтвердили ефективність захисних властивостей плівок ZnO, товщиною 10 нм і з аморфною структурою та низькою шорсткістю поверхні, які забезпечували підвищення стійкості до механічного зношування більш ніж у 2 рази. Стійкість до руйнування плівки золота зросла приблизно в 27 разів, а сенсорні ППР властивості збереглися.

Ідеєю наступного кроку в дослідженнях цього напрямку було введення наноалмазів в золь-гель плівку ZnO для подальшого підвищення стійкості ППР сенсору до механічного зносу. Чисельне моделювання чутливості ППР сенсору з додатковим шаром ZnO з наноалмазами показало, що при розмірі наноалмазів 5-15 нм і товщині плівки ZnO 10 нм, чутливість сенсору не погіршується.

Експерименти з нанесенням такого композитного наночасу проводили наступним чином. На підкладки з оптичного скла Ф1 розмірами 1x20x20 мм вакуумним термічним випаровуванням на установці ВУП-5М зі швидкістю 5-6 нм/сек при залишковому тиску $(1-2) \times 10^{-5}$ Па наносили адгезійний шар хрому товщиною 5 нм на який наносили чутливий шар золота товщиною 50 нм. Товщину плівок контролювали в процесі нанесення приладом КИТ-1 [2].

Для синтезування оксиду цинку 2,2 мг ацетату цинку розчиняли в 50 мл ізопропілового спирту та перемішували магнітною мішалкою при температурі 50–60 °С протягом 30 хвилин. В якості стабілізатора додавали 0,6 мл моноетаноламід. Отриманий розчин витримували протягом 24 годин при кімнатній температурі. Після цього, зразки з нанесеними плівками хрому та золота, поміщали в центрифугу і піпетдозатором наносили на поверхню скла синтезований гель. Зразки відпалювали в муфельній печі 30 хвилин за температури 150 °С, а потім ще 1 годину за температури 500 °С для утворення плівки оксиду цинку [3].

1,35 г наноалмазів УДАВ-Хр (ТУ 0800-167-21-00) поміщали в 40 г етилового спирту та залишали на 2 доби для осідання великих фракцій алмазів. Верхній шар отриманого розчину наноалмазів змішували з гелем оксиду цинку у співвідношенні 50/50 %. Потім зразки з нанесеною плівкою оксиду цинку поміщали в центрифугу і наносили піпетдозатором отриманий розчин наноалмазів в золі оксиду цинку. Зразки висушували в муфельній печі при температурі 150 °С протягом 1 години та відпалювали при температурі 500°С ще 1 годину.

Чутливість сенсора визначали досліджуючи кімнатне повітря на ППР-приладі «Плазмон-6», розробленому в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України. Прилад «Плазмон-6» побудований на основі геометрії Кретчмана, яка складається з джерела збудження поверхневих плазмонів (лазер з довжиною хвилі 650 нм), призми повного внутрішнього відбиття, чутливого елемента та фотоприймача, на який потрапляє відбите від чутливого елемента світло. Прилад працює наступним чином: призма, що знаходиться на рухомій платформі, дискретно змінює своє положення в діапазоні кутів повного внутрішнього відбиття від межі поділу призма-метал відносно напрямку розповсюдження лазерного випромінювання. На призмі розташовано через імерсійну рідину змінний чутливий елемент. При резонансі частот фотонів джерела р-поляризованого монохроматичного світла і електронної плазми на зовнішній поверхні металу відбувається суттєве поглинання енергії фотонів. Проявом цього є зменшення інтенсивності відбитого світла при певному куті падіння світла, яке фіксується системою детектування, що відповідає певним характеристикам досліджуваних речовин або результату взаємодії їх компонентів. Аналіз кутового положення і форми резонансної кривої реєструється керуючою програмою, що дозволяє одержувати в реальному масштабі часу кінетичну криву, яка свідчить про процеси адсорбції та взаємодії молекул, присутніх у досліджуваній рідкій або газоподібній пробі. Результати вимірювань математично обробляються за спеціально розробленим алгоритмом. За рахунок механічної розгортки по куту падіння випромінювання на робочий елемент сенсор забезпечує діапазон по куту падіння – 17 кутових градусів.

Для оцінки захисних властивостей наноплівки ZnO від зносу та руйнування чутливого елемента ППР-сенсора застосована проста методика стирання поверхонь через механічний контакт [4]. Порівнювали кількість стирань поверхні плівки з шаром ZnO та без з результатами вимірювань оптичних, електричних та ППР-характеристик. Спектри оптичного пропускання зразків вимірювалися на спектрофотометрі Marada Instruments UV 1600.

Результати вимірювань підтвердили, що додатковий шар ZnO захищає плазмоносійну плівку від механічного впливу. Пропоноване введення наноалмазів до покриття оксиду цинку суттєво підвищить стійкість до механічного тертя при незмінній чутливості сенсора.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, оксид цинку, золь-гель технологія, наноалмази.

Література

- [1] A. Fedorenko, V. Maslov, N. Kachur, Yu. Maslov, “Prospects For Appliance Of Zinc Oxide Nanofilms For Dental Implants”, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, vol. 10, Is. 4, pp. 5387-5392, 2024.
- [2] Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, К. П. Гриценко, Ю. В. Коломзаров, П. М. Литвин, Т. П. Дорошенко, “Особливості застосування додаткового наночастиці політетрафторетилену у сенсорах на основі явища поверхневого плазмонного резонансу”, *Оптоелектроника и полупроводниковая техника*, № 54, 88-95, 2019.
- [3] Н. В. Качур, А. В. Федоренко, В. П. Маслов, та інш., «Технологія нанесення тонких плівок з ZnO для чутливих елементів сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу», на *XXII Міжнар. наук.-техн. конф. Приладобудування стан та перспективи*, Київ, 2023, с. 149–151.
- [4] A. Fedorenko, N. Kachur, O. Sulima, V. Maslov, “Protective properties of ZnO nanofilm against wear and mechanical damage of sensitive SPR sensor element”, *Functional materials*, №2, 2024.