

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 підкладинки 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 елементу та фотоприймача, на який потрапляє відбите від чутливого елементу 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 елементу 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 наночару 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.