

УДК 537.876; 535.375

*А.Р. Гармаш, студент гр. ПН-81мп,
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МЕТРОЛОГІЧНІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ППР-ПРИЛАДІВ

Анотація. Дослідження взаємодії поверхневих електромагнітних хвиль з речовиною та розробка приладів на основі поверхневих плазмонів. Актуальним напрямком розвитку аналітичного приладобудування є створення мініатюрних вимірювальних засобів.

Ключові слова: показник заломлення, поверхневий плазмонний резонанс, чутливий елемент ППР-сенсору, повне внутрішнє відбиття на межі двох середовищ

ВСТУП

Зменшення габаритів пристроїв (мініатюризація) можливо досягнути за допомогою технології LOC “лабораторія на чіпі”, ця технологія в одному чутливому елементі приладу об’єднує в себе кілька вимірювальних функцій. Дана технологія для опрацювання малої порції аналізуючої речовини використовує досить малі об’єми. Перспектива даної концепції розвитку аналітичних приладів та переваги LOC систем забезпечується зниженням проби досліджуваної речовини і витрат реагентів, автоматизацією та високою швидкістю отримання результату [1]”.

Поверхневий плазмонний резонанс - це явище відхилення умови повного внутрішнього відбиття (ПВВ) на межі поділу певних середовищ: менш оптично щільного та більш оптично щільного. Під час утворення ППР велика частина енергії світла яке падає на поверхню чутливого елемента ППР-сенсору (ЧЕ) яка в свою чергу перетворюється на енергію плазмонів і оскільки інтенсивність відбитого від її поверхні, світла різко спадає. В такому разі електричне поле цієї хвилі за експонентою спадає в напрямку, який перпендикулярний межі поділу.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Можна впевнено говорити, що вимірювальний метод на основі ППР є найбільш ефективним, тому що не потребує використання міток і результати які він видає ми можемо спостерігати в реальному часі[2].

У ППР-біосенсорах, які вимірюють зазвичайну концентрацію біологічних або хімічних аналітів, сигнал в наслідок якого зв'язування аналіту в елементі біорозпізнавання перетворюється в зміни показника заломлення на поверхні датчика, який з часом модулює характеристики світлової хвилі. Прямиме перетворення (рефрактометричних) в ППР-сенсорах, ознака заломлення аналіту в першу чергу змінює характеристики світлової хвилі, такі як кут і довжина хвилі збудження ППР, інтенсивність, фаза і поляризація випромінювання.

Але для підвищення метрологічних характеристик приладів потрібно покращувати методи обробки. Головними характеристиками ППР-приладів є їхня точність вимірювання, динамічний діапазон, а також роздільна здатність і чутливість.

Точність вимірювання приладів яка залежить від відгуку сенсора X до даного значення вимірюваної величини Y може бути представлено через передаточну функцію F , $X = F(Y)$, що визначається з теоретичної моделі сенсора або за результатами його калібрування.

Межею детектування визначається роздільна здатність, котра визначається рівнем шумової доріжки вимірюваного сигналу. Тому потрібно знайти основні джерела шуму, які безпосередньо знаходяться в приладі. Інтенсивність відбитого світла є основним інформативним сигналом в мінімумі резонансної кривої, тому рівень шумової доріжки визначається саме за шумом в сигналі інтенсивності відбитого світла. Світло, яке йде крізь елементи оптичної схеми приладу, збільшує шумову складову внаслідок геометричних параметрів і оптичних коливань цих елементів. Якщо розглядати складові елементи оптичної схеми, котрі мають найбільший вплив на рівень шуму вимірюваного сигналу, а тими елементами є джерело збудження поверхневих плазмонів в тонкій металевій плівці та фотоприймачі, що вимірюють інтенсивність відбитого світла.

За схемою Кречмана чутливість ППР-приладів з призмовим збудженням в конфігурації сканування кута з механічною розгорткою (у рідкому і газподібному середовищах) при фіксованій довжині хвилі визначається як відношення між зсувом кута мінімуму характеристики відбиття (резонансного кута) $\Delta\theta_{\min}$ та зміною ПЗ аналізу ΔNa , котра викликала цей кутовий зсув [3].

У ППР використовуються чисельні методи розрахунку такі як центроїдний метод, поліноміальна підгонка з аналітичним розрахунком поліноміального мінімуму.

Центроїдний метод використовує для перерахунку матриці відстаней [4]. Це відстані між двома кластерами і в даному методі береться відстань між центрами тяжіння.

Відстані між кластерами як у методі Уорда береться приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів, що отримується в результаті їх об'єднання [5]. Відмінно від інших методів кластерного для оцінки та аналізу відстаней між кластерами, використовувався метод дисперсійного аналізу. Два кластери з'єднувалися на кожному кроці алгоритму, через які відбувається збільшення мінімальної цільової функції, тобто внутрішньо групової суми квадратів. Даний метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів.

В проведених роботах в яких досліджувався ступень впливу полінома на похибку визначення мінімуму при довжині хвилі 650 нм за допомогою апроксимації. Зазначено, що найбільш надійним і простим для апроксимації є поліном 2-го порядку, але при несиметричності кривої ППР задовільні результати можна встановити лише при значному обмеженні (до 5%) висоти ділянки апроксимації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В останні роки розробили ще один метод визначення резонансного кута – метод середньої лінії [6]. Суть методу полягає у визначенні резонансного кута як точки перетину осі кутів падіння та лінії, що проходить через середини відрізків, котрі сполучають еквірівневі точки по осі інтенсивності відбитого світла, котрі розташовані на схилах резонансної характеристики $I(\theta)$ в діапазоні кутів повного внутрішнього відбивання.

Було порівняно два методи визначення точного положення резонансного кута, а саме: метод середньої лінії і метод апроксимації поліномами 2-го та 3-го ступенів відповідно до методики описаної в [7]. Оцінка впливу математичних методів на величину абсолютної похибки проводилася за допомогою побудови теоретичної резонансної характеристики для багатошарової системи "скло-метал-аналіт" та р-поляризованого монохроматичного випромінювання. Характеристика відбиття $I(\theta)$ була розрахована як функція кута падіння за допомогою формул Френеля та математичного формалізму матриць розсіювання Джонса [8] за методикою описаною у роботі [9].

Результати моделювання показали, що в методі апроксимації поліномом величина похибки зростає зі збільшенням довжини хвилі збудження (Рис.1.), що пов'язано з непараболічністю характеристики відбиття $I(\theta)$.

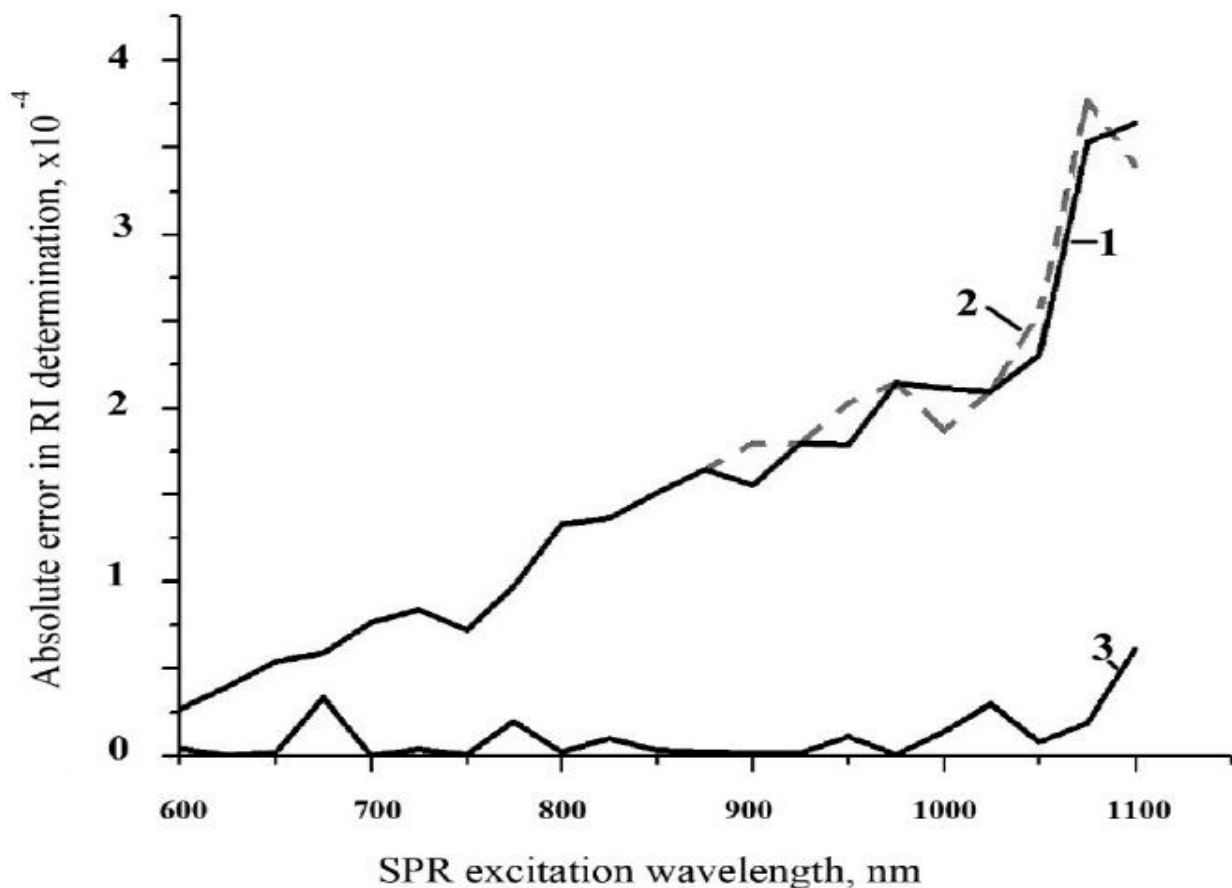


Рисунок 1. Залежність абсолютної похибки від довжини хвилі для методу середньої лінії (3), та методом апроксимації поліномами 2-го (1) та 3-го (2) ступенів[6].

ВИСНОВКИ

В ході аналізу великої кількості робіт можна зробити висновок, що запропонований в роботі [6] метод середньої лінії є найбільш досконалим адже він забезпечує значення абсолютної похибки в 6 разів нижче, ніж у методі апроксимації поліномом. Найбільш поширеним джерелом збудження поверхневих плазмонів є лазери. Характеристика відбиття – це залежність інтенсивності відбитого світла лазера від кута падіння цього світла на поверхню ЧЕ в діапазоні кутів, більших за кут ПВВ на межі поділу середовищ чутливий

елемент-аналіт, тому найбільший позитивний ефект був досягнутий для двох довжин хвиль 700 і 970 нм, що, ймовірно, пов'язано з формою характеристик відбиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Nuno Miguel Matos Pires, Tao Dong , Ulrik Hanke, Nils Hoivik. Recent developments in Optical detection technologies in Lab-on-a-Chip devices for biosensing applications // *Sensors* **2014**, 14, 15458-15479; doi:10.3390/s140815458
- [2] Jonsson U., Ivarsson B., Fagerstam L. Real-time biospecific interaction analysis using surface plasmon resonance and a sensor chip technology // *BioTechniques*. – 1991. – Vol.11 – P.620-627.
- [3] Shalabney, A. Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors [Text] / I. Abdulhalim, A. Shalabney / *Laser Photonics Rev.* – 2011. – Vol. 5, No.4. – P. 571-606.
- [4] «Sneath P.H.A., Sokal R.R.» Numerical taxonomy: The principles and practices of numerical classification. — San-Francisco: Freeman, 1973. — 573 p
- [5] «Ward J.H.» Hierarchical grouping to optimize an objective function // *J. of the American Statistical Association*, 1963. — 236 p.
- [6] *Ushenin Yu.V., Dorozinsky G.V., Maslov V.P. et al.* New method for determining the angular position of the light reflection intensity minimum observed in surface plasmon resonance // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*.- 2017.-**3**, N 3.-P. 1514-1518.
- [7] *Dorozinsky G.V.* Analysis of main errors in measurements of the analyte refraction index by using the device “Plasmon-6” // *East European Scientific Journal*.-2016.-**5**.-P. 54-61.
- [8] *Azzam R., Bashara N.* Ellipsometry and polarized light // Moscow, “Mir”, 1981, 583 p.
- [9] *Chegel V. I.* Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*.- 2001.-**4**, N 4.-P. 301-306

Наук. керівник – д.т.н., проф. Маслов В.П.