

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА НАНОСТРУКТУР

**Актуальність роботи.** Оптичні методи на основі явища флюоресценції широко використовуються в оптичних пристроях, для виявлення та дослідження біологічних матеріалів, а також у медичній діагностиці. Важливою проблемою, що потребує вирішення, є поліпшення чутливості флюоресцентних методів для забезпечення можливості реєстрації слабких оптичних сигналів. Одним з можливих шляхів підвищення чутливості є метод поверхнево-підсиленої флюоресценції, який базується на використанні явища локалізованого поверхневого плазмонного резонансу для забезпечення ефективного збудження флюоресценції [1,2]. Разом з тим, цей метод потребує спеціальних умов освітлення зразка, що визначається, зокрема, кутом падіння світла для збудження флюоресценції. Тому задача автоматичного пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу зміною кута падіння світла є актуальною.

**Мета роботи.** Розробка системи автоматичного пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу для тестування властивостей біологічних матеріалів та наноструктур з електроприводом на основі п'єзоелектричного двигуна.

**Основна частина.** З метою виконання досліджень для тестування біологічних матеріалів та наноструктур в автоматичному режимі пропонується застосування системи, що забезпечує виконання задачі вимірювання інтенсивності відбитого світла та пошуку кута падіння світла для максимальної інтенсивності флюоресцентного сигналу. Основні елементи установки, що призначена для флюорометричних вимірювань із застосуванням локалізованого поверхневого плазмонного резонансу, зображені на рисунку 1.

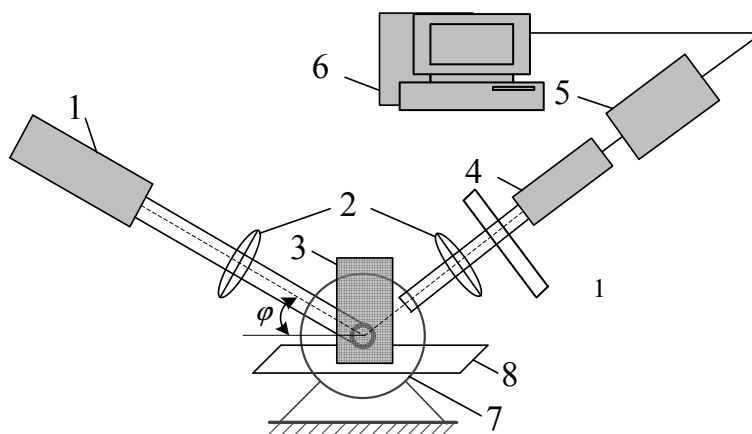


Рисунок 1- Схема розташування основних елементів установки для флюорометричних вимірювань.

Вимірювання в режимі флюоресценції виконується шляхом опромінення лазером (1) розчину барвника з довжиною хвилі збудження, що відповідає довжині хвилі лазерного випромінювача. Відбите від розчину барвника світло фокусується на оптоволокну (4), яке під'єднане до спектрометра видимого діапазону (5). Фокусування променів виконується фокуруючими лінзами (2). Інформація зі спектрометра для визначення інтенсивності флюоресценції обробляється спеціалізованим програмним забезпеченням на персональному (ПК) комп'ютері (6). Для первинної реєстрації сигналу флюоресценції використовують позиціонер (8), що дозволяє змінювати позицію X-Y кювети (3). Оптопари (9,10) застосовуються для фіксації граничного положення та визначення точки відліку кута повороту лазерного променя  $\varphi$ . Зміна кута падіння променя в процесі вимірювання забезпечується за допомогою зміни положення виконавчої частини п'єзоелектричного двигуна (7). Фільтр (11) застосовується для виконання вимірювання інтенсивності відбитого від речовини світла в діапазоні спектру  $\lambda > 540$  нм.

Для виконання досліджень в автоматичному режимі в системі автоматичного пошуку екстремуму формується сигнал завдання для підсистеми відпрацювання позиціонування напрямку кута падіння лазерного променя ( $\varphi$ ) [3]. Далі система знаходить положення лазера, при якому інтенсивність флюоресцентного сигналу буде максимальною. Функціональна схема системи автоматичного пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу представлена на рисунку 2.

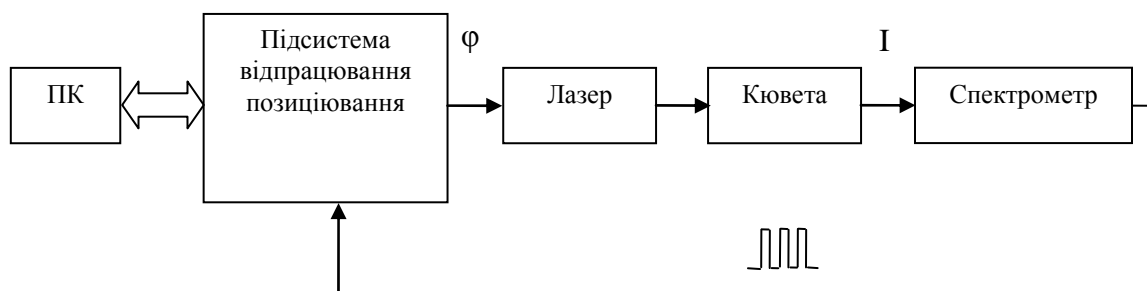


Рисунок 2 – Функціональна схема системи автоматичного пошуку максимуму.

Сканування для визначення інтенсивності відбитого світла зміною кута падіння лазерного променя відбувається після встановлення стану початкового відліку кута у “відносне” нульове положення. Діапазон зміни кута знаходиться в межах  $10^0$ . Метою системи, що розробляється, є визначення максимуму інтенсивності випромінювання зеленого лазера (532 нм) потужністю 10 мВт. Сигнал максимуму флюоресценції речовини, що досліджується, розташовується в спектрі відбитого світла зі зсувом від значення хвилі довжиною 532 нм максимуму інтенсивності лазера (рис. 3).

Амплітуди максимумів інтенсивності відрізняються у декілька разів. Одночасне визначення максимуму інтенсивності лазера та флюоресценції речовини виконати технічно складно. Тому визначення максимуму флюоресценції відбувається у два етапи. Спочатку визначається максимум інтенсивності лазера. Тривалість виміру складає приблизно 2 секунди. За цей час виконується до 100 вимірів. На другому етапі, після визначення максимуму інтенсивності лазера оцінюють величину максимуму флюоресценції. Технічно це можливо забезпечити при використанні світлового фільтра.

Зміна інтенсивності флюоресценції залежить від кута опромінення. Враховуючи характер зміни кривої інтенсивності, запропоновано наступний алгоритм визначення максимуму. Одночасно з вимірюванням інтенсивності послідовно на кожному кроці зміни кута проводиться апроксимація за допомогою поліному 2-го порядку залежності інтенсивності від кута падіння та аналітично розраховується значення максимуму флюоресценції і розраховується величина зміни завдання для відпрацювання необхідного позиціонування – положення напрямку променя лазера. Подальша робота системи забезпечує знаходження дійсного максимуму за допомогою класичного алгоритму із змінним кроком пошуку екстремуму. Досягнення максимуму інтенсивності за результатами моделювання системи (рис. 4) відбувається на сьомому кроці пошуку екстремуму для заданої точності вимірювання  $5 \cdot 10^{-3}$  у.о. Час виходу в зону екстремума складає 0.82 с.

**Висновки.** В розробленій системі зміна напрямку світла променя лазера реалізується локальною підсистемою керування положенням вихідного валу п’єзоелектричного двигуна. Застосування алгоритму із змінним кроком пошуку екстремуму для визначення максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу дозволяє за результатами моделювання забезпечити необхідну точність вимірювання в автоматичному режимі.

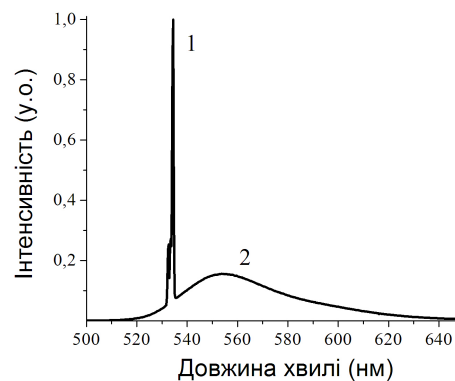


Рисунок 3 - Залежність нормованої інтенсивності вимірювальних сигналів від довжини хвилі:

1- сигнал випромінювання зеленого лазера (532 нм) потужністю 10 мВт;  
2 – сигнал флюоресценції водного розчину роданіну бЖ концентрацією  $10^{-6}$  моль/л.

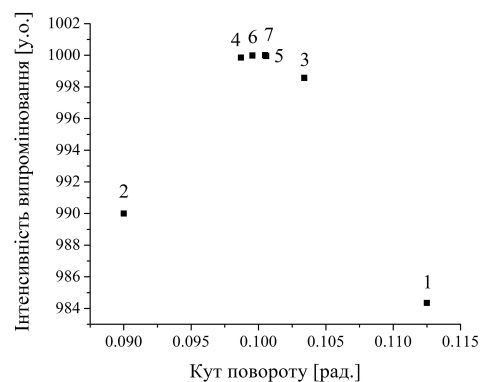


Рисунок 4 – Покрокова залежність інтенсивності флюоресценції від кута падіння світла.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Kang K. Fluorescence manipulation by gold nanoparticles: from complete quenching to extensive enhancement / K. A. Kang, J. Wang, J. B. Jasinski [et al.] // *Journal of Nanobiotechnology*. – 2011. – Vol. 9. – P. 16.
2. Tam F. Plasmonic enhancement of molecular fluorescence / F. Tam, G. P. Goodrich, B. R. Johnson, N. J. Halas // *Nano Lett.* – 2007. – Vol. 7, № 2. – P. 496–501.
3. Халімовський О.М., Гаврилюк С.І. Прецизійна система позиціонування променя лазера установки тестування структур біологічних матеріалів.// *Електротехнічні та комп’ютерні системи. Темат. вип. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика № 03 (79).*: - м.Одеса; с. 246-247.