УДК 681.587.72

О.М. ХАЛІМОВСЬКИЙ[1], В.І. ЧЕГЕЛЬ[2], В.К. ЛИТВИН[2], А.М. ЛОПАТИНСЬКИЙ[2]

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОШУКУ МАКСИМУМУ ІНТЕНСИВНОСТІ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО СИГНАЛУ ПРИ ТЕСТУВАННІ СТРУКТУР БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

[1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

[2]Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України

Анотація. На основі експериментальних досліджень визначена залежність точності вимірювання інтенсивності перевипроміненого світла від часу експозиції для максимальної інтенсивності флюоресцетного сигналу. Сформульовані вимоги, щодо точності позиціювання валу п'єзоелектричного двигуна при розробці алгоритму роботи системи пошуку екстремуму.

Ключові слова: флюоресценція, локалізований поверхневий плазмонний резонанс, час експозиції, п'єзоелектричний двигун, точність позиціювання.

ВСТУП

Для ідентифікації та дослідження біологічних матеріалів, а також у медичній діагностиці широко використовуються оптичні методи на основі явища флюоресценції [1, 2]. При розробці та використанні оптичних пристроїв діагностики необхідно для забезпечення можливості реєстрації слабких оптичних сигналів підвищувати чутливість флюоресцентних методів. Використання методу поверхнево-підсиленої флюоресценції, який базується на використанні явища локалізованого поверхневого плазмонного резонансу у високопровідних металевих наноструктурах [3], для забезпечення ефективного збудження флюоресценції потребує спеціальних умов освітлення зразка. Такі умови, зокрема, визначаються кутом падіння світла.

Для виконання досліджень при тестуванні біологічних матеріалів та наноструктур в автоматичному режимі пропонується застосування системи, що забезпечує виконання задачі вимірювання інтенсивності перевипроміненого світла та пошуку кута падіння світла для максимальної інтенсивності флюоресцетного сигналу. Зміна кута падіння світла забезпечується системою пошуку екстремуму з приводом на основі п'єзоелектричного двигуна. Застосування системи пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу, при заданому значенні точності її вимірювання, вимагає розробки алгоритму функціонування з урахуванням вимог щодо точності позиціювання валу двигуна.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При автоматичному пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу шляхом зміни кута падіння світла виникає задача забезпечення достатньої точності позиціювання при вимірюванні максимуму інтенсивності перевипроміненого світла. У зв'язку з цим необхідно сформулювати вимоги необхідні для керування рухом п'єзоелектричного двигуна у відповідності до стратегії вимірювання інтенсивності флюоресцетного сигналу в автоматичному режимі [4].

Для визначення цих вимог виникла необхідність проведення експериментальних досліджень для визначення залежності погрішності вимірювань від часу експозиції спектрометра. В якості модельної системи було обрано розчин барвника родаміну 6Ж з довжиною хвилі збудження, що відповідає довжині хвилі (λ=532 нм) лазерного випромінювача. Результати вимірювання спектрів флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л при змінному часі експозиції спектрометра (від 2,5 мс до 100 мс) представлені на рисунку 1а. Відповідні кінетичні залежності нормованої інтенсивності флюоресценції на довжині хвилі 560 нм, що відповідає максимальній флюоресценції родаміну 6Ж,

© О.М. ХАЛІМОВСЬКИЙ, В.І. ЧЕГЕЛЬ, В.К. ЛИТВИН, А.М. ЛОПАТИНСЬКИЙ, 2013

представлені на рисунку 1б.

Використання залежності відносних значень погрішності вимірювання інтенсивності флюоресценції від часу експозиції (рисунок 2а) визначає час експозиції для забезпечення необхідної точності вимірювань. Це в свою чергу дозволяє сформулювати вимоги щодо точності позиціювання напряму променя лазера та, відповідно, валу двигуна. Точність позиціювання вала двигуна ($\varphi_{поз}$) залежить від його швидкості обертання ($\omega_{дв}$). За результатами експериментальних досліджень [5] точність позиціювання практично лінійно залежить від швидкості двигуна.

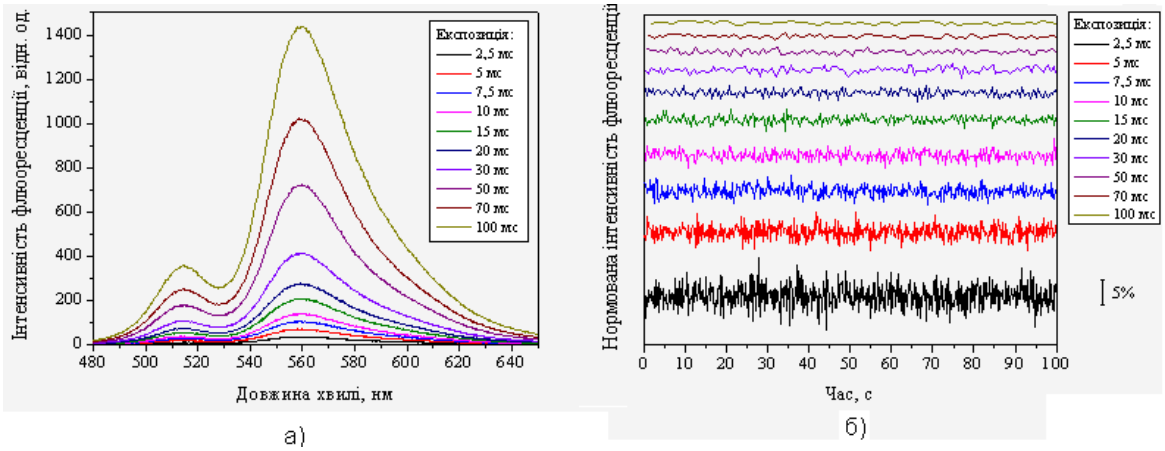

Рис. 1. а) спектри флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л при експозиції спектрометра від 2,5 мс до 100 мс; б) кінетичні залежності нормованої інтенсивності флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л на довжині хвилі 560 нм при експозиції спектрометра від 2,5 мс до 100 мс

Неузгодженість швидкості обертання двигуна до фіксованого значення помилки виміру інтенсивності флюоресценції не завжди дозволяє отримати "дійсне" значення екстремуму. У зв'язку з цим умова $\omega_{дв} \le (\varphi_{поз}/k)$ при відпрацюванні положення вала двигуна у кроковому режимі забезпечить точність його позиціювання. Коефіцієнт "k" визначає ступінь залежності $\varphi_{поз} = f(\omega_{дв})$ та має різні значення при зміні напрямку обертання двигуна. Важливим для розрахунку сигналу завдання $\omega_{дв}$ є вибір тривалості кроку позиціювання. Час відпрацювання кроку залежить від кількості періодів збудження і визначає величину кута повороту вала двигуна (φ) за один крок. За даними роботи [5] ця залежність має лінійний характер і залежить від напрямку обертання двигуна. Таким чином, для забезпечення заданої точності вимірювання максимуму інтенсивності флюоресценції в автоматичному режимі необхідно при позиціюванні валу двигуна враховувати швидкість його обертання, та узгоджувати її до відповідного значення часу експозиції.

За результатами моделювання залежність зміни кута повороту напряму променя лазера при визначенні екстремуму інтенсивності з використанням системи пошуку екстремуму за стратегією [4] для часу вимірювання інтенсивності 200 мс представлена на рисунку 2б.

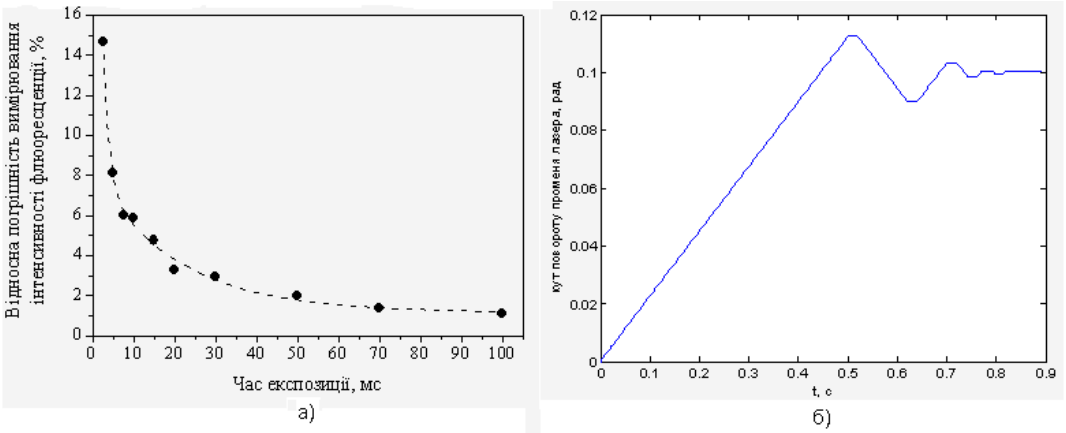

Рис.2. а) залежність відносної погрішності вимірювання інтенсивності флюоресценції від часу експозиції; б) залежність зміни кута повороту напрямку променя лазера при пошуку екстремума інтенсивності флюоресценції

ВИСНОВКИ

За результатами експериментальних досліджень інтенсивності флюоресценції модельного барвника було встановлено залежність величини відносної помилки вимірювань від часу експозиції. Ця залежність має гіперболічний характер. З урахуванням особливості роботи п'єзоелектричного двигуна у кроковому режимі, сформульовані вимоги щодо точності позиціювання валу п'єзоелектричного двигуна при розробці алгоритму функціонування системи пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kurilčik N. Fluorescence detection of biological objects with ultraviolet and visible light-emitting diodes / N. Kurilčik, P. Vitta, A. Žukauskas [et al.] // Optica Applicata. – Vol. 36, № 2-3. – P. 193–198.
2. Riehemann K. Nanomedicine – challenge and perspectives / K. Riehemann, S. W. Schneider, T. A. Luger [et al.] // Angew. Chem., Int. Ed. Engl. – 2009. – Vol. 48, № 5. – P. 872–897.
3. Lakowicz J. R. Plasmon-controlled fluorescence: a new paradigm in fluorescence spectroscopy / J. R. Lakowicz, K. Ray, M. Chowdhury [et al.] // Analyst. – 2008. – Vol. 133. – P. 1308–1346.
4. Халімовський О. М. Автоматизація процесу тестування властивостей біологічних матеріалів та наноструктур / О. М. Халімовський, В. І. Чегель, В. К. Литвин, А. М. Лопатинський // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика (спеціальний випуск)». – 2013. – № 36 (1009). – С. 514–515.
5. Белова А. В. Исследование характеристик пьезоелектрического двигателя в системах позиционирования/ А. В. Белова, С. Ф. Петренко // Вісник НТУУ-«КПІ», Серія приладобудування. – 2008. – Вип. 35. – С. 69-76.

Надійшла до редакції 12.12.2013р.

ХАЛІМОВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ МОДЕСТОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна.

ЧЕГЕЛЬ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ – к.ф.-м.н., с.н.с., старший науковий співробітник відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ЛИТВИН ВІТАЛІЙ КОСТЯНТИНОВИЧ – аспірант відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ЛОПАТИНСЬКИЙ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ – науковий співробітник відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.