

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ МАКЕТУ ТРИХВИЛЬОВОГО ПОЛЯРИМЕТРА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті представлено аналіз компонентної бази та архітектурних особливостей реалізації вимірювального каналу лабораторного макету системи автоматизованої трихвильової поляриметрії для Мюллер-матричних та Джонс-матричної діагностики біологічних шарів. Детально розглянуто ключові вузли системи. Описано взаємодію компонентів та їх роль у реалізації методів вимірювання орієнтаційних та фазових мап біологічних тканин.

Ключові слова: *анізотропія біологічного шару, трихвильова поляриметрія, вимірювальний канал, лазерний модуль, CMOS-камера.*

Вступ

Розробка систем лазерної поляриметрії для медичної діагностики є перспективним напрямком, що дозволяє проводити оцінювання змін мікроструктурної анізотропії біологічних тканин (БТ). Підвищення достовірності такої діагностики вимагає розширення інформаційної повноти вимірювань, що досягається, зокрема, шляхом проведення досліджень на кількох довжинах хвиль.

Лабораторний макет, що аналізується, являє собою систему трихвильової лазерної поляриметрії, призначену для оцінювання анізотропної структури оптично тонких шарів гістологічних зрізів. Архітектура системи включає автоматизований оптико-електронний вимірювальний канал та комп'ютерну підсистему для аналізу і прийняття рішень.

Метою роботи є модернізація вимірювального каналу лабораторного макету трихвильового поляриметра для розширення його функціональних можливостей.

Компоненти вимірювального каналу

Вимірювальний канал лабораторної установки побудований за модульним принципом і включає блок джерел випромінювання, блок поляризаційного опромінення, об'єктний та проєкційний блоки, блок поляризаційної фільтрації та блок реєстрації зображень [1, 2]. Архітектура установки представлена на рисунку 1.

Ключовою особливістю системи є наявність трьох джерел когерентного випромінювання. Це дозволяє проводити вимірювання на трьох довжинах хвиль оптичного діапазону. У лабораторному макеті використано напівпровідникові лазерні модулі TVS з довжинами хвилі 405 нм, 450 нм та 660 нм, потужність лазерів становить 50 мВт. Випромінювання, що генерується кожним з трьох лазерів, послідовно спрямовується через коліматор на вхід блоку поляризаційного опромінення.

Блоки поляризаційного опромінення та фільтрації формують необхідний стан поляризації вхідного пучка та аналізують стан поляризації випромінювання, що пройшло крізь зразок. Вони реалізовані з використанням керованих поляризаційних та фазозсувних елементів, що працюють у всьому робочому діапазоні (405–660 нм). В якості поляризатора в блоці опромінення та аналізатора в блоці фільтрації використано поляризаційні фільтри, які забезпечують лінійність поляризації у робочому спектральному діапазоні. Також використано ахроматичні чвертьхвильові пластинки нульового порядку для формування циркулярної поляризації.

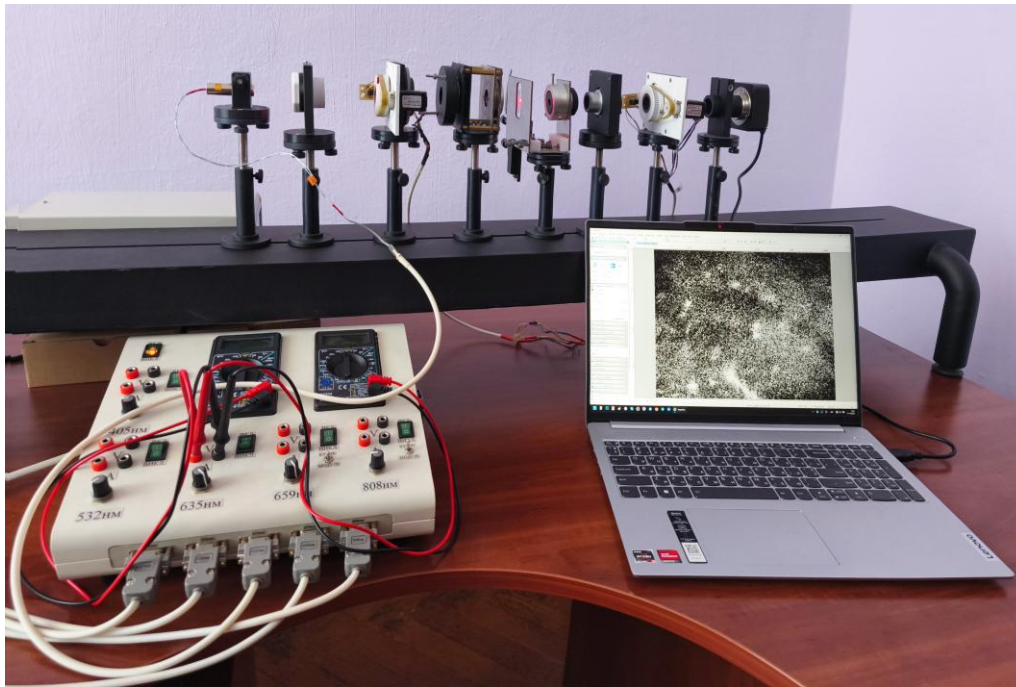


Рис. 1 – Лабораторна установка системи трихвильової лазерної поляриметрії БТ

Залежно від методу вимірювання, ці елементи комбінуються для створення необхідних конфігурацій. В режимі прямого вимірювання орієнтаційних мап, фазові пластинки усуваються зі шляху розповсюдження пучка, використовуються лише поляризатор та аналізатор, що синхронно обертаються у взаємно схрещеному положенні ($\alpha = \Theta + 90^\circ$). У режимі вимірювання фазових мап використовуються всі чотири елементи. В цьому режимі блок опромінення формує правоциркулярно поляризований пучок, а блок фільтрації виступає як лівоциркулярний поляризаційний фільтр [3].

В об'єктному блоці розміщується оптично тонкий гістологічний зріз на предметному склі. Проекційний блок реалізовано за допомогою мікрооб'єктива Nikon, який забезпечує 4-кратне збільшення та має числову апертуру 0.1 і робочу відстань 30 мм. Він проєктує зображення зразка на блок фільтрації та світлочутливу матрицю камери. Оптика системи є ахроматичною, що дозволяє їй однаково ефективно працювати на усіх довжинах хвиль.

Іншою особливістю вимірювального каналу є блок реєстрації зображень, який дозволяє фіксувати поляризаційно відфільтровані зображення. Для цього використовується цифрова камера, виготовлена за технологією CMOS – UCMOS05100KPA. Камера має наступні характеристики: роздільна здатність – 2592x1944 (5,1 Мрх), розмір пікселя - 2,2x2,2 мкм, розмір матриці – 5,7x4,28 мм, динамічний діапазон – 73 дБ, чутливість - 18,8 кеВ/лк. Дана камера з програмним забезпеченням дозволяє отримувати якісні зображення у форматі даних без втрат DNG, у форматі растрової графіки BMP та інших форматах.

Керування всією системою є автоматизованим, блок керування керує драйверами, які, в свою чергу, приводять у рух чотири крокові двигуни та два серводвигуни. Крокові двигуни забезпечують точне обертання поляризаторів та фазових пластинок, тоді як серводвигуни відповідають за фізичне введення та виведення фазових пластинок з оптичного шляху при зміні режимів вимірювання. Конструкції, призначені для надійної фіксації модулів вимірювального каналу, було модернізовано з метою підвищення їхньої функціональної, ефективності та забезпечення стабільності кріплення модулів.

Програмна обробка реалізується у комп'ютерній підсистемі, яка отримує зображення та виконує послідовність алгоритмів обробки по відтворенню параметрів анізотропії досліджуваного біологічного шару (модуль обробки) і аналізу (модуль аналізу). На цьому етапі здійснюється аналітичне визначення орієнтаційних ($\rho^{\lambda^1}(X,Y)$, $\rho^{\lambda^2}(X,Y)$, $\rho^{\lambda^3}(X,Y)$) та фазових ($\delta^{\lambda^1}(X,Y)$, $\delta^{\lambda^2}(X,Y)$, $\delta^{\lambda^3}(X,Y)$) мап, що відображають просторово-структурні особливості поляриметричних зображень. На основі отриманих мап обчислюються інформативні ознаки, зокрема статистичні

моменти та моменти автокореляційних функцій, які формують узагальнений опис поляриметричних характеристик БТ. Зазначені ознаки подаються на вхід підсистеми підтримки прийняття рішень, що функціонує на основі моделей нечіткої логіки, забезпечуючи інтелектуальний аналіз даних і формування діагностичних або класифікаційних висновків.

Висновки

Реалізація вимірювального каналу на основі трьох напівпровідникових лазерів (405 нм, 450 нм та 660 нм), ахроматичної поляризаційної оптики та CMOS-камери високої роздільної здатності дозволяє реалізувати гнучку автоматизовану систему. Така архітектура забезпечує можливість прямого вимірювання як орієнтаційних, так і фазових параметрів анізотропії на трьох довжинах хвиль, що є ключовим фактором для підвищення достовірності діагностування патологічних станів біологічних тканин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заболотна Н.І. Похибки вимірювань референтних матриць Мюллера в системі мюллер-матричного картографування біологічних шарів *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2015. №1 (29) С. 109 - 117.
2. Zabolotna, N.I., Sholota, V.V., Okarskyi H.H. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies. 2020. *Proceedings of SPIE*. 11369, 113691S, P. 501-513.
3. Заболотна, Н. І., Окарський, Г. Г. Система автоматизованої двохвильової мюллер-поляриметрії для оцінювання анізотропної структури гістологічних зрізів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 39 (1), 27-37.

Швидюк Олег Сергійович – аспірант, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olehshvydiuk@gmail.com

Шолота Владислава Владиславівна — асистент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua

FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF THE MEASURING CHANNEL OF THE THREE-WAVE POLARIMETER MODEL FOR DIAGNOSTICS OF BIOLOGICAL OBJECTS

Abstract

The article presents an analysis of the component base and architectural features of the implementation of the measuring channel of the laboratory model of the automated three-wave polarimetry system for Muller matrix and Jones matrix diagnostics of biological layers. The key nodes of the system are considered in detail. The interaction of the components and their role in the implementation of methods for measuring orientation and phase maps of biological tissues is described.

Keywords: anisotropy of the biological layer, three-wave polarimetry, measurement channel, laser module, CMOS camera.

Oleh Shvydiuk S. – postgraduate, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: olegshvydiuk@gmail.com

Sholota Vladyslava V. — assistant of the Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua