

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мікіріна Івана Сергійовича
«Поляризаційно-кореляційні матриці Мюллера
полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 10 «Природничі науки»
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дослідження.

Сучасна біомедична оптика дедалі активніше використовує поляризаційні методи для неінвазивної діагностики патологічних змін біологічних тканин. Поляриметрія шарів біологічних об'єктів сприяла становленню матричної мікроскопії Мюллера як окремого напрямку, проте її діагностичні можливості суттєво обмежуються впливом деполаризованого спекл-фону, що руйнує прямі зв'язки між поляризаційною структурою об'єктного поля та особливостями полікристалічної архітектури тканин. Подолання цієї проблеми потребує переходу до пошарових інтерференційних технологій реєстрації об'єктних полів та формування нового покоління диференціальних Мюллер-матричних методів реконструкції мап оптичної анізотропії.

Особливої гостроти проблема набуває у задачах ранньої та диференціальної діагностики передракових станів тканин жіночої репродуктивної сфери, де чутливість і об'єктивність існуючих оптичних методик залишаються недостатніми. З огляду на це, дисертаційне дослідження І.С. Мікіріна, було спрямованим на розроблення нових поляризаційно-інтерференційних і диференціальних методів побудови Мюллер-матричних мап і реконструкції параметрів оптичної анізотропії біологічних тканин як об'єктів м'якої матерії. Практичним результатом дослідження є розробка нового покоління Мюллер-матричних технологій оптичної діагностики патологічних станів тканин жіночої репродуктивної сфери, зокрема, виявлення раку ендометрія. Т.ч., тема дисертаційної роботи є актуальною та має важливе науково-практичне значення, що підтверджує її відповідність вимогам спеціальності «Фізика та астрономія».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційне дослідження виконане у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича на кафедрі поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій у межах комплексної науково-дослідної роботи «Новітні методи і системи поляризаційної, кореляційної, спектрофотометричної та сингулярної оптики у задачах комплексної біомедичної та поліграфічної діагностики фазово-неоднорідних середовищ» (номер державної реєстрації 0121U111779). Здобувач був співвиконавцем зазначеної теми. Окремі результати роботи отримано в межах держбюджетних тем «Розроблення новітньої портативної лазерної поляризаційно-флуоресцентної польової системи експресної домедичної діагностики септичних ускладнень ран військовослужбовців» (номер державної реєстрації 0124U000606) та «Розробка новітніх методів і систем лазерної поляризаційно-інтерференційної мультифрактальної діагностики та скринінгу найпоширеніших неінфекційних захворювань» (номер державної реєстрації 0125U001578), що відповідають науковому напрямку дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна дисертаційного дослідження І.С. Мікіріна полягає у розробці нового модельного підходу та аналітичних алгоритмів побудови диференціальних Мюллер-матричних мап оптично анізотропних об'єктів м'якої матерії, що забезпечує систематичний статистичний і вейвлет аналіз пошарової структури параметрів фазової та амплітудної анізотропії. Зокрема:

- 1) уперше запропоновано новий підхід до Мюллер-матричного опису особливостей прояву оптичної анізотропії біологічних тканин шляхом застосування диференціального представлення поляризаційної і деполаризаційної складових матриці Мюллера оптично анізотропних шарів гістологічних зрізів біомедичних препаратів;
- 2) розроблено оригінальні аналітичні алгоритми відтворення мап середніх значень і флуктуацій параметрів оптичної анізотропії (лінійного й циркулярного двопроменезаломлення та дихроїзму) біологічних тканин на основі розкладу матриці Мюллера у базисі диференціальних матриць 1-го і 2-го порядків;
- 3) уперше розроблено дизайн та архітектуру багатоканального поляризаційно-інтерференційного картографування об'єктних полів із наступним цифровим 2D Фур'є-відтворенням і покроковим фазовим

скануванням розподілів комплексних амплітуд, що дозволило реконструювати пошарові фазові мапи параметрів оптичної анізотропії гістологічних препаратів;

- 4) встановлено, що основні відмінності між статистичними параметрами мап елементів диференціальних матриць 1-го порядку фібрилярної тканини нирки спостерігаються для статистичних моментів вищих порядків, які характеризують асиметрію та ексцес відповідних розподілів, а для паренхіматозної легеневої тканини – для статистичних моментів 1-го і 2-го порядків. Натомість, основні відмінності між статистичними характеристиками алгоритмічно відтворених мап оптичної анізотропії різних фазових шарів як фібрилярної тканини нирки, так і тканини паренхіми легень спостерігаються для статистичних моментів вищих порядків;
- 5) в межах вейвлет аналізу, в т.ч. із застосуванням солітоноподібної функції типу «сомбреро», встановлено закономірності зміни центральних статистичних моментів 1-го та 2-го порядків розподілів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів зі зміною масштабу сканувального вікна;
- 6) уперше систематизовано експериментальні результати та фізичне обґрунтування діагностичного застосування розробленого методу для диференціації доброякісних і передракових станів тканини ендометрія репродуктивної сфери жінки.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Теоретичне значення одержаних результатів полягає у поглибленні математичного апарату методу матриці Мюллера для опису оптично анізотропної полікристалічної архітектоніки шарів м'якої матерії. Автором обґрунтовано доцільність застосування диференціального матричного представлення поляризаційної та деполаризаційної складових матриці Мюллера, а також статистичного й масштабно-селективного (вейвлет) опису пошарових мап параметрів фазової та амплітудної анізотропії, що розширює уявлення про фізичні механізми формування поляризаційних проявів структурної та хіральної анізотропії біологічних тканин.

Практичне значення результатів визначається можливістю їхнього безпосереднього використання у системах лазерної біомедичної діагностики. Основні практичні здобутки включають:

- розроблений поляризаційно-інтерференційний метод диференціального Мюллер-матричного картографування з пошаровим фазовим скануванням, придатний для об'єктивної діагностики патологічних станів біологічних тканин;
- сукупність об'єктивних діагностичних маркерів – статистичних моментів 1–4-го порядків та статистичних параметрів вейвлет-коефіцієнтів – для диференціації доброякісних і передракових станів тканини ендометрія;
- кількісно встановлені рівні збалансованої точності детектування передракових станів ендометрія за статистичним та за вейвлет-аналізом мап оптичної анізотропії;
- практичні рекомендації щодо вибору діагностичних маркерів залежно від типу та морфологічної будови досліджуваної тканини.

Отримані результати можуть бути використані у дослідницькій та клінічній практиці закладів охорони здоров'я, у розробленні приладів лазерної поляризаційної діагностики, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти при підготовці фахівців за спеціальністю «Фізика та астрономія».

Оцінка обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Сформульовані наукові положення та висновки ґрунтуються на коректному теоретичному аналізі матричних моделей оптичної анізотропії, а також на результатах систематично проведених експериментальних досліджень репрезентативних вибірок гістологічних зрізів біологічних тканин. Достовірність одержаних результатів підтверджено кількісним статистичним опрацюванням експериментальних даних, застосуванням методів інформаційного аналізу для оцінювання збалансованої точності діагностики та узгодженістю отриманих закономірностей із фізичним обґрунтуванням механізмів оптичної анізотропії, що засвідчує їх наукову обґрунтованість і коректність.

Експериментальна частина роботи виконана на основі інтерферометра Маха-Цендера з пошаровим фазовим скануванням комплексних амплітуд, що дозволяє отримати пошарові 2D розподіли елементів диференціальних матриць, мапи двопротинезаломлення, дихроїзму та дифузні томограми біологічної тканини. Методика є добре обґрунтованою з фізичної точки зору та аналітично коректно описаною.

Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових публікаціях.

Основні результати дисертаційного дослідження достатньо повно відображаються у роботах здобувача, опублікованих у наукових виданнях, проіндексованих у міжнародній наукометричній базі Scopus, та пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях, що підтверджує їхнє наукове обговорення й визнання у професійному середовищі.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Структура дисертації є логічно побудованою і повною мірою відповідає поставленим меті та завданням. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел (189 найменувань) та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 214 сторінок, з яких 163 сторінки основного тексту; робота ілюстрована 66 рисунками та містить 42 таблиці. Вступ містить усі нормативно визначені компоненти, основні розділи послідовно розкривають теоретичні засади, методологічне підґрунтя та результати експериментального дослідження, загальні висновки підсумовують результати дослідження, підтверджуючи, що поставлені у вступі завдання виконані у повному обсязі, а запропоновані методи й діагностичні критерії забезпечують підвищення чутливості та об'єктивності лазерної поляризаційної діагностики патологічних станів біологічних тканин. Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам, які ставляться до наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії.

Зауваження та дискусійні питання.

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, вважаю за доцільне висловити окремі зауваження та побажання, що мають переважно дискусійний характер і жодним чином не применшують загальної наукової цінності праці.

1. У формулюваннях завдань, об'єкта та предмета дослідження як модельні об'єкти подекуди фігурують тканини (дерма шкіри, селезінка, аденома й аденокарцинома простати), відмінні від тих, що фактично досліджуються в експериментальних розділах (нирка, легенева тканина, ендометрій). Доцільно було би узгодити перелік об'єктів дослідження у всіх частинах роботи.

2. У частині опису оптичної схеми та методики вимірювань було б корисно чіткіше зазначити основні параметри експериментальної установки (просторову роздільну здатність, кількість і крок фазових перерізів при пошаровому

скануванні) та пояснити, у який спосіб ураховується вплив деполяризованого спекл-фону й шумів реєстрації на достовірність відтворених мап анізотропії.

3. Таблиці 5.3 та 5.5 містять значення збалансованої точності A_c , обчислені для окремих статистичних моментів. Разом з тим, у висновках (п. 7) наводяться значення, отримані для вейвлет-аналізу ($A_c(\langle LB \rangle) = 100\%$), які суттєво відрізняються від значень статистичного аналізу. Доречно було би більш чітко розмежувати ці два підходи і навести порівняльну зведену таблицю для обох методів.

4. Робота містить ряд недоліків представлення матеріалу, наприклад: у переліку умовних позначень аббревіатури часто не відповідають повним формулюванням термінів; у списку використаних джерел деякі публікації зустрічаються двічі, а то й тричі під різними номерами; в тексті присутні напівпорожні сторінки; а також трапляються граматичні помилки та описки (наприклад, «солетоноподібна» замість «солітоноподібна», «ускладенень ран»). Місцями у тексті спостерігається надмірна кількість складних конструкцій, чи перевантаження термінами або громіздкими зворотами, що ускладнює сприйняття матеріалу дисертації.

Проте зазначенні зауваження є дискусійними за своїм характером і не знижують загальної високої оцінки дисертації і не ставлять під сумнів достовірність та обґрунтованість результатів і висновків.

Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертація Івана Сергійовича Мікіріна «Поляризаційно-кореляційні матриці Мюллера полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії» є завершеною самостійною науково-дослідною працею, у якій вирішено актуальну науково-прикладну задачу розроблення та експериментальної апробації нових поляризаційно-інтерференційних і диференціальних Мюллер-матричних методів реконструкції розподілів параметрів оптичної анізотропії об'єктів м'якої матерії та їхнього застосування для диференціальної діагностики патологічних станів біологічних тканин.

Робота написана державною мовою з дотриманням наукового стилю, її оформлення загалом відповідає встановленим вимогам. Структура, зміст, загальний обсяг дисертації та кількість наукових публікацій за темою дисертації відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Загальний висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Івана Сергійовича Мікіріна на тему «Поляризаційно-кореляційні матриці Мюллера полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії» відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», і Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (Із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор – Іван Сергійович Мікірін – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Доктор фіз.-мат. наук, ст. н. сп.,
професор кафедри оптоелектроніки
та інформаційних технологій
Львівського національного
університету імені Івана Франка

О. М. Крупич

Підпис проф. Крупича О.М. засвідчую
Вчений секретар
Львівського національного
університету імені Івана Франка



О. С. Грабовецька