

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації Мікіріна Івана Сергійовича на тему:
«Поляризаційно-кореляційні матриці Мюллера полікристалічних мереж
об'єктів м'якої матерії»,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія
в галузі знань 10 - Природничі науки**

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету.

Поляризаційні дослідження виявилися одними з найбільш діагностично перспективних у виявленні оптичних проявів полікристалічної архітектури біологічних тканин і рідин. Успішний діагностичний розвиток поляриметрії біологічних шарів сприяв формуванню нових методів матриці Мюллера, що призвело до створення матричної мікроскопії Мюллера як окремої галузі. Методологічною основою є різні теоретичні моделі та методи аналізу. Найбільш ефективними були регресійна модель оптичної анізотропії та логарифмічне розкладання матриці Мюллера. Отримані результати об'єктивно оцінюються в рамках статистичного аналізу зображень матриці Мюллера та карт оптичної анізотропії.

Основною проблемою є неможливість отримання прямої інформації про специфіку розподілів параметрів оптичної анізотропії та взаємозв'язків між ними і фізіологічними станами біологічних тканин органів людини.

Отже, актуальність дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю створення нового покоління Мюллер-матричних технологій оптичної візуалізації полікристалічної структури біологічних шарів шляхом синтезу алгоритмів реконструкції мап оптичної анізотропії з використанням логарифмічного розкладу матричних операторів і поляризаційно-

інтерференційних методів фазового сканування відтворених об'єктних полів комплексних амплітуд з метою реалізації високоточної (недоступної для традиційних технік МММ) диференціальної діагностики патологічних станів тканин жіночої репродуктивної сфери.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційна робота виконана під керівництвом доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача кафедри поліграфічних мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича **Ушенка Олександра Григоровича**. Результати, представлені в дисертації, отримані в межах наукової тематики кафедри поліграфічних мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Метою роботи є розробка і експериментальна апробація нових поляризаційно-інтерференційних і диференціальних методів Мюллер-матричного картографування і реконструкції параметрів оптично анізотропної архітектоніки нативних препаратів біологічних тканин шляхом цифрового голографічного відтворення і фазового сканування комплексних амплітуд з багатофункціональним статистичним і вейвлет оцінюванням мап середніх значень і флуктуацій лінійного і циркулярного двопроменезаломлення-дихроїзму.

Методи дослідження.

Для дослідження поляризаційних властивостей полікристалічних мереж біологічних тканин застосовувались поляризаційно-інтерференційні методи на основі інтерферометра Маха-Зендера, диференціальне матричне представлення поляризаційної та деполаризаційної складових матриці Мюллера, алгоритми цифрового голографічного відтворення та фазового сканування комплексних амплітуд. Для статистичного оцінювання отриманих мап застосовувався апарат центральних статистичних моментів 1-4-го

порядків та масштабно-селективний вейвлет-аналіз із використанням МНАТ-функції.

Предметом дослідження є координатні розподіли (мапи) середніх значень і флуктуацій параметрів лінійного і циркулярного двопронезаломлення та дихроїзму полікристалічної архітекtonіки нативних гістологічних зрізів біологічних тканин.

Об'єктом дослідження є полікристалічні мережеві структури нативних гістологічних зрізів біологічних тканин органів людини (нирка, легені, стінка матки/ендометрій).

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.

У дисертації були поставлені завдання, які полягали у теоретичному та експериментальному дослідженні поляризаційно-кореляційних матриць Мюллера полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії, а саме:

- розробці феноменологічного модельного поляриметричного підходу до реконструкції параметрів оптичної анізотропії нативних препаратів біологічних тканин шляхом розкладу матриці Мюллера у базисі диференціальних матриць 1-го і 2-го порядків;
- розробці та експериментальній апробації поляризаційно-інтерференційного методу диференціального Мюллер-матричного картографування з алгоритмічним відтворенням фазових мап середніх значень і флуктуацій параметрів лінійного і циркулярного двопронезаломлення та дихроїзму;
- визначенні фізичних взаємозв'язків між структурними та патологічними змінами біологічних тканин і статистичними моментами 1-4-го порядків;
- оцінці діагностичних можливостей статистичного і вейвлет аналізу у детектуванні передракового стану тканини ендометрія.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.

У дисертаційному дослідженні дисертантом було розроблено та отримано такі нові і важливі результати:

1. Запропоновано новий підхід щодо модельного Мюллер-матричного описання сукупності фізичних механізмів лінійного і циркулярного двопротенезаломлення і дихроїзму шляхом застосування диференціального матричного представлення поляризаційної і деполаризаційної складових матриці Мюллера оптично анізотропної архітектоніки шару м'якої матерії.
2. Визначено аналітичні алгоритми реконструкції координатних розподілів середніх значень і флуктуацій величини параметрів фазової та амплітудної анізотропії полікристалічної архітектоніки біологічних тканин за відтвореними поляризаційно-інтерференційними мапами парціальних елементів диференціальних матриць 1-го і 2-го порядків.
3. На основі розробленої моделі диференціального Мюллер-матричного розкладу визначена сукупність нових статистичних і вейвлет фізичних взаємозв'язків між структурними (фібрилярна тканина нирки і паренхіматозна легенева тканина) і патологічними (доброякісна кіста яєчника і передраковий ендометріоз) морфологічними трансформаціями і статистичними моментами 1-4-го порядків.
4. Статистичний аналіз мап парціальних елементів диференціальних матриць 1-го порядку гістологічних зрізів фібрилярної і паренхіматозної біологічних тканин виявив, що по мірі фазового досягнення умов оптично тонкого недеполаризуючого шару поляризаційні прояви структурної анізотропії стають співрозмірними з розподілами параметрів хіральної анізотропії.
5. У рамках вейвлет аналізу мап середніх значень лінійного і циркулярного двопротенезаломлення та дихроїзму полікристалічної архітектоніки нативних гістологічних зрізів нирки і легеневої тканини визначено відмінність від нуля статистичних моментів 1-го і 2-го порядків, які характеризують середнє і дисперсію розподілів амплітуди вейвлет-коефіцієнтів.

6. Розглянуто ефективність та визначена точність диференціальної діагностики доброякісних і передракових станів тканини ендометрія з використанням статистичного аналізу алгоритмічно відтворених мап середніх значень параметрів лінійного і циркулярного двопронезаломлення і дихроїзму:

$A_c(LB) = 100\%$ – відмінний рівень; $A_c(LD) = 94,7\%$ – відмінний рівень;

$A_c(CB) = 89,5\%$ – дуже хороший рівень; $A_c(CD) = 84,2\%$ – хороший рівень.

Дисертант брав активну участь на всіх етапах дослідження нових задач і розробки методів. Він провів детальний аналіз отриманих результатів і сформулював висновки для кожного розділу дисертації.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

У процесі підготовки дисертації Мікірін І. С. провів ґрунтовний аналіз значного обсягу фахової літератури. До опрацьованих матеріалів увійшли статті, опубліковані у високореєтингових журналах, а також наукові монографії, перелік яких наведено у списку використаних джерел.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується використанням перевірених теоретичних методів для розв'язання рівнянь поляризаційної оптики, зокрема диференціального матричного підходу та поляризаційно-інтерференційного методу. Додаткове підтвердження забезпечує їх узгодженість із результатами інших дослідників, а також задовільна збіжність у граничних випадках із відомими розв'язками аналогічних задач.

Дисертація містить анотації двома мовами, перелік умовних позначень, вступ, п'ять розділів, основні висновки, список використаних джерел та додаток із переліком публікацій автора за темою дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота є самостійною науковою працею. Висновки, рекомендації та пропозиції, що характеризують наукову новизну дослідження, сформовані автором дисертації.

Наукові публікації (19 статей у виданнях, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus, серед яких є видання квартиля Q2) відображають основну проблематику та ключові положення дисертаційного дослідження. Апробація основних результатів роботи здійснювалася шляхом доповідей на наукових конференціях.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувача та рівень його обізнаності з результатами наукових досліджень інших науковців високий.

Це видно як з великої кількості використаних для огляду наукових джерел, так і з доповіді матеріалів дисертації.

Особистий внесок здобувача у вирішення конкретного наукового завдання є значним. Зокрема:

- дисертант активно долучався до обговорення постановки задачі, формулювання мети дослідження, вибору методів аналізу, а також до підготовки матеріалів для публікації у наукових журналах та представляв отримані результати у вигляді доповідей на наукових конференціях;
- здійснював програмну реалізацію алгоритмів диференціального Мюллер-матричного картографування, алгоритмів цифрової голографії, поляризаційно-інтерференційного аналізу та обробку отриманих результатів;
- виконав статистичний і вейвлет аналіз мап оптичної анізотропії полікристалічних архітектонік нативних гістологічних зрізів біологічних тканин та провів оцінку діагностичної точності розроблених методів.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Дисертаційна робота має важливе наукове значення, оскільки вона розширює уявлення про поляризаційно-кореляційні властивості матриць Мюллера полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії та можливості їх застосування для медичної діагностики.

Розуміння фізичних механізмів лінійного і циркулярного двопронезаломлення та дихроїзму у полікристалічних архітектоніках біологічних тканин дозволяє розробляти нові діагностичні методи для виявлення патологічних станів тканин жіночої репродуктивної сфери, зокрема передракових станів ендометрія.

Отримані результати щодо рівнів збалансованої точності диференціальної діагностики (до 100% для лінійного двопронезаломлення) мають безпосереднє практичне значення для клінічної медицини та можуть бути використані при створенні нових оптичних діагностичних систем.

7. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.

Особистий внесок здобувача в публікації такий, який вказаний у пункті 5 цього висновку.

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи Turnitin Similarity показав 8% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи викладені у 19 публікаціях, серед яких 19 праць опубліковано у наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus. Кілька статей опубліковані у виданнях, віднесених до другого квартиля (Q2).

Наукові статті, опубліковані у виданнях, проіндексованих у наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection

1. Dubolazov A., Ushenko A., Panko I., Skliarchuk V., Struk Y., Mikirin I., Zheng J., Tymchuk V. Polarization-holographic phasometry of the layered vector structure of laser object fields of soft matter polycrystalline layers. Proceedings of SPIE. 2024. Vol. 12938. Art. no. 1293820. (Scopus) <https://doi.org/10.1117/12.3014689>

2. Padure A., Bakun O., Mikirin I. et al. Differential Mueller-matrix mapping of the polycrystalline component of biological tissues of human organs. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2024. Vol. 14, No. 4. P. 23–27. (Scopus) <https://doi.org/10.35784/iapgos.6211>
3. Ushenko A., Pavlyukovich N., Khukhlina O. et al. Layer-by-layer multifractal scanning of optically anisotropic architectonics of blood plasma films. *Photonics*. 2025. Vol. 12, No. 3. Art. no. 215. (Scopus, Q2)
4. Ushenko O., Bilookyi O., Ushenko Y. et al. 3D polarimetry of laser induced speckle fields for phase detection thyroid gland polycrystalline structure. *Proceedings of SPIE*. 2024. Vol. 13400. Art. no. 1340006. (Scopus) <https://doi.org/10.1117/12.3054868>
5. Ushenko Y., Dvorzhak V., Dubolazov O., Ushenko O., Mikirin I., Hu Z. Analytical and Computer Polarization-Correlation Processing of Brest Tumors' Laser Fields for Cancer Detection. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 2023. Vol. 15, No. 6. P. 41–53. (Scopus) <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2023.06.04>
6. Ushenko Y., Trifonyuk L., Soltys I. et al. Polarization methods and matrix interference systems for diagnosing the polycrystalline structure of soft matter layers. *Proceedings of SPIE*. 2023. Vol. 12985. Art. no. 129850P. (Scopus) <https://doi.org/10.1117/12.3022752>
7. Ushenko Y., Ushenko A., Dubolazov A. et al. Phase waves of local depolarization in biological tissues object speckle fields. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2025. Art. no. 2550009. (Scopus, Q2) <https://doi.org/10.1142/S1793545825500099>
8. Wójcik W., Hu Z., Ushenko Y. et al. Optical sensor system for 3D Jones matrix reconstruction of optical anisotropy maps of self-assembled polycrystalline soft matter films. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 5. Art. no. 1589. (Scopus, Q2) <https://doi.org/10.3390/s24051589>

9. Ushenko O., Ushenko Y., Bilookyi O. et al. Polarization-interference Jones matrix sensors of layer-by-layer scanning of polycrystalline dehydrated blood films. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 20. Art. no. 6262. (Scopus, Q2) <https://doi.org/10.3390/s25206262>
10. Ushenko A., Zheng J., Gorsky M. et al. 3D digital holographic polarimetry of diffuse optically anisotropic biological tissue object fields. *Frontiers in Physics*. 2023. Vol. 11. Art. no. 1288935. (Scopus, Q2) <https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1288935>
11. Ushenko Ya.A., Hu Z., Bezhenar I.L. et al. Study of the evolution of phase images of the skin for differentiation of the lifetime and post-mortal skin abrasions. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. 2023. P. 77–93. (Scopus) https://doi.org/10.1007/978-981-99-1734-1_5
12. Ushenko O., Bilookyi O., Zheng J. et al. 3D digital holographic polarimetry of laser speckle fields formed by polycrystalline blood films. *Frontiers in Physics*. 2024. Vol. 12. Art. no. 1426469. (Scopus, Q2) <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1426469>
13. Ushenko O., Mikirin I., Zheng J. et al. Economic prospects of implementation 3D digital polarimetry of diffuse biological tissues objects. *Proceedings of SPIE – Seventeenth International Conference on Correlation Optics*. 2025. Vol. 13813. Art. no. 1381337. (Scopus) <https://doi.org/10.1117/12.3093288>

8. Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:

Апробація основних результатів дисертаційного дослідження здійснювалася шляхом доповідей на міжнародних наукових конференціях The 16th international conference "Correlation Optics 2023" (м. Чернівці, 2023), The 17th international conference "Correlation Optics 2025" (м. Чернівці, 2025).

9. Оцінка мови і стилю дисертації.

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до праць такого рівня.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія» галузі знань 10 Природничі науки, спеціальності 104 Фізика та астрономія.

11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

12. Рекомендації дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Мікіріна Івана Сергійовича «Поляризаційно-кореляційні матриці Мюллера полікристалічних мереж об'єктів м'якої матерії», подана на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» за її актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблеми, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ №507 від 03.05.2024 р.).

За результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на засіданні кафедри поліграфічних мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича Протокол №6.2 від «13» березня 2026 року дисертацію Мікіріна Івана

Сергійовича рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Голова засідання,

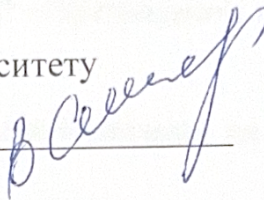
доктор фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри поліграфічних мультимедійних

та оптичних технологій

Чернівецького національного університету

імені Юрія Федьковича



Валерій СКЛЯРЧУК

