

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Горського Михайла Петровича** «Поляризаційно-фазова структурність лазерних об'єктних полів і діагностика оптичної анізотропії полікристалічної складової фазово-неоднорідних шарів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

Дисертаційна робота М. П. Горського присвячена розробці та експериментальному обґрунтуванню комплексу кореляційних і поляризаційно-інтерференційних методик, які формують новий напрямок оптичної діагностики фазово-неоднорідних полікристалічних шарів неорганічного і біологічного походження, а саме багатопараметричну лазерну кореляційну і пошарову Стокс-поляриметрію комплексних амплітуд об'єктних спекл-полів.

Поляризаційні методи дослідження фазово-неоднорідних шарів є ефективними засобами інтроскопії їх внутрішньої структури. Незважаючи на значні успіхи, залишається актуальним завдання їхнього подальшого розвитку та удосконалення. В першу чергу це пов'язано з тим, що результати поляриметричного та Мюллер-матричного картографування є залежними від ступеню деполаризації багаторазово розсіяного лазерного випромінювання. В результаті поляризаційні розподіли інтегрально усереднюються, що спотворює взаємозв'язки між поляризаційно-неоднорідними світловими полями та параметрами полікристалічної архітекtonіки фазово-неоднорідних шарів досліджуваних об'єктів. Тому залишається важливою розробка добре відтворюваних та більш точних методів лазерної поляриметрії.

Перспективним напрямком у вирішенні вказаної проблеми може бути поєднання методів поляризаційного, інтерференційного, фазового і кореляційного картографування лазерних спеклових полів, яке може надати інформацію про морфологію та оптичну анізотропію структур фазово-неоднорідних неорганічних і біологічних шарів на мікро- та макрорівнях. Така інформація може бути використана у численних застосуваннях методів поляризаційної і кореляційної оптики, таких як дифузійна та фотоакустична томографія, флуорометрія, оптична когерентна томографія, фазова і конфокальна мікроскопія. Таким чином, **актуальність дисертаційного дослідження** зумовлена необхідністю розробки нових комплексних підходів до аналізу поляризаційно-неоднорідних лазерних об'єктних полів, розвитку нових методів лазерної корелометрії та поляризаційно-інтерференційних методів фазового сканування полів, цифрового алгоритмічного відтворення

структур з обчисленням сукупності азимутів і еліптичності когерентного випромінювання, перетвореного оптично анізотропними фазово-неоднорідними шарами, а також розробки цифрових критеріїв оцінювання змін архітекtonіки складних структурованих об'єктів.

Метою даної роботи була розробка комплексу діагностичних лазерних методів багатопараметричного кореляційного та поляризаційно-інтерференційного картографування об'єктних полів фазово-неоднорідних шарів для диференціальної діагностики часових і структурних змін оптично анізотропної полікристалічної архітекtonіки шляхом цифрового відтворення і дискретного фазового сканування розподілів комплексних амплітуд, мап азимута і еліптичності поляризації парціальних складових з різною кратністю світлорозсіювання.

Об'єктом даного дисертаційного дослідження є лазерна корелометрія та поляриметрія об'єктних полів неорганічних і біологічних фазово-неоднорідних шарів, кореляційний і Стокс-поляриметричний опис розсіювання лазерного випромінювання фазово-неоднорідними шарами.

Предметом дослідження є лазерні спекл-поля, сформовані фазово-неоднорідними неорганічними і біологічними шарами, відповідні кореляційні функції інтенсивності, мапи азимута і еліптичності поляризації біологічних тканин, поляризаційно-інтерференційні зображення оптично-анізотропних біологічних шарів, взаємозв'язки між набором об'єктивних статистичних, кореляційних і вейвлет параметрів, що характеризують розподіли значень інтегральних, поляризаційних та вейвлет мап, з характеристиками розподілів параметрів фазової та амплітудної анізотропії складних, зокрема біологічних, шарів.

Дана робота виконувалася в рамках планів науково-дослідних робіт кафедри оптики і видавничо - поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

За об'ємом та структурою текст роботи відповідає основним вимогам до докторських дисертацій. Робота складається із вступу, шести розділів, переліку результатів і висновків, додатків, та списку цитованої літератури. Обсяг дисертації складає 293 сторінки машинописного тексту, містить 156 ілюстрацій та 299 найменувань цитованої літератури.

У вступі сформульовано обґрунтування доцільності виконання досліджень та актуальності роботи, мета та основні задачі, наукову новизну роботи та практичну значущість отриманих результатів, а також наведено відомості про апробацію та особистий внесок автора.

В першому розділі дисертації розглянуто сукупність методів і принципів лазерного кореляційного аналізу спекл-полів та поляризаційного Мюллер-

матричного картографування полікристалічної складової фазово-неоднорідних шарів. Проілюстровано значну інформативність методик аналізу на основі лазерних поляризаційно-кореляційних спекл-полів, та виділено основну проблему, а саме спотворюючий вплив дифузної складової, сформованої багатократними актами взаємодії лазерного випромінювання з оптично анізотропними доменами полікристалічної архітекτονіки, на діагностичні можливості оптичної інтроскопії. Проаналізовано шляхи подальшого вдосконалення методів оптичної діагностики на основі синтезу поляриметрії, інтерферометрії та пошарового цифрового відтворення полів комплексних амплітуд з метою виокремлення однократно розсіяної складової.

У другому розділі дисертації приведено результати розроблення аналітичної моделі фізичних процесів формування поляризаційної структури об'єктного лазерного поля фазово-неоднорідних шарів з оптично анізотропною полікристалічною архітектоною, на прикладі процесів у цементному розчині. Встановлено, що при розсіянні когерентного випромінювання цементом у процесі гідратації виникає неоднорідний розподіл інтенсивності у виді спекл-поля, що визначається довжиною хвилі зонduючого випромінювання і діаметром пучка. Досліджуване розсіяне випромінювання представлено суперпозицією збурень від часткових джерел, амплітуди і фази яких визначають розподіл спеклів у результуючому полі. Продемонстровано, що розроблена комп'ютерна модель гідратації та твердіння цементу задовільно описує його початкову стадію з утворенням гідроксиду кальцію, а також наступний етап - утворення та злиття кристалітів, коли завершується твердіння цементу. Для прогнозування поляризаційної структури об'єктних лазерних полів використано суперпозицію матриць Мюллера для лінійного та циркулярного двоприменезаломлення, та розроблено основні алгоритми відтворення розподілів азимута і еліптичності поляризації полів комплексних амплітуд і їх пошарового фазового сканування.

У третьому розділі дисертації викладено результати експериментальної апробації методу Стокс-поляриметричного картографування азимутів поляризації мікроскопічних зображень оптично тонких і частково деполіризуючих гістологічних зрізів біологічних тканин з різною полікристалічною будовою. Встановлено індивідуальну структурованість Стокс-поляриметричних мап азимутів поляризації серії мікроскопічних зображень та асиметрію гістограм розподілів випадкових значень поляризаційних параметрів. Для результатів фазового сканування встановлено зростання діапазонів зміни всіх статистичних моментів, які характеризують поляризаційно-фазові розподіли азимута поляризації

мікроскопічних зображень оптично анізотропних біологічних шарів.

В четвертому розділі проведено експериментальну апробацію вектор-параметричного методу фазометрії розподілів величини еліптичності мікроскопічних зображень оптично тонких і частково деполаризуючих біологічних шарів -- гістологічних зрізів фібрилярного міокарда і паренхіматозної печінки. Встановлено наявність індивідуальної координатної та статистичної структури Стокс-поляриметричних мап еліптичності поляризації мікроскопічних зображень, які характеризуються асиметричними за розташуванням екстремумів та діапазонами зміни випадкових значень еліптичності гістограмами. Проведено експериментальну апробацію поляризаційно-інтерференційного методу з фазовим скануванням алгоритмічно відтвореного поля комплексних амплітуд і обчисленням серії мап еліптичності для різних фазових оптично тонких і частково деполаризуючих гістологічних зрізів біологічних тканин.

У п'ятому розділі дисертації представлено результати діагностичного застосування методів поляризаційного і поляризаційно-інтерференційного картографування азимута і еліптичності полів для диференціальної діагностики патологічних змін біологічних шарів, зокрема для полікристалічної архітекtonіки міокарда та інших органів з патологіями. Для всіх типів патології встановлено індивідуально статистику мап азимута і еліптичності поляризації мікроскопічних зображень, які характеризують гістограми відмінні від нуля. Показано що найбільш чутливими до змін координатної структури мап азимута і еліптичності поляризації мікроскопічних зображень зразків гістологічних зрізів біологічних тканин є статистичні моменти вищих порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілів азимута і еліптичності поляризації у всіх фазових площинах.

Шостий розділ роботи містить результати вейвлет-аналізу поляризаційно-фазових мап азимута і еліптичності поляризації дифузних зображень біологічних тканин з патологіями, представлені у п'ятому розділі. Встановлено мінімальний рівень амплітуди і глибини модуляції вейвлет коефіцієнтів на всіх масштабах мап еліптичності поляризації, а також високі рівні точності диференціальної діагностики злоякісних пухлин простати з середнім і низьким рівнем диференціації.

До **найбільш вагомих результатів** дисертаційної роботи, на мою думку, можна віднести наступні:

1. Вперше встановлено можливість виділення основних етапів процесу формування полікристалічних структур шляхом аналізу часових залежностей дисперсії флуктуацій інтенсивності розсіяного когерентного

випромінювання, які обумовлюються зміною в часі розмірів розсіюючих частинок та їх показників заломлення, обумовлених утворенням насиченого розчину кристалогідратів та подальшою кристалізацією.

2. У рамках Стокс-поляриметричного підходу до аналізу полікристалічної структури біологічних шарів розроблено модель формування поляризаційної структурності лазерних об'єктних полів і визначені взаємозв'язки між розподілами азимута і еліптичності поляризації та лінійним і циркулярним двоприменезаломленням оптично анізотропних молекулярних комплексів і фібрилярних мереж.

3. Розроблено і вперше проведено експериментальну апробацію поляризаційно-інтерференційного методу алгоритмічного відтворення і фазового сканування поля комплексних амплітуд з обчисленням мап азимутів і еліптичності поляризації у різних фазових вибірках мікроскопічних зображень оптично тонких і оптично товстих гістологічних зрізів біологічних тканин.

4. Вперше отримані та інтерпретовані експериментальні результати діагностичного застосування методів вектор-параметричного поляризаційного і поляризаційно-інтерференційного картографування з цифровим алгоритмічним відтворенням комплексних амплітуд для поляризаційних мап біологічних шарів для диференціальної діагностики некротичних і патологічних змін оптично анізотропної полікристалічної складової біологічних тканин органів людини.

Підсумовуючи вищесказане, можна констатувати, що дисертантом отримано цілу низку нових і цікавих результатів, наукова новизна і достовірність яких не викликає сумніву.

Отримані в процесі виконання дисертаційної роботи М.П. Горським результати мають також важливе **практичне значення**, зокрема можна виділити наступні:

1. Широкі можливості практичного використання визначених взаємозв'язків між пошаровими розподілами лінійного та циркулярного двоприменезаломлення полікристалічної архітекtonіки біологічних шарів, які характеризують поляризаційні мапи азимута і еліптичності поляризації зразків гістологічних зрізів біологічних тканин різної морфологічної будови та фізіологічного стану.

2. Формування нових систем лазерної корелометрії та інтерференційної Стокс-поляриметрії неруйнуючої та неінвазивної діагностики з використанням принципів поляризаційної та кореляційної оптики для подальшого використання у різних галузях - біології, екології, медицини, а також мікро- та наноелектроніці, оптичному, оптико-

електронному та напівпровідниковому приладобудуванні.

3. В рамках статистичного аналізу розроблено цифрові маркери (центральні статистичні моменти різних порядків) і виявлено максимальні рівні точності диференціальної поляризаційної діагностики некротичних і патологічних станів гістологічних зрізів окремих біологічних тканин.

До позитивних якостей роботи слід віднести наявність структурно-логічних схем, наведених для кожного з розділів і відповідно напрямків проведених досліджень, а також високоякісні та інформативні ілюстрації.

Зауваження до дисертації.

1. У якості об'єктів дослідження автором використано різноманітні фазово-неоднорідні неорганічні шари та гістологічні зрізи біологічних тканин органів людини. Однак, у роботі не висвітлюється методологічний опис та обґрунтування їх вибору з фізичної точки зору.

2. У тексті роботи відсутній детальний аналітичний опис взаємозв'язків між матричними елементами, які характеризують оптичну анізотропію полікристалічної складової, та методикою відтворення пошарових координатних розподілів поляризаційних мап азимута і еліптичності об'єктних полів біологічних шарів. Також обмежені дані щодо комп'ютерних програм (пакетів), використаних при обробці даних.

3. На жаль, в роботі немає пояснення фізичних причин виявленої залежності статистичної структури поляризаційних мап азимута і еліптичності від зміни стану поляризації опромінюючого лазерного пучка.

4. В дисертаційній роботі зустрічаються не зовсім вдалі скорочення, орфографічні та пунктуаційні помилки, окремі неточності; також певною особливістю стилістики тексту є значна кількість складних фразеологічних конструкцій, почасти перевантажених специфічною термінологією.

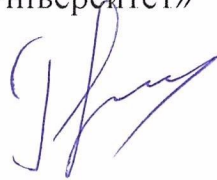
Водночас є очевидним, що ці зауваження не мають принципового характеру, і не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи.

Автореферат повною мірою відображає матеріал, викладений в тексті дисертації. Основні результати дисертації опубліковані у високореєтингових фахових міжнародних та вітчизняних наукових журналах, та були представлені на багатьох наукових конференціях. На нові методи лазерної корелометрії та інтерференційної Стокс-поляриметрії отримано чотири патенти. Достовірність отриманих в дисертації результатів забезпечена використанням сучасних експериментальних методів дослідження, несуперечністю отриманих результатів, що відповідають сучасним уявленням з даної області науки, і підтверджуються аналізом наявних

літературних джерел. Зроблені в роботі висновки логічно впливають з викладеного в дисертації матеріалу.

Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом, науковою новизною, практичною цінністю отриманих результатів і висновків, дисертаційна робота Горського Михайла Петровича «Поляризаційно-фазова структурність лазерних об'єктних полів і діагностика оптичної анізотропії полікристалічної складової фазово-неоднорідних шарів» відповідає усім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Професор кафедри фізики напівпровідників
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
доктор фіз.-мат. наук, професор



Олександр ГРАБАР

Підпис О.О. Грабара засвідчую
вчений секретар ДВНЗ «УжНУ»



Олена МЕЛЬНИК