

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Дуболазова Олександра Володимировича  
«Багатофункціональна Стокс-корелометрія поляризаційно-неоднорідних  
об'єктних полів оптично-анізотропних біологічних шарів»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних  
наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

Дисертаційна робота О. В. Дуболазова присвячена розробці поляризаційних, кореляційних, інтерференційних і цифрових голографічних методів, які в сукупності формують новий напрямок біомедичної діагностики - стокс-корелометрію поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів біологічних шарів різної морфологічної будови та фізіологічного стану.

В останні роки інтенсивно розвиваються різноманітні оптичні методи діагностики біологічних об'єктів. Це обумовлено високою їх інформативністю, в першу чергу завдяки широким можливостям багатофункціонального аналізу, який включає фотометричні, спектральні, поляризаційні експериментальні методи та їх комбінації, а також кореляційного аналізу оптичних даних. Оскільки більшість біологічних тканин характеризується лінійним та циркулярним двопроменезаломленням, яке обумовлене просторово впорядкованою фібрилярною структурою оптично активних протеїнових молекул, поширеним інструментарієм дослідження оптичної анізотропії є оптична поляриметрія мікроскопічних зображень біологічних тканин. При цьому для визначення об'єктивних параметрів, які характеризують зміни оптичної анізотропії, застосовувався комплексний статистичний, кореляційний та фрактальний аналіз поляризаційних мап мікроскопічних зображень біологічних шарів. Розвитком та узагальненням методів поляриметричного картографування є кореляційний підхід до аналізу координатних розподілів значень азимутів та еліптичності поляризації світлових полів, і на цій основі розроблено азимутально-незалежні експериментальні методики прямого аналізу оптичної анізотропії біологічних шарів. Разом з тим, морфологічна, а відповідно і полікристалічна структура зразків реальних біологічних тканин має складну просторово-орієнтаційну організацію. Тому важливим завданням є подальша розробка нових технік поляриметричної об'ємної діагностики полікристалічних мереж дифузних біологічних тканин та їх аналізу на основі формалізму матриць Мюллера.

Таким чином, **актуальність** даного дисертаційного дослідження зумовлена необхідністю розробки нових комплексних підходів до аналізу поляризаційно-неоднорідних світлових полів, які формуються біологічними тканинами при проходженні чи відбиванні лазерного випромінювання, завданням розвитку нових азимутально-незалежних методів стокс-поляриметрії та поляризаційно-кореляційного картографування полікристалічних біологічних об'єктів.

Метою даної дисертаційної роботи була розробка методів багатофункціональної стокс-корелометрії поляризаційно-неоднорідних полів як

шляхом удосконалення традиційних поляризаційних методик, так і розробки нових поляризаційно-кореляційних, інтерференційних і цифрових голографічних методів, які забезпечують одержання комплексної інформації про дво- та тривимірні розподіли поляризаційних і фазових параметрів світлових полів, перетворених полікристалічними біологічними шарами різної морфологічної будови та фізіологічного стану.

**Об'єктом** дослідження були лазерна поляриметрія та корелометрія мікроскопічних зображень гістологічних зрізів біологічних тканин і полікристалічних плівок біологічних рідин. **Предметом** дослідження були мапи модуля і фази двохточкових параметрів вектора Стокса; мапи локального контрасту; пошарові поляризаційно-кореляційні мапи модуля і фази двохточкових параметрів вектора Стокса; операційні характеристики та інформативність поляризаційних, поляризаційно-кореляційних та цифрових голографічних методів.

Слід відзначити, що дана робота виконувалася в рамках семи затверджених тем науково-дослідних робіт кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

**У першому розділі** дисертації (оглядовому) розглянуто сукупність методів і принципів одноточкової поляризаційної, Стокс-поляриметричної та Мюллер-матричної мікроскопії полікристалічної структури оптично анізотропних біологічних шарів. Зроблено висновок про необхідність розроблення нових азимутально-інваріантних методик Стокс-поляриметрії, які базуються на принципах кореляційного аналізу поляризаційно-неоднорідних зображень біологічних об'єктів. Проведений огляд можливостей розроблення нових методів Стокс-корелометрії на основі синтезу методів поляриметрії, інтерферометрії та цифрового голографічного відтворення полів комплексних амплітуд у різних фазових площинах.

**Другий розділ** дисертації присвячено узагальненню та обґрунтуванню сукупності одно- та двоточкових поляризаційних і кореляційних параметрів полів лазерного випромінювання, перетвореного оптично-анізотропними біологічними шарами. Проведено аналіз методів аналізу і експериментальних засобів одноточкової поляризаційної та поляризаційно-інтерференційної Стокс-корелометрії. Проведено аналіз методів і засобів двоточкової поляризаційної та поляризаційно-інтерференційної Стокс-корелометрії. Проаналізовані аналітичні та інформаційні підходи до аналізу сукупності експериментальних результатів.

**У третьому розділі** дисертації проведено комп'ютерне моделювання процесів формування модуля і фази об'єктних полів одношарових і двошарових сіток двопротенезаломлюючих циліндрів. Методом Стокс-корелометричного картографування виявлено та проаналізовано в межах статистичного аналізу фізичні процеси зміни оптичної анізотропії, тобто розподіли напрямів оптичних осей і фазова модуляція, для випадку зразків біологічних структурованих тканин внутрішніх органів тварин, що обумовлені

системною патологією. На цій основі методом Стокс-корелометричного картографування реалізовано диференціацію змін оптичної анізотропії таких зразків з хорошою збалансованою точністю, яка на 20%-30% вища за точність методів прямого поляризаційного картографування. Також апробовано Стокс-корелометричну методику в диференціації слабких змін оптичної анізотропії полікристалічних плівок плазми крові здорових донорів і хворих на рак простати. Виявлено, що у випадку слабких змін оптичної анізотропії методи Стокс-корелометрії залишаються більш чутливими (на 10%-20%) у порівнянні із методами поляризаційного картографування.

**В четвертому розділі** виявлено взаємозв'язки між поляризаційною (розподіли параметрів вектора Стокса, азимута та еліптичності поляризації) та інтерференційною (розподіли величини локального контрасту) структурою об'єктного поля в площині мікроскопічних зображень гістологічних зрізів біологічних тканин з різною архітектурою оптично-анізотропної складової. Апробовано поляризаційно-інтерференційну методику в диференціації слабких змін оптичної анізотропії полікристалічних плівок синовіальної рідини колінного суглоба людини з різною післяопераційною патологією. Встановлені найбільш чутливі параметри (статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, кореляційний момент 4-го порядку) до зміни структури розподілів величини локального контрасту інтерференційних картин в площині мікроскопічних зображень плівок синовіальної рідини обох типів та досягнуто задовільної точності. Визначено ефективність у диференціації слабких фазових змін масштабного-селективного вейвлет-аналізу мап локального контрасту інтерференційних розподілів мікроскопічних зображень полікристалічних плівок біологічних рідин і установлені взаємозв'язки між статистичними моментами 1-го – 4-го порядків, які характеризують лінійні залежності амплітуди вейвлет-коефіцієнтів на різних масштабах.

**У п'ятому розділі** експериментально апробовано метод 3D Стокс-поляриметрії поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів плівок біологічних рідин. Розглянуто ефективність методу тривимірного поляризаційного картографування полікристалічних мереж у диференціації оптично-анізотропних плівок препаратів з сечі здорових донорів і хворих на альбумінурію. Здійснено диференціацію оптичних проявів структури біохімічних кристалів здорових донорів і пацієнтів хворих на альбумінурію. Досліджено додаткові можливості розширення функціональних можливостей та підвищення чутливості методу 3D поляризаційного картографування полікристалічних мереж з використанням техніки просторово-частотної фільтрації на основі прямого та зворотного перетворення Фур'є для об'єктних полів плівок біологічних рідин органів людини. Реалізовано масштабного-селективну диференціацію велико- і дрібномасштабних складових мап еліптичності поляризації в пошарових фазових перерізах об'єктного поля полікристалічних зразків сечі.

**Шостий розділ** роботи містить результати виявлення та аналізу взаємозв'язків між 3D розподілами параметрів оптичної анізотропії

полікристалічних мереж плівок біологічних рідин різного біохімічного складу та пошаровими фазовими перерізами об'ємних розподілів величини модуля і фази параметрів двоточкового вектора Стокса мікроскопічного зображення. У межах статистичного підходу із використанням масштабно-селективного вейвлет-аналізу визначено величини та діапазони зміни статистичних 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли значень модуля та фази параметрів вектора Стокса лазерного випромінювання, перетвореного дендритними та сферолітними полікристалічними мережами плівок біологічних рідин у різних фазових перерізах об'єктного поля, а також сукупності значень амплітуд вейвлет-коефіцієнтів для різних масштабів геометричних розмірів мап модуля і фази ступеня кореляції параметрів вектора Стокса. На цій основі обґрунтовано та експериментально визначено ефективність методу 3D Стокс-корелометричного картографування полікристалічних мереж у диференціації оптично-анізотропних препаратів сечі здорових донорів і хворих на альбумінурію.

До **найбільш важливих результатів** дисертаційної роботи, на мою думку, слід віднести наступні.

1. Вперше методом Стокс-корелометричного картографування виявлено та проаналізовано фізичні процеси зміни оптичної анізотропії зразків біологічних структурованих і паренхіматозних тканин внутрішніх органів пацюка, що обумовлені системною патологією (діабет). На цій основі реалізовано диференціацію змін оптичної анізотропії з високою точністю, яка на перевищує точність методів прямого поляризаційного картографування.

2. Вперше розроблено та експериментально апробовано поляризаційно-інтерференційну методику в диференціації слабких змін оптичної анізотропії полікристалічних плівок синовіальної рідини колінного суглоба людини. Установлені найбільш чутливі параметри, а саме статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, кореляційний момент 4-го порядку, до зміни структури розподілів величини локального контрасту інтерференційних картин в площині мікроскопічних зображень плівок синовіальної рідини обох типів.

3. Встановлено ефективність методу 3D поляризаційного картографування полікристалічних мереж у диференціації оптично-анізотропних плівок сечі здорових донорів і хворих на альбумінурію та виявлено найбільш чутливі до змін оптичної анізотропії фазові перерізи розподілів еліптичності поляризації, а також статистичні і кореляційні параметри, що їх характеризують. На цій основі здійснено диференціацію оптичних проявів структури біохімічних кристалів здорових донорів і пацієнтів хворих на альбумінурію.

Отримані в процесі виконання дисертаційної роботи О.В. Дуболазовим результати мають і важливе **практичне значення, в першу чергу** для розвитку нових перспективних неінвазивних методів біомедичної діагностики. Серед таких найважливіших результатів можна виділити наступні.

1. Можливість практичного використання взаємозв'язку між розподілами параметрів оптичної анізотропії біологічних шарів та статистичними,

кореляційними і фрактальними параметрами, які характеризують поляризаційно-кореляційні та поляризаційно-інтерференційні мапи зразків біологічних тканин і плівок біологічних рідин органів людини різної морфологічної будови та фізіологічного стану.

2. Формування нових систем поляризаційної Стокс-корелометрії та засобів неінвазивної діагностики з використанням принципів поляризаційної та кореляційної оптики, масштабно-селективної диференціації поляризаційно-неоднорідних полів у різноманітних галузях біології, екології, медицини, а також мікро- та наноелектроніці, оптичному, оптико-електронному та напівпровідниковому приладобудуванні.

3. Розроблення і апробація комплексу новітніх методів 3D поляризаційної корелометрії з цифровим голографічним відтворенням пошарових розподілів ступеня кореляції модуля і фази параметрів вектора Стокса поляризаційно-неоднорідних зображень плівок біологічних рідин з різною просторовою симетрією полікристалічних мереж органів людини.

4. Порівняльне дослідження інформативності методів багатофункціональної поляризаційної, поляризаційно-кореляційної мікроскопії, а також 3D Стокс-корелометрії у діагностиці змін фазової анізотропії полікристалічних мереж біологічних шарів.

Підсумовуючи вищесказане, можна констатувати що особливість даної роботи полягає в тому, що вона поєднує нові підходи до аналізу оптичних властивостей неоднорідних об'єктів з чіткою практичною спрямованістю на актуальні задачі біомедичної діагностики. При її виконанні дисертантом отримано цілу низку нових і важливих результатів, **наукова новизна і достовірність** яких не викликає сумніву.

До дисертаційної роботи можна зробити наступні **зауваження**.

1. Автором в якості об'єктів дослідження використано різноманітні шари біологічних тканин і рідин органів тварин та людини, з метою їх використання, у перспективі, для задач медичної діагностики. Однак при цьому відсутній методологічний опис та обґрунтування їх вибору з фізичної точки зору.

2. У дисертації відсутній детальний опис аналітичного підходу до методики пошарової реконструкції координатних розподілів поляризаційних і поляризаційно-кореляційних параметрів об'єктних полів оптично анізотропних біологічних шарів.

3. Автором використовується статистичне порівняння масивів значень центральних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли модуля і фази двоточкових параметрів вектора Стокса. Разом з тим, точність такої диференціації визначається репрезентативністю вибірки – кількістю досліджених зразків, і в дисертації відсутні такі дані.

5. Дисертаційна робота написана хорошою науковою мовою, проте є зауваження до оформлення, а саме: зустрічаються не зовсім вдалі скорочення, орфографічні помилки та неточності. Окремі аббревіатури використовуються в тексті раніше ніж їх розшифрування. Більшість рисунків розділу 3 дуже малі, занадто дрібними шрифтами у підписах.

Звичайно ж, ці зауваження не мають принципового характеру, не стосуються наукового доробку автора, і не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи.

Автореферат в повній мірі відображає матеріал, викладений в дисертації. Основні результати дисертації опубліковані у рейтингових фахових міжнародних та вітчизняних наукових журналах та широко представлені на наукових конференціях. За результатами роботи отримано сім патентів. Достовірність отриманих в дисертації результатів забезпечувалась використанням сучасних експериментальних методів дослідження та математичної обробки з використанням сучасної техніки, а також несуперечністю отриманих результатів з опублікованими у світовій науковій періодиці даними. 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 Дуболазова Олександра Володимировича «Багатофункціональна Стокс-корелометрія поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів оптично-анізотропних біологічних шарів» відповідає усім вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій, а її автор Дуболазов Олександр Володимирович повністю заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Професор кафедри фізики напівпровідників  
Ужгородського національного університету,  
завідувач відділу НДІ фізики і хімії твердого тіла УжНУ,  
доктор фіз.-мат. наук, професор

  
О. О. Грабар

Підпис О. О. Грабара підтверджую:  
Вчений секретар УжНУ



  
О. О. Мельник