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»

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

Дисертація присвячена розробці новітніх інформаційно-діагностичних методів, які ґрунтуються на поляриметрії фазово-неоднорідних об'єктних полів, шляхом удосконалення традиційних та розробки нових кореляційних, поляризаційно-інтерференційних і Фур'є методів пошарового детектування оптичних полів, які забезпечують одержання важливої інформації про 2D і 3D розподіли поляризаційних і фазових параметрів неоднорідних полікристалічних неорганічних і біологічних шарів різної морфологічної будови та фізіологічного стану.

Актуальність роботи полягає в подальшому розвитку сукупності методів поляриметрії, пов'язаних зі створенням систем та методів одержання 2D і 3D інформації про об'ємну структуру досліджуваних біологічних та неорганічних об'єктів. Це знаменує собою неухильний прогрес потужної школи біомедичної оптики, яка була створена і плідно працює в Чернівецькому університеті імені Юрія Федьковича.

Неруйнівні та неінвазивні методи дистанційної оптичної діагностики та візуалізації структури полікристалічних об'єктів є затребуваними в наш час завдяки їхній багатофункціональності, яка ґрунтується на високому рівні інформативності та можливості багатопараметричного (фотометричного, спектрального, поляризаційного та кореляційного) моніторингу досліджуваного середовища. На цих фундаментальних і алгоритмічних засадах розроблено і широко застосовується комплекс систем лазерної корелометрії, поляризаційної Джонс- і Мюллер-матричної діагностики оптично анізотропної складової фазово-неоднорідних неорганічних шарів і біологічних об'єктів.

Розширенням функціональних можливостей зазначених технік лазерної кореляційної і поляризаційної діагностики стали цифрові методи статистичної,

кореляційної, фрактальної обробки даних – розподілів інтенсивності, станів поляризації об’єктних спекл-полів.

Разом з тим, основним інформаційним недоліком кореляційних і поляриметричних методів виявилася погана відтворюваність експериментальних даних, отриманих від складних неоднорідних середовищ, пов’язана з багатократним розсіянням, що приводить до сильної деполяризації світла.

Одним із шляхів розв’язання даної проблеми стала розробка методів аналізу поляризаційно-інтерференційних дифузних спекл полів фазово-неоднорідних шарів. Разом з тим, недостатньо вивченим залишається вплив на поляризаційно-фазову структуру розсіяного випромінювання полікристалічної будови реальних неорганічних і біологічних шарів. Тому актуальною є розробка алгоритмів та інструментальної реалізації новітніх технік лазерної поляризаційно-фазової діагностики полікристалічних середовищ у 3D форматі. Слід очікувати, що синтез методів корелометрії, поляриметрії та інтерферометрії з цифровим відтворенням пошарових мап комплексних амплітуд об’єктного поля повинен дати нову інформацію про полікристалічну структуру фазово-неоднорідних шарів неорганічного і біологічного походження.

Таким чином, актуальність дисертаційного дослідження М. П. Горського зумовлена необхідністю реалізації новітніх підходів до розробки комплексних методів аналізу поляризаційно-неоднорідних лазерних об’єктних полів, пошуку нових методів лазерної корелометрії об’єктів та поляризаційно-інтерференційних методів реконструкції анізотропних параметрів оптично неоднорідних шарів різної природи.

Актуальність дисертаційного дослідження підтверджується його зв’язком з науковими програмами, планами, темами науково-дослідних робіт кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Обґрунтованість і достовірність результатів, викладених у дисертаційній роботі, забезпечується використанням комплексу апробованих сучасних взаємодоповнювальних методів дослідження фазової та поляризаційної структури лазерних спекл-полів: лазерна корелометрія, Стокс-поляриметрія, поляризаційна інтерферометрія і цифрова голографія.

Високий та надійний рівень обґрунтованості наукових положень, результатів та висновків, сформульованих у дисертації, забезпечений:

- професійним підходом автора до вирішення актуальних наукових завдань, та відповідністю структурно-логічної схеми дисертаційного дослідження визначеній фундаментальній меті роботи;
- використанням обширної джерельної бази за темою дисертації і вагомим масивом аналітичних і експериментальних даних (список використаної літератури містить 269 джерел);
- відповідністю предметної спрямованості дисертаційного дослідження паспортові наукової спеціальності 01.04.05 – оптика, лазерна фізика;
- ґрунтовною апробацією отриманих результатів на численних вітчизняних та міжнародних науково-практичних конференціях з достатньо широкою географією.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Дисертант розробив математичну модель опису розсіяння когерентного випромінювання цементним тістом в процесі гідратації. Було показано, що динаміка флуктуацій інтенсивності спекл-поля, утвореного в результаті розсіяння когерентного випромінювання цементним тістом у процесі гідратації, містить інформацію про розчинення цементних мінералів із утворенням вільного гідроокису кальцію та кремнієвої кислоти, утворення зародків кристалів тоберморіту, зрощування цих кристалів та формування цементного каменю.
2. В роботі 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 і їх відносного показника заломлення, що пояснюється утворенням насиченого розчину кристалогідратів з його подальшою кристалізацією.
3. В рамках Стокс-поляриметричного підходу до аналізу полікристалічної структури біологічних шарів було розроблено модель формування поляризаційної структури лазерних об’єктних полів і визначені взаємозв’язки між розподілами азимута і еліптичності поляризації та лінійним і циркулярним двопроменезаломленням оптично анізотропних молекулярних комплексів і фібрилярних мереж.

4. Автор розробив багатоканальний метод 2D-поляризаційної фазометрії розподілів величини азимута і еліптичності мікроскопічних зображень оптично тонких і оптично товстих біологічних фазово-неоднорідних шарів з різною ієрархією полікристалічної структури (гістологічних зрізів тканин міокарда і паренхіми печінки) і здійснив його експериментальну апробацію.
5. Розроблено і проведено експериментальну апробацію поляризаційно-інтерференційного методу алгоритмічного відтворення і фазового сканування об'єктного поля комплексних амплітуд з обчисленням серії мап азимута і еліптичності поляризації у різних фазових вибірках мікроскопічних зображень оптично тонких і оптично товстих гістологічних зрізів біологічних фібрилярних і паренхіматозних біологічних тканин.
6. В роботі представлені та фізично проаналізовані експериментальні результати діагностичного застосування методів поляризаційного і поляризаційно-інтерференційного картографування з цифровою реконструкцією і фазовим скануванням комплексних амплітуд для відтворення поляризаційних мап азимута і еліптичності об'єктного поля біологічних шарів з метою диференціальної діагностики некротичних і патологічних змін оптично анізотропної полікристалічної складової біологічних тканин людини.
7. У рамках статистичного аналізу результатів поляризаційного і поляризаційно-інтерференційного картографування установлені цифрові маркери (центральні статистичні моменти різних порядків) і досягнуто рівня точності диференціальної діагностики некротичних і патологічних станів органів людини (простата, матка, міокард), який відповідає критеріям доказової медицини.
8. Розроблено дизайн та експериментально реалізовано структурно-логічну схему цифрового масштабно селективного вейвлет аналізу поляризаційних мап азимута і еліптичності об'єктного поля біологічних шарів, який уможливлює диференціальну діагностику некротичних і патологічних змін оптично анізотропної полікристалічної складової біологічних тканин органів людини:
   - Міокард – "ішемічна хвороба серця – гостра коронарна недостатність".
   - Легенева тканина – "астма – фіброз".
   - Простата – "злоякісні пухлини (аденокарцинома) з різним (середнім, 3+4 і

низьким 4+4) ступенем диференціації за шкалою Глісона”.

9. Дисертантом визначені та фізично обґрунтовані діагностичні взаємозв’язки між статистичними моментами 1-го – 2-го порядків, які характеризують розподіли величини амплітуди різномасштабних вейвлет коефіцієнтів мап азимута і еліптичності поляризації мікроскопічних зображень біологічних фазово-неоднорідних шарів різної морфологічної будови та патологічного стану. На цій основі визначені діагностичні рівні точності диференціації всіх розглянутих патологічних станів.

Практичне значення роботи. Результати досліджень, проведених в рамках цієї дисертаційної роботи, мають велике практичне значення для створення новітніх технологій біомедичного аналізу складних фізіологічних систем і контролю їхнього функціонування з метою покращення якості життя відповідного організму. Серед результатів, які мають практичне значення, слід відзначити наступні.

1. Розроблена низка аналітичних уявлень (прикладна математична модель розсіяння когерентного випромінювання цементним тістом у процесі гідратації) і експериментальних методів (часовий аналіз флуктуацій розсіяного когерентного випромінювання шляхом корелометрії лазерних спекл полів) діагностики процесів утворення полікристалічних структур під час тужавіння насиченого розчину кристалогідратів із утворенням цементного каменю.
2. У рамках статистичного аналізу розроблено цифрові маркери (центральні статистичні моменти різних порядків) і виявлено наступні максимальні рівні точності диференціальної поляризаційної (мапи азимута і еліптичності поляризації різних фазових вибірок об’єктного поля) діагностики некротичних і патологічних станів гістологічних зрізів біологічних тканин:

   2.1. Міокард “ІХС - ГКН”:

   - Інтегральні мапи еліптичності поляризації – хороший рівень (87,9%).
   - Фазові мапи еліптичності поляризації – хороший (87,5%), дуже хороший (91,7%) і відмінний (95,8%) рівні.

   2.2. Матка “міома - карцинома”:

   - ▻ Інтегральні мапи еліптичності поляризації – хороший рівень (85,7%).
   - ▻ Фазові мапи еліптичності поляризації – хороший (89,2%); і дуже

хороший (91,7% та 92,8%) рівні.

2.3. Простата «3+4» та «4+4» по шкалі Глісона:

- ▻ Інтегральні мапи еліптичності поляризації – задовільний рівень (80,7%).
- ▻ Фазові мапи еліптичності поляризації – задовільний (80,7%) і хороший (88,5%) рівні.

3. Визначена діагностична ефективність вейвлет-аналізу сукупності алгоритмічно відтворених мап азимута і еліптичності поляризації різних фазових вибірок поля комплексних амплітуд біологічних тканин з патологіями:

3.1. Міокард – "ішемічна хвороба серця (ІХС) – гостра коронарна недостатність (ГКН)".

3.2. Легенева тканина – "астма – фіброз".

3.3. Простата – "злоякісні пухлини (аденокарцинома) з різним (середнім, 3+4 і низьким 4+4) ступенем диференціації за шкалою Глісона".

4. У рамках статистичного аналізу визначені діагностичні взаємозв'язки між середнім і дисперсією, які характеризують розподіли амплітуд вейвлет коефіцієнтів мап еліптичності поляризації та виявлені діагностичні рівні диференціації різних патологічних станів біологічних шарів:

4.1. Міокард – "ІХС - ГКН":

- ▻ Для "малих" масштабів - відмінний рівень (95,8% і 100%).
- ▻ Для "великих" масштабів – дуже хороший рівень (91,7%).

4.2. Легенева тканина – "астма – фіброз":

- ▻ Для малих масштабів – дуже хороший (92,3%) і відмінний (100%) рівні.
- ▻ Для великих масштабів – максимальний рівень точності (100%).

4.3. Простата – "злоякісні пухлини (аденокарцинома) з різним (середнім, 3+4 і низьким 4+4) ступенем диференціації за шкалою Глісона":

- ▻ для всіх масштабів – відмінний (96,7%..100%) рівень точності.

Повнота викладу результатів у наукових публікаціях. За темою дисертації було опубліковано 35 статей в міжнародних наукових виданнях, з яких 32 можуть бути зараховані (3 випадки наявності 2 статей в одному номері), 4 патенти України, 5 розділів у 2 монографіях та 11 тез наукових конференцій.

Можна стверджувати, що наукові результати, представлені в дисертаційній роботі, повністю викладені в публікаціях у міжнародних виданнях, що входять до авторитетних наукометричних баз даних.

Текст автореферата повністю відповідає змісту дисертації.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В дисертації недостатньо чітко проаналізована з фізичної точки зору часова залежність кореляційних функцій координатних розподілів величини інтенсивності спекл-поля бетону в процесі його кристалізації.
2. Відомо, що параметри Стокса є дійсними величинами, які мають розмірність інтенсивності світла. Відповідно, в формалізмі Стокса-Мюллера втрачається інформація про фазу світлової хвилі, яка, натомість, присутня у формалізмі Джонса, який спирається на використання амплітуд компонент хвилі. З огляду на це не до кінця зрозумілим є використання в роботі результатів Стокс-поляриметрії для визначення комплексних амплітуд поля світлової хвилі.
3. Відомим фактом є використання в Стокс-поляриметрії сукупності чотирьох параметрів вектора Стокса. Проте, автор без достатньої фізичної аргументації обмежився розглядом лишень мап азимута і еліптичності поляризації. Це потребує пояснення.
4. Мова дисертації є занадто складною. Автор часто використовує надмірно довгі складні речення з не завжди обґрунтованим нагромадженням складених наукових термінів, які нерідко є семантично близькими або надлишковими. Це ускладнює сприйняття матеріалу дисертації.
5. Робота не позбавлена також деяких недоліків представлення матеріалу, наприклад: обсяг анотації недостатній; в тексті присутні порожні та напівпорожні сторінки; у списку літератури деякі публікації зустрічаються двічі під різними номерами, що приводить до плутанини із посиланнями на джерела в тексті; а також зустрічаються граматичні помилки та описки.

Проте зазначенні зауваження не знижують загальної високої оцінки дисертації Михайла Петровича Горського і не ставлять під сумнів достовірність та обґрунтованість висновків та положень, що виносяться на захист.

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

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

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