

на дисертация на тема **“Анализ и моделиране на оптични елементи и системи в лазерната техника и метрологията”** за присъждане на научната степен

“доктор на физическите науки”

Научно направление 4.1 „Физически науки”,

Научна специалност „Физика на вълновите процеси”

Автор на дисертацията: проф. д-р Елена Вадимовна Стойкова от Институт по оптични материали и технологии на БАН

Рецензент: академик Никола Съботинов, Институт по физика на твърдото тяло на БАН

1. Актуалност на проблема

Оптичната метрология бележи голям подем през последните две десетилетия благодарение на интензивното развитие на лазерната техника, оптичните сензори и компютрите. Разработването на лазерни системи с управляеми параметри за целите на дистанционния неразрушаващ контрол и профилометрията, спектроскопията, биомедицинските изследвания, лазерната терапия и измерванията в реално време се превърна във важна задача на информационното общество. Успешното създаване на оптични системи със специфични свойства до голяма степен се дължи на вграждането в тях на уникални интерференчни или дифракционни оптични елементи на базата на задълбоченото им теоретично изследване. Задължителен етап в процеса на разработката са моделирането на работата на системите с отчитане на възможните смущаващи фактори и анализът на тяхната ефективност. Разработването на алгоритми за оптимална цифрова обработка на сигнали и изображения успоредно с осигуряването на специализиран софтуер е основна изследователска задача за много водещи научни звена по света. В този смисъл представеният от Е. Стойкова дисертационен труд напълно отговаря на изискванията за съвременно научно изследване, особено като се вземе предвид неговата подчертано практическа насоченост.

2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал?

Е. Стойкова определено много добре познава научната литература в областта на дисертацията. Във всяка една от главите на дисертацията се прави подробен и компетентен анализ на текущото състояние на разглежданата научна област с включване на източници от последните години с цел въвеждане в дадената тематика, ясно формулиране на целите и очертаване на периметъра на изследванията на автора. Общият брой на цитираните литературни източници е 477, от които 111 са от последните 5, а 273 – от последните 10 години. Трябва да подчертая, че прегледът на литературните източници

в представените 54 публикации на автора по дисертацията, показва, че анализираният в тях от Е. Стойкова литературни данни надвишават по брой включените в дисертацията.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставената цел и задачи на дисертационния труд?

Избраната от Е. Стойкова методика на изследване е в съзвучие със съвременните тенденции, като включва основни компоненти, необходими за проектирането и изграждането на една оптична система: теоретичен анализ, разработване на алгоритми, симулационни експерименти, статистическа оценка на шумовете и неопределеността на измерването, провеждане на тестови експерименти и обработка на експериментални данни. Трябва специално да подчертая богатото програмно обезпечаване на проведените в дисертацията изследвания. Прави добро впечатление използването на възможностите на Монте-Карло моделирането за максимално доближаване на симулациите до реалния експеримент, както и много добрата квалификация на автора в статистическото оценяване и цифрова обработка на изображения. Дисертацията е добре подкрепена с експериментален материал, който напълно потвърждава получените теоретични резултати.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху които се градят приносите на дисертационния труд

Представеният дисертационен труд се състои от 302 страници, които включват съдържание, увод, списък на използваните съкращения, шест глави, основни приноси, списък на авторските публикации и на цитираните литературни източници. В дисертацията са включени 270 фигури и 14 таблици.

Първите две глави от дисертацията са посветени на разработването на теорията на клина на Физо с високо-отразяващи покрития при осветяване със светлинен сноп с пространствено ограничени размери с цел вграждането му като спектрално селективен филтър или ретрорефлектор в пренастройваеми лазерни системи. Възприетият в класическата оптика подход с осветяване с безкрайна плоска вълна не е приложим за осветяване с лазерен сноп, тъй като не дава промяната в профила на интерференчните ивици при отдалечаване от резонансната дължина на вълната. Предложената от Е. Стойкова методика позволява да се направи обобщено аналитично описание на оптичното поведение на интерференчния клин за случаите на положително и отрицателно падане, съдържа като граничен случай осветяването с безкрайна плоска вълна и е в съгласие със закона за запазване на енергията. Е. Стойкова решава поставената задача в пропускане и отражение с помощта на два подхода: 1) чрез сумиране на интерфериращите лъчи, пристигащи в точката на наблюдение; 2) чрез разлагане на падащия върху клина сноп по плоски вълни. Във втория случай за Гаусов сноп се стига до аналитично решение. Разработената теория е приложена за определяне на спектралната и ъглова селективност

на клина, както и за характеризиране на поведението му при различни отразяващи покрития. Допълнително предимство е, че интерференчната картина се пресмята на произволно разстояние от клина. Разработеният алгоритъм дава резултати, които напълно отговарят на експерименталните данни. От особен интерес е доказването на възможността да се използва интерференчен клин с отразяващи покрития с коефициент на отражение над 0.5 за измерване на дължината на вълната на непрекъснати лазери. Такъв клин създава интерференчни ивици с асиметричен профил, но при измерване в равнината на фокусиране на отразения сноп ивиците стават симетрични и се постига точност 5×10^{-6} . Като заслужаващо внимание ще посоча предложеното използване на интерференчен клин с различни отразяващи покрития като куплиращ елемент в пренастройваем лазерен осцилатор-усилвател, за обосноваването на което Е.Стойкова има водещо участие и разработва метод за анализ на фокусиращите свойства на клина. Методиките, разработени от Е. Стойкова, се използват за анализ на приложението на интерференчния клин за двувълнова генерация и за пренастройваемо селектиране на тясна спектрална линия при лазери с широка крива на усилване.

В трета глава е разработена теорията на друг оптичен елемент – синусоидална фазова решетка при осветяване с кохерентна светлина с цел проектиране на контрастни синусоидални ивици, които са на фокус в голяма пространствена област за измерване на профила на обекти. Е.Стойкова дава теоретично описание на синусоидалната фазова решетка в зоната на Френел при осветяване с плоска вълна и разходящ сноп за целите на фазово-отместваща профилометрия на големи триизмерни обекти. Проектирането на ивици с помощта на дифракционна решетка позволява разработването на преносими профилометрични системи. Искам да отбележа пълното потвърждаване на теоретичните зависимости от експеримента, както и доказаното от Е. Стойкова предимство на синусоидалната фазова решетка в близката инфра-червена област в сравнение със синусоидалната амплитудна решетка. Синусоидалната фазова решетка е използвана за осъществяване на проекционно моаре измерване със свръх-бърза камера на процеса на чупене на стъкло със защитно покритие и за разработване на профилометрична фазово-отместваща система в реално време за регистриране на 3D обекти. Приносът на Е.Стойкова в последната разработка е значителен и се изразява в анализ на точността, числено моделиране на действието на системата и разработване на алгоритми за извличане на фазата в условия на шум и спекъл.

В четвърта глава се анализира цифрова холографска микроскопска система за измерване в реално време. От Е.Стойкова е предложен модифициран фазово-стъпков алгоритъм, който позволява цифрово възстановяване на обекта при разлики в предавателните функции на каналите, във фоновия интензитет и контраст на записаните интерференчните картини и несъгласуваност на фронтовете на интерфериращите вълни с отчитане на мултипликативните и адитивните шумове. Специално ще отбележа проведения от Е. Стойкова задълбочен анализ на методите за извличане на фазата и определяне на

триизмерните координати в профилометрията, както и на методите за цифрово генериране и възстановяване на холограми и по-специално на подходите за реализиране на динамичен холографски дисплей и цифрова холографска микроскопия. Разработени са също така три подхода за оптично възстановяване с пространствено-светлинен модулатор на прозрачни микроскопични обекти от следните холографски данни: 1) облак от точки, построени въз основа на записани холограми; 2) фазова холограма на чисто фазов обект с размери 5 μm след корекция с алгоритъма на Герчберг-Сакстън; 3) текстурен обект, гледан през микролееща, възстановена като фазово разпределение от холографски данни.

В пета глава е анализирана чувствителността на Фурие-спектрометър към източниците на шум на базата на Монте-Карло моделиране на измерването на единичен спектър, като е установено, че при флуктуации на отместването на подвижното огледало под 20 nm, точността на възстановяване на спектъра е задоволителна, особено при високочестотни флуктуации. С водещото участие на Е.Стойкова е обоснован теоретично метод за спектрално привързване на лъчението на диоден лазер към атомна линия на поглъщане с използване на модифициран интерферометър на Майкелсън. Приносът на Е.Стойкова се изразява в моделиране на оптичната система и извеждане на условията, при които спектърът на изходното лъчение е привързан към атомната линия на поглъщане и ширината му е от порядъка на използваната линия. Последната част от тази глава е посветена на разработването на холографско-фотоеластична система за определяне на полето на механичните напрежения на образци. Освен разработването на пакет програми за извличане на фотоеластичните параметри, Е.Стойкова е предложила модел на изходния сигнал с отчитане на спекъл-шума чрез пресмятане на комплексната амплитуда на светлинното поле и подход за неговото редуциране.

Последната шеста глава представя резултатите от изследванията в областта на ниско-интензивните лазерни системи за медицински приложения и фотодинамична терапия *in vitro*. Е.Стойкова е доказан специалист по Монте-Карло моделиране, като разработва пакет програми за триизмерно моделиране на депозирането на енергия в нехомогенни тъканни модели и по-конкретно за характеризиране на действието на периодонтална лазерна терапевтична система, дерматологична система за третиране на винени петна и системи за ниско-интензивна лазерна и фотодинамична терапия. Депозирането е изследвано в зависимост от оптичните параметри на тъканите за хомогенни и многослойни тъканни модели. Клетъчните образци за второто изследване са предоставяни от Института по експериментална морфология, патология и антропология с музей. Натрупан е ценен експериментален материал за цитотоксичното въздействие на различни фотосенсибилизатори върху човешки и животински клетки. Особено внимание заслужава изследването, в което чрез моделиране и измерване се характеризира надеждността на оценката на цитотоксичната доза.

5. Научни и научно-приложни приноси

Основните научни и научно-приложни приноси в дисертацията могат да се характеризират като 1) разработване на нови методи, 2) създаване на теории/теоретични модели и 3) получаване на нови факти от значение за изследваната научна област и практиката. По-конкретно са получени следните приноси:

По т.1: разработен е подход за пресмятане на интерференчната картина в отражение и пропускане за клин на Физо при осветяването му под ъгъл, за който многократно отразените вълни вътре в него се разпространяват в посока на неговото стесняване [A12]; доказана е възможността за пренастройваемо селектиране на тясна линия за лазери с широка крива на усилване чрез съвпадане на максимумите на пропускане за два различни ъгъла на падане [A13]; доказана е възможността клинът на Физо да се приложи за двувълнова генерация [A17] и за създаване на асиметрия в кръгов резонатор [A15]; разработени са нови подходи за визуализиране на прозрачни микроскопични обекти от холографски данни; разработен е теоретично метод за спектрално привързване на лъчението на диоден лазер към атомна линия на поглъщане с използване на модифициран интерферометър на Майкелсън [A3]; разработена е валидационна процедура за тест с поглъщане на неутрално червено багрило за определяне на цитотоксичната светлинна доза при фотодинамична терапия *in vitro* [A6,A9,C13,D3];

По т.2: създадена е обобщена теория на клина на Физо за осветяване от двете страни на нормалата към повърхността му [A2,A11,A12,A16,C3,C21,C22]; създадена е теория на оптичното поведение на синусоидална фазова решетка [A4,A5,A7,B3] при кохерентно осветяване с плоска вълна [C26] и разходящ сноп [C4, C25]; създаден е модел на многовълнова профилометрична система и холографска система, комбинирана с кръгов полярископ с отчитане на спекъл-шума и нееднородното разпределение на интензитета в лазерния сноп [A1, C23, B2,D1] и е разработена процедура за редуциране на влиянието им [A1, C1,C2].

По т.3: установена е теоретично и експериментално асиметрия в отражението в резонанс при клин на Физо с различни отразяващи покрития [A14,A15]; установена е неопределеността на измерването поради наличието на по-висши хармонични и работа с различни дължини на вълните за четири-вълнова мулти-камерна фазово-отместваща профилометрична система с едновременно проектиране и запис на ивични структури за регистриране на 3D обекти [A1,A10,C5,C8,C29,D2]; установена е чувствителността на Фурие-спектрометър към шум от вибрации, който променя формата на записаните интерферограми [C6] и към адитивен шум при измерване на единичен спектър на поглъщане [C12,C15]; предложен е модифициран фазово-отместващ алгоритъм за цифрова холографска микроскопия в реално време [B1,C24,C28]; установено е разпределението на депозираната енергия в зависимост от оптичните параметри на тъканите за хомогенни и многослойни тъканни модели [C9,C11,C14,C16,C17,C18, C20D4,D5] с включени разсейващи или поглъщащи обекти.

6. Личен дял на дисертанта в изследванията и преценка на публикациите по дисертационния труд

Представеният дисертационен труд обхваща резултатите от изследванията на автора, проведени в периода 1991 – 2010, публикувани в 54 печатни труда, от които 17 са публикации с импакт-фактор в списания като Opt. Lett., IEEE TCSVT, JOSA A, Optics Commun., Appl. Opt., Opt. Las. Tech., EURASIP Journ. Adv. Sign. Process., Rev.Sci.Instrum., Opt. Quant. Electron., Journ. Optoelectr. Adv. Mat., J. Opt. Technol., Biotechnology.& Biotechnological. Eq., 3 са публикации в книги, 22 са публикации в Proc. SPIE, 7 са публикации в научни поредици в базата данни ISI Web of KnowledgeSM (Thomson Reuters) & Scopus и 5 са доклади в пълен текст на международни конференции. Е. Стойкова е първи автор в 28 от публикациите, а една публикация е самостоятелна. Забелязани са 115 цитирания от други автори.

В значителна част от представените публикации Е.Стойкова участва в колектив от двама до 6 автори. Работите имат ясно изразен комплексен характер на съвременно научно изследване, включващо разработката на идеята в теоретичен аспект, моделиране, експериментално изследване, интерпретация и открояване на теория и експеримент, открояване на най-полезните страни на изследването. Очевидно, че в такива комплексни изследвания са необходими разностранни усилия на група учени. В тези усилия определено личи съществената и абсолютно необходима за провеждането им дейност на Е.Стойкова. За мене приносят на Е.Стойкова е безспорен и се заключава в активното ѝ участие в поставянето и осмислянето на изследванията, в разработването на методики за аналитични пресмятания, в провеждането на компютърните симулации и в интерпретацията на резултатите. При това Е. Стойкова е автор на многобройни програмни продукти на Делфи и МатЛаб с диалогов интерфейс, които могат да се ползват и от други потребители за симулация и обработка на данни. Е. Стойкова е взела също така участие в голяма част от експериментите, описани в дисертацията, като някои от тях са поставени и ръководени изцяло от нея.

7. Оценка на автореферата

Представеният автореферат (74 страници и 103 фигури) е съставен съгласно приетите изисквания и напълно отразява основните резултати и научни приноси в дисертацията.

8. Други въпроси

Дисертацията се характеризира с прецизен и ясен стил на изложение и добре оформен илюстративен материал, като надписите към него са на български език. Въпреки сравнително големия обем на дисертацията, в нея практически няма печатни грешки.

9. Заключение

Впечатленията ми от Е.Стойкова са, че тя е един амбициозен и висококвалифициран специалист, който може творчески да поеме и води теоретичния анализ и моделирането и

да изведе работата до комплексен (теоретично-експериментален) резултат със сериозна значимост за науката и практиката. Считам, че такъв тип учени са много необходими за съвременната наука и заслужават признание. Считам за много съществено високото ниво на научните резултати, отразени в най-добри научни списания. Трябва да подчертая, че представените от Е.Стойкова резултати са получени в БАН.

В заключение на рецензията искам категорично да изразя моята подкрепа за присъждането на проф. д-р Елена Вадимовна Стойкова на исканата научна степен "доктор на физическите науки".

29.08.2011 г.

Гр. София

Подпис:

/акад. Н. Съботинов/