

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р Цветанка Крумова Бабева, ИОМТ "Акад. Й. Малиновски", БАН

върху дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен „доктор“ по научно направление 4.1 "Физически науки", специалност 01.03.22 "Физика на вълновите процеси"

Автор на дисертационния труд: **ас. Бранимир Людмилов Иванов**

Тема на дисертационния труд: **„Многоцветен холографски запис и холографски оптични елементи“**

Дисертационният труд на ас. Бранимир Иванов е написан на 137 страници и съдържа 73 фигури и 8 таблици. Цитирани са 131 литературни източника.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

Цветната холография е най-добрата изобразителна технология, известна до сега в науката. Смята се, че виртуалният цветен образ представлява най-реалистично изглеждащия образ, който може да се запише днес. Тази 3D техника има много очевидни приложения, като например изобразяване и излагане на уникални и скъпи артефакти. Особено атрактивна за музейното дело е възможността да се излагат копия на обекти, които са чувствителни към влага и светлина, например. Цветната холография дава възможност ценни и много скъпи предмети да се излагат без притеснения за кражба или повреда, което намалява разходите за застраховки, транспорт, охрана и т.н. Колкото и странно да звучи цветната холография може да се превърне в незаменима техника за изработване на репродукции на предмети на изобразителното изкуство. Холографските репродукции предлагат изключително истински изглеждащи картини, показващи такива детайли като текстура на платното, следи от четката на художника, неговия подпис и др. Нещо повече тези репродукции няма да избледнеят или да си променят цвета дори и да бъдат излагани дълго време. Напредъкът на цветната холография може да доведе до създаване на нова генерация електронни устройства, като например мобилни телефони и миниатюрни телевизори, които изобразяват триизмерни картини. Всичко това, обаче, е свързано с много работа в холографските и химичните лаборатории по света в посока на подобряване на цветопроедаването и регистриращите среди.

Холографския оптичен елемент (ХОЕ) е нов клас оптичен елемент, в чийто принцип на действие е залегнала дифракцията на светлината. Докато традиционните оптични елементи използват формата си за отклоняване на светлината, то ХОЕ разделят падащата върху тях вълна на множество вълни, които в последствие интерферират и образуват нови вълни. Поради възможността да се записват две или повече холограми в един слой, могат да се изработят ХОЕ, съчетаващи два или повече оптични елементи, припокриващи се в пространството. Тъй като ХОЕ могат да функционират като дифракционни решетки, лещи, асферични или какъвто и да е друг вид оптични елементи, филтри, огледала, делители на снопове и др. техните приложения са

многобройни. ХОЕ могат да заменят много от функциите, изпълнявани от отражателните и рефрактивни оптични елементи, като особено ценни са в оптични системи, изискващи тясна спектрална ивица, специална конфигурация и многофункционалност. Смята се, че ХОЕ и микро-лазерите ще намерят приложение в бъдещите фотонни устройства като оптичните чипове, например.

Имайки предвид гореизложеното смятам, че разработваният в дисертационния труд проблем е актуален, както в научен така и в научно-приложен аспект.

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

Литературният обзор е написан ясно и показва, че дисертантът познава отлично състоянието на проблема. Добро впечатление прави включването на списъци с използваните съкращения и формули, разположени в началото на дисертационния труд.

В обзора е направена кратка ретроспекция на историята на холографията и най-значимите моменти и открития, довели до нейното бурно развитие. Критичен анализ на съвременното състояние на многоцветния холографски запис е представен в глава първа на дисертацията. Разгледани са основните характеристики на холографския запис, типовете холограми, видовете светочувствителни материали, използвани като регистриращи среди, като е разгледан механизма на запис във всяка една от тях. Особено внимание е обърнато на сребърно-халогенидните емулсии, за които са представени различни производители, различни характеристики, методи на проявяване и избелване. Литературният обзор завършва с раздел, в който са разгледани същността, принципа на работа и някои приложения на холографски оптични елементи. Илюстративния материал е подбран умело и помага на читателя лесно да следи изложението.

Въз основа на проведения анализ е мотивирана и поставена целта на дисертационния труд и са формулирани точно задачите, чрез които целта да бъде постигната.

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

Методиката на изследване е избрана така, че да даде възможност да се постигне поставената цел и да се изпълнят задачите на дисертацията. Съвсем логично изследванията започват с избор на най-подходящата регистрираща среда, като в началото на глава 1 са изброени характеристиките, които трябва да притежава идеалната емулсия. Дисертантът се спира на свръхдребнозърнеста сребърно-халогенидна емулсия, разработена в ЦЛОЗОИ-БАН, сега ИОМТ-БАН, като обосновава своя избор чрез сравняване на предимствата и недостатъците, които тази среда предлага. За изследване на експозиционните характеристики на панхроматичната емулсия е използван запис на отражателни холограми с три различни дължини на вълната (442 nm, He-Cd лазер), 532 nm (диодно напompван твърдотелен лазер) и 632.8 nm (He-Ne лазер) и сив оптичен клин с плавно променящо се поглъщане. Измерването на спектралната зависимост на дифракционната ефективност е извършено посредством измерване спектрите на пропускане и отражение със спектрофотометър Cary 05E или спектрометър Ocean Optics. За да оцени ДЕ при смесване на цветовете, дисертантът използва последователни записи при трите дължини на вълната и измерва спектрите на

пропускане в различните точки на плаката. Много интересно е хрумването при записа, трите снопа да се припокриват частично. По-този начин се получават точки от плаката осветени само с един цвят, такива, осветени с два и такива – с три цвята.

При разработване на холографските елементи (ХОЕ) са записани серии от обемни отражателни холограми с една и две експозиции в сребърно-халогенидна емулсия и бихромиран желатин. Направеният избор на обектите е много подходящ – силно отразяващо огледало, огледално отразяваща и дифузно разсейваща метална пластина. Записът се извършва във видимата област и чрез химическа обработка работната дължина на вълната се отмества в близката ИЧ област. В случаят на използване на бихромиран желатин, при който зависимостта на ДЕ от експозицията се характеризира с тесен пик, е избрана оптималната експозиционна енергия посредством оптичен клин с плавно променящо се пропускане.

След характеризиране на вече избраната среда за запис, дисертантът преминава към записване на цветни холограми, т.е холограми, при чието осветяване се възстановяват истинските цветове на обекта. За създаването на цветна холограма дисертантът избира следните няколко начина: 1) последователен запис на три дължини на вълната върху една плака; 2) едновременен запис с три дължини на вълната върху една плака; 3) сандвична структура.

Като цяло смятам, че използваните в дисертационния труд методики са внимателно и подходящо подбрани и спомагат за решаване на поставените задачи.

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

Въпреки напредъка в развитието на средите за холографски запис, като например бързото навлизане на фотополимерите като холографска регистрираща среда, като че ли за целите на цветната холография все още най-подходящи са сребърните халогениди. Като се имат предвид и успехите на ЦЛОЗОИ-БАН в тази посока, изборът на докторанта не е учудващ. За постигане на целта на дисертацията глава втора започва с подробен анализ на синтеза и физикохимичната обработка на сребърно халогенидната емулсия. Показано е, че неизбежното свиване при запис може да се компенсира с последващо контролируемо химическо раздуване. По-нататък е определен динамичния диапазон на запис за синята ($0.05-0.6 \text{ mJ/cm}^2$, $\lambda=442 \text{ nm}$), зелената ($0.05-0.5 \text{ mJ/cm}^2$, $\lambda=532 \text{ nm}$) и червената области ($0.05-0.75 \text{ mJ/cm}^2$, $\lambda=632.8 \text{ nm}$) и са измерени стойности на ДЕ = 40, 50 и 60%, съответно. Изследванията показват слабо намаляване на ДЕ при запис на дифузно разсейващи обекти, но селективността по дължината на вълната се запазва. Чрез намаляване на концентрацията на сенсибилизаторите е постигнато увеличение на ДЕ и контраста. При последователен запис в синята и зелената област се наблюдава намаление на ДЕ с около 25 %, в сравнение с тази при единичен запис. При последователен запис с три дължини на вълната най-голяма редукция на ДЕ се наблюдава в синята област, където ДЕ пада почти два пъти.

Обект на изследванията в глава 3 са различни системи за цветен холографски запис, като по-подробно са разгледани по-съществените от експериментална гледна точка, системи, като 1) система за единичен или последователен запис с една дължина на вълната; 2) система за последователен запис на три дължини на вълната; 3) система за едновременен запис на три дължини на вълната и 4) сандвична структура. Разработена и реализирана е експериментална установка за едновременен запис на три дължини на вълната. Установката притежава значителна гъвкавост по отношение на настройка и

пренастройка и позволява също последователни и едновременни записи върху една и съща плака. При използване на лазери с дължина на вълната 442 нм, 532 нм и 632.8 нм е постигнато над 64 % покритие на RGB цветовата гама. Много подробно е разгледан въпроса за необходимия минимален брой лазерни дължини на вълната, които трябва да се използват при запис за да се получи максимално съответствие между истинския обект и възстановения образ. Показана е промяната в цветопрераждането и коефициента на запълване при различни вариации на лазерните източници. Добро впечатление прави подходящото илюстриране чрез използване на цветовите диаграми.

Добре известно е, че проблем при холографския запис представлява свиването на регистриращата среда при запис, което в случая на цветен запис води до различно отместване на трите възстановени дължини на вълната. Това от своя страна прави трудно точното спектрално възстановяването на тези пикове след прилагане на процеса на раздуването. В дисертацията е предложен оригинален подход за избягване на усложненията със свиването и раздуването, а именно използването на структурите тип сандвич, представляващи две плаки - с червен и зелен запис на задната плака и син на предната. Интересна, също е идеята за подобряване на качеството при възстановяване чрез използване на източник на възстановяване с управляем интензитет и променящи се в рамките на няколко нанометра дължини на емитираните вълни.

Получените резултати и натрупания опит са използвани за дизайн и изработка на холографски оптични елементи за интерферометрията, метрологията и флуоресцентната микроскопия. Разработен е двуканален ХОЕ, който замества едно от раменете на интерферометър на Майкелсон и генерира две опорни равнини. Елементът е реализиран посредством последователен запис на обемна холограма в сребърно халогенидна емулсия, използвайки 532 нм и 632.8 нм и последващо химическо раздуване за отместване на работните дължини на вълната в близката ИЧ област. Въпреки спада на ДЕ при раздуването е наблюдавано запазване на разликата от 100 нм между двата пика.

Чрез използване на сандвична структура от две плаки, на всяка от които са записани последователно две Денисюкови холограми на дифузно разсейващ метален обект, след което е приложено химическо раздуване до две различни дължини на вълната, е изработен четириканален ХОЕ с приложение в метрологията. Целта е така разработения ХОЕ да осигури двойно симетрично осветяване във вертикална и хоризонтална равнина, необходимо при прецизно измерване на пълното поле на преместване в и извън равнината на преместване чрез цифрова стъпково-фазова спекъл интерферометрия.

За целите на флуоресцентната микроскопия е разработено селективно холографско огледало, което пропуска само флуоресцентния сигнал и отразява силно напompващото лъчение, блокирайки по този начин достъпа му до регистриращата камера. За изработката на това огледало е използван бихромиран желатин като регистрираща среда, чиято експозиционна крива се характеризира със сравнително тесен пик.

5. В какво се заключават научните или научно-приложните приноси на дисертационния труд?

Основните приноси в дисертационния труд могат да се класифицират както следва:

Получаване и доказване на нови факти

- Получени са експозиционните характеристики на панхроматична свръхдребнозърнеста сребърно-халогенидна (СХ) емулсия, произвеждана в ЦЛОЗОИ-БАН (сега ИОМТ-БАН) при еднократен или многократен запис с една или няколко дължини на вълната.
- Експериментално са определени дифракционните характеристики на СХ емулсия при единичен или последователен запис с три дължини на вълната.

Разработване на нови методи и получаване на нови данни и материали

- Създадена е гъвкава система за цветен холографски запис, позволяваща последователен или едновременен запис с повече от един лазерен източник.
- Конструирани и изработени са нови холографски оптични елементи, които да намерят приложение в интерферометрията, метрологията и флуоресцентната микроскопия.

6. До каква степен приносите в дисертационния труд са личен принос на докторанта?

Убедена съм, че приносите в дисертационния труд са в много голяма степен заслуга на докторанта. Познавам Бранимир почти от постъпването му в ЦЛОЗОИ-БАН и имам лични наблюдения върху работата му. Основание за това твърдение ми дават също и разговорите с дисертантът върху работата по дисертацията, както и факта, че в три от работите, включени в дисертацията е на първо място, а в две от тях е на второ.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Резултатите от дисертационния труд са публикувани в 7 научни труда, както следва:

4 публикации в списания с импакт-фактор - Optica Applicata (IF=0.4), Доклади на БАН (IF=0.21), Journal of Optoelectronics and Advanced Materials (IF=0.46), Journal of Advances in Signal Processing (IF 0.81);

1 публикация с импакт-ранг - proceeding of SPIE,

2 публикации в пълен текст в материали от конференции (едната, от които се реферира в авторитетната база данни Scopus).

До момента са намерени 5 цитата на една от работите, включена в дисертацията. Резултатите са докладвани на 4 международни научни форума в чужбина и страната.

8. Резултатите от дисертационния труд използвани ли са вече в практиката? Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните резултати.

Доколкото ми е известно резултатите от многоцветния холографски запис не са намерили приложение в практиката до сега, но аз виждам добри предпоставки за тяхното доразвиване и прилагане.

Пред Колоквиума на ИОМТ беше докладвано, че четириканалния ХОЕ, разработен от дисертантът подпомага провеждането на изследванията в дисертационния труд на един редовен докторант в ИОМТ. Също ми е известно, че част от натрупания опит и

някои от получените резултати от настоящата дисертация са подпомогнали двама докторанти от Центъра за Индустриална и инженерна оптика на Дъблинския Технологичен институт, единия, работещ в областта на цветната холография във фотополимер, а другия - в областта на лазерната доплерова виброметрия.

Смятам, че си заслужава дисертантът да охарактеризира по-задълбочено тесноивичното холографско огледало като снее кривите на спектрална и ъглова селективност на огледалото в режим на пропускане и отражение, да изучи влиянието на поляризацията и да обобщи и публикува данните.

9. Авторефератът правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд?

Авторефератът отразява съвсем точно основните резултати и приноси на дисертационния труд.

10. Критични бележки и въпроси.

Въпреки че дисертационния труд е написан много добре имам следните забележки:

- Смятам, че би било по-подходящо изследванията, свързани с разработването на ХОЕ да са представени в нова глава или като приложение към дисертацията, а не като последна точка от глава 2 на дисертацията.
- На много места в дисертацията липсва информация за параметрите на записа, като например, интензитет, експозиция, поляризация, геометрия на снопа (сходящ или успореден) и др.
- Твърдението в глава 3, че най-доброто възстановяване се получава при осветяване с балансирана бяла светлина не е добре подкрепено, нито от снимката на холограмата и обекта, представена на фиг. 3.27, нито от анализа на RGB стойностите, представени в таблица 3.2.
- Отчитам като малък пропуск на дисертацията факта, че изработеното тесноивично огледало не е характеризирано чрез спектри на пропускане и отражение, а е цитирана крива от литературата.
- В глава 1, стр. 28 липсва формула 1.11.
- Вместо "отляво" и "отдясно" в надписите на фигури 1.4 и 1.7 употребата на (а) и (б) би била по-подходяща.
- Забелязах някои неточности в терминологията, като например "пропускащи спектри", както и неточности в надписите на фигурите, например за фиг. 1.16, чийто надпис съобщава "спектр на поглъщане...", а надписа на ординатната ос е "пропускане, а.и."

Имам следните въпроси към дисертанта:

1. При изучаване на експозиционните характеристики на двете използвани регистриращи среди е използван сив клин с променящо се пропускане. Това означава, че различните стойности на експозицията са постигнати чрез вариране на интензитета. Въпросът ми е правени ли са експерименти за зависимостта на ДЕ от експозицията при фиксирани стойности на

интензитета и каква е разликата в получения динамичен диапазон за всяка крива.

2. Смята ли дисертантът да продължи и да доразвие изследванията от дисертацията? Ако отговорът е "да", нека очертае накратко своите виждания за посоката, ако е "не", нека обясни поради какви съображения.

Бих желала да отбележа, че коментираните по-горе пропуски и неточности по никакъв начин не повлияват и не променят позитивното ми отношение към представения ми за рецензиране дисертационен труд. Много добро впечатление у мен остави ясният изказ и липсата на двусмислени и тромави изречения, което показва добро осмисляне, вникване и най-вече разбиране на материала. Похвален е и факта, че са допуснати изключително малък брой технически правописни грешки (аз забелязах не повече от 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на гореизложеното смятам, че дисертационният труд **„Многоцветен холографски запис и холографски оптични елементи”** на дисертантът ас. Бранимир Людмилов Иванов е на много добро ниво и по обем напълно отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за прилагането му в ИОМТ. Изследванията са задълбочени и водят до научни и научно-приложни приноси, достатъчни за получаване на образователната и научна степен „Доктор”. Поради това оценявам дисертационния труд с **положителна** оценка.

Това ми дава основание с пълна убеденост да препоръчам на членовете на Уважаемото Научно Жури да присъдят на **ас. Бранимир Людмилов Иванов** образователната и научна степен „Доктор”.

06.02.2013 г.

Рецензент:



/доц. д-р Цветанка Бабева/