

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд на тема

„Светлинно-индуцирани процеси във фоторефрактивни кристали и приложенията им във функционални оптични структури“

представен за придобиване на научната степен „доктор на науките“

Тематично направление: 4.1 „Физически науки“

Специалност: „Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя“

Автор на дисертационния труд: д-р доц. Вера Маринова Господинова, ИОМТ, БАН

Рецензент: проф. д-р Снежана Миланова Китова, ИОМТ, БАН

1. Актуалност на проблема.

Фоторефрактивните кристали са интересен и много подробно изучаван клас материали, които намират широко приложение в различни области. Тези кристали продължават да са едни от най-перспективните, напълно обратими среди за оптична модулация на показателя на пречупване, притежаващи висока светлочувствителност и стабилност във времето. Кристалите от типа на силениа $\text{Bi}_{12}\text{M}(\text{M} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti})\text{O}_{20}$ привличат особен интерес поради тяхната забележително висока фоточувствителност и бързо време за отклик и затова намират приложения в различни устройства за обработка на изображения в реално време, включително и анализ на биологични обекти, както и в интерферометрията, в оптичната метрология, като пространствени модулатори на светлина, среди за разпространение на солитони и др. Дисертационният труд на д-р Вера Маринова обхваща резултатите от изследвания на фоторефрактивни кристали от $\text{Bi}_{12}\text{M}(\text{M} = \text{Si}, \text{Ti})\text{O}_{20}$ и $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, легирани с примеси на преходни метали, с цел оптимизиране на свойствата и параметрите им. Разработени са електро-оптично и изцяло оптично контролируеми хибридни устройства за направата на нелинейни оптични елементи за приложения във фотониката. Без съмнение той представлява определен интерес като част от развитието на съвременните оптични елементи.

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

В дисертационния труд са цитирани общо 234 източника, включващи 27 авторски публикации, върху които се гради дисертацията. Някои от източниците са цитирани по няколко пъти, тъй като са дадени за всяка глава поотделно. Дисертантът не само е добре запознат с цитираните източници, но умело ползва и доразвива резултатите от изследванията на други автори. В увода към всяка глава и особено в дискусиите в края на главата е направен критичен анализ на състоянието на науката в изследваната област като коректно е отразено постигнатото до сега. На тази база са изградени собствените идеи за конкретните изследвания, представени в дисертационния труд.

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

На базата на публикуваните в литературата методи д-р Вера Господинова провежда нови експериментални разработки и намира оригинални решения. Избраните подходи, които включват широка гама от съвременни методи и техники, са подбрани целенасочено за постигане на поставените цели и задачи и са в съответствие с съвременните тенденции в развитието на изследванията в областта на фотониката. Интерес представлява задълбочената интерпретация на собствените резултати и критичната им съпоставка с публикуваните до сега данни в областта на провежданите изследвания и формулиране на важни за науката и практиката изводи.

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

Дисертационния труд е написан на 151 страници, включващи титулна страница, съдържание, увод, 6 глави, приноси и списък на публикациите, на които се основава настоящият дисертационен труд. Резултатите от проведените изследвания са представени с 93 фигури и 11 таблици. Всички глави започват с увод, въвеждащ в разглежданата проблематика, представят проведените изследвания и резултати и завършват със дискусия, изводи и цитирана литература.

В Глава 1 с методите на EPR анализа са проведени първите директни изследвания на т.н. „дефектен Bi_M^{4+} център” в силенитни кристали, който обуславя фоторефрактивното поведение в тези материали. Изследван е ефекта на легиране и осветяване върху концентрацията на Bi_M^{4+} дефекти. От наблюдаваните анизотропни EPR спектри за първи път е получено еднозначно доказателство, че Cr може да се включи в BSO кристала в Cr^{3+} валентно състояние на мястото на Si йон в тетраедрална позиция. Установено е, че оптичното възбуждане води до обратим процес на пренос на заряд, директно свързан с фотохромния ефект, което открива възможности за контрол на вида и концентрацията на дефектите, а от тук и за практическото използване на тези кристалите за различни приложения.

В Глава 2 са представени резултати от значителни по обем експериментални изследвания на електрични, фотоелектрични, оптични и холографски свойства на нелегирани и легирани с различни примеси кристали от BSO и BTO. Изследвано е и влиянието на различните примеси върху оптичната активност на кристалите, както и промените във свойствата им след обработка на образците в различни среди - кислород, вакуум и водород.

На базата на резултатите от правотоковите и променливотокови измервания е установено, че в легирани BTO кристали се реализира термично активиран транспорт между локализирани състояния. Предложени са два механизма за обяснение на преноса на заряди със „скокове” между локализираните състояния. Установено е, че в зависимост от степента на легиране може да бъде намален броя на центрове на рекомбинация, което да доведе до увеличаване на времето на живот на фотогенерираните носители, вследствие на което се увеличава фотопроводимостта.

От проведените оптични измервания на BTO и BSO кристали, легирани с Ru и Rh, е установено, че чувствителността се отмества към инфрачервената област от спектъра, като оптичната абсорбция нараства с увеличаване концентрациите на легиращите примеси. Установено е, че при легиране на BSO кристалите с 4a и 5a преходни елементи се създават различни дефекти в кристалната решетка. Кристалите, легирани

с Os и Pd, са обезцветени, което може да се интерпретира като заемане на вакантните тетраедрични позиции или изместване на Bi^{3+} -йоните от тези атоми.

Наблюдавано е силно оптично въртене на равнината на поляризация, което е свързано с комбинацията от симетричния SiO_4 -тетраедър и несиметричния BiO_7 -октаедър, в която несиметричният октаедър има доминираща роля. Легирането на BTO кристали с Ru значително намалява оптичната активност, което е и едно от основните преимущества на тези кристали в сравнение с останалите силенити. Намерено е, че предварителната обработка на кристалите във вакуум, инертна среда, водород и кислород дава възможност да бъдат променяни свойствата на силенитните кристали в желана посока.

Експериментите по холографски запис в легираните с Ru BTO и BSO кристали показват, че с увеличаване концентрацията на Ru кристалите имат по-бързо време на отклик, но по-ниски стойности на дифракционна ефективност. Установено е, че свойства на кристалите могат да бъдат променяни в желаната посока чрез въвеждане на един по-дълбок център на залавяне на фотоиндуцирани носители и възбуждане с високоенергийна светлина по време на записа. Това дава възможност не само да се подобрят холографските свойства, но и да се постигне неразрушаваща памет в легираните силенитни кристали.

В Глава 3 са представени експериментални резултати от изследване на фотоиндуцираната абсорбция и динамиката на релаксационни процеси в BSO и BTO кристали, легирани с Ru, Rh и Cr с метода на времеразделителна абсорбционна спектроскопия, приложен за пръв път върху фоторефрактивни кристали със силенитна структура. Определени са термичните енергии на активация на дефекти в изследваните легирани кристали.

Установено е, че процесът на релаксация на фотоиндуцираните зарядоносители в нелегираните BTO и BSO кристали е значително по-бърз в сравнение с Ru, Rh и Cr - легираните. По-бавният процес на релаксация в легираните кристали се дължи на включване на йоните на легиращите метали в кристалната решетка, които създават специфични нива на залавяне на зарядоносителите, обуславящи и по-различното поведение на оптичната плътност от времето и температурата.

Глава 4 е посветена на легираните с Ru, Rh, Fe, Mn, V, Co, Ru+Mn, Fe+Mn и V+Co кристали от $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), с подобна на силенитите кубична структура, но по-широка зона на проводимост, позволяваща лесно променяне позицията и валентността на легиращите примеси.

Установено е, че всички изследвани легираните кристали притежават напълно обратим фотохромен ефект при стайна температура, дължащ се на промяна на валентността на легиращите примеси под действието на УВ светлина. Намерено е, че големината на фотоиндуцираната абсорбция е пропорционална на плътността на запълнените уловки, което усилва модулацията на коефициента на поглъщане. Установено е, че легирането с Ru предизвиква най-силно изразен фотохромен ефект в сравнение с останалите легиращи елементи. Образците с по-висока концентрация на Ru показват по-висока дифракционна ефективност и по-голяма индуцирана промяна на показателя на пречупване.

Установено е, че легираните с единични примеси Rh, Fe, Mn и V BGO кристали показват моноекспоненциално поведение при холографски запис, което предполага един вид доминиращи зарядоносители. Двойно легираните с Ru+Mn, Fe+Mn и V+Co BGO кристали показват значително по-сложно холографско поведение, характеризиращо се с бърз отклик, спад и последващо увеличение, в резултат от почти едновременно създаване на фоторефрактивната решетка и развиваща се в конкуренция с нея фотохромна решетка. Демонстрирано е, че двойно легираните кристали са

подходящи среди за холографски запис и оптично фиксиране на информацията.

За първи път са определени показателите на пречупване на двулъчепреупващи кристали от $\text{Bi}_2(\text{MoO}_4)_3$ във видимата област.

Глава 5 е посветена на холографски запис в реално време в инфрачервената област от спектъра на BSO и BTO кристали, легирани с Ru и Rh. За първи път е осъществен холографски запис в реално време в близката инфрачервена област в BSO:Ru и BTO:Rh кристали. Установено е, че Ru и Rh значително подобряват фоточувствителността и времето на отклик, като холографските параметри могат да бъдат променяни чрез контролиране валентните състояния на примесите и подходяща възбуждаща светлина. При предварително облъчване със зелена светлина на BTO кристали, легирани с Rh, е измерено време на отклик от 0.02s, което е една от най-високите стойности, докладвани до момента в литературата.

Демонстрирано е оптично фиксиране на информация в Ru-легирани BSO чрез запис с две дължини на вълната. Осъществен е квази-постоянен запис на изображение, като е използвана светлина с нисък интензитет и без прилагане на външно електрическо поле. Предложен е теоретичен модел, предвиждащ съществуването на два вида центрове на захват, дължащи се на дълбоки и плитки уловки.

Представените в тази глава резултати разкриват потенциални възможности за практическо приложение на Ru- и Rh- легирани силенични кристали в устройства за обработка на изображения в реално време в близката инфрачервена област, за неразрушаващ тест на биологични обекти и др..

В последната глава 6 са описани хибридни устройства на базата на фоторефрактивни кристали в комбинация с течни кристали или полимерно диспергирани течни кристали (PDLC), даващи възможност модулацията на показателя на пречупване да се контролира в динамичен режим.

Разработени са електро - оптично управляеми структури, състоящи се от фотопроводим BSO: Ru или BTO:Rh кристал - течен кристал и проводящ слой от ИТО или графен, в които електрооптичният контрол на двулъчепреупването на течния кристал позволява пространствена модулация на амплитудата и фазата на светлината. Измереното време на отклик от няколко ms е напълно съвместимо с типичните стойности за конвенционалните течни-кристални дисплеи.

Демонстрирано е опростено устройство, състоящо се от PDLC слой и BSO:Ru фоторефрактивна подложка, където всички процеси се контролират под действието само на инфрачервена светлина. Теоретично и експериментално е доказано, че фотоиндуцираното поле на пространствените заряди, генерирано във фоторефрактивната подложка, е достатъчно силно, за да проникне в течни-кристалния слой и да действа като движеща сила за преориентиране на течни-кристалните молекули. Записаните холографски решетки в режим на Bragg, имат най-високи стойности на коефициентите на усилване, измерени до момента. Така предложените структури откриват възможности за приложения в съвременните дисплей технологии, като оптични превключватели, за контрол на бавната и бърза компоненти на светлината и разработването на много други нелинейни компоненти.

5. Научни и научно- приложни приноси.

Основните научни и научно-приложни приноси на дисертанта могат да се обобщят като обогатяване на съществуващи факти с нови познания (принос 1), получаване и доказване на нови факти, които изясняват съществени нови страни на разработваните проблеми (приноси 2, 3, 4 и 5), формулиране и доказване на нови хипотези и модели,

(принос 7) и получаване на нови теоретични и експериментални резултати с конкретни приложения в практиката (приноси 6 и 8).

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

Списъкът от публикации, върху които е изграден дисертационният труд, включва общо 57 научни труда, 22 от които са статии в престижни научни списания с импакт фактор (ИФ) като Phys. Rev., J. Appl. Phys., Opt. Commun., Opt. Materials, Opt. Letters, J. Optics, J. Optics A: Pure and Appl. Optics, J. Mat. Sci. Mat. Elect., JOAM и други, 4 са в списания с импакт ранк (ИР), който не е отбелязан в списъка, 1 е в списание без ИФ/ИР, 12 са доклади в международни сборници и 18 са резюмета на доклади на конференции (1 до 3 стр.). Изпратени за публикуване са 1 поканена глава в енциклопедия и една статия в списание с ИФ. Общият импакт фактор е 44. Изнесени са 2 поканени доклада. Посочените публикации са намерили широк отзвук в научната литература, което е показателно както за актуалността на научната тематика, така и за значимостта на научните трудове на Вера Маринова. Отбелязани са общо 175 цитата, като публикация A21 е цитирана 34 пъти, A7 – 28 пъти, A4 – 26 пъти.

Всички представени публикации са в съавторство с български и чуждестранни учени, което е естествено, според мене, отчитайки комплексното теоретико-експерименталното естество на изследванията. В тези работи обаче нейният личен принос за мене е безспорен – във всички публикации тя е на първо или второ място, което показва водеща роля при провеждане на по-голямата част от изследванията.

7. Оценка на автореферата

Авторефератът е написан на 61 страници, илюстриран е със 48 фигури, 6 таблици и отразява вярно основните положения и научните приноси на дисертационния труд.

8. Критични бележки и коментари

Впечатленията ми от дисертационния труд биха били още по-добри, ако в него за съжаление въпреки интересните резултати и дискусии не се забелязваха елементи на прибързаност при оформянето на дисертационния труд и особено на списъка с публикации на автора. Вместо в обичайния хронологичен ред, статиите в по-голямата си част са подредени по реда на цитирането им в текста, но тъй като това не е спазено за всичките и номерата в текста и списъка се различават, читателят е доста затруднен в свързването им с текста в дисертацията. Отразяването на авторските статии в дисертацията можеше да е по-пълно, ако бяха включени и цитатите на статия A6, както и на тези, отпечатани в сборниците на SPIE с номера B30-B35. На стр. 79 дисертантът е цитирал чужди автори за получените от него резултатите за единично легирувани BGO кристали. Могат да се отбележат още редица технически пропуски. Ще отбележа само няколко – така например надписът към фиг. 14 на стр. 39 е за промени във фотоиндуцираната абсорбция в зависимост от енергията на фотона, но на абцисата е дадена дължината на вълната; на страница 40 има според мен разместени параграфи; на места има не добър превод от английски език – на стр. 19 се говори за „последния терм в ур. 2 е принос на...“.

Наличието на указаните пропуски не може да промени общото благоприятно впечатление от дисертацията. Посочването им, обаче, е неотменна част при дискусия на една докторска дисертация.

9. Лични впечатления от докторанта

Познавам лично Вера Маринова повече от 15 години години. Още от началото бях впечатлена от нейната активност, целеустременост, изключителна работоспособност и желание за работа. През тези години имах възможност да следя нейното възходящо развитие и да затвърждавам първоначалните си впечатления. Сега, четейки голямата ѝ докторска дисертация, се убедих още веднъж, че тя е вече един изграден, задълбочен, системно образоващ се и активно работещ учен. Несъмнено, нейното професионално развитие може да служи за пример на колегите от нейната и по-млада генерация учени в ИОМТ.

10. Заключение

В дисертацията и автореферата е изложено обемно и системно изследване, като са получени оригинални и ценни резултати. Те са публикувани в престижни международни списания и са докладвани на международни форуми в повечето случаи от самата докторантка. Без съмнение приносът на дисертанта в проведените изследвания е основен и съществен. Считаю, че представеният ми за рецензиране дисертационен труд по обем, методично ниво, научни приноси и наукометрични данни далеч превишава законовите и препоръчителни изисквания на ЗРАСРБ и правилника за прилагането му, както и приетите в ИОМТ изисквания за присъждане на научната степен „доктор на науките“. Всичко гореизложено ми позволява да препоръчам на уважаемото жури да гласува положително за присъждане на научната степен „доктор на науките“ по тематично направление 4.1 „Физически науки“, специалност: „Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя ” на доц. д-р Вера Маринова Господинова.

14.01.2016 г.

Резензент:

/проф. д-р Снежана Китова/