

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен „Доктор”

Автор на дисертационния труд: Александър Георгиев Гайдарджиев
докторант към катедра „Квантова електроника”, физически факултет,
СУ "Кл. Охридски”

Тема на дисертационния труд: "Генериране и усилване на фемтосекунден оптичен континуум при параметрични процеси от втори порядък".

научна направление: 4.1 "физически науки"
специалност: Физика на вълновите процеси
(вкл. Квантова електроника и нелинейна оптика)

Рецензент: доц. д-р Иван Георгиев Копринков
Департамент по приложна физика, Технически университет - София

Представеният дисертационен труд е посветен на генерацията и усилването на фемтосекунден оптичен континуум посредством нелинейни параметрични процеси от втори порядък в оптични кристали. Темата е актуална а резултатите са значими в няколко аспекта: (а) разработва се проблемът за ефективна генерация на фемтосекундни оптически импулси в спектрални области където липсват директни лазерни генератори; (б) ширината на спектъра на генерирания фемтосекунден параметричен континуум многократно надвишава тази на напompващото лъчение и може до достигне над една октава; (в) полученият оптически континуум има потенциал за широко приложение. Използваният подход при решаването на проблема е ефективен поради следните причини: (а) използвани са нелинейни процеси от втори порядък в кристали, което, в съчетание с фазов синхронизъм, прави възможно ефективното преобразуването на относително невисоки интензитети на напompващото лъчение и генерация на континуум с енергия в импулса над $10\mu\text{J}$, а след двустъпално усилване - над $200\mu\text{J}$; (б) използван е относително нов кристал бисмутов триборат (BIBO) с високи стойности на коефициентите на нелинейно преобразуване от втори порядък и голяма ширина на параметрично усилване; (в) процесът на параметрична генерация в кристали може ефективно да се контролира и управлява. Казаното по-горе поставя темата в челната област на проблемите разработвани в съвременната квантова електроника. Получените резултатите са базирани на авангардни експерименталните методи и са публикуване в реномирани рецензирани списания. Всичко това прави представените резултати значими в научно отношение и, поради това, дисертабилни.

I. Структура и общо описание на дисертационния труд.

Дисертационният труд на Александър Гайдарджиев е в обем 96 печатни страници и е структуриран в следните основни части: увод, обща част, специална част състояща се от 4 глави, заключение и литература. Текстът е допълнен с

приложение, списък на публикациите на автора, забелязани цитирания, приноси на автора и благодарности. Представеният материал е илюстриран с 31 фигури и графики и 4 таблици. Литературата съдържа общо 178 заглавия. Основната цел на дисертацията, а именно, генерацията на широкоспектърно лъчение с фемтосекундна продължителност в близката инфрачервена област е ясно формулирана. Изложението е стегнато и ясно. Авторът добре владее научната терминология в областта.

В *Увода* към дисертацията е направен обзор върху генерацията на широкоспектърно кохерентно лъчение в различни нелинейни среди. Открити са предимствата в това отношение на нелинейните параметрични процеси от втори порядък в оптични кристали, и е формулирана целта и етапите за постигането и.

В *Общата част* на дисертацията са разгледани някои основни физични принципи и съотношения при трифотонното параметрично взаимодействие в оптични кристали с квадратична нелинейност. За вълни с тесен спектър (квазимонохроматичен случай), представени са уравненията на свързаните вълни в приближение на бавно изменящите се амплитуди и някои техни решения за сигналната и допълнителната вълна в приближение на неизтощена вълна на напмпването. Дискутирани са методите за постигане на фазов синхронизъм в едноосни и двuosни нелинейни кристали и видовете фазов синхронизъм. Изведено е уравнението за разпространение на обвивката на полето от уравненията на Максвел и са представени съответните уравнения за свързаните вълни. Дискутирано е условието за реализация на широколентово параметрично усилване в колинеарно и неколинеарно тривълново взаимодействие. Анализирани са зависимостта на спектралната ширина на параметрично усилване от такива важни в експериментално отношение параметри като разликата в груповите скорости на сигналната и допълнителната вълна, дисперсиите на груповите им скорости, дисперсии от по-висок порядък, интензитета на напмпващата вълна и други.

Глава 1 на Специалната част на дисертацията е посветена на свойствата на използвания нелинеен кристал BiBO, обуславящи неговата атрактивност като среда за нелинейно преобразуване на фемтосекундни импулси. По специално, акцентът е поставен върху ефективното нелинейно преобразуване в спектралната област на излъчване на основната лазерна система за генерация на мощни свръхкъси импулси, а именно лазерите на Ti:S. В първия параграф от тази глава, подробно са представени общофизичните, химични, кристалографски и оптични свойства на кристала, издирвайки и систематизирайки широк кръг литературни данни. Дадени са стойностите на компонентите на тензора на квадратична нелинейност и ефективната нелинейност на BiBO в основните равнини и при различни типове тривълнови взаимодействия. Основните свойства на BiBO го правят интересна нелинейна среда, но сами по себе си те не са достатъчни за поставяне на реален експеримент. В това отношение, резултатите в следващите три параграфа на Глава 1, базирани на числени пресмятания на автора, имат ключово значение. Те дават важна информация за условията и оптималните конфигурации на нелинейно взаимодействие между вълните, при които се получава максимална ефективност на параметричния процес, минимална продължителност на генерирания импулс и високо качество на пространствените характеристики на лъчението. В тази връзка, пресметната е ефективната нелинейност на BiBO в зависимост от азимуталния и полярният ъгъл. Определени са условията за фазов синхронизъм както и разликата в груповите скорости и дисперсията на груповите скорости за колинеарна генерация на втора хармонична при дължина на вълната на напмпването в близката

инфрачервена област. Основно внимание е отделено на характеристиките свързани с тривълновия параметричен процес. Изследвани са кривите на фазов синхронизъм и на разликата в груповите скорости в ВІВО за фазов синхронизъм от I и II тип за дължини на вълните на напмпването в рамките на спектъра на генерация на Ti:S лазер и на неговата втора хармонична. Специално внимание е отделено на спектралната ширина на параметричното усилване в ВІВО. Ширина на параметрично усилване е определена поотделно в зависимост от разликата в груповите скорости на сигналната и допълнителната вълна и техните дисперсии до трети порядък при дължина на вълната на напмпване 800nm. Изследвана е и ширината на параметричното усилване в зависимост от дължината на вълната на напмпване в рамките на диапазона на генерация на Ti:S лазер с оглед определяне на оптимални условия за генерация на широк параметричен континуум. Накрая, направено е сравнение на свойствата на ВІВО с някои основни и наложили се в практиката нелинейни кристали като ВВО, КТР, КДР, LBO и др.

Глава 2 на Специалната част е посветена на фемтосекунден трифотонен параметричен генератор на базата на кристал ВІВО с честотна лента над една октава. Той е реализиран в еднопроходна колинеарна схема в ВІВО изрязан за $e \rightarrow \infty$ взаимодействие при напмпване с модово синхронизиран Ti:S-лазер (генератор - регенеративен усилвател) генериращ импулси с продължителност 45 fs центрирани на 800nm с честота на повторение 1 kHz. Енергията на параметрично генерираните импулси е над 10 μ J при енергия на напмпването 260 μ J. Това е първият случай на генериране на оптически континуум във фемтосекундната област чрез нелинеен процес от втори порядък. Определена е зависимостта на енергията на параметричната генерация от ъгъла на фазов синхронизъм. Пълният спектър на параметричната генерация възлиза на 135 THz и е определен чрез реконструкция на XFROG-следите, както и прилагайки съотношението на Менли-Роу. Резултатите от XFROG измерванията показват, че генерираните параметрични импулси с продължителност 60-70 fs са далеч от Фурие-трансформационното ограничение, а наличието на фазова модулация с променлив знак прави трудно по-нататъшното им скъсяване използвайки конвенционални оптични компресори.

В *Глава 3 на Специалната част* са изследвани възможностите на ВІВО като широколентов параметричен усилвател. Входният сигнал за параметричния усилвател представлява континуум генериран в YAG от предварително параметрично преобразувано до 2.1 μ m на част от импулса на Ti:S-лазер в нелинеен кристал ВВО. Останалата част от импулса е използван за напмпване на параметричния усилвател с нелинеен кристал ВІВО. Достигнати са 50 μ J енергия на параметрично усиления импулс с продължителност 70-100 fs, чийто спектър се простира от 1.2 μ m до 2.4 μ m.

В *Глава 4 на Специалната част* е представен двустъпален параметричен усилвател на ВІВО за генериране на оптичен континуум в близката инфрачервена област с висока енергия в импулса. Входният сигнал за усилвателя е спектрално селектирана част от оптичен континуум генериран в сапфирна пластинка от част от напмпващия импулс на Ti:S-лазер. С останалата част от импулса се напмпват параметричните усилватели. След крайния усилвател, импулсите на сигналната вълна се компресират с призмен компресор до 25 fs трансформационно ограничени импулси с енергия над 200 μ J. Изследвана е зависимостта на спектралната ширина на сигналната вълна в зависимост от диапазона на пренастройка.

II. Оценка на автореферата, справка за приносите и на публикациите в дисертационния труд.

Авторефератът правилно отразява целите, задачите, и съдържанието на дисертацията. Изведените научни приноси присъстват в дисертацията и са отразени правилно от автора. Основните резултати от дисертацията са публикувани в четири статии в едни от най-цитираните списания с импакт фактор в областта и са намерили отзвук сред специалистите в общо 31 независими цитата. Публикациите са свързани пряко с темата на дисертацията и отговарят на количествените и качествени показатели за присъждане на образователната и научна степен „доктор“.

III. Достойнства и научни приноси на дисертационния труд.

Основните достойнства на дисертационния труд могат да бъдат обобщени както следва:

1. Избраната тема е актуална и значима за генерацията на мощно кохерентно широкоивично оптично лъчение.
2. Поставените цели в дисертацията са постигнати.
3. Дисертационният труд съчетава теоретичен анализ на проблема и успешна експериментална реализация като е демонстрирано добро съответствие между теорията и експеримента.
4. Използвани са авангардни експериментални методи за определяне на временните и спектрални характеристики на генерирания фемтосекунден оптически континуум.
5. Предложени са значителен брой приложения на получените резултати.
6. Резултатите са придобили нужната публичност в достатъчен брой научни публикации: 4 статии в списания с импакт фактор, 2 доклада от международни научни конференции публикувани в пълен текст в издания на SPIE, 2 доклада на международни научни конференции и 3 доклада на вътрешни изяви.
7. Личният принос на автора в това колективно изследване е съществен, както в теоретично, така и в експериментално отношение, а неговата компетентност по темата прави впечатление от представения научен труд.
8. Като цяло, получените резултати могат да се характеризират като пробив в генерацията на широкоивичен кохерентен оптически континуум във фемтосекундната временна област с висока енергия в импулса, използвайки трифотонен параметричен процес в нелинеен кристал ВВО.

IV. Критични бележки, препоръки и въпроси.

Към дисертационния труд могат да се отправят следните критични бележки:

1. В уравненията на Максвел (22), плътността на конвенционалният ток на проводимост, \vec{j} , е наречена ток на отместване, вместо члена $(4\pi)^{-1}\partial_t D$, както е в действителност.
2. При представяне на извода на уравнението за разпространение на обвивката на полето, (42), е използвана кубична нелинейност, $\propto n_2|A|^2 A$, вместо основната за дисертацията квадратична нелинейност в кристали. Веднага след това, обаче, последната е включена в следващите уравнения за свързаните вълни, (44)-(46).

3. Тъй като част от напompващия импулс на Ti:S-лазера е използван като gate-импулс при XFROG, би било полезно за пълнота на изложението да се покажат неговите собствени спектрално-временни характеристики, примерно *SHG-FROG* следа и времевите характеристики на амплитудата и фазата на импулса.

4. Могат също така да се констатират и някои несъответствия между номерацията на уравненията и тази цитирана в текста, както и някои терминологични неточности и неточности от общ характер, които не касаят по същество научната страна на изложението.

Към автора имам и следния *въпрос*. Имайки предвид спектралната чувствителност на използвания спектрометър на InGaAs до около 1.6-1.7 μ m, за получаване на пълния генериран спектър на оптичeския континуум, както и за коректното измерване на времевите параметри, решаващо значение има правилната реконструкцията на FROG-следите. В тази връзка, *как е направена спектралната и временната калибровка на използваните варианти на метода FROG (SHG-FROG , XFROG) в тези изследвания?*

V. Лични впечатления от докторанта

Не познавам лично докторанта, но от дисертационния труд може да се направи извод за неговата компетентност, отдаденост на научната работа и потенциал за развитие в сфера на научните изследвания.

Заклучение: Дисертацията е по актуален, ясно формулиран и сложен проблем на лазерната физика и нелинейна оптика във фемтосекундната времева скала. Поставените цели и задачи са изпълнени. Дисертационният труд съответства на изискванията за присъждане на исканата научна степен. Направените критични бележки по никакъв начин не омаловажават представените научни резултати и личните усилия на докторанта за тяхното постигане. Всичко това ми дава основание да препоръчам най-убедено на членовете на Научното жури да присъдят на докторант Александър Георгиев Гайдарджиев образователната и научна степен “доктор”.

Рецензент:

/ доц. д-р И. Г. Копринков/

15.04.2012 г.
София