

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор” по професионално направление 4.1. „Физически науки” и научна специалност „Физика на вълновите процеси (вкл. квантова електроника и нелинейна оптика)”

Автор на дисертационния труд: Данаил Владимиров Чучумишев, редовен докторант към катедра Квантова електроника към Физически факултет на Софийски университет

Тема на дисертационния труд: **“Оптични параметрични генератори в средната инфрачервена област с висока енергия и висока средна мощност”**

Рецензент: **Лъчезар Аспарухов Аврамов**, доктор на физическите науки, професор в Институт по електроника “Акад. Емил Джаков”, Българска академия на науките, 1784 София, бул. „Цариградско шосе” 72, определен за член на Научно жури със заповед РД 38-498/23.07.2015 г. на Ректора на Софийски Университет “Св. Климент Охридски”

1. Актуалност на разработвания проблем в научно и научноприложно отношение

Въпреки, че лазерите вече са навлезли широко в медицинската практика, тяхната употреба в значителна степен се основава на неселективни макроскопични ефекти и изследването на физичните механизми на взаимодействието на светлината с биологичните тъкани представляват актуален изследователски проблем. Особено важно е това в прецизни медицински технологии, като неврохирургия и очни манипулации, но има важно значение и за дерматологичната и козметична хирургия и за обработка на тъкани със специфични характеристики, като хрущялните.

Безусловно е ясна необходимостта от разработването на компактна лазерна апаратура, която да генерира лъчение пренастойваемо в средната ИЧ област ($2.5 - 5 \mu\text{m}$) с висока енергия и висока средна мощност, позволяваща разработването на приложения в медицината и материалознанието.

Научното поле на дисертационния труд е мултидисциплинарно и може да бъде определено като отнасящо се към фотониката, в разбирането ѝ за наука изследваща създаването, управлението и приложението на светлинни кванти. Фотониката е призната за едно от най-актуалните направления в съвременната наука, за „мостов” подход между

многобройни научни и технологични сфери, с огромен потенциал за създаване и изследване на нови материали, устройства и методи.

Тематиката на дисертацията изисква добра научна подготовка и широк поглед върху няколко научни области и представлява продължение на традиционно утвърдена тематика в катедра Квантова електроника на Физическия факултет на СУ «Кл. Охридски» за разработката и приложението на специализирана електронна и лазерна апаратура и методи за биомедицината.

2. Обем и структура на дисертацията

Материалът на дисертацията обхваща 94 страници и се състои от Увод, обща част, в която се представя прецизен обзор на методите за усилване на лазерни импулси, оптично параметрично преобразуване и взаимодействие на лазерно лъчение с тъканите, специална част, отразяваща оригиналните експериментални резултати и заключение. Дисертацията съдържа 52 фигури, 2 таблици, 89 цитирани литературни източници и списък на основните публикации на дисертанта от 24 заглавия, на които е базиран дисертационния труд. Обектът и целите на дисертацията накратко, но ясно са формулирани на страница 5.

3. Адекватност на научната методика по отношение на поставените цели и задачи

За постигане на целите на дисертацията са разработени няколко лазерни системи, генериращи импулси с висока средна мощност и енергия, базирани на Nd дотирани активни среди с основно приложение за напмпващи източници на параметрични преобразуватели. За избягване на ефекти като термични лещи, термично индуцирано двулъчепречупване и намаляване на инверсната населеност вследствие на увеличаване на температурата на активната среда е използвана архитектура от задаващ маломощен осцилатор, който определя характеристиките на лазерното лъчение, като продължителност на импулса, спектрална ширина и качество на лъчението и последващ усилвател на мощност, определящ изходната енергия и средна мощност. За целта са разработени осцилатори, работещи както в пасивна така и активна Q-модулация и реализирани различни усилвателни схеми, базирани на напречно диодно напмпвани усилвателни модули с активна среда Nd:YAG. За намаляване на флукуациите в енергията на изходните импулси е реализиран едночестотен режим на работа като е използвана схема със собствени задаващи импулси.

С цел намаляване на загубите от деполяризация и механичен стрес, причиняващ появата на двулъчепречупващи свойства използваните усилвателни модули са реализирани двупроходни схеми на усилване.

За постигане на пренастройваемо лъчение в ИЧ област на спектъра са разработени няколко схеми на оптични параметрични усилватели с периодично поляризиран кристал от стехиометричен литиев танталат (ППСЛТ), периодично поляризиран калиев титанил фосват (ППКТФ). Определянето на спектъра е извършено чрез измерване на спектъра на сигналната вълна, преминаваща през разделящо дихроично огледало и последващо пресмятане на спектъра на допълнителната вълна, използвайки отношението на Менли - Роу и чрез директно измерване на спектъра на допълнителната вълна, посредством монохроматор и детектор от оловен селенид.

За измерване на продължителността на импулсите на допълнителната вълна е извършено честотно удвояване на изходното лъчение в нелинеен кристал КТР. След деконволюция на продължителността на втората хармонична с отклика на измерителната система за продължителността на импулса на допълнителната вълна е определена продължителността на импулса.

4. Научни и научноприложни приноси

Основните научни резултати на дисертационния труд са представени в Специална част, 3.1 – 3.3. Те се отнасят до проектиране и конструиране на два типа задаващи генератори на наносекундни и суб-наносекундни импулси излъчващи на 1.064 μm , работещи в едночестотен и едномодов режим с висока енергия в импулс при килохерцови честоти на повторение: суб-наносекунден микрочипов осцилатор, базиран на активната среда Nd:YAG, работещ в режим на пасивна Q-модулация чрез насищаем поглъtitел от Cr:YAG, и предусилвател, базиран на лазерната среда Nd:YVO4 и едночестотен и едномодов диодно-напомпван Nd:YAG осцилатор, работещ в режим на активна Q-модулация, позволяващ получаване на импулси с енергия 1.5 mJ и продължителност $\sim 1,5$ ns, при честоти на повторение ~ 1 kHz.

Разработена е усилвателна система, базирана на лазерна архитектура – маломощен осцилатор и последващ усилвател на мощността за постигане на високи средни мощности. Посредством напречно диодно напомпвани усилвателни модули, базирани на активната среда

Nd:YAG, изходната енергия от разработените осцилаторите е увеличена до над 50 mJ при честота на повторение от 0.5 kHz.

Реализирани са няколко схеми на оптични параметрични осцилатори за генерация на къси лазерни импулси с висока енергия и средна мощност в средния инфрачервен оптичен диапазон, като е генерирано лъчение с висока енергия (> 2 mJ) и средна мощност (> 1 W), като чрез промяна на температурата на кристала е демонстрирана непрекъсната пренастройка на дължината на вълната между 3 и 3.5 μm . В разработения оптичен параметричен осцилатор с последващ оптичен параметричен усилвател, базирани на нелинейната среда периодично поляризиран стехиометричен литиев танталат е получено високо качество на лъчението с изходна енергията до 5.7 mJ, като чрез промяна на температурата на двата нелинейни кристала се постига непрекъсната пренастройка на дължината на вълната между 3 и 3.5 μm .

Постигнатите енергии и средни мощности при сравнително добро съхраняване на модовия състав на лъчението на осцилаторите са уникални по своят характер за лазерни системи на 1 μm , а системата с оптичен параметричен осцилатор е първата компактна лазерна система, генерираща къси импулси (от порядъка на 1 ns) с висока енергия (> 5 mJ) и средна мощност (> 2 W) в средния ИЧ диапазон, позволяваща разработването на нови приложения в медицината и материалознанието.

Проведен е цикъл експерименти по аблация на биологични тъкани с пренастройваемо между 3 и 3.5 μm лазерно лъчение и е доказан значителен потенциал на разработените системи за приложение в медицински манипулации. Използвани са тъкани от кожа, хрущял и кост на прасе, които са обработени с три дължини на вълните на лазерното лъчение - 3.06, 3.32 и 3.49 μm с енергия 3.0, 2.9 и 2.3 mJ в два режима на облъчване – с единични импулси (10 импулса на една позиция при честота на повторение 2 Hz) или с поредица от импулси (при честота на повторение 500 Hz).

Образците са изследвани с помощта на оптичен микроскоп и цифрова камера за наличие на карбонизацията или загуба на двулъчепрекупваща активност, както и за нивото на околно увреждане. Показано е, че е възможна оптимизация на лазерните параметри, при която не се констатирани термични или механични увреждания като тъканна десикация, оформяне на водни вакуоли или експлозивна фрагментация, а областта на термичното увреждане на околните тъкани е от порядъка на размера на няколко единични клетки.

5. Оценка на личния принос на докторанта

Собствена оценка на приносите си авторът е представил лаконично и ясно на стр. 84 на дисертацията. Обектът на научното изследване е мултидисциплинарен и получаване на краен резултат не е възможен без участие на специалисти с различен научен профил. Все пак, може да се обобщи, че основният принос на докторанта се състои в разработването и характеризирането на усилвателната система с дължина на вълната 1.064 μm , базирана на архитектура маломощен осцилатор и последващ усилвател, провеждането на експериментите и анализа на резултатите в схемата на оптичен параметричен осцилатор, базиран на нелинейни среди ППКТФ и ППСЛТ. Авторът има значимо лично участие в експериментите по аблация на тъкани в сътрудничество с проф. Клаус-Пийтър Рихтер в университета Northwestern и гл. ас. д-р Станислав Филипов от катедра „Анатомия и хистология, патология и съдебна медицина“ при СУ „Св. Климент Охридски“.

Текстът на самия дисертационен труд, прегледът на състава на научните колективи, подредбата на авторите, акцентите в заглавията, профилът на научните издания, величината на импакт фактора и други признаци на организация и изпълнение на изследователските дейности не дават основание личният принос на докторанта да бъде поставена под съмнение.

6. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните статии са публикувани в авторитетни издания с много добър за научната област импакт фактор. Количеството и качеството на публикациите, отразяващи получените научни резултати напълно покриват изискванията за докторска дисертация. Отбелязани са и 10 независими цитирания на основните публикации в авторитетни научни издания, което е безспорен атестат за доказано високо ниво на получените резултати. Прави впечатление активното участие на автора в множество научни форуми от различен характер, включително почти всички значими международни конференции в областта на дисертацията. Това дава основание да се направи заключение, че редовната докторантура е допринесла за изграждането на един висококвалифициран и мотивиран млад учен.

7. Съответствие на автореферата

Структурата и наименованията на отделните раздели и подраздели в автореферата основно възпроизвеждат структурата и наименованията на дисертационния труд. Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и вярно отразява основните резултати от дисертацията.

8. Заключение

Считам, че основната цел на изследванията е постигната, поставените задачи са изпълнени и представеният дисертационен труд има много добър вид. Дисертацията и наукометричните ѝ показатели напълно отговарят на изискванията на ЗРАС в РБ и Правилника за неговото приложение за присъждане на образователна и научна степен „Доктор”. Отчитайки качеството на дисертационния труд и значимостта на получените в него научни резултати, препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор” на Данаил Владимиров Чучумишев по професионално направление 4.1. „Физически науки”.

София

07.10.2015 г.

Рецензент:

(проф. д.ф.н Лъчезар Аврамов)