

# СТАНОВИЩЕ

по дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен „доктор”

**Автор на дисертационния труд:** Данаил Владимиров Чучумишев

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

**Професионално направление:** 4.1 Физически науки – „Физика на вълновите процеси (вкл. квантова електроника и нелинейна оптика)“

**Автор на становището:** доц. д-р Стоян Зл. Куртев, Физически факултет на СУ „Св. Кл. Охридски”

## 1. Актуалност на проблемите

Представеният дисертационен труд е посветен на експерименталното изследване на възможностите за създаване на лазерна система, която генерира импулси в средната инфрачервена област с висока енергия в импулс при висока средна мощност на генерация. Изборът на тази тема на изследванията е продиктуван от наличието на потенциално важни приложения на лазерите, генериращи импулси в този спектрален диапазон, особено в областта на медицината. И доколкото засега източници на такова мощно лъчение в средната инфрачервена област са лазерите на свободни електрони, целта на работата е да се създаде лазерна система, основаваща се на оптично параметрично преобразуване, която да има параметри, близки до тези на лазерите на свободни електрони, но която да е значително по-компактна от тях за да ги замени в някои приложения. Тъй като такива системи понастоящем няма разработени смятам, че избраната тема за изследвания е актуална.

## 2. Структура и общо описание на дисертационния труд

Дисертацията се състои от увод, две части, заключение, списък на използваната литература, списък с публикациите на автора по темата на дисертацията и списък на забелязаните цитати на тези публикации.

В увода се обосновава значимостта на проблемите, на решаването на които е посветена дисертацията. Първата част на дисертацията е обзорна. В нея е направен преглед на теоретичните основи на някои явления и процеси, които се използват по-нататък в работата. Втората част на дисертацията е основната. В нея са представени извършените изследвания и получените резултати. Тя се състои от три раздела. Първият раздел е посветен на разработването на изцяло твърдотелен наpomпващ източник за параметричното преобразуване. Избраният подход е система „задаващ осцилатор – усилвател на мощност“. Целта е осцилаторът да работи в едномодов и едночестотен режим и да излъчва наносекундни импулси с честота на повторение от порядъка на 1 kHz и с достатъчно висока енергия – от порядъка на 1 mJ, за ефективно последващо усилване. Разработени са два осцилатора с надлъжно диодно наpomпване, генериращи на дължина на вълната 1,064 μm: 1) микрочипов Nd:YAG лазер с пасивна Q-модуляция и 2) лазер с активна електро-оптична Q-модуляция на базата на същата активна среда – Nd:YAG, в който е реализирана самоинжекция за осигуряване на едночестотен режим на работа. За достигане с микрочиповия лазер на изходна енергия около 1 mJ е разработен и предусилвател с активен елемент от Nd:YVO<sub>4</sub>. За усилване на генерираните импулси са конструирани и изследвани мощни двупроходни усилватели с активна среда Nd:YAG с напречно диодно наpomпване. Изследвани са различни схеми за компенсиране на възникващите вследствие на високата средна мощност термооптични ефекти, които влошават ефективността на усилвателите и качеството на изходното лъчение. Избрана е схема с Фарадеев ротатор за завъртане на поляриза-

цията на  $90^\circ$  и 4-f система за изобразяване. Достигнати са изходни енергии на наносекундните импулси над 50 mJ при 500 Hz с качествен фактор на лъчението  $M^2$  близък до единица.

Вторият раздел на експерименталната част е посветен на разработването на параметричен преобразувател. Използваните нелинейно-оптични среди са периодично-поляризирани кристали КТР и стехиометричен  $\text{LiTaO}_3$  (SLT) с периоди, избрани така, че допълнителната вълна при параметричната генерация да е в диапазона 3 – 3,5  $\mu\text{m}$ . Отначало са изследвани само оптични параметрични осцилатори (ОПО) както с КТР така и с SLT. Получените резултати показват неудовлетворителни изходни енергии ( $\sim 1$  mJ) както и много лошо качество на генерираните снопове. За преодоляването им е реализирана схема ОПО – ОПУ (оптичен параметричен усилвател). С нея са достигнати енергии от порядъка на 6 mJ и повече от двукратно подобряване на качеството на снопа. Както ОПО така и в ОПУ са използвани периодично-поляризирани SLT-структури.

В третия раздел на тази част е демонстрирана успешна аблация на биологични тъкани с пренастройваемо в диапазона 3 – 3,5  $\mu\text{m}$  лъчение, получено от разработената система.

В заключението са изброени основните резултати, постигнати в дисертацията.

### 3. Оценка на публикациите и автореферата

Научните приноси на дисертанта са публикувани в пет публикации в реномирани международни научни списания с импакт-фактор. Получените в дисертацията резултати са докладвани на 18 международни научни конференции. Съгласно данни на дисертанта, публикуваните по дисертацията статии вече имат 10 независими цитирания. Според мен качеството на публикациите и нивото на списанията, в които са публикувани, напълно покриват изискванията за дисертационен труд за „доктор по физика“. Авторефератът правилно отразява материала по дисертацията.

### 4. Основни резултатите и приноси

Изследванията в дисертацията имат изключително експериментален характер. Основните резултати, получени в дисертацията са следните:

1. Разработени са лазерни генератори, излъчващи на 1064 nm и работещи в едночестотен и едномодов режим както с пасивна (насищаем абсорбер), така и с активна (електрооптична) Q-модулация, които излъчват импулси с продължителност около 1 ns с висока енергия в импулс – около 1 mJ, при честоти на следване на импулсите от порядъка на 1 kHz. При осцилатора с активна Q-модулация едночестотният режим е постигнат с помощта на едночестотна само-инжекция.

2. Разработени са напречно-диодно-напомпвани двупроходни усилватели с активна среда от Nd:YAG за усиление на генерираното от горепосочените осцилатори лъчение. В усилвателите е реализирана схема за компенсация на термично-индуцираното двулъче-пречупване за запазване на ефективността им и на качеството на изходния сноп при висока средна мощност. С помощта на два последователни усилвателя са постигнати енергии на импулсите от над 50 mJ при 500 Hz честота на повторение и запазване на близко до дифракционно ограниченото качество на лъчението.

3. На базата на периодично-поляризирани КТР и SLT са реализирани ОПО, с който, при напомпване с посочената вече система осцилатор-усилвател, са получени субнаносекундни импулси в средната инфрачервена област (пренастройваеми в диапазона 3 – 3,5  $\mu\text{m}$  чрез промяна на температурата на КТР и SLT структурите) с енергии около 1 mJ при честота на повторение 500 Hz. С ОПО, базирано на SLT, е постигната генерация в средната инфрачервена област със средна мощност над 1 W и енергия в импулс над 2 mJ.

4. Разработена е система ОПО–ОПУ с периодично-поляризирани среди SLT, с която, при напомпване с разработения осцилатор – усилвател напомпващ източник на 1064 nm, се получават субнаносекундни импулси в средната инфрачервена област (3 – 3,5  $\mu\text{m}$ ) с

енергия близо 6 mJ, и честота на следване 500 Hz и, следователно, със средна мощност близо 3 W. Тези параметри правят разработената система уникална по своя характер.

5. Успешно е демонстрирана аблация на биологични тъкани с разработената оптично-параметрична система.

## 5. Критични бележки, препоръки и въпроси

1. Струва ми се, че обзорната част е много по-дълга и по-подробна отколкото е необходимо. Авторът би могъл да посочи само най-важните теоретични резултати и изводи, а за повече подробности да посочи съответните литературни източници.

2. Доколкото всички активни елементи в напмпващия източник са от Nd:YAG, който от една страна не е най-подходящата среда за диодно напмпване, а от друга страна, при интензивно напмпване в нея възниква термично индуцирано двулъчепречупване, бих желал дисертантът да коментира възможностите за използване на други активни среди, напр. Nd:YVO<sub>4</sub> или дори евентуално Yb-съдържащи среди. Що се отнася до термично индуцираното двулъчепречупване, биха могли да се използват Nd:YAG активни елементи, изрязани в друго направление, напр. [100], за които този ефект е по-слаб. Макар да не е изрично написано в дисертацията, предполагам, че използваните в усилвателите елементи са ориентирани в направление [111].

3. В работата са представени резултати от измервания на продължителността на импулсите както на напмпването така и на параметричната генерация. За разлика от резултатите за напмпващото лъчение и за сигналната вълна, чиито продължителности на импулсите могат да се измерят пряко с InGaAs фотодиоди, за продължителността на импулсите на допълнителната вълна, която е в средния инфрачервен диапазон (~ 3 μm), всъщност са дадени продължителностите на импулсите на втората им хармонична, а тя от своя страна може значително да се отличава от продължителността на импулсите на самата допълнителна вълна. Добре би било поне да се направи оценка на действителната продължителност на тези импулси. Можем ли да очакваме продължителността на импулсите на допълнителната вълна да е равна на продължителността на импулсите на сигналната вълна?

## 6. Заключение

Дисертацията е посветена на актуален и сложен проблем на съвременната лазерна физика и техника. Смятам, че поставените в нея цели и задачи са изпълнени. От дисертанта е извършена огромна по обем експериментална работа, която изисква редица специфични знания и умения: разработка, пускане в действие и оптимизация на диодно-напмпвани твърдотелни лазери с висока импулсна енергия и с висока средна мощност на генерация, опит и познания в областта на нелинейната оптика, както и методите за измерване на параметрите на лазерното лъчение, и т. н. Мисля, че неговият личен принос в представените резултати е съществен. Дисертационният труд напълно съответства на приетите във Физически факултет на СУ „Св. Кл. Охридски” изисквания за присъждане на образователната и научна степен „доктор”. Въз основа на това препоръчам на членовете на Научното жури да присъдят на Данаил Владимиров Чучумишев образователната и научна степен “доктор”.

София, 26.09.2015 г.

Изготвил становището:

(доц. д-р Стоян Куртев)