

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертацията на г-н **Данаил Владимиров Чучумишев** на тема “*Оптични параметрични генератори в средната инфрачервена област с висока енергия и висока средна мощност*”, представена за присъждане на образователната и научна степен “доктор” в професионално направление 4.1. Физически науки (Физика на вълновите процеси, вкл. квантова електроника и нелинейна оптика).

Автор на рецензията, член на научното жури: доц. д-р Николай Минковски от Лесотехнически университет – София

### **1. Актуалност на дисертационния труд.**

Основните цели на настоящата дисертация са създаване на компактна лазерна система с пренастройваемо по дължина на вълната лъчение, работеща в средната инфрачервена област с относително висока импулсна и средна мощност и приложението ѝ за аблация на биологични тъкани. Акцентът в работата основно е съсредоточен към създаване на лазерната система параметричен генератор с последващ параметричен усилвател. За усвояване е избрана областта около 3 и над 3 микрометра. Трябва да отбележим, че това е една трудно достъпна област и все още не добре усвоена, въпреки, че тя обещава широко приложение. Като източник тук се открояват лазерите на свободни електрони и докторантът споменава за лазерната система от университета в Нешвил, САЩ, но като такива може да добавим и няколко много сполучливи европейски системи, в Хамбург, в Цюрих и др. Те генерират лъчение в много широк спектрален диапазон, самите системи са много скъпи и огромни по размер, което силно ограничава тяхното приложение. Колкото до диапазона от 3 до 5  $\mu\text{m}$  известен като първи атмосферен прозорец, той обещава огромно приложение по контрол на околната среда (детектиране на редица важни газове като метан, азотен оксид, въглероден оксид, формалдехид и др.), за аблация в медицината понеже е в областта на максимално поглъщане от водата (3  $\mu\text{m}$ ) а така също и в клиничната диагностика. Това определя и големия интерес през последните години за овладяване на тази трудно достъпна за лазерите област. Много компании хвърлят огромни усилия в разработване на различни лазерни източници в средния инфрачервен диапазон, последните десетина години и голям брой научни публикации са посветени на този проблем. Това прави настоящата дисертация актуална и предполага, че темата разработвана в нея ще намери бързо голямо практическо приложение в различни области.

## 2. Структура на дисертацията

Предоставената ми за рецензия дисертация е в обем от 95 страници и е структурирана в две основни части. Първата част е посветена на общи въпроси, като усилване на лазерни импулси, оптично параметрично преобразуване като метод за генериране на пренастройваемо лъчение, начини за осъществяване на фазов синхронизъм, като особено внимание е отделено на квази фазов синхронизъм в нелинейни кристали с периодично структуриране (поляризиране). В края на тази част са формулирани изискванията към нелинейните среди за генериране на високоенергетични лазерни импулси с висока средна мощност. Разгледани са свойствата на няколко нелинейни кристала, като в крайна сметка обосновано са избрани два от тях – периодично поляризиран стехиометричен литиев танталат и периодично поляризиран калиев титанил фосфат. (Препоръката ми тук е да се използват английските означения на нелинейните кристали, хората работещи в тази област са свикнали с тях и се възприемат по-лесно. Така няма да има разлика в текста в дисертацията и картините и графиките, където почти всички обозначения са на английски) С оглед предвиденото приложение на пренастройваемия лазер, последната глава в тази част е посветена на взаимодействието на лазерното лъчение с биологична тъкан, фотохимично и термично. Повече внимание е обърнато на термичното и процесите в тъканите в зависимост от температурата. За този диапазон (средния инфрачервен) характерната аблация при мощно лазерно въздействие е плазмено индуцираната и фотодисрупцията и затова логично дисертантът се е спрял повече на тези процеси.

Втората част на дисертацията е посветена на получените резултати. Авторът е описал процеса на проектиране, конструиране и охарактеризиране на новосъздадените лазерни параметрични генератори и усилватели за средния инфрачервен диапазон, както и създаването на подходящи напмпващи източници, също система генератор – усилвател. Като финал е демонстрирана и възможността на такива системи за аблация на биологични тъкани.

Дисертацията завършва с резюме на получените резултати и описание на приносите на автора, Цитираната литература е подходящо подбрана – има основни публикации и съвременни такива, състои се от 89 заглавия. Показва познаване на темата от дисертанта, въпреки че някои обещаващи нови лазерни източници, работещи в този диапазон са пропуснати. Например такива са квантовите каскадни лазери, за които Чучумишев правилно отбелязва, че тяхно неудобство е ниската температура при която работят, въпреки че вече са известни структури като Sb-InGaAs/InAlAs, които работят

при стайни температури и успешно покриват интервала от 3 до 5  $\mu\text{m}$ . Също така голям прогрес имат и полупроводниковите лазери от ZnSe, CdSe, CdZnTe, легирани с преходни метали от типа на  $\text{Cr}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ . Те дават забележителни изходни мощности и добра пренастройка в средния инфрачервен диапазон. Разбира се тук може би трябва да споменем и матриците легирани с Er, генериращи обаче само на фиксирана дължина на вълната, 2,94  $\mu\text{m}$ , но този източник вече е усвоен много добре и генерира завидни енергии.

Накрая е приложен списък с публикациите на Д. Чучумишев по темата на дисертацията и списък с докладите, представени на научни конференции.

Авторефератът е от 40 страници и той по подходящ начин отразява резултатите, описани в дисертацията, като авторът правилно е акцентирал основно на оригиналните резултати, като е редуцирана силно обзорната част. Като забележка бих посочил, че е пропуснато акцентирането на основните резултати в отделна глава от автореферата.

### **3. Публикации и тяхното отражение в литературата**

Резултатите в дисертацията са публикувани в пет статии в престижни международни списания с висок импакт фактор. Три от статиите са публикувани в списанието Quantum Electronics, една статия в списанието Laser Physics Letters и една в реномираното списание Optics Letters. Една статия е публикувана в пълен текст в издание на SPIE от участие в международна конференция. Изобщо трябва да се подчертае, че резултатите са представени широко на международни конференции, доклади са представени на 18 международни форума, в това число 3 на CLEO в САЩ, 4 на IQEC в Германия, в Китай, Швеция, Румъния и България. Резултатите на Чучумишев са добре приети от научната общност, защото има и няколко цитирания, общо 18 в международни списания, като една от статиите е цитирана 8 пъти. Това говори за високото ниво на публикуваните резултати и признанието в чужбина. Публикациите, на които е базирана дисертацията и цитиранията в чужбина многократно надхвърлят изискванията за една дисертация, което може само да бъде приветствано.

### **4. Резултати и оценка на приносите в дисертацията**

Основните резултати от дисертацията са представени във втората ѝ част. Тук са описани новите конструирани лазерни системи, на напompващата лазерна система, състояща се от генератор и усилвател, както и на параметричния генератор и неговия усилвател.

Създадени са два компактни генератора на базата на Nd-YAG генериращи относително къси импулси – около 1 ns, първият е с пасивен Q-модулятор на базата на Cr<sup>4+</sup>-YAG кристал, наречен микрочипов?, докато вторият генератор е с активна Q-модулация на базата на електрооптичен затвор от два RTP кристала. Генераторът е в едночестотен режим и при активна Q-модулация е с отрицателна обратна връзка. И двата осцилатора дават на изхода качествено лъчение с много добър M<sup>2</sup> фактор и с продължителност на импулсите около 0,5 за пасивната модулация и около 1,5 ns за активната. Енергиите са около mJ, което предполага усилване. Реализирани са и за двата вида генератори двустъпални усилватели, като са предложени и експериментално реализирани различни схеми на усилване. Така в крайна сметка са създадени компактни системи генератор-усилвател с висока изходна енергия, съответно при задаващ генератор с пасивна модулация около 30 mJ, а при активна и до 50 mJ с продължителност на импулсите малко различаваща се от тази на осцилаторите и отново със сравнително добро пространствено разпределение. Това прави тези устройства подходящ инструмент за напompване на параметрични генератори.

Следващият резултат е именно създаването на пренастройваема по дължина на вълната лазерна система на базата на параметричен генератор, работеща в областта 3-3,5 μm. Реализирани са два параметрични генератора, първият на базата на периодично поляризиран стехиометричен литиев танталат и вторият на базата на периодично поляризиран калиев титанил фосфат. Демонстрирана е пренастройка на генерираната допълнителна вълна в желания среден инфрачервен диапазон с промяна на температурата на кристала, като такива експериментални резултати са показани само за литиевия танталат. При двата параметрични генератора е реализирано ефективно генериране на допълнителна вълна с дължина на вълната около 3 μm и изходни енергии от порядъка на 1-2 mJ. Измерени са продължителностите на импулсите с помощта на InGaAs фотодиод, които се оказват малко под или над наносекунда. Не съвсем ясно е как при цитиран отклик на системата от 350 ps са измерени продължителности от 270 ps. Естествено е при тези схеми на параметричен генератор да се очаква съществено влошаване на пространствените параметри на лъчението, което е и демонстрирано с определяне на факторът M<sup>2</sup>, който се оказва около 45 за литиевия танталат и 75 за калиевия титанил фосфат.

За подобряване на пространствените и енергетични параметри на параметричния генератор е предложена и експериментално реализирана схема на параметричен усилвател (само с периодично поляризиран стехиометричен литиев танталат). Така

като финално достижение в дисертацията е демонстриран един много сложен лазерен комплекс състоящ се от компактна напмпваща система генератор-усилвател и последваща система от параметричен генератор и параметричен усилвател. Така е постигнато двукратно подобряване на пространствените параметри и относително приемливо удължаване на импулсите от осцилатора след усилването им. Достигнати са максимални енергии около 6 mJ при наносекундна продължителност в средния инфрачервен диапазон, което е едно много добро постижение. (По повод продължителността на импулсите от параметричния генератор и усилвател има неточност на фиг. 48a) Тук представените графики за изходната енергия от параметричната система в зависимост от напмпването са само до напмпвания от порядъка на 30 mJ, а от предходните резултати виждаме, че потенциалът на напмпването е до 50 mJ, кое ограничава използването на такива напмпващи енергии, известно е, че литиевият танталат е от чувствителните кристали при приложение за генерация на втора хармонична, за модулатори и т.н.

Като цяло може да обобщим, че е създаден компактен лазерен комплекс с висока пикова и средна мощност в много интересна спектрална област, който може да намери широко приложение. На едно такова приложение е посветена последната глава с резултатите от дисертацията. Демонстрирани са първите резултати по аблация на биологична тъкан с лъчението от този лазерен комплекс и са използвани различни дължини на вълните. След анализ на обработените с лазера образци от кожа, хрущял и кост е определена зоната на термично увреждане (известна в литературата като HAZ), което и е и критерий за приложението на такова лъчение. Аблацията е ефективна, практически липсва зона на карбонизация, както и други термични или механични увреждания. С помощта на поляризационен метод е установено, че областта на термични промени е в област не по-голяма от 100  $\mu\text{m}$ , което е от порядъка на няколко единични клетки. Тези резултати демонстрират потенциала на създадената лазерна система. Препоръката ми е експериментите да продължат и с други приложения, например в денталната медицина, в областта на медицинската диагностика, този диапазон е удачен за диагностика на онкологични промени в някои тъкани. След демонстрацията по ефективна аблация на кост, тази система може да се сравни по ефективност с източници, работещи в диапазона около 6  $\mu\text{m}$ , където засега се предполага, че взаимодействието е най-ефективно и с най-малки термични модификации на околната тъкан близка до аблирана.

Комбинацията от проектиране, разработване и създаване на нови лазерни източници в труден спектрален диапазон и приложението на такива системи, например в медицината, както е в конкретния случай, прави такава дисертация с интердисциплинарен характер, което трябва да се приветства.

## **5. Заключение**

На базата на всичко казано до тук аз убедено мога да твърдя, че представената дисертация на **Данаил Владимиров Чучумишев** е на много **високо съвременно научно ниво**. Създадените лазерни източници в една труднодостъпна спектрална област обещават голямо приложение в медицината, контрола на околната среда, комуникациите. **Затова убедено твърдя, че магистър-физик Данаил Чучумишев отговаря напълно на изискванията за присъждане на образователната и научна степен „доктор” по исканата специалност и препоръчвам с убеденост присъждането му на тази научна степен.**

Изготвил рецензията:

София, 30.09.2015г.

/ доц. д-р Николай Минковски /