

РЕЦЕНЗИЯ

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

Автор на дисертационния труд: Божидар Николов Орешков

Тема на дисертационния труд: High peak and average power laser oscillators and amplifiers based on Nd, Tm and Ho-doped laser media

Професионално направление: 4.1 Физически науки (Физика на вълновите процеси)

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

1. Актуалност на проблемите

Представеният дисертационен труд е посветен на разработването и експерименталното изследване на компактни лазерни системи, излъчващи в инфрачервената част на спектъра – на дължини на вълните около 1 μm и около 2 μm , и които са способни да генерират къси лазерни импулси със сравнително голяма енергия – от порядъка на десетки и стотици милиджаули, при сравнително голяма честота на следване на генерираните импулси (стотици импулси в секунда). Следователно, генерираното от тях лъчение ще бъде едновременно с висока пикова и висока средна мощност. От една страна едновременното постигане на тези характеристики не е тривиална задача, а от друга страна такива лазерни системи имат редица потенциални индустриални, медицински, научни и други приложения, поради което понастоящем интересът към тях е голям и непрекъснато се работи за постигане и подобряване на тези им параметри. Това ми дава основание да смятам, че избраната тема за изследвания е актуална. Допълнително основание за това мое мнение ми дава и фактът, че за постигането на тези цели в дисертацията се използват съвременни методи и средства.

2. Структура и общо описание на дисертационния труд

Дисертацията се състои от увод, обзорна част, експериментална част, заключение, списък на използваната литература и списък с публикациите на автора по темата на дисертацията.

В увода авторът обосновава значимостта на проблемите, на решаването на които е посветена дисертацията. Накратко се излага текущото състояние и се набелязват конкретните стъпки, които ще се предприемат за постигане на целите, поставени в дисертацията. Накрая в уводната част е описана структурата на дисертацията.

Втората част на дисертацията представлява обзор на някои теоретични постановки и модели, отнасящи се до режима на модулация на доброкачествеността (режим на Q-модулация) на лазерните осцилатори и усилването на лазерното лъчение. В глава 2.1 е разгледан най-общо режима на Q-модулация при мигновено превключване на загубите, както при импулсно, така и при непрекъснато напмпване на активната среда. Представени са някои основни аналитични модели за описание на процеса на Q-модулация. По-нататък по-конкретно е разгледана пасивната модулация на доброкачествеността, тъй като този е режимът, който се използва в експерименталната част на

дисертацията. Гл. 2.2 е посветена на теорията на усилването на лазерно лъчение. На основата главно на модела, разработен от Франц и Нодвик (Frantz and Nodvik), е направен кратък анализ на процесите както при еднопроходно така и при многопроходно усилване на лазерни импулси. Това е мотивирано от факта, че авторът използва схема „задаващ генератор – усилвател на мощност“ (Master Oscillator – Power Amplifier, MOPA) в експерименталната част. Накрая на тази глава е разгледан и процесът на усилване на пакет от импулси.

В трета част на дисертацията са описани разработените лазерни системи, проведените експерименти с тях и са представени получените резултати. Всички активни среди в тези системи са или с надлъжно или с напречно лазерно-диодно напомпване. Поради големия брой осцилатори, усилватели и комбинации от тях, представени в дисертацията, няма да се спирам подробно на всеки от тях, а ще акцентирам само на най-важните според мен резултати.

Отначало (в гл. 3.1) са представени разработените четири задаващи осцилатора, работещи в режим на Q-модуляция. Всички те са базирани на Nd:YAG активни среда и излъчват нано- и субнаносекундни импулси на дължина на вълната 1,064 μm . Първите три са микро-чип лазери с надлъжно напомпване и работят в режим на пасивна Q-модуляция с Cr:YAG насищаем абсорбер (SA), а четвъртият – в режим на активна Q-модуляция с електро-оптична клетка на Покелс от ВВО. Главните проблеми, които са решени при тях са следните. За намаляване на времевия джитър на поява на Q-импулсите успешно е използван съставен двустъпален напомпващ импулс, благодарение на което джитърът е намален повече от три пъти. За получаване на стабилен режим на Q-модуляция с фиксирана линейна изходна поляризация успешно е използван резонатор с т. нар. „усукан/завит мод“ (twisted-mode cavity). Качеството на изходните снопове на тези осцилатори е близко до това на дифракционно ограничени сноп. Последният от разработените осцилатори за 1,064 μm използва напречно лазерно-диодно напомпване на активната среда и е с нестабилен резонатор с „супер-Гаусово“ огледало, благодарение на което изходният сноп е със супергаусов профил.

По-нататък (в гл. 3.3) са представени разработените предусилватели за усилване на слаби сигнали до нива, достатъчни за ефективна екстракция на енергия от крайните усилватели на мощност. Описани са два предусилвателя – и двата с едностранно надлъжно напомпване. Първият е на базата на Nd:YVO₄ активен елемент и използва двукратно преминаване на сигнала през активната среда за ефективно усилване и снемане на инверсната населеност, а другият използва сравнително новоразработените т. нар. „кристални влакна“ (single-crystal fibers) със същата цел.

За крайните усилватели на мощност авторът е разработил лазерни модули с напречно лазерно-диодно възбуждане (гл. 3.2), които да позволят запазване на голяма енергия в активните среди на тези усилватели при висока средна мощност на изходното лъчение и при запазване на качеството на усилваните снопове. Напречното разпределение на усилването в тези модули е изследвано както числено така и експериментално. Представените резултати убеждават, че е постигната висока степен на аксиална симетрия както и почти хомогенно напречно разпределение на усилването. С помощта на един такъв модул е постигнато близо стократно усилване на енергията на субнаносекундни импулси до около 15-20 mJ при честота на следване на импулсите 500

pps. Голямото усилване съчетано с ефективна екстракция на енергия от усилвателя са постигнати благодарение на четири-проходна схема на усилване. Качеството на изходния сноп е запазено близко до едномодово ($M^2 = 1,5 \times 1,2$), което пък е постигнато благодарение на компенсиране на термо-оптичните ефекти в активната среда на усилвателя с използване на 4-f оптична система за изобразяване на активния елемент и Фарадеев ротатор за завъртане на поляризацията на 90° .

В гл. 3.4 са представени резултатите по усилване на пакет (серия) от пикосекундни импулси. Поради малката енергия на пикосекундните импулси за ефективното им усилване са използвани двупроходен предусилвател (описаният в гл. 3.3, базиран на Nd:YVO₄) и двустъпален усилвател на мощност с два напречно напompвани лазерни модула, във всеки от които е реализирано двупроходно усилване. За запазване на амплитудата на импулсите в серията се управлява задръжката между началото на напompващия импулс и началото на пикосекундния пакет. Въпреки използването на 4-f системи и Фарадееви ротатори за компенсиране на термо-оптичните изкривявания в усилвателите, качеството на изходните снопове не е много добро.

Възможностите за подобряване на качеството на лъчението чрез използване на деформируемо огледало (ДМ) са изследвани в гл. 3.5. Поради ниския праг на разрушение на ДМ е установена оптимална конфигурация, при която ДМ се използва за контролирано управление на характеристиките на изходния сноп от микрочипов осцилатор в режим на Q-модуляция, който след това се въвежда в каскада от два усилвателя, първият от които работи при четири-проходно усилване, а вторият – при двупроходно. И в двата усилвателя се използва компенсация на термо-оптичните ефекти. Постигнати са изходни енергии от порядъка на 35 mJ при 750 pps, а M^2 на изходния сноп е от порядъка на $1,5 \times 1,1$.

В гл. 3.6 са разработени и изследвани различни осцилатори с пасивна Q-модуляция за генерация на наносекундни импулси в диапазона около 2 μm . Постигната е генерация както с дотирани само с тулий и само с холмий така и с кодотирани с Tm:Ho среди – основно различни флуориди (LiYF₄, LiLuF₄, LiGdF₄). За насищаем абсорбер е използван Cr:ZnSe. С Tm:LiLuF₄ и Cr:ZnSe SA са получени рекордно къси (5,6 ns) за такъв тип лазер импулси с енергия 1,65 mJ. Изследвани са и свойствата на Cr:CdTe като потенциално по-подходящ насищаем абсорбер за лазери, генериращи на около 2 μm .

В заключението са систематизирани най-важните резултати, получени в работата по дисертацията, и накратко са посочени възможности за по-нататъшно развитие по темата.

3. Оценка на публикациите и автореферата

Получените в дисертацията резултати са публикувани в две статии в реномирани международни рецензируеми научни списания с импакт-фактор – една в “Laser Physics Letters” и една в списанието “IEEE Photonics Journal” и са докладвани на 9 престижни международни научни конференции (напр. „CLEO”, „Frontiers in Optics” и др.), като докладите са публикувани в бюлетините на съответните конференции. Според мен качеството на публикациите и нивото на списанията, в които са публикувани, напълно покриват изискванията, приети във Физически факултет на СУ, за дисертационен труд за

степената „доктор“ по физика. Авторефератът правилно отразява материала по дисертацията.

4. Анализ на резултатите и оценка на приносите

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

Разработени и изследвани са различни субнаносекундни лазерни осцилатори с пасивна Q-модулация, работещи с висока честота на повторение на импулсите и генериращи на дължина на вълната 1064 nm. С тях са изследвани възможностите за преодоляване на някои типични за тези лазери проблеми като намаляване на времевия джитър и получаване на линейно поляризирано изходно лъчение при високо качество на изходния сноп.

Разработени и изследвани са ефективни надлъжно диодно-напомпвани предусилватели за повишаване на енергията на субнаносекундни импулси и серии от пикосекундни импулси до нива от порядъка на единици милиджаули.

Проектирани, конструирани и изследвани са мощни напречно диодно-напомпвани лазерни усилвателни модули.

Реализирана е четири-проходна усилвателна схема, с която е постигнато усилване на импулси с енергия 300 μ J до енергия 18 mJ при продължителност на импулсите 800 ps и честота на повторение 500 pps.

Създаден е усилвател на серия от пикосекундни импулси (макроимпулс), с който макроимпулси с продължителности от 10 μ s до 100 μ s и енергии съответно от 20 μ J до 300 μ J са усилен до енергии съответно от 15,1 mJ до 43,1 mJ. Продължителността на импулсите в серията е 6,7 ps, а честотата им 95 MHz. С тази система за първи път е демонстрирана работа при честота на макроимпулсите по-голяма от 50 pps – в случая 500 pps, за система, генерираща импулси с такава времева структура, наподобяваща тази на лазерите на свободни електрони.

С помощта на пиезоелектрични деформируеми огледа успешно е демонстрирана възможността за редуциране на термо-оптичните изкривявания, възникващи в лазерните усилватели при работа с висока средна мощност.

Създадени и изследвани са няколко осцилатора, базирани на Tm и Tm:Ho дотирани лазерни активни среди, работещи в режим на пасивна Q-модулация, за генерация на лазерни импулси с висока енергия и висока пикова мощност в спектралния диапазон около 2 μ m. Използвайки Tm:LiLuF₄ среда в комбинация с Cr:ZnSe насищаем погълтател са постигнати най-късите импулси с диодно напомпван Tm-лазер, работещ в режим на пасивна Q-модулация – 5,6 ns, с енергия в импулс достигаща 1,65 mJ и честота на следване на импулсите стотици импулси в секунда. С Cr:ZnSe насищаем погълтател за пръв път е получена генерация на наносекундни (13 ns) импулси в режим на пасивна Q-модулация с новата активна среда Tm:LiGdF₄. С кодотирана активна среда Tm:Ho:LiYF₄ в комбинация с Cr:ZnSe насищаем погълтател за пръв път са получени къси лазерни импулси от такъв тип лазер – с продължителност 45 ns, с висока пикова мощност и честота на повторение между 600 и 3400 pps.

Измерени са плътността на енергията на насищане и сечението на поглъщане на Cr: CdTe, с оглед на потенциалното приложение на тази среда като насищаем абсорбер в диапазона около 2 μm .

Получените в дисертацията резултати са на високо ниво и са убедителни. Това ми дава основание да смятам, че целите, поставени в дисертацията са изпълнени.

5. Критични бележки, препоръки и въпроси

1. По отношение на оформлението на дисертацията имам следната забележка. Легендата към част от фигурите е с прекалено дребен шрифт и читателят трябва или да се досеща какво е написано там или да погледне в електронния вариант на дисертацията.

2. Към дисертанта имам и следния въпрос. Доколкото, очевидно от материала, изложен в дисертацията, за изпълнението на работата по нея са необходими най-разнообразни физични и инженерни познания и опит, а от публикациите по дисертацията пък се вижда, че те са плод на колективен труд, може ли дисертантът накратко да конкретизира неговото собствено участие?

6. Заключение

Дисертацията е посветена на актуален и сложен проблем на съвременната лазерна физика. 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-напомпвани твърдотелни лазери и усилватели с висока средна мощност на генерация, опит и познания в областта на оптиката, както и на методите за измерване на параметрите на лазерното лъчение. Дисертационният труд напълно съответства на Закона за развитие на академичния състав на Република България и 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 г-н Божидар Николов Орешков образователната и научна степен “доктор”.

София, 12.10.2016 г.

Рецензент:

(доц. д-р Стоян Куртев)