

Авторска справка за приносния характер на трудовете
На Христо Любомиров Илиев, представени за участие в конкурса за
доцент в Софийския университет "Св. Климент Охридски" по направление
4.1. Физически науки /Обща физика/, обявен в ДВ бр. 44/29.05.2018 г.

I. Обобщени показатели

Списъкът на научните публикации, включва общо 43 заглавия, от които 11 публикации в пълен текст, 4 в списания с импакт фактор, 30 доклада на научни конференции като CLEO USA, CLEO Europe, ASSP, SPIE Photonics West и др. Всички посочени в списъка работи са публикувани, като Technical Digest от съответната конференция и някои от тях са индексирани в бази данни като ISI Web Of Knowledge. За тях са посочени и съответните линкове. Докладите от конференции, които са публикувани в пълен текст не са посочени в списъка. Посочени са само публикациите в пълен текст.

До момента съм забелязал 47 независими цитирания (с изключени самоцитирания). Според базата данни ISI Web of knowledge индексът на Хирш е $h=4$ (с изключени самоцитирания). Сравнение на показателите с препоръчителните изисквания за академичната длъжност "доцент", приети във Физическия факултет на СУ "Св. Климент Охридски," е представено в Таблица 1.

За участие в конкурса представям 24 публикации, общо 6 публикации в пълен текст, от които 3 публикации в списания с импакт фактор, 1 полезен модел, 17 доклада от конференции. Тези работи са публикувани както следва в списания, за които в скоби е посочен 5-годишния импакт фактор към 2015г.: Optics Letters (3.4) – 1 публикации; Optics Express (3.3) – 1 публикации; Applied Physics B: Lasers and optics, (1.8)– 1 публикации; Част от публикациите, представени за участие в конкурса, съм използвал в дисертацията си за образователната и научна степен „доктор“(периода 2010-2012). Мотивацията ми за включване на тези публикации сред представените за участие в настоящия конкурс е, че те дават по-пълна представа за развитието на работата ми по част от описаните в точка II направления, както и за по-дългосрочната цитируемост на работите.

Изследванията ми са основно в областта на генерацията на свръх къси лазерни импулси и нелинейната оптика и различни приложения на такъв тип лазерни източници. Представените за участие в конкурса публикации са експериментални с научна и приложна насоченост.

Таблица 1. Сравнение с критериите на “Препоръчителните изисквания към кандидатите за придобиване на научните степени и заемане на академичните длъжности във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски.“

Изискване	Показатели на кандидата
Научна степен „доктор“	Придобита на 15.11.2012
Преподавателски опит еквивалентен на най-малко 2 години пълна учебна натовареност в СУ	7 семестъра с пълна учебна натовареност в катедра “Обща физика”, ФзФ, СУ.
Научно ръководство на успешно защитили дипломанти и/или консултиране на успешно защитили докторанти	Консултант на трима успешно защитили докторанти.
Най-малко 20 публикации, от които поне 12 статии в реномирани издания, в поне 6 от които кандидатът трябва да има водеща роля	Общо 43 научни публикации (включващи публикувани доклади от реномирани научни конференции и такива публикации в пълен текст), 11 публикации в пълен текст 4 от които в издания с импакт фактор. Първи автор в 24 публикации и основен принос в останалите.
Най-малко 30 независими цитирания	47 независими цитирания (съгласно ISI Web of Science)
h-индекс поне 5	h=4 (съгласно ISI Web of Science)
Ръководство и/или участие в международни и/или национални проекти Лазерна система в средният инфрачервен спектрален диапазон за медицински цели	Участник в международни и национални научни проекти: 1. Д01-882-2007г 2. Д0 02-134 -2009г; 3. ДНТС 02-24-2010; 4. ДДВУ-02-105-2010г 5. Ръководител на научен екип по проект BG161PO003-1.1.05-0126-C0001; Разработване и внедряване на мощна пренастройваема лазерна система в инфрачервената област. Разработвана в проекта система е защитена с действащ полезен модел с номер: 2192 - 13.12.2014. 6. 80-10-124/21.04.2017 - Изследване на възможностите на съвременните полупроводникови лазери, генериращи в синята част на спектъра за технологична обработка на материали.

II. Приноси на представените за участие в конкурса публикации

Основната част от работата е свързана с изследването на нови методи за генерация на свръх къси лазерни импулси, в среди с тесен спектър на усилване, посредством пасивна синхронизация на модовете. Предложен е нов метод за синхронизация на модовете, който използва генерацията на втора хармонична вътре в лазерният резонатор за модулиране на загубите и получаване на режим на синхронизация на модовете. Работа по разработването на техниката, започва още по време на докторската дисертация. Това е и основание за включване на публикации от периода 2010-2012, който също са включени в дисертационният труд.

Последващите работи в периода след защитата на дисертационният труд 2013 – 2018 са съсредоточени върху разширяване на приложимостта на разработената техника в различни спектрални диапазони, с новопоявяващи се лазерни среди. Част от работата е насочена и към други, алтернативни методи за получаване на къси и свръх къси лазерни импулси. Тяхното усилване и използване за параметрично преобразуване в близката и средната инфрачервена област.

Представените за участие в конкурса работи включват и един регистриран Полезен модел, за защита на интелектуална собственост, именно „Мощна пренастройваема лазерна система в инфрачервената област“, комерсиален проект за разработка и внедряване на иновативни технологии.

1. Разработване на иновативна техника за пасивна синхронизация на модовете, приложима за среди с тесен спектър на усилване и висока средна мощност.

1.1. Приложение в Nd⁺³ дотирани лазерни среди излъчващи в спектралният диапазон около 1064 nm.

Работа : [1]

Работа [1] е първата работа по темата, която обобщава резултатите от множество предхождащи експерименти. Тя описва предлаганата техника за пасивна синхронизация на модовете, както и експерименталните резултати от прилагането и в Nd⁺³ дотирани лазерни среди излъчващи в спектралният диапазон около 1064 nm. В работа е направено сравнително изследване на получените експериментални резултати с такива получени посредством други техники в същият спектрален диапазон. За първи път е използван периодично поляризиран литиев танталат, за формиране на динамична отрицателна фазова леща, използвана за модулиране на загубите и получаване на режим на синхронизация на модовете. Изследван е и относителният принос на различните конкуриращи се процеси при формирането и скъсяването на лазерния импулс.

1.2. Разширяване на спектралният диапазон. Приложение в спектралният диапазон около 1340 nm

Работи : [2]

Работа [2] е следващата естествена стъпка в развитието на разработената техника, а именно приложението и в спектралният диапазон около 1340 nm, където е втората по интензитет линия на усилване на Nd⁺³ дотирани лазерни среди. Диапазон който и до днес представлява сериозен интерес свързан с оптични комуникации в свободното пространство, и безопасни за очите дистанционни методи за изследване на атмосферата и където същевременно не съществуват надеждни техники за генерация на свръх къси лазерни импулси. Бяха получени рекордно кратки импулси, за този спектрален диапазон, (продължителност от 3.6ps), съчетани със средна мощност сравнима с най-добрите постижения докладвани в литературата.

1.3. Въглеродни нанотръбички, като насищаем поглъtitел използван за генерация на свръх къси лазерни импулси в спектралният диапазон около 1340nm.

Работа : [3]

В работа [3] са описани резултатите от прилагането на друга модерна техника за получаване на режим на синхронизация на модовете, посредством насищаеми поглъtitели (Saturable absorbers). В случая като такъв се използват въглеродни нанотръбички с близки размери, нанесени върху плоско паралелна кварцова подложка. В тази работа бяха изследвани редица абсорбери. Бяха определени основните им параметри и за първи път бяха успешно използвани, като пасивен модулатор за получаване на режим на синхронизация на модовете в диапазона около 1340 nm.

1.4. Възбуждане директно в горно лазерно състояние при системи излъчващи в диапазона около 1340nm.

Работа : [8]

Резултатите от **2** и **3**, в диапазона около 1340 nm показаха и един от основните проблеми, пред реализацията на надеждни и ефективни системи, а именно големият квантов дефект. Голямата разлика между енергията на възбуждащите фотони и тази на излъчените при лазерният преход води до сериозни топлинни натоварвания в активната среда и ограничава максималната ефективност, съответно максималната изходна мощност и надеждността на системата. Работа [8] е продължение на **работа 2**, в която беше използван наpomпващ източник излъчващ в диапазона около 880 nm, възбуждащ активните частици директно в горното лазерно състояние. Този подход намалява квантовият дефект с 14%, което позволява увеличаване на ефективността и намаляване на топлинните загуби, като същевременно осигурява достатъчно високо поглъщане за ефективна работа на системата. Беше получена максимална изходна мощност в режим на синхронизация на модовете повече от два пъти по-висока от тази получена в **работа 2**, при съизмерима продължителност на генерираните импулси.

1.5. Възбуждане директно в горно лазерно състояние при системи излъчващи в диапазона около 1064nm.

Работа : [9, 22]

Техниката за възбуждане на частиците директно в горното лазерно състояние позволява повишаване на ефективности и на системите излъчващи в диапазона около 1064nm. В работа **9** и **22** бяха изследвани различни членове на семейството на ванадатите (Nd:YVO_4 , Nd:GdVO_4 , Nd:LuVO_4). Най-обещаващи възможности показваше един от най-новите членове, а именно Nd:LuVO_4 (Лютециев Ванадат), при който отношението на сечението за стимулирано поглъщане около 880nm и стимулирано излъчване е най-голямо. В съчетание с тези свойства, Nd:LuVO_4 , притежава и добра топлопроводност, както и значително по-широк флуоресцентен спектър. **Работа 9** е сравнително изследване в Nd:LuVO_4 лазер при използване на стандартно възбуждане около 808 nm и възбуждане на активните частици директно в горното лазерно състояние посредством източник излъчваща в диапазона около 880 nm. Получената максимална изходна мощност при възбуждане директно в горното лазерно състояние беше 1.5 пъти по-висока, при импулси с по-малка продължителност. В тази работа за първи път е използвана описаната в работи 1 и 2 техника за синхронизация на модовете в Nd:LuVO_4 лазер. **Работа 22** изследва възможностите на Nd:LuVO_4 за генерация на максимално кратки импулси, благодарение на широкият си спектър на усилване. В тази работа беше проектиран и конструиран резонатор оптимизиран за максималното скъсяване на импулса. Получени бяха импулси с рекордно кратка продължителност от (1.6 ps) в спектралният диапазон около 1064nm.

2. Разработване на импулсна лазерна система за обработка на материали

2.1. Внедряване техника за синхронизация на модовете, в системи с импулсно възбуждане в спектралният диапазон около 1064 nm

Работа : [7]

Всички описани до момента системи възбуждащите източници работят в непрекъснат режим, при който след първоначалните преходни процеси се установява динамично равновесие между енергията получена от източника и загубите. Светлинните импулси на изхода на лазерният осцилатор се получават като следствие от конструктивна интерференция между множеството надлъжните модове с една и съща начална фаза (Mode Locking). Така нареченият стационарен режим на синхронизация на модовете (Continuous Wave Mode Locking). В **работа [7]** е описана система използваща възбуждащ източник работещ в импулсен режим. Възбуждането става посредством импулси с продължителност от порядъка на времето на живот на горното лазерно състояние (100µs). Този режим позволява за кратко време в системата да се внесе многократно по-висока енергия от тази, която средата би издържала в непрекъснат режим и съответно води до получаване на единични импулси с по-висока енергия. Наличието на преходни процеси в началото на всеки възбуждащ импулс, както и трудното насищане на усилването правят генерирането на поредица от импулси с постоянна амплитуда предизвикателство. Системата описана в **работа [7]** използва разработената техника за синхронизация на модовете за генериране на импулси с ps продължителност и постоянна амплитуда, групирани в дълга серия (макро импулс) с микросекундна продължителност. Постоянен интензитет, както и бързото затихване на преходните процеси в началото на всяка поредица, се осигурява от система за електро-оптична отрицателна обратна връзка.

3. Синхронизация на модовете на среди с широк спектър на усилване.

3.1. Прилагане на разработената техника за синхронизация на модовете в неподредени Nd⁺³ дотирани среди и Yb⁺³ среди.

Работа : [10, 14, 19, 21]

През последните години все по-популярни стават така наречените неподредени кристали (Disordered crystals), като матрици за лазерни среди. Благодарение на строежът им, при тях се наблюдава силно нееднородно разширяване на спектъра на усилване. При дотиране с атоми на редкоземни елементи, например Nd⁺³, който типично има тесен спектър на усилване (от порядъка на 1 nm), могат да се наблюдават спектри с ширина от порядъка на десетки нанометри, което позволява генериране на многократно по-къси лазерни импулси и сравнително висока средна мощност. В работи [10 и 14] за първи път е получен режим на пасивна синхронизация на модовете в Nd:ScYSiO₅ посредством полупроводников насищан абсорбер (SESAM). В този случай лошите оптични качества на използваните образци не позволиха прилагането на генерацията на втора хармонична като техника за пасивна синхронизация на модовете. Лазерната среда показва и други

интересни свойства, при определени условия могат да се генерират едновременно две отделни дължини на вълната. В **Работа 19** техниката беше приложена успешно за първи път в друг тип неподредени среди характерни с голямото нееднородно разширяване на спектъра на усилване (Nd:LuYAG).

Много по-голямо предизвикателство представляваше прилагането на разработената техника в системи с три енергетични състояния и типично широк флуоресцентен спектър, като Yb^{+3} дотираните среди В **работа 21** за първи път техниката беше успешно приложена за лазерна среда Yb:YAG. Предложен е и модел за описание на процесите на модулация на загубите, посредством припокриването на резонаторният мод и възбуждането.

4. Разработване на други източници на къси и свръх къси лазерни импулси

4.1. Усилване на серия от пикосекундни импулси.

Работа : [11, 12, 13]

Лазерните източници работещи в режим на синхронизация на модовете обикновено работят при честота на следване на импулсите от порядъка на 100 MHz, което води до сравнително ниска енергия в единичен импулс дори и при сравнително големи средни мощности. Поради тази причина усилването на къси и свръх къси лазерни импулси се е превърнало в отделено научно направление. За някои конкретни приложения, като прецизна обработка на материали, понякога е по-ефективно вместо единичен импулс с огромна пикова мощност да се използва макро импулс в който са групирани множество свръх къси импулси с по ниска енергия. Работа **11, 12 и 13** бяха насочени към отделяне серия с микросекундна продължителност от стандартен лазерен осцилатор работещ в режим на синхронизация на модовете и усилване на серията в няколко стъпален усилвател. Основната цел беше запазване на формата на серията отделена от лазерният осцилатор и получаване на линейно поляризирано изходно лъчение с максимална енергия в макроимпулс и добри пространствени характеристики.

4.2. Усилване на наносекунди импулси.

Работа : [16]

Друг метод за получаване на къси лазерни импулси е така нареченият режим на модулация на доброкачествеността(Q-модулация) на лазерният резонатор. Режимът е значително по-прост за реализация, от режима на синхронизация на модовете, като същевременно позволява генерацията на импулси с наносекундна и дори пикосекундна продължителност. Това в комбинация със сравнително високата енергия в единичен импулс и средна мощност ги превръщат в друг атрактивен кандидат за приложения като прецизна обработка на материали и дистанционно изследване на атмосферата. В работа **[16]** са представени резултатите от усилване на импулси с наносекундна продължителност. Използваният в тази работа като задаващ генератор източник е представен в **работа [17 и 20]**, а за усилване на генерираните импулси е използван

вариант на описаният в **4.1** усилвател оптимизиран за параметрите на използваният задаваща генератор.

4.3. Микро лазер с електро-оптичен модулатор.

Работа : [17, 20,]

Работа [17 и 20] описват разработването на микро лазер с компактни размери (лазерният резонатор е динамично стабилен с дължина само няколко сантиметра) и електро-оптичен модулатор за работа в режим на активна модулация на доброкачествеността. В резонатора е интегрирана и система за отрицателна обратна връзка която се използва за получаване на единичен стабилизирани надлъжен мод (едночестотен режим). Полученото лъчение е с отлични пространствени характеристики, енергия в единичен импулс (1.6 mJ), с продължителност 1,7 ns, при честота на повторение (1KHz). Интегрираната система за оптична отрицателна обратна връзка, позволява честотна стабилизация на съревноваващите се надлъжни модове и поличаване на едночестотен режим.

4.4. Високо честотен пикосекунден лазер с висока средна мощност.

Работа : [15, 18, 23]

Работа [15] е продължение на оригиналната идея довела до разработването на техника за синхронизация на модовете, която да е приложима в много широк спектрален диапазон в системи с висока средна мощност. Основната цел тук беше да покажем възможностите на техниката за създаване на системи много висока ефективност и съответно висока средна мощност. Получените бяха повече от 20W средна мощност в стабилен режим на синхронизация на модовете, при честота на следване на импулсите от порядъка на 170 MHz и продължителност на единичен импулс от 6 ps. Работи [18 и 23] са сравнително изследване на същата система в различни конфигурации за работа в къси лазерни резонатори и високи честоти на следване на импулсите (110 – 600 MHz). Предложен е и модел за описание на процесите на модулация на загубите, посредством припокриването на резонаторният мод и възбуждането.

5. Нови лазерни среди

5.1. Характеризиране на широкоспектърни лазерни среди Yb,Sr:NaCaF,

Работа : [4, 6]

Работа [4 и 6] с извършени съвместно института по минералогия и кристалография към българската академия на науките, където изследваните кристали са израствани и са приготвени пробите. CaF₂ е класическа среда за дотиране и използване в лазерни източници. Както всички флуориди тя има своите недостатъци. Добавянето на Na и Sr в матрицата елиминира част от тези недостатъци, а дотирането с Yb³⁺, като активен йон, ги превръща в атрактивни среди за лазерни осцилатори.

Приносът в тези работи е основно върху флуоресцентните измервания и обработката на получените резултати. Проектирането, израстването и приготвянето на образците е извършено изцяло от колегите от БАН.

6. Други приложения

6.1. Адаптивен LIDAR използващ мощен наносекунден източник

Работа : [5]

Дистанционното изследване на атмосферата (LIDAR remote laser sensing) е едно широко разпространено приложение на лазерните източници. Системите които се използват основно са два типа. Такива с висока енергия в единичен импулс и ниска честота на повторение (1 до няколко херца) и такива с ниска енергия в единичен импулс и висока честота на повторени (стотици килохерци). Първите позволяват бързо събиране на информация, но като цяло са сложни и чувствителни инструменти с големи размерите, което ги прави подходящи за статична употреба. Вторите пък са мобилни и преносими, но изискват значително време за натрупване на резултати. Работа [5] описва приложените на описаният в **работа [17 и 20]** монолитен микро-лазер в система за измерване на замърсяването.

Приносите в тази работа са свързани основно с изграждането на използвания лазерен осцилатор описан в **работа [17 и 20]**, както и работата по внедряването му в системата за дистанционно изследване на атмосферата. Събирането и обработката на данните от измерването е направено от колегите в Италия.

7. Изобретения

7.1. Разработване на мощна пренастройваема лазерна система в инфрачервената област

Работа : [24]

Работа [24] е разработка и внедряване на мощна пренастройванема система излъчваща в средната инфрачервена област около 3 микрона. Системата е изградена на модулен принцип. Модул генериращ поредица от наносекундни импулси с честота на повторение около 1 KHz и енергия в единичен импулс $> 50 \text{ mJ}$, в диапазона около 1 микрон и модул за параметрично преобразуване и пренастройка на лъчението в диапазона около 3 микрона.

Високо енергетичният модул излъчващ в диапазона около 1 микрон, използва така наречената MOPA архитектура (**M**aster **O**scillator **P**ower **A**mplifier) при която се използва задаващ лазерен генератор със сравнително ниска изходна мощност и добри пространствени и времеви характеристики на изходното лъчение. В следващият усилвателен модул, лъчението от осцилатора се усилва в едно или повече усилвателни стъпала до необходимата енергия. Тази архитектура позволява пространствените и времеви характеристики да се запазят и след усилвателният модул. Следващата стъпка е

вкарването на полученото лъчение в модул за параметрично преобразуване, където лъчението се преобразува в необходимият спектрален диапазон около 3 микрона. Параметричният преобразувател използва подобна архитектура параметричен осцилатор и последващ усилвател. Изпиляваните нелинейни кристали за параметрично преобразуване са широко апертурни, периодично поляризиран образци от Литиев Танталат, притежаващ голяма нелинейност и висок праг на разрушение, като същевременно позволява лесна пренастройка на централната дължина на вълната посредством прецизен контрол на температурата на нелинейния кристал.

Основните изходни параметри на системата са:

Задаващ генератор излъчващ в диапазона около 1μm:

$$\lambda=1064 \text{ nm}$$

$$E_p=1 \text{ mJ}$$

$$f=750 \text{ Hz}$$

$$t_p<2 \text{ ns}$$

Усилвателен модул излъчващ в диапазона около 1μm:

$$\lambda=1064 \text{ nm}$$

$$E_p=50 \text{ mJ}$$

$$f=750 \text{ Hz}$$

$$t_p<2 \text{ ns}$$

Параметричен преобразувател излъчващ в диапазона около 3μm:

$$\lambda=3000 - 3600 \text{ nm}$$

$$E_p=5 \text{ mJ}$$

$$f=750 \text{ Hz}$$

$$t_p<1 \text{ ns}$$

8. Обобщение

В заключение мога да кажа че личният ми принос във всяка една от работите е съществен. В работите който съм първи автор, изцяло съм извършил моделирането на лазерният резонатор и подготовката на експеримента. Всички измерванията и обработката на експерименталните резултати, както и при подготовката на приложените публикации. В работите в който не съм първи автор съм участвал активно във всички етапи, но водещото лице е първият автор посочен в публикацията. Също така трябва да се отбележи, че всички описани експерименти с изключение на **работи 4,5,6 и 24** са проведени изцяло в лабораторията по нелинейна оптика и твърдотелни лазери към физическият факултет на СУ.

Всички посочени публикации са публикувани в сборници от конференции или в последствие като публикации в пълен текст като статии в рецензирани списания или други издания. Поради тази причина липсва отделен списък с доклади от конференции, за да не става дублиране на заглавия.