

OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Zbyňka Hubky

„Properties of ultrashort pulse laser amplifiers“

Cílem předložené disertační práce *Properties of ultrashort pulse laser amplifiers* je primárně vývoj a optimalizace stabilní frekvenční konverze do druhé harmonické frekvence pikosekundových pulsů s energií >200 mJ a opakovací frekvencí pulsů 1 kHz generovaných třemi tenkodiskovými lasery dodanými firmou Trumpf pro ELI Beamlines. Vzhledem k tomu, že účinná konverze do druhé harmonické frekvence vyžaduje ideálně kvalitní svazek, vysoký kontrast pulsu a teplotní stabilizaci konverzních krystalů, je s tématem práce spojena řada dílčích úkolů, které se týkají optimalizace front-endu a dispersního systému prodlužovač – kompresor pulsů. Komprese, přenos a frekvenční konverze ultrakrátkých pulsů s energií v oblasti stovek mJ musí být kvůli vysokému špičkovému výkonu provozovány ve vakuu, s čímž jsou spojeny další problémy týkající se chlazení a kontaminace optických komponent. Jak bylo prokázáno, kritická z hlediska spolehlivého provozu laseru je zejména kontaminace organickými sloučeninami, jejichž přítomnost významně zvyšuje teplotu konverzních krystalů.

Aktuálnost práce

Práce se zabývá tématem, které bylo v posledních letech velmi aktuální. S rozvojem Yb:YAG průmyslových pikosekundových laserů s energií stovek mili-Joule a středním výkonem stovek Watt na vlnové délce 1030 nm vznikla i potřeba frekvenční konverze do vyšších harmonických frekvencí, které jsou vhodnější pro mnohé průmyslové aplikace či buzení optických parametrických zesilovačů, což je případ i této práce. Stabilní konverze vysokovýkonových a vysokoenergetických pikosekundových pulsů do druhé harmonické frekvence s účinností > 60%, kvalitním svazkem a dlouhodobou stabilitou není triviální záležitostí.

Metody a forma zpracování disertační práce

Autor řešil problematiku frekvenční konverze systematicky s postupným vylučováním či optimalizací jednotlivých subsystémů, které mohou účinnost konverze negativně ovlivňovat. V disertační práci nejprve stručně zkoumá stav techniky a jevy, které mohou vést k degradaci laserových pulsů a optických svazků, např. disperzi, Kerrův jev, sfázování v nelineárních krystalech, atd. Na základě hypotéz postupně experimentálně optimalizuje front-end a kompresi pulsů tenkodiskových laserů Trumpf Dira. Na to navazuje prvotní návrh a experimentální testování frekvenční konverze s iterativním řešením problému nadměrné tepelné zátěže a poklesu účinnosti frekvenční konverze v krystalech LBO. Autor navrhl několik optomechanických řešení pro chlazení konverzních krystalů, to však bylo nakonec možné výrazně zjednodušit po odhalení skutečné příčiny problému, kterým bylo organické znečištění krystalů ve vakuové komoře. Autor tak prokázal schopnost samostatně a systematicky řešit složité vědecké úkoly.

Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Z výše popsaného je zřejmé, že autor prováděl systematický výzkum v oblasti návrhu a optimalizace frekvenční konverze pikosekundových optických pulsů s vysokým středním výkonem i energií s cílem dodávky stabilního čerpacího svazku pro femtosekundový parametrický zesilovač, což bylo experimentálně ověřeno. Autorův systematický postup vedl ke zvýšení konverzní účinnosti pikosekundového Yb:YAG laseru do druhé harmonické frekvence nad 60% a energii pulsu 100 mJ na

vlnové délce 515 nm. Bylo dosaženo originálních výsledků a splnění všech dílčích cílů práce. O originalitě navržených řešení svědčí i autorovy publikované články (Ing. Hubka první autor) v časopise Applied Optics a Optics Letters. Další kvalitní články tématicky se týkající práce publikoval Ing. Hubka jako spoluautor.

Výsledky doktorské práce a jejich význam pro praxi a rozvoj vědního oboru:

Autor se jako člen mezinárodního týmu podílel se na vývoji nových unikátních piko- a femtosekundových laserů v rámci vědeckého centra ELI Beamlines, čímž přispěl k rozvoji oboru vysokovýkonových laserů s ultrakrátkými pulsy.

Forma práce

Přeložená práce je v anglickém jazyce o 96 stranách. K práci jsou navíc přiloženy oba impaktované články, ve kterých Ing. Hubka figuruje jako první autor. Práce je přiměřeného rozsahu a je rozdělena celkem do šesti kapitol. Mimo seznam referencí se 121 položkami obsahuje práce seznam obrázků, tabulek, použitých zkratk a symbolů. Práce je psána anglicky na dobré úrovni, nicméně obsahuje některé gramatické nepřesnosti a konstrukce některých vět je složitá pro rychlé pochopení autorova záměru. Obrázky a kapitoly jsou formátovány přehledně, nicméně plynulému čtení práce brání dle mého názoru příliš mnoho odkazů do jiných kapitol. Práce na mne proto působila nekompaktním dojmem, autor měl jednotlivé tematické celky více sdružit do bloků, resp. lépe oddělit stav techniky, metodologii výzkumu a experimentální výsledky. Práce však splňuje všechny předepsané náležitosti po stránce formální i vědecké.

Doplňující otázky k práci

- 1) Můžete podrobněji shrnout výhody regenerativního zesilovače Dira s kruhovým rezonátorem oproti rezonátoru se stojatou vlnou? Jaká má změna přínos na kvalitu svazku, pulsu, stabilitu laseru, atd. Dosáhli jste vyšší účinnosti konverze vzhledem k absenci izolátoru, který způsoboval u ostatních laserů problémy?
- 2) Jak je navržena frekvenční konverze z hlediska saturace a profilu výstupního svazku. Zpravidla je problém udržet výstupní gausovský svazek vysoké kvality při saturované konverzi s vysokou stabilitou a účinností konverze. Můžete se k tomu vyjádřit? Jak se zhoršuje kvalita svazku s rostoucí energií konvertovaných pulsů. Jaká je z tohoto pohledu neoptimálnější tloušťka krystalu a intenzita záření?
- 3) Zmiňujete problémy s životností optiky, která vede k degradaci laserových svazků. Jaká je typická životnost zrcadel v systému? Dokážete dlouhodobě udržet vysokou kvalitu laserových svazků?
- 4) Můžete podrobněji popsat implementaci stabilizačních systémů, zejména v kruhovém rezonátoru? Nezpůsobuje posun zrcadel v rezonátoru změnu směru výstupního svazku, která by vedla k rozladění frekvenční konverze?

Závěr

Předloženou disertační práci Ing. Zbyňka Hubky považuji za originální a aktuální. Autor pracoval ve špičkovém mezinárodním týmu a jeho vlastní výzkum, který je předmětem práce, byl proveden na vysoké odborné úrovni. Cíle práce byly splněny. To je podpořeno několika publikacemi a příspěvky na vědeckých konferencích.

Doporučuji proto práci přijmout k obhajobě a udělení vědeckého titulu Ph.D. Ing. Zbyňku Hubkovi v případě její úspěšné obhajoby.

V Praze dne 11.8.2022

Ing. Martin Smrž, Ph.D.
Hilase centrum, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.