

OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Michala Kamrádka

„Preparation and characterization of rare-earth-doped optical fibers for fiber lasers operating around 2 micrometers“

Předložená disertační práce Ing. Michala Kamrádka se zabývá problematikou výroby preforem pro tažení aktivních křemenných optických vláken a tažením těchto vláken pro vláknové lasery procesem modifikované chemické depozice s dopováním preforem kovy vzácných zemin. Autor se zaměřuje na aktivní optická vlákna emitující ve spektrální oblasti 1,9 – 2,1 μm dopovaná thuliem a holmiem. Mimo obvyklejší způsob dopování preforem formou roztoku solí prvků vzácných zemin autor zkoumá i inovativní využití nanočástic příslušných sloučenin, a to s velmi dobrými výsledky, zejména v oblasti vysoce dopovaných vláken pro lasery s vysokým středním výkonem.

Autor v rámci své experimentální práce připravil nejméně 15 typů holmiem dopovaných jednovidových křemenných optických vláken s různým poměrem příměsí iontů vzácných zemin a oxidu hlinitého a nejméně 3 druhy thuliem dopovaných vláken. Z hlediska vláknových laserů a jejich účinnosti je kritické zejména vyvážení všech pro výrobu vláken použitých přísad, které bylo zkoumáno. V rámci studie byla dále provedena podrobná charakteristika všech připravených typů vláken s ohledem na příčný profil indexu lomu a koncentrace dopantů (ionty Ho^{3+} , Tm^{3+} , Al_2O_3), měření časového průběhu poklesu fluorescence pro různé intenzity budicího záření a stanovení doby fluorescence a měření absorpčních a emisních spekter. Získaná materiálová data navíc autor využil i pro podrobnější odhad materiálově charakteristických koeficientů energetického přechodu iontů thulia, jejichž znalost by umožnila podrobnější modelování laserových systémů na bázi navržených vláken pomocí soustavy rychlostních rovnic.

Nedílnou součástí předložené práce je i návrh a optimalizace kontinuálních laserů na bázi vyrobených optických vláken, měření prahu pro laserovou akci a diferenciální účinnosti. Ta byla experimentálně maximalizována a pro určitý typ holmiem dopovaných optických vláken dosáhla hodnoty 80% s prahem pro laserovou činnost 200 mW a fluorescencenční dobou 1,35 ms. V době publikace se jednalo nejvyšší publikovanou diferenciální účinnost holmiem dopovaného vláknového laseru.

Aktuálnost práce

Téma předložené práce je vysoce aktuální, neboť lasery a laserové systémy s emisí v oblasti 1,9 – 2,1 μm představují dynamicky se rozvíjející segment v oblasti laserových technologií. Výhodou zejména holmiových laserů je možnost generování ultrakrátkých pulsů. Holmiové lasery se v určitých pásmech mohou šířit atmosférou s minimálním útlumem a mají potenciál k rozvoji vesmírných a obranných aplikací (komunikace, LIDARy, atd.). Emise v oblasti absorpčních čar vody a absorpční pásma organických molekul v této spektrální oblasti naopak nahrávají medicínským a biotechnologickým aplikacím Tm a Ho laserů, detekování znečištění ovzduší, apod. Jde tedy o aktuálně vysoce žádané aplikační oblasti.

Metody a forma zpracování disertační práce

Způsob realizace jednotlivých částí výzkumu je v disertační práci popsán jednoznačně. Autor se zaměřil na zlepšení vlastností aktivních křemenných optických vláken s dopací Ho a Tm. Systematickou

prací samostatně připravil několik druhů preforem, včetně využití inovativního dopování nanočásticemi sloučenin kovů vzácných zemin. Autor navrhl metody charakterizace jednotlivých vláken od měření základních fyzikálních parametrů až po konstrukci testovacích kontinuálních vláknových laserů. Na základě poznatků autor optimalizoval poměr dopantů a přísad ve vláknech tak, že jako první dosáhl diferenciální účinnosti Ho vláknového laseru 80%. Pro další optimalizaci a modelování laserů odhadl na základě svých měření některé materiálové koeficienty thulia vstupující do rychlostních rovnic. Ve spolupráci se členy výzkumného týmu ústavu Fotoniky a elektroniky sestavil na bázi optimalizovaných Ho vláken femtosekundový laser či širokopásmový zdroj záření založený na zesílené spontánní emisi. Autor tak prokázal schopnost samostatného a systematického řešení složitých vědeckých úkolů.

Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Z předložené disertační práce je bez jakýchkoli pochyb patrné, že autor prováděl originální výzkum v oblasti technologií výroby preforem křemenných optických vláken a stavby vláknových laserů ve střední infračervené oblasti. Z důvodu neexistujícího systematického výzkumu v dané vědní oblasti navrhl unikátní experimentální práci, která posunuje výrobu Tm a zejména Ho dopovaných optických vláken vpřed. Pro výrobu navrhl využít i unikátní postup dopování preforem nanočásticemi. O výborných výsledcích výzkumu napovídá jednak dosažení vysoké diferenciální účinnosti sestaveného vláknového laseru, jednak množství vědeckých publikací – doktorand je prvním autorem dvou impaktovaných časopiseckých publikací, několika konferenčních příspěvků včetně publikací do impaktovaných sborníků SPIE, a spoluautorem dalších impaktovaných článků týkajících se tematicky práce samotné. Kromě toho je spoluautorem několika prací z dalších oborů vláknových technologií.

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

Systematické výsledky v oblasti výroby holmiem a thuliem dopovaných optických vláken jsou významným přínosem v oblasti rozvoje výkonných, vysoce účinných kontinuálních i pulsních laserů ve střední infračervené oblasti, které jsou důležité pro již výše zmíněné vysoce aktuální aplikace. Výrobu tohoto typu vláken zvládá ve světovém měřítku pouze několik laboratoří či firem. Výroba preforem a vláken má jistě i významný komerční potenciál. Dalšímu rozvoji v oboru přispěje i doplněný model na bázi rychlostních rovnic či v budoucnu touto technologií plánovaná výroba dvoupásmových vláken.

Forma práce

Přeložená práce v anglickém jazyce čítá 125 stran včetně všech příloh. Vzhledem k bohaté publikační činnosti autora je psána formou komentářů k jednotlivým publikacím, které zdůrazňují přínos článku a konkrétní zapojení a přínos Ing. Kamrádka. Komentovaným publikacím předchází stručný teoretický úvod do problematiky výroby a využití aktivních optických vláken a metodologie autorova vlastního výzkumu. Celkový rozsah těchto kapitol je 51 stran. Lze konstatovat, že zvolený způsob prezentace je stručný, ale výstižný, správný jak po stránce vědecké, obsahové, formální i jazykové, s výjimkou několika drobných překlepů či gramatických nepřesností.

Doplňující otázky k práci

- 1) V práci se zabýváte výpočtem koeficientů k (energy transfer coefficients) popisujícím pravděpodobnost jevů, které přispívají k energetickým přechodům v iontech thulia. Můžete blíže popsat použitý model, v jakých případech ho lze použít a jaké jevy zahrnuje? Jaký vliv na přesnost vypočtených koeficientů má využití materiálových parametrů z jiných zdrojů, než vlastní měření na konkrétních vláknech? Např. doba života na jednotlivých hladinách je

převzata z [32], některá spektroskopická data z [22], atd. Je tentýž model využitelný pro holmiová vlákna?

- 2) Mohl byste blíže popsat metodologii měření fluorescenční doby T_m/Ho ? Uvádíte, že byl využit 1mm dlouhý segment vlákna. Jakým způsobem bylo navázáno budicí záření? Byl tento segment svařen s jiným vláknem?
- 3) Dnes existují T_m -dopované vláknové lasery s výkonem stovek Watt. Lze navrženou technologii výroby T_m/Ho dopovaných preforem a vláken, které dosahují vysoké diferenciální účinnosti, škálovat až k těmto hodnotám?
- 4) Plánujete komerční využití navržených technologií či prodej Ho a Tm dopovaných vláken?

Závěr:

Předloženou disertační práci Ing. Michala Kamrádka považuji za originální a vysoce aktuální. Provedený výzkum pak byl proveden na vysoké odborné úrovni. To je podpořeno množstvím recenzovaných publikací a četnými příspěvky na vědeckých konferencích.

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

V Praze dne 13.5.2022

Ing. Martin
Smrž,
Ph.D.

Digitally signed
by Ing. Martin
Smrž, Ph.D.
Date: 2022.05.16
15:02:52 +0200

Ing. Martin Smrž, Ph.D.

Hilase centrum, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.