



Sborník příspěvků multioborové konference

LASER58

Zámecký hotel Třešť, 17. – 19. října 2018



e-Sborník příspěvků multioborové konference

LASER58

Zámecký hotel Třešť, 17. – 19. říjen 2018

© 2018, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-25-1

ÚVODNÍ SLOVO

Letošní rok je pro laserovou veřejnost poměrně významný. Byla udělena Nobelova cena za fyziku za průkopnické vynálezy v oblasti laserové fyziky. Získal ji Američan Arthur Ashkin (vývoj optické pinzety a její využití v biologických systémech), Francouz Gérard Mourou a Kanadanka Donna Stricklandová (za metodu generování velmi intenzivních ultrakrátkých optických pulzů).

Pro ocenění je to jistě velká pocta a pro nás ostatní toto vyznamenání znamená například i to, že 58 let starý vynález laseru není zase tak starý. Je stále ještě co objevovat a vytvářet.

Přál bych si, aby konference LASER58 vaším prostřednictvím přispěla k dalšímu posouvání hranic poznání.

V Brně dne 7. října 2018

Bohdan Růžička
za organizační tým



**ÚPT
AVČR**

Ústav
přístrojové
techniky
AVČR, v.v.i.



Aplikační laboratoře
mikrotechnologií
a nanotechnologií



Laserové svazky zaostřené do makrosvěta i mikrosvěta

Speciální technologie

Elektronová mikroskopie

Kryogenika a supravodivost

Lasery pro měření a metrologii

Elektronová litografie

Pokročilé výkonové laserové technologie

Měření a zpracování signálů v medicíně - MediSIG

Jaderná magnetická rezonance

OBSAH

NARRAN S.R.O. PŘEDSTAVUJE VÝROBKY FIRMY OPTOSIGMA	9
LASER SHOCK PROCESSING FOR NOVEL APPLICATIONS	11
PRÁH POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÝ KRÁTKÝMI LASEROVÝMI PULZY NA SKLECH S VYSOKÝM INDEXEM LOMU	13
PŘENOS STABILNÍ OPTICKÉ FREKVENCE MEZI PRACOVIŠTI ÚPT A CESNET	15
LASEROVÁ ABLACE ATOMŮ VÁPŇÍKU PRO EXPERIMENT LASEROVÉHO CHLAZENÍ ATOMŮ	17
LASEROVÉ OPRACOVÁNÍ PLASTŮ VYSTUŽENÝCH UHLÍKOVÝMI VLÁKNY	19
APODIZACE FBG DYNAMYCKÝM PŘEDEPNUTÍM VLÁKNA	21
MIKROSTRUKTUROVÁNÍ ČEL OPTICKÝCH VLÁKEN	25
MĚŘENÍ LASEROVÉHO SVAŘOVACÍHO PROCESU VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMEROU A FOTODIODOU	27
VYUŽITÍ KYANOVODÍKU JAKO ABSORPČNÍHO MÉDIA PRO LASEROVOU SPEKTROSKOPII	29
INTERFEROMETRICKÝ KALIBRÁTOR PRO MĚŘENÍ METROVÝCH DÉLEK	31
VYUŽITÍ HOLOGRAFIE PRO MĚŘENÍ A CHARAKTERIZACI POVRCHU	33
KOHERAS HARMONIK: SNADNÁ CESTA K NOVÝM MOŽNOSTEM V OBLASTI JEDNOFREKVENČNÍCH VLÁKNOVÝCH LASERŮ	35
TERMOKAMERY INFRATEC PRO LASEROVÉ APLIKACE	37
COORDINATE INTERFEROMETRIC MEASUREMENT FOR HIGH-RESOLUTION LITHOGRAPHY	39
ANALÝZY OPTO-MECHANICKÝCH SOUSTAV	41
PŘEDSTAVENÍ FIRMY MIT	43
TRENDY A TENDENCE V PRŮMYSLOVÝCH LASEROVÝCH APLIKACÍCH	45
POROVNÁNÍ FREKVENČNÍCH STABILIT LASEROVÝCH NORMÁLŮ VLNOVÉ DÉLKY PŘES FOTONICKÉ SÍTĚ	47
VYBRANÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT V PRAZE	49
PEVNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY HYBRIDNÍCH LASTIG SVARŮ TERMOMECHANICKY ZPRACOVANÝCH OCELÍ	51

VÝPOČET PRŮBĚHU POTENCIÁLŮ A SIMULACE CHOVÁNÍ IONTŮ VÁPŇÍKU V PAULOVĚ IONTOVÉ PASTI	53
--	----

OPTICKÁ VLÁKNA PRO PŘENOS LASEROVÝCH PULZŮ: MĚŘENÍ PRAHU POŠKOZENÍ	55
---	----

FOTONICKÝ SPOJ PRO SPECIÁLNÍ APLIKACI	57
---------------------------------------	----

PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE

NARRAN S.R.O. PŘEDSTAVUJE VÝROBKY FIRMY OPTOSIGMA

Pavel Arátor + Manon Vidal

Narran s.r.o. + Optosigma Europe

Bayerova 802/33

Brno – střed, 602 00

Mob. 737167464



Obor: Optické a optomechanické komponenty používané při výzkumu a vývoji a v průmyslu zabývající se optikou a fotonikou

Firma NARRAN začala s distribucí výrobků firmy Optosigma v roce 2015 pro její kvalitu a její masovému používání především v Americe a v Asii.

Mateřská firma Optosigmy Sigmakoki vznikla v roce 1977 v Japonsku jako výrobce komponent pro optiku a lasery a postupně rozšířila své výrobky po celé Asii a následně do celého světa. Nyní má Sigmakoki Group 6 center na výrobu optických komponent. V roce 2014 byla založena dceřinná společnost Optosigma Europe, která ve Francii vytvořila logistické centrum a distribuuje výrobky po evropských zemích.

Optosigma vyrábí optomechaniku, optiku, tenké optické vrstvy, laserové krystaly, antivibrační stoly, posuvné stolky aj. Výroky jsou kompatibilní s jinými výrobci. Až 50% výroby tvoří produkty vyvinuté zákazníků přímo na míru dle jejich potřeb. Optosigma velice rychle a flexibilně reaguje na přání zákazníků a je schopna ve velmi krátkých časech vyvinout a vyrobit specifické díly v japonské kvalitě.



LASER SHOCK PROCESSING FOR NOVEL APPLICATIONS

Jan Brajer, Jan Kaufman, Marek Böhm, Sanin Zulic, Xavier Arnoult, Danijela Rostohar, Jan Mádl, Tomáš Mocek, Pavel Zeman

HiLASE Centrum

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

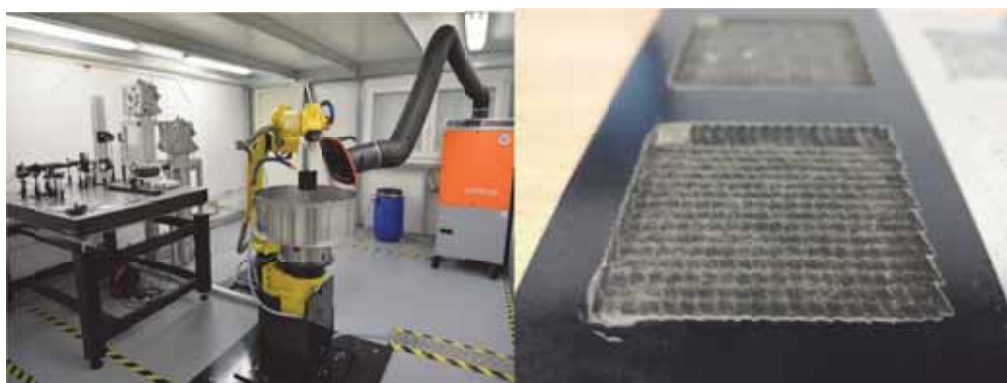
Za Radnicí 828

252 41 Dolní Břežany

e-mail: Brajer@fzu.cz

tel.: 736 288 646

Obor: Výzkum, vývoj a aplikace laserové technologie Laser Shock Peening (LSP), neboli vytvrzování povrchu materiálu rázovou vlnou vyvolanou laserem, je velmi moderní a progresivní technologií, která umožňuje výrazné zvýšení únavové životnosti cyklicky namáhaných součástí. Laserový paprsek generuje v povrchové vrstvě zpracovávaného materiálu tlaková zbytková napětí, která významně zlepšují únavové vlastnosti materiálu a omezují vznik a rozvoj povrchových trhlin. Díky svým možnostem tato technologie nalézá praktického uplatnění zejména v leteckém průmyslu, ale díky zvyšování produktivity laserů lze toto povrchové zpracování využít i na ostatní průmyslové aplikace.



Parametry technologie:

Maximální hmotnost dílce :

20 kg (pro speciální případy až 300 kg)

Max. velikost dílce :

1 m

Zpracovávaný materiál :

Slitiny titanu, Hliníkové slitiny, Nerezové oceli

Velikost svazku :

až 3 mm x 3 mm

Produktivita :

až 200 cm²/hod

Výsledky :

Rovnoměrné zpevnění povrchové vrstvy do hloubky až 1 mm, Prodloužení životnosti součástí

Metody měření vlastností povrchu:

Měření zbytkového napětí Rentgenovou difrakcí a odrtávací metodou (ASTM norma E 837), měření únavové pevnosti a životnosti materiálu

Acknowledgements HiLASE CoE: This article was co-financed by the European Regional Development Fund and the state budget of the Czech Republic (project HiLASE CoE: Grant No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_006/0000674) and by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 739573. This work was also supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (Programmes NPU I Project No. LO1602, and Large Research Infrastructure Project No. LM2015086).

Příspěvek byl vytvořen a prezentován za podpory projektu OHK2-012/16.

PRÁH POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÝ KRÁTKÝMI LASEROVÝMI PULZY NA SKLECH S VYSOKÝM INDEXEM LOMU

Pavel Čech

Fyzikální ústav AV ČR, HiLASE Centrum
Za Radnicí 828
252 41 Dolní Břežany

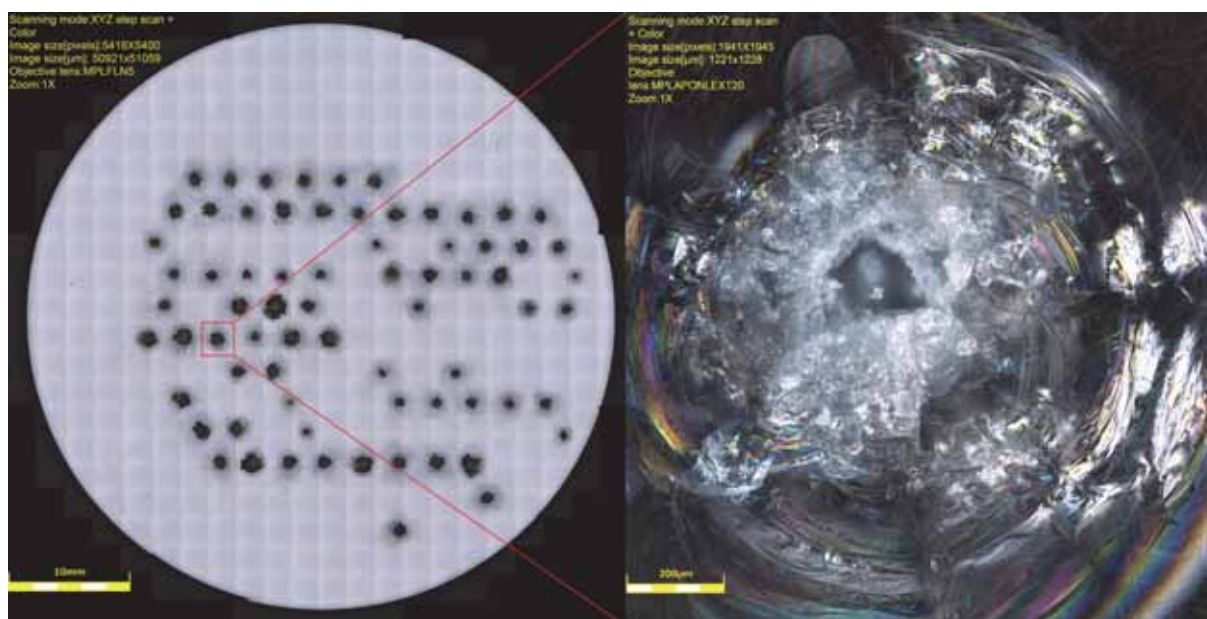
Email: pavel.cech@hilase.cz

Tel.: +420 314 007 747

Obor: Interakce záření s materiály

Laserem vyvolané poškození (LID) materiálů hrálo významnou roli v oblasti výzkumu laserů už od jeho počátků. I když se na něj výzkumníci primárně nezaměřovali a nejsou o něm jasné záznamy, tvůrci prvních laserů často hovořili o problémech s výstupní vrstvou nanesenou na straně rubínového krystalu používaného v prvních laserech. Od té doby se laserem vyvolané poškození stalo hlavním limitujícím faktorem při stavbě vysokovýkonových laserových aparatur. Pro laserový výzkum je tedy velice důležité získat dobré porozumění o mechanismech které k poškození vedou a o vlastnostech, které práh poškození (LIDT) nejvíce ovlivňují.

V této práci bylo vybráno deset vzorků skel různých složení, vlastností a rozměrů k testu sloužícímu k zjištění jejich prahu poškození. Jako testovací metoda byla podle normy ISO 21254 vybrána metoda s-on-1, počet pulzů byl zvolen $s=1000$. Jako zdroj laserového svazku byl použit laserový systém Bivoj [1] v centru Hilase [2]. Parametry svazku byly energie pulzu 1 J, opakovací frekvence 10 Hz, vlnová délka 1030 nm, délka pulzu 10 ns a profil svazku čtvercový flat-top o straně 21.5 mm. Svazek byl na vzorek fokusován zrcadlem s ohniskovou vzdáleností 6 m, svazek na vzorku měl Gaussovský profil. Měření se odehrávalo v klimatizované laboratoři s kontrolovanou vlhkostí a teplotou. V celé laboratoři byla třída čistoty prostředí ISO 7. Vzorky byly před měřením zkontrolovány na laserovém mikroskopu a byla změřena drsnost povrchu.



Obrázek 1: Ukázka vzorku křemenného skla po provedení testu prahu poškození.

kód	substrát	t [mm]	n [-]	S_q [μm]	S_v [μm]	S_p [μm]	LIDT [J cm^{-2}]
T01	BK7	10	1.507	0.038	0.212	0.202	66.0
T02	BK7	10	1.507	0.039	0.177	0.176	68.8
T03	BK7	10	1.507	0.038	0.396	0.334	65.7
T04	BK7	2	1.507	0.039	0.270	0.971	60.8
T05	SF8	2	1.667	0.036	0.227	0.206	53.7
T06	Safír	4	1.755	0.035	0.182	0.235	52.0
T07	Křemenné sklo	5	1.450	0.040	0.198	0.164	64.7
T08	Křemenné sklo	5	1.450	0.038	0.185	0.375	49.4
T09	Křemenné sklo	5	1.450	0.042	0.271	0.386	51.0
T10	LIBA	25	1.520	0.039	0.251	0.190	34.0

Tabulka 1: Výsledky testu prahu poškození pro testované vzorky.

Srovnání výsledných prahů poškození v tabulce 1 ukazuje, že vlivy jednotlivých uvedených vlastností jsou konzistentní se současně přijímanými teoriemi o formaci laserem vyvolaného poškození na transparentních materiálech.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Další výzkum bude zaměřen na vliv různých leštících metod na práh poškození, konkrétně na safíru. Dále bude také probíhat výzkum vlivu rozměru svazku na práh poškození, popřípadě vlivu rozměru svazku přímo na přesnost používaných metod na měření prahu poškození.

[1] BANERJEE, Saumyabrata, Paul D. MASON, Klaus ERTEL, P. JONATHAN PHILLIPS, Mariastefania DE VIDO, Oleg CHEKHLOV, Martin DIVOKY, Jan PILAR, Jodie SMITH, et al. 100 J-level nanosecond pulsed diode pumped solid state laser. *Optics Letters*. 2016, 41(9), 2089-. DOI: 10.1364/OL.41.002089. ISSN 0146-9592.

[2] DIVOKY, M., M. SMRZ, M. CHYLA, et al. Overview of the HiLASE project: high average power pulsed DPSSL systems for research and industry. *High Power Laser Science and Engineering*. 2014, 2, -. DOI: 10.1017/hpl.2014.16. ISSN 2095-4719.

PŘENOS STABILNÍ OPTICKÉ FREKVENCE MEZI PRACOVIŠTI ÚPT A CESNET

Martin Čížek, Lenka Pravdová, Václav Hucl, Michal Jelínek, Jan Hrabina, Šimon Řeřucha, Břetislav Mikel, Josef Lazar a Ondřej Číp

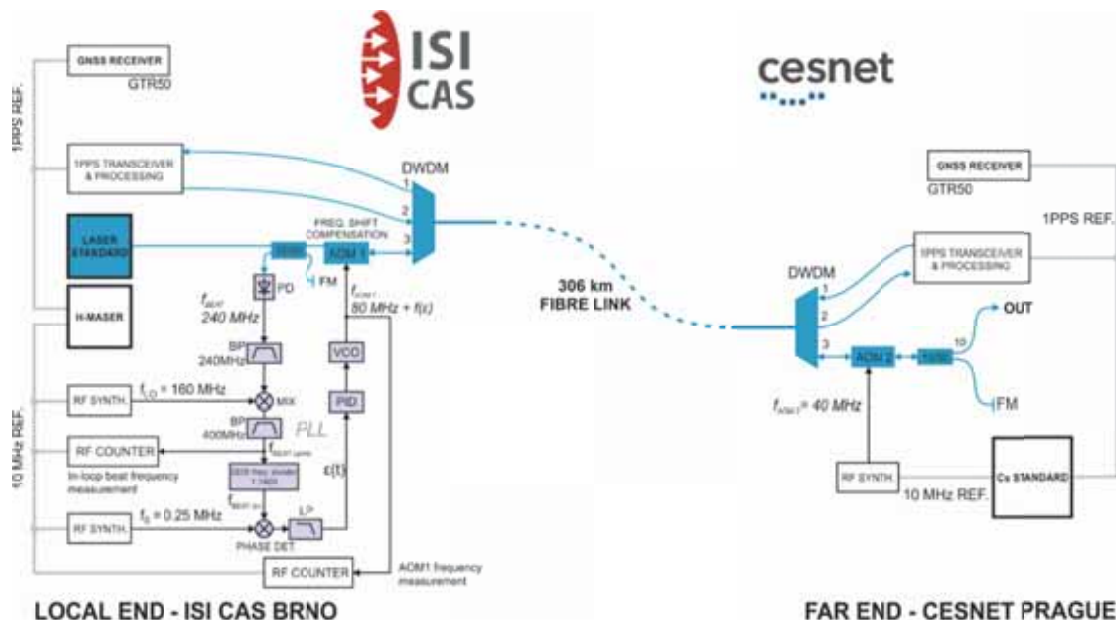
Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno (cizek@isibrno.cz)

Vladimír Smotlacha, Ondřej Havliš a Josef Vojtěch

CESNET, z. s. p. o., Zikova 4, 160 00 Praha 6

Obor: Měření a metrologie, fotonické sítě, normály času a frekvence, měření stability optické frekvence, zpětnovazební smyčky

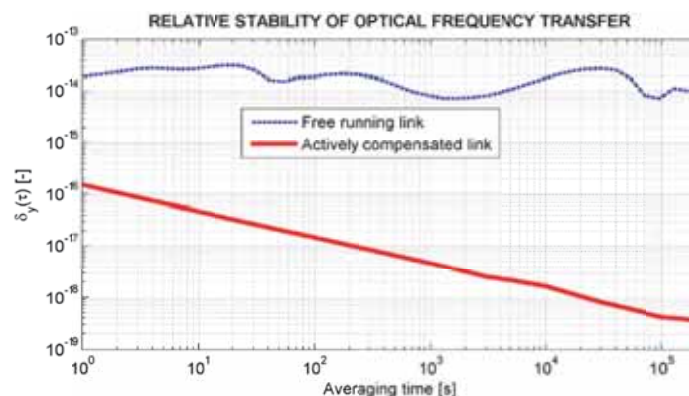
Výzkum a vývoj normálů optických frekvencí pro metrologické účely vždy vyžadoval jejich vzájemné porovnávání. V minulosti proběhla řada kampaní, kdy bylo na jedno místo dopraveno např. několik HeNe laserů či standardů založených na absorpčních kyvetách a vzájemně se porovnávala jejich stabilita. S rostoucí přesností současných normálů roste i jejich složitost. U většiny současných sestav optických atomových hodin je tak transport prakticky vyloučen. V Evropě je v současné době provozováno několik dálkových optovláknových tras, které se využívají pro vzájemné porovnávání optických atomových hodin. Aby dálkový přenos po optickém vlákně nezhoršoval stabilitu přenášené optické frekvence, je nutné aktivně kompenzovat zejména vliv mechanických vibrací a teplotních dilatací, které se ve výsledku projevují jako Dopplerovské posuvy. Náš příspěvek pojednává o aktuálním stavu 306 km dlouhé experimentální linky provozované mezi laboratořemi oddělení koherenční optiky na ÚPT AVČR v Brně a pracovištěm CESNET v Praze. Obousměrná linka využívá telekomunikační vlákno s vyhrazeným DWDM oknem 1540-1546 nm. V podmínkách ČR je v současné době uplatnění této technologie perspektivní jednak pro vzájemné porovnávání stability optických normálů a zároveň také pro dálkovou kalibraci přesných měřicích přístrojů (např. optické spektrální analyzátoři) umístěných v průmyslových provozech (jaderná elektrárna), které nedovolují jejich transport do laboratoře s normálem optické frekvence.



Obr. 1: Celkové schéma 306 km dlouhé obousměrné testovací linky pro přenosy stabilních optických frekvencí. Pro přehlednost nejsou zakresleny RF zesilovače. AOM – akustooptický modulátor, BP – pásmová propust, FM – Faradayovo zrcadlo, LP – dolní propust, MIX – vyvážený RF směšovač, PD – fotodetektor, PHASE DET. – fázový detektor, PID – PID kontrolér, VCO – napětím řízený oscilátor

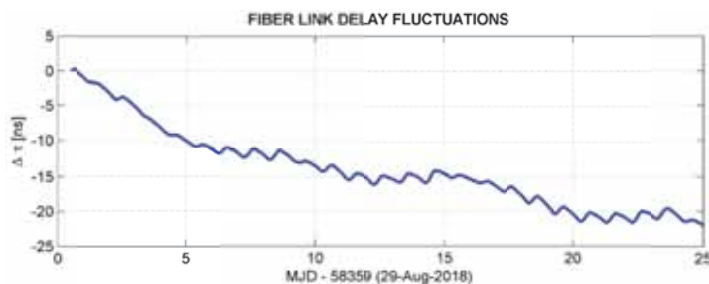
V naší sestavě na obr. 1 je implementována v současnosti často používaná metoda, kdy se pomocí zázněje na blízkém konci linky porovnává optická frekvence části světla odraženého na vzdáleném konci linky s frekvencí světla vysílaného. PID regulátor na základě regulační odchylky doladuje frekvenci signálu budícího akustooptický modulátor na vysílací straně a dochází tak ke kompenzaci Dopplerovských posunů optické frekvence v optovláknové trase. Aby se tato stabilizační metoda dala využít, lze výše popsaným způsobem přenášet pouze takové laserové normály, jejichž vlastní šířka spektrální čáry je menší než změny optické frekvence vyvolané Dopplerovým jevem při přenosu. V našem případě je na vysílací straně použit laser Koheras BASIK zamčený na optický rezonátor s $Q > 300\,000$. Výsledný normál optické frekvence pracuje na vlnové délce 1540.5 nm s šířkou spektrální čáry v řádu jednotek Hz. Rychlost regulační smyčky je limitována obousměrným transportním zpožděním optické trasy. V našem případě tato hodnota činí přibližně 3 ms. Fázové zpoždění takto vnesené do regulační smyčky limituje její maximální šířku pásma na cca 50 Hz.

Graf na obr. 2. znázorňuje změřenou relativní stabilitu zázněje na blízkém konci vztaženou k přenášené optické frekvenci 194 THz. Jedná se o maximální dosažitelnou relativní stabilitu přenosu za předpokladu, že nedochází např. k teplotním dilatacím optické sestavy na vysílací straně a jiným rušivým jevům. Pro trasu bez stabilizace je nejlepší dosažitelná relativní stabilita cca 10^{-14} . V případě aktivní stabilizace se relativní stabilita pro integrační časy nad 300 sekund již pohybuje v -18 . řádu, což je hodnota postačující pro porovnávání současné generace optických atomových hodin.



Obr. 2: Měření relativní stability přenosu optické frekvence po 306 km dlouhé optické trase. Modrá – nestabilizovaná trasa, červená – trasa s aktivní zpětnovazební kompenzací Dopplerova jevu.

Integrací změn frekvence signálu budícího AOM1 v režimu zpětnovazební smyčky získáme i doplňkový údaj o celkové změně transportního zpoždění od začátku měření. Na obr. 3 je znázorněna ukázka dlouhodobého monitoringu linky z konce srpna a průběhu září 2018, kdy došlo po vlně veder ke skokovému ochlazení o cca 12°C. Jelikož je zhruba 90% délky vlákna umístěno pod zemí, vypovídá pomalá velká změna zpoždění o změně teploty pod povrchem. Malé rychlé fluktuace v řádu jednotek ns naopak korelují s denními výkyvy atmosferické teploty, které mají největší vliv na vlákno na povrchu.



Obr. 3: Změny transportního zpoždění optické trasy při ochlazení po vlně veder na konci srpna 2018.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální část byla podpořena Grantovou agenturou ČR, projektem GB14-36681G, Ministerstvem průmyslu a obchodu, projektem FV FV10336. Výzkumná infrastruktura byla podpořena s přispěním Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projekty LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001797; Technologickou agenturou ČR, projektem TH01011254 a dále Akademií věd České republiky, projektem RVO:68081731

LASEROVÁ ABLACE ATOMŮ VÁPNIKU PRO EXPERIMENT LASEROVÉHO CHLAZENÍ ATOMŮ

Jakub Grim, Tuan Minh Pham a Ondřej Číp.

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Koherenční optika
Královopolská 147, Brno 612 64, +420 541 514 530, jgrim@isibrno.cz

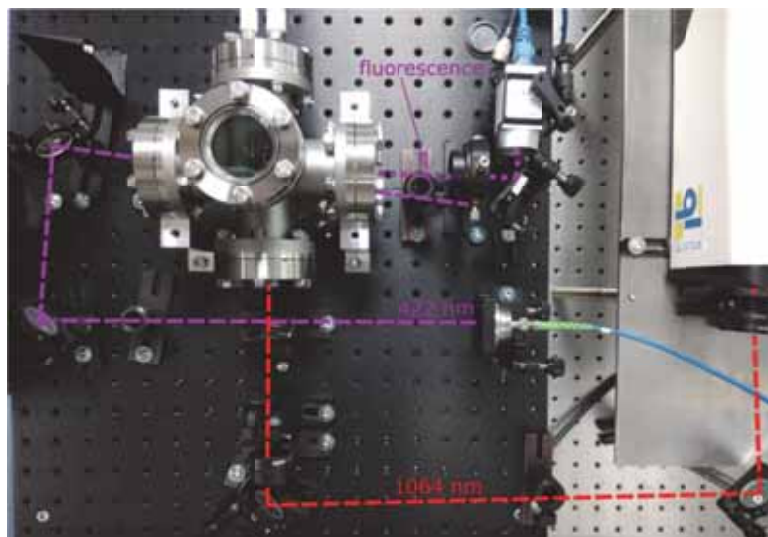
Obor: pulzní laserová ablace, fluorescenční spektroskopie

Ke generování neutrálních atomů pro experimenty laserového chlazení iontů a následně jejich spektroskopii se používají zejména tepelné pícky. Zahřátím této pícky pomocí vysokých proudů pak dochází ke generování proudu částic. Tato metoda je jednoduchá ale nese jisté nevýhody, jako je setrvačnost procesu a nemožnost jemného řízení množství vystřelených částic. Pícke určitou dobu trvá, než se dostatečně zahřeje a dále nelze proces okamžitě ukončit. Během této doby je do oblasti pasti stále generováno spoustu neutrálních atomů.

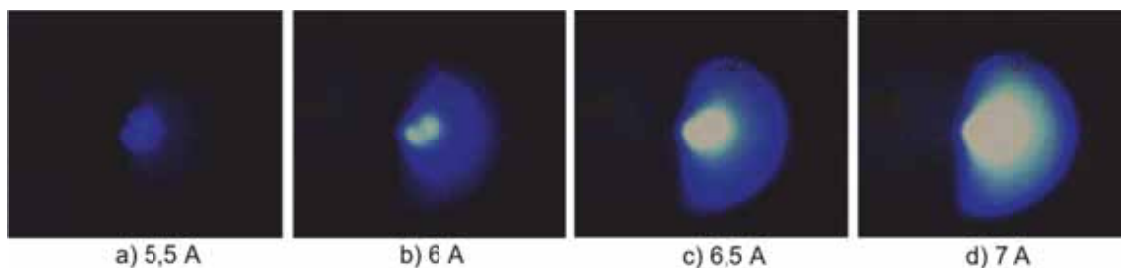
Mnohem účinnější metoda, která umožňuje dostatečně jemné generování částic je pulzní laserová ablace. Jedná se o jev, kdy při překročení ablačního limitu materiálu, dochází k lokálnímu vypařování částic na velmi malé oblasti v místě dopadu laserového svazku. Tím dojde k tvorbě ablačního kráteru, ze kterého je vyvrženo malé množství materiálu. Možnost ovládání pulzů dovoluje rychle zahájit a ukončit proces, a také jemně řídit množství takto generovaných částic. [1]

Pro účely ablace jsem sestavil experimentální vakuovou sestavu obsahující vlastní zdroj neutrálních atomů. Hlavní část vakuové sestavy je šestiramenný kříž, který umožňuje dostatečný počet vstupů, jak pro potřebné laserové svazky, tak detekční techniku. Na jednom rameni je upevněn zdroj vápníku – vápníková pícka. Proti ní míří svazek ablačního laseru. Kolmo na ablační svazek v oblasti těsně u výstupu pícky je umístěn svazek ionizačního laseru svítícího na 422 nm. Vyvržené částice se vlivem ionizačního laseru excitují, poté spontánně padají na základní hladinu, a přitom emitují záření o stejné vlnové délce. Detekce vypařených částic vápníku je zajištěno pomocí kamery s vysokou citlivostí v oblasti vlnové délky 422 nm. Kamera byla nastavena na maximální citlivost a expoziční čas 0,5 s. Nežádoucí záření, způsobené zahřátou píckou, bylo odstíněno pomocí filtru propouštějící pouze úzkou oblast v okolí 422 nm.

Po vyčerpání komory na dostatečnou hodnotu vakua (10^{-7} mbar) byla aktivována kalciová pícka. V prvním kroku jsme si ověřili funkčnost pícky generovat neutrální atomy

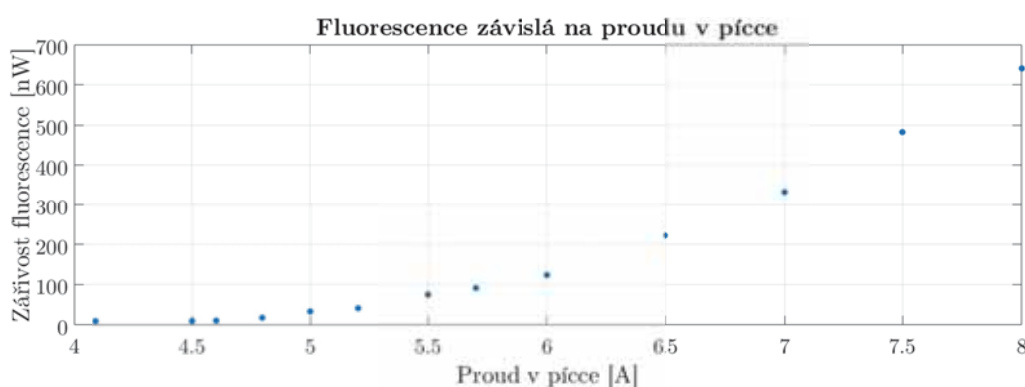


Obr. 1: Realizace experimentální aparatury zahrnující vakuovou komoru a optickou trasu.



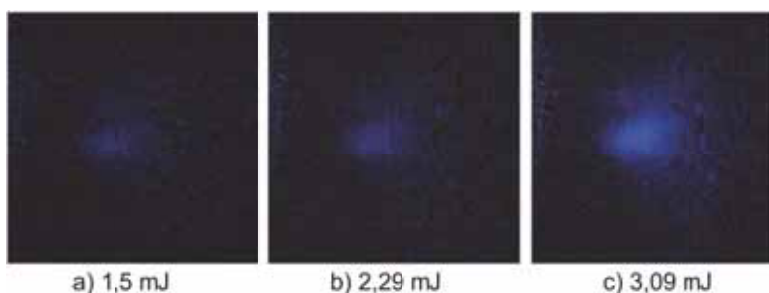
Obr. 2: Generované částice tepelnou píčkou a jejich detekce fluorescenční spektroskopií na 422 nm.

s využitím přiloženého proudu. Proud byl postupně zvyšován a kamerou byly zaznamenávány jednotlivé snímky proudu částic. Tyto snímky byly pak zpracovány pomocí programovacího prostředí MATLAB a posléze pomocí kalibrace kamery se zářením o známém výkonu byly pak dále převedeny na reálné hodnoty intenzity v závislosti na proudu puštěném do píčky. Vybrané snímky zachycující fluorescenci vápníku jsou zobrazeny na Obr. 2. Vynesené hodnoty fluorescence v závislosti na přiloženém proudu jsou pak zobrazeny v grafu na Obr. 3.



Obr. 3: Zpracovaný obraz převedený na hodnoty intenzity zaznamenané v grafu.

Pro samotný proces ablace byl využit Nd:YAG laser pracující na vlnové délce 1064 nm a s délkou pulzů v řádu desítek ns. Postupně byla zvyšována energie pulzů a na kameře byla sledována fluorescence. Zaznamenané snímky poukazují na menší množství částic. Kontrast je taky malý, a to z důvodu velmi krátkého trvání pulzu a nemožnosti synchronně s ablací zaznamenat přesné okamžiky ablace. Obr. 4 zobrazuje několik snímků při různém nastavení pulzů ablačního laseru.



Obr. 3: Generované částice pomocí ablace

Literatura:

[1] STAFE, Mihai; MARCU, Aurelian; PUSCAS, Niculae N. Pulsed Laser Ablation of Solids Basics, Theory and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014

Poděkování

Tento metodologický výzkum je podporován Grantovou agenturou ČR, projekt č. GB14-36681G. Výzkumná infrastruktura byla podpořena s přispěním Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projekty č. LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a dále Akademií věd České republiky, projektem RVO:68081731

LASEROVÉ OPRACOVÁNÍ PLASTŮ VYSTUŽENÝCH UHLÍKOVÝMI VLÁKNY

Petr Hauschwitz

Fyzikální ústav AV ČR, HiLASE
Za Radnicí 828, 252 41 Dolní Břežany
www.hilase.cz



Obor: Laserové mikroobrábění

Plasty vyztužené uhlíkovými vlákny (CFRP) jsou velmi pevný, lehký a odolný kompozitní materiál, který má potenciál nahradit mnoho kovových dílů, neboť může být až o 70% lehčí než ocel, o 30% lehčí než hliník, a zároveň může mít 2x takovou pevnost a nosnost. Tyto materiály jsou hojně používány jak v moderním automobilovém průmyslu, tak v průmyslu leteckém, kde je redukce váhy velmi důležitá.

Obvyklé způsoby opracování tohoto materiálu jako mechanické řezání, vrtání, případně i řezání vodním paprskem jsou spojeny s určitým omezením v kvalitě a produktivitě a s velkým opotřebením obráběcích nástrojů. Na druhé straně laserové opracování takového materiálu se jeví jako výhodné řešení těchto problémů a to zejména díky tomu, že opracování je nekontaktní, flexibilní a snadno automatizovatelné. Hlavní výzvou pro laserové opracovávání CFRP je opracovat materiál s dostatečnou rychlostí a zároveň s dostatečnou kvalitou, která je dána především rozšířením teplem ovlivněné oblasti v okolí interakce laserového svazku s materiálem.

Tato práce se zabývá optimalizací laserových a procesních parametrů pro řezání plastů vyztužených uhlíkovými vlákny, především z hlediska kvality, rozšíření teplem ovlivněné oblasti, rychlosti a efektivity řezání. Optimalizace těchto parametrů byla provedena na několika laserových systémech s různou délkou pulzu ns-fs a s různou vlnovou délkou IR-UV. Výstupem jsou pak optimální procesní okna pro každý laserový systém.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Vytváření funkčních struktur na povrchu materiálů laserovým svazkem – Superhydrofóbní, samočistící, ledofóbní povrchy.

APODIZACE FBG DYNAMYCKÝM PŘEDEPNUTÍM VLÁKNA

Radek Helán¹, Jakub Somer^{1,2}, František Urban², František Urban¹

¹NETWORK GROUP – Special fiber Optics

e-mail: r.helan@nwg.cz

²VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Obor: Výzkum a vývoj optických prvků a senzorických systémů

Braggovy vláknové mřížky (Fiber Bragg Grating – FBG) lze aplikovat v celé řadě aplikací od telekomunikačních filtrů až po senzorické elementy pro měření teploty, dilatace a další veličiny měřené v průmyslu i speciálních aplikacích.

Při výrobě FBG je sledováno několik stěžejních parametrů - centrální vlnová délka (Central wavelength – CWL), šířka spektra v polovině vrcholu mřížky (Full Width at Half Maximum – FWHM), odstup užitečného signálu od šumu (Optical Signal to Noise Ratio – OSNR), odrazivost mřížky a vložený útlum.

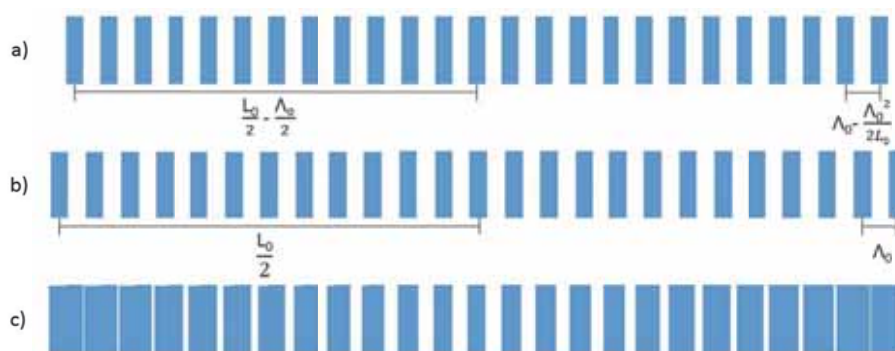
Právě parametr OSNR bývá kritický pro možnosti vyhodnocení FBG a určuje se jako odstup intenzit mezi hlavním rezonančním maximem (na CWL) a prvními postranními laloky v odrazném spektru mřížky.

Při zápisu FBG laserem s homogenně rozloženou intenzitou svazku (tzv. flat-top) z běžných excimerových laserů dochází k zápisu homogenních mřížek. Homogenní mřížky mají obálku amplitudy změny indexu lomu konstantní. Takové mřížky se vyznačují poměrně malým OSNR. Pro zlepšení OSNR je možné zavést apodizaci mřížky, kdy dochází k modulaci amplitudy změny indexu lomu podél délky zapisované mřížky s vhodným profilem.

Apodizace vláknové mřížky je možné dosáhnout například použitím fázové masky s již apodizovaným profilem, pohybem vlákna nebo fázové masky nebo použitím masky s proměnou efektivitou difrakce. Zmíněné metody výroby apodizovaných mřížek mají své výhody i nevýhody. Například použití fázové masky s apodizovaným profilem je rychlejší pro zápis mřížek a lépe aplikovatelné v sériové výrobě. Nevýhodou použití apodizované fázové masky je fixní délka zapisované struktury, z toho pak vyvstává potřeba velkého množství masek pro různé výsledné parametry vláknové mřížky.

Důležitým faktorem při výrobě apodizovaných mřížek je dosažení konstantního průměrného indexu lomu v délce struktury. Takto vytvořená apodizace se nazývá čistá apodizace a od apodizace s měnící se průměrnou změnou indexu lomu se vyznačuje spektrálně symetrickou odezvou takto vyrobených FBG.

Pro apodizaci vláknových mřížek ve společnosti NETWORK GROUP byla zvolena metoda symetrického natahování vlákna během expozice struktury. Princip této metody je naznačen na Obr. 1. Tato metoda je založena na zápisu dvou překrývajících se difrakčních vzorců, na jejichž koncích se periodické změny indexu lomu liší o půl periody mřížky ($\Lambda_0/2$).

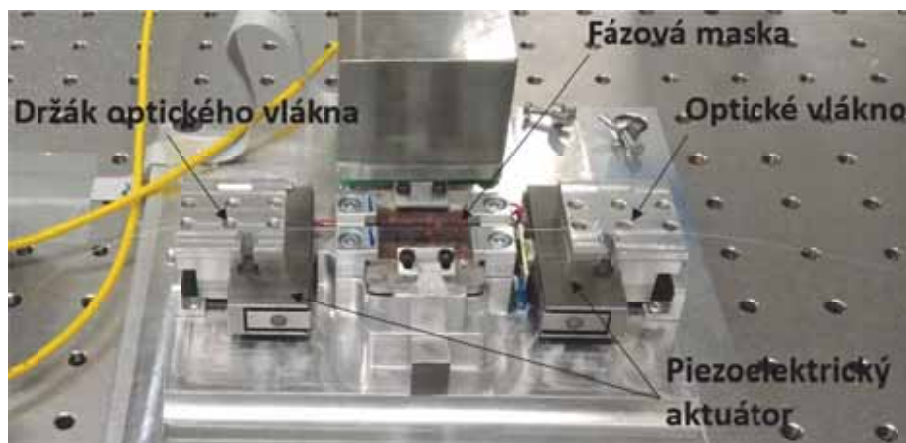


Obr. 1: Rozložení změn indexu lomu pro mezní protažení vlákna a) struktura zapsaná do nataženého vlákna o polovinu periody b) zapsaná struktura bez natažení vlákna c) výsledná složená struktura

Při výrobě apodizované vláknové mřížky metodou symetrického natahování vlákna jsou exponovány dvě vzájemně se překrývající mřížky s odlišnými periodami. K dosažení rozdílných period je potřeba během expozice symetricky natáhnout vlákno v držáku, zároveň musí být svazek dopadající na fázovou masku na jejím středu. Délka Braggovy vláknové mřížky (L_0), délka optického vlákna uchyceného mezi držáky (L_d) a požadovaná výsledná centrální vlnová délka mřížky určuje celkové protažení vlákna mezi držáky (ΔL_d) podle vztahu:

$$\Delta L_d = L_d \frac{\Lambda_0}{L_0}$$

Za účelem zavedení apodizace FBG výše zmíněným způsobem jsme navrhli a realizovali specializovaný přípravek pro dynamické napínání vlákna během výroby (viz Obr. 2). Akční členy pro napínání vlákna byly zvoleny piezoelektrické aktuátory, pro zpětnovazební sledování parametrů mechanického napětí vlákna je do série umístěn tenzometr.



Obr. 2: Vyrobený přípravek pro zápis Braggových vláknových mřížek

Zápis FBG probíhá při opakovací frekvenci pulsů zapisovacího laseru 40 Hz, přitom s periodou 4 Hz je střídavě aplikováno předpětí na vlákno do dvou krajních pozic tak, aby byla polovinu expozičního času zapisována FBG délky L_0 a druhou polovinu expozičního času FBG délky $L_0 + \Lambda_0$. Tím dochází k překrytí difrakčních struktur na koncích zapisované FBG a tím k postupné ztrátě kontrastu změny indexu lomu od středu FBG k jejím koncům. Zmíněným principem dochází k tzv. čisté apodizaci – průměrná změna indexu lomu podél zapisované FBG zůstává konstantní, dochází k modulaci intenzitní obálky změny indexu lomu.

V současné době je přípravek v testovacím provozu, probíhá optimalizace řídicí elektroniky a SW.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Nabízíme spolupráci při vývoji a výrobě senzorů založených na vláknových mřížkách a systémy pro jejich vyhodnocování, kompletní senzorické systémy na míru.
- Nabízíme zakázkovou výrobu FBG mřížek.
- Nabízíme spolupráci ve vývoji aplikací využívající FBG.
- Nabízíme zakázkový vývoj FBG filtrů pro telekomunikační účely.
- Hledáme obchodního partnera pro rozšíření produktového portfolia do zahraničí.
- Hledáme partnera pro implementaci senzorických systémů.

Poděkování:

Publikace byla podpořena projektem FEKT-S-17-4184 Výzkum informačních a komunikačních systémů a jejich bezpečnost.

MIKROSTRUKTUROVÁNÍ ČEL OPTICKÝCH VLÁKEN

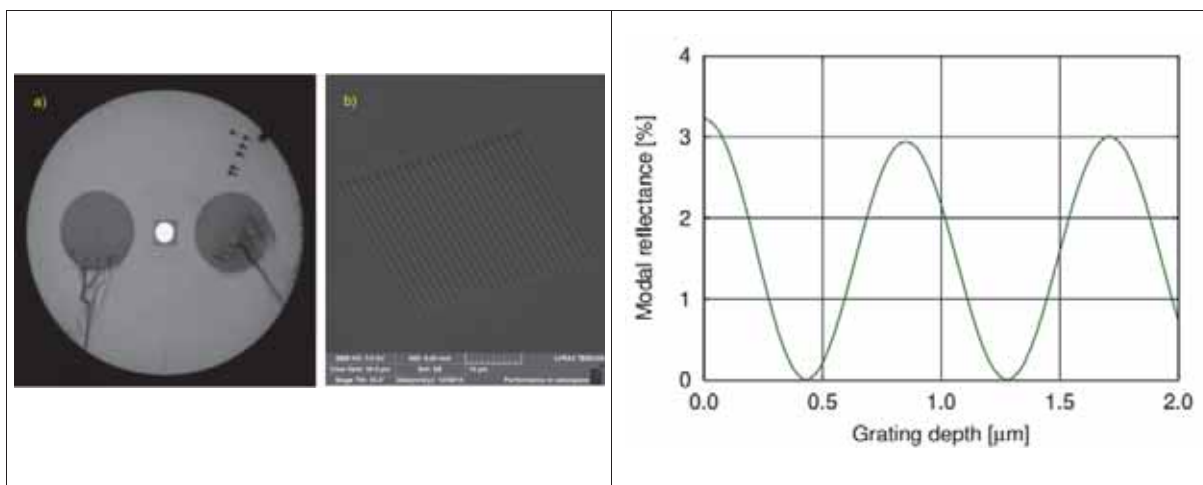
Pavel Honzátko, Martin Vaněk

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i.
Chaberská 57, 182 51 Praha 8, www.ufe.cz

Obor: optická vlákna, vláknové součástky, vláknové lasery

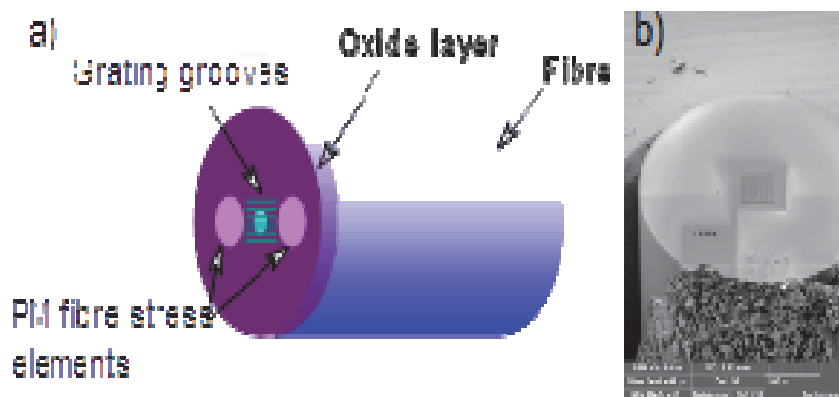
Subvlnové reliéfní difrakční mřížky vyrobené na čelech optických vláken mohou sloužit k výběru vlnové délky a polarizace ve vláknových laserech a mohou se tak stát alternativou ke vláknovým braggovským mřížkám a antireflexním vrstvám. Mohou selektivně potlačit modální odraz pro vybranou lineární polarizaci. Složitější struktury s rezonančním vytékajícím videm umožňují dosáhnout pro vybranou polarizaci modální reflektanci blízko jedné při spektrální šířce kolem 50 nm. Laserový svazek vystupující z vlákna se subvlnovou mřížkou na čele si zachovává svůj gaussovský charakter, jeho kvalita není znehodnocena.

V první části přednášky představíme subvlnové mřížky s potlačenou modální reflektancí, určené pro výstup laseru, kde mohou nahradit antireflexní úpravu čela optického vlákna. Modální reflektance těchto mřížek může být v závislosti na návrhu polarizačně nezávislá nebo polarizačně závislá. Polarizačně závislé subvlnové mřížky tak mohou nahradit polarizátor v laseru. Vedle numerických simulací představíme výsledky experimentálních testů ve výkonovém 20 W thuliovém vláknovém laseru.



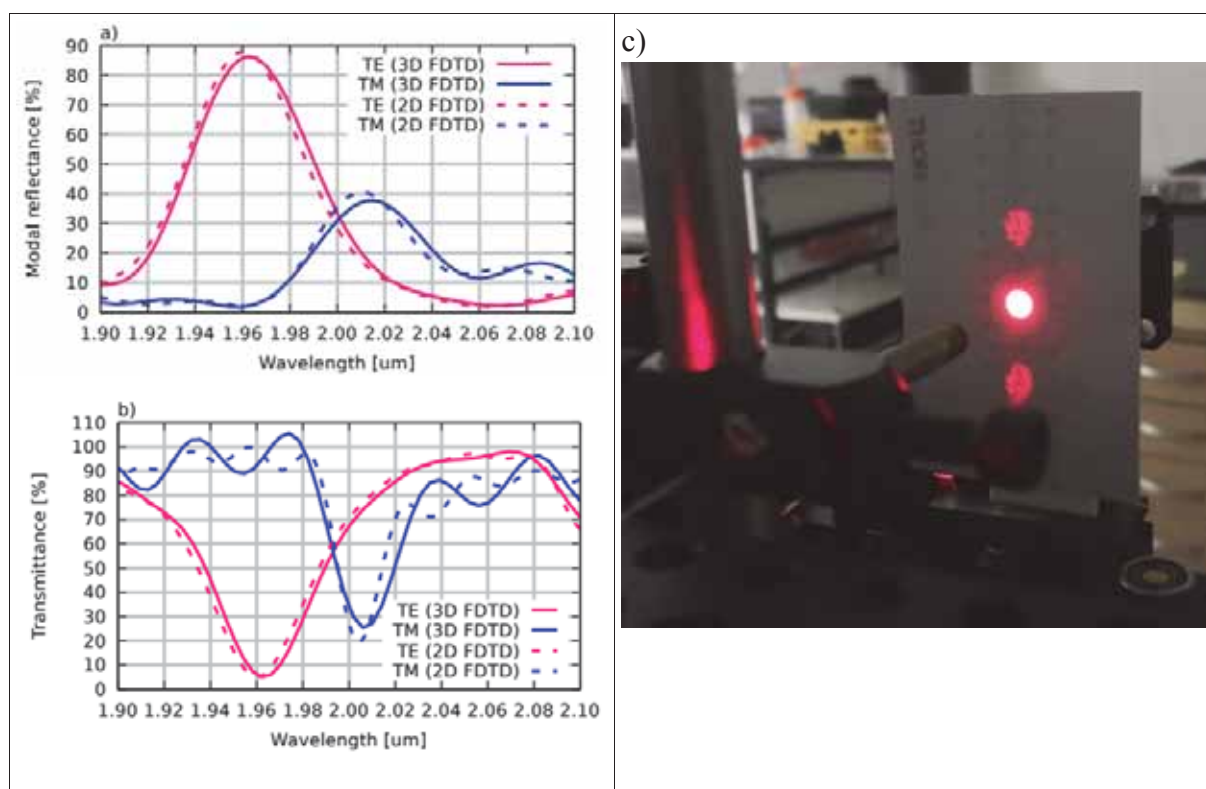
Obr. 1: Subvlnová antireflexní mřížka na čele optického vlákna zachovávajícího polarizaci fotografie a) z optického a b) z elektronového mikroskopu. c) Modální reflektance antireflexní subvlnové mřížky v závislosti na hloubce vrypů pro TE vid.

V další části přednášky se zaměříme na mřížky s vysokou modální reflektancí, založené na rezonanci s vytékajícím videm (obr.). Na rezonanční vlnové délce takové mřížky mohou teoreticky dosáhnout modální odrazivosti 95% se spektrální šířkou v polovýšce je kolem 50 nm (na vlnové délce 2 000 nm). Dosahují polarizačního extinkčního poměru 18 dB a mohou tedy sloužit jako polarizující prvek laseru.



Obr. 2: Rezonanční mřížka s vytékajícím videm zhotovená na čele vlákna. a) Náčrta, b) fotografie z elektronového mikroskopu.

Mřížky vymíláme pomocí fokusovaného iontového svazku do oxidové vrstvy s vysokým indexem lomu, nanesené na čelo optického vlákna. Experimentálně jsou mřížky testovány měřením úhlové závislosti transmisní difrakční účinnosti ve viditelné oblasti a polarizačně závislých transmisních spekter v oblasti rezonanční vlnové délky.



Obr. 3: Teoretické spektrální závislosti a) modální reflektance a b) transmitance pro TE a TM vid vypočtené pomocí numericky úsporné 2D FDTD metody a plně vektorové 3D FDTD metody. c) Měření difrakční účinnosti mřížek ve viditelné oblasti.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

ÚFE hledá partnery pro komercializaci vláknových laserů a pro vývoj laserových aplikací. Dále hledáme partnera pro napařování tvrdých oxidických vrstev na čela vláken (IBS) pro další výzkum vláknových difrakčních struktur.

MĚŘENÍ LASEROVÉHO SVAŘOVACÍHO PROCESU VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMEROU A FOTODIODOU

Petr Horník, Libor Mrňa, Hana Šebestová

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i.

Královopolská 147/62, 612 00 Brno - Královo Pole

tel.: 541 514 214, e-mail: hornik@isibrno.cz, www.isibrno.cz

Obor: výkonové laserové technologie

K monitorování laserového svařovacího procesu se dá přistupovat různými způsoby. Jednou z možných cest je použití fotodiody ke snímání svařovaného místa, a na základě naměřené intenzity rozhodnout o kvalitě svaru. Takové řešení má výhodu v jednoduchosti provedení, ovšem potýká se s mnoha výzvami.

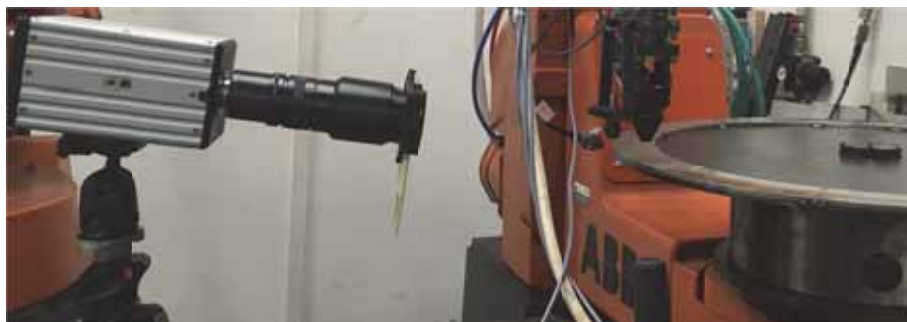
Při experimentu se dvěma fotodiodami, obr. 1, které jsou připevněny ke svařovací hlavě a svírají vůči sobě úhel v rozmezí 0-180° bylo zjištěno, že s rostoucím úhlem klesá korelace mezi daty získanými z fotodiod. Z toho vyplývá, že by mohl být systematický problém s polohováním fotodiod vůči místu svařování nebo světelné projevy svařování poskytují z každého směru odlišnou informaci.



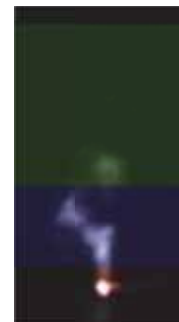
Obrázek 1: Svařovací hlava s fotodiodami

Pro ověření byl proveden experiment, kdy bylo svařované místo nahrazeno výkonovou svítivou diodou. Modulací proudu tak, aby dioda blikala, byl simulován svařovací proces. Opět bylo provedeno měření dvěma fotodiodami s postupnou změnou úhlu. Naměřené hodnoty intenzit u obou fotodiod tohoto idealizovaného procesu spolu korelovaly konstantně bez ohledu na svírající úhel. Měřená intenzita v případě svítivé diody tedy nezávisí na směru snímání. Z toho lze usuzovat, že svařovací proces poskytuje v každém místě odlišnou informaci.

Pokud zvolíme široký úhel záběru fotodiody, bude se v získávaném signálu sčítat příspěvek ze záření obláčku plazmatu, svarové lázně a případně odraženého či rozptýleného laserového záření. Naopak při úzkém úhlu záběru bude kritické správné nasměrování fotodiody. Pouzdro fotodiody omezuje pozorovací úhel na 10,5°, což v dané vzdálenosti představuje kruh o průměru 14 mm a pokrývá téměř celý svařovací proces. Pouzdro obsahuje navíc šedý filtr a ochranné sklíčko. Pro posouzení vlivu jednotlivých oblastí byla využita vysokorychlostní kamera X-Stream XS-3, která hleděla na svařované místo ze stejného směru jako fotodioda, obr. 2. Dále bylo navíc snímáno zpětně odražené laserové záření vracející se optickým vláknem do laseru.



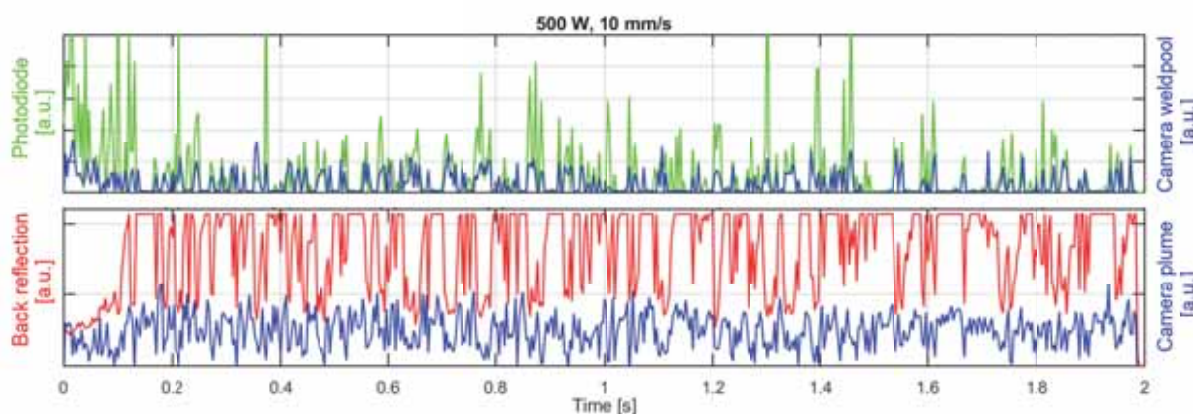
Obrázek 2: Experimentální sestava s vysokorychlostní kamerou a fotodiódou



Obrázek 3: Snímek z kamery

Snímky z kamery byly rozděleny na jednotlivé oblasti zájmu zahrnující oblast svarové lázně, spodní a horní část obláčku plazmatu a celý snímek, obr. 3. Z nich pak byla počítána intenzita a porovnávána s fotodiódou i zpětně odraženým laserovým zářením. Pro porovnání signálů byl použit Spearmanův korelační koeficient, který je na rozdíl od Pearsonova korelačního koeficientu obecnější a místo míry lineární závislosti hodnotí míru monotónní závislosti. V průběhu svařování byl měněn výkon laseru, aby byly pokryty jak případy indukčního, tak penetračního režimu svařování. Vzorkovací frekvence měřící karty zaznamenávající hodnoty z fotodiody byla 40 kHz a vychlost snímání kamery byla 10 000 fps.

V případě indukčního režimu (200 W , $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$) dochází k poměrně velkému zpětnému odrazu a je vidět pouze nevýrazná svarová lázeň. Plazmový obláček kamera při krátké expoziční době nevidí. Fotodioda proces prakticky nevidí. Nejzajímavější je svar s parametry na pomezí indukčního a penetračního režimu (500 W , $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$), obr. 4, kdy je stále vysoká hodnota zpětného odrazu, ale již je vidět i obláček plazmatu. Signál z fotodiody v tomto případě koreluje s intenzitou záření z oblasti svarové lázně zachycené kamerou. Oba signály negativně korelují s intenzitou zpětně odraženého záření a intenzitou obláčku plazmatu. Pro výkon od 1 kW výše je zpětně odražené záření na nižší úrovni než v předchozích případech a koreluje pouze oblast svarové lázně se signálem z fotodiody.



Obrázek 4: Porovnání intenzit získaných z kamery, fotodiody a odraženého laserového záření

Autoři děkují za podporu Akademii věd ČR (Strategie AV21 „Světlo ve službách společnosti“).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Smluvní výzkum v oblasti laserového svařování a dělení materiálů
- Diagnostika laserového svařovacího procesu

VYUŽITÍ KYANOVODÍKU JAKO ABSORPČNÍHO MÉDIA PRO LASEROVOU SPEKTROSKOPII

Martin Hošek*, Šimon Řeřucha, Lenka Pravdová, Martin Čížek, Jan Hrabina a Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, oddělení: Koherenční optika
Královopolská 147, 612 64 Brno, www.isibrno.cz

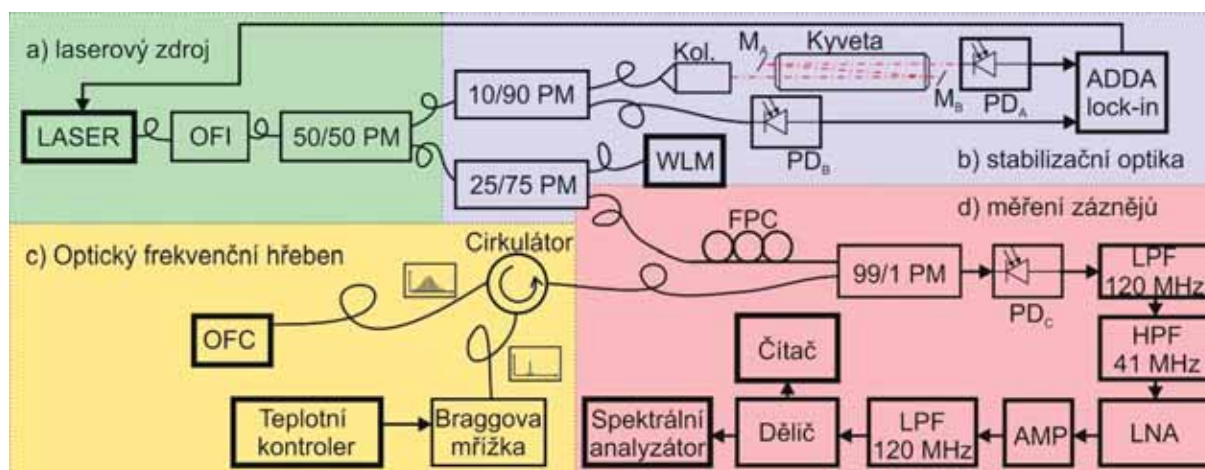
*mhosek@isibrno.cz

Obor: realizace metru, absorpční spektroskopie, optický frekvenční hřeben, kyanovodík, přeladitelný laser

Cílem výzkumu je využití kyanovodíku (konkrétně izotopu $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$) jako absorpčního média pro realizaci etalonu optické frekvence. Výhodou kyanovodíku oproti konvenčně používanému acetylenu (izotopy $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ a $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$) je jeho lepší dostupnost a také širší absorpční spektrum ve zkoumané oblasti (1550 nm – telekomunikační pásmo).

Hyperjemné přechody v kyanovodíku byly předmětem výzkumu v devadesátých letech minulého století [1], z důvodu technologických omezení ovšem tato data nejsou tak přesná, jako například data dostupná pro acetylen [2]. Naším cílem je proto využití přesnějších metod (saturovaná spektroskopie, frekvenční uzamknutí laseru, zázněj s optickým frekvenčním hřebenem) k dosažení přesnějších údajů o absorpčních čarách kyanovodíku.

Zde prezentované výsledky jsou prvními obdržnými výsledky a k jejich získání bylo použito metody lineární absorpční spektroskopie. Nejříve byl zkoumán acetylen (izotop $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$), jelikož se jedná o dobře popsané médium a srovnání námi získaných výsledků s dostupnými daty nám umožňovalo odhadnout vlastnosti našeho měřicího systému. K měření bylo využito experimentálního uspořádání, které lze vidět na obrázku 1.



Obrázek 1. Schéma experimentální sestavy. Část a) obsahuje laser, optický frekvenční izolátor (OFI) a 50/50 polarizaci zachovávající (50/50 PM) dělič svazku. Část b) obsahuje 25/75 polarizaci zachovávající (25/75 PM) dělič svazku, 10/90 polarizaci zachovávající (10/90 PM) dělič svazku, kolimátor (Kol.), kyvetu, zrcátka (M_A a M_B), fotodetektory (PD_A a PD_B), analogovo-digitální zámek laseru, (ADDA lock-in) a vlnoměr. Část c) obsahuje optický frekvenční hřeben (OFC), cirkulátor, teplotní kontroler a Braggovu mřížku. Část d) obsahuje vláknový polarizační kontroler (OFC), 99/1 polarizaci zachovávající (99/1 PM) dělič svazku, fotodetektor (PD_C), dolní propusti s mezní frekvencí 120 MHz (LPF 120 MHz), horní propust s mezní frekvencí 41 MHz (HPF 41 MHz), nízkosumový zesilovač (LNA), zesilovač (AMP), výkonový dělič, čítač a spektrální analyzátor.

Byl použit laser Koheras Adjustik K-81, s možností ladění vlnové délky v rozsahu přibližně od 1539,8 nm do 1541 nm. Nejdříve bylo pomocí rychlého ladění pořízeno absorpční spektrum zkoumaného plynu. Intenzivní čáry v něm obsažené byly následně identifikovány a pomocí pomalého ladění přes jejich profil byla určena jejich šířka a také přibližná hodnota frekvence jejich středu. Nakonec bylo využito námi vytvořeného hardwaru umožňujícího zamknutí laseru na minimum zkoumané absorpční čáry a pomocí záznamu s optickým frekvenčním hřebenem byla stanovena přesně pozice minima dané spektrální čáry. Tyto výsledky můžeme vidět v tabulce 1.

Tabulka 1: První výsledky obsahující pozici čáry R(2) kyanovodíku ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$). f_{peak} značí pozici středu dané absorpční čáry, f_{ref} značí publikovanou hodnotu tohoto středu [2], $FWHM$ značí šířku dané absorpční čáry a Δf rozdíl mezi naměřenou a publikovanou hodnotou střed dané spektrální čáry.

f_{peak} (MHz)	f_{ref} (MHz)	$FWHM$ (MHz)	Δf (MHz)
194 615 893 (5)	194 615 960 (400)	470	67

Jelikož stojíme teprve na začátku našeho projektu, zde prezentované výsledky jsou teprve prvními výsledky, které se nám povedlo získat. Již v tuto chvíli jsme ovšem dokázali získat v případě kyanovodíku přesnější výsledky (Tabulka 1.) nežli jsou výsledky dostupné. Dalším našim cílem bude získat větší stabilitu laseru při jeho uzamčení na daných spektrálních čarách, zjištění možností pro získání laseru umožňujícího ladění v širším spektrálním pásmu (1527 nm – 1563 nm) a v konečném důsledku dosažení přesnosti měření umožňující použití vybraných čar kyanovodíku jakožto referencí pro „*Mise en pratique*“.

Poděkování

Tento metodologický výzkum je podporován z projektu RVO Akademie Věd České republiky: 68081731 a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (6O1212) společně s Evropskou komisí (ALISI No. CZ.1.05/2.1.00/01.0017); Části výzkumu byly uskutečněny v rámci projektu EMPIR 17IND03 LaVA. Projekt EMPIR je spolufinancován z projektu evropské unie Horizont 2020 pro výzkum a inovace a EMPIR Participating States. Konkrétní části výzkumu byly podporovány Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky (projekt FV10336) a Technologickou agenturou České republiky (projekt TE01020233).

Reference

- [1] Gilbert, S. L., W. C. Swann, and C. M. Wang, “Hydrogen cyanide $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ absorption reference for 1530–1560 nm wavelength calibration—SRM 2519,” Natl. Inst. Stand. Technol. (US) Spec. Publ. 260-137 (National Institute of Standards and Technology, 1998).
- [2] Edwards, C. S., H. S. Margolis, G. P. Barwood, S. N. Lea, P. Gill, and W. R. C. Rowley. “High-Accuracy Frequency Atlas Of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ In The 1.5 μm Region”. *Applied Physics B* 80 (8): 977-983. doi: 10.1007/s00340-005-1851-0.

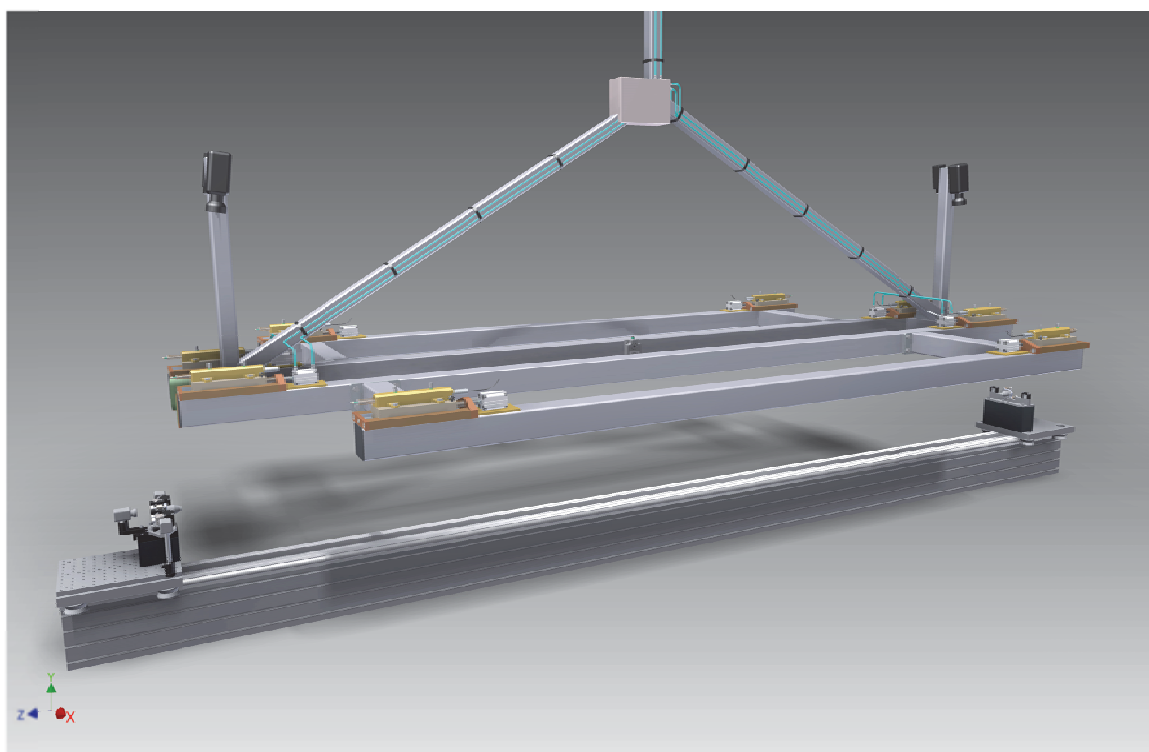
INTERFEROMETRICKÝ KALIBRÁTOR PRO MĚŘENÍ METROVÝCH DÉLEK

Petr Jedlička, Břetislav Mikel, Šimon Řeřucha, Zdeněk Matěj, Ondřej Herman, Miroslava Holá, Michal Jelínek, Jan Pavelka, Ondřej Číp a Josef Lazar

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i.
Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika
Jedla@isibrno.cz

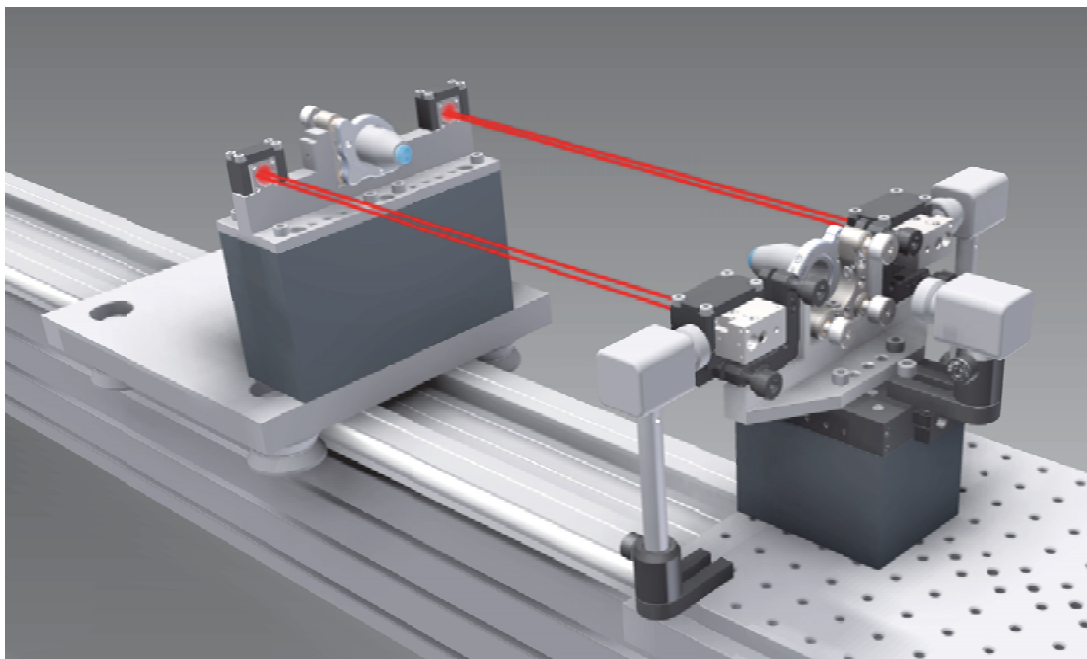
Obor: metrologie, laserová interferometrie

Systém je navržen pro kalibraci měřicího rámu, kterým se kontrolují rozměry reaktorové nádoby. Rám je při měření spouštěn do reaktoru a výsuvnými koncovými snímači měří jeho rozměry. Měřené hodnoty jsou až 3300 mm. Před měřením je třeba měřicí rám jako celek kalibrovat.



Obr. 1: Kalibrátor a měřicí rám

Referenční vzdálenost je tvořena skleněnými plochami. Tyto jsou umístěny na platformách, jedna je pevná, druhá se pohybuje po přesném lineárním vedení. Kalibrovaná vzdálenost je měřena dvojicí laserových interferometrů. Interferometrické jednotky obou laserů jsou připevněny na pevné platformě, koutové odražeče jsou na pohyblivé platformě.



Obr. 2: Sestava kalibrátoru na lineárním vedení, umístění referenčních ploch mezi osy obou interferometrů.

Při měření vzdálenosti se pohyblivá platforma se posune tak, aby se referenční plochy dotýkaly, následně přejede na požadovanou vzdálenost. Během pohybu probíhá interferometrické měření. Po dosažení požadované vzdálenosti se platforma mechanicky zafixuje a je možno provést kalibraci.

Chyby linearitý vedení jsou minimalizovány umístěním referenčních ploch mezi dvojici interferometrů. Interferometry jsou v Michelsonově uspořádání s homodynní detekcí. Signál je zpracováván digitálně pomocí mikroprocesoru a FPGA. Celý systém je ovládán pomocí prostředí LabView. Přesnost kalibrátoru je lepší než $1\text{ }\mu\text{m}$, což výrazně přesahuje požadavky dané aplikace.

Poděkování

Autoři děkují za podporu projektům AV ČR (RVO: 68081731), MŠMT (LO1212), MPO (projekt FV10336), projektem Evropské komise (ALISI No. CZ.1.05/2.1.00/01.0017), TAČR (projekt TE01020233) a MVČR (projekt VI20172020099).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Laserová interferometrie
- Výroba kyvet plněných izotopicky čistými plyny
- Optovláknové senzory
- Zpracování signálů

VYUŽITÍ HOLOGRAFIE PRO MĚŘENÍ A CHARAKTERIZACI POVRCHU

František Kavan

Toptec, IPP CAS, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov,
kavan@ipp.cas.cz



Obor: metrologie, měření

Výzkum je zaměřen na měření povrchů pomocí digitální holografické metody. Tato metoda se jeví vhodná hlavně pro broušené a obecně difuzní povrchy. Možností, jak měřit povrch, je mnoho. Jednou z nich je například Atomic Force Microscopy – AFM. Pomocí AFM lze při dodržení určitých podmínek sledovat povrch v atomárním rozlišení. Nevýhodou je ovšem velmi dlouhá doba měření a velmi malá zobrazená oblast. Měření pomocí profilometrů trpí podobnými problémy.

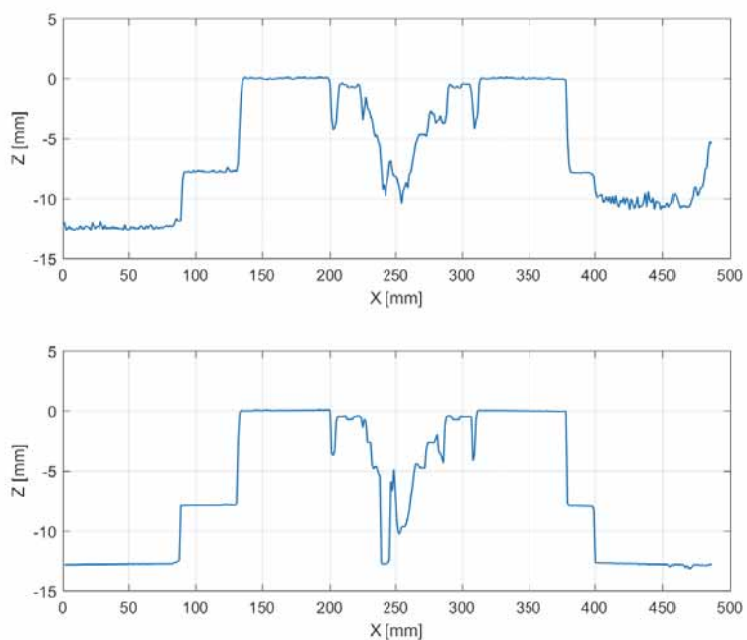
Digitální holografická interferometrie nabízí zajímavý kompromis, protože pořizovací náklady nejsou tak vysoké, jako u AFM nebo profilometrů, a zároveň přináší mnoho výhod. Měření pomocí digitální holografické interferometrie je bezkontaktní, nepoužívá žádné čočky a tím nevznášá do měření další chyby. Při správném nastavení dosahuje poměrně dobré přesnosti a umožňuje měření objektů s velkým poloměrem zakřivení a velkými výškovými skoky.

Při experimentech jsou využívány DFB laserové diody, které mají při kvalitní teplotní stabilizaci velmi dobrou koherenční délku a stabilitu. Také umožňují přeladění vlnové délky až o 1,3 nm bez přeskočení podélných módů.

Byly měřeny různé druhy objektů, které posloužily pro určení důležitých vlastností jednotlivých metod. Pro první experimenty byla použita metoda dvouvlnné holografické interferometrie, která má výhodu v malé paměťové náročnosti. Hlavní předností použití přeladitelných diod ovšem využije až FSDH. Ta klade větší nároky na vybavení, protože pro její realizaci je potřeba laser s plynulým přeladěním vlnové délky bez přeskočení módů. Při vyhodnocení výsledků má vyšší paměťovou náročnost. Hlavní výhodou této metody je absolutní měření. Přesnost metody skenovací holografické interferometrie lze zvýšit spojením měření při více vlnových délkách (760–852 nm). To umožňuje dosažení přesnosti pohybující se okolo 2 mikrometrů pro stupňovitý objekt. Při další optimalizaci postupů by mělo být možné tuto přesnost ještě zvýšit, což z této metody, v kombinaci s bezkontaktností a poměrně nízkými pořizovacími náklady, činí velmi zajímavou možnost pro přesné měření tvaru povrchu.



Obrázek 1 – Měřený objekt



Obrázek 2 – Naměřené profily pro jednu (nahore) a více (dole) vlnových délek

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Přesné měření optiky
- Přesné měření dílů s difúzním povrchem

KOHERAS HARMONIK: SNADNÁ CESTA K NOVÝM MOŽNOSTEM V OBLASTI JEDNOFREKVENČNÍCH VLÁKNOVÝCH LASERŮ

Miroslav Kořínek

OptiXs, s.r.o.

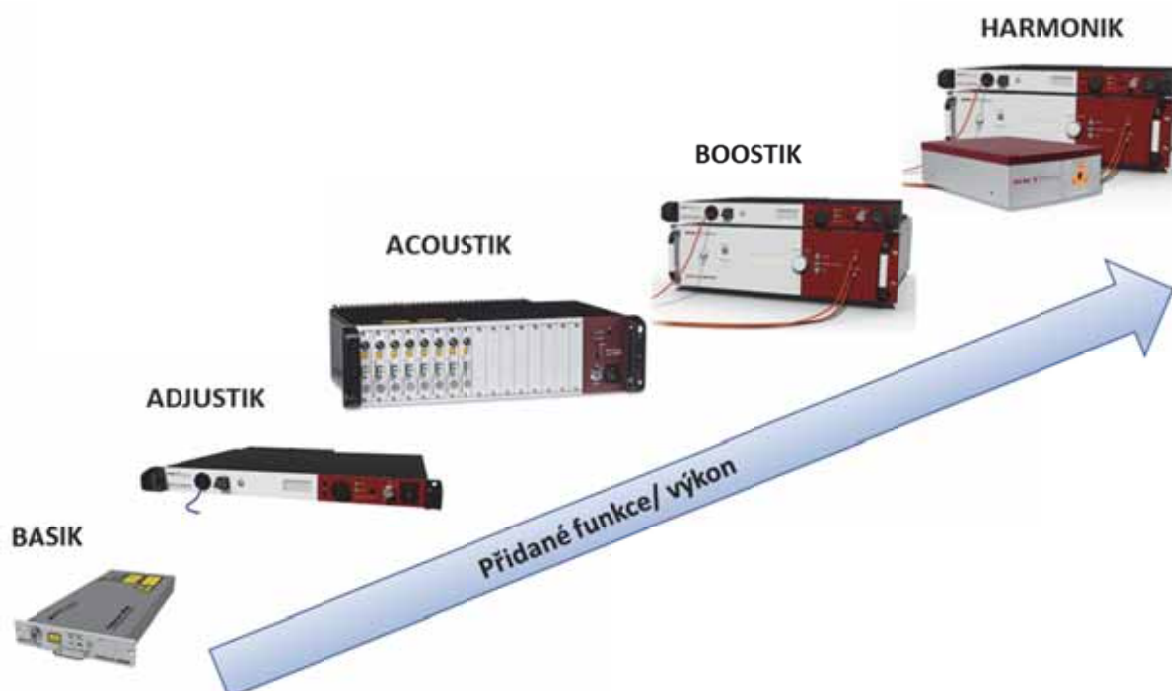
Křivoklátská 37, 199 00 Praha 9, Tel.: +420 212 247 293

Obor: Kvantové snímání, laserové chlazení atomů, optické hodiny, vysoce přesná spektroskopie

Společnost OptiXs, s.r.o. se zabývá komplexními dodávkami přístrojové a laserové techniky pro vysoce přesnou metrologii. V oblasti jednofrekvenčních vláknových laserů spolupracujeme s dánskou firmou NKT Photonics, která je jedním z předních výrobců a inovátorů jednofrekvenčních vláknových laserů, superkontinuálních bílých laserů a fotonických krystalických vláken.

Modulární řada laserů Koheras se vyznačuje extrémně úzkou spektrální čarou a velmi nízkou šumovou charakteristikou. Lasery jsou založeny na DFB (*Distributed feedback laser*) designu. Velmi odolná konstrukce a vysoká životnost umožňuje použití laserů i v náročných pracovních podmínkách. Použitá výrobní technologie navíc umožňuje nastavit výstupní vlnovou délku laseru s přesností na dvě desetiny nanometru.

Příspěvek je zaměřen jednak na představení nového systému Koheras HARMONIK s modulem pro generaci druhé harmonické frekvence, jednak na praktické ukázky uplatnění produktové řady Koheras ve vědě, výzkumu a průmyslu.



Obr. 1: Produktová řada jednofrekvenčních vláknových laserů Koheras

TERMOKAMERY INFRATEC PRO LASEROVÉ APLIKACE

David Kuboš

“TMV SS“ spol. s r. o.

Na Podvolání 3292, 738 01 Frýdek - Místek

david.kubos@tmvss.cz +420 606 654 780



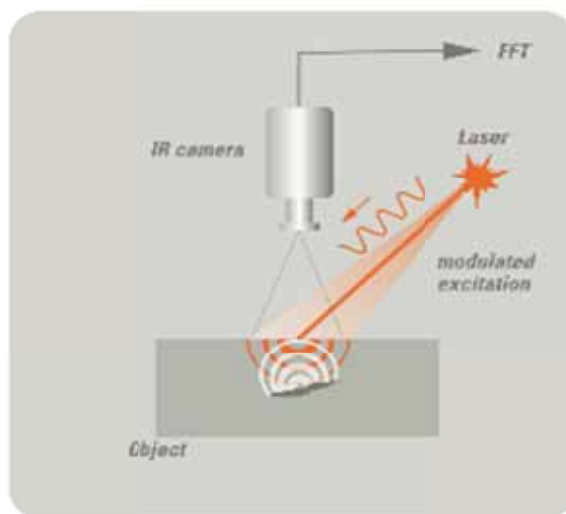
Obor: Termografie s využitím laseru pro oblast R&D a aktivní termografie

Termografické systémy v oblasti výzkumu a vývoje jsou koncipovány tak, aby splnily vysoké požadavky a nároky aplikací vědních oborů, nedestruktivního testování materiálů (NDT) a aktivní lock-in termografie. Pracovníci výzkumu a vědci, kteří jsou závislí na flexibilní technologii infračervených termografických kamer s maximální citlivostí, přesností, prostorovým rozlišením a rychlostí, mají perfektní řešení v podobě systémů s chlazenými fotonovými detektory. Využití takovýchto infračervených kamer je nejlepším řešením pro detekci vnitřních vad různých materiálů metodami aktivní termografie, mezi které patří i laserová metoda (LTvis).

Princip aktivní termografie je založen na vyhodnocení externě excitovaného tepelného toku v testovaném objektu (materiál) a jeho narušení skrytými vadami, defekty a prasklinami. Vysoce citlivé a rychlé termografické systémy, které jsou synchronizovány v celé sestavě aktivní termografie s následnou matematickou analýzou zvyšují schopnost a spolehlivost detekce informací o vadách. Je to účinná bezkontaktní a nedestruktivní metoda pro rychlou inspekci rozlehlých oblastí testovaných objektů.

Laserová lock-in termografie patří k vysoce precizním, rychlým (řády setin Hz) a vysoce vypovídajícím metodám o přítomnosti nehomogenit uvnitř materiálů. Zpracování a interpretace výsledků je velmi snadná, a to díky potlačení proměnlivosti povrchových vlastností a eliminace nerovnoměrnosti zahřívání a šíření tepelné vlny v měřeném objektu. Laserová termografie LTvis je bezkontaktní testovací metoda ideální pro kontrolu spojů, svárů, tenkých filmů a povlaků. Technika Fourierovy vyhodnocovací metody umožňuje precizně stanovit tloušťky, pórovitosti či teplotní vodivosti.

Díky různým dalším druhům excitačních metod je možné široké využití v různých aplikacích testování a oblastech vědy a výzkumu.



Laserová lock-in termografie LTvis

Dalším klíčovým komponentem je vhodné softwarové řešení pro analýzu aktivní termografie. Musí obsahovat pokročilé analýzy, kdy teplotní rozdíly mezi defekty a neporušenými strukturami jsou extrémně malé. Takovýto specializovaný software obsahuje komplexní vyhodnocovací algoritmy pro získávání očekávaných výsledků.

Mnoho excitačních zdrojů aktivní termografie může být použito pro několik různých aplikací v korelaci s požadavky a potřebami daných aplikací. Často záleží na vhodné termografické kameře, jejím typu detektoru (technologie, citlivost, záznamová rychlost) a vhodném softwarovém modulu pro celý měřicí systém.



Termokamera InfraTec ImageIR 10300

COORDINATE INTERFEROMETRIC MEASUREMENT FOR HIGH-RESOLUTION LITHOGRAPHY

Josef Lazar

Ústav přístrojové techniky, AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno



Obor: optická/laserová metrologie

We present a design of a coordinate interferometric measuring system for precision positioning of a sample-carrying translation stage with two degrees of freedom. The system is intended to operate in an e-beam lithography with reproducibility of the position on nanometre level, following the resolution of the scanned e-beam. The coordinate measuring system operates in differential configuration where the position is measured with respect to a central reference point to eliminate deformations caused by thermal and pressure effects on the body of the vacuum chamber. The reference is here the electron gun of the writer. The interferometer is designed to operate at infrared telecommunication wavelength due to the risk of interference of stray light with sensitive photodetectors in the chamber. The laser source used is a narrow-linewidth semiconductor laser with fiber-based external cavity with high-frequency modulation capability. Detection of the interferometric signal relies on a novel derivative technique motivated by an effort to avoid quite complex optics necessary for homodyne detection (that would have to be designed and adjusted for the infrared wavelength) or the need for two-frequency laser for a heterodyne system. This technique also exploits the key advantage of a laser developed primarily for telecom applications – the possibility of high frequency modulation (over 5MHz to meet the velocity requirement). The quadrature sine/cosine signal, that represents the rotating phase vector, is generated using a phase-sensitive derivative detection.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Využití přesných odměřovacích systémů

ANALÝZY OPTO-MECHANICKÝCH SOUSTAV

Milan Matela

Meopta – optika, s.r.o., Oddělení optického designu

Kabelíkova 1, Přerov, 750 02, Česká republika

T: +420 581 243 340 | Milan.Matela@meopta.com

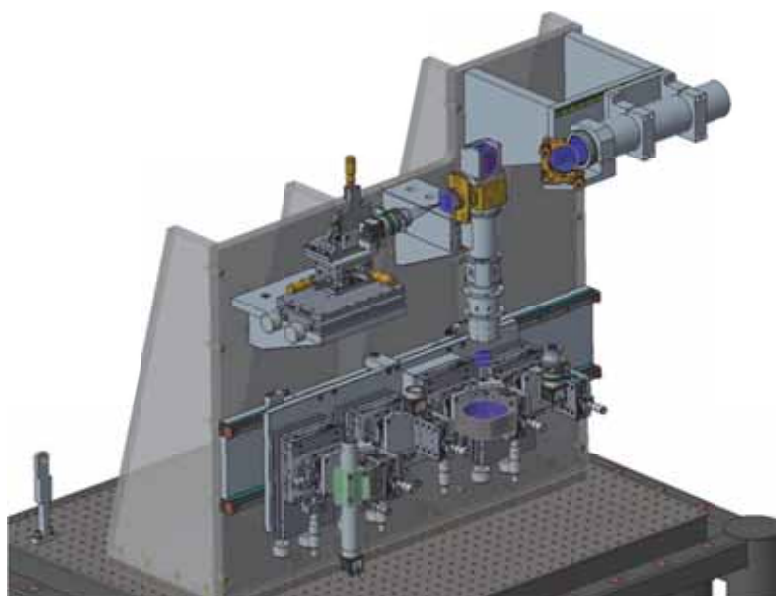
www.meopta.com | www.meoptasportsoptics.com | [Facebook](https://www.facebook.com/meopta)



A BETTER VIEW OF THE WORLD

Obor: Návrh a justáž opto-mechanických soustav

Firma Meopta – optika, s.r.o. se zabývá sportovní, vojenskou a průmyslovou optikou. Součástí portfolia je kompletní návrh a výroba opto-mechanických soustav. Na základě požadavků zákazníka se zabýváme návrhem optického designu, mechanického designu

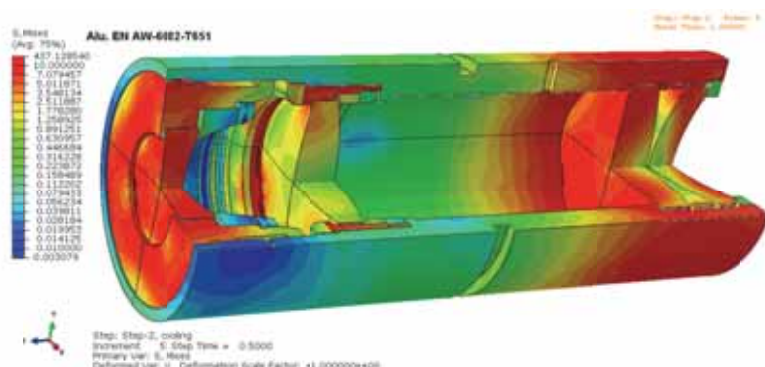


(včetně FEM analýz), výrobou optických a mechanických dílů. V neposlední řadě u nás probíhá také montáž a justáž opto-mechanických sestav s návazností na měření hotového celku. Měření probíhá na lavičích, které jsou velmi často společně s měřicími metodami určené právě pro konkrétní výrobek. S aplikací laseru se pak setkáváme především při justáži a měření (jedná se tedy povětšinou o nízké výkony při zobrazovacích aplikacích).

Vzhledem k širokému zaměření firmy je tak možné narazit na široké spektrum laserů. Ve VIS se jedná zejména o He-Ne lasery a pevnolátkové lasery. Silné laserové zázemí je zejména v DUV oblasti (193 nm – ArF



excimerový laser, 266 nm pevnolátkové lasery,...) a Meopta má i několik laditelných laserů se spektrem pokrývajícím VIS a NIR.



V posledních letech se firma Meopta prosazuje i v oblastech trhu výroby a kontroly integrovaných spojů (výroba mikročipů, pamětí, inspekce waferů, aj.) a výroby displejů (výroba a kontrola FPD – flat panel displays).

V této oblasti produkce jsou kladeny extrémní nároky na optický design. To je spolu

s používáním impulzních laserových zdrojů s krátkou délkou trvání impulzu o vysokém špičkovém výkonu, doprovázeno zvýšenými nároky na tolerance, výrobu, justáž, a také na detailnější analýze opto-mechanických soustav. Tyto analýzy zkoumají dopad tepelného zatížení, mechanického zatížení a vliv provozních podmínek. Výsledky simulací se převádějí na optické aberace a následně se zkoumá jejich vliv na optický výkon soustavy.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Kvalitativní měření optických a opto-mechanických soustav (interferometrie, senzory vlnoplochy, MTF, PSF,...)
- Vývoj opto-mechanických soustav včetně designu, výroby a kontroly
- Optimalizace montážního a justážního procesu

PŘEDSTAVENÍ FIRMY MIT

Martin Moser

MIT s.r.o.

Klánova 56, 147 00 Praha 4

Tel. : 241 712 548, moser@mit-laser.cz

www.mit-laser.cz



Lasery, fotonika
a jemná mechanika

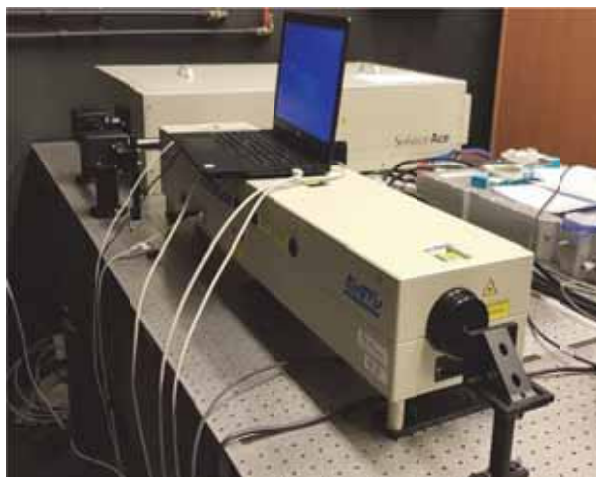
Obor: Obchodní, poradenská a servisní činnost v oblasti laserové techniky, fotoniky a jemné mechaniky

Firma MIT, s.r.o. se zabývá obchodem, poradenstvím a servisem v oblasti laserové techniky, fotoniky a jemné mechaniky. Dodáváme s následnou záruční a pozáruční podporou výrobky od největších a nejrenomovanějších světových výrobců. Náš program obsahuje:

- Lasery téměř všech typů a velikostí pro vědecké a průmyslové aplikace
- Přístroje pro měření výkonu a diagnostiku svazku
- Zobrazovací a detekční systémy
- Monochromátory, solární simulátory, světelné zdroje, spektrometry, terahertzové systémy, atd.
- Optické stoly a antivibrační pracoviště
- Polohovací systémy pro polohování s přesností až několika nanometrů
- Optické filtry pro biologické i fyzikální laboratoře a pro průmysl
- Optomechanické a optické prvky



Sestava optických stolů Newport se systémem vyladěného tlumení vibrací. Celkové rozměry: 12,6 x 9,9 m (HiLASE)



Soustava spřažených femtosekundových laserů s laserovým systémem Solstice ACE Spectra-Physics (MFF UK)

TRENDY A TENDENCE V PRŮMYSLOVÝCH LASEROVÝCH APLIKACÍCH

Libor Mrňa, Petr Horník, Hana Šebestová, Jan Pavelka

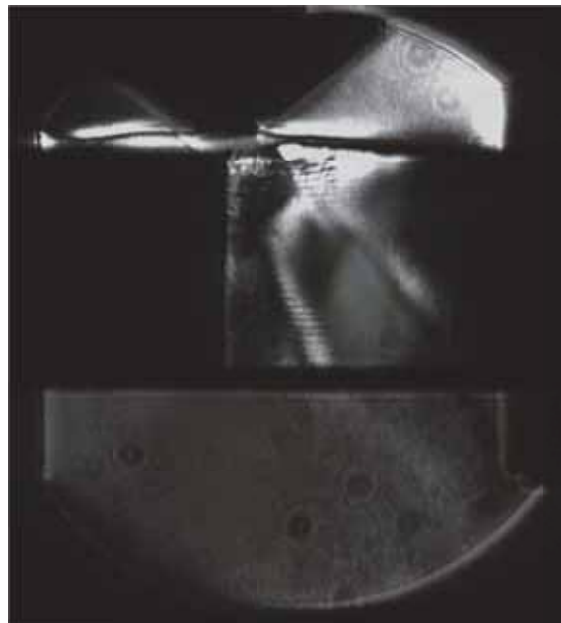
Ústav přístrojové techniky AV ČR v.v.i

Královopolská 147, 612 64 Brno – Královo Pole

mrna@isibrno.cz, 731 462 192.

Obor: laserové technologie

Laserové dělení. I když je nejrozšířenější technologií, procesní parametry se stále nastavují spíše na základě zkušeností než výpočty dle teorie. Řezný proces je totiž nepřístupný přímému zkoumání. Dílčím řešením je například zobrazení proudění plynu skrze řeznou spáru, kdy kov je nahrazen průhlednými hranoly. Na ÚPT byla provedena řada experimentů se zobrazením proudění pomocí šlírové metody – viz obr. 1.



Obr. 1 Zobrazení proudění plynu skrze řeznou spáru pomocí šlírové metody

Laserové svařování. Vlivem technologického pokroku jak v samotných laserových zdrojích, tak ve výkonové optice a optomechanice se laserové svařování rozvíjí ve více směrech:

- výkonové diody na modrých vlnových délkách
- pokročilé optické systémy pro fokusaci svazku (osový multispot) – firma ADL Optics. Také na ÚPT bylo před několika lety navrženo aktivní zrcadlo pro transformaci svazku.
- systémy s rozmítáním svazku – skenerové svařování a wobbling. Na ÚPT je k dispozici skenovací hlava ARGES RHINO 31, se kterou jsou prováděny experimenty a testy jak skenerového svařování, tak svařování s rozmítáním svazku.
- pokročilé systémy pro vychylování svazku změnou fáze (obdoba AESA radaru)
- kombinování více svazků Coherent, Trumpf, IPG
- hybridní technologie, převažuje kombinace Laser – MAG (například firma Fronius, navíc CMT přenos). Na ÚPT rozvíjena varianta Laser – TIG, kdy elektrický oblouk zajišťuje řízené ochlazování svaru. To je důležité zvláště u speciálních, vysokopevnostních ocelí. Metoda využita například při svařování rozváděcího kola parní turbíny pro Siemens Turbomachinery – viz obr. 2.
- diagnostika svařovacího procesu je stále důležitější, souvisí to (nejen) s aktivitami Průmysl/Industry 4.0 (využívají se metody OCT + diagnostika plazmatu). Na ÚPT se tradičně rozvíjí diagnostika obláčku laserem indukovaného plazmatu. V poslední době je pozornost soustředěna na detailní studium časového rozvoje obláčku plazmatu a jeho souvislosti se snímáním bodovým detektorem intenzity a také s detekcí zpětně odraženého záření, které se vrací zpět do laseru.



Obr. 2 Svařování rozváděcího kola parní turbíny, heterogenní svar X12Cr13/S355

Laserové navařování, 3D tisk.

- prášek, metoda SLM, SLS
- navařování drátu. Na ÚPT se připravuje rozvoj stávajícího robotického pracoviště doplněného o přídavný drát a jeho tavení buď přímo laserem, nebo obloukovou metodou CMT. Výhodou jsou nižší provozní náklady a vyšší navařovací výkon.

Laserové mikroobrábění. Na ÚPT se připravuje pracoviště pro laserové mikroobrábění s výkonovým pikosekundovým laserem, kde se počítá s:

- gravírováním a dělením keramiky
- gravírováním a dělením keramiky
- výrobou difrakčních mřížek a dalších tvarových mikrostruktur
- mikrostrukturování povrchu

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Smluvní výzkum v oblasti laserového svařování, navařování a dělení materiálů
- Měření spektrální absorpce (vrstvy pro solární absorbéry)
- Využití aktivního zrcadla v laserových technologiích
- Diagnostika laserového svařovacího procesu

Poděkování: Příspěvek vznikl za přispění Strategie AV 21: Světlo ve službách společnosti



POROVNÁNÍ FREKVENČNÍCH STABILIT LASEROVÝCH NORMÁLŮ VLNOVÉ DÉLKY PŘES FOTONICKÉ SÍTĚ

Lenka Pravdová^a, Jan Hrabina^a, Martin Čížek^a, Josef Lazar^a a Ondřej Číp^a, Vladimír Smotlacha^b a Josef Vojtěch^b

^aÚstav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 61241 Brno, Česká Republika

^bCESNET, z. s. p. o., Žitná 4, 160 00 Praha 6

lpravdova@isibrno.cz, www.clonets.eu

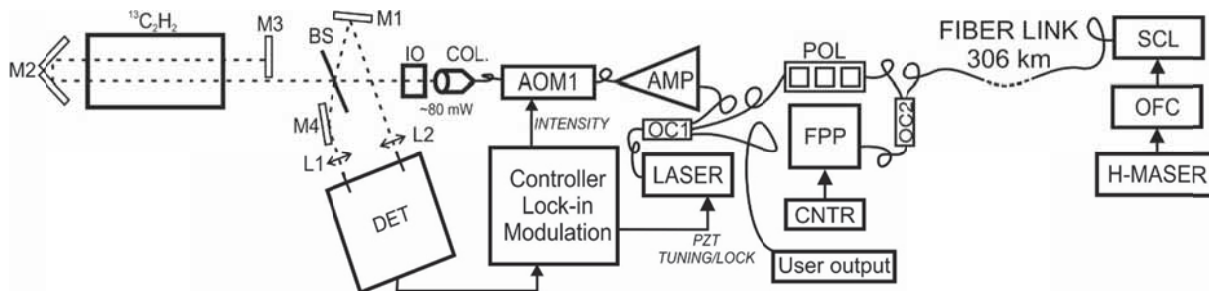
Obor: metrologie, optický normál, fotonické sítě

Normálem optické frekvence je vysoce koherentní laser, jehož vlnová délka je určena jevem absorpce světla v médiu, jenž vykazuje vysokou stabilitu frekvence absorpčních spektrálních čar. Mezi nejznámější zástupce laserových optických normálů infračerveného záření je DFB laser stabilizovaný v pásmu 1540 nm – 1550 nm v molekulách plynu acetylénu. Tento normál se využívá zejména pro ověřování stabilit laserů pro optické komunikace. Pro ověření přesnosti zmíněného normálu je potřeba srovnávat hodnotu a stabilitu jeho vlnové délky s normálem o vyšší stabilitě. Takovým normálem je např. femtosekundový hřeben optických frekvencí navázaný na radiofrekvenční normál H-maser pracující s relativní stabilitou 10^{-15} . Ještě přesnějším normálem jsou tzv. optické atomové hodiny, jejichž experimentální variantu v současné době sestavujeme na pracovišti ÚPT v Brně. Sestava optických atomových hodin je však nesmírně rozsáhlá a citlivá na mechanickou manipulaci. Její fyzický převoz je velice komplikovaný, nicméně, informaci přesné vlnové délky (optické frekvence) lze přenést využitím optických vláken. Přenos probíhá použitím sítě hustého multiplexu DWDM, kdy vlnová délka ověřovaného normálového laseru je porovnávána s vlnovou délkou vyššího normálu, která je dálkově distribuována přes fotonickou síť. V naší práci představujeme metrologickou kampaň, ve které byla porovnávána stabilita normálového laseru na vlnové délce 1540 nm, umístěného na pracovišti CESNET v Praze s vlnovou délkou superkoherentního laseru přenášenou z pracoviště ÚPT v Brně přes fázově koherentní přenosovou linku Brno – Praha délky 306 km.

Normálový laser na 1540 nm

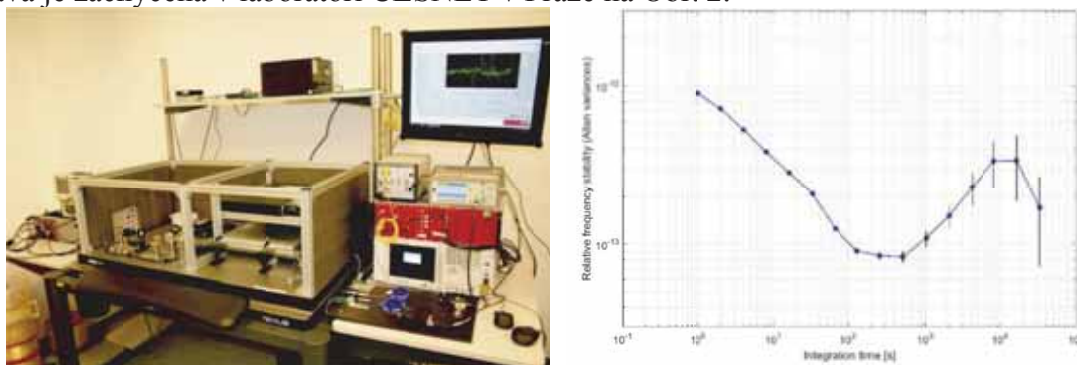
Aby laser mohl plnit funkci normálu, je v první řadě nezbytné stabilizovat jeho vlnovou délku. Z principu fyzikálně chemického procesu emise laserového záření a vlivu okolního prostředí plyne jistá fluktuace hodnot vlnové délky daného laseru kolem střední hodnoty této délky. Ideálním stavem je pak případ, kdy k fluktuaci nedochází a laserové záření je tvořeno jedinou optickou frekvencí. Proces vedoucí k tomu, aby tato fluktuace kolem střední hodnoty byla co možná nejmenší, se nazývá stabilizace optické frekvence. Stabilizace optické frekvence pro normálové lasery využívá jevu absorpce a následné emise laserového záření v molekulárním absorbéru, v našem případě v acetylénu $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$. Molekuly plynu jsou uzavřeny ve speciální skleněné kyvetě. V závislosti na molekulární energetické struktuře plynu (rotačně vibrační spektrum) dochází po průchodu médii při určitých vlnových délkách k pohlcení světelné energie, což se projeví jako pokles intenzity světla na tzv. spektrální čáře. Při standardních laboratorních podmínkách má však plyn nenulovou teplotu, při jednopřechodové (lineární) spektroskopii je tak absorpční spektrum navíc negativně ovlivněno Brownovým pohybem molekul, čímž dochází k Dopplerovskému rozšíření spektrální čáry a tudíž k omezení možnosti stabilizace. Dopplerovské pozadí je tedy nežádoucí. Musí se proto nasadit detekční technika, která zdůrazní hyperjemnou strukturu rotačně vibračního spektra plynu a zároveň potlačí Dopplerovské pozadí. Řešením je například fyzikální metoda „pump and probe“ spektroskopie, doplněná o signálový procesing založený na zdůraznění silných nelinearit, které představuje hyperjemná struktura rotačně

vibračního spektra plynu. Při prvním průchodu svazku přes plyn jsou vybudeny jen některé molekuly acetylenu, druhým (protiběžným) průchodem svazku pak dojde k saturaci právě těch molekul, jejichž rychlost vůči optickému svazku v obou směrech je nulová. Principiální schéma normálového laseru na 1540 nm je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1. Schéma normálového laseru na vlnové délce 1540 nm (LASER), kde M1-4 jsou zrcadla, $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ je absorpční kyveta, BS optický dělič, L1-2 čočky, IO optický izolátor, AOM akustooptický modulátor, DET dvoukanálový balanční fotodetektor, AMP vláknový optický zesilovač, OC1-2 vláknový dělič, POL polarizační kontrolér, FPP rychlý fotodetektor, CNTR frekvenční čítač, SCL superkoherentní laser, OFC optický frekvenční hřeben

Sestavený normál byl převezen na pracoviště CESNET a zároveň byla uvedena do provozu jednotka příjmu koherentní vlny ze superkoherentního laseru stabilizovaného optickým frekvenčním hřebenem a H-maserem na pracovišti ÚPT v Brně. Dále byl sestaven optický směšovač s fotodetektorem pro měření zánějové frekvence mezi oběma lasery. Komplexní sestava je zachycena v laboratoři CESNET v Praze na Obr. 2.



Obr. 2. Uspořádání normálového laseru na pracovišti CESNET v Praze a vpravo komplexní sestava pro příjem fázově koherentního signálu ze superkoherentního laseru z ÚPT AV ČR v Brně přes fotonickou síť CESNET (vlevo). Záznam stability acetylenového normálu měřený zánějovým srovnáváním (vpravo).

Po zprovoznění zánějového zařízení byl zaznamenán frekvenční průběh zánějové frekvence mezi acetylenovým optickým frekvenčním normálem a superkoherentním laserem distribuovaným přes fotonickou síť, jehož stabilita je dána H-maserem v 15. řádu. Stabilita normálového laseru na vlnové délce 1540 nm, která byla zjištěna v rámci měřicí kampaně, dosahuje úrovně 13. řádu. Lze tak konstatovat, že normál má frekvenční odchylky menší než 200 Hz pro optickou frekvenci 194 THz, která odpovídá vlnové délce 1540 nm. Ověřili jsme tak, že laserový normál splňuje požadavky „Recommendation for the practical realization of the meter standard“ BIMP a lze jej použít např. pro kalibrace spektrálních analyzátorů určených k nastavování vlnových délek telekomunikačních laserů.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:
Spektroskopie vysokého rozlišení

Poděkování

Experimentální část byla podpořena Ministerstvem průmyslu a obchodu, projekt FV FV10336. Výzkumná infrastruktura byla podpořena s přispěním Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projekty č. LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a dále Akademií věd České republiky, projektem RVO:68081731

VYBRANÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT V PRAZE

Tomáš Primus, Jan Brajer, Pavel Zeman, Jiří Stuchlík

Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Technická 4, Praha 6 - Dejvice, PSČ 166 07; tel: 224 359 224;

e-mail: J.Brajer@rcmt.cvut.cz

tel.: 736 288 646

Obor: Výzkum, vývoj a aplikace laserových technologií

RCMT - Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii bylo založeno v roce 2000. Je samostatným pracovištěm Fakulty strojní ČVUT v Praze a od roku 2012 součástí Ústavu výrobních strojů a zařízení. Hlavním dlouhodobým cílem pracoviště je být profesionální a dobře vybavenou výzkumnou a vzdělávací základnou pro obor výrobních strojů a technologií. Vybranými konkrétními cíli jsou výzkum nových řešení a perspektivních technologií, které jsou následně uplatnitelné v průmyslové sféře, a výchova mladých profesionálních odborníků. Ti jsou schopni konzultovat technické problémy a pomáhají průmyslu vyvinout novou generaci výrobků pro tuzemský i zahraniční trh.

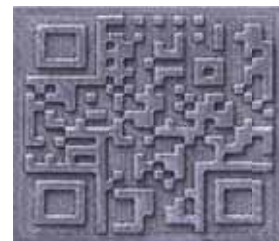
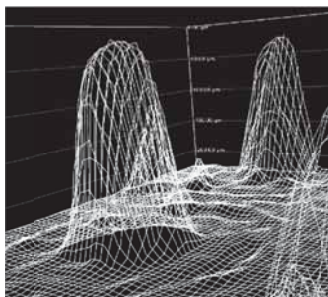
Díky širokému záběru pracoviště v oblasti strojírenství je možné řešit komplexní úlohy od návrhu řešení až po jeho samotnou realizaci, a to v oblastech:

- pokročilé simulační modely,
- virtuální prototypování a virtuální testování,
- nové metody řízení pohonů a tlumení vibrací,
- nekonvenční materiály a struktury,
- sledování stavu a diagnostiky obráběcích strojů,
- kompenzace teplotních chyb strojů a návrh přídavných odměřování,
- optimalizace řezného procesu a technologie víceosého obrábění,
- minimalizace dopadů provozu stroje na životní prostředí.

V rámci technologií obrábění jsou zkoumány i technologie laserové. Jedna z odborných skupin v RCMT se tak zabývá výzkumem, vývojem a praktickým uplatněním laserových technologií pro konkrétní strojírenské aplikace. Na našich laserech lze zkoumat většinu průmyslově dostupných aplikací.

Řešené laserové technologie:

- popisování - kovy, plasty, sklo, keramika
- mikrofrézování, gravírování a leštění povrchu kovů, keramiky a řezných materiálů
- řezání přesných tvarů a dílů
- vrtání malých otvorů
- svařování ocelí, vybraných druhů plastů a obtížně svařitelných materiálů
- povlakování laserem – tvrdonávary



Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS16/219/OHK2/3T/12.

PEVNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY HYBRIDNÍCH LASTIG SVARŮ TERMOMECHANICKY ZPRACOVANÝCH OCELÍ

Hana Šebestová, Petr Horník, Libor Mrňa

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

Královopolská 147/62, 612 00 Brno - Královo Pole

tel.: 541 514 338, e-mail: sebestova@isibrno.cz, www.isibrno.cz

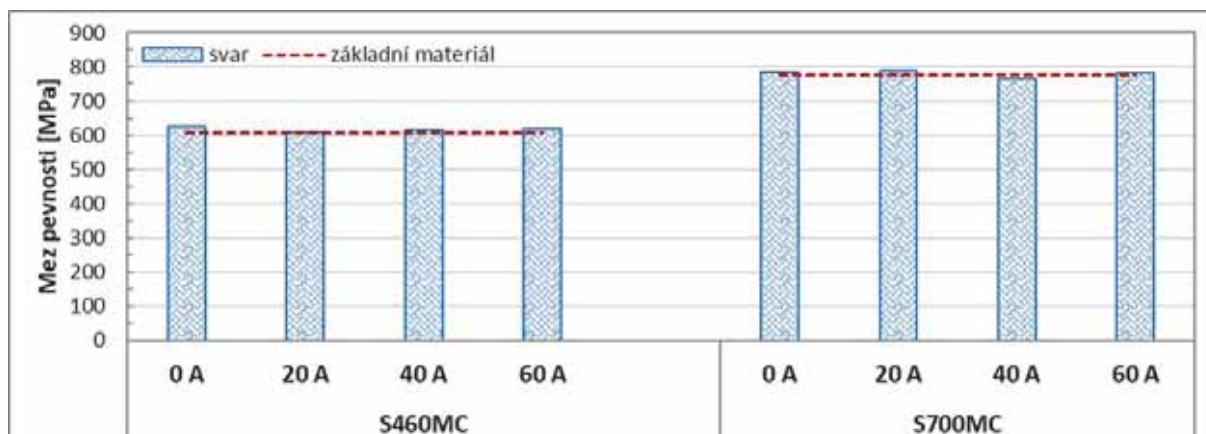
Obor: výkonové laserové technologie

Termomechanicky zpracované oceli dosahují vysokých pevnostních charakteristik při zachování dobré tažnosti především díky své jemnozrnné struktuře zajištěné mikrolegováním a přísně řízeným válcováním. K jejich svařování se doporučují technologie s malým tepelným vstupem, aby nedocházelo k degradaci jemnozrnné struktury, a tím i pevnostních vlastností, ve velkém objemu materiálu. V tomto ohledu se laserové svařování jeví jako vhodná technologie. Nicméně vysoká hustota výkonu laserového svazku vede k vysokým teplotním gradientům ve svarové lázni i tepelně ovlivněné oblasti, což se může projevit produkcí křehkých fází, přestože obsah uhlíku i uhlíkový ekvivalent těchto ocelí nedosahují kritických hodnot. Pro snížení rychlosti ochlazování je vhodné zařadit přehřev.

Přehřev realizovaný teplem elektrického oblouku je snadno implementovatelný a použitelný i při vysokých svařovacích rychlostech. Hybridní technologii kombinující laserové svařování se svařováním wolframovou elektrodou v inertním plynu (TIG) označujeme jako LasTIG. Při malém elektrickém proudu oblouk přehřívá materiál, aniž by došlo k jeho významnému natavení.

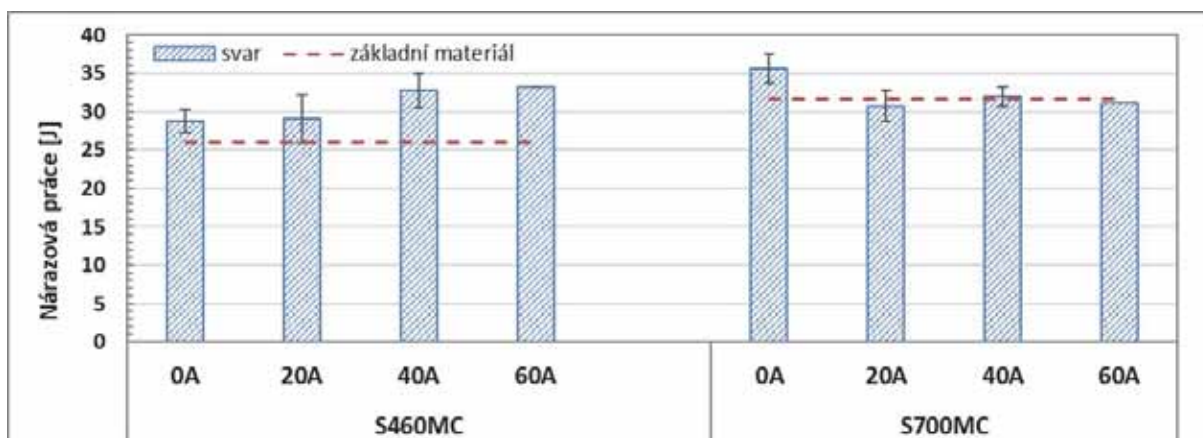
Experiment je zaměřen na studium vlivu elektrického proudu oblouku na pevnostní charakteristiky LasTIG svarů termomechanicky zpracovaných ocelí S460MC a S700MC. Tupé svary byly provedeny s využitím laseru IPG YLS 2000 a TIG zdroje Fronius Magic Wave 1700 při konstantní poloze elektrody vůči laserovému svazku (2,5 mm před svazkem, 1,5 mm nad povrchem materiálu, náklon 35°), konstantní energii svazku (1,5 kW), průtoku ochranného plynu (Ar, 18 l.min⁻¹) i pracovní rychlosti (20 mm.s⁻¹). Jedinou proměnnou byl elektrický proud (0, 20, 40 a 60 A) generující oblouk. Proud 0 A reprezentuje laserový svar, ostatní hybridní svary.

Příčná zkouška tahem byla provedena na trhacím stroji VEB ZD40 podle normy ČSN EN ISO 4136. Všechny vzorky byly přetrženy v základním materiálu (ZM). Pevnost v tahu vzorků se svary se oproti pevnosti ZM lišila o méně než 3 % pro oba materiály (Obr. 1).



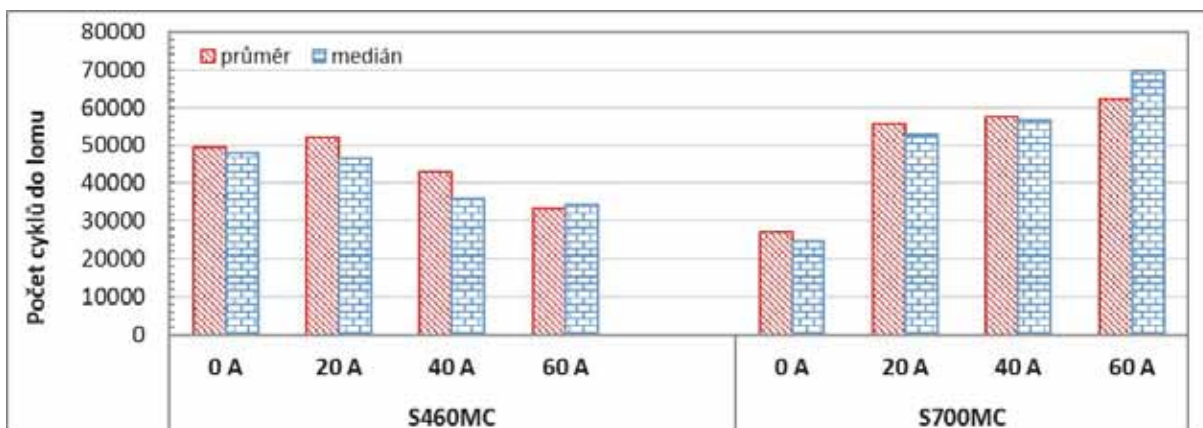
Obr. 1: Pevnost v tahu laserových (0 A) a hybridních svarů ocelí S460MC a S700MC.

Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy byla provedena za pokojové teploty na zkušebním stroji Heckert PSd 300/150 dle ČSN EN ISO 148-1. Nárazová práce u vzorků se svary byla vyšší než u ZM a rostla s rostoucím proudem u oceli S460MC. Oproti tomu S700MC s vyšší mezí kluzu vykazovala při aplikaci předehřevu nižší houževnatost (Obr. 2).



Obr. 2: Nárazová práce laserových (0 A) a hybridních svarů ocelí S460MC a S700MC.

Zkoušky vysokocyklové únavy byly provedeny na rezonančním systému Schenck PVQ při symetrickém sinusovém průběhu zatěžování. Mez únavy ZM byla stanovena na 300 MPa pro S460MC, resp. 290 MPa pro S700MC. Únavová životnost vzorků se svary byla testována při 350 MPa. V případě laserového svaru dosahovala u oceli S460MC 18 % a u oceli S700MC pouhých 5 % únavové životnosti ZM na stejné hladině napětí (Obr. 3). Předehřev měl negativní vliv na únavovou životnost u S460MC, zatímco u S700MC vedl ke zdvojnásobení počtu cyklů do lomu oproti laserovému svaru.



Obr. 3: Únavová životnost laserových (0 A) a hybridních svarů ocelí S460MC a S700MC.

Poděkování

Autoři děkují TA ČR (GAMA TG03010046 "Hybridní svařování LasTIG") a AV ČR (Strategie AV21 „Světlo ve službách společnosti“) za podporu a Ing. Pavlu Doležalovi, Ph.D. a doc. Ing. Pavlu Hutařovi, Ph.D. za provedení zkoušek.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Smluvní výzkum v oblasti laserového svařování a dělení materiálů
- Diagnostika laserového svařování

VÝPOČET PRŮBĚHU POTENCIÁLŮ A SIMULACE CHOVÁNÍ IONTŮ VÁPNIKU V PAULOVĚ IONTOVÉ PASTI

Daniel Vadlejch, Martin Oral, Adam Lešundák, Minh Tuan Pham, Martin Čížek a Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, Brno, 612 64, +420 541 514 530, dvadlejch@isibrno.cz

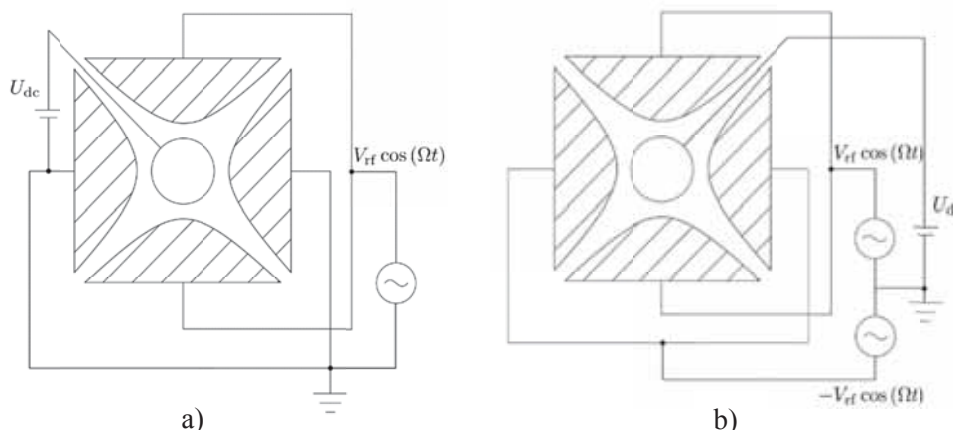
Lukáš Slodička

Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra optiky
17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc

Obor: laserová spektroskopie, metrologie, MKP model

Zachycené a zchlazené ionty $^{40}\text{Ca}^+$ v radiofrekvenční iontové pasti se využívají k realizaci extrémně přesných měření v oblasti fundamentální fyziky, např. v oboru laserové spektroskopie. K tomuto účelu je nutné minimalizovat veškerý pohyb zachycených iontů. Pohyb iontů v pasti můžeme rozdělit do dvou složek. Jednou z nich je „průměrný“ pomalý pohyb iontu v rychle oscilujícím poli (tzv. *sekulární* pohyb). Druhá složka pohybu je rychle oscilující buzený pohyb vlivem oscilujícího elektrického pole v oblasti pasti (tzv. *mikropohyb*). Pomocí dostupných metod laserového chlazení lze postupně redukovat sekulární pohyb iontů až na minimální kvantově mechanicky přípustnou hodnotu. Amplituda mikropohybu je úměrná lokální velikosti oscilujícího elektrického pole v oblasti iontu a není ovlivněna metodou laserového chlazení přímo. Vhodné uspořádání elektrického pole v oblasti pasti by mohlo vést k redukci amplitudy mikropohybu a tak i ke zlepšení výsledků experimentů se zachycenými ionty. Analýza elektrického pole v oblasti středu pasti nacházející se v Ústavu přístrojové techniky byla provedena využitím numerického výpočtu metodou konečných prvků.

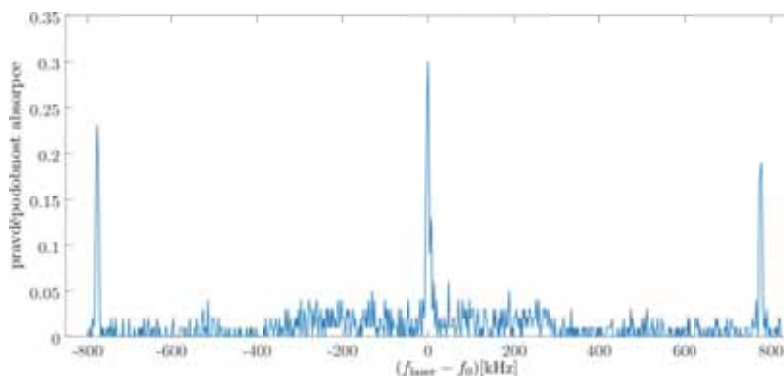
Tvar elektrického pole v pasti je určen především geometrií jejích elektrod, kterou po zkonstruování pasti již samozřejmě nelze měnit. Změny oscilující části pole lze však dosáhnout změnou konfigurace radiofrekvenčního buzení elektrod pasti. V naší analýze srovnáváme pole tzv. symetrického a asymetrického buzení pasti. Schémata těchto zapojení lze vidět na Obr. 1.



Obr. 1: Schéma zapojení a) asymetrického a b) symetrického buzení elektrod pasti.

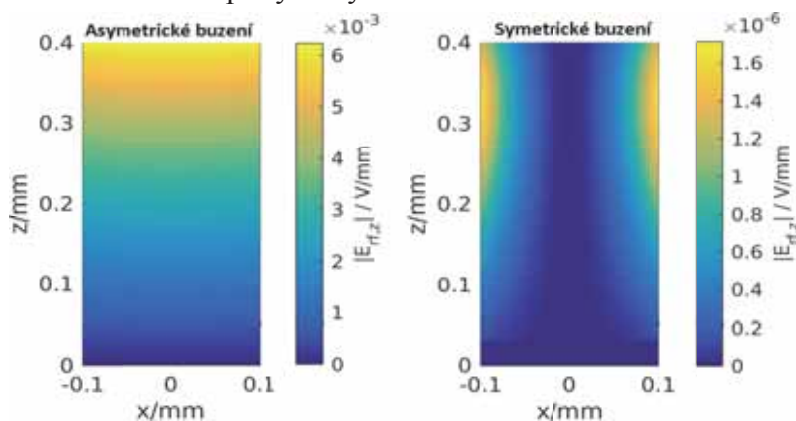
Numerický výpočet elektrického pole byl proveden využitím programového prostředí COMSOL Multiphysics, který využívá metodu konečných prvků. Pohyb zachyceného iontu v

pasti byl vypočten řešením pohybové rovnice pro nabitou částici v nalezeném poli. Takto byla určena závislost pohybové frekvence tzv. sekulárního pohybu iontu na nastavení napětí na elektrodách pasti. Sekulární pohybové frekvence byly také měřeny pomocí laserové spektroskopie zachyceného iontu. Jedno z výsledných spekter zachyceného iontu vápníku v okolí zakázaného kvadrupólového přechodu o vlnové délce 729 nm můžeme vidět na Obr. 2. Tento kvadrupólový přechod je velmi vhodný k provádění přesných spektroskopických měření. Kvantové chování iontu se zde projevuje tak, že v okolí centrální rezonanční frekvence přechodu se objevují postranní pásma vzdálené o celočíselné násobky sekulární frekvence.



Obr. 2: Příklad naměřeného spektra v okolí kvadrupólového přechodu iontu vápníku na vlnové délce 729 nm. Toto spektrum bylo využito k určení sekulárních pohybových frekvencí zachyceného iontu – v tomto případě hodnota sekulární frekvence odpovídá přibližně 800 kHz.

Výpočet také ukázal, že v případě symetrického buzení pasti je velikost oscilujícího pole (tedy i mikropohybu iontu) ve směru podélné osy lineární pasti (axiální směr) výrazně nižší než u asymetrického buzení pasti (viz Obr. 3). Tento výsledek je nyní nutno prověřit měření amplitudy mikropohybu iontu. Amplitudu mikropohybu iontu je možno pozorovat spektroskopicky – opět v okolí zakázaného přechodu o vlnové délce 729 nm. Porovnání intenzit postranního „mikropohybového“ pásma a centrální rezonanční frekvence přechodu lze získat informaci o míře mikropohybu vykonávaného iontem.



Obr. 3: Vykreslení vypočtené velikosti axiální složky (v ose z) oscilujícího elektrického pole v okolí středu pasti. Osa x (resp. z) reprezentuje radiální (resp. axiální) osu lineární pasti. V případě symetrického buzení elektrod pasti je v okolí středu pasti velikost oscilujícího elektrického pole nižší. Tento výsledek je možno ověřit pozorováním interakce iontu vápníku a laserových fotonů o vlnové délce 729 nm.

Poděkování

Tento metodologický výzkum je podporován Grantovou agenturou ČR, projekt č. GB14-36681G. Výzkumná infrastruktura byla podpořena s přispěním Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projekty č. LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a dále Akademií věd České republiky, projektem RVO:68081731

OPTICKÁ VLÁKNA PRO PŘENOS LASEROVÝCH PULZŮ: MĚŘENÍ PRAHU POŠKOZENÍ

Jan Vanda

Fyzikální ústav AV ČR, HiLASE Centrum

HiLASE Centrum

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Za Radnicí 828

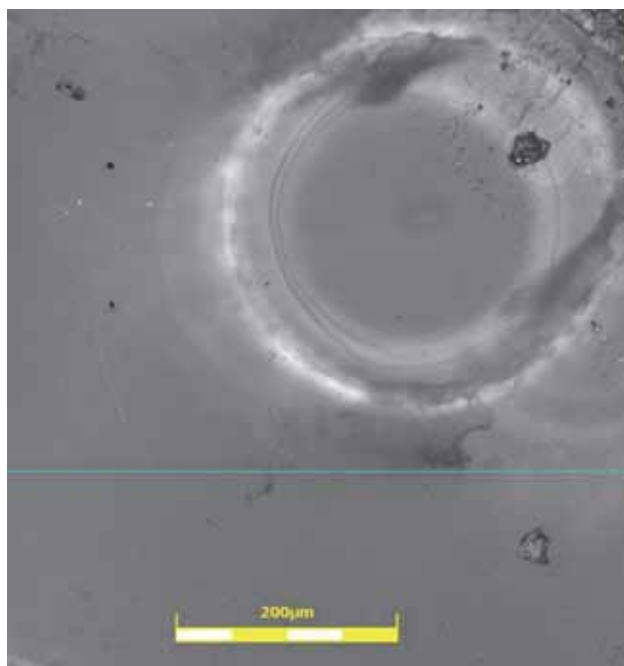
252 41 Dolní Břežany

www.hilase.cz



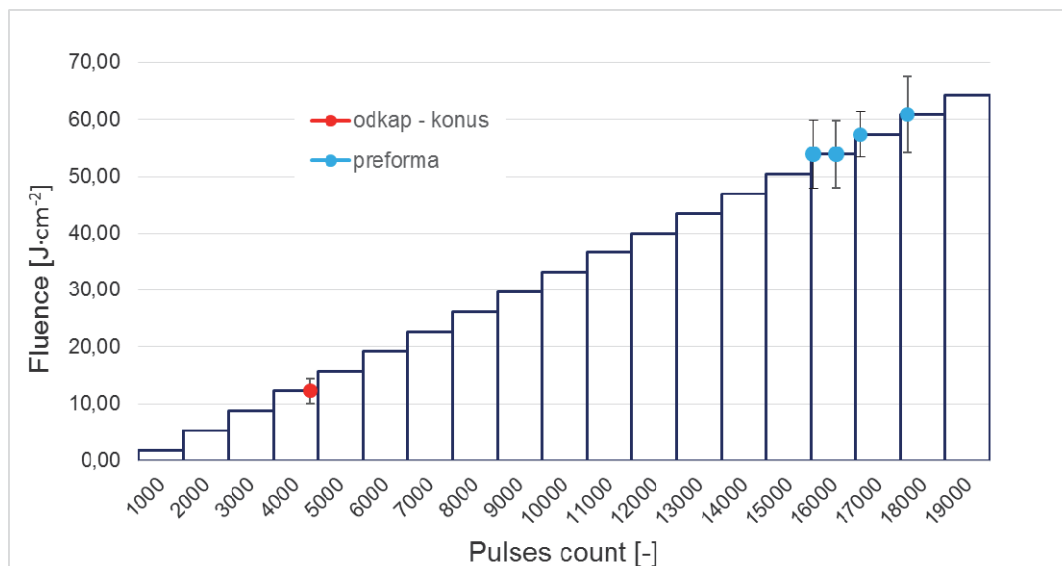
Obor: LIDT, práh poškození způsobeného laserem, pulzní lasery, optická vlákna

Transport energie z laserového zdroje k aplikaci je klíčovým faktorem pro efektivní využití laserů v aplikacích. Systémy využívající tzv. "free space" přenos laserového paprsku pomocí zrcadel vzduchem nebo pevným potrubím vyžadují obsluhu s hlubokou a odbornou znalostí laserové optiky a množství součástí zvyšuje riziko selhání sestavy. Takové systémy jsou navíc velmi obtížně integrovatelné do sériové výroby a na průmyslové roboty. Pro optimální a efektivní nasazení pulzních laserů s vysokým výkonem je nezbytné vyvinout způsob přenosu laserových paprsků, který zmíněné překážky odstraní. Pro optimální a efektivní nasazení pulzních laserů s vysokým výkonem je nezbytné vyvinout způsob přenosu laserových paprsků, který zmíněné překážky odstraní. Běžná metoda přenosu laserového paprsku, která zmíněné nedostatky odstraňuje a je nasazována v kontinuálních laserech, spočívá ve využití optického vlákna jako přenosového prostředí. Kontinuální lasery nicméně pracují s řádově nižšími špičkovými výkony (<100 kW), než lasery pulzní (>100 MW) a takové výkony jsou pro vláknovou optiku považovány za příliš vysoké. Jak ale ukazují praktické zkušenosti i výpočty, materiál optických vláken (křemenné sklo, SiO₂) je naopak schopen snést mnohem vyšší výkony bez poškození. Nespolehlivost optických vláken ve výkonných pulzních laserech je tak možné zcela přičíst vnějším vlivům, jako je nevhodné ošetření povrchu, nečistoty, inkluze atd.

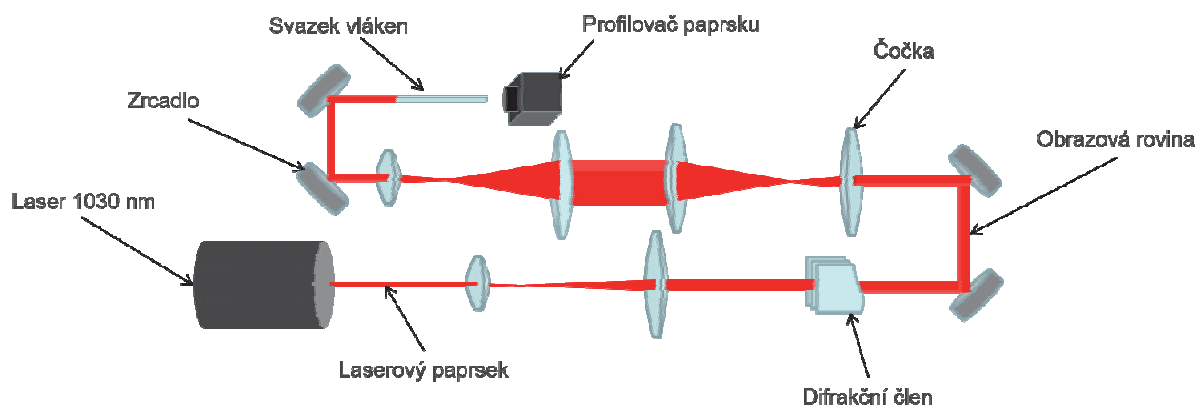


Poškozené čelo vlákna po vystavení laserovým pulzům.

Tato práce se zabývá především prahem poškození taveného SiO_2 ve formě čistého materiálu a preformy určených pro výrobu optických vláken, a samotných vyrobených optických vláken. Dále budeme také zkoumat práh poškození sestav optických vláken připravených pro přenos krátkých laserových pulzů s vysokou energií. Cílem práce je vyvinout a otestovat svazek optických vláken a dosáhnout vyššího přeneseného výkonu, než by tomu bylo možné u samostatného vlákna.



Srovnání prahu poškození preformy a odkapu po tažení vlákna



Sestava pro testování vlastností svazku optických vláken.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Další výzkum bude zaměřen na zdokonalení technologie přenosu krátkých laserových pulzů optickými vlákny s cílem navýšit špičkový výkon, který jsou vlákna schopna přenášet.

FOTONICKÝ SPOJ PRO SPECIÁLNÍ APLIKACI

Peter Barcák, Zdeněk Kolka, Aleš Dobesch, Marek Novák, Otakar Wilfert, Viera Biolková

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav radioelektroniky

Technická 12, 616 00 Brno, Telefon: +420 54114 6554

E-mail: kolka@feec.vutbr.cz

<http://www.feec.vutbr.cz/UREL>

<http://www.urel.feec.vutbr.cz/OptaBro/>

Obor: Optické komunikace, laserová technika, vlnová optika

Motivací pro využití plně fotonického bezkabelového spoje (FPL) při přenosu informace byla syntéza výhod laserového záření a optické vláknové technologie. Laserový vysílač je schopen generovat optickou koherentní vlnu s divergencí v řádech μrad . Optický svazek může obsahovat více optických kanálů a některý kanál může mít funkci majáku sloužícího k přesnému zamíření laserového vysílače na optický přijímač, aby signálové fotony byly do jádra přijímacího optického vlákna zavedeny s maximální účinností.

Perspektivní aplikací FPL je přenos informace o přesném čase. Takový přenos vyžaduje přenos fáze koherentní optické vlny. Pro realizaci takového přenosu bylo třeba vyřešit

- negativní vliv difrakce optické vlny vyvolané aperturou vysílače (TXA) a aperturou přijímače (RXA)
- negativní vliv turbulence atmosféry na přenos koherentní optické vlny
- přesné zavedení optické vlny do optického vlákna s co nemenšími ztrátami
- dostupný systém automatického směřování spoje (ATS)

Nová generace vysokokapacitních komunikačních sítí nyní směřuje k plné fotonizaci, kdy dochází k postupnému odbourávání elektro-optické konverze signálu na přenosové trase. Při této koncepci lze s výhodou použít řadu optovláknových prvků (zesilovačů EDFA, optovláknových filtrů, polarizátorů apod.). Výzkumný tým na UREL FEKT VUT v Brně se věnuje vývoji plně fotonického systému OBK, který kromě přenosu standardních datových signálů může sloužit i k přenosu přesných optických kmitočtů a doplnit tak stávající vláknovou infrastrukturu.

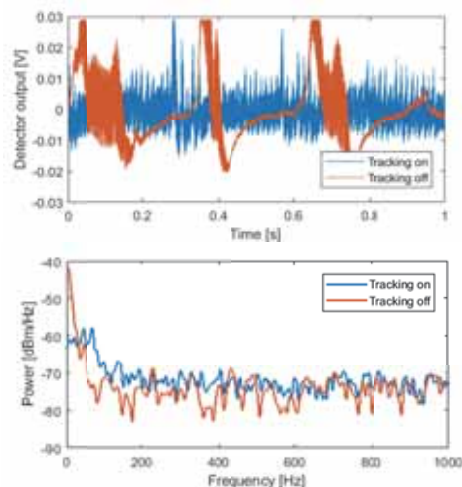
Plně fotonický bezkabelový spoj vyvíjený na UREL FEKT VUT v Brně je rozdělen na vnitřní a vnější jednotku. Vnitřní jednotka může být provedena jako opticky transparentní nebo jako E/O převodník pro připojení na klasickou síť. Vnější jednotka je určena ke generaci několika optických kanálů lišících se svými kvalitativními parametry i svým určením (viz. Obr. 1). Jeden kanál je tzv. signálový (1550 nm) a je určen k přenosu vlastního signálu. Druhý kanál (850 nm) je směrovací a zabezpečuje zavedení signálových fotonů do jádra přijímacího optického vlákna s maximální účinností. Vnější jednotka je koncipovaná jako opticky transparentní. Obsahuje pouze elektroniku pro hrubé a jemné směřování. Vysílaný a přijímaný optický signál je veden optickými vlákny z/do vnitřní jednotky.

V současné době probíhá ověření funkce přesného systému pro zachycení a směřování laserového svazku (ATS systém). ATS systém pracuje jako dvoustupňový systém pro hrubé a jemné permanentní směřování vysílaného svazku na čelo přijímacího optického vlákna. Pro příjem optických svazků (naváděcího a signálového) byl zvolen teleskop Cassegrain – Schmidt s průměrem hlavního zrcadla 125 mm, který se vyznačuje menší sférickou vadou ve srovnání s cenově odpovídajícím čočkovým objektivem stejné velikosti (viz Obr. 1). Nevýhodou teleskopu je přítomnost sekundárního zrcadla, které spolu a

primárním zrcadlem vyvolává difrakci na mezikruží. Při vývoji spoje musela být vyřešena jak difrakce na vysílací apertuře, tak difrakce na přijímací apertuře. Pro zmírnění vlivu atmosférické turbulence na přenos slouží právě zmíněný systém ATS systém, jehož funkce byla experimentálně ověřena (viz Obr. 2).



Obr. 1 Ověřování funkce ATS systému



Obr. 2 Výsledky měření na ATS systému

Pro **hrubé směřování** se využívají fotodiody rozmístěné symetricky kolem svazku přijímacích vláken. Chybový signál vznikající při odklonu svazku od správné polohy je zpracováván vyvinutým algoritmem a po konverzi do elektrické oblasti je veden na krokové motorky sloužící k opravě směru svazku. Krokové motorky korigují směr optických os jak ve vysílacím, tak v přijímacím terminálu. K zajištění optimálního navázání signálových fotonů do přijímacího optického vlákna slouží **jemné směřování** využívající směrovací optické kanály (svazek optických vláken) a zrcadlo upevněné na MEMS aktuátoru. Čelo přijímacího optického vlákna je umístěno v ohnisku teleskopu. Relativně malý průměr jádra klade extrémní nároky na směřování přijímače za podmínek atmosférické turbulence a otřesů upevňovacích konzol.

Na Obr. 2 je zobrazena časová a frekvenční charakteristika ATS systému. Barevné průběhy na časových charakteristikách (horní graf) zobrazují fluktuace přijímaného signálu v jednotlivých situacích. Na spodním grafu je zobrazeno spektrum přijímaného signálu. Modrá barva grafu na Obr. 2 odpovídá situaci, kdy je ATS systém zapnut. Oranžová barva průběhu na Obr. 2 odpovídá situaci, kdy je ATS systém vypnut. Měření na systému v reálných podmínkách potvrdila proveditelnost dané aplikace.

Popsané výzkumné aktivity jsou podpořené **grantovým projektem TA ČR č. TH01011254 - Soubor prvků pro fotonickou komunikaci**.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Simulace a měření vlivu nestacionární a nehomogenní turbulentní atmosféry na optický svazek.
- Řešení otázek difrakce při vysílání a příjmu optických svazků.
- Vývoj plně fotonické technologie optických bezkabelových spojů.
- Měření, klasifikování a potlačení vlivu atmosférické turbulence na kvalitu přenosu atmosférickým optickým kanálem.
- Praktický vývoj optických bezkabelových spojů pro speciální aplikace.

PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE:



www.optixs.cz



www.mit-laser.cz



www.nwg.cz



Centrum pro inovace a transfer technologií



Lasery, fotonika
a jemná mechanika



Název: e-Sborník příspěvků multioborové konference LASER58
Editor: Bohdan Růžička
Vydavatel: Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno
Vydáno v roce: 2018
Vydání: první
Náklad: 75 ks

Za obsahovou a jazykovou úpravu odpovídají autoři příspěvků.

ISBN 978-80-87441-25-1