



Sborník příspěvků multioborové konference

LASER55

elektronická verze

Zámecký hotel Třešť, 21. října - 23. října 2015



Sborník příspěvků multioborové konference

LASER55

Zámecký hotel Třešť, 21. října – 23. října 2015

© 2015, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-16-9

ÚVODNÍ SLOVO

Jedné specifické skupině lidí musí rok 2015 přinášet nefalšovanou radost. Ptáte se komu? Představte si dvě množiny. V té první jsou ti, kteří milují velkolepé oslavy a večírky, v té druhé zase fanoušci vědy, lidského poznání a revolučních objevů. Nacházíte-li se v průniku těchto dvou množin a máte-li dobrou paměť na historická data, pohled do kalendáře vám musel hned po Silvestru vyrazit dech. Nejen, že uplynulo 1000 let od vydání prvního významného vědeckého spisu o optice velkého arabského učenice Alhazena, ale také 200 let od práce Augustina Fresnela v oblasti difrakce a vlnové povahy světla, 150 let od univerzálního popisu elektromagnetických vln Jamese Clerka Maxwella, 100 let od revoluční obecné teorie relativity Alberta Einsteina, 50 let od vynálezu optických vláken Charlese Kuen Kao a konečně 55 let od vynálezu našeho (ne tak starého) známého – laseru.

Doslova celý svět tak letos oslavuje vlnové délky v rozmezí 390 – 790 nm. Konference LASER 55 pak oslavuje ty uspořádané a ve fázi. Neoslavujme však technologii samotnou, ale vyzdvihněme především lidskou vynalézavost, odhodlání a schopnost spolupráce, které k těmto zásadním objevům vedly. Přál bych si, aby pro vás byl LASER 55 katalyzátorem kooperace a výměny poznatků a inovátorských myšlenek. Kdo ví, třeba zrovna ty vaše budou jednou slavit své kulaté výročí.

Děkujeme za vaši podporu.

V Brně dne 12. října 2015

Bohdan Růžička
a organizační tým



MEZINÁRODNÍ ROK SVĚTLA 2015

OBSAH

LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT	9
MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ LASEROVÉHO MIKROOBRÁBĚCÍHO CENTRA VEDOUcí K EFEKTIVNíMU NASTAVENí PROCESŮ	10
DISTRIBUCE PŘESNÉ OPTICKÉ FREKVENCE A ČASU PO FOTONICKÝCH SÍTÍCH V ČESKÉ REPUBLICE	12
HOLOGRAFICKÁ MIKRO-ENDOSKOPIE	14
SOUŘADNICKOVÝ INTERFEROMETRICKÝ SYSTÉM PRO ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY VZORKU ELEKTRONOVÉHO LITOGRAFU	16
60W CW THULIOVÝ VLÁKNOVÝ LASER PRO PRŮMYSL OVÉ A MEDICíNSKÉ APLIKACE	18
OPTICKÉ DIAGNOSTICKÉ METODY V ENERGETICE	20
DIGITÁLNÍ SYNTÉZÁTOR PRO KOMPENZACI DOPPLEROVA JEVU NA OPTICKÝCH TRASÁCH	22
ZAŘÍZENÍ PRO OPAKOVANÉ MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI REFERENČNÍCH BODŮ	25
KOMPAKTNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ FLUORESCENCE OPTICKÝM VLÁKNEM V MIKROFLUIDNÍCH ČÍPECH	27
SUPERCONTINUUM LASER PRO OPTICKOU KOHERENTNÍ TOMOGRAFII	29
VELKOPRŮMEROVÁ KOMPOZITNÍ LASEROVÁ ADAPTIVNÍ OPTIKA	30
AMPLITUDOVĚ FÁZOVÁ VORTEXOVÁ MASKA	32
VÝZKUM OPTICKÉ KOMUNIKACE VOLNÝM PROSTOREM	34
VYUŽITÍ TERMOGRAFIE PŘI APLIKACÍCH R&D	36
MEASUREMENT OF REAL-TIME GIGACYCLE FATIGUE THROUGH REAL-TIME INTERFEROMETRY	38
FILTRÁCIA MÓDOV FEMTOSEKUNDOVÉHO LASERU PRE METROLÓGIU DÍŽKY	40
HIGH POWER 2-COLOR PLASMA BASED THZ SOURCE FOR THZ-TDS	42
OPTOVLÁKNOVÉ SENZORY PRO JADERNOU ENERGETIKU	44
FEMTOSEKUNDOVÝ LASER SPIRIT ZCELA UNIKÁTNÍ A NOVÝ PROCES NAZVANÝ CLEARSHAPE™	46
VYUŽITÍ ŠLÍROVÉ METODY PRO ZOBRAZENÍ PROUDĚNÍ V LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍCH	47
KERR INDEX OF CYCLIC OLEFIN COPOLYMERS FOR THZ INDEX GUIDING	49
ABSORPTION CELLS BASED ON HC-PCF FIBERS	51
FREKVENČNÍ STABILIZACE LASEROVÉ DIODY PRACUJÍCÍ NA 633NM PRO METROLOGII DÉLEK	53
IODINE-FREQUENCY STABILIZED TELECOM LASER DIODE AT 515 NM	56
OPTICKY ZACHYCENÉ LADITELNÉ KAPĚNKOVÉ MIKROLASERY Z TEKUTÝCH KRYSTALŮ	58
APROXIMATIVNÍ ŘEŠENÍ DIFRAKČNÍ ÚLOHY PRO ŠÍŘENÍ GAUSSOVSKÉHO SVAZKU PO PRŮCHODU OPTICKOU SOUSTAVOU ZATÍŽENOU ABERACEMI	60
DĚLKOVÁ CHARAKTERIZACE PIEZOELEKTRICKÉHO MĚNÍČE POMOCÍ FEMTOSEKUNDOVÉHO LASERU SE SYNCHRONIZACÍ MODŮ	62
SYSTÉM PRO BEZPEČNOST OSOB V LASEROVÉ HALE HILASE	64
DISTRIBUCE LASEROVÝCH SVAZKŮ V BUDOVĚ HILASE	67
SYNTÉZA HYBRIDNÍCH CU/AG NANOČÁSTIC LASEROVOU ABLACÍ V KAPALINĚ	69

OPTICAL CHARACTERIZATION OF NOVEL BENZOTIOPHENE DERIVATES	71
PŘECHOD ŠUM - SIGNÁL: ZISK ENERGIE ZE ŠUMU STUDOVANÝ POMOCÍ OPTICKÉ PINZETY	73
MODEL PLNĚ FOTONICKÉHO OPTICKÉHO PŘIJÍMAČE	75
NÁSOBENÍ FREKVENCÍ SYNCHRONNĚ ČERPANÉHO OPTICKÉHO PARAMETRICKÉHO OSCILÁTORU	77
SILOVÉ ÚČINKY LASEROVÝCH SVAZKŮ NA NESFÉRIKÉ ČÁSTICE	79

JMENNÝ REJSTŘÍK

PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE

LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT V PRAZE

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

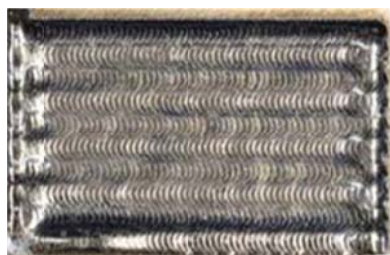
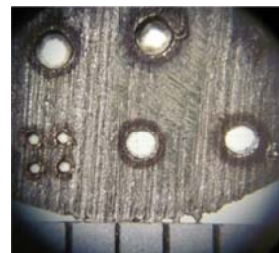
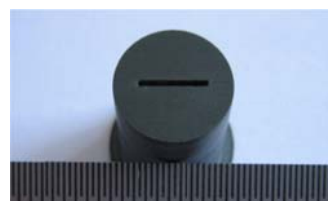
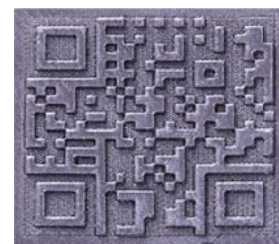
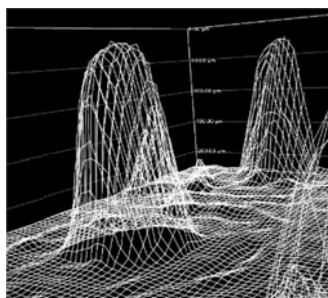
Obor: Výzkum, vývoj a aplikace laserových technologií

Na Českém vysokém učení technickém lze laserové technologie zkoumat hned na několika pracovištích. Na Ústavu technologie se pracovníci zabývají laserovým popisem, na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie je několik projektů na laserové zpracování a měření vlastností zpracovaných dílců a je psána i disertační práce zaměřená na nové metody laserového zpracování. Nejrozsáhlejší výzkum v laserových technologiích ale provádí Ústavu výrobních strojů a zařízení, kde pod vedením Ing. Pavla Zemana, Ph.D. se zkoumá většina průmyslově dostupných aplikací laseru.

Skupina Laserových technologií ve VCSVTT, které je přidružené k Ústavu výrobních strojů a zařízení, se zabývá výzkumem, vývojem a praktickým uplatněním laserových technologií pro konkrétní strojírenské aplikace.

Jedná se zejména o následující technologie:

- popisování - kovy, plasty, sklo, keramika
- mikrofrézování, gravírování a leštění povrchu kovů a keramiky
- řezání přesných tvarů a dílů
- vrtání malých otvorů
- svařování ocelí, vybraných druhů plastů a obtížně svažitelných materiálů
- tepelné zpracování slitin železa a hliníku
- povlakování laserem - tvrdonávary



VCSVTT má pro výše uvedené technologie ve svých laboratořích k dispozici dva pevnolátkové Nd:YAG lasery s maximálními výstupními výkony 50 W a 550 W.

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS13/188/OHK2/3T/12.

MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ LASEROVÉHO MIKROOBRÁBĚCÍHO CENTRA VEDOUcí K EFEKTIVNÍMU NASTAVENÍ PROCESŮ

Adam Čermák

ZČU Plzeň, Katedra technologie obrábění
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň
cermi89@kto.zcu.cz; www.kto.zcu.cz

Pavel Kožmín

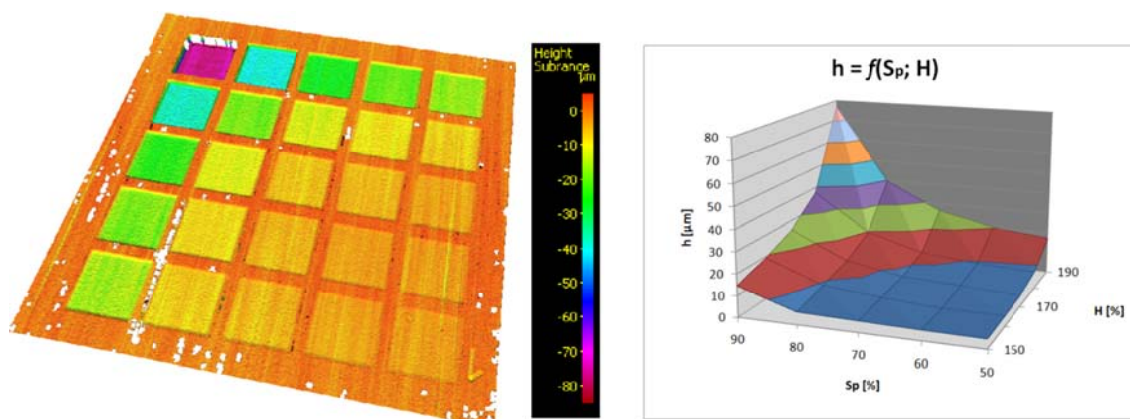
Hofmeister s.r.o., výroba řezných nástrojů
Daimlerova 9, 301 00 Plzeň
kozmin@hofmeister.cz; www.hofmeister.cz

Obor: laserové mikroobrábění

Tento článek se zabývá možnostmi efektivního nastavení ablačního procesu pro laserové mikroobráběcí centrum. Aby to možné dosáhnout požadované tvarové přesnosti, povrchové kvality, preciznosti polohování a výsledné opakovatelnosti, bylo nutné vytvořit řadu algoritmů, které zefektivňují kompletní nastavení základních parametrů. Pro účely efektivního nastavení laserových parametrů byl vytvořen maticový algoritmus, který snižuje časovou náročnost mikroobrábění a vyhodnocení úběru materiálu a drsnosti povrchu. Pro minimalizaci vedlejších časů v průběhu polohování obrobitelného prvku je zde charakterizováno rozeznávací rozhraní vč. jeho využití a opakovatelnosti procesu.

Problematika nastavení procesu mikroobrábění

Mezi hlavní nevýhodu laserového mikroobrábění patří vysoký počet proměnných parametrů, které mají vliv na výslednou interakci laserového paprsku na obráběný materiál. V tomto případě se používá vzorkování testovaného materiálu, které zjistí příslušnou interakci obráběného materiálu s laserovým paprskem. Na obr. 1 - vlevo je scan matice 5x5 v pseudo zbarvení, které indikuje dosaženou hloubku mikroobrobění. Dle vyhodnoceného grafu (obr. 1 – vpravo) je vidět rozdílná hloubka úběru. Pomocí této jednoduché matice byl vyšetřován vliv překrytí pulzů a rozteče šrafování na finální hloubce.



Obrázek 1 Základní testování ablance materiálu

Pomocí této matice lze testovat pouze 2 proměnné, z tohoto důvodu byla navržena její pokročilejší varianta, která je umožňuje testování 4 proměnných laserových parametrů. Tato matice bude charakterizována v příspěvku.

Možnosti Polohování Mikroobráběných Entit

Další část příspěvku je věnována polohování mikroobráběných entit, které patří ke stěžejní části procesu mikroobrábění z důvodů velmi malých rozměrů (řády setin milimetrů) a velmi malé přípustné tolerance (řády mikrometrů). Správně zvolený způsob polohování snižuje vedlejší časy, zproduktivňuje výrobu a zvyšuje její opakovatelnost. Technicky jsou laserové mikroobráběcí stroje vybaveny kamerovými systémy s různým rozlišením umožňující polohování entit v rozdílných přesnostech. Polohování entit spočívá nejen v příslušné hardwarové konfiguraci, nýbrž také v konkrétním softwarovém řešení. V něm je možné v principu zvolit dva režimy polohování – manuální nebo automatické.

Manuální nastavení polohy je vhodné pro prototypový charakter výroby. Po založení obrobku do pracovního prostoru laseru musí operátor většinou přes kamerové pole jemně nastavit polohu požadované entity. Výhodou jsou nízké nároky na programování, nevýhodou vysoké riziko chyby operátora.

Automatické polohování je pokročilejší forma umísťování entit, kde je využito tzv. rozeznávacího rozhraní. Principem tohoto rozhraní je rozpoznání předem nadefinované geometrické kontury (hrana, rádius), která se následně nasnímá a datově zpracuje přes kamerový systém. Datové informace jsou nadále zpracovány v algoritmech, které určí průsečíky. Vypočítané průsečíky slouží jako výchozí body pro importování mikrogeometrických entit, dle kterých následně proběhne prostorová transformace finální polohy entity, jak znázorňuje následující procesní řetězec.



Tento způsob řešení klade vyšší nároky na programování algoritmů, ale výrazně zkracuje vedlejší časy při polohování a zcela eliminuje případné chybné polohování operátora. Transformace vložené entity je poté podle příslušného příkazu v algoritmu automaticky řešena v rámci procesu mikroobrábění.

V závěru příspěvku jsou prezentovány praktické ukázky mikroobrobených entit včetně jejich vyhodnocení pomocí 3D skenovacího mikroskopu.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu SGS-2013-031: Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie-technologie obrábění.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Mikroobrábění pomocí laseru tvarově složitých ploch u různých druhů materiálů (odladění laserového procesu s ohledem na geometrickou a tvarovou přesnost mikroobrábění)
- Měření mikroobrobených entit nebo malých dílců (v řádech mm) s tvorbou metodiky měření a vyhodnocení velmi malých detailů (pod 1mm)

DISTRIBUCE PŘESNÉ OPTICKÉ FREKVENCE A ČASU PO FOTONICKÝCH SÍTÍCH V ČESKÉ REPUBLICE

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

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 61241 Brno, Česká Republika
email: ocip@isibrno.cz

Josef Vojtěch a Vladimír Smotlacha

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

Obor: Měření a metrologie, fotonické sítě, normály času a frekvence, optické hodiny

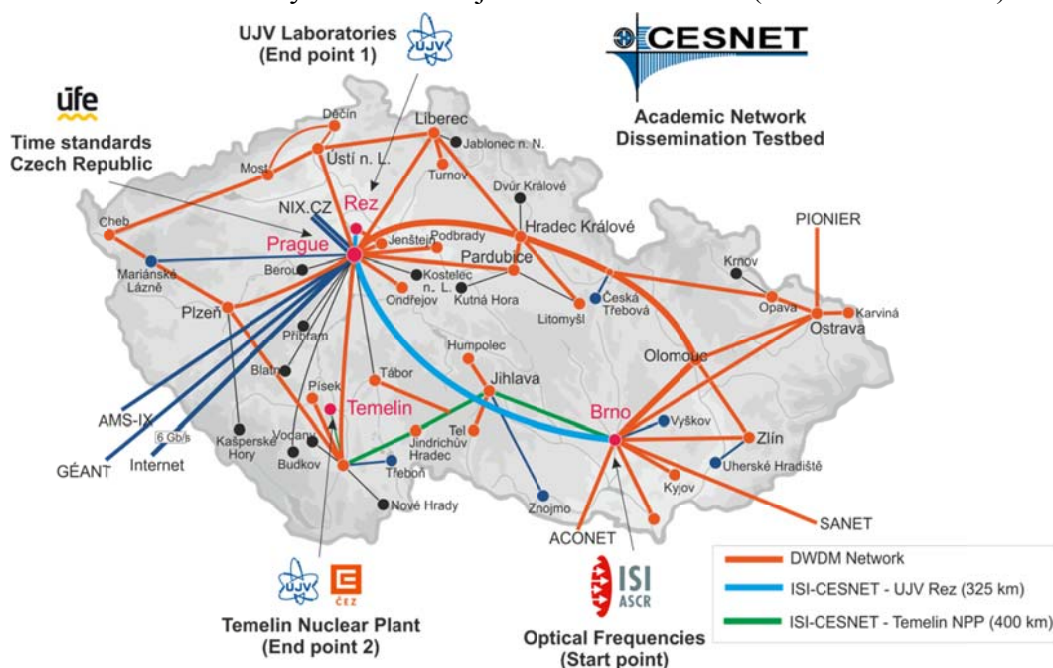
Realizace jednotky času 1 sekunda i jednotky délky 1 metr je v současnosti založena na vysoce stabilních oscilátorech, pracujících buď v radiofrekvenční oblasti (řádově MHz až GHz) nebo v oblasti optických kmitočtů (stovky THz). Společným znakem těchto zdrojů je jejich mimořádná relativní stabilita generované frekvence, která začíná na hodnotách 10^{-12} pro Rb hodiny, následují Cs hodiny a optické normály stabilizované v parách čistých plynů se stabilitou 10^{-14} , dále mikrovlnný H-maser se stabilitou 10^{-15} . Nejvyšší stabilitu pak dosahují v radiofrekvenční oblasti Cs hodiny na principu atomové fontány (až 10^{-16}) a v optické oblasti pak super koherentní lasery zachycené na kvantové přechody pohybově zchlazených iontů např. Yb^+ , Sr^+ , Ca^+ , Hg^+ (relativní stabilita až 10^{-18}), které nazýváme tzv. optické hodiny.

U stabilních zdrojů frekvence probíhá ověření jejich vysoké stability vzájemným porovnáním generovaných signálů pomocí celé řady technik, kdy nejběžnější jsou záznějová a fázová měření. V případě zdrojů s nižší stabilitou probíhá měření na tzv. metrologickém porovnávání v některé ze specializovaných laboratoří. Tehdy je vzdálenost mezi porovnávanými systémy maximálně jen několik metrů a problematika přenosu signálů mezi testovanými zdroji se neřeší, neboť má při těchto dispozičních délkách zanedbatelný vliv.

Zcela jiná situace je u optických hodin, které lze pro jejich komplikovanost převážet jen omezeně. Z těchto důvodů již několik let probíhá intenzivní výzkum v oblasti přenosu stabilních frekvencí pomocí optických vláken. Fotonický přenos dovoluje přenést zároveň nosnou optickou frekvenci, která je v současnosti generována právě pomocí super koherentních laserů. Další výhodou je skutečnost, že díky rozvoji komunikačních technologií pro Internet jsou nyní dobře propojena velká města i metropolitní sítě optickými vlákny, na kterých se provozuje tzv. hustý multiplex optických frekvencí (DWDM) umožňující přenášet paralelně mnoho optických signálů přes jednu vlákno v jeden okamžik.

Aby bylo možné přenášet optické frekvence přes běžné fotonické datové sítě, je nezbytné kompenzovat Dopplerovský posuv, který je ve vláknech indukovan působením vnějších vlivů, jako jsou atmosférické změny prostředí a dále především vibrace. K tomuto účelu byla vyvinuta řada kompenzačních technik, které využívají vlastnost optického vlákna, a to možnost obousměrné komunikace po jednom vlákne [1]. Je-li jeden signál z bodu A do bodu B přenášen ve stejný okamžik jako druhý signál z bodu B do bodu A po jednom optickém vlákne, fázové zpoždění včetně Dopplerova posuvu se projeví na obou signálech stejně. Nechá-li se pak signál z bodu A do bodu B opět přenést zpět do bodu A, lze zjistit dvojnásobnou hodnotu fázového zpoždění mezi body A a B. V té chvíli máme jedinečnou možnost vysílaný signál fázově upravit ještě před jeho odesláním tak, aby vždy proběhl trasou za přesně definovaný časový okamžik. V tom je hlavní výhoda laserové vlny, neboť ta díky své koherenci dovoluje přímou interferenci vlny vyslané do přenosové trasy z bodu A s vlnou vrácenou z bodu B do bodu A.

Sdružení CESNET ve spolupráci s Ústavem přístrojové techniky AV ČR v letech 2014-2015 sestavilo obousměrnou komunikační trasu mezi uzly ÚPT Brno a hlavním střediskem CESNET Praha Zikova 6. Vyobrazení sítě je uvedeno na Obr. 1 (světle modrá trasa).



Obrázek 1. Schéma fotonické sítě CESNET s trasami pro koherentní přenos mezi ÚPT Brno a CESNET Praha.

Na této trase je k dispozici několik vyhrazených obousměrných kanálů díky nasazení techniky DWDM. První testy probíhají s přenosem přesného času, kde se využívá výše zmíněný princip reciprocity mezi body A a B. Tato technika sice nekompensuje parazitní vliv Dopplerovského posuvu přímo, ale provádí jeho přesné měření, takže detekované zpoždění lze dodatečně odečíst z měřených záznamů. Technika je založena na zaslání periodických pulsů 1 pps oběma směry. Na každém konci přenosové trasy jsou pro generaci signálů 1 pps použity radiofrekvenční normály času. V případě uzlu CESNET Praha jde o Cs hodiny a v případě uzlu ÚPT Brno jde o aktivní vodíkový maser (H-maser). V obou uzlech jsou umístěny transceivery CESNET s FPGA měřiči periody pulsů 1 pps. Z periodických měření, lze následně vyhodnotit denní, týdenní a sezónní výkyvy zpoždění a po odečtení těchto údajů z naměřených dat lze stanovit i vzájemnou stabilitu použitých časových normálů.

Druhou technikou, která je nyní ve výstavbě, je již plnohodnotná kompenzace fáze laserové vlny pomocí aktivní kontroly změny fáze vlny při jejím vysílání z ÚPT do uzlu CESNET. Jako normál optické frekvence ÚPT je použit super úzkopásmový laser stabilizovaný v parách izotopu acetyleny. Pro kompenzaci Dopplerovského posuvu je použita smyčka fázového závěsu PLL mezi vlnou odeslanou a vlnou přijatou, která proběhla vláknovou trasu oběma směry. Jako kompenzační prvek je použit akustooptický modulátor. V současnosti probíhá charakterizace chování jednotlivých prvků soustavy včetně jejich zprovoznění.

Poděkování

Autoři vyjadřují tímto poděkování za podporu projektu Fondu rozvoje CESNET, č. 500/2013. Metodologický výzkum koherentního přenosu je podporován GA ČR, č. GA14-36681G.

Literatura

[1] S. Droste, F. Ozimek, Th. Udem, K. Predehl, T.W. Hansch, H. Schnatz, G. Grosche, and R. Holzwarth, Optical-Frequency Transfer over a Single-Span 1840 km Fiber Link, *Physic Review Letters*, 111, 110801, 2013

HOLOGRAFICKÁ MIKRO-ENDOSKOPIE

Tomáš Čizmár

School of Science and Engineering, University of Dundee

Nethergate, DD1 4HN, Dundee, UK

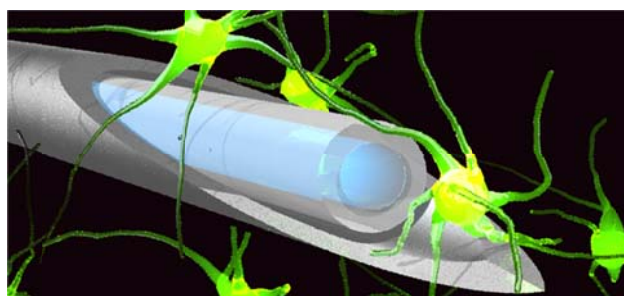
T: +44 1382 384 507

E: t.cizmar@dundee.ac.uk

W: <http://complexphotonics.dundee.ac.uk>

Obor: Komplexní fotonika

Miniaturní endoskopy na principu vláknové optiky umožnily nejen zobrazování orgánů uvnitř lidského těla, ale i použití v mnoha dalších výzkumných i průmyslových oblastech. Současné flexibilní endoskopy využívají technologii koherentních vláknových svazků známou již více než 50 let. Nová nedávno vyvinutá holografická metoda umožnila značně



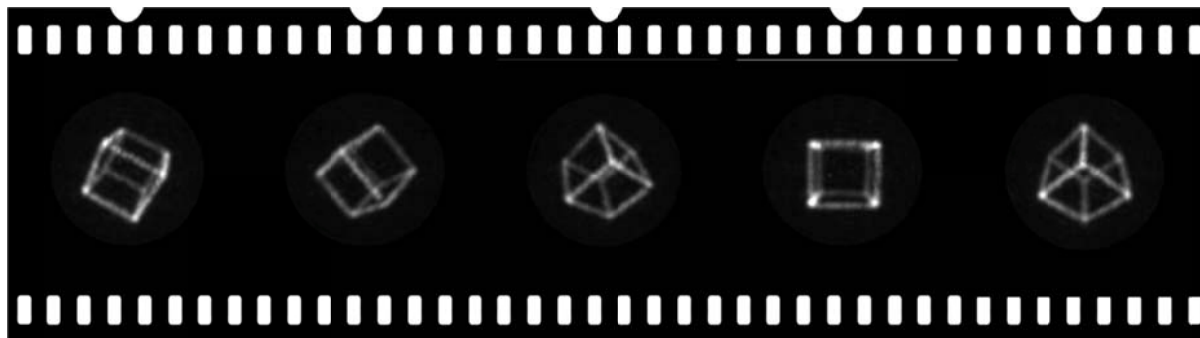
redukovaný průřez pozorovacích vláken (pod 100 μm) a současně i výrazné zlepšení zobrazovacího rozlišení. Tato nová zařízení využívající pouze jedno multimodové vlákno umožní minimálně invazivní pozorování přímo uvnitř tkání i těch nejcitlivějších orgánů, protože při jejich aplikaci dojde jen k minimálnímu poškození. Při použití ve výzkumu centrálního nervového systému může tato metoda přispět k vyjasnění stěžejních otázek týkajících se utváření, uchování i vyvolávání vzpomínek, stejně tak i vzniku a rozvoje závažných onemocnění nervového systému jako je například Alzheimerova choroba.



V současné době existují dvě důležitá omezení této technologie, která stojí v cestě rychlému zpřístupnění této technologie v lékařské praxi, výzkumu a průmyslu. Prvním je omezení na rigidní endoskopy. Při jakékoli deformaci hadice endoskopu dojde ke změnám vlákny jakým

je světlo vláknem vedeno a v důsledku pak k poškození pozorované obrazové informace. Druhým problémem je značná náročnost výpočetních algoritmů, které musí kontrolní elektronika vykonávat a která značně zpomaluje dosažitelné výsledné zobrazování.

V přednášce budou představena možná řešení obou těchto problémů. Nové experimenty prokázaly, že světlo v optických vláknech zachovává uspořádané a předpověditelné chování na mnohem delších vzdálenostech než se dříve předpokládalo. To následně umožňuje vypočítat chování světla i v zakřivených vláknech a tak zachovat kvalitní zobrazování i v dynamickém režimu endoskopu. V přednášce bude dále představen *toolbox* využívající paralelizované GPU algoritmy, které již nyní umožňují kontrolu světla ve vláknech zrychlit až na úroveň přenosu videa.



Reference:

1. Čižmár, T. & Dholakia, K., *Exploiting multimode waveguides for pure fibre-based imaging*, **Nature Communications** **3**, 1027 (2012)
2. Ploeschner, M. Tyc, T. & Čižmár, T., *Seeing through chaos in multimode fibres*, **Nature Photonics** **9**, 529–535 (2015)
3. Ploeschner, M., Straka, B., Dholakia, K. & Čižmár, T., *GPU accelerated toolbox for real-time beam-shaping in multimode fibres*, **Optics Express** **22**(3), 2933-2947 (2014)

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Optické mikromanipulační metody
- Fotonika v neuspořádaných prostředích
- Holografická programová prostředí

SOUŘADNICKOVÝ INTERFEROMETRICKÝ SYSTÉM PRO ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY VZORKU ELEKTRONOVÉHO LITOGRAFU

Miroslava Holá, Josef Lazar, Martin Čížek, Šimon Řeřucha a Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i

Královopolská 147 Brno 612 64, tel.: +420 541 514 127, e-mail: hola@isibrno.cz,

www.isibrno.cz

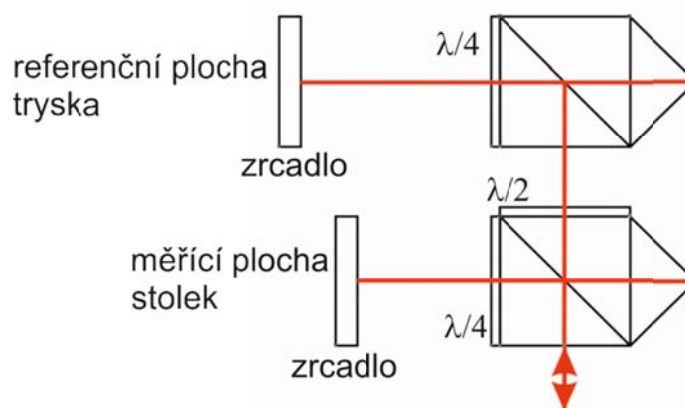
Obor: Koherenční optika - Koherentní lasery a interferometrie

Tento projekt se nazývá „Platforma pokročilých mikroskopických a spektroskopických technik pro nano a mikrotechnologie“. Řešitelem tohoto projektu je Vysoké učení technické v Brně/Fakulta strojního inženýrství a spoluřešitelé jsou ON Semiconductor Czech republic, s.r.o., Optaglio s.r.o., Tescan Brno, s.r.o. a Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i.. V rámci tohoto projektu pracujeme na návrhu interferometrického odměřovacího systému, laserového zdroje a detekční techniky pro souřadnicové odměřování stolu elektronového litografu.

Sestava interferometru

Uspořádání interferometru pro měření polohy souřadnicového stolu litografu vychází z diferenciálního principu. Koncept diferenciálního měření předpokládá vztažení referenční plochy k bodu, který nejlépe představuje vztažné místo soustavy. Tímto bodem je elektronová tryska litografického systému. Vztažení vůči tomuto bodu účinně potlačí vlivy deformací vakuové komory způsobené teplotními a tlakovými změnami. Je-li cílem rozlišení a přesnost na nanometrové úrovni, hrají tyto vlivy zásadní roli.

Zvolili jsme uspořádání, které respektuje referenční a měřicí zrcadla nad sebou, na každé jsou směřovány dva svazky a v obou drahách jsou umístěny koutové odražeče kompenzující malé úhlové odchylky, obr. 1.



Obr. 1: Optické uspořádání interferometru pro diferenciální měření v jedné ose odrazem od rovinných zrcadel umístěných nad sebou. Horní svazky představují referenční trasu, dolní svazky měřicí trasu.

Konstrukce interferometru je navržena pro infračervenou vlnovou délku v telekomunikační oblasti ($\lambda = 1550$ nm). Předpokládá se polovodičový laserový zdroj

s optovláknovým výstupem a rozvodem světla optickými vlákny. Laserový zdroj je klíčovou komponentou sestavy a jsou na něj kladeny nejvyšší nároky a to na spektrální vlastnosti, stabilitu optické frekvence, šířku spektrální čáry, frekvenční/fázový šum. Tyto všechny vlastnosti musí být při výběru a konstrukci laserového zdroje zohledněny.

Poděkování

Autorka vyjadřuje tímto poděkování za podporu projektům GA ČR, č. GB14-36681G, EMRP projektu IND58 6DoF financovanému společně zeměmi participujícími v EMRP v rámci EURAMET a Evropskou unií, TA ČR, projekty: TA02010711, TA0101995, TE01020233. Výzkumná infrastruktura byla podpořena MŠMT, projektem LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, a Akademií věd České republiky, projektem RVO:68081731.

60W CW THULIOVÝ VLÁKNOVÝ LASER PRO PRŮMYSLOVÉ A MEDICÍNSKÉ APLIKACE

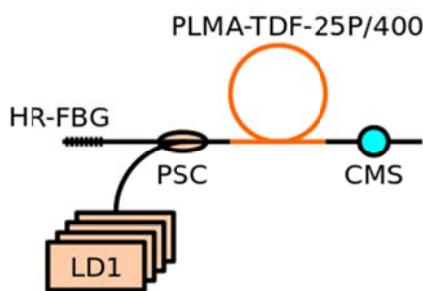
Pavel Honzátko, Filip Todorov, Yauhen Baravets, Pavel Peterka, Ivan Kašík, Pavel Koška a Ondřej Podrazký

Ústav fotoniky a elektroniky, Akademie věd ČR, v.v.i.
Chaberská 57, 18251, Praha 8 - Kobylisy, Česká republika
+420 266 773 431, honzatko@ufe.cz, www.ufe.cz

Obor: vláknové lasery pro průmyslové a medicínské aplikace

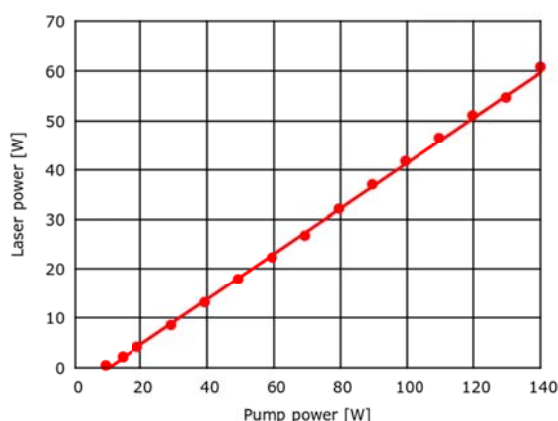
Vláknové lasery se prosazují v průmyslu a medicíně a postupně vytlačují jiné druhy pevnolátkových laserů především díky své vysoké energetické účinnosti, kompaktnosti a vynikající kvalitě výstupního svazku. Aktivním médiem vláknových laserů je jednovidové vlákno a výstupní svazek se vyznačuje vysokou radiancí a parametrem kvality svazku $M^2 \sim 1$. Tím se liší od DPSS (diode pumped solid state) laserů, kterými se zpravidla označují lasery s aktivním prostředím ve formě krystalů nebo tenkých disků. Diodové, diskové a další lasery sice mohou obsahovat ve svém obchodním názvu termín „vláknový“, avšak optické vlákno bývá mnohavidové a slouží pouze pro přenos energie. Radiance je nízká a parametr kvality svazku vysoký, tj. svazek není difrakčně limitovaný.

Výzkum vláknových laserů a optických vláken na pracovišti Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. pokrývá široké spektrum problematik, včetně výkonných laserů s thuliem dopovanými vlákny [1-7]. V rámci projektu TH01010997, podpořeného programem Epsilon TA ČR, byl vyvinut CW thuliový vláknový laser s maximálním výstupním výkonem 60 W. Schéma laseru je na Obr. 1. a charakteristika výstupního výkonu na Obr. 2. Laser, který je v laboratorním uspořádání, bude po optimalizaci některých jeho parametrů zapouzdřen, tak aby mohl být testován pro konkrétní průmyslové, případně i medicínské aplikace.



Obr.1. Schéma zapojení vláknového laseru.

HR-FBG – high reflectivity fiber Bragg grating (Braggovská mřížka s vysokou odrazivostí), **LD1-6** – Laser Diodes (laserové diody), **PSC** - pump signal combiner - slučovač signálu a čerpání, **PLMA...** – typové označení použitého aktivního vlákna, **CMS** - cladding mode stripper - zádrž plášťových vidů.



Obr.2. Charakteristika výstupního výkonu v závislosti na čerpacím výkonu.

Závislost výstupního výkonu na čerpacím je proložena lineární funkcí $P_L = 0.46 * (P_p - 10.2)$.

V současnosti jsou průmyslové výkonové vláknové lasery téměř výhradně založeny na ytterbium dopovaných vláknech a generují záření v okolí vlnové délky 1 μm . Oproti tomu thulium dopované vláknové lasery emitují záření s vlnovou délkou $\sim 2 \mu\text{m}$, v tzv. „oku bezpečné“ spektrální oblasti ($> 1.4 \mu\text{m}$), kde díky absorpci ve vodě, je práh poškození sítnice lidského oka posunut až o 4 řády.

Praktické výhody thulium dopovaných vláknových laserů, oproti ytterbiovým, se v průmyslových aplikacích neomezují pouze nižšími nároky na zabezpečení laserového pracoviště, ale umožňují díky vysoké absorpci záření s vlnovou délkou $\sim 2 \mu\text{m}$ také opracovávat širší škálu polymerních materiálů, včetně transparentních. Absence potřeby přidávání barviv do výchozího polymerního materiálu snižuje výrobní náklady a otevírá cestu k novým konstrukčním řešením a technologickým postupům. Příkladem může být proces laserového odstraňování vtoků u výlisků vyrobených moderní dvojevstříkovou technologií (automobilové reflektory apod.), kdy jsou do formy současně vstříkovány dva typy polymerů - transparentní a plněný barvivý. Jediný thuliový vláknový laser by nahradil oba lasery v dnes používaných laserových systémech, kdy transparentní plast se opracovává CO_2 laserem a plast s barvivou se opracovává ytterbiovým vláknovým laserem.

Thuliové vláknové laserové systémy přitahují pozornost nejen v průmyslových aplikacích ale také v senzorových aplikacích (chemická analýza – LIDAR systémy) a medicíně (fragmentace ledvinových kamenů nebo léčba benigní hyperplazie prostaty). Dále se používají pro čerpání holmiových vláknových laserů.

Poděkování:

Výzkum byl podpořen Technologickou agenturou České republiky v rámci programu Epsilon, projektem č. TH01010997 a Grantovou agenturou České republiky v rámci projektu GAP102 14-35256S.

Literatura:

- [1] P. Honzátka, Y. Baravets, F. Todorov, P. Peterka, and M. Becker, **Coherently combined 20 W at 2000 nm from a pair of thulium-doped fiber lasers**. *Laser Phys. Lett.* **10** (2013) 095104.
- [2] P. Honzátka, P. Vojtisek, and B. Vitovec, **Progress in thulium-doped fiber lasers and amplifiers**. *SPIE Proc.* **8697** (2012) 86971J.
- [3] P. Peterka, P. Honzátka, I. Kašík, J. Cajzl, and O. Podrazky, **Thulium-doped optical fibers and components for fiber lasers in 2 μm spectral range** (Invited). *SPIE Proc.* **9441** (2014) 94410B.
- [4] P. Peterka, P. Honzátka, M. Becker, F. Todorov, M. Písařík, O. Podrazký, and I. Kašík, **Monolithic Tm-Doped Fiber Laser at 1951 nm With Deep-UV Femtosecond-Induced FBG Pair**. *IEEE Photonics Technology Lett.* **25/16** (2013) 1623-5.
- [5] P. Peterka, P. Honzátka, I. Kašík, A. Michková, **Fiber lasers**. ed. Science around us (in Czech), Academia, 2014. (www.ufe.cz/sites/default/files/Media/vlaknove_lasery.pdf)
- [6] P. Koska, Y. Baravets, P. Peterka, J. Bohata, and M. Písařík, **Mode-Field Adapter for Tapered-Fiber-Bundle Signal and Pump Combiners**. *Applied Optics* **54/4** (2015) 751-6.
- [7] P. Koška, P. Peterka, J. Aubrecht, O. Podrazký, F. Todorov, Y. Baravets, P. Honzátka, and Ivan Kašík, **Enhanced pump absorption efficiency in coiled and twisted double-clad thulium-doped fibers**. *Advanced Solid State Lasers*, paper ATu2A.23, Berlin, Germany, 4-9 October 2015.

OPTICKÉ DIAGNOSTICKÉ METODY V ENERGETICE

Jan Hrabina

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

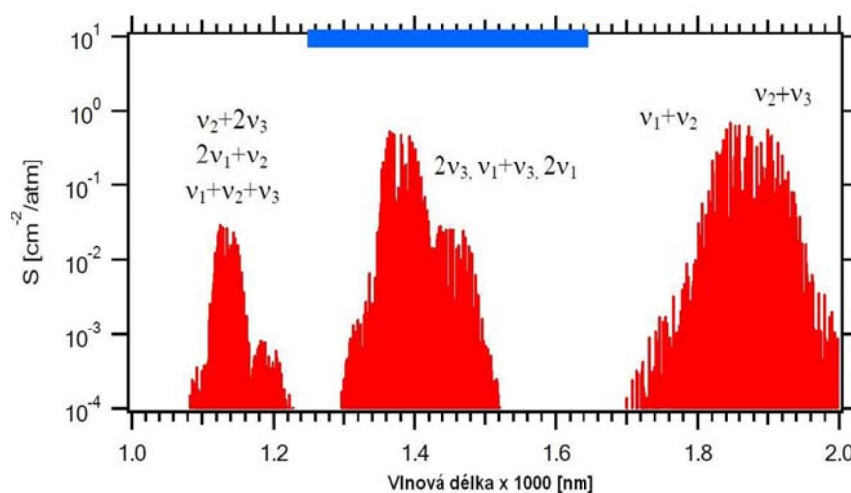
Královopolská 147, 61264 Brno, email: hrabina@isibrno.cz

Obor: laserová spektroskopie, interferometrie, speciální optovláknové prvky

Stoupající poptávka a spotřeba elektrické energie představuje závažný společenský problém. Každý typ zdroje elektřiny má své výhody i nevýhody, k optimálnímu pokrytí spotřeby elektrické energie je třeba využívat kombinace různých typů zdrojů. Hlavní zdroj elektrické energie v České republice představují uhelné elektrárny (podíl na celkově vyrobené elektřině >50%). Jejich hlavním negativním dopadem je tvorba škodlivých emisních látek vznikajících při spalování paliva. Ačkoliv již všechny uhelné elektrárny v ČR prošly v průběhu 90. let modernizací (odlučovače popílků, odsiřovací jednotky), je pro udržení jejich provozu třeba splňovat i stále se zpřísnující emisní normy na ostatní škodliviny (zejména oxidy dusíku, NO_x).

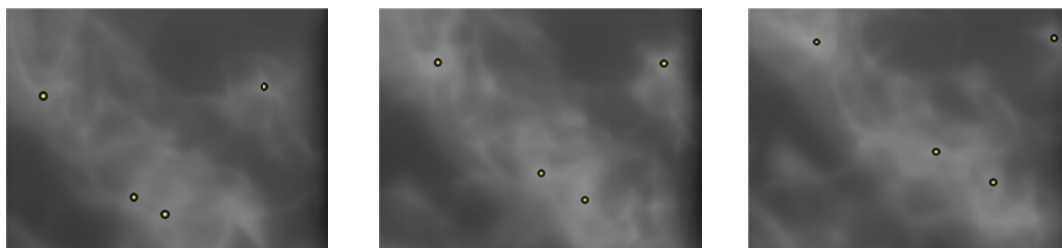
Oxidy dusíku vznikají hlavně při nedokonalém spalování a pro jejich redukci se dá využít metody optimalizace spalovacího procesu. Optimalizace spalování přináší kromě redukce emisí i velmi významnou finanční úsporu na spotřebovaném palivu, je třeba si uvědomit, že objemy spáleného paliva v uhelné elektrárně s instalovaným výkonem několika stovek MW dosahují mnoha tun uhlí za minutu. Poté i nepatrné zvýšení účinnosti v desetinách procent představuje ušetřené finanční prostředky v řádu milionů Kč. Mezi hlavní problémy při snaze optimalizace spalování uhlí je značně kolísající kvalita paliva (nutnost relativně rychlých akčních zásahů regulátoru) a nemožnost použití konvenčních analyzátorů prostředí uvnitř kotle (extrémní teploty). Běžné senzory nelze použít ani v prostoru komínu nad kotlem, kotel totiž běžně obsahuje větší množství hořáků a diagnostikou spalin na komínu nepoznáme, který z nich potřebuje regulační zásah (palivo se do kotle přivádí do spalovací komory ve formě prachu, který pak v prostoru kotle vytváří pohybuující se hořící oblaky). K diagnostice spalovacího procesu lze nicméně využít některé bezkontaktní optické měřicí metody.

Za hlavní diagnostický nástroj pro analýzu takového spalovacího procesu lze považovat metody laserové spektroskopie. Ty jsou založené na měření tvaru absorpčních sledovaných látek pomocí vhodně vybraných laserových zdrojů, ze kterých lze přímo zjistit koncentraci chemické látky. Ukazatelem kvality spalování je například úroveň koncentrace kyslíku, k jejíž analýze se využívají absorpční pásy O₂ v regionu vlnových délek 760-770 nm. Rozložení teplotních polí ve spalovací komoře je pak analyzovatelné spektroskopickou detekcí disociace molekul vody, při které srovnáváme úroveň několika absorpčních spekter ve spektrální oblasti 1,1 až 2,0 μm pomocí vhodných laserových zdrojů. Z poměru úrovní těchto spekter lze nejen tyto gradienty teplotních polí mapovat, ale zjistit i hodnoty teplot uvnitř komory. Samostatnou kapitolou je pak přímá spektroskopická detekce množství jednotlivých škodlivých látek. V případě použití vhodně navržené soustavy detekčních svazků monitorujících prostor nad všemi hořáky a analýzou naměřených dat je pak možno vyhodnocovat spalovací proces v celém kotli a pružně reagovat na jeho pracovní stav (regulace množství přiváděného paliva a kyslíku).



Záznam absorpčních spekter molekul vody používaný k diagnostice teploty.

Optické metody lze dále využít i pro detekci směru a rychlosti pohybu prachových oblaků uvnitř spalovací komory. Laserový svazek je při průchodu pohybujícím se prachovým oblakem prostorově rozptylován a vychylován, částečně se na této překážce odrazí zpět ke svému zdroji. Z rozptylu a odraženého svazku je pak možno usuzovat na velikost a tvar prachových částic, v kombinaci s detekcí směrové výchylky svazku je poté možno vyhodnocovat rychlost a směr proudících částic. Snímání obrazu je možno provádět jak více kvadrantním fotodetektorem, tak vysokorychlostní kamerou.



Detekce směru a rychlosti pohybu prachového oblaku uvnitř kotle (snímky po 2 ms, výsledná naměřená rychlost je na úrovni 10 m/s).

Uvedené navrhované metody byly prakticky odzkoušeny na spalovací komoře Elektrárny Mělník I. Bylo prokázáno, že kombinace těchto technik představuje vhodný nástroj pro diagnostiku spalovacího procesu a lze s jejím využitím spalovací procesy podobného typu snadno řídit.

Poděkování

Tento výzkum je podpořen granty GA ČR, projekt GA14-36681G, EURAMET, EMRP projekt IND58 6DoF, TA ČR, projekty: TA02010711, TA0101995, TE01020233 a MŠMT spolu s MAEDI/MENESR, projekt: 7AMB14FR040/31175QB. Infrastruktura projektu byla podpořena MŠMT, projekty LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a AV ČR, projektem RVO:68081731.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Návrh a realizace referencí optických kmitočtů a laserových standardů
- Frekvenční stabilizace laserů
- Laserová interferometrie – multidimensionální systémy
- Laserová spektroskopie

DIGITÁLNÍ SYNTÉZÁTOR PRO KOMPENZACI DOPPLEROVA JEVU NA OPTICKÝCH TRASÁCH

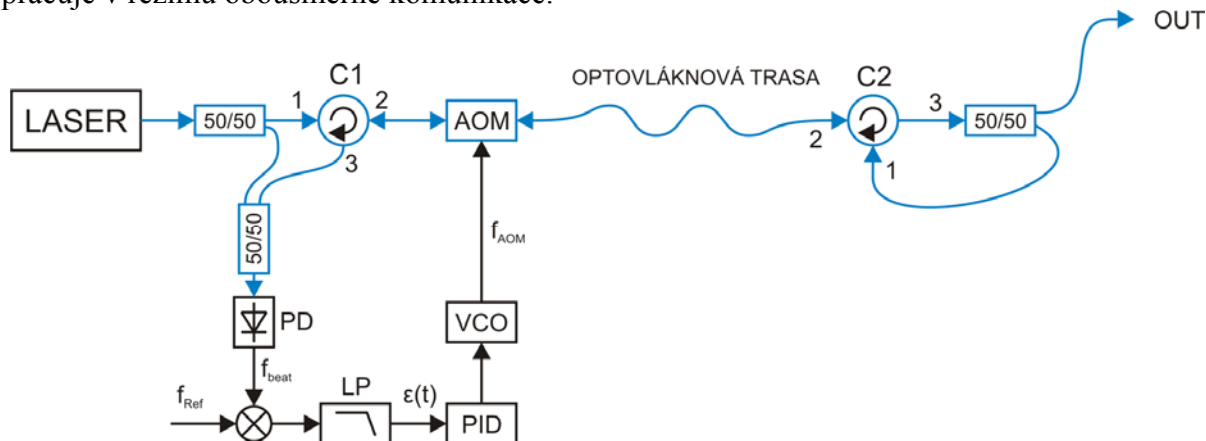
Václav Hucl, Martin Čížek, Minh Tuan Pham, Lenka Pravdová, Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, Brno, 612 64
+420 541 514 529
trek@isibrno.cz

Obor: Interferometrie, vláknová optika, analogová a digitální elektronika, zpracování RF signálů, vlivy prostředí

Distribuce vysoce stabilních optických frekvencí po optovláknových trasách velice často naráží na problém, že stabilita optické frekvence laseru na vzdáleném konci trasy je degradována působením vnějších vlivů na vlákno [1]. Mění-li totiž vlákno vlivem změn teploty svoji délku, či je vystaveno vibracím, dochází k uplatnění Dopplerova jevu.

Pro detekci a následnou kompenzaci Dopplerova jevu na optovláknových trasách je často používáno uspořádání, kdy takováto trasa tvoří měřicí rameno nevyváženého Michelsonova nebo Mach-Zehnderova interferometru. Jedná se o podobný princip, jaký je využíván i pro měření fázového šumu laserů [2]. Na Obr. 1 je příklad schematického uspořádání sestavy využívající Michelsonův interferometr. Optická frekvence laseru je po průchodu optickým cirkulátorem C1 a akustooptickým modulátorem AOM vysílána po optickém vlákne do místa příjmu. Zde je část laserového záření odbočena pro potřeby uživatele OUT a zbytek se vrací přes optický cirkulátor C2 stejnou trasou zpět do místa vysílání. Přenosové optické vlákno tak pracuje v režimu obousměrné komunikace.



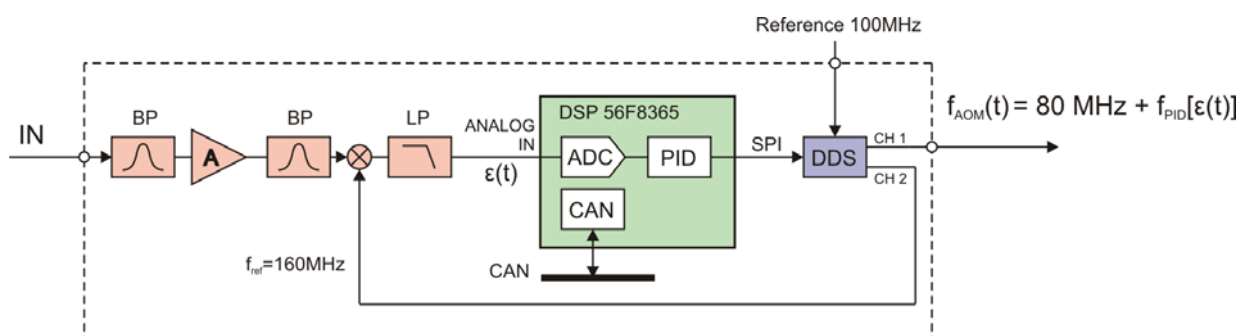
Obr. 1: Princip kompenzace Dopplerova jevu v optovláknové trase. *AOM* – akustooptický modulátor; *C1*, *C2* – cirkulátor; *LP* – dolní propust; *PD* – fotodetektor; *PID* – PID regulátor; *VCO* – napětím řízený oscilátor; f_{AOM} – frekvence buzení AOM; f_{beat} – frekvence detekovaného zázněje; f_{Ref} – frekvence referenčního signálu pro fázový závěs; $\varepsilon(t)$ – regulační odchylka.

Za předpokladu, že je referenční rameno interferometru vůči měřicímu zanedbatelné délky, jsme sledováním změn interferenční fáze schopni kvantifikovat Dopplerovské posuvy optické frekvence, ke kterým dochází na optovláknové trase. V ideálním případě, kdy k žádným posuvům optické frekvence nedochází, a zároveň máme dokonale stabilní laser, je detekovaná interferenční fáze konstantní. Modulátorem AOM, který frekvenci procházejícího světla posouvá o frekvenci budícího signálu a vláknovým směšovačem 50/50 provádíme

heterodynní detekci interferenční fáze. V tomto případě je výstupem fotodetektoru PD napětí odpovídající vysokofrekvenčnímu (vř) harmonickému signálu (zázněji) o frekvenci rovné dvojnásobku frekvence referenčního harmonického signálu, kterým je buzen modulátor AOM. Interferenční fáze nesoucí informaci o Dopplerově posuvu potom odpovídá fázovému posuvu mezi detekovaným záznějem na detektoru PD a signálem z napětím řízeného oscilátoru VCO, budícím AOM.

Následně je možné vliv Dopplerova jevu v optickém vlákne kompenzovat změnami kmitočtu signálu VCO budícího AOM a působit tak proti posunům optické frekvence. Signál z výstupu směšovače je po úpravě dolní propustí použit jako regulační odchylka pro proporcionálně-integračně-derivační (PID) regulátor řídící frekvenci napětím řízeného oscilátoru VCO. V ustáleném stavu regulace je tak zázněj fázově zavěšen na referenční signál, změny frekvence signálu VCO působí proti Dopplerovským posuvům optické frekvence laseru v trase a na zmíněném výstupu OUT trasy je k dispozici laserový signál o stabilní optické frekvenci odpovídající přesně laseru na vstupu do celé trasy. Po elektronické stránce lze popsanou regulační smyčku realizovat čistě analogově, avšak je možno ale i přistoupit k digitálnímu řešení.

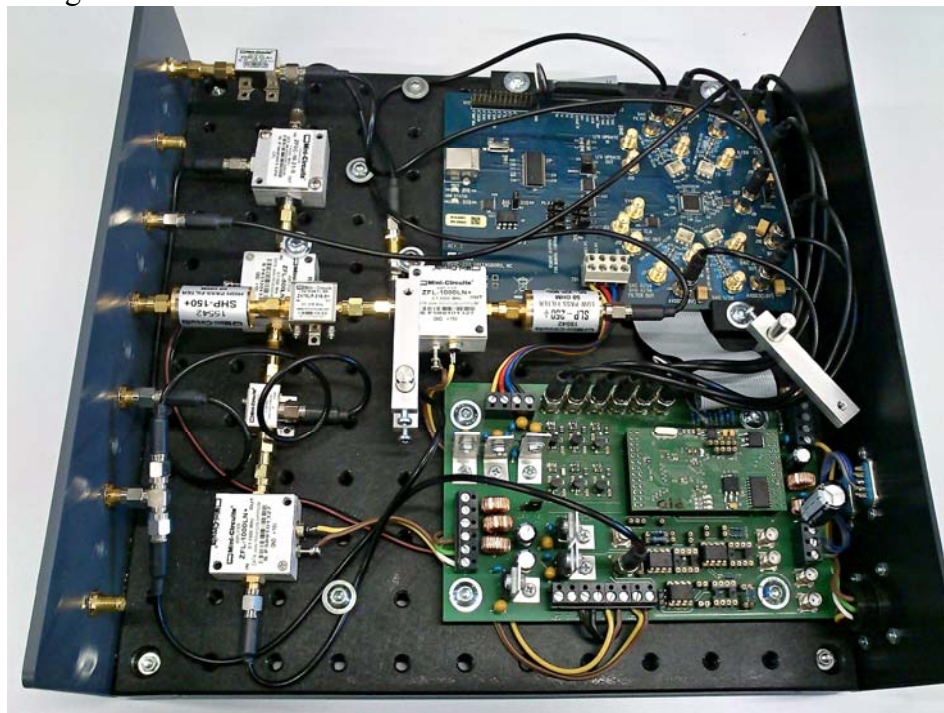
V našem příspěvku popisujeme variantu elektronického zapojení na Obr. 2, kde je detekce fáze signálu z fotodetektoru prováděna analogově, PID regulace je prováděna digitálním signálovým procesorem (DSP) a VCO je nahrazen obvodem přímé digitální syntézy signálu (DDS) řízeným přes rychlé sériové komunikační rozhraní z DSP.



Obr. 2: Blokové schéma navrženého zapojení elektroniky pro stabilizaci optické linky, kde je analogový regulátor a napětím řízený oscilátor nahrazen digitálním signálovým procesorem a obvodem pro přímou digitální syntézu signálu. *A* – zesilovač; *BP* – pásmová propust; *LP* – dolní propust; *DSP* – digitální signálový procesor; *ADC* – analogově-digitální převodník; *PID* – regulátor realizovaný v softwaru *DSP*; *SPI* – rychlá sériová sběrnice; *DDS* - obvod pro přímou digitální syntézu signálu; *CH 1,2* – výstupní kanály *DDS*; *CAN* – rozhraní sběrnice CAN.

Předpokládáme opět Michelsonovo uspořádání interferometru. Nejdříve je signál z fotodetektoru PD přiveden na vstup IN, kde je následně vybrána užitečná část spektra se záznějem pomocí pásmové propusti BP v okolí frekvence 160 MHz. Tato frekvence odpovídá dvojnásobku budící frekvence $f_{ref} = 80$ MHz modulátoru AOM. Upravený signál je dále zesílen zesilovačem A se ziskem cca 25 dB a znovu filtrován pásmovou propustí BP. Ve směšovači je signál násoben referenčním signálem o stabilní frekvenci $f_{ref} = 160$ MHz generovaným kanálem CH2 obvodu digitální syntézy DDS. Výsledkem je demodulovaný signál, jehož nízkofrekvenční složka $\varepsilon(t)$ je úměrná fázovému posuvu vstupního IN a referenčního signálu f_{ref} . Ta je ze signálu oddělena dolní propustí LP a dále zpracovávána procesorem DSP. V obslužném softwaru DSP je realizován algoritmus digitálního PID kontroléru, který prostřednictvím rozhraní SPI řídí frekvenci f_{AOM} signálu generovaného kanálem CH1 obvodu DDS, který budí akustooptický modulátor. Střední hodnota f_{AOM} je 80 MHz, ta je pak dále korigována o hodnotu regulačního zásahu $f_{PID}[\varepsilon(t)]$, který působí proti Dopplerovskému posuvu optické frekvence na optické trase.

Realizovaná elektronika je zdokumentována na Obr. 3. Vysokofrekvenční část zapojení je založena na modulech vyráběných firmou MiniCircuits, digitální signálový procesor je DSP 56F8365 od výrobce Freescale, obvod pro přímou digitální syntézu je typ AD9959 od výrobce Analog Devices.



Obr. 3: Fotografie realizované elektroniky. Levá část obsahuje analogové bloky pro zpracování radiofrekvenčního signálu (filtrace, zesílení a fázová detekce). V pravé části jsou desky s 4-kanálovým DDS obvodem AD 9959 a digitálním signálovým procesorem DSP 56F8365.

Výhodou řešení využívajícího digitální zpracování a syntézu signálů je jeho variabilita a jasně matematicky definované parametry. Vzorkovací frekvence DDS může být odvozena od přesného radiofrekvenčního normálu, jako jsou např. GPS řízený stabilní oscilátor, rubidiové hodiny, H-maser apod. Obvod AD9959 dovoluje generovat 4 synchronně vzorkované signály v rozsahu 0 – 250 MHz. Námí realizované zapojení tak po nezbytné úpravě analogové části může pracovat i s jinými frekvencemi než 80 a 160 MHz uvedenými výše. Šířka pásma regulace pomocí DSP je až 100 kHz, což je hodnota dostačující pro kompenzaci většiny fluktuací optické frekvence způsobených především pomalými teplotními změnami nebo vibracemi v řádu max. jednotek kHz. Pro nastavování parametrů regulace a sledování činnosti obslužného softwaru procesoru je zařízení vybaveno rozhraním sběrnice CAN s protokolem CANopen, což umožňuje plnou vzdálenou správu systému.

LITERATURA

- [1] Marra, G.; Margolis, H. S.; Richardson, D. J. Dissemination of an optical frequency comb over fiber with 3×10^{-18} fractional accuracy, *Opt. Express* 20, 1775-1782 (2012)
- [2] Šmíd, R.; Čížek, M.; Mikel, B.; Číp, O. Frequency Noise Suppression of a Single Mode Laser with an Unbalanced Fiber Interferometer for Subnanometer Interferometry. *Sensors* 2015, 15, 1342-1353.

Poděkování

Autor vyjadřuje tímto poděkování za podporu projektu GA ČR, č. GA14-36681G.

MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI REFERENČNÍCH BODŮ

Petr Jedlička¹, Martin Čížek¹, Lubomír Staš², Josef Malík²

¹ Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i., Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika, www.isibrno.cz

² Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika, www.ugn.cas.cz

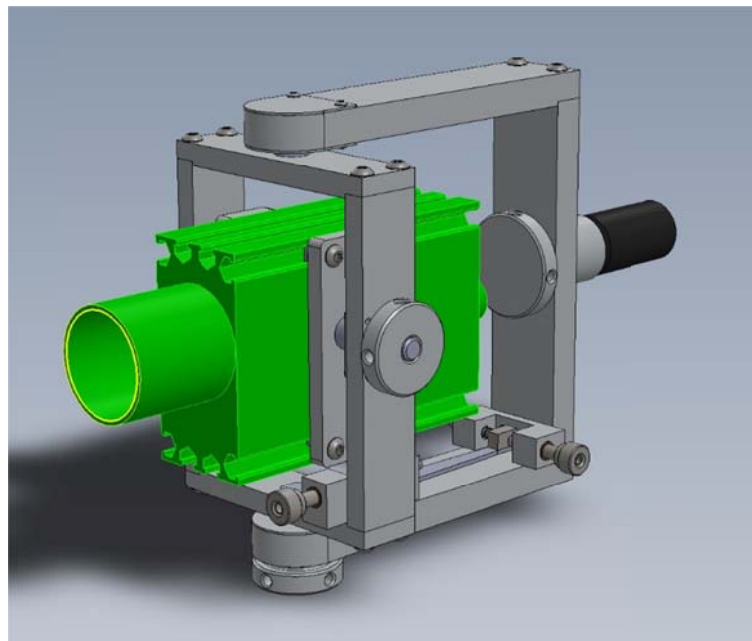
Obor: Laserové měření vzdáleností, lidar, geomechanika.

Popisované zařízení vzniklo ve spolupráci Ústavu geoniky AV (UGN) a Ústavu přístrojové techniky AV (UPT). Pracovníci UGN v rámci svého výzkumu napětíových a deformačních stavů horského masivu potřebují zjišťovat a měřit m.j. deformace a změny přirozených, ale zejména uměle vytvářených podzemních prostor jak při jejich budování, tak i dlouhodobě po ukončení stavby. Toto měření se provádí pomocí sítě referenčních bodů realizovaných zalepenými ocelovými svorníkovými tyčemi se závitem. Konce těchto svorníků tvoří v měřeném úseku díla síť měřicích bodů. Mezi jednotlivými body je potřeba opakovaně měřit vzdálenosti, ze kterých se vypočítává deformace díla, a následně v závislosti na geomechanické situaci i změna distribuce napětíového pole. Tato měření probíhají v období i několika let.

Stávající metoda měření je založena na používání speciálního komparovaného pásma, které je před každým měřením justováno v kalibračním rámu. Každé měření vzdálenosti takovýmto pásmem vyžaduje opakovanou mechanickou montáž odečítacího zařízení a konce pásma na oba referenční body. V případě špatně dostupných referenčních bodů (ve výškách apod.) je měření velmi komplikované. Cílem výzkumu bylo vyvinout metodu využívající měření laserem, které by bylo spolehlivější, rychlejší a jednodušší.

Jádrem systému je lidarový měřič vzdálenosti od firmy Mikro-Epsilon, typ ILR1181, který má dosah 0,1 až 150 m, rozlišení 0,1mm. Také jeho další parametry jako spotřeba (kolem 1W), mechanické rozměry (210 mm x 99 mm x 51 mm) a hmotnost (980 g) jsou pro toto použití vhodné.

Pro montáž lidarů jsme navrhli dvouosý závěs. Ten zajišťuje, že osa svazku měřicího laseru, osa rotace i osa montáže prochází jedním bodem.



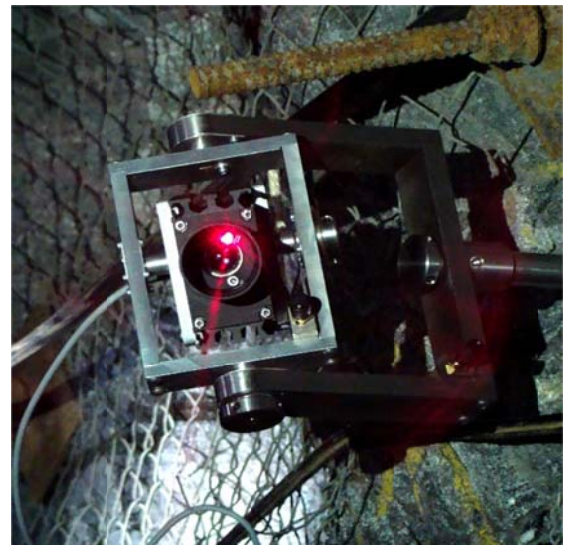
Jako odražeč je použita lesklá kulička z nerezové oceli. Svazek laseru odražený od kulového povrchu je divergentní, kuželový. Zpět do objektivu lidarů se vrátí ta část světla, která se odrazila od elementu povrchu koule, který je kolmý na směr dopadu svazku. Tím je dosaženo dvou významných efektů:

1. Podle intenzity odraženého světla lze nastavit směřování lidarů.
2. Lidar měří z jakéhokoli směru vždy proti středu koule.

Po započítání příslušných délkových korekcí získáme vzdálenost mezi bodem rotace závěsu laseru a středem kulového odražeče a to pro libovolný směr měření. Toto je zásadní pro opakovatelnost měření a další matematické zpracování výsledků.

Nastavení směru lidarů se provádí nahrubo přímým natočením lidarů rukou a dotažením aretačního šroubu. K jemnému nastavení slouží mikrošrouby s pákovým převodem. Lidar nastavujeme podle intenzity odraženého světla a rozptylu změřených hodnot.

Při měření je lidar připojen k PC pomocí kabelu, kterým se řeší napájení i komunikace. V počítači běží vyhodnocovací SW, který komunikuje s lidarem, ukládá naměřená data a spočítá základní statistické údaje potřebné pro posouzení správnosti měření přímo v terénu. Data se ukládají ve formátu .CSV a finální zpracování probíhá jiným programem (Ms Excel, Matlab, Oo Calc, apod.).



Závěr

Zařízení bylo otestováno a použito při prvních měřeních. Byly provedeny drobné úpravy (prodloužení upevňovací tyče, doplnění SW). V dalším kroku je v plánu vyzkoušet směřování pomocí servomotorů a kamery namontované na objektiv lidarů.

Poděkování:

Děkujeme za podporu projektům MPO-TIP FR-TI3/579 Výzkum sdružených procesů v horninovém prostředí a vývoj metodik pro posuzování dlouhodobé stability podzemních děl a RVO:6814553.

Další oblasti zájmu:

- Měření vzdáleností laserem
- Elektronika pro měřicí systémy

KOMPAKTNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ FLUORESCENCE OPTICKÝM VLÁKNEM V MIKROFLUIDNÍCH ČIPECH

Jan Ježek, Zdeněk Pilát, Pavel Zemánek

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

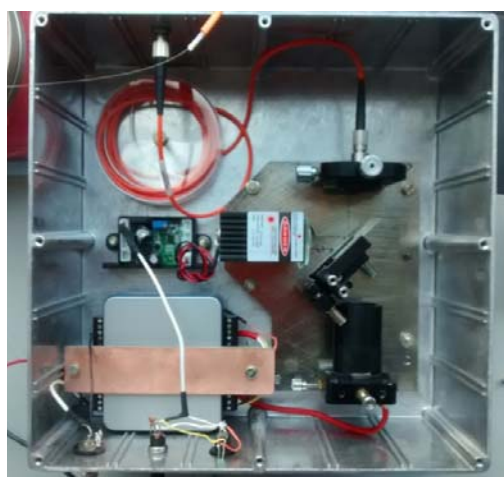
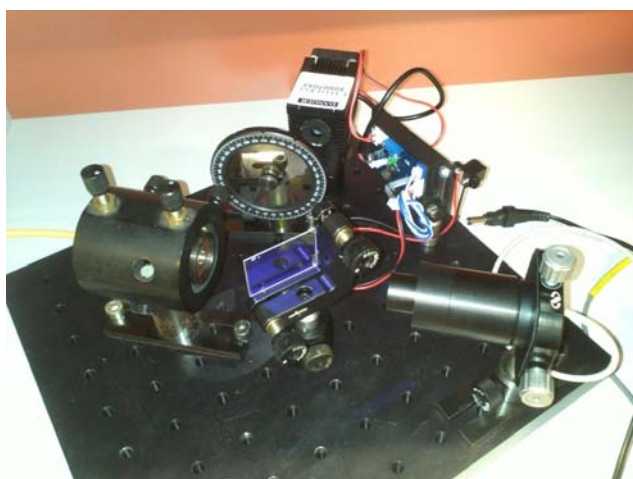
Královopolská 147, Brno 612 64

Tel.: +420 541 514 282, E-mail: jezek@isibrno.cz, WWW: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

Obor: Vlákenná optika, laserové systémy, mikrofluidní čipy, mikrokapénky, spektroskopie

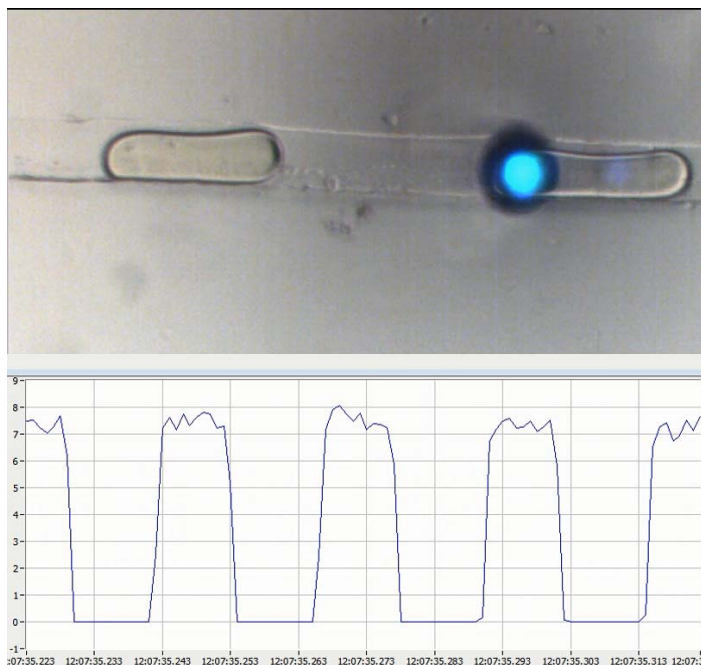
V současné době mnoho chemických a biologických oborů využívá pro své pozorování různé formy spektroskopie. Jednou z nejrozšířenějších metod je fluorescenční spektroskopie. Mnoho biologických objektů je možné označit fluorescenční látkou a následným pozorováním a vyhodnocením emisních spekter se určuje např. rychlost reakcí, koncentrace daných látek, poloha označených struktur v objektu, atd. Zároveň se v posledních pěti letech se začaly bouřlivě rozvíjet mikrofluidní techniky, které využívají mikrofluidní platformy kanálků, kterými protéká nosná kapalina, která unáší kapénky o průměru od jednotek po desítky až stovky mikrometrů. Tyto kapénky nemísitelné s nosnou kapalinou slouží jako kapalné mikrokontejnery obsahující analyzovaný vzorek a nezbytné reagenty. Tyto kapénky lze, pomocí speciální mikrofluidních technik, dále dělit (paralelizace procesu bez navýšení množství vzorku a chemikálií), fúzovat kapénky s různým obsahem (řízené spouštění chemických reakcí), vysokou rychlostí měnit koncentrace reaktantů v kapénce (koncentrační gradienty), apod.

V našem příspěvku představujeme zařízení, které kombinuje fluorescenční spektroskopii s vláknovou optikou. Zařízení umožňuje vysokou rychlostí (v řádu kHz) detekovat fluorescenční signál přicházející ze zkoumaného vzorku, do kterého lze vložit optické vlákno, např. z mikrokapénky proudící v mikrofluidním čipu, z kapaliny tekoucí průhlednou kapilárou, apod. Zařízení využívá laserovou diodu na vlnové délce vhodné k excitaci fluorescence, sadu filtrů pro excitační a emisní vlnovou délku, optiku pro fokusaci laserového záření do optického vlákna a vysoce citlivou rychlou fotodiodu pro detekci fluorescence.



Obrázek 1: Vlevo - prototyp systému o vlnové délce 450 nm. Nahoře je laserový modul, před ním otočný filtr na regulaci prošlého výkonu, vlevo je žluté vlákno, do kterého je laserový svazek veden přes dichroické zrcadlo (uprostřed) a fokusační modul. Vpravo je umístěna lavinová dioda, která detekuje fluorescenci na delších vlnových délkách, která přichází přes optické vlákno. Vpravo – Kompaktní systém pro vlnovou délku 532 nm. Laser je uprostřed, nahoře je optické vlákno s kolimační čočkou, dole fotodioda s měřicí kartou a mezi nimi dichroidní zrcadlo.

Naše sestava (viz. Obr. 1) je složena z laseru o vlnové délce 450nm, laser je odražen dichroidním zrcadlem odrážejícím vlnové délky kratší než 460 nm a fokusován do multimodového optického vlákna s jádrem o průměru 50 μm . Toto vlákno slouží jako excitační a zároveň i pro sběr emisního záření. Emisní signál je po průchodu filtrem zaostřen na lavinovou diodu FirstSensor. Signál z lavinové diody je veden do zesilovače (OP177), A/D převodníku National Instruments a zpracován s využitím LabView Signal Express.



Obrázek 2: Kombinace záběru z CCD kamery na procházející kapénky v čipu a časový průběh fluorescence kapénky zaznamenaný lavinovou diodou pro systém s jedním optickým vláknem. Jasný modrý bod je svazek excitačního laseru.

Toto zařízení jsme testovali na zjišťování koncentrace fluoresceinu ve vodních kapénkách nesených v oleji. Kapénky byly vygenerovány mikrofluidním čipem, který umožňoval plynulou změnu koncentrace fluoresceinu v kapénkách. Nad výstupní kanálek mikrofluidního čipu jsme vložili optické vlákno a detekovali jsme procházející kapénky. Ze záznamu ve spodní části obrázku 2 je zřetelný nárůst a pokles fluorescence, jak kapénka prochází pod vláknem. Při kontinuální změně koncentrace fluoresceinu v kapénce jsme byli schopni v reálném čase monitorovat změnu fluorescence a kvantifikovat jeho koncentraci. Nyní máme připravený systém osazený laserem o vlnové délce 532 nm, který bude sloužit na sledování chemických reakcí různě koncentrovaných látek s buněčnými strukturami nesenými v mikrokapénkách.

Autoři děkují za podporu TAČR (TA03010642) a MŠMT a EC (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Tvorba PDMS mikrofluidních systémů „soft litografií“
- Optická pinzeta a její využití
- Návrh a konstrukce mechanických komponent pro optické systémy
- Ramanovská mikrospektroskopie
- Fotopolymerace mikrostruktur
- Digitální mikrofluidika

SUPERCONTINUUM LASER PRO OPTICKOU KOHERENTNÍ TOMOGRAFII



Martin Klečka

OptiXs, s.r.o.

Křivoklátská 37, 199 00 Praha 9 Tel.: +420 607 014 278 E-mail: klecka@optixs.cz

Obor: Optická koherentní tomografie s bílým laserem

Společnost OptiXs, s.r.o. se zabývá komplexními dodávkami přístrojové techniky pro vysoce přesnou metrologii a výzkum od předních světových výrobců. Díky odborným znalostem našich pracovníků je schopna poskytnout služby začínající formou poradenství, dodáním systému a končící dlouhodobou údržbou zařízení a aplikační podporou.

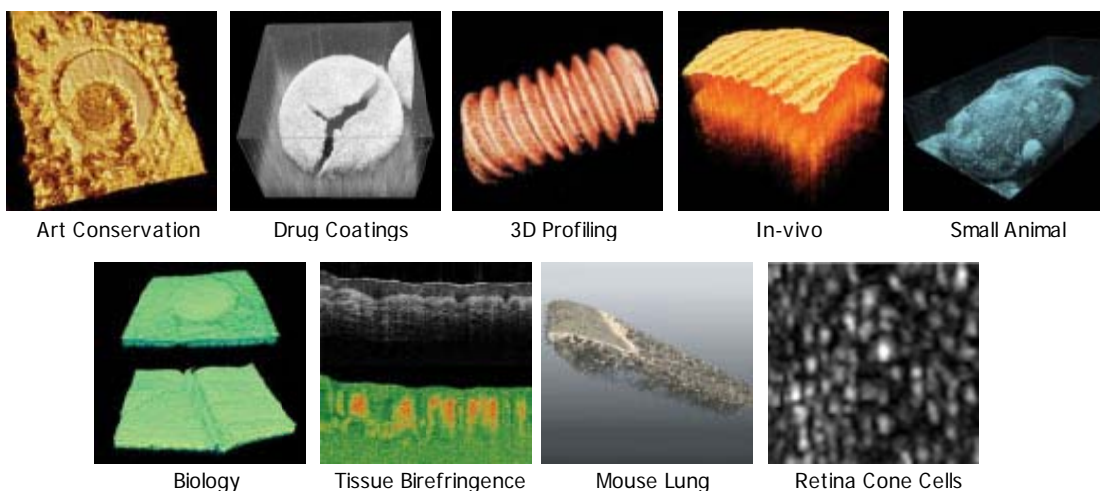
V nedávné době došlo ke spolupráci firem Thorlabs a NKT Photonics v oblasti optické koherentní tomografie (OCT) výsledkem čehož je v mnoha ohledech unikátní řešení, které již nyní našlo uplatnění v bio zobrazování.

Tato technologie však může najít uplatnění i v dalších oblastech nedestruktivního testování a zobrazování.

Optical Coherence Tomography (OCT) is a noninvasive optical imaging modality that provides real-time, 1D depth, 2D cross-sectional, and 3D volumetric images with micron-level resolution and millimeters of imaging depth. OCT images consist of structural information from a sample based on light backscattered from different layers of material within the sample. It can provide real-time imaging and is capable of being enhanced using birefringence contrast or functional blood flow imaging with optional extensions to the technology.

Thorlabs has designed a broad range of OCT imaging systems that cover several wavelengths, imaging resolutions, and speeds, while having a compact footprint for easy portability. Also, to increase our ability to provide OCT imaging systems that meet each customer's unique requirements, we have designed a highly modular technology that can be optimized for varying applications.

Application Examples



VELKOPRŮMĚROVÁ KOMPOZITNÍ LASEROVÁ ADAPTIVNÍ OPTIKA

Viliam Kmetík¹, Bohumil Vítovec¹, Lukáš Jiran^{1,2}, Šárka Němcová², Josef Zicha², Lenka Mikuličková³, Richard Pavlica³, Adolf Inneman⁴

¹ Ústav fyziky plazmatu AVČR v.v.i., Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha 8

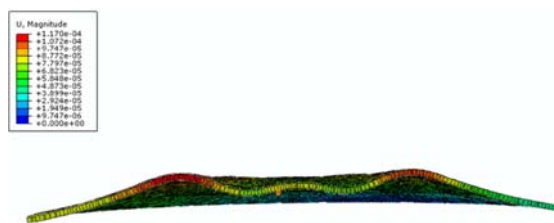
Tel.: (+420) 266 052 857, e-mail: kmetik@pals.cas.cz, web: <http://www.ipp.cas.cz/cz>

² Ústav přístrojové a řídicí techniky, FS ČVUT v Praze, ³ 5M s.r.o., Kunovice,

⁴ Rigaku Innovative Technologies Europe s.r.o., Praha

Obor: Adaptivní Optika

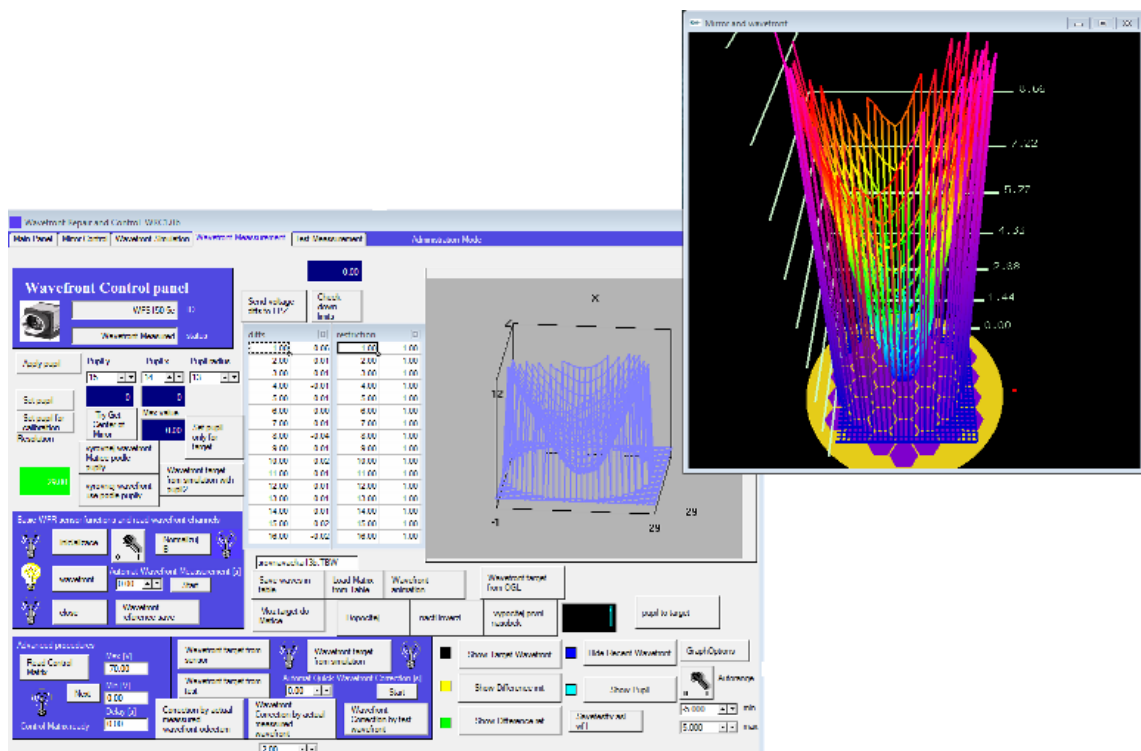
Použití lehkých a pevných kompozitních materiálů pro bimorfnní deformovatelné zrcadlo (BDM) umožnilo realizaci velkoprůměrové laserové adaptivní optiky. BDM bylo navrženo a modelováno s pomocí kompletní numerické simulace struktury vytvořené za tímto účelem a ověřené souborem měření a testů. Pro dosažení dostatečně velkého BDM byly vyvinuty



Obr. 1. Simulace BDM 300 mm



Obr. 2. Realizované BDM 300 mm



Obr. 3. GUI originálního software pro řízení AO

nové technologie výroby pružného jádra, keramického aktuátoru a tenkostěnného zrcadla. Byl realizován unikátní vysokonapěťový multikanálový budič BDM a vytvořen originální systém řízení AO v programovém prostředí ControlWeb. Prototyp velkého BDM s kompozitním jádrem o průměru 300 mm s 61 elektrodami byl vyroben a testován.

Značné úsilí bylo věnováno vývoji a ověření vlastního numerického modelu pro simulaci a návrh struktury zrcadla realizované v programu Abacus. Pomocí tohoto modelu byly navrženy jednotlivé komponenty BDM a též proběhla optimalizace BDM v plně integrované struktuře. Výstup simulace byl ověřován měřeními na jednotlivých vzorcích zrcadel od jednoduchých modelů přes zmenšené modely finální architektury až po měření prototypu. Kontaktní měření bylo prováděno pomocí Taylor-Hobson profilometru a optické měření pomocí Shack-Hartman senzoru a holografické interferometrie. V laboratoři PALS bylo vybudováno testovací pracoviště velkopřůměrové adaptivní optiky s S-H senzorem a vlastním vyhodnocovacím software. Zde byl realizován kompletní AO systém s BDM a vlastním řízením. S použitím vlastního software WRC tento systém prokázal schopnost BDM vybudit jak fundamentální vlnoplochy, tak i volitelnou deformaci a umožnil též statickou i dynamickou korekci deformované vlnoplochy.

Tato práce byla realizována s podporou TAČR v projektu TA01010878.

Ústav fyziky plazmatu AVČR v.v.i., Praha (www.ipp.cas.cz) se věnuje nízko i vysokoteplotnímu plazmatu a podílí na výzkumu a vývoji řízené termojaderné fúze, využití elektrických výbojů, interakci plazmatu s jinými skupenstvími hmoty, likvidaci odpadů v proudu plazmatu, procesů plazmového střikání. Součástí ÚFP je centrum pro ultrapřesnou a speciální optiku TOPTEC a laserový systém PALS určený pro generaci a výzkum vysokoparametrového laserového plazmatu.

Ústav přístrojové a řídicí techniky, odbor Přesná mechanika a optika, Fakulta strojní Českého vysokého učení technického v Praze (control.fs.cvut.cz) zajišťuje výuku v akreditovaných oborech bakalářského, magisterského i doktorského studia Informační a automatizační technika, Optomechanika, Technická kybernetika a její pracovníci se podílí na výzkumu a vývoji v řadě řešených projektů jako např. Detekce axionů pomocí laserových experimentů, Mobilní měření, komprese a syntéza obrazu pro prostorově proměnnou odrazivost materiálů, Měřič rozložení tahu kovového pásu.

5M s.r.o., Kunovice (www.5m.cz) podniká v oboru kompozitů a sendvičů, tj. materiálů a komponentů pro pokrokové a inovativní výrobky nebo aplikace. Zabývá se vývojem a výrobou těchto materiálů i konečných výrobků, kdy se orientuje především na speciální a náročné aplikace. Většina výrobků pochází z vlastního vývoje, příp. vychází ze spolupráce s výzkumnými ústavami nebo univerzitami.

Rigaku Innovative Technologies Europe s.r.o., Praha (www.rigaku.com) je evropskou pobočkou firmy Rigaku Corporation a věnuje se designu, vývoji a výrobě rentgenových zdrojů, detektorů a optiky a dalších vědeckých produktů pro výzkum a průmysl.

AMPLITUDOVĚ FÁZOVÁ VORTEXOVÁ MASKA

**Stanislav Krátký, Petr Meluzín, Michal Urbánek, Milan Matějka,
Jana Chlumská, Miroslav Horáček, Vladimír Kolařík**

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i. Královopolská 147, Brno
541 514 525, kratky@isibrno.cz, www.isibrno.cz, ebl.isibrno.cz

Obor: elektronová litografie, fotošablony

Problematiku fázových masek jsme prezentovali již na předchozích ročnících této konference: počítačem generované hologramy [1] a fázové masky pro přípravu vláken s Braggovými mřížkami [2]. V tomto příspěvku se zaměříme na prezentaci výsledků dosažených při přípravě skleněné masky pomocí elektronové litografie, která na jedné podložce kombinuje dvě části; amplitudovou část a fázovou část vortexové masky [3], [4]. Obě dvě části jsou připraveny elektronovou litografií. Popis funkčních optických vlastností realizované masky by byl značně nad rámec tohoto příspěvku, a proto se připravuje k samostatné publikaci.

Na jedné pětipalcové skleněné podložce byla realizována sada několika masek různých variant (různé geometrické rozměry a různý fázový zdvih pro naladění na požadovanou vlnovou délku).

Amplitudová část masky (dvě tenká propustná mezikruží, viz Obr. 1 vlevo) je připravena standardním postupem. Výchozí skleněná destička je pokovena opticky nepropustnou vrstvou chrómu a tenkou vrstvou elektronového rezistu (PMMA, tloušťka ~ 400 nm). Po provedení expozice a vyvolání rezistové (binární) masky se selektivně odstranila vrstva chrómu pomocí mokrého leptání. Současně s přípravou amplitudové části masky byly rovněž exponovány tenké rysky pro finální rozdělení podložky na jednotlivé optické prvky. A dále bylo nutné vytvořit registrační (soukrytovací) značky pro přesné pozicování druhé expozice. Před druhou expozicí byly odstraněny zbytky amplitudové rezistové masky a skleněná destička byla ovrstvena tlustou vrstvou rezistu (PMMA, tloušťka ~ 2500 nm), v níž bude realizována fázová část masky.

Fázová část masky, dvě mezikruží s protisměrným fázovým zdvihem (viz Obr. 1 uprostřed), byla realizována přímo v rezistové vrstvě pomocí stupňovité (*greyscale*) litografie. Fázového zdvihu λ je dosaženo různou tloušťkou rezistu podél střední čáry daného mezikruží Δz . Potřebná změna tloušťky rezistu pro z-úrovňovou strukturu realizovanou na rozhraní vzduchu a prostředí s indexem lomu n_1 je dána vztahem:

$$\Delta z = \lambda \frac{1}{n_1 - n_0} \frac{z - 1}{z} .$$

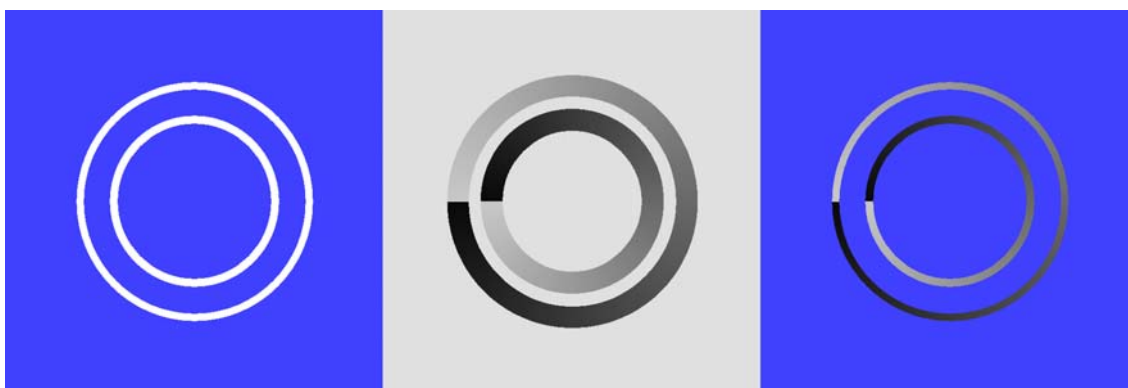
Konkrétně, například pro vlnovou délku $\lambda = 632$ nm, index lomu PMMA na této vlnové délce $n_1 = 1.489$ a 64 úrovňovou strukturu dostaneme $\Delta z = 1272$ nm. Pro dosažení požadovaných hloubek struktury bylo podstatné jednak správné určení expozičních dávek a jednak přesné dodržení technologického postupu při selektivním rozpouštění rezistové vrstvy. Kromě variant masek uvedených v úvodu byly rovněž zkoušeny varianty s různým počtem úrovní: 8, 16, 32 a 64. Předběžná optická měření ukázala [4], že pro dosažení kvalitního výsledku není až tak podstatný počet úrovní struktury, ale přesnost naladění struktury na danou vlnovou délku, tedy přesnost procesu vyvolávání fázové masky a dosažení požadovaného hloubkového rozdílu. Ke druhé expozici ještě dodejme, že před vlastní expozicí bylo nutné zvodivění

povrchu rezistu tenkou kovovou vrstvou a odstranění této vrstvy před začátkem vyvolávání rezistu. Tato vrstva poněkud snížila kvalitu zobrazení registračních značek. Obr. 2 zachycuje celou skleněnou podložku po dokončení litografických operací. Na Obr. 3 je detail jedné z testovacích masek; barevná mezikruží představují interferenční barvy zbytkového rezistu fázové masky při rozdílném poloměru fázové a amplitudové části masky.

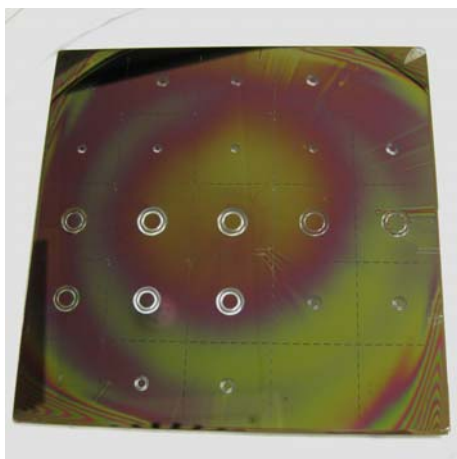
Další využití amplitudově fázových masek může být například při přípravě difraktivních optických elementů resp. počítačem generovaných hologramů.

Reference:

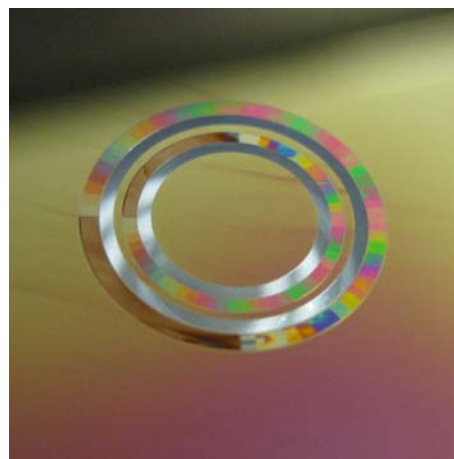
- [1] V. Kolařík, M. Matějka. Počítačem generované hologramy – CGH. *Sborník konference LASER52*, str. 31, ISBN 978-80-87441-08-4.
- [2] S. Krátký, et al. Fázové masky vyrobené elektronovou litografií a iontovým leptáním pro přípravu vláken s Braggovými mřížkami. *Sborník konference LASER54*, str. 31–32, ISBN 978-80-87441-13-8.
- [3] M. Baránek, et al. *Aberration resistant axial localization using a self-imaging of vortices*. Opt Express. 2015 Jun 15;23(12):15316-31. doi: 10.1364/OE.23.015316.
- [4] P. Bouchal, VUT v Brně, osobní komunikace.



Obr.1 Schéma masky (amplitudová část, fázová část a jejich kombinace)



Obr. 2 Sada masek na pětivalcové podložce



Obr. 3 Detailní pohled na jednu zkušební masku (detaily v textu)

Poděkování:

Autoři děkují Ing. Petru Bouchalovi z VUT v Brně za cenné konzultace a Dagmar Giričové za provedení fotodokumentace zhotovených masek.

Práce byla finančně podpořena převážně z těchto zdrojů: projekt ALISI – MŠMT (LO1212) spolu s ES (ALISI č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017), projekt AMISPEC – TAČR TE01020233, a institucionální podpora RVO:68081731.

VÝZKUM OPTICKÉ KOMUNIKACE VOLNÝM PROSTOREM

Zdeněk Kolka, Otakar Wilfert, Viera Biolková, Peter Barcík

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UREL

Technická 12, 616 00 Brno (tel.: 541 146554, e-mail: {kolka|wilfert|biolkova}@feec.vutbr.cz, xbarci00@stud.feec.vutbr.cz, <http://www.feec.vutbr.cz/UREL>, <http://www.urel.feec.vutbr.cz/OptaBro>)

Obor: Optické komunikace

Free-Space Optics (FSO) je bezdrátová technologie pro pozemní spojení na přímou viditelnost, která přenáší data pomocí relativně úzkých svazků modulovaného světla v atmosféře jako přenosovém médiu. Díky použití stejných základních komponentů a stejných vlnových délek jako u vláknových systémů dosahuje technologie FSO srovnatelných přenosových kapacit a dokonce umožňuje použít techniky WDM.

Systémy FSO, jejichž vojenské využití sahá před druhou světovou válku, se začaly objevovat ve veřejném sektoru na počátku devadesátých let minulého století. V současnosti jsou již běžně dostupné spoje typu bod-bod s přímou viditelností s kapacitou 1 Gb/s nebo 10 Gb/s (Ethernet) pro nasazení v městských sítích k překlenutí vzdáleností do několika kilometrů. V oblasti používaných vlnových délek dochází k postupnému přechodu od pásma 850 nm do oblasti 1500 nm z důvodu snadnějšího dosažení vyšších vysílacích výkonů za použití vláknových zesilovačů a z důvodu vyšších dovolených výkonových úrovní s hlediska ochrany zraku. Z hlediska omezení cenou dostupných laserových zdrojů, fyzikou atmosféry a hygienickými normami, dosáhla klasická konstrukce zařízení FSO svého limitu.

Celosvětový vývoj vysokokapacitních komunikačních sítí nyní směřuje k plné fotonizaci, kdy dochází k postupnému odbourávání elektro-optické (E/O) konverze signálu na přenosové trase. Proto se v současné době výzkumný tým na UREL FEKT VUT v Brně věnuje vývoji plně fotonického systému FSO. Koncept plně fotonické sítě nabízí nový pohled na technologii FSO. Nyní se jedná o jedinou bezdrátovou technologii, která je schopna poskytnout fotonické služby.

Optický spoj je rozdělen na vnitřní jednotku (FSO-IDU) a vnější jednotku (FSO-ODU). Vnější jednotka je koncipovaná jako opticky transparentní. Obsahuje pouze elektroniku pro hrubé a jemné směřování. Vysílaný a přijímaný signál je veden optickými vlákny do vnitřní jednotky, která může být koncipována jako opticky transparentní nebo jako E/O převodník pro připojení na klasickou síť.



Experimentální FSO-IDU



Instalace FSO-ODU na střeše budovy FEKT

Pro testovací účely byla sestavena experimentální jednotka FSO-IDU, která obsahuje gigabitový transceiver na vlnové délce 1550 nm osazený na desku s obvodem FPGA pro měření chybovosti. Výstupní optický signál modulu je zesilován optovlákonovým zesilovačem (EDFA) na úroveň 100 mW (20 dBm). Použitý detektor na bázi lavinové fotodiody má prahovou úroveň -36 dBm. Jednotka umožňuje testovat optickou trasu s útlumem až 50dB.

Experimentální jednotka FSO-ODU je postavena na univerzální směrovací platformě používané i pro jiné typy spojů. Hrubé směřování zajišťují krokové motorky v režimu microstepping s krokem na úrovni 5 μ rad. Spoj je instalován mezi budovou VUT Technická 12 a budovu Mendelovy univerzity Zemědělská 3. Délka atmosférické trasy je 3,5 km.



Vnitřní uspořádání jednotky FSO-ODU.

Experimentální jednotka FSO-ODU obsahuje přijímací optiku na bázi zrcadlové soustavy typu Cassegrain s průměrem hlavního zrcadla 120 mm, která se vyznačuje menší sférickou vadou ve srovnání s cenově odpovídajícím čočkovým objektivem stejné velikosti. Po stranách přijímacího tubusu jsou umístěny vysílací tubusy o průměru 1". Na platformě je umístěna elektronika, která zajišťuje hrubé a jemné směřování přijímače.

Vývojové práce jsou v současné době zaměřeny na minimalizaci vazebního útlumu do jednomódového vlákna v optickém přijímači. Jedná se o problematiku, kde řešitelský tým uvítá případnou spolupráci.

Popsané výzkumné aktivity jsou podpořené mj. grantovými projekty TA ČR č. TH01011254-*Soubor prvků pro fotonickou komunikaci* a MŠMT č. LD12067 - *Modelování šíření optických vln v atmosféře* v rámci akce COST IC1101.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Modelování průchodu optického svazku atmosférou, analýza rozptylu, turbulence a časové disperze u atmosférických optických spojů.
- Vývoj plně fotonické technologie FSO.
- Generování negaussovských svazků, řešení otázek difrakce.
- Měření, klasifikování a potlačení vlivu atmosférické turbulence na kvalitu přenosu atmosférickým optickým spojením.
- Praktický vývoj atmosférických optických spojů pro experimentální účely.

VYUŽITÍ TERMOGRAFIE PŘI APLIKACÍCH R&D

David Kuboš

“TMV SS“ spol. s r. o.
Studánková 395
149 00 Praha 4 – Újezd
+420 272 942 720
david.kubos@tmvss.cz
www.tmvss.cz

Obor: technik specialista termografie

Vědci, vývojáři a pracovníci výzkumných center používají v současné době termografické systémy pro nalezení řešení různých výzev, které jsou ostatními prostředky neřešitelné nebo pro nalezení správného řešení velice obtížné. Každodenním používání infračervené techniky dochází ke zdokonalení výzkumných výsledků a obrovské úspoře drahocenného času potřebného k různým fázím výzkumu.

Univerzitní výzkum, výzkumná a vývojová centra, akademie věd

Biologický výzkum

Termografie je velmi přesná, vyhodnotitelná, bezkontaktní diagnostická metoda využívaná pro vizualizaci a kvantifikaci povrchových teplotních změn. Aplikace zahrnují cévní vyšetřování, stav tkání, posuzování svalového pnutí nebo detekce míst podkožních krvácení.

Studie rychlých pohybů

Infračervené vysokorychlostní zobrazování díky mikrosekundovým expozičním časům detektorů dokážou zastavit zdánlivý pohyb dynamické scény a zachytit snímek mnohonásobně převyšující rychlost 10.000 snímků za sekundu. Takovéto požadavky vyplývají z výzkumných aplikací v oblastech balistiky, supersonických projektilů, výbušnin, procesu spalování, laserů apod.

Infračervená mikroskopie

Termografická kamera v kombinaci s mikroskopem se stává teplotním zobrazovacím mikroskopem se schopností přesného teplotního měření objektů velikosti až 3 μ m. Vývojoví pracovníci využívají termografický mikroskop pro bezkontaktní výzkum teplotních projevů komponentů a polovodičů.

Analýza jevů širokých teplotních rozsahů

Měření teploty plasmy vyžaduje disponovat kamerou umožňující tzv. rolující integrační čas a dynamické rozšíření rozsahu v reálném čase. Jde tedy o možnosti zachycení teplotních jevů od nízkých po extrémně vysoké teploty.

Testování materiálů, NDT

Únavové zkoušky

TSA – Thermal Stress Analyzing jsou velice častými metodami při výzkumu materiálů, avšak poskytují limitované informace komplexních struktur materiálů. TSM – Thermal Stress Mapping poskytují zároveň tisíce informací únavových měření, dokonce i na geometricky

složitých komponentech. Ve srovnání s tenzometry poskytuje tento přístup mnohem rychlejší a ucelenější informace.

Testování kompozitů

Infračervená NDT může detekovat interní defekty vzorku díky externí excitaci a následnému pozorování teplotních změn na povrchu. Jde o cenný nástroj pro detekci dutin, delaminace nebo obsahu vody v kompozitním materiálu.

Měření fotovoltaických panelů

Solární panely mohou vykazovat defekty vedoucí k elektrickému zkratu. Po zatížení FV panelu je možné tyto defekty lokalizovat metodou Lock-in termografie. Provedena může být Lock-in fotoluminiscence kamerami NIR – near-infrared.

Detekce prasklin

Lock-in termografie částí náchylných k prasknutí se provádí pořizováním termogramů termokamerou synchronizovanou s frekvencí ultrasonické energie vstupující do měřeného objektu (ultrazvuková termografie). Tření na povrchů ploch prasklin vytváří teplo v místech jemných prasklin a zlomenin, které je možné zobrazit bez nutnosti aplikace barviv či penetrantů. Tato forma NDT umožňuje inspekci rozlehlých nebo komplexních částí objektů bez UV záření.

Měření mostů

I zde se využívá NDT multisenzorová metoda identifikující zhoršující se betonové oblasti a následně vypočítávající kvantitativní index, který určuje stupeň zhoršení každého rozpětí/pruhu mostu. Tato metoda napomáhá lépe predikovat vývoj poškozování mostního povrchu a odhadnout potřeby a náklady na opravu.

Měření elektronických komponentů a DPS

Testování elektronických komponentů a DPS termografickými kamerami je běžnou metodou zobrazování a identifikování anomálií velikosti bodů až 3.5 μ m. Díky vysokému rozlišení velikosti bodů několika mikronů je možné snížit čas testování a zdokonalit design během vývojového cyklu produktu.

Průmyslové R&D

Automobilový průmysl

Automobilový průmysl je rychle rostoucí odvětví, kde je cílem vyrábět účinnější, bezpečnější, spolehlivější a vysoce výkonné automobily. Termografické systémy napomáhají zdokonalovat design air-bag systémů, zlepšovat účinnosti vytápění a chlazení, kvantifikovat teplotní poměry pneumatik a brzdových systémů, provádět kontrolu kvality spojů a svárů apod.

Laboratorní testy v průmyslu

Klíčovým faktorem úspěchu je přinášet na trh nové produkty co nejrychleji. Nejvýhodnější je využívat termografii v ranné fázi designového cyklu, při verifikaci teplotních modelů, analýze únavových zkoušek produktu atd.

MEASUREMENT OF REAL-TIME GIGACYCLE FATIGUE THROUGH REAL-TIME INTERFEROMETRY

J. Lazar, M. Holá, J. Hrabina and O. Číp

Institute of Scientific Instruments of the Czech Academy of Sciences
Královopolská 147, Czech Republic
joe@isibrno.cz, hola@isibrno.cz, shane@isibrno.cz

Keywords: Optical metrology, metallurgy

Abstract

We present an interferometric method for measurement of strain induced deformation of metal samples in experiments inducing high-cycle fatigue. The motivation is to get real-time information about the deformation of a metal sample under test, its elongation imposed by fast vibrating actuator. Fatigue of materials is a process of degradation of a material due to repeated application of forces which includes nucleation and propagation of cracks and leads to the failure of the component. It may appear in all parts of machines or structures which rotate, vibrate, are repeatedly loaded, are subjected to temperature gradients etc., so statistically, fatigue is implied in about 80% of all industrial failures.

Introduction

The most common fatigue tests consist in cyclic loading of a specimen symmetrically in tension and compression with constant stress amplitude σ_a . The relation between number of cycles to failure N_f and σ_a is called S-N curve or Wöhler curve. The type of fatigue testing is given by the failure mechanism and necessary testing equipment.

High cycle fatigue (HCF) ranges for N_f between 10^5 and 10^8 . Cycling is quasi-elastic, the plastic component of strain is negligible. Cracks nucleation period covers a large majority of fatigue life. Over the range of 10^8 it is possible to talk about Very high cycle fatigue (VHCF) or gigacycle fatigue. Reaching the number of cycles higher than 10^8 in reasonable time necessitates another type of testing devices. They are based on piezoelectronic devices which vibrate with the specimen with frequencies typically between 20-100 kHz. It was found that the conventional fatigue limit is not an absolute safe limit and that the fracture of specimens may appear at $N_f > 10^7$ at stress amplitudes lower than σ_0 . One of the key problems is to measure either stress or strain amplitudes of the sample in loading.

Piezoelectric driving of the sample for HCF and especially VHCF testing produces mechanical resonance. To get the information about strain and elongation of the sample it is necessary to measure the varying length difference directly on the sample. This leads to differential interferometry where the reflective surfaces have to be placed on both ends of the sample. Frequency range of the sample cycling in the tenths of kHz with displacement in tenths of micrometers result in the demand for the bandwidth of the detection chain up to tenths of MHz. This is quite a challenging demand for interferometry that cannot be met with commercial systems.

Optical setup

The most suitable measuring technique proves to be optical measurement offering non-contact position sensing with no influence on the sample and interferometric measurement offers direct traceability. In this case the optimum configuration seems to be a coaxial differential arrangement where the measuring axis of the reference and measuring arms are identical. This follows also the Abbe principle, where the measurement axis is identical with the axis of the measured displacement.

Interferometers designed for measurement with reflection from plane mirror reflectors have to be equipped with auxiliary corner-cube reflectors and operate in two-beam configuration. This compensates for small angle deviations of the target mirror. Even very small tilt at the arc second level would otherwise result in loss of the contrast of the interference signal. We designed a compact differential interferometer for coaxial measurement of elongation of a sample that follows these principles. The interferometer operates with polarization separation of the reference and measuring beams and can be built into an interferometric system either with homodyne or heterodyne detection.

Our design compensates for small tilt of the reflective surfaces of both target mirrors. The key demand that cannot be avoided is for flatness of both mirrors on the scale covering both beams. This is a crucial demand especially for the reference path which passes around the sample. In result the reference mirror has to be a single polished element of a ring circular shape around the body of the sample (Fig. 1).

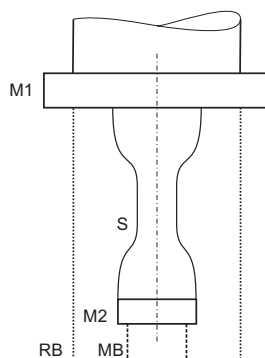


Figure 1 - Arrangement of the reference and end mirror attached to the sample. M1 – ring mirror, M2 – measuring mirror, RB – reference beam, MB – measuring beam, S – sample.

Signal detection

Bandwidth of the detection chain of the interference signal should be up to 100 MHz to cover the speed of motion of the sample under test. We have decided for a homodyne detection system with differential photodetector configuration and DC coupled amplifiers. Extension of the bandwidth can be achieved by proper design of the analogue front-end. The key problem was to find a suitable combination and trade-off between the capacitance of the photodetectors limiting bandwidth and their active surface limiting sensitivity to optical misalignment. The resulting configuration operates up to 50 MHz and during the initial experiments the data were acquired by a fast real-time digital oscilloscope. Processing of the quadrature signal and phase unwrapping was done off-line within limited amount of samples. The system has proven to be able to record 20 kHz sample vibration with amplitude 30 μm in a differential regime.

Acknowledgement

The authors wish to express thanks for support to the grant projects from the Grant Agency of CR, project GB14-36681G, the EMRP project IND58 6DoF which is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union and Technology Agency of CR, projects: TA02010711, TA0101995, TE01020233. The infrastructure for the research was funded by Ministry of Education, Youth and Sports CR, projects LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, and by Academy of Sciences CR, project RVO:68081731.

FILTRÁCIA MÓDOV FEMTOSEKUNDOVÉHO LASERU PRE METROLÓGIU DĹŽKY

Adam Lešundák, Radek Šmíd, *Steven van den Berg and Ondřej Číp

Ústav prístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 61241 Brno, Česká Republika

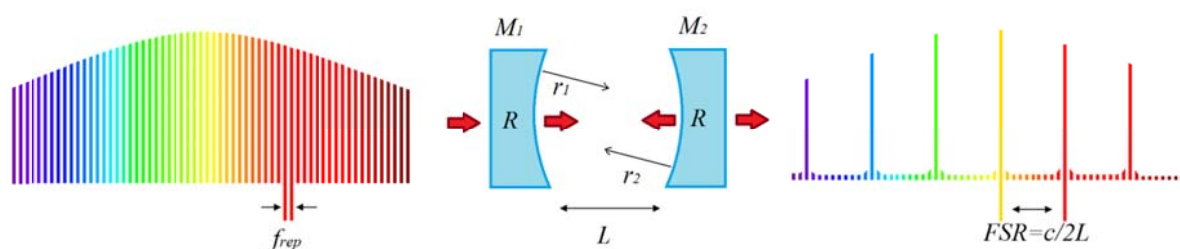
*VSL Dutch Metrology Institute, Thijssseweg 11, 2629 JA Delft, The Netherlands

Email: lesundak@isibrno.cz

Obor: Metrológia dĺžky, spektroskopia, optický frekvenčný hrebeň, optický rezonátor

Obece laser generujúci spektrum pozostávajúce z tisícok vlnových dĺžok, alebo laserových módov, ktorých fázy sú k sebe zviazané takým spôsobom, že všetky módy interferujú za vzniku pulzov s dĺžkou v desiatkach femtosekúnd, sa nazýva „mode-locked“ laser. Začiatkom 21. storočia bola s pomocou mode-locked laserov vynájdená metóda na generáciu laserového optického frekvenčného hrebeňa (laser optical frequency comb), čo je obrazne popísané, laser so spektrom pripomínajúcim hrebeň. Každý n -tý zub takéhoto hrebeňa, alebo n -tý mód takéhoto laseru má optickú frekvenciu f_n , definovanú opakovacíou frekvenciou pulzov f_{rep} a frekvenciou zodpovedajúcej posunu fázy nosnej vlny voči intenzitnému maximu pulzu tzv. „carrier envelope offset frequency“ f_{CEO} . Inými slovami, opakovacia frekvencia pulzov určuje vzdialenosť susedných zubov a ofsetová frekvencia posúva celý hrebeň. Optická frekvencia n -tého módu je teda daná vzťahom: $f_n = nf_{rep} + f_{CEO}$.

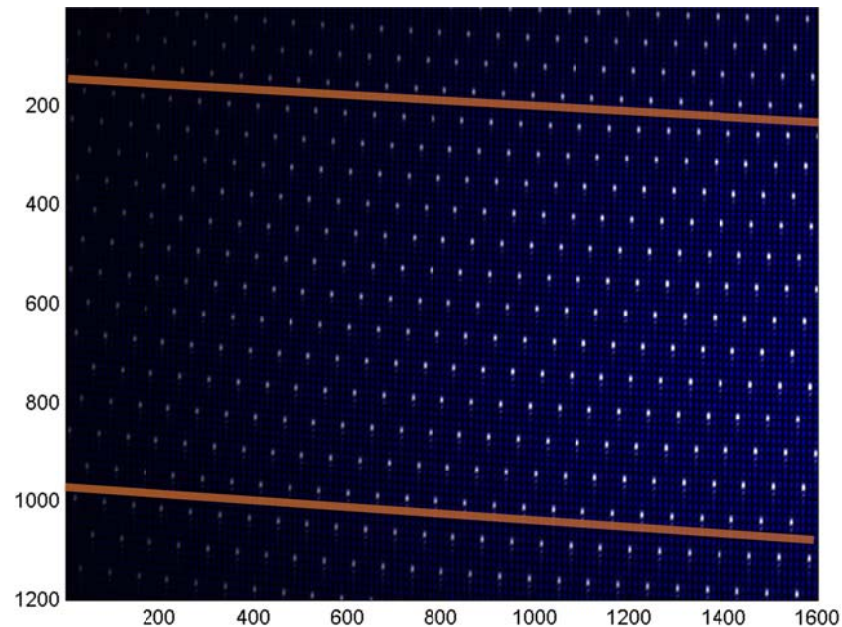
Metóda absolútneho merania vzdialeností založená na interferometrii optického hrebeňa vyžaduje určitú minimálnu opakovaciu frekvenciu alebo, vzdialenosť medzi susednými zubmi, ktorá je daná schopnosťou spektrálneho analyzátoru rozlíšiť jednotlivé komponenty spektra.[1] S použitím VIPA spektrometru je to hodnota približne 1GHz, čo je bežná pulzná frekvencia napr. Ti:Sa laserových systémov, ale príliš vysoká frekvencia pre kompaktné vláknové systémy. Použitie jednoduchšieho spektrometru alebo vláknového laseru teda vyžaduje filtráciu módov frekvenčného hrebeňa optickou cestou, resp. zvýšenie opakovacej frekvencie optickým rezonátorom. Realizácii takýchto rezonátorov sa venujeme v tejto práci.



Obr. 1: Schematické znázornenie selektívneho potlačenia zubov optického hrebeňa optickým rezonátorom s dĺžkou L , tvoreným zrkadlami M_i s polomermi krivosti r_i a odrazivosťou R .

Optický rezonátor Fabry-Perotovho typu je tvorený dvoma paralelnými zrkadlami. Aby došlo k znásobeniu repetičnej frekvencie laseru o faktor m , „free spectral range“ FSR rezonátoru musí spĺňať podmienku $m = FSR/f_{rep}$, pričom platí $FSR = c/2nL$ vid' obr. 1. Pri splnení tejto podmienky vybrané módy spolu konštruktívne interferujú, čo pozorujeme ladením dĺžky kavít pomocou piezočlenov, pričom na výstupe z kavít nachádzame transmisné maximum. Na toto maximum zamykáme dĺžku kavít s využitím pomocnej elektroniky a techniky detekcie 1. harmonickej frekvencie. Kvalita potlačenia intenzity nechcených módov je potom daná zvolenou odrazivosťou zrkadiel R . Aby dochádzalo k efektívnej selekcii módov v celom spektre, reflexné vrstvy na zrkadlách majú chromatickú disperziu blízku nule, čo je

dosiahnuté dielektrickými vrstvami optimalizovanými pre vlnové dĺžky použitého laseru. V prezentovanom prípade sme pracovali s Ti:Sa laserom, ktorý vyžaroval spektrum v oblasti 810-830nm s pulznou frekvenciou $f_{rep}=1\text{GHz}$. Správne zvolenou optikou na tvarovanie zväzku sme dosiahli naviazanie laseru do základného TEM_{00} módu rezonátoru, a taktiež vhodným výberom polomeru krivosti zrkadiel r sme optimalizovali vyššie módy rezonátoru tak, aby nekolidovali s módmi laseru. Príklad spektra filtrovaného rezonátorom s $\text{FSR} = 20\text{GHz}$ a získaného pomocou VIPA spektrometru je na obrázku 2.



Obr. 2.: Priestorovo rozložené spektrum získané pomocou VIPA spektrometru, každý bod reprezentuje jeden mód optického hrebeňa. Vertikálna disperzia je daná VIPA etalónom s $\text{FSR} 50\text{GHz}$ (v tomto smere sa spektrum opakuje po 50GHz , ohraničujú ho červené línie), horizontálna disperzia pochádza z difrakčnej mriežky. Spektrum je zložené z referenčného originálneho 1GHz spektra(modré body) a filtrovaného 20GHz spektra(biele body).

Z technického hľadiska je možné naladiť rezonátor na najvyššie hodnoty $\text{FSR} \sim 25\text{GHz}$. Naladením na neceločíselné násobky FSR je však možno dosiahnuť hodnôt rozostupu vyfiltrovaných módov až do 100GHz , čím sa výrazne zjednodušujú nároky na spektrálnu analýzu interferometrických záznamov.

Pod'akovanie

Autor vyjadruje týmto pod'akovanie za podporu projektu GA ČR, č. GA14-36681G.

Literatúra

[1] van den Berg, S. A., Persijn, S. T., Kok, G. J. P., Zeitouny, M. and Bhattacharaya, N. "Many-Wavelength Interferometry with Thousands of Lasers for Absolute Distance Measurement," *Physical Review Letters*, 108, 183901(2012).

HIGH POWER 2-COLOR PLASMA BASED THZ SOURCE FOR THZ-TDS

D. Lorenc¹, E. Noskovičová², L. Slušná², D. Velič^{1,2}

¹International Laser Centre,

Ilkovicova 3, 84104 Bratislava, Slovakia, www.ilc.sk

²Faculty of Natural Sciences,

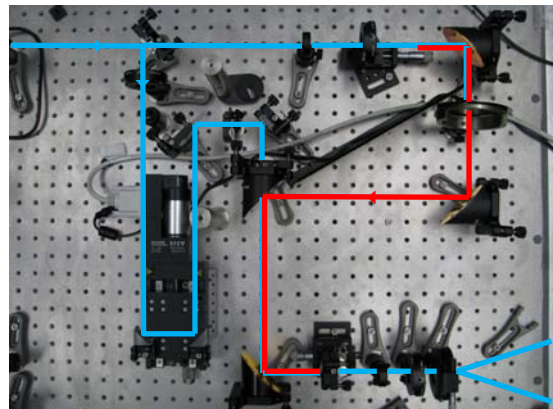
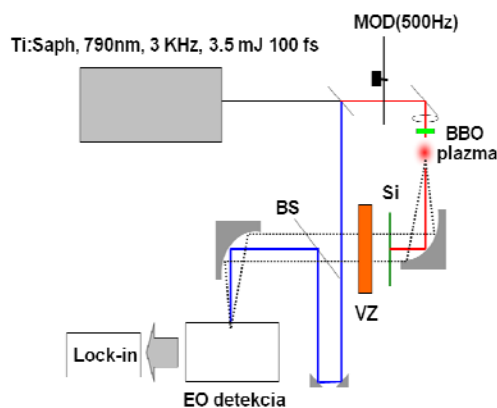
Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 84215, Bratislava

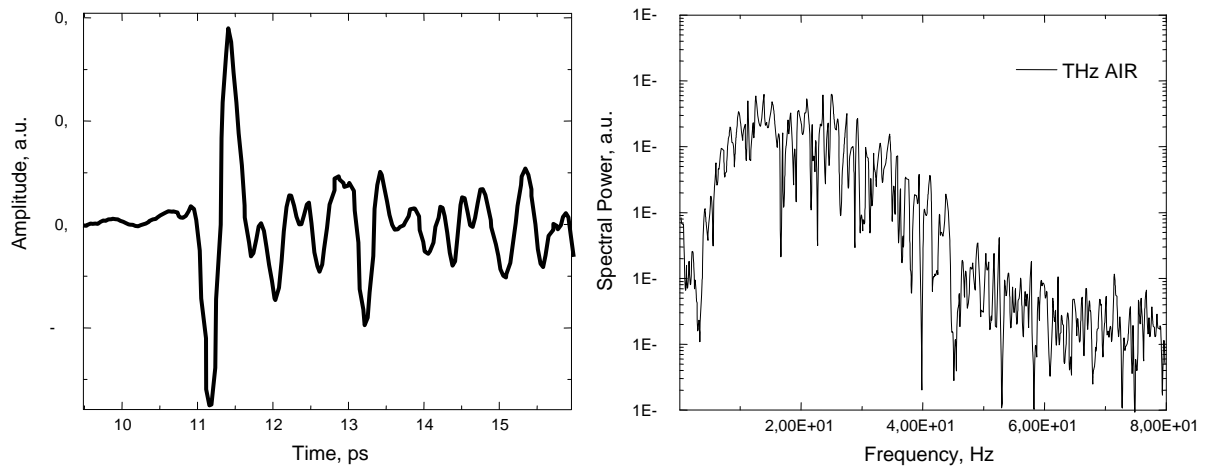
Obor: femtosekundová spektroskopia a nelineárna optika

A broadband two-color plasma based THz spectrometer [1] was recently developed and implemented within the Laboratory of Ultrafast Laser Photonics.

The THz source is pumped by a custom dual mode Coherent Legend DUO USX/USP Ti:Saph amplifier with a pulse energy of 3.3/4mJ at 3 KHz and 25fs/100fs. The pump beam is focused through a type-I BBO crystal detuned in order to produce second harmonic component with polarization parallel to the fundamental. Both the fundamental and second harmonic beams are subsequently intermixed within the plasma spark and a strong THz pulse is generated. The THz beam is propagated through a THz time-domain spectroscopy (THz-TDS) setup and the resulting THz transients are detected by electrooptic detection. The unique scientific instrument is currently covering spectral range of 0 to 6 THz and is characterized by unparalleled performance in terms of achievable field strengths.

Benchmark results are presented confirming broadband determination of refractive index and absorption coefficient for selected samples.





M. D. Thomson et. al., *Laser&Photon. Rev.* 1, 349 (2007).

This research is sponsored by NATO's Emerging Security Challenges Division in the framework of the Science for Peace and Security Programme.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Časovo rozlišená femtosekundová spektroskopia v strednej IČ oblasti
- Generácia THz v exotických materiáloch
- Určovanie hyperpolarizovateľnosti a účinných prierezov 2- a 3- fotónovej absorpcie
- Určovanie Kerrovho indexu lomu metódou Z-scan

OPTOVLÁKNOVÉ SENZORY PRO JADERNOU ENERGETIKU

Břetislav Mikel

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i., Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika
e-mail: mikel@isibrno.cz, tel: +420 541 514 252

Obor: Optické vláknové senzory, laserová interferometrie, vláknová optika.

V oddělení Koherenční optiky ÚPT AV ČR v.v.i. se v současnosti využívají optická vlákna ve většině experimentů. V těchto aplikacích optických vláken je obvykle nutné využívat vlákna se speciálními vlastnostmi např. polarizačně závislá nebo mikrostrukturní vlákna. Aktuálně využíváme optická vlákna singlemodová, multimodová, polarizačně závislá, mikrostrukturní a další speciální. Většina typů těchto optických vláken je využívána v rozsahu vlnových délek od 350 nm do 1600 nm.

V současnosti řešíme několik projektů, které se zabývají vývojem optovláknových senzorů s Braggovými mřížkami pro měření vibrací, délky, teploty a tvarových změn betonových staveb. Největší potenciální aplikací tohoto směru vývoje je projekt na měření tvarových změn kontejnmentu v JE Temelín.

Právě systém na měření tvarových změn kontejnmentu je v JE Temelín nainstalován a probíhá dlouhodobé srovnávací měření. Data z našich senzorů jsou porovnávána s daty senzorů, které byly při výstavbě umístěny ve stěnách kontejnmentu. Na základě prvních měsíců měření již lze odhadnout, že náš systém vyhovuje požadované přesnosti měření. Fotografie z instalace měřicího systému jsou na obrázku 1.



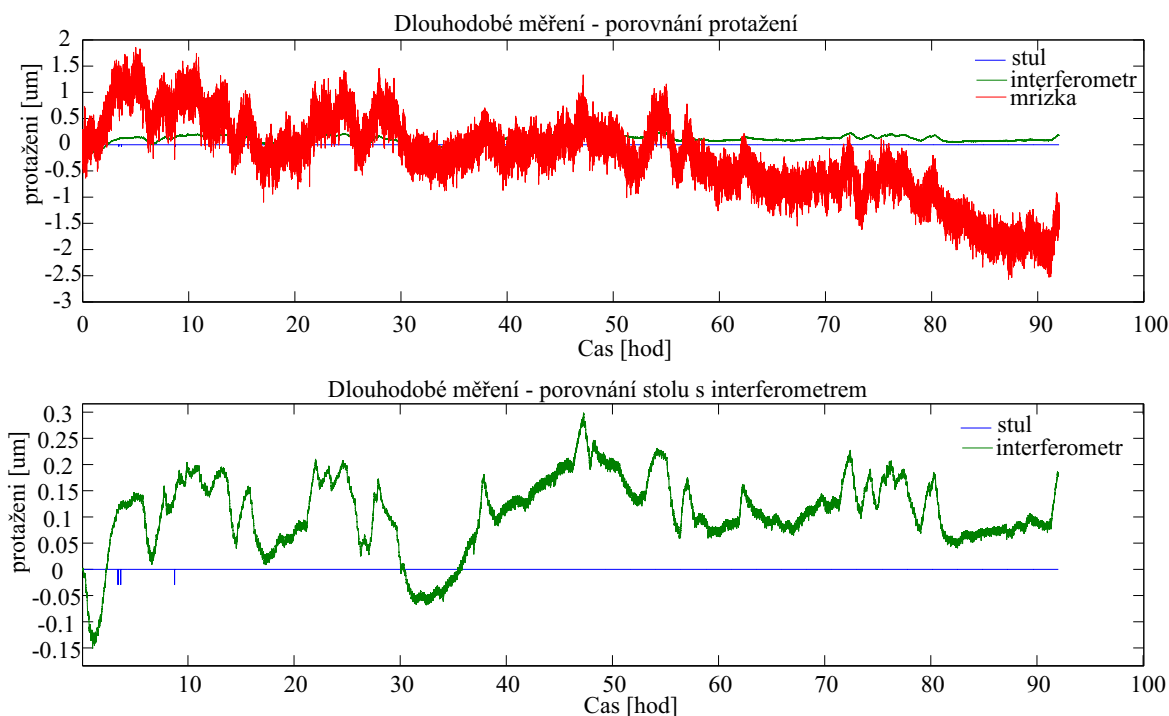
a)



b)

Obrázek 1. Fotografie z instalace měřicího systému v JE Temelín, a) Fotografie senzorů na kontejnmentu, b) fotografie měřicího systému.

Pro optická vlákna s Braggovými mřížkami jsme realizovali měřicí stanici, kde jsme v první fázi využili zjednodušenou verzi měřicího systému. Protážení mřížky je kontrolováno laserovým interferometrem. Dlouhodobá stabilita vláknové Braggovy mřížky je na obrázku 2.



Obrázek 2. Dlouhodobá stabilita vláknové Braggovy mřížky. Srovnání naměřených hodnot z laserového interferometru a zjednodušeného měřicího systému pro vláknové Braggovy mřížky.

V další části projektu jsme se zaměřili na radiační odolnost optických vláken s Braggovými mřížkami. Celkové vyhodnocení bude prezentováno po dokončení ozařování posledního vzorku optických senzorů. Jednotlivé vzorky optických vláken a senzorů byly a jsou ozařovány radiační dávkou 0,3; 1; 3; 10 a 30 kGy. Uvedeným dávkám jsme podrobili stejné sady, které obsahovaly optická vlákna, optická vlákna s Braggovými mřížkami a optická vlákna se šikmými Braggovými mřížkami.

Oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Optické měření délky.
- Optické měřicí systémy s vláknovými Braggovými optickými senzory pro měření teploty, tlaku, délky, vibrací atd.
- Monitorování délky, teploty atd. založené na principu laserového interferometru s optickými vlákny.
- Svařování polarizačně závislých, mikrostrukturních a dalších speciálních optických vláken.
- Tvarování optických vláken.

Poděkování

Tento výzkum je podpořen formou institucionální podpory z projektu č. RVO:68081731. Výzkum v oblasti senzorů je podporován z projektu Technologické agentury ČR TA03010835. Výzkum vláknových senzorů pro monitorování stavu kontejnmentu je podporován projektem MV ČR VG20132015124.

FEMTOSEKUNDOVÝ LASER SPIRIT ZCELA UNIKÁTNÍ A NOVÝ PROCES NAZVANÝ CLEARSHAPE™

Martin Moser

MIT s.r.o.

Klánova 56, 147 00 Praha 4

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

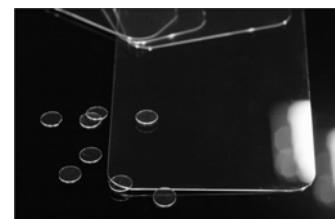


Lasery, fotonika
a jemná mechanika

Obor: Lasery, fotonika a jemná mechanika, laserové obrábění

Obrábění nejrůznějších materiálů laserem je v průmyslu již mnoho let zcela standardním výrobním procesem. Donedávna ovšem jeden poměrně obyčejný materiál laserovému zpracování odolával. Tím materiálem bylo sklo. Až s příchodem výkonných a stabilních UV a femtosekundových laserů si laserové zpracování skla našlo cestu do velkovýroby. V současnosti se laserové obrábění skla využívá k výrobě nejrůznějších tvarů pro předměty každodenního použití, jako jsou např. mobilní telefony, tablety, televizní obrazovky, apod. Firma Spectra-Physics nabízí celou řadu laserů, které jsou přímo určeny pro zpracování různých typů skla a průhledných materiálů od obyčejného, měkkého sodnovápenatého skla až po safír. V nabídce jsou femtosekundové zelené i nanosekundové ultrafialové průmyslové lasery.

Například pulsní, nanosekundový laser QUASAR nabízí nejenom průměrný výkon $> 60 \text{ W}$ na 355 nm , ale také unikátní technologii TimeShift™, která umožňuje řízení a programování energie každého pulsu v časové doméně. Přesnou kontrolou délky pulsu a jejich tvaru lze přesně a účinně řídit interakci laserového záření s obráběným materiálem. Obzvláště velkou výzvou bylo donedávna řezání tenkého skla. Standardní technologie často vedly ke vzniku nečistých řezů a k tříštění okrajů. Ovšem nedávno firma Spectra-Physics vyvinula pro svůj femtosekundový laser SPIRIT zcela unikátní a nový proces nazvaný ClearShape™, který byl představen na veletrhu LASER 2015 v Mnichově. Tato nová technologie umožňuje například mimořádně čisté řezy chemicky tvrzeného skla o tloušťce $0,5 \text{ mm}$ při rychlosti řezání až 4 m/s .



Obrázek 1 Laser SPIRIT má průměrný výkon $> 16 \text{ W}$ na 1040 nm nebo $> 8 \text{ W}$ na 520 nm při délce pulsu $< 400 \text{ fs}$. Opakovací frekvence je nastavitelná od jednotlivých pulsů do 1 MHz . Napravo je vzorek skla řezaný metodou ClearShape™.

VYUŽITÍ ŠLÍROVÉ METODY PRO ZOBRAZENÍ PROUDĚNÍ V LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍCH

Libor Mrňa, Jan Pavelka

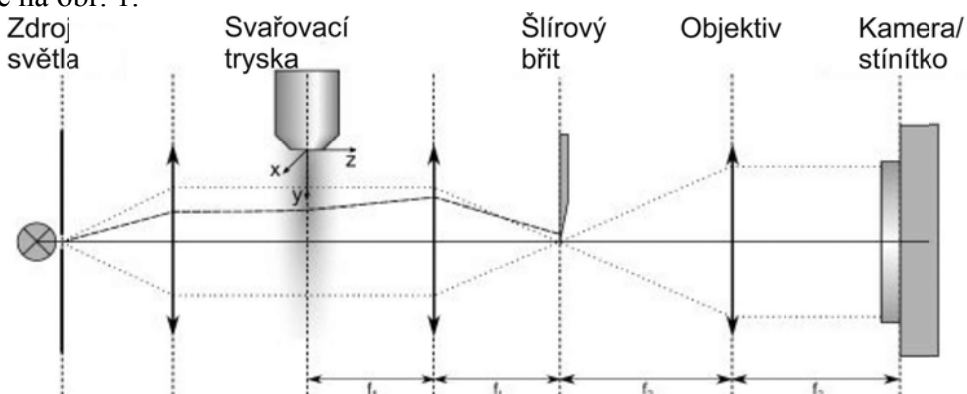
Ústav přístrojové techniky AV ČR v.v.i

Královopolská 147, 612 64 Brno – Královo Pole

mrna@isibrno.cz, 731 462 192.

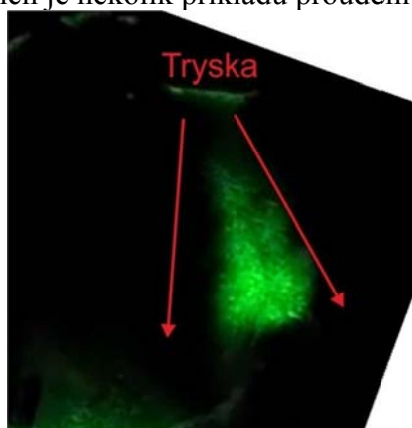
Obor: laserové svařování, laserové řezání

Při svařování by bylo v některých případech užitečné znát proudění plynu ochranné atmosféry. V technické praxi se však těžko hledá metoda, která by toto umožňovala. Nicméně v aerodynamice se často používá tzv. šlírová metoda, která dokáže zviditelnit proudění. Její princip je na obr. 1.

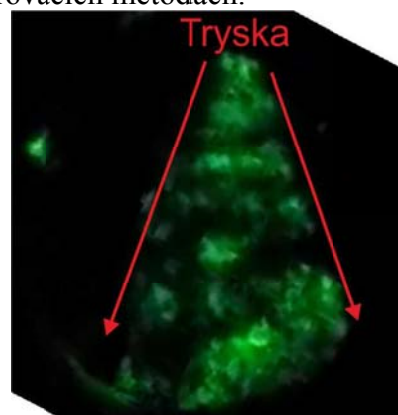


Obr. 1 princip šlírového zobrazování

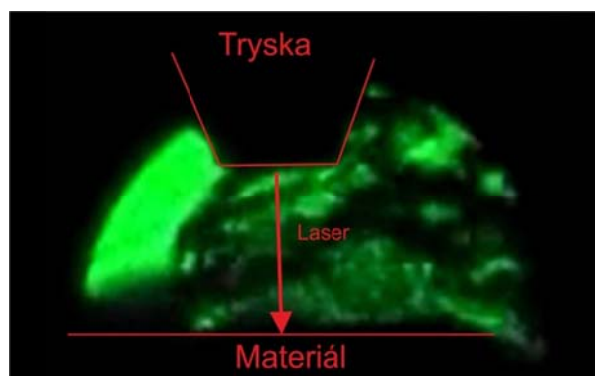
Funkce systému je následující: do prostoru se svařovací tryskou vstupuje ze světelného zdroje rovnoběžný svazek světla. Ten je zaostřen do ohniska, kde je umístěn břit. Pokud není svařovací tryska v činnosti, nedochází v prostoru ke změně rovnoběžnosti svazku a všechny rovnoběžné paprsky jsou zaostřeny do ohniska, odkud se dále zobrazí – zde dostáváme rovnoměrně osvětlené pole. Pokud je hořák v činnosti, dojde vlivem změn indexu lomu (způsobených teplotou oblouku nebo prouděním plynu s odlišným indexem lomu než vzduch) k porušení rovnoběžnosti procházejících světlených paprsků. Tyto pak nejsou zaostřeny do ohniska a absorbují se ve šlírové cloně/břitu. Pak na stínítku dostáváme systém světlých a tmavých polí, které vyjadřuje tyto změny v indexu lomu. Princip je tedy jednoduchý, ale v praxi je potřeba nastavit vhodně šlírovou clonu, abychom dosáhli požadovaného kontrastu. Jako osvětlovací zdroj byl použit zelený laser s vlnovou délkou 532 nm. Na následujících obrázcích je několik příkladů proudění při různých svařovacích metodách.



Obr. 2a Proudění argonu z koaxiální trysky 18 l.min⁻¹



Obr. 2a Proudění helia z koaxiální trysky cca 18 l.min⁻¹



Obr. 3 Proudění argonu při laserovém svařování

Na obrázku 2 je vidět rozdíl v proudění argonu a helia z koaxiální trysky laserové svařovací hlavy při přibližně stejném průtoku. I když se indexy lomu v obou případech liší až ve čtvrtém řádu, díky tepelné vodivosti hélia je vidět zřetelný rozdíl v proudění. Na obrázku 3 je zobrazeno proudění při laserovém svařování. Parametry laserového svařování jsou $P = 1500 \text{ W}$, posuv $10 \text{ mm}\cdot\text{sec}^{-1}$, Ar $18 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Je zjevný asymetrický tok argonu, který je zřejmě zapříčiněn sacím efektem příčné trysky

cross-jet chránící optiku hlavy před rozstříkem ze svarové lázně.

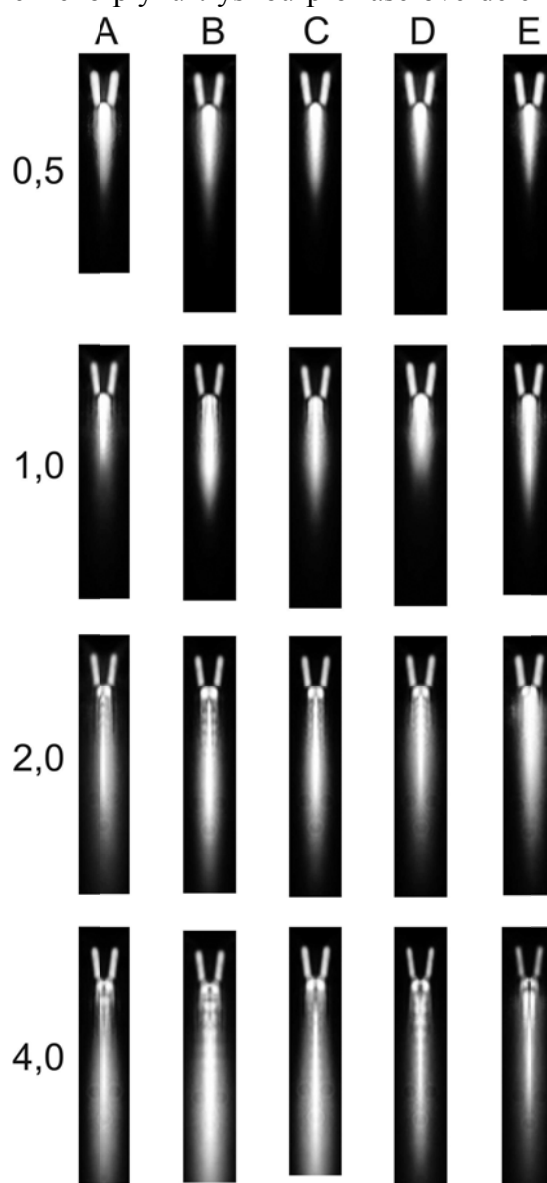
Na stejném principu je možné studovat proudění řezného plynu tryskou pro laserové dělení materiálu. Na obrázku 4 je zobrazen výstup z experimentu, při kterém bylo porovnáváno několik laserových trysek mírně odlišných konstrukčních variant A – E, kdy bylo sledováno proudění při tlacích 0,5 – 4,0 baru dusíku. V tomto experimentu byl jako zdroj světla použita výkonová LED s bílým světlem. Tryska má výstupní průměr 1,2 mm, šlírogramy jsou tedy poměrně malé. Na obrázcích je vidět, že v proudění jednotlivými typy trysek jsou viditelné rozdíly. Navíc od tlaku 2,0 baru je patrné, že proudění má nadzvukový charakter charakteristický řadou rázových vln. Kromě toho byly šlírogramy vyhodnoceny pomocí Matlabu z hlediska délky proudu, jeho šířky. Taktéž byl měřen objemový průtok dusíku přes trysku.

Na závěr lze konstatovat, že tato metoda se jeví jako velmi užitečná pro studium proudění při laserových technologiích a jsou nacházeny další možnosti jejího uplatnění.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

Poděkování: Příspěvek vznikl v rámci projektu TA ČR: „Vývoj nových typů solárních absorbérů“ č. TA04020456



Obr.4 Podrobnější pohled na proudění jednotlivých trysek v závislosti na tlaku

KERR INDEX OF CYCLIC OLEFIN COPOLYMERS FOR THZ INDEX GUIDING

E. Noskovicova¹, D. Lorenc², M. Koys³, D. Velic^{1,2}

¹Faculty of Natural Sciences,
Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 84215, Bratislava, Slovakia

²International Laser Centre,
Ilkovicova 3, 84104 Bratislava, Slovakia

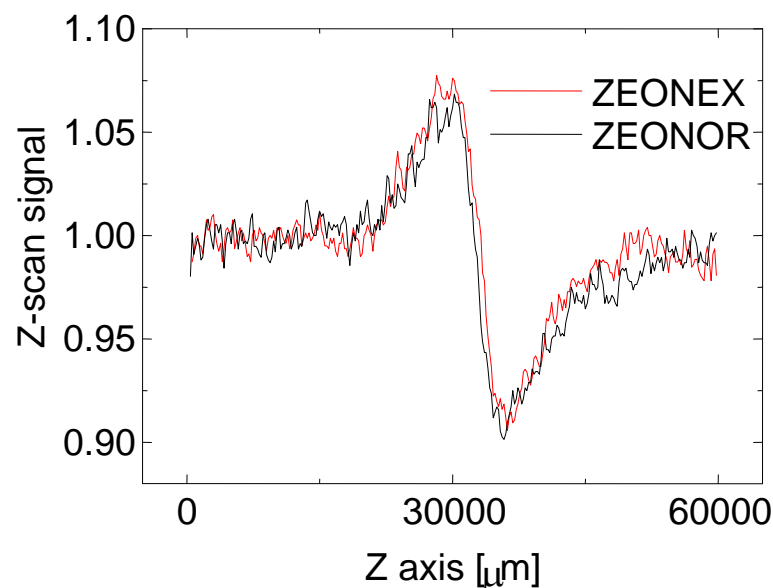
³Lear Corporation Seating, s.r.o.,
Solivarska 1/A, 080 01, Presov, Slovakia

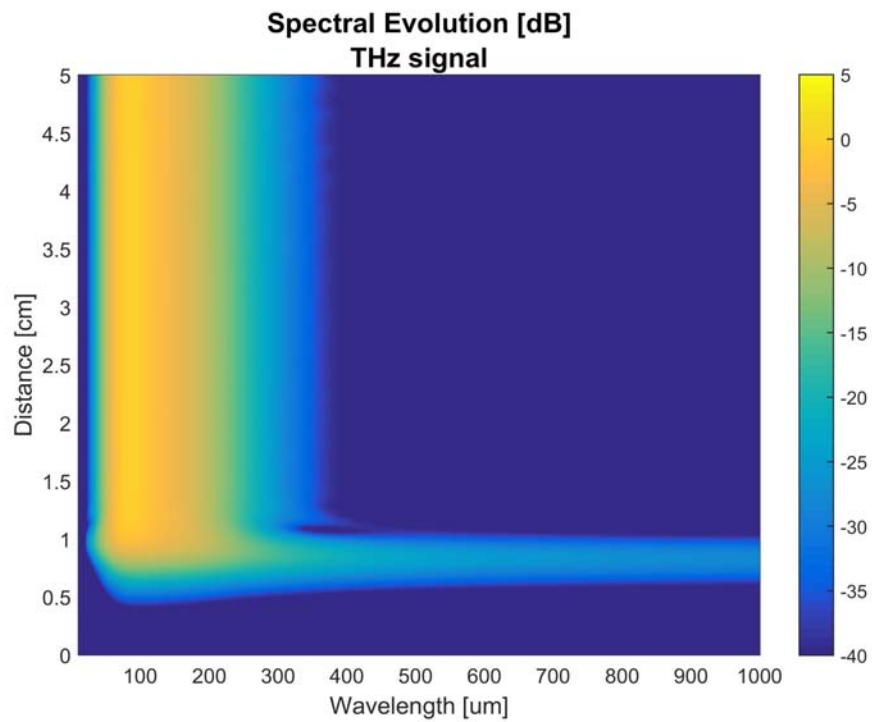
Obor: nelineárna optika

High n_2 materials are important for a number of applications including, but not limited to, optical switches and modulators based upon dispersion, self-phase modulation and self-focusing.

More recently, Cyclic Olefin Copolymer (COC) materials have been to show to possess excellent optical properties in both VIS/NIR and THz range [1] making them an ideal choice for THz index guiding. However when propagating an ultrafast high peak power pulse through the waveguide, the corresponding Kerr index plays a vital role for pulse evolution.

The second order nonlinear refractive index n_2 of COC materials including ZEONEX and TOPAS was measured using the single-beam z-scan technique with 100 fs laser pulses at 800 nm. Z-scan technique is applied to determine the nonlinear refraction and absorption from real and imaginary parts of the third-order susceptibility, respectively. The obtained values of n_2 are subsequently used as input data to pulse propagation simulations based upon the Generalized Nonlinear Schroedinger Equation (GNLSE).





This research is sponsored by NATO's Emerging Security Challenges Division in the framework of the Science for Peace and Security Programme.

[1] K. Nielsen et. all, Opt. Express 17, 8592 (2009)

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Generácia THz v exotických materiáloch
- Určovanie hyperpolarizovateľnosti a účinných prierezov 2- a 3- fotónovej absorpcie
- Časovo rozlíšená femtosekundová spektroskopia v strednej IČ oblasti

ABSORPTION CELLS BASED ON HC-PCF FIBERS

Jindřich Oulehla

Ústav přístrojové techniky AV ČR v.v.i.

Královopolská 147, 612 64, Brno, oulehla@isibrno.cz

Obor: absorption cell, fiber, optical frequency reference, metrology

This work is oriented towards our research in the field of splicing and ending of optical frequency references based on hollow core photonics crystal fibers (HC-PCF). This type of references is very promising optical element to replacing classic bulky absorption cells for laser frequency stabilization. We prepared and present methods of splicing HC-PCF to standard telecommunication fiber by a fiber splicer. A special care was taken to optimize the splicer setting and to find and obtain a splice with minimal optical losses between HC-PCF and SMF. The manufactured fiber cell was closed at one side by connecting to SMF and second fiber end was prepared for placing into the vacuum chamber with the help of vacuum-tightened connection to be used as a optical frequency reference based on the acetylene gas for frequency stabilization of the laser standards.

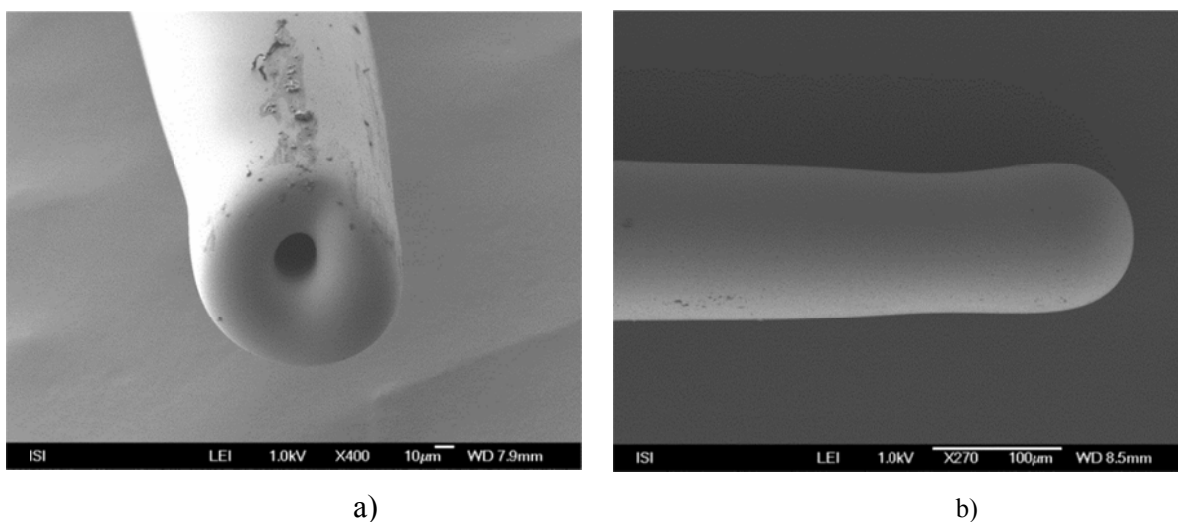


Figure 1. SEM images of the HCPCF HC-1550-02 tip from our first tests of fiber splicer Fujikura FSM-100P; a) unclosed fiber tip, b) closed fiber tip.

The best result of our tests is in figure 2. We spliced 90 cm of HCPCF with SM fiber. This spliced fiber will be used for filling with the acetylene absorption media and used as a optical frequency reference.

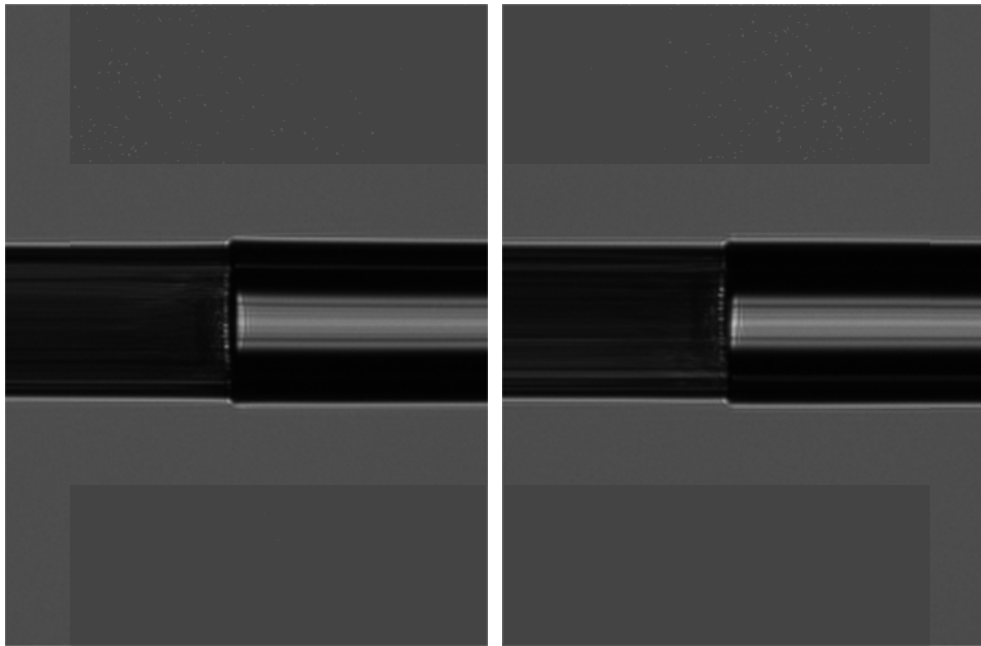


Figure 2. Photos of the splice joint 3 from the Fujikura fiber splicer; HCPCF fiber is on the left side in both photos; X view and Y view of the spliced joint.

We prepared a method of the splicing of hollow core microstructure fiber with standard single mode fiber. The standard splicing process of SM fibers was transformed. The offset of the arc discharge in direction close to SM fiber and decreasing of the arc discharge power was applied for reducing of air-holes structure collapsed length to the minimum. The power of the arc discharge was reduced together with the timing of splicing process was completely modified. With transformed splicing process we prepared 90 cm HC-PCF fiber spliced to SM fiber patchcord with FC/APC fiber connector. After this optimalization, we were able to achieve an attenuation of the splicing joint of 2.0 dB. This prepared spliced fiber will be used as a fiber-based optical frequency reference filled with acetylene isotope gases. The optimized opto-vacuum setup will be used for investigation of new methods for HC-PCF reference open end closing and for filling of references with other absorption media.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express thanks for support to institutional support RVO:68081731, Technology agency of the Czech Republic, project no. TA03010835, Grant Agency of the Czech Republic, project no. GA15-18430S and Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic together with MAEDI/MENESR, project no. 7AMB14FR040/31175QB.

FREKVENČNÍ STABILIZACE LASEROVÉ DIODY PRACUJÍCÍ NA 633NM PRO METROLOGII DÉLEK

Tuan Minh Pham, Václav Hucl, Martin Čížek, Břetislav Mikel,
Jan Hrabina, Šimon Řeřucha, Josef Lazar a Ondřej Číp

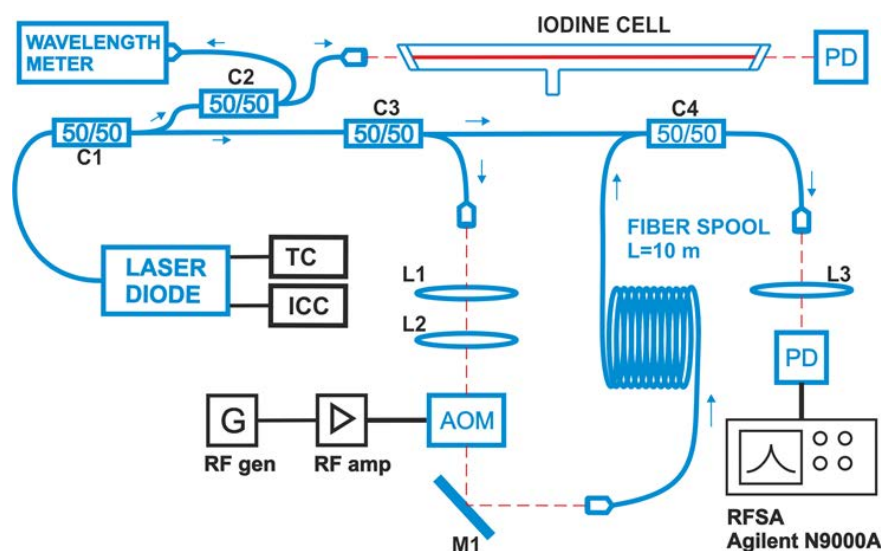
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Oddělení koherenční optiky

Královopolská 147, 612 64 Brno, 541514253, tuan@isibrno.cz, www.isibrno.cz

Obor: Polovodičové lasery

Práce se zabývá stabilizací laserové diody EYP-DBR-0633 od firmy Eagleyard Photonics [1] pracující na vlnové délce 633 nm a s ní spojenou charakterizací šumových vlastností, které ovlivňují možnosti využití tohoto laserového zdroje pro metrologii délek.

Laserová dioda byla nejdříve opatřena elektronikou TC pro přesnou stabilizaci operační teploty a elektronikou ICC pro nízkošumové buzení injekčního proudu. Oba elektronické systémy byly vyvinuty pro tyto potřeby na našem pracovišti ÚPT AV ČR v Brně. Dioda byla dále umístěna do komplexní sestavy pro stabilizaci optické frekvence pomocí lineární absorpce na vybraných přechodech molekulárního jódu I_2 . Schematické uspořádání sestavy je na Obr. 1. a zahrnuje několik dílčích částí, které jsou určeny pro měření a charakterizaci klíčových parametrů diody.



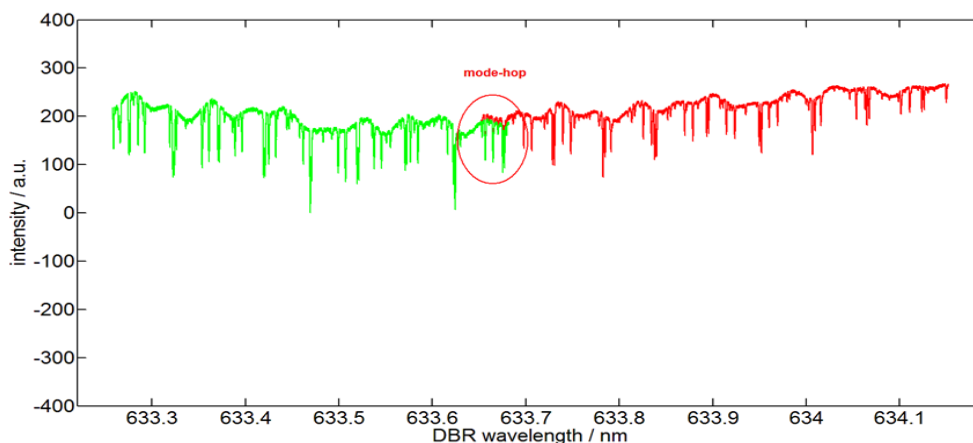
Obrázek 1. Komplexní optická sestava pro charakterizaci a sledování šumových vlastností laseru: $C_1 - C_4$ – vláknové děliče, $L_1 - L_3$ – čočky, $RF\ gen$ – vf generátor, $RF\ amp$ – vf zesilovač, $RFSA$ – vf signální analyzátor, AOM – akusto-optický modulátor, PD – fotodetektor, TC – teplotní kontrolér, ICC – proudový kontrolér, M_1 – zrcadlo.

Laserová dioda je opatřena optickou soustavou pro vyvázání do optického vlákna a výstupní laserový svazek je následně rozdělen děličem C_1 do dvou větví. První větev dále dělí dělič C_2 na trasu pro stabilizaci vlnové délky lineární absorpcí v molekulárním jódu a druhá větev je připojena k vlnoměru, který detekuje aktuální hodnotu vlnové délky generované diodou. Druhá větev z děliče C_1 je vedena na specializovanou soustavu pro měření frekvenčního a fázového šumu diody pomocí Mach-Zehnderova uspořádání interferometru s heterodynní detekcí. Tento interferometr začíná děličem C_3 , který rozdělí vstupní svazek diody do větve vybavené akusto-optickým modulátorem AOM , jenž posouvá optickou frekvenci laseru o kmitočet modulace. Tento svazek je pak veden na vláknovou zpožďovací cívku. Rozdělené

větve interferometru spojuje zpět dělič C_4 , na jehož výstupu je připojen detektor PD , který detekuje heterodynní záznam mezi optickými frekvencemi přítomnými v obou ramenech interferometru. Výstupní vysokofrekvenční signál je veden na frekvenční analyzátor.

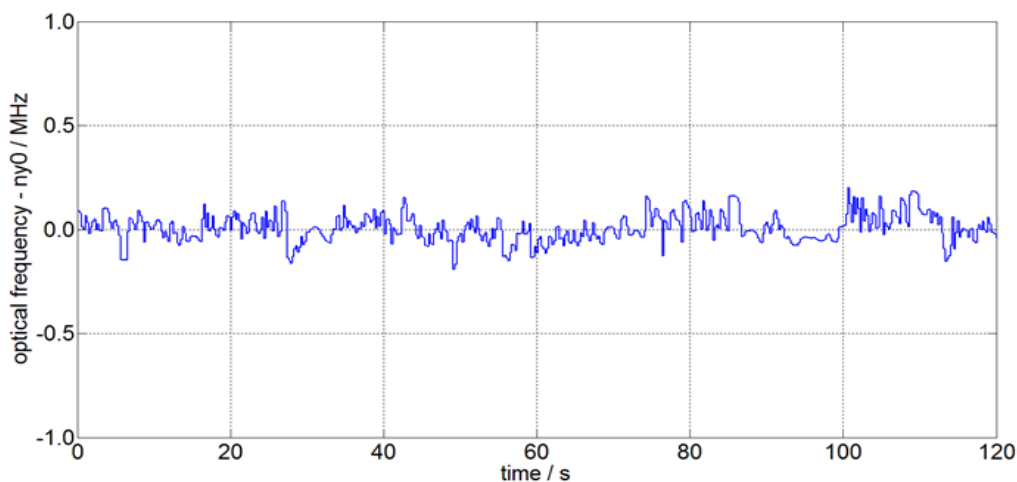
Experimentální výsledky

Důležitým parametrem diody je rozsah přeladění vlnové délky, neboť tento údaj je rozhodující pro nasazení v metodách interferometrie s absolutní stupnicí. Bylo změřeno přeladění vlnové délky o 0,86 nm (změna o 650 GHz optické frekvence) při změně operační teploty v rozsahu od 6 °C do 24 °C. Při změně injekčního proudu o 28 mA byla pozorována změna vlnové délky o 0,077 nm (57 GHz).



Obrázek 2. Záznam absorpčního spektra molekulárního jódu při přeladění vlnové délky laseru o 0,86 nm.

Během měření závislosti vlnové délky na změnách operačních parametrů diody byl proveden také záznam absorpčního spektra molekulárního jódu, které je vyobrazeno na Obr. 2. Jak je ze záznamu patrné, u testované diody se vyskytl jeden modový přeskok přesně uprostřed ladicího rozsahu, který odpovídá teplotě čipu 18°C a vlnové délce 633,65 nm. Z tohoto měření proto vyplývá, že spojitě ladění vlnové délky je možné pouze do 1/2 ladicího rozsahu.



Obrázek 3. Záznam stability generované optické frekvence DBR laserem (měření provedena super citlivým vlnoměrem).

Optická frekvence laserové diody byla následně zamčena technikou derivační spektroskopie na vybraný absorpční přechod molekulárního jódu. Pomocí vlnoměru byl pak proveden záznam průběhu optické frekvence laseru. Sledovaná stabilita optické frekvence se pohybovala v intervalu do 100 kHz v časovém intervalu přibližně 120 s viz. Obr. 3.

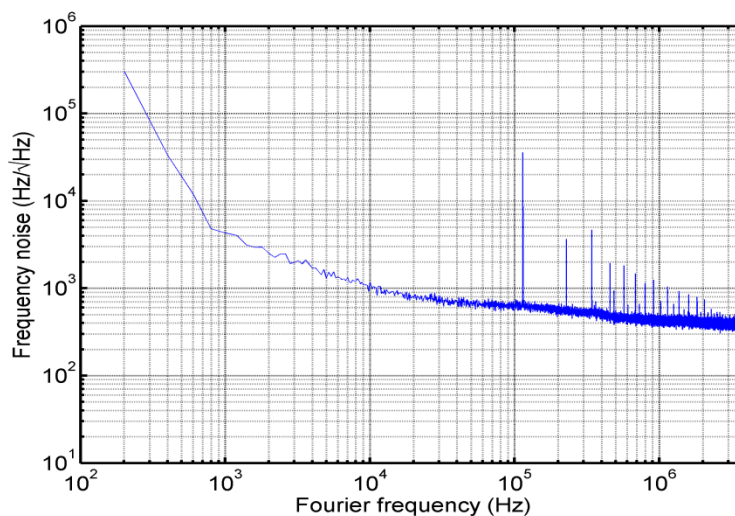
Dalším důležitým parametrem je frekvenční šum diody, jenž přímo ovlivňuje dosažitelné rozlišení např. laserového interferometru pro měření délek. Princip metody pro měření šumových vlastností je založen na vláknové interferometrii, kde ramena Mach-Zehnderova interferometru jsou rozdílně dlouhá, jak je uvedeno na Obr. 1., tj. delší rameno L_1

($L_1 \approx 10,0$ m) s modulátorem *AOM* a vláknovou cívkou a kratší rameno L_2 ($L_2 \approx 0,1$ m). Nerovnoměrný interferometr způsobí zpoždění τ mezi oběma rameny interferometru:

$$\tau = \frac{n_g(L_2 - L_1)}{c} \quad (1)$$

kde c je rychlost světla a n_g je index lomu v interferometru.

V testovací experimentální sestavě je laserový svazek ve větvi L_1 frekvenčně posunut pomocí modulátoru *AOM* o 200 MHz vůči frekvenci svazku ve větvi L_2 . Heterodynní detekcí je pak na výstupu interferometru zobrazen záznamový signál a detekovaný fázový rozdíl mezi větvemi koresponduje s kolísáním frekvence laseru velmi přesně. Přenosová funkce je dána Fourierovou transformací fázového posunu a výsledný záznamový signál je pak funkcí přenosu šumu, který se skládá z frekvence (reálná složka) a fáze (imaginární část). Šumové vlastnosti takového signálu jsou pak měřeny pomocí vysokofrekvenčního spektrálního analyzátoru.



Obrázek 4. Záznam frekvenčního šumu diody měřený heterodynní metodou s vláknovou zpozd'ovací cívkou.

Záznam distribuce šumových příspěvků k frekvenci laseru je vyobrazen na Obr. 4. Osou x je Fourierova frekvence, tedy frekvence jednotlivých šumových složek přítomných v laserovém svazku. Osou y je pak vykreslena hustota šumu, tedy jakou mírou přispívá daný šum k celkovému šumu laseru.

Testovaná laserová dioda je novým zajímavým prvkem pro realizaci unikátních metod laserové interferometrie s možností širokého přeladění vlnové délky. Jednofrekvenční provoz a stabilizace optické frekvence pomocí molekulárního plynného absorbéru představuje v laserové diodě také potenciál k nahrazení tradičních HeNe laserů v metrologii délek.

Poděkování

Autor vyjadřuje tímto poděkování za podporu projektům GA ČR, č. GA14-36681G, Akademii věd České republiky, č. RVO:68081731, MEYS CR: LO1212 a CZ.1.05/2.1.00/01.0017. Dále EURAMET, projekt IND58-6DoF.

Literatura

- [1] DATASHEET EYP-DBR-0633-00005-2000-BFY02-0000. <http://www.eagleyard.com/>. [online]. 4.5.2015 [cit. 2015-05-04]. http://www.eagleyard.com/uploads/tx_tdopproductstorage/EYP-DBR-0633-00005-2000-BFY02-0000_01.pdf

IODINE-FREQUENCY STABILIZED TELECOM LASER DIODE AT 515 NM

Charles Philippe^{1,*}, Frederic Du Burck² and Ouali Acef¹

¹LNE-SYRTE / CNRS / Observatoire de Paris

61, avenue de l'Observatoire, F- 75014 Paris – FRANCE

²LPL/CNRS/Université Paris 13-Sorbonne Paris Cité, F- 93430 Villetaneuse – FRANCE

*Email: Charles.philippe@obspm.fr

Jan Hrabina and Tuan Minh Pham

Institute of Scientific Instruments, Academy of Sciences of the Czech Republic,

Královopolská 147, Brno, Czech Republic

Field: laser standards, laser spectroscopy, metrology

Molecular iodine represents one of the most often used -and very performant- atomic reference for optical frequency stabilization. This tandem laser/iodine is used in various fields such as realization of laser frequency reference for the “*mise en pratique of the definition of the metre*” and also for many space applications: gravitational wave detection, inter-satellites or ground to space optical communications, earth observations, laser cooling or medicine diagnostics, etc.

We have developed an original frequency tripling process based on a compact Telecom laser diode operating around 1542 nm associated to PPLN nonlinear crystals. The optical setup is fully fibred and occupies a total volume of 4.5 liters (Fig. 1). It delivers up to 300 mW of green radiation. This result corresponds to an optical conversion efficiency $P_{3\omega}/P_{\omega} \sim 36\%$. To our knowledge, it corresponds to the best value ever demonstrated up today for a third harmonic generation operation for infrared to visible domains in continuous wave regime (CW). The generated green radiation at 514 nm is used to probe a molecular vapor inserted in a 20 cm long iodine cell developed by ISI lab for this project (Fig. 2).

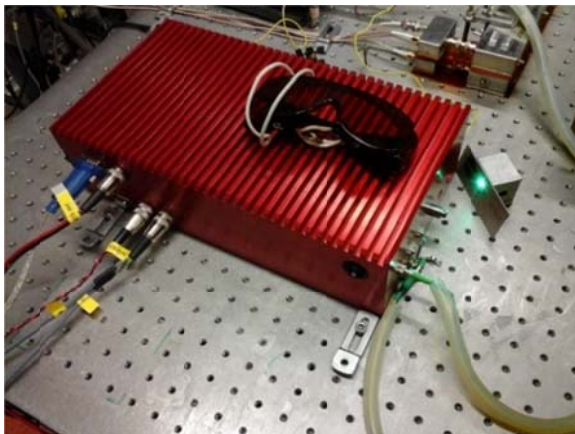


Fig. 1: Green laser delivering 300 mW at 515 nm

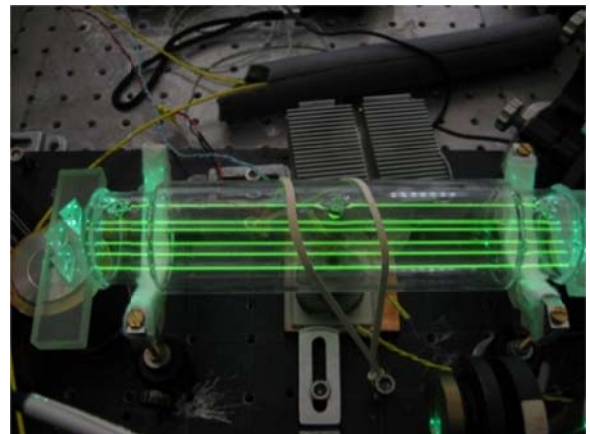


Fig. 2: View of the iodine cell developed by ISI lab

To fulfill the frequency stabilization purpose, we have developed a compact optical setup arranged on a 45x35 cm² optical breadboard (Fig. 3). We use the classical frequency modulation transfer technic with two counter-propagative beams, arranged in a 6-passes configuration, in order to extend up to 1.2 m the interaction length with iodine vapor (Fig 2 and 3). The pump beam is phase modulated by an electro-optic modulator and the iodine saturated absorption signal is detected with the probe beam.

The frequency stability evaluation is operated by comparing the frequency of our iodine stabilized telecom laser diode to an independent reference located in a separate building. This frequency reference is based on a 1.5 μm laser diode stabilized to an ultra-stable optical cavity operating in vacuum. The optical link between the two buildings is operated with a 200 m long optical single mode fiber. The frequency stability of that reference laser is daily controlled within few parts of 10^{-16} over 1000 s of integration time.

Figure 4 reports a preliminary Allan variance associated to the frequency stability of our iodine stabilized telecom laser diode. It decreases with a slope of 1.4×10^{-13} with a minimum value of 3×10^{-14} around 40 s.

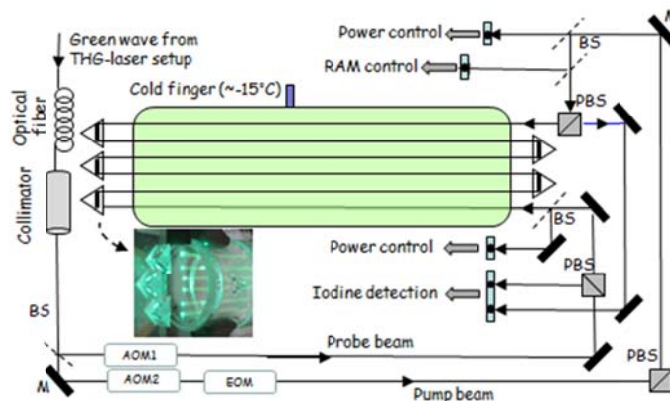


Fig. 3: Iodine stabilization optical setup (45 x 35 cm²)

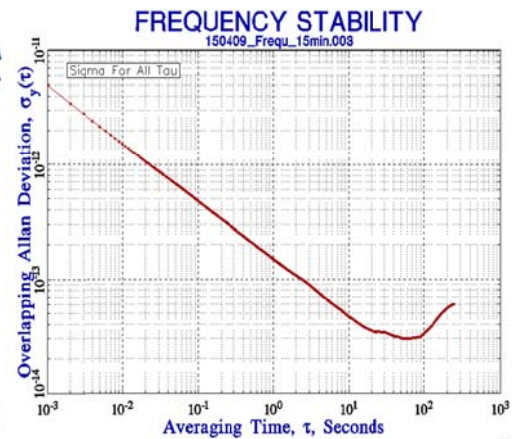


Fig. 4: Frequency stability of the iodine stabilized Telecom laser diode at 1542.1 nm

The full evaluation of the frequency stability of this original iodine stabilized telecom laser and its sensitivity to the major experimental parameters is under development and will be reported in very near future.

Acknowledgement

A part of this research is developed in the frame of the Barrande project 2014-2015, supported by France and Czech Republic (MEYS CR, MAE/MESRS and MAEDI: project 7AMB14FR040/31175QB). The part of the project developed in SYRTE (France) is also supported by ANR (ASTRID program 11-ASTR-001-01), SATT Lutech, FIRST TF and GRAM. Charles Philippe thesis is co-funded by CNES (French space agency) and SODERN Company. The part of the project developed in ISI (Czech Republic) is also supported by GACR, project GA15-18430S.

Next scientific interests:

- Design and realization of laser standards
- Frequency stabilization of lasers
- Laser spectroscopy

OPTICKY ZACHYCENÉ LADITELNÉ KAPÉNKOVÉ MIKROLASERY Z TEKUTÝCH KRYSTALŮ

**Zdeněk Pilát, Jan Ježek, Alexandr Jonáš*, Mehdi Aas*,
Alper Kiraz*, Oto Brzobohatý a Pavel Zemánek**

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

Královopolská 147, Brno 612 64

Tel.: +420 541 514 521, E-mail: pilat@isibrno.cz, www: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

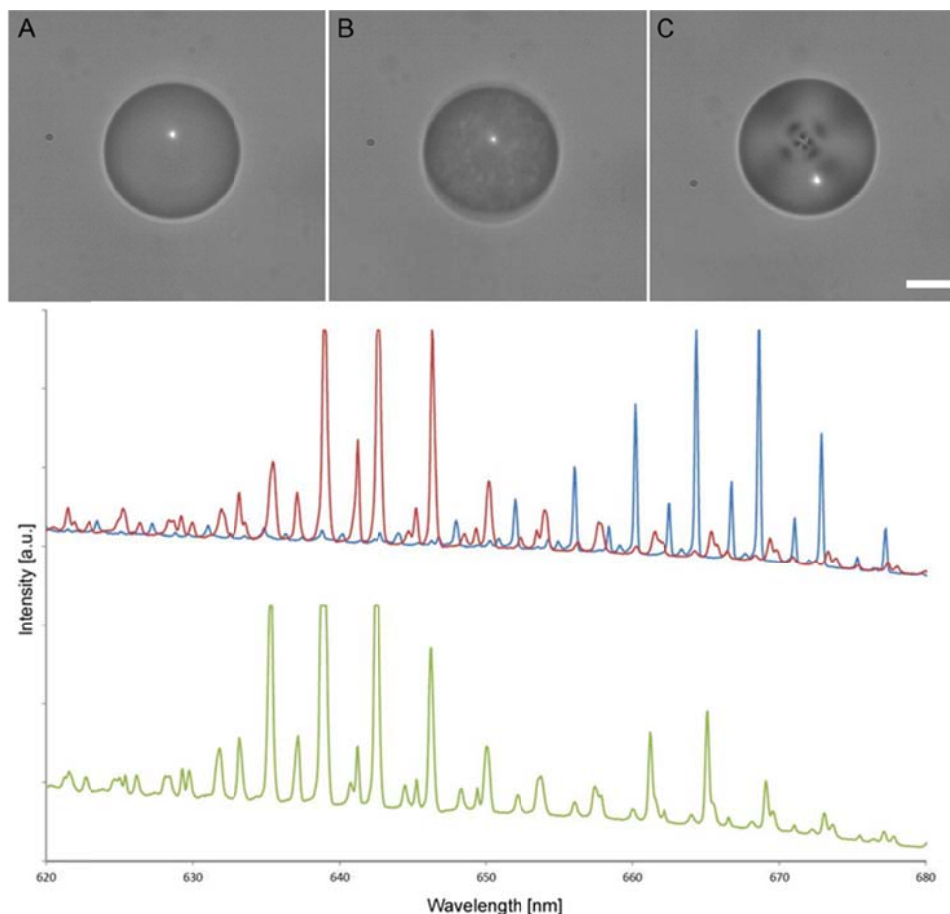
*Koc University, Rumelifeneri Yolu, 34450 Sariyer Istanbul, Turkey

Obor: Optická pinzeta, mikrofluidní čipy, mikrokapénky, ramanovská spektroskopie

Emulzní mikrokapénky, nemísitelné s okolní nosnou kapalinou, představují dokonalé kulové mikroobjekty s ideálně hladkým optickým povrchem. Lze v nich vybudit speciální mody (tzv. Whispering Gallery Modes - WGM) s extrémně vysokým činitelem jakosti a následně velmi úzkou spektrální odezvou. Jsou-li tyto kapénky vhodně fluorescenčně obarveny a opticky čerpány, fungují jako kulové rezonátory, ve kterých se generuje koherentní záření. Takový kapénkový mikrolaser představuje miniaturní zdroj koherentního záření, který lze bezkontaktně přemísťovat a jehož emisní spektrum je extrémně citlivé na změny velikosti, tvaru a rovněž indexu lomu v okolí povrchu kapénky.

Nematické kapalné krystaly (LC) jsou molekuly, které jsou podlouhlé a mají tendenci se orientovat tak, aby jejich dlouhé osy byly vzájemně paralelní. Tuto vlastnost zpravidla projevují jen v určitém teplotním rozmezí. Nad tímto teplotním intervalem vykazují vlastnosti běžné kapaliny (izotropní), při nízkých teplotách tuhnou v běžnou krystalickou strukturu. Molekuly LC se preferenčně orientují paralelně s elektrickým polem, tedy i s polarizací laserového svazku, a vykazují dvojlom.

V minulosti jsme realizovali opticky zachycené kapénkové mikrolasery na bázi olejové kapénky ve vodě, přeladění mikrolaseru jsme dosahovali optickou deformací mikrokapénky [1] (tzv. optical stretcher). Nyní se zabýváme mikrolasery z kapének LC emulgovaných ve vodě. Ladění emise z LC (5CB) mikrokapénky obarvené Nilskou červení (NR) jsme dosáhli pomocí zahřívání LC kapénky laserem, nebo zahříváním pomocí elektrického proudu vedeného odporovým drátem v mikrofluidním čipu, viz obr. 1. Dále jsme zkoumali též ladění deformací kapénky v elektrickém poli a ladění rotací polarizace laserového svazku se zachycenou LC kapénkou. Zjistili jsme, že mikrolasery z LC kapének jsou snadněji přeladitelné o větší rozsah vlnových délek, lze je lépe excitovat a dosahují menších rozměrů, než mikrolasery olejové.



Obr. 1: Nahoře: Přeměna LC kapénky postupným ochlazováním z izotropní fáze (A) do přechodné fáze (B) a kapalně krystalické fáze (C), měřítko: $10\ \mu\text{m}$. Dole: WGM spektra z jednotlivých fází – červená: izotropní; modrá: LC fáze; zelená: přechodná fáze. V tomto systému bylo pozorováno skokové přeladění až o 25nm.

Autoři děkují za podporu MŠMT (LD14069, LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017), TAČR (TA03010642) a TUBŮTAC (111T059).

[1] M. Aas, A. Jonáš, A. Kiraz, O. Brzobohatý, J. Ježek, Z. Pilát, P. Zemánek: Spectral tuning of lasing emission from optofluidic droplet microlasers using optical stretching, *Optics Express* 21, 21381-21394, 2013.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Tvorba PDMS mikrofluidních systémů „soft litografií“
- Optická pinzeta a její využití
- Návrh a konstrukce mechanických komponent pro optické systémy
- Ramanovská mikrospektroskopie
- Fotopolymerace mikrostruktur
- Digitální mikrofluidika

APROXIMATIVNÍ ŘEŠENÍ DIFRAKČNÍ ÚLOHY PRO ŠÍŘENÍ GAUSSOVSKÉHO SVAZKU PO PRŮCHODU OPTICKOU SOUSTAVOU ZATÍŽENOU ABERACEMI

Petr Pokorný*, Antonín Mikš, Jiří Novák, Pavel Novák

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra fyziky, Skupina aplikované optiky

Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice

tel.: +420 2 2435 7913, mail: petr.pokorny@fsv.cvut.cz, web: <http://aog.fsv.cvut.cz>

Obor: aplikovaná optika, numerické modelování

Práce se zabývá aproximativním řešením Sommerfeldova difrakčního integrálu pro šíření Gaussovského svazku po průchodu optickou soustavou, která je zatížena sférickými aberacemi do pátého řádu.

Sommerfeldův difrakční integrál [1-3], jakožto řešení Helmholtzovy rovnice pro šíření elektromagnetických vln, nám umožňuje určit stav pole $U(P)$ v libovolném bodě P oblasti ohraničené plochou S , je-li známo pole $U(M)$ v bodech M na této ploše. Lze ukázat, že pro malé difrakční úhly s použitím tzv. Fresnelovy aproximace [1-3] bude pole $U(P)$ pro omezené osově Gaussovské svazky a kruhovou aperturu dáno vztahem

$$U(P) = KR^2 \int_0^1 \int_0^{2\pi} \exp(A+B+C)r_M dr_M d\varphi_M, \quad (1)$$

kde

$$K = -\frac{i}{\lambda} \frac{\exp(ik_0 n z_P)}{z_P} \exp\left(\frac{ik_0}{2z_P} \rho_P^2\right),$$

$$A = ik_0 W(r_M), \quad B = R^2 \left(\frac{ik_0}{2z_P} - \frac{1}{a^2}\right) r_M^2, \quad C = -\frac{ik_0 R}{z_P} r_M \rho_P \cos(\varphi_M - \varphi_P),$$

(ρ_M, φ_M) jsou polární souřadnice bodu M v rovině kruhové výstupní pupily soustavy, jejíž poloměr je R , $r_M = \rho_M/R$, (ρ_P, φ_P) jsou polární souřadnice bodu P v detekční rovině, z_P je vzdálenost detekční roviny od výstupní pupily, $i = \sqrt{-1}$, λ je vlnová délka, $k_0 = 2\pi/\lambda$ je vlnové číslo ve vakuu, n je index lomu světla, a je poloměr Gaussovského svazku a $W(r_M) = W_{20}r_M^2 + W_{40}r_M^4 + W_{60}r_M^6$ představuje aberaci optické soustavy v rovině výstupní pupily, kde W_{20} je koeficient defokusace, W_{40} je koeficient sférické aberace třetího řádu a W_{60} je koeficient sférické aberace pátého řádu. Integrací přes úhel φ_M dostáváme

$$U(P) = 2\pi KR^2 \int_0^1 \exp(A+B) J_0\left(\frac{k_0 R}{z_P} r_M \rho_P\right) r_M dr_M, \quad (2)$$

kde $J_0(x)$ je Besselova funkce prvního druhu a řádu nula [4,5]. Vyjádříme-li Besselovu funkci rozvojem v řadu, a také předpokládáme pouze malé aberace optické soustavy, lze po úpravě vyjádřit aproximativní řešení výše popsané difrakční úlohy ve tvaru

$$U(\rho_P) = 2\pi KR^2 \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(-1)^s}{(s!)^2} \left(\frac{k_0 R}{2z_P} \rho_P\right)^{2s} (V_0 + V_1 + V_2 + V_3), \quad (3)$$

kde

$$\begin{aligned}
V_0 &= U(a; s, 0), \quad V_1 = ik_0[U(a; s, 1)W_{20} + U(a; s, 2)W_{40} + U(a; s, 3)W_{60}], \\
V_2 &= -\frac{1}{2}k_0^2[U(a; s, 2)W_{20}^2 + U(a; s, 4)W_{40}^2 + U(a; s, 6)W_{60}^2], \\
V_3 &= -k_0^2[U(a; s, 3)W_{20}W_{40} + U(a; s, 4)W_{20}W_{60} + U(a; s, 5)W_{40}W_{60}], \\
U(a; s, n) &= \int_0^1 \exp(-\beta r_M^2) r_M^{2(s+n)+1} dr_M, \quad \beta = -R^2 \left(\frac{ik_0}{2z_p} - \frac{1}{a^2} \right).
\end{aligned}$$

Zanedbáme-li druhé mocniny aberací ve vztahu (3) jako velmi malé, můžeme intenzitu I v osovém bodě detekční roviny, kterou lze použít k charakteristice tzv. Strehlova poměru [1-3], vyjádřit vztahem [1-3]

$$\begin{aligned}
I/I_0 &= U(0)U^*(0)/I_0 \\
&= U_{00} + k_0^2[U_{11}W_{20}^2 + U_{22}W_{40}^2 + U_{33}W_{60}^2] \\
&\quad + k_0^2[(U_{12} + U_{21})W_{20}W_{40} + (U_{13} + U_{31})W_{20}W_{60} + (U_{23} + U_{32})W_{40}W_{60}],
\end{aligned} \tag{4}$$

kde $I_0 = 4\pi^2 R^4 K K^*$ a $U_{ij} = U(a; 0, i)U^*(a; 0, j)$. Položíme-li ve vztahu (4) $W_{40} = W_{60} = 0$, můžeme analyzovat pouze vliv defokusace. Obdobně pro $W_{60} = 0$ dostáváme řešení pro vliv defokusace a sférické aberace třetího řádu.

Jak je patrné, aberace optické soustavy ovlivňují transformovaný Gaussovský svazek, který dále nezůstává Gaussovským, ale jeho parametry jsou prostorově modifikovány. Odvozené vztahy lze použít pro kompenzaci aberací optických soustav pro transformaci Gaussovských svazků, které se budou lišit od soustav pro transformaci svazků homocentrických. Je dále patrné, že parametry budou závislé na poloměru Gaussovského svazku.

Práce byla vypracována v rámci grantu 13-31765S Grantové agentury České republiky a SGS15/125/OHK1/2T/11 Českého vysokého učení technického v Praze.

Literatura

- [1] A. Mikš, *Aplikovaná optika*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2009.
- [2] Saleh B., Teich M., *Fundamentals of photonics*, J. Willey and Sons, New York, 1991.
- [3] Born M., Wolf E., *Principles of optics*, Pergamon Press, Oxford, 1968.
- [4] Rektorys K., *Přehled užití matematiky*, SNTL, Praha, 1969.
- [5] Gbur G., *Mathematical methods for optical sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Optická metrologie (interferometrie, senzory vlnoploch, souřadnicová zařízení)
- Adaptivní optické systémy (kapalinové čočky s proměnnou ohniskovou vzdáleností, fázové modulátory světla, adaptivní zrcadla)
- Programování v MATLABu (teoretické analýzy, simulace, stochastické procesy, GUI aplikace)
- Laserové skenování

DÉLKOVÁ CHARAKTERIZACE PIEZOELEKTRICKÉHO MĚNIČE POMOCÍ FEMTOSEKUNDOVÉHO LASERU SE SYNCHRONIZACÍ MODŮ

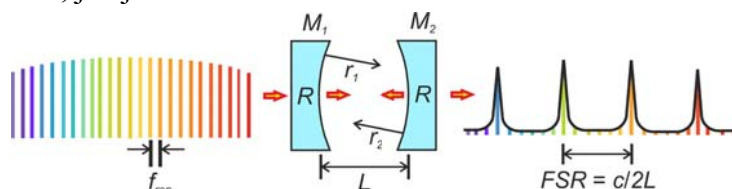
Lenka Pravdová, Adam Lešundák, Radek Šmíd a Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 61241 Brno, Česká Republika
email: lpravdova@isibrno.cz

Obor: Měření a metrologie, Fabryův-Perotův rezonátor, optické hřebeny, pulzní lasery

Moderní laserové interferometry s vysokým rozlišením jsou považovány za velmi přesné senzory pro měření délky. Jako základní jednotku délky využívají vlnovou délku použitého laserového svazku [1]. Současný pokrok v oblasti optických frekvenčních standardů délky je orientován na femtosekundové lasery se synchronizací modů, které jsou stabilizovány technikou optického frekvenčního hřebene [2]. Takový laser vytváří svazek, který je tvořen souborem koherentních frekvenčních složek v určitém intervalu vlnových délek a nazývá se bílé kontinuum. Hodnota opakovacího kmitočtu pulsů, generovaných tímto laserem, určuje frekvenční vzdálenosti koherentních složek ve výsledném spektru vln. Pokud zajistíme přesnou kontrolu opakovacího kmitočtu tohoto pulsního laseru pomocí např. atomových hodin, optická frekvence jednotlivých vln v bílém kontinuu bude velmi stabilní.

Hřebenové spektrum pulsního laseru je velmi vhodné pro metrologii délky v mnoha směrech. Může být použito např. jako nástroj pro generaci přesné vzdálenosti dvou bodů v prostoru a současně může sloužit i pro metodu měření vzdálenosti, a to s přesností atomových hodin, které slouží pro synchronizaci opakovací frekvence pulsního laseru. Pro účely využití bílého kontinua pro měření délek je však nezbytné zkombinovat pulsní laser s externím pasivním optickým rezonátorem, jak je uvedeno na Obr. 1.



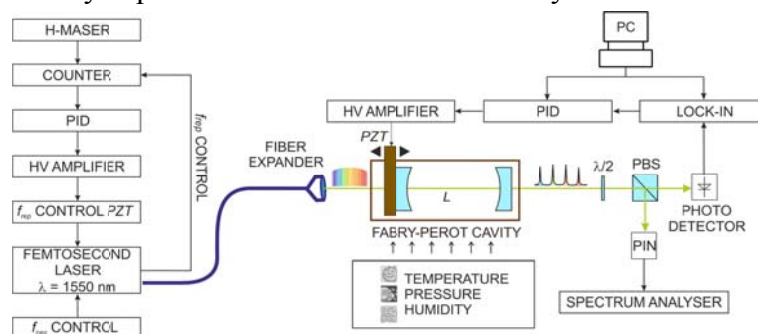
Obrázek 1. Princip uzamčení délky L dutiny rezonátoru pro filtrování repetiční frekvence f_{rep} , kde M_1 , M_2 jsou zrcadla s poloměry křivosti r_1 , r_2 a reflektivitou R .

Optický svazek bílého kontinua z pulsního laseru je tvarován a fokusován do pasivního rezonátoru Fabryova-Perotova typu sestávajícího ze dvou zrcadel. Rezonanční maximum je pozorováno na výstupu rezonátoru v případě, že jeho základní rezonanční frekvence FSR (free spectral range) je celočíselným násobkem opakovací frekvence pulsů f_{rep} pulsního laseru. Použijeme-li pro změnu vzdálenosti zrcadel L piezoelektrický měnič PZT , je možné provést synchronizaci délky L s opakovací frekvencí pulsního laseru, který generuje bílé kontinuum. Ve chvíli, kdy pak změním opakovací frekvenci pulsního laseru f_{rep} , změní se zároveň i vzdálenost L zrcadel rezonátoru o příslušnou hodnotu.

V tomto článku prezentujeme metodu charakterizace délkového chování piezoelektrického akčního členu, která je založena na kombinaci pulsního laseru a externího optického rezonátoru dle výše uvedeného principu.

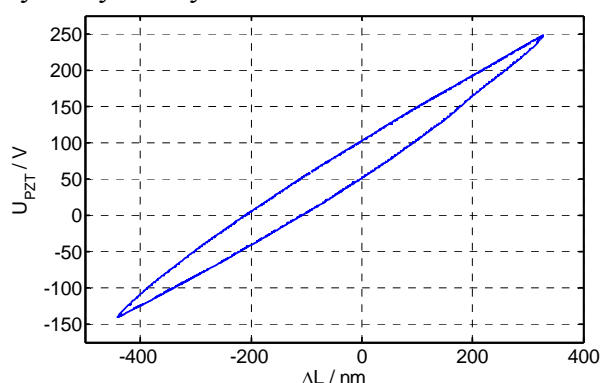
Pro tyto účely jsme sestavili specializovaný optický rezonátor, jehož rezonanční frekvence FSR byla nastavena na 1000 MHz, což je čtyřnásobek repetiční frekvence pulsního laseru, který máme na našem pracovišti k dispozici. Délka dutiny L našeho rezonátoru je přibližně 150 mm. Zrcadla rezonátoru jsme opatřili odrazivou vrstvou na bázi stříbra, které se vyznačuje minimální disperzí, což zajišťuje téměř nulový posuv fáze jednotlivých komponent

bílého kontinua při jejich odrazech v rámci rezonanční dutiny. Jen v takovém případě jsme schopni pozorovat na výstupu rezonátoru rezonanční vrcholy.



Obrázek 2. Schéma optické sestavy s pasivním optickým rezonátorem pro charakterizaci délkové roztažnosti měniče PZT.

Schematické uspořádání celkové sestavy je vyobrazeno na Obr. 2. Je využit pulsní laser pracující s repetiční frekvencí 250 MHz a centrální vlnovou délkou 1560 nm bílého kontinua. Pro zachycení rezonančních vrcholů rezonátoru na komponenty bílého kontinua jsme použili techniku derivační spektroskopie s jemnou modulací délky dutiny rezonátoru s celkovou výchylkou 40 nm. Femtosekundový laser je stabilizován technikou optického frekvenčního hřebene, tj. ofsetová frekvence f_{CEO} i repetiční frekvence f_{rep} je synchronizována naším ultrastabilním zdrojem frekvence – vodíkovým maserem. Díky naší řídicí elektronice jsme schopni měnit hodnotu frekvence f_{rep} v jemných krocích v požadovaném intervalu hodnot a lze tak dosáhnout změny délky dutiny v řádu až několik stovek nanometrů.



Obrázek 3. Charakteristika délkové změny piezoelektrického měniče v závislosti na přiloženém napětí.

Pro potřeby charakterizace piezoelektrického měniče PZT jsme následně provedli změnu repetiční frekvence laseru tak, aby bylo možno otestovat celý rozsah změny délky měniče - přibližně 700 nm. Následně jsme zaznamenali pro každý měřený bod charakteristiky hodnotu napětí, které je nezbytné přiložit na měnič PZT. Výsledkem je naměřená charakteristická hysterezní křivka měniče PZT, která je uvedena na Obr. 3. Na základě tohoto měření jsme zjistili průměrnou hodnotu koeficientu měniče PZT pro převod napětí na změnu délky 1,98 nm/V. Tato technika je velmi slibná s ohledem na potřebu měření délek na vzduchu s absolutní stupnicí, neboť údaje, které metoda poskytuje, zahrnují celkovou délku dutiny, nikoliv relativní změny.

Poděkování

Autorka vyjadřuje tímto poděkování za podporu projektu GA ČR, č. GA14-36681G.

Literatura

- [1] Quinn TJ (2003) Practical realization of the definition of the metre. Metrologia, 40: 103-133, 2001
- [2] Udem T, Holzwarth R, Zimmermann M, et al Optical frequency-comb generation and high-resolution laser spectroscopy. Topics in Applied Physics, 95: 295-316, 2004

SYSTÉM PRO BEZPEČNOST OSOB V LASEROVÉ HALE HiLASE

Jan Růžička, Vlastimil Červenka

Projekt HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i Za Radnicí 828,
252 41 Dolní Břežany;

ruzickaj@fzu.cz; cervenkav@fzu.cz; www.hilase.cz



Obor: Interlock, bezpečnostní PLC, laserová bezpečnost, Pilz, EPLAN, LabVIEW

LPSS (Laser Personnel Safety System) je elektronické zařízení, jehož hlavním účelem je zabránit kontaktu a manipulaci neautorizovaných osob s laserovou technologií v laserové hale budovy HiLASE. Sekundárním rysem systému je nastavení stupně oprávnění autorizovaných osob pro manipulaci s laserovou technologií. V rámci projektu HiLASE jsou vyvíjeny pulsní (délka pulsu v ns-ps) diodově čerpané pevnolátkové lasery s vysokou energií v pulzu a průměrným výkonem až na úrovni 1kW. Většina laserů vyvíjených na HiLASE se nachází v bezpečnostní třídě 4.

Primárním požadavkem na LPSS je připojení všech vyvíjených laserů ke dveřnímu interlocku a umožnění průchodu autorizovaných osob do laserové haly bez přerušení laserového záření. V případě citlivých laserových technologií umožnění řízeného interlocku (postupné vypínání jednotlivých stupňů laseru v daném pořadí). Důraz byl kladen především na modularitu, univerzálnost a rozšiřitelnost LPSS, tak abychom mohli pružně reagovat na změny v konfiguraci laserových systémů. Výrazným požadavkem byla také spolehlivost HW a flexibilita SW.

Srdcem LPSS systému je bezpečnostní PLC od firmy Pilz - PSS 4000 viz. Obr. 2. Bezpečnostní PLC PSS 4000 splňuje standard IEC 61508 až do SIL 3 a EN ISO 13849-1 až do PLe. PSS 4000 je programovatelné v PAS 4000 (Pilz Automation Suite) podle normy 61131-3. Programování podle normy 61131-3 v kombinaci s grafickým editorem PASmulti umožňuje vytvořit komplexní, přehledný a bezpečnostně orientovaný SW. V PAS 4000 je možnost nastavení priority tasku na tři úrovně. Volbou priority tasku lze zajistit spolehlivé provedení kritického úseku programu v rámci multitaskingu (preempce).

PSS 4000 má připojeno přes modulární sběrnici maximální počet bezpečnostních karet digitálních vstupů (DI), výstupů (DO) a interlokovacích relé (bezpotenciálový kontakt). Další potřebné DI, DO a relé jsou připojena pomocí Pilz SafetyNET p sběrnice a decentralizované bezpečnostní hlavy. Karty mají průmyslový standard 24 VDC. DI a DO karty umožňují pro dosažení PLe nastavit v SW PAS 4000 testovací pulz na dvojici vstupů a výstupů s fázovým posunem (například: detekce přítomnosti cizích 24 VDC). Prostřednictvím SafetyNET p sběrnice, jenž umožňuje sdílet bezpečnostní data mezi několika PLC, můžeme v budoucnu propojit navazující systém pro bezpečnost osob v experimentální hale budovy HiLASE pomocí jediného fyzického kabelu.

Dvoukřídlé dveře v laserové hale HiLASE pro běžný průchod jsou na Obr. 1 značeny oranžovým kolečkem. Levé dveře (vstup směrem do haly) jsou monitorovány pomocí kódovaného senzoru polohy Pilz PSEncode (RFID - Radio Frequency Identification). Pilz PSEncode na rozdíl od běžného magnetického spínače nelze vyřadit pomocí permanentního magnetu. Dále disponuje dvěma bezpečnostními vstupy a výstupy (splňující PLe). Pilz PSEncode je sériově propojeny s magnetickým zámekem Pilz PSENSlock s přídržnou silou 1000N, jenž opět disponuje dvěma bezpečnostními vstupy a výstupy. Bezpečné uzamčení dveří je vyhodnoceno dvoukanálově na DI kartě Pilz pomocí speciální SW bezpečnostní funkce ve formě funkčního bloku (splňuje PLe). Červené kolečko na Obr. 1 označuje dveře chráněné pouze senzorem polohy PSEncode (únikové dveře a dveře materiálové propusti), při jejich otevření dochází k okamžitému blokování laserové technologie v zasažené lokaci.

Laserová hala je rozdělena do tří lokací s odlišnými typy laserů a odlišnými algoritmy pro blokování laserových technologií viz Obr. 1. Lokaci lze podle stupně oprávnění autorizované osoby uvést do čtyř základních stavů (1,2,3 nebo 4). Stav 1: všechny lasery v dané lokaci jsou blokovány včetně interlockovaných zásuvek. Stav 2: stejný jako stav 1, ale jsou uvolněny interlockované zásuvky. Stav 3: stejný jako stav 2, ale jsou uvolněny nízko výkonové lasery (seed lasery, oscilátory). Stav 4: stejný jako stav 3, ale navíc jsou uvolněny vysoko výkonové lasery (čerpací diody). Přepínání stavů a stupeň autorizace osoby je zajištěn pomocí Pilz přepínače režimů PIT m3.2p a žluté RFID karty. Autorizovaná osoba obdrží RFID kartu s unikátním devítimístným identifikačním číslem a číslem autorizace od 1 do 4, kdy číslo určuje maximální možný nastavitelný stav. Průchod do haly přes uzamčené dveře je umožněn uvolněním magnetického zámku po vložení žluté RFID karty do přepínače režimů, který načte unikátní kód do bezpečnostního PLC. Shoduje-li se načtený kód RFID karty s kódem pro danou lokaci (osoba byla proškolená a má povolen přístup) zámek se otevře na daný časový limit. Nedojde-li k opětovnému uzavření dveří do časového limitu, pak bude spuštěn varovný signál, pokud ani po další časové prodlevě nedojde k uzavření dveří bude laserová technologie v dané lokaci blokována. LPSS systém je připojen pomocí dvou reléových kontaktů k systému EPS (Elektrická Požární Signalizace). V případě požáru budou uvolněny všechny magnetické zámky a blokována laserová technologie. LPSS dále disponuje UPS.



Obr. 1: Rozmístění bezpečnostních prvků v laserové hale HiLASE

Stavy jednotlivých lokací jsou zobrazeny pomocí LED semaforů viz Obr. 3. Stav 1: zelená LED-bezpečný stav, nutno mít ochranné brýle u sebe. Stav 2 a 3: žlutá LED-nutné nasadit ochranné brýle. Stav 4: červená LED-nutné nasadit ochranné brýle a dbát zvýšeného bezpečnostního rizika. Dodatečné informace o stavu laserů v dané lokaci, pokyny během vstupu a další informace budou zobrazeny na LED informačních panelech viz. Obr. 3 u vstupních dveří. Informační panely jsou připojeny k Intel X86 (X64) PC (pomocí HDMI rozhraní) s Windows OS a programem v LabVIEW, který pomocí Modbus TCP-IP protokolu sbírá data z PSS 4000 přes switch. Panely a PC jsou naprosto nezávislé a oddělené od samotné bezpečnostní logiky Pilz. Napájení panelů a PC je zajištěno ze zdroje SELV 24VDC a lokálně upraveno pomocí step-down měničů na 12 VDC a 20 VDC. HW a vlastní procesní diagnostika LPSS systému bude zajištěna přes Pilz OPC (OLE for Process Control) server. Elektrická dokumentace k systému je připravena v SW EPLAN.



Obr. 2: Rozvodná skříň s PLC Pilz, switchem a UPS

Obr. 3: LED semafor, Pilz PIT a LED panel

We acknowledge the support of European Regional Development Fund, European Social Fund and the state budget of Czech Republic (Project HiLASE:CZ.1.05/2.1.00/01.0027).

DISTRIBUCE LASEROVÝCH SVAZKŮ V BUDOVĚ HiLASE

**Jan Růžička, Martina Řeháková, Luděk Švandrlík,
Mihai–George Muresan, Jan Heřmánek**

Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i Za Radnicí 828,
252 41 Dolní Břežany;

rehakova@fzu.cz; svandrlík@fzu.cz; muresan@fzu.cz; hermanek@fzu.cz www.hilase.cz



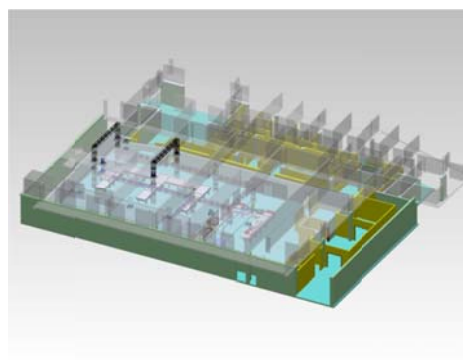
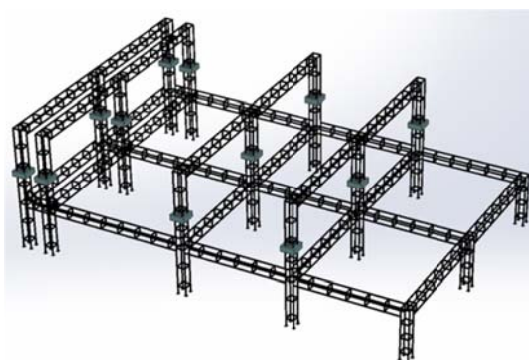
Obor: Laser beam, laser beam distribution system

LBDS (Laser Beam Distribution System) je technické zařízení umožňující distribuci laserových svazků v budově Hilase. V rámci projektu Hilase jsou vyvíjeny lasery s vysokou energií v pulzu (průměrného výkonu až na úrovni 1kW), vysokou opakovací frekvencí (ps a ns) a velikosti spotu od průměru 5mm až do čtvercového průřezu 75x75mm. LBDS byl vyvíjen právě pro distribuci takovýchto typů laserových svazků.

Budova HiLase je koncipovaná jako dvě budovy v sobě. Laserové svazky vznikají v laserové hale v přízemí budovy. Nad touto laserovou halou se nacházejí tři experimentální pracoviště, kde budou laserové svazky využívány.

Základním požadavkem pro prostorové řešení LBDS je možnost dovedení každého laserového svazku z jakéhokoli místa laserové haly do každé z experimentálních hal. Z tohoto důvodu bylo navrženo 12 prostupů ve stropě laserové haly do experimentálních hal. Rozměry prostupů byly koncipovány tak, aby každým prostupem mohla projít 4 vakuová potrubí o průměru 160 až 200mm. Velikost prostupů byla během stavby měněna až na finální rozměr je 600mmx600mm. Prostup stropem prochází meziprostorem a stropem ústí do laserové haly, která je čistým prostorem ISO7. Prostup je celý koncipovaný jako hladká hranatá omyvatelná trubka. Na rozdíl od laserové haly jsou experimentální haly bez technologie udržování čistoty, teploty a vlhkosti, proto je nutné prostup prachotěsně uzavřít.

Hilase je projekt určený pro výzkum laserů pro průmysl, je tudíž vysoký předpoklad, že vznikne požadavek na variabilitu konstrukce s možností rozebrání a přeskládání do jiné formace v případě změny užívání laserové haly a experimentálních hal. Maximální možná varianta a aktuální varianta formace je na obr. č.1.



Obr. č. 1 Formace LBDS v budově HiLASE

Základním a samozřejmým požadavkem pro zachování kvality svazku je co nejkratší dráha laserového svazku od laseru k experimentu s minimalizací počtu odrazů na zrcadlech v uzlech LBDS. Každý z uzlů je koncipován jako vakuová komora se vstupy pro řízení pohybových motorků optomechaniky a vstupem pro kameru sledující polohu spotu na zrcadle. Dále je i uvažováno o zavedení chladicího media pro případné chlazení zrcadla.

Některé komory jsou připraveny pro odklonění drah svazků do jiného pracoviště řízeným zrcadlem.

Nedílnou součástí LBDS jsou prostorové filtry. Opět jsme je řešili jako vakuové komory, které mají možnost čerpání pomocí bypassu pouze jednou vakuovou pumpou na vyšší úroveň vakua než je ostatní vakuový systém.

Dalším požadavkem na distribuční systém je nepřenášet vibrace z laserové haly, na optomechaniku uzlů a na připojení k experimentálním komorám. Zdrojem vibrací je většinou okolní zařízení, doprava z okolí – toto je v laserové hale eliminováno uložením sarkofágu se speciálními antivibračními vrstvami. Budova je od tohoto sarkofágu oddělena a můžeme hovořit o tzv. systému „budova v budově“, proto zařízení mimo laserovou halu nezpůsobí vibrace v laserové hale. Experimentální haly, které se nacházejí v horním patře, nejsou již antivibračně uloženy. Z tohoto důvodu nelze distribuční systém kotvit ke stropu laserové haly, ani ke stěnám a podlaze experimentálních hal. Proto byl navržen podpůrný systém, který splňuje tuto podmínku a je kotven pouze do podlahy laserové haly. Nedotýká se, ani není připevněn k dalším částem budovy. Součástí výběrového řízení byl i požadavek na vibrační analýzu distribučního systému, který vychází z vibrační analýzy laserové haly. Požadavek je rozdělen do 2 úrovní a to od 0 do 50Hz a od 50Hz do 100Hz. Obecně nižší frekvence jsou pro laserová pracoviště horší, protože optické stoly neumí dobře vykompenzovat nižší frekvence. Dalším podkladem pro vibrační analýzu bylo definování možných zdrojů vibrací v laserové hale. V našem případě se jednalo o vakuové pumpy u, kterých jsme byli schopni určit frekvenci a umístění. Byla provedena vibrační analýza pro nakupovanou část LBDS. Následně jsme optimalizovali LBDS tak, aby výchytky v uzlech nebyly větší než takové, které bychom byli schopni eliminovat optomechanikou. Do podpůrného systému byly navrženy prokluzy, bylo změněno uspořádání umístění vlnovců a navrženy klecí k uzamčení kompenzátorů, tak aby po vyčerpání LBDS nebylo možné zvětšovat amplitudu kmitů. Nejkritičtější místem se ukázala komora prostorového filtru v první fázi dodávky LBDS.

Byl proveden výpočet teplotních dilatací pro $\Delta t=20^{\circ}\text{C}$ na maximální vzdálenosti cca 50m. Výsledkem bylo navržení prokluzů mezi potrubním vakuovým systémem a podpůrným systémem. Technické řešení bude ukázáno v přednášce.

Samozřejmě byl proveden i statický výpočet – zatížení podpůrného systému komorami uzlů. Váhy jednotlivých komor se pohybují od 20 do 80kg. Musíme připočítat i zatížení od optomechaniky.



Obr. č. 2 Realizace LBDS v laboratoři HiLASE



Obr. č. 3 Uzel LBDS



Obr. č. 4 Prostorový filtr

První fáze distribučního systému již byla dodána a vznikly tak i první zkušenosti s montáží takového systému. Provedli jsme první testování systému na jeho těsnost a nyní testujeme stabilitu části systému.

We acknowledge the support of European Regional Development Fund, European Social Fund and the state budget of Czech Republic (Project HiLASE:CZ.1.05/2.1.00/01.0027).

SYNTÉZA HYBRIDNÍCH Cu/Ag NANOČÁSTIC LASEROVOU ABLACÍ V KAPALINĚ

Lenka Řiháková^a, Antonio Ancona^b, Rosaria Anna Picca^c, Anna Di Maria^d, Annalisa Volpe^{b,d}, Maria Chiara Sportelli^c, Pietro Mario Lugarà^{b,d}, Nicola Cioffi^c

^aUniverzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, RCPTM, SLO UP a FZÚ AVČR, 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel.: 585631677, e-mail: lenka.rihakova@upol.cz

^bIFN-CNR, Dip. Interateneo di Fisica “M. Merlin”, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy, tel.: +39 0805442371, e-mail: antonio.ancona@ifn.cnr.it

^cDip. Chimica, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”, Via E. Orabona 4, 70126 Bari, Italy, tel.: +39 0805442030, e-mail: rosaria.picca@uniba.it

^dDip. Interat. Fisica “M. Merlin”, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy, tel.: +39 0805442397, e-mail: annalisa.volpe@ifn.cnr.it

Obor: aplikovaný výzkum laserových technologií

Nanočástice představují významný materiál, který můžeme v současné době nalézt ve všech oborech lidské činnosti. Např. nanočástice vzácných kovů jsou často využívány v energetice, informatice, fotonice a jako nanostrukturované materiály v medicíně a biotechnologii. Křemíkové nanočástice jsou uplatňovány v optoelektronice a jako modelové systémy pro studium kvantových jevů. Magnetické nanočástice prokázaly velký potenciál v několika oblastech, např. jako magnetická záznamová média, senzory a katalyzátory. V biomedicínských aplikacích jsou důležité pro magnetickou rezonanci, cílené podávání léčiv a léčbu rakoviny [1].

Metody přípravy nanočástic s různou morfologií zahrnují několik technologií. Jednou z těchto metod je „bottom – up“ technologie, která využívá autoregulační procesy jako samo-shromažďování a samo-organizace atomů a molekul spolu s atomovým inženýrstvím. Pro takto vzniklé nanočástice je však typická nízká čistota. Populární metodou produkce nanočástic se v současné době stává „top – down“ technologie využívající laserovou ablací, která přináší několik výhod na rozdíl od konvenčních chemických metod [2]. Syntéza nanočástic laserovou ablací objemového materiálu v kapalném prostředí je relativně nová, jednoduchá a rychlá fyzikální metoda, která zajišťuje vznik velmi kvalitních nanočástic různých velikostí a tvarů [3]. Nanočástice jsou během syntézy uvolňovány do kapaliny a dochází tak k tvorbě koloidního roztoku. Vzniklé nanočástice se vyznačují vysokou čistotou a lze je tedy využít pro aplikace v biomedicíně. Touto metodou je možné produkovat široké spektrum nanočástic, jelikož lze generovat z téměř všech pevných materiálů v různých roztocích s přítomností různých prekurzorů. Nanočástice mají zpravidla široké rozdělení velikostí od 10 nm až do 100 nm díky rychlé koalescenci a aglomeraci ablatovaných částic [4].

Syntézu nanočástic ablací je možné provést pomocí několika systémů zahrnujících nano, piko a femtosekundové (ns, ps, fs) lasery emitující v UV, VIS i IR oblasti spektra. Příprava nanočástic ablací fs lasery se v posledních letech dostává do popředí, jelikož dosahuje vysoké účinnosti a efektivní kontroly velikosti nanočástic. Femtosekundové pulzy také redukují tepelně ovlivněnou oblast ve srovnání s ns a ps lasery. Velikost nanočástic, jejich chemické složení a funkční vlastnosti jsou optimalizovány nastavením procesních parametrů (pulzní energie, frekvence pulzu, vlnové délky, způsobu fokusace) a výběrem výchozího materiálu. Vlastnosti prostředí, ve kterém ablace probíhá, ovlivňují např. růst nanočástic [5].

V dnešní době je značná pozornost věnována bi-metalickým nanočásticím díky jejím jedinečným katalytickým, elektrochemickým a optickým vlastnostem ve srovnání s mono-metalickými [6-7]. Zejména syntéza Cu/Ag hybridních nanočástic je přitažlivá, jelikož oba kovy se vyznačují antimikrobiálními vlastnostmi. V předchozí práci byly syntetizovány koloidní nanočástice mědi laserovou ablací měděného terčíku v 0,1% vodném roztoku kyseliny octové s biopolymerem Chitosanem, který zastával funkci stabilizačního media [8]. Tato práce je zaměřena na přípravu Cu/Ag bimetalických nanočástic pomocí dvou krokového procesu laserové ablace probíhající v průtokové cele. Průtoková cela byla navržena a vyrobena tak, aby umožňovala odvedení v ní syntetizovaných nanočástic a snižovala tak jejich další interakci s laserovým zářením. Experimenty byly realizovány pomocí femtosekundového vláknového laseru vyzařujícího na vlnové délce 1030 nm. Terčíky stříbra nebo mědi byly alternativně vybrány jako první ablatovaný materiál, načež následovala ablace druhého kovu přímo do koloidního roztoku prvního kovu. Ve všech případech byl použit Chitosan jako činidlo zabráňující růstu nanočástic v jeho optimální koncentraci 1g/L v 0,1% vodném roztoku kyseliny octové.

Mono - a bi - metalické nanočástice byly zkoumány a charakterizovány pomocí Transmisní Elektronové Mikroskopie, UV – VIS spektroskopie a Fotoelektronové spektroskopie za účelem určení jejich struktury, morfologie a chemického složení.

Poděkování

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu OP VK: „Partnerská síť v oblastech moderního a ekologicky šetrného čištění vod a půd se zaměřením na vzájemné propojení akademické půdy a soukromého sektoru. Reg. č.: CZ.1.07/2.4.00/31.0189 a projektu IGA Koherenční a nelineární optika – Vybrané kapitoly VI, č. IGA_PrF_2015_004.

Reference

- [1] M. Abhilash, International Journal of Pharma and Bio Sciences 1 (2010) 1-12.
- [2] T. Yamamoto, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Nishi, K. Miura, K. Hirao, Langmuir 27 (2011) 8359–8364.
- [3] H. Han, Y. Fang, Applied Physics Letters 92 (2008) 023116 (3 pp).
- [4] S.I. Alnassar, E. Akman, B.G. Oztoprak, E. Kacar, O. Gundogdu, A. Khaleel, A. Demir, Optics & Laser Technology 51 (2013) 17–23.
- [5] D. Tan, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 17 (2013) 50–68.
- [6] Y. Chen, H. Wu, Z. Li, P. Wang, L. Yang, Y. Fang, Plasmonics 7 (2012) 509-513.
- [7] R. Singh, R.K. Soni, Applied Physics A 116 (2014) 955-967.
- [8] A. Ancona, M.C. Sportelli, A. Trapani, R.A. Picca, C. Palazzo, E. Bonerba, F.P. Mezzapesa, G. Tantillo, G. Trapani, N. Cioffi, Materials Letters 136 (2014) 397-400.

OPTICAL CHARACTERIZATION OF NOVEL BENZOTIOPHENE DERIVATES

L. Slušná¹, E. Noskovičová¹, M. Trenčanová-Gregová¹, D. Lorenc²,
D. Végh³, V. Milata³, D. Velič^{1,2}

¹Faculty of Natural Sciences, Comenius University
Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 84215, Bratislava

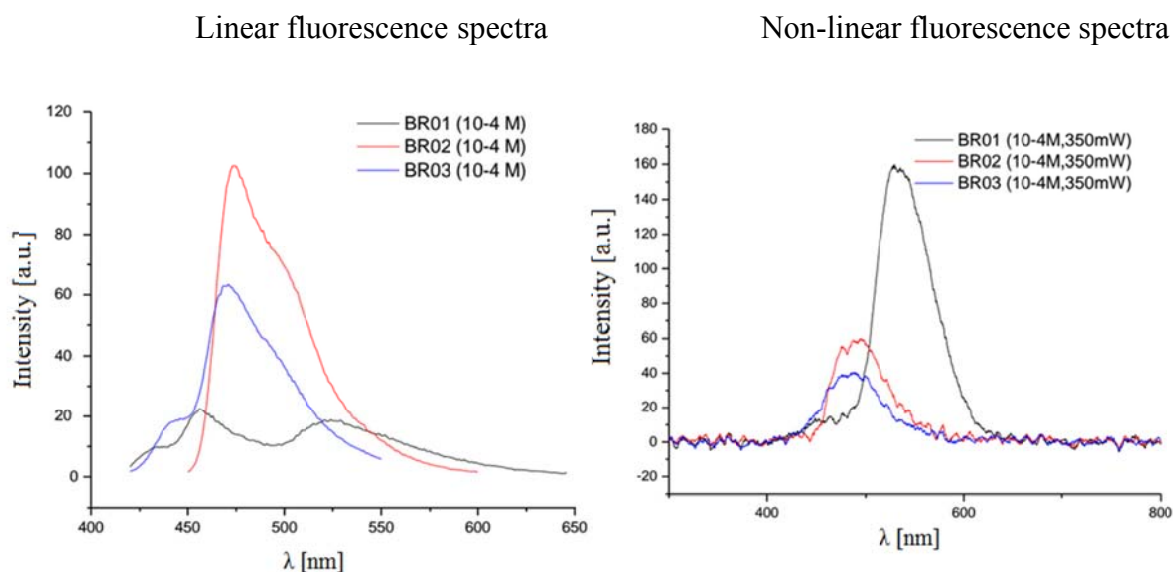
²International Laser Centre,
Ilkovicova 3, 84104 Bratislava, Slovakia, www.ilc.sk

³Slovak University of Technology, Faculty of Chemical and Food Technology
Radlinskeho 9, 812 37 Bratislava, Slovakia

Obor: fluorescencia a nelineárna optika

Fluorescence and non-linear two-photon absorption of novel derivatives of benzotriophenes were explored. Excitation and emission spectra of derivatives of benzotriophenes in toluene (concentration $1 \cdot 10^{-4}$ M) were measured by Fluorolog 3-11 Jobin-Yvon/SPEX. The molecules provide a bright fluorescence signal in the blue-green part of the spectrum with maxima ranging from 450 nm to 480 nm.

The molecular two-photon absorption cross-sections of the fluorescent derivatives was determined by the indirect fluorescence method [1]. The two-photon induced fluorescence was recorded in toluene solution (concentration $1 \cdot 10^{-4}$ M) using a Coherent Legend DUO USX/USP Ti:Saph femtosecond laser with a pulse energy of 4mJ at 3 KHz and 100 fs laser pulses at 800 nm. The samples under consideration show low to moderate two-photon cross sections. No significant first-order hyperpolarizability was detected.

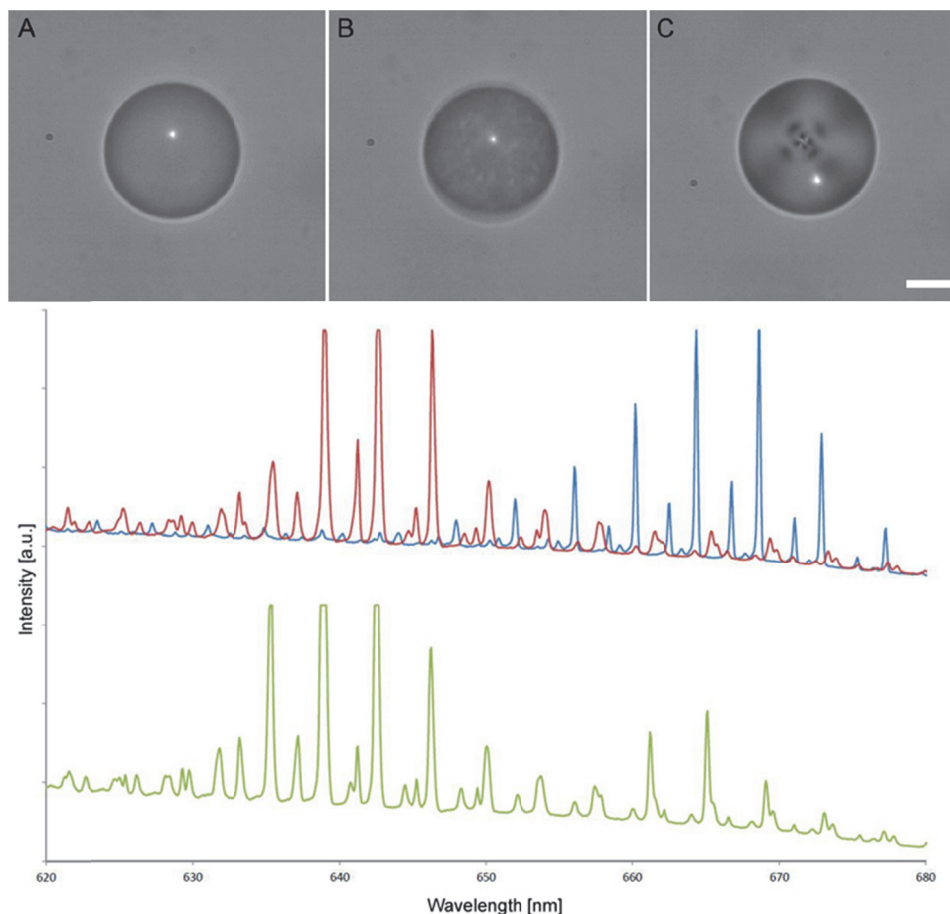


[1] Ch. Xu, W. W. Webb, J. Opt. Soc. Am. **13**, 481 (1996).

This research is sponsored by NATO's Emerging Security Challenges Division in the framework of the Science for Peace and Security Programme. D.Vé. and V.M. are grateful for financial support by Slovak Research and Development Agency (contract No. APVV-0038-11) and Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic (Project VEGA 1/0829/14).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Statická fluorescencia a časovo rozlíšená fluorescencia
- Časovo rozlíšená absorpcia
- Časovo rozlíšená femtosekundová spektroskopia v strednej IČ oblasti
- Generácia THz v exotických materiáloch
- Určovanie hyperpolarizovateľnosti a účinných prierezov 2- a 3- fotónovej absorpcie
- Určovanie Kerrovho indexu lomu metódou Z-scan



Obr. 1: Nahoře: Přeměna LC kapénky postupným ochlazováním z izotropní fáze (A) do přechodné fáze (B) a kapalně krystalické fáze (C), měřítko: $10\ \mu\text{m}$. Dole: WGM spektra z jednotlivých fází – červená: izotropní; modrá: LC fáze; zelená: přechodná fáze. V tomto systému bylo pozorováno skokové přeladění až o 25nm.

Autoři děkují za podporu MŠMT (LD14069, LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017), TAČR (TA03010642) a TUBŮTAC (111T059).

[1] M. Aas, A. Jonáš, A. Kiraz, O. Brzobohatý, J. Ježek, Z. Pilát, P. Zemánek: Spectral tuning of lasing emission from optofluidic droplet microlasers using optical stretching, *Optics Express* 21, 21381-21394, 2013.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Tvorba PDMS mikrofluidních systémů „soft litografií“
- Optická pinzeta a její využití
- Návrh a konstrukce mechanických komponent pro optické systémy
- Ramanovská mikrospektroskopie
- Fotopolymerace mikrostruktur
- Digitální mikrofluidika

PŘECHOD ŠUM - SIGNÁL: ZISK ENERGIE ZE ŠUMU STUDOVANÝ POMOCÍ OPTICKÉ PINZETY

Martin Šiler, Radim Filip*, Petr Jákl, Oto Brzobohatý, Pavel Zemánek

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

Královopolská 147, 612 64 Brno

tel. 541 514 240, email: siler@isibrno.cz, <http://www.isibrno.cz/omitec>

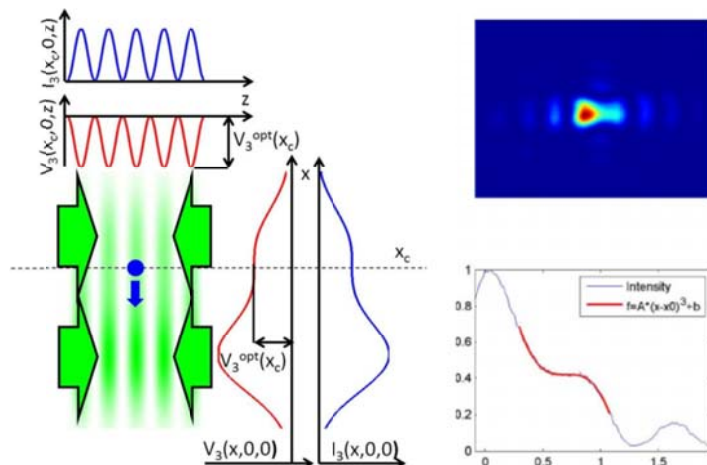
* Katedra optiky, Palackého univerzita, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc

Obor: Optické manipulace

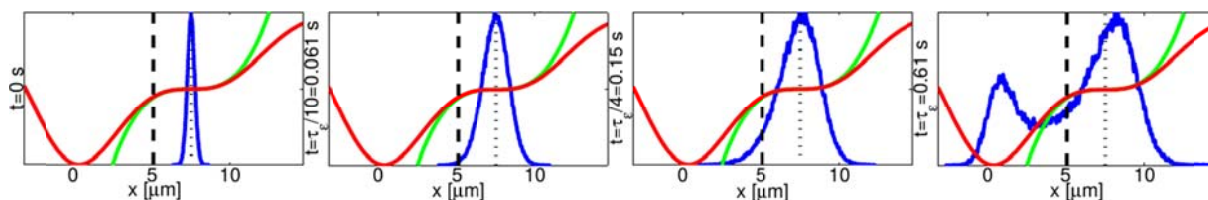
Nelineární jevy ve fyzikálních systémech, ve kterých dominuje šum, se vyskytují v mnoha různých oblastech a představují velice zajímavé téma. Jedná se například o chování qubitů v kvantových počítačích, průchod elektronu Josephsonovým přechodem v supravodivých systémech nebo (okrajově) chování finančních trhů. Tyto oblasti mají společné, že jsou popsány pomocí stochastických diferenciálních rovnic. Existující přístup k tomuto tématu se zabýval především určováním průměru, odchylek a dalších statistických parametrů. Nedávný rozvoj optické kontroly mechanických systémů otevřel nové možnosti studia mechanických efektů v termodynamice a statistické fyzice, stochastických systémech a kvantové mechanice. Unikátní je možnost sledovat chování jedné částice, několika částic až po komplexní mnohačasticové systémy. Můžeme očekávat, že se v blízké budoucnosti objeví nelineární stochastické efekty, které transformují šum v užitečné mechanické efekty.

V tomto příspěvku se zabýváme chováním mikroskopické částice, která se pohybuje náhodným Brownovým pohybem, v kubickém potenciálu [1]. Ten představuje nejjednodušší systém, ve kterém můžeme pozorovat výše zmíněné nelineární jevy. Zabýváme se především přechodem signál-šum. Tedy tím, jak se vyvíjí poloha částic v závislosti na jejich počátečním rozložení a na síle kubického potenciálu. Ukážeme, že v krátkém časovém úseku může dojít ke kompresi původního náhodného rozdělení částic a k rychlému posunu částic daným směrem.

Tento nelineární potenciál je možno vytvořit tvarováním laserového záření pomocí prostorového modulátoru světla. Levá část obrázku 1 ukazuje, jak je možné potenciál vytvořit pomocí interference dvou párů laserových svazků [2]. Pravá část obrázku 1 pak ukazuje příčný řez takto vytvořeným světelným polem v případě, že jsou použity pouze 2 laserové svazky dopadající na kameru z jedné strany. Obrázek 2 pak ukazuje, jak se s časem mění hustota pravděpodobnosti výskytu částice v takto vytvořeném optickém potenciálu, kterým aproximujeme kubický.



Obrázek 1: (vlevo) Experimentální geometrie navrhovaná k vytvoření kubického potenciálu pomocí dvou párů protiběžných, interferujících, svazků. (vpravo nahoře) Intenzitní profil vytvořený pomocí 2 svazků dopadajících na CCD kameru z jedné strany. (vpravo dole) Řez intenzitou na spojnici středů svazků a její fit pomocí kubické funkce.



Obrázek 2: Monte-Carlo simulace ukazující časový vývoj hustoty pravděpodobnosti výskytu částice v optickém potenciálu, kterým aproximuje potenciál kubický.

V této práci jsme provedli analýzu různých režimů chování mikročástice v optické pasti i v kubickém potenciálu a našli jsme optimální parametry pro nastavení experimentálního systému. Experimenty plánujeme v brzké době. Předpokládáme, že se nám podaří teoretické předpovědi ověřit a budeme pozorovat nové i dosud neočekávané jevy.

Autoři děkují za podporu projektu GAČR (GB14-36681G).

Reference

- [1] Filip R, Zemánek P, 2015 New J. Phys., odesláno
 [2] Zemánek P, Šiler M, Brzobohatý O, Jákl P, Filip R 2015 New J. Phys., odesláno

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Optické mikromanipulace, měření teploty v koloidním roztoku
- Výpočty rozptylu světla, ohřevu a sil pomocí Mieho teorie rozptylu
- Modelování metodou konečných prvků v programu Comsol Multiphysics
- Programování v prostředí Matlab, včetně grafického rozhraní
- Analýza spektroskopických dat

MODEL PLNĚ FOTONICKÉHO OPTICKÉHO PŘIJÍMAČE

Peter Barčík, Otakar Wilfert, Viera Biolková, Zdeněk Kolka

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav radioelektroniky

Technická 12, 616 00 Brno, Telefon: +420 54114 6565

E-mail: wilfert@feec.vutbr.cz

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

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

Obor: Optické komunikace, laserová technika, vlnová optika

Na pracovišti VUT v Brně je již 23 let zkoumáno nasazení laseru v optické bezkabelové komunikaci (OBK). Motivací pro nasazení laseru v OBK byly výhody OBK související se základními vlastnostmi laseru. Laser je schopen generovat prostorově i časově koherentní světelné záření. Důsledkem je vysoká koncentrace optického výkonu ve svazcích o divergenci v řádech μ rad a vysoká přenosová rychlost, až Tb/s. Výhody OBK jsou dnes již dobře známé a jako nevýhoda OBK se často zmiňuje velká závislost na stavu počasí.

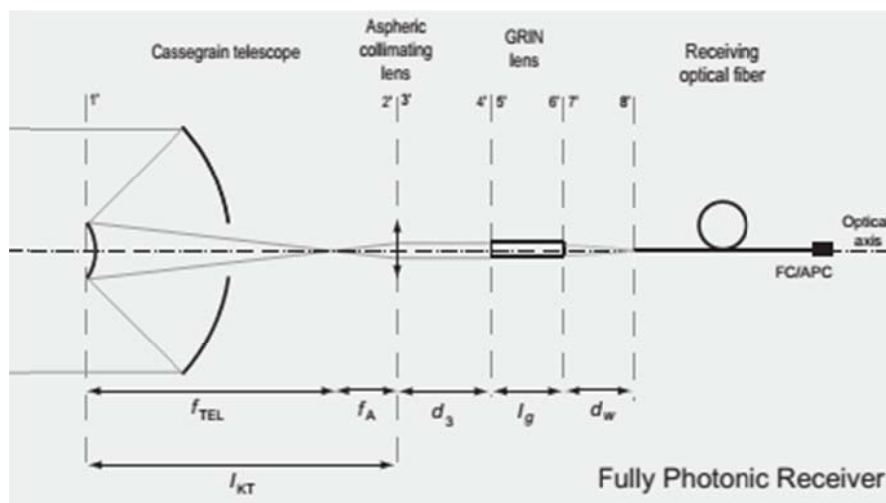
V současné době se objevily nové aspekty:

- Za neúspěchem některých výrobců stojí neúplné představy o vlastnostech atmosféry a cenová nedostupnost použité technologie.
- Některé atmosférické jevy byly podceněny (námraza na hlavicích, nečistota na průzorech, deformace konzol, působení hmyzu a ptáků atd.)
- Byla podceněna deformace laserového svazku vlivem difrakce [1] a refrakce.

Požadavkem současného trhu je: vysoká přenosová rychlost (10 Gb/s +), vysoká dostupnost (99,999%) a dosah 3 km – 5 km. Tomuto požadavku odpovídají nové trendy OBK, které výzkum na pracovišti VUT v Brně respektuje:

- Věnujeme se výzkumu plně fotonické koncepce transceiverů, která vede jak ke zkvalitnění testovacích spojů (komplexnímu poznání projevů atmosféry), tak ke zkvalitnění datových spojů s novou aplikací - přenos času.
- Dokončujeme výzkum optimálního rozložení světla ve svazku s cílem zvýšit odolnost OBK vůči turbulenci atmosféry.

Skladba modelu plně fotonického přijímače je naznačena na následujícím obrázku.



SFL – jednofrekvenční laser; Lens 1 – plankonkávní čočka s ohniskovou vzdáleností $f_1 = -30$ mm, Lens 2 – plankonvexní čočka s ohniskovou vzdáleností $f_2 = 300$ mm; f_{TEL} - ohnisková vzdálenost Cassegrainova telescopu; f_A - ohnisková vzdálenost asférické čočky; l_g - ohnisková vzdálenost GRIN čočky, d_w – pracovní délka GRIN čočky.

Jednotlivé části spoje jsou popsány dílčími maticemi, z nichž pak lze sestavit výslednou matici přenosu M_R sloužící jak k návrhu přijímače, tak např. k výpočtu dovolených změn úhlu dopadu přijímané vlny.

$$M_R = \begin{bmatrix} A_R & B_R \\ C_R & D_R \end{bmatrix}$$

$$A_R = -\frac{f_A (\cos(gl_g)) - d_w g n_g \sin(gl_g)}{f_{tel}},$$

$$B_R = (\cos(gl_g) - d_w g n_g \sin(gl_g)) \times \left[f_A - \frac{f_{tel}(d_3 - f_A)}{f_A} \right] \frac{f_{tel} \left(\frac{\sin(gl_g)}{g} + n_g d_w \cos(gl_g) \right)}{f_A n_g},$$

$$C_R = \frac{f_A g n_g \sin(gl_g)}{f_{tel}},$$

$$D_R = -\frac{f_{tel} \cos(gl_g)}{f_A} - g n_g \sin(gl_g) \left[f_A - \frac{f_{tel}(d_3 - f_A)}{f_A} \right]$$

kde g – gradientní konstanta GRIN čočky; n_g – index lomu v centru GRIN čočky.;

Při naší práci jsme dospěli k následujícím závěrům a výsledkům:

- Plná fotonizace datového spoje je evidentně významným pokrokem ve výzkumu a vývoji spojů žádaných trhem (vysoká přenosová rychlost, vysoká dostupnost a relativně velký dosah).
- Plná fotonizace testovacího spoje umožní komplexní a korektní charakterizaci atmosféry pro stanovení reálných možností OBK.
- Pro plnou fotonizaci transceiverů je klíčovým bodem zavedení přijatého optického výkonu do jednomodového optického vlákna. Tento úkol se řeší speciálními fotonickými zařízeními.
- Charakter šíření světla v plně fotonickém spoji vyhovuje požadavkům maticové optiky, která se jeví jako efektivní matematický aparát sloužící jak pro návrh, tak pro stanovení parametrů a charakteristik transceiverů.
- Při plně fotonické koncepci spoje lze výhodně použít prvků vláknové optiky (WDM, zesilovačů EDFA, cirkulátorů s optickým filtrem, apod.).

Literatura

[1] POLIAK, J. Diffraction effects in transmitted optical beam: doctoral thesis. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Radio Electronics, 2014. 113 p.

Popsané výzkumné aktivity jsou podpořené mj. grantovými projekty TA ČR č. TH01011254-*Soubor prvků pro fotonickou komunikaci* a MŠMT č. LD12067 - *Modelování šíření optických vln v atmosféře* v rámci akce COST IC1101.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Využití interferometrických metod při simulaci a měření turbulence atmosférického nebo vodního přenosového prostředí.
- Zkoumání vlivu rozložení optické intenzity ve svazku na fluktuační přijímaného optického výkonu.
- Zkoumání modelů pro VLC a jejich experimentální ověření.

NÁSOBENÍ FREKVENCÍ SYNCHRONNĚ ČERPANÉHO OPTICKÉHO PARAMETRICKÉHO OSCILÁTORU

Alena Zavadilová, Václav Kubeček, Jan Šulc

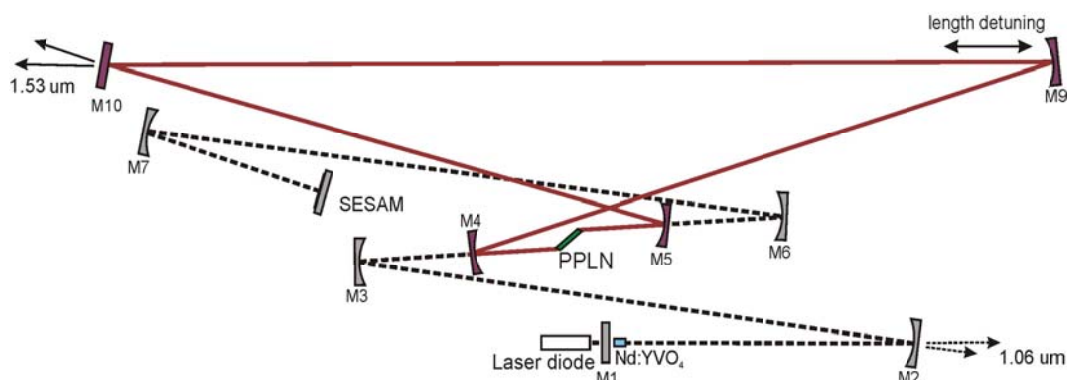
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Břehová 7, 115 19 Praha 1

e-mail: alena.zavadilova@fjfi.cvut.cz

http://www.fjfi.cvut.cz/

Obor: Laserová technika

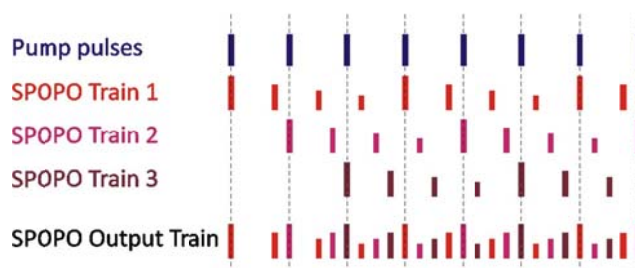
Synchronní čerpání optického parametrického oscilátoru (SPOPO) je efektivní způsob, jak generovat vlnově laditelné pikosekundové a femtosekundové impulsy. Při použití této techniky je opakovací frekvence generovaných a čerpacích impulsů totožná a zpravidla vzhledem k uspořádání nepřesahuje 100 MHz. Tento omezující faktor může být překročen při využití násobení frekvencí k němuž dochází při přesném rozladění délek čerpacího a SPOPO rezonátoru. Násobení opakovací frekvence pomocí tohoto tzv. quasi-synchronní čerpání bylo pozorováno poprvé u synchronně čerpané barvivového laseru [1]. Byly vyvinuty systémy umožňující násobení faktorem 5 [2] a 15 [3], oba však byly čerpány externě femtosekundovými Ti:safírovými lasery. Možností, jak zvýšit celkovou účinnost a snížit složitost systému (např. odstranění optických izolátorů), je použití vnitrozreznatového SPOPO, možné uspořádání viz Obr 1. Výhodou takového systému je mimo jiné snížení prahu generace, který je pak dosažitelný i pro nízkovýkonové laserové diody [4].



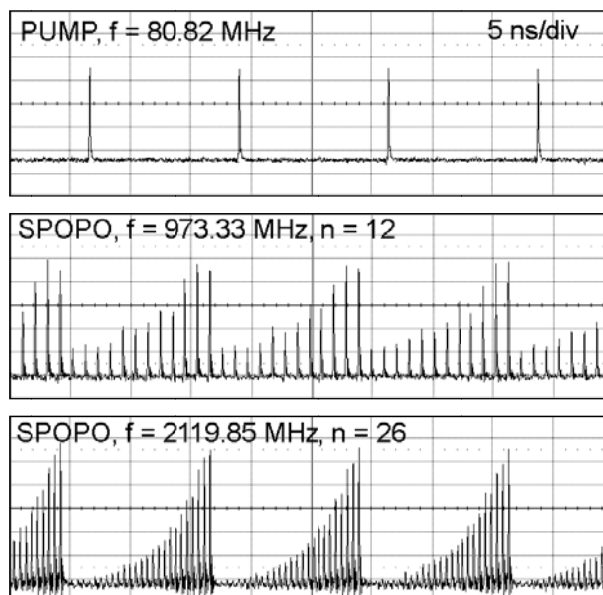
Obr.1 Schéma diodově čerpaného mode-lockovaného Nd:YVO₄ laseru s SPOPO v kruhovém uspořádání

Při běžném režimu SPOPO v lineární konfiguraci je délka L_{OPO} SPOPO rovna délce čerpacího rezonátoru L_{pump} , v kruhové konfiguraci pak $L_{OPO} = 2L_{pump}$, opakovací frekvence obou rezonátorů (čerpacího i SPOPO) jsou totožné a jednomu čerpacímu impulsu odpovídá jeden SPOPO impuls. Při změně délky (v našem případě zkrácení) lineárního SPOPO rezonátoru o $\delta = L_{pump}/n$, nebo o $\delta = 2L_{pump}/n$ v kruhové konfiguraci (n je celé číslo), ke kvazi-synchronnímu čerpání dojde po n obězích v SPOPO rezonátoru, což odpovídá $n-1$ oběhům v čerpacím rezonátoru. Opakovací frekvence signálových SPOPO impulsů je tedy n -krát větší než opakovací frekvence čerpání, viz Obr 2. Pro faktor násobení n je vygenerováno $n-1$ sledů impulsů SPOPO.

Protože v nelineárním krystalu bez současného průchodu čerpacího impulsu není pro signálový impuls žádný zisk, je pozorován průběžný pokles intenzity SPOPO signálu, příklady násobení pro faktor 12 a 26 jsou uvedeny na Obr 3.



Obr. 2 Schéma SPOPO generace při kvazi-synchronním čerpání. Faktor násobení $n = 4$.



Obr. 3. Oscilogramy čerpací (1064 nm) a SPOPO záření (1540 nm) pro faktor násobení $n = 12$ a 26.

V našich experimentech byl použit systém založený na SESAM mode-lockovaném pikosekundovém diodově čerpaném Nd:YVO₄ laseru (10 W, 1064 nm) a přeladitelném parametrickém oscilátoru (1540 nm) s nelineárním krystalem MgO: PPLN. Metodou kvazi-synchronního čerpání pomocí vzájemné změny délek těchto rezonátorů bylo dosaženo násobení až faktorem 13 pro lineární konfiguraci SPOPO, v daném uspořádání je odpovídající opakovací frekvence 80 MHz až 1 GHz. Pro kruhovou konfiguraci SPOPO rezonátoru bylo dosaženo faktoru násobení až 26, což umožňuje škálování opakovací frekvence od 80 MHz po 2 GHz.

Poděkování:

Výzkum byl podpořen GAČR P102 /12 /P645 a RVO 68407700

Reference:

- [1] J.P. Zheng, U. Sen, D.M. Benenson, H.S. Kwok, *Observation of periodicity multiplication in a synchronously pumped dye laser*, Opt. Lett., 11 632–4 (1986)
- [2] J. Jiang, T. Hasama, *Synchronously pumped femtosecond optical parametric oscillator based on an improved pumping concept*, Opt. Commun., 220, 193–202 (2003)
- [3] O. Kokabee, A. Esteban-Martin, M. Ebrahim-Zadeh, *Extended-cavity, tunable, GHz-repetition-rate femtosecond optical parametric oscillator pumped at 76 MHz*, Opt. Express, 17, 15635–40 (2009)
- [4] A. Zavadilová, V. Kubeček, J-C. Diels, *Picosecond optical parametric oscillator pumped synchronously, intracavity, by a mode-locked Nd:YVO₄ laser* Laser Phys. Lett., 4, 103–8 (2007)

SILOVÉ ÚČINKY LASEROVÝCH SVAZKŮ NA NESFÉRICKÉ ČÁSTICE

P. Zemánek¹, O. Brzobohatý¹, A. V. Arzola², M. Šiler¹, S. Simpson¹,
L. Chvátal¹, P. Jákl¹

¹Optické mikromanipulační techniky, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, Brno 612 64

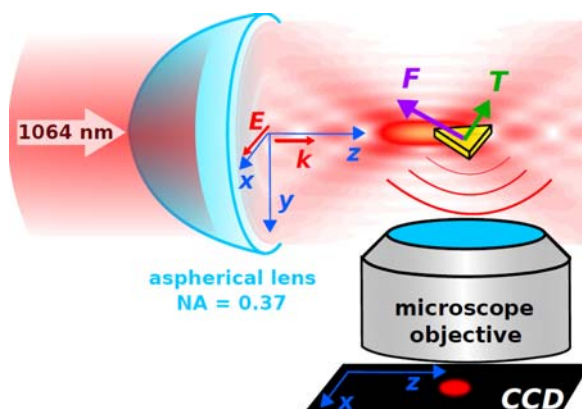
²Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-364,
01000 México, D.F. México

Tel.: +420 541 514 202, E-mail: zemanek@isibrno.cz, WWW: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

Obor: optické mikromanipulace

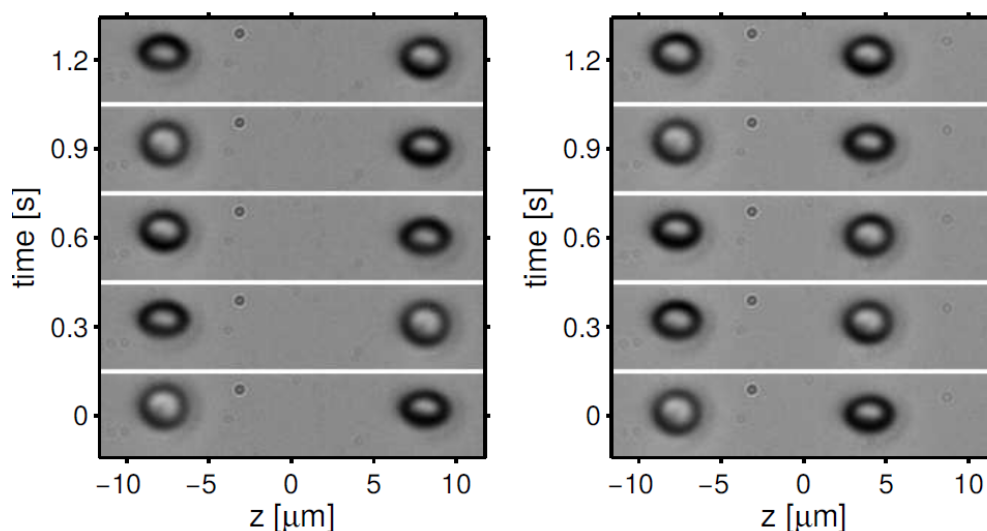
Silové účinky světla na částici jsou založeny na výměně hybnosti mezi fotony a částicí, která vede k tzv. optické síle působící na částici. V případě nesférických částic je tato interakce obohacena i o výměnu momentu hybnosti mezi světlem a částicí. Vzniká tak moment síly, který působí na nesférickou částici a natáčí ji v laserovém svazku. Orientace částice však zpětně silně ovlivňuje optické síly, které na částici působí, a následně případnou rovnovážnou polohu částice ve svazku. Chování nesférické částice je tak mnohem komplexnější, než v případě kulových částic a vede k velmi zajímavých efektům.

Obrázek 1 ukazuje uspořádání, kdy zlatá nanočástice ve tvaru hranolu s trojúhelníkovou podstavou je prostorově zachycena v slabě fokusovaném laserovém svazku s numerickou aperturou jen 0,2-0,37. Částice má tendenci se orientovat vzhledem k ose šíření svazku a směru polarizace laserového svazku. Tato orientace navíc závisí na vlnové délce chytacího svazku [1,2] a lze najít parametry, kdy nesférická částice je, na rozdíl od sférické, prostorově zachycena ve svazku [2].



Obrázek 1. Zlatá nanočástice přirozeného tvaru (žlutě) je zachycena v příčném směru na ose svazku a v podélném směru za ohniskem svazku. Podélná poloha nanočástice silně závisí na orientaci částice vzhledem ke směru šíření a polarizaci svazku. Objektiv a CCD kamera jsou umístěny kolmo ke směru šíření svazku a nanočástice je zobrazena jako světlý bod na tmavém pozadí. [1,2].

Obrázek 2 dokumentuje chování sféroidních mikročástic zachycených v protiběžných gaussovských svazcích (šířících se vodorovně) s opačnou orientací kruhové polarizace. V důsledku přenosu tzv. spinového momentu hybnosti ze svazku na částici dochází k rotaci částice kolem osy svazků. Současně je zde ukázán i jev optické vazby mezi dvěma sféroidy, které si udržují rozstup několika mikrometrů a jsou vzájemně otočeny o 90 st. Detailní teoretická studie odhaluje zákonitosti tohoto chování v závislosti na rozdílném tvaru či indexu lomu obou sféroidů [3]. Kromě uvedené konfigurace bylo pozorováno mnohem komplexnější chování více sféroidů, které kombinovalo translační pohyb celé opticky vázané struktury s její rotací [4].



Obrázek 2. Několik bočních pohledů na dva rotující a opticky zachycené a samouspořádané sféroidy v interferujících protiběžných gaussovských svazích s opačným směrem kruhové polarizace. Levý (pravý) sloupec začíná v čase 8s (95,9s) od začátku stejného záznamu. Parametry experimentu byly následující: poloměr pasu gaussovských svazků $4,36 \mu\text{m}$, celkový výkon v rovině vzorku 85 mW , sféroidy měly poměr os vedlejší a hlavních poloos $0,65 \pm 0,02$ a byly získány tepelnou deformací polystyrénových koulí o průměru $2 \mu\text{m}$ [4].

Dosažené výsledky naznačují, že použití nesférických částic při jejich samouspořádávání světlem do opticky vázaných mikrostruktur, rozšiřují možnosti této metody, protože kromě statické mikrostruktury lze dosáhnout i struktur, které celé rotují nebo alespoň obsahují rotující komponenty.

Autoři děkují za podporu GAČR (GB14-36681G).

Reference

- [1] O. Brzobohatý et al., Three-dimensional optical trapping of a plasmonic nanoparticle using low numerical aperture optical tweezers, *Scientific Reports* 5, 8106, (2015)
- [2] O. Brzobohatý et al., Non-spherical gold nanoparticles trapped in optical tweezers: shape matters, *Optics Express* 23, 8179, (2015)
- [3] S. Simpson, et al., Optical synchronization of colloidal oscillators through angular binding, zasláno do *Physical Review A*
- [4] O. Brzobohatý et al., Complex rotational dynamics of multiple spheroidal particles in a circularly polarized dual beam trap, *Optics Express* 23, 7273, (2015)

JMENNÝ REJSTŘÍK

Acef	Ouali	56					
Biolková	Viera	34	75				
Brajer	Jan	9					
Čermák	Adam	10					
Číp	Ondřej	12	16	22	38	40	53 62
Čížek	Martin	12	16	22	25	53	
Čižmár	Tomáš	14					
Du Burck	Frederic	56					
Holá	Miroslava	16	38				
Honzátko	Pavel	18					
Hrabina	Jan	12	20	38	53	56	
Hucl	Václav	12	22	53			
Jedlička	Petr	25					
Ježek	Jan	27	58				
Kašík	Ivan	18					
Klečka	Martin	29					
Kmetík	Viliam	30					
Kolařík	Vladimír	32					
Kolka	Zdeněk	34	75				
Kuboš	David	36					
Lazar	Josef	12	16	38	53		
Lešundák	Adam	12	40	62			
Lorenc	Dušan	42	49	71			
Mikel	Břetislav	12	44	53			
Moser	Martin	46					
Mrňa	Libor	47					
Noskovičová	Eva	42	49	71			
Oulehla	Jindřich	51					
Pavelka	Jan	47					
Pham	Tuan Minh	22	53	56			
Philippe	Charles	56					
Pilát	Zdeněk	27	58				
Pokorný	Petr	60					
Pravdová	Lenka	12	22	62			
Růžička	Jan	64	67				
Řeháková	Martina	67					
Řiháková	Lenka	69					
Slušná	Lenka	42	71				
Straka	Václav	36					
Šiler	Martin	73	79				
Velič	Dušan	42	49	71			
Wilfert	Otakar	34	75				
Zavadilová	Alena	77					
Zemánek	Pavel	27	58	73	79		

PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE:

The logo for OptiXs features the word "OptiXs" in a bold, sans-serif font. The "Opti" is in black, the "X" is in a vibrant green, and the "s" is in black.

WWW.OPTIXS.CZ



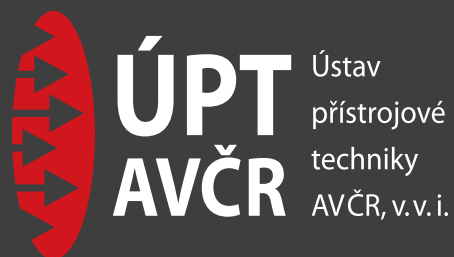
WWW.MIT-LASER.CZ



WWW.NWG.CZ



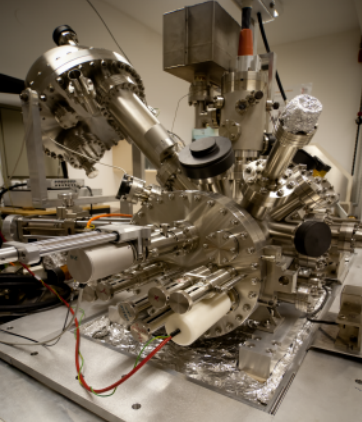
WWW.BINSIDE.CZ



**ÚPT
AVČR** Ústav
přístrojové
techniky
AVČR, v.v.i.



Aplikační laboratoře
mikrotechnologií
a nanotechnologií



Laserové svazky zaostřené do makrosvěta i mikrosvěta

Speciální technologie

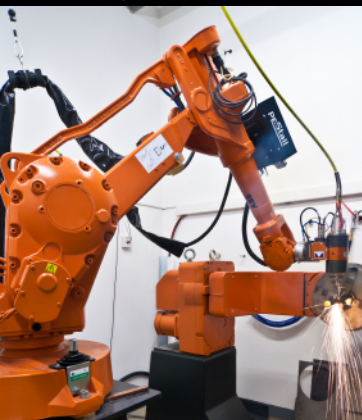
Elektronová mikroskopie



Kryogenika a supravodivost

Lasery pro měření a metrologii

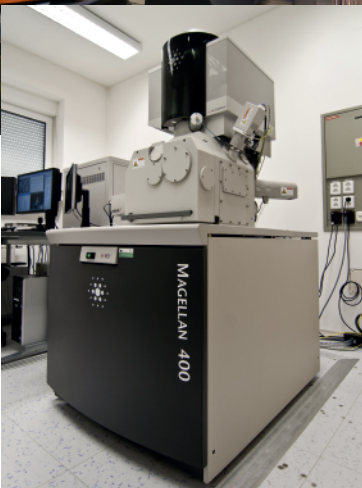
Elektronová litografie



Pokročilé výkonové laserové technologie

Měření a zpracování signálů v medicíně - MediSIG

Jaderná magnetická rezonance





Centrum pro inovace a transfer technologií



Lasery, fotonika
a jemná mechanika



Akademie věd
České republiky

Strategie AV21

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu

Název: Elektronický sborník příspěvků multioborové konference LASER55
Editor: Bohdan Růžička
Vydavatel: Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Vydáno v roce: 2015
Vydání: první
Náklad: ke stažení

Za obsahovou a jazykovou úpravu odpovídají autoři příspěvků.

ISBN 978-80-87441-16-9