



e-Sborník příspěvků multioborové konference

LASER62

Hotel Galant, Lednice, 9. – 11. listopadu 2022



Elektronický sborník příspěvků multioborové konference

LASER62

Hotel Galant, Lednice, 9. – 11. listopad 2022

© 2022, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-31-2

ÚVODNÍ SLOVO

Vážení čtenáři,

od minulého setkání máme za sebou turbulentní měsíce a situaci, kterou asi nikdo z nás nečekal. Po koronavirové patálii jsme svědky konfliktu na východě, jenž akceleroval růsty energií a inflaci. Již v minulosti laser prokázal, že je to mocný a univerzální nástroj téměř na všechno. Bylo by pěkné, kdybychom v těchto časech mohli najít východiska i díky úžasnému vynálezu, kterým laser bezpochyby je.

Přeji Vám, ať si na konferenci užijete setkání s kolegy a navážete nové vztahy, posílíte již zavedené a naleznete motivaci pro Vaše další aktivity.

V Brně dne 31. října 2022

Bohdan Růžička

OBSAH

□ GOLD NANOSYSTEMS FOR THE DETECTION OF MOLECULES USING SURFACE-ENHANCED RAMAN SCATTERING (SERS)	9
□ STABILIZACE PRO OPTICKÝ PŘÍJÍMAČ	12
□ TECHNOLOGIE LSP VYUŽITÁ PRO ENERGETIKU	14
□ HYBRIDNÉ ZVÁRACIE PROCESY S VYUŽITÍM LASEROVÉHO ŽIARENIA	15
□ APLIKACE BEZSENZOROVÉ KOREKCE SPOTU	17
□ KOMPAKTNÍ VAKUOVÁ SESTAVA PRO ZACHYTÁVÁNÍ A LASEROVÉ CHLAZENÍ IONTŮ 27AL+ A 40CA+	19
□ THE MODEL FOR EUROPEAN PHOTONICS CAREER CAMP	21
□ MULTIPÁSMOVÝ VLÁKNOVÝ POLYGON PRO PŘENOS PŘESNÉHO ČASU A KOHERENTNÍ FREKVENCE	23
□ OPTICKÁ VLÁKNA S DUTÝM JÁDREM A OPTICKÁ VLÁKNA S DĚROVANÝM PLÁŠTĚM	28
□ NITRIDOVÉ HETEROSTRUKTURY PRO RYCHLÉ SCINTILÁTORY	30
□ SYSTÉM PRO SKENOVÁNÍ SPEKTRÁLNÍCH ČAR KYANOVODÍKU (H ₁₃ C ₁₄ N)	32
□ VYUŽITÍ METOD STROJOVÉHO UČENÍ V ANALÝZE ABLAČNÍCH OTISKŮ LASEROVÝCH SVAZKŮ	34
□ NEPŘÍMÉ ZNAČENÍ SKLA PULSNÍM ND:YAG LASEREM	36
□ OPTOVLÁKNOVÝ DOZIMETR	38
□ EXPERIMENTAL HIERARCHY OF QUANTUM CORRELATIONS OF WERNER-LIKE STATES	40
□ MOBILNÍ JEDNOTKA FSO	41
□ PŘÍPRAVA FÁZOVÝCH BINÁRNÍCH MŘÍŽEK POMOCÍ ELEKTRONOVÉ LITOGRAFIE A REAKTIVNÍHO IONTOVÉHO LEPTÁNÍ PRO VÝROBU OPTICKÝCH VLÁKNOVÝCH SENZORŮ	43
□ VYUŽITÍ LASEROVÉ AKTIVNÍ TERMOGRAFIE PRO NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLU LASEROVÝCH SVÁRŮ	45
□ ELEKTRONICKÝ MODUL PRO ŘÍZENÍ ZDROJE SVĚTLA A DETEKCI OPTICKÝCH SIGNÁLŮ PRO SENZORICKÉ ÚČELY	49
□ REZONANČNE ZOSILNENÉ THZ-FWM V PEVNEJ FÁZE	51
□ LASEROVÉ A OPTOVLÁKNOVÉ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY PRO JADERNOU ENERGETIKU	52
□ MĚŘENÍ STABILITY MAGNETICKÉHO POLE POMOCÍ 40CA+ IONTU	54
□ ŠIROCE LADITELNÝ FS LASER INSIGHT X3+ PRO MULTIFOTONOVÉ ZOBRAZOVÁNÍ	56
□ LASEROVÉ NAVAŘOVÁNÍ NEBO 3D TISK?	57
□ LIDT STANICE S CERTIFIKÁTEM ISO 9001:2016	60
□ ELI BEAMLINES – ZKUŠENOSTI S VÝVOJEM A PROVOZEM VELKÝCH LASEROVÝCH SYSTÉMŮ	61
□ VYBRANÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT V PRAZE	63
□ OPRACOVÁNÍ SKLENĚNÝCH MATERIÁLŮ ULTRAKRÁTKÝMI PULZY	64
□ OPTICKÉ VLASTNOSTI ANTIREFLEXNÍCH VRSTEV VE SPEKTROSKOPII S ABSORPČNÍMI KYVETAMI	66
□ PROGRAM STIMULACE ZRAKU RANÉ PÉČE VÝZNAMNĚ DOPLŇUJE ZDRAVOTNÍ PÉČI A TECHNOLOGIE V OBLASTI OČNÍHO LÉKAŘSTVÍ	67
□ THULIEM DOPOVANÁ VLÁKNA A KOMPONENTY PRO VLÁKNOVÉ LASERY EMITUJÍCÍ VE SPEKTRÁLNÍ OBLASTI V OKOLÍ 2 μm	68
□ OPTIMALIZACE DESIGNU POHLCOVAČE LASEROVÉHO SVAZKU POMOCÍ MKO	69
□ OPTICKÝ REZONÁTOR PRO LASEROVÝ SYSTÉM S ULTRA ÚZKOU SPEKTRÁLNÍ ČAROU	72
□ OCHRANA OPTICKÝCH KABELOVÝCH TRAS POMOCÍ DETEKCE ZMĚNY POLARIZACE	74
□ VYSOCE PŘESNÉ POLOHOVACÍ SYSTÉMY PRO LASEROVÉ APLIKACE	76
□ LASEROVÉ SVAŘOVÁNÍ S OSCILACÍ SVAZKU	77

☐ STRUKTURÁLNÍ BARVY A HOLOGRAMY	79
☐ PRÁH POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉHO LASEREM NA VLNOVÉ DÉLCE 343 NM – VÝZVA 2022	81
☐ TOMOGRAFIE TENKÝCH VRSTEV ZA POMOCI PIKOSEKUNDOVÉHO SONARU	84
☐ HMOTOVÁ SPEKTROMETRIE IONTŮ EMITOVANÝCH Z RŮZNÝCH MATERIÁLŮ OZÁŘENÝCH NANOSEKUNDOVÝMI XUV LASEROVÝMI IMPULZY	85
☐ MAPOVÁNÍ GENERACE DRUHÉ HARMONICKÉ PRO STUDIUM OPTICKÉHO POKRYTÍ	86
 ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR	 87
PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE	88

GOLD NANOSYSTEMS FOR THE DETECTION OF MOLECULES USING SURFACE-ENHANCED RAMAN SCATTERING (SERS)

Markéta Benešová

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i.
Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika
Email: benema@isibrno.cz, Tel.: +420 541 514 521

Obor: ramanovská spektroskopie

Raman spectroscopy is a non-destructive analytical technique based on the Raman scattering of molecules [1,2]. Raman scattering is the inelastic scattering of photons when interacting with electrons in chemical bonds. The physical essence of Raman scattering is inelastic collisions of molecules with photons from the visible to a near-infrared range of electromagnetic radiation [3–5]. The essence is a radiant transition between two vibrational levels in the bond of a molecule. Each Raman-active molecule has its typical spectrum, which is unique to it, because of this, the molecules in the sample can be identified. Not all bonds in molecules are Raman active, a change in polarizability must occur when the vibrational state is excited. By polarizability, we mean the ability to shift negative charges in a molecule under the influence of an external electromagnetic field, i.e. to what extent the electron cloud is deformed. Polarizability is time-varying depending on the vibrational frequency of the molecule [3,4,6]. The problem is that in classical Raman spectroscopy, the molecule gives a very weak response, which is often covered by intense fluorescence [1,3].

SERS (surface-enhanced Raman spectroscopy) uses metal nanostructures to enhance Raman scattering [1,7,8]. Metal nanoparticles show the so-called plasmon resonance, which is a coherent oscillation of conduction electrons that arises from the interaction of visible radiation with metal nanostructures. To enhance Raman scattering, the analyte is most often adsorbed on the surface of gold or silver nanoparticles. Two mechanisms contribute to the enhancement of the intensity of Raman scattering, namely electromagnetic, when resonant excitation of plasmons occurs in the metal structure, and chemical when charge transfer occurs between the adsorbate and the metal surface [3,9,10]. Overall, Raman amplification of several orders of magnitude can be achieved, commonly 10^3 [1], but in certain cases up to 10^{11} - 10^{14} in experimental conditions [11]. This amplification of Raman scattering is made possible by different types of SERS substrates, which are made of different types of plasmonic metals such as gold, silver, etc. SERS substrates can have different forms, it can be a structured planar layer (**Figure 1**) or different types of nanoparticles [12,13].

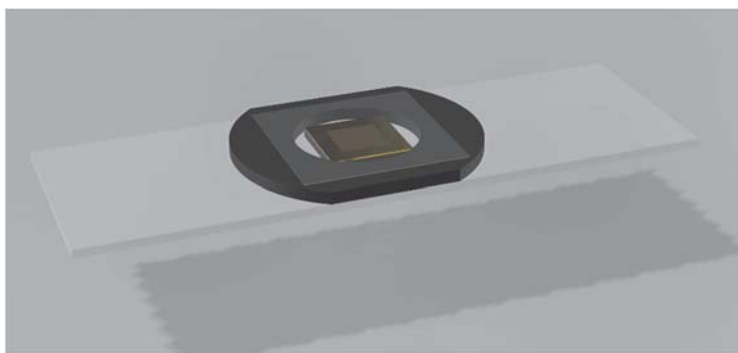


Figure 1: SERS substrate, a structured planar layer.

The SERS method allows one quickly identify and distinguish a wide range of chemical and biological samples, including bacteria. A typical bacterial spectrum contains information about cellular contents such as nucleic acids, purine bases, proteins, carbohydrates, and lipids. However, differences in chemical composition may be too small to reliably distinguish related bacterial species [12]. To make the identification specific for a particular species of bacteria, it is possible to use gold Raman tags. These nanoparticles have a surface modified with a so-called Raman reporter, which provides a specific and very strong response increased by the gold nanoparticles [12–14]. The surface of the nanoparticle is modified with an antibody too, which will bind to the surface of a specific type of bacteria based on antigen-antibody affinity. When a Raman reporter response is observable in a sample, it is clear what kind of bacteria is present in the sample. These diagnostic nanoparticles can be used to mark any type of bacteria, it is enough to modify the surface with an antibody specific for it [12,13,15].

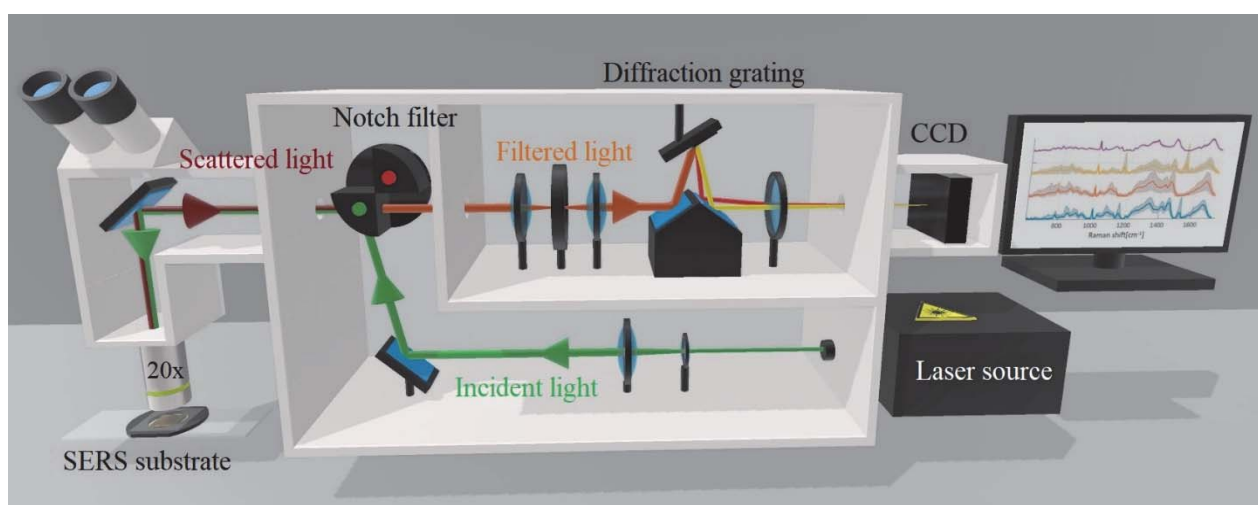


Figure 2: Experimental setup of SERS.

In the experimental setup, as an immobilization tool magnetic nanoparticles or gold-plated glass can be used as a tool to immobilize bacteria, which are modified with the antibodies of the respective bacteria and thus help to detect the targeted bacteria. A bacterium is immobilized on the surface, to which a Raman tag is then attached [12–14].

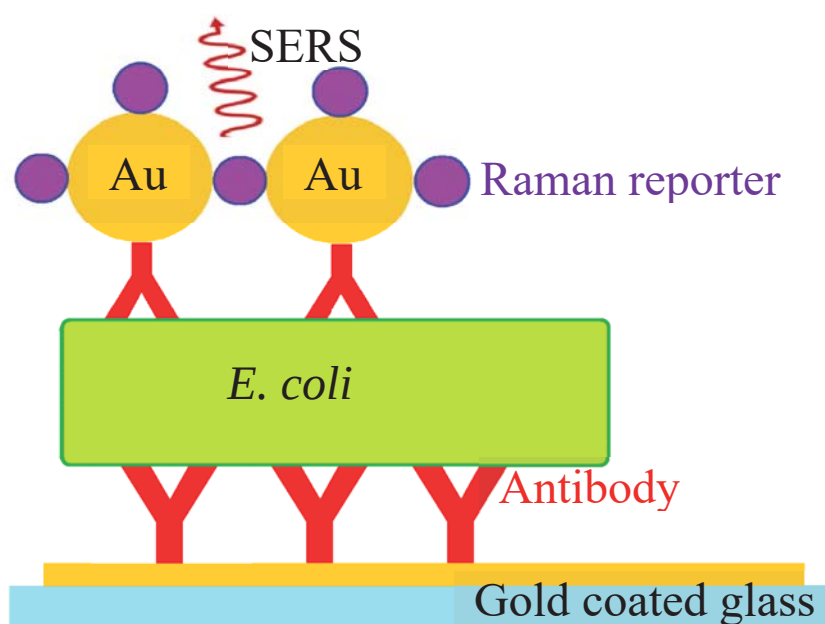


Figure 3: Raman tags used to target bacteria.

The SERS method is advantageous for the analysis of biological systems, both very sensitive biomolecules, and microorganisms, while their original structure and biological activity are preserved [3,16]. The great advantages of Raman spectroscopy can also lie in the non-destructive nature of the analysis, so we can also test the biological activity of the sample after the end of the analysis. The analysis can be applied to samples of any morphology, samples can be aqueous or anhydrous solutions, suspensions, precipitates, gels, layers, fibers, powders, single crystals, and many others [17,18]. We can also compare how different the structure of a biomolecule is in solution or crystalline form. The method is not demanding on the amount of sample and on time. A big advantage is the existence of spectrum databases [17].

References:

- [1] Pilát Z, Kizovský M, Ježek J, Krátký S, Sobota J, Šiler M, et al. Detection of Chloroalkanes by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy in Microfluidic Chips. *Sensors* 2018;18:3212. <https://doi.org/10.3390/s18103212>.
- [2] Wen N, Zhao Z, Fan B, Chen D, Men D, Wang J, et al. Development of Droplet Microfluidics Enabling High-Throughput Single-Cell Analysis. *Molecules* 2016;21:881. <https://doi.org/10.3390/molecules21070881>.
- [3] Smith E, Dent G. *Modern Raman Spectroscopy – A Practical Approach*. vol. 2005. Chichester: John Wiley & Sons; n.d.
- [4] Kudelski A. Analytical applications of Raman spectroscopy. *Talanta* 2008;76:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.02.042>.
- [5] Raman CV, Krishnan KS. A New Type of Secondary Radiation. *Nature* 1928;121:501–2. <https://doi.org/10.1038/121501c0>.
- [6] Efremov EV, Ariese F, Mank AJG, Gooijer C. Strong Overtones and Combination Bands in Ultraviolet Resonance Raman Spectroscopy. *Anal Chem* 2006;78:3152–7. <https://doi.org/10.1021/ac052253m>.
- [7] Fleischmann M, Hendra PJ, McQUILLAN AJ. RAMAN SPECTRA OF PYRIDINE ADSORBED AT A SILVER ELECTRODE. *Chem Phys Lett* n.d.;26:4.
- [8] Sharma B, Frontiera RR, Henry A-I, Ringe E, Van Duyne RP. SERS: Materials, applications, and the future. *Mater Today* 2012;15:16–25. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(12\)70017-2](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(12)70017-2).
- [9] Moskovits M. Surface-enhanced Raman spectroscopy: a brief retrospective. *J Raman Spectrosc* 2005;36:485–96. <https://doi.org/10.1002/jrs.1362>.
- [10] Tian ZQ. Surface-enhanced Raman spectroscopy: advancements and applications. *J Raman Spectrosc* 2005;36:466–70. <https://doi.org/10.1002/jrs.1378>.
- [11] Hakonen A, Svedendahl M, Ogier R, Yang Z-J, Lodewijks K, Verre R, et al. Dimer-on-mirror SERS substrates with attogram sensitivity fabricated by colloidal lithography. *Nanoscale* 2015;7:9405–10. <https://doi.org/10.1039/C5NR01654A>.
- [12] Temur E, Boyacı İH, Tamer U, Unsal H, Aydogan N. A highly sensitive detection platform based on surface-enhanced Raman scattering for *Escherichia coli* enumeration. *Anal Bioanal Chem* 2010;397:1595–604. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3676-x>.
- [13] Guven B, Basaran-Akgul N, Temur E, Tamer U, Boyacı İH. SERS-based sandwich immunoassay using antibody coated magnetic nanoparticles for *Escherichia coli* enumeration. *The Analyst* 2011;136:740–8. <https://doi.org/10.1039/C0AN00473A>.
- [14] Tamer U, Boyacı İH, Temur E, Zengin A, Dincer İ, Elerman Y. Fabrication of magnetic gold nanorod particles for immunomagnetic separation and SERS application. *J Nanoparticle Res* 2011;13:3167–76. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-0213-y>.
- [15] Li Y, Lu C, Zhou S, Fauconnier M-L, Gao F, Fan B, et al. Sensitive and simultaneous detection of different pathogens by surface-enhanced Raman scattering based on aptamer and Raman reporter co-mediated gold tags. *Sens Actuators B Chem* 2020;317:128182. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128182>.
- [16] Shipp DW, Sinjab F, Nottingher I. Raman spectroscopy: techniques and applications in the life sciences. *Adv Opt Photonics* 2017;9:315. <https://doi.org/10.1364/AOP.9.000315>.
- [17] Szaniawska A, Kudelski A. Applications of Surface-Enhanced Raman Scattering in Biochemical and Medical Analysis. *Front Chem* 2021;9:664134. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.664134>.
- [18] Kamińska A, Sprynskyy M, Winkler K, Szymborski T. Ultrasensitive SERS immunoassay based on diatom biosilica for detection of interleukins in blood plasma. *Anal Bioanal Chem* 2017;409:6337–47. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0566-5>.

STABILIZACE PRO OPTICKÝ PŘIJÍMAČ

Zdeněk Kolka¹, Peter Barcík¹, Jan Novotný², Viera Biolková¹

¹Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav radioelektroniky

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

E-mail: kolka@vut.cz

²Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, v. v. i.

Královopolská 147, 612 64 Brno

Obor: Optické komunikace, laserová technika

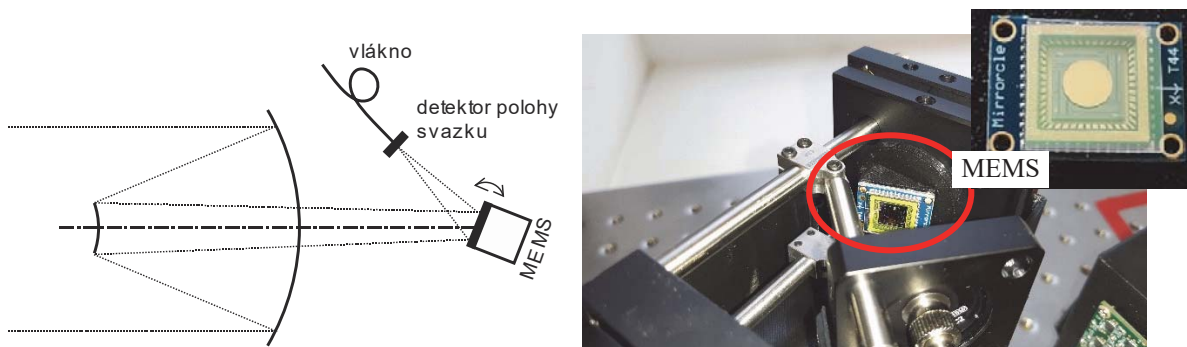
Úvod

Free-Space Optics (FSO) je bezdrátová optická technologie pro spojení na přímou viditelnost. Motivací pro využití FSO při přenosu informace jsou výhody související se základními vlastnostmi laserového záření. Laserový vysílač je schopen generovat svazek s divergencí v řádech μrad . Optický svazek může obsahovat více optických kanálů, z nichž některý může mít funkci majáku sloužícího k přesnému zamíření laserového vysílače na optický přijímač, aby signálové fotony byly do jádra přijímacího optického vlákna zavedeny s maximální účinností.

Nová generace vysokokapacitních komunikačních sítí nyní směřuje k plné fotonizaci, kdy dochází k postupnému odbourávání elektro-optické konverze signálu na přenosové trase. Při této koncepci lze s výhodou použít řadu optovláknových prvků (zesilovačů EDFA, optovláknových filtrů, polarizátorů apod.).

Optický přijímač se stabilizátorem

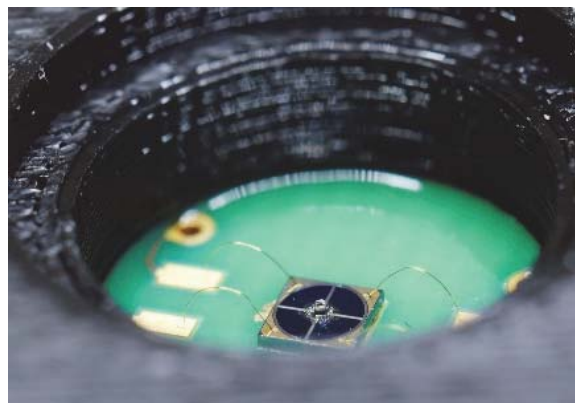
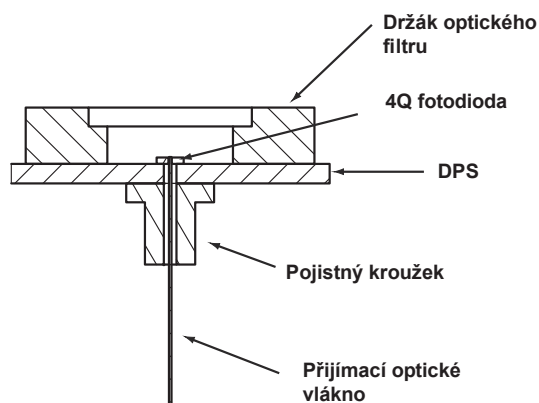
Čelo přijímacího optického vlákna je umístěno v ohnisku teleskopu. Relativně malý průměr jádra klade extrémní nároky na směřování přijímače za podmínek atmosférické turbulence a otřesů upevňovacích konzol. K zajištění stabilizace svazku slouží systém jemného směřování. Detekční jednotka vyhodnocuje pomocí fotodiod polohu těžiště stopy svazku a změnou natočení zrcátka kompenzuje odchylky, obr. 1. Zrcátko je typu MEMS (Micro Electro-Mechanical System). Jedná se o soustavu zrcadlo-dvouosý aktuátor umístěnou v pouzdru integrovaného obvodu s krycím sklem s antireflexním povlakem. Pro jednotku FSO byl vybrán systém se zrcátkem se zlatým pokovením o průměru 5 mm a s maximálním kmitočtem 500 Hz pro plnou výchylku $\pm 1^\circ$. Aktuátor pracuje na elektrostatickém principu s maximálním napětím 150 V. Z hlediska zastavěného objemu i příkonu prvky MEMS jednoznačně převyšují piezoelektrické aktuátory.



Obr. 1: Optické schéma a provedení stabilizační jednotky.

Detektor polohy svazku

K detekci odchylky svazku slouží čtyřkvadrantová fotodiody typu PIN citlivá pro pásmo 1550 nm. Zvláštností navrženého řešení je kombinace fotodiody a optického vlákna. Pomocí femtosekundového laseru je do substrátu diody vytvořen otvor. Do otvoru je zalepeno vlákno, přičemž lepidlo slouží zároveň jako ochrana obnažené polovodičové struktury. Navržené uspořádání je jednodušší než standardní řešení stabilizátoru na bázi polopropustného zrcadla a velmi složitě justované sestavy, kdy se část výkonu přijímaného svazku odbočí na čtyřkvadrantovou fotodiodu.



Obr. 2: Řez a fotografie provedení sestavy čtyřkvadrantové fotodiody s vláknem.

Pro experimentální realizaci byla použita čipová fotodioda PIN2000Q-17-D na bázi heterostruktury InGaAs s průměrem aktivní plochy 1860 μm , která je upevněna a kontaktována na substrátu z materiálu FR4. Laserové vrtání způsobí vznik ohmického odporu paralelně k samotné fotodiodě. Na několika vzorcích bylo ověřeno, že parazitní svodový odpor dosahuje hodnot několika $\text{k}\Omega$. Při snímání fotoproudu při nulovém napětí na diodě pomocí operačního zesilovače s napětíovou nesymetrií do 1 μV vzniká chyba na úrovni 1 nA, tj. cca 1 nW optického výkonu na vlnové délce 1550 nm. Navržené prototypové řešení nevyžaduje nákladnou změnu litografického procesu při výrobě fotodiody.

Popsané výzkumné aktivity jsou podpořené dílčím projektem Centra elektronové a fotonové optiky, TA ČR NCK1, č. TN01000008.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Návrh, realizace a charakterizace optoelektronických sestav.
- Návrh a realizace elektronických rozhraní.
- Počítačové modelování.

TECHNOLOGIE LSP VYUŽITÁ PRO ENERGETIKU

**Jan Brajer, Jan Kaufman, Sanin Zulic, Marek Böhm, Ondřej Stránský,
Sunil Pathak, Jan Šmaus**

HiLASE Centrum

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Za Radnicí 828

252 41 Dolní Břežany

e-mail: Brajer@fzu.cz

tel.: 736 288 646

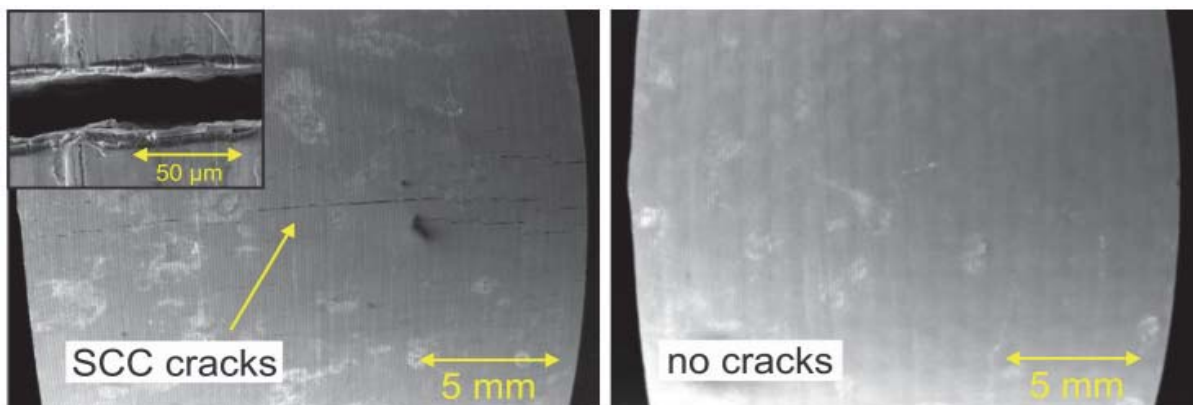
ÚVOD

Laserové vyklepávání (anglicky Laser Shock Peening, LSP) může výrazně prodloužit životnost kovových komponentů v mnoha průmyslových odvětvích. Technologie LSP je účinná zejména u součástek, které procházejí cyklickým namáháním nebo jsou vystaveny agresivnímu prostředí, kde může docházet ke koroznímu praskání. Mezi hlavní výhody LSP patří vysoká hloubka vnesených tlakových napětí a možnost přesně zacílit na kritická místa součástky i v případě složitější geometrie.

R&D tým Centra HiLASE využívá zázemí profesionální LSP stanice, unikátní parametry laseru Bivoj a zkušenosti našeho mentora a poradce, profesora S. R. Mannavy, který stál u samotného zrodu technologie LSP. Poskytujeme komplexní služby od posouzení vhodnosti LSP pro Vaše produkty, přes předběžný vývoj procesu a analýzu zbytkových napětí až po implementaci LSP procesu.

Slitiny z nerezové oceli jsou široce používány v průmyslu jaderných elektráren (JE), kde hrají klíčovou roli bezpečnost závodu a efektivní provoz. Typické díly vyrobené z nerezové oceli jsou tlakové reaktory nádoby, potrubí, nádrže, kontejnment kanystry a mnoho dalších, které znamená, že zlepšení v nerezová oblast je velmi atraktivní a potenciálně velmi přínosné pro jadernou energetiku. Laser Shock Peening představuje jeden takový směr, kde je povrch komponentů z nerezové oceli bombardován cílenými laserovými pulsy za účelem posílení složky výkon v prostředí JE, což vede k menším prostojům služeb a celkově zvýšená bezpečnost.

Kvůli senzitivitě materiálu v agresivním prostředí JE (radiace), se některé součásti mohou stát náchylné k praskání v důsledku koroze (SCC). Aby se SCC projevilo, tři podmínky musí být splněny současně: korozní prostředí, oslabený materiál a tahová napětí. Odstranění jedné z podmínek pak vedou k eliminaci jevu koroze na napětí SCC. V tomto případě je řešení zajištěno odstraněním tahových napětí za pomoci technologie LSP. LSP technologie se jeví jako jedna z nejslibnějších technologií pro prevenci SCC na jaderných komponentách.



HYBRIDNÉ ZVÁRACIE PROCESY S VYUŽITÍM LASEROVÉHO ŽIARENIA

Jaroslav Bruncko, Miroslav Michalka

Medzinárodné laserové centrum CVTI

Lamačská cesta 8/A, 840 05 Bratislava, Slovenská Republika

Tel. 00421 265421575, jaroslav.bruncko@cvtisr.sk,

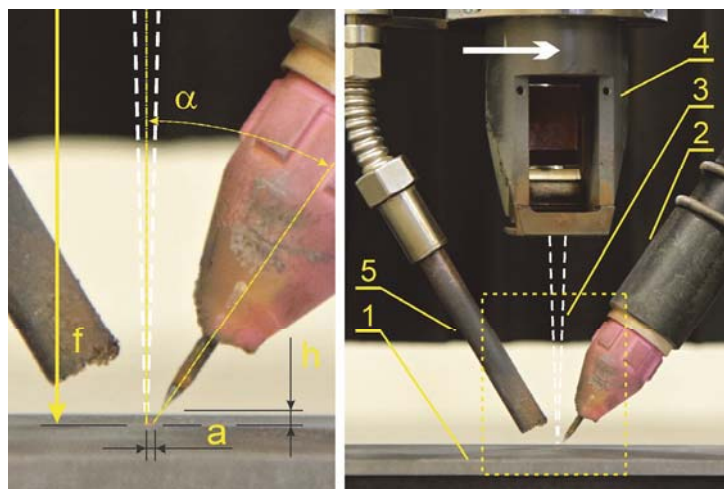
<http://www.ilc.sk/sk/vyskum/laboratoria/laboratorium-laserovych-mikrotechnologii/>

Obor: laserové spracovanie materiálov, laserové zváranie, analýza technologických procesov

Zváranie je vo všeobecnosti definované ako technológia spájania materiálov účinkom riadeného tepelného cyklu, ktorý prebieha na rozhraní (kontaktných plochách) zváraných materiálov. Na uskutočnenie tepelného cyklu je potrebný tepelný zdroj, ktorý súčasne definuje metódu zvárania. Počas svojho historického vývoja si zváranie osvojovalo čoraz širší repertoár tepelných zdrojov: ohrev plameňom, elektrický oblúk, elektrický odpor, trenie, ... a najnovšie akvizície možno zaradiť laserový zväzok. V súčasnosti sú metódy laserového zvárania pokročilo rozpracované na teoretickej úrovni a rozšírené v priemyselnej praxi, pričom objem a diverzifikácia laserových zváracích metód neustále narastajú. Súčasne s týmto trendom dochádza aj ku kombinovaniu viacerých tepelných zdrojov súčasne do jedného spoločného – hybridného zváracieho procesu. Najznámejším príkladom takejto kombinácie je spojenie elektrického oblúka s laserovým zväzkom (v anglickej terminológii známej pod skratkou LAHW – Laser Arc Hybrid Welding).

Vzhľadom na to, že oblúkové zváranie predstavuje tiež veľmi diverzifikovanú metódu, možno očakávať, veľké množstvo rôznych kombinácií hybridných procesov „laser – elektrický oblúk“. Pri určitom zjednodušení však možno tieto procesy rozdeliť na 2 hlavné skupiny v závislosti od charakteru oblúkovej metódy:

- 1) Laser + elektrický oblúk s odtavujúcou sa elektródou (laser – MIG),
- 2) Laser + elektrický oblúk s neodtavujúcou sa elektródou (laser – TIG) - obr. 1.

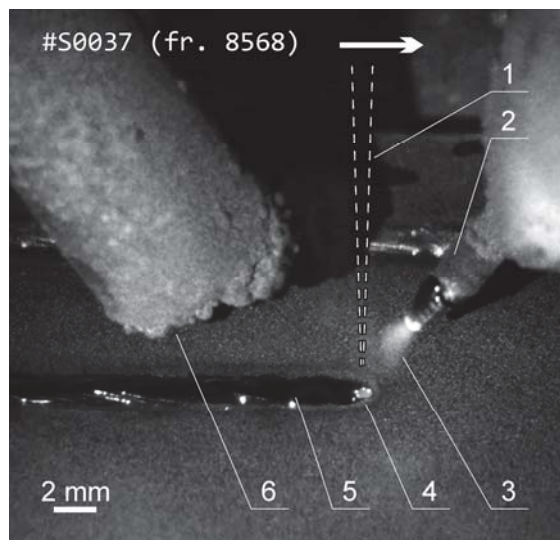


Obr. 1 Pracovisko hybridného zvárania v kombinácii laser – TIG (1 – zváraný materiál, 2 – TIG horák, 3 – laserový zväzok, 4 – laserová výstupná optika, 5 – prívod ochranného plynu, f – poloha ohniska voči materiálu, a – odstup osi TIG elektródy, h – výška hrotu TIG elektródy, α – uhol sklonu TIG horáka)

Podstata hybridného zváracieho procesu spočíva v spoločnom zvarovom kúpeli, ktorý je súčasne ohrievaný elektrickým oblúkom a energiou laserového žiarenia. Pri vhodných technologických okolnostiach tak môže vzniknúť zvárací proces a následne zvarový spoj kombinujúci pozitívne vlastnosti oboch technológií a vo významnej miere eliminujúci ich negatívne stránky (napr. vysoká odrazivosť lasera od povrchov kovov, vysoké nároky na prípravu zvarových plôch a polohovanie zvarku voči laserovému zväzku, potreba širokých úkosov, nestabilita elektrického oblúka pri zvýšených rýchlostiach zvárania, prípadne pri nízkych hodnotách zváracieho prúdu...).

Kombináciou týchto dvoch principiálne odlišných metód vzniká nová metóda zvarovania, pričom na jej definovanie sa podstatne zvyšuje množstvo technologických parametrov. Medzi najdôležitejšie parametre možno zaradiť: technologické parametre použitých jednotlivých zložiek zvarovania, usporiadanie (poradie) zvarovacích metód vzhľadom na smer zvarovania, vzdialenosť oblúka a laserového zväzku v mieste zvaru, uhly sklonu oblúkového zdroja a laserového zväzku.

Veľkou nevýhodou naopak je zvýšenie komplexnosti procesu, pretože ho ovplyvňujú vlastné parametre každej zo zúčastnených metód (zvarovací prúd, napätie, výkon lasera, poloha ohniska ...), no vstupujú do neho aj nové parametre vyplývajúce z podstaty hybridného procesu (poradie zdrojov vo vedení procesu, geometrické usporiadanie oblúkového zdroja a lasera ...).



Obr. 2 Detailný záber na hybridný zvarovací proces: 1 – laserový zväzok, 2 – TIG elektróda, 3 – elektrický oblúk, 4 – vyústenie key-hole, 5 – povrch zvarového kúpeľa, 6 – prívod ochranného plynu, zvarovací proces viedol elektrický oblúk (šípka naznačuje smer pohybu zvarovacích zdrojov).

Medzinárodné laserové centrum Bratislava (MLC CVTI) má za sebou viacročnú históriu základného výskumu hybridných laserových procesov v kombinácii laser – elektrický oblúk. Hlavným objektom výskumu je správanie sa spoločného zvarového kúpeľa a spolupôsobenie obidvoch energetických zdrojov hlavne v pulzných režimoch. Momentálne (v rokoch 2019 – 2022) v spolupráci s priemyselným podnikom (Prvá zvaračská, a.s. Bratislava) je riešený výskumný projekt, ktorý sa zaoberá hybridným zvarovaním v pulzných režimoch s využitím TIG oblúkového zdroja na zvarovanie vysokopevných duplexných ocelí.

Jedným z cieľov projektu je analýza vplyvu synchronizácie výkonových zdrojov na hybridný zvarovací proces. Vďaka pulznému režimu zdrojov dochádza k podstatnej redukcii vneseného tepla do zvaru, čo je dôležitý faktor pri zvarovaní tenkých (< 1 mm) materiálov. Rovnako má táto redukcia pozitívny vplyv na výslednú štruktúru vysoko legovaných ocelí ako sú napr. duplexné ocele.

Predbežné výsledky poukazujú na rozdielny priebeh hybridného procesu v závislosti od synchronizačného parametra (časového posunu medzi štartom jednotlivých zdrojov). Rovnako sa ukazuje asymetria procesu v tom, že štart laserového pulzu do už horiaceho oblúka vedie k jeho destabilizácii, pričom štart oblúka do už bežiaceho lasera má priaznivé účinky na jeho stabilizáciu. Experimentálne výsledky tiež ukazujú, že v prípade prekryvania aktívnych úsekov pulznej periódy zdrojov (laser je na maximálnej úrovni a súčasne oblúk na minimálnej a naopak) je proces najstabilnejší.

Ďalšie oblasti záujmu a ponuka spolupráce:

- Laserové zvarovanie
- Diagnostika a analýza laserových technologických procesov
- Materiálová analýza

Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-18-0224 (Výskum hybridného zvarovania v kombinácii laser-TIG v režime synchronizácie pulzov zvarovacích zdrojov).

APLIKACE BEZSENZOROVÉ KOREKCE SPOTU

Ondřej Denk, denk@fzu.cz, 739422762

Fyzikální ústav AVČR, Hilase
Za Radnicí 828, 252 41 Dolní Břežany

Obor: Měření a korekce vlnoplochy pro vysokovýkonné lasery

Úvod

Jedním z hlavních kritérií kvality přenášení svazku z výstupní pupily laseru až k místu aplikace je schopnost fokusace svazku v místě aplikace do co nejužšího spotu. Komplexnost systému a jeho odolnost vůči vibracím jsou hlavními faktory ovlivňujícími stabilitu a tvar fokusovaného svazku.

Systém Bivoj v laserovém centru Hilase využívající technologii diodového čerpání keramických desek pro produkci vysokoenergetických pulsů generuje laserový svazek čtvercového průřezu s homogenním rozložením. Aplikace se liší v závislosti na umístění opracovávaného vzorku. Opracování vzorků probíhá jak v oblasti obrazové roviny (Laser Shock Peening; LSP), tak i v rovině obsahující fokus (Laser Induced Damage Threshold; LIDT). Důvodem pro využití čtvercového tvaru laserového svazku je aplikace LSP, kdy je možné rastrovat takto tvarované profily svazku homogenně po celém povrchu vzorku.

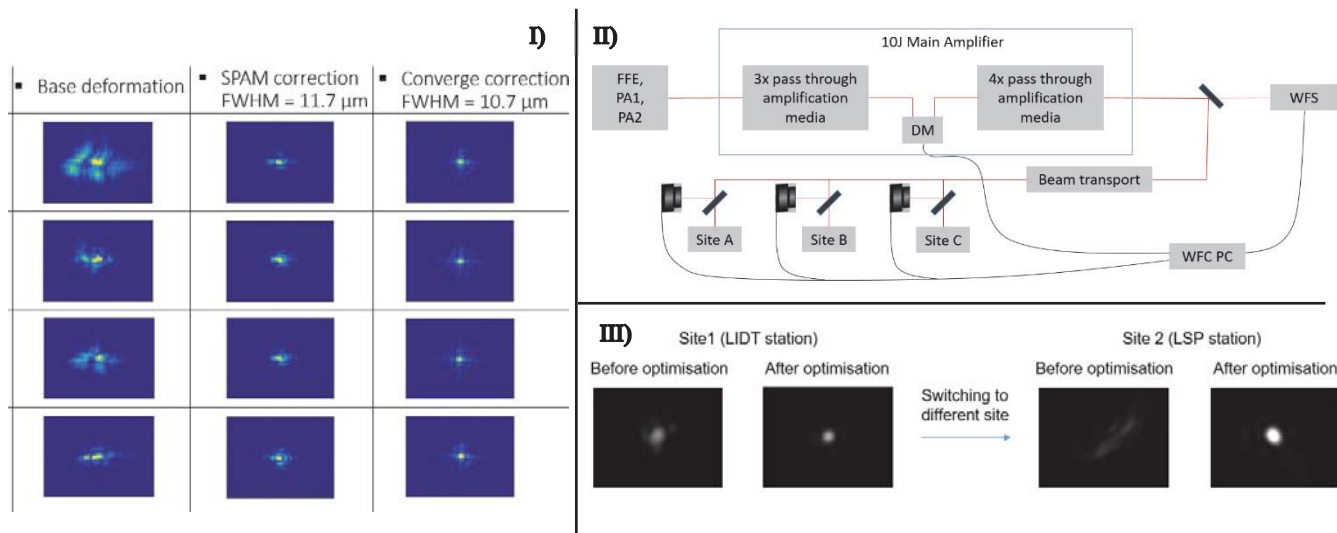
Výše zmíněná aplikace však vyžaduje využití množství teleskopů pro propagaci svazku s cílem potlačit difrakční ztráty. V důsledku toho dochází k deformaci vlnoplochy způsobené aberacemi tvořenými nepřesnostmi např. v umísťování čoček. Následná fokusace svazku tak tvoří spot s vysokým vlivem aberací. Tento problém je možné řešit uzavřením smyčky korigujícího deformovatelného zrcadla (DZ) a senzoru vlnoplochy, která dovoluje přímou kontrolu nad tvarem vlnoplochy. Hilase ovšem poskytuje hned několik aplikačních stanovišť, a zatímco korigující DZ je univerzální pro všechna stanoviště, deformace vzniklé transportem svazku je třeba změřit vždy těsně před aplikací pulsu. Daný počet stanovišť vyžaduje odpovídající počet senzorů vlnoplochy. Níže jsou diskutovány alternativní metody pro korekci tvaru spotu bez nutnosti využití dedikovaných senzorů vlnoplochy.

Metodika

Pro účely korekce tvaru spotu byly vybrány 2 metody, které vycházejí z předcházejícího vývoje, a které byly použity in situ ve 2 odlišných aplikačních oblastech. Obě metody využívají pro zpětnou vazbu pouze signál z far-fieldové kamery umístěné v místě interakce. Přesnost korekce je vyhodnocována na základě měření v referenční větvi systému.

První vybraná metoda, Converge, využívá pro korekci optimalizaci koeficientů Legendrových polynomů ve 2D. Tento algoritmus měří jako odezvu varianci spotu při aplikování daného polynomu na DZ. Iterační algoritmus skenuje několik hodnot konkrétního Legendrova polynomu a na základě interpolace odhaduje jeho optimální hodnotu. Po několika iteracích dochází k tvorbě fokusu s přibližně 70-90 % Strehlova poměru. Algoritmus konverguje asi po 5 iteracích, přičemž jsou prováděny přibližně 3 iterace za minutu. Řešení nemusí být globálním optimumem.

SPAM funguje na principu rastrování apertury. Z lokálního měření sklonu určuje celkový tvar vlnoplochy, která může být následně korigována DZ. Provedení korekční iterace je časově náročné, jedno měření na apertuře s dělením 5×5 trvá přibližně 2 minuty, ke konvergenci dochází po přibližně 4 iteracích. Rychlost měření je limitována především hardwareovými prostředky, což je předmětem budoucí optimalizace. Metoda je daleko robustnější než Converge a zároveň umožňuje nalezení globálního optima.



Obrázek 1:I) Výsledné srovnání korekčních metod; Vlevo: výchozí deformované tvary fokusovaného svazku, uprostřed: korekce SPAM, vpravo: korekce Converge; II) Schématický model zabudované adaptivní optiky v systému Bivoj; III) Příklad in situ korekce fokusovaného svazku pomocí metody Converge

Závěr

Byly testovány 2 bezsenzorové metody sloužící pro kontrolu a korekci fokusovaného svazku na daném aplikačním stanovišti obsluhovaném systémem Bivoj. Na obrázku 1 jsou představeny výsledky korekcí vlnoplochy in situ pomocí testovaných metod. V následujících měsících bude vybraná metoda implementována a bude skoužit k rychlé uživatelské kontrole kvality spotu v aplikační oblasti.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce: Zpracování a výpočetní analýza obrazu

KOMPAKTNÍ VAKUOVÁ SESTAVA PRO ZACHYTÁVÁNÍ A LASEROVÉ CHLAZENÍ IONTŮ $^{27}\text{Al}^+$ A $^{40}\text{Ca}^+$

Jakub Grim, Vlček I., Jedlička P., Pham M. T., Číp O.

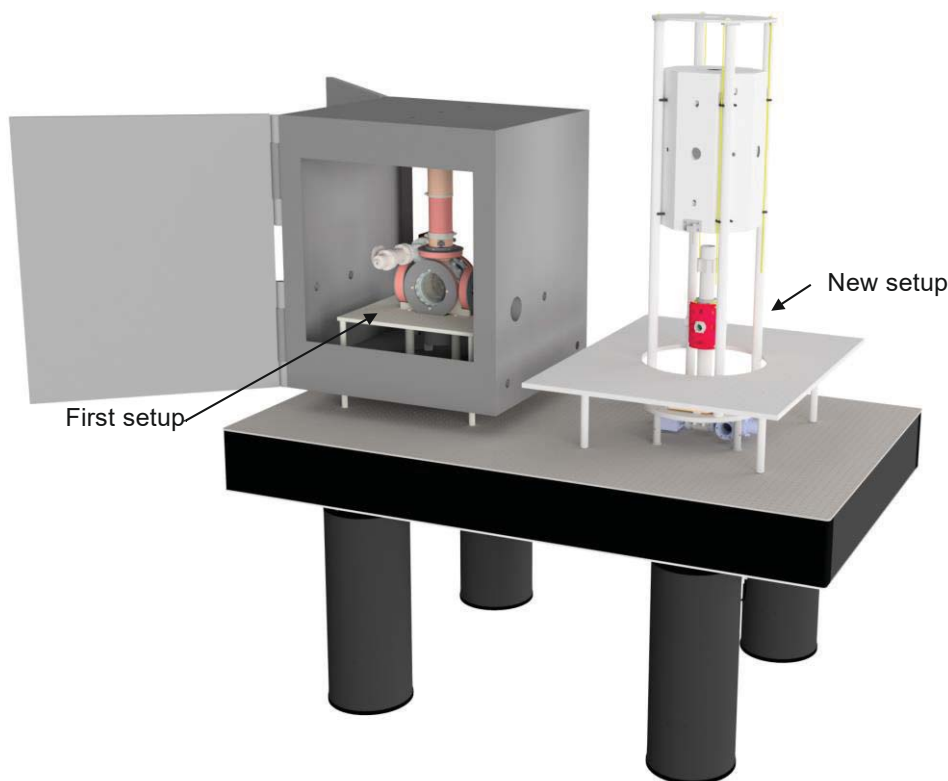
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Koherenční optika
Královopolská 147, Brno 612 64, +420 541 514 530, jgrim@isibrno.cz

Obor: Iontová past, vakuová komora, laserová ablace, cívky, homogenní magnetické pole

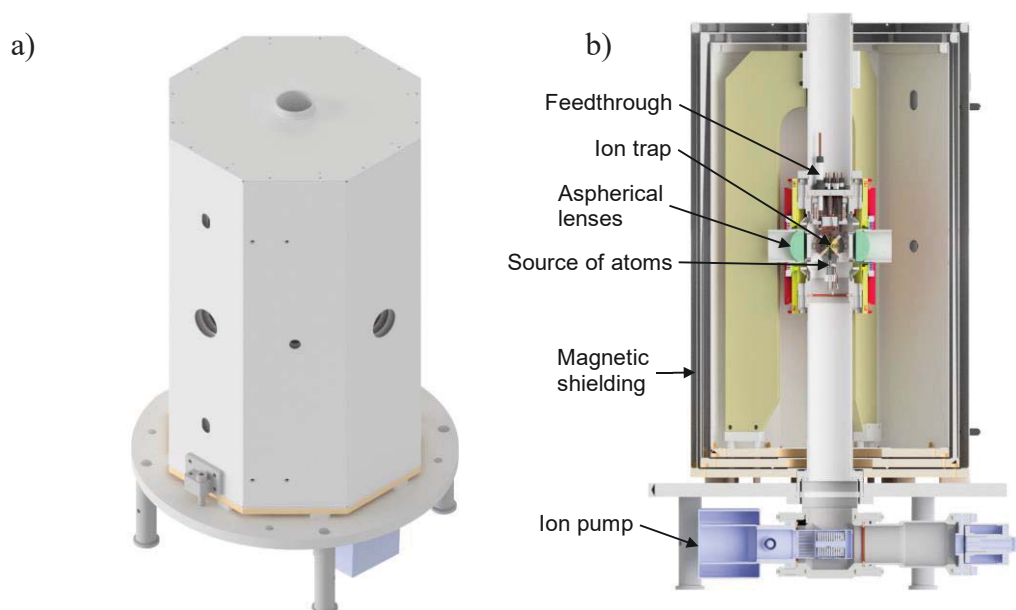
Zachytávání a následné laserové chlazení iontů je jedním z pilířů současné metrologie času a vyžaduje komplexní experimentální prostředí. Jednu takovou experimentální sestavu, která umožňuje zachytávání iontů $^{40}\text{Ca}^+$ již máme v provozu na našem pracovišti [1].

Představujeme návrh nové kompaktní vakuové komory s elektrickou pastí a laserovým chlazením iontů $^{40}\text{Ca}^+$ a $^{27}\text{Al}^+$. Vakuová komora byla navržena do kompaktních rozměrů, aby bylo dosaženo ultra-vysokého vakua a dobrého optického přístupu k zachyceným iontům. Kombinace tvaru elektrické pasti s dobrou geometrickou symetrií a velikostí okének umožní maximální účinnost sběru fluorescence z iontů. Sestava je připravena pro ablaci a chytání iontů $^{40}\text{Ca}^+$ a $^{27}\text{Al}^+$ za účelem realizovat experimenty kvantové logiky s využitím zejména pro provoz optických hodin.

V naší první verzi experimentální sestavy pro zachycování iontů je celá optická sestava umístěna uvnitř rozsáhlého magnetického stínění (Obr. 1 vlevo). Atomy vápníku jsou zde generovány tepelnou píčkou a ke generování magnetického pole se používají tři páry Helmholtzových cívek.



Obrázek 1. Srovnání naší první verze sestavy s vakuovou komorou, cívkami a magnetickým stíněním (vlevo) a novým návrhem sestavy (vpravo).



Obrázek 2. a) Sestava uzavřena v 3vrstvém magnetickém stínění z mu-metalu. b) Řez celou sestavou.

Nová aparatura je navržena tak, aby celá optická sestava bylo mimo magnetické stínění a nebylo nutné stínění otevírat pro případ justáže optických prvků v okolí vakuové komory (Obr. 1 vpravo a Obr. 2). V kombinaci se sedlovými [2] [3] a Helmholtzovými cívkami a vnějším magnetickým stíněním z mu-metalu (obr. 2) lze dosáhnout homogenního magnetického pole v oblasti zachycených iontů ve středu pasti. Hlavní část komory vybavená okénky je vyrobena z titanu [4], aby homogenní magnetické pole generované cívkami nebylo deformováno zbytkovým magnetickým polem v okolí nerezových dílů komory.

Představená aparatura umožní kvantové experimenty s jednotlivými ionty a také Coulombovými krystaly ve velmi stabilním a homogenním magnetickém poli, které je nezbytné pro systém optických hodin s mnoha ionty.

Literatura:

- [1] Obšil, P., Lešundák, A., Pham, T., Lakhmanskiy, K., Podhora, L., Oral, M., Číp, O., Slodička, L. (2019). A room-temperature ion trapping apparatus with hydrogen partial pressure below 10 –11 mbar. *Review of Scientific Instruments*, 90(8).
- [2] Jeon, S., Jang, G., Choi, H., Park, S., Stepanova, M., Xu, Z. T., Spethmann, N., Leroux, I. D., Mehlstäubler, T. E., Schmidt, P. O. (2010). Magnetic Navigation System With Gradient and Uniform Saddle Coils for the Wireless Manipulation of Micro-Robots in Human Blood Vessels. *IEEE Transactions on Magnetics*, 46(6), 1943-1946.
- [3] Bonetto, F., Anardo, E., Polello, M., Park, S., Stepanova, M., Xu, Z. T., Spethmann, N., Leroux, I. D., Mehlstäubler, T. E., Schmidt, P. O. (2006). Saddle coils for uniform static magnetic field generation in NMR experiments. *Concepts in Magnetic Resonance Part B: Magnetic Resonance Engineering*, 29B(1), 9-19.
- [4] Hannig, S., Pelzer, L., Scharnhorst, N., Kramer, J., Stepanova, M., Xu, Z. T., Spethmann, N., Leroux, I. D., Mehlstäubler, T. E., Schmidt, P. O. (2019). Towards a transportable aluminium ion quantum logic optical clock. *Review of Scientific Instruments*, 90(5).

Poděkování

Tento metodologický výzkum je podporován projekty 20FUN01 TSCAC, Technologická agentura ČR (Tn01000008), mQ-net (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008460) ERDF.

THE MODEL FOR EUROPEAN PHOTONICS CAREER CAMP

Daniel Haško^{*}, Jozef Chovan, František Uherek

Slovak Centre of Scientific and Technical Information - International Laser Centre

Ilkovičova 3, 84104 Bratislava, Slovakia

daniel.hasko@cvtisr.sk

Key word: photonics is everywhere

Introduction

The Europe faces a situation in which the photonics industry is growing and needs more well-prepared professionals to support its growth, leadership and innovation potential. Addressing this pressing need requires engaging all photonics stakeholders to increase the visibility of the outstanding professional opportunities of photonics and provide the future workforce with tools to increase their employability. The Horizon 2020 project - the European photonics CAREer LAunch path (CARLA) aims to develop a model for European photonics career camp to address this need at the source. With the contribution of all project partners we have established a new, robust, tested and intense multi-format event - „CARLA Camp“ that can be reproduced by discretionary organisations. Based on coordinated inputs from all stakeholders the event aims to encourage STEM university students, PhD students and early-stage researchers to pursue a career in photonics.

The CARLA Camp is strong coordinated instrument that was realized by using a multidimensional strategy integrating design, implementation, evaluation and sustainability. It succeeded because of that working hand-in-hand with all the stakeholders in the design of the camps through working groups at the Pan-European level. One of our goal is also assess the methodology and scalability of the camp, and evaluate its impact in the short, mid and long-term. Sustainability of the camps is ensured through the engagement of influencers and multipliers, and developing a comprehensive handbook to facilitate replication of event. Finally we would like to create together an Empowering Gender Diversity guide based on experiences obtained during the project.

CARLA Camp in Slovakia

Up to now CARLA Camp was tested through 12 editions implemented during the project in 10 different European countries. The CARLA partners managed to create a thorough, competitive and sustainable career camp that will serve as a functional ready-to-replicate tool. Every Camp edition, specific to each country, incorporated the field of industry, academia, innovations and entrepreneurship, putting special attention to better employability and empower gender diversity, both within the camps and in the future workforce for photonics industry. The first camp in Slovakia whose host was Slovak Centre of Scientific and Technical Information - International Laser Centre (SCSTI ILC) was held on 11. - 13. October 2022 in hybrid (in-person & virtual) format at the Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Informatics and Information Technologies (SUT FIIT).

The camp in Bratislava main audience attended the presentations on-site at the SUT FIIT and small part of participants followed the event online. The program ran over three afternoons and involved 25 invited speakers from universities, research institutions, companies, start-ups and technology transfer departments. The first day was focused on careers at universities and research centres to give an overview of the photonic landscape and career development. The second day was dedicated to careers in companies including needed skills and soft skills as well as the opportunity for networking with the photonics community. The participants could learn how to develop personally and to become a good entrepreneur. The third day included talks on innovation and entrepreneurship also on technology transfer

and European research infrastructures. All afternoons ended with networking in the SUT FIIT area with food and drinks for the matchmaking of students and speakers. The illustrative pictures from CARLA camp Bratislava are shown in Fig. 1.



Fig. 1: CARLA Camp Bratislava photos from (a) program (b) networking in small groups.

Publicity and outputs

The dissemination main media become the internet. The project website [1] provides the news and facts about actual, planned and last CARLA camps, besides that very interesting videos of career stories in photonics. Social media channels [2-4] provides also short blogs and videos on daily photonics topics. Except that all dissemination content generated from partners' events is published on the project website and his social media, the potential replicators and influencers reinforce the engagement the photonics community at large. To boost the local interest to participate in CARLA Camp we have promoted our event among local university students and young researchers' communities on the websites of the Comenius University Bratislava, SUT in Bratislava, as well as SCSTI and ILC.

The CARLA Camp Bratislava was documented with photographs and videos of all sessions including promotional materials, which will be used to disseminate the content of the career camps and reach out to larger groups of university students and young researchers. This was done to help promoting other editions and encouraging the replication of the CARLA Camp by organizations outside this project.

Conclusions

In conclusion, the first CARLA Camp in Slovakia was a successful event that engaged participants and speakers alike. The hybrid format allowed for a diverse pool of attendees composed of domestic and foreign students. Despite the general tiredness towards online events the camp was also followed by a group of listeners online. We managed to compile an interesting and variety international group of speakers. The participants who did attend the event throughout the three days were pleased with the programme, format and speakers. The camp had a great impact on their knowledge and interest on career opportunities in photonics. We look forward to the next edition of the camp, which we hope will be the replication of event done by organization outside the project consortium and in another country.

References

- [1] CARLA website, <https://carlahub.eu/> (28 October 2022)
- [2] CARLA on Instagram, https://www.instagram.com/the_carla_hub/ (28 October 2022)
- [3] CARLA on LinkedIn, <https://www.linkedin.com/company/carla-hub> (28 October 2022)
- [4] CARLA on YouTube, <https://www.youtube.com/channel/UCdldjUfN70n4ph8M5reJMsw/featured> (28 October 2022)

Acknowledgement

This work was supported by the Europe H2020-EU.2.1.1 Grant agreement ID: 871457.

MULTIPÁSMOVÝ VLÁKNOVÝ POLYGON PRO PŘENOS PŘESNÉHO ČASU A KOHERENTNÍ FREKVENCE

Ondřej Havliš*, Josef Vojtěch*, Martin Šlapák*, Ondřej Číp**,
Martin Čížek**, Jan Hrabina**, Lenka Pravdová** a Lukáš Slodička***

*CESNET, z.s.p.o., Oddělení optických sítí

Zikova 1903/4, 160 00 Praha 6

**Ústav přístrojové techniky AV ČR

Královopolská 147, 612 00 Brno-Královo Pole

*** Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra optiky

17.listopadu 12, 77146 Olomouc

havlis@cesnet.cz

+420 724 062 185

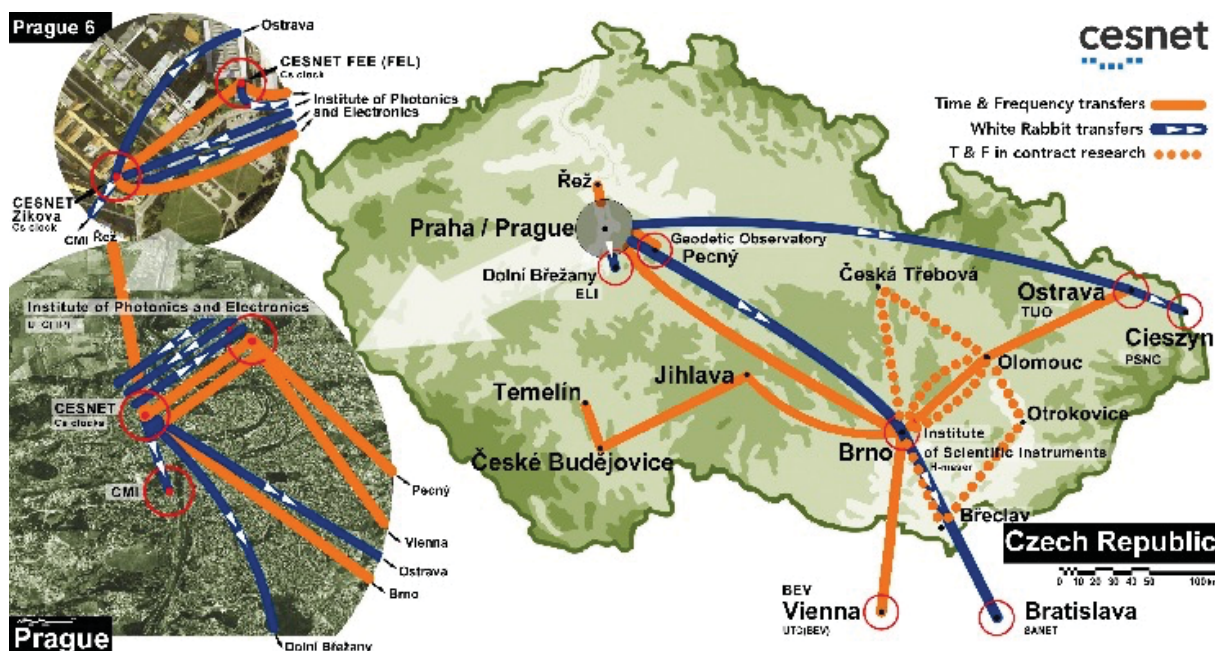
<http://www.cesnet.cz>

<http://czechlight.cesnet.cz>

<http://photonics.cesnet.cz>

Obor: Speciální aplikace v optických komunikacích

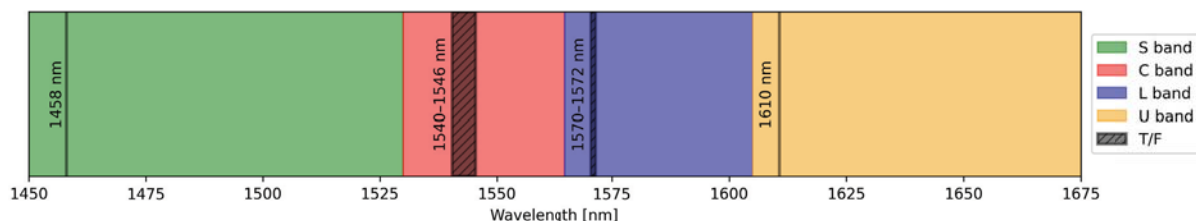
Sdružení CESNET (Czech Education and Scientific NETwork) provozuje národní infrastrukturu pro přenos ultra-stabilních veličin (přesného času a koherentní frekvence) od roku 2015. Současné geografické rozložení je znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1: Národní infrastruktura pro přenos ultra-stabilních veličin

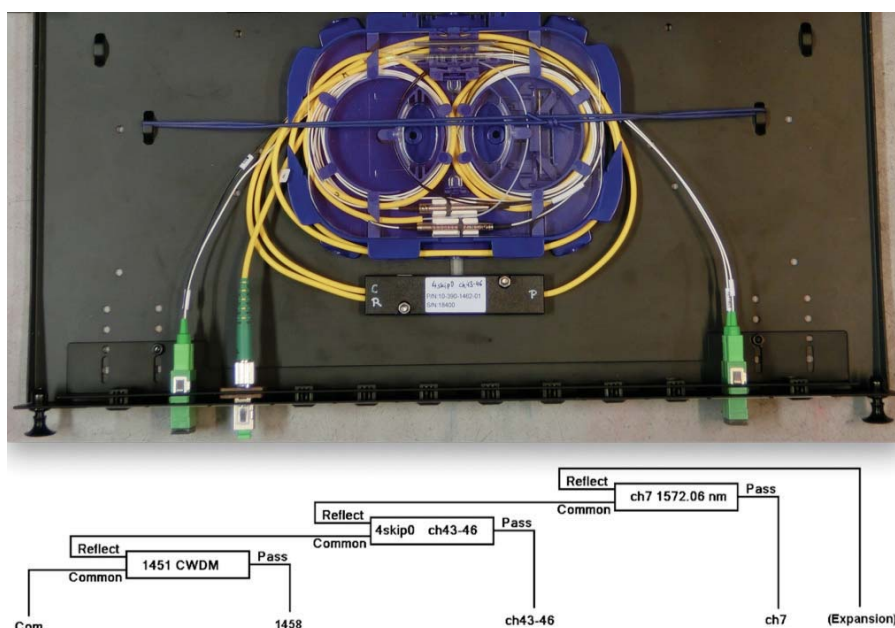
Nejčastěji se k přenosům času a frekvence používá část vyhrazeného optického spektra v C pásmu v oblasti 1540–1546 nm, část začátku L pásma v oblasti 1570–1572 nm a při poslední výzkumné činnosti byla ověřena možnost přenosů i na vlnové délce 1458 nm v S pásmu, jak je uvedeno na obrázku 2. Pro tento specifický přenos CESNET využívá vlastní vyvinuté řešení, obousměrné vláknové zesilovače z rodiny Czech Light CLA BiDi (Czech Light Amplifier Bi-directional), založené jak na EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) tak i na SOA (Semiconductor Optical Amplifier).

Dále je infrastruktura rozšířena o sub-nanosekundový přenos přesného času přes komerčně dostupné řešení založené na výsledcích projektu, který probíhal v CERNu pod názvem WR (White Rabbit). Toto řešení staví na vlastním vyvíjeném protokolu. K dosažení sub-nanosekundové synchronizace využívá White Rabbit Synchronous Ethernet (SyncE) a IEEE 1588 (1588) Precision Time Protocol (PTP). Díky použité metodě aktivní kompenzace, kterou vyvíjí Ústav přístrojové techniky AV ČR, bylo docíleno u vláknových tras (Praha–Brno, Brno–Temelín, Brno–Ostrava a Brno–Vídeň) časové stability v rozmezí mezi $\times 10^{-16}$ a $\times 10^{-20}$.



Obrázek 2: Možnosti využití optického spektra pro T/F přenosy

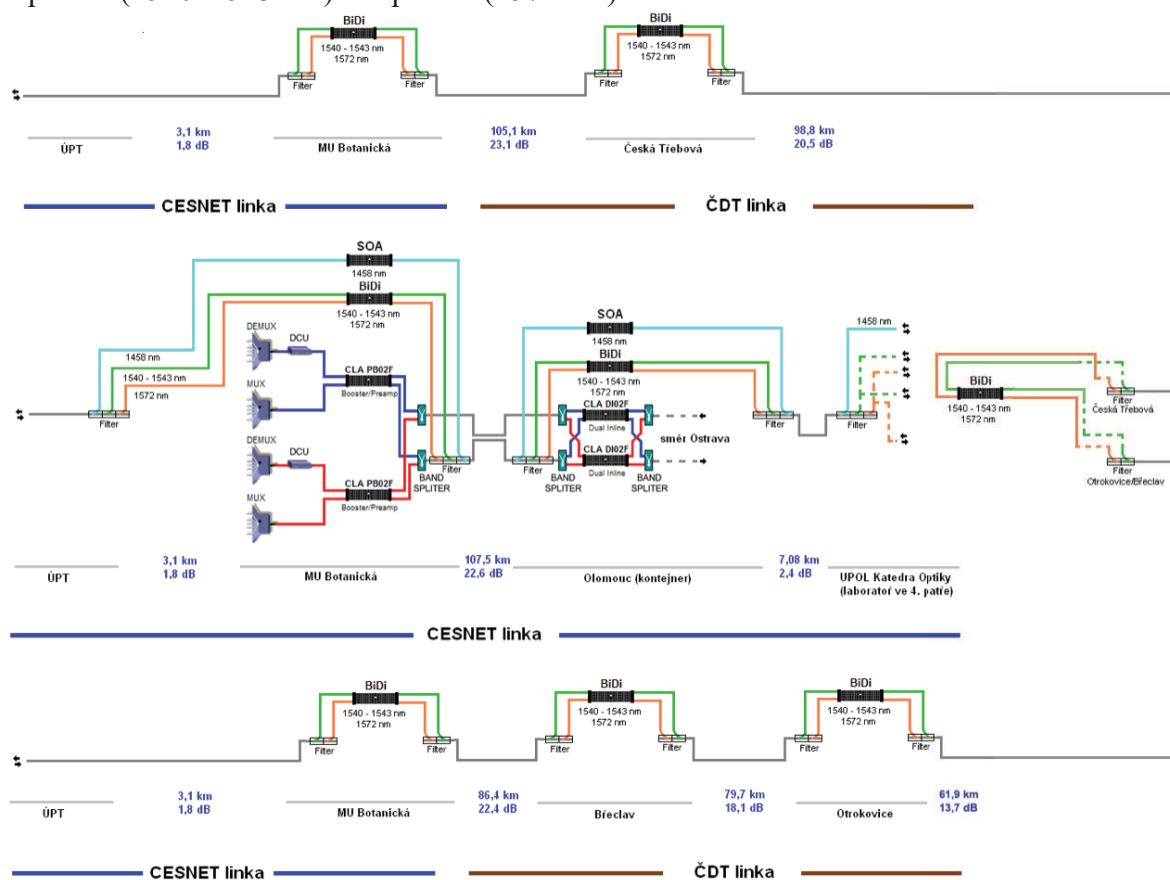
Sdružení CESNET ve spolupráci s Ústavem přístrojové techniky akademií věd České Republiky (Institute of Scientific Instruments of the CAS, zkr. ISI CAS), ČD Telematika a Univerzitou Palackého v Olomouci (UPOL) katedry optiky v rámci výzkumných aktivit vybudovaly multipásmový polygon na reálných optických trasách. Multipásmový polygon je určen pro obousměrný přenos ultra-stabilních veličin, tedy přenos přesného času a koherentní frekvence (T/F). Aby nedocházelo k ovlivňování datového provozu, byly navrženy a vyvinuty speciální optické filtry, které se vkládají do optické trasy, aby vybočily dané spektrum pro přenos T/F. Provedení optického filtru je znázorněno na obrázku 3. Sdružení CESNET pro polygon poskytl obousměrné optické zesilovače rodiny Czech Light CLA BiDi, SOA a optické filtry pro daná optická přenosová pásma.



Obrázek 3: Speciální optický filtr pro přenos T/F v multipásmovém vláknovém polygonu

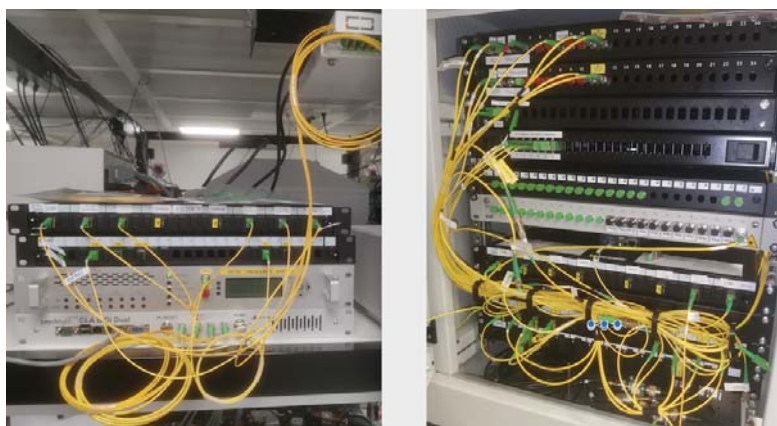
Polygon se skládá ze tří částí, tedy optických tras, jak je znázorněno na obrázku 4. První část je tvořena optickou trasou ISI – MU Botanická – Olomouc – UPOL, která je dlouhá 117,68 km a její vložný útlum je 26,8 dB, který je kompenzován čtyřmi obousměrnými zesilovači různého typu pro dané optické spektrum. Tato část je specifická tím, že vlákno je sdíleno pro klasický přenos telekomunikačních dat v C a L pásmu a přenosem ultra-stabilních veličin ve vyhrazeném C pásmu (1540–1543 nm), L pásmu (1572 nm) a S pásmu (1458 nm).

Druhá část polygonu je tvořena linkou z UPOL do ISI přes Otrokovice, Břeclav a MU Botanická a je dlouhá 231,1 km a její vložný útlum je 56 dB, který je kompenzován třemi obousměrnými optickými zesilovači CLA BiDi pro přenos ultra-stabilních veličin ve vyhrazeném C pásmu (1540–1543 nm) a L pásmu (1572 nm).



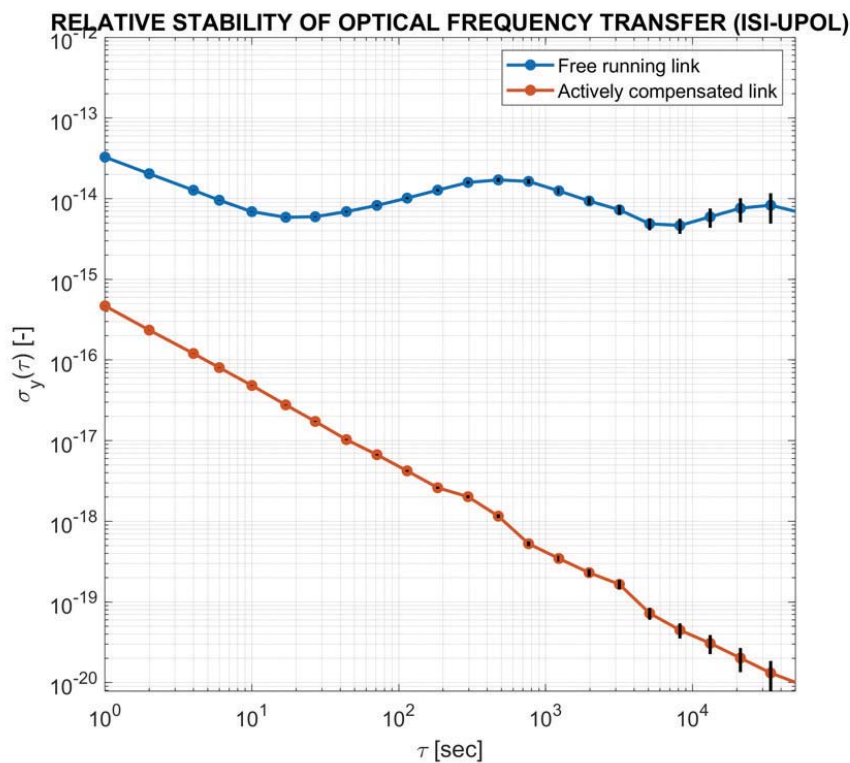
Obrázek 4: Schéma multipásmového vláknového polygonu pro přenos T/F

Poslední, třetí část polygonu je tvořena linkou opět z UPOL zpět do ISI tentokrát přes Českou Třebovou a MU Botanická. Tato linka polygonu je dlouhá 207 km a její vložný útlum je 45,4 dB. Útlum linky je kompenzován dvěma obousměrnými optickými zesilovači CLA BiDi pro přenos ultra-stabilních veličin pouze ve vyhrazeném C pásmu (1540–1543 nm) a L pásmu (1572 nm). V celém polygonu jsou osazené optické filtry pro vyhrazené C pásmo (1540–1543 nm) a L pásmo (1572 nm). Centrálními body polygonu jsou lokality ISI a UPOL, kde dochází k variabilitě různých možností přenosu, viz obrázek 5. Na UPOL je umístěný obousměrný optický zesilovač, který kompenzuje útlumovou ztrátu při využití nejdelší možné varianty v polygonu, jak je znázorněno na obrázku 4.



Obrázek 5: Centrálními body polygonu jsou popy UPOL (vlevo) a ISI (vpravo)

Došlo k měření stability linek mezi všemi částmi polygonu v C pásmu. Nejlepší stability bylo dosaženo mezi ISI a UPOL, kde bylo docíleno stability přenosu optické frekvence v řádu $\times 10^{-19}$ viz obrázek 6. Takto vynikající výsledek je podmíněn délkou a vlastnostmi optické trasy: uložení optického kabelu v zemi, nízkým výskytem ohybů, typem konektorů a okolím kolem optického kabelu.



Obrázek 6: Stabilita optického přenosu mezi ISI a UPOL

V současné době probíhá měření stability linky na nejdelším možném úseku polygonu, a to ve vyhrazeném C pásmu pomocí dvou koherentních frekvencí 1540 nm a 1542 nm. Plánuje se ověření stability přenosu v C a L pásmu v celém polygonu. Parametry a možnosti polygonu jsou znázorněny v tabulce 1. Velkou výhodou těchto plánovaných testů je, že dojde k porovnání vysílaného signálu z H-maseru s přijímaným signálem na totožném místě, tedy v lokalitě ISI. Z technického hlediska se budeme zabývat Sagnac metodou. A půjde o vůbec první taková měření na území České Republiky, kde délky linek a útlumy dosahují tak velkých hodnot 349 km/83 dB, 325 km/72 dB a 438 km/101 dB.

Tabulka 1: Parametry a možnosti multipásmového polygonu

Multipásmový polygon				
Část	Popis	Délka trasy	Útlum trasy	Vyhrazené optické spektrum
1.	ISI–UPOL	117,68 km	26,8 dB	C pásmu (1540–1543 nm) L pásmu (1572 nm) S pásmu (1458 nm)
2.	UPOL–Otrokovice–ISI	231,1 km	56 dB	C pásmu (1540–1543 nm) L pásmu (1572 nm)
3.	UPOL – Česká Třebová – ISI	207 km	45,4 dB	C pásmu (1540–1543 nm) L pásmu (1572 nm)

Možné variace polygonu				
1.+2.	ISI–UPOL UPOL–Otrokovice–ISI	348,78 km	82,8 dB	C pásma (1540–1543 nm) L pásma (1572 nm)
1.+3.	ISI–UPOL UPOL – Česká Třebová – ISI	324,68 km	72,2 dB	C pásma (1540–1543 nm) L pásma (1572 nm)
2.+3.	UPOL – Česká Třebová – ISI UPOL–Otrokovice–ISI	438,1 km	101,4 dB	C pásma (1540–1543 nm) L pásma (1572 nm)

Poděkování: Tuto práci částečně podpořilo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu e-INFRA CZ LM2018140. A část výsledků byla financována z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020 v rámci grantové podpory č. 951886 CLOck NETwork Services Design Study (CLONETS-DS).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Náročné přenosy na kapacitu, stabilitu, opakovatelnost
 - o Přenosy přesného času a stabilní frekvence
 - o Další metrologické přenosy
 - o Quantum Key Distribution
 - o Distributed/Remote Sensing
- Stabilní a úzkopásmové lasery
- Optické hřebeny
- Čistě optické konverze a regenerace
- Mnohé další, zejména z vláknové optiky

OPTICKÁ VLÁKNA S DUTÝM JÁDREM A OPTICKÁ VLÁKNA S DĚROVANÝM PLÁŠTĚM

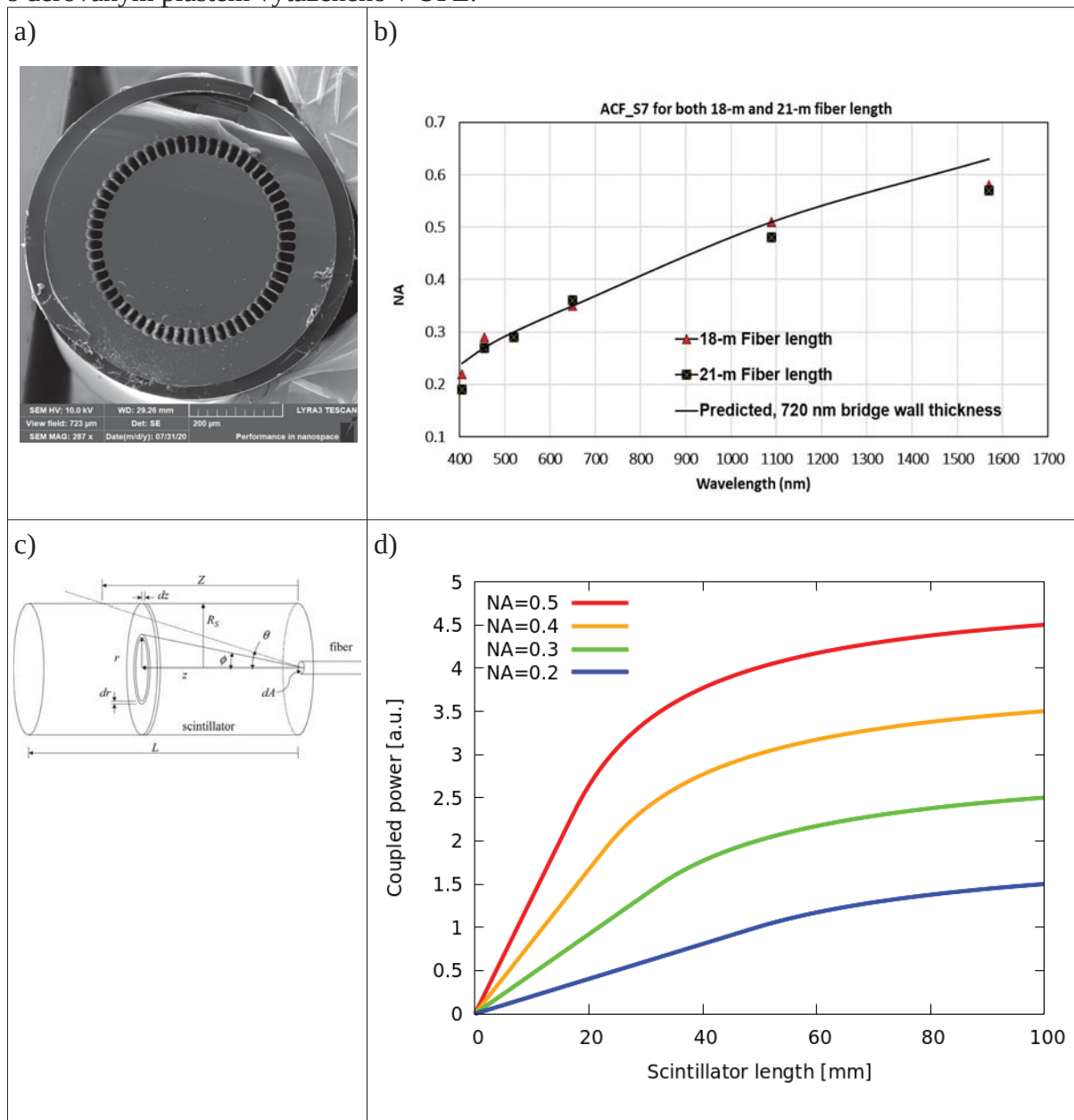
A. Jasim, O. Podrazky, I. Barton, A.A. Borodkin, M. Slechta, M. Grabner, P. Honzatko

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i.

Chaberská 1014/57, 182 51 Praha 8 (tel. 266773431, honzatko@ufe.cz, www.ufe.cz)

Obor: Vláknové lasery

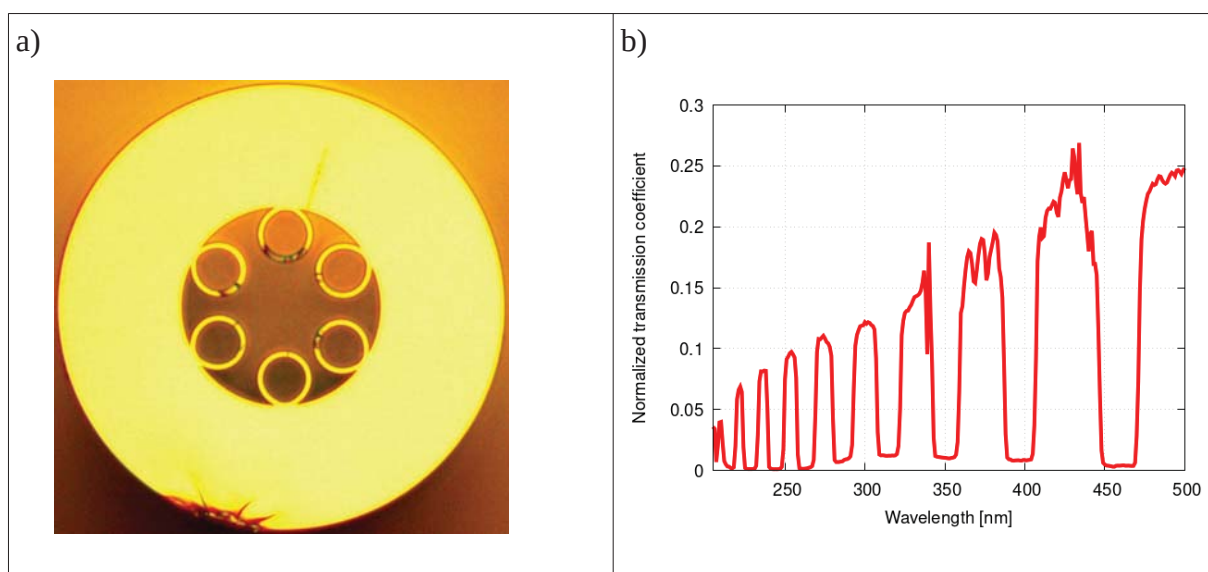
Optická vlákna s děrovaným pláštěm umožňují dosažení velké numerické apertury na delších vlnových délkách. Numerická apertura určuje účinnost vazby záření z mnohavidových laserových diod i z objemových zdrojů jako jsou scintilátory. Na obr. 1a) je příklad vlákna s děrovaným pláštěm vytaženého v ÚFE.



Obr. 1. a) Vlákn s děrovaným pláštěm. b) Závislost numerické apertury na vlnové délce. c) Vazba scintilátoru a optického vlákna. d) Závislost výkonu na výstupu vlákna na délce scintilátoru a numerické apertuře vlákna.

Na obr. 1b) je vidět změřená a předpovězená závislost numerické apertury uvedeného vlákna na vlnové délce. Pro kratší vlnové délky se optické ztráty způsobené vytékáním vidů zvyšují a numerická apertura proto klesá. Na obr. 1c) je uvedený náčrtek vazby mezi scintilátorem o délce L a poloměru R_s a mnohavidovým optickým vláknem s numerickou aperturou NA . Na obr. 1d) je zobrazený teoreticky spočtený výkon navázaný do optického vlákna v závislosti na délce scintilátoru a numerické apertuře optického vlákna.

Na obr. 2a) je typické optické vlákno s dutým jádrem připravené v ÚFE. Na obr. 2b) je změřená přenosová funkce vlákna, která má řadu transmisních pásů dokonce i ve spektrální oblasti daleko za absorpční hranou křemenného skla, která leží kolem vlnové délky 300 nm. Optická vlákna s dutým jádrem umožňují přenos optickým pulzů s malým zkreslením, přenos gigantických pulzů, rozšíření přenosového pásma do UV i infračervené oblasti a účinnou interakci s plynem uvnitř dutého jádra.



Obr. 2. a) Optické vlákno s dutým jádrem. b) Transmisní pásy vlákna zasahující do UV oblasti.

Ve vláknech vytažených v ÚFE jsme měřili přenosové pásy v intervalu od 200 nm do 4500 nm. Rovněž jsme se zabývali interakcí světla s plynem uvnitř jádra.

NITRIDOVÉ HETEROSTRUKTURY PRO RYCHLÉ SCINTILÁTORY

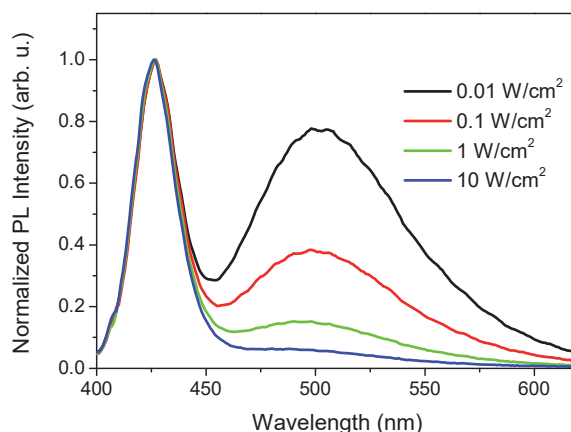
Alice Hospodková

FZÚ A V ČR, v.v.i.

Cukrovarnická 10, Praha 6 (telefon 220 318 401, e-mail: hospodko@fzu.cz,
<https://www.fzu.cz/vyzkum/vyzkumne-sekce-a-oddeleni/sekce-3/oddeleni-14>)

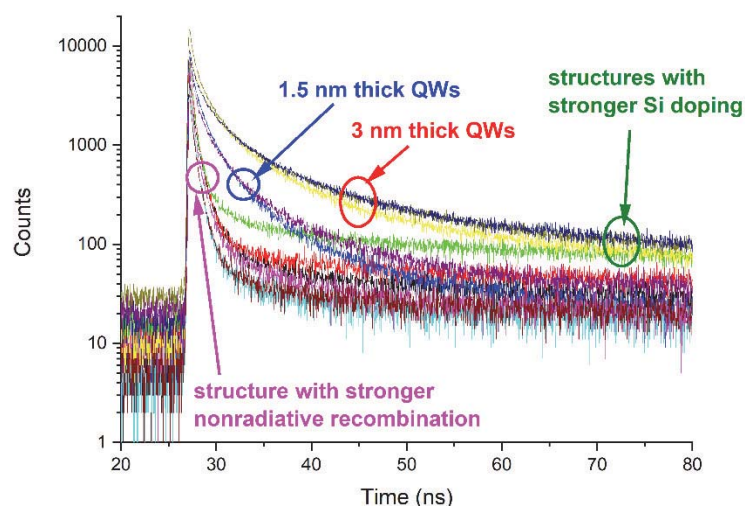
Obor: elektronová mikroskopie

Nitridové polovodiče jsou přímé polovodiče pokrývající emisi v širokém rozsahu vlnových délek od červené až po hlubokou UV oblast, i když je velmi obtížné získat elektroluminiscenci nitridových heterostruktur na obou okrajích tohoto intervalu. Efektivní polovodičové lasery se úspěšně vyrábějí jen v intervalu mezi zelenou a UV-B oblastí. Naše práce v posledních letech se však věnuje jiné oblasti luminiscenčních aplikací nitridů – superrychlým scintilátorům, které čelí jiným výzvám při návrhu heterostruktur, než je tomu u struktur laserových. Především scintilátory pracují za podmínek velmi nízké excitace a velmi nízkých výkonů. Při těchto podmínkách je nutné optimalizovat jiné rekombinační procesy. Zatímco polovodičové lasery se potýkají s nezářivou Augerovskou rekombinací, hlavním problémem scintilátorů jsou především rekombinace na defektech krystalové mřížky. Připravené heterostruktury musí být extrémně čisté. Každý atom nečistoty se může stát nežádoucím rekombinačním centrem. Pro rychlé scintilátory jsou především nežádoucí centra se zářivou rekombinací. Pro rychlou luminiscenční odezvu je důležité, aby rekombinace probíhala přímo mezi vodivostním a valenčním pásem polovodiče, především ve formě excitonové rekombinace, jejíž dosvit je v řádu nanosekund. Naopak zářivé rekombinace přes defektní centra jsou mnohem pomalejší v rozsahu od desítek nanosekund až po milisekundy v závislosti na hloubce centra v zakázaném pásu. Při nízkých intenzitách excitace relativní podíl rekombinace přes zářivá centra významně narůstá, viz Obr.1. Tím se prodlužuje dosvit scintilátoru.



Obr.1 Normalizovaná fotoluminiscenční spektra heterostruktur s 10 InGaN/GaN kvantovými jamami měřená při různé intenzitě excitace. Při nízkých intenzitách excitace výrazně relativně narůstá maximum defektní luminiscence kolem 500 nm.

Kromě vysoké materiálové čistoty přinášejí scintilační heterostruktury další technologické výzvy. Jednou z nich je požadavek na tlustou aktivní oblast s mnoha InGaN/GaN kvantovými jamami, aby byla dosažena dostatečně citlivá detekce hluboce pronikajícího ionizujícího záření. Vysoký počet InGaN vrstev zvyšuje pnutí ve struktuře a může vést k relaxaci pnutí tvorbou defektů.



Obr. 2 Porovnání dosvitových křivek heterostruktur s 10 InGaN/GaN kvantovými jamami, lišících se v některých parametrech jako je tloušťka kvantových jam, dotace podkladových vrstev nebo kvalita epitaxního růstu.

Další úkolem je navrhnout strukturu tak, aby měla co nejkratší dosvit. Důležité je připravit co nejtenčí kvantové jámy s gradovaným složením, aby v nich nedocházelo k prostorovému oddělení elektronů a děr, a tím k horšímu překryvu jejich vlnových funkcí a tudíž i pomalejšímu dosvitu (viz Obr.2). Příspěvek shrne několik fází vývoje rychlé scintilační nitridové heterostruktury.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Vývoj emisních diod a polovodičových laserů v blízké UV oblasti.

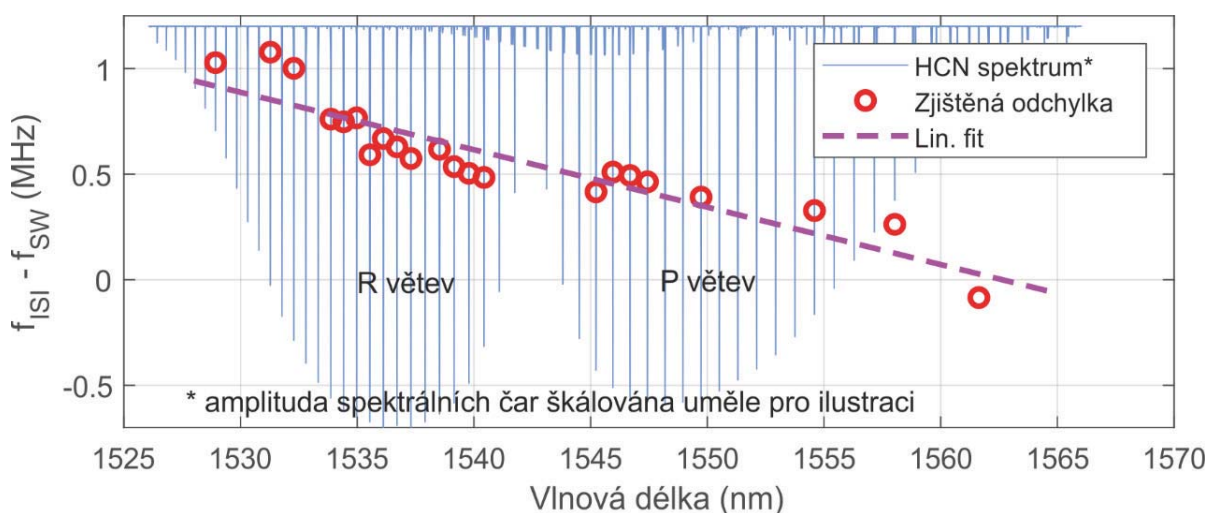
SYSTÉM PRO SKENOVÁNÍ SPEKTRÁLNÍCH ČAR KYANOVODÍKU ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$)

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

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

Obor: laserová spektroskopie, optický frekvenční hřeben, široce přeladitelný laser

Definice základních jednotek SI jednoho metru a jedné sekundy jsou závislé na přesně měřené frekvenci (konkrétně se jedná o „frekvenci přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia ^{133}Cs “). Jeden ze způsobů experimentální realizace přesné frekvence je frekvenční stabilizace laseru na střed absorpčního přechodu v daném médiu. Obvykle užívaným absorpčním médiem pro oblast viditelných vlnových délek je např. jód $^{127}\text{I}_2$ [1].



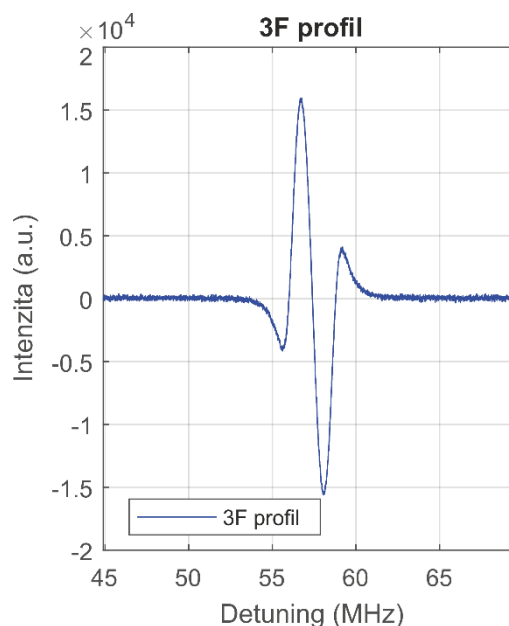
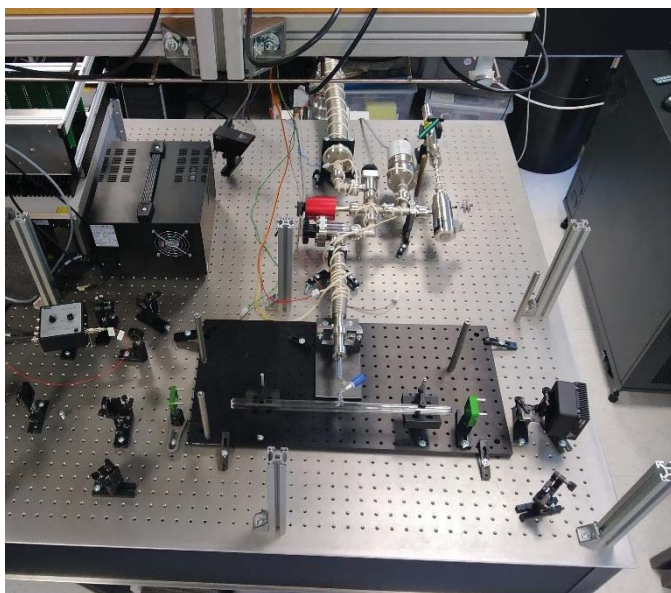
Obr. 1 Srovnání frekvence středů absorpčních čar kyanovodíku naměřené námi v [4] a dříve publikované v [3]. V pozadí absorpční spektrum $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ [4].

V telekomunikacích je hojně využíváno tzv. C-přenosové pásmo (vlnové délky 1530-1565 nm). Zde je jakožto absorpčního média využíváno acetylenu ($^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ a $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) [2], alternativou se ovšem ukázal být kyanovodík ($\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$), který má oproti acetylenu několik výhod. Tou nejpodstatnější je širší absorpční spektrum a pokrytí celého C-pásma (Obr. 1). Díky širokému spektru je tento absorpční plyn vhodný pro stabilizaci laseru v měřící metodě frekvenční skenovací interferometrie, která se využívá pro přesné měření rozměrů velkých objektů.

Pozice středů absorpčních čar kyanovodíku již byly dříve zkoumány, publikované práce však udávají nejistotu v řádu jednotek MHz [3]. Prezentovaná práce popisuje nový systém (Obr. 2 vlevo), kterým je možné kontrolovat frekvenci laseru na relativní úrovni stability 10^{-15} a následně tento laser použít k přesnému proměření profilů absorpčních čar, čímž je možno dosáhnout zásadního zpřesnění dat absorpčního spektra HCN. V našem experimentu jsme využili široce přeladitelného laseru (CTL 1550, TOPTICA Photonics AG), jehož záření bylo opticky smícháno se zářením optického frekvenčního hřebenu (referencovaného na vodíkový maser). Frekvence vzniklého zázněje mezi CTL a konkrétním zubem optického frekvenčního hřebene je kontrolována pomocí digitálního offset-locku, čímž je možno přesně kontrolovat

výstup CTL laseru a detailně proměřit celý profil zkoumané absorpční čáry (Obr. 2 vpravo). Zpracováním naměřených dat jsme pak schopni určit frekvence středů naměřených profilů.

Tento výzkum doposud vedl k proměření 17 absorpčních čar kyanovodíku $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$, a to pomocí metod lineární absorpční spektroskopie a saturované absorpční spektroskopie [4]. Naměřená data s nejistotou měření na úrovni ± 40 kHz zásadním způsobem zpřesňují dříve publikované výsledky. Povedlo se díky nim odhalit původ chyb při měřeních v experimentu frekvenční skenovací interferometrie, kdy je lineární drift zjištěných odchylek mezi dříve publikovanými a nově naměřenými daty patrný v Obr. 1.



Obr. 2 Sestava pro měření středů absorpčních čar kyanovodíku metodou saturované absorpční spektroskopie (vlevo). Absorpční profil vybrané čáry HCN detekovaný na třetí harmonické frekvenci [4] (vpravo).

Reference:

- [1] Jindřich Oulehla, Pavel Pokorný, Jan Hrabina, Miroslava Holá, Ondřej Číp, and Josef Lazar, "Influence of coating technology and thermal annealing on the optical performance of AR coatings in iodine-filled absorption cells," *Opt. Express* 27, 9361-9371 (2019). <https://doi.org/10.1364/OE.27.009361>.
- [2] Edwards, C. S., H. S. Margolis, G. P. Barwood, S. N. Lea, P. Gill, and W. R. C. Rowley. 2005. High-Accuracy Frequency Atlas Of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ In The $1.5\ \mu\text{m}$ Region. *Applied Physics B* 80 (8): 977-983. <https://doi.org/10.1007/s00340-005-1851-0>.
- [3] Swann, William C., and Sarah L. Gilbert. 2005. Line Centers, Pressure Shift, And Pressure Broadening Of 1530-1560 nm Hydrogen Cyanide Wavelength Calibration Lines. *Journal Of The Optical Society Of America B* 22 (8). <https://doi.org/10.1364/JOSAB.22.001749>.
- [4] Hrabina, J., Hosek, M., Rerucha, S., Cizek, M., Pilat, Z., Zucco, M., Lazar, J., and Číp, O., "Absolute frequencies of $\text{H}^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ hydrogen cyanide transitions in $1,5\ \mu\text{m}$ region with saturated spectroscopy and sub-kHz scanning laser". *Optics Letters*. (Tento článek byl přijat k publikování. DOI 10.1364/OL.467633 bylo registrováno pro tento článek.)

Poděkování:

Konkrétní části výzkumu byly podporovány z projektů TA ČR FW03010687 a mQ-net (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008460) ERDF.

VYUŽITÍ METOD STROJOVÉHO UČENÍ V ANALÝZE ABLAČNÍCH OTISKŮ LASEROVÝCH SVAZKŮ

J. Chalupský^{1,*}, V. Vozda¹, J. Hering², J. Kybic², T. Burian¹, S. Dziarzhyski³, V. Hájková¹, Š. Jelínek¹, L. Juha¹, K. Juráňová¹, B. Keitel³, Z. Kuglerová¹, M. Kuhlman³, B. Petryshak², E. Plönjes³, M. Ruiz-Lopez³, L. Vyšín¹, T. Wodzinski⁴

¹ Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Na Slovance 1999/2, 182 21 Praha 8

² Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, Jugoslávských partyzánů 1580/3, 160 00 Praha 6

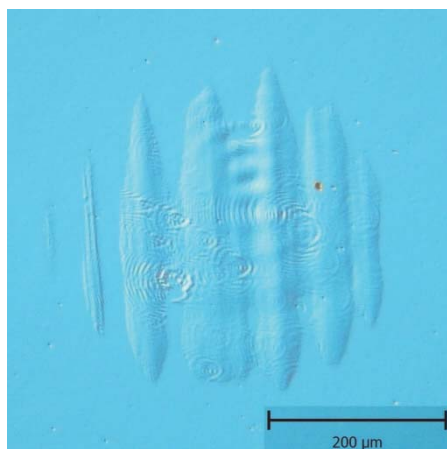
³ Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestrasse 85, 22607 Hamburg, Germany

⁴ GoLP/IPFN, Instituto Superior Técnico, 1049-001 Lisboa, Portugal

* chal@fzu.cz, tel.: 266052696, www.fzu.cz

Obor: charakterizace rentgenových laserových svazků

V uplynulých dvou dekádách se rentgenové lasery na volných elektronech [1] díky svým výjimečným vlastnostem dostaly do popředí základního výzkumu interakce laser-hmota. Vysoká intenzita svazků, vysoká prostorová koherence, krátké femtosekundové impulsy a prolomitelnost v širokém rozsahu vlnových délek dělají z těchto laserů unikátní nástroje pro zobrazování biologických i nebiologických mikro- a nano-objektů či pro studium procesů z oblasti fyziky vysokých hustot energie.



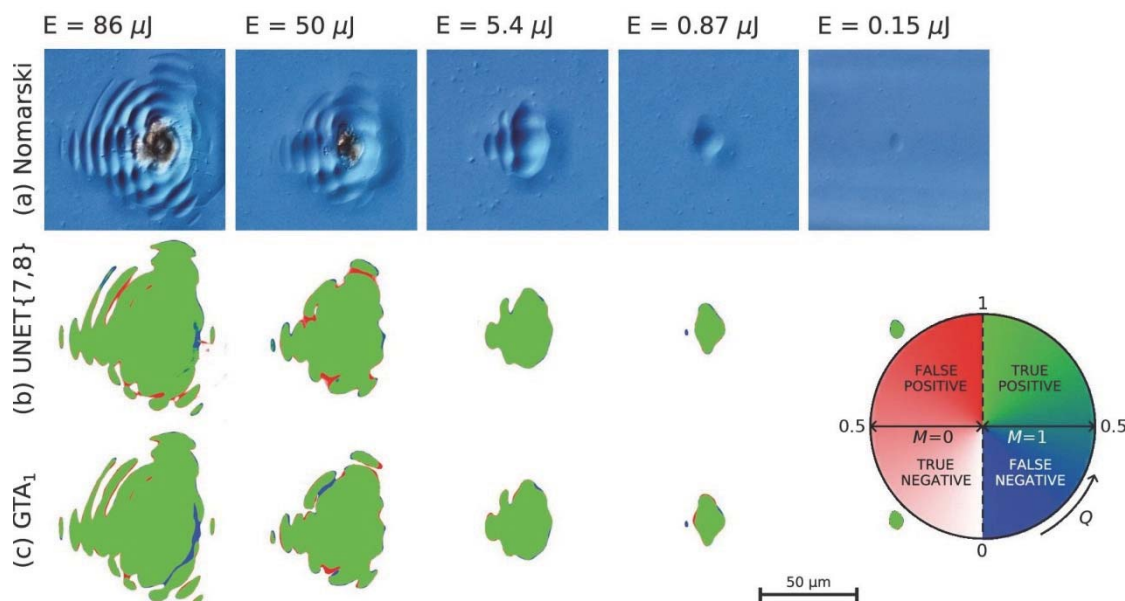
Obr. 1 – Ablací otisk rentgenového laserového svazku v PMMA. Zařízení FLASH (Free-electron Laser in Hamburg) bylo naladěno na vlnovou délku 13,5 nm.

Aby bylo možné výsledky interakčních experimentů správně interpretovat, je potřeba důkladně charakterizovat vlastnosti laserových svazků, které do procesu interakce vstupují. Prostorová charakterizace profilu fokusovaného svazku je výzvou pro většinu diagnostických metod, a to především díky vysokým intenzitám záření, kterých je dosahováno fokusací do velmi malých až sub-mikrónových stop. Metody ablačních otisků pro charakterizaci laserových svazků využívají poškození povrchu vhodného materiálu, např. poly(methyl methakrylátu) či jodidu olovnatého, a tudíž je lze využít přímo v ohnisku. Princip metody tkví v tom, že k ablaci materiálu dochází pouze nad prahovou ablační fluencí, zatímco pod ní k poškození téměř nedochází. Na povrchu vzorku tak vznikne ablační kontura, která opisuje iso-fluenční konturu svazku na úrovni prahové fluence. Jak je vidět na Obr. 1,

ablační otisk, v tomto případě v PMMA, zobrazuje nejen iso-fluenční konturu, ale i jemné detaily svazku. Pro impulsy různých energií vidíme kontury na různých relativních úrovních fluence vzhledem k maximu. Z mikrosnímek jednotlivých kontur a z měření jejich ploch pak lze sestavit původní příčný profil fluence svazku a stanovit plochu stopy svazku v dané poloze podél optické osy.

Výše popsaná metoda fluenčního skenu [2] vyžaduje značné množství ablačních otisků (zpravidla stovky až tisíce) pořízených na různých úrovních zeslabení svazku. Označení ablačních kontur v mikrosnímecích se provádí ručně pomocí grafického tabletu, což je velmi pracné a subjektivní měření, často kladoucí vysoké požadavky na zkušenosti analytika. Jako

velmi perspektivní se ukazuje využití konvolučních neuronových sítí vybudovaných na architektuře U-Net [3], které nevyžadují příliš rozsáhlé soubory trénovacích dat, přesto jsou schopny spolehlivě segmentovat požadovaný jev z obrazových snímků.



Obr. 2 – Porovnání segmentace mikrosnímků z Nomarského mikroskopu ablačních otisků v PMMA (a) mezi konvoluční neuronovou sítí U-Net a referenčním lidským analytikem (b) a mezi dvěma lidskými analytiky (c). Obrázky jsou ve stejné škále.

Konvoluční síť U-Net jsme aplikovali na mikrosnímky ablačních otisků vytvořených fokusovaným svazkem zařízení FLASH2. Experiment, jehož cílem byla charakterizace fokusovaného svazku na třech různých vlnových délkách (8 nm, 13,5 nm, 18 nm), proběhl na nově komisionované experimentální lince FL24. Neuronová síť byla učena trénovacími mikrosnímky imprintů, které byly ručně segmentovány čtyřmi analytiky. Celkem bylo použito 2221 snímků a stejný počet binárních masek. Kvalita různých modelů sítě byla testována na nezávislých testovacích obrázcích (celkem 473), které do procesu učení nevstupovaly. Tato data byla opět analyzována čtyřmi různými analytiky. Kvantitativní analýzou bylo zjištěno, že nejlepší modely sítě jsou schopny predikovat tvar ablační kontury se shodou až 98% v porovnání s referenčním lidským anotátorem. Rozdíl ploch ablačních kontur pak byl menší než 1%. Kvalitativní porovnání výstupu sítě s referenčním anotátorem je zobrazeno na Obr. 2b pro ablační otisky v PMMA (Obr. 2a) vytvořené jednotlivými impulsy různých energií na vlnové délce 13,5 nm. Zatímco zelená resp. bílá barva označují správnou predikci vnitřku resp. vnějšku otisku, červená resp. modrá barva označují oblasti, kde byl vnitřek nesprávně predikován vně otisku resp. vnějšek uvnitř otisku. Na Obr. 2c je vyobrazeno podobné porovnání mezi dvěma lidskými analytiky. Je tedy patrné, že výsledky správně natrénované sítě nelze od výsledků lidských anotátorů rozlišit ani kvalitativně ani kvantitativně. To v budoucnu umožní nahradit lidský faktor v analýze obrazových dat ablačních otisků, což výrazně zefektivní metodu charakterizace fokusovaných laserových svazků.

Autoři děkují Grantové agentuře ČR za finanční podporu projektu č. 20-08452S.

Reference:

- [1] B. W. J. McNeil, N. R. Thompson, „X-ray free-electron lasers,“ *Nat. Photonics* **4**, p.p. 814-821 (2010).
- [2] J. Chalupský et al., „Spot size characterization of focused non-gaussian x-ray laser beams,“ *Opt. Express* **18**, 27836-27845 (2010).
- [3] O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox, „U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation,“ in *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 234-241 (Springer International Publishing, 2015).

NEPŘÍMÉ ZNAČENÍ SKLA PULSNÍM ND:YAG LASEREM

Hana Chmelíčková^{1,2}, Martina Havelková², Vlastimil Jílek^{1,2}

¹Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

²Fyzikální ústav AV ČR, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc

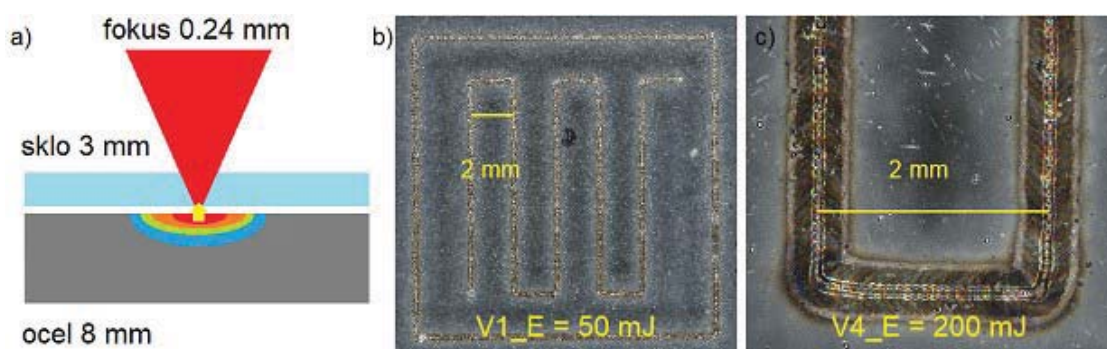
Tel.: 585631516, hana.chmelickova@upol.cz, <https://jointlab.upol.cz>

Obor: vysoko-výkonové laserové technologie, výzkum, vývoj, výuka, popularizace

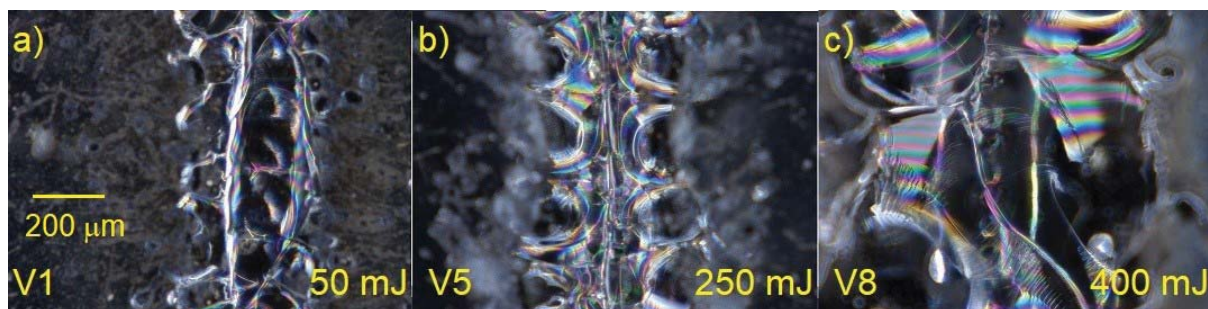
Bezkontaktní trvalé značení skla laserem je požadováno jednak pro přesnou identifikaci výrobků, dnes většinou 2D datovou maticí, jednak se uplatní i v dekorativním umění. Pro přímou ablaci povrchu se využívá CO₂, UV nebo ultra-fast laserů, pro blízké IČ záření 1 064 nm je ale sklo přirozeně transparentní. Proto se využívá metod nepřímých, kdy je sklo položeno na absorbující podložce, laserový svazek je fokusován na její povrch a dle CNC programu se vytváří lokálně ohřátá stopa (obr. 1a). Vlivem tepelného pnutí dochází na přilehlé straně skla ke vzniku mikrotrhlin a vytváří se tak kontura značení. Pokud je překročena teplota tavení podložky, promísí se její částice s indukovanou sklovinou a vznikne více kontrastní vzor. Podložka může obsahovat i barvivo nebo grafit [1].

Cílem našeho experimentu bylo optimalizovat parametry nepřímého značení borosilikátového skla SCHOTT B270 o tloušťce 3 mm prostřednictvím natavení podložky z nízkouhlíkové oceli 11 373 o tloušťce 8 mm pulsním Nd:YAG laserem a zjistit závislost rozměrů stopy a míru kontrastu na energii pulsu. Konstantními parametry byly frekvence 100 Hz, délka pulsu 0,3 ms, rychlost 5,6 mm.s⁻¹, procento překrytí stop 70 % a teoretický průměr svazku v ohnisku 0,24 mm. Byl vytvořen CNC program pro jednoduchý geometrický vzor (obr. 1b). Energie pulsu byla postupně zvyšována od 50 mJ do 400 mJ s krokem 50 mJ, průměrný výkon tak rostl od 5 W do 40 W a vstup tepla od 0,89 J.mm⁻¹ do 7,14 J.mm⁻¹. Takto bylo získáno 8 různých vzorků s označením V1 až V8.

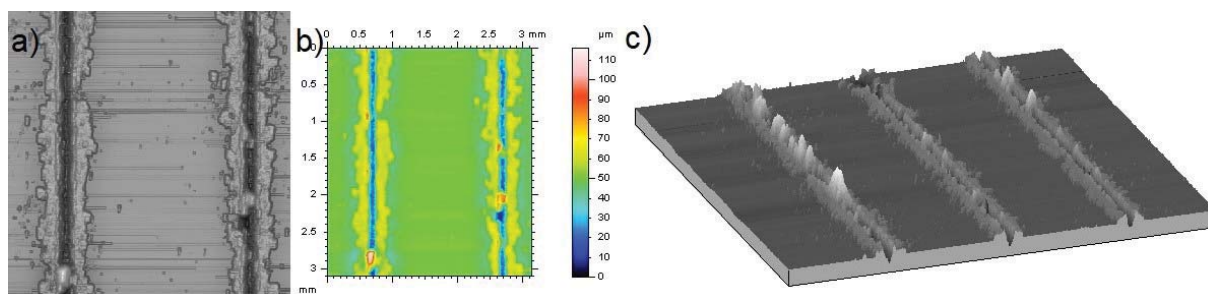
Jednotlivé vzorky byly zobrazeny na digitálním mikroskopu KEYENCE VHX-7100, formou přehledových snímků a detailů při zvětšení 500x. V ose stopy je zřetelně vidět souvislá prasklina, způsobená intenzitním maximem laserového svazku a tepelné ovlivnění na okrajích. (obr. 1c, obr. 2). Byly změřeny šířky laserem ovlivněných stop, které vykazují rostoucí trend s energií od 0,16 mm do 0,54 mm. Profil povrchu vzorků ve vybrané oblasti (7 x 7) mm² byl měřen na kontaktním profilometru TALYSURF s krokem 10 μm v ose X, ze získaných dat byly vytvořeny grafy příčných profilů a 3D axonometrická zobrazení, kde je zřejmá „V“ drážka v ose stopy a pásy vystouplé taveniny (obr. 3). Průměrné hloubky v ose stop rovněž rostou s energií pulsu a dosahují až 50 μm, výšky ovlivněného materiálu podél osy stopy se pohybují od 11 μm do maximálně 100 μm s velkým rozptylem hodnot.



Obr. 1: a) Schéma experimentu, b) přehledový snímek povrchu vzorku V1, energie pulsu E = 50 mJ, c) detail stopy na povrchu vzorku V4, energie pulsu E = 200 mJ.



Obr. 2: Detail z oblasti osy laserem indukované stopy, zvětšení 500x: a) vzorek V1, energie pulsu $E = 50$ mJ, b) vzorek V5, energie pulsu $E = 250$ mJ, c) vzorek V8, energie pulsu $E = 400$ mJ.



Obr. 3: Zobrazení vybraného povrchu vzorku V5 (250 mJ) pomocí software TALYMAP: a) fotosimulace stop na ploše $(3,1 \times 3,1)$ mm², b) odpovídající 2D barevná topografie, c) 3D spojitě zobrazení oblasti (7×7) mm².

Závěr

Tepelně indukované praskliny vznikly i při minimální energii 50 mJ, v dalších experimentech lze najít ještě nižší limit. Dostatečný kontrast a souvislé stopy s nataveným kovem byly pozorovány při energii 200 mJ. Přetavený materiál vyčnívá z drážky v ose stopy nad povrch skla do výšky až 100 μm. Při vyšších energiích se na povrch skla natavují nežádoucí kovové kapky, roste hloubka a výška stopy, hrozí prasknutí vzorku.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu OP VVV „Partnerská síť v oblasti výzkumu a vývoje zobrazovací a osvětlovací techniky a optoelektroniky pro optický a automobilový průmysl“, registrační číslo: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008422

Reference

[1] W. Jiang, X. Z. Xie, X. Wei, W. Hu, Q. L. Ren and Z. S. Zou, High contrast patterning on glass substrates by 1064 nm pulsed laser irradiation, Optical Material Express, Vol. 7, No. 1, (2017), pp. 1565-1574

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Kompletní výčet služeb, nabízených Společnou laboratoří optiky UP a FZÚ AV ČR partnerům z aplikační sféry je uveden na webových stránkách <https://jointlab.upol.cz/jlo/cs/>

- provádění servisních prací a měření,
- smluvní výzkum a vývoj na zakázku,
- společné projekty aplikovaného výzkumu,
- nabídka námi vyvinutých přístrojů a zařízení

OPTOVLÁKNOVÝ DOZIMETR

Michal Jelínek^{1,2}, Břetislav Mikel¹

¹ Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i. Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká Republika. Tel.: +420 541 514 529, email: jelinmi@isibrno.cz.

² Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT Brno, ústav mikroelektroniky Technická 3058/10, 616 00 Brno, xjelin36@vutbr.cz

Obor: senzor ionizujícího záření, dozimetr, optické vláknové senzory

V současné době se k měření ionizujícího záření používají elektronické nebo filmové dozimetry. Filmové dozimetry nejsou vhodné pro monitorování aktivity záření gama, ale pouze pro měření celkové dávky záření. Naproti tomu elektronické dozimetry umožňují nepřetržité monitorování aktivity záření gama a poskytují aktuální informace o celkové dávce záření. Elektronická část dozimetru s fotonásobičem nebo polovodičovým detektorem je obvykle přímo spojena s vhodným scintilačním materiálem nebo polovodičem pro detekci ionizujícího záření. Vysoké dávky ionizujícího záření mají přímý destruktivní účinek na jakoukoli radiačně nestíněnou elektroniku. V urychlovačích částic, tokamacích, horkých komorách nebo úložištích jaderného odpadu se k těmto problémům přidává vysoká úroveň elektromagnetického záření, vysoká teplota a nedostatek prostoru. Jedním ze způsobů kontinuálního měření ionizujícího záření je použití scintilačního materiálu, který převádí dopadající ionizující záření na viditelnou část frekvenčního spektra a poté toto světlo přenáší optickými vlákny do elektronického detektoru.



Obrázek 1. Schéma měřicího systému pro měření ionizujícího záření. Měřicí systém obsahuje dvě možné detekční jednotky - SPC a PMT, mnohovidové křemenné optické vlákno a scintilační krystal ukrytý v hliníkovém boxu.

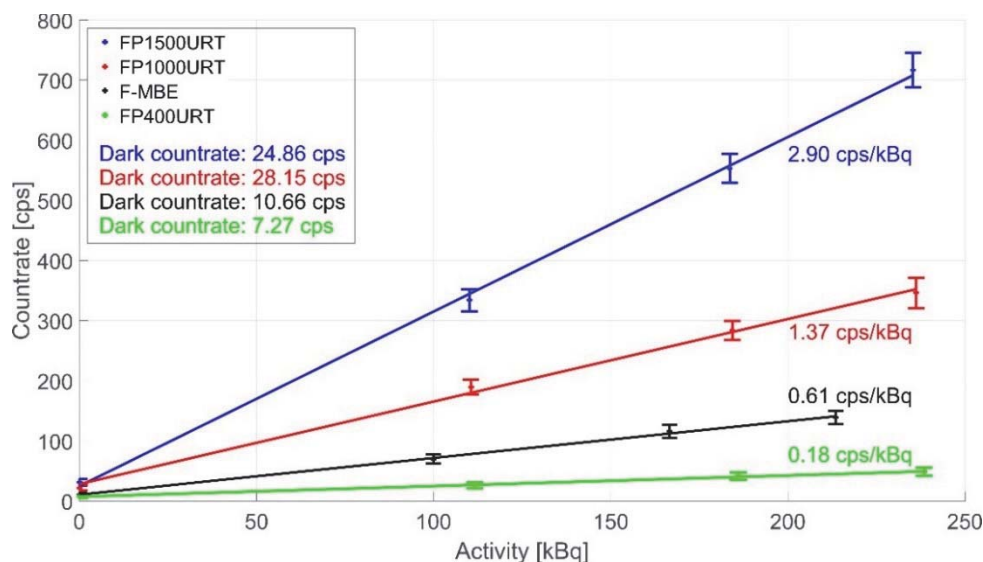
Konstrukce optovláknového dozimetru, znázorněná na obrázku 1, se skládá ze tří hlavních částí: optického vlákna, senzoru ionizujícího záření a detektoru. Hlavním přínosem dozimetru je použití optických vláken s čistým křemenným jádrem. Záření gama se v senzoru se

scintilačním krystalem přeměňuje na scintilační záření s vlnovou délkou ve viditelné části frekvenčního spektra. Přesná vlnová délka závisí na typu scintilačního krystalu. Scintilační záření je navázáno do optického vlákna a přivedeno k jednomu z detektorů, buď k čítači jednotlivých fotonů (SPC), nebo k fotonásobiči (PMT), který záření převádí na elektrické impulsy. Tyto impulsy se pak zaznamenávají pomocí frekvenčního čítače nebo se vzorkují pomocí analogově-digitálního převodníku a zaznamenávají se pomocí počítače.

Tabulka 1. Kombinace všech možností měření

Detekční jednotka	Scintilační krystal	Optické vlákno	Délka optického vlákna	Zdroj ionizujícího záření
↳SPC	↳LYSO(Ce)	↳FP1500URT	↳1 m	↳ ⁶⁰ Co
↳PMT	↳LaBr3(Ce)	↳FP1000URT	↳5 m	↳ ¹³⁷ Cs
	↳NaI(Tl)	↳FP400URT		
	↳CaF2(Eu)	↳F - MBE		

Měřili jsme několik kombinací různých senzorů a různých optických spojů viz tab 1. Sledovaná citlivost je aritmetickým průměrem scintilačních fotonů detekovaných za 600 s, přičemž práh detekce byl nastaven na 0,5 V a doba hradla na 1 s. Dozimetr byl trvale připojen podle schématu na obrázku 1. Rozdíl v citlivosti různých optických vláken (všechna o délce 1 m) s krystalovým senzorem LYSO a zdrojem ionizujícího záření ⁶⁰Co je znázorněn na obrázku 2. Optické vlákno FP1500URT je mezi porovnávanými optickými vlákny nejúčinnější ve spojení, přenosu a detekci scintilačního záření ze senzoru. Účinnost je 2,89 cps/kBq ve srovnání s ostatními vlákny s účinností 1,37, 0,61 a 0,18 cps/kBq. To je způsobeno jeho největším NA a největším průměrem jádra. Tato výhoda je částečně kompenzována nevýhodou menšího poloměru ohybu, což může omezit jeho použití v některých průmyslových aplikacích. Jiná vlákna s menším průměrem lze ohýbat do menšího poloměru ohybu, ale mohou vázat a přenášet menší část scintilačního záření. Tyto výhody a omezení je třeba zvážit při každé aplikaci.



Obrázek 2. Srovnání citlivosti měření dozimetru pomocí krystalu LYSO(Ce) a různých optických vláken o délce 1 m při ozařování zdroji ⁶⁰Co.

Poděkování:

Prezentovaný výzkum byl podpořen z projektu MVČR č. VI20192022116 a projektu č. FEKT-S-20-6215. K výzkumu byla využita infrastruktura MEYS CR, EC, a CAS (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, RVO: 68081731).

EXPERIMENTAL HIERARCHY OF QUANTUM CORRELATIONS OF WERNER-LIKE STATES

Kateřina Jiráková

Univerzita Palackého v Olomouci, Společná laboratoř optiky UPOL

17.listopadu 50A, 771 46, Olomouc

585 634 158

katerina.jirakova@upol.cz

multiphoton.upol.cz

Obor: vícefotonové signály, kvantová informace, nelineární optika

Hlavním tématem mého výzkumu je kvantová provázanost s fotonovými páry a její využití v kvantově-informačních protokolech. Má práce je experimentální a využívám při ní fotonové páry generované v nelineárním procesu spontánní parametrické sestupné konverze typu I v krystalu BBO. Tento krystal je čerpán laserem Coherent Paladin-Nd-YAG s integrovanou generací 3.harmonické na vlnové délce $\lambda=355$ nm. Generovaný fotonový pár (na $\lambda=710$ nm) je horizontálně polarizovaný a vysoce korelovaný v čase. Qubity, tedy jednotky kvantové informace, jsou kódovány do polarizace a drah jednotlivých fotonů. Stojí za zmínku, že zdroj entanglovaných párů, s nímž pracuji, je základem kvantové kryptografie, jejíž bezpečnost nezávisí na použitých zařízeních (device-independent). Zabývala jsem se také realizací kvantově-komunikačního protokolu zaměřeného na kvantové peníze a jejich neodhalené padělání.

Kvantová provázanost, neboli entanglement, patří k nejzajímavějším stránkám kvantové fyziky, protože jevy s ní spojené (jako např. teleportace) jsou v přímém rozporu s naší přirozenou intuicí. Postupně se entanglement stal nepostradatelnou součástí různých kvantově-mechanických postupů. Proto testuji jeho přítomnosti v kvantovém komunikačním kanálu. Kvůli potenciálnímu využití v kvantových technologiích a komunikaci studuji i další kvantové korelace jako třeba kvantový steering a Bellovu nelokalitu. Konkrétně jsem se zabývala hierarchií kvantových korelací na experimentálně připravených a syntetizovaných více-qubitových Wernerových stavech s kontrolovatelným bílým šumem.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Kvantová optika/fyzika
- Nelineární optika
- Programování kvantového počítače IBM Quantum Experience
- Částicová fyzika, vývoj a implementace detektoru času letu (Time-of-Flight) v rámci skupiny dopředné fyziky kolaborace CERN ATLAS.
- Fyzikální metody v oblasti uměnovědy, měření lesku (pomocí glossmetru) a barvy (pomocí spektrometru) historických povrchů

MOBILNÍ JEDNOTKA FSO

Zdeněk Kolka, Peter Barčík, Petr Skryja, Otakar Wilfert, Viera Biolková

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav radioelektroniky

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

E-mail: kolka@vut.cz

<https://www.urel.fekt.vut.cz>

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

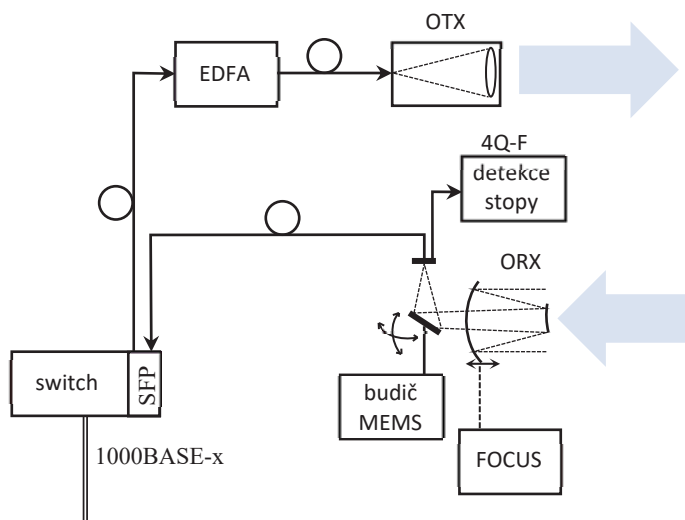
Obor: Optické komunikace, laserová technika

Úvod

Free-Space Optics (FSO) je bezdrátová technologie pro spojení na přímou viditelnost, která v případě pozemních systémů přenáší data pomocí úzkého svazku modulovaného světla v atmosféře jako přenosovém médiu. Technologie FSO dosahuje vysokých přenosových kapacit, které jsou srovnatelné s vláknovými systémy. V současnosti dovoluje snadno dosáhnout rychlostí 1 Gb/s nebo 10 Gb/s pro nasazení v městských sítích k překlenutí vzdáleností do několika kilometrů. Jednou z výhod FSO pro krátké trasy je možnost velmi rychlého sestavení linky. Článek popisuje jednotku FSO s automatickým směřováním.

Základní koncepce

Jednotka FSO je umístěna na otočné platformě umožňující jemné nastavení azimutu a elevace, obr. 1. Základem sestavy jsou fotonický přijímač (ORX) a vysílač (OTX), jejichž rozhraním je optické vlákno. Do vnější sítě je jednotka připojena pomocí Ethernetového přepínače s výměnnými moduly SFP. Je tedy možné zvolit metalické nebo vláknové rozhraní pro různé vlnové délky a typy vláken. Pro příjem a buzení optického signálu pro volný prostor je využit modul 1000BASE-ZX ($\lambda = 1550$ nm) s lavinovou fotodiodou na vstupu. K získání dostatečného výstupního výkonu je použit optovláknový zesilovač typu EDFA s výstupním výkonem až 20 dBm (100 mW).



Obr. 1: Blokové schéma a provedení jednotky FSO.

Přijímací sestava

Základem optického přijímače je zrcadlový objektiv v uspořádání Schmidt-Cassegrain. Pro funkční vzor přijímače je použita optika s průměrem vstupní apertury 127 mm a efektivní ohniskovou vzdáleností 1 m. Pomocí krokového motorku je možné v malém rozmezí měnit polohu primárního zrcadla a tím měnit relativní polohu apertury přijímacího vlákna vůči ohnisku objektivu, tj. provádět „zaostření“. V ohnisku objektivu je umístěno optické vlákno, které vede signál do modulu SFP, kde je detekován lavinovou fotodiodou. Vzhledem k průměru jádra vlákna musí být v optickém přijímači použita stabilizace stopy svazku pomocí rychlého zrcátka. Pro své výhodné vlastnosti byl použit elektrostatický systém vychylování na bázi MEMS (Micro Electro Mechanical Systems). Detekce polohy stopy je prováděna pomocí fotodiod umístěných v rovině apertury vlákna.

Automatické směřování

Určení směru k protistanici probíhá automatizovaně pomocí kombinace GNSS, magnetického kompasu a vzájemné komunikace pomocí radiového kanálu LoRa. Ve finální fázi je nutné provést přesné zamíření, aby se stopa svazku v hlavním přijímači dostala do pásma zachycení detektoru. Pro tuto fázi je jednotka vybavena pomocným svazkem s vysokým výkonem na vlnové délce 850 nm a čtyřkvadrantovým detektorem.

Hlavním prvkem samostatné jednotky směřování a komunikace je mikropočítač Raspberry Pi, který spolupracuje s modulem GNSS (SIM7600X), který poskytuje informace o zeměpisné šířce a délce, a nadmořské výšce. Pro automatické nasměrování je také nutné získat azimut pomocí modulu kompasu. Výměnu služebních dat mimo pásmo (OOB) o poloze s protistanice zajišťuje modul LoRa. Tato technologie nabízí komunikační dosah v řádu kilometrů s propustností v kb/s, odolnost proti rušení a bezlicenční provoz pro spojení bod-bod.

Vývoj zařízení byl podpořen projektem MV ČR „Robustní systém optické bezvláknové komunikace“, č. VI20192022173.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Modelování průchodu optického svazku atmosférou, analýza rozptylu, turbulence a časové disperze u atmosférických optických spojů.
- Měření, klasifikování a potlačení vlivu atmosférické turbulence na kvalitu přenosu atmosférickým optickým spojem.
- Vývoj plně fotonické technologie FSO.
- Praktický vývoj elektroniky včetně programování mikrokontrolérů a FPGA.

PŘÍPRAVA FÁZOVÝCH BINÁRNÍCH MŘÍŽEK POMOCÍ ELEKTRONOVÉ LITOGRAFIE A REAKTIVNÍHO IONTOVÉHO LEPTÁNÍ PRO VÝROBU OPTICKÝCH VLÁKNOVÝCH SENZORŮ

Stanislav Krátký¹, Vladimír Kolařík¹, Břetislav Mikel¹, Radek Helán², František Urban²

¹Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Oddělení speciálních technologií, Oddělení koherentních laserů a interferometrie

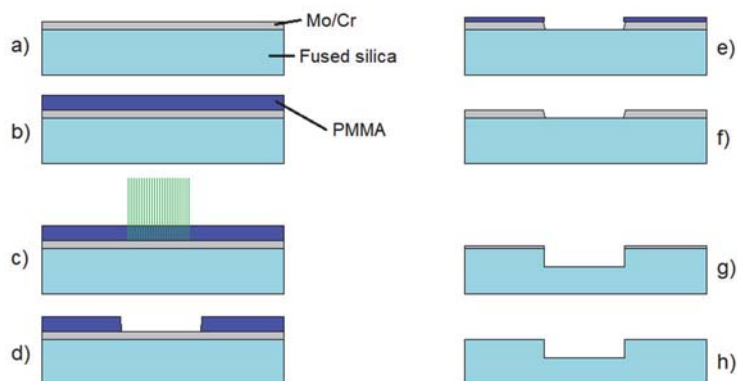
Královopolská 147, 612 64 Brno, +420 541 514 525, kratky@isibrno.cz

²PROFicomms s.r.o.

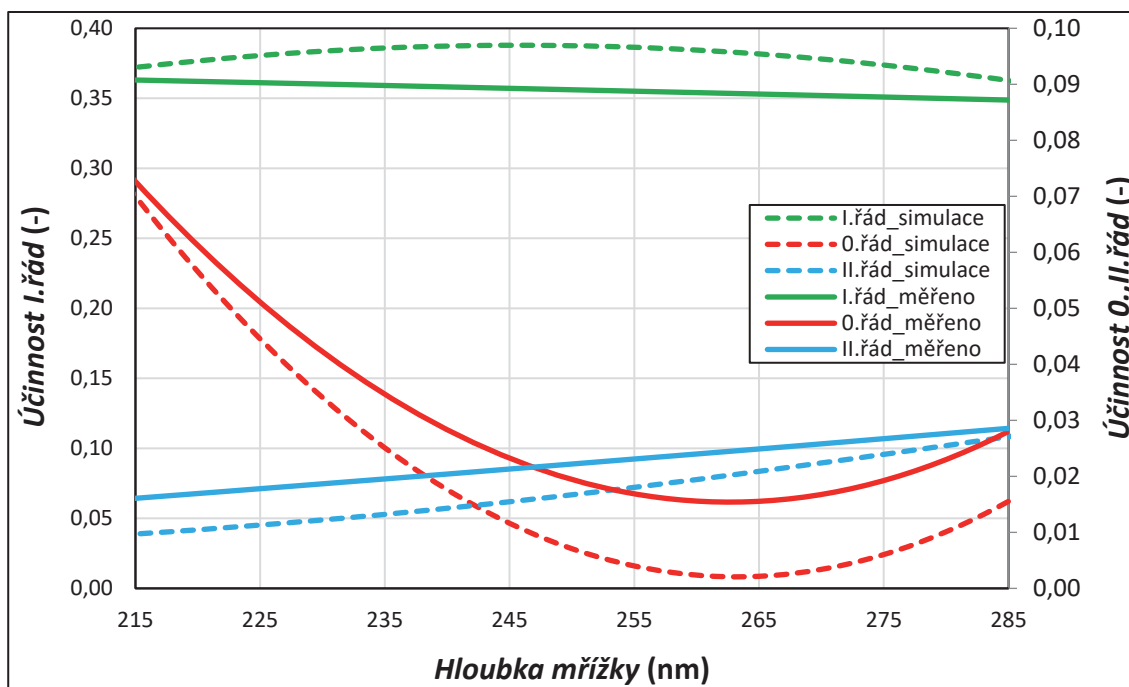
Olomoucká 91, 627 00 Brno, +420 548 210 406, helan@proficomms.cz

Obor: fázové binární mřížky, elektronová litografie, reaktivní iontové leptání, optické vláknové senzory, difrakce na mřížce.

Tento příspěvek se zabývá přípravou fázových binárních pro potřeby výroby optických vláknových senzorů. Pro vytvoření optického vláknového senzoru je nutné naladit geometrické parametry fázové binární mřížky, pomocí které se exponuje motiv do vlákna, tak, aby se maximalizovala účinnost 1. difrakčního řádu a zároveň minimalizovala účinnost 0. a 2. difr. řádu. Simulace ukázaly, že pro maximalizaci 1. difr. řádu a minimalizaci 0. a 2. difr. řádu je nutné naladit střihu mřížky na přibližně 55 % rozměru periody ve prospěch prohlubně mřížky. Pomocí elektronové litografie a reaktivního iontového leptání (RIE) byla připravena sada mřížek (viz obr. 1) s periodou $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ a různými hloubkami, aby se tento teoretický předpoklad potvrdil. U připravených mřížek byly následně proměřeny účinnosti jednotlivých difr. řádů pomocí laseru s vlnovou délkou $\lambda = 248 \text{ nm}$, pomocí kterého se dále provádí expozice do optického vlákna. Následně se porovnaly naměřené hodnoty s teoretickými simulacemi, které byly provedeny v softwaru GSolver (viz obr. 2). Naměřené hodnoty nedosahují přesně těch teoretických (maximální pro 1. difr. řád a minimální pro 0. a 2. difr. řád), což může být dáno jednak nedokonalostí měřicí sestavy a odchylkou od geometrických parametrů mřížky (nedokonalost přesně binárního profilu mřížky). Nicméně trendy účinností jednotlivých difrakčních řádů jsou ve vysoké shodě se simulovanými průběhy. Pro expozici do optického vlákna bude nutné rozhodnout, jestli naladit hloubku na minimalizovaný 0. difr. řád kolem 260 nm, nebo kompromis mezi nízkou hodnotou účinnosti 0. a 2. difr. řádu a maximální hodnotou 1. difr. řádu.



Obr. 1 Postup přípravy binárních fázových mřížek do materiálu fused silica. Magnetronové naprašování Mo (a), nanesení rezistu (b), expozice motivu mřížky pomocí elektronové litografie (c), vyvolání motivu (d), leptání pomocí RIE kovové masky (e), plazmatické čištění rezistu (f), leptání skla pomocí RIE (g), odstranění kovové masky (h).



Obr. 2 Srovnání účinností 0., 1. a 2. difr. řádu připravených binárních fázových mřížek s teoretickými simulacemi jako závislost účinnosti daného difr. řádu na hloubce vrypů mřížky pro $\lambda = 248$ nm, materiál mřížky fused silica.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu FW01010379 – „Nelineární difrakční vláknové prvky pro senzorické systémy“ poskytovatele TA ČR a dále s podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace RVO:68081731.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Příprava binárních amplitudových a fázových masek
- Návrh a realizace víceúrovňových CGH do rezistu a do skla
- Realizace metrických standardů pro potřeby SEM, AFM, CLSM
- Příprava samonosných nitridových membrán
- Návrh a realizace obecných planárních mikro a nanostruktur s využitím elektronové litografie, reaktivního iontového leptání, chemického leptání a depozice tenkých vrstev
- Výzkum a realizace elektronových zdrojů

VYUŽITÍ LASEROVÉ AKTIVNÍ TERMOGRAFIE PRO NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLU LASEROVÝCH SVÁRŮ

Ing. David Kuboš¹, Ing. Václav Straka²

¹ technik, "TMV SS" spol. s r. o., Na Podvolání 3292, 738 01 Frýdek – Místek, CZ
e-mail: david.kubos@tmvss.cz, tel: +420 606 654 780

² jednatel, "TMV SS" spol. s r. o., Studánková 395, 149 00 Praha 4 – Újezd, CZ
e-mail: vaclav.straka@tmvss.cz, tel: +420 602 327993

Obor: laserová aktivní termografie

Abstrakt

Dnešní průmyslová výroba zvyšuje požadavky na vysokou kvalitu výrobků, technologii spojů, aditivní výrobu (3D tisk), laserové tavení a svařování, sintrování, minimalizaci plýtvání výrobků při procedurách testování apod. Ve všech těchto procesech hraje teplota rozhodující roli. Všechny tyto postupy proto masivně využívají termografické kamery pro inspekci dílů, zobrazování teplot, monitoring a kontrolu procesů a to díky jejich vysokorychlostnímu záznamu, širokému teplotnímu rozsahu a možností jak automatizace, tak i laboratorních sestav.

Mapování teplotního toku v komponentech je nezbytné pro celkové pochopení procesu laserového svařování a umožňuje precizní kontrolu vývoje teploty zpracovávaných dílů i materiálů, jakož i přesnou kontrolu výrobního procesu. Pájené a laserem svařované spoje mohou být testovány aktivní termografií plně automatickými nebo polo-automatickými testovacími systémy ve správnou dobu. Aktivní termografie je indukce tepelného toku energetickým vybuzením testovaného objektu. Tepelný tok je ovlivňován vnitřními materiálovými vrstvami a vadami. Tyto nehomogenity mohou být zachyceny na povrchu vysoce citlivými termografickými kamerami. Následné vyhodnocovací algoritmy zdokonalují poměr signálu vůči šumu, který umožňuje detekci velmi malých defektů.

Materiálové testování využívající teplotní zobrazování termografickými kamerami šetří čas a náklady, protože testovaný objekt není během testu poškozen. Ten pak může být použit pro další testování nebo lokalizaci problémů kvality, které mohou být opraveny. Testy IRNDT se systémy termografických kamer poskytují výborné řešení s obrovskou aplikovatelností, protože mohou být použity pro širokou oblast různých materiálů a typů defektů a vad.

Klíčová slova: laserové svařování, spojování, aditivní výroba, aktivní termografie, testování materiálů, IRNDT

Abstract

Today's industrial production increases demands on high quality goods, joining technology, additive manufacture (3D printing), laser melting and welding, sintering, minimizing of product waste from testing procedures and others. Temperature plays a decisive role in all of these processes. Therefore, all of such procedures massively adopt infrared camera systems for inspecting parts, thermal imaging, monitoring and process control thanks to its high-speed recording, wide temperature range and both automated and laboratory possibilities.

The mapping of heat flows in components is necessary for a complete understanding of the process and allows precise control of the temperature development in the parts and materials to be processed as well as exact thermal control of the process. Brazed and laser-welded joints can

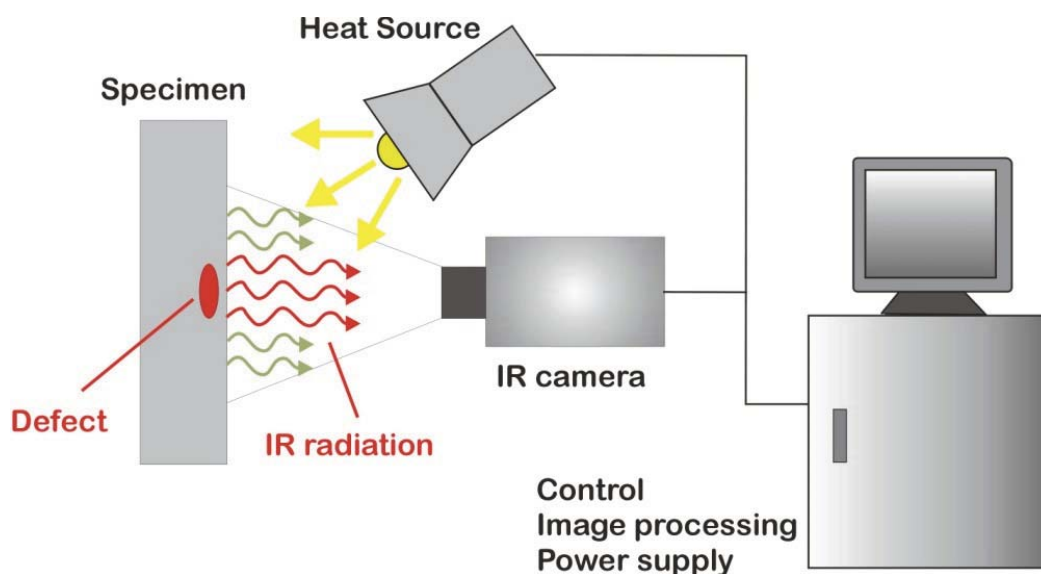
be tested with active thermography in fully automated or semi-automated testing systems in a timely manner. Active thermography is the induction of a heat flow by energetically exciting a test object. The heat flow is influenced by interior material layers and defects. These inhomogeneities can be captured on the surface by high-precision infrared cameras. The additional evaluation algorithms improve the signal-to-noise-ratio which allows for detection of smallest defects.

Material tests using thermal imaging by infrared camera save time and costs as test object will not be destroyed during process. They can be used for further testing or locating quality problems that could be corrected. IRNDT tests with infrared camera systems provide good solutions with greater applications as they can be used for a wide range of different materials and types of defects.

Keywords: laser welding, joining, additive manufacturing, active thermography, material testing, IRNDT

1. Úvod

Termografické systémy v oblasti výzkumu a vývoje jsou koncipovány tak, aby splnily vysoké požadavky a nároky aplikací vědních oborů, nedestruktivního testování materiálů (NDT) a aktivní lock-in termografie. Pracovníci výzkumu a vědci, kteří jsou závislí na flexibilní technologii infračervených termografických kamer s maximální citlivostí, přesností, prostorovým rozlišením a rychlostí, mají perfektní řešení v podobě systémů s chlazenými fotonovými detektory (obrázek 2.). Využití takovýchto infračervených kamer je nejlepším řešením pro detekci vnitřních vad spojů, svárů a různých materiálů metodami aktivní termografie.



Obrázek 1. Principiální schéma systému aktivní termografie
Picture 1. Principal scheme of active thermography system

Princip aktivní termografie je založen na vyhodnocení externě excitovaného tepelného toku v testovaném objektu (materiál) a jeho narušení skrytými vadami, defekty a prasklinami (obrázek 1.). Vysoce citlivé a rychlé termografické systémy (obrázek 2.), které jsou synchronizovány v celé sestavě aktivní termografie s následnou matematickou analýzou zvyšují schopnost a spolehlivost detekce informací o vadách. Je to účinná bezkontaktní a nedestruktivní metoda pro rychlou inspekci rozlehlých oblastí testovaných objektů.

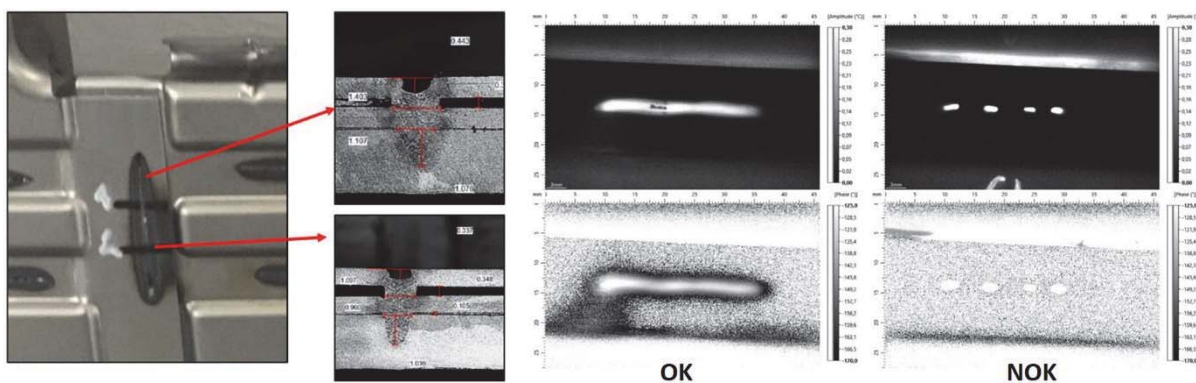


Obrázek 2. Termokamera Infratec ImageIR 10300 s fotonovým detektorem
Picture 2. Infrared camera Infratec ImageIR 10300 with photon detector

2. Aplikace IRNDT

2.1 Lock-in termografie

Lock-in termografie patří k vysoce precizním, rychlým (řády setin Hz) a vysoce vypovídajícím metodám o přítomnosti nehomogenit uvnitř materiálů nebo laserových svárů. Zpracování a interpretace výsledků je velmi snadná, a to díky potlačení proměnlivosti povrchových vlastností a eliminace nerovnoměrnosti zahřívání a šíření tepelné vlny v měřeném objektu. Například laserová termografie LTvis společnosti Edevis Stuttgart je bezkontaktní testovací metoda ideální pro kontrolu spojů, svárů, tenkých filmů a povlaků (obrázek 3.). Technika Fourierovy vyhodnocovací metody umožňuje precizně stanovit tloušťky, pórovitosti či teplotní vodivosti. Díky různým dalším druhům excitačních metod je možné široké využití v různých aplikacích testování a oblastech vědy a výzkumu.



Obrázek 3. Laserový přerušovaný svár s následným výstupem z aktivní termografie
Picture 3. Laser discontinues weld with following active thermography output

2.2 Additive manufacturing - 3D tisk

Výzkumné centra i společnosti v leteckém a automobilovém průmyslu, jakož i ve zdravotnictví si začaly uvědomovat přidanou hodnotu tzv. additive manufacturing (3D tisk) díky nižším nákladům, úsporou času, možností produkce velmi komplexních dílů, zvýšení odolnosti dílů apod. (např. v leteckém průmyslu výroba lehčích dílů bez obětování robustnosti a pevnosti). Nejdůležitějším parametrem je v tomto oboru laser, resp. výkon laseru při procesu svařování, který přenáší energii do materiálu. Následnou tavnou lázeň je nutné detailně sledovat a analyzovat vhodnými vizualizačními prostředky. S ohledem na vlnovou délku laseru (např. YAG laser 1064nm) se využívají tzv. krátkovlnné (SWIR) termokamery.

Své opodstatnění v laserových aplikacích (např. řezání laserem) nacházejí i reálné vysokorychlostní digitální videokamery, které proces zachytí se všemi detaily a v každém časovém úseku.

3. Analyzační software

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

4. Závěr

Mnoho excitačních zdrojů aktivní termografie může být použito pro několik různých aplikací v korelaci s požadavky a potřebami daných aplikací. Často záleží na vhodné termografické kameře, jejím typu detektoru (technologie, citlivost, záznamová rychlost) a vhodném softwarovém modulu pro celý měřicí systém. V oblasti postanalýzy a detekce vad je nezbytně nutné disponovat adekvátním softwarovým řešením.

Literatura, odkazy

- firemní materiály společnosti "TMV SS" spol. s r. o.
- Internetové stránky firmy "TMV SS" spol. s r. o. (www.tmvss.cz)
- Firemní materiály společnosti Edevis Stuttgart
- Internetové stránky firmy Edevis (www.edevis.com)
- Firemní materiály společnosti Infratec Dresden
- Internetové stránky firmy Infratec (www.infratec.eu)

ELEKTRONICKÝ MODUL PRO ŘÍZENÍ ZDROJE SVĚTLA A DETEKCI OPTICKÝCH SIGNÁLŮ PRO SENZORICKÉ ÚČELY

Vladimír Lahoda, Radek Helán, Milan Holík, Radim Šifta, František Urban

PROFComms s.r.o.
Olomoucká 91, 627 00 Brno
Tel: +420548210406
Mail: helan@proficomms.cz
Web: <http://proficomms.cz>

Obor: Výzkum a vývoj optických prvků a senzorických systémů

Společnost PROFComms, s.r.o., která je na trhu s komunikačními systémy známá již od roku 1993 se kromě kompletní dodávky síťových komponent zabývá také i výzkumem speciální vláknové optiky. V tomto odvětví má pokryt komplexní vývoj a ve spolupráci se sesterskou společností NETWORK GROUP s.r.o. i výrobu speciálních vláknových senzorů s Braggovými vláknovými mřížkami (FBG), či laditelnými rezonátory typu Fabry-Perot (FP).

Díky možnosti výroby vlastních měřicích elementů, tedy FBG, je možné vyrábět různé senzory pro široké spektrum měření neelektrických veličin. Může se jednat o senzory pro měření teploty, gradientu teploty, tlaku, tahu, náklonu, deformací atp. Díky integraci do optického vlákna jsou tyto senzory dokonale odolné vůči elektromagnetickému rušení a lze je umístit i do kritických bezpečnostních systémů, např. v jaderné elektrárně.

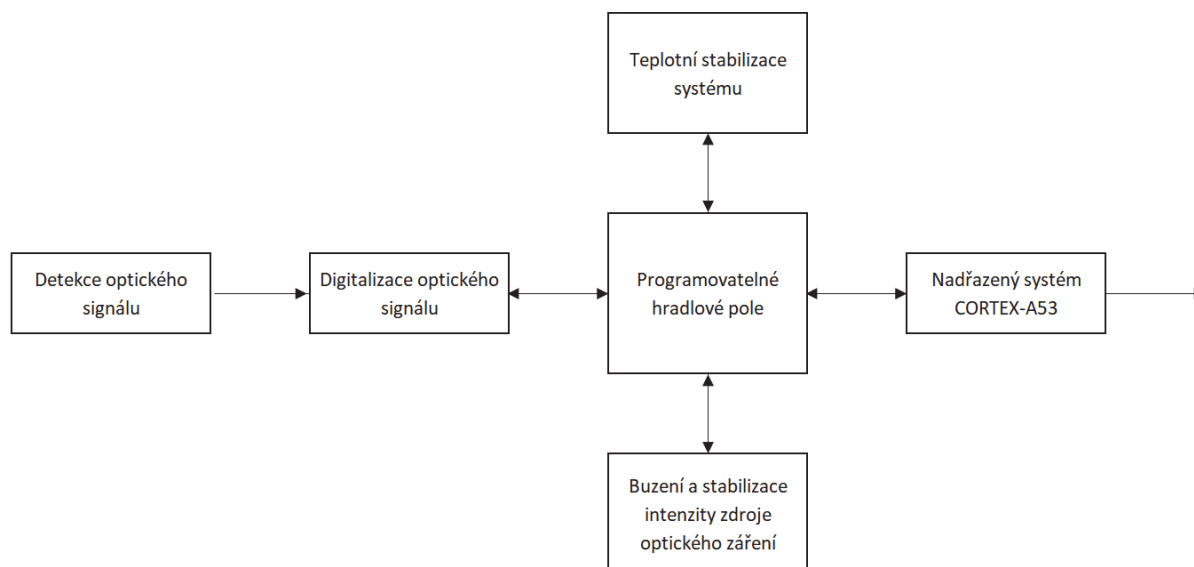
Důležitou součástí optických senzorických systémů jsou optoelektronické vyhodnocovací jednotky, které jsou obvykle kombinací optických, optoelektronických a elektronických prvků. Pro vyhodnocování FBG senzorů existuje celá řada použitelných principů. Předmětem příspěvku je především vývoj elektronické části vyhodnocovací jednotky pro řízení měřicího procesu, sběr dat a jejich zpracování. Princip jednotky je založen na využití širokospektrálního zdroje světla se specifickým tvarem optického spektra ve formě hranového filtru a detekci intenzity rychlých optických signálů odražených od FBG senzorů. Úkolem bylo navrhnout a realizovat řídicí a vyhodnocovací elektroniku zajišťující řízení měřicího procesu, stabilizaci provozních parametrů, sběr rychlých optických signálů s následnou konverzí na digitální elektronické signály a jejich zpracování.

Za účelem vývoje výkonnějších vyhodnocovacích zařízení bylo přistoupeno k nové koncepci základních funkčních bloků s využitím programovatelných hradlových polí (FPGA), což jsou prakticky univerzální polovodičová pole, kde je možné vykonávat několik operací paralelně nezávisle na sobě.

Při použití výkonných hradlových polí je možné předzpracovávat naměřená data ještě před přenosem do nadřazeného systému a zvýšit celkový datový tok zařízení, tedy dosáhnout rychlejšího vzorkování dat, či zvýšit počet kanálů rozšířením datové sběrnice bez nutnosti markantního zvyšování výkonu procesoru v řídicím systému.

Konkrétně zde je využito 8 měřicích kanálů, kde každý je vzorkován se vzorkovací frekvencí 100 kSps a 16-bitovým rozlišením.

Na obr.1 níže je zobrazen funkční koncept, který splňuje požadavky pro FBG senzoriku, obsahuje jednak převod z optické domény na elektrický analogový signál, dále je digitalizován v analogově digitálním převodníku, jehož výstupem je digitální číslo. Nedílnou součástí systému je rovněž i regulace optického zdroje záření a teplotní stabilizace celého systému.



Obr.1: Blokové schéma funkčního konceptu využitelného pro FBG senzorické účely.

Pro digitální přenos je využita synchronní sériová sběrnice SPI s datovou propustností do 30 Mbps. Díky digitálnímu předzpracování v programovatelném hradlovém poli může být rozprostřeno zpracování do více jednotek, proto lze zpravidla snížit výkon nadřazeného systému pro zpracování dat.

Je nutné při návrhu počítat i s negativními vlivy, které výrazně ovlivňují provozní parametry jak elektronických, tak i optických komponent. Zde se jedná primárně o teplotu, jelikož se změnou teploty se mění nejen nastavené pracovní body polovodičových prvků, ale také i vlastnosti některých optických komponent. Z toho důvodu je důležité, aby byly kritické bloky nejen teplotně svázány, ale také i teplotně stabilizovány pro udržení požadované přesnosti v celém teplotním rozsahu.

Svoji pozornost si jistě zaslouží i samotný optický zdroj který je tvořen soustavou pumpovacího polovodičového laseru a aktivního vlákna zajišťujícího sekundární emisi v požadované spektrální oblasti s implementovaným spektrálním filtrem. U tohoto zdroje je nutné zajistit kombinaci stabilních parametrů nejen spektra, ale i intenzity, proto je zavedena dvoustupňová teplotní stabilizace zdroje a výkonová zpětnovazební smyčka z optického výstupu zdroje.

Elektronické bloky byly navrženy, realizovány a otestovány v laboratorních podmínkách, dalším krokem je dokončení a testování celého měřicího systému.

Poděkování: Příspěvek vznikl za podpory projektu č. FW01010379 – „Nelineární difrakční vláknové prvky pro senzorické systémy“ poskytovatele TA ČR.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

REZONANČNE ZOSILNENÉ THZ-FWM V PEVNEJ FÁZE

Dušan Lorenc, Monika Jerigová, Eva Noskovičová

Medzinárodné laserové centrum, Ilkovičova 3, 84104 Bratislava, Slovensko

Prírodovedecká fakulta UK, Ilkovičova 6, 84104 Bratislava, Slovensko

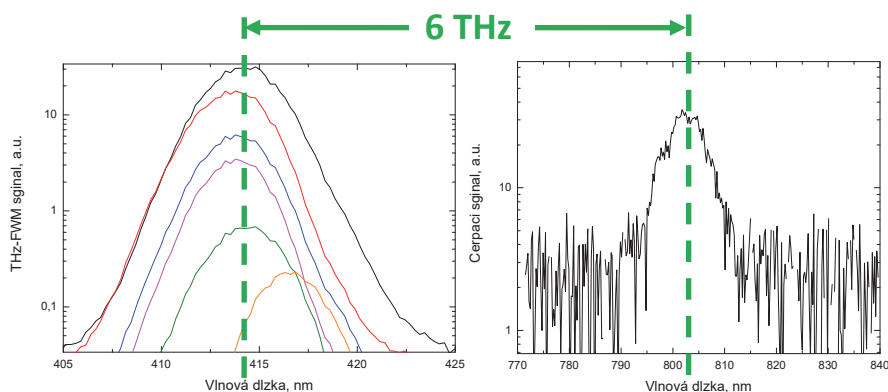
dusan.lorenc@gmail.com

Obor: Výskum a vývoj

Nebezpečné priemyselné chemické látky (TIC, TIM) zohrávajú významnú úlohu z environmentálneho aj bezpečnostného hľadiska. Jednou z oblastí intenzívneho výskumu je použitie THz spektroskopických techník pri identifikácii látok typu TIC/TIM v plynnej fáze.

Štorvlnové zmiešavanie v $\chi(3)$ médiách ponúka možnosť konverzie THz signálu do optickej oblasti. V príspevku sme sa študovali interakciu intenzívnych THz impulzov s amplitúdou do 100 kV/cm s optickým signálom s vlnovou dĺžkou 800 nm pričom študujeme vlastnosti generovaného signálu s vlnovou dĺžkou 400 nm. Registrovaný signál THz-FWM je dôsledkom rezonančne zosilneného procesu FWM.

Predkladaná metóda má perspektívne využitie v THz senzorike.



Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Nelineárna optika
- Generácia THz žiarenia, THz senzorika
- Hmotnostná spektrometria sekundárnych iónov

LASEROVÉ A OPTOVLÁKNOVÉ MĚŘICÍ SYSTÉMY PRO JADERNOU ENERGETIKU

Břetislav Mikel, Michal Jelínek

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

Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika

Email: mikel@isibrno.cz, Tel.: +420 541 514 252

Obor: Optovláknové senzory

Na pracovišti Koherenční optiky ÚPT AVČR se dlouhodobě zabýváme optickými, laserovými a optovláknovými technologiemi a měřicími metodami. V současné době disponujeme zkušenostmi ve výzkumu a vývoji systémů a senzorů s vláknovými Braggovými mřížkami, laserových interferometrů a v neposlední řadě i optovláknových senzorů ionizujícího záření.

V posledních letech jsme se mj. v rámci projektu AV21 Světlo ve službách společnosti zabývali dalším rozvojem zejména aplikačního potenciálu a navazováním a rozvojem spolupráce s komerčními subjekty zejména v oblasti aplikace našich metod v jaderné energetice.

V posledních letech se nám tak podařilo navrhnout optovláknový systém pro měření úrovně ionizujícího záření, interferometrický systém pro kalibraci měřícího rámu pro měření reaktorové nádoby a optovláknový systém s Braggovými vláknovými mřížkami.

Dále jsme pracovali na lepší spolupráci se společnostmi NETWORKGroup s.r.o. a ÚJV Řež a.s. při dokončování optovláknového systému s vláknovými Braggovými mřížkami, jehož první verze byla realizována při řešení společného projektu MVČR a nyní dochází k jeho instalaci na obou kontejnmentech.

Ve spojitosti s instalací tohoto systému vyvstal požadavek na jeho kalibrace. Vzhledem k tomu, že se jedná o zařízení ke kontinuálnímu měření je nutné aktuálně vždy jednou za dva roky vzít měřící jednotku na kalibraci do ČMI. Proto jsme vybudovali infrastrukturu pro přenos přesných optických frekvencí tak, aby bylo možné jednotku kalibrovat kontinuálně a nemuselo tak docházet k jejímu přemísťování. Tato vybudovaná infrastruktura pro přenos přesných frekvencí v současnosti propojuje ÚPT AVČR v Brně, ÚJV Řež v Řeži u Prahy a obslužnou budovu jaderné elektrárny Temelín. Dále jsme přizpůsobili ve spolupráci s NETWORKGroup jednotku pro měření vlnových délek vláknových mřížek pro příjem a kalibraci frekvenčního signálu z budované přenosové sítě, obr. 1.



Obr. 1. Fotografie jednotky pro příjem a distribuci přesné frekvence

Pro a ÚJV Řež a.s. jsme dále pracovali na vývoji a aplikaci interferometrického systému pro kalibraci měřícího rámu pro měření reaktorové nádoby, viz. obr. 2. Kalibrační měřící systém je umístěn na přesné profilové kolejnici s hřebenem, který je určen pro motorizovanou posuvnou platformu. Délka kolejnice je 4 000 mm, výška 180 mm a šířka 90 mm. Na kolejnici jsou umístěny dvě platformy; statická platforma s laserovými interferometry a motorizovaná posuvná platforma s měřicími koutovými odražeči. Celková chyba měření při měření v JE Temelín nepřesáhla 2,5 μm pro nejdelší měřený rozměr s délkou 3310 mm.



Obr. 2. Fotografie interferometrického systému při měření v JE Temelín.

V neposlední řadě jsme pokračovali ve výzkumu v oblasti optovláknového měření ionizujícího záření, který by byl kompatibilní s aktuálně instalovaným systémem v JE Temelín tak, aby bylo možné tento systém rozšířit o další možnosti měření. Aktuálně disponujeme systémem, který umožňuje monitorovat ionizující záření gama od aktivity 10 kBq do vzdálenosti 20 m od zdroje záření. Systém jsme ověřili při měření cyklotronu v ÚJV Řež, viz obr. 3. Také se podařilo díky tomuto pokroku ve výzkumu detekce ionizujícího záření navázat spolupráci se společností VF a.s. a s Masarykovou univerzitou. Tato spolupráce vede ke smluvnímu výzkumu pro VF a také aktuálně máme v přípravě společný návrh grantového vědecko-výzkumného projektu.



Obr. 3. Fotografie senzoru ionizujícího záření s připojeným optickým vláknem

Poděkování

Část prezentovaného výzkumu byla podpořena z projektu MVČR č. VI20192022116 a část byla podpořena z projektu TAČR č. FW01010379. K výzkumu byla využita infrastruktura MEYS CR, EC, a CAS (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, RVO: 68081731).

MĚŘENÍ STABILITY MAGNETICKÉHO POLE POMOCÍ $^{40}\text{Ca}^+$ IONTU

**Tuan Minh Pham¹, Adam Lešundák¹, Martin Čížek¹, Lukáš Podhora²,
Šimon Řeřucha¹, Petr Jedlička¹, Lukáš Slodička², Josef Lazar¹, Ondřej
Číp¹.**

¹Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i., Oddělení koherenční optiky,
Královopolská 147, 612 64, Brno, Česká republika (+420 541 514 526, tuan@isibrno.cz)

²Univerzita Palackého, Olomouc, Česká republika.

Obor: optické hodiny, stabilizace laseru, chlazení atomů, spektroskopie.

Základním principem optických frekvenčních standardů využívajících vibračních stavy zachyceného a laserem zchlazeného atomu jsou založené na ultra přesném měření jeho absolutní frekvence zakázaného přechodu. Zvýšením přesnosti a stability těchto měření by výrazně zvýšilo spolehlivost těchto optických referencí jakožto ultra přesné standardy času a délky.

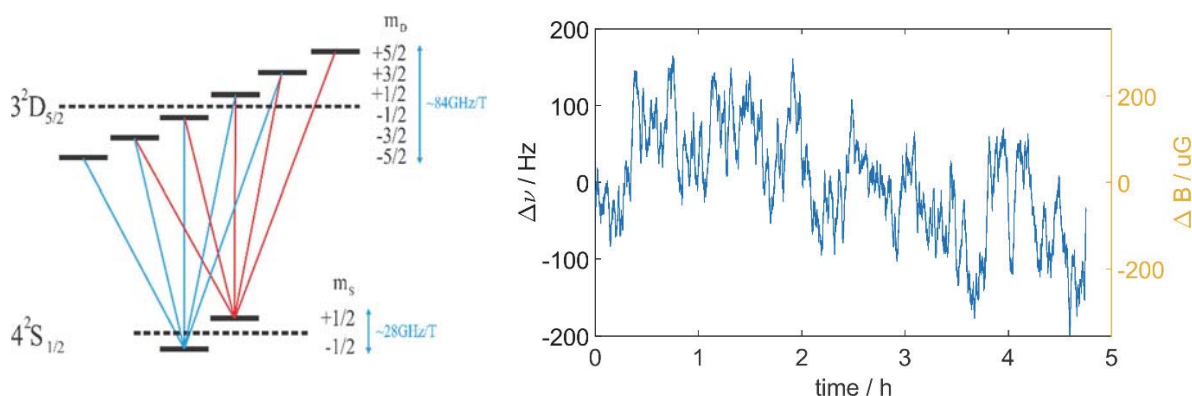
Jedno z hlavních omezení při dlouhodobém měření absolutní frekvence hodinového přechodu je kolísání magnetického pole [1]. Časově proměnlivá fluktuaace vnějšího magnetického pole vede k frekvenčním posunům Zeemanových komponent a tím dochází ke snížení frekvenční stability optických hodin v čase [2]. V současné době jsou obvykle optické atomové reference realizovány s pomocí jediného iontu. Škálování počtu iontů k vyšším hodnotám však přináší nesporný benefit ve formě vysokého poměru signálu a šumu a tím ke zefektivnění celého procesu měření. Ionty jsou v tomto případě roztaženy na velkou plochu a vytvářejí tzv. iontové Coulombovské krystaly. Kromě prostorové stability magnetického pole je pak při práci s Coulombovskými krystaly obzvláště důležitá i homogenita magnetického pole. Nadměrnou magnetickou perturbaci lze výrazně snížit překrytím sestavy magnetickým stíněním nebo použitím permanentních magnetů namísto konvenčně používaných magnetických cívek [3]. Další metodou je průměrování na více hladinových přechodů [4]. Tento příspěvek představuje jednoduchou metodu měření stability magnetického pole v poloze iontu.

Naši experimentální sestava se skládá radiofrekvenční lineární Paulovy pasti, ve které jsme schopni zadržet jeden až tisíce $^{40}\text{Ca}^+$ iontů. Past je uložena do ultra vysokého vakua z důvodu zamezení nežádoucích srážek iontu s molekulou plynu. Pro práci s iontem využíváme celkem šest frekvenčně stabilizovaných laserů. Dva lasery na vlnových délkách 422 nm a 377 nm pro foto-ionizaci atomu kalcia. Dva pro Dopplerovské chlazení, 397 nm a 866 nm. Poslední pár laserů, 729 nm a 854 nm, slouží pro přesnou spektroskopii jemných přechodů iontu a pro řízení jeho kvantového stavu. Šířka vybraného přechodu iontu pro Dopplerovské chlazení je v řádu desítek MHz. Dostatečné zúžení spektrální čáry laseru 397 nm a 866 nm, pro efektivní excitaci elektronu na tuto hladinu, získáme zavěšením jejich frekvencí na optický hřeben metodou fázového závěsu. Takto dosahují spektrální šířky laseru v řádech desítek kHz. Hodinový, též zakázaný přechod iontu $^{40}\text{Ca}^+$ má šířku <1 Hz. Pro dosažení této spektrální šířky jsem použil techniku přenosu stabilních oscilací. Stabilita spektroskopického laseru 729 nm je v tomto případě řízena stabilitou sub-hertzového referenčního laseru, pracujícího na vlnové délce 1540 nm, který je stabilizován sférickým rezonátorem s finesou překračující 400 000. Optický hřeben v tomto případě slouží jako mediátor dvou technik. Dlouhodobá stabilita optického hřebene je zajištěna aktivním vodíkovým maserem. Detekce fluorescence iontů na vlnové délce 397 nm je realizována jedno fotonovým lavinovým fotodetektorem.

Stabilitu magnetického pole v poloze iontu lze získat měřením frekvenčního driftu hodinového laseru v době, kdy je pověšen současně na několik Zeemanových komponent. V

případě $^{40}\text{Ca}^+$ jsme vybrali dva Zeemanovy komponenty, konkrétně $S_{1/2} (m = -1/2) \leftrightarrow D_{5/2} (m = -1/2)$ a $S_{1/2} (m = -1/2) \leftrightarrow D_{5/2} (m = -5/2)$ (viz Obr. 1). Přechody jsou od sebe vzdáleny 33. 757 MHz. Přechod $S_{1/2} (m = -1/2) \leftrightarrow D_{5/2} (m = -5/2)$ je přibližně pětikrát citlivější a má opačnou hodnotu vzhledem k magnetickému poli nežli druhý přechod. K naladění frekvence hodinového laseru na vybrané přechody slouží akusto-optický modulátor (AOM). Každý přechod má svůj nezávislý digitální servo regulátor. AOM pak multiplexuje mezi dvěma cílenými frekvencemi, které v sobě již zahrnují korekci frekvence ve formě akčního zásahu pro daný přechod.

Sekvence pulsů, sloužící pro interogaci excitovaného elektronu nacházejícího v zakázaném přechodu, využívá Ramseyho interferenčního schématu se dvěma krátkými $\pi/2$ pulzy oddělenými bezinterakční dobou $\tau_{\text{Ramsey}} \approx 100 \mu\text{s}$. Ramseyho čas a celá délka sekvence pulsů je optimalizována tak, aby umožňovala měření magnetického pole v širokém pásmu. Intenzity laserových pulsů 729 nm pro jednotlivé Zeemanovy přechody byly upraveny tak, aby časy excitace na obou přechodech byla $\tau \approx 20 \mu\text{s}$. Pro dosažení lepšího poměru signálu k šumu se každý měřený bod na obou přechodech opakuje 100krát.



Obr. 1: Detailní pohled na Zeemanovy komponenty hodinového přechodu iontu $^{40}\text{Ca}^+$ (vlevo). Záznam měření stability magnetického pole v pozici iontu (vpravo).

Frekvenční analýza stavu iontu a ladění spektroskopického laseru pomocí AOMu na konkrétní přechod se provádí postupně pomocí servo regulátorů. Ve stejném okamžiku tedy dochází k výpočtu posuvu centrální frekvence na jedné Zeemanovské hladině vlivem magnetického driftu a k regulaci spektroskopického laseru na přechodu druhém. Touto metodou dosáhneme, co možno nejkonzistentnější výsledky měřených magnetických polí na obou přechodech zároveň. Na Obr. 1. je vyobrazen výsledek vypočteného magnetického pole v pozici iontu za 5 hodin. Průměrná hodnota magnetického pole je 10.049 G se směrodatnou odchylkou 122 μG , to odpovídá 71 Hz pro méně citlivý přechod, $S_{1/2} (m = -1/2) \leftrightarrow D_{5/2} (m = -1/2)$.

Literatura

- [1] Benhelm, J., Kirchmair, G., Rapol, U., Körber, T., Roos, C. F., & Blatt, R. (2007). "Measurement of the hyperfine structure Of the $S_{1/2}$ – $D_{5/2}$ transition in Ca^{43} ,". *Physical Review A*, 75(3).
- [2] Itano, W., Bergquist, J., Bollinger, J., Gilligan, J., Heinzen, D., Moore, F., Raizen, M. and Wineland, D. (1993), "Quantum Projection Noise: Population Fluctuations in 2-Level Systems,". *Physical Review A (Atomic, Molecular and Optical Physics)*.
- [3] Ruster, T., Schmiegelow, C. T., Kaufmann, H., Warschburger, C., Schmidt-Kaler, F., & Poschinger, U. G. (2016). "A long-lived Zeeman trapped- ion qubit,". *Applied Physics B*, 122(10).
- [4] Barrett, M. D. (2015). "Developing a field independent frequency reference,". *New Journal of Physics*, 17(5), 053024.

Poděkování

Práce byla provedena v rámci projektu 17FUN07 CC4C. Tento projekt 17FUN07 CC4C získal finanční prostředky z programu EMPIR spolufinancovaného zúčastněnými státy a z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020. Výzkum byl podpořen také projekty: 19-14988S (GA ČR) a CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008460 (MŠMT ČR).

ŠIROCE LADITELNÝ FS LASER INSIGHT X3+ PRO MULTIFOTONOVÉ ZOBRAZOVÁNÍ

Martin Moser

MIT s.r.o.

Klánova 56, 147 00 Praha 4

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

Obor: Lasery, fotonika a jemná mechanika

Společnost Spectra-Physics uvedla nedávno na trh již čtvrtou generaci široce laditelných femtosekundových laserů pro multifotonové zobrazování.

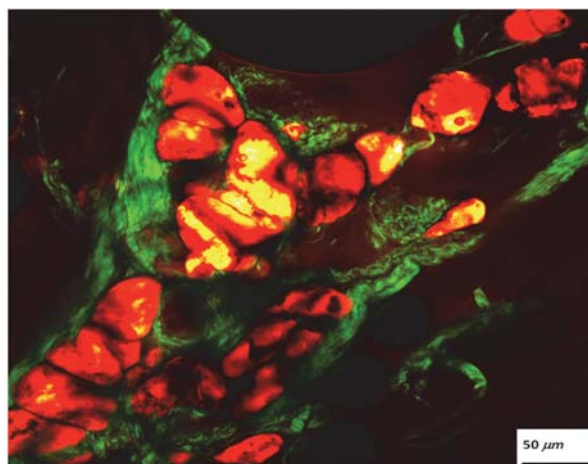
Nový laser **InSight X3+** poskytuje o 30% vyšší výkon pro hluboké zobrazování živých tkání než předcházející laser InSight X3. Laserový systém vydává ultrakrátké 170 fs pulsy o vysokém výkonu v širokém rozsahu ladění 680 – 1300 nm pro jasnější excitaci fluorescence a hlubší „in vivo“ zobrazování. Druhý, neladitelný, infračervený paprsek vydává synchronizované ultrakrátké pulsy pro pokročilé zobrazovací metody jako SHG, THG, CARS, SRS, apod. Laser InSight X3+ je ideálním zdrojem laserového záření pro hluboké zobrazování živých tkání v neurologii, optogenetice, buněčné biologii a dalších biologických aplikacích.

Díky mimořádnému výkonu nabízí nový laser InSight X3+ zobrazování živých tkání ve výrazně větších hloubkách

Ultrarychlý laser InSight X3+ lze vedle multifotonové mikroskopie použít i pro časově rozlišenou fotoluminiscenci, nelineární spektroskopii, THz zobrazování či metrologii polovodičů.



Laser InSight X3+



Svalová tkáň zobrazená pomocí metody CARS

LASEROVÉ NAVAŘOVÁNÍ NEBO 3D TISK?

Tomáš Mužík¹, Jan Kašpar²

¹MATEX PM, s.r.o.

Morseova 5, 30100, Plzeň, muzik@matexpm.com, www.matexpm.com

²Messer Technogas s.r.o.

Zelený pruh 99, 140 02, Praha, Jan.Kaspar@messergroup.com

Obor: laserové navařování, 3D tisk

V tomto článku bychom se chtěli zamyslet na současném postavení technologie navařů vysoce výkonným laserem, porovnat s tzv. 3D tiskem a objasnit některá technická úskalí obou metod.

Heslem poslední doby je 3D tisk, případně rapid prototyping, additive manufacturing, SLM apod. V podstatě se jedná o vytváření 3D těles na základě modelu postupným navařováním kovového prášku vrstvu po vrstvě. Pomineme nyní tisk z plastů, betonu, aj. a zůstaneme u oceli. Metoda, označovaná jako laserové navařování nebo laser cladding, je v principu velice podobná. Je založena na postupném navařování práškového materiálu, který se přivádí do ohniska vysoce výkonného laseru. Alternativně je možné navařovat přídavný drát namísto prášku, to ale na následujícím porovnání nic nemění. Jaký je tedy vlastně rozdíl mezi tzv. 3D tiskem a laserovými návary?

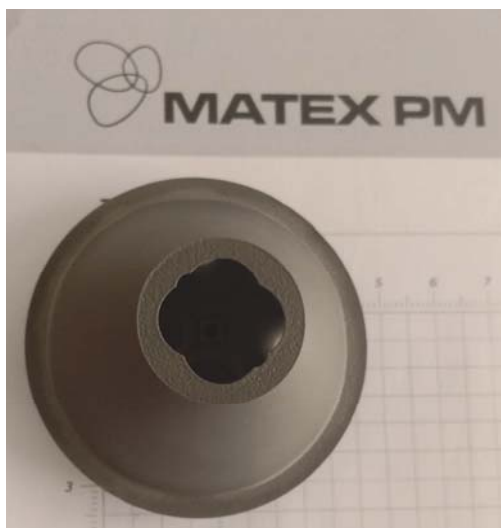
1) 3D tisk

Metoda je založena na postupném navařování jedné vrstvy přídavného materiálu na druhou s cílem vytvořit objemové 3D těleso. Obvykle se takový výrobek vytváří „z ničeho“, tj. bez základu, je tedy celé vytvořeno 3D tiskem. Na trhu je dostupná celá řada laserových systémů, které jsou schopny takto vyrábět díly o velikostech až ca. 500x500x500mm, výjimečně i vyšší. Tyto systémy jsou již řadu let používány pro výrobu chirurgických implantátů, leteckých součástí, a rovněž pro „speciální výrobu“.

3D tiskárny obvykle pracují jako tzv. powder bed systémy. V tomto případě je prášek umístěn do nádoby, a přesně se zarovná jeho povrch. Laserový paprsek se pohybuje v osách XY nad tímto povrchem a natavuje vybrané oblasti. V dalším kroku se díl posune, povrch prášku se zarovná a proces se opakuje vytvořením nové vrstvy. Celá pracovní komora je obvykle vakuovaná, aby se zabránilo oxidaci prášku během jeho spékání.

Největší výhody této metody jsou možnost vyrobit díly již „načisto“, tj. bez potřeby dalšího obrábění, nebo jen s minimálními přídavky a pak zejména možnost vyrobit díly, které obráběním ani přesným litím není možné realizovat. Jedná se zejména o tvarově komplikované struktury, složité chladicí kanály v nástrojích, díly s tvarově složitými dutinami apod.

Nevýhodou metody je nízká produktivita a tedy vysoká cena takto vyrobených dílů. Dalším problémem je, že v řadě případů je k dosažení požadovaných mechanických vlastností nutné provést následné tepelné zpracování, obvykle HIP (hot isostatic pressing). Tím se ztrácí výhoda tisku dílů ve rozměrech, neboť je nutné počítat s určitými přídavky na deformace při tomto tepelném zpracování.



Obr. 1. Ukázka 3D tištěného dílu metodou SLM

2) Laserové návary výkonovými lasery

Tato technologie se označuje také jako laser cladding, laser additive manufacturing, direct metal deposition aj. Jedná se o postup navařování s využitím výkonového laseru o kontinuálním výkonu obvykle více než 1kW. Manipulace s optikou nebo díly je řešena výhradně pomocí CNC systémů nebo robotů.

Přídavný materiál bývá dodáván do ohniska laseru buď ve formě prášku nebo drátu, přičemž drát může být ještě předehříván elektrickým proudem. Laser cladding je velmi variabilní metoda s celou řadou technologických parametrů a zdaleka nemá ustálené postupy. Výsledek tedy do značné míry závisí na zkušenostech a technologické úrovni firmy, která ho provádí.

Touto metodou se obvykle navařuje vrstva o tloušťce 1-5mm na existující výrobek. Typickým použitím jsou např. opravy poškozených hřídelí, návary turbínových lopatek a změny tvaru lisovacích nástrojů. Jedná se často o velmi rozměrné díly o hmotnosti několika tun. Cílem není vytvořit přesný tvar bez následného obrobení, ale spíše se klade důraz na vysokou produktivitu, spolehlivost a zabránění defektům v návarové vrstvě. V principu není problém navařit vrstvu o tloušťce mnoha cm.

Na rozdíl 3D tisku se v tomto případě nepracuje v uzavřené vakuové komoře. Ochranný plyn se přivádí tryskou společně s práškem, případně dalšími kanály v navařovací optice. Cílem je jednak zabránit oxidaci navařovaného materiálu, ale i omezit vznik plazmy a zajistit stabilní chování taveniny.



Obr. 2 Typická aplikace laserového navařování – oprava poškozené hřídele

Rozdíly laserového navařování oproti výše uvedenému 3D tisku mizí, pokud provedeme laserové navařování ve větších tloušťkách, případně vytvoříme nový díl kompletně jako návar. Takové aplikace se skutečně v reálném světě provádí, nejde tedy jen o hypotetické úvahy.

Prvním příkladem je výroba polotovaru trysek pro raketové motory. Tyto trysky jsou vyráběny kompletně laserovým navařováním z materiálu Inconel a následně obráběním do finálního tvaru. Dalším příkladem je navařování nástrojů pro lisování za tepla. Tyto nástroje jsou od počátku navrženy s návarem o tloušťce několika milimetrů. Tato vrstva musí být odolná proti otěru, musí mít vysokou tvrdost při provozní teplotě a zároveň musí odolávat teplotním cyklům. Naprosto zásadním požadavkem je ale potřeba dodržení tvarové přesnosti po navaření v toleranci přibližně $\pm 0,5\text{mm}$, před obrobením.



Obr. 3 Aplikace laserového navařování na tvářecí nástroje

V obou případech je třeba nejen zvládnutí technologie navařování a znalost použitých materiálů. Nejdůležitějším klíčem ke komerčnímu úspěchu je stabilita procesu, zabránění oxidaci a udržení stabilní tloušťky navařované vrstvy. Ukazuje se, že toho je možné dosáhnout jedině s kvalitním řešením technologie ochranných plynů a s pomocí „inteligentního“ systému řízení procesu.

Oblasti zájmu:

MATEX PM poskytuje komerční služby v oblasti laserového kalení, sváření a navařování již od r. 2009. Pro další rozvoj hledá spolehlivé partnery zejména v oblasti vývoje inteligentních řídicích systémů, diagnostiky a analýzy dat.

LIDT STANICE S CERTIFIKÁTEM ISO 9001:2016

Ing. Martin Mydlář

Centrum HiLASE

Za Radnicí 828

252 41 Dolní Břežany

Tel.: (+420) 314 007 700

E-mail: info@hilase.cz

<https://www.hilase.cz/>

Obor: LIDT

Jednou z klíčových informací pro použití optického prvku je jeho práh poškození laserem (LIDT–Laser Induced Damage Threshold). LIDT je obecně funkcí vlastností materiálu a parametrů laseru. Velký vliv na LIDT mají defekty a nedokonalosti. Prah povrchového poškození je obecně nejvíce ovlivněn drsností a povrchovou i podpovrchovou kontaminací. U součástí ošetřených povrchovými tenkými vrstvami je poškození často způsobeno defekty, mechanickým namáháním v povlaku, znečištěním povrchu nebo optickou absorpcí.

Protože LIDT silně závisí na parametrech laserového paprsku použitého pro testování LIDT, zamýšlené použití by se mělo odrazit v návrhu testu. V rámci Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO) byla vyvinuta řada norem popisujících potřebné parametry laserů používaných pro testování, správné návrhy testů a doporučené metody detekce poškození. Podle těchto norem by naměřená hodnota LIDT měla být reprodukovatelná na různých zařízeních vyhovujících normě ISO.

Za účelem měření LIDT byla na HiLASE vyvinuta měřicí stanice, která získala certifikát ISO 9001:2016. Pomocí této stanice je možné měřit LIDT užitím standardizovaných metod 1-on-1, S-on-1 typu 1 a typu 2, R-on-1 a raster scan. Stanice se nachází v čistých prostorech stupně 7 podle normy ISO. Testované vzorky mohou být až 1,5 kg těžké a jejich maximální rozměry jsou 100 mm x 100 mm x 100 mm. Úhel dopadu laserového svazku je možné měnit pomocí rotačního držáku v rozsahu 0–60°. Parametry používaných laserů pro měření jsou shrnuty v Tabulce 1.

Systém	Frekvence	Délka pulsu	Vlnová délka	Maximální energie	Profil
Bivoj	10 Hz	10 ns	1030 nm	5 J	kruhový, Gauss nebo čtvercový, top-hat 3x3 mm
			515 nm	2 J	kruhový, Gauss nebo čtvercový, top-hat 3x3 mm
Perla B	1 kHz	1.8 ps	1030 nm	10 mJ	kruhový, Gauss
			515 nm	4 mJ	kruhový, Gauss

Tabulka 1: Parametry testovacích laserů

Celá stanice je řízena softwarem vyvinutým na HiLASE, který umožňuje měnit tvar i velikost měřené apertury na vzorku a vzdálenost mezi testovanými místy, čímž lze maximalizovat jejich počet. Pro detekci poškození je používána rychlá online kamera s 1000 fps a skenovací mikroskop před a po testu.

ELI BEAMLINES – ZKUŠENOSTI S VÝVOJEM A PROVOZEM VELKÝCH LASEROVÝCH SYSTÉMŮ

Jakub Novák, Emily C. Erdman, Pavel Bakule, Bedřich Rus

ELI BEAMLINES, Fyzikální ústav AV ČR v. v. i., Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany
(jakub.novak@eli-beams.eu, www.eli-beams.eu)

Obor: Vývoj vysokoenergetických laserových systémů s ultrakrátkými impulzy

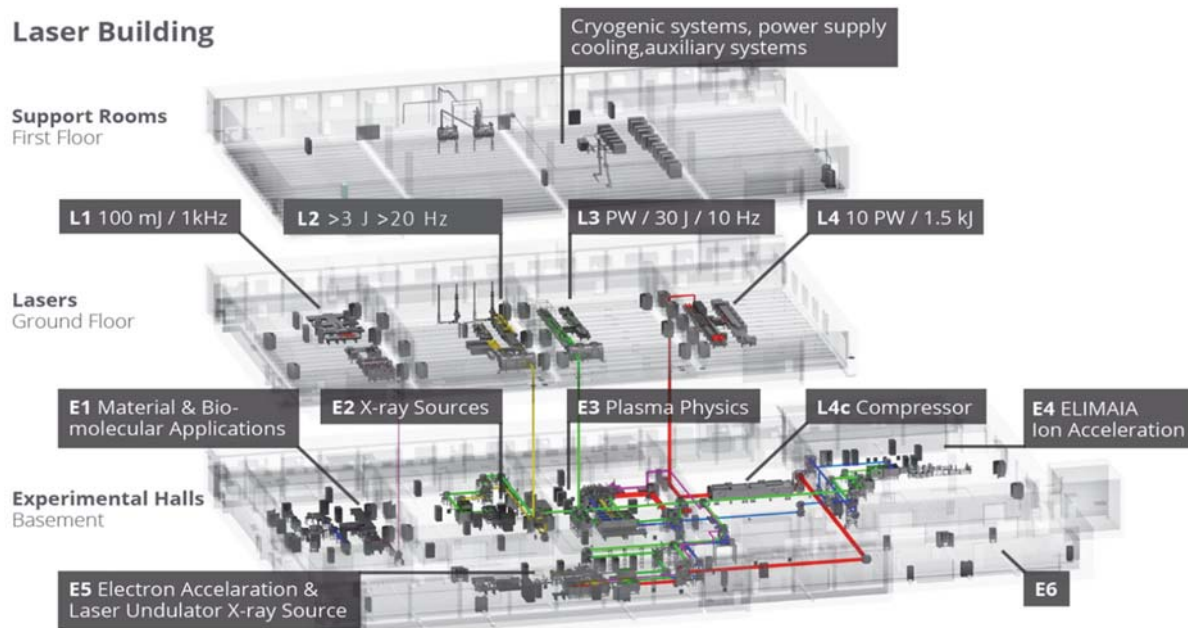
Příspěvek má za cíl představit vývoj laserových technologií na ELI Beamlines, zkušenosti s jejich více jak dvouletým provozem pro experimentální využití a některé výsledky urychlování protonů a elektronů v laserem generovaném plazmatu. ELI Beamlines má 4 hlavní laserové systémy, které jsou postupně uváděny do provozu, a navyšuje se jejich výkon. Zároveň probíhá instalace systému pro transport laserových svazků ke zdrojům sekundárního záření a experimentálním stanicím. Pro experimentální využití se v současnosti používají lasery L1 – ALLEGRA a L3 – HAPLS.

L1 – ALLEGRA je terawattový kilohertzový systém využívající pikosekundové parametrické zesilovače čerpané tenkodiskovými regenerativními zesilovači. Výstup laseru je rutinně poskytován pro uživatelské experimenty pomocí vakuového vedení svazku k jednotlivým uživatelským stanicím. Zde jsou generovány sekundární zdroje záření např. femtosekundové XUV a měkké Roentgenové záření jako vysoké harmonické, subpikosekundové tvrdé Roentgenové impulzy z plazmatu měděných terčů, nebo urychlené elektronové svazky.

L2 – DUHA je 100 TW systém s opakovací frekvencí 50 Hz, který bude postupně uveden do provozu v roce 2024. Nanosekundové parametrické zesilovače jsou čerpány pomocí kryogenně chlazeného Yb:YAG laseru. Hlavní využití tento laser najde jako demonstrátor pro laserové urychlování ultra-relativistických elektronů (LWFA).

L3 – HAPLS je Ti:safírový laser, který v současnosti poskytuje 30 fs impulzy se špičkovým výkonem 0,5 PW a opakovací frekvencí 3,3 Hz. Byl vyvinut v Lawrence Livermore National Laboratory a v této spolupráci pokračujeme na navýšení výkonu až na 1 PW a 10 Hz opakovací frekvence. Pomocí tohoto laseru bylo úspěšně demonstrováno urychlování protonů při dosažené fokusované intenzitě 10^{21} W/cm².

L4 – ATON v tuto chvíli začíná poskytovat dlouhé kilojoulové impulzy (Long Pulse - LP) pro kombinované experimenty L3 + L4LP s časovou přesností 35 ps RMS/hod. Zároveň probíhá instalace vyčištěných komponentů do 18-ti metrové vakuové komory 10 PW kompresoru, který bude zprovozněn v příštím roce.



Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Výzkum a vývoj v oblasti vysokovýkonových pulzních laserů
- Řídicí systémy, časová synchronizace a vysokofrekvenční elektronika
- Uživatelský výzkum využívající ultrakrátké laserové impulzy a sekundární zdroje záření

VYBRANÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ČVUT V PRAZE

Martin Novák, Tomáš Primus

Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Technická 4, Praha 6 - Dejvice, PSČ 160 00; tel: 224 359 334;

e-mail: M.Novak2@rcmt.cvut.cz

tel.: 722 783 723

Obor: Výzkum, vývoj a aplikace laserových technologií

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

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

- Popisování
- Mikroobrábění
- Navařování z drátu/prášku
- Řezání
- Svařování



Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

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

Tento příspěvek byl za podpory z projektu SGS22/159/OHK2/3T/12

OPRACOVÁNÍ SKLENĚNÝCH MATERIÁLŮ ULTRAKRÁTKÝMI PULZY

Jan Novotný, Libor Mrňa, Petr Horník, Hana Šebestová

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

Královopolská 147, 612 64 Brno

email: jann@isibrno.cz

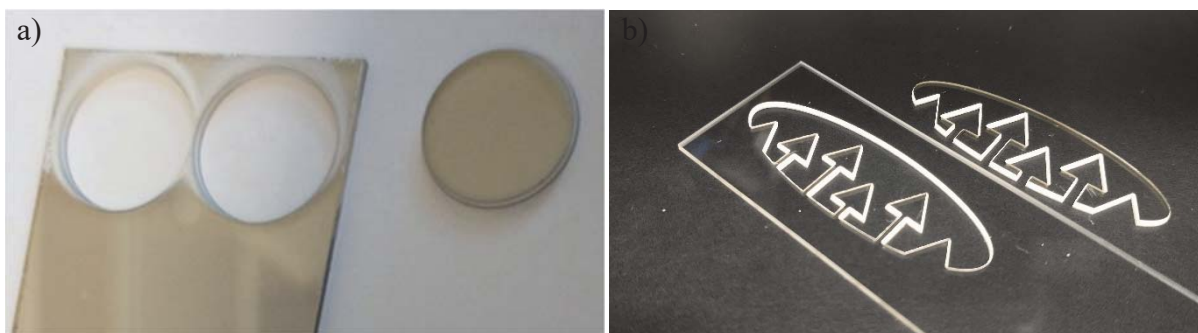
www.isibrno.cz

Obor: Laserové mikroobrábění

Skleněné materiály jsou díky jejich pevnosti, izolačním schopnostem, stabilitě a transparentnosti často používány téměř ve všech oborech výzkumu i průmyslové praxe. S jejich vlastnostmi se však pojí také mnoho obtíží s opracováním, ať už mechanickými metodami nebo pomocí laseru. Na ÚPT je často využívána pro řezání, vrtání i vytváření tvarových ploch ablace pomocí ultrakrátkých pulzů laseru.

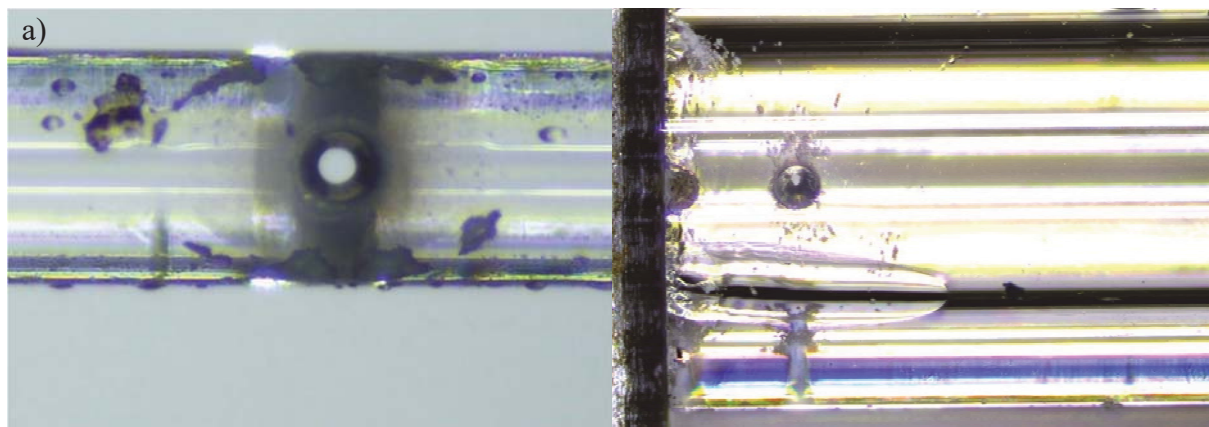
Mikroobráběcí stanice je založena na systému PERLA 100 (HiLASE), pracující na vlnové délce 1030 nm, který je doplněn o modul pro generaci 2. a 4. harmonické frekvence. Pro opracování skla je zpravidla využívána skenovací hlava s telecentrickým f-theta objektivem (velikost spotu 25 μm), která umožňuje rychlý pohyb svazku po obráběném materiálu s vysokou přesností. Pro větší díly je možné využít polohování pomocí lineárních posuvů.

Typickou aplikací je řezání elementů jak z čistých materiálů, tak i z povrstvených polotovarů (obr. 1). Oproti mechanickým metodám je možné provádět dělení pouze s minimálním upnutím, takže nehrozí poškození citlivých vrstev. Možné jsou dva způsoby dělení, prvním je odebrání materiálu okolo požadovaného dílu, kdy díl prakticky vypadne z polotovaru. Druhou možností je vytvoření objemových vad v materiálu a následné vnesení napětí, která způsobí vznik lomové plochy v oblasti vad. Výhodou druhé metody je řádově vyšší rychlost, avšak je nutno volit velmi přesně energii pulzu a rychlost pohybu svazku.



Obr. 1 Řezání a) kruhového dílu z povrstveného polotovaru, b) tvarový řez (sodnovápenaté sklo)

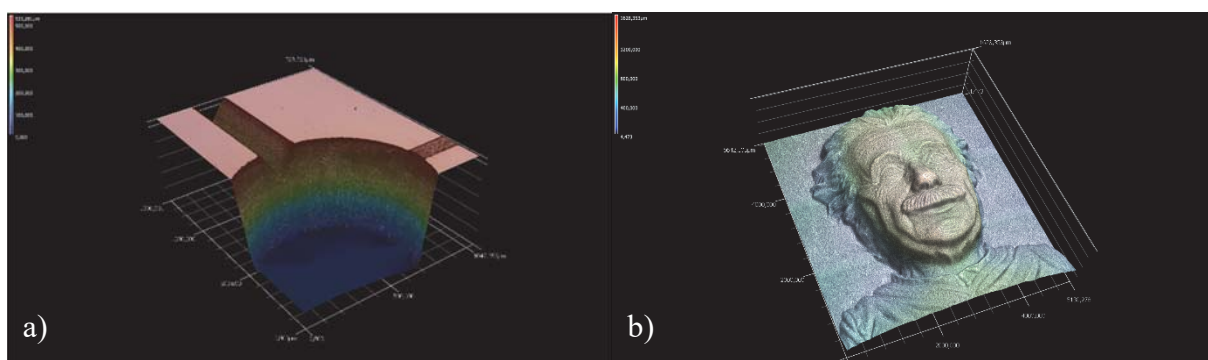
Díky minimálním nárokům na upnutí materiálu a minimální přenosu tepla do okolí odebíraného materiálu je možné obrábět snadno i velmi křehké a citlivé díly. Například na obr. 2a je zobrazen otvor o průměru 70 μm v optickém vlákně. Stejně tak je možné snadno vytvářet prvky na konci vláken. Další reálnou aplikací je vrtání otvorů do trubiček o vnějším průměru cca 2 mm a tloušťce stěny 0,3 mm (fused silica) – obr. 2b.



Obr. 2 a) vrtaný otvoru v optickém vlákne (průměr vlákna 400 μm), b) otvor 40 μm ve skleněné trubičce

Při ablaci ultrakrátkými pulzy dochází o úběru materiálu ve velmi tenké vrstvě, takže je možné vytvářet i velmi jemné 3D struktury pomocí 2,5D obrábění. Příkladem praktické aplikace takového obrábění je V-drážka o hloubce 0,125 mm pro přesné sesazení optických vláken (obr. 3a) vůči průchozímu otvoru. Velkou výhodou oproti zhotovení podobné struktury leptáním je v tomto případě snadná úprava velikosti a tvaru vytvářených prvků, pro které není nutné vytvářet krycí masky.

Obrábět je možné také složité obecné tvary s vysokou mírou detailů (obr. 3b) v poměrně krátkých časech. Zobrazená struktura o vnějších rozměrech cca 6 x 6 x 2 mm³ byla zhotovena v čase cca 45 minut při zachování dobré kvality povrchu. Obdobným způsobem je možné pružně vytvářet polotovary optických mikroelementů nebo čipy pro mikrofluidiku.



Obr. 3 a) část drážky pro sesazení vláken vůči otvoru, b) obecný tvar vytvořený laserovým mikroobráběním

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- obrábění kovových i nekovových materiálů pikosekundovým laserem
- strukturování povrchů
- selektivní odstraňování vrstev

OPTICKÉ VLASTNOSTI ANTIREFLEXNÍCH VRSTEV VE SPEKTROSKOPII S ABSORPČNÍMI KYVETAMI

Jindřich Oulehla, Jan Hrabina, Miroslava Holá, Pavel Pokorný, Josef Lazar

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

www.isibrno.cz

Obor: optika tenkých vrstev, laserová spektroskopie

Na Ústavu přístrojové techniky se zabýváme návrhem a depozicí optických tenkých vrstev pro různé aplikace metodou vakuového napařování elektronovým svazkem. Jsme schopni deponovat různé materiály v závislosti na aplikaci. Nejběžnější kombinací je $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, dále používáme například Ta_2O_5 , Al_2O_3 , HfO_2 a jiné. Aplikacemi jsou interferenční filtry pro viditelnou, blízkou UV a blízkou IR oblast světelného spektra. Jako příklady námi navrstvených filtrů lze uvést antireflexní vrstvy, barevné (dichroické) filtry, hradící a pásmové filtry, děliče světla, tepelné filtry, polarizátory, nepolarizující děliče, apod.

Jednou z důležitých oblastí využití našich vrstev je výroba absorpčních kyvet využívaných pro stabilizaci laserů. Tyto kyvety jsou ve tvaru skleněných trubic plněných pracovním plynem (např. jód nebo acetylen), které jsou zakončeny okénky opatřenými antireflexními (AR) vrstvami pro minimalizaci optických ztrát při průchodu laserového svazku kyvetou. V předkládaném příspěvku je řešena problematika odolnosti AR vrstev vůči vnějším vlivům, kterým jsou vystaveny. Jedná se o:

- Působení pracovního plynu, v tomto případě jódu na strukturu vrstvy
- Zahřátím oken při napařování na tělo kyvety vyvolané změny ve spektrální závislosti propustnosti

Provedli jsme experimenty, kdy jsme při depozici antireflexních vrstev kombinovali různé napařovací materiály a depoziční techniky ve snaze najít takovou kombinaci, která nejlépe odolává zmíněným vlivům. Výsledky experimentů ukazují, že takovou kombinaci lze najít a takto připravené AR vrstvy mohou být bez problémů v daných aplikacích používány, aniž by vzrostly nežádoucí optické ztráty.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Návrhy systémů interferenčních vrstev
- Depozice na různé substráty dle aplikace
- Výroba kyvet plněných izotopicky čistými plyny

PROGRAM STIMULACE ZRAKU RANÉ PÉČE VÝZNAMNĚ DOPLŇUJE ZDRAVOTNÍ PÉČI A TECHNOLOGIE V OBLASTI OČNÍHO LÉKAŘSTVÍ

Společnost pro ranou péči

Ing. Martina Pekařová

ředitelka pobočky pro zrak, Olomouc

tel: 777 234 035

e-mail: reditelka.olomouc@ranapece.cz

www.ranapece.cz

Sociální služba, raná péče pro rodiny s dětmi se zrakovým a kombinovaným postižením od 0 do 7 let.

Unikátní služba rané péče zlepšuje život rodinám s různými formami postižení již 32 let. Na děti se zrakovými vadami se zaměřuje Společnost pro ranou péči, která za posledních deset pomohla s rozvojem zrakového vnímání 4500 dětem, jen za loňský rok to bylo 614. Terapeuti dětem pomáhají rozvíjet zrak během raného dětství, protože pozdější pomoc již nemusí být účinná. Pobočky organizace jsou v Praze, Ostravě, Brně, Českých Budějovicích, Karlových Varech a Olomouci.

Výsledky práce terénních pracovníků rané péče stojí na **úzké spolupráci s odborníky z oblasti oftalmologie, neurologie a neonatologie. Nezastupitelnou roli v eliminaci těžkých zrakových vad u dětí již v raném věku mají vývoj a inovace v oblasti optiky a laserů.**

Mezi nejčastější příčiny slepoty u dětí v Česku patří geneticky podmíněná oční onemocnění sítnice a zrakového nervu, následky retinopatie nedonošených dětí a vrozené anomálie sítnice. Mezi příčinami závažné slabozrakosti dominují komplikované dioptrické vady, vrozený šedý zákal a vrozený glaukom.

Ze všech očních onemocnění u dětí je jich téměř 85 % při včasném zachytu dobře léčebně ovlivnitelných. Současná dětská oftalmologie disponuje díky novým poznatkům, moderním technologiím a neustále se zlepšující operační technice, řadou možností účinné a bezpečné léčby, která byla před 10 lety nedostupná.

Zásadní roli ve vývoji dítěte **hrají první tři roky života.** Právě v období do tří let jsou kompenzační možnosti mozku tak obrovské, že umožňují nejlépe rozvinout náhradní zrakové mechanismy i u těch dětí, které mají v některé oblasti vývoje vážný handicap. **Pokud se v tomto období nepodaří zrakové schopnosti rozvinout, později to už nemusí být možné vůbec.** Proto je potřeba co nejrychlejší zachyt zrakové vady u dítěte a cílenou podporou, v rámci programu stimulace zraku, zprostředkovat zrakové podněty dítěti **na míru** s cílem **posunout zrakové vnímání na co nejvyšší úroveň** a v těžkých případech se pokusit zbytky zraku zachovat.

Instruktorzy stimulace zraku u každého dítěte pomocí funkčního vyšetření zraku zjistí zrakové funkce a dovednosti a doporučí zrakový trénink. Následně poradkyně rané péče učí rodiče, jak s dětmi **cíleně stimulovat zrak a podpořit celkový psychomotorický vývoj dítěte.** Pravidelný trénink pak rozvíjí funkce vidění a související dovednosti dítěte. Raná péče navíc výrazně **snižuje výdaje na pozdější zdravotní péči a sociální služby.**

O Společnosti pro ranou péči, z. s.

Společnost pro ranou péči učí rodiny žít normální život i s dítětem s postižením. Poradkyně rané péče přivázejí odbornou pomoc až domů, a ro nejen dítěti, ale i rodičům. Společně s rodiči rozvíjejí dítě tak, aby co nejlépe využilo svůj potenciál. V České republice organizace aktivně působí od roku 1990. Od svého vzniku pomohla už tisícům rodin, aktuálně se prostřednictvím 7 poboček stará o více než 800 rodin v 10 krajích.

THULIEM DOPOVANÁ VLÁKNA A KOMPONENTY PRO VLÁKNOVÉ LASERY EMITUJÍCÍ VE SPEKTRÁLNÍ OBLASTI V OKOLÍ 2 μm

Pavel Peterka, Ivan Kašík, Filip Todorov, Jan Aubrecht, Martin Grábner, Petr Vařák, Ondřej Schreiber, Ondřej Podrazký, Michal Kamrádek, Pavel Honzátko

Ústav fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR, v.v.i.
Chaberská 1014/57 Chaberská 1014/57, 182 51 Praha 8 – Kobylisy
www.ufe.cz, peterka@ufe.cz

Obor: vláknové lasery, optická vlákna

Thuliové vláknové lasery pracující na vlnových délkách kolem 2 mikrometrů mají mnoho unikátních využití v obraně, medicíně, zpracování materiálů, nelineární frekvenční konverzi a dalších aplikacích [1]. V tomto příspěvku podáváme přehled našich výsledků ve výzkumu optických vláken dopovaných thuliem, vláknových laserů a souvisejících výzkumných témat ve spektrálním rozsahu 2 μm [1, 2]. Konkrétně prezentujeme výsledky zlepšení účinnosti absorpce čerpání ve dvouplášťových vláknech díky zkrutu vlákna zachovaného po procesu tažení vlákna a principy naší původní metody dopování keramickými nanočásticemi pro přípravu vláken vysoce dopovaných thuliem. Dále ukážeme vliv tepelného a mechanického zpracování při výrobě vláken na spektroskopické vlastnosti vláken dopovaných thuliem [3]. Představíme principy přípravy nanostrukturovaných aktivních optických vláken a výhody jejich využití ve vláknových laserech [4].

Reference

- [1] Todorov F, Aubrecht J, Peterka P, et al (2020) Active optical fibers and components for fiber lasers emitting in the 2- μm spectral range. *Materials* 13:5177. <https://doi.org/10.3390/ma13225177>
- [2] Kamrádek M, Aubrecht J, Jelínek M. et al (2020) Holmium-doped fibers for efficient fiber lasers at 2100 nm. In: OSA High-brightness Sources and Light-driven Interactions Congress, MTh3C.5 <https://doi.org/10.1364/MICS.2020.MTh3C.5>
- [3] Vařák P, Kašík I, Peterka P, et al (2022) Heat treatment and fiber drawing effect on the luminescence properties of RE-doped optical fibers (RE:Yb, Tm, Ho). *Opt Express* 30:10050–10062. <https://doi.org/10.1364/OE.449643>
- [4] Franczyk M, Pysz D, Stepień R, Cimek J, Kasztelaniec R, Chen FL, Klimczak M, Zhao L, Kašík I, Peterka P, and Buczyński R (2022) Dual Band Active Nanostructured Core Fiber for Two-Color Fiber Laser Operation. *IEEE J. Lightwave Technology* <https://doi.org/10.1109/JLT.2022.3199581>

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Speciální optická vlákna
- Vláknové lasery a zesilovače

OPTIMALIZACE DESIGNU POHLCOVAČE LASEROVÉHO SVAZKU POMOCÍ MKO

Helena Picmausová, Pavel Crha, Martin Divoký, Jan Heřmánek, Karolina Macúchová, Martina Řeháková, Tomáš Mocek

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Centrum HiLASE

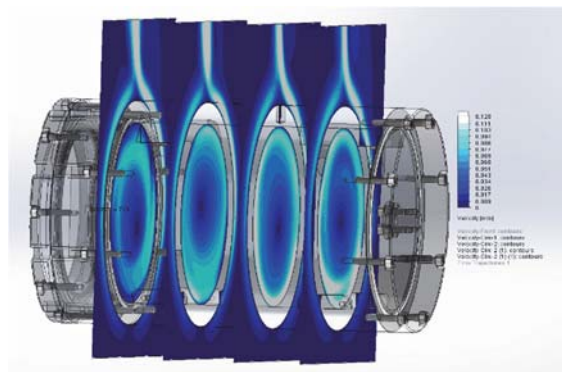
Za Radnicí 828, 252 41 Dolní Břežany

Obor: konstrukce a simulace

Účinné a bezpečné pohlcovače svazku jsou nezbytnou součástí vysoko-výkonných laserových systémů, které operují nad prahem zničení většiny běžných optických elementů. Specifické konfigurace a materiály jsou voleny dle výkonu a vlnové délky laseru. Pohlcovače představené v tomto příspěvku jsou navrhovány pro laserový systém BIVOL - pro ten je vhodným chladicí médiem voda, jelikož vykazuje pro provozní vlnovou délku výrazný absorpční peak. Pro optimální provoz pohlcovače je pak třeba vytvořit vhodné proudové podmínky pro efektivní odvod tepla.

Prvotní optimalizace

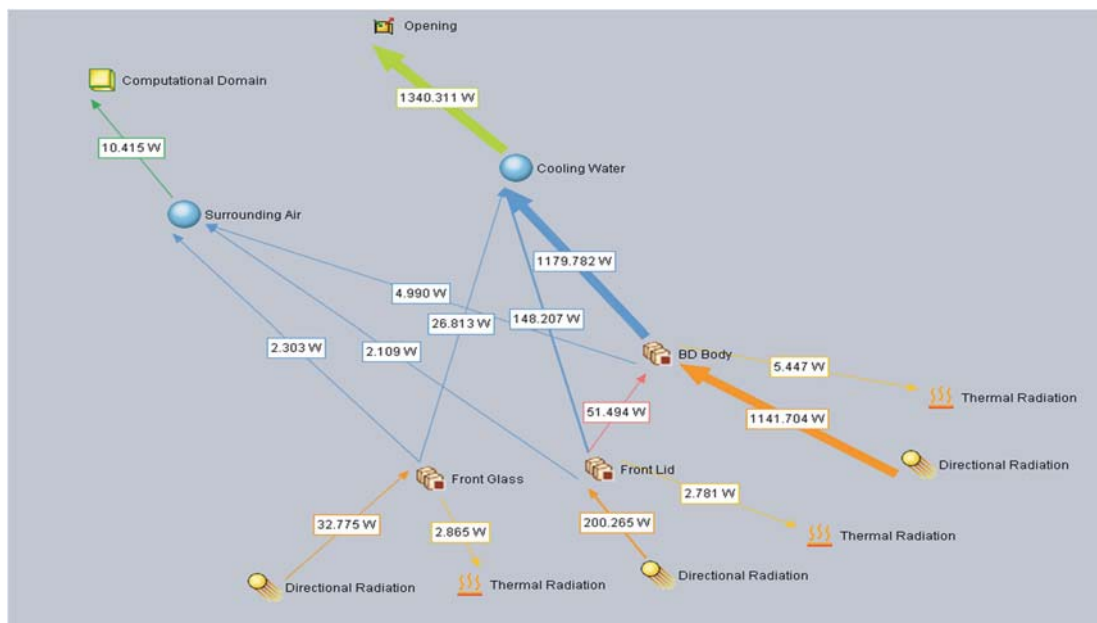
Původní design nabízel několik příležitostí k optimalizaci. Zapojení pohlcovače vytvářelo proudové pole s výraznou tlakovou a rychlostní ztrátou, přičemž generovalo jen malou intenzitu turbulence uvnitř objemu kapaliny. To vedlo k tomu, že velká část dopadající energie byla pohlcena spíše tělem chladiče než proudící vodou a ke vzniku hotspotů. S ohledem na výsledky simulace a možnost budoucího použití zařízení bylo zapotřebí zajistit příznivější charakteristiky průtokového pole. Prvním krokem bylo umístění vstupů a výstupů vody tečně k obvodu těla pohlcovače. Tato relativně jednoduchá úprava vede k vyšší vířivosti v proudovém poli a zlepšení rychlostního pole, jak je znázorněno na Obr. 1. Ačkoli tato verze modelu stále postrádá požadovanou intenzitu turbulence pro optimální chlazení, představuje již efektivnější schéma tepelného přenosu než původní návrh.



Obr. 1: Rychlostní proudové pole pro tečné zapojení přívodů chladicího média

Generace turbulentního proudového pole

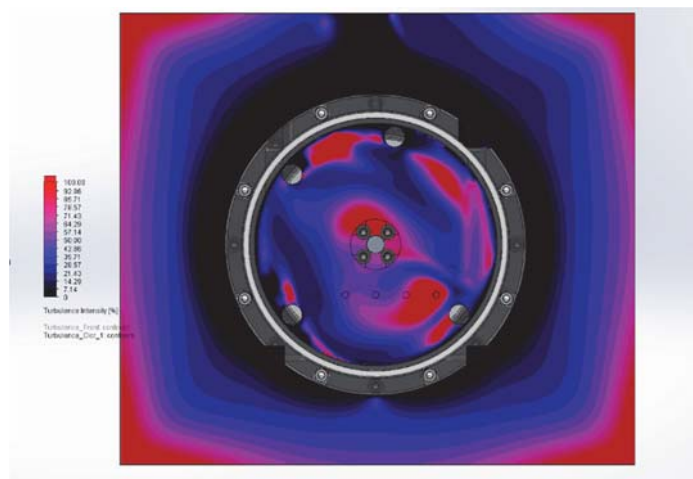
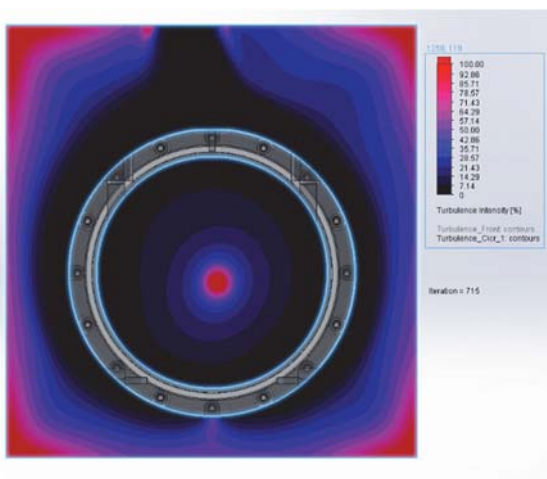
Přestože předchozí verze pohlcovače svou chladicí kapacitou plně pokrývají nároky současného laserového systému, s vyšší intenzitou turbulence se výrazně zlepšuje účinnost tepelných přenosů. V další úpravě bylo dosaženo udržitelného turbulentního proudového pole přidáním rozvodných kruhových tyčí v podél vnitřního obvodu těla chladiče. Tato konstrukce, i když je technologicky náročnější na výrobu, se ukázala jako nejpríznivější pro tepelné přenosy. To se odráží v nejnižší maximální teplotě předního skla, stejně jako v největším podílu energie odváděné chladicím médiem a nejmenší tepelnou energií vyzářenou do okolního prostředí – viz schéma tepelného toku na Obr. 2.



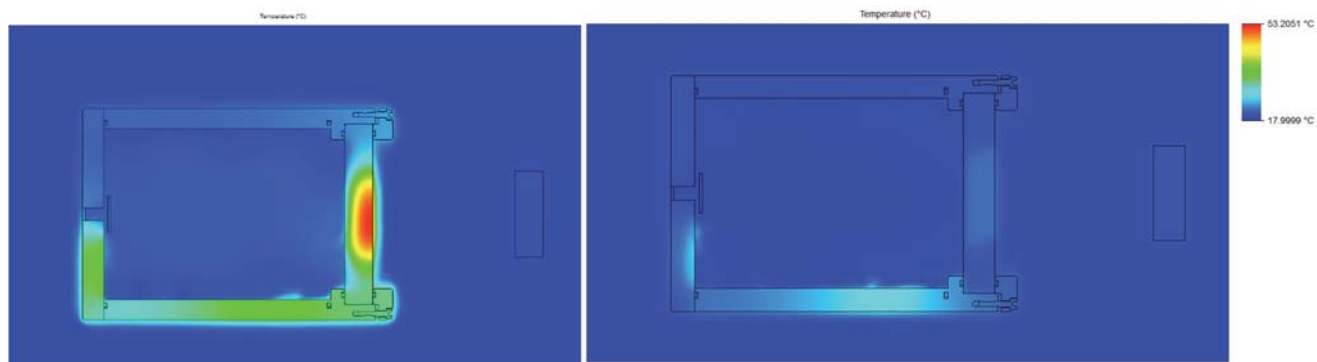
Obr. 2: Graf teplotního toku finální sestavou: Vstupní teplo (oranžová), teplo přenesené tekutinami (modrá) a teplo odvedené do okolí (zelená)

Závěr a srovnání

Zlepšení proudového pole pro účinnější tepelný přenos je dosaženo úpravou existující konfigurace pohlčovače, která pomáhá vytvářet a udržovat turbulentní proudové pole. Srovnání mezi prvotně optimalizovaným a finálním designem na Obr. 3 a Obr. 4 podtrhuje rozdíl v míře turbulence v jednotlivých proudových polích, který umožňuje výrazně účinnější tepelný přenos a tudíž chlazení. Zatímco původní návrh umožňoval odvést za pomoci chladicí vody pouhých 540 W z celkových 1500 W, finální design odvádí pomocí chladicího media 1340 W. Vylepšený design vede k eliminaci hotspotů a téměř úplnému zamezení ohřevu okolního prostředí.



Obr. 3: Srovnání průřezů polí intenzity turbulence pro první iteraci optimalizace (vlevo) a finální design (vpravo)



Obr. 4: Srovnání teplotního pole turbulence pro první iteraci optimalizace (vlevo) a finální design (vpravo). Maximální teplota pro pole vlevo dosahuje 103,3°C, vpravo pak 53,2°C, bez vzniku potenciálně problematických hotspotů.

LITERATURA

- [1] Sobachkin, Numerical Basis of CAD-Embedded CFD, SOLIDWORKS, Dassault Systemes, 2014

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- CFD Simulace (MKO)
- MKP Simulace tepelných přenosů, vlnové a paprskové optiky

OPICKÝ REZONÁTOR PRO LASEROVÝ SYSTÉM S ULTRA ÚZKOU SPEKTRÁLNÍ ČAROU

Lenka Pravdová^a, J. Hrabina^a, M. Čížek^a, O. Číp^a, F. Procháška^b, J. Beneš^b

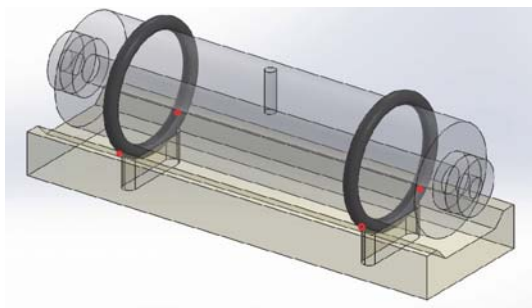
^a Ústav přístrojové techniky, Oddělení koherentní optiky Královopolská 147, 612 64 Brno, lpavdova@isibrno.cz, www.isibrno.cz

^bTOPTEC-CENTRUM, Sobotecká 1660, 511 01 Turnov,

Obor: délková a frekvenční metrologie

Vysokojakostní optické rezonátory hrají nezastupitelnou roli ve spektrálním zužování a frekvenční stabilizaci laserů. Umožňují zmenšení šířky laserové čáry na úroveň jednotek Hz [1], což otevírá cestu k realizaci experimentu optických hodin [2], ultrastabilních referencí na bázi syntezátorů optických frekvencí [3] a laserových spektroskopických systémů s dosud nevídaným rozlišením. Rezonátor popsáný v této práci byl vyvinut ve spolupráci ÚPT AVČR (optický design, stínící komora rezonátoru, optomechanický systém pro frekvenční stabilizaci laseru na vybraný rezonanční mód rezonátoru) a centrem TOPTEC (optický návrh, vývoj a kompletace optiky rezonátoru).

Optický Fabry-Perotův rezonátor je navržen v polokulovém uspořádání se všemi součástmi vyrobenými z prémiového materiálu ULE 7973 (koeficienty tepelné roztažnosti CTE ~ 10 ppb/ $^{\circ}\text{C}$) a teplotou minima teplotní roztažnosti při $+33^{\circ}\text{C}$. Podložka rezonátoru vyrobená ze Zerodur Expansion Class 0 Extreme (Schott, CTE = ± 6 ppb/ $^{\circ}\text{C}$) je od rezonátoru izolována dvěma O-kroužky z Vitonu. Rezonátor byl navržen s optickou délkou 168 mm a odrazivostí optických zrcadel 99,999 %, což odpovídá odhadované jemnosti rezonátoru přes 314 000, frekvenčnímu spektrálnímu rozsahu 892 MHz a šířce spektrální čáry rezonančního módu 2,8 kHz (plná šířka v polovině maxima). Mechanický návrh, simulaci mechanické stability, výrobu a sesazení rezonátoru provedl tým TOPTEC. Technický popis výroby rezonátoru lze nalézt v [4]. Zrcadlové substráty byly vybaveny vysoce reflexními dielektrickými vrstvami ve společnosti Layertec GmbH. Design rezonátoru je vyobrazen na obr.1.

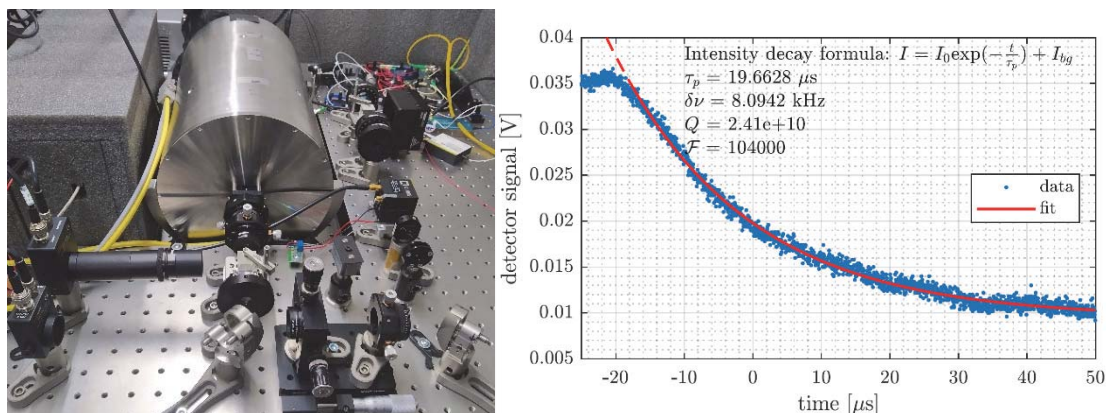


Obr. 1.: Model optického rezonátoru.

Rezonátorová komora byla navržena jako třívrstvé stínění se dvěma aktivními regulacemi teploty. První štít, vakuová komora, byl navržen ze slitiny hliníku. Stejný materiál byl použit pro dva držáky podložky rezonátoru umístěné uvnitř této komory. Vakuová komora je zvenku vyhřívána pomocí topného drátu napájeného digitálním teplotním regulátorem. Druhá, měděná komora zajišťuje další stupeň tepelné regulace pomocí termoelektrických Peltierových modulů umožňující výměnu tepla mezi měděným pláštěm a okolím sestavy. Tato dvoustupňová tepelná regulace umožňuje stabilizaci teploty rezonátoru na úrovni jednotek mK. Finální plášť z nerezové oceli má pasivní tepelnou izolaci a ochrannou/podpurnou funkci.

Po ověření vakuové těsnosti a stability systému byl na optický stůl umístěn laserový zdroj (vláknový úzkopásmový laser) a příslušné optické prvky pro realizaci frekvenčního závěsu laseru na rezonátor. Experimentální sestava využívá detekční a stabilizační schéma

Pound-Drewer-Hall (PDH) metody (obr. 2a). Zpětně odražený laserový paprsek z rezonátoru je zachycován nízkošumovým lavinovým diodovým fotodetektorem, který poskytuje chybový signál PDH pro digitální řídicí smyčku. Frekvenční ladění laserového svazku zajišťuje optovláknový akusticko-optický frekvenční modulátor (AOM), který je umístěn mezi laserem a optickou experimentální sestavou.



Obr. 2.: Optická experimentální sestava s komorou rezonátoru a PDH uspořádáním (vlevo). Měření výsledných parametrů rezonátoru, tzv. ringdown měření (vpravo).

Po správném nastavení systému, stabilizaci laseru na podélný mód rezonátoru a optimalizaci všech parametrů, byla zaznamenána časová konstanta mezi vypnutím AOM a ustálením signálu na fotodetektoru umístěném za rezonátorem (viz obr. 2b). Zpracováním zaznamenaného signálu jsme byli schopni získat výsledné parametry rezonátoru: časovou konstantu útlumu $\tau_p = 19,6628$ ms, pološířku spektrální čáry $\delta\nu = 8,0942$ kHz a jemnost rezonátoru $F = 104\,000$. Konečná šířka čáry rezonátoru na úrovni 8 kHz odpovídá 99,997% odrazivosti zrcadel. Rezonátor bude sloužit jako optická reference v experimentu Ca^+ iontových optických hodin a pro výzkum metod fázově koherentních přenosů přesných optických frekvencí přes optovláknové fotonické spoje.

Poděkování

Tato práce byla financována projekty: EURAMET JRP 18SIB06 TiFOON, TA ČR (TN01000008), MŠMT mQ-net (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008460) ERDF a AV ČR (RVO:68081731).

Reference

- [1] Hafner, S., Falke, S., Grebing, Ch., Vogt, S., Legero, T., Merimaa, M., Lisdat, Ch., Sterr, U., "8× 10⁻¹⁷ fractional laser frequency instability with a long room-temperature cavity," *Optics letters*, 40(9), 2112 – 2115, (2015)
- [2] Lešundák, A., Pham, M. T., Čížek, M., Obšil, P., Slodička, L., Číp, O., "Optical frequency analysis on dark state of a single trapped ion," *Optics Express*. 28(9), (2020)
- [3] Čížek, M., Pravdová, L., Pham, M. T., Lešundák, A., Hrabina, J., Lazar, J., Pronebner, T., Aeikens, E., Premper, J., Havliš, O., Velc, R., Smotlacha, V., Altmannová, L., Schumm, T., Vojtěch, J., Niessner, A., Číp, O., "Coherent fibre link for synchronization of delocalized atomic clocks," *Optics Express*, 30(4), 5450 – 5464, (2022)
- [4] Beneš, J., Procházka, F., Rail, Z., Tomka, D., Pravdová, L., Číp, O., "Production and measuring methods and procedures in precision optical cavities production", *Journal of Instrumentation* 17(2), (2022)

OCHRANA OPTICKÝCH KABELOVÝCH TRAS POMOCÍ DETEKCE ZMĚNY POLARIZACE

Michal Ružička, Petr Dejdar, Petr Münster, Tomáš Horváth, Adrián Tomašov

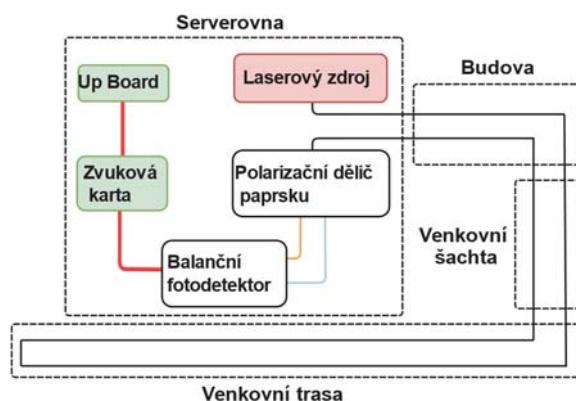
Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně
Technická 12, Brno

Obor: Výzkum optických prvků a senzorických systémů

V současné době roste potřeba zvýšené bezpečnosti kritických objektů a infrastruktur, ale i samotných informací nebo systémů. Výzkumem v oblasti zabezpečení fyzické vrstvy optických sítí se zabývá pouze malé množství týmů, které nicméně zmiňují velké množství zranitelností fyzické vrstvy, a tedy možností úniku informací. Mezi nejznámější a nejběžnější metody patří například vložení pasivního děliče do trasy nebo vytvoření ohybu pro vyvázání optického svazku z vlákna atd.

V rámci tohoto příspěvku představujeme využití detekce změny polarizace pro zabezpečení fyzické vrstvy optických vláken/kabelů. Princip vychází z toho, že mechanické vibrace způsobují rychlé změny polarizace, které je možné jednoduše detekovat pomocí navrženého analyzátoru změny stavu polarizace, který se skládá z polarizačního děliče svazku (PBS) a balančního fotodetektoru (BP). S využitím algoritmů strojového učení jsme schopni klasifikovat vybrané události narušující bezpečnost fyzické vrstvy, jako jsou manipulace s kabelem, otevření dveří rackové skříně nebo fyzické rozpojení optického spoje.

Na základě experimentálních měření byl zvolen systém detekující změny stavu polarizace v optickém vlákne, který je méně citlivý než interferometrické systémy. Aby byl systém využitelný v praxi, byl navržen jednoduchý analyzátor, který využívá rozdělení paprsku na ortogonální polarizační roviny pomocí PBS a následně jsou oba signály snímány pomocí BP. Hlavními výhodami oproti polarimetřům jsou cena a také nutnost převodu pouze jednoho elektrického signálu z BP do digitální podoby (např. na rozdíl od 4-diodového polarimetru). Schéma celého systému včetně topologie měření je zobrazeno na obrázku 1.



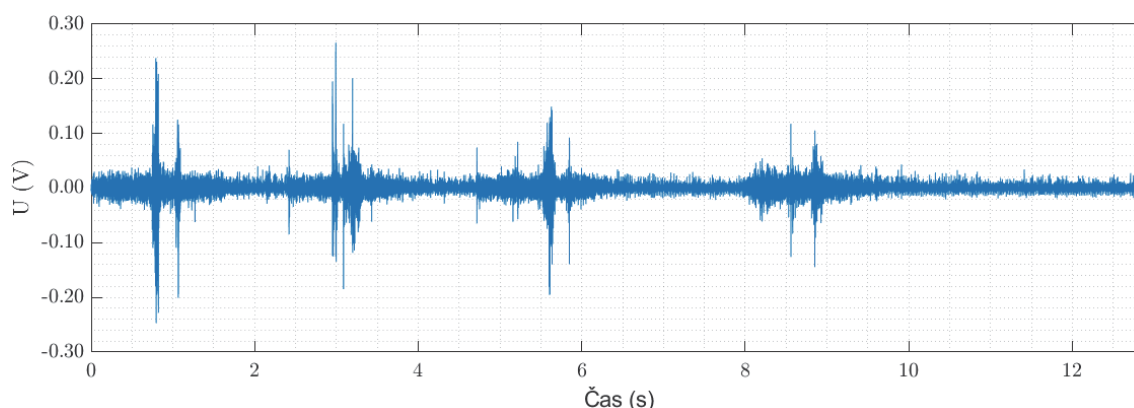
Obrázek 1: Schéma senzorkého systému pro zabezpečení fyzické vrstvy.

Jelikož je signál z balančního fotodetektoru v podstatě audio signál, je možné pro vzorkování použít zvukovou kartu, které obvykle mají vzorkovací frekvenci nejméně 44,1 kHz a bitové rozlišení 16-24 bitů. Zároveň jsou výrazně levnější než desky pro sběr dat (DAQ). Tím pádem je možné přesnější vzorkování za výrazně nižší cenu.

Jako testovací trasa byla zvolena infrastruktura sítě VUT, procházející ze serverovny nad stropními podhledy a následně ven z budovy do venkovní šachty, kde je propojena s venkovním polygonem VUT. Jedná se tedy o reálnou trasu, která je zatížena rušením klimatizačních

jednotek, vibracemi aktivních serverů v serverovně, vzduchotechnikou, ale i pohybem lidí na chodbách a pohybem lidí a vozidel v blízkosti venkovního polygonu, který je umístěn vedle silnice s chodníkem. Testovací trasa tedy podléhá běžnému rušení, které se u optických kabelů objevuje.

Pro vytváření datasetu byly vybrány události, jež představují možná bezpečnostní rizika fyzické vrstvy. Konkrétně se jedná o fyzické rozpojení a zapojení konektoru, manipulace s kabelem, manipulace s víkem šachty a klidový stav. Při manipulaci s kabelem dochází k velkým napěťovým změnám na BP, jak je možné vidět na obrázku 2. Zde se nachází 4 manipulace s kabelem mezi nimiž je zachycen klidový stav (zatížen pouze běžným rušením). Největší klidová zóna se nachází v náměru od 10 s.



Obrázek 2: Časová řada manipulace s optickým vláknem zaznamenaná zvukovou kartou.

Každá z událostí byla realizována s opakováním 100x, zaznamenaná a následně označena, což je důležitý krok pro trénování strojového učení. Proces návrhu neuronové sítě se zaměřuje na jednoduchou architekturu založenou na hustých vrstvách, které lze snadno přenést do vestavěných systémů pro analýzu dat v reálném čase. Vstupní vrstva má 8192 neuronů, což odpovídá velikosti oken generujících spektrální vektory. Výstupní vrstva odpovídá počtu tříd, který je roven 5. Jedinou optimalizovanou částí je tedy střední vrstva. Na základě několika experimentů je optimální počet neuronů v této vrstvě 512.

Výsledky strojového učení jsou v tomto případě velice dobré. Díky tomu, že polarizace je na vibrace méně citlivá než interferometrie, náměry neobsahují příliš mnoho rušení, i když je kabelová trasa v reálných, až mírně zhoršených, podmínkách. Díky tomu, je neuronová síť schopna odlišit klidový stav od námi definovaných stavů narušení bezpečnosti s úspěšností 100 %. Přesnost klasifikace jednotlivých událostí dosahuje až 99 %.

Navržený detekční systém v kombinaci se strojovým učení je schopen detekovat základní narušení bezpečnosti fyzické vrstvy u optických sítí. Tento systém je také cenově velice efektivní, jelikož využívá levnější variantu detekce rychlých změn polarizace. V rámci dalšího výzkumu bude evaluována možnost vynechání externí zvukové karty a využití vhodného minipočítače. Dále bude probíhat rozšíření datasetů nejen o více opakování jednotlivých událostí, ale i rozšíření počtu událostí. V neposlední řadě proběhne implementace algoritmů pro klasifikaci událostí do systému, tak aby bylo možné automaticky vyhodnocovat bezpečnostní rizika v reálném čase.

Poděkování

Grant Výzkum v oblasti optických monitorovacích systémů využívajících pokročilé techniky zpracování dat (FEKT-K-22-7731) je realizován v rámci projektu Kvalitní interní granty VUT (KInG VUT), reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/19_073/0016948, který je financován z OP VVV.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Fyzikální model polarizace v optickém vlákně
- Návrh vlastního fotodetektoru s optimalizovanými parametry pro zvýšení citlivosti
- Návrh metod pro možnost lokalizace

VYSOCE PŘESNÉ POLOHOVACÍ SYSTÉMY PRO LASEROVÉ APLIKACE

Martin Klečka, Blanka Schusterová

OptiXs, s.r.o.

email: info@optixs.cz

tel. recepce: +420 725 038 022

Křivoklátská 37, 199 00 Praha 9

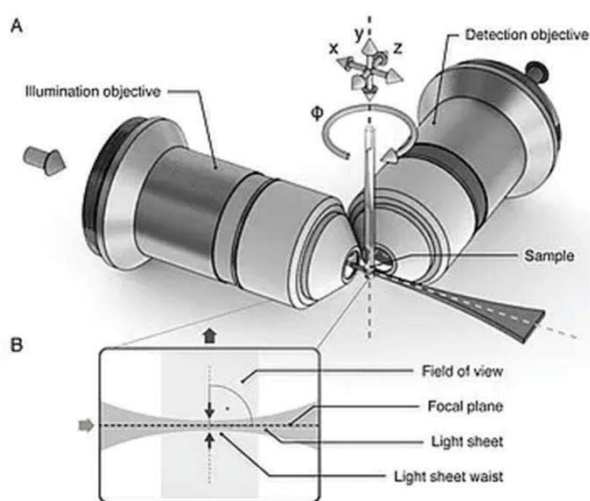
Obor: Vysoce přesné polohovací systémy pro laserové aplikace

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 první části přednášky bychom rádi představili novinky ve firmě OptiXs, nové oblasti našeho působení a také nové zajímavé sestavy buněk pro čisté prostředí, které se nám podařilo v poslední době realizovat.

Jelikož jsou lasery nepostradatelným nástrojem nejen při průmyslovém zpracování materiálů, ale i ve vědeckých aplikacích, a pro úspěch ve většině těchto oblastí použití je velice často rozhodujícím faktorem maximální přesnost polohování, budeme se v druhé části přednášky věnovat vysoce přesným polohovacím systémům pro laserové aplikace. Náš hlavní partner pro polohovací systémy, německá firma Physik Instrumente, je světový výrobce s dlouholetou tradicí, který je známý zejména díky svým nano-polohovacím systémům. Tyto systémy však tvoří pouze jednu část z velice komplexního portfolia, které v současné době zahrnuje téměř všechny myslitelné technologie a principy mikro a nano-polohování pro téměř každou aplikaci.

V rámci druhé části přednášky představíme projekt „Flamingo Lightsheet Microscope“, který realizovala firma Physik Instrumente ve spolupráci s Univerzitou v Göttingenu a podíváme se rovněž více do detailu na tzv. škálovatelné řešení pro laserové zpracování materiálů.



Lightsheet mikroskop – schéma

Flamingo Lightsheet mikroskop - realizace



LASEROVÉ SVAŘOVÁNÍ S OSCILACÍ SVAZKU

Hana Šebestová, Petr Horník, Jan Novotný, Libor Mrňa

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

Královopolská 147/62, 612 00 Brno - Královo Pole

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

Obor: Laserové svařování

Svařování s oscilací laserového svazku (wobbling) je moderní technologií, která je doporučována pro redukci rozstříku taveniny či porozity svarového kovu, zjemnění jeho mikrostruktury a zvýšení pevnosti svarových spojů. Její aplikace rovněž umožňuje zmírnit přísné tolerance na velikost styčné mezery mezi díly svařovanými natupo. Většina benefitů této metody je vykoupena poklesem hloubky průvaru, který ale při vhodně zvolených parametrech nemusí být významný.

Oscilaci svazku zajišťují galvanometrická zrcadla. Superpozicí dvou navzájem kolmých harmonických pohybů vznikají Lissajousovy obrazce, zde označované jako oscilační módy. Skládáním vektoru rychlosti pohybu laserového svazku po trajektorii oscilačního módu s vektorem posuvné svařovací rychlosti vzniká výsledná trajektorie, kterou vykresluje laserový svazek na povrchu svařovaného materiálu (obr. 1).



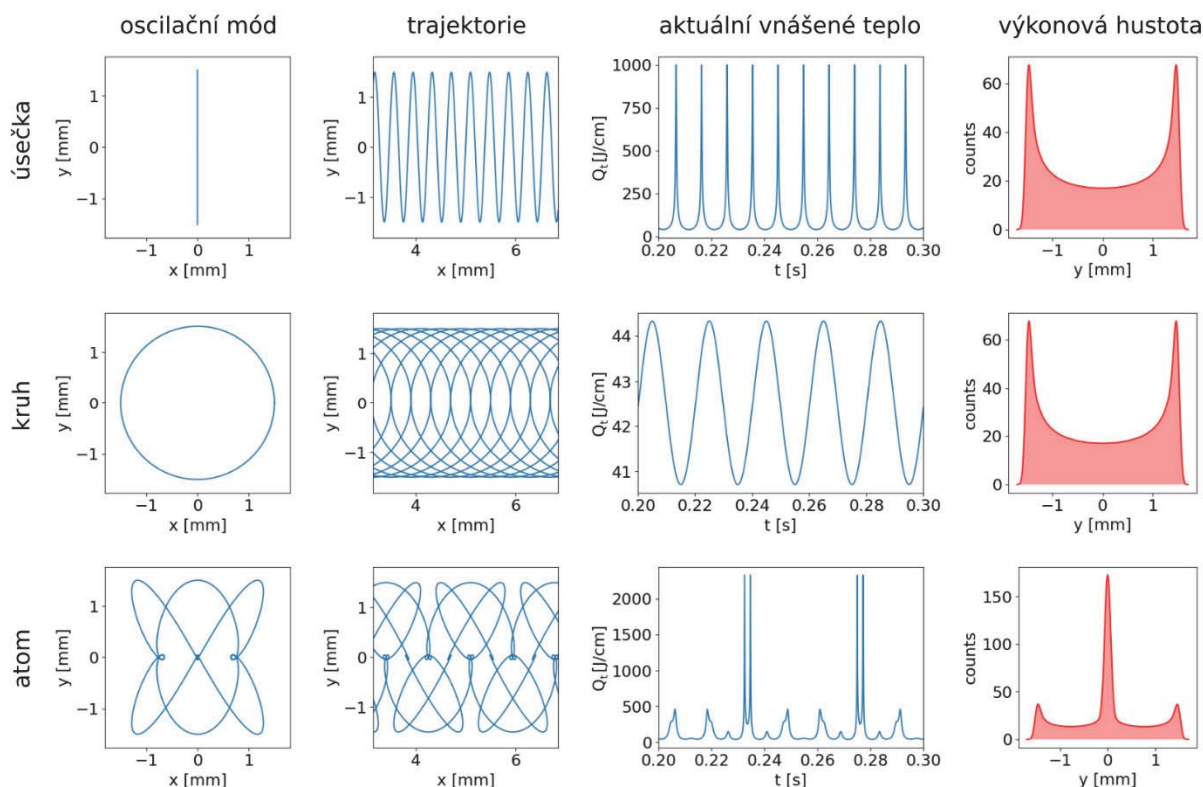
Obr. 1: Trajektorie kruhového oscilačního módu a výsledná trajektorie.

Výsledná trajektorie může být velmi komplexní, a z tohoto důvodu byl vytvořen software pro její zobrazení na základě parametrů tvaru a velikosti oscilačního módu, frekvence oscilace a svařovací rychlosti. Program rovněž umožňuje predikci tvaru svaru na základě rozložení hustoty výkonu v příčném směru, která vychází z integrace aktuálních výkonových hustot laserového Gaussovského svazku podél směru posuvu. Výhodou tohoto přístupu je mnohem vyšší rychlost oproti simulacím založeným na výpočtu vedení tepla.

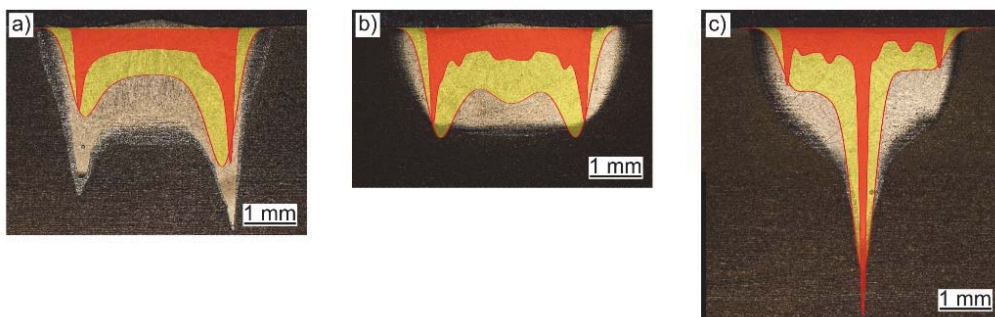
Dalším výstupem simulace ukazujícím na výslednou kvalitu svaru je graf aktuálně vnášeného tepla. Tradičně je vnášené teplo definováno jako podíl výkonu svazku a posuvné svařovací rychlosti, a nemůže tedy reflektovat oscilaci svazku. Použitím aktuální rychlosti laserového spotu namísto svařovací rychlosti dostáváme aktuální vnášené teplo, tedy energii na jednotku délky trajektorie, nikoliv délky svaru. Aktuální vnášené teplo není konstantní a podle jeho vývoje lze také usuzovat na změny hloubky průvaru.

Pro ověření modelu pro tři různé oscilační módy byly provedeny slepé švy do ocelového plechu S355 tloušťky 10 mm s výkonem laseru 2 kW a svařovací rychlostí 20 mm·s⁻¹. Průměr oscilace 3 mm byl konstantní pro všechny módy. Oscilační frekvence byla nastavena na 52 Hz (úsečka), 50 Hz (kruh) a 107 Hz (atom) pro fixaci maximální aktuální rychlosti spotu (500 mm·s⁻¹).

Přestože základní oscilační módy (úsečka, kruh) vedou k přibližně stejnému rozložení výsledné hustoty výkonu (obr. 2), aktuálně vnášené teplo, a tedy i tvary svarů se liší. Svary navíc nemusí být konzistentní v celé svojí délce, a proto odhad jejich průřezu musí vycházet pouze z lokální distribuce hustoty výkonu vypočtené integrací v krátkém úseku, nikoliv po celé délce svaru (obr. 3). Volbou objemnějšího Gaussovského svazku představujícího tepelný zdroj je dále kompenzována absence vedení tepla v modelu.



Obr. 2: Oscilační módy, odpovídající trajektorie, aktuální vnášené teplo a výsledné distribuce hustoty výkonu.



Obr. 3: Distribuce lokální hustoty výkonu (červená) pro oscilační módy a) úsečka, b) kruh, c) atom s odhadem tvaru svaru (žlutá).

Je zřejmé, že svařování s oscilací svazku nemusí probíhat pouze v kondukčním režimu. Díky vhodně zvolenému oscilačnímu módu a jeho parametrům je možné dosáhnout i hlubokého průvaru. Svary mohou být kompaktní, s putujícím kořenem nebo s více kořeny v závislosti na požadovaném zadání.

Poděkování: Tento výzkum se realizoval s podporou projektů AV ČR Strategie AV21 „Světlo ve službách společnosti“ a RVO:68081731.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Laserové svařování a dělení materiálů
- Diagnostika laserového svařování
- Hybridní svařování laser-TIG, laser-MIG
- Navařování a 3D tisk kovů metodou WAAM

STRUKTURÁLNÍ BARVY A HOLOGRAMY

Ivan Tarant

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

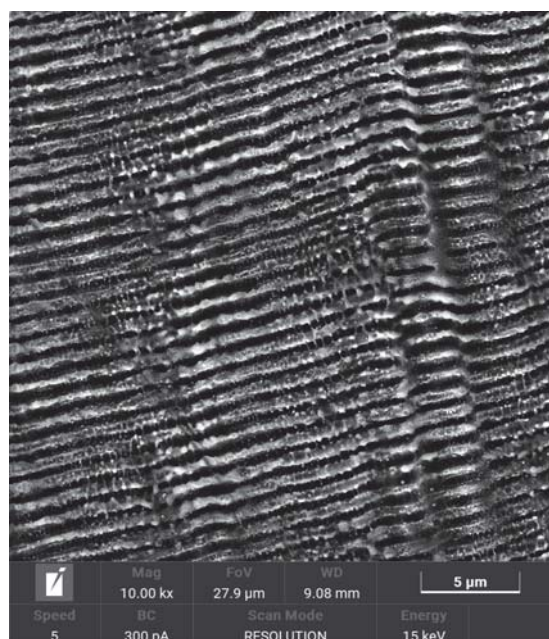
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Břehová 7, 115 19 Praha 1



Obor: Laserové mikroobrábění

Laserové obrábění je v současnosti mimořádně užitečným nástrojem pyšícím se širokým spektrem uplatnění. Pomineme-li již dobře známé laserové řezání či sváření, které je dnes v průmyslu zlatým standardem, díky značnému pokroku v dosažitelné úrovni detailu a délce pulzu je možné obrábění materiálů přenést i do mikro- nebo nano- rozměrů. Právě kvůli škálovatelnosti této technologie je nyní možné materiály vybavovat nejrůznějšími povrchovými úpravami, ovlivňujícími například jejich smáčivost, tření, případně optické nebo anti-bakteriální vlastnosti. Srovnatelných modifikací materiálů je sice možno docílit i litografickými metodami, avšak narozdíl od nich je přístup užívající laserové ablace mnohokrát snazší a principiálně není nutná aplikace zpravidla nebezpečných chemikálií, jako je tomu například v případě MoCVD.

Laserové mikro- a nano- obrábění často užívá dvou přístupů pro tvorbu povrchových struktur. První je tvorba tzv. LIPSS (Laser Induced Periodic Surface Structures), což jsou periodické struktury na povrchu materiálu buď s periodou odpovídající vlnové délce užitého záření (tzv. LIPSS s nízkou prostorovou frekvencí) nebo s periodou struktury, která je poloviční nebo menší, než je vlnová délka záření (LIPSS s vysokou prostorovou frekvencí). Mechanismus vzniku LIPSS je však velice složitý, proto vykazují takto vyrobené struktury jistou míru nepravidelnosti, kterou je ale možno dále ovlivňovat dalšími procesními parametry pro zvýšení konečné kvality.



Druhý přístup používá tzv. DLIP (Direct Laser Interference Patterning), který se zakládá na vzájemné interferenci dvou a více koherentních svazků. Takto získaný interferenční obrazec potom představuje tvar struktury, kterou má být materiál obroben. Narozdíl od LIPSS je tedy potřeba více optických prvků, avšak mechanismus vzniku struktury je triviální.

Obě tyto metody lze vzájemně kombinovat a tvořit tak daleko komplexnější struktury, které zpravidla vykazují vylepšené vlastnosti oproti strukturám jednodušším.

Hlavním tématem tohoto vstupu bude metodika přípravy difrakčních mřížek pomocí LIPSS a DLIP pro zápis strukturálních barev nebo hologramů, které jsou realizovány na HiLASE v týmu LMM (Laser MicroMachining). Zvláštní pozornost bude věnována procesu optimalizace procesních parametrů ovlivňujících tvorbu LIPSS určených pro zápis strukturálních barev nebo holografických efektů.

PRÁH POŠKOZENÍ ZPŮSOBENÉHO LASEREM NA VLNOVÉ DÉLCE 343 NM – VÝZVA 2022

Jan Vanda, Mihai-George Muresan, Martin Mydlář, Kateřina Pilná, Jan Brajer, Tomáš Mocek,

Fyzikální ústav AV ČR, HiLASE Centrum

HiLASE Centrum

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Za Radnicí 828

252 41 Dolní Břežany

www.hilase.cz

Obor: LIDT, práh poškození způsobeného laserem, pulzní lasery, konverze vlnových délek

Jednou ze základních obtíží, které laseroví vědci a inženýři čelí, pokud se rozhodnou pracovat v UV oblasti ultrakrátkých laserových pulzů, je nedostatečná laserová odolnost základních součástek, například dielektrických zrcadel. Motivací této práce bylo zmapovat současnou situaci v oblasti UV laserové optiky a najít výrobce, jehož produkty dosahují nejvyššího prahu poškození laserem.

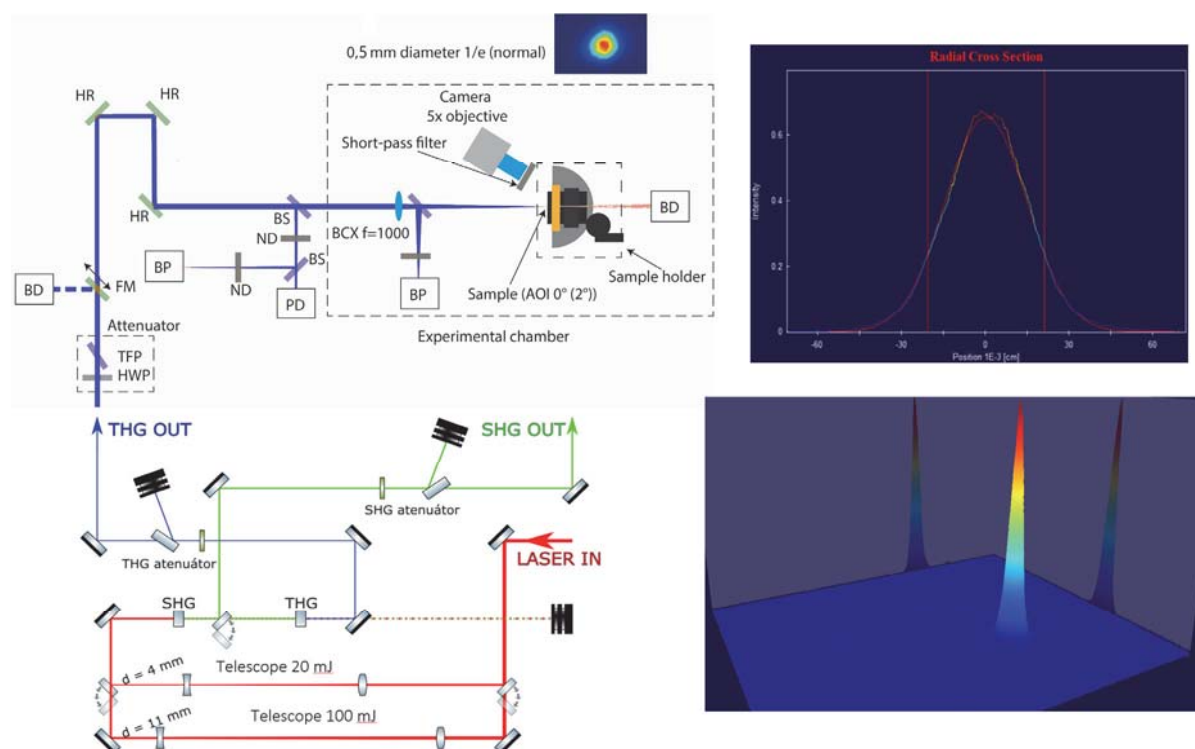
Jako referenční vzorek bylo vybráno dielektrické zrcadlo s průměrem 2" pro vlnovou délku 343 nm (3ω Yb:YAG laserových systémů) pro úhel dopadu 0° . Bylo osloveno celkem deset výrobců laserové optiky v evropském regionu, kteří mají ve své nabídce komponenty pro UV lasery. Hlavní oblastí zájmu byly systémy s vysokým středním výkonem, tj. s vysokou opakovací frekvencí. Proto bylo pro test zvoleno schéma s-on-1 dle normy ISO 21254. Správně provedený test podle této normy poskytne nejen hodnotu prahu poškození konkrétní součásti pro daný počet pulzů, ale lze z něj také extrapolovat práh poškození pro mnohem delší expozice, než které byla součást během testu vystavena. Dalším benefitem využití tohoto schématu je přenositelnost výsledků a shoda s jinými laboratořemi, testujícími dle této normy.

V dále popsáném řešení bylo testováno celkem deset vzorků od šesti výrobců při následujících podmínkách:

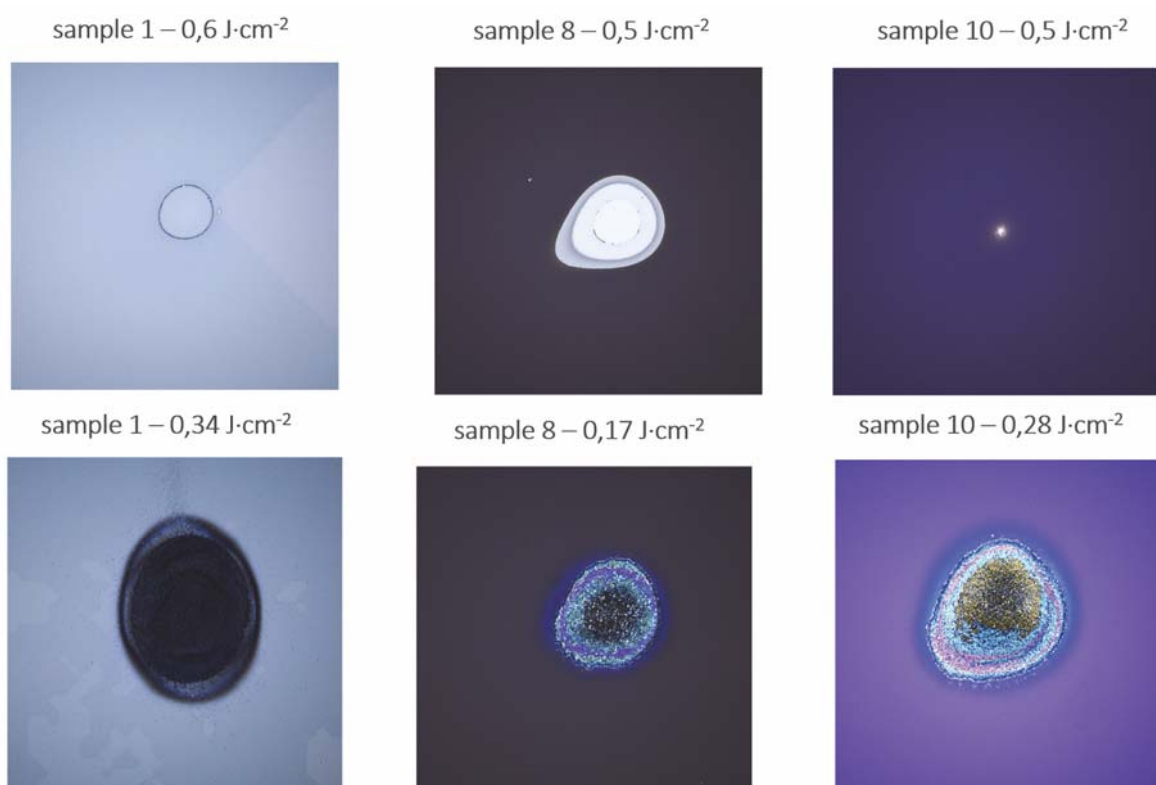
- laserové pulzy o délce 1 ps, opakovací frekvenci 1 kHz a vlnové délce 343 nm
- průměr paprsku v rovině dopadu 0,5 mm, SLM, p-polarizace
- standardní atmosféra, 22 °C, 30 % RH, prostory čistoty ISO 6
- cílový počet pulzů „s“: 10^5 , cílová fluence: $2 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$

Testy proběhly v Centrum HiLASE, v laboratoři měření prahu poškození způsobeného laserem, která je certifikována ISO 9001. K testu byla využita stanice měření prahu poškození způsobeného laserem v kombinaci s CPA laserovým systémem „Perla“ a modulem vlnové konverze (obrázek 1). V použité konfiguraci byl nejnižší měřitelný práh poškození cca $0,05 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$. K analýze otestovaných vzorků a k potvrzení výsledků byl využit laserový skenovací mikroskop Olympus OLS5000 (obrázek 2).

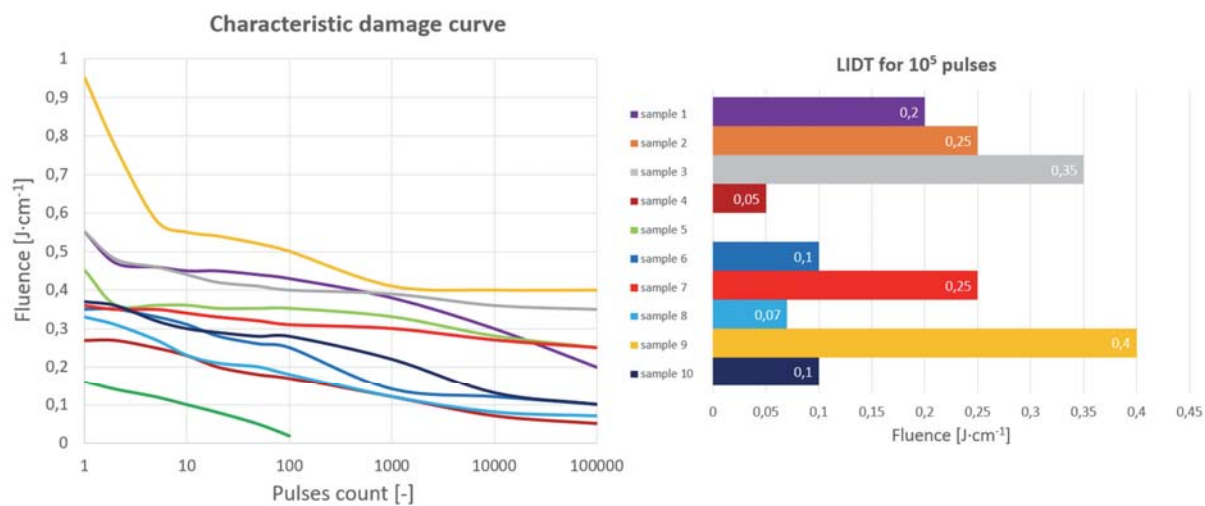
Jak je vidět z výsledků (obrázek 3), cílové fluence nedosáhl žádný z testovaných vzorků. Nejvyššího prahu poškození pro $s = 10^5$ dosáhl vzorek číslo 9 ($0,4 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$), u jednoho ze vzorků (vzorek č. 5) klesl práh poškození pod minimální měřitelnou hodnotu. Nicméně, u všech vzorků extrapolace prahu poškození pro vyšší počty pulzů „s“ vykazovala nadále klesající tendenci, proto nelze konstatovat, že výsledky získané v rámci měření jsou konečné a že testované součásti lze do změřených prahů bezpečně používat.



Obrázek 1: Schéma systému konverze na 2ω a 3ω se schématem stanice měření LIDT (vlevo) a řez a 3D prostorový profil generovaného paprsku s vlnovou délkou 343 nm (vpravo).



Obrázek 2: Morfologie poškození na testovaných vzorcích, získaná pomocí laserového skenovacího mikroskopu Olympus OLS5000. Nahoře: poškození po jednom pulzu ($s = 1$). Dole: poškození po 50 pulzech ($s = 50$)



Obrázek 3: Charakteristická křivka poškození změřeného pro jednotlivé vzorky (vlevo) a výsledky pro $s = 10^5$ (vpravo).

TOMOGRFIE TENKÝCH VRSTEV ZA POMOCI PIKOSEKUNDOVÉHO SONARU

Petra Veselá

Centrum toptec, Ústav Fyziky Plasmatu AVČR, v.v.i.

U Slovanky 2525/1a

182 00 Praha 8

ipp.cas.cz, toptec.eu

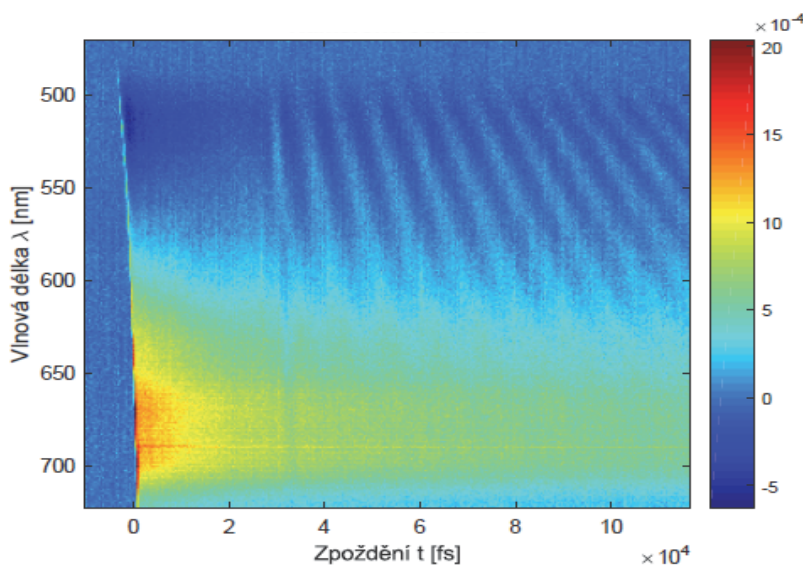
Obor: Ultrarychlá laserová spektroskopie

Studium tenkých vrstev a jejich rozhraní je z praktického hlediska velmi důležité, jelikož jejich kvalita určuje optické a mechanické vlastnosti pokrytí a mohou být kritické v mnoha aplikacích.

Laserový sonar je metoda ultrarychlé laserové akustiky dovolující studovat tenké vrstvy a jejich rozhraní nedestruktivně a s nanometrovou přesností. Silný excitační pulz vybudí akustickou rázovou vlnu ve studovaném materiálu. Její šíření a elastické vlastnosti studované látky jsou monitorovány slabším sondovacím pulzem. Výhodou je celooptická excitace i detekce, zároveň ale může být metoda použita i na opticky neprůhledné materiály.

Na našem pracovišti máme do budoucna ambice obohatit tuto metodu o metody kompresního snímání, což by umožnilo rozlišení i komplikovanějších morfologií rozhraní.

V našem současném příspěvku ukážeme nové výsledky z budované metody. Jedná se zejména o vylepšenou detekci na celé viditelné spektrum za pomoci použití kontinua bílého světla generovaného laserem v Ti-safírovém krystalu. Ukážeme i první výsledky porovnání se simulacemi.



Obr: Signál změny reflektivity sondovacího pulzu zobrazuje šíření akustické rázové vlny ve vzorku SiOxNy tenké vrstvy na křemíkovém substrátu.

HMOTOVÁ SPEKTROMETRIE IONTŮ EMITOVANÝCH Z RŮZNÝCH MATERIÁLŮ OZÁŘENÝCH NANOSEKUNDOVÝMI XUV LASEROVÝMI IMPULZY

Luděk Vyšín

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., oddělení radiační a chemické fyziky
Na Slovance 2, 182 21 (266052670, vysin@fzu.cz)

Obor: Radiační a chemická fyzika

S podporou Strategie AV21 se rozvíjí naše spolupráce s *NSF Engineering Research Center (ERC) for Extreme Ultraviolet Science & Technology* na *Colorado State University (CSU)* ve Fort Collins (Colorado, USA). Jde o špičkové pracoviště v oboru výzkumu, vývoje a využití plazmových zdrojů koherentního XUV/rtg. záření. Tam sestrojený XUV laserový ablační hmotový spektrometr představuje zařízení s velkým aplikačním potenciálem v různých fyzikálních, chemických, biomedicínských, technických a dalších hraničních oborech. Tento přístroj využívá svazku XUV kapilárního laseru (CDL - *capillary-discharge laser*) fokusovaného Fresnelovou zónovou destičkou na submikronovou plošku tak, aby plošná hustota energie vždy převyšovala práh ablace studovaného materiálu indukované jedním laserovým impulzem. Ablací výtrysk z ozářeného materiálu je pak směřován do hmotového spektrometru s měřením doby průletu (TOF - *time-of-flight*) v reflektorné konfiguraci, v němž jsou emitované ionty registrovány a analyzovány. Citlivým krokovým posunováním vzorku vůči XUV svazku dosahuje toto uspořádání vysokého příčného rozlišení. Lze jej tedy provozovat jako řádkovací (skenovací) mikroskop. V tomto příspěvku budou představeny výsledky získané pomocí tohoto zařízení pro nejrozumnější technicky a vědecky zajímavé materiály, např. různé organické polymery, fullerény, amorfni uhlík, CVD diamant, wolfram a jeho slitiny a jiné. Podpora v rámci programu „Světlo ve službách společnosti“ (Strategie AV21) umožňuje efektivní zapojení studentů do využívání tohoto unikátního přístroje.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Radiační chemie
- Hmotová spektrometrie
- Plazmové XUV lasery a jejich aplikace

MAPOVÁNÍ GENERACE DRUHÉ HARMONICKÉ PRO STUDIUM OPTICKÉHO POKRYTÍ

Karel Židek

Výzkumné centrum TOPTEC, Ústav fyziky plazmatu AVČR
Adresa sídla ústavu: Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha, ČR.
Adresa koresp.: Sobotecká 1660, 51101 Turnov
Tel.: +420 776 274 253

Obor: nelineární laserová spektroskopie

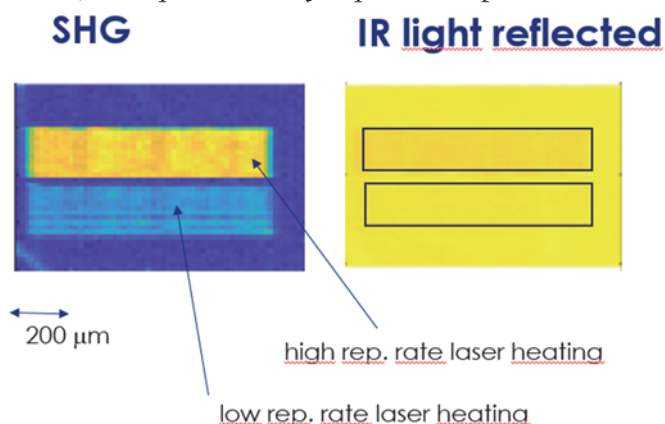
Studium tenkých vrstev je důležité z celé řady důvodů, např. optického pokrytí čoček nebo zrcadel do značné míry určuje odolnost celého elementu. Zatímco charakterizace povrchu je poměrně rozvinutá, určit vlastnosti vrstvy v její hloubce je nepoměrně složitější. Význačnou roli v tomto směru hraje rozhraní substrát-vrstva, které je obzvláště zranitelné z hlediska poškození vrstvy.

Nelineární optika poskytuje v tomto směru výjimečné vlastnosti. Konkrétně, generace druhé harmonické (SHG, angl. second-harmonic generation) jako nelineární jev 2. řádu. SHG je v objemovém materiálu s inverzní symetrií – což je většina optických materiálů – velmi slabá. Oproti tomu, rozhraní takových materiálů je velmi účinný zdroj druhé harmonické. SHG může tedy sloužit k efektivnímu zkoumání rozhraní v pevných látkách – a to bez ohledu na to, nakolik jsou „hluboko“ pod povrchem vrstvy.

V příspěvku představím pokročilou aparaturu pro měření SHG pomocí femtosekundových pulsů 1028 nm. Při měření dokážeme měnit řadu parametrů (výběr polarizace, úhlu dopadu, konfigurace na odraz/transmisi) a také je možné skenovat SHG po ploše vzorku (rozsah 25x25 mm) s rozlišením 20 μm . Pomocí této aparatury zkoumáme optické tenké vrstvy.

Konkrétně se budu věnovat měření SHG a jejího zesílení na vrstvách Si_3N_4 a SiO_xN_y , kde pozorujeme jev, kdy ozáření tenké vrstvy femtosekundovým laserem mění účinnost SHG. Pomocí komplementárních experimentů jsme byli schopni identifikovat zdroj změn, kterým je změna napětí ve vrstvě.

Zmíním také omezení, která přináší reálný experiment oproti ideálnímu chování SHG.



Obr. 1. Ukázka prostorového skenu generace druhé harmonické na vzorku Si_3N_4 po ozáření dvou segmentů pomocí femtosekundového laseru.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Vzorky s potenciálně zajímavými vlastnostmi při generaci druhé harmonické
- Vzorky tenkých vrstev s kontrolou mechanického napětí uvnitř vrstev
- Měření mechanického napětí vrstev

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

Šlechtitelů 813/21
Holice, 779 00 Olomouc
Tel.: +420 581 243 685



info@optickyklast.cz, petr.prikryl@optickyklast.cz

<https://www.optickyklast.cz>

Český optický klastř je zřízen za účelem zlepšování podmínek pro rozvoj optického (světelného i elektron-optického) průmyslu v České republice formou spolupráce podniků, veřejného sektoru a vzdělávacího sektoru v celém hodnotovém řetězci oboru optika, optomechatronika, fotonika, optoelektronika a jemná mechanika, včetně související výroby, rozvoje technologií a služeb v dodavatelské a odběratelské sféře.

Členové Českého optického klastřu



SPONZOŘI



www.optixs.cz



Lasery, fotonika
a jemná mechanika

www.mit-laser.cz



www.nwg.cz

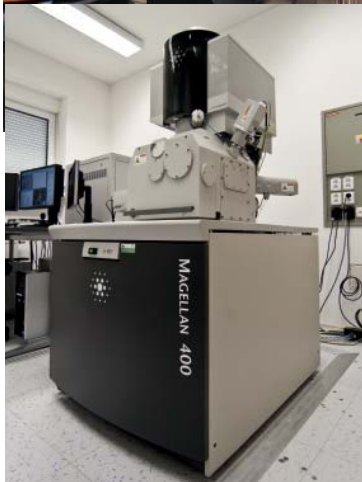
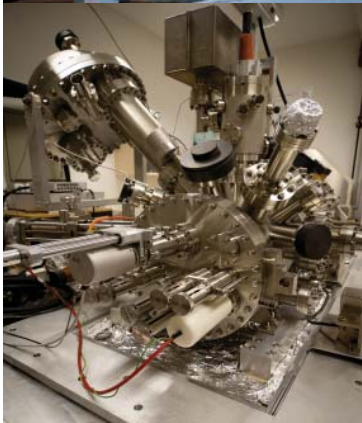


**ÚPT
AVČR**

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

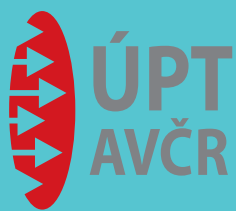
OptiXs



Název: Elektronický sborník příspěvků multioborové konference LASER62
Editor: Bohdan Růžička
Vydavatel: Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno
Vydáno v roce: 2022
Vydání: První
Náklad: ∞

Za obsahovou a jazykovou úpravu odpovídají autoři příspěvků.

ISBN 978-80-87441-31-2



Akademie věd
České republiky

Centrum pro inovace a transfer technologií



Lasery, fotonika
a jemná mechanika



© 2022, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-30-5