



Akademie věd
České republiky

Centrum pro inovace a transfer technologií



měřicí technika - morava
messtechnik - moravia
measurement technic - moravia



Lazery, fotonika
a jemná mechanika



Elektronický sborník příspěvků multioborové konference

LASER57



© 2017, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-22-0

Zámecký hotel Třešť, 8. – 10. listopadu 2017



Elektronický sborník příspěvků multioborové konference

LASER57

Zámecký hotel Třešť, 8. – 10. listopadu 2017

© 2017, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-22-0

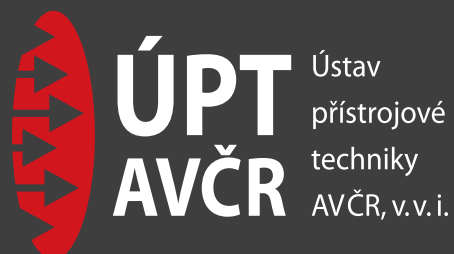
ÚVODNÍ SLOVO

Před 57 lety byl představen veřejnosti první laser. V prvních měsících jeho života nebylo jasné, k čemu je vlastně užitečný a chvíli to vypadalo, že jeho využití bude spíše v kategorii „pouťová atrakce“. Díky podobným lidem jako jste vy, účastníci konference LASER57, pronikl laser do velmi širokého spektra oborů lidské činnosti a dokonce i v běžném životě nás lasery obklopují na každém kroku.

Posouvějme tyto hranice společně ...

V Brně dne 30. října 2017

Bohdan Růžička
a organizační tým



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



Aplikační laboratoře
mikrotechnologií
a nanotechnologií



Laserové svazky zaostřené do makrosvěta i mikrosvěta

Speciální technologie

Elektronová mikroskopie

Kryogenika a supravodivost

Lasery pro měření a metrologii

Elektronová litografie

Pokročilé výkonové laserové technologie

Měření a zpracování signálů v medicíně - MediSIG

Jaderná magnetická rezonance



OBSAH

PŘEDSTAVENÍ FIRMY NARRAN	9
PRODUCTIVE LASER SHOCK PROCESSING	10
ŘEŠENÍ VYSOCE PŘESNÝCH POLOHOVACÍCH SYSTÉMŮ	11
STABILIZOVANÝ LASER PRO SPEKTROSKOPII SE ZCHLAZENÝMI IONTY KALCIA	12
CHARACTERIZING PARTICLE PAIRS OPTICALLY BOUND IN A TRACTOR BEAM	14
ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ OPTICKÉHO SIGNÁLU Z VLÁKNOVÝCH PRVKŮ	16
HYBRIDNÍ SVAŘOVÁNÍ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ	18
MOŽNOSTI DĚLENÍ KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ PULSNÍM ND:YAG LASEREM	20
SPECIÁLNÍ OPTICKÁ VLÁKNA A SENZORY V ÚPT AVČR	22
EXPERIMENTÁLNÍ FLUORESCENČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO DIELEKTROFORETICKÉ TRÍDĚNÍ KAPÉNEK V MIKROFLUIDNÍCH ČÍPECH	24
OPTICKÝ VLÁKNOVÝ SENZOR PRO MĚŘENÍ GRADIENTU TEPLOTY	26
SYSTÉM ADAPTIVNÍHO SMĚROVÁNÍ LASEROVÉHO SPOJE VYUŽÍVAJÍCÍHO SVAZEK OPTICKÝCH VLÁKEN	28
BIONIKA A LASEROVÉ MIKROSTRUKTUROVÁNÍ	30
VYUŽITÍ TERMOGRAFIE PŘI APLIKACÍCH R&D	32
NÁVRH, VÝROBA A MĚŘENÍ OPTOMECHANICKÝCH SOUSTAV PRO DUV APLIKACE	34
ADAPTÍVNE RIADENIE: OD FYZIKY K CHÉMII	36
DETERMINISTICKY APERIODICKÉ OBRAZOVÉ ZAŘÍZENÍ	38
NOVINKY ZE SVĚTA SPECTRA-PHYSICS	40
POKROČILÉ METODY LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ	41
VLIV DVOJLOMU V MATERIÁLU VLNOMĚRU NA MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY	43
INTERFEROMETRICÝ SYSTÉM PRO MĚŘENÍ DEFORMACE TENKÝCH MEMBRÁN	45
FLUORESCENCE A POVRCHEM ZESÍLENÁ RAMANOVA SPEKTROSKOPIE V MIKROFLUIDICE PRO MONITOROVÁNÍ ENZYMATICKÝCH REAKCÍ	47
LASEROVÁ PROCESNÍ OPTIKA NOVÉ GENERACE	50
ODSTRANĚNÍ 2π NEJEDNOZNAČNOSTI REKONSTRUKCE FÁZE ŘEŠENÍM ROVNICE PRO TRANSPORT INTENZITY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE	52
LASEROVÝ STANDARD PRO METROLOGII DÉLKY A ČASU	54
ANALÝZA GEOMETRICKÝCH VLASTNOSTÍ OTVORŮ VRTANÝCH V OXIDOVÉ KERAMICE POMOCÍ PEVNOLÁTKOVÉHO ND:YAG LASERU A KVAZIKONTINUÁLNÍHO YTTERBIOVÉHO VLÁKNOVÉHO LASERU	56
OPTICAL SPIN DRIVEN DYNAMICS OF MICROPARTICLE OPTICALLY TRAPPED IN VACUUM	58
VYUŽITIE METÓD ML PRI ANALÝZE SIMS DÁT LIGNÍNŮVÝCH KOMPOZITOV	60
VLASTOSTI HYBRIDNÍCH LASTIG SVARŮ OCELI S460MC	62
POVRCHY A TENKÉ VRSTVY PRO VÝKONNOU LASEROVOU OPTIKU	64
PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE	

JMENNÝ REJSTŘÍK

Arátor	Pavel	9
Biolková	Viera	28
Brajer	Jan	10
Březina	Petr	11
Čermák	Adam	30
Číp	Ondřej	12 54
Čížek	Martin	12 54
Damková	Jana	14
Eliáš	Josef	16 26
Helán	Radek	26
Horník	Petr	18 41 62
Hrabina	Jan	12 54
Hucl	Václav	12
Chmelíčková	Hana	20 56
Jelínek	Michal	22
Ježek	Jan	14 24 47
Knápek	Alexandr	38
Kočí	Lukáš	16 26
Kolka	Zdeněk	28
Kožmín	Pavel	30
Kuboš	David	32
Lazar	Josef	12 45
Lédl	Vít	50
Lelek	Jakub	34
Lešundák	Adam	12
Lorenc	Dusan	36 60
Matějka	Milan	38
Mikel	Břetislav	22
Moser	Martin	40
Mrňa	Libor	18 41 62
Novák	Jiří	52
Novák	Pavel	52
Peca	Marek	43
Pham Minh	Tuan	12

Pikálek	Tomáš	45
Pilát	Zdeněk	24 47
Pintr	Pavel	50
Pokorný	Petr	52
Pravdová	Lenka	54
Řeřucha	Šimon	12
Řiháková	Lenka	20 56
Straka	Václav	32
Svak	Vojtěch	58
Szöcs	Vojtech	60
Šebestová	Hana	18 41 62
Šifta	Radim	26
Urban	František	26
Václavík	Jan	64
Zemánek	Pavel	14 24 47 58

PŘEDSTAVENÍ FIRMY NARRAN

Pavel Arátor

Narran s.r.o.
Bayerova 802/33, 602 00 Brno
tel.: +420 511 110 511, e-mail: info@narran.cz,
www.narran.cz



Obor: výkonové laserové technologie

Firma Narran existuje na trhu již od roku 2013. Začínali jsme servisem laserů a stále rozšiřujeme naše portfolio.

Co nabízíme?

- zkušenosti s lasery ve vědeckém a průmyslové oblasti
- široké portfolio služeb a produktů
- naše vlastní výroby
- certifikát ČSN EN ISO 9001: 2009
- individuální přístup ke klientům
- rychlé řešení technických problémů
- prodej laserových zařízení, optiky a laserových měřidel
- distributor celosvětových výrobců laserů, optiky (SEI Laser, OptoSigma, Macken Instruments)
- dodavatel náhradních dílů
- prodej přístrojů pro měření laserů NARRAN
- prodej speciálních strojů
- servis laserových strojů
- rychlá reakce na potřeby zákazníků
- poradenské činnosti
- bezpečnostní školení a audity laseru



PRODUCTIVE LASER SHOCK PROCESSING

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

HiLASE Centrum

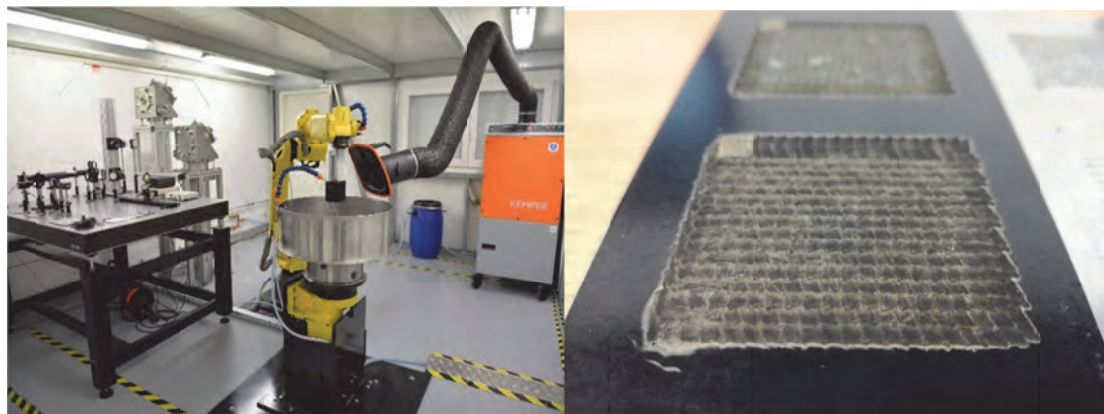
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Za Radnicí 828, 252 41 Dolní Břežany

e-mail: Brajer@fzu.cz, tel.: 736 288 646

Obor: laser shock peening, rázová vlna, vytvrzování povrchu

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



Parametry technologie

Maximální hmotnost dílce :

20 kg (pro speciální případy až 300 kg)

Max. velikost dílce :

1 m

Zpracovávaný materiál :

slitiny titanu, hliníkové slitiny, nerezové oceli

Velikost svazku :

až 3 mm x 3 mm

Produktivita :

až 200 cm²/hod

Výsledky :

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

Metody měření vlastností povrchu:

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

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

ŘEŠENÍ VYSOCE PŘESNÝCH POLOHOVACÍCH SYSTÉMŮ

Petr Březina

OptiXs, s.r.o.

Křivoklátská 37, 199 00 Praha 9 Tel.: +420 607 014 278

E-mail: klecka@optixs.cz

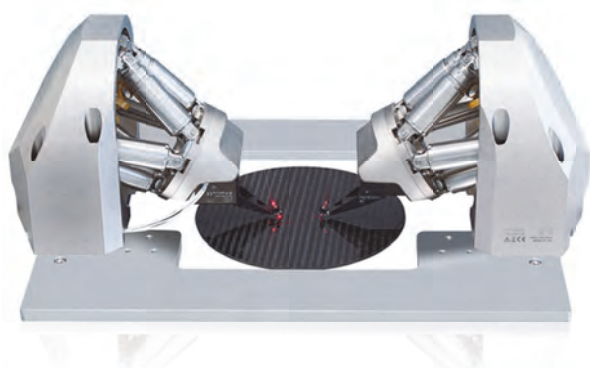


Obor: laserová techniky, nanopolohování, piezo-aktuátory

Společnost OptiXs, s. r. o. se zabývá komplexními dodávkami přístrojové a laserové techniky pro vysoce přesnou metrologii. V oblasti polohování spolupracuje s německým výrobcem Physik Instrumente, jenž patří mezi světové jedničky v oblasti nanopolohování.

Díky obrovským investicím a inovacím v posledních letech se portfolio PI rozrostlo na prakticky všechny myslitelné druhy pohonů a díky tomu je schopno nabídnout řešení počínající piezo aktuátorem a končící komplexním polohovacím systémem čítajícím desítky os kombinujících různé druhy pohonu jako jsou servomotory, krokové motory, lineární magnetické motory a další.

Příspěvek je zaměřen na praktické ukázky řešení polohování pro různá zadání jako je navazování optických vláken ve fotonickém průmyslu, polohování v rtg mikroskopii, automatizaci a další.



Obr 1: Přesný vláknový vyrovnávací systém (6 stupňů volnosti pro polohování vláken a optických komponentů)



Obr 2: Q-845 Q-Motion® SpaceFAB, vysoce přesný polohovací mini-hexapod vyznačující se velkou tuhostí

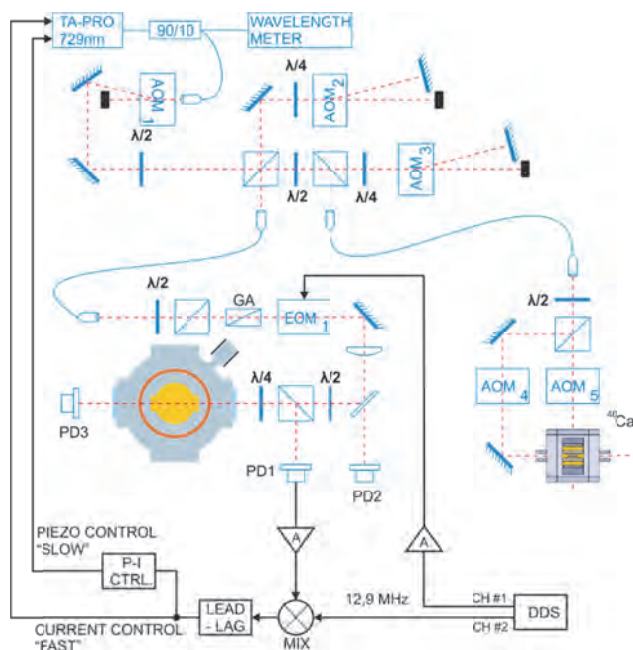
STABILIZOVANÝ LASER PRO SPEKTROSKOPII SE ZCHLAZENÝMI IONTY KALCIA

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

Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i., Oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, Brno, 612 64 Brno, +420 541 514 527, cizek@isibrno.cz

Obor: spektroskopie, stabilizace laserů, PDH metoda

Spektroskopie s vysokým rozlišením prováděná na dopplerovsky zchlazeném iontu zachyceném v elektrické pasti vyžaduje vysoce koherentní excitační laser. Šířka jeho spektrální emisní čáry musí respektovat dobu života excitovaného přechodu. Typicky se jedná o jednotky Hz, neboť doba života excitovaného přechodu bývá minimálně v řádu sekund. Zároveň musí být excitační laser přeladitelný v řádu jednotek až desítek MHz, [1]. Nová generace normálů optických frekvencí – optických hodin – je založena na tomto druhu spektroskopie, proto bývají často takové excitační lasery označovány jako tzv. hodinové lasery. Náš příspěvek přibližuje probíhající vývoj sestavy hodinového laseru pracujícího na vlnové délce 729 nm, která bude využívána pro spektroskopii se zchlazeným zachyceným iontem kalcia $^{40}\text{Ca}^+$ v laboratoři Ústavu přístrojové techniky AV ČR v Brně. Jako primární zdroj koherentního záření je použit diodový laser s externím rezonátorem pracující na vlnové délce 729 nm. Šířka spektrální čáry laseru bez použití stabilizace je cca 300 kHz. Laser je přeladitelný pomocí piezoelektrického aktuátoru v rozsahu cca 10 GHz s max. šířkou pásma modulace 2 kHz. Rychlé jemné ladění v řádu stovek MHz je možné modulací čerpacího proudu laserové diody s šířkou pásma 50 MHz. Na obr. 1 je schéma celé sestavy stabilizovaného hodinového laseru.



Obr. 1: Schéma sestavy pro stabilizaci excitačního laseru na vlnové délce 729 nm. Legenda: AOM – akustooptický modulátor. AOM1 slouží k posunu optické frekvence laseru a ovládání intenzity na vstupu sestavy, AOM2 posouvá optickou frekvenci a ovládá intenzitu laseru na vstupu do rezonátoru, AOM3, 4, 5 posouvají optickou frekvenci laseru pro účely spektroskopie. EOM – elektrooptický modulátor. PD – fotodetektor. PD1 snímá záření odražené na vstupu rezonátoru pro účely PDH metody. PD2 snímá intenzitu laseru na vstupu do rezonátoru, PD3 snímá intenzitu záření vystupujícího z rezonátoru. DDS – obvod přímé

digitální syntézy harmonického signálu generuje budící signál pro EOM a referenční signál pro PDH, umožňuje nastavovat vzájemnou fázi a frekvenci signálů. MIX – dvojitě vyvážený směšovač použitý jako fázový detektor. A – vf zesilovač.

Optická frekvence laseru je pomocí elektronických regulačních smyček zavěšena na vysoce jakostní rezonátor s finesou lepší než 300 000 o šířce módu cca 8 kHz. Kavita rezonátoru je vyrobena z materiálu ULE vyznačujícího se nízkou teplotní roztažností a umístěna v termostatizované vakuové komoře. Celá optická sestava je pak umístěna na aktivní antivibrační podložce v boxu zajišťujícím tepelnou a akustickou izolaci od okolí. Naladění primárního laseru na mód rezonátoru je detekováno Pound-Drever-Hallovou metodou. Ta je založena na fázové detekci poměru postranních pásem laseru vytvořených elektrooptickým modulátorem (EOM) v záření odraženém na vstupu do rezonátoru. Rezonátor se při využití této techniky chová jako fázový diskriminátor. Výstupem z fotodetektoru PD je vysokofrekvenční signál, jehož fázový posun vůči referenčnímu signálu budícímu EOM odpovídá odladění primárního laseru z módu rezonátoru. Elektronická regulační smyčka udržuje tento fázový posun na nulové hodnotě. Regulační smyčka je rozdělena na dvě větve – vysokofrekvenční (rychlou) a nízkofrekvenční (pomalou). Elektronika rychlé větve regulace je tvořena kaskádou operačních zesilovačů realizujících derivačně – integrační kompenzátor. Rychlá větev má šířku pásma cca 10 MHz a jejím úkolem je modulovat proud laserovou diodou a tím způsobovat malé rychlé změny optické frekvence laseru. Pomalá regulace je prováděna digitálním proporcionálně-integračním regulátorem realizovaným v digitálním signálovém procesoru. Pomalá větev řídí napětí na piezoelektrických aktuátorech externího rezonátoru laseru a umožňuje tím provádět velké změny optické frekvence laseru s modulační frekvencí do 2 kHz. Takováto dvoustupňová koncepce regulátoru značně rozšiřuje dynamický rozsah regulátoru na nízkých frekvencích, kde se překrývají kmitočtové charakteristiky obou větví, [2].

Výsledná šířka pásma regulační smyčky je cca 1 MHz. Maximální dosažitelná šířka pásma je redukována délkou vedení optických vláken a koaxiálních kabelů v sestavě a jimi vnášeným zpožděním. Současná měření chybového signálu na vstupu regulačního řetězce a intenzity na výstupu kavity ukazují, že bylo dosaženo redukce šířky spektrální čáry minimálně o 3 řády. Stejnoseměrné napětí na výstupu fotodetektoru měřícího intenzitu na výstupu rezonátoru při stejnoseměrné úrovni 1 V vykazuje zvlnění v řádu jednotek mV, což je již pouze vlastní šum detektoru. Měření frekvence záznamě našeho stabilizovaného excitačního laseru a stabilizovaného hřebene optických frekvencí vykazují fluktuace v řádu jednotek kHz s periodou několika sekund. Tyto fluktuace korelují s akčními zásahy regulátoru teploty kavity. Dalším úkolem bude proto optimalizace regulace teploty. Zároveň bude nutné posunout pracovní teplotu kavity ze současných 12.5 °C směrem k nižším hodnotám (k tzv. zero-crossing pointu), kde je koeficient teplotní roztažnosti materiálu ULE minimální či téměř nulový. Pro konkrétní sestavu je nutno pracovní teplotu najít experimentálně, neboť kromě roztažnosti ULE hraje roli i např. roztažnost uchycení kavity či tenkých optických vrstev na zrcadlech rezonátoru.

Literatura

- [1] Ye, J., Blatt, S., Boyd, M. M., et al. "Precision measurement based on ultracold atoms and cold molecules", International Journal of Modern Physics, D 16 (12b), 2481 (2007)
- [2] Roger van Zee, J. Patrick Looney, "Cavity-Enhanced Spectroscopies", Experimental Methods in the Physical Sciences – Vol. 40, Academic Press, 2003, ISBN 0-12-475987-4

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce: Analogová a digitální elektronika, programování, stabilizace laserů

Poděkování

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

CHARACTERIZING PARTICLE PAIRS OPTICALLY BOUND IN A TRACTOR BEAM

Jana DAMKOVÁ, Lukáš CHVÁTAL, Jan JEŽEK, Jindřich OULEHLA, Oto BRZOBOHATÝ, and Pavel ZEMÁNEK

Institute of Scientific Instruments of the CAS, v.v.i., Královopolská 147, Brno 612 64, CZ
Tel.: +420 541 514 395, E-mail: jdamkova@isibrno.cz, WWW:
<http://www.isibrno.cz/omitec/>

Keywords: Optical binding, self-organization, optical force, optical delivery, optical tractor beam, holographic video microscopy

Recently an increasing attention has been devoted to mastering and utilization of a novel technique of optical delivery of micro-objects, called tractor beam. Such beams have a uniform intensity profile along their propagation direction and can exert a negative force on a scatterer, in contrast to the familiar pushing force associated with radiation pressure. Resulting force then pulls the scatterer towards the light source. The particle movements can be even more enhanced by long-range interaction between illuminated objects, called optical binding. We study optical binding between two microparticles in various geometrical configurations and investigate their motional behaviour in tractor beam. We demonstrate that motion of two optically bound objects in a tractor beam strongly depends on their mutual distance and spatial orientation. Such configuration-dependent optical forces add an extra flexibility to our ability to control matter with light. Understanding these interactions opens the door to new applications involving the sorting or delivery of colloidal self-organized structures. In our study we performed holographic video microscopy technique by introducing coherent illumination to determine 3D particle positions and we model the optical forces and particle movements by numerical simulations based on the exact theory of multiple particle Mie scattering and Rayleigh-Sommerfeld Back-propagation method.

To verify the concept of the tractor-beam experimentally, we recently designed a configuration that uses a wide Gaussian beam retro-reflected on a dielectric mirror, as illustrated in Figure 1a. The pulling force drags objects along the z -axis, against the overall photon flow direction given by $\mathbf{k} = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2$. Based on the principle of action and reaction, the transfer of momentum leads to this backward movement of the objects if the photons are dominantly scattered towards the z -axis and in the geometry of Figure 1 propagate against the z -axis. Tractor-beam properties for a single particle have been already comprehensively analysed, so we focus here on the case of two optically self-arranged and bound objects. We experimentally observed that under certain circumstances, the pulling force can be significantly enhanced comparing to a single particle in the tractor beam. In Figure 1b and 1c we show that depending only on the spatial arrangement of two optically bound particles, the particle pair can be pushed or pulled even if all the beam parameters remain unchanged. Our experimental observations were supported by numerical calculations that perfectly agreed together in the direction of the particle pair motion.

In addition to rigorous calculations and experimental observations, we introduce an intuitive picture of the mechanism of pulling and pushing of the pair of particles. Understanding the underlying physical mechanisms opens new opportunities in a controllable light-driven self-organization, sorting and transport of colloidal matter.

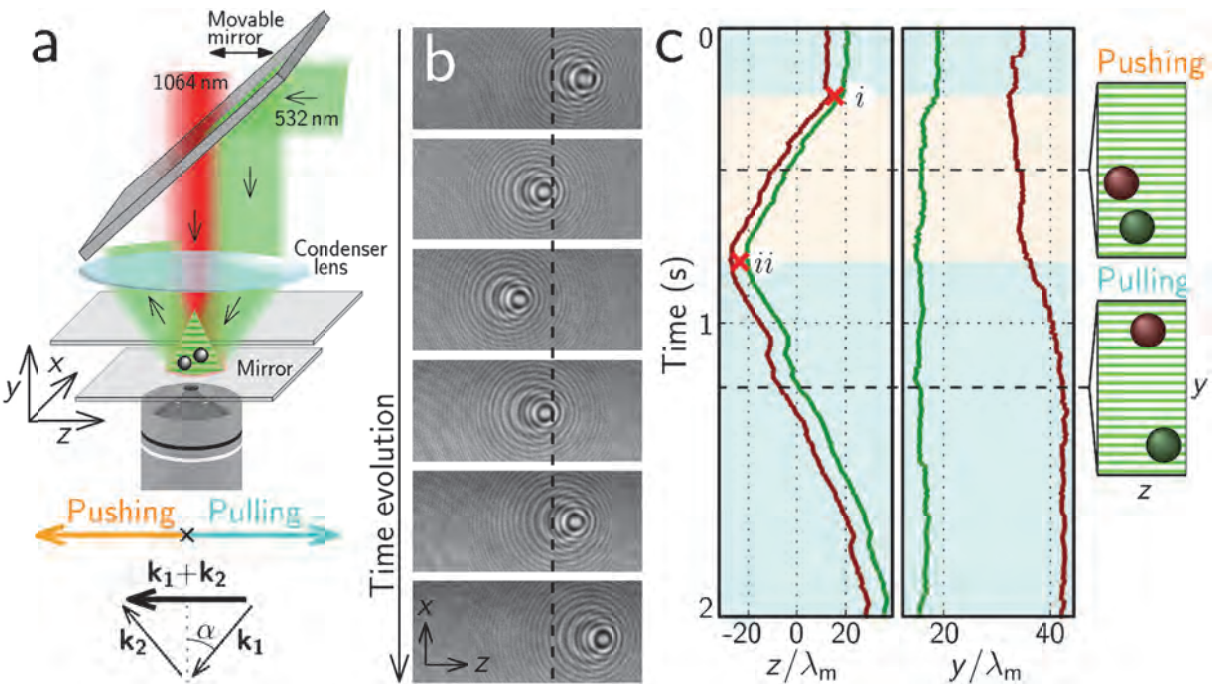


Figure 1: a) Experimental setup – tractor beam ($\lambda_0 = 532 \text{ nm}$, incident angle $\alpha < 4^\circ$, incident power $P = 3.5 \text{ W}$, green beam) and holographic video microscopy ($\lambda_0 = 1064 \text{ nm}$, red beam). b) Hologram sequence of two optically bound 820nm polystyrene particles far from the mirror and c) their trajectories in z- and y-axes. During experiments, all beam parameters remained unchanged.

REFERENCES

Oto Brzobohatý, Vítězslav Karásek, Martin Šiler, Lukáš Chvátal, Tomáš Čižmár, Pavel Zemánek, *Nat. Photon.* **7**, 123 (2013).

Oto Brzobohatý, Tomáš Čižmár, Vítězslav Karásek, Martin Šiler, Kishan Dholakia, Pavel Zemánek, *Opt. Express* **18**, 25389 (2010).

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was supported by the projects of CSF (GA14-16195S), TACR (TE01020233) and its infrastructure by MEYS CR, EC, and CAS (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, RVO:68081731). JD was supported by Brno Ph.D. Talent program.

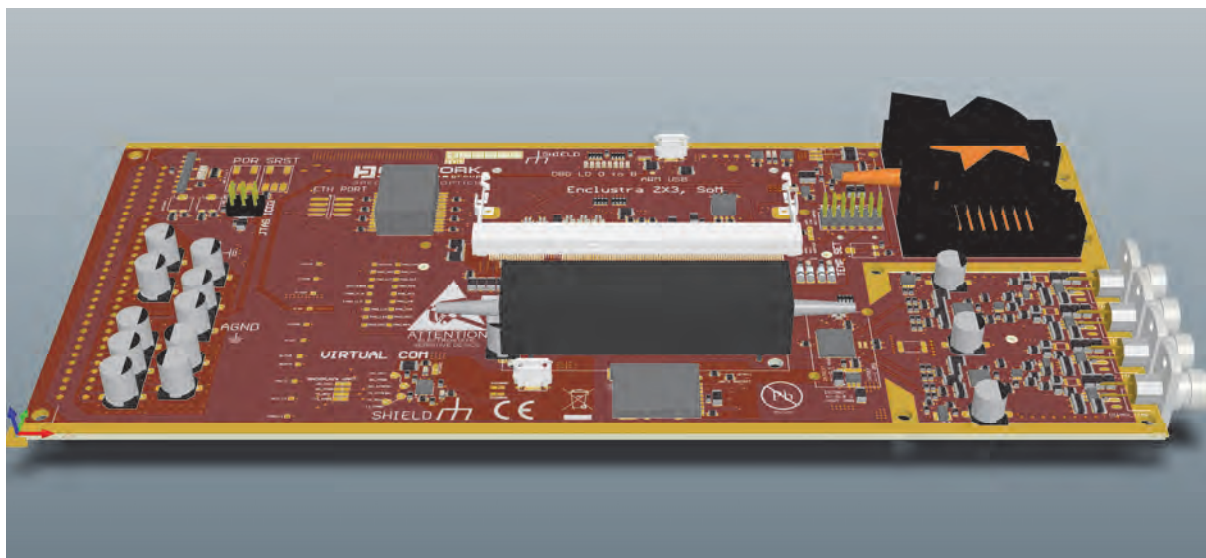
ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ OPTICKÉHO SIGNÁLU Z VLÁKNOVÝCH PRVKŮ

Josef Eliáš, Lukáš Kočí

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT Brno, ústav mikroelektroniky
Technická 3058/10, 616 00 Brno, xelias10@vutbr.cz, www.umel.feec.vutbr.cz

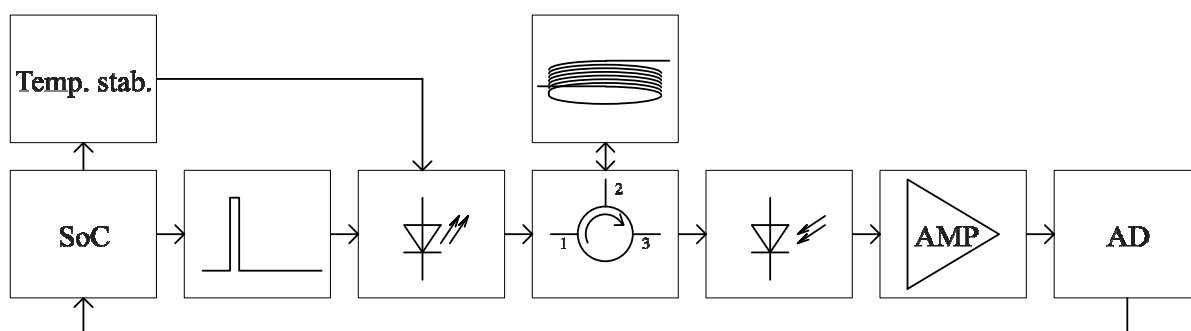
Obor: Analogová a digitální elektronika, spektrometrie, vláknová optika

Tento článek představuje práci vědecké skupin působící na ústavu mikroelektroniky VUT Brno. Zabýváme se rychlým zpracováním a generováním optického signálu pro speciální vláknové měřicí přístroje. Pro tyto účely vyvíjíme vlastní AD-DA měřicí karty umožňující generování a synchronní akvizici dat o rychlosti až 210 MSPS a rozlišením 16 bitů. Nejčastější uplatnění nacházejí naše karty jako součást systémů pro vyhodnocování optického spektra, nebo jako optický reflektometr (OTDR). Příklad takovéto karty je na Obr.



Obr. 2 AD-DA karta pro zpracování optického signálu

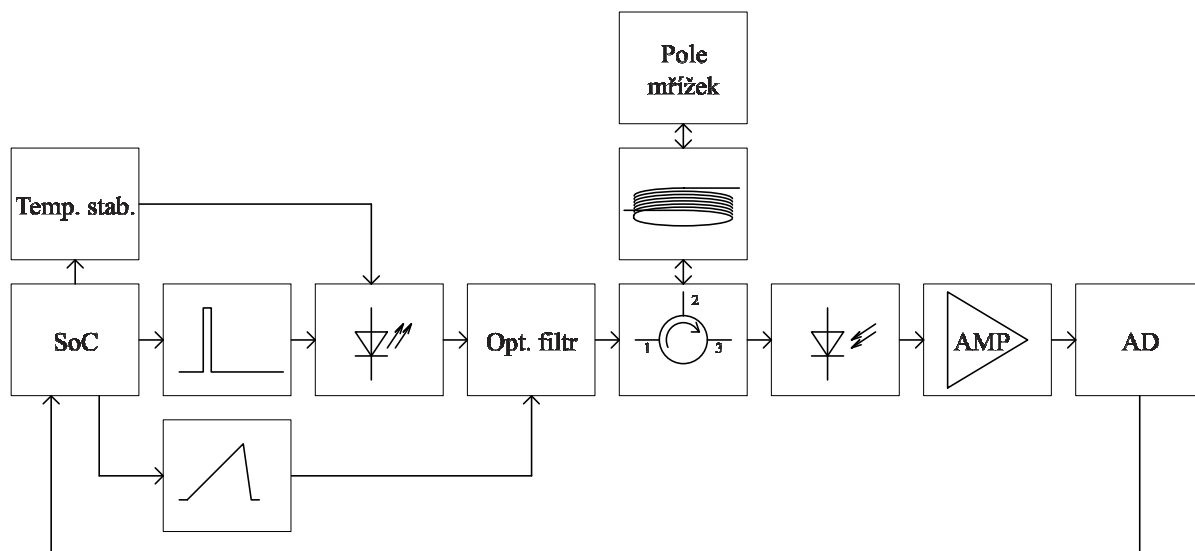
2. Karta slouží jako základní a zdrojová deska pro SoC modul Mars ZX-3 firmy Enclustra. SoC modul má dostatečný výpočetní výkon i pro složité matematické a statistické operace. Deska kromě AD a DA převodníků obsahuje fotodetektory a obvody stabilizace teploty a řízení laserové diody, podpůrný mikrokontroler pro nastavování, programování a podpůrnou komunikaci s uživatelem.



Obr. 1 Blokové schéma OTDR

Jako příklad využití této karty lze uvést OTDR. Pomocí řídicích obvodů lze generovat krátké optické pulzy a synchronně snímat odezvu připojené optické trasy. Díky ohybům a nehomogenitám ve vlákne budeme dostávat zpět informaci v podobě odraženého optického signálu. Tímto způsobem jsou lokalizovány nehomogenity a chyby na optických trasách. Při dlouhodobém měření lze tento princip použít i pro detekci deformací vlákna způsobenou například přejížděním automobilu nad optickou trasou. Schéma OTDR je na Obr. 1.

Dalším způsobem, jak využít tuto kartu je například optický spektrální analyzátor pro pasivní prvky. Jeho blokové schéma je na Obr. 3. Tato sestava nalézá uplatnění při



Obr. 3 Schéma optického spektrálního analyzátoru s laditelným filtrem

vyhodnocování pasivních optických součástí, jak při analýze jejich vlastností, tak jako vyhodnocovací jednotka pro senzory využívající změny spektrálních vlastností. Jednotku je samozřejmě možné doplnit algoritmy pro zpracování optického signálu a využít jakékoli komunikační rozhraní pro komunikaci s navazujícími přístroji.

Poděkování

Publikace byla podpořena díky projektu FEKT-S-17-3934, Využití nových poznatků z mikro a nanotechnologií pro komplexní elektronické obvody a sensoriku.

Reference

Optical fiber sensors for measurement strain and vibration

Bretislav Mikel ; Radek Helan ; Zdenek Buchta ; Milan Holík ; Michal Jelinek ; Ondrej Cip
Proc. SPIE 9450, Photonics, Devices, and Systems VI, 94500G (January 6, 2015); doi:10.1117/12.2070480.

First setup of the optical fiber measuring system to monitoring structure health of nuclear power plant

Bretislav Mikel ; Radek Helan ; Zdenek Buchta ; Michal Jelinek ; Ondrej Cip
Proc. SPIE 9286, Second International Conference on Applications of Optics and Photonics, 92864C (August 22, 2014); doi:10.1117/12.2060822.

Sensors and Electronic Instrumentation Advances: Proceedings of the 3rd International Conference, on Sensors and Electronic Instrumentation Advances

Urban, F. Jr.; Helán, R.; Urban, F. Sr.; Kočí, L.; Eliáš, J.
Proc. Sensors and Electronic Instrumentation Advances 1. Moskva: SEIA2017, 2017. s. 191-195. ISBN: 978-84-697-5615- 7.

HYBRIDNÍ SVAŘOVÁNÍ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ

Petr Horník, Hana Šebestová, Libor Mrňa

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

Královopolská 147/62, 612 00 Brno - Královo Pole

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

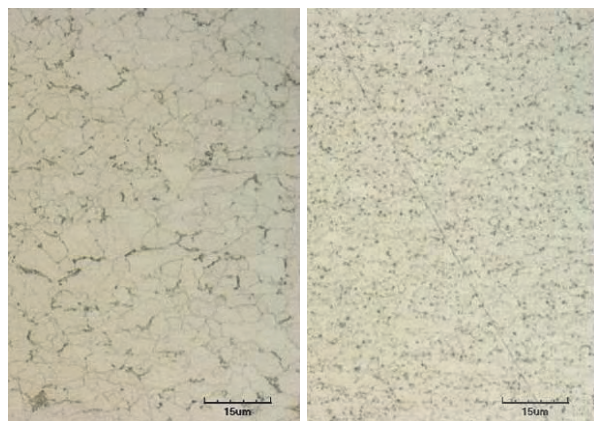
Obor: výkonové laserové technologie

Vysokopevnostní oceli představují významnou skupinu materiálů v oblasti konstrukce automobilů, zemědělských a stavebních strojů, důlních dopravníků či výrobě mostních konstrukcí. Dosahují vynikajících pevnostních charakteristik díky značně jemnozrnné struktuře (obr. 1) zajištěné mikrolegováním a pečlivě kontrolovaným procesem válcování zatepla. Oceli je možné tvářet zastudena a díky nízkému obsahu uhlíku a dalších legujících prvků mají také dobrou svařitelnost s nízkým rizikem tvorby studených trhlin.

Pro zachování jemnozrnné struktury a minimalizaci tepelných distorzí je vhodné svařování technologiemi, které nevnášejí do materiálu nadměrné množství tepla. Laserový svazek je zdrojem s vysokou plošnou hustotou výkonu, díky čemuž se při svařování laserem dosahuje svarů s velkým poměrem hloubky k šířce při úzké tepelně ovlivněné oblasti. Díky vysokým rychlostem ochlazování však může dojít k formaci nežádoucích křehkých fází zvyšujících náchylnost k tvorbě trhlin. Laserové svařování je rovněž značně citlivé na přípravu svarových ploch. Šířka mezery mezi spojovanými díly musí být dostatečně malá, aby jí úzký laserový svazek neprošel, aniž by došlo k vytvoření svarového spoje.

Hybridní svařování je technologie synergicky spojující konvenční metody obloukového svařování se svařováním laserem, případně plazmatem. Laserové svařování kombinované se svařováním netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (TIG) se označuje jako LasTIG svařování. Mezi jeho hlavní přednosti patří zejména snížení teplotních gradientů, a tím redukce tvorby zákalných mikrostruktur v tepelně ovlivněné oblasti, či snadné přemostění styčné mezery mezi svařovanými díly. Přitom je zachována vysoká pracovní rychlost srovnatelná s rychlostí svařování laserem. V závislosti na konfiguraci může TIG působit jako předehřev či dohřev.

Při experimentech byl použit vláknový laser IPG YLS 2000 a svařovací hlava Precitec YW30 s přidaným TIG hořákem (obr. 2), wolframová elektroda předcházela laserový svazek. Byla provedena série experimentů pro studium vlastností hybridních svarů v závislosti na velikosti elektrického proudu TIG hořáku.



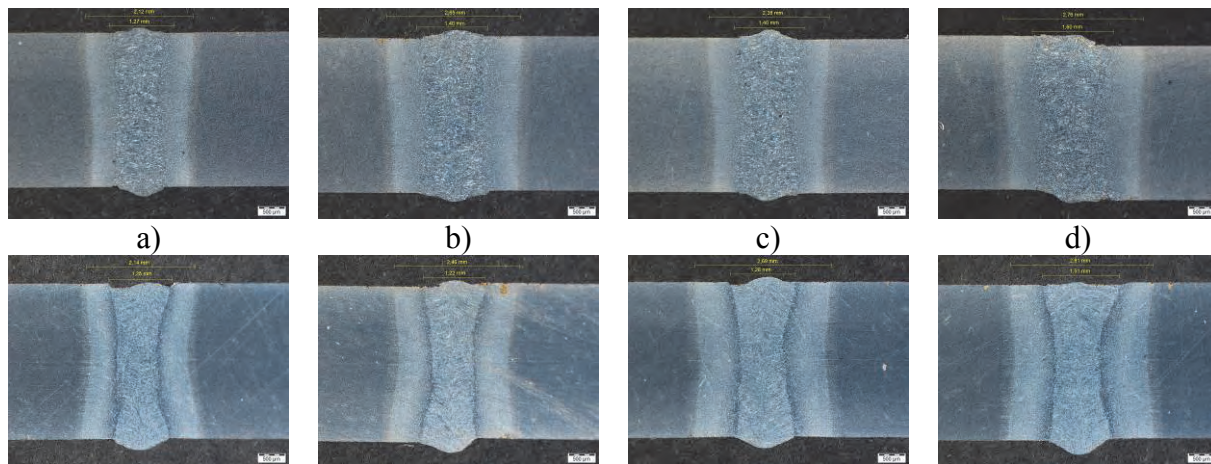
Obr. 1: Jemnozrnná mikrostruktura oceli S460MC (vlevo) a S700MC (vpravo).



Obr. 2: Experimentální sestava hybridního LasTIG svařování.

Svařovanými materiály byly vysokopevnostní oceli S460MC a S700MC. Ocelové plechy tloušťky 3 mm byly svařeny natupo při konstantním výkonu laseru 1,5 kW a svařovací rychlosti 20 mm.s⁻¹. Jako ochranný plyn byl použit argon o průtoku 18 l. min⁻¹ koaxiálně s laserovým svazkem i wolframovou elektrodou. Jedinou proměnnou byl svařovací proud TIG, a to 0 A, 20 A, 40 A a 60 A.

Pro hodnocení rozměrů a mikrostruktury svaru byly připraveny metalografické výbrusy příčných řezů svarů. Srovnání laserového svaru (0 A) a hybridních svarů je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3: Struktura LasTIG svarů S460MC (nahore) a S700MC (dole) při svařovacím proudu a) 0 A, b) 20 A, c) 40 A a d) 60 A (velikost měřítka 500 µm).

U všech provedených svarů bylo dosaženo úplné penetrace. Došlo k difúznímu spojení svařovaných dílů bez přítomnosti pórů, trhlin či jiných významných defektů uvnitř svarového spoje. V případě oceli S700MC byl pozorován zápal u hlavy svaru a výraznější převýšení jeho kořene. V dalších experimentech bude zřejmě vhodnější použití nižšího výkonu laseru.

S rostoucím svařovacím proudem roste šířka svarů u oceli S460MC, ale v případě oceli S700MC zůstává téměř konstantní. Významný nárůst šířky svaru je pozorován až při proudu 60 A, a to zejména u hlavy svaru, zatímco rozměry kořene svaru jsou velikostí svařovacího proudu ovlivněny jen minimálně. Šířka tepelně ovlivněné oblasti roste u obou materiálů s rostoucím svařovacím proudem. Plocha tepelně ovlivněné oblasti v příčném řezu svarem je pro daný proud u oceli S700MC větší než u oceli S460MC, zatímco plocha samotného svarového kovu je menší. Přitom rozdíly v plochách tepelně ovlivněných oblastí jsou menší než 10 % a klesají s rostoucím proudem. Naopak rozdíly ploch svarových kovů v příčném řezu s rostoucím proudem rostou a dosahují až 25 %. V případě oceli S700MC rostoucí svařovací proud vede k nárůstu rozměrů tepelně ovlivněné oblasti při zachování téměř stejného objemu svarového kovu. U oceli S460MC rostou obě tyto oblasti současně s poměrem plochy tepelně ovlivněné oblasti k ploše svarového kovu přibližně 2:1, u oceli S700MC se tento poměr zvyšuje s rostoucím proudem z 2,3:1 na 2,8:1.

Poděkování

Autoři děkují za podporu TAČR (GAMA TG03010046 "Hybridní svařování LasTIG"). Tato práce vznikla také za podpory MŠMT (projekt LO1212).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

MOŽNOSTI DĚLENÍ KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ PULSNÍM ND:YAG LASEREM

Hana Chmelíčková

FZÚ AV ČR, SLO UP a FZÚ AV ČR Olomouc

17. listopadu 50a, 772 02 Olomouc

tel.: 585631516, hana.chmelickova@upol.cz, <http://jointlab.upol.cz>

Lenka Řiháková

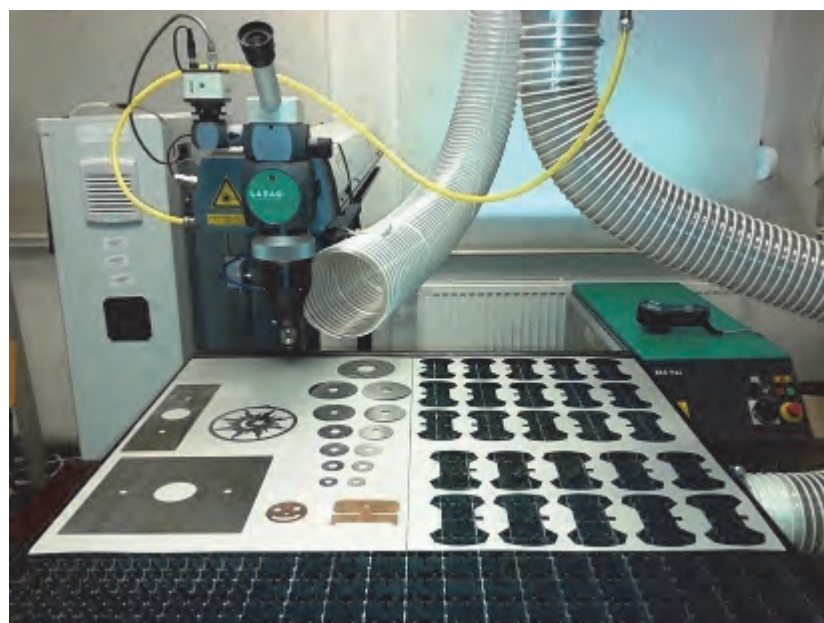
RCPTM, SLO UP a FZÚ AV ČR, PřF UP Olomouc

17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

tel.: 585631677, lenka.rihakova@upol.cz, <http://jointlab.upol.cz>

Obor: laserové řezání, vrtání a svařování, výzkum interakce s materiálem, výuka

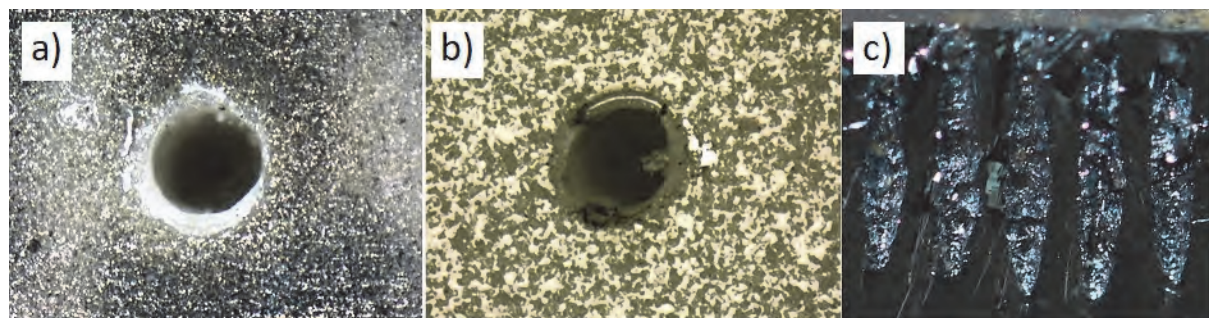
Laboratoř laserových technologií ve Společné laboratoři optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci je vybavena pulsním Nd:YAG laserem o středním výkonu 150 W při stabilní konfiguraci rezonátoru a nižšími výkony do 40 W, resp. do 80 W po nastavení rezonátoru pro řezání, resp. vrtání. Rezonátory mají rozdílný zisk a parametr kvality svazku (*BPP*), kterému odpovídají různé teoretické průměry laserového svazku v ohniskové rovině fokusační čočky $F = 100$ mm a to maximálně $D_{foc} = 0,6$ mm, 0,2 mm, resp. 0,4 mm. Pracovní stůl s funkční plochou 500 mm x 500 mm je upevněn na lineárních posuvech XY, jejichž servomotory zaručují opakovatelnost pohybu 0,05 mm (obr. 1 vlevo).



Obrázek 1: Laserový systém s pulsním Nd:YAG laserem a 2D pracovním stolem (vlevo), porovnání vrtů ve slinuté dlaždici o tloušťce 8 mm pro odstup stop $\Delta x = 0,32$ mm a $\Delta x = 0,16$ mm při testování metody orýsování.

Cílem naší práce bylo optimalizovat proces dělení keramických materiálů o tloušťce do 8 mm. Jako experimentální vzorky byly vybrány oxidová keramika Al_2O_3 , polykrystalický křemík a slinutá dlaždice, rezonátor byl nastaven do konfigurace pro vrtání. V řadě dílčích experimentů byla zjišťována závislost hloubky řezu na rychlosti, procentu překrytí laserových stop a počtu přejezdů po vzorku v režimu řezání. Pro nekovové materiály se však ukázala vhodnější metoda orýsování, kdy je v materiálu vytvořena řada izolovaných, téměř kompletních otvorů (obr. 1 vpravo). Vlivem tepelného pnutí se mezi otvory vytvoří praskliny

a vzorek lze snadno rozlomit podél osy vrtání, pokud je použit optimální odstup mezi stopami. Závislost velikosti průměrů vstupních a výstupních otvorů na energii pulsu byla prověřována pro rostoucí řadu hodnot čerpacího napětí U od 280 V do 370 V s krokem 10 V, kterým odpovídají hodnoty energie v pulsu E od 2,09 J do 4,46 J při konstantní délce pulsu $t_{puls} = 0,8$ ms a frekvenci $f = 10$ Hz. Časová prodleva $\Delta t = 1\,000$ ms zajišťovala dávku 10 pulsů. Dávky pulsů byly opakovány šestkrát s cílem vytvořit kompletní otvory ve všech druzích materiálu, což se nepodařilo pouze v polykrystalickém křemíku o tloušťce 7,5 mm. Po rozlomení křemíkového vzorku byla zjištěna maximální hloubka slepého otvoru 5,65 mm a sledována zřetelná závislost dosažené hloubky na rostoucí energii (obr. 2c). Na mikroskopických snímcích lze pozorovat rozdíl ve velikosti průměru vstupního a výstupního otvoru (obr. 2a, 2b), dokazující kuželovitost otvoru, která byla největší u vzorku oxidové keramiky, kde navíc došlo k výskytu velkého množství taveniny po obvodu mnohdy nepravidelného výstupního otvoru.



Obrázek 2: Vstupní otvor $D_{in} = 429\ \mu\text{m}$, zvětšeno 120x (a) a výstupní otvor $D_{out} = 224\ \mu\text{m}$, zvětšeno 240x (b) ve vzorku Al_2O_3 o tloušťce 8 mm zhotovený rezonátorem pro vrtání. Boční stěna lomu vzorku polykrystalického křemíku o tloušťce 7,5 mm s řadou slepých otvorů s roztečí $\Delta x = 1$ mm a hloubkou $h = 3,37$ mm až 3,73 mm (c).

Pro vytvoření kruhových nebo pravoúhlých tvarů v ploše vzorku byla optimalizována metoda trepanace, kdy překrytí laserových stop na vstupu bylo nastaveno na 60 %. To zajišťuje překrytí výstupních otvorů alespoň 20 % a vytvoření souvislé linie. Uvedené postupy mohou být použity na další druhy nekovových keramických materiálů a jsou využívány v laserové laboratoři SLO pro úpravy funkčních dílů.

Poděkování

Tento článek vznikl za finanční podpory projektu „Funkční tenkovrstvé optické povrchy“, identifikační kód TA04011156.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Kompletní výčet činností Regionálního centra pokročilých technologií a materiálů je uveden na <http://www.rcptm.com/cs/business/services/>. Ve Společné laboratoři optiky v Olomouci nabízíme například:

- Laserové řezání tvarů z ocelí, hliníku, bronzu a mosazi do tloušťky plechu cca 1 mm
- Měření výkonu a energie laserového svazku pomocí sond OPHIR pro pulsní NIR, pulsní 525 nm a VIS max. 3 W
- Analýza profilu kolimovaného laserového svazku pomocí sestavy SPIRICON
- Laserová skenovací konfokální mikroskopie (LEXT)
- Nanoindentační zkoušky

SPECIÁLNÍ OPTICKÁ VLÁKNA A SENZORY V ÚPT AVČR

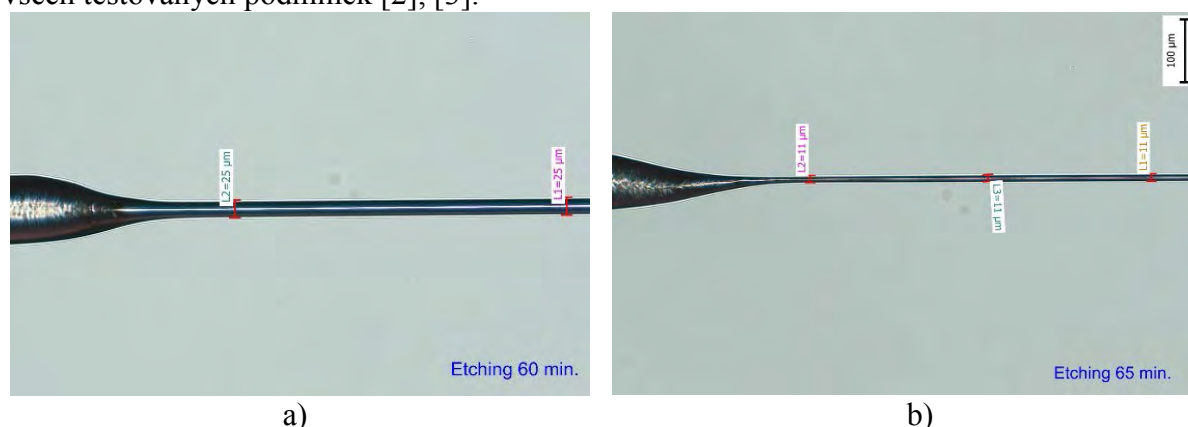
Michal Jelínek, Břetislav Mikel

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

Obor: vláknové svařování, optické vláknové senzory, senzor ionizujícího záření.

Optické vláknové senzory se uplatňují ve stále více průmyslových oblastech. Po obrovském rozvoji optovláknových senzorů využívajících Braggovy mřížky se začínají stále více prosazovat i senzory využívající Ramanův nebo Brillouinův rozptyl a také optovláknové senzory s mikrostrukturními vlákny. Různé typy optovláknových senzorů se v současnosti využívají v mnoha oblastech průmyslu od telekomunikačního, automobilového, leteckého, ropného až po systémy v jaderných elektrárnách a jiných kritických infrastrukturách.

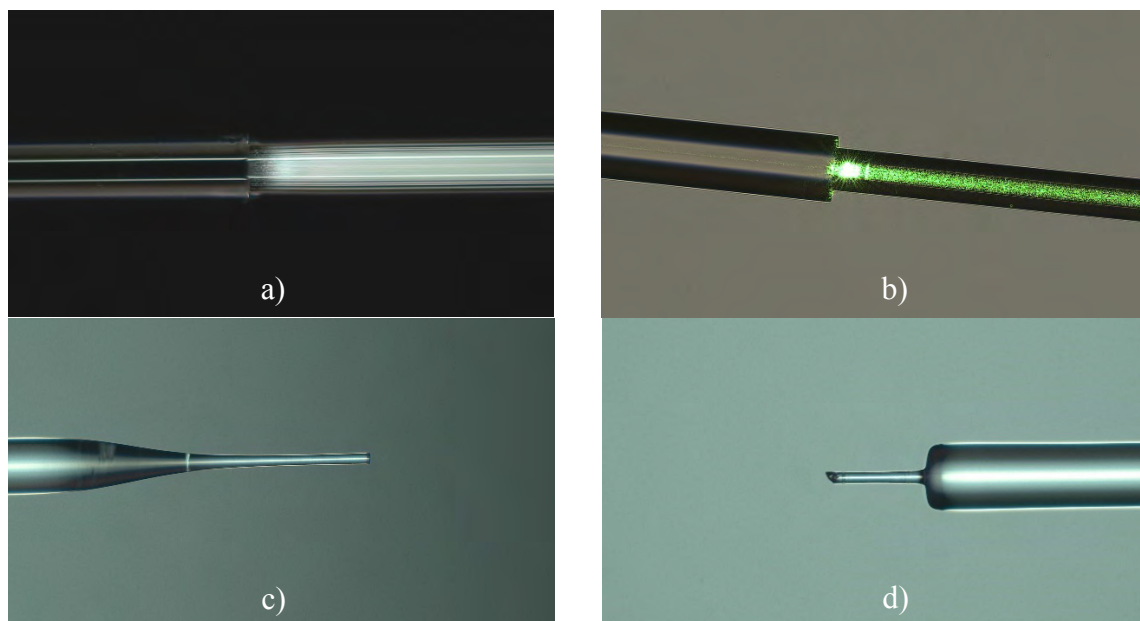
V posledních letech byl v rámci kooperativního výzkumu projektu VG20132015124 oddělení Koherenční optiky ÚPT AV ČR v. v. i., společnosti NETWORK GROUP s. r. o. a ÚJV Řež, a.s. vyvinut měřicí systém pro optovláknové senzory s Braggovou mřížkou a sada těchto senzorů pro měření délkové roztažnosti, teploty, vibrací [1] a tvarových změn. Tento systém byl nainstalován v JE Temelín při srovnávacím měření. V současnosti se jedná o instalaci systému pro kontrolu obou bloků JE. Náš systém jako jediný byl schopen měřit korektně za všech testovaných podmínek [2], [3].



Obrázek 1: SM vlákno leptané v kyselině fluorovodíkové; a) doba leptání 60 min. b) doba leptání 65 min.

Další pokračování výzkumu optických vláknových senzorů v oddělení Koherenční optiky ÚPT je směřováno k senzorům se speciálními optickými vlákny např. PM vlákna a mikrostrukturními vlákny s pevným nebo dutým jádrem. Tyto senzory umožňují navíc měřit koncentraci nebo čistotu kapalin a plynů.

Další část výzkumu je zaměřena na výzkum senzorů pro speciální aplikace zejména pro jadernou energetiku. V první fázi jsme se zaměřili na vývoj senzorů pro měření ionizujícího záření. Pro detekci ionizujícího záření využíváme scintilační materiály $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ a $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$. Tyto materiály převedou ionizující záření na fotony s vlnovou délkou v oblasti viditelného záření [4]. Hlavním cílem je připravit senzor, který bude tvořen křemíkovým optickým vláknem, s odolností vůči vysokým dávkám ionizujícího záření. Nevýhodou scintilačních materiálů je jejich nízká účinnost převodu na viditelné záření a jejich následné navázání do optického vlákna. Tvarováním optického vlákna – leptáním, zužováním, lze účinnost navázání generovaného světla ze scintilačních materiálů zvýšit. Leptání optických vláken provádíme kyselinou fluorovodíkovou, na obr. 1 se nachází fotografie vyleptaných optických vláken s dobou leptání 60 a 65 min.



Obrázek 2: Svařování a tvarování optických vláken; a) Svařené SM vlákno s mikrostrukturálním vláknem HC19 1550. b) Svařené SM vlákno s mikrostrukturálním vláknem HC-532. c) Zúžené MM vlákno ze 125 μm na 25 μm . d) Svařené zúžené MM vlákno se SM vláknem.

S vývojem nových typů senzorů s novými typy optických vláken souvisí i svařování a tvarování optických vláken, viz obr. 2. Na pracovišti ÚPT používáme svařovací automat Fujikura FSM 100P Fusion Splicer. V posledních letech se nám podařilo vyvinout několik speciálních programů, které umožňují realizovat sváry mj. standardních SM vláken, SM vláken s rozdílným průměrem a numerickou aperturou, PM vláken a SM vláken s PM vlákny s útlumem spoje pod 0.6 dB [4]. Navrhli jsme také speciální programy pro spojování mikrostrukturálních vláken se SM vlákny. Podařilo se nám také realizovat technologii uzavírání mikrostrukturálních vláken plněných absorpčním plynem pro použití zejména při stabilizaci frekvence laserů. V oblasti tvarování optických vláken jsme schopni vytvářet tapery na optických vláknech od velmi krátkých (adiabatických) po dlouhé (max. 60 mm) současně jsme schopni vytvářet na koncích optických vláken definované čočky.

- [1] Helán R., at al.: *"Preparation and measurement of TFBG based vibration sensor"*, *Proceedings of SPIE 9450*(2015).
- [2] Mikel B., at al.: *"First setup of the optical fiber measuring system to monitoring structure health of nuclear power plant"*, *Proceedings of SPIE 9286*(2014).
- [3] Jelínek M., *"Design of the method to increasing of accuracy of the tunable optical filter optical spectral measurement"*, Master's thesis, Faculty of electrical engineering and communication department of microelectronics (2016)
- [4] DE ANDRES, A., at al.: *"Highly Sensitive Extrinsic X-Ray Polymer Optical Fiber Sensors Based on Fiber Tip Modification"*, *IEEE Sensors Journal*. 2017, 17(16), 5112-5117.

Poděkování

Výzkum v oblasti senzorů je podporován z projektů: Ministerstva vnitra ČR č. VI20172020099, Grantové agentury České republiky č. GA15-18430S a Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_019/0004506. Publikace byla podpořena díky projektu FEKT-S-17-3934, Využití nových poznatků z mikro- a nanotechnologií pro komplexní elektronické obvody a senzoriku.

EXPERIMENTÁLNÍ FLUORESCENČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO DIELEKTROFORETICKÉ TŘÍDĚNÍ KAPÉNEK V MIKROFLUIDNÍCH ČIPECH

Jan Ježek, Zdeněk Pilát, Filip Šmatlo, Pavel Zemánek

Mikrofotonika, Biofotonika a optofluidika, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, Brno 612 64

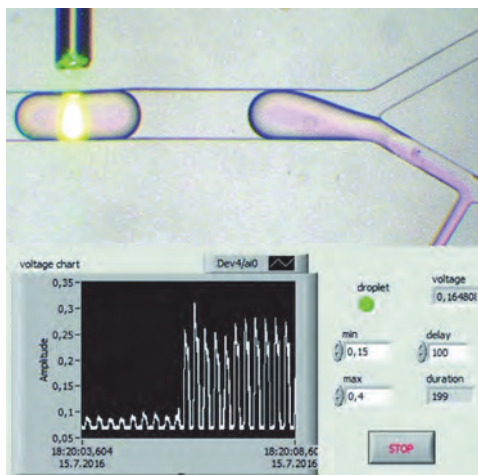
Tel.: +420 541 514 524, E-mail: jezek@isibrno.cz, WWW: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

Obor: Vláknová optika, laserové systémy, mikrofluidní čipy, mikrokapénky, spektroskopie, dielektroforetické třídění

V současné době mnoho chemických a biologických oborů využívá pro své pozorování různé formy spektroskopie. Jednou z nejrozšířenějších metod je fluorescenční spektroskopie. Zároveň se v posledních sedmi letech začaly bouřlivě rozvíjet mikrofluidní techniky, které využívají mikrofluidních kanálků, kterými protéká nosná kapalina, která unáší kapénky o průměru od jednotek po desítky až stovky mikrometrů. Tyto kapénky, nemísitelné s nosnou kapalinou, slouží jako kapalné mikrokontejnery, obsahující analyzovaný vzorek a nezbytné reagenty. Pomocí speciálních mikrofluidních technik lze, např. fúzovat kapénky s různým obsahem (řízené spouštění chemických reakcí), vysokou rychlostí měnit koncentrace reaktantů v kapénce (koncentrační gradienty), třídit kapénky podle obsahu (vytváření nových kmenů buněk), apod.

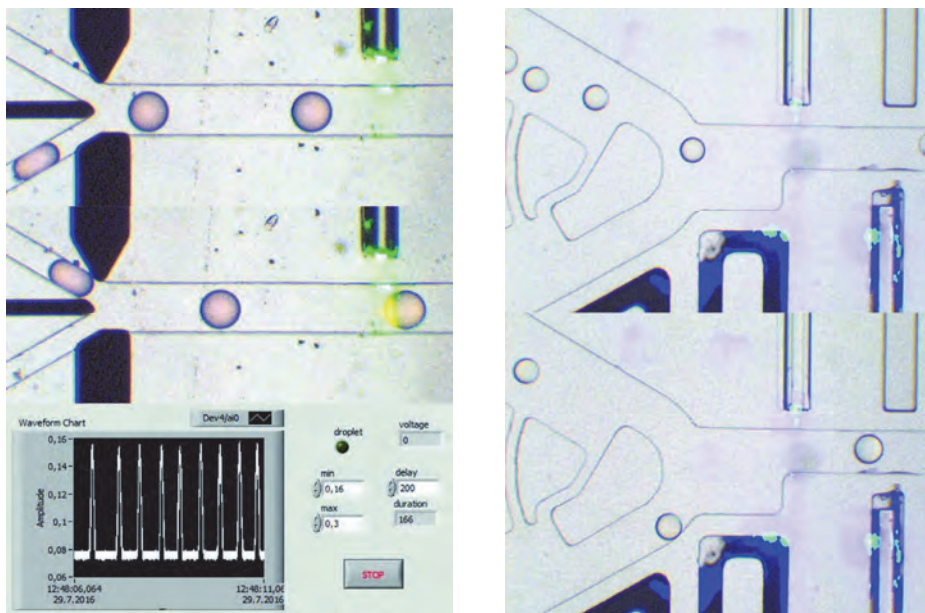
V našem příspěvku představujeme zařízení, které kombinuje vláknovou fluorescenční spektroskopii s dielektroforetickým tříděním kapének v mikrofluidním čipu. Zařízení umožňuje vysokou rychlostí (v řádu kHz) detekovat fluorescenční signál přicházející ze zkoumané kapénky a následně na základě tohoto signálu dielektroforetickými silami změnit výstupní kanálek do kterého bude kapénka směřována.

Zařízení využívá laserovou diodu na vlnové délce vhodné k excitaci fluorescence, sadu filtrů pro excitační a emisní vlnovou délku, optiku pro fokusaci laserového záření do optického vlákna a vysoce citlivou rychlou fotodiodu pro detekci fluorescence. Signál je vyhodnocen počítačem a na základě nastavených parametrů fluorescence je kapénka dielektroforeticky nasměrována do jednoho z výstupních kanálků.



Obrázek 1: Vlevo - Kompaktní systém pro vlnovou délku 532 nm. Laser je uprostřed, nahoře je optické vlákno s kolimační čočkou, dole fotodioda s měřící kartou a mezi nimi dichroidní zrcadlo. Vpravo – Kombinace záběru z CCD kamery na procházející kapénky v čipu a časový průběh fluorescence kapénky zaznamenaný lavinovou diodou pro systém s jedním optickým vláknem. Jasný modrý bod je svazek excitačního laseru.

Detekční část sestavy (viz. Obr. 1) je složena z laseru o vlnové délce 532 nm (máme i variantu pro vlnovou délku 450 nm), laser je odražen dichroidním zrcadlem odrážejícím vlnové délky kratší než 532 nm a fokusován do multimodového optického vlákna s jádrem o průměru 50 μm . Toto vlákno slouží jako excitační a zároveň i pro sběr emisního záření. Emisní signál je po průchodu filtrem zaostřen na fotodiodu s integrovaným zesilovačem (OPT101). Zesílený elektrický signál je veden do A/D převodníku National Instruments a zpracován s využitím LabView Signal Express. Na obrázku 1 vpravo je ukázka měření změny koncentrace barviva v kapénce.



Obrázek 2: Vlevo – Ukázka třídění kapének s využitím Lift-off elektrod. V dolní části je pak časový záznam detekce jednotlivých kapének, směr toku závisí na napětí na jednotlivých elektrodách. Vpravo – Čip určený pro rychlé třídění kapének. Bez zapnutého elektrického pole směřují kapénky do pravého kanálku. Vybrané kapénky se elektrickým impulsem vychýlí a jsou nasměrovány do kanálku levého.

Toto zařízení jsme kombinovali s mikrofluidním čipem, který je v místě za detekčním vláknem rozdělen do dvou kanálků, kolem kterých jsou umístěny elektrody. Tyto elektrody byly vytvořeny buď litograficky metodou Lift-off nebo jsou tvořeny mikrofluidními kanálky naplněnými elektrolytem nebo Woodovým kovem. Kapénky jsou tokem případně elektrickým polem směřovány do jednoho odpadního kanálku. V okamžiku kdy detekujeme kapénku o požadovaném rozsahu intenzity fluorescence, dojde k přepnutí elektrického pole tak, aby kapénka byla nasměrována do druhého sběrného kanálku.

Toto zařízení bude sloužit ke screeningu enzymatických reakcí v kapénkách, k analýze a třídění bakteriálních knihoven, např. pro selekci bakterie, která bude přeměňovat molekuly TCP (1,2,3-trichloropropan) na glycerol pomocí enzymu dehalogenázy.

Poděkování: Autoři děkují za podporu GAČR (GA16-07965S) a MŠMT a EC (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

OPTICKÝ VLÁKNOVÝ SENZOR PRO MĚŘENÍ GRADIENTU TEPLoty

Lukáš Kočí^{1,2}, Josef Eliáš^{1,2}, František Urban^{1,2}, Radek Helán¹, Radim Šifta¹

¹NETWORK GROUP, s.r.o. – Special Fiber Optics

e-mail: l.koci@nwg.cz

²VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

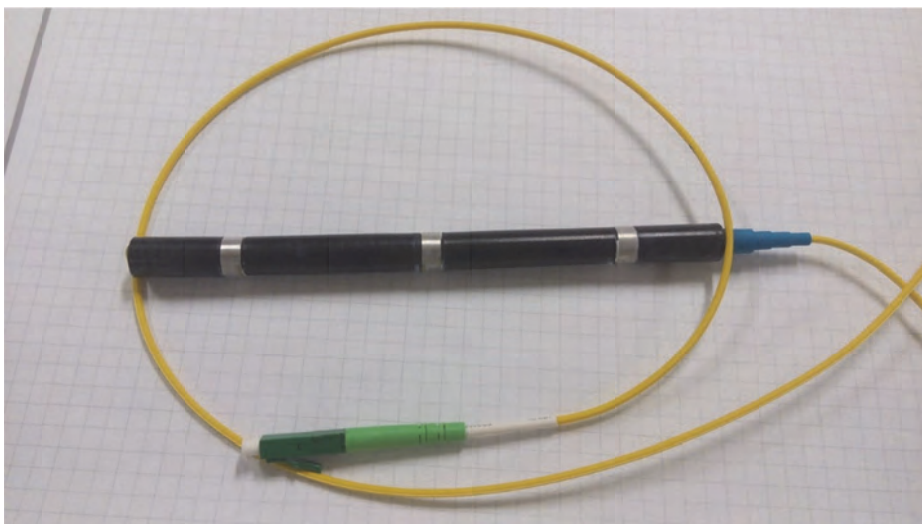
Obor: Výzkum a vývoj optických prvků a senzorických systémů

Dynamicky se rozvíjející společnost NETWORK GROUP, s.r.o. působí na trhu již od roku 1995. Jednou z oblastí působení této společnosti je výzkumně-vývojová divize speciální vláknové optiky.

V současné době společnost disponuje pracovištěm pro výzkum, vývoj a výrobu pokročilých optických vláknových prvků, které jsou využívány k senzorickým účelům především do vyspělých průmyslových aplikací. Stěžejní částí technologického zázemí ve společnosti NETWORK GROUP je pracoviště pro výrobu Braggových vláknových mřížek (FBG) a Fabry-Perotových rezonátorů. Díky možnosti vlastní výroby těchto prvků vyvíjíme celou řadu senzorů neelektrických veličin, jako je např. teplota, tlak, tah, vibrace, náklon aj. Jedním z portfolia nabízených produktů speciální vláknové optiky je senzor pro měření rozložení teploty.

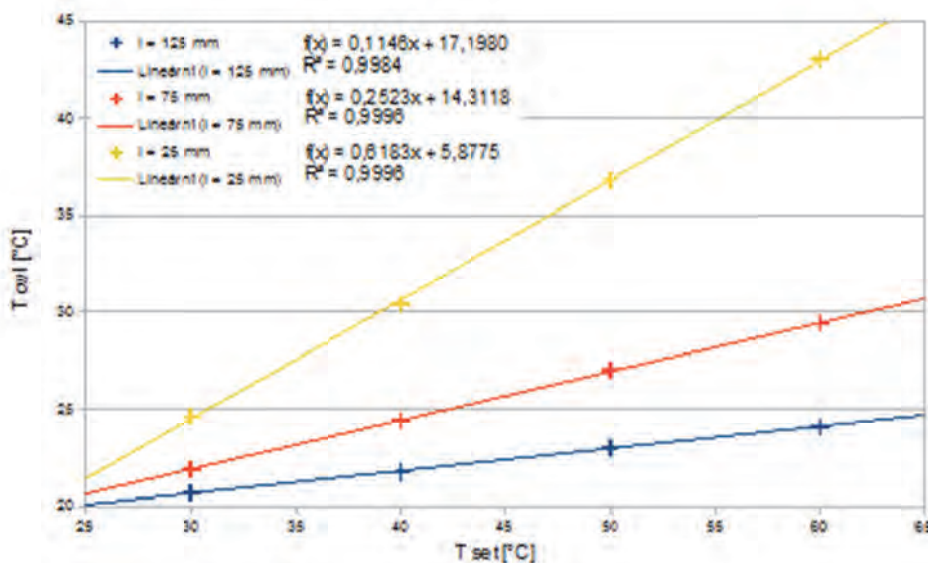
Pro specifické aplikace, například měření rozložení teploty v silných stěnách betonových konstrukcí, je třeba měřit gradient teploty. To může být realizováno měřením absolutní teploty v několika nezávislých bodech a následném vyhodnocení vzájemných rozdílů. V takovém případě je však nezbytné zaručit opakovatelné podmínky-definovanou polohu jednotlivých měřicích míst, identické podmínky přenosu tepla na jednotlivé měřicí elementy, apod. Cílem námi prováděného výzkumu a vývoje bylo nalezení řešení, kdy mohou být měřicí elementy umístěny na jednom přírodním vlákně a zpracovávány simultánně.

Navržen a zkonstruován byl senzor pro měření teploty a gradientu teploty se třemi nezávislými senzory teploty umístěnými v jednom kompaktním pouzdře. Použití senzoru se předpokládá v betonových konstrukcích kritických infrastruktur s pracovní teplotou do 70 °C. Výsledná podoba senzoru je ukázána na Obr. 1.



Obr. 1 Realizovaný senzor gradientu teploty.

Použitím vyrobeného senzoru pro měření gradientu teploty je možné měřit teploty s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rozlišením $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Senzor by kalibrován ve vodní lázni s přesností nastavení teploty $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro co nejpřesnější teplotní kalibraci.



Obr. 2 Průběhy jednotlivých elementů gradientního senzoru.

Vyrobený funkční vzorek byl podroben testu umístěním nad elektrickou topnou desku s nastavenou teplotou T_{set} . Měřeny byly hodnoty T_{cwl} na měřicích elementech gradientního senzoru. Z naměřených hodnot ukázaných na Obr. 2 je patrné, že elementy vzdálenější od zdroje tepla se zahřívají méně než elementy blíže ke zdroji, a dochází tak ke změně gradientu teploty okolí senzoru v závislosti na teplotě.

Parametry:

- Přesnost $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozlišení $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pracovní teplota od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Možnost komplexního řešení s dodávkou vyhodnocovací jednotky.
- Vyhodnocovací software upravený na míru.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

Poděkování:

Popsané výzkumné aktivity jsou podpořené grantovým projektem **TH01011254**.

SYSTÉM ADAPTIVNÍHO SMĚROVÁNÍ LASEROVÉHO SPOJE VYUŽÍVAJÍCÍHO SVAZEK OPTICKÝCH VLÁKEN

Peter Barcík, Zdeněk Kolka, Aleš Dobesch, Otakar Wilfert, Viera Biolková

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav radioelektroniky

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

E-mail: kolka@feec.vutbr.cz

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

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

Obor: Optické komunikace, laserová technika, vlnová optika

Motivací pro využití optické bezkabelové komunikace (OBK) při přenosu informace byly výhody OBK 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 některé 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.). Výzkumný tým na UREL FEKT VUT v Brně věnuje vývoji plně fotonického systému OBK, který kromě přenosu standardních datových signálů může sloužit k i přenosu přesných optických kmitočtů a doplnit tak stávající vláknovou infrastrukturu.

Optický spoj vyvíjený na UREL FEKT VUT v Brně je rozdělen na vnitřní a vnější jednotku. Vnitřní jednotka může být provedena jako opticky transparentní nebo jako E/O převodník pro připojení na klasickou síť (viz. Obr. 1). Vnější jednotka je určena ke generaci několika optických kanálů lišících se svými kvalitativními parametry i svým určením (viz. Obr. 2). Jeden kanál je tzv. signálový (1550 nm) je určen k přenosu vlastního signálu a ostatní kanály (850 nm) jsou směrovací a zabezpečují zavedení signálových fotonů do jádra přijímacího optického vlákna s maximální účinností. Vnější jednotka je koncipovaná jako opticky transparentní. Obsahuje pouze elektroniku pro hrubé a jemné směřování. Vysílaný a přijímaný optický signál je veden optickými vlákny do vnitřní jednotky.



Obr. 1 Experimentální vnitřní jednotka



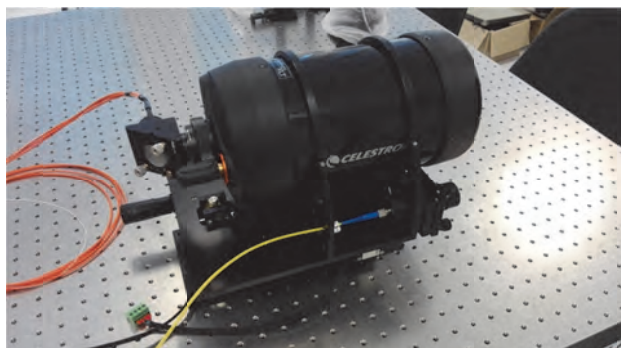
Obr. 2 Experimentální vnější jednotka s optikou Cassegrain

V současné době probíhají experimenty týkající se vývoje dvoustupňového (hrubého a jemného) směrovacího optického systému (Viz. Obr. 3). Pro příjem optických svazků byl

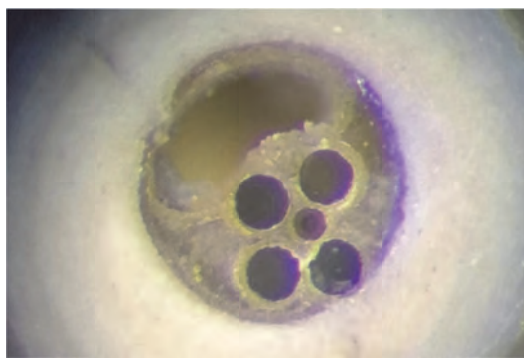
zvolen teleskop Cassegrain – Schmidt s průměrem hlavního zrcadla 125 mm, který se vyznačuje menší sférickou vadou ve srovnání s cenově odpovídajícím čočkovým objektivem stejné velikosti.

Pro **hrubé směřování** se využívají fotodiody rozmístěné v obrazové oblasti symetricky kolem optické osy teleskopu. Úrovně signálů v jednotlivých směrovacích kanálech se zpracovávají v řídicí jednotce spoje a použijí se pro řízení směru vysílaných svazků tak, aby osa signálového svazku svírala a optickou osou teleskopu úhel menší než $6 \mu\text{rad}$. K hrubému směřování slouží platforma s krokovými motorky.

K zajištění optimálního navázání signálových fotonů do přijímacího optického vlákna slouží **jemné směřování** využívající směrovací optické kanály (svazek optických vláken na Obr. 4) a zrcadlo upevněné na MEMS aktuátoru. Čelo přijímacího optického vlákna je umístěno v ohnisku teleskopu. Relativně malý průměr jádra klade extrémní nároky na směřování přijímače za podmínek atmosférické turbulence a otřesů upevňovacích konzol.



Obr. 3 Testování hrubého a jemného směřování v laboratoři



Obr. 4 Svazek optických vláken se signálovým multimodovým vláknem 62,5/125 μm a s 200 μm HCS vlákny určenými pro jemné směřování

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

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

BIONIKA A LASEROVÉ MIKROSTRUKTUROVÁNÍ

Pavel Kožmín; Adam Čermák

HOFMEISTER s.r.o., vývojové oddělení

Daimlerova 9, 301 00 Plzeň

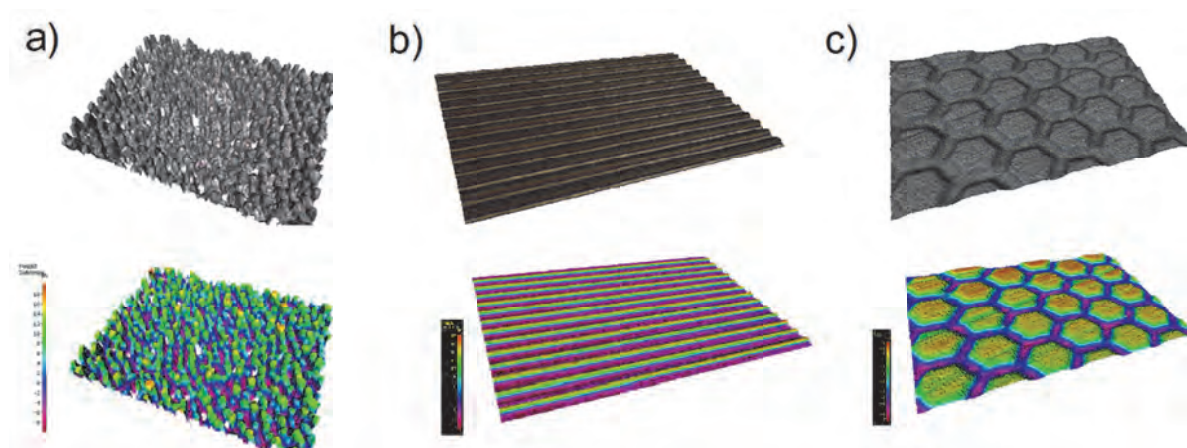
kozmin@hofmeister.cz; vyvoj@hofmeister.cz; www.hofmeister.cz

Obor: mikrostrukturování povrchů, USP laser processing, úprava geometrie řezných nástrojů včetně prototypových vzorů

Obor bioniky se stal inspirací mnoha vývojových celků o napodobení různých prvků vyskytujících se v přírodě. Zvládnutí správné duplikace příkladů z přírody a docílení těch nejbližších a nejvěrohodnějších geometrických tvarů spadá mezi interdisciplinární disciplíny, mezi něž patří i způsob modifikace funkčních povrchů mikrostrukturováním za pomoci laserového mikroobrábění. Využití bionických povrchových mikrostruktur (kůže žraloka, lotosový květ aj.) v různých sektorech průmyslu (strojírenství, medicína, optika, letectví, aj.) se stávají čím dál více aktuálnější.

Takto uměle připravené povrchy se vyznačují např. hydrofilními či hydrofobními vlastnostmi, nízkým koeficientem tření, zvýšenou biokompatibilitou apod. Jednou z metod jejich výroby je prostřednictvím UKP laserů, které se vyznačují vysokými energiemi v pulsu (v řádech MW) a tudíž umožňují ablaci materiálů ve velmi úzké oblasti laserového spotu, což je podmínkou pro dosažení velmi jemných mikrostruktur, jejichž velikosti geometrických detailů se pohybují v řádech jednotek mikrometrů až stovek nanometrů. Vzhledem k velikostem těchto geometrických prvků u jednotlivých mikrostruktur může docházet k určitým výrobním limitacím, které vyplývají z konfigurace použitého laserového systému.

V případě experimentu, který byl proveden pomocí pevnolátkového pulsního laserového zdroje s ultrakrátkou délkou pulsu ~ 12 ps, zeleného záření o 532 nm, $M^2 < 1,3$, TEM_{00} a opakovací frekvenci 0,2 – 1 MHz, byly vyrobeny tři typy mikrostruktur (viz obrázek 1).



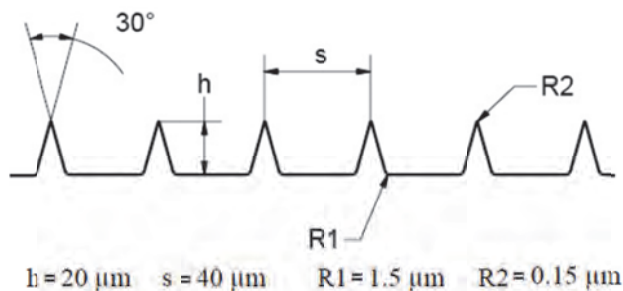
Obrázek 1 Přehled vyrobených vzorů mikrostruktur: a) lotosový květ, b) kůže žraloka, c) včelí plástev

V praxi již byl potvrzen přínos těchto vybraných druhů mikrostruktur, kde např. úprava povrchu dle Obrázku 1c je používána na úpravy tenkých vrstev, jejichž tloušťky dosahují v řádech jednotek mikrometrů. Výsledkem takové úpravy je markantní navýšení životnosti řezného nástroje následkem odlehčení styčné plochy mezi třískou a nástrojem; lepšího chlazení a mazání procesní kapalinou.



Obrázek 2 Opatřený tvarový břit s mikrostrukturou na čele VBD

Velikost a detaily této mikrostruktury jsou v tomto případě omezena možnostmi fokusační optiky a vhodnou volbou procesních parametrů laserového zdroje, kde jsou použity malé energie laserového svazku v řádech desetin až jednotek μJ . Vytvornost některých tvarů (viz Obrázek 1b) je vzhledem ke striktním rozměrům (viz Obrázek 3) náročná, v některých případech s ohledem na použitou konfiguraci daného laserového systému dokonce nerealizovatelná.



Obrázek 3 Rozměry průřezu u vzoru žraločí kůže

Výroba takto jemných mikrostruktur, ve kterých se nacházejí velikosti jednotlivých geometrických prvků v řádech stovek nanometrů, vyžadují novou koncepci laserového systému, jenž bude zahrnovat laserový zdroj s ultrakrátkou délkou pulsu v řádech stovek fs včetně možností variabilní nastavení charakteru laserového paprsku pomocí optické tratě. Nový přístup umožní vytváření vylepšených vlastností bionických mikrostruktur, který bude spočívat ve vhodné kombinaci technologie povlakování a laserového mikroobrábění, čímž se např. může zvýšit otěruvzdornost takto nově vyvinutých povrchových mikrostruktur odhadem o 30% v porovnání se současným stavem.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Vstupujeme i do ostatních oblastí průmyslu: elektroprůmysl, medicínská sféra
- Mikroobrábění pomocí laseru tvarově složitých ploch u různých druhů materiálů (odladění laserového procesu s ohledem na geometrickou a tvarovou přesnost mikroobrábění)
- Měření mikroobrobených entit nebo malých dílců (v řádech mm) s tvorbou metodiky měření a vyhodnocení velmi malých detailů (pod 1mm)
- příprava a realizace řešení konkrétní technologie na míru

VYUŽITÍ TERMOGRAFIE PŘI APLIKACÍCH R&D

David Kuboš, Václav Straka

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



Obor: technik specialista termografie

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

Univerzitní výzkum, výzkumná a vývojová centra, akademie věd

Biologický výzkum

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

Studie rychlých pohybů

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

Infračervená mikroskopie

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

Analýza jevů širokých teplotních rozsahů

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

Testování materiálů, NDT

Únavové zkoušky

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

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

Testování kompozitů

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

Měření fotovoltaických panelů

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

Detekce prasklin

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

Měření mostů

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

Měření elektronických komponentů a DPS

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

Průmyslové R&D

Automobilový průmysl

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

Laboratorní testy v průmyslu

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

NÁVRH, VÝROBA A MĚŘENÍ OPTOMECHANICKÝCH SOUSTAV PRO DUV APLIKACE

Jakub Lelek

Meopta – optika, s.r.o., Oddělení vývoje měřicích metod

Kabelíkova 1, Přerov, 750 02, Česká republika

T: +420 581 243 410 | Jakub.Lelek@meopta.com

www.meopta.com | www.meoptasportsoptics.com | Facebook



A BETTER VIEW OF THE WORLD

Obor: Kontrola a justáž optomechanických soustav

Firma Meopta – optika, s.r.o. se zabývá sportovní, vojenskou i průmyslovou optikou. Součástí portfolia firmy je kompletní návrh optomechanických soustav. Ten zahrnuje vyspecifikování požadavků zákazníka, návrh optického designu, návrh mechanického designu (včetně FEM analýz) a výrobu jak optických, tak mechanických dílů. Samozřejmostí je i vlastní podpora kontroly a měření našich výrobků, ať už v jednotlivých fázích vývoje, tak i celku. S aplikací laseru se pak setkáváme právě především při justáži a měření (jedná se tedy povětšinou o nízké výkony při zobrazovacích aplikacích).

Vzhledem k širokému zaměření firmy je tak možné narazit na široké spektrum laserů. Ve VIS se jedná zejména o He-Ne lasery a pevnolátkové lasery. Silné laserové zázemí je zejména v DUV oblasti (193 nm – ArF excimerový laser, 266 nm pevnolátkové lasery,...) a Meopta má i několik laditelných laserů se spektrem pokrývajícím VIS a NIR.

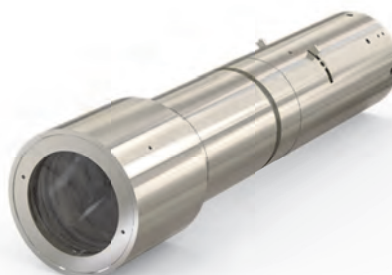
V posledních letech se firma Meopta prosazuje i v oblastech trhu výroby a kontroly integrovaných spojů (výroba mikročipů, pamětí, inspekce waferů, aj.) a výroby displejů (výroba a kontrola FPD – flat panel displays). Produkce pro tuto oblast se v současnosti podílí na třetině tržeb firmy a má i nadále vzestupnou tendenci pro budoucí zastoupení v portfoliu firmy.

V této oblasti produkce jsou kladeny extrémní nároky na přesnost a kvalitu výroby optických a mechanických dílů, stejně tak ale i na montáž a finální produkty. Tyto požadavky se pak přímo promítají i do extrémních nároků na metrologické zázemí, které jsou často nepostihnutelné komerčně dostupnými zařízeními. Ve většině případů totiž postrádají dostatečnou přesnost, pracovní oblast vlnových délek (sahajících do DUV oblasti), tak i přizpůsobitelnost konkrétní soustavě.

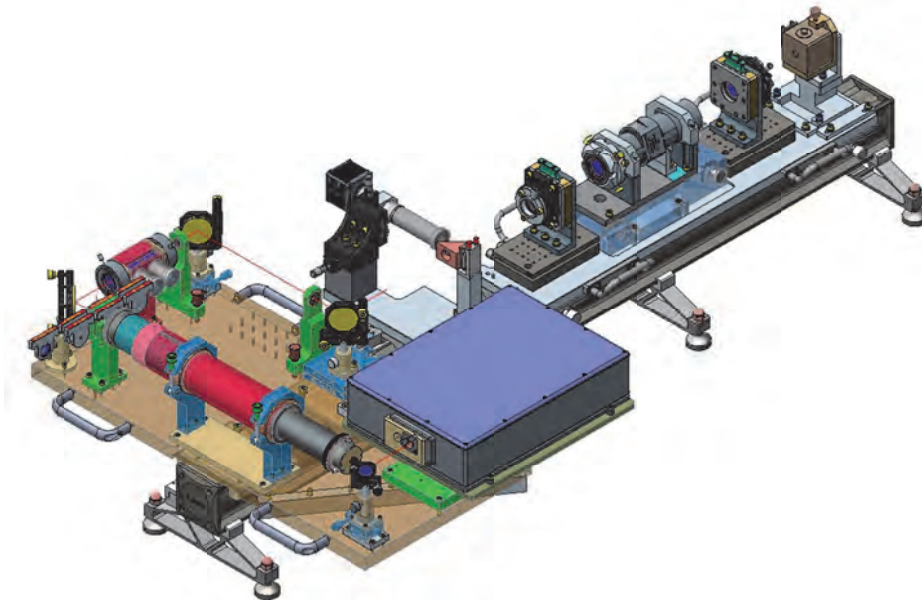
Jedním z příkladů produktu tohoto typu je afokální soustava se zvětšením 2,4995x určená pro vlnovou délku 266 nm. Nastavení probíhá při měření kritických parametrů (RMS průchozí vlnoplochy, zklenutí) v reálném čase.

K tomu je využívána justážní lavice, která byla součástí vývoje skupiny produktů, kam tato soustava spadá. Lavice má modulární uspořádání, které umožňuje snadnou modifikaci pro specifický produkt. Společný základ tvoří především osvětlovací jednotka, resp. laserový zdroj o vlnové délce 266 nm (byly použity kontinuální a pulsní lasery od firmy CryLaS GmbH).

Základem měřicích modulů je senzor vlnoplochy Shack-Hartmannova typu. Firma Meopta má dlouhodobé zkušenosti s tímto typem senzoru. V rámci grantového projektu



Centrum digitální optiky (TE01020229) vyvíjí ve spolupráci s Univerzitou Palackého v Olomouci vlastní Shack-Hartmannovy senzory s ohledem na danou aplikaci (volba kamery a mikročoček podle požadovaného dynamického rozsahu, citlivosti,...), stejně jako sofistikovaný software pro jejich použití. Ten zahrnuje vlastní vyvinuté algoritmy pro vyhodnocení aberací vlnoplochy a standardní zpracování dat včetně častých specifických modifikací, podstatných pro danou aplikaci.



V rámci vývojových aktivit a spolupráce s vědeckými institucemi (Meopta již dlouhodobě spolupracuje jak s českými institucemi, např. univerzitami, tak i zahraničními) prostřednictvím dotovaných projektů dále pracujeme na vývoji zařízení umožňujícího měřit pnutí jak v celkové soustavě, tak i jednotlivých podsestavách. Aktuálně diskutujeme několik možných designů. Cílem je mimo jiné zařízení, které bude snadno přizpůsobitelné cílové aplikaci.

V rámci vývoje tohoto produktu jsme se tak potkávali s problémy jak výrobními (dosažitelné přesnosti výrobních položek – např. nerezové díly v přesnostech 0,001 mm), tak i kontrolními.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Kvalitativní měření optických a optomechanických soustav (interferometrie, senzory vlnoplochy, MTF, PSF,...)
 - Vývoj optomechanických soustav včetně designu, výroby a kontroly
 - Detekce a měření pnutí
-

ADAPTÍVNE RIADENIE: OD FYZIKY K CHÉMII

Dušan Lorenc^{1,2}, Monika Jerigová^{1,2}, Monika Stupavská³, Robert J. Levis⁴, a Dušan Velič^{1,2}

¹International Laser Centre, Bratislava, www.ilc.sk, lorenc@ilc.sk, Slovakia

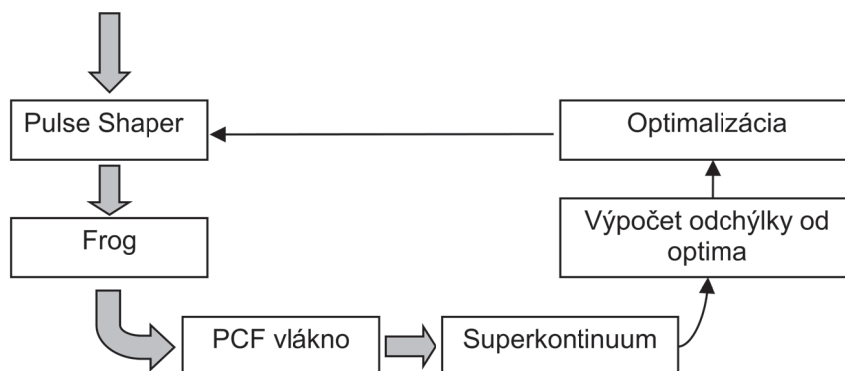
²Department of Physical and Theoretical Chemistry, Comenius University, Bratislava, Slovakia

³Department of Physical Electronics, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, Czech Republic

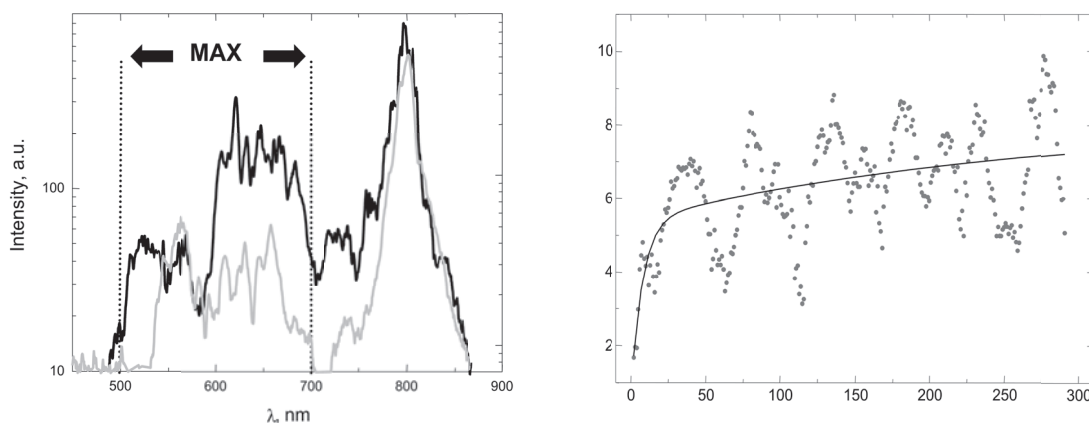
⁴Department of Chemistry, CAPR, Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA

Obor: Laserová postionizácia, adaptívne riadenie, nelineárna optika

Metódy adaptívneho riadenia v súčinnosti s evolučnými/genetickými algoritmi nachádzajú uplatnenie v problémoch s vysokou mierou komplexnosti kde je ťažké nájsť adekvátne fyzikálne resp. matematické modely alebo by bolo riešenie problému nad rámec súčasnej výpočtovej kapacity. V predkladanej práci sme sa zamerali na dva konkrétne príklady, kde sa adaptívne riadenie ukazuje byť atraktívnym prostriedkom: generácia superkontinua vo fotonických mikroštruktúrnych vláknach (PCF) a optimalizácia analýzy v procese laserovej postionizácie.

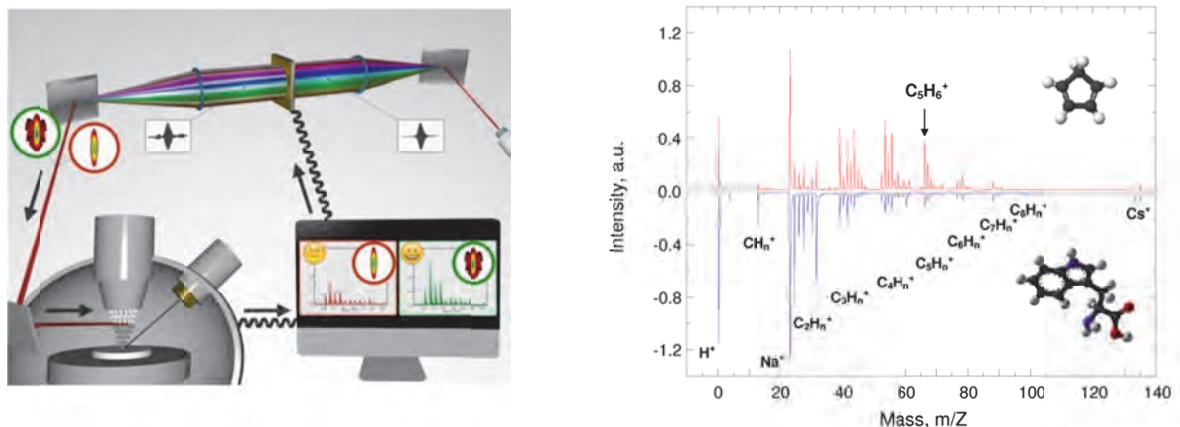


V prípade PCF sme ukázali optimalizáciu širokospektrálnej emisie disperzívnych vln v oblasti 500 až 700 nm ako aj optimalizáciu amplitúdy solitónu v Stokesovej oblasti na vlnovej dĺžke 935 nm.



Obr. 1 Spektrum superkontinua pred (sivá) a po optimalizácii (čierna) v oblasti 500 nm – 700 nm (a) a zodpovedajúca krivka optimalizácie (b).

V prípade adaptívneho riadenia laserovej postionizácie sme sa zamerali na selektívne zosilnenie špecifických fragmentov, príp. materského iónu v hmotnostných spektrách.



Obr. 2 Zostava pre adaptívne riadenie laserovej postionizácie (a) a hmotnosté spektrá tryptofánu pred (modrá) a po optimalizácii (b).

1. D. Lorenc *et. al.*, Opt. Comm. 276, 288 (2007).
2. D. Lorenc *et. al.*, Sci. Rep. 7, 5953 (2017).

PodĎakovanie

Tento výskum bol spolufinancovaný Grantovou agentúrou APVV SR, projekt APVV-15-0201.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

DETERMINISTICKY APERIODICKÉ OBRAZOVÉ ZAŘÍZENÍ

Miroslav Horáček, Petr Meluzín, Stanislav Krátký, Alexandr Knápek, Filip Mika, Jana Chlumská, Milan Matějka, Stanislav Král, Ondřej Brunn, Dagmar Giričová, Jaroslav Kopal, Pavla Schieblová, Vladimír Kolařík

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i. (ÚPT) — Královopolská 147, Brno
+420 541 514 400, vladimir.kolarik@isibrno.cz, www.isibrno.cz, ebl.isibrno.cz

Obor: elektronová litografie, difrakční opticky variabilní obrazové zařízení (DOVID)

Příspěvek se týká analýzy, návrhu a přípravy difrakčního opticky variabilního obrazového zařízení tvořeného deterministicky aperiodickou sítí základních optických prvků. Teoretický základ je doplněn numerickou analýzou a prezentací realizované matrice a jejích replik.

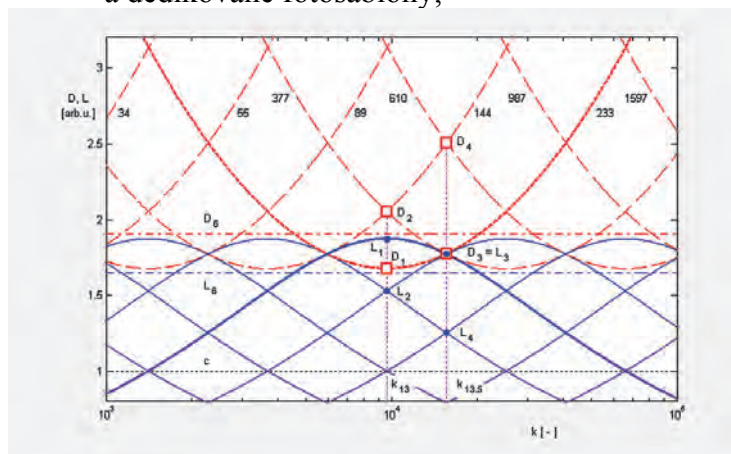
Skupina elektronové litografie (EBL) na Ústavu přístrojové techniky se zabývá metodikou vytváření planárních mikro a nano struktur na křemíkových nebo skleněných podložkách. V rámci konference Laser jsme v posledních letech prezentovali výsledky související s laserovou technikou, zejména v těchto oblastech: počítačem generované hologramy [1], fázové masky vyrobené elektronovou litografií a iontovým leptáním pro přípravu vláken s Braggovými mřížkami [2], amplitudově fázová fotošablona pro formování vortexových svazků [3] a fylotaktické uspořádání difrakčních struktur [4]. Posledně jmenovaným fylotaktickým (deterministicky aperiodickým) uspořádáním využívajícím Vogelova modelu [5] jsme se zabývali detailněji [6–8] a rovněž jsme navrhli rozmanité způsoby konstrukce variabilního obrazu nad souborem trojrozměrných optických elementů uspořádaných podél jednorozměrné spirály promítnuté do dvourozměrné roviny planární reliéfní struktury [9–11].

Základní planární uspořádání lze charakterizovat equiangulárním rozmístěním jader (difrakčních elementů) podél cyklotronové spirály. Na plošně blízké elementy lze pohlížet jako na uzly deterministicky aperiodické triangulární sítě s lokálními charakteristickými trojúhelníky, jejichž strany D_x a výšky L_x jsou svázány s metrikou daného uspořádání c_0 pomocí vztahu $D_x \cdot L_x = \pi \cdot c_0^2$. Pro konstrukci zařízení a návrh požadovaného vyobrazení je nutné vyšetření vlastností charakteristických trojúhelníků zmíněné sítě, zejména lokálních vzdáleností mezi jádry sítě D a výšek těchto trojúhelníků L (Obr. 1), a dále pak azimutálního otočení trojúhelníků v rovině planárního zařízení. Realizace planární reliéfní struktury byla provedena litografickými technikami s využitím zápisu elektronovým svazkem (EBL). Výsledná matrice byla zkontrolována standardními postupy i pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (SEM). Variabilitu obrazu — s grafickým motivem navrženým u příležitosti 60. výročí založení ÚPT — výsledného vylisovaného zařízení demonstruje Obr. 2.

Další oblasti zájmu [12]:

- kalibrační vzorky a metrická měřítka pro kontrolu metriky mikroskopů; standardy testů rozlišení pro optickou mikroskopii.
- planární mikro a nano struktury na nitridových membránách; realizace mikro šterbin a tvarovaných clon;
- difrakční opticky variabilní obrazová zařízení; tvarování laserového svazku — počítačem generované hologramy; mikrofluidní systémy; mikrosnímače připravené přímou elektronovou litografií;
- difrakční fresnelovská optika; planární optické mikrostruktury pro fokusaci světla;

- fotošablony pro optickou a UV litografii; fotošablony pro přípravu vláken s Braggovými mřížkami; kombinované amplitudově fázové masky; speciální a dedikované fotošablony;



Obr. 1 Vzdálenosti jader D (červené přerušované čáry) a výšky specifických trojúhelníků L (modré plné čáry) podél vybraných odvozených spirál (s převzorkováním 34; 55; 89; 144; 233; 377; 610; 987 a 1597) v závislosti na pořadí jádra v modelu.



Obr. 2 Pamětní holografická samolepicí etiketa — čtyři pohledy při různém směru nasvícení vzorku a odlišném charakteru použitého světelného zdroje.

Reference:

- [1] V. Kolařík, M. Matějka. Počítačem generované hologramy – CGH. *Sborník konference LASER52*, 2012, str. 31, ISBN 978–80–87441–08–4.
- [2] S. Krátký a kol. Fázové masky vyrobené elektronovou litografií a iontovým leptáním pro přípravu vláken s Braggovými mřížkami. *Sborník konference LASER54*, 2014, str. 31–32, ISBN 978–80–87441–13–8.
- [3] S. Krátký a kol. Amplitudově fázová vortexová maska. *Sborník konference LASER55*, 2015, str. 32–33, ISBN 978–80–87441–16–9.
- [4] V. Kolařík a kol. Laser a fylotaxe. *Sborník konference LASER56*, 2016, str. 35–36, ISBN 978–80–87441–19–0.
- [5] H. Vogel. A Better Way to Construct the Sunflower Head. *Mathematical Biosciences* 44 (1979), pp. 179–189.
- [6] P. Meluzín et al. Some Other Gratings: Benchmarks for Large–Area E–Beam Nanopatterning. *NANOCON 2014: 6th Int'l Conference Proc's*, 2014, pp. 246–251, ISBN 978–80–87294–55–0.
- [7] P. Meluzín et al. Structural Colors of Self–Similar Nano Patterns. *NANOCON 2016: 8th Int'l Conference Proc's*, 2017, pp. 703–708. ISBN 978–80–87294–71–0.
- [8] M. Horáček et al. Phyllotactic Model Linking Nano and Macro World. *NANOCON 2016: 8th Int'l Conference Proc's*, 2017, pp. 680–684. ISBN 978–80–87294–71–0.
- [9] M. Horáček et al. Phyllotactic Arrangements of Optical Elements. *Proceedings of SPIE. In: Holography: Advances and Modern Trends V. (Proc's of SPIE 10233)*.
- [10] M. Horáček a kol. Difrakční opticky variabilní obrazové zařízení. Užiténý vzor 30627.
- [11] M. Horáček, V. Kolařík. Opticky variabilní obrazové zařízení a způsob jeho přípravy. Patent 306956.
- [12] <http://www.isibrno.cz/elektronova-litografie>, [cit. 2017–10–17].

Poděkování:

Částečná finanční podpora zejména ze zdrojů:
 AV21 VP Diagnostické metody a techniky;
 projekt ALISI – MŠMT (LO1212)
 spolu s ES (č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017);
 projekt AMISPEC – TAČR (TE01020233);
 projekt GAMA TAČR (TG03010046);
 projekt TRIO MPO (FV10618);
 institucionální podpora (RVO:68081731).



NOVINKY ZE SVĚTA SPECTRA-PHYSICS

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

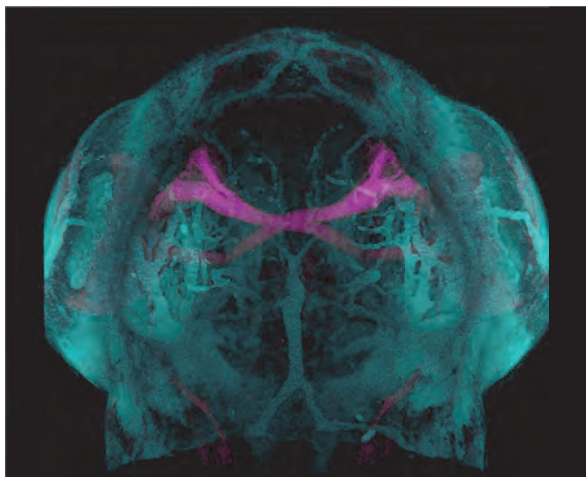
Společnost Spectra-Physics uvedla nedávno na trh již třetí generaci široce laditelných femtosekundových laserů pro multifotonové zobrazování.

Nový laser **InSight X3** poskytuje o 50% vyšší výkon pro hluboké zobrazování živých tkání než předcházející laser InSight DS+. Laserový systém vydává ultrakrátké 100 fs pulsy o vysokém výkonu v širokém rozsahu ladění 700 – 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



Zobrazení hlavy rybky se zřetelnými očními axony vedoucími k mozku

POKROČILÉ METODY LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Libor Mrňa, Petr Horník, Hana Šebestová

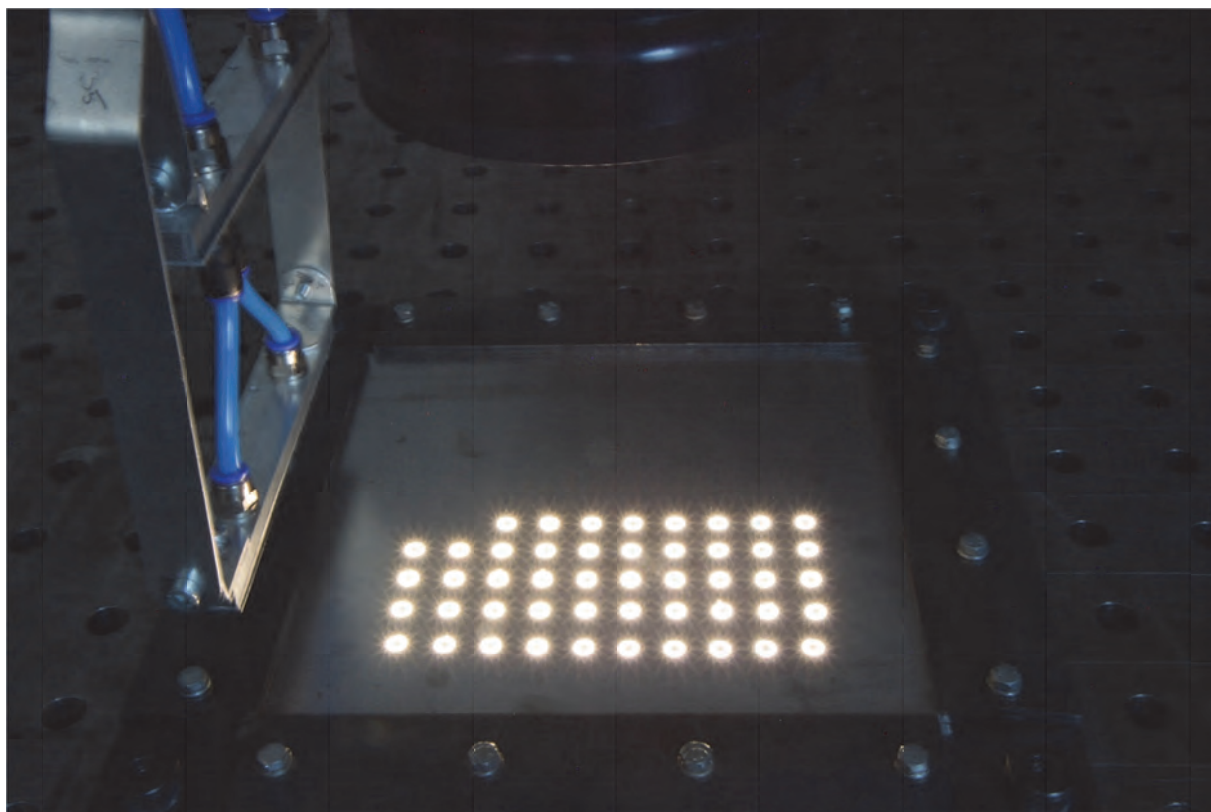
Ústav přístrojové techniky AV ČR v.v.i
Královopolská 147, 612 64 Brno – Královo Pole
mrna@isibrno.cz, 731 462 192.

Obor: laserové svařování, laserové řezání

Pokročilé metody laserového svařování

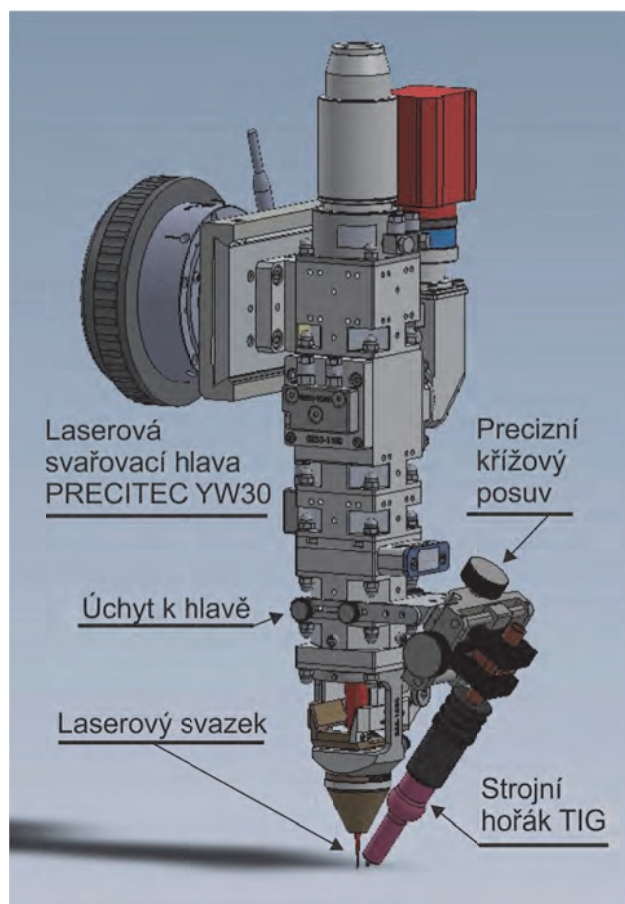
V současné době existují nové metody laserového svařování, které dále zlepšují základní metodu. V první řadě jde o laserové svařování využívající skenovací techniky. Základem je laserová hlava obsahující systém dvou vychylovacích zrcadel řízených počítačem doplněných speciální optikou. Díky tomu lze laserovým paprskem velice rychle přebíhat v dané ploše. Svařování s touto hlavou se nazývá skenerové svařování. V provedených experimentech byla demonstrována jednak významná časová úspora při využití této metody oproti svařování běžnou svařovací hlavou vedenou robotem, ale také jistá omezení daná výstupní optikou s F-theta objektivem.

Druhou metodou, opět využívající vychylování laserového svazku zrcadly je svařování s rozμίtaným svazkem. U této metody dochází kromě posuvné rychlosti k mikropohybu laserového svazku podél svařované trajektorie. Řízením parametrů mikropohybu můžeme měnit jak šířku závaru, tak i mikrostrukturu svaru, jak je opět předvedeno v rámci několika experimentů.

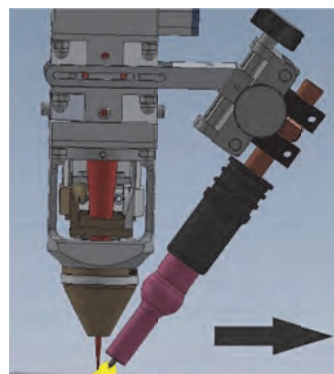


Záběr ze skenerového svařování sítě kruhů (dlouhý expoziční čas)

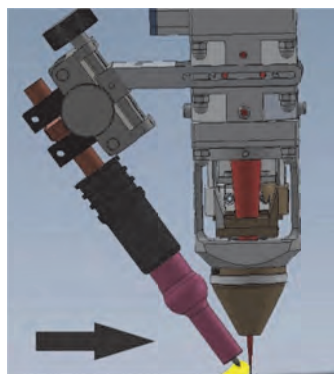
Další pokročilou metodou, rozvíjenou na ÚPT, je hybridní svařování Laser-TIG, kdy obloukový výboj může sloužit jako zdroj tepla pro předehřev nebo dohřev materiálu. Svarovou lázeň tvoří laserový svazek. Těto metody se dá využít pro svařování vysokopevnostních jemnozrnných ocelí, kde přídavné teplo ovlivňuje mikrostrukturu svaru a tepelně ovlivněnou oblast a následně zlepšuje mechanické vlastnosti svarového spoje.



Předehřev



Dohřev



Zařízení pro hybridní svařování Laser - TIG

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

Poděkování:

Příspěvek vznikl za přispění Strategie AV21: Světlo ve službách společnosti a díky podpoře MŠMT (projekt LO1212).



VLIV DVOJLOMU V MATERIÁLU VLNOMĚRU NA MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY

Marek Peca

Eltvor

Tábor, Česká republika

Email: mp@eltvor.cz

Obor: vlnová délka, měření vlnové délky, dvojlom

Pracuji na konstrukci vlnoměru, určeného pro absolutní měření vlnové délky (VIS–NIR). Cílem oproti existujícím je levnější, méně objemný, snáze integrovatelné řešení. Vlnoměr je založen na interferometru s dráhovým rozdílem v refrakčním skleněném mediu (~ typ Fizeau). Během 3 dny trvající charakterizace byla naměřena stabilita měřené vlnové délky $\pm 1.5 \times 10^{-7}$, s dnem Allanova rozptylu $\sigma_y = 7 \times 10^{-10}$ při době integrace 10 s. Následně jsem zjistil, že změna polarizace světla, vstupujícího do vlnoměru jednovidovým vláknem, působí podstatné odchylky v měřené vlnové délce – odchylky působené polarizací nabývaly hodnot $\sim 2 \dots 3 \times 10^{-6}$.

Optický návrh vlnoměru měl být na polarizaci necitlivý (úhly odrazu a dopadu, materiál). Dráhový rozdíl určuje čisté amorfnní křemenné sklo (fused silica), s deklarovanou hodnotou dvojlomu $< 5 \times 10^{-7}$. Vlnoměr neobsahuje jiné prvky ani tenké vrstvy, které by mohly polarizační odchylky působit, usoudil jsem tedy, že výkyv poměrné chyby měření (špička-špička) je roven dvojlomu použitého dílu z křemenného skla.

Je zjevné, že dvojlom působí chybu vůči ostatním nejistotám převažující. Řešením by bylo omezit polarizaci vstupního světla (polarizér a PM vlákno). Pro uživatele by ovšem bylo pohodlnější, kdyby vlnoměr nebyl na polarizaci citlivý (náhodná polarizace a SM vlákno). Proto jsme se rozhodli dvojlom systematicky měřit a zkusit potlačit.

Pro účely opakovatelného měření dvojlomu vlnoměru jsem do optické cesty vstupního laseru zařadil kaskádu z půlvlnné a čtvrtvlnné destičky, každou nezávisle otočnou okolo optické osy pomocí krokových motorů. Dva úhly natočení destiček určují dva stupně volnosti polarizace (sklon vektoru E a fázové zpoždění E/H). Prohledáním dvourozměrného prostoru polarizace je možné určit špičkové odchylky v měření vlnové délky a tedy hodnotu dvojlomu.

Dvojlom byl naměřen pro 11 polotovarů z křemenného skla ve vlnoměru vlastní konstrukce, vykazujících hodnoty: 2.1×10^{-6} až 3.3×10^{-6} , medián 2.7×10^{-6} (př. Obr. a, c). Pro srovnání bylo totéž měření provedeno pro komerční vlnoměr HighFinesse WS-6/200, který vykázal podstatně lepší hodnotu 4.8×10^{-8} (Obr. e).

Dle literatury by mělo být možné správným žiháním skla snížit dvojlom na hodnoty $< 2 \times 10^{-7}$. Podrobili jsme 3 ze vzorků žihání v peci, sestupným gradientem, který měl projít teplotou skelného přechodu. Vinou špatných podpěr v peci došlo k deformaci skel a při následné montáži vzorky praskaly. I tak se podařilo vzorky částečně změřit: dvojlom se podařilo snížit z 4.0×10^{-6} na 1.3×10^{-6} a z 3.3×10^{-6} na 1.1×10^{-6} (Obr. a-b, c-d), tedy zhruba na 1/3.

Následně jsme provedli na dalších 3 vzorcích žihání v jiném typu pece a s lepšími podpěrami. Vyžíhaná skla již nebyla deformována, ale bohužel nedošlo k dostatečně zajímavému snížení dvojlomu, snad jen u 1 vzorku se dá hovořit o snížení na polovinu (3.2×10^{-6} na 1.7×10^{-6}).

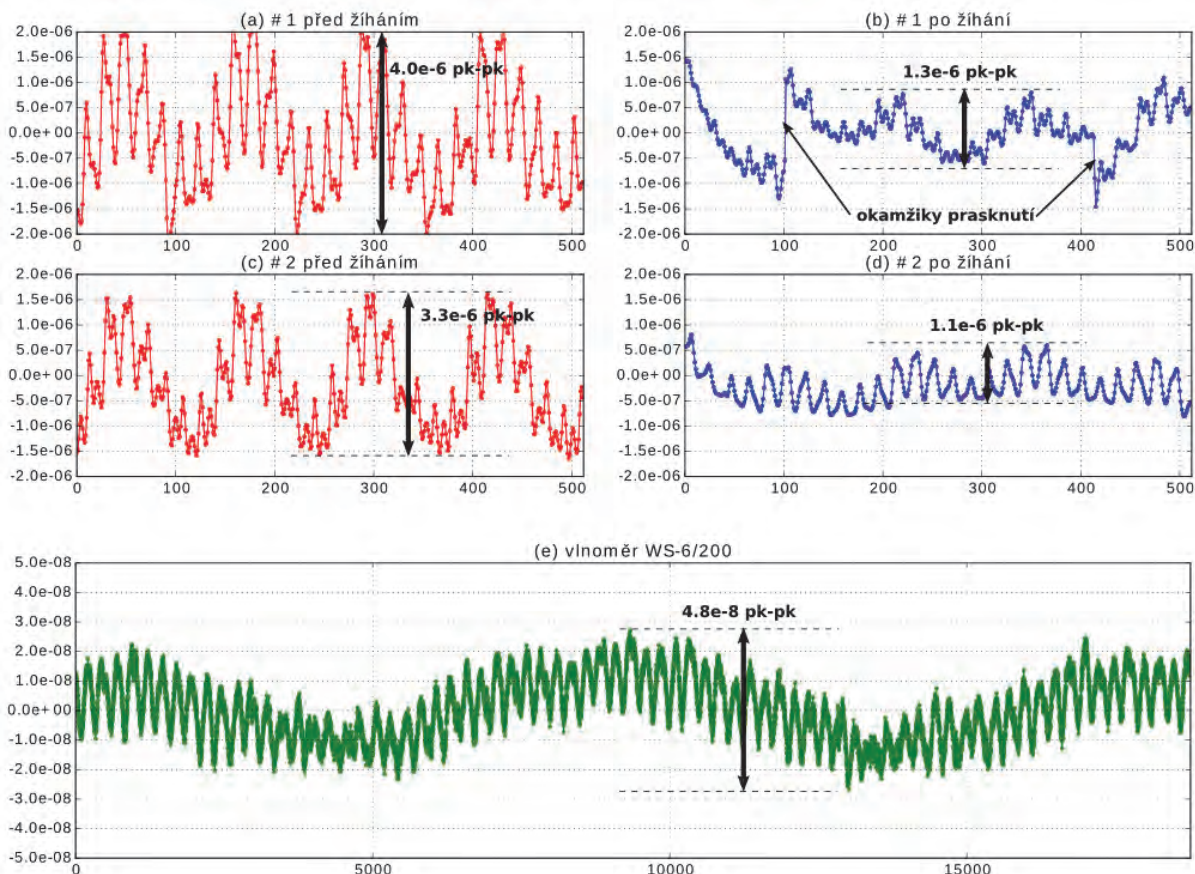
Závěr

- přesnost vlnoměru vlastní konstrukce ($\sigma_y = 7 \times 10^{-10}$, 3 dny: $\pm 1.5 \times 10^{-7}$) je omezena citlivostí na polarizaci vstupního světla (jednotky ppm);

- prvním pokusným žiháním křemenného skla v peci jsme dosáhli snížení dvojlomu v našem vlnoměru na 1/3;
- komerční vlnoměr WS-6/200 vykazuje 20× lepší hodnotu (4.8×10^{-8});
- další žihání nepřineslo žádaná zlepšení.

Otázky: Podaří se lepším žiháním potlačit dvojlom až na úroveň konkurenčního řešení (teplotní rozsah, spád)?

Je dvojlom jiných špičkových vlnoměrů dostatečně nízký pro deklarovanou přesnost (WS-8/2: má deklarovanou 0.5×10^{-8} , nebo $\sim 4.8 \times 10^{-8}$)?



Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Nabízím / zkušenosti z dřívějších realizací:

- pozemní a družicový dvoucestný přenos času a frekvence (2014 prohlášeno v ITOC za nej kvalitnější mezikontinentální srovnání času)
- syntéza přesných a spektrálně čistých VHF a mikrovlnných signálů, měření fáze a frekvence
- jednofotonové detektory ($QE \sim 80\%$, jitter ~ 50 ps RMS), včetně digitálního měření času
- jednofotonový lidar, koherentní lidar (zkušeno 1.3 km)
- FPGA instrumentace, zvláště v oboru zpracování frekvence a času, extrémně rychlé DSP, SDR, zřetězené výpočty
- termostat do 150°C ($50 \mu\text{K}$ @ $f_s = 2$ Hz)

Poptávám / uvítám spolupráci:

- referenční měření optickým hřebenem
- možnost vyzkoušet klasické i nové způsoby $f-2f$ optického hřebenu
- srovnání optických i jiných velmi přesných ($\ll$ H-maser) atomových hodin na větší vzdálenosti – nabízím techniku přenosu, ale nemám vhodné hodiny

INTERFEROMETRICÝ SYSTÉM PRO MĚŘENÍ DEFORMACE TENKÝCH MEMBRÁN

**Tomáš Pikálek^{1*}, Jakub Holzer², Hector Andres Tinoco³,
Zděnek Buchta¹, Josef Lazar¹, Alice Chlupová², Luboš Náhlík²,
Jaroslav Sobota¹, Tomáš Fořt¹ a Tomáš Kruml²**

¹Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Královopolská 147, Brno

²Ústav fyziky materiálů Akademie věd České republiky, v. v. i., Žitkova 22, Brno

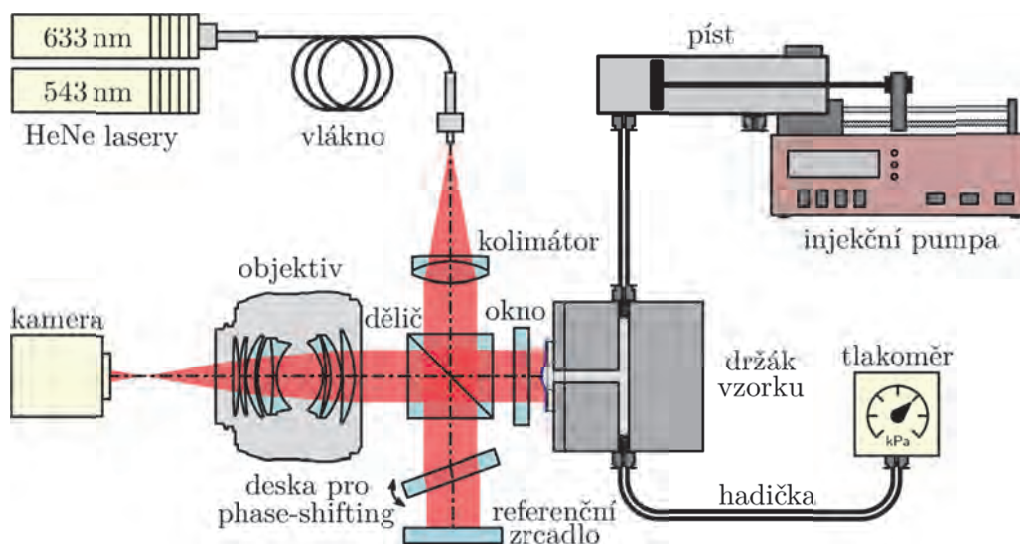
³Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia

*tpikalek@isibrno.cz, +420 541 514 227, www.isibrno.cz

Obor: interferometrie, tenké vrstvy

Mechanické vlastnosti tenkých vrstev se mohou výrazně lišit od běžných materiálů. Příkladem metody pro jejich měření je například nanoindentace založená na zatlačování miniaturního hrotu do materiálu. Jinou metodou je tzv. bulge test, který je založen na určení mechanických vlastností (obvykle Youngova modulu a reziduálního napětí) samonosných tenkých vrstev (membrán) z jejich deformace při aplikování diferenčního tlaku z jedné jejich strany. Pro měření tvaru membrán během tohoto bulge testu byl vyvinut interferometrický systém na obrázku 1.

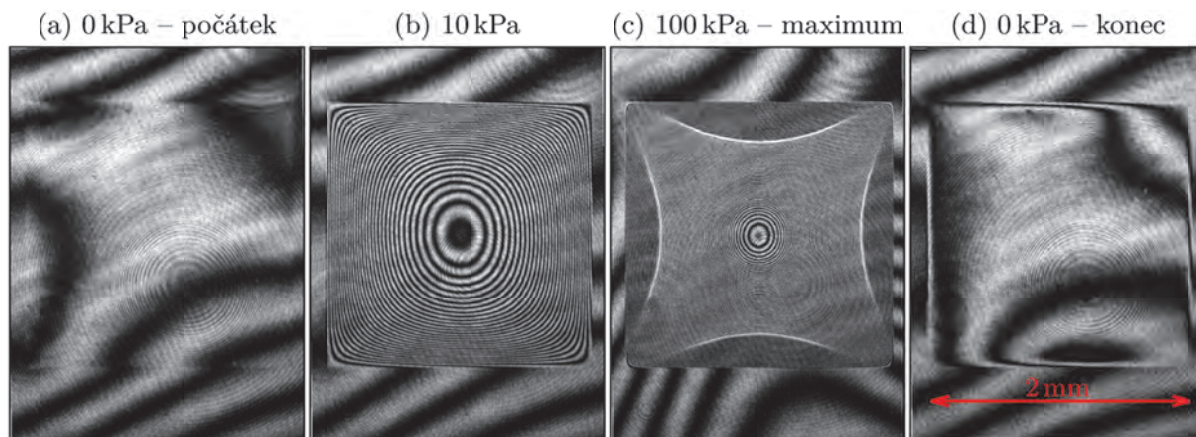
Experimentální sestava (obrázek 1) se skládá z laserového interferometru s širokým kolimovaným svazkem, v jehož jedné větvi je měřený vzorek a v druhé rovinné referenční zrcadlo. Na výstupu interferometru je pak umístěn fotografický objektiv, který zobrazuje rovinu vzorku na čip kamery, kde vzniká interferogram odpovídající tvaru vzorku (snímky při různých tlacích jsou zobrazeny na obrázku 2). Tlak, kterým je membrána namáhána, je ovládán pomocí pístu upevněného do injekční pumpy kontrolované počítačem, přičemž aktuální hodnota přetlaku je měřena pomocí digitálního diferenčního tlakoměru.



Obr. 1 Schéma sestavy pro měření mechanických vlastností tenkých membrán.

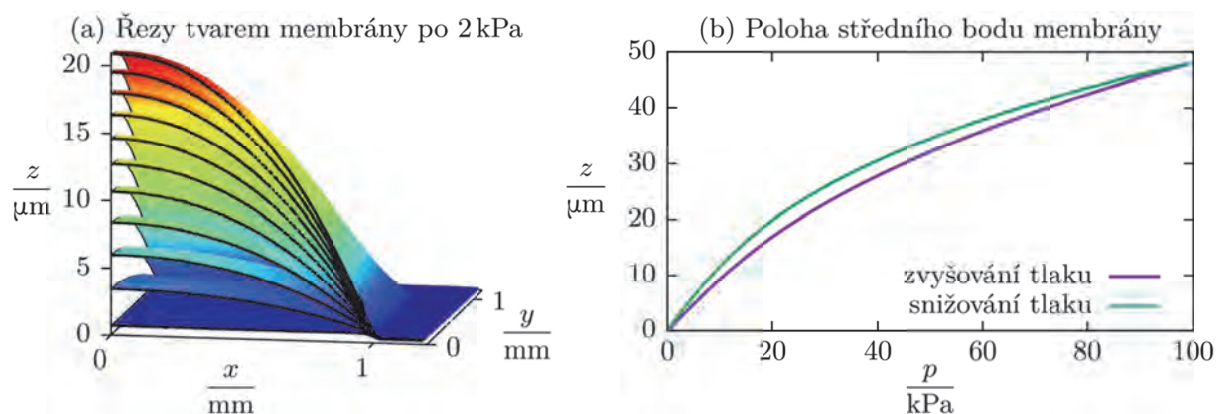
Měření tvaru membrány je na této sestavě možné provést dvěma způsoby. Je-li tlak neměnný, je možné ke změně optické dráhy v referenční větvi interferometru využít planoparalelní skleněnou desku umístěnou na otočném stolku, a získat tak tvar vzorku pomocí interferometrie s řízenou změnou fáze. Touto metodou je možné získat tvar nejen samotné membrány, ale i jejího okolí, jak je patrné na obrázku 3a. Metodu je však možné použít pouze

pro malé tlaky, neboť při vyšších tlacích je velikost gradientu povrchu v blízkosti středů stran membrány již tak velká, že svazek odražený od povrchu v těchto místech jde mimo optický systém, jak je patrné na obrázku obrázek 3c, a není tak možné spolehlivě provést navázání fáze, a určit tak průhyb středového bodu. Z toho důvodu je možné měření provádět i v inkrementálním režimu interferometru, kdy jsou zaznamenávány interferenční signály v jednotlivých pixelech při měnícím se tlaku. Analýzou fáze těchto signálů je pak možné určit závislost změny polohy každého z bodů membrány na tlaku (příklad pro středový bod je na obrázku 3b) a po navázání fází jednotlivých interferenčních signálů při nulovém tlaku určit i tvar celé membrány (popřípadě její střední části v případě vysokých tlaků).



Obr. 2 Snímky z kamery na výstupu interferometru při různých tlacích pro 500 nm tlustou čtvercovou membránu o straně 2 mm s 1,8 μm tlustou vrstvou hliníku.

Pomocí navržené sestavy byly nejprve měřeny vlastnosti samostatných membrán, které budou v následných experimentech sloužit jako podklad pro měření tenké vrstvy. Jedná se o membrány od firmy Norcada vyrobené z nitridu křemičitého na křemíkových rámečcích. Tloušťka čtvercových membrán o straně délky 2 mm je v zde uvedeném případě 500 nm. Z naměřených výsledků byl určen Youngův modul těchto membrán 207 GPa a reziduální napětí 163 MPa, přičemž tyto membrány jsou až do maximálního zatížení elastické. Na tyto membrány byla následně nanesena 1,8 μm tlustá vrstva hliníku. U něj již byla pozorována plastická deformace, jak je patrné z obrázku 3b, kde křivky při zvyšování a snižování tlaku nejsou totožné.



Obr. 3 Čtvrtinový řez tvarem celé membrány (čtvercová o straně 2 mm, tloušťka 500 nm, 1,8 μm tlustá vrstva hliníku) a jejího okolí pro malé tlaky a poloha středního bodu membrány pro libovolný tlak při prvním použití vrstvy, kdy pozorujeme plastickou deformaci.

Poděkování: Autoři děkují za podporu projektům Akademie věd České republiky č. RVO:68081731, Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a LO1212.

FLUORESCENCE A POVRCHEM ZESÍLENÁ RAMANOVA SPEKTROSKOPIE V MIKROFLUIDICE PRO MONITOROVÁNÍ ENZYMATICKÝCH REAKCÍ

Zdeněk PILÁT¹, Filip ŠMATLO¹, Jan JEŽEK¹, Stanislav KRÁTKÝ¹, Pavel ZEMÁNEK¹

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

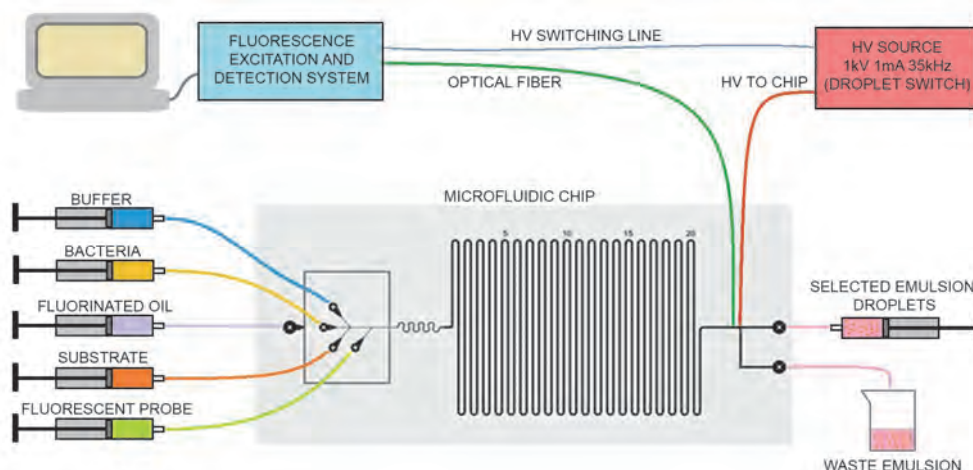
Tel.: +420 541 514 524, E-mail: pilat@isibrno.cz, WWW: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

Obor: Optofluidika, biofotonika

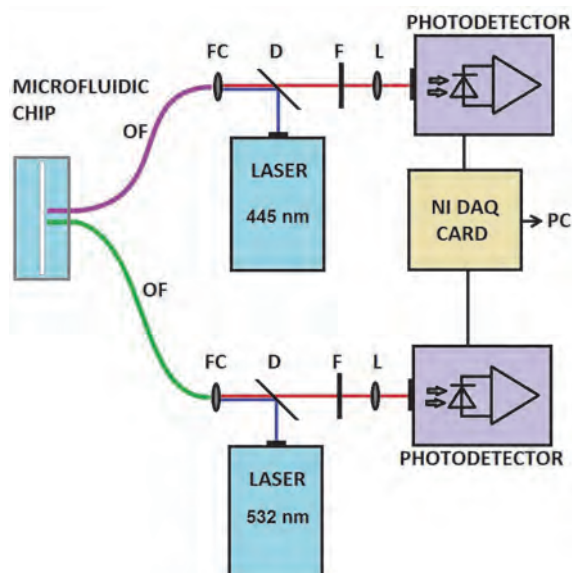
Realizovali jsme dva různé systémy detekce koncentrace molekul v mikrofluidních systémech. První způsob využívá optická vlákna a detekuje intenzitu fluorescence, zatímco druhá metoda spočívá v užití povrchem zesílené Ramanovy spektroskopie (surface enhanced Raman spectroscopy, SERS).

Detekce intenzity fluorescence

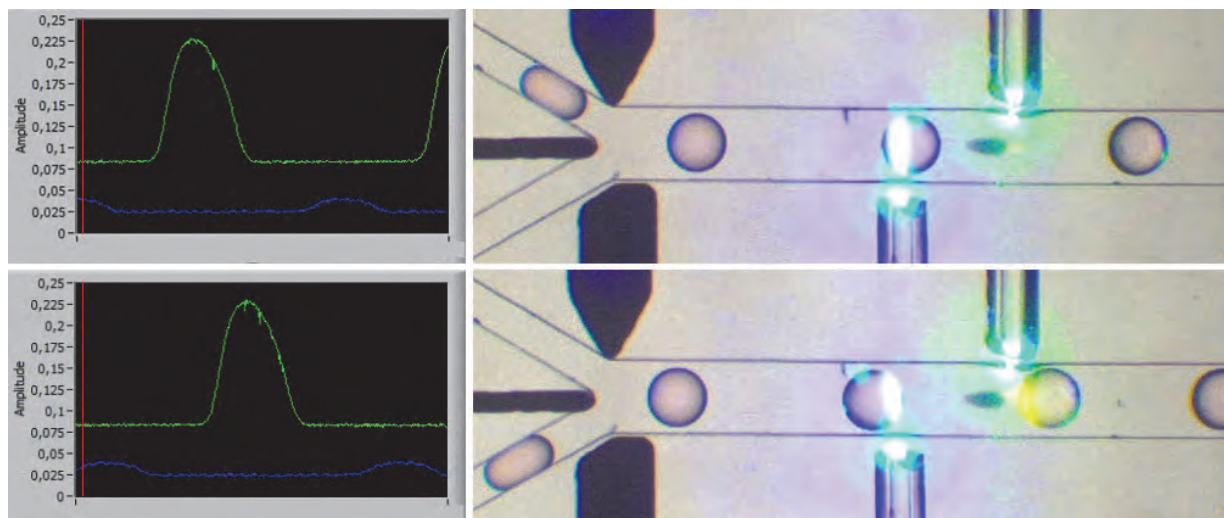
Systém vznikl v rámci zjednodušení měření fluorescence chemických a biologických vzorků bez nutnosti využívat nepřenositelné mikroskopy a umožnění měření i mimo laboratoře na jakémkoliv zařízení pouze připojením tohoto systému. Jedná se o přenosné zařízení určené pro dvoukanálovou excitaci fluorescenčně obarvených objektů optickými vlákny a pro dvoukanálové měření intenzity fluorescence z těchto objektů vyzařující. Zařízení umožňuje měření fluorescenčních objektů excitovaných vlnovou délkou 532 nm a 445 nm a je používáno při experimentech s detekcí a s tříděním buněk při enzymatických reakcích, viz obrázky 1. a 2. Testovací měření bylo provedeno na mikrofluidním čipu upraveném pro tyto experimenty, obr. 3. V čipu docházelo k míchání dvou kapalin, z nichž jedna byla fluorescenčně aktivní. Byly vytvořeny mikrokapénky a intenzita jejich fluorescenčního signálu byla následně měřena. Ukázka měření je na obr. 3.



Obrázek 1. Návrh zapojení vstupních portů čipu pro měření enzymatických reakcí a třídění kapének. Tyto čipy jsou optimalizované pro sledování enzymatických reakcí probíhajících v kapénkách a následné třídění kapének na základě intenzity fluorescence. Tyto reakce jsou detekovány fluorescenčními sondami.



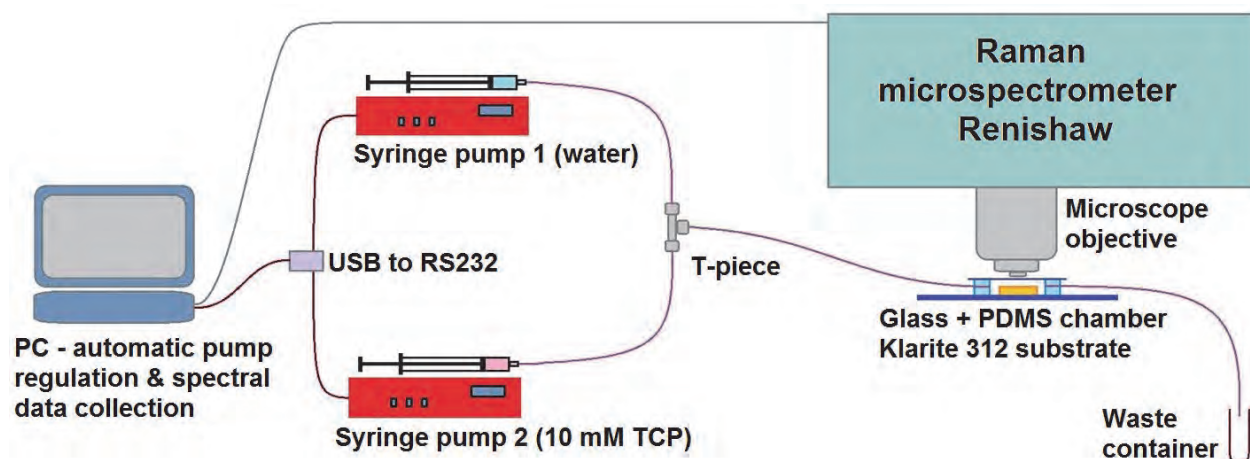
Obrázek 2. Schéma systému: sestava se skládá ze dvou čerpacích laserů o vlnových délkách 532 nm a 445 nm, které jsou zavedeny každý zvlášť odrazem na dichroidních zrcadlech (DM) a kolimátory (FC) do optických vláken. Vlákná slouží pro zavedení excitační vlnové délky do mikrofluidního kanálku a k následnému sběru fluorescenčního signálu ze vzorku vycházejícího. Fluorescence vycházející z vláken je detekována vysoce citlivými fotodiodami (AD) umístěnými za filtry (F) blokujícími vlnovou délku čerpacího laseru. Záření je na diody fokusováno kolimačními čočkami (L). Hodnoty intenzit jsou sbírány měřicí kartou (NI card) a vyhodnoceny počítačem.



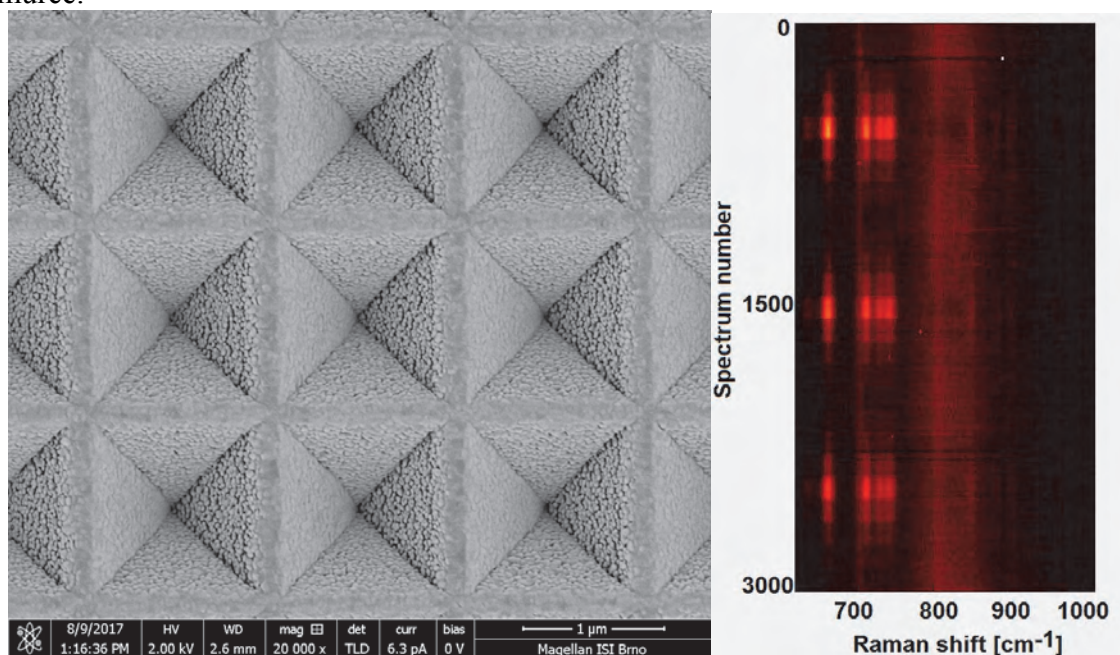
Obrázek 3. Měření pomocí dvoukanalového fluorescenčního systému s optickými vlákny. Vlevo: průběhy elektrického napětí na výstupu měřicích kanálů. Vpravo: mikrofluidní kanálky s přilehlými optickými vlákny. Šířka hlavního kanálku: 100 μm .

Detekce SERS spekter

Systém pro detekci SERS spekter byl koncipován pro přímou detekci koncentrace chlorovaných uhlovodíků (1,2,3-trichloropropan, TCP) v mikrofluidním čipu. TCP je odbouráváno enzymem dehalogenázou, jejíž aktivitu lze tímto přístupem sledovat. Zařízení pro testování koncentrační odpovědi tohoto senzoru je na obr 4. Sestává z dvou počítačem řízených pump, které regulují koncentraci TCP v komoře se SERS substrátem. SERS substrát byl použit nejprve komerční – Klarite 312 od firmy Renishaw, později byl vyvinut klon v ÚPT, viz obr 5. vlevo. Výsledná SERS spektra jsou na obrázku 5. vpravo.



Obrázek 4. Systém pro tvorbu gradientů koncentrace a detekci SERS spekter v mikrofluidní komůrce.



Obrázek 5. Vlevo – Elektronmikroskopový obrázek SERS substrátu Au/Si vyrobeného na ÚPT. Vpravo – SERS spektra získaná stupňovitými změnami koncentrace trichloropropanu (TCP), osa x je Ramanův posuv v cm^{-1} , na ose y jsou časově uspořádaná spektra. Intenzita červené barvy je přímo úměrná intenzitě Ramanových pásů.

Shrnutí

Použili jsme dvě vzájemně se doplňující metody k detekci různých chemických látek s důrazem na analýzu enzymatických reakcí. Obě metody nabízejí široké spektrum možností citlivé detekce průběhu enzymatických reakcí v kapénkách i v kontinuálním proudu analytu.

Autoři děkují za podporu GAČR (GA16-07965S) a MŠMT a EC (LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017).

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

Ramanova spektroskopie
Mikrofluidika
Biofotonika

LASEROVÁ PROCESNÍ OPTIKA NOVÉ GENERACE

Pavel Pintr, Vít Lédl

Ústav Fyziky Plazmatu AV ČR, v. v. i.,
Centrum TOPTEC, Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha 8, Česká republika
Tel: +420 487 953 915, pintr@ipp.cas.cz, www.toptec.eu

Obor: Laserové zušlechťování povrchů

1. Úvod

Laserové zušlechťování povrchu je nová, velmi dynamicky se rozvíjející oblast. Laserové zušlechťování je možné provádět na širokém spektru materiálů a tvarů díky dramatickému nárůstu výkonu komerčně dostupných vláknových polovodičově čerpaných laserů.

Procesní optické hlavice slouží k přenosu a zformování laserového svazku z laserového zdroje (v tomto případě přímý diodový nebo vláknový laser) na zpracovávaný díl tak, aby parametry výstupního svazku vyhovovaly aktuálně prováděné operaci. Tou může být např. technologie laserového kalení, svařování a navařování.

Společnost LaserTherm, spol. s r. o. se v polovině roku 2015 obrátila na pracovníky Centra TOPTEC s žádostí o analýzu parametrů jednotlivých procesních hlav a o ověření vhodnosti volených přístupů užitých při konstrukci laserových hlav. Hlavním cílem bylo identifikovat nejslabší články stávajících optomechanických řešení pro to, aby mohly být optimalizovány a celková funkčnost hlavy zásadně vylepšena. Pověření vývoji pracovníci Centra TOPTEC provedli posouzení funkčnosti hlav přímo v provozu a dále posoudili i zvolené přístupy ke konstrukci hlav. Tato spolupráce vyústila k podání společného projektu v programu FV – TRIO, které podporuje Ministerstvo průmyslu a obchodu.

2. Zaměření projektu

Projekt je zaměřen na návrh a realizaci nových optomechanických a elektronických konstrukcí laserových hlavic tak, aby taková konstrukce umožnila dosažení všech žádaných parametrů. Dále při návrhu použijeme reflexní, refraktivní tvary ploch a vnitřní stavbu takovou, že bude možné dosáhnout výrazně lepších parametrů v optické i mechanické oblasti.

3. Hlavní cíle projektu

Hlavním cílem projektu bude navrhnout a realizovat novou optomechanickou a elektronickou konstrukci laserových hlavic, které musí splnit následující parametry:

- 65% navýšení výkonu přenášeného do pracovní oblasti (11kW vs 20 kW),
 - Snížení hmotnosti hlavice pod 10 kg vůči stávajícím 15 kg (zlepšení dynamiky dosahu nosného robota),
 - Zlepšení servisovatelnosti hlavice. Možnost výměny komponentů,
 - U klíčových optických komponent zlepšit jejich parametry (hladkost povrchu, odolnosti vůči pracovnímu výkonu),
 - Vyvinout antireflexní a super-reflexní vrstvy pro optické komponenty.
-



Obr. 1: Proces laserového navařování s využitím 6-ti osého průmyslového robota Fanuc

Řešené laserové technologie jsou:

- Optický design svařovací laserové hlavice
- Optický design navařovací laserové hlavice s kruhovým spotem
- Optický design navařovací hlavice s obdélníkovým spotem
- Optický design kalící hlavice
- Tvorba proměnného spotu laserových hlavic
- Využití freeform optických povrchů (refraktivní a zrcadlová řešení)
- Termální analýza a interpretace dosažených výsledků
- Vývoj antireflexních a super-reflexních vrstev pro optické komponenty

4. Zhodnocení a nabídka spolupráce

Centrum TOPTEC může spolupracovat v představených oblastech výzkumu, kde na řadu aplikací již má navázané průmyslové partnery.

Do příštích let plánujeme dále rozvíjet představovaná témata v oblasti laserových technologií zejména prostřednictvím grantu FV – TRIO - Laserová procesní optika nové generace nebo ve spolupráci s dalšími průmyslovými partnery. V příštím roce také plánujeme výrobu prvních prototypů laserových hlavic včetně freeform optických elementů.

5. Poděkování

Tato práce je podporována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky v projektu NPU LO1206. Dále je tato práce podporována Ministerstvem průmyslu a obchodu v programu FV-TRIO v projektu FV10071.

ODSTRANĚNÍ 2π NEJEDNOZNAČNOSTI REKONSTRUKCE FÁZE ŘEŠENÍM ROVNICE PRO TRANSPORT INTENZITY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

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

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, katedra fyziky

Thákurova 7, 166 29 Praha 6, * petr.pokorny@fsv.cvut.cz, aog.fsv.cvut.cz, +420 224 357 919

Obor: optická metrologie, interferometrie, šíření intenzity elektromagnetického pole

V optické metrologii velmi vysoké přesnosti je nejčastěji využívanou technologií měření fáze částečně koherentního elektromagnetického pole interferometrie [1-3]. Princip této metody spočívá v záznamu prostorového rozložení intenzity elektromagnetického pole (interferogramu) a jeho následného aposterioriho vyhodnocení založeném na vhodném modelu. Jak je známo, obecně můžeme model zaznamenané intenzity $I(\mathbf{r})$ a rekonstruované fáze $\varphi(\mathbf{r})$ formulovat jako [1-3]

$$I(\mathbf{r}) = |U(\mathbf{r})|^2, \quad \varphi(\mathbf{r}) = \arctan \left(\frac{\text{Im}[U(\mathbf{r})]}{\text{Re}[U(\mathbf{r})]} \right), \quad (1)$$

kde $U(\mathbf{r})$ je komplexní amplituda vlnového pole a $\mathbf{r}$ značí polohu v rovině detektoru. Jak plyne z použití funkce $\arctan$, dostáváme výsledné hodnoty v intervalu $-\pi$ až π . Pro další zpracování je tedy třeba aplikovat na získaná data tzv. sešití (angl. unwrapping).

Existuje celá řada klasických postupů, které se pro odstranění výše zmíněné nespojitosti (nejednoznačnosti) mohou použít [4-7]. Základními dvěma skupinami jsou tzv. algoritmy sledující vhodně určenou cestu (z angl. path-following algorithms), ze kterých jmenujme např. Goldsteinův [5] nebo Flynnův [6] algoritmus, a metody minimalizující předem definovanou normu, např. metoda minima L_p normy [4] nebo metoda sdružených gradientů s předpokládáním [7]. Kromě zmíněných metod ovšem existuje celá řada dalších přístupů, které problém řeší. V posledních letech byly prezentovány práce, kdy je pro odstranění 2π nejednoznačnosti použita teorie šíření intenzity elektromagnetického pole [8,9]. Tato práce shrnuje využití právě tohoto přístupu.

Budeme-li předpokládat, že se pole šíří ve směru osy z a záznam interferogramu provádíme v rovině (x, y) , lze ukázat, že vztah mezi intenzitou pole I , změnou této intenzity se změnou souřadnice z ($\partial I / \partial z$) a vlnovým číslem $k = 2\pi / \lambda$ (λ je vlnová délka) lze zapsat pomocí parciální diferenciální rovnice [8,9]

$$\nabla_{\perp} \cdot (I \nabla_{\perp} \varphi) = -k \frac{\partial I}{\partial z}, \quad (2)$$

kde $\nabla_{\perp} = (\partial / \partial x, \partial / \partial y)$ odpovídá operátoru příčné prostorové změny. Vztah (2) představuje rovnici pro transport intenzity elektromagnetického pole (TIE), předpokládáme-li nehomogenní optické prostředí a paraxiální aproximaci s konstantním vlnovým číslem. Vyřešíme-li rovnici (2), dostáváme přímo hodnoty fáze φ bez 2π nejednoznačností.

Rovnice (2) naznačuje možný postup odstranění 2π nejednoznačnosti vyhodnocených interferogramů podle vztahu (1). Označíme-li φ_w fázi s přítomnými nespojitostmi, poté první přiblížení komplexního pole s konstantní amplitudou v rovině záznamu můžeme určit jako [8]

$$u_0(x, y; 0) = \exp[i\varphi(x, y)]. \quad (3)$$

Dále například použitím metody úhlového spektra rovinných vln [10] lze vypočítat pole v malých vzdálenostech $\pm \Delta z$ od roviny záznamu a určit numericky aproximaci derivace intenzity. Rekonstrukci spojitě fáze φ následně provedeme dle vztahu [8]

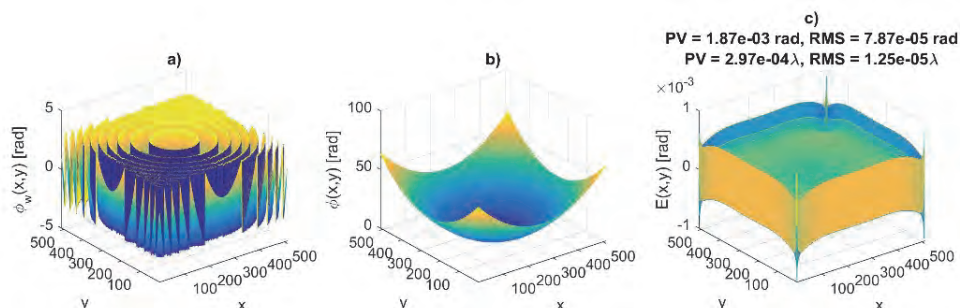
$$\varphi(x, y; 0) = -\frac{k}{I(x, y)} \nabla_{\perp}^{-2} \left[\frac{\partial I(x, y)}{\partial z} \right], \quad (4)$$

kde inverzní operátor $\nabla_{\perp}^{-2} L$ funkce L vypočteme dle vztahu

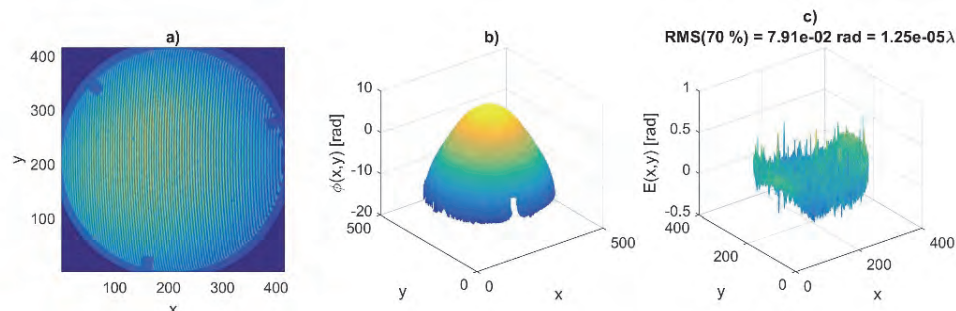
$$\nabla_{\perp}^{-2}L = \text{IFT} \left\{ \frac{D(f_x, f_y) \cdot \text{FT}[L]}{D(f_x, f_y)^2 + \varepsilon^2} \right\},$$

kde FT a IFT značí Fourierovu transformaci a její inverzi, (f_x, f_y) jsou prostorové frekvence, $D(f_x, f_y) = -4\pi^2(f_x^2 + f_y^2)$ a ε^2 je faktor zamezující dělení nulou. V práci [9] je prezentován přístup výpočtu změny intenzity přímo z nespojitě fáze ϕ_w . Princip použití rovnice pro transport intenzity je ovšem stejný.

Na obr. 1 a obr. 2 jsou zobrazeny příklady rekonstrukce simulované fáze a reálného interferogramu vyhodnoceného metodou Fourierovy transformace a představeného algoritmu.



Obr. 1 Rekonstrukce simulované fáze: a) fáze s nespojitostmi, b) rekonstrukce pomocí TIE, c) rozdíl simulované a rekonstruované fáze



Obr. 2 Rekonstrukce reálného interferogramu: a) interferogram, b) rekonstruovaná fáze, c) srovnání s vyhodnocením v komerčním softwaru MetroPro pro oblast 70 % od středu snímku

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS17/004/OHK1/1T/11 a SGS16/126/OHK1/2T/11.

Reference

- [1] P. Hariharan, *Optical Interferometry*, Elsevier Science, 2003.
- [2] D. Malacara, *Optical Shop Testing*, Wiley-interscience, 2007.
- [3] P. Rastogi, E. Hack, *Phase Estimation in Optical Interferometry*, CRC Press, 2015.
- [4] D. C. Ghiglia, M. D. Pritt, *Two-dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms, and Software*, Wiley, 1998.
- [5] R. M. Goldstein, H. A. Zebker, Ch. L. Werner, Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science* **23**(4), 1988.
- [6] T. J. Flynn, Two-dimensional phase unwrapping with minimum weighted discontinuity, *JOSA A* **14**(10), 1997.
- [7] H. Takajo, T. Takahashi, Noniterative method for obtaining the exact solution for the normal equation in least-squares phase estimation from the phase difference, *JOSA A* **5**(11), 1988.
- [8] N. Pandey, A. Ghosh, K. Khare, Two-dimensional phase unwrapping using the transport of intensity equation, *Appl. Opt.* **55**(9), 2016.
- [9] J. Martinez-Carranza, K. Falaggis, T. Kozacki, Fast and accurate phase-unwrapping algorithm based on the transport of intensity equation, *Appl. Opt.* **56**(25), 2017.
- [10] Mikš, *Aplikovaná optika*, Nakladatelství ČVUT, 2009.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- studium a aplikace aktivních optických prvků (kapalinové čočky, fázové modulátory světla, deformovatelná zrcadla)
- optická metrologie (interferometrie, SHS, chromatické senzory)
- matematické modelování v Matlabu, tvorba uživatelských aplikací
- návrh optických soustav

LASEROVÝ STANDARD PRO METROLOGII DÉLKY A ČASU

Lenka Pravdová, Jan Hrabina, Martin Čížek a Ondřej Číp

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 61264 Brno, Česká republika
kontaktní email: lpravdova@isibrno.cz

Obor: Metrologie délky a času, laserové standardy, stabilizace optických kmitočtů

Předkládaná práce popisuje vývoj a dosažené parametry laserového standardu přesného optického kmitočtu pracujícího v IR spektrálním pásmu (okolí 1540 nm). Úkolem bylo vyvinout stabilní a robustní laserový systém umožňující nasazení nejen ve vědeckých a metrologických laboratořích, ale dovolující i distribuci přesných signálů po stávajících telekomunikačních optických spojích do cílových aplikací v průmyslu.

Základním parametrem laserového systému je výsledná stabilita optického kmitočtu výstupního záření. Vzhledem k předpokládaným aplikacím (přesná měření délky a času v laboratorních experimentech, laserová interferometrie v atmosférických i vakuovaných systémech, kalibrace přístrojů pro optické telekomunikace a další aplikace) navržený systém splňuje požadavky srovnatelné se základním normálem délky.

Fotonické sítě jsou v současné době základem infrastruktury přenosu digitálních informací ve velmi velkých datových objemech i přenosových rychlostech. Fotonický přenos umožňuje šířit kromě datových zpráv také další signály, zcela unikátní je pak možnost přenosu signálu z laserových standardů optické frekvence, kde se distribuované signály šíří plně opticky, tj. bez konverze do elektrické domény (minimální zpoždění). Vzhledem k ekonomické i technické náročnosti vývoje a provozu špičkových ultra-stabilních laserových zdrojů tyto komunikační linky dovolují jejich nasazení i mimo vlastní vědeckou laboratoř u dalších koncových uživatelů, kteří si vlastní takový zdroj nemohou dovolit.

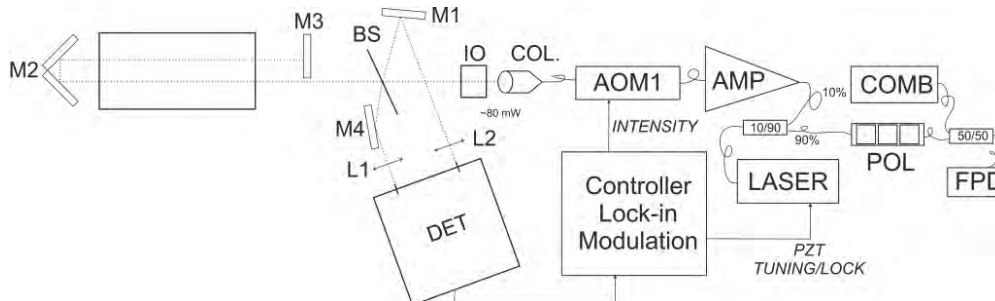
Jako zdroj laserového záření systém využívá optovláknový erbiem dopovaný jednofrekvenční laser s frekvenční stabilizací optické frekvence metodou saturevané absorpční spektroskopie v parách izotopicky čistého acetyleny $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$. Tento laser se vyznačuje velmi robustní konstrukcí, má extrémně úzkou šířku čáry (<100 Hz), má optovláknový výstup polarizací zachovávajícím vláknem a výstupní optický výkon >20 mW.

Absorpční spektrum $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ obsahuje řadu silných a zároveň spektrálně úzkých čar v telekomunikačním pásmu C, pro účely našeho laserového standardu jsme zvolili stabilizaci na čáru P13, s vlnovou délkou 1540,567 nm (ze silných absorpčních čar má tato nejmenší frekvenční odchylku od předepsané frekvence jednotlivých kanálů C pásma). Pro účely stabilizace laseru jsme zkonstruovali absorpční kyvetu z křemenného skla, s optickými okénky vybavenými antireflexními vrstvami a plněné $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ tlakem 3 Pa (odpovídá doporučení Mezinárodní komise pro míry a váhy CIPM pro konstrukci laserových normálů).

K vlastní stabilizaci optické frekvence laseru byla využita technika saturevané absorpce s potlačením Dopplerovského pozadí rozšíření čáry a synchronní detekcí užitečného signálu na 3. harmonické (tzv. 3f technika). Tato metoda umožňuje dosažení velmi vysokých stabilit zdroje a současně zahrnuje relativně jednoduchou optomechanickou sestavu se dvěma protiběžnými svazky (pump-probe) a zpětným odražečem. Použitím této jednoduché konfigurace jsme dosáhli robustnosti a snadného nastavení optické části celého systému. Schéma stabilizace laseru je na obr. 1.

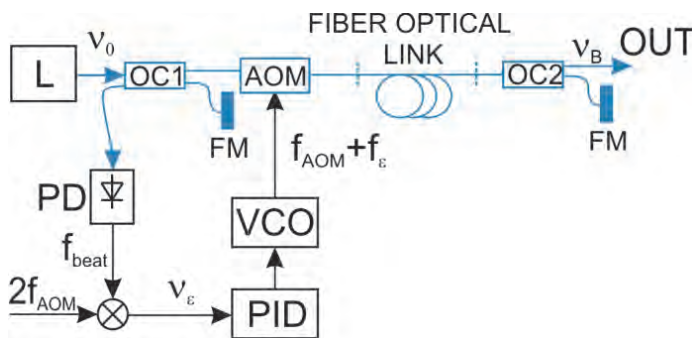
Záření z laserového zdroje je optovláknovým děličem rozděleno na část pro uživatele a část nutnou ke stabilizaci kmitočtu. Vzhledem k optimalizaci saturačních intenzit vybraného absorpčního média je měřicí svazek zesílen optovláknovým zesilovačem na úroveň

cca 100 mW, prochází akusto-optickým modulátorem (frekvenční modulace kmitočtem 5 kHz, se zdvihem 1,1 MHz) zajišťujícím modulaci nutnou k synchronní detekci středu absorpčního přechodu a je vedeno přes výstupní kolimátor a optický izolátor do absorpční kyvety (čerpací „pump“ svazek, po odrazu od zrcadla M3 pak měřící „probe“ svazek). Zásadního zlepšení poměru signál-šum u detekovaného signálu bylo dosaženo použitím auto-balančního fotodetektoru. Ten umožňuje účinnou filtraci všech souhlasných změn amplitudy v laserovém svazku ve své referenční a měřící větvi.



Obr.1: Blokové schéma stabilizace laseru. M1-M4 – vysoce odrazné zrcadlo, BS – vzorkovací dělič svazku, AOM1 – vláknový akustooptický modulátor, AMP – optovláknový zesilovač, POL – optovláknový polarizátor, COL – výstupní kolimátor laserového svazku, DET – dvoukanálový balanční fotodetektor k detekci intenzity čerpacího svazku a profilu spektrální čáry, FPD – rychlý fotodetektor k detekci zázně, COMB – syntezátor optických kmitočtů.

Měření výsledné relativní frekvenční stability systému probíhalo pomocí radiofrekvenčního čítání záznějového signálu mezi měřeným laserem a frekvenčně stabilizovaným kombem (syntezátorem optických kmitočtů, stabilizace na H-maser). Vzhledem k umístění kombu v jiné budově (délka vláknové optické trasy cca 250 m) jsme k přenosu signálu ze standardu využili kompenzaci Dopplerova posuvu indukovaného v přenosovém optickém vlákne okamžitým regulačním zásahem do hodnoty optické frekvence koherentní vlny pomocí druhého akustooptického modulátoru a napětím řízeného oscilátoru, viz obr. 2. To nám dovolilo provést záznějové měření bez vlivu parazitních frekvenčních změn na trase.



Obr.2: Přenosová soustava s potlačením Dopplerova posuvu pomocí akustooptického modulátoru světla AOM: L laser, OC1 a OC2 vláknové děliče, FM Faradayovo zrcadlo, PD fotodetektor, PID regulátor, VCO napětím řízený oscilátor

Výsledná krátkodobá frekvenční stabilita laserového zdroje měřená uvedeným postupem a vyhodnocená pomocí Allanových variací dosahuje úrovně $9e-13$ pro integrační čas 1 s, minimální úroveň stability pro integrační časy 250-300 s je na úrovni $8e-14$. Tento výsledek pohodlně splňuje požadavky na acetylenem stabilizovaný laserový normál v oblasti 1550 nm dle doporučení CIPM a poukazuje na vynikající parametry zdroje. Laserový systém bude nasazen v aplikacích laserové interferometrie, distribuce přesné optické frekvence, studiu vlivu atmosféry na bezkabelové optické spoje a kalibrace přístrojů pro telekomunikační měření.

Poděkování

Realizovaný výzkum byl podpořen grantem GAČR: GA15-18430S. Infrastruktura výzkumu byla podpořena projekty MŠMT: LO1212, CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a AV ČR: RVO:68081731.

ANALÝZA GEOMETRICKÝCH VLASTNOSTÍ OTVORŮ VRTANÝCH V OXIDOVÉ KERAMICE POMOCÍ PEVNOLÁTKOVÉHO ND:YAG LASERU A KVAZIKONTINUÁLNÍHO YTTERBIOVÉHO VLÁKNOVÉHO LASERU

Lenka Řiháková

RCPTM, SLO UP a FZÚ AV ČR, PřF UP Olomouc

17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

tel.: 585631677, e-mail: lenka.rihakova@upol.cz, <http://jointlab.upol.cz>

Hana Chmelíčková

FZÚ AV ČR, SLO UP a FZÚ AV ČR

17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc

tel.: 585631516, e-mail: hana.chmelickova@upol.cz, <http://jointlab.upol.cz>

Obor: aplikovaný výzkum laserových technologií

Oxidová keramika v současné době nalezla uplatnění v mnoha odvětvích lidské činnosti díky jejím typickým vlastnostem (vysoká pevnost, tvrdost, křehkost a odolnost vůči vysokým teplotám a mechanickému opotřebení). Tyto vlastnosti předurčují keramiku pro využití v medicíně (umělé kyčle, zuby, klouby), strojírenství (ložiska, těsnění, součásti turbínových motorů), vojenství a telekomunikaci (zesilovače) nebo v elektronice jako substráty pro tenké vrstvy v obvodových deskách. Naneštěstí vysoká tvrdost a křehkost neumožňují obrábění keramiky konvenčními metodami, proto se do popředí dostalo obrábění pomocí laserů. Tato bezkontaktní metoda je tedy značně využívána v průmyslu pro vrtání či dělení keramických materiálů [1-4].

Laserové vrtání keramiky a materiálů obecně má mnoho výhod, mezi nejdůležitější patří přesnost, rychlost a automatizace procesu, možnost vrtání otvorů s malými rozměry, nízké provozní náklady a žádné opotřebení nástroje. Na druhou stranu nevýhody zahrnují vysoké náklady na vybavení nebo vznik různých defektů či mikrotrhlin. Nalezení optimálních parametrů pro dosažení požadované geometrie a kvality otvoru je tedy důležitou součástí aktuálního výzkumu. Jelikož je proces vrtání keramiky závislý na mnoha parametrech laseru (délka pulsu, energie pulsu, frekvence pulsu, pozice ohniska), bylo v nedávné době provedeno mnoho studií zkoumajících vliv těchto parametrů na rozměry a kvalitu otvorů. Ve studiích je převážně hodnocen vliv parametrů na rozměry otvoru, kuželovitost a kruhovitost otvoru, „aspect ratio“, množství nečistot v okolí otvoru vzniklých rozstříknutím taveniny a velikost přetavené či teplem ovlivněné oblasti. V nedávné době studovali vliv laserových parametrů na geometrické vlastnosti otvorů vyvrtaných v oxidové keramice např. Hanon a kol. 2016 [5], kteří porovnávali získané výsledky s výsledky simulace nebo Bharatish a kol. 2013 [6], kteří vytvořili model pro předpovídání kruhovitosti otvorů.

Tato práce je zaměřena na vrtání oxidové keramiky Al_2O_3 o tloušťce 2 mm pomocí pevnolátkového Nd:YAG laseru a kvazikontinuálního (QCW) ytterbiového vláknového laseru s cílem vytvořit kvalitní otvory. Nová generace QCW laserů vyzařujících na vlnové délce 1 070 nm, poskytujících jedinečné vlastnosti (vysoká energie pulsu, vysoký průměrný a vrcholový výkon, excelentní kvalita svazku) může přinést zrychlení a zkvalitnění procesu. Vláknové lasery také umožňují vytvoření struktur s rozměry menšími než 100 μm . Procesy vrtání těmito lasery byly porovnávány a byl zkoumán vliv parametrů použitých laserů na kvalitu a rozměry otvorů. Konkrétně se jednalo o studium vlivu energie pulsu, délky pulsu a počtu pulsů na průměr a kruhovitost vstupního a výstupního otvoru, „aspect ratio“ a

přítomnost taveniny na okrajích otvoru pro Nd:YAG laser a obdobně i pro QCW laser. Pro oba lasery byly stanoveny optimální parametry procesu, při jejichž použití docházelo k vytvoření kvalitních otvorů bez nečistot a vzniku trhlin. Vytvořené otvory byly pozorovány a hodnoceny pomocí skenovacího konfokálního mikroskopu OLYMPUS LEXT 3100. Měření rozměrů otvorů bylo realizováno pomocí příslušného softwaru. Geometrické charakteristiky otvorů byly následně vypočítány a pro snadnější porozumění byly prezentovány pomocí grafů.

Poděkování

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu MŠMT č. LTT17006 (INTER-TRANSFER - CTA) a projektu IGA Koherenční a nelineární optika – Vybrané kapitoly VIII, č. IGA_PrF_2017_005.

Reference

- [1] Preusch, F., Adelmann, B., Hellmann, R. (2014). Micromachining of AlN and Al₂O₃ using fiber laser. *Micromachines*, Vol. 5, No. 4, 1051-1060.
- [2] Samant, A. N., Dahotre, N. B. (2008). Computational predictions in single-dimensional laser machining of alumina. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48, No. 12, 1345-1353.
- [3] Kim, S. H., Sohn, I. B., Jeong, S. (2009). Ablation characteristics of aluminum oxide and nitride ceramics during femtosecond laser micromachining. *Applied Surface Science*, Vol. 255, No. 24, 9717-9720.
- [4] Chang, C. W., Kuo, C. P. (2007). An investigation of laser-assisted machining of Al₂O₃ ceramics planning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, No. 3, 452-461.
- [5] Hanon, M. M., Akman, E., Oztoprak, B. G., Gunes, M., Taha, Z. A., Hajim, K. I., Kacar, E., Gundogdu, O., Demir, A. (2012). Experimental and theoretical investigation of the drilling of alumina ceramic using Nd:YAG pulsed laser. *Optics and Laser Technology*, Vol. 44, No. 4, 913-92.
- [6] Bharatish, A., Narasimha Murthy, H. N., Anand, B., Madhusoodana, C. D., Praveena, G. S., Krishna, M. (2013). Characterization of the hole circularity and heat affected zone in pulsed CO₂ laser drilling of alumina ceramics. *Optics and Laser Technology*, Vol. 53, 22-32.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

- Laserové obrábění kovových a nekovových materiálů
 - Počítačové modelování a simulace procesů probíhajících při tepelném opracování materiálů
 - Vývoj a výroba prototypů z kovových fólií
-

OPTICAL SPIN DRIVEN DYNAMICS OF MICROPARTICLE OPTICALLY TRAPPED IN VACUUM

Vojtěch SVAK, Stephen SIMPSON, Oto BRZOBOHATÝ, Martin ŠILER and Pavel ZEMÁNEK

Institute of Scientific Instruments of the CAS, v.v.i., Královopolská 147, Brno 612 64, CZ
Tel.: +420 541 514 395, E-mail: svakvo@isibrno.cz, WWW: <http://www.isibrno.cz/omitec/>

Keywords: Momentum of light, spin momentum of light, optical spin force, counter-propagating beam optical trap, optical trapping in vacuum, non-equilibrium thermodynamics

The momentum of light, and the radiation pressure forces to which it gives rise, are usually thought to act parallel to the direction of propagation. However, recent work has indicated the existence of a spin $\mathbf{S}$ dependent component to the momentum, $\mathbf{p}^{spin} = \frac{1}{2} \nabla \times \mathbf{S}$, and an associated spin force, $F^{spin} \propto P^{spin}$, that arise in inhomogeneous light fields and tend to act in transverse directions [1,2]. Here we present powerful demonstration of the mechanical effects of spin momentum. We trap a silica microsphere (1,54 μm diam.) in counter-propagating Gaussian beam trap, in vacuum (Fig. 1a). A series of distinct regimes of motion are observed, depending on polarization of the light and optical power P for given ambient pressure of 6 mbar.

First, we consider small optical power, thus small displacements. For small displacements of a microsphere from the centre of the trap, the trap can be quantified by stiffness coefficient, $K = kP$, which is directly proportional to the optical power. In the overdamped regime, we see Brownian motion which complies with the equipartition theorem. The elastic and thermal energies of the trap can be equated, $\frac{1}{2}k_B T = \frac{1}{2}K\langle x^2 \rangle = \frac{1}{2}kP\langle x^2 \rangle$ so that the position variance is inversely proportional to the power, $P\langle x^2 \rangle = \text{const.}$. Precisely the same behaviour is seen in the under-damped regime, when we use linear polarization (Fig. 1c). In contrast, for circular polarization we see dramatic departures from equipartition that increase with increasing P - the position variance grows rapidly as we put more power into the trap (Fig. 1c). When the optical power is increased, transverse spin forces bias the Brownian motion, conferring angular momentum to the trapped particle. More information is contained in the power spectrum of the motion, which has the form of Lorentzian with a peak position corresponding to the resonant frequency of the trap. As we increase the optical power, this resonant frequency increases. At the same time the peak grows sharply in height (Fig. 1e). Again this should be contrasted with variation for linearly polarized traps, where the peak shifts similarly, but decreases rapidly in height (Fig. 1d). The qualitative distinction between the power spectra for linearly and circularly polarized traps can be simply explained. In the former case, we have a harmonic oscillator whose resonant frequency we are tuning via the optical power, the frequency spectrum of the thermal motion responds accordingly. In the latter case, the resonant frequency is shifting, but this time we are also driving the particle – via the azimuthal spin forces - and, as the power increases, the drive begins to resonate with the oscillator.

If the optical power is increased further, the particle begins to execute sustained deterministic orbits about the beam axis. As the bead orbits, azimuthal spin forces are balanced by viscous drag, gradient forces act as centripetal forces (Fig. 1b). Since the ratio of azimuthal and radial force is approximately constant with optical power, the orbit radius increases monotonically with optical power (Fig. 1f), and the frequency of the orbit is approximately independent of optical power (Fig. 1g). Ultimately, increases in optical power result in these orbits destabilizing before the particle is completely ejected.

This system acts both as a powerful demonstration of spin momentum and spin forces, and as a test bed for elementary non-equilibrium thermodynamics.

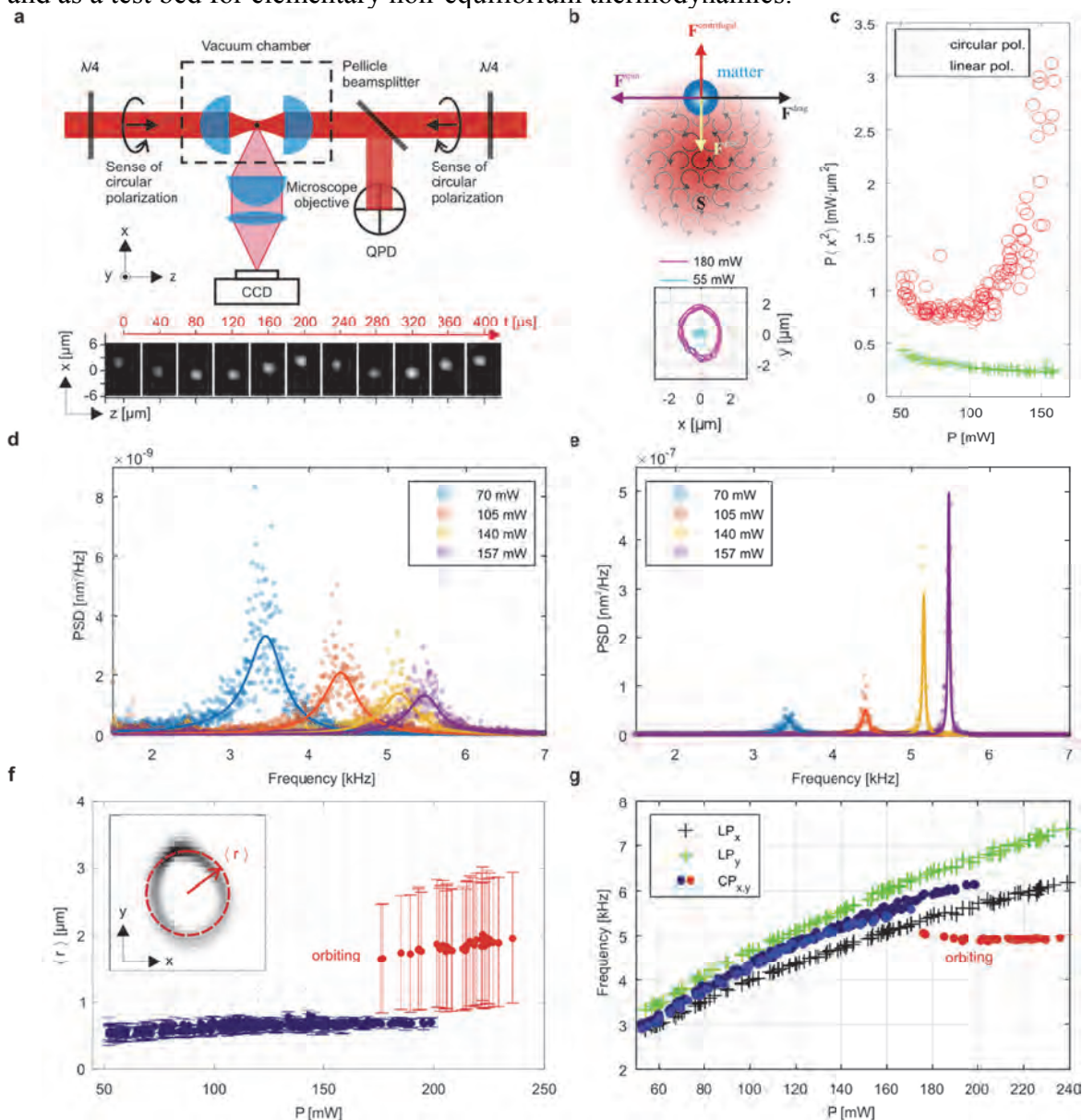


Figure 1: a) Experimental setup – counter-propagating beams in vacuum ($\lambda_0 = 1064$ nm, 6 mbar) and holographic video microscopy ($\lambda_0 = 1064$ nm, red beam). b) Forces acting on particle, trajectories – Brownian motion (cyan) and deterministic orbit (magenta) c) violation of equipartition for circularly pol. Light d) PSD in linearly pol. Light e) PSD in circularly pol. light f) mean orbit diameter vs. optical power g) resonant frequency of the bead motion vs. optical power

REFERENCES

- [1] M. Antognozzi, C. R. Bermingham, R. L. Harniman, S. Simpson, J. Senior, R. Hayward, H. Hoerber, M. R. Dennis, A. Y. Bekshaev, K. Y. Bliokh, F. Nori, *Nature Physics* **12**, 731–735 (2016)
- [2] Konstantin Y. Bliokh, Aleksandr Y. Bekshaev, Franco Nori, *Nature Communications* **5**, 3300 (2014)

ACKNOWLEDGEMENTS

The basic research was supported by CSF (GB14-36681G) and its infrastructure by MEYS CR (LO1212).

VYUŽITIE METÓD ML PRI ANALÝZE SIMS DÁT LIGNÍNOVÝCH KOMPOZITOV

Monika Jerigová¹, Vojtech Szöcs¹, Eduard Jáné¹, Dušan Lorenc¹ a Dušan Velič^{1,2}

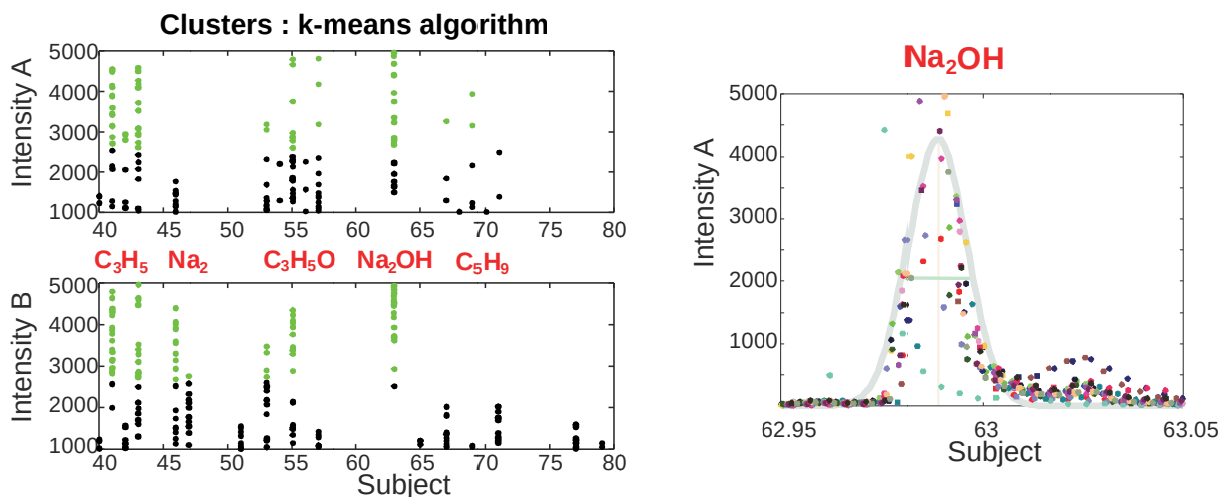
¹International Laser Centre, Bratislava, web.ilc.sk, jerigova@gmail.com, Slovakia

²Department of Physical and Theoretical Chemistry, Comenius Univerzity, Bratislava, Slovakia

Obor: Hmotnostné spektrá a ich spracovanie

Štatistická metóda „Machine learning“ (ML) je v poslednej dobe často využívanou metódou pri spracovaní širokého pásma experimentálnych dát a spektier (napr. v [1] pri spracovaní NMR, či v najnovšej práci [2] pri spracovaní časových IČ spektier makromolekúl).

Naša skupina, v rámci projektu APVV [3], ju využila pri analýze hmotnostných spektier fenolformaldehydových kompozitov s lignínom. Ako vysoko citlivá spektrálna metóda na získanie hmotností a následnú identifikáciu jednotlivých molekulárnych zložiek meraného objektu sa použila hmotnostná spektrometria sekundárnych iónov (SIMS). Základným princípom SIMS je bombardovanie povrchu vzorky primárnymi iónmi s vysokou energiou, ktoré generujú kolízu kaskádu a následne emisiu sekundárnych iónov. Vo výslednom hmotnostnom spektre sú jednotlivé píky s rôznou intenzitou usporiadané podľa rastúcej hmotnosti, resp. pomeru m/z . Pre objektívne vyhodnotenie merania je potrebné urobiť niekoľko desiatok „scanov“ v širokom diapazóne hmotností. Veľké množstvo dát, a to aj v oblasti pre nás zaujímavých hmotností, je vhodné predspracovať metódou ML a následne určiť konečnú hmotnosť vhodným nelineárnym fitom.



Obr. 1: Analýza SIMS spektier, 2x20 meraní (A: čistý fenokol, B: fenokol s 80 perc. náhradou lignínom), vo vybranej hmotnostnej oblasti metódou ML a následná analýza vo vybranej oblasti Na_2OH (metóda globálneho nelineárneho fitu; rôznymi farbami sú vyznačené dáta z rôznych, dvadsať, meraní). Pre vyhodnotenie je dôležitá presná poloha píku, na obr. vpravo je tiež vyznačená pološírka.

Pri nelineárnom, Gaussovom, fite sa predpokladá, že poloha píku a jej šírka je jednoznačnou vlastnosťou „vyrážanej“ molekuly (a teda má byť rovnaká pre všetky merania), avšak výška sa mení od merania k meraniu (napr. môžu sa meniť vonkajšie okolnosti: na Obr.1 vpravo je pre názornosť vyznačená stredná výška). Pre naše potreby je dôležitá poloha píku. Nasledujúca tabuľka ilustruje výsledok spriahnutej analýzy ML -> nelin.fit, kde je vidieť zlepšená presnosť výsledkov.

k-means	Identifikované	Glob.fit
41,05	C ₃ H ₅	41.042
45,98	Na ₂	45,982
57,07	C ₃ H ₅ O	57,073
62,99	Na ₂ OH	62,992
69,08	C ₅ H ₉	69.077

Tab. 1: Spresnenie polohy spektier získaných metódou ML a následnou metódou globálneho nelin. fitu.

Kombinácia metódy ML (v našom prípade k-means) a následného nelin. fitu nám jednak umožňuje spracovať a vyselektovať veľké množstvo dát, a potom v ML určenej podobe metódou nelin. fitu zjemniť polohu/hmotnosť vybranej molekuly. Odstraňuje sa tým „nepresnosť“ spôsobená krokováním nameraných veličín.

V oblasti vyšších molekulových hmotností pre kompozit lignínu sme touto metódou identifikovali paracoumaryl alkohol (hmotnosť 162.1), coniferyl alkohol (hmotnosť 192.064) a sinapyl alkohol (hmotnosť 221.1368), pričom výrazný rozdiel v intenzitách vykazoval iba sinapyl alkohol z dôvodu nižšej reaktivity.

SIMS je výkonná analytická technika, ktorá má vysokú citlivosť aj spektrálne rozlíšenie a umožňuje identifikáciu kľúčových fragmentov skúmaných molekúl fenolformaldehydu a lignínu. V spolupráci s teoretickými metódami spracovania dát poskytuje relevantné informácie o zložení a modifikáciách jednotlivých vzoriek fenolformaldehydových kompozitov s lignínom.

[1] C.Zhou et al, BMC Bioinformatics 2008, 9, 325
[2] M. Gastegge et al, Chem. Sci., 2017,8, 6924
[3] Lignín ako kompozitný komponent do fenolformaldehydových živíc a drevoplastu, APVV-15-0201, zodp.riešiteľ doc. Ing. Dušan Velič, PhD.

Dalšie oblasti záujmu s ponukou spolupráce:

- Analýza hmotnostných spektier
- Spracovanie signálov metódami ML rôznymi programovacími prostriedkami

Podakovanie

Tento výskum je podporovaný Grantovou agentúrou SR, projekt APVV-15-0201.

VLASTOSTI HYBRIDNÍCH LASTIG SVARŮ OCELI S460MC

Hana Šebestová, Petr Horník, Libor Mrňa

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

Královopolská 147/62, 612 00 Brno - Královo Pole

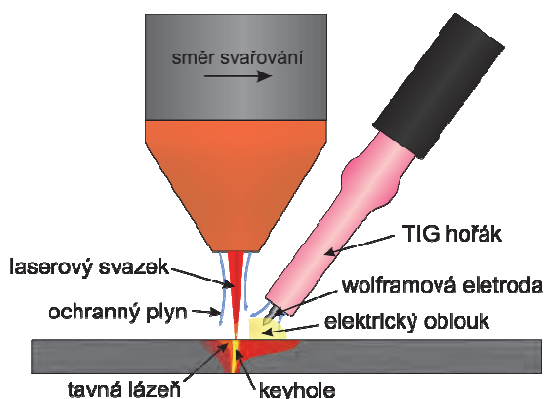
tel.: 541 514 338, e-mail: sebestova@isibrno.cz, www.isibrno.cz

Obor: výkonové laserové technologie

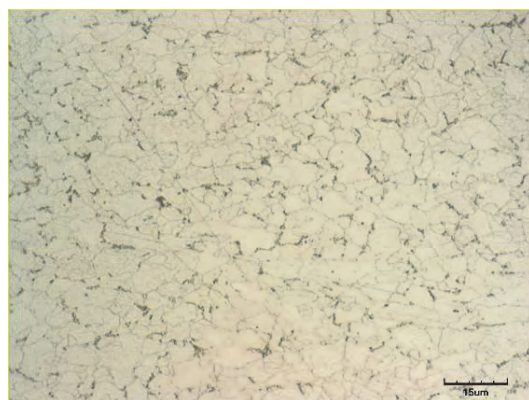
Konvenční vysokopevnostní oceli často dosahují vysoké meze pevnosti i kluzu díky velkému obsahu legujících prvků, které s uhlíkem vytvářejí tvrdé karbidy. Takové oceli však mají vysoký uhlíkový ekvivalent snižující jejich svařitelnost. V případě konstrukční oceli S460MC je vysokých pevnostních charakteristik dosahováno mikrolegováním a pečlivě kontrolovaným procesem válcování zatepla. Nízký uhlíkový ekvivalent zajišťuje oceli dobrou svařitelnost při použití konvenčních metod. Pro zachování jemnozrné struktury je vhodné svařovat metodami, které do materiálu nevnašejí příliš tepla, aby nedocházelo k přehřívání a vzniku široké hrubozrné tepelně ovlivněné oblasti se sníženou pevností či nadměrným tepelným deformacím svařovaných součástí.

Laserový svazek je zdrojem vysoce koncentrované energie. K ohřevu i natavení svařovaných dílů dochází tak rychle, že se plně nestihnou rozvinout procesy vedení tepla, které by rozšiřovaly tepelně ovlivněnou oblast svaru. Při svařování laserem se však dosahuje rychlosti ochlazování v řádech 10^2 až 10^3 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$, což umožňuje vznik nežádoucích křehkých struktur, které mohou vést k degradaci mechanických vlastností svaru. V případě feriticko-perlitické oceli S460MC může docházet k tvorbě martenzitu již při rychlosti ochlazování 100 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$, proto je vhodné zajistit nižší rychlosti použitím přehřevu. Přehřev může být realizován prostřednictvím elektrického oblouku s použitím malého svařovacího proudu. Technologie kombinující laserové svařování se svařováním netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu bývá označována jako hybridní LasTIG svařování. K jeho hlavním přednostem patří zejména snížení teplotních gradientů při zachování vysoké pracovní rychlosti či snadné přemostění styčné mezery mezi svařovanými díly.

Pro hodnocení vlivu svařovacího proudu TIG hořáku (Fronius MagicWave 1700 Job) na vlastnosti hybridních svarů S460MC byla provedena série experimentů při konstantním výkonu laseru (IPG YLS 2000) $1,5$ kW a svařovací rychlosti 20 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Na obr. 1 je znázorněno schéma experimentální sestavy LasTIG svařování, při kterém je laserový svazek předcházen wolframovou elektrodou. Ocelové plechy o síle 3 mm byly svařeny natupo v ochranné atmosféře argonu o průtoku 18 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ koaxiálně s laserovým svazkem i s wolframovou elektrodou.

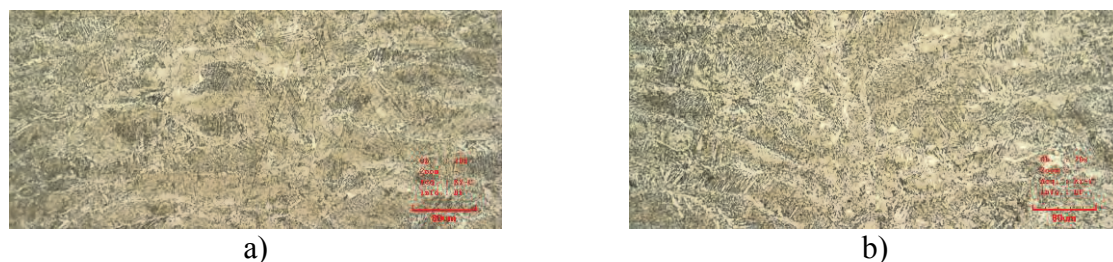


Obr. 1: Experimentální sestava LaTIG svařování.



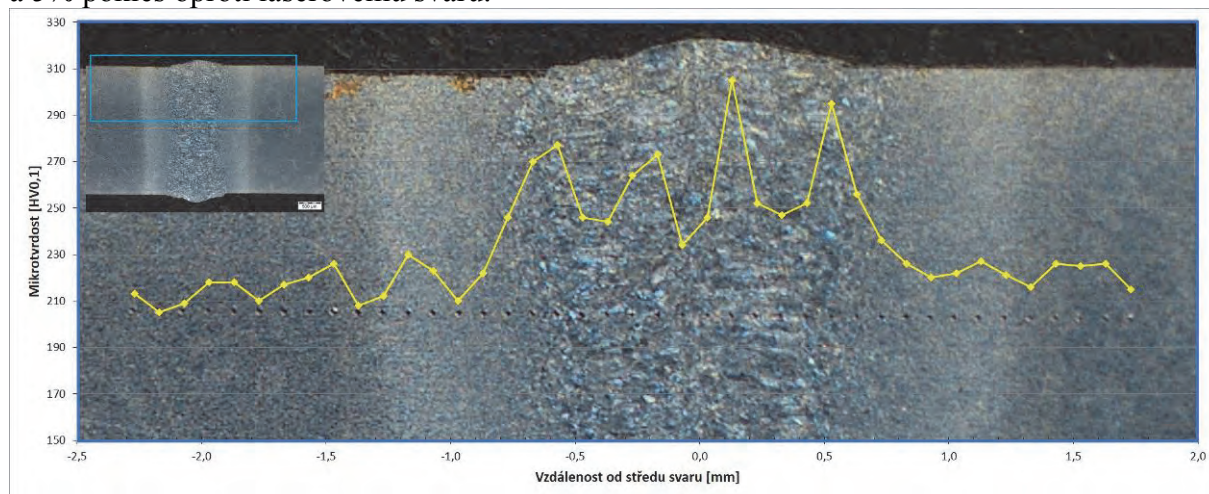
Obr. 2: Feriticko-perlitická mikrostruktura oceli S460 MC.

Pro hodnocení mikrostruktury a zkoušku mikrotvrdosti dle Vickerse byly připraveny metalografické výbrusy příčných řezů svary. Obr. 2 prezentuje mikrostrukturu základního materiálu, obr 3 rozdíl v mikrostruktuře svarového kovu laserového a hybridního svaru.



Obr. 3: Mikrostruktura svarového kovu S460MC při svařovacím proudu a) 0 A a b) 60 A.

Ukázka průběhu mikrotvrdosti napříč svarem pro svařovací proud 40 A je uvedena na obr. 4. V tepelně ovlivněné oblasti nebyl zaznamenán pokles mikrotvrdosti. V její přechodové části přilehlé ke svarovému kovu mikrotvrdost rostla a blížila se hodnotám mikrotvrdosti svarového kovu. Ve svarovém kovu bylo lokálně dosaženo mikrotvrdosti až 305 HV_{0,1}, a lze zde tedy předpokládat přítomnost nízkouhlíkového martenzitu, příp. bainitu. Průměrná hodnota dosahovala 256 HV_{0,1}, což je přibližně 20% nárůst oproti základnímu materiálu a 5% pokles oproti laserovému svaru.



Obr. 4: Mikrotvrdost hybridního svaru oceli S460 MC (40 A).

S rostoucím svařovacím proudem rostla šířka svaru i tepelně ovlivněné oblasti, a měnil se tedy i průběh mikrotvrdosti. Mikrotvrdost v jednotlivých zónách tepelně ovlivněné oblasti dosahovala obdobných hodnot pro různé svařovací proudy. Rozdíl byl detekován pouze na rozhraní tepelně ovlivněné oblasti a ve svarovém kovu, což je dáno odlišným zastoupením jednotlivých mikrostrukturních součástí, které je závislé na rychlosti ochlazování. Při vyšších svařovacích proudech, a tedy i nižších teplotních gradientech byl nárůst mikrotvrdosti svarového kovu nižší.

Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:

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

Poděkování

Autoři děkují za podporu TAČR (GAMA TG03010046 "Hybridní svařování LasTIG").
Práce vznikla za podpory MŠMT (projekt LO1212).

POVRCHY A TENKÉ VRSTVY PRO VÝKONNOU LASEROVOU OPTIKU

Jan Václavík, Petr Horodyská, Jiří Budasz, Tomáš Thoř, František Procháška

Ústav Fyziky Plazmatu AV ČR, v. v. i.,

Centrum TOPTEC, Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha 8, Česká republika

Tel.: +420 487 953 915, vaclavik@ipp.cas.cz, www.toptec.eu

Obor: Laserem indukované poškození

1. Úvod

Už v roce 1964, tj. 4 roky po té co byl představen světu první laser, byla publikována sada článků zabývajících se poškozením transparentních materiálů intenzivním laserovým pulsem. Zajímavé bylo prohlášení, že „poškození optických komponent limituje dosažení vyššího výkonu laseru“. Vývoj optických komponent a vývoje laserových systémů šel ruku v ruce a lze konstatovat, že se situace za 57 let nezměnila. V oblasti vysokých výkonů jsou optické prvky stále limitujícím faktorem laserových soustav. Typickým příkladem jsou systémy s pulsními lasery v ns režimu. Ty jsou široce nasazovány jak v akademickém tak i průmyslovém prostředí. Běžně dostupné optické elementy pro tyto aplikace mají práh laserem indukovaného poškození (LIDT) v úrovni 25 J/cm^2 . Světová špička pak dosahuje 70 J/cm^2 . Požadavek ze strany laserových vývojových center je 100 J/cm^2 , optimálně ještě vyšší. Z ekonomických důvodů jsou průmyslové aplikace navrhovány s požadavkem nižšího prahu poškození, ovšem to jde na úkor zvětšování rozměrů a hmotností systémů. Je důležité zmínit fakt, že se odolnost materiálu optických prvků pohybuje v rozsahu $15\text{--}300 \text{ J/cm}^2$. Jak se zvyšuje výkon laserů, dochází k zužování portfolia materiálů použitelných pro optické elementy. Odmocninové pravidlo škálování prahu poškození s délkou pulsu nám říká, že pro ps aplikace jsou k dispozici elementy s LIDT $5\text{--}7 \text{ J/cm}^2$. Pro fs lasery pak dochází k limitaci na úrovních $1\text{--}1,2 \text{ J/cm}^2$ v důsledku generování volných elektronů a související absorpce energie laserového pulsu.

Výzkumné centrum TOPTEC dlouhodobě spolupracuje s laserovými výzkumnými centry (PALS, HiLase, ELI) a průmyslovými podniky v oblasti návrhu a realizace speciálních optických elementů. Tato spolupráce vedla ke vzniku vnitřního výzkumného a vývojového programu orientovaného na optické elementy pro laserové aplikace.

2. Původ poškození

Kritickým místem refraktivních i reflektivních optických elementů jsou jejich povrchy. Materiál optického elementu lze získat v různých stupních kvality (chemická čistota, homogenita), přičemž objemové LIDT materiálů nejvyšší kvality stále ještě několikrát překračuje LIDT povrchu materiálu. Typickým příkladem je tavený křemen, u kterého lze vybrat typy optimalizované pro jednotlivé laserové aplikace a cenu. Naproti tomu povrch optického elementu je utvářen složitými procesy během výroby optického elementu a přetvořen jak morfologicky tak často i chemicky. Žádný optický element se neobejde bez opticky funkční tenké vrstvy tvořící obvykle antireflexní nebo naopak superreflexní efekt. Tenké vrstvy materiálů mají daleko od dokonalých krystalických či amorfních struktur objemového materiálu a práh jejich poškození je často limitujícím faktorem LIDT celého elementu.

Vlastnosti povrchu zásadně ovlivňující LIDT:

- Podpovrchové poškození povrchu
- Kosmetická kvalita povrchu – scratch/dig
- Morfologie povrchu - mikrodrsnost
- Stav povrchové vrstvy (Beilbyho vrstva) a chemická čistota

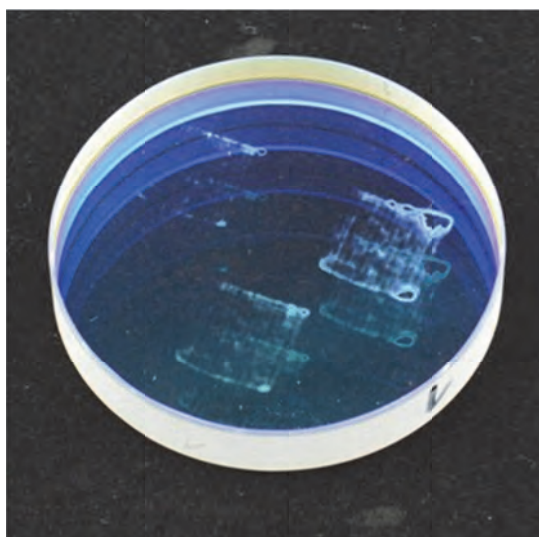
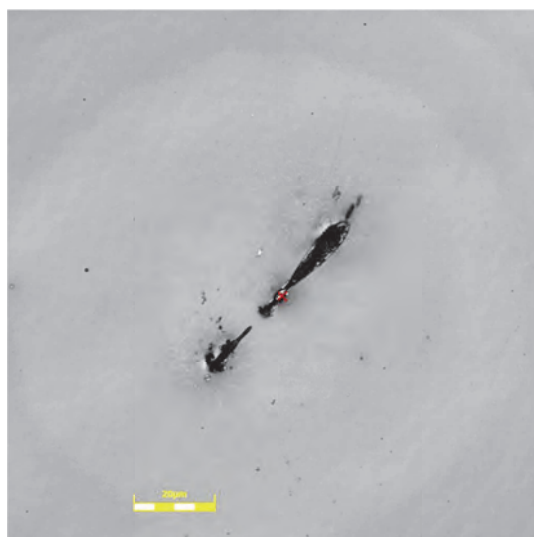
Vlastnosti tenkých vrstev zásadně ovlivňující LIDT:

- Materiál vrstev – šířka zakázaného pásu a absorpce
- Chemická čistota – kontaminace z depozičního procesu
- Struktura vrstvy – porozita
- Mezivrstvové rozhraní

3. Výzkumné aktivity centra TOPTEC v oblasti LIDT

Z výše uvedeného výčtu vlastností ovlivňujících LIDT optického elementu jsou v centru TOPTEC studovány následující oblasti:

- Morfologie povrchu – superleštěné povrchy. Jde o studium procesů a metod dosažení mikrodrsnosti menší než 0,5 nm na netriviálních tvarech – asféry a freeform.
- Kosmetická kvalita – automatické měření, vyhodnocení a procesní minimalizace počtu mikroškráb a defektů, které jsou primárním počátkem poškození
- Stav povrchové vrstvy – výzkum vztahů mezi materiály použitými pro leštění povrchu a prahem poškození
- Tenké vrstvy – materiálová absorpce a optimalizace depozičního procesu s cílem její minimalizace propojená s návrhem antireflexních a superreflexích soustav vrstev.
- Studium mezivrstvového rozhraní a vrstvy s plynulým přechodem materiálů.



Obr. 1: Počátek poškození povrchu laserového elementu v místě mikroškráby a testovací vzorek s poškozením.

4. Poděkování

Tato práce je podporována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky v projektu NPU LO1206. Dále je tato práce podporována Ministerstvem průmyslu a obchodu v programu FV-TRIO v projektu FV10071.

PARTNEŘI A SPONZOŘI KONFERENCE:



www.optixs.cz



Lasery, fotonika
a jemná mechanika

www.mit-laser.cz



www.nwg.cz



měřicí technika - morava
messtechnik - moravia
measurement technic - moravia

www.mericitechnikamorava.cz



Centrum pro inovace a transfer technologií



Lasery, fotonika
a jemná mechanika

OptiXs



měřicí technika - morava
messtechnik - moravia
measurement technic - moravia



SVĚTLO
VE SLUŽBÁCH SPOLEČNOSTI

Název: Elektronický sborník příspěvků multioborové konference LASER57
Editor: Bohdan Růžička
Vydavatel: Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno
Vydáno v roce: 2017
Vydání: první
Náklad: - ks

Za obsahovou a jazykovou úpravu odpovídají autoři příspěvků.

ISBN 978-80-87441-22-0