ÚPT AVČR

alisi

AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY

Lasery a Optika

MiT Lasery, fotonika a jemná mechanika

evropský sociální fond v ČR

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

OP Výzkum a vývoj pro inovace

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

© 2012, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-10-7

# LA53

Sborník příspěvků multioborové konference

**LASER53**

Zámecký hotel Třešť, 30. října - 1. listopadu 2013

Sborník příspěvků multioborové konference

# LASER53

Zámecký hotel Třešť, 30. října – 1. listopadu 2013

© 2013, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.

ISBN 978-80-87441-10-7

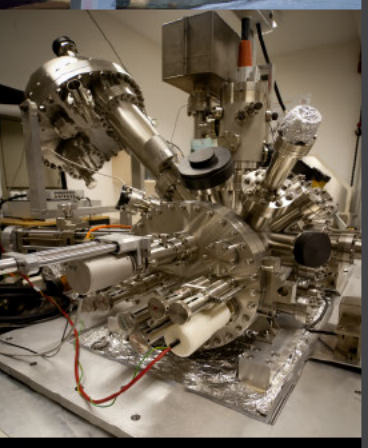
# ÚVODNÍ SLOVO

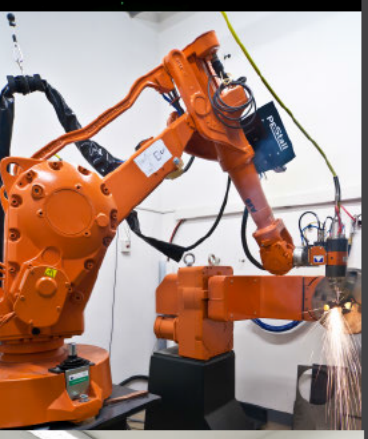
„V letošním roce oslavuje světový vynález laseru 53 let… “

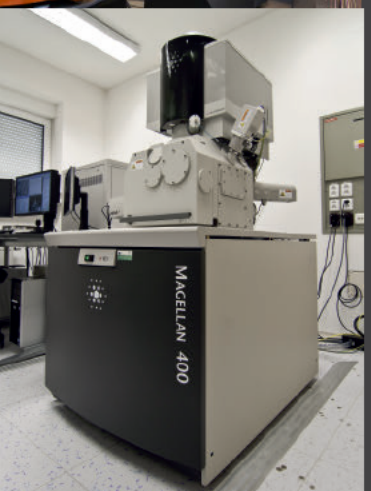
Konference LASER 53 je akce, kde se potkávají odborníci z veřejné i soukromé sféry, kteří se lasery profesně zabývají a mají zájem získávat kontakty a informace napříč různými obory a přístupy. Přejeme Vám, aby se podařilo navázat nová přátelství, případně utužit ta existující.

V Brně dne 23. října 2013

Bohdan Růžička
za organizační tým








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

alisi 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

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i. - Akademie České republiky - Královopolská 147 - 612 64 - Brno
Česká republika - tel.: +420 541 111 - fax.: +541 514 402

# OBSAH


| | | | |
|---|---|---|---|
| **Arzola, V.** | **Alejandro** | OPTICKÁ ROTACE A MANIPULACE S NESFÉRICKÝMI MIKROOBJEKTY | **9** |
| **Beran** | **Josef** | METODY MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY A JEJICH PŘESNOST | **11** |
| **Bernatová** | **Silvie** | RAMANOVSKÁ PINZETA: PRINCIP A APLIKACE | **12** |
| **Brajer** | **Jan** | VÝVOJ A OPTIMALIZACE LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍ VE VCSVTT | **14** |
| **Buchta** | **Zdeněk** | AKTIVNÍ ÚHLOVÉ POLOHOVÁNÍ KONCOVÉ MĚRKY V SYSTÉMU PRO JEJÍ AUTOMATICKOU KALIBRACI | **15** |
| **Civiš** | **Svatopluk** | APLIKACE VYSOCE REPETIČNÍHO ARF LASERU V ČASOVĚ ROZLIŠENÉ FT SPEKTROSKOPII | **17** |
| **Číp** | **Ondřej** | NANOPOSUVNÉ STOLKY S VELKÝM ROZSAHEM POLOHOVÁNÍ PRO AFM MIKROSKOPII | **18** |
| **Čížek** | **Martin** | SYSTÉM PRO STABILIZACI FEMTOSEKUNDOVÝCH LASERŮ | **20** |
| **Fišerová** | **Pavla** | ADHESIVNĚ – ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ LASEREM KALENÝCH OCELÍ V OBLASTI PŘEKRYVŮ STOP | **22** |
| **Flimel** | **Karol** | REVOLUCE V OŘEZÁVÁNÍ PLASTOVÝCH VÝLISKŮ – LASER OPTIMÁLNÍ ŘEŠENÍ! | **24** |
| **Hála** | **Aleš** | FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AV ČR – PROJEKT HILASE | **26** |
| **Helán** | **Radek** | VÝROBA VLÁKNOVÝCH MŘÍŽEK PRO POUŽITÍ V OPTICKÝCH SENZORECH | **28** |
| **Holá** | **Miroslava** | DETEKCE STOJATÉ VLNY UVNITŘ FABRY-PEROTOVA REZONÁTORU | **30** |
| **Holík** | **Milan** | SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR SE ZABUDOVANÝM ŠIROKOSPEKTRÁLNÍM OPTICKÝM ZDROJEM V OBLASTECH 1310 NM A 1550 NM | **32** |
| **Hrabina** | **Jan** | MULTIDIMENSIONÁLNÍ INTERFEROMETRICKÝ ODMĚŘOVACÍ SYSTÉM PRO AFM MIKROSKOPII – NÁRODNÍ ETALON PRO NANOMETROLOGII | **34** |
| **Hucl** | **Václav** | ELEKTRONIKA PRO KOMUNIAKCI V PŘÍSTROJOVÉ TECHNICE | **36** |
| **Chromý** | **Josef** | FIBER LASER CONQUERS MEDIUM SHEET THICKNESSES | **38** |
| **Chvátal** | **Lukáš** | OPTICKÝ TRANSPORT A TŘÍDĚNÍ POMOCÍ 'TAŽNÉHO PAPRSKU' | **40** |
| **Jandík** | **Aleš** | PLNĚ AUTOMATICKÝ SYSTÉM PRO NASTAVENÍ A STABILIZACI LASEROVÉHO SVAZKU | **42** |
| **Ježek** | **Jan** | OPTICKY ZACHYCENÉ LADITELNÉ KAPÉNKOVÉ MIKROLASERY | **43** |
| **Kaiser** | **Jozef** | VÝVOJ INSTRUMENTACE PRO METODU SPEKTROMETRIE LASEREM BUZENÉHO MIKROPLAZMATU PRO VYUŽITÍ V 2D AUTOMATIZOVANÉM STOLNÍM A DÁLKOVÉM PRVKOVÉM MAPOVÁNÍ | **45** |
| **Klečka** | **Martin** | LASERY A OPTIKA - TECHNOLOGICKÁ A ZÁKAZNICKÁ ŘEŠENÍ | **47** |
| **Kolka** | **Zdeněk** | OPTICKÁ KOMUNIKACE VOLNÝM PROSTOREM | **49** |
| **Kuboš** | **David** | AKTIVNÍ TERMOGRAFIE A JEJÍ APLIKACE V OBLASTI SVAŘOVÁNÍ LASEREM | **51** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Lazar** | **Josef** | POKROČILÉ INTERFEROMETRICKÉ SYSTÉMY PRO MĚŘENÍ V NANOTECHNOLOGIÍCH | **53** |
| **Lešundák** | **Adam** | UV LASEROVÁ FLUORESCENČNÁ SPEKTROSKOPIA AMINOKYSELÍN | **55** |
| **Mikel** | **Břetislav** | VLÁKNOVÉ MŘÍŽKY PRO JE TEMELÍN A JEJICH KALIBRACE LASEROVÝM INTERFEROMETREM | **57** |
| **Mocek** | **Tomas** | HILASE: VÝVOJ NOVÉ GENERACE LASERŮ PRO HIGH-TECH PRŮMYSL A VÝZKUM | **59** |
| **Moser** | **Martin** | MIT PŘEDSTAVUJE: PRŮMYSLOVÝ LASER QUASAR | **60** |
| **Mrňa** | **Libor** | VÝKONOVÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ÚPT V ROCE 2013 | **61** |
| **Oulehla** | **Jindřich** | LIDT TESTY OPTICKÝCH KOMPONENTŮ PŘI KRYOGENNÍCH TEPLOTÁCH | **63** |
| **Pala** | **Jan** | POUŽITÍ PULSNÍHO LADITELNÉHO BÍLÉHO LASERU V POKROČILÝCH METODÁCH KONFOKÁLNÍ LASEROVÉ SKENOVACÍ MIKROSKOPIE | **65** |
| **Pilát** | **Zdeněk** | RAMANOVA PINZETA PRO TŘÍDĚNÍ ŽIVÝCH BUNĚK | **66** |
| **Psota** | **Pavel** | VYUŽITÍ DIGITÁLNÍ HOLOGRAFIE V METROLOGII | **68** |
| **Řeřucha** | **Šimon** | INTERFEROMETRICKÉ ODMĚŘOVÁNÍ VZDÁLENOSTI S FREKVENČNĚ MODULOVANÝM SVAZKEM | **70** |
| **Šarbort** | **Martin** | MĚŘENÍ VÝCHYLEK POMOCÍ DETEKCE POLOHY LASEROVÉHO SVAZKU | **72** |
| **Šmíd** | **Radek** | FABRY-PEROT DISPLACEMENT INTERFEROMETRY IN AIR | **74** |
| | | ZÚŽOVÁNÍ ŠÍŘKY ČÁRY LASEROVÉ DIODY POMOCÍ VLÁKNOVÉHO INTERFEROMETRU | **76** |

**Sponzoři** **78**

# OPTICKÁ ROTACE A MANIPULACE S NESFÉRICKÝMI MIKROOBJEKTY

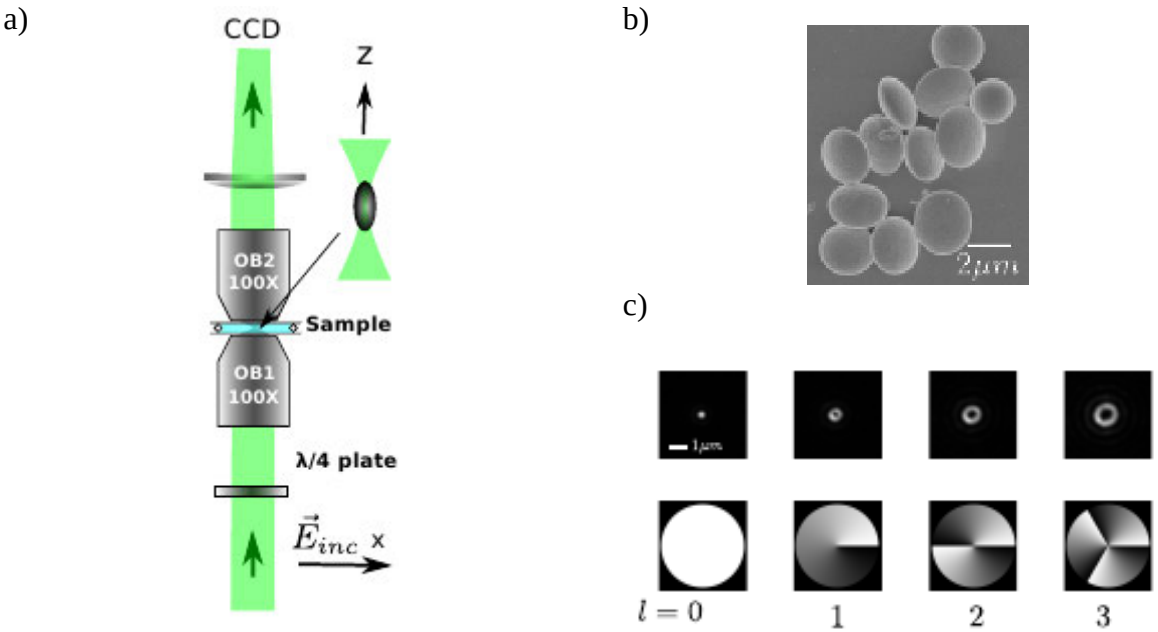
**Alejandro V. Arzola, Lukáš Chvátal, Mojmír Šerý, Petr Jákl, Oto Brzobohatý, Martin Šiler, Pavel Zemánek**

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno
Tel. +420 541 514 524
e-mail: alejandro@isibrno.cz
www.isibrno.cz
www.isibrno.cz/omitec/

**Obor:** optické mikromanipulace, nelineární dynamika

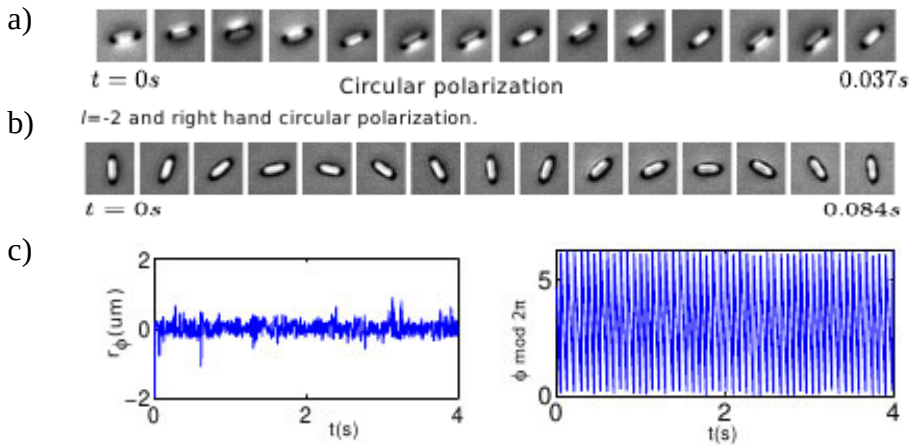
Manipulace s mikroskopickými objekty světlem umožnily hlouběji pochopit interakce záření s hmotou a rovněž našly řadu jedinečných aplikací v mikrosvětě. Standardní optická pinzeta je patrně nejznámější příklad, který k zachycení mikroobjektů využívá silně fokusovaného laserového svazku. Využití prostorového fázového modulátoru světla k tvarování rozložení optické intenzity v chytacím svazku nabízí možnost optimalizovat silové působení s ohledem na velikost, tvar a počet částic.

Zaměřili jsme se na zajímavou problematiku přenosu momentu hybnosti ze svazku na elipsoidální mikročástici, která vede k rotaci mikročástice ve vírových laserových svazcích s eliptickou polarizací. Použili jsme polystyrénové mikročástice o velikostech 1-2 μm a poměru délek hlavních os mezi 0,3 and 2 (viz. Obr. 1). Elipsoidální částice se ve fokusovaném laserovém svazku zachytí v blízkosti ohniska tak, že jedna z jejich delších os se orientuje do směru šíření svazku. Současně na částici působí moment sil, který závisí na tvaru a velikosti částice, topologickém náboji a polarizaci chytacího svazku.



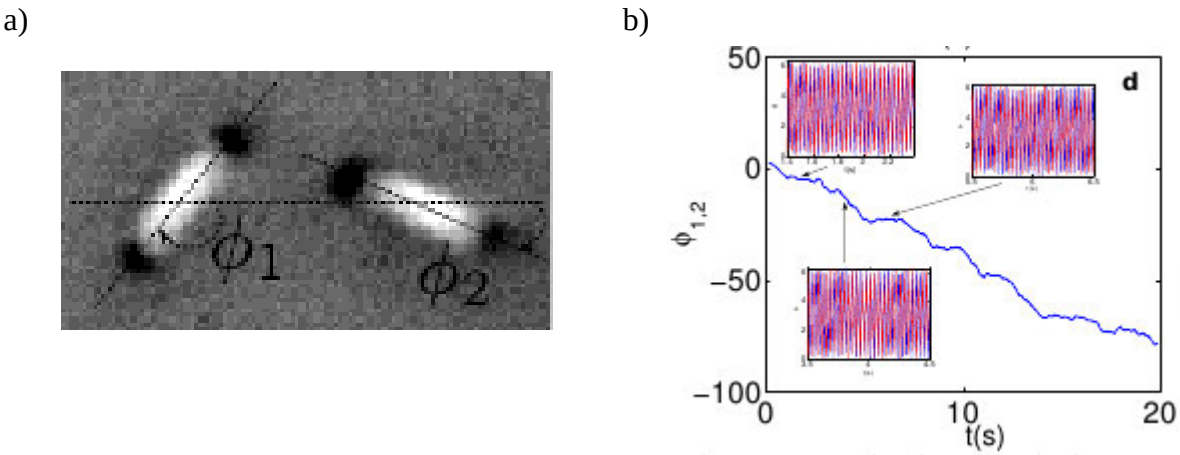

Obr. 1. Experimentální detaily. a) Schéma uspořádání experimentu; b) Obrázek elipsoidálních částic z rastrovacího elektronového mikroskopu; c) příčný intenzitní profil vírového svazku (horní řada) a příčný řez fokusovaným svazkem z vyznačeným azimutálním průběhem fáze, který odpovídá topologickému náboji *l*. Rozměry svazku a průběh fáze jsou vytvořeny prostorovým modulátorem světla.

Obrázek 2 ukazuje rozdílné chování částice v optické pasti. Je-li částice ozářená kruhově polarizovaným světlem, její rotace je vyvolána tzv. spinovým momentem hybnosti světla a je pozorovatelný precesní pohyb částice. Je-li částice ozářena vírovým svazkem, její pohyb je silně ovlivněn tzv. orbitálním momentem hybnosti a precesním pohyb je minimální.




Obr. 2. Elipsoidální částice v silně fokusovaném laserovém svazku.
a) Časový záznam rotace částice v kruhově polarizovaném svazku.
b) Rotace částice ve vírovém svazku s topologickým nábojem *l=2*.
c) Časový záznam radiální polohy a azimutální orientace částice ve svazku ad b).

Rotující mikroobjekty mohou být využity ke studiu mnohem komplexnějších dynamických systémů. Obrázek 3 demonstruje synchronizaci rotace dvou rotujících elipsoidálních částic s rozdílnými počátečními úhlovými rychlostmi.




Obr. 3. Hydrodynamická synchronizace rotace dvou elipsoidálních částic rotujících s různými počátečními úhlovými rychlostmi. a) Ukázka dvou částic zachycených ve 2 vírových svazcích b) Plata v časovém záznamu rozdílového úhlu prokazují synchronizaci jejich rotace.

Autoři děkují za podporu projektům MŠMT a EC (LH12018, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/17.0032).

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- „Soft-matter“ a biomechanika
- Zpracování obrazu a sledování pohybu mikročástic
- Optická mikroskopie s vysokým rozlišením
- Simulace chování mikročástic ve vektorových laserových svazcích

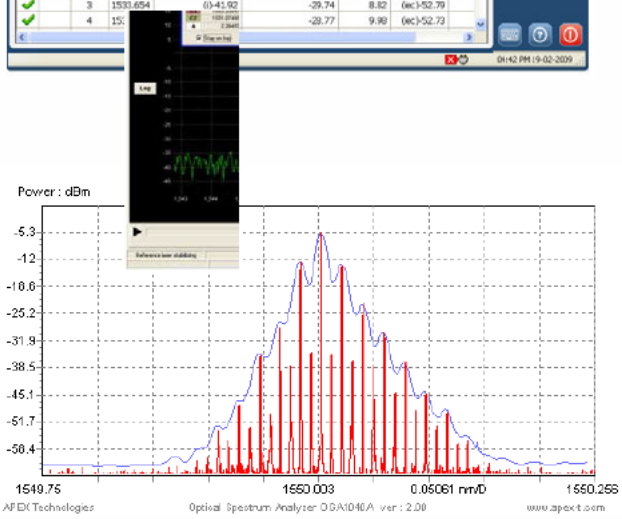
# METODY MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY A JEJICH PŘESNOST

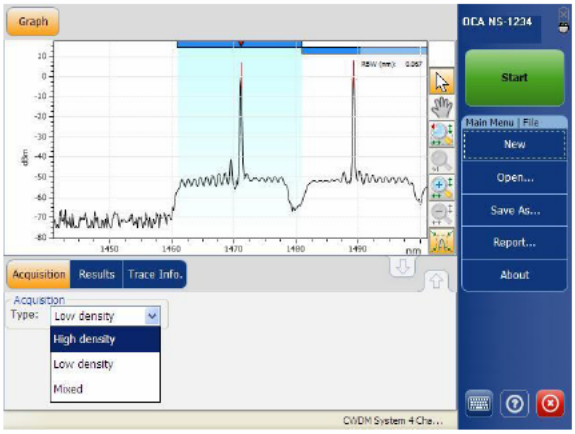
**Josef Beran**

PROFiber Networking CZ s.r.o.
Mezi Vodami 205/29, 143 00 Praha 4
Tel. +420 733 532 226
e-mail: josef.beran@profiber.cz
www.profiber.eu

**Obor:** optická spektrální analýza, detekce výkonu/energie laserů, měření vlnové délky

Měření parametrů laserů – přesnost ve spektru = vlnová délka; výkon, energie, tvar svazku atd. Zkoumání parametrů polovodičových laserů z pohledu jejich použitelnosti a nasazení do optických přenosových systémů. Možnosti modulace laserů pro zvyšování přenosové kapacity optických přenosových systémů. Spektrum optických přenosových systémů a prvky optických přenosových tras. Optické přenosové technologie a systémy nové generace (WDM-PON, koherentní systémy, …). Zdroje optického koherentního záření – DFB lasery pro systémy s vysokou hustotou přenášené informace.



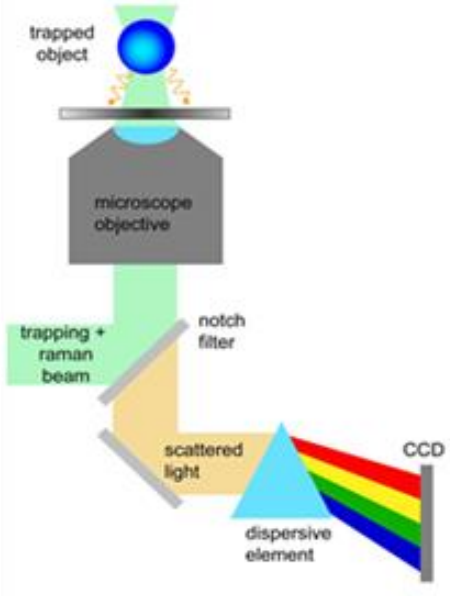

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Měření parametrů laserů (spektrální, výkonové, polarizační)
- Konzultace parametrů laserů pro použití v optických komunikacích
- Školení Akademie vláknové optiky
- Měřicí technika pro optické komunikace a vláknovou optiku

# RAMANOVSKÁ PINZETA: PRINCIP A APLIKACE

**Silvie Bernatová, Ota Samek, Zdeněk Pilát, Jan Ježek, Jan Kaňka, Martin Šiler, Pavel Zemánek**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.,
Královopolská 147, 612 64, (berns@isibrno.cz, www.isibrno.cz/omitec/)

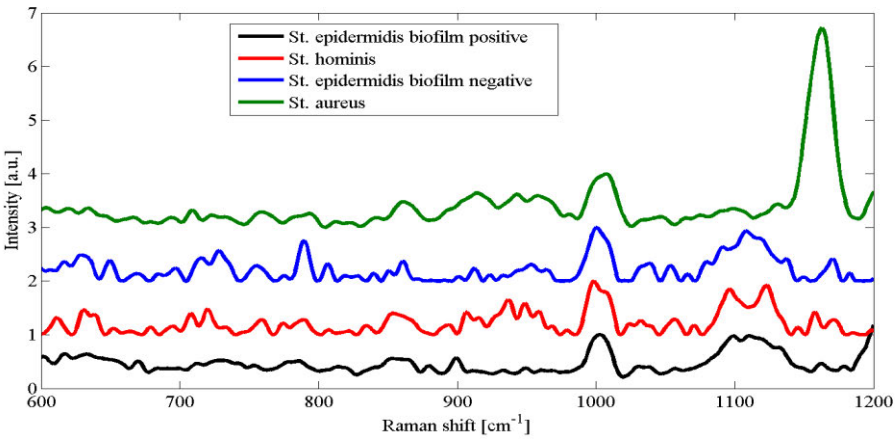
**Obor:** Ramanova spektroskopie, optické manipulace.



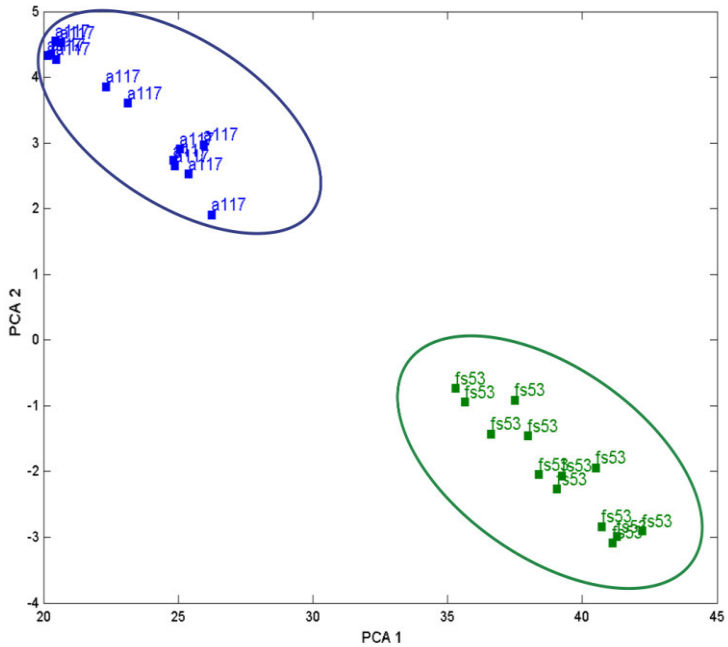

Obr. 1: Schéma ramanovské pinzety.

Ramanovská pinzeta kombinuje optickou pinzetu a ramanovskou mikrospektroskopii. Silové účinky fokusovaného laserového svazku zacíleného na mikrometrové objekty (živé i neživé) umožní prostorové zachycení objektů (tzv. optická pinzeta). Záření nepružně rozptýlené zachyceným objektem (Ramanův rozptyl) nese informaci o molekulárních vazebných vibracích v objektu a napomáhá určit jeho chemické složení s mikrometrovým prostorovým rozlišením (tzv. ramanovská mikrospektroskopie). Jediný laserový svazek nám tak umožní bezkontaktně a sterilně zachytit mikroobjekty v kapalině a současně je diagnostikovat, aniž by byla poškozena jejich struktura nebo fyziologie (viz Obr. 1). Vlnová délka je volena tak, aby nedocházelo k absorpci záření a tím i k destrukci objektu a současně, aby byl Ramanův rozptyl detekovatelný. Pro živé mikroorganismy je vhodné volit delší vlnové délky (700-900 nm). Při takto zvolené vlnové délce, je možné požadovaný objekt sledovat i několik hodin (tzv. časosběrná měření) nebo naopak sledovat velmi rychlé dynamické procesy.

V laboratořích Alisi se zaměřujeme na různé druhy živých mikroorganismů, např. bakterie (velikost kolem 1 μm), kvasinky (velikost několik μm) a řasy o velikostech od jednotek po desítky mikrometrů. Obrázek 2 ukazuje ramanovské spektrum čtyř kmenů živých bakterií. Každý druh mikroorganismu má charakteristické ramanovské spektrum a následná matematická analýza je umožňuje identifikovat v reálném čase (obr. 3).




Obr. 2: Ukázka ramanovských spekter živých bakterií rodu *Staphylococus* analyzovaných ramanovskou pinzetou.




Obr. 3: Ukázka výsledku matematické analýzy ramanovských spekter založené na metodě hlavních komponent (PCA) pro bakterie (Stafylococcus epidermidis). Metoda je natolik citlivá, že lze mezi bakteriemi stejného druhu odlišit takové, které vytváří biofilm (modrý vzorek - biofilm pozitivní) nebo nevytváří biofilm (zelený vzorek - biofilm negativní).

U živých řas jsme se zaměřili na vyhodnocení nasycenosti mastných kyselin vytvářených v lipidových kapénkách, u živých kvasinek jsme sledovali na schopnost vytvářet biofilm. Rovněž jsme se zaměřili na studium vlivu baktericidních a bakteriostatických antibiotik na jednotlivé živé bakteriální buňky.

Autoři děkují za podporu GAČR (GAP205/11/1687), MPO (FR-TI3/420), EC (PERG06-GA2009-256526) a MŠMT (CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/17.0032).

Reference:

[1] A. Jonáš, P. Zemánek: *Light at work: The use of optical forces for particle manipulation, sorting, and analysis*, Electrophoresis, DOI: 10.1002/elps.200800484, (2008)

[2] O. Samek, A. Jonáš, Z. Pilát et al: *Raman Microspectroscopy of Individual Algal Cells: Sensing Unsaturation of Storage Lipids in vivo*, Sensors, DOI: 10.3390/s100908635, (2010)

[3] Z. Pilát, J. Ježek, M. Šerý et al.: *Optical trapping of microalgae at 735-1064 nm: Photodamage assessment*, Journ. of photochem. and photobiology B-biology, DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.02.006, (2013)

[4] Z. Pilát, S. Bernatová, J. Ježek et al: *Raman microspectroscopy of algal lipid bodies: beta-carotene quantification*, Journ. of applied phycology, DOI: 10.1007/s10811-011-9754-4 (2012)

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:
Vítáme novou spolupráci na užitečná a zajímavá témata, kde lze ramanovskou pinzetu využít. Jako naše dovednosti nabízíme:

- Optické manipulace s objekty o velikostech v řádu nanometrů až stovek mikrometrů
- Diagnostika jednotlivých mikroorganismů ramanovskou spektroskopií
- Digitální mikrofluidika
- Tvorba PDMS mikrofluidních systémů „soft litografií“

# VÝVOJ A OPTIMALIZACE LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍ VE VCSVTT

**Jan Brajer**

**VCSVTT, Fakulta strojní, ČVUT v Praze**
Horská 3, 128 00 Praha 2; tel: 224 359 224;
e-mail: J.Brajer@rcmt.cvut.cz;
tel.: 736 288 646
web: www.rcmt.cvut.cz

**Obor:** Výzkum, vývoj a aplikace laserových technologií

VCSVTT - Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii bylo založeno v roce 2000. Je samostatným pracovištěm Fakulty strojní ČVUT v Praze a je podporováno z prostředků MŠMT ČR. Hlavním cílem VCSVTT je vytvářet profesionální a dobře vybavené výzkumné, vzdělávací a školící pracoviště. Další důležité cíle jsou výzkum nových řešení a perspektivních technologií, které jsou následně uplatnitelné v průmyslové sféře, a výchova mladých profesionálních odborníků. Ti jsou schopni konzultovat technické problémy a pomáhají průmyslu vyvinout novou generaci výrobků pro tuzemský i zahraniční trh.

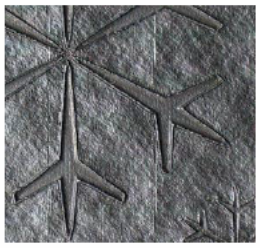
Skupina Laserových technologií ve VCSVTT se zabývá výzkumem, vývojem a praktickým uplatněním laserových technologií pro konkrétní strojírenské aplikace.

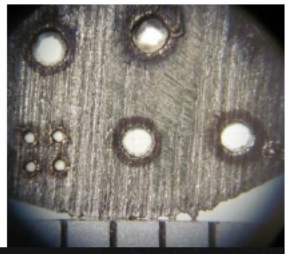
Jedná se zejména o následující technologie:

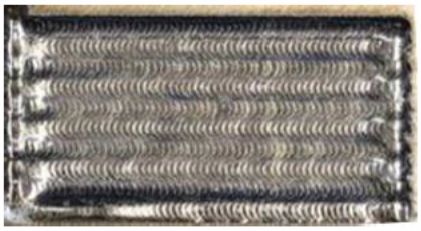
- popisování - kovy, plasty, sklo, keramika
- mikrofrézování, gravírování a leštění povrchu kovů a keramiky

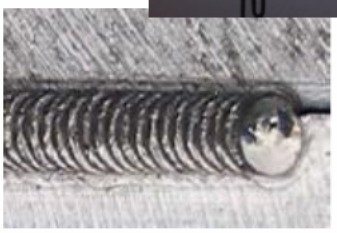
- řezání přesných tvarů a dílů
- vrtání malých otvorů
- svařování ocelí, vybraných druhů plastů a obtížně svařitelných materiálů

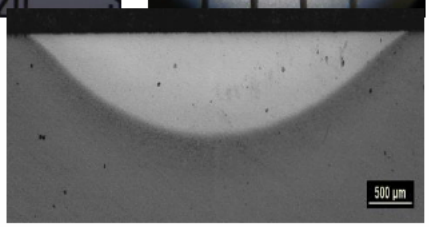
- tepelné zpracování slitin železa a hliníku
- povlakování laserem - tvrdonávary












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

Zájemcům z průmyslu dále nabízíme služby metalografické laboratoře, měření tvrdosti a mikrotvrdosti a zkoušky opotřebení třením v tribologické laboratoři.

# AKTIVNÍ ÚHLOVÉ POLOHOVÁNÍ KONCOVÉ MĚRKY V SYSTÉMU PRO JEJÍ AUTOMATICKOU KALIBRACI

**Zdeněk Buchta**
Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i., Oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, Brno (tel: 541 514 526, e-mail: buchta@isibrno.cz,
web: www.isibrno.cz)

**Obor:** Laserová interferometrie, Interferometrie nízké koherence

Týmem vědeckých pracovníků a techniků z ÚPT AVČR v.v.i. a brněnské firmy Mesing spol. s r.o. byl navržen a sestaven systém pro bezkontaktní kalibraci a 3D diagnostiku koncových měrek. Tento systém zavádí do praxe zcela nový, dnes již patentově chráněný, princip kalibrace délky koncové měrky pomocí kombinace bílého a laserového záření.
Na rozdíl od současných kalibračních mostů, kde je měrka podrobena dotykovému měření a následnému srovnání s tzv. referenční měrkou, případně systémů, kdy je koncová měrka přisáta na referenční ploše a jako délka měrky je prezentována opticky měřená vzdálenost mezi referenční plochou a volným čelem koncové měrky, je u tohoto přístroje měření provedeno bezdotykově pouze pomocí bílého světla a záření Helium-Neonového laseru. Délka měrky je tak určena bezkontaktně a s přímou návazností na definici jednotky délky jeden metr. Díky důmyslnému systému na manipulaci s koncovými měrkami je měření plně automatické.

Zařízení vzniklo jako výsledek společného projektu Ústavu přístrojové techniky AVČR, v.v.i., Českého metrologického institutu a firmy MESING, spol. s r.o.

Prezentované zařízení bylo na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně 2012 oceněno zlatou medailí pro nejlepší inovační exponát vzniklý prokazatelně ve smluvní spolupráci firem s tuzemskou výzkumnou organizací a získalo prestižní ocenění firmy Siemens – Werner von Siemens Excellence Award 2012.

Vlastní příspěvek popisuje algoritmus navržený pro aktivní úhlové polohování koncové měrky v systému pro její bezkontaktní kalibraci a jeho implementaci do zmíněného systému. Algoritmus využívá metody zpracování obrazu z kamery, monitorující interferenční strukturu na pomocném výstupu navrženého interferometru. Zmíněná interferenční struktura je tvořena svazky odraženými od čel koncové měrky a dává informaci o orientaci koncové měrky vůči těmto měřícím svazkům. Analýzou počtu a orientace interferenčních proužků spojenou se zpětnovazební smyčkou ovládající PZT šrouby umístěné v držáku koncové měrky lze pak automaticky před vlastním měřením minimalizovat úhlový rozdíl mezi osou koncové měrky a osou svazku.

Algoritmus je detailně popsán v [1] a vlastní princip kalibrace pak v [2].

Tato práce byla realizována za přispění Technologické agentury ČR, projekt č. TA03010663., Grantové agentury ČR, projekty č. GP102/09/P293 a GP102/10/1813 a Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, projekt č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/31.0016 a LC06007.

Související publikace:

[1] Buchta, Z.; Řeřucha, Š.; Hucl, V.; Čížek, M.; Šarbort, M.; Lazar, J.; Číp, O. Active Angular Alignment of Gauge Blocks in Double-Ended Interferometers. *Sensors* **2013**, *13*, 13090-13098

[2] Buchta, Z.; Řeřucha, Š.; Mikel, B.; Čížek, M.; Šarbort, M.; Lazar, J.; Číp, O. Novel principle of contactless gauge block calibration. *Sensors* **2012**, *12*, 3350–3358.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Využití kontrastních látek v diagnostice (medicína, materiálové inženýrství) – laserem indukovaná fluorescence

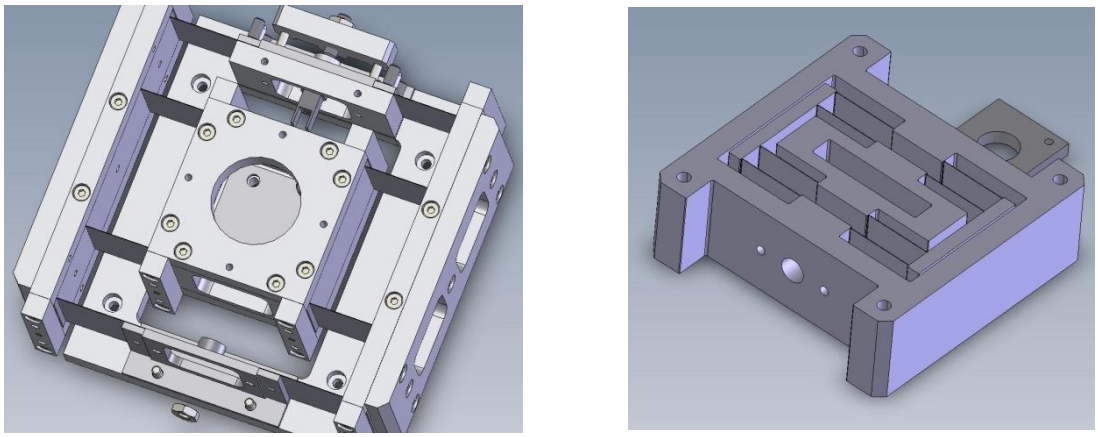
# NANOPOSUVNÉ STOLKY S VELKÝM ROZSAHEM POLOHOVÁNÍ PRO AFM MIKROSKOPII

**Ondřej Číp**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Koherenční optika
Královopolská 147, 612 64 Brno, 541514253, ocip@isibrno.cz, www.isibrno.cz

**Obor:** Koherentní lasery a interferometrie, pulsní lasery

Nanopolohovací stolky pro mikroskopii atomárních sil (AFM) musí splňovat několik důležitých úkolů během procesu skenování. Především musejí zajistit polohování ve dvou souřadných osách (X a Y) a zároveň nesou testovaný vzorek, který je pak postupně posouván v těchto dvou osách přes místo, kde je umístěna detekční sonda. V případě AFM mikroskopie jde o specializovaný hrot, kterým je provedena inspekce celého povrchu vzorku v ose Z, za současného synchronizovaného pohybu v osách X a Y. Délkové rozlišení v ose Z sahá díky principu AFM mikroskopie až do subnanometrové oblasti. Proto je vyžadováno rozlišení polohy vzorku v ose X a Y také obvykle nejméně v řádu nanometrů. Tento kritický parametr je však navíc komplikován požadavkem, aby rozsah polohování v obou osách X a Y byl srovnatelný s velikostí vzorku. Běžné komerční nanoposuvné stolky dosahují maximálního rozsahu vychýlení v řádu několika set mikrometrů, zatímco vhodný rozsah se pohybuje v řádu jednotek milimetrů. V případě uvedených komerčních stolků se zde naráží na principiální omezení piezoelektrických akčních členů, které jsou schopny sice spojitě polohovat s rozlišením v subnanometrové oblasti, avšak maximální výchylka je pouze několik jednotek mikrometrů daných mechanickými možnostmi prohnutí lamel vícenásobného piezo členu.

V naší práci představujeme řešení nanoposuvného stolku s rozsahem polohování v řádu až několika jednotek milimetrů pro obě osy X i Y. Pro korektní vyřešení tohoto zadání jsme museli vyřešit celkem 3 okruhy problémů. Mezi první se řadí volba vhodného akčního členu, který umožní velký rozsah polohování, jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci. Druhým úkolem je realizace vlastního mechanismu paralelního polohování, tj. vlastní nanostůl. A konečně třetím okruhem je implementace citlivého odměřovacího sensoru, který spolehlivě zajistí kontinuální měření polohy nanostolu v obou osách X i Y.



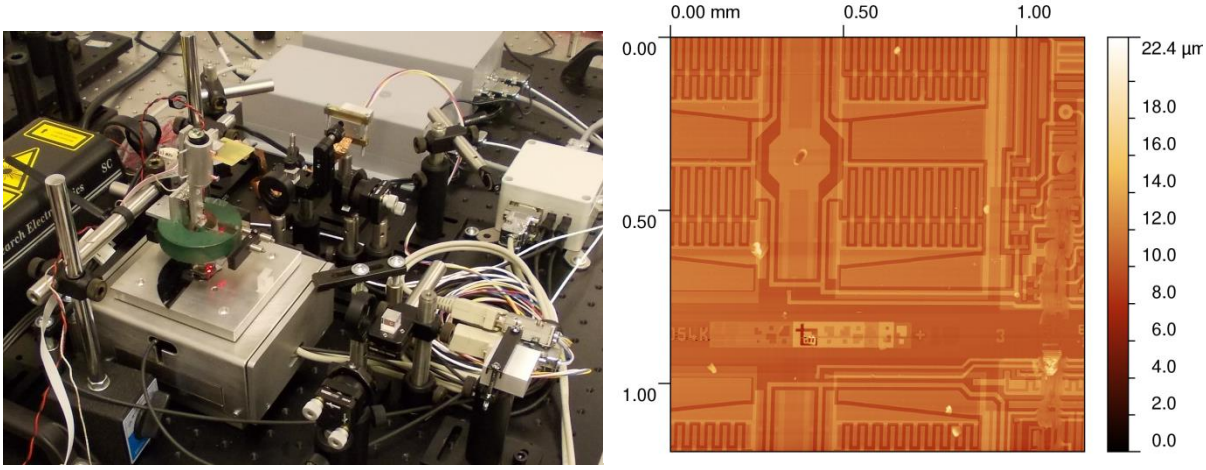
Obr. 1. Konstrukce polohovacího mechanismu nanostolu pro AFM mikroskopii – jedna osa: vlevo a) elektroerozivní drátové řezání, vpravo b) vlepované planžety do rámu nanostolu.

Základem naší konstrukce je nasazení specializovaného akčního členu, který je založen jak na inkrementálním (krokovém) posuvu v řádech milimetrů, tak i na plynulém (spojitém) polohování v rozsahu několika set nanometrů. Tento akční člen se nazývá PiezoWalk a

výrobcem je firma Physik Instrumente, SRN. V systému je použit soubor několika piezoelektrických prvků, které vhodnou kombinací pohybů posouvají miniaturní posuvnou tyč (táhlo) ve směru polohování.

Vlastní mechanismus polohování jsme řešili v několika krocích. Nejdříve jsme zvažovali systém založený na předepnutých kuličkových lineárních vedeních, který vyniká extrémní přímostí polohování. Jeho nevýhodou je však vznik rušivého signálu způsobený pohybem posuvné tyče po kuličkách ložiska, který může způsobovat neočekávatelné poskočení stolu v řádu několika jednotek či desítek nanometrů v ose Z. Proto jsme zvolili pro korektní splnění všech požadavků systém bez mechanických spojek či lineárních vedení.

Z hlediska strojního zpracování se jedná o velmi přesný paralelogram založený na tzv. pružných závěsech neboli planžetách. Protože však rozsah polohování musel být až v řádu jednotek milimetrů, výpočet soustavy vedl na variantu, kde délka planžet je až 20 mm a jejich tloušťka je pouze několik set mikrometrů. Pro zvládnutí výrobního procesu takového mechanismu jsme proto šli cestou dvou variant. První variantou je nanostůl, kde planžety paralelogramů jsou vyřezány tzv. elektroerozivním drátovým řezáním (Obr.1a). Druhá varianta pak vedla na vyrobení paralelogramů pomocí tzv. vlepovaných planžet, kdy tyto byly vystřiženy z plechu o velmi přesně dané tloušťce a následně zalepeny do vyfrézovaných drážek těla nanostolu (Obr. 1b). Obě varianty nakonec vedly k velmi dobrým a srovnatelným výsledkům. Varianta a) je však nakonec výrobně mnohem jednodušší než varianta b).




Obr. 2. Pohled na finální nanostůl osazený AFM mikroskopem – vlevo, záznam profilu mikroelektronického čipu pomocí tohoto systému – vpravo.

Posledním okruhem problematiky pak byla implementace sensoru polohy X a Y. V našem případě jsme zvolili inkrementální optické pravítko firmy ESSA Praha, které jsme modifikovali pro bezspojkové umístění přímo na polohovací mechanismus stolu. Tímto krokem jsme se vyhli veškerým problémům s případnou hysterezí a mrtvým chodem v místě spojky, což je běžné např. u délkových snímačů. Výsledný nanostůl XY včetně příkladu záznamu skenované plochy mikroelektronického čipu pomocí AFM mikroskopu je na Obr. 2.

Práce vznikla za podpory projektu MPO FR-TI1/241 a částečně projektů GA ČR č. GAP102/10/1813 a MŠMT CZ.1.07/2.4.00/31.0016 a CZ.1.05/2.1.00/01.0017.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Přesné měření délek pomocí laserů
- Nanopolohovací mechanismy pro AFM mikroskopii

# APLIKACE VYSOCE REPETIČNÍHO ARF LASERU V ČASOVĚ ROZLIŠENÉ FT SPEKTROSKOPII

**Svatopluk Civiš**

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského,
Dolejškova 3, 182 28 Praha 8
e-mail: civis@jh-inst.cas.cz
http://www.jh-inst.cas.cz/~ftirlab/
tel. 777550514, 266053275

**Obor:** Spektroskopie

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Diodové lasery,
- excimerové lasery a jejich aplikace ve spektroskopii

# SYSTÉM PRO STABILIZACI FEMTOSEKUNDOVÝCH LASERŮ

**Martin Čížek**
ÚPT AV ČR, v.v.i., oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, Brno, 612 64
+420 541 514 527
cizek@isibrno.cz

**Obor:** Analogová a digitální elektronika, zpracování signálů, femtosekundové lasery, syntezátory optických frekvencí

V principu je optický hřeben (comb) založen na femtosekundovém (fs) laseru se synchronizací módů. Výstupem fs laseru je sled pulzů o délce řádově od desítek fs po 1 ps. Opakovací frekvence těchto pulzů $f_r$ bývá nejčastěji od desítek po stovky MHz. Z pohledu teorie zpracování signálů se na výstup fs laseru můžeme dívat jako na optickou nosnou vlnu amplitudově modulovanou se 100% hloubkou modulace pulzním signálem o výše zmíněné frekvenci a šířce pulzu. Fourierovou transformací takového signálu získáme spektrum tvořené diskrétními komponentami, jejichž rozestup je roven repetiční frekvenci $f_r$. Spektrum je rozprostřeno okolo určité centrální vlnové délky. V případě Er+ dopovaného vláknového infračerveného laseru je výstupní spektrum cca 200 nm široké a centrální vlnová délka je cca 1 550 nm. Spektrum lze jednoduše matematicky popsat vztahem (1), kde $\nu_i$ je optická frekvence $i$-té spektrální komponenty, $f_{ceo}$ je offsetová frekvence a $f_{rep}$ je repetiční frekvence fs laseru.

$$\nu_i = f_{ceo} + i \cdot f_{rep} \tag{1}$$

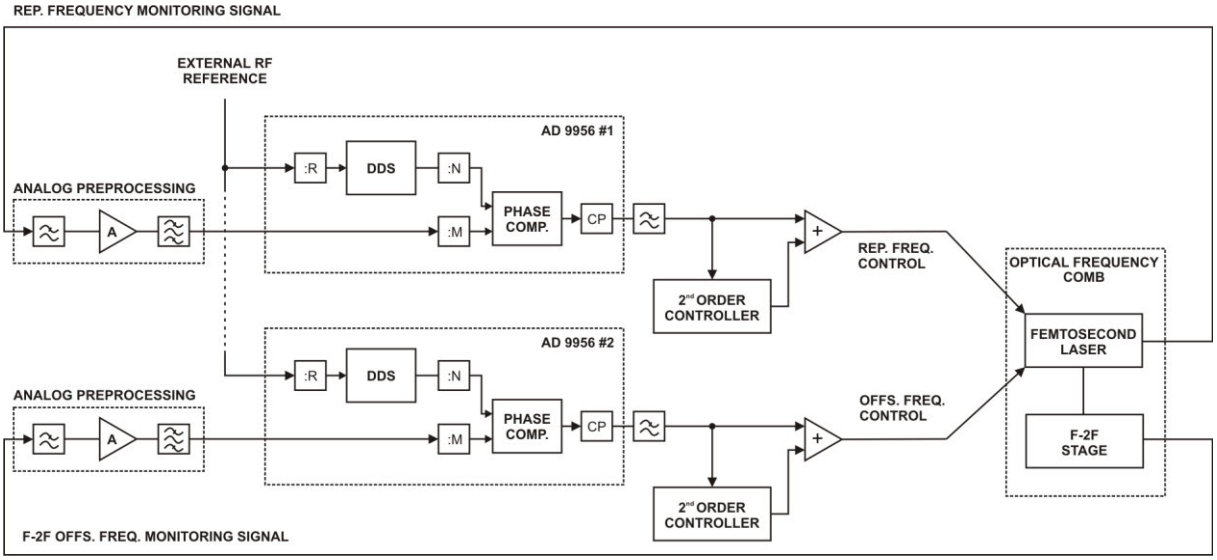
Offsetovou i repetiční frekvenci lze optoelektronickými prostředky detekovat i řídit. Na měření repetiční frekvence postačí rychlý fotodetektor. Offsetová frekvence je měřitelná tzv. f-2f technikou, kdy dochází k optickému směšování originálního spektra fs laseru s jeho 2. harmonickými složkami vytvořenými průchodem světla nelineárním prostředím. Zázněj, jehož frekvence odpovídá $f_{ceo}$ podle vztahu (2), je opět detekovatelný rychlým fotodetektorem.

$$\begin{aligned} 2\nu_i - \nu_{2i} &= 2(f_{ceo} + i \cdot f_{rep}) - (f_{ceo} + 2i \cdot f_{rep}) = \\ &= 2f_{ceo} - f_{ceo} + 2i \cdot f_{rep} - 2i \cdot f_{rep} = \underline{\underline{f_{ceo}}} \end{aligned} \tag{2}$$

Repetiční frekvenci lze ovládat změnou délky kavity fs laseru např. pomocí piezoelektrických aktuátorů. Offsetovou frekvenci lze ovlivnit změnou proudu tekoucího čerpací diodou fs laseru. Máme-li k dispozici přesný radiofrekvenční normál jako např. GPS řízený oscilátor, H-maser, atomové hodiny apod., můžeme realizací uzavřených smyček fázových závěsů stabilizovat $f_{rep}$ i $f_{ceo}$. Získáme tak hřebenové optické spektrum, které je ekvivalentní k situaci, kdy je v provozu současně několik desítek či stovek laserů na ekvidistantních optických frekvencích, jejichž relativní stabilita je v ideálním případě rovna relativní stabilitě použitého RF normálu. Podobné systémy tak pracují jako pomyslná převodovka mezi oblastí rádiových frekvencí, které jsou doménou elektronických přístrojů, a oblastí optických frekvencí. Optické hřebeny tak nalézají stále širší uplatnění na poli metrologie času, frekvencí i délek.

Prezentovaný příspěvek se zabývá konstrukcí elektronického zařízení pro stabilizaci optického hřebene podle přesného RF normálu. Systém má stavebnicovou koncepci a lze jej přizpůsobit konkrétním podmínkám daným především úrovní, frekvencí a poměrem signál/šum zpracovávaných signálů. Srdcem zařízení je integrovaný obvod AD9956 vyráběný

firmou Analog Devices, který na jednom čipu sdružuje generátor sinusového průběhu s přímou digitální syntézou (DDS), digitální fázový komparátor, tvarovače a programovatelné děličky vstupních signálů a řídící logiku. Ve spojení napětím řízenými oscilátory (VCO) se ve sdělovací technice AD9956 používá jako programovatelný syntezátor kmitočtů. V naší aplikaci se na místě VCO nachází femtosekundový laser a obvodem AD9956 je řízena jeho repetiční a offsetová frekvence, přičemž jako zdroj referenčního kmitočtu je použit přesný RF normál. V tomto konkrétním případě GPS řízený oscilátor.




**Obr. 1:** *Blokové schéma zapojení stabilizace syntezátoru optických frekvencí.*

Na obr. 1 je znázorněno zjednodušené blokové schéma zapojení stabilizace optického hřebene podle externího RF normálu. Stabilizace využívá dvou hlavních uzavřených smyček fázového závěsu. První smyčka slouží k regulaci repetiční frekvence fs laseru, přičemž jako zpětná vazba je využíván výstupní signál fotodetektoru monitorujícího výstup fs laseru. Druhá smyčka reguluje offsetovou frekvenci na základě zpětné vazby zprostředkované výstupním signálem f-2f interferometru. Generování referenčních signálů, fázová komparace a integrace chybových signálů je řešena v obou větvích obvody AD9956. Pro zajištění optimálních pracovních podmínek rychlých regulátorů 1. řádu představovaných AD9956 je sestava doplněna pomalejšími regulátory 2. řádu realizovanými AD/DA kartami a programem v prostředí LabView. Obvody AD9956 byly doplněny o řídící elektroniku komunikující po sběrnici CAN. To umožňuje vzdálenou správu celé sestavy a realizaci automatizovaných, počítačem řízených experimentů se syntezátorem optických frekvencí.

Šířka pásma regulační smyčky může u realizovaného systému být až v řádu jednotek MHz, jediným limitujícím faktorem je rychlost ladění fs laseru. S využitím výpočtu Allanových odchylek byla experimentálně zjištěna relativní stabilita optických frekvencí složek spektra combu. Pro integrační čas 10 000s byla vypočtena relativní stabilita lepší než $10^{-11}$. V experimentu byl však použit relativně starý optický hřeben (jeden z prvních vyráběných vláknových modelů od fy Menlo Systems) s f-2f blokem nevyužívajícím vláknovou optiku. V novějších systémech realizovaných kompletně pomocí vláknové optiky je dosažitelná relativní stabilita minimálně o řád lepší.

**Poděkování:** Tato práce je podporována projekty GAČR č. GAP102/11/P819 a GP102/10/1813. Práce je rovněž podporována projektem Evropské komise a MŠMT č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017. Prezentace výsledků je podporována projektem Evropské komise a MŠMT č. CZ.1.07/2.4.00/31.0016.

# ADHESIVNĚ – ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ LASEREM KALENÝCH OCELÍ V OBLASTI PŘEKRYVŮ STOP

**Pavla Fišerová**
Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra materiálu a strojírenské metalurgie, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
pfiserov@kmm.zcu.cz

**Obor:** Testování adhesivně - abrazivního opotřebení a korozní odolnosti laserových návarů

V rámci spolupráce ZČU v Plzni a společnosti MATEX PM, s.r.o. je testována odolnost adhesivně – abrazivního opotřebení laserem kalených ocelí. Hodnocení opotřebení je speciálně zaměřeno na oblast překryvu mezi jednotlivými stopami. Jako zkušební metody jsou využívány testy „PIN-on-DISK“ a Impact test. Pomocí metody „PIN-on-DISK“ je možné analyzovat a kvantifikovat adhesivně – abrazivní opotřebení. Impact tester slouží k hodnocení opotřebení při dynamickém rázovém namáhání. Během stále probíhajícího výzkumu byly hodnoceny oceli tříd 10, 11, 12, 15, 16 a 19 dle ČSN. Jeden vzorek z každého testovaného materiálu je vždy zakalen pomocí indukčního povrchového kalení – slouží pro porovnání opotřebení mezi laserovým povrchovým kalení a indukčním povrchovým kalením (viz. následující příklad experimentu).

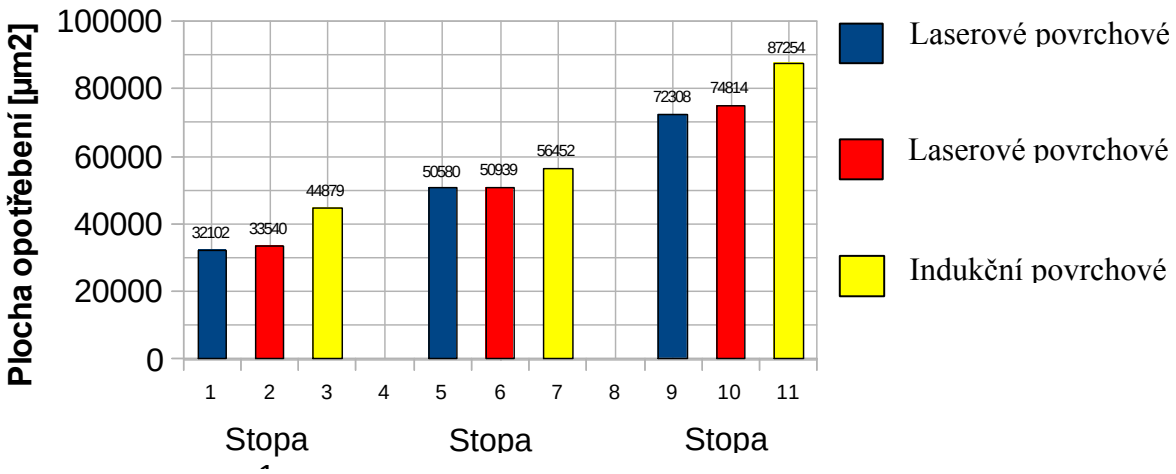
Jako zkušební materiál byla vybrána ocel ČSN 41 5142 (42CrMo4) o rozměrech 100x100x40 mm. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 1. Materiál byl laserem povrchově zakalen ve společnosti MATEX PM, s.r.o. Povrchová tvrdost po zakalení byla 55 HRC. Na povrchu vzorku byla provedena zkouška opotřebení PIN-on-DISK. Podmínky zkoušky byly následující - F=10 N, materiál pinu=WC, počet cyklů N=100 000. Následně byla vyhodnocována vlnitost povrchu, drsnost, šířka opotřebené stopy v oblasti překryvu a v oblasti zakalení a maximální hloubka opotřebení.

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | W | V | Co | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,38 – 0,45 | 0,40 – 0,70 | 0,17 – 0,37 | max. 0,035 | max. 0,035 | 0,80 – 1,20 | max. 0,30 | 0,15 – 0,25 | max. 0,20 | max. 0,05 | - | max. 0,25 |

Tab.1. Chemické složení oceli ČSN 41 5142 [1]

Druhý vzorek ze stejného materiálu byl podroben vysokofrekvenčnímu indukčnímu povrchovému kalení. Vyhodnocována byla opět hloubka zakalené vrstvy, adhesivně – abrazivní opotřebení a maximální hloubka opotřebení.

Na každém ze zakalených vzorků (laser, indukce) byly provedeny celkem 3 tribologické stopy o průměrech 30 mm, 35 mm a 40 mm. Každá stopa na laserem kaleném povrchu byla umístěná tak, aby procházela překryvovou oblastí laseru ve čtyřech místech. Následně byly na optickém mikroskopu Zeiss Z1M proměřeny profily opotřebených stop a také byla vyhodnocena šířka a hloubka tribologické stopy. Z profilů naměřených stop byla pomocí integrace získána plocha opotřebení. Výsledky adhesivně – abrazivního opotřebení jsou uvedeny v následujícím grafu – obr. 1.




Obr.1. Porovnání opotřebení materiálu při laserovém povrchovém kalení a indukčním povrchovém kalení pro ocel ČSN 41 5142

Z výsledku na obr. 1 je možné odečíst plochu opotřebené stopy pro laserem kalenou ocel ČSN 41 5142 v oblasti překryvu a v oblasti čistě zakalené stopy. V grafu je rovněž vyznačeno opotřebení i pro indukčně kalenou ocel ČSN 41 5142. Ze srovnání výsledků jsou patrné velké rozdíly mezi opotřebováním laserem kalenou a indukčně kalenou ocelí. V případě použití průměru tribologické stopy 40 mm je rozdíl v opotřebení mezi laserem kalenou ocelí a indukčně kalenou ocelí 17 %. Naproti tomu rozdíl v opotřebení laserem kaleného vzorku s oblastí překryvu je „pouhá“ 3“.

## LITERATURA

[1] ČSN 41 5142 Steel Standard

**Další oblasti zájmu:**

- Navařování vrstev metodou laser cladding
- Koroze laserových návarů

# REVOLUCE V OŘEZÁVÁNÍ PLASTOVÝCH VÝLISKŮ – LASER OPTIMÁLNÍ ŘEŠENÍ!

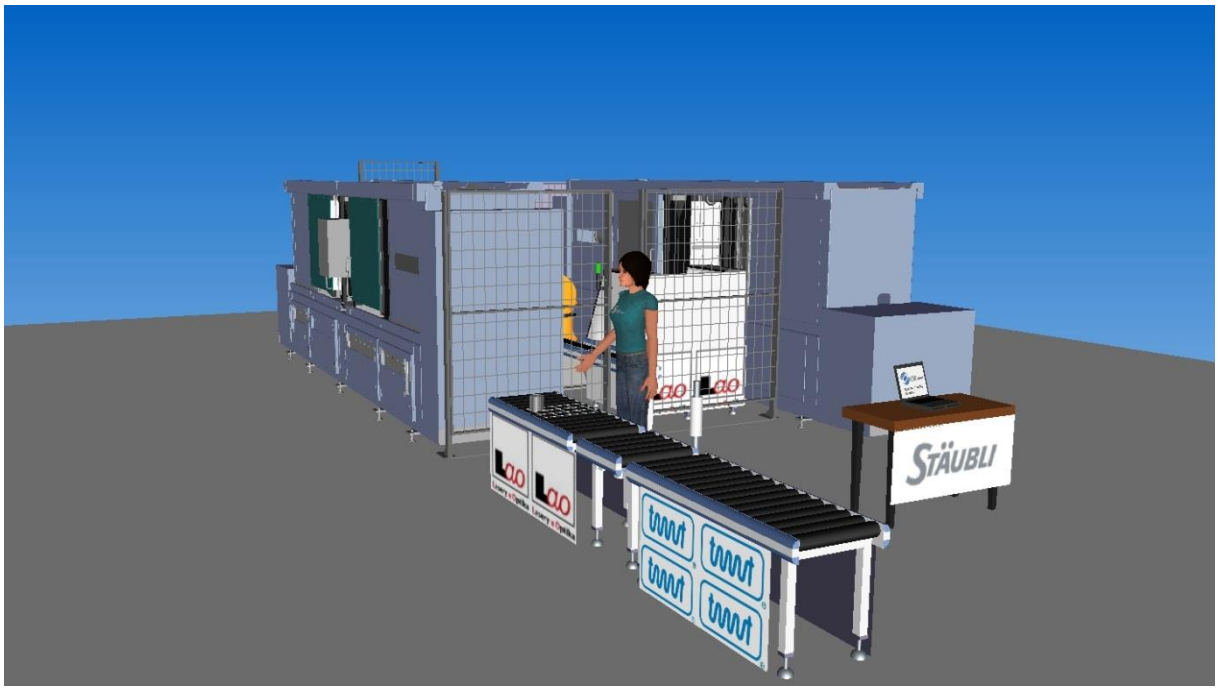
**Karol Flimel**

LAO – průmyslové systémy, s.r.o., Praha
flimel@lao.cz
+420 731 153 171
www.lao.cz

**Obor:** Průmyslové laserové aplikace

Změna barvy, vysoká prašnost prostředí, potřeba ručního dočistění, poškození struktury a vysoké náklady na servis mechanických nožů nebo prodloužený čas cyklu? To vše je minulostí. Firma Lao – průmyslové systémy přichází s ekonomickým a efektivním řešením pomocí laseru.

Laserové technologie nachází uplatnění v různých oblastech průmyslu. V oblasti zpracování a řezáni plastů je již také dlouho „doma“, jejich implementace však není v ČR a SVK tak rozšířena. Důvodem je využití „starých“ konvenčních mechanických technologií dlouhodobě zavedených ve výrobě. Doba se však mění a nároky na technologii, kvalitu a čas cyklu se zvyšují, Tím se mechanické nástroje dostávají na limit své efektivnosti, a proto se i u nás začínají hledat tzv. metody „bezdotykové“, kde laser hraje významnou úlohu díky jeho dostupnosti a spolehlivosti v provozu. Až 100 000h nonstop provozu bez potřeby servisovaní laserového zdroje mluví za vše.



Hlavními výhodami laserové technologie jsou:

- Spolehlivost
- Ekonomičnost
- Bezprašnost
- Bezkontaktnost
- Rychlost – limitou není již rychlost ořezu ale chladnutí plastů
- Přesnost ořezů
- 2D a 3D opracování
- Variabilita uspořádání
- Masivní hliníková konstrukce
- Certifikované laserové pracoviště
- Možnost využití stávajícího zařízení

Pro zpracování plastů se historicky využívali, a stále využívají, lasery na bázi CO2 plynů. To je způsobeno dobrou absorpcí záření v infračervené oblasti o vlnové délce 10600nm.Dobře to vysvětluje graf absorpce materiálů

Nové technologie výroby plastových komponentů a využívaní aditiv jako je $CaCO_3$ nebo skelná vata umožňuje nástup technologie vláknové nebo pevnolátkové. $CO_2$ lasery někdy takovéto materiály nedokáží zpracovat

Výhodou pevnolátkové technologie je lehká implementace a integrace do stávajících technologií, nízká hmotnost procesní hlavy, výstup do vlákna, což umožňuje použití jednoho zdroje na více pracovištích, vysoká produktivita a rychlost procesu. Při vytíženosti laseru 80h týdně je životnost budících diod 24 let. Po této době se jednoduše celý stok diod vymění a laser je možné dále používat

Firma LAO – průmyslové systémy je přes 20 let spolehlivým partnerem v oblasti laserové technologie a zdokonalování výroby. Tahle aplikace je reprezentativním příkladem implementace technologického know-how a pokrokové technologie dle Vašich nejnáročnějších potřeb.

# FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AV ČR – PROJEKT HILASE


## Aleš Hála

Vedoucí Centra pro inovace a transfer technologií pro projekty ELI Beamlines & HiLASE
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Telefon: +420 266 051 288
Mobil: +420 702 004 931


**Obor:** Vývoj a aplikace pevnolátkových diodově čerpaných laserů s vysokou energií a vysokou opakovací frekvencí

Hlavním cílem projektu HiLASE je vyvinout laserové technologie s průlomovými technickými parametry. Obecně lze říci, že tyto lasery budou podstatně silnější a výkonnější, kompaktnější, více stabilní a snáze udržovatelné, než jsou v současnosti dostupné technologie. Projekt HiLASE je zaměřen na rozvoj laserů s vysokou opakovací frekvencí a na laserové systémy, které najdou využití v průmyslu, v malých a středně velkých výzkumných laboratořích a dále v budoucích evropských zařízeních velkého rozsahu, která budou součástí Evropského výzkumného prostoru (ERA). Projekt se specificky zaměřuje zejména na lasery založené na diodovém čerpání a na vývoj souvisejících technologií.

Laserové centrum HiLASE s těmito parametry bude unikátní nejen v České republice, ale také v Evropě. To přináší nové příležitosti pro evropský výzkum, ale také pro společnosti, které mohou využívat a přispívat k uplatnění těchto nových technologií.
Projekt má velký aplikační potenciál v komerční sféře. Výstupy tohoto projektu budou použity např. pro technologie mikro-obrábění, testování odolnosti optických materiálů, řezání, sváření, odstraňování povlaků a laserové vyklepávání.

V rámci projektu HiLASE budou realizovány následující výzkumné programy:

- Výzkumný program 1: Vývoj multi-J laserového systému kW třídy čerpaného diodami pro průmyslové a vědecké aplikace
- Výzkumný program 2: Vývoj laserového systému v oblasti 100 J/ 10 Hz rozšiřitelného na úroveň 1 kJ
- Výzkumný program 3: Vývoj klíčových technologií vysoko-repetičních zesilovačů ve spolupráci s průmyslem

Ostatní odborné zaměření výzkumných aktivit Fyzikálního ústavu AV ČR:

Lasery

- Konstrukce laserových zdrojů a jejich optimalizace pro danou aplikaci
- Přímé laserové aplikace – obrábění, povrchové úpravy
- Testování laserem indukovaného prahu poškození
- Generování plazmatu, sekundární zdroje

Optika

- Měření odolnosti a kvality optických vrstev
- Konstrukce optických soustav, zobrazovací systémy
- Speciální optické elementy
- Mikroskopie – optická elektronová, AFM, fázový kontrast

Materiály

- Příprava a testování funkčních materiálů
- Charakterizace a příprava tenkých vrstev a nanostruktur
- Návrh a konstrukce speciálních zkušebních zařízení
- Metalografie a elektronová mikroskopie

Detektory

- Diagnostika a spektroskopie v širokém rozsahu použití
- Příprava polovodičových struktur
- Příprava a charakterizace luminiscenčních a scintilačních materiálů
- Měření charakteristik biologických vzorků

# VÝROBA VLÁKNOVÝCH MŘÍŽEK PRO POUŽITÍ V OPTICKÝCH SENZORECH

**Radek Helán, František Urban**

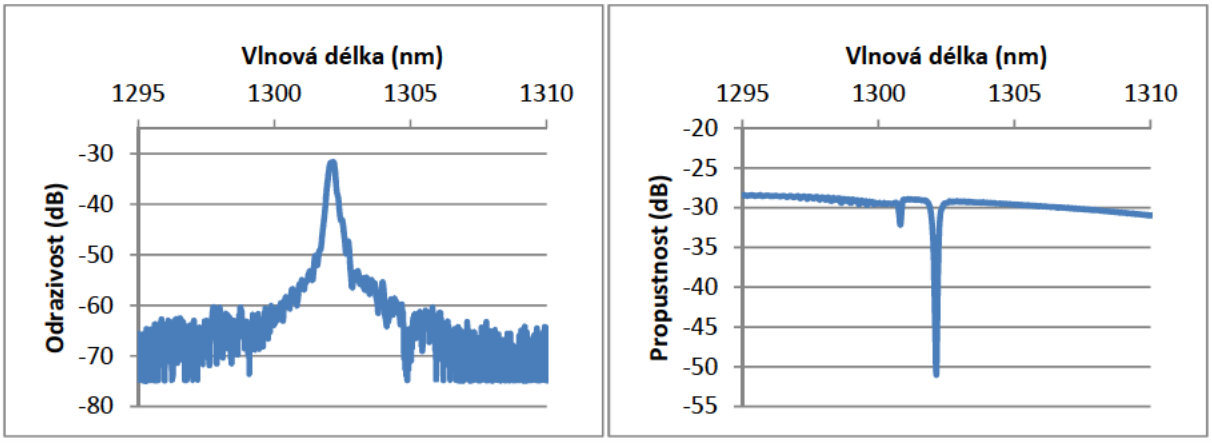
NETWORK GROUP, s.r.o
Olomoucká 91, 627 00 Brno
GSM: 736 625 363
mail: r.helan@nwg.cz
http://www.nwg.cz

**Obor:** Výzkum a vývoj optických prvků a senzorů

Optické vláknové mřížky jsou jedním ze základních prvků mnoha senzorových a telekomunikačních systémů. Jednou z činností firmy NETWORK GROUP je návrh, vývoj a výroba v oblasti vláknových difrakčních struktur a jejich následných aplikacích. Pro návrh jednoduchých i složitých difrakčních struktur firma využívá vlastní vyvinutý software, který je schopen postupnou analýzou určit optimální výrobní parametry složité difrakční struktury v optickém vlákně na základě zadaného požadovaného spektra odrazivosti.
Nejčastější aplikací vláknových mřížek ve firmě NETWORK GROUP je využití v optických vláknových senzorech. Aktuálně ve firmě probíhá několik vývojových projektů zaměřených na vývoj optických senzorů včetně systémů pro vyhodnocení optického signálu. Stěžejními projekty jsou „Vývoj nového typu senzoru na bázi změny vlastností optických vláken pro aplikaci v systémech vysokorychlostního dynamického vážení vozidel na silniční síti“ kde se firma podílí na vývoji optické a optomechanické části senzoru a „Nová metoda měření odezvy konstrukce ochranné obálky pro zajištění bezpečnosti JE i v případě těžkých havárií“ kde se firma podílí na vývoji optických tahových a teplotních senzorů, vývoji optoelektronické vyhodnocovací jednotky a integraci měřicího systému. Vedle zmíněných dvou projektů firma spolupracuje také na vývoji dalších senzorů či jejich částí, např. tlakových senzorů s keramickou membránou, vibračních senzorů, ohybových senzorů, vyhodnocovacích jednotek pro spektrální i nespektrální měření a další.

Obr.1: Stanice pro výrobu FBG s využitím KrF laseru a osvitu přes fázovou masku.

Pro potřeby vývoje a komerční výroby vlastní firma technologii pro výrobu Braggových mřížek (FBG, tilted FBG, chirped, FBG, atd.). K zápisu vláknových mřížek je použita metoda bočního osvitu UV laserem přes fázovou masku. Zdrojem zapisovacího svazku je excimerový KrF laser Coherent CompexPro 110 s nestabilním rezonátorem. Samotný zápis mřížek je realizován v zapisovací stanici LML-FBG-100 v2, která zaručuje vysoce přesnou a opakovatelnou výrobu FBG. Fotografie technologie pro zápis FBG je zobrazena na Obr. 1. Pro optické senzory ve firmě NETWORK GROUP jsou nejčastěji požadovány vysoce odrazivé mřížky s FWHM šířkou pásma v oblasti desetin nanometrů. Mřížky s těmito parametry lze při použití vhodné mechanické konstrukce využít ve vyvíjených senzorech pro měření tlaku, tahu, teploty, apod. Odrazné a propustné spektrum jedné z mřížek vyrobených ve firmě NETWORK GROUP je zobrazeno na Obr. 2.




Obr.2: Odrazné (vlevo) a průchozí spektrum vláknové mřížky, centrální vlnová délka je 1302,155 nm, odrazivost mřížky je 99,34%, FWHM šířka spektra je 0,265 nm.

Kromě samotné výrobní stanice také firma disponuje dalšími potřebnými zařízeními pro přípravu výrobního procesu a následného zpracování vyrobených mřížek. Pro zvyšování fotocitlivosti vláken je výrobní laboratoř vybavena dvojicí hydrogenačních komor, zařízením pro stripování vláken nemechanickou cestou garantující maximální zachování pevnostních parametrů připraveného vlákna, svářečkou umožňující sváření i PM vláken a zařízením pro recoating vyrobených mřížek a svárů.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- nabízíme spolupráci při vývoji a výrobě senzorů založených na vláknových mřížkách a systémů pro jejich vyhodnocování
- nabízíme spolupráci ve vývoji aplikací využívající FBG a TFBG
- nabízíme zakázkovou výrobu FBG a TFBG
- hledáme spolupráci v oblasti pouzdření senzorů a prototypové výroby mechanických částí senzorů

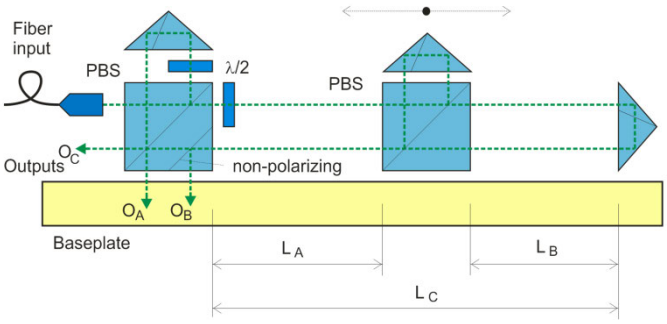
Autoři děkují za podporu projektům TAČR (TA01030859), MVČR (VG20132015124) a OP Podnikání a inovace.

# DETEKCE STOJATÉ VLNY UVNITŘ FABRY-PEROTOVA REZONÁTORU

**Miroslava Holá**
Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i
Královopolská 147 Brno 612 64, tel.: +420 541 514 127, e-mail: hola@isibrno.cz, www.isibrno.cz

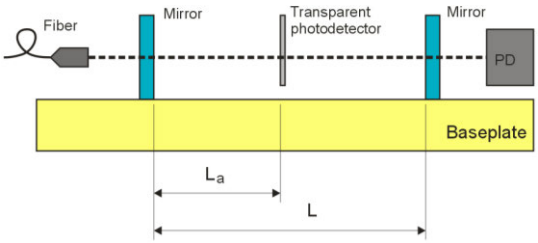
**Obor:** Koherentní lasery a interferometrie

Tento příspěvek navazuje na projekt „Interferometr kompenzující fluktuace indexu lomu vzduchu“. Tato technika byla založena na diferenciálním uspořádání pro měření v atmosférických podmínkách. Rozvoj této měřící techniky vychází z oblasti nanometrologie. Fluktuace indexu lomu vzduchu jsou při interferometrickém měření hlavním zdrojem nejistot. Hodnota této nejistoty se pohybuje na úrovni $10^{-6}$ při nepřímém vyhodnocení z fyzikálních parametrů atmosféry.
Interferometrická technika kompenzující fluktuace indexu lomu vzduchu je založena na principu, kdy dochází ke stabilizaci vlnové délky na mechanickou referenci místo stabilizace optické frekvence. Referenční délka interferometrické sestavy je tedy odvozena od mechanické základny, která je vyrobena z materiálu s velmi nízkým koeficientem teplotní roztažnosti pohybujícím se na úrovni $10^{-8}$/°C (v rozsahu 0 až 50°C). Takovýmto vhodným materiálem je např. Zerodur, kde se jedná se o sklo-keramiku od firmy Schott. Tato technika umožňuje sledovat změny indexu lomu vzduchu přímo v ose měřícího svazku a zároveň je kompenzovat.
Navržená optická sestava se skládá ze tří interferometrických jednotek, které mají stejnou dráhu laserového svazku. Dva interferometry měří diferenciální posunutí, zatímco třetí vyhodnocuje změny v celém rozsahu měření a představuje refraktometr (obr. 1).



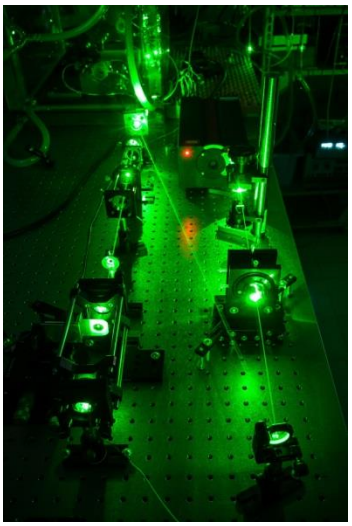

*Obr. 1: Schéma interferometru kompenzujícího fluktuace indexu lomu vzduchu*

Koncept stabilizace vlnové délky na mechanickou referenci je nejlépe realizovatelný v pasivním Fabry-Perotově rezonátoru. Regulace frekvence laseru mající za cíl udržet v rezonátoru konstantní počet vln je realizovaná stabilizací optické frekvence laseru na jedno z mnoha rezonančních maxim rezonátoru. A díky realizaci transparentního fotodetektoru s přiměřeně malými ztrátami, který je schopen detekovat maxima a minima stojaté vlny uvnitř Fabry-Perotova rezonátoru, můžeme takovýto rezonátor použít pro měření polohy (obr. 2, 3).




*Obr. 2: Schématické uspořádání rezonátoru*

Transparentní fotodetektor vznikl ve spolupráci s kolegy z FZÚ AV ČR z oddělení tenkých vrstev a nanostruktur (skupina A. Fejfara). Pro snížení odrazivosti detektoru byly na obě strany naneseny antireflexní vrstvy, které byly optimalizovány pro vlnové délky 532 nm a 1064 nm se zbytkovou odrazností na úrovni několika 0,1 %.



*Obr. 3: Experimentální sestava F-P rezonátoru s transparentním fotodetektorem*

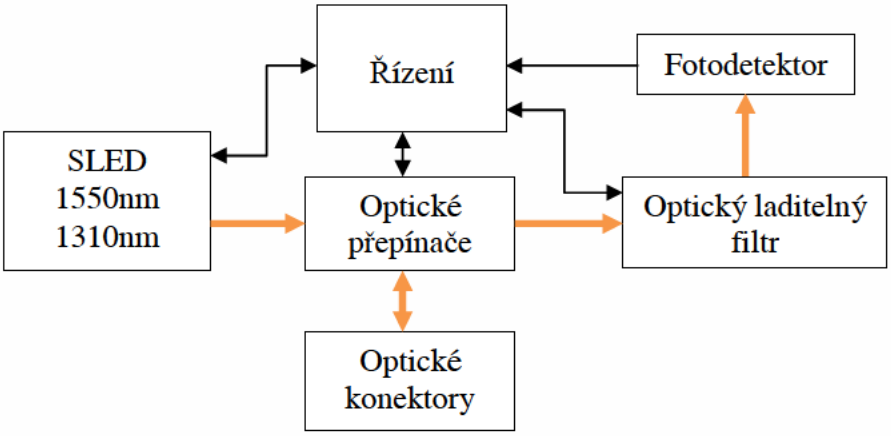
**Poděkování**
Autorka děkuje za podporu projektům RVO:68081731, a TAČR: TA02010711 a TE01020233, EC a MŠMT (projekt č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017).

# SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR SE ZABUDOVANÝM ŠIROKOSPEKTRÁLNÍM OPTICKÝM ZDROJEM V OBLASTECH 1310 NM A 1550NM

**Milan Holík, František Urban**
Porficomms s.r.o.
Olomoucká 91
Brno 627 00
www.proficomms.cz
m.holik@nwg.cz

**Obor:**R&D department

Cílem projektu spektrálního analyzátoru bylo vyvinout zařízení pro testování Braggových vláknových mřížek ve výrobě ve firmě NETWORK GROUP, které by využívalo jiný typ difrakčního prvku než stávající komerčně dostupné spektrální analyzátory. Požadavkem byla také integrace širokospektrálních zdrojů záření na vlnových délkách kolem 1310 a 1550 nm s optickým výkonem do 20mW. Využití jiné techniky než rozkladu světla na jednotlivé vlnové délky než využívá nejrozšířenější uspořádání spektrometru Czerny-Turner nebo Transmisní spektrometr slibuje možné zvýšení rychlosti analýzy a hlavně nižší cenu zařízení. Zabudováním širokospektrálních zdrojů záření vznikne kompaktní systém pro testování spektra pasivních vláknových prvků (FBG, FP rezonátory, apod.). V další řadě je možné takto upravený spektrální analyzátor využít v řadě senzorických aplikací jako řídící a vyhodnocovací jednotku pro monitorování změn spektra u senzorů založených na Braggových vláknových mřížkách či Fabry-Perotových rezonátorech.

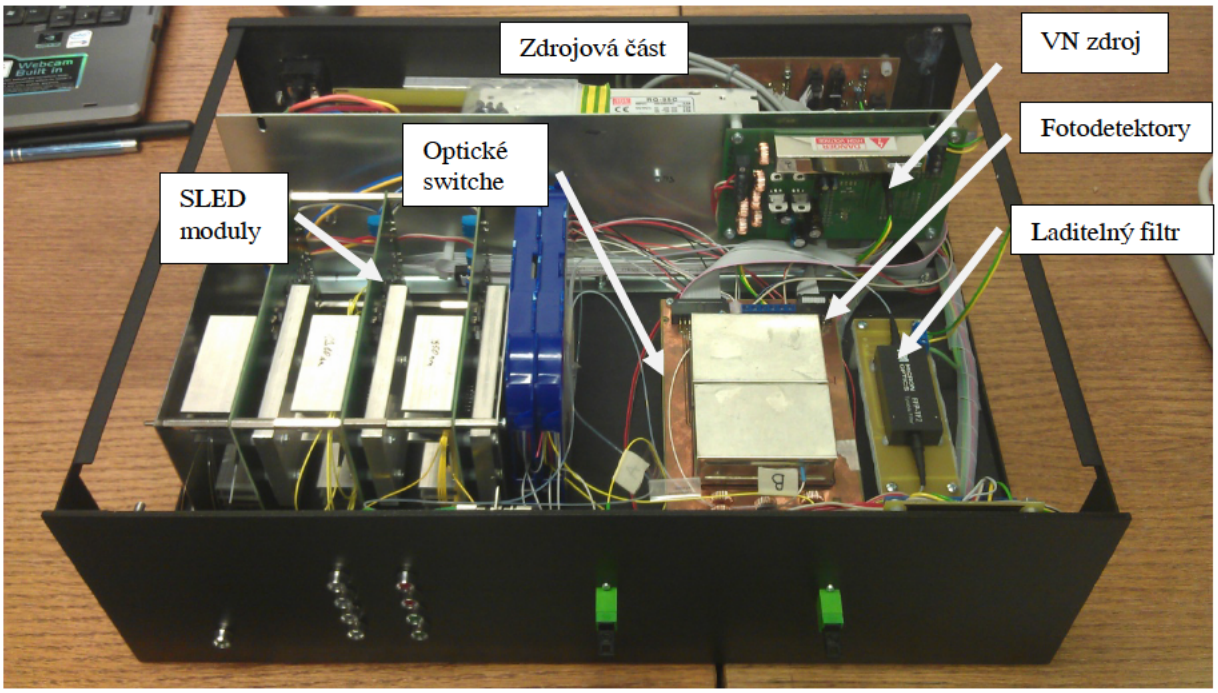



**Obr. 1 Schematické uspořádání systému černá barva označuje elektrické propojení oranžová barva optickou trasu**

Vlastní zařízení se skládá z několika hlavních funkčních bloků. Základ tvoří dva moduly pro SLED širokospektrální zdroje. Mouly jsou vybaveny proudovým zdrojem plynule nastavitelným v rozsahu 0-500mA s napětím do 4,5V a driverem pro teplotní stabilizaci SLED prostřednictvím zabudovaného TEC s možností přeladění pracovní teploty. Výsledný signál se zpracovává ve fotodetektoru, jehož základ tvoří PIN dioda a operační zesilovač v transimpedančním zapojení. Vlastní spektrální analýza je prováděna laditelným optickým filtrem s rozlišením 50pm a rozsahem 1280-1590nm. Filtr je založen na principu laditelného Fabry-Perotova rezonátoru. Kompletní řízení, snímání a generování analogových hodnot a digitálních stavů je zrealizováno prostřednictvím universální AD-DA karty firmy National-Instruments. Ovládání a zobrazení naměřených průběhů se provádí prostřednictvím SW

vyvinutého v prostředí LabView. Výstupy jednotlivých SLED zdrojů je možné přepínat pomocí řízených MEMS optických switchů. Systém umožňuje měření FBG v transmisním i reflexním režimu. Schematické uspořádání systému je na obr.Obr. 1. Celý systém je modulárně uspořádán a je možné ho jednoduše modifikovat.

Vlastní funkce zařízení spočívá v periodickém rozmítání optického laditelného filtru, který je řízen VN laditelným zdrojem. Tímto způsobem je realizováno skenování optického spektra v rozsahu laditelného filtru. Fotodetektor snímá okamžitý optický výkon propuštěný laditelným filtrem na konkrétní nastavené vlnové délce s rozlišením 0,1nm. Minimální detekovatelný výkon fotodetektorem je -60dBm. Jedním z problémů, které musely být v průběhu vývoje řešeny, je hysterezní odezva filtru při buzení lineárním řídícím signálem. Toto chování je zapříčiněno využitím piezokeramiky ve vnitřní struktuře filtru. Toto hysterezní chování muselo být vykompenzováno pomocí SW korekcí. Vzhledem k tomu, že piezokeramika má charakter kapacitní zátěže a byla požadována vysoká rychlost měření, byly kladeny vysoké požadavky na zdroj řídícího signálu jak z pohledu napětí tak proudu. Tyto požadavky byly splněny využitím DC-DC měniče. Fotografie dokončeného zařízení je znázorněna na obr 2.




**Obr. 2 Spektrální analyzátor**

**Další oblasti zájmu s nabídkou spolupráce:**

- nabízíme spolupráci při vývoji a výrobě senzorů založených na vláknových mřížkách a systémů pro jejich vyhodnocování
- nabízíme spolupráci ve vývoji aplikací využívající FBG a TFBG

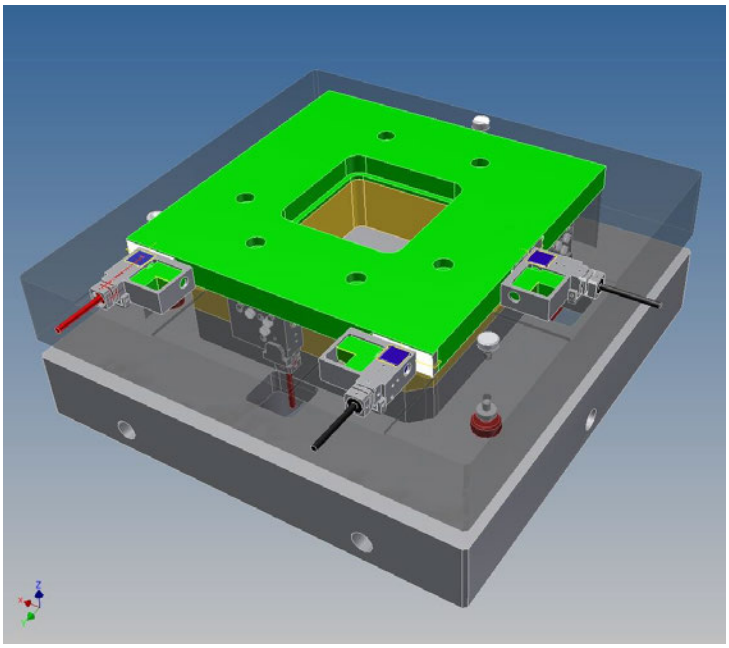
# MULTIDIMENSIONÁLNÍ INTERFEROMETRICKÝ ODMĚŘOVACÍ SYSTÉM PRO AFM MIKROSKOPII – NÁRODNÍ ETALON PRO NANOMETROLOGII

**Jan Hrabina**
ÚPT AV ČR, v.v.i., Oddělení koherenční optiky
Královopolská 147, 61264 Brno, tel.: +420 541 514 127, email: hrabina@isibrno.cz, www.isibrno.cz

**Obor:** frekvenční stabilizace laserů, víceosé interferometrické odměřovací systémy, reference optických kmitočtů – absorpční kyvety

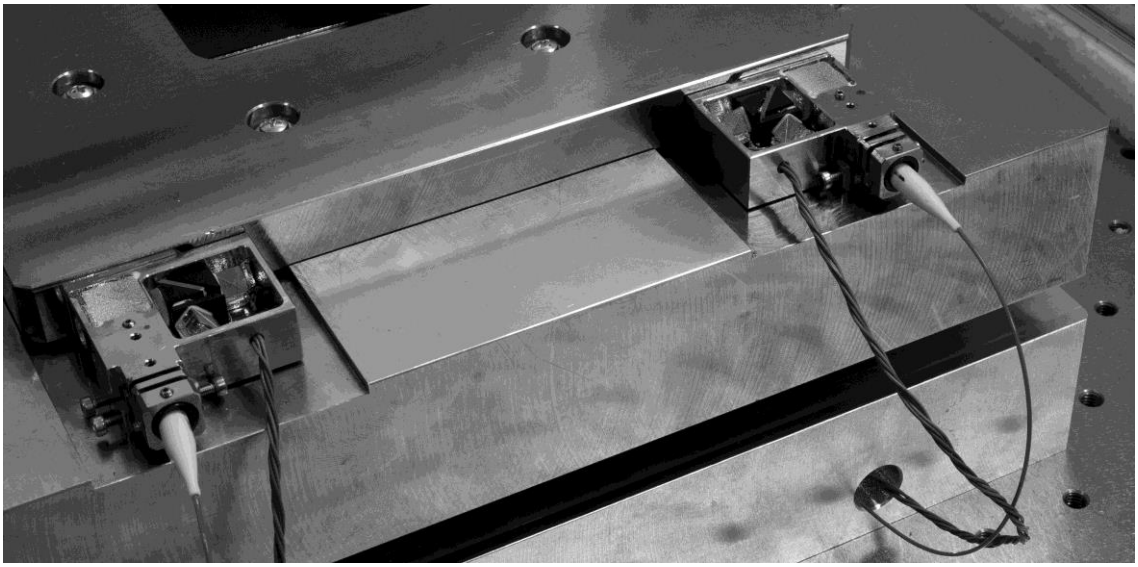
Příspěvek prezentuje výsledky výzkumu na interferometrickém odměřovacím 6-osém systému pro mikroskopii s lokální sondou. Zařízení bylo vyvíjeno ve spolupráci s Českým metrologickým institutem v Brně a je v sestavě s AFM mikroskopem (mikroskop atomárních sil) určeno k provozu jako národní nanometrologický etalon. Systém sestává z komerčního nanopolohovacího stolku řízeného piezoelektrickými aktuátory s možností polohování v rozsahu 200 * 200 * 10 μm, metrologického rámu a laserem napájené interferometrické sestavy pro odměřování polohy ve všech šesti osách volnosti.

Odměřovací sestava využívá 6 nezávislých laserových jednoprůchodových interferometrů s rovinným zrcadlem a homodynní detekcí. Použití rovinného zrcadla jako odražeče dovoluje velice citlivou detekci úhlové výchylky stolku. Díky vhodně zvolené geometrické konfiguraci (1 interferometr osa X, 2 interferometry osa Y, 3 interferometry osa Z) dosahuje úhlové rozlišení celého systému řádu desítek nanoradiánů, aktivní servo řízení stolku udržuje úhlové chyby vedení pod úrovní 100 nrad. Ke kompenzaci úhlových výchylek slouží 3 speciální střižné PZT měniče kombinující X-Z pohyb. Jako zdroj záření pro laserové interferometry slouží Nd:YAG laser se zdvojnásobením optické frekvence ($\lambda$=532 nm) jehož světlo je k jednotlivým interferometrům rozváděno polarizací zachovávajícícm vláknovým děličem. Vlnová délka laseru je stabilizována pomocí techniky lineární spektroskopie v parách molekulárního jódu – laserový zdroj tak zachovává přímou návaznost na základní etalon délky. Systém skenování absorpčního spektra a stabilizace laseru je plně automatický.



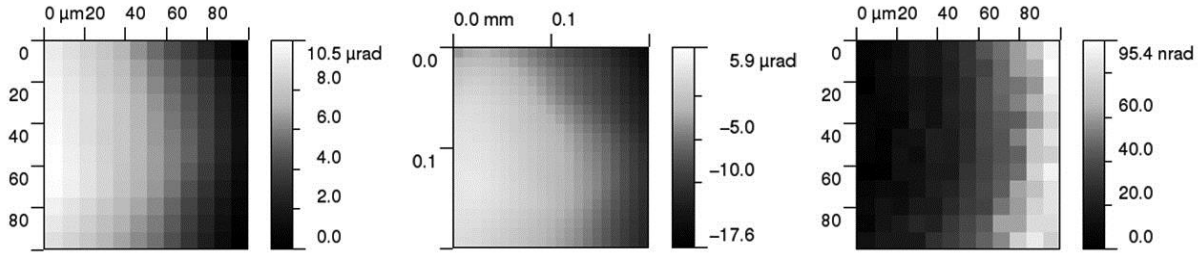
*Design odměřovacího a nanopolohovacího systému pro AFM mikroskop: sestava využívá 6 nezávislých interferometrů a aktivní kompenzaci úhlových výchylek pomocí sestavy tří speciálních X-Z střižných PZT elementů.*

Navržené miniaturní jednotky interferometrů jsou teplotně kompenzovány – délky referenční a měřicí trasy v interferometru jsou shodné. Interferometrické jednotky jsou umístěny v pouzdře vyrobném z Invaru – materiálu s velmi nízkou teplotní roztažností. Stejný materiál je použit i k výrobě metrologického rámu.



*Detail interferometrických jednotek s rovinnými odražeči na nanopolohovacím stolku a vláknovými rozvody laserového záření.*

Výsledné parametry systému byly testovány při vypnuté i aktivní kompenzaci úhlových chyb. Bez systému kompenzace dosahovala maximální odchylka ve vertikální ose úrovně 10 µrad a 1 µrad v horizontální ose. Po aktivaci systému kompenzace byly úhlové chyby potlačeny pod úroveň 100 nrad.




*Systém aktivní kompenzace redukuje úhlové chyby polohování pod úroveň 100 nrad.*

**Poděkování**
Tento výzkum je podpořen granty GAČR: GPP102/11/P820, AV ČR RVO:68081731, MŠMT: CZ.1.05/2.1.00/01.0017, Evropským sociálním fondem a národním rozpočtem ČR: CZ.1.07/2.4.00/31.0016, TAČR: TA02010711, TA0101995 a TE01020233.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

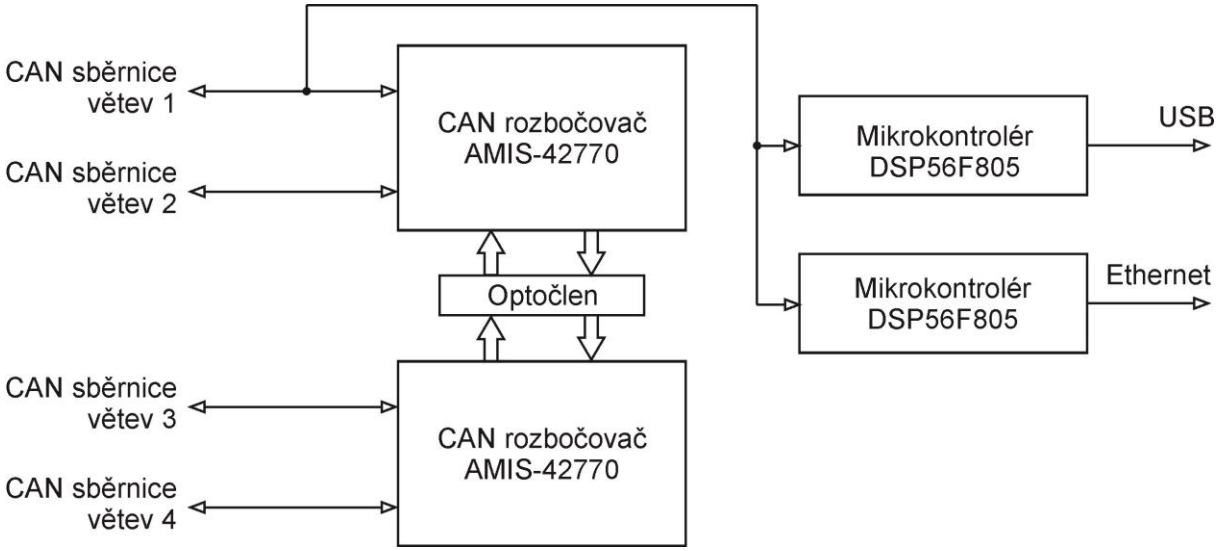
- Výroba absorpčních kyvet plněných izotopicky čistými plyny
- Frekvenční stabilizace laserů
- Laserová interferometrie – multidimensionální systémy
- Laserová spektroskopie

# ELEKTRONIKA PRO KOMUNIAKCI V PŘÍSTROJOVÉ TECHNICE

**Václav Hucl**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Koherenční optika
Královopolská 147, 612 64 Brno, +420 541 514 529, treak@isibrno.cz, www.isibrno.cz

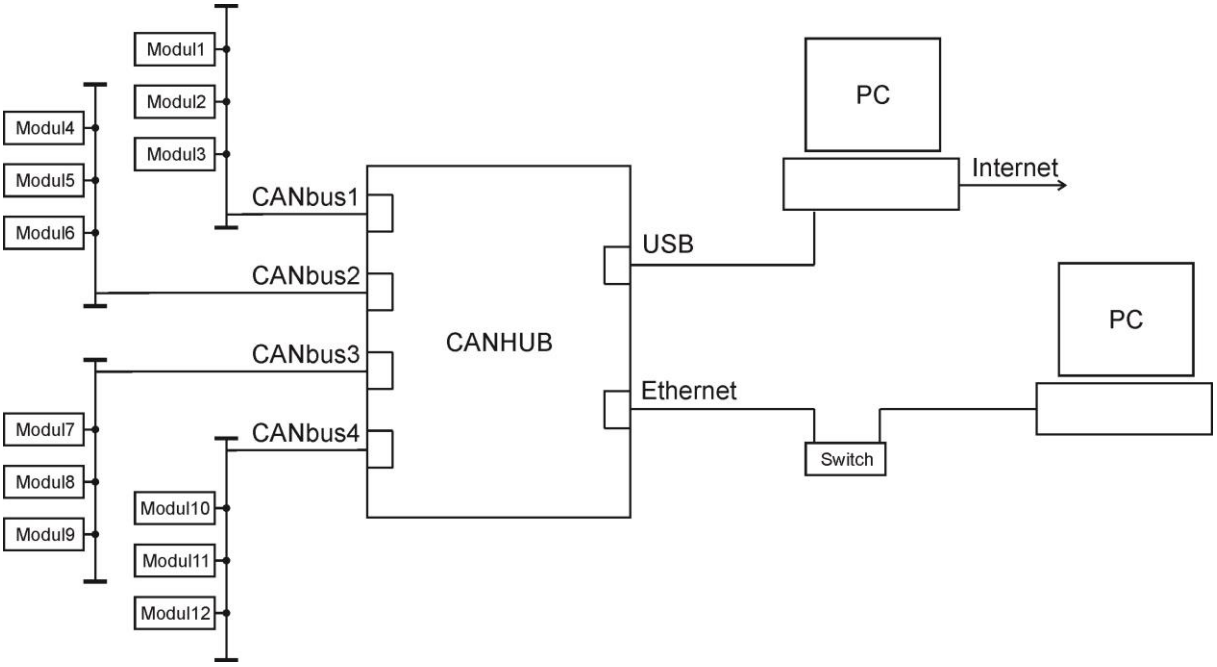
**Obor:** Elektronika, automatizované řízení experimentů a sběr dat

V Ústavu přístrojové techniky AV ČR používáme pro komunikaci mezi počítačem a přístroji využitými v experimentech průmyslovou sběrnici CAN (Controller Area Network). V prezentované práci je popsána elektronika zprostředkovávající komunikaci po této sběrnici (CANHUB) a oproti předchozímu řešení zajišťuje větší bezpečnost a spolehlivost komunikace. Popisované komunikační jednotky budou nasazeny v nově vybudovaných aplikačních laboratořích ALISI. Hlavním přínosem zařízení je vytvoření čtyř nezávislých větví CAN sběrnice, které spolu mohou vzájemně komunikovat, ale zkrat, rozpojení či jiná porucha hardwaru v jedné větvi, nemá vliv na zbylé tři. Pomocí karty CANHUB je možné připojit přístroje propojené CAN sběrnicí k počítači pomocí USB rozhraní nebo přes síť Ethernet.




**Obrázek 1:** *Vnitřní blokové schéma karty CANHUB*

Karta CANHUB je založena na integrovaném obvodu AMIS-42770, který slouží jednak jako obousměrný opakovač a zároveň jako transceiver pro dvě větve CAN sběrnice. Použitím dvou těchto obvodů a rychlých optočlenů získáváme možnost propojit 4 galvanicky oddělené větve CANu. Zapojení obsahuje dva mikrokontroléry DSP56F805. První zprostředkovává obousměrnou komunikaci mezi CAN sběrnicí a počítačem pomocí USB připojení. Druhý zajišťuje komunikaci prostřednictvím Ethernetu a protokolu TCP/IP. Komunikační rychlost CAN sběrnice je nastavitelná od 12,5 kb/s do 1 Mb/s. Pro nejvyšší přenosovou rychlost sběrnice 1 Mb/s je maximální délka vedení v každém segmentu podle normy 40 m.




**Obrázek 2:** *Topologie sítě CAN s kartou CANHUB*

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Návrh a konstrukce elektroniky pro zpracování signálů
- Programování mikrokontrolérů a signálových procesorů
- Přesné měření délek pomocí laserů

**Poděkování**
Práce vznikla za podpory projektu Grantové agentury ČR č. GAP102/10/1813 a projektů Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. CZ.1.07/2.4.00/31.0016 a CZ.1.05/2.1.00/01.0017.

# FIBER LASER CONQUERS MEDIUM SHEET THICKNESSES


## Josef Chromý

**Bystronic Czech Republic s.r.o.**
Tuřanka 115/1222
627 00 Brno
josef.chromy@bystronic.com


**Obor:** vláknové lasery, výkonové lasery, laserové řezání


**Energy efficiency, low maintenance and operating costs, and a range of cost-effective operation that extends into the medium sheet metal thicknesses. In future, this is what customers who decide to purchase a fiber laser cutting system from Bystronic expect.**


The application range of the solid-state laser has increased rapidly within a very short period of time. Until now, cutting systems equipped with a solid-state laser were used primarily in the thin range of sheet thicknesses. Now, however, the higher power of the laser source permits excellent cutting results to be achieved also with sheet thicknesses of 8–12 mm. In order to achieve the laser power required, Bystronic supplies the BySprint Fiber with a powerful 4 kW laser source.

With an efficiency of around 30%, fiber lasers work considerably more efficiently than $CO_2$ lasers. Furthermore, in comparison the operating costs are lower: No laser gas, no optics in the beam path, and an almost maintenance-free laser source with a long service life. The acquisition costs are put into perspective by the high cutting speed, the energy efficiency, and the low maintenance costs.

Owing to its wave length, the advantages of the $CO_2$ laser have until now prevailed in the medium to high range of sheet thicknesses. Initially, the fiber laser remained restricted to just the thin range of sheet thickness. This is now changing. Bystronic has developed solutions that significantly improve the fiber laser's cutting results in the medium range of sheet thickness. Targeted measures on the relevant process components now permit significantly optimized cutting results with sheet metal thicknesses up to 12 mm.

Additionally, the improved characteristics of the solid state laser increase the cutting speed. Hence, up to medium sheet thicknesses, fiber laser systems achieve almost comparable speeds and quality levels as $CO_2$ laser systems.

But is the fiber laser a real competitor for $CO_2$ lasers? Bystronic is backing both technologies. Primarily the fiber laser offers a meaningful addition. Its special characteristics predestine it for certain applications in the thin to medium range of sheet thicknesses. For users who wish to cut the full spectrum from the thin range of sheet thickness through to a thickness of 25 mm, the proven $CO_2$ laser cutting process is still first choice.

# OPTICKÝ TRANSPORT A TŘÍDĚNÍ POMOCÍ 'TAŽNÉHO PAPRSKU'

**Oto Brzobohatý, Vítězslav Karásek, Martin Šiler, Lukáš Chvátal, Tomáš Čižmár a Pavel Zemánek**

Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno
tel. 541 514 284, email: pavlik@isibrno.cz, web: http://www.isibrno.cz/omitec

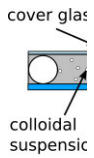
**Obor:** Optické mikromanipulace, výpočty rozptylu světla

Realizovali jsme experimentálně novou metodu třídění suspenze koloidních částic v samostatném širokém laserovém svazku. Třídění se provádí realizací tzv. „tažného paprsku“ slabě fokusovaným laserovým svazkem, jenž je pod malým úhlem zpětně odražen na dielektrickém zrcadle. V tomto uspořádání je příčná poloha vertikálně zachycených částic závislá na směru lineární polarizace svazku. Otočení polarizace o 90 stupňů změní znaménko optické síly působící podél osy z (viz Obr. 1) na částice zvolených vlastností a tím i směr pohybu částice. Tento způsob třídění poskytuje překvapivě efektivní metodu pro pasivní roztřídění řádově desítek částic najednou pouhou změnou polarizace.

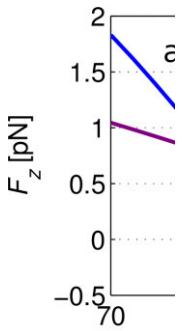
Pozorované chování samotné sférické částice se dobře shoduje s teoretickými předpověďmi založené na Mieho teorii rozptylu, jakož i s výpočty metodou vázaných dipólů (CDM). Pomocí zobecnění Mieho teorie pro případ více sfér jsme objasnili zesílení silových účinků světla na částice po jejich samouspořádání do řetízků držených disperzními silami krátkého dosahu, případně do delších struktur držených tzv. optickou vazbou (optical binding).

Realizovaná optická sestava je zachycena na Obr. 1 a) a Obr. 1b) zobrazuje závislosti optické síly v ose z (v limitě rovinné vlny) pro s a p polarizace, na němž je patrná negativní „tažná síla“ pouze pro složku „s“ při úhlech blízkých kolmému dopadu.

a)




b)




Obr. 1. a) Schéma experimentální sestavy [1]. b) Optická síla v ose z pro kulovou polystyrénovou částici o průměru 410 nm jako funkce úhlu dopadu. Záporná hodnota síly $F_z$ vyjadřuje tzv. tažnou sílu proti směru osy z, tedy proti směru dopadajících fotonů.

Snímky na Obr 2a) a 2b) dokumentují třídicí schopnost skutečného svazku pro dvojici částic s vhodně zvolenými velikostmi. Stabilní polohy roztříděných clusterů po obou stranách snímků je možné vysvětlit kompenzací gradientní optické síly (plynoucí z konečné šířky svazku) a tažného/tlačného účinku interferenčního pole. Grafy v dolní části Obr. 2 ukazují vývoj trajektorií částic 2c) a míru jejich roztřídění v čase 2d).

Obr 2. a) a b) Příklad třídění částic s využitím tažného svazku. Levá část obrázku zachycuje původní stav, pravá část po roztřídění. c) Časový průběh trajektorií částic po přepnutí polarizace. d) procentuální počet správně roztříděných částic.

Autoři děkují za podporu projektům MŠMT a EC (LH12018, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/17.0032).

Reference:

[1] O. Brzobohatý, V. Karásek, M. Šiler, L. Chvátal, T. Čižmár, P. Zemánek: Experimental demonstration of optical transport, sorting and self-arrangement using a ‘tractor beam’ Nature Photonics **7** (2013) 123-127.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- „Soft-matter“ a biomechanika
- Zpracování obrazu a sledování pohybu mikročástic
- Optická mikroskopie s vysokým rozlišením
- Simulace chování mikročástic ve vektorových laserových svazcích
- Numerické simulace s využitím multiple-Mie teorie rozptylu a metody vázaných dipólů

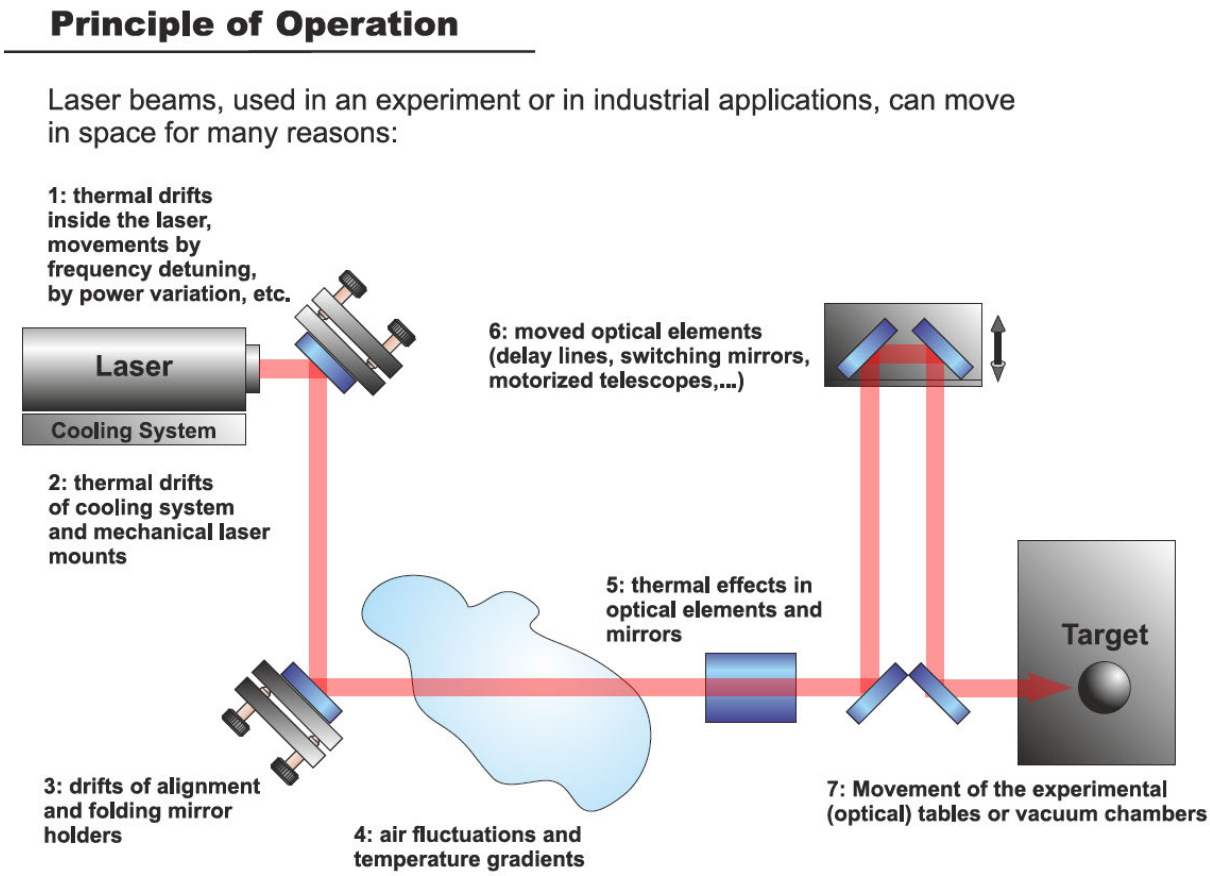
# PLNĚ AUTOMATICKÝ SYSTÉM PRO NASTAVENÍ A STABILIZACI LASEROVÉHO SVAZKU

**Aleš Jandík**

Lao – průmyslové systémy, s.r.o., Praha
jandik@lao.cz
+420 602 207 403
www.lao.cz

**Obor:** Stabilizace laserového svazku

.



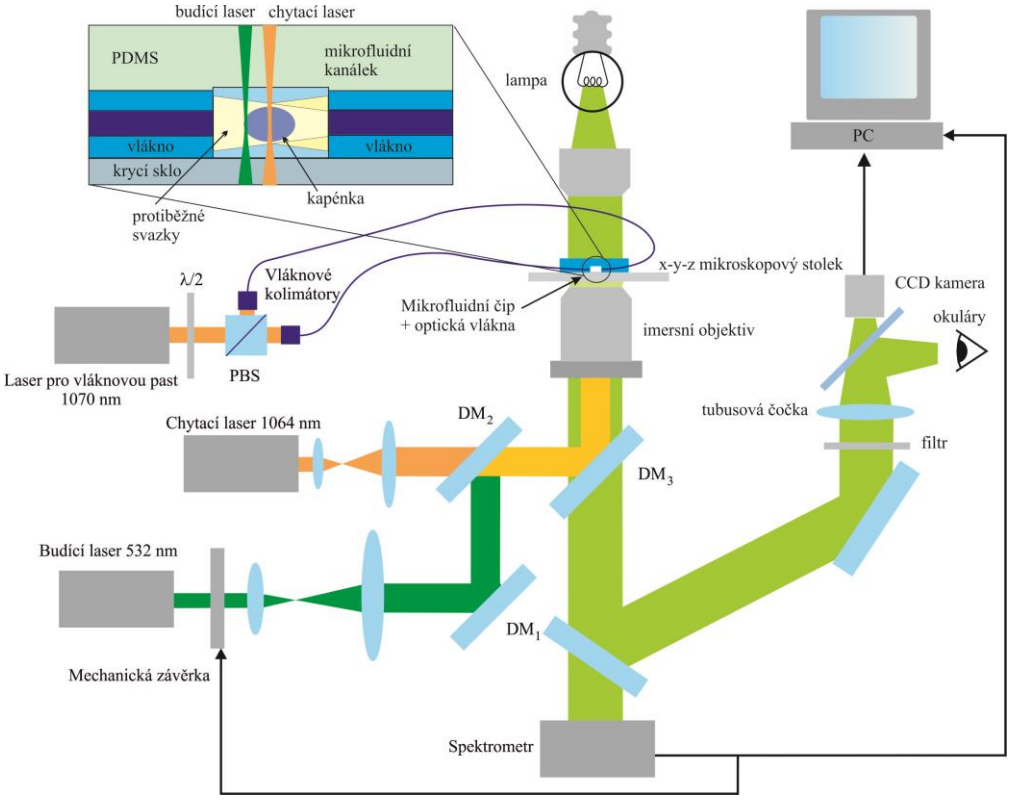
# OPTICKY ZACHYCENÉ LADITELNÉ KAPÉNKOVÉ MIKROLASERY

**Jan Ježek, Zdeněk Pilát, Oto Brzobohatý, Alexandr Jonáš*, Mehdi Aas*, Alper Kiraz* a Pavel Zemánek**
Optické mikromanipulační techniky, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.
Královopolská 147, Brno 612 64
Tel.: +420 541 514 282, E-mail: jezek@isibrno.cz, WWW: http://www.isibrno.cz/omitec/
*Koc University, Rumelifeneri Yolu, 34450 Sariyer Istanbul, Turkey

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

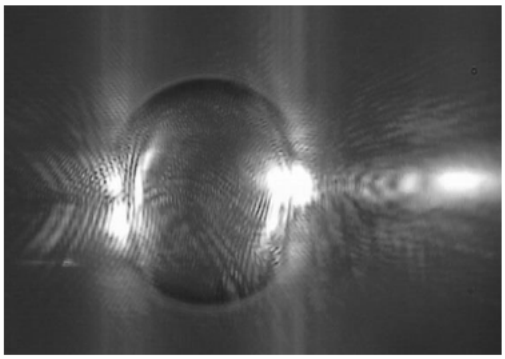
Emulzní mikrokapénky, které se nemísí s okolní nosnou kapalinou, přestavují dokonalé kulové mikroobjekty s ideálně hladkým optickým povrchem. Lze v nich vybudit speciální mody (tzv. Whispering Gallery Modes - WGM) s extrémně vysokým činitelem jakosti a následně velmi úzkou spektrální odezvou. Jsou-li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

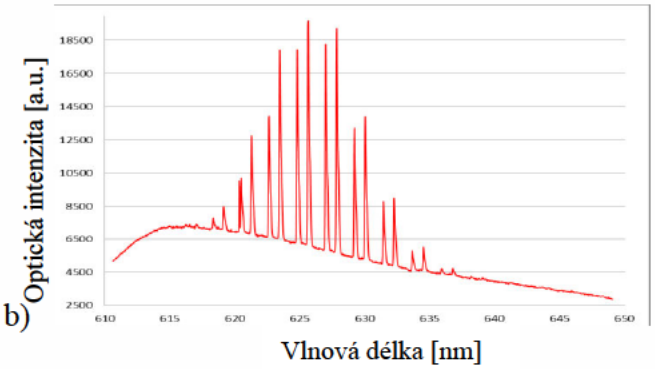
Výše popsaný mikrolaseru jsme realizovali na bázi olejové kapénky ve vodě, na povrhu kapénky bylo vázáno barvivo DiI(3). Kapénky o průměru 50 μm jsme generovali v mikrofluidním čipu. Jednotlivou kapénku jsme v prostoru zachytili optickou pinzetou na vlnové délce 1064 nm, opticky excitovali na vlnové délce 532 nm a deformovali změnou výkonu dvojice protiběžných svazků přivedených optickými vlákny do mikrofluidního čipu [1] (tzv. optical stretcher).




Obr. 1: Sestava určená ke generaci kapénkových mikrolaserů a jejich spektrálnímu ladění deformací kapének protiběžnými laserovými svazky.

Obrázek 1 ukazuje experimentální sestavu a Obr. 2. dosažené výsledky. Kapénku zachycenou optickou pinzetou jsme umístili do protiběžných svazků šířících se z optických vláken (Obr. 2a), excitovali budícím laserem ve středu kapénky a zaznamenali emitované spektrum (Obr. 2b), měnili výkon protiběžných svazků a deformovali původně kulovou kapénku na elipsoid, ve kterém se změnily frekvence jednotlivých WGM modů, na kterých laser zářil. Obrázek 2c ukazuje změnu ve spektru emitovaných modů pro různě velké deformace kapénky [1].

a) 

b) 


c)

Obr. 2: a) Boční pohled na zachycenou mikrokapénku, světlé oblasti odpovídají rozptylu dopadajících protiběžných svazků. b) Ukázka spektra emitovaného z mikrolaseru, jednotlivá spektrální maxima odpovídají jednotlivým WGM modům. c) Změna vlnové délky sousedních emitovaných modů pro různé deformace mikrolaseru (odpovídá frame number).

Autoři děkují za podporu TAČR (TA03010642), GAČR (P205/11/P29), TUBÜTAC (111T059) a MŠMT (LH12018, CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/17.0032).

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

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

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

# VÝVOJ INSTRUMENTACE PRO METODU SPEKTROMETRIE LASEREM BUZENÉHO MIKROPLAZMATU PRO VYUŽITÍ V 2D AUTOMATIZOVANÉM STOLNÍM A DÁLKOVÉM PRVKOVÉM MAPOVÁNÍ

**J. Novotný[1,2], M. Brada[1,2], M. Petrilak[1,2], D. Prochazka[1], P. Pořízka[1], T. Zikmund[1], Jozef Kaiser[1,2*]**

[1)] CEITEC VUT – Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
[2)] Ústav fyzikálního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
[*]korespondenční autor, e-mail: kaiser@fme.vutbr.cz, tel.: 00420 541 142 846,
web: http://libs.fme.vutbr.cz/

**Obor:** spektrometrie laserem buzeného mikroplazmatu (LIBS)

Předmětem prezentace je nově vyvinutá vakuová interakční komora a mobilní sestava s možností modulárního *stand-off*/dálkového zapojení pro automatizované 2D mapování pomocí metody Spektroskopie laserem buzeného mikroplazmatu (LIBS).
Užitečnost techniky 2D mapování byla prokázána pro sledování rozložení specifického chemického prvku na povrchu vzorku [1]. Použitím jiného než standardního atmosférického tlaku je možno simulovat reálné podmínky různých prostředí, anebo takto jednoduše zlepšit poměr signálu k šumu specifických prvků. Prezentovaná interakční komora disponuje všemi komponenty nezbytnými pro automatizované 2D mapování za přítomnosti vzduchu (nebo $CO_2$, He, Ar atd.) a pod tlakem, který je variabilní od 1 mbar do 1,3 bar. Komora zahrnuje možnost sledování povrchu vzorku ve dvou přibližovacích úrovních, umožňuje zacílení a fokusaci více laserových pulsů z ortogonálního vstupu, autofokusaci primárního pulsu, trojosý pohyb vzorku na motorizovaném stolku, sběr záření plazmatu a nastavení tlaku prostředí v uvedeném rozmezí. Všechny elektronické komponenty a procedury 2D mapování jsou ovládány speciálně vyvinutým softwarem.
Je známo, že standardní sestava pro stolní LIBS může být modifikována pro mobilní dálkovou analýzu tak, aby mohla technika LIBS být využita také v mimo laboratorním prostředí. Zařízení jako Dálková LIBS, *stand-off* LIBS a přenosná LIBS stejně tak jako jejich aplikace jsou během posledních desetiletí v odborné literatuře často diskutovány [2]. Naše modernizace na tomto poli spočívá v konstrukci mobilní a modulární sestavy pro LIBS, která obsahuje moduly jak pro *stand-off* (tj. přenosem laserového pulzu vzduchem a sběrem LIBS signálu až na vzdálenost 20 m) tak i pro dálkovou analýzu pomocí optických vláken, při snaze udržet co nejnižší celkovou hmotnost a rozměry. V případě *stand-off* modulu je automatizované 2D mapování umožněno funkcemi speciálně vyvinutého softwaru a dvouosou motorizovanou rotací detekce. Dále jsou prezentovány předběžné výsledky měření na vzdálenost 20 m.

**Poděkování**
Tato práce vznikla v rámci CEITEC - Středoevropského technologického institutu s pomocí výzkumné infrastruktury financované projektem CZ.1.05/1.1.00/02.0068 z Evropského fondu regionálního rozvoje a podporou projektu “Vývoj interakční komory pro analytickou metodu spektrometrie laserem indukovaného mikroplazmatu (LIBS)” (TA02011272) Technologické agentury České republiky.

**Literatura**

[1] V. Pinon, M.P. Mateo, and G. Nicolas. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for Chemical Mapping of Materials. Applied Spectroscopy Reviews, 48(5), 2013, 357–383. doi:10.1080/05704928.2012.717569

[2] F. J. Fortes and J. J. Laserna. The development of fieldable laser-induced breakdown spectrometer: No limits on the horizon. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 65(12), p. 975–990, 2010.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Rentgenová mikroradiografie a počítačová mikrotomografie (μCT)

# LASERY A OPTIKA - TECHNOLOGICKÁ A ZÁKAZNICKÁ ŘEŠENÍ

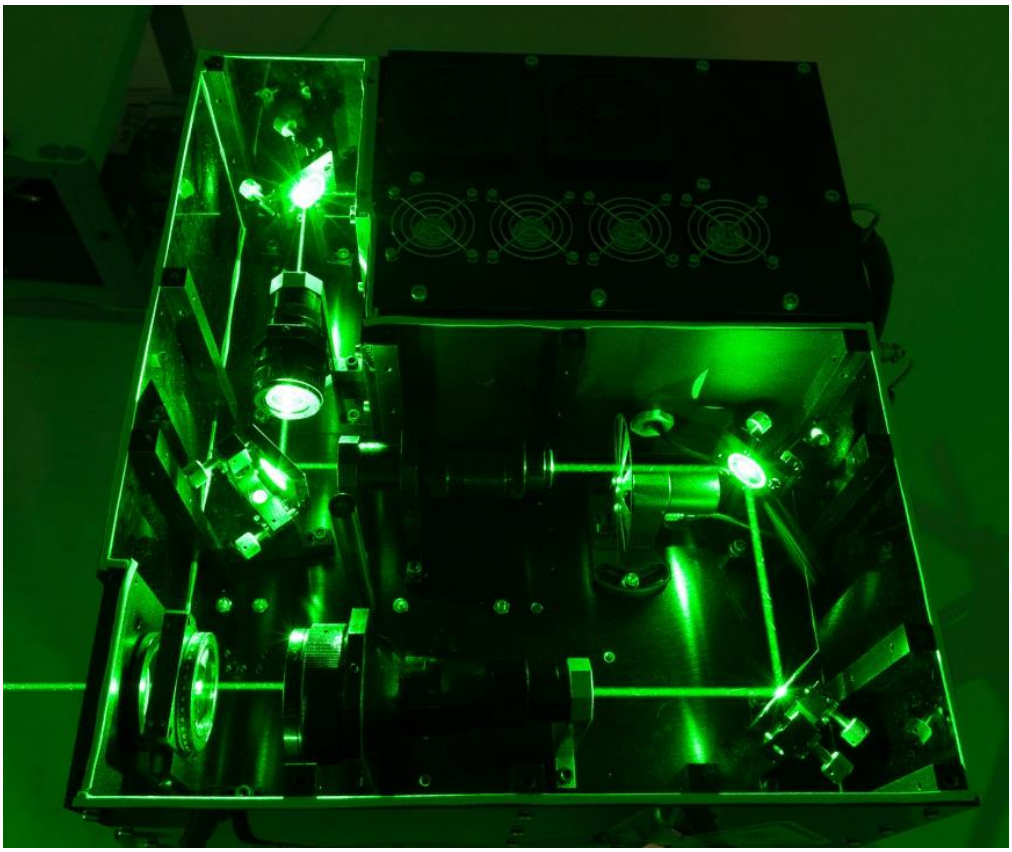

## Martin Klečka

Lao – průmyslové systémy, s.r.o., Praha
klecka@lao.cz
+420 604 278 308
www.lao.cz


**Obor:** Vývoj a zákaznická řešení

Firma LAO je známá jako dodavatel laserových technologií, optiky, detekčních systémů a přístrojové techniky.

V posledních letech se také snaží více zaměřovat na integrátorskou činnost a využití nabytých znalostí při řešení náročnějších úloh v rámci spolupráce s našimi zákazníky a partnery. Cílem přednášky je představit několik úspěšně realizovaných projektů jako byl laserový nůž pro PIV systém, laser beam combinery, nebo laserová technologická řešení v oblasti materiálového zpracování a nabídnout spolupráci všem dalším partnerům na poli vývoje, nejen ve vědecké, ale i v komerční sféře.



# OPTICKÁ KOMUNIKACE VOLNÝM PROSTOREM

**Zdeněk Kolka, Otakar Wilfert, Viera Biolková**

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UREL
Technická 12, 616 00 Brno (tel.: 541146565, e-mail: {kolka|wilfert|biolkova}@feec.vutbr.cz, http://www.feec.vutbr.cz/UREL)

**Obor:** Optické komunikace

Požadavky na přenosové kapacity bezdrátových linek v řádu desítek gigabitů za sekundu vedou k použití technologie optické komunikace volným prostorem (angl. zkratka FSO – Free-Space Optics). V současnosti jsou již běžně dostupné spoje typu bod-bod s přímou viditelností s rychlostí 1,25 Gb/s (Ethernet) pro nasazení v městských sítích k překlenutí vzdáleností do několika kilometrů. Prakticky výhradně jsou používány vlnové délky 850 nm nebo 1550 nm, přičemž vysílaný úzký optický svazek je generován polovodičovým laserem, který je přímo klíčovaný datovým signálem. Je možné říci, že vývoj v této oblasti sleduje rozvoj techniky vláknové komunikace, neboť základní stavební bloky obou technologií (lasery, budiče, fotodiody a integrované zesilovače) jsou stejné. Vývoj další generace optických bezdrátových spojů pro rychlosti nad 10 Gb/s však vyžaduje pečlivou analýzu vlastností atmosférického optického kanálu a hledání nových přenosových technik.

Základními vlivy atmosféry na šířící se optický svazek jsou rozptyl na kapičkách mlhy a turbulence. V případě výskytu kontinentální mlhy může koeficient útlumu dosáhnout hodnot až 120 dB/km, což prakticky vždy znamená přerušení optické linky. Hybridní přenosová technologie spočívá v kombinaci radiových spojů v oblasti milimetrových vln a optických bezdrátových spojů. Jestliže hlavním faktorem pro otický spoj je mlha, tak pro radiový spoj se jedná o déšť. Oba meteorologické jevy se jen s malou pravděpodobností vyskytují současně. Proto je možné kombinací radiové a optické technologie podstatně zvýšit dostupnost hybridní linky.

Testovací hybridní linka 850nm/1550nm/ 122GHz vyvinutá na Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně

Turbulence se nejvýrazněji projevuje za jasného a slunečného počasí výrazným kolísáním úrovně přijímaného signálu. V případě provozu spoje s nízkou hodnotou výkonové rezervy dochází k náhodným ztrátám stovek až tisíců přenášených paketů. Pokud se tento jev neošetří vhodným protokolem linkové vrstvy, tak např. dominantní protokol Internetu - TCP reaguje rapidním snížením datového toku, tj. plně nevyužije fyzickou kapacitu spoje. Vliv turbulence je možné snížit užitím vhodného komunikačního protokolu anebo na optické úrovni využitím negaussovských svazků.

Pracoviště na UREL se dlouhodobě zabývá výzkumem v oblasti optických komunikací. Aktivity zahrnují modelování atmosféry, řešení optických soustav pro generování a příjem optického svazku, komunikační techniky linkové vrstvy. V současné době je výzkum zaměřen na vývoj plně fotonických systémů, které najdou uplatnění v příští generaci optických sítí fotonických služeb, jejich využití bude zahrnovat i přenosy přesné optické frekvence pro metrologické účely.

Výzkumné aktivity jsou podpořené mj. grantovými projekty GA ČR č. P102/11/1376 - Výzkum vlivu zhoršených přenosových podmínek na vlastnosti budoucích pozemních širokopásmových bezdrátových systémů, Ministerstva průmyslu a obchodu č. FR-TI4/148 - Hybridní bezdrátová technologie pro municipální sítě a Technologické agentury ČR č. TA02030845- Inteligentní infrastruktura pro moderní město.

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

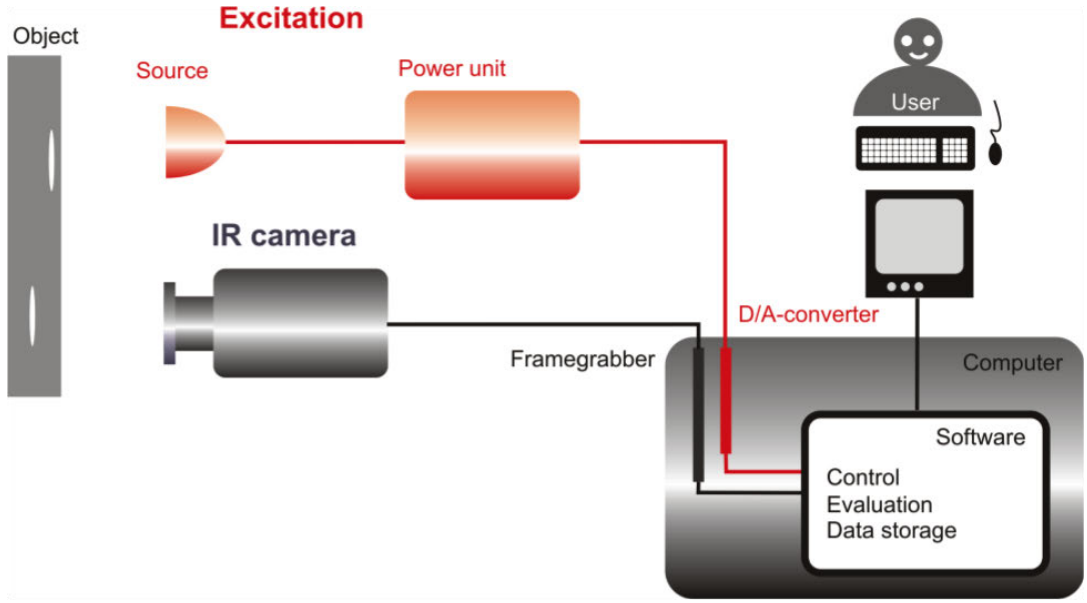
- Modelování průchodu optického svazku atmosférou, analýza rozptylu, turbulence a časové disperze u atmosférických optických spojů.
- Využití vláknové technologie pro vytvoření plně fotonických bezdrátových systémů, aplikace pasivních i aktivních optických prvků.
- Generování negaussovských svazků, řešení otázek difrakce.
- Měření, klasifikování a potlačení vlivu atmosférické turbulence na kvalitu přenosu atmosférickým optickým spojem.
- Praktický vývoj atmosférických optických spojů pro experimentální účely.
- Využití výkonných LED pro osvětlení a komunikaci, nezobrazující optika.

# AKTIVNÍ TERMOGRAFIE A JEJÍ APLIKACE V OBLASTI SVAŘOVÁNÍ LASEREM

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

**Obor:** technik specialista termografie

## Aktivní termografie pro nedestruktivní testování




*Sestava nedestruktivního testovacího systému založeného na aktivní termografii*

### *Pasivní termografie*

Předmětem konvenční termografie je zobrazování a měření povrchových teplot objektů. Termografický systém detekuje teplotu v závislosti na infračerveném záření emitovaného měřeným objektem. Použitím tzv. pasivní termografie tedy můžeme bezkontaktně získat informace o povrchu měřeného objektu. Díky termografickým systémům s vysokým rozlišením a teplotní citlivostí můžeme v dnešní době detekovat teplotní rozdíly až 10mK.

### *Aktivní termografie*

Metody měření aktivní termografie jsou založeny na vyhodnocování tepelného toku v testovaném objektu předem vygenerovaného excitačním signálem a jeho odezvy skrytých vad. Tepelný tok je generován tepelným pulsem nebo sinusovou modulací. Výsledky jsou pak prezentovány termografickou kamerou s následnou matematickou analýzou naměřené sekvence pro správnou interpretaci skrytých defektů uvnitř měřeného objektu.

### *Lock-in termografie*

Lock-in termografie je metoda, která významně navyšuje poměr signálu vůči šumu pro aplikace aktivní termografie. Tímto je analyzován tepelný tok a zobrazovaná je časová prodleva tohoto toku, čímž se detekují důležité materiálové vlastnosti nebo vady.

### *Excitační metody pro aktivní termografii*

Následující seznam metod je již velice osvědčený pro oblast nedestruktivního testování:

- Optická lock-in termografie
- Pulzní termografie
- Laserová termografie
- Indukční termografie
- Ultrazvuková termografie (vibrotermografie)

### *Laserová termografie*

Aktivní termografie využívající excitaci laserem je bezkontaktní testovací metoda, která je ideální pro charakteristiku různých spojů, svárů, tenkých vrstev a povlaků. Velice krátký testovací čas a vysoká citlivost dělá laserovou termografii extrémně účinným nástrojem pro nedestruktivní testování materiálů. Technika Fourierova vyhodnocování umožňuje precizní určování vlastností materiálů, jako například tloušťka, pórovitost nebo tepelná vodivost. Kromě toho mohou být potlačeny různé vlivy proměnlivých vlastností povrchů nebo teplotních nehomogenit. Interpretace a dokumentace výsledků testů jsou velmi jednoduché. Nejběžnější aplikace jsou testování svárů, lepených spojů, nedestruktivní testování povrchů, testování vrstev a povlaků, apod.
Principem laserové termografie je ohřev povrchu sledovaného objektu v určité oblasti výkonovým laserem. Tepelný tok způsobený laserovou excitací hraje v laserové termografii základní roli. Tepelné bariéry (proměnlivá tloušťka nebo materiálové defekty) mění tepelný tok projevující se na povrchu měřeného objektu - teplotní rozdíly tvořené na povrchu jsou poté monitorovány vysokorychlostní termografickou kamerou. Citlivost této metody může být dále zvýšena tzv. lock-in technikou. Intenzita distribuce povrchové teploty je zde spektrálně analyzována a rozložena na fázový a amplitudový obraz Fourierovou transformací. Z fázového termogramu je možné získat kvantitativní analýzu určitých materiálových vlastností.

crack de

## Aktivní termografie a její aplikace v oblasti svařování laserem

Laserové svařování patří k nejmodernějším metodám spojování různých typů materiálů. Laserová metoda je využívána zejména pro svařování těch dílů, u nichž je kladen důraz na vysoké svařovací rychlosti, přesný, kvalitní svár bez trhlin, nečistot a pórů a nízké tepelné deformace okolního materiálu. Požadavky bývají hlavně vysoká procesní rychlost, stabilita a možnost kontroly kvality výsledného sváru.
Současná termografie splňuje všechny zmíněné potřeby. První důležitou vlastností je záznamová rychlost v korelaci s možností nastavení integračního času s ohledem na teplotní rozsah měřeného objektu. Další důležitou vlastností je velmi vysoká teplotní citlivost a široký teplotní rozsah systému, díky kterým je možné analyzovat teplotní pole nejen v okolí sváru, tedy analyzovat případné teplotní deformace materiálu. Nejdůležitější je však možnost kontroly kvality výsledného sváru tzv. aktivní termografií, která je v krátkosti popsána výše.

# POKROČILÉ INTERFEROMETRICKÉ SYSTÉMY PRO MĚŘENÍ V NANOTECHNOLOGIÍCH

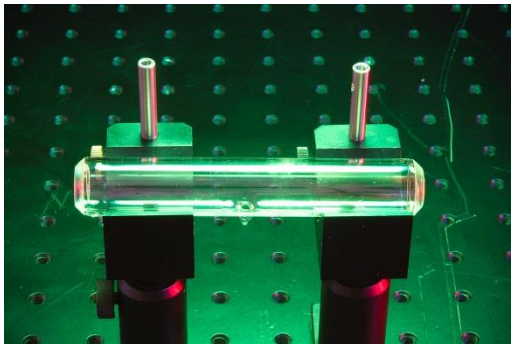
**Josef Lazar, Jan Hrabina, Miroslava Holá, Miloslav Vychodil**

Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i
Královopolská 147 Brno 612 64, tel.: +420 541 514 127, e-mail: joe@isibrno.cz, www.isibrno.cz

Meopta – optika, s.r.o.
Kabelíkova 1, 750 01 Přerov

**Obor:** Koherentní lasery a interferometrie

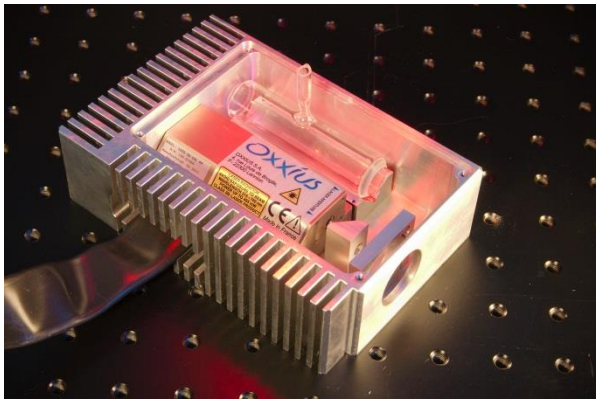
Příspěvek popisuje výsledky společného projektu ÚPT a firmy Meopta – optika zaměřeného na vývoj interferometrických systémů pro měření v nanotechnologiích. Na ÚPT AV ČR jde o navázání na výsledky výzkumu na poli interferometrického měření vzdáleností a laserů s vysokou koherencí, stabilizace optické frekvence laserů a laserové metrologie. Jde o výzkumné práce zaměřené na průmyslovou interferometrii a v součinnosti s firmou Meopta - optika, s.r.o. o předání potřebného know-how pro přípravu výroby. Náplň projektu je zaměřená na výzkum technologie výroby, metodiky interferometrického měření, stabilizace frekvence laserových zdrojů záření, detekčních systémů interferenčního signálu, zpracování signálů, vše s důrazem na přesnost a rozlišení primárně pro měření v nanosvětě.
Cílem společného úsilí je komplexní interferometrický měřicí systém v podobě funkčního vzoru, který bude sloužit jako východisko pro výrobu. Půjde o modulární rodinu komponentů konfigurovatelných pro různé sestavy využití především pro víceosé měření v nanotechnologiích a testování povrchů.
Prvním krokem byl vývoj technologie absorpčních kyvet pro stabilizaci vlnové délky laseru. Vývoj technologie se zaměřil na použití měkkého (borosilikátového) skla. Nižším nárokům na optickou kvalitu okének pro lineární spektroskopii vyhoví sklo typu „float“ s obstojnou rovinností. Připravili jsme technologické postupy svařování kyvety, tělesa a okének ve sklářském soustruhu s prohřátím trubice kyvety i okénka (obr. 1).



*Obr. 1: kyveta z borosilikátového skla plněná na saturační teplotu.*

Plnění metodou saturační teploty znamená významné zjednodušení technologie výroby kyvet i konstrukce vlastního stabilizovaného laseru. Znamená to nastavit saturační teplotu při plnění na hodnotu na hodnotu nižší, než je nejnižší předpokládaná provozní teplota stabilizovaného laseru. V rozsahu provozních teplot by je jód vždy jen v plynné fázi, což v praxi znamená jen

málo se měnící tlak v kyvetě. Hlavní výhodou je pak zjednodušení stabilizovaného laseru, kde není nutná stabilizace teploty kyvety.
Pro vlastní modul laseru s kyvetou, děliči svazku, optovláknovým couplerem a fotodetektorem byla navržena mechanická sestava s chladicím žebrováním pro odvod tepla. V prvním roce řešení byla vyrobena a připravena pro montáž. Uspořádání je na obrázku 2.




*Obr. 2: Uspořádání modulu laseru s kyvetou pro stabilizaci.*

Na pracovišti partnera, firmy Meopta – optika byl v rámci projektu navržen stroj na granitovém základu s CNC řízením pro výrobu optických prvků na nejvyšší úrovni kvality, pro opracování povrchů rovinných, sférických, drážek a obvodů podle požadavku laserové interferometrie (obr. 3).

*Obr. 3: Celkový pohled na prototyp*

**Poděkování**
Autoři děkují za podporu projektům RVO:68081731, a TAČR: TA02010711 a TE01020233, EC a MŠMT (projekt č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017).

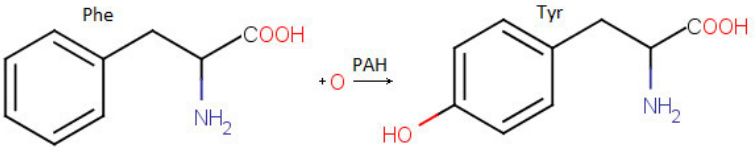
# UV LASEROVÁ FLUORESCENČNÁ SPEKTROSKOPIA AMINOKYSELÍN


## Adam Lešundák

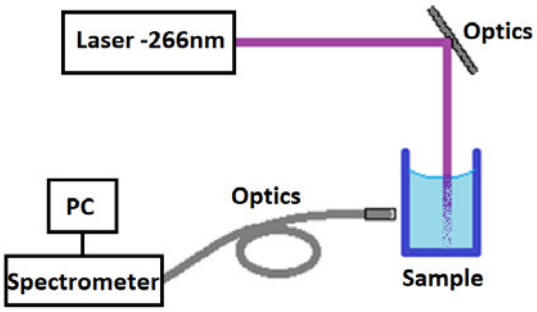
Ústav přístrojové techniky AV ČR, Koherentní lasery a interferometrie
Královopolská 147, 612 64, Brno, Česká republika
www.isibrno.cz, lesundak@isibrno.cz, tel: +240 541 514 526


**Obor:** Koherentné lasery a interferometria

Dedičná porucha metabolizmu esenciálnej aminokyseliny fenylalanínu (Phe) fenylketonuria, spôsobená mutáciou génu pre enzým fenylalanínhydroxyláza (PAH), ktorý zodpovedá za hydroxiláciu Phe na aminokyselinu tyrozín (Tyr), je vážna a nevyliečiteľná choroba. Jej liečba spočíva v pravidelnom monitorovaní hladiny Phe v krvi a prísnej diéte bez Phe s pridaním chýbajúcich produktov hydroxylácie.



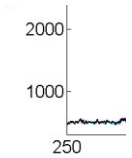

Súčasné monitorovanie hladiny Phe v krvi pacientov sa robí zo suchej krvnej kvapky, pričom sa na analýzu používajú tri metódy. Enzymatická metóda, chromatografia a fluorometria. Každá z týchto metód vyžaduje časovo náročnú chemickú úpravu krvi pred samotnou analýzou.
Motiváciou k tomuto výskumu bolo zjednodušenie krvných testov pre Phe koncentrácie za pomoci výkonného pulzného Nd:YAG laseru Quantel Brilliant a s využitím fluorescenčných vlastností Phe. Princíp fluorescenčnej spektroskopie je založený na absorpcii fotónu so špecifickou energiou molekulárnym elektrónom, ktorý sa tým excituje do vyššieho energetického stavu, kde predá časť svojej energie molekule vo forme tepla a následne deexcituje do pôvodného stavu pričom emituje fotón s energiou nižšou ako mal excitačný fotón. Každý fluorescenčný materiál má unikátne absorpčné a emisné spektrum.
Experimentálna zostava pozostávala zo spomínaného pulzného Nd:YAG laseru, ktorého pôvodná vlnová dĺžka 1064 nm bola dvoma optickými hlavami s nelineárnymi kryštálmi násobená na štvrtú harmonickú frekvenciu 266 nm. Jednotlivé pulzy mali dĺžku 5 ns, energiu 90 mJ, a repetičnú frekvenciu 10 Hz. Detekčná jednotka bol zostavená z optického vlákna a spektrometru Maya2000 od Oceanoptics.
Skúmané vzorky boli vodné roztoky Phe s koncentráciami od 1ml/dl do 200ml/dl.



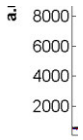

Obr. 1: Blokové schéma experimentálnej zostavy

Integračný(expozičný) čas pre každé meranie bola 1 s. Výsledky ukázali, že pre vzorky s koncentráciou nad 10 ml/dl je v nameraných spektrách Phe fluorescencia jasne viditeľná, ale fluorescenčný signál pri nižších koncentráciách je prekrytý šumom. Zväčšením integračného času sme dosiahli lepší pomer signál/šum, ale dlhá expozičná doba sa ukázala ako kritická pre chemickú stabilitu Phe. Vysoké dávky UV žiarenia spôsobovali degradáciu Phe.

Ďalší výskum fluorescenčných spektier UV degradovaných vzoriek Phe roztoku ukázal silné píky v oblasti fluorescencie Tyr, na 304 nm. Toto by mohlo viesť k záveru, že UV radiácia môže spôsobiť UV-sprostredkovanú hydroxylázu Phe na Tyr, avšak toto zatiaľ nebolo potvrdené žiadnou chemickou metódou. Pokúšali sme sa identifikovať Tyr v degradovaných vzorkách Ramanskou spektroskopiou , avšak výsledku sú nepresvedčivé kvôli veľmi silnej fluorescencii pozadia vzoriek.




Obr. 2: Spektrá vzoriek s integračným časom 1s. Pík na 295 nm pochádza od vody




Obr. 3 Spektrá vzoriek s rôznymi expozičnými časmi

Metóda priamej detekcie Phe v kvapalných vzorkách sa ukázala ako vhodná pre vzorky s vyššou koncentráciou, ktorá je už pre pacientov nebezpečná a nemala by sa v krvi dosiahnuť. Meranie nižších koncentrácií je však značne nedôveryhodné z dôvodu degradácie Phe. Zaújmavým, i keď zatiaľ inou metódou ako fluorescenčnou spektroskopiou neovereným poznatkom je, že hydroxylázu Phe na Tyr môže okrem enzýmu PAH indukovať vysoká dávka UV žiarenia.

**Poďakovanie**

Práca vznikla za podpory Grantovej agentúry ČR projekt GAP102/10/1813 a Ministerstva školstva, mládeže a telovýchovy ČR projekty CZ.1.07/2.4.00/31.0016 a CZ.1.05/2.1.00/01.0017.

**Dalšie oblasti záujmu** s ponukou spolupráce:

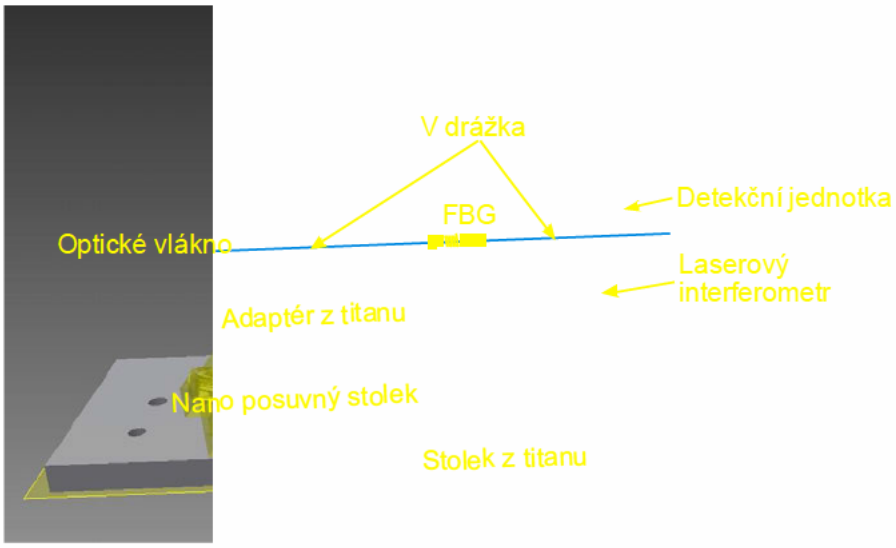
- Spektroskopické metódy založené na frekvenčných hrebeňoch (optical frequency comb)
- Meranie dĺžok a vzdialeností s pomocou frekvenčných hrebeňov
- Programovanie v prostredí LabVIEW (s využitím pre laserové experimenty)
- Fabry-Perot interferometria

# VLÁKNOVÉ MŘÍŽKY PRO JE TEMELÍN A JEJICH KALIBRACE LASEROVÝM INTERFEROMETREM

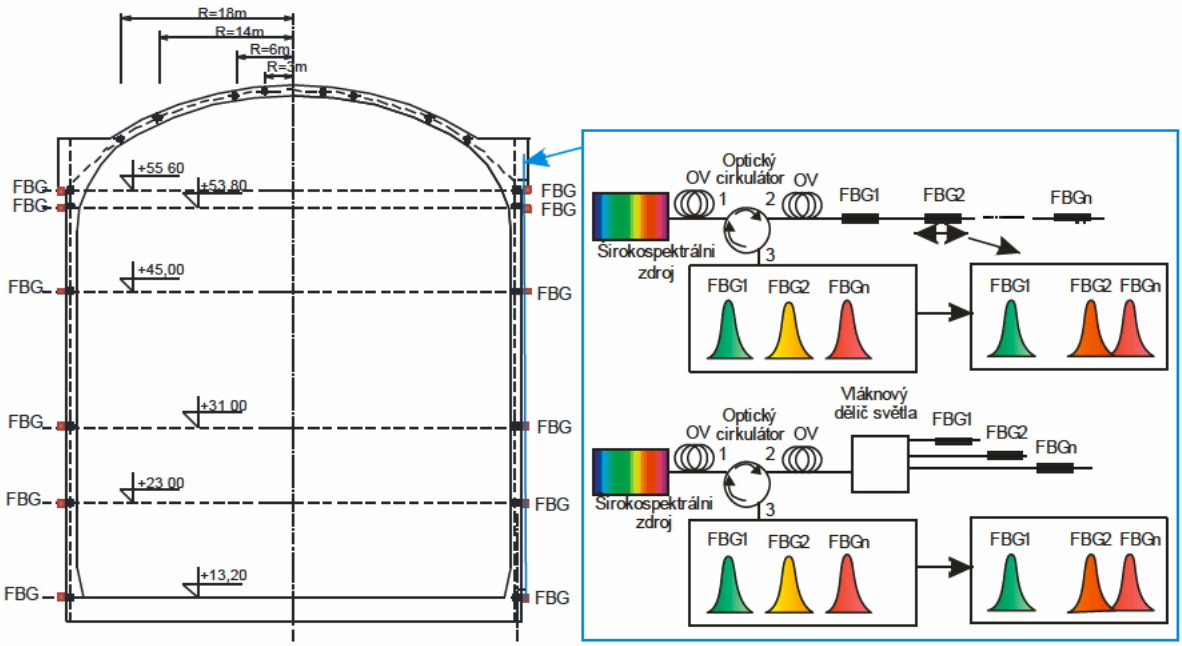
**Břetislav Mikel**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika
e-mail: mikel@isibrno.cz, tel: +420 541 514 252

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

V oddělení Koherenční optiky ÚPT AV ČR v.v.i. se v současnosti využívají různé typy optických vláken (standardní jednomodová a vícemodová, polarizaci zachovávající, mikrostrukturní, atd.). Většinu typů pak využíváme pro experimenty s lasery s vlnovou délkou od blízké UV oblasti (350 nm) až po IR oblast (1550 nm). V současnosti také řešíme několik projektů, které se zabývají vývojem vláknových senzorů s Braggovými mřížkami pro měření vibrací a tvarových změn betonových staveb. Největší potenciální aplikací vývoje těchto senzorů je pak měření tvarových změn kontejnmentu v JE Temelín.
Vláknové Braggovy mřížky se využívají ve stále širším počtu aplikací od optických filtrů v telekomunikacích po optické senzory teploty, tahu, tlaku atd. v leteckém, automobilovém nebo např. ropném průmyslu. Dosavadní aplikace pak spočívají především v zavádění senzorů do zařízení nebo budov již při jejich realizaci. Náš výzkum je pak směřován k vývoji senzorů, které bude možné aplikovat do již postavených staveb, mostů apod. Pro takový případ vyvíjíme konstrukci senzoru, který bude možné připevnit na stavbu zvenku a ve kterém bude možné kompenzovat změny teploty a tlaku, které nesouvisí se změnou měřeného objektu.
Senzory, které se budou využívat pro měření, je však nutné kalibrovat a nastavit jejich tzv. předepnutí do středu měřícího rozsahu. Zkušenosti s kalibrací senzorů vedly ke konstrukci testovací lavice, kde je senzor natahován pomocí nanoposuvného stolku a při tom je jeho délka protažení měřena spektrálně, odrazem od vláknové mřížky a současně laserovým interferometrem s rozlišením 1 nm, viz obr. 1. Do řídícího SW se pak zadá kalibrační křivka na základě rozdílu mezi měřením protažení pomocí spektra a skutečného protažení měřeného laserovým interferometrem.




**Obr. 1**. Návrh kalibrační lavice pro kalibrace optovláknových senzorů s Braggovými mřížkami srovnáním s měřením jejich protažení laserovým interferometrem.




**Obr. 2.** Principiální schéma kontejnmentu JE Temelín s naznačením umístění senzorů s Braggovými mřížkami. Senzory budou měřit tvarové změny v horizontální i vertikální ose. Principy měření jsou pak naznačeny v pravé části obrázku.

Na obr. 2. Je principiální schéma kontejnmentu. V současnosti se pro měření tvarových změn používají strunové tenzometry, které jsou umístěny uvnitř stěny kontejnmentu. Tyto senzory jsou však na hranici životnosti a hledá se systém, který by jejich měření v budoucnosti mohl nahradit. Je prakticky nemožné aktuální tenzometry vyměnit. Bylo by nutné částečně rozbít kontejnment, který brání úniku radioaktivity v případě havárie. Naše metoda by měla umožnit měření v reálném čase a senzory budou umístěny na povrchu kontejnmentu. Bude tak možná jejich dodatečná instalace bez narušení jeho struktury. Stav kontejnmentu bude možné měřit kontinuálně i ze vzdáleného pracoviště, bez nutnosti pobývat v areálu JE Temelín.

**Oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

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

**Poděkování**
Tento výzkum je podpořen formou institucionální podpory z projektu č. RVO:68081731 a projektu Evropské komise a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy projekt č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017. Výzkum laserových a optických zdrojů je podpořen z projektu Technologické agentury ČR č. projektu TA01010995. Výzkum v oblasti vibračních senzorů je podporován z projektu Technologické agentury ČR č. projektu TA03010835. Výzkum vláknových senzorů pro monitorování stavu kontejnmentu v JE Temelín je podporován projektu Ministerstva vnitra ČR č. projektu VG20132015124.

# HILASE: VÝVOJ NOVÉ GENERACE LASERŮ PRO HIGH-TECH PRŮMYSL A VÝZKUM

**Tomáš Mocek**

Projekt HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
Na Slovance 1999/2, 182 21 Praha 8
web: www.hilase.cz

**Obor:** Vývoj a aplikace pevnolátkových diodově čerpaných laserů s vysokou energií a vysokou opakovací frekvencí

HiLASE (High average power pulsed LASErs, www.hilase.cz) je projekt Fyzikálního ústavu AV ČR, v.v.i., jehož hlavním cílem je vybudování národní platformy pro výzkum a vývoj diodově čerpaných pevnolátkových laserů nové generace. Tyto lasery budou podstatně výkonnější, kompaktnější, stabilnější a snáze udržovatelé, než jsou v současnosti dostupné technologie.

Možnost využití unikátních technologií HiLASE pro nové high-tech aplikace výkonových laserů bude významnou součástí partnerství mezi akademickou obcí a high-tech průmyslovou sférou v příštím desetiletí. Mezi vybrané aplikace patří zejména testování odolnosti optických materiálů a komponent s vysokým prahem poškození, zpevňování povrchu materiálu rázovou vlnou generovanou laserem, kompaktní zdroje rentgenového záření pro litografii, řezání a vrtání speciálních materiálů pro automobilový a letecký průmysl, a mikro/nano strukturování povrchů.

Projekt HiLASE je charakteristický vysokým podílem zahraničních vědců, kteří již nyní tvoří více než polovinu výzkumného týmu.

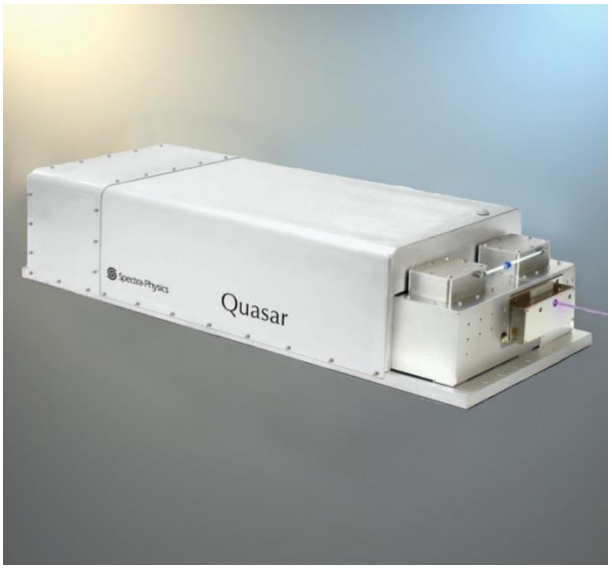
# MIT PŘEDSTAVUJE: PRŮMYSLOVÝ LASER QUASAR

**Martin Moser**
MIT s.r.o.
Klánova 56, 147 00 Praha 4
Tel. : +420 241 712 548, moser@mit-laser.cz , www.mit-laser.cz

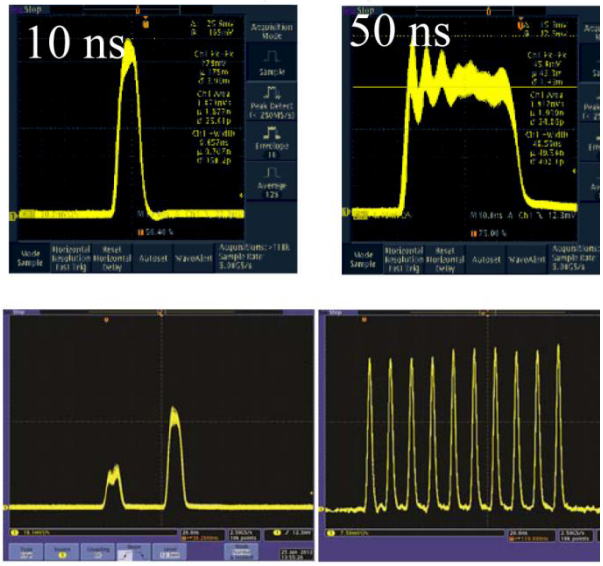
**Obor:** Obchodní, poradenská a servisní činnost v oblasti laserové techniky, fotoniky a jemné mechaniky

## Průmyslový laser QUASAR

Vysokovýkonný UV laser pro přesné a rychlé mikro-obrábění představila nedávno firma Newport, divize Spectra-Physics. Quasar je přelomový hybridní vláknový laser s vysokou opakovací frekvencí, dvěma vlnovými délkami - 355 a 532 nm a vysokými výkony. Díky svým parametrům, unikátní robustní konstrukci a technologii ALPS (Active Laser Purification System) je ideální do průmyslových prostor pro řezání, vrtání, mikro-obrábění, opracování speciálních materiálů od keramiky, přes ITO až ke křemíku a solárním článkům. Parametry laseru jsou impozantní: Výkon přesahuje 45 W (225 uJ) na 355 nm a 75 W (375 uJ) na 532 nm při opakovací frekvenci 200 kHz, kterou lze měnit od jednoho pulzu až k 1 MHz. Quasar navíc disponuje technologií TimeShift, která umožňuje měnit délku pulsu při zachování opakovací frekvence a opačně, tedy měnit opakovací frekvenci při zachování délky pulsu. Ke generování vysokých výkonů a harmonických složek využívá exkluzivní zesilovač Spectra-Physics a patentovaný generátor známý svou jedinečnou stabilitou.




*Laser QUASAR (výrobce Newport, divize Spectra-Physics)*




*Puls 10 ns při 200 kHz (vlevo nahoře), puls 50 ns při 200 kHz (vpravo nahoře), 2 pulsy 10 ns s poměrem 1:2 (vlevo dole), 10 sub-pulsů 5 ns – „burst mode“ (vpravo dole)*

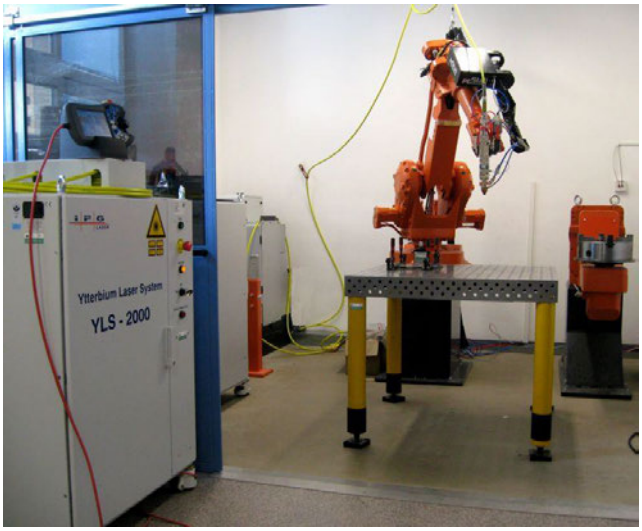
# VÝKONOVÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE NA ÚPT V ROCE 2013

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

**Obor: Výkonové laserové technologie**

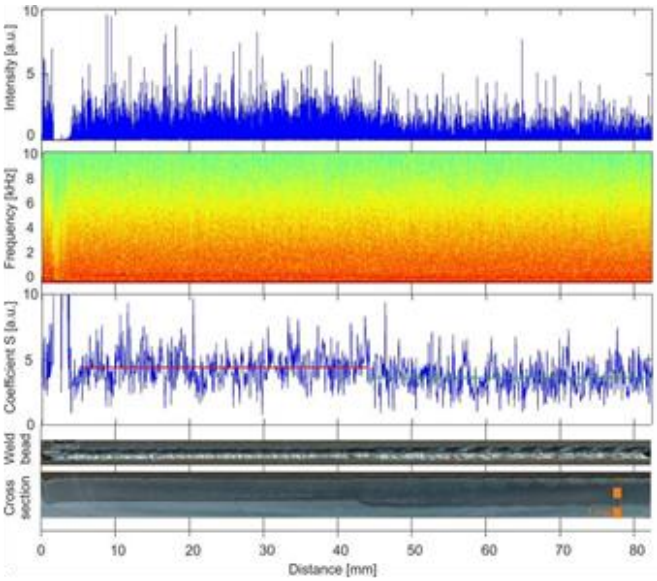
**Vybavení pracoviště**

Pracoviště je vybaveno vláknovým laserem YLS2000 (IPG) o výkonu 2 kW. V tomto roce byl laser rozšířen o možnost pulzního provozu. Dále jsou k dispozici dvě procesní hlavy – řezací YRC100 (Precitec) a svařovací YW30(Precitec). Tato hlava je vybaveno televizní kamerou umožňující přes polopropustné zrcadlo pohled do svařovaného místa. Systém je doplněn výměnnými optickými filtry umožňujícími pohled v určité oblasti vlnových délek. Pohyb hlav zajišťuje průmyslový robot IRB2400 a dvojosé polohovadlo IRBP250 (obě ABB).




**Diagnostika laserového svařovacího procesu.**

Je prováděn výzkum v oblasti sledování laserového svařovacího procesu za pomocí nové metody frekvenční analýzy záření obláčku plazmatu. Frekvenční analýza je uplatněna ve formě tzv. Short-time Fourier transformation, jejímž výsledkem je tzv. vodopádový graf. I když je charakter frekvenčního spektra obláčku plazmatu převážně šumového charakteru, bylo experimentálně zjištěno, že při změně hloubky průvaru se mění i charakter šumového spektra. Pro charakterizaci šumu byl definován koeficient S. Na základě experimentů byla prokázána korelace mezi koeficientem S a hloubkou průvaru.




**Řízení tvaru a rozložení energie v laserovém svazku**

Nově je ověřována možnost měnit parametry laserového svazku pomocí nového typu adaptivního zrcadla, jehož povrch je možné v určitých mezích modifikovat pomocí

mechanických aktuátorů. Výhodou konstrukce je možnost intenzivního chlazení celé plochy zrcadla, což j v oblasti výkonových svazků nezbytné.

**Laserové hybridní svařování**

Byla realizována hybridní svařovací hlava s využitím stávající svařovací hlavy YW30 doplněné o strojní hořák pro metodu TIG (plus svařovací invertorový zdroj Fronius). Primárním cílem této aktivity je zlepšení kvality a geometrie svaru hliníku a jeho slitin. Současně bude studován vliv zahušťování obláčku plazmatu nad keyhole elektrickým proudem na snímané frekvenční charakteristiky (viz předchozí kapitola o diagnostice).

**Vývoj nových typů solárních absorbérů**.

V této oblasti je naše pracoviště schopno poloprovozně vyrábět solární absorbéry poduškového typu až do rozměru 1000x1000 mm. Průběžně se zdokonaluje jak vlastní konstrukce solárních absorbérů, tak i technologie výroby. Taktéž je testována možnost výroby absorbéru s hliníkové slitiny (doposud jsou vyráběny z nerezového plechu)

**Smluvní výzkum.**

Průběžně je realizován také smluvní výzkum. Spolupráce probíhá jak s průmyslovými firmami tak technologickými integrátory, výzkumnými ústavy či vysokými školami, V oblasti svařování např.: svařování řezných diamantů, díly pro elektrovýzbroj, sklářský a chemický průmysl – svařování platiny a další průvarové metodiky dle požadavků). V oblasti řezání např.: zkoušky a identifikace možností zadaných řezných parametrů u konkrétních kusů, ořez polymerních výlisků, díly ze speciálně určených materiálů jako Mo pro elektronovou mikroskopii a další).

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

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

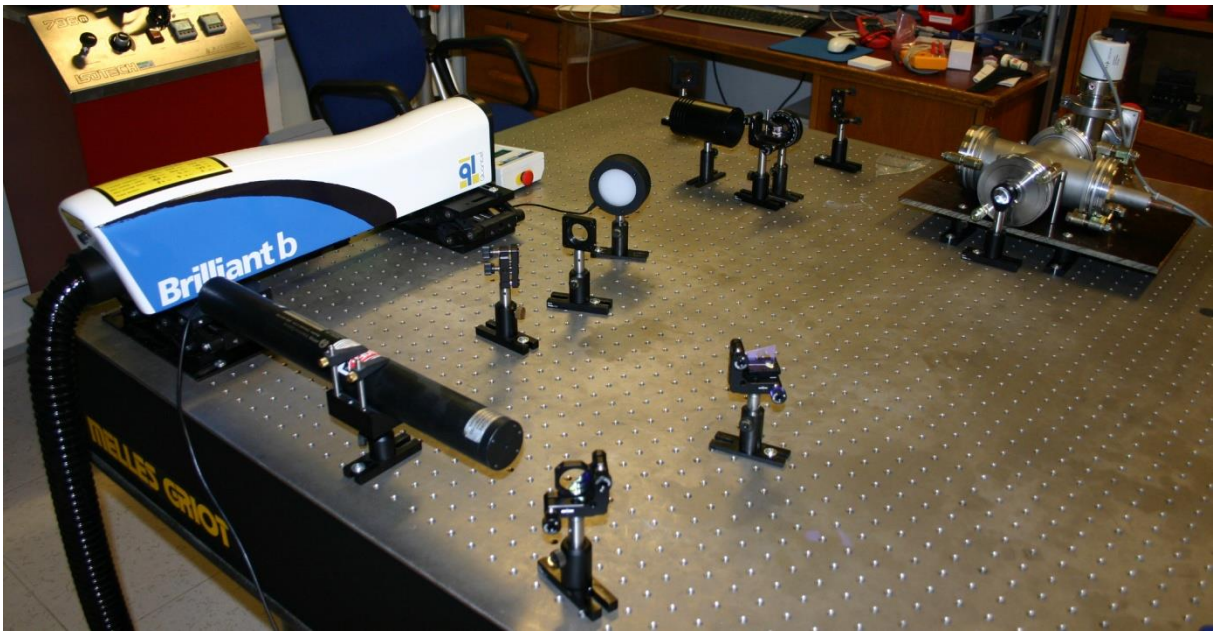
**Poděkování:** *Toto pracoviště vzniklo za podpory Evropské komise a Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy České republiky (projekt. č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017).*

# LIDT TESTY OPTICKÝCH KOMPONENTŮ PŘI KRYOGENNÍCH TEPLOTÁCH

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

**Obor:** Optika tenkých vrstev

Na Ústavu přístrojové techniky jsme se začali zabývat přípravou optických komponentů pro vysokovýkonová laserová zařízení, jako jsou např. ELI nebo HiLASE. V těchto zařízeních budou instalovány diodami čerpané pevnolátkové pulsní lasery (DPSSL) vyžadující použití různých optických komponentů schopných odolat poměrně vysokým hodnotám plošné hustoty energie. Při provozu takovýchto laserů vzniká velké množství odpadního tepla a je tedy nutné použít kryogenní chlazení. Cílem naší snahy je zkompletování experimentální sestavy schopné testovat různé typy vzorků jak za pokojové, tak za kryogenní teploty.




Pro tyto účely byla sestavena vakuová komora (viz. obrázek), uvnitř které je umístěn testovaný vzorek a je tak chráněn před kontaminací. Jako zdroj laserového záření používáme Nd:YAG laser o vlnové délce 1064nm a maximální energii v pulsu cca 650mJ.

Tyto experimenty jsou doplňkem k naší hlavní činnosti, jíž jsou návrh a výroba optických filtrů pomocí vakuového napařování interferenčních vrstev. Jsme schopni deponovat různé materiály v závislosti na aplikaci. Nejběžnější kombinací je TiO2/SiO2, dále používáme například Ta2O5, Al2O3, MgF2 a jiné. Aplikacemi jsou interferenční filtry pro viditelnou, blízkou UV a blízkou IR oblast světelného spektra. Jako příklady námi navrstvených filtrů lze uvést antireflexní vrstvy, barevné (dichroické) filtry, hradící a pásmové filtry, děliče světla, tepelné filtry, polarizátory, nepolarizující děliče, apod.

Disponujeme zcela novou napařovací aparaturou od firmy Leybold Optics, která značně rozšířila naše stávající výrobní možnosti. Aparatura je vybavena dvěma elektronovými děly a dále pak iontovým zdrojem pro Plasma Ion Assisted Deposition. Díky této technologii jsme schopni deponovat například zrcadla s řízenou dispersí, monochromatické filtry nebo hradící filtry s velmi ostrou hranou.

Poděkování:
Tento výzkum je podporován projektem Aplikační a vývojové laboratoře pokročilých mikrotechnologií a nanotechnologií (ALISI), reg. číslo: CZ.1.05/2.1.00/01.0017. Autor dále děkuje za podporu projektům TA ČR: TE01020233 a TA02010711

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Návrhy systémů interferenčních vrstev
- Depozice na různé substráty dle aplikace
- Testy vrstev na LIDT

# POUŽITÍ PULSNÍHO LADITELNÉHO BÍLÉHO LASERU V POKROČILÝCH METODÁCH KONFOKÁLNÍ LASEROVÉ SKENOVACÍ MIKROSKOPIE

**Jan Pala**
Fyziologický ústav AV ČR, v.v.i., Oddělení biomatematiky;
Vídeňská 1083, 142 20 Praha 4
Tel. 296442274, email: pala@biomed.cas.cz

**Obor:** Pokročilá fluorescenční a konfokální laserová skenovaní mikroskopie

V konfokální laserové skenovací mikroskopii v biologii a medicíně se používá řada různých laserových zdrojů od UV (355 nm) přes viditelnou oblast až do blízké infračervené oblasti do 1300 nm. Doposud se většinou používaly kontinuálně emitující lasery, zatímco využití pulzních laserů bylo omezeno na infračervenou oblast (obvykle 700-1050 nm) pro multifotonové snímání, SHG (Second Harmonic Generation) a THG (Third Harmonic Generation) a pokročilé aplikace ve viditelné oblasti jako FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging).

Velmi perspektivní z hlediska aplikačního použití a univerzálnosti jsou rychle se vyvíjející laditelné pulsní lasery ve viditelné oblasti spektra. Nejdále v jejich vývoji a praktickém použití pokročila firma NKT Photonics ve spolupráci s výrobcem mikroskopů Leica Microsystems. Zatímco samotné laditelné lasery generující superkontinuum na bázi PCF (Photonics Crystal Fibre) vláken pracují v širkokém spektrálním rozsahu od 400 nm do více než 2000 nm, jejich použití v konfokální laserové skenovací mikroskopii je omezeno na viditelnou oblast 470 až 670 nm, kde se nachází excitační/absorpční spektra většina fluoforů a fluorescenčních proteinů. V mikroskopech Leica TCS SP5 X a Leica TCS SP8 X jsou laditelné bílé lasery od NKT Photonics používány pro tyto aplikace:

- Standardní snímání fixních vzorků a živých buněk při optimalizaci excitační vlnové délky na maximum použitých excitačních spekter fluroforů – laserové čáry nedosažitelné u klasických laserů
- FRET (Fluorescene Resonance Energy Transfer) pro spektrální oblasti, kde nejsou laserové čáry klasických laserů
- Kvantifikační měření při konstantní excitaci v celém použitelném excitačním spektru
- Spektrální excitačně-emisní sken pro co nejpřesnější určení fluorescenčních vlastností vzorku
- FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging) při použití nejenom změny excitační vlnové délky, ale také frekvence pulsu s tzv. Pulse pickerem (9,75 MHz, 19,5 MHz, 39 MHz a 78 MHz)
- Měření doby života fluorescence v různých časových oblastech s využitím bílého laditelného laseru a funkce Time-Gate u hybridních detektorů
- gatedSTED (STimulated Emission Depletion) mikroskopie s optickým rozlišením pod 50 nm v rovině XY při použití bílého laditelného laseru a funkce Time-Gate u hybridních detektorů

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Widefield fluorescenční a konfokální laserová skenovaní mikroskopie
- Řešení pro krátkodobé a dlouhodobé sledování živých buněk

# RAMANOVA PINZETA PRO TŘÍDĚNÍ ŽIVÝCH BUNĚK

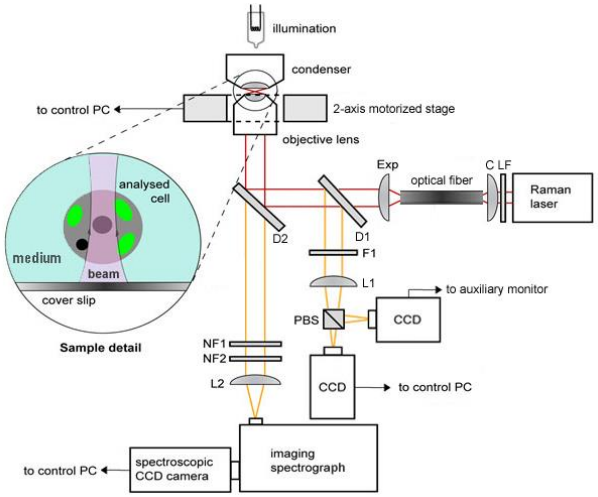
**Zdeněk Pilát, Jan Ježek, Jan Kaňka, Mojmír Šerý,**
**Petr Jákl, Pavel Zemánek**
Ústav přístrojové techniky AVČR, v.v.i.
Královopolská 147, 612 64 Brno
tel.: 541 514 521
pilat@isibrno.cz
www.isibrno.cz/omitec/

**Obor:** Optické mikromanipulace, Ramanova mikrospektroskopie, třídění buněk.

Navrhli jsme a otestovali zařízení pro automatizovanou analýzu a třídění živých buněk fotoautotrofních mikroorganismů (řas) a jiných mikroobjektů kombinující laserovou pinzetu a ramanovský mikrospektrometr. Součásti tohoto systému jsou je i speciální mikrofluidní čip a řídicí software zajišťující analýzu obrazu a spekter v reálním čase. Účelem zařízení je nedestruktivní analýza živých buněk a jejich separace za účelem další kultivace. Analytickým nástrojem je zde Ramanova spektroskopie, která dovoluje náhled do chemického složení zkoumaných buněk.

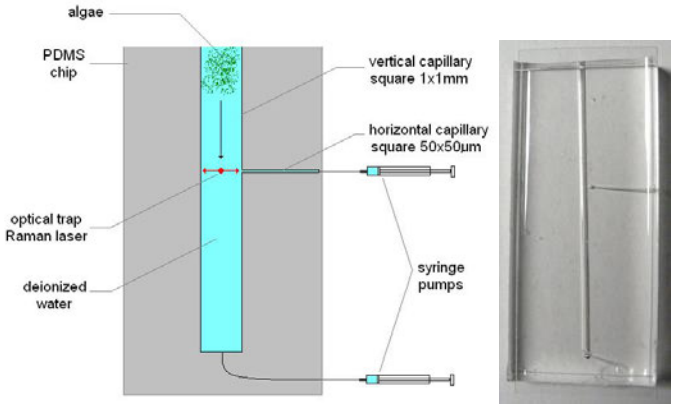
Manipulace se živými buňkami různých organismů klade specifické požadavky na experimentální prostředí. Je potřeba poskytnout vhodné médium, chemické a fyzikální podmínky (pH, koncentrace plynů, teplota, intenzita světla, rychlost proudění média, atd.). Odchylky od optimálních podmínek způsobují buňkám stres, který mění jejich metabolismus, zkracuje jejich život a ztěžuje manipulaci s nimi (změny tvaru buněk, tvorba shluků, lepení na stěny mikrofluidních kanálků). Buňky řas jsou fotosyntetické mikroorganismy zvláště náchylné ke stresu, především působením nadměrných světelných intenzit ve viditelném oboru a části UV a NIR spektra.

Systém, který minimalizuje buněčný stres, je založený na kombinaci optické manipulace zkoumaným objektem prostřednictvím jednosvazkové optické pasti (laserové pinzety) se současným využitím rozptýleného záření pro Ramanovu spektroskopii, viz obr.1.




Obr. 1. Schéma ramanovské pinzety. Laser je přes úzkopásmový filtr LF a čočku C veden vláknem k expandéru Exp, prochází dichroickým zrcadlem D1, a je veden odrazem od dichroického zrcadla D2 do mikroskopového objektivu, kde se tvoří optická past. Objektiv sbírá rozptýlené záření ze zachycené buňky, které prochází přes pásmové filtry NF, které odfiltrují vlnovou délku použitého laseru a přes čočkou L2 do spektroskopické sestavy, která zpracuje ramanovský signál. Buňky mohou být pozorovány v bílém světle, které je odráženo od D2 a D1 přes IR filtr F1 a polarizační dělič PBS do dvou nezávislých kamer CCD.

Buňky se během celého analyticko-separačního procesu pohybují ve specializovaném systému složeného z mikrofluidního čipu ze skla a PDMS (polydimethylsiloxan, silikon) a ze soustavy mikrofluidních pump a hadiček, viz obr. 2. Buňky jsou naneseny do svrchní vrstvy média, kterým padají vlastní tíhou k místu detekce. V něm jsou pak na základě analýzy obrazu rozpoznány, opticky zachyceny a je pořízen jejich spektrální záznam. Ten je pak zhodnocen nastavitelným systémem pro analýzu spekter a buňky s vybranými spektrálními charakteristikami jsou přesunuty do bočního kanálku. Poté co dávka vnesených buněk celá sedimentuje na dno hlavního kanálku, jsou všechny buňky odsáty mikrofluidními pumpami a proces se může opakovat, dokud není nasbírán dostatek buněk s vybranými vlastnostmi.




Obr. 2. Mikrofluidní systém pro třídění živých buněk. Vlevo – schéma systému: Buňky řas (algae), padají hlavním kanálem (vertical capillary) mikrofluidního čipu (PDMS chip) do místa s ramanovskou pinzetou (optical trap – Raman laser). Vybrané buňky zachycené v optické pasti jsou pak přesunuty do bočního kanálku (horizontal capillary). Jako médium zde slouží deionizovaná voda (deionized water). Buňky jsou po usazení odsáty příslušnými pístovými mikro-pumpami (syringe pumps). Vpravo – fotografie PDMS čipu: Rozměry čipu přibližně 25 mm x 60 mm, hloubka 5 mm.

Systém pro třídění živých buněk na základě Ramanovy pinzety v mikrofluidním prostředí může nalézt uplatnění v biotechnologii, biologii, molekulárních oborech, medicíně, atp. Může sloužit k selekci transgenních jedinců, či mutantů v populaci, podle metabolických anomálií. Na stejném principu tak může oddělit zdravé od napadených buněk ze vzorku od pacienta, i vybrat z populace buňky jednobuněčných organismů s nejlepšími vlastnostmi například pro bioremediace kontaminovaných půd, nebo pro masovou produkci biopreparátů pro farmaceutický, kosmetický, potravinářský, nebo energetický průmysl. Testováním systému na velmi citlivých organismech jako jsou řasy, chceme potvrdit neinvazivní charakter celého procesu pro celou řadu méně choulostivých mikroorganismů a jiných mikro-objektů.

Autoři děkují za podporu MPO (FR-TI3/420), TAČR (TA03010642) a MŠMT (CZ.1.05/2.1.00/01.0017, CZ.1.07/2.4.00/17.0032).

Reference:
DOPSAT

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:
Vítáme novou spolupráci na užitečná a zajímavá témata, kde lze ramanovskou třídičku využít. Jako naší dovednosti nabízíme:

- Optické manipulace s objekty o velikostech v řádu nanometrů až stovek mikrometrů
- Diagnostika a třídění jednotlivých mikroorganismů ramanovskou spektroskopií
- Digitální mikrofluidika
- Tvorba PDMS mikrofluidních systémů „soft litografií“

# VYUŽITÍ DIGITÁLNÍ HOLOGRAFIE V METROLOGII

**Pavel Psota**
Centrum TOPTEC, Ústav Fyziky Plazmatu AV ČR, v.v.i.
Sobotecká 1660, 511 01 Turnov (psota@ipp.cas.cz)

**Obor:** Optická metrologie

Holografii vynalezl v roce 1948 Dennis Gabor. Jedná se o metodu umožňující zaznamenat amplitudu i fázi vlnového pole a proto slovo holografie vzniklo složeninou řeckých slov "holos" (úplný) a "graphein" (záznam). Hologram je interferenční obrazec vzniklý interferencí vlnového pole rozptýleného z objektu s koherentním pozadím nazývaným také referenční vlna. Hologram je zpravidla zaznamenán na plochý povrch, ovšem obsahuje úplné (3D) informace o vlnovém poli. Tyto informace jsou kódovány ve formě interferenčních proužků, které jsou vzhledem k vysoké prostorové frekvenci lidským okem prakticky neviditelné. Objektová vlna může být následně rekonstruována opětovným osvícením hologramu referenční vlnou. Takto rekonstruovaná vlna je pasivními prostředky k nerozeznání od objektové vlny zaznamenané při výrobě hologramu. Pozorovatel tedy pozoruje trojrozměrný obraz se všemi důsledky perspektivy a hloubky ostrosti. Po několika letech od jejího objevu však zájem o holografii poklesl. Důvodem byla především špatná kvalita holografických obrazů. Průlom holografie nastal v roce 1960 s vynálezem laseru, který poskytl holografistům výkonný zdroj koherentního světla.

Pravděpodobně nejdůležitější aplikace holografie je tzv. holografická interferometrie. V holografické interferometrii spolu interferují dvě nebo více vlnových polí, přičemž alespoň jedno z nich musí být holograficky zaznamenáno a rekonstruováno. Tato technika umožňuje velice citlivě zaznamenat fázové změny vlnového pole a tím i změnu jakékoli fyzikální veličiny, která fázi optické vlny ovlivňuje. Holografická interferometrie se aplikuje na celou škálu měřicích úloh počínaje vizualizací vibračních módů, přes určování deformací či tvarových kontur, až po měření změn indexu lomu. Nevýhodou těchto „klasických“ technik je náročné zpracování hologramů na základě chemických procesů i poměrně nepřesné a zdlouhavé vyhodnocování holografických interferogramů.

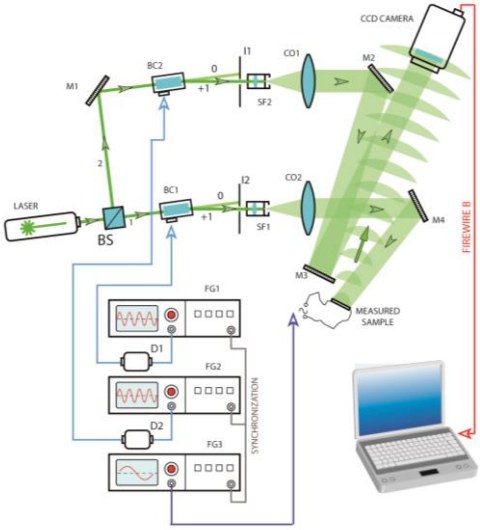
Velkým krokem vpřed byl přímý záznam hologramů na digitální senzory (CCD, CMOS). Tento postup umožňuje zcela digitální záznam i zpracování hologramů. Tato metoda přímého záznamu hologramu v digitální podobě s jeho následnou rekonstrukcí numerickými postupy se nazývá digitální holografie. Digitální holografie s sebou nepřináší pouze výhodu v rychlém digitálním záznamu (řádově μs, v klasické holografii minuty), kdy odpadá nutnost chemického zpracování, ale především v možnosti přímého výpočtu fázového pole. Všechny zmíněné výhody se úspěšně využívají především v oblasti digitální holografické metrologie nazývané také digitální holografická interferometrie. V Centru TOPTEC se ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci vyvíjejí sofistikované měřicí metody využívající výhody digitální holografické interferometrie. Obecně se jedná o bezkontaktní, neinvazivní metody s vysokou citlivostí a laterálním rozlišením.

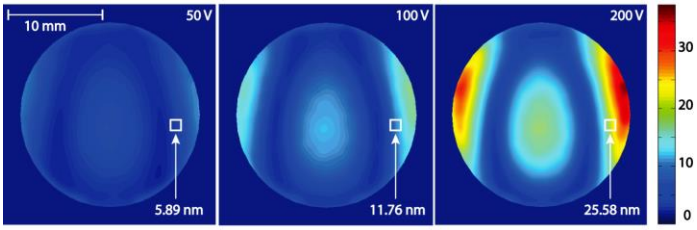
Jedním z hlavních pilířů holografických metod vyvíjených v našich laboratořích je měření amplitud velmi malých vibrací. Základní holografická metoda pro měření vibrací je tzv. metoda časového průměrování. Uvažujme harmonicky oscilující objekt s časovým vývojem amplitudy v pozici *p:* $d(p,t) = d(p)\sin\omega t$, kde $\omega$ je úhlová frekvence. Takto oscilující objekt je holograficky zaznamenán s expozičním časem $T$ delším, než je perioda oscilací objektu: $T \gg 2\pi/\omega$. Intenzita $I$ rekonstruovaného hologramu je pak úměrná

$$I(p) = J_0^2(4\pi d(p)/\lambda), \qquad (1)$$

kde $J_0$ představuje Besselovu funkci prvního druhu nultého řádu a λ je vlnová délka použitého laserového zdroje. Vzhledem k nízkým hodnotám derivace v okolí počátku $J_0(0)$ není tato

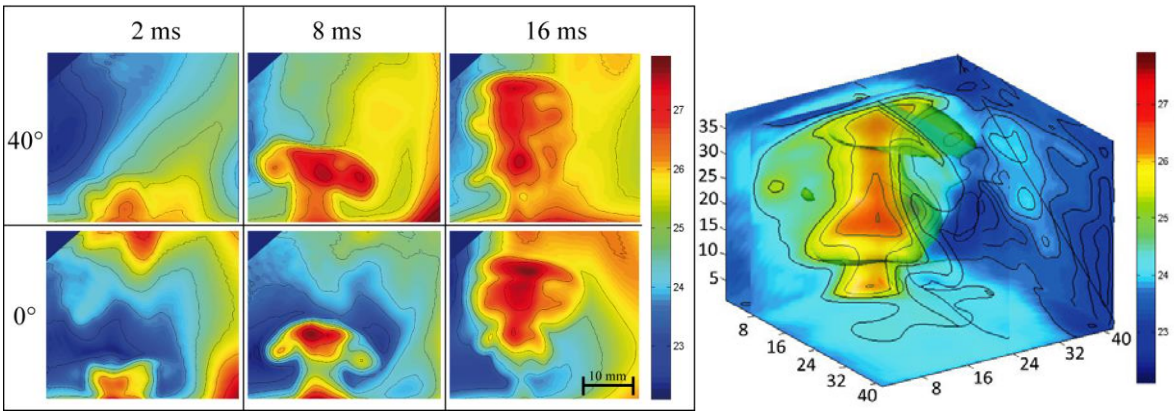
metoda vhodná pro měření velmi malých vibrací (menších než cca 100nm). Tento problém „malé citlivosti“ metody lze vyřešit frekvenční modulací referenční vlny násobkem frekvence oscilujícího objektu. Takovouto modulací referenční vlny se transformuje vztah (1) na $I(p) = J_1^2(4\pi d(p)/\lambda)$. Hodnota derivace Besselovy funkce prvního řádu je pro velmi malé amplitudy blízkých nule poměrně vysoká a citlivost metody dosahuje řádově 0.1 nm. Pro lepší odstup signál-šum jsou dále aplikovány metody fázového posunu či prostorové dekorelace koherentního šumu. Modulace referenční vlny i fázový posuv jsou realizovány pomocí akustooptických modulátorů – Braggových cel. Na obrázku 1 je znázorněno schéma uspořádání pro měření velmi malých vibrací a některé výstupy z měření oscilujících piezoelektrických elementů. Schopnost metody byla testována simultalním měřením amplitud vibrací piezoelektrického elementu třemi různými technikami: digitálně holografickou metodou s modulací referenční vlny, jednobodovým laserovým interferometrem s využitím lock-in filtrace a komerčním vibrometrem. Výsledky byly ve výborné shodě s odchylkami v rozmezí cca 5%. V nedávné době byl zvýšen dynamický rozsah metody pomocí několikanásobné modulace a rekurentního vztahu Besselových funkcí.




Obrázek 1: a) Experimentální uspořádání: M – zrcadlo, BC – Braggova cela, I – iris clona, SF – prostorový filtr, CO – kolimační objektiv, FG – generátor funkcí, D – driver; b) Rozložení amplitud vibrací na piezoelektrickém aktuátoru pro různé hodnoty napětí. Amplitudy jsou uváděny v jednotkách nm.

Kromě vývoje citlivé metody vibrační analýzy se zabýváme měřením deformací, obecných teplotních polí s rychlým vývojem s využitím digitální holografické tomografie (Obrázek 2) či měřením tvaru difúzních objektů pomocí multi-vlnné digitální holografie.




Obrázek 2: a) Časový vývoj teplotního pole syntetického výtrysku pro dva různé úhly pozorování; b) Tomograficky zrekonstruované teplotní pole ze 17 různých pozorovacích úhlu pro čas t=16ms. Jednotky na barevné škále jsou °C.

# INTERFEROMETRICKÉ ODMĚŘOVÁNÍ VZDÁLENOSTI S FREKVENČNĚ MODULOVANÝM SVAZKEM

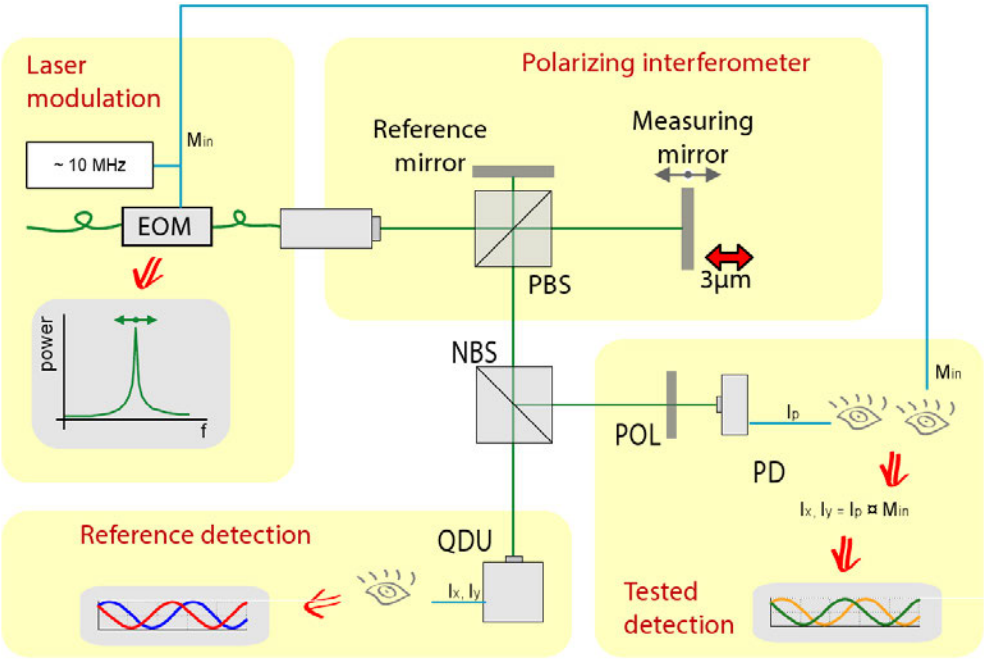
**Šimon Řeřucha**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, odd. Koherenční optika
Královopolská 147, 61264 Brno, www.isibrno.cz
res@isibrno.cz

**Obor:** laserová interferometrie, embedded systémy, architektura SW

Metody pro odměřování geometrických veličin využívající interference dvou nebo více koherentních světelných paprsků, typicky souhrnně označované pojmem laserová interferometrie, dosahují největšího rozlišení i přesnosti ze známých metod.

Široké nasazení těchto metod v průmyslových měřicích systémech je bohužel stále značně limitováno, což je dáno jejich složitostí a citlivostí na vnější podmínky. Jedním z nejvýznamnějších omezení je komplexnost příslušných optických sestav a optické domény zpracování.

V naší práci se proto zaměřujeme na vývoji nových technik, které využívají základních principů interferometrie v kombinaci a zároveň umožní jednodušší konstrukci. Klíčovou obecnou metodou je přesun zpracování interferometrického signálu (běžně označované jako detekční techniky) z optické domény do domény číslicové, tzn. maximální zjednodušení optické sestavy a nasazení komplexních vyhodnocovacích algoritmů realizovaných digitálně.




**Obrázek 1: Experimentální ověření nové detekční techniky.**

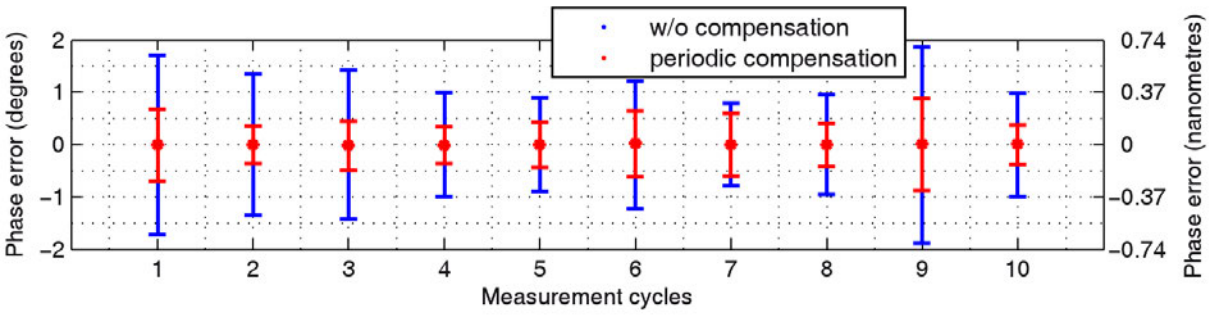
V našem příspěvku popisujeme novou detekční metodu [1], vycházející z tradiční homodynní detekce. Těžiště nové metody spočívá ve využití frekvenčně modulovaného laserového zdroje pro extrakci fázové informace s obdobnou přesností, kdy na rozdíl od původní techniky není

nutné využít polarizační optiku v samotném interferometru a pro vyhodnocení je postačující jednoduchý fotodetektor.

Laserový svazek je po průchodu interferometrem digitalizován do diskrétní podoby. Sada algoritmů pak postupně provádí demodulaci původního modulačního signálu a detekci jeho odezvy po průchodu laserovým interferometrem, dále pak lineární a goniometrické transformace. Výstupem je dvojice signálů v kvadratuře (podobně jako u původní metody), která umožňuje odečíst interferenční fázi a převést tuto hodnotu na vzdálenost.

V rámci experimentálního ověřování proběhla sada experimentů (viz obrázek 1), kdy jsme novou metodu porovnávali s běžným interferometrem. Provedli jsme dvě sady experimentů: jednu pro odměřování na dlouhou vzdálenost (<1m), druhou pro měření s velkou šířkou pásma. Pro modulaci svazku jsme používali dvě metody: v první sadě PZT modulaci krystalu (v řádu jednotek kHz), v druhé pak pomocí elektrooptického modulátoru (10MHz, na obrázku). Modulovaný svazek je přiveden na vstup interferometru, výstup z interferometru je pak snímán dvěma separátními měřicími větvemi: referenční a testovaná metoda. Jako referenční interferometr byly použity standardní dvou- a čtyř-průchodové jednotky (v první respektive druhé sadě).

V prvním případě jsme měřili se šířkou pásma 1 kHz v měřicím rozsahu cca 600mm. Odchylka nové metody se držela pod 0.75 stupňů ($\sigma$ = 0.56nm), linearita lepší než 0.15 stupňů ($\sigma$ = 0.12nm). V druhém případě (viz Obr. 2) jsme měřili se šířkou pásma 10MHz v měřicím rozsahu cca 2μm, výsledná odchylka byla menší než 0.95 stupně ($\sigma$ = 0.35nm).




**Obrázek 2: Přesnost detekce interferenční fáze při modulaci pomocí EOM**

## Shrnutí:

Vyvinuli jsme novou interferometrickou detekční techniku, kterou jsme experimentálně ověřili a která již byla uplatněna i v praxi [2]. Nová metoda vykazuje rozlišení na úrovni menší něž jeden nanometr, což je pro většinu aplikací v měřicích systémech dostatečné, respektive okolní vlivy ovlivňují měření ve větší míře. Nevýhodou nové metody je potřeba frekvenčně modulovaného zdroje, výhodou je jednoduchost optické sestavy a škálovatelnost, což je výhodné například pro víceosé měřicí systémy.

## Reference:

[1] Rerucha, S., Buchta, Z., Sarbort, M., Lazar, J., and Cip, O., „Detection of Interference Phase by Digital Computation of Quadrature Signals in Homodyne Laser Interferometry," SENSORS 12, 14095{14112 (OCT 2012).

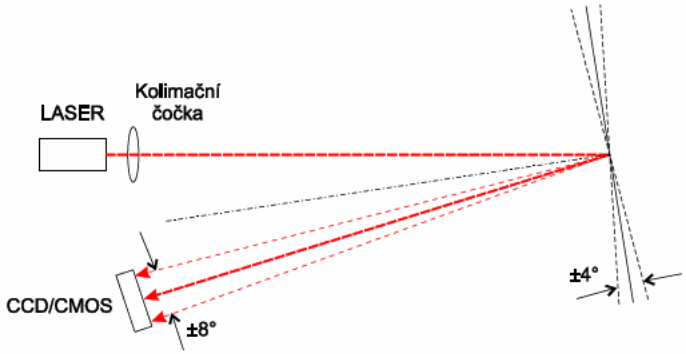
[2] Buchta, Z., Rerucha, S., Mikel, B., Cizek, M., Lazar, J., and Cip, O., „Novel principle of contactless gauge block calibration," Sensors 12(3), 3350{3358 (2012).

# MĚŘENÍ VÝCHYLEK POMOCÍ DETEKCE POLOHY LASEROVÉHO SVAZKU

**Martin Šarbort, Šimon Řeřucha, Petr Jedlička, Josef Lazar**
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., oddělení Koherenční optiky
Královopolská 147, 612 64 Brno (martins@isibrno.cz, www.isibrno.cz)

**Obor:** Laserové technologie a interferometrie

Měření úhlových a polohových výchylek těles představuje v průmyslové praxi významný problém. Jednou z využitelných metod představuje tzv. triangulace, která je založena na odrazu laserového svazku od povrchu lokalizovaného tělesa a následné detekci polohy jeho stopy na plošném senzoru kamery. Z výchylky stopy svazku na čipu a známé geometrické konfigurace měřicí soustavy lze zpětně odvodit změnu polohy či natočení daného tělesa.

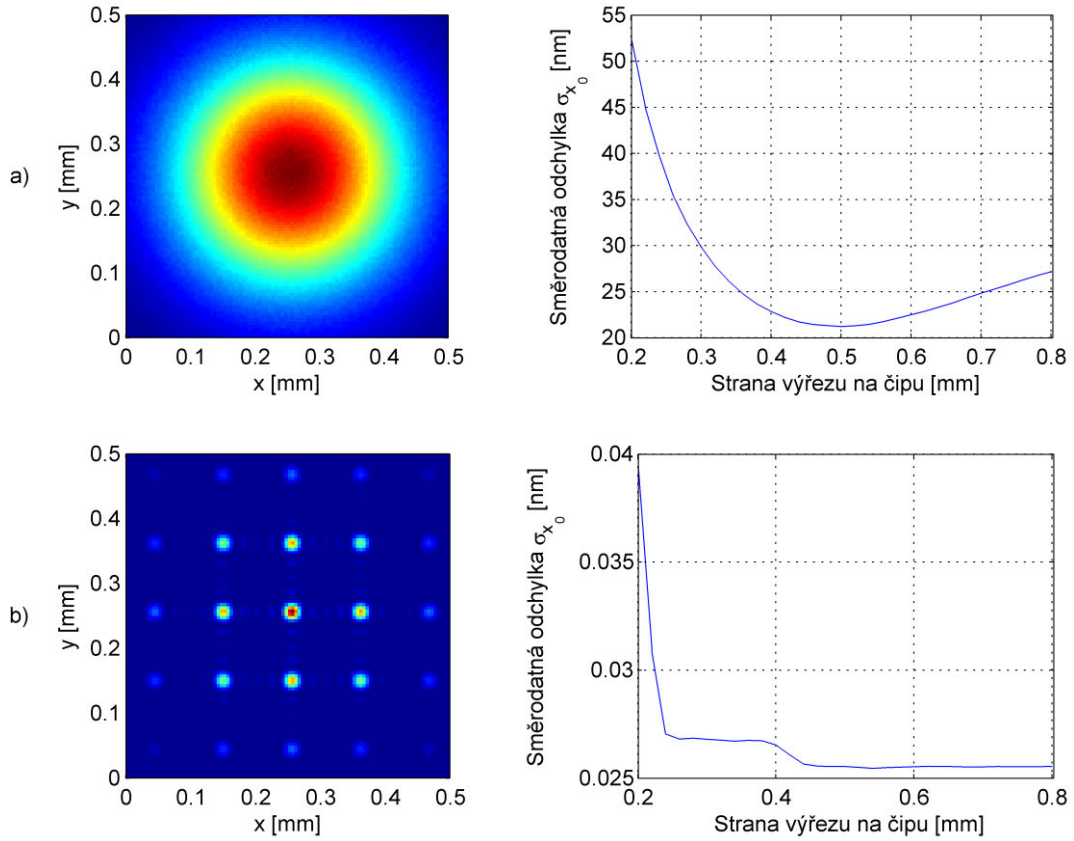



Obr. 1: Princip metody triangulace

Cílem této práce bylo rozšíření metody triangulace o další techniky, které by výrazně zvýšily přesnost určení měřených výchylek. Přímé průmyslové aplikace pak představovalo měření úhlové polohy zrcadel konstruovaných pro laser ELI v rozmezí několika stupňů při rozlišení jeden mikroradián nebo měření rovinnosti hlavní pro firmu Prototypa Brno.

Prvním krokem ke zvýšení přesnosti detekce polohy stopy svazku na CCD senzoru kamery bylo využití vhodného numerického postupu, konkrétně nelineární regrese. Pro zvolený laserový svazek s Gaussovským profilem intenzity byly pomocí Levenbergova-Marquardtova algoritmu určeny poloha středu a poloměr stopy svazku na čipu a také jejich nejistoty. Následně dopočtená nejistota úhlové polohy odrazného povrchu pak z numerické simulace vyšla v řádu pouhých desítek nanoradiánů, z experimentálních dat okolo jedné desetiny mikroradiánu.

Další možnost rozšíření metody triangulace představuje zvýšení počtu světelných stop dopadajících na povrch senzoru pomocí vhodné difrakční mřížky. Matice stop s konstantními rozestupy umožňuje snížit nejistotu určení polohy na čipu, navíc lze výrazně zvýšit použitelný rozsah měření. Přestože tato technika ještě čeká na svoji experimentální realizaci, numerická simulace prokázala, že další řádové zvýšení přesnosti měření výchylek je v principu možné. Při takovém měření na hranici možností je však nezbytně nutné v co největší míře potlačit vliv rušivých jevů jako jsou mechanické oscilace či fluktuace indexu lomu vzduchu.




Obr. 2: Výsledky numerické simulace profilu intenzity na senzoru a směrodatné odchylky určení polohy středu stopy v závislosti na velikosti výřezu senzoru, který je využit pro nelineární regresi: a) samotný gaussovský svazek, b) gaussovský svazek prošlý přes difrakční mřížku.

Práce vznikla za podpory Evropské komise a MŠMT (projekty č. CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a CZ.1.07/2.4.00/31.0016).

**Další oblasti zájmu** s nabídkou spolupráce:

- Interferometrické metody měření deformací
- Gradientní a transformační optika

# FABRY-PEROT DISPLACEMENT INTERFEROMETRY IN AIR

**Radek Šmíd[1,2],Mathieu Durand[1], Yicheng Wang[1], and John Lawall[1]**
[1]National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD 20899
[2]Institute of Scientific Instruments of Academy of Sciences of Czech Republic, Královopolská 147, 61241 Brno, Czech Republic
email: smid@isibrno.cz, mathieu.durand@nist.gov, yicheng.wang@nist.gov, john.lawall@nist.gov

**Obor:** Instrumentation, Measurement and Metrology, Fabry-Perot, Metrology, Interferometry

In earlier work[1,2], we have demonstrated the use of Fabry-Perot interferometry to measure displacements of up to 50 mm with a fractional accuracy of 4 x $10^{-10}$ in vacuum. The initial work was done at a wavelength of 633 nm, and the more recent work was done at 1560 nm. We now seek to extend the approach to displacement measurements in air. A well-known approach to compensate for the refractive index of air without relying on independent measurements of the temperature and pressure is to use two wavelengths [3]. In this work, we supplement our implementation at 1560 nm with an additional laser at 1064 nm in order to control for the dispersion of air.

The setup is shown in the figure below. Three fiber lasers, two at 1560 nm and one at 1064 nm are coupled into a variable-length Fabry-Perot cavity. The cavity mirrors have coatings providing a finesse F = 2000 at both wavelengths. All three lasers are locked to different TEM00 modes of the cavity, and their frequencies are measured relative to an optical frequency comb.

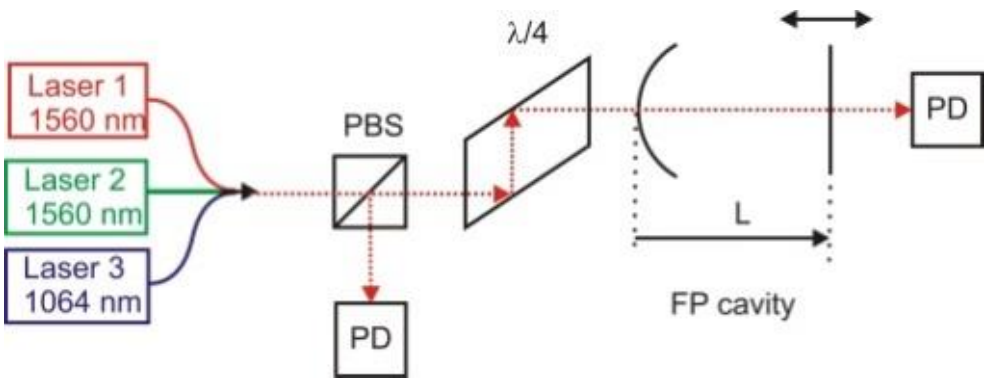



Figure 1: Simplified scheme of set-up for measurement of the mirror displacement

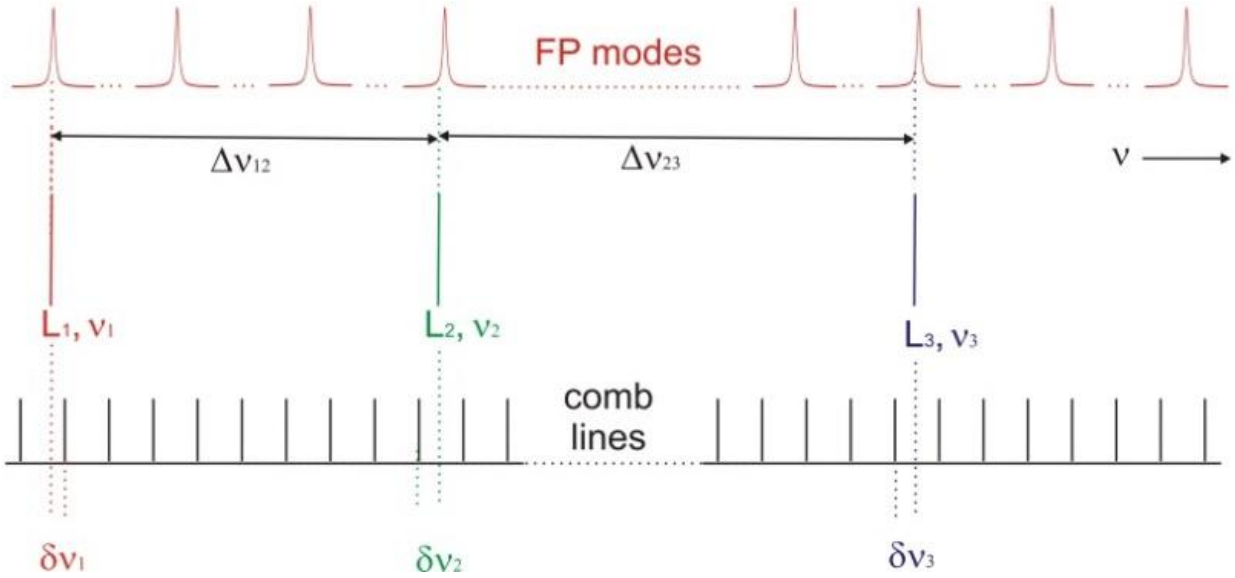



Figure 2: Scheme of the basic principle for measurement of the optical frequencies to measure the displacement in the cavity.

We will discuss the accuracy achieved in this system in a laboratory environment.

R. Šmíd would like to thank partial the financial support of GPP102/12/P962 from Grant Agency of Czech Republic, institutional support RVO:68081731 and support of Ministry of Education, Youth and Sports CZ.1.05/2.1.00/01.0017.

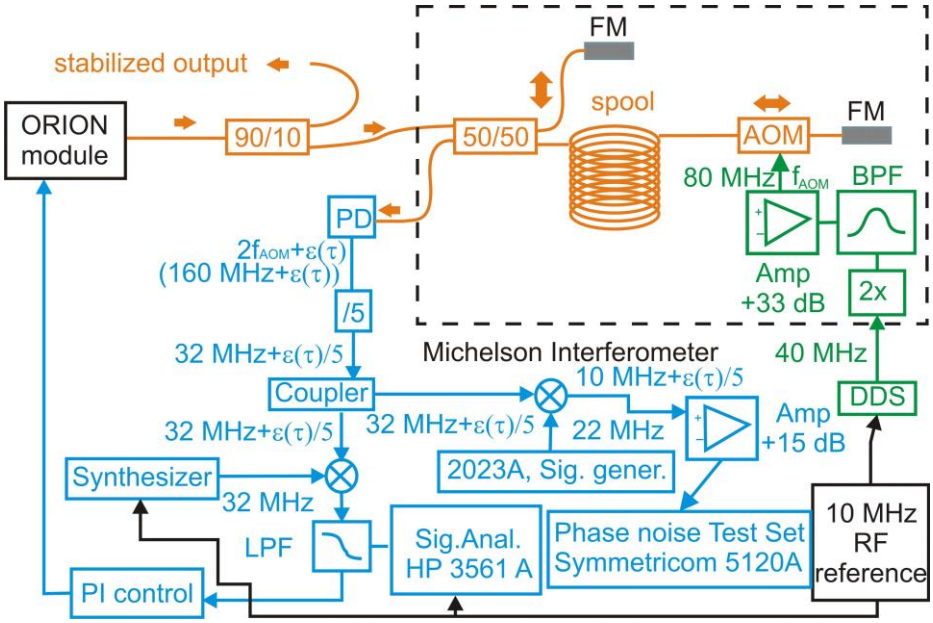
**References**

[1] J. Lawall, “Fabry-Perot metrology for displacements up to 50 mm,” JOSA A 22, 2786-2798 (2005).
[2] M. Durand, J. Lawall, and Y. Wang, “High-accuracy Fabry-Perot displacement interferometry using fiber lasers,” MST 22, 094025 (2011).
[3] H. Matsumoto and T. Honda, “High-accuracy length-measuring interferometer using the two-color method of compensating for the refractive index of air,” MST 3, 1084-1086 (1992).

# ZÚŽOVÁNÍ ŠÍŘKY ČÁRY LASEROVÉ DIODY POMOCÍ VLÁKNOVÉHO INTERFEROMETRU

**Radek Šmíd[1], Bérengère Argence[2,3], Ondřej Číp[1], Giorgio Santarelli[2,4]**
[1]Ústav přístrojové techniky, v.v.i., Akademie věd České Republiky, Královopolská 147, 61264, Brno, Česká Republika, smid@isibrno.cz
[2]Laboratoire national de métrologie et d'essais - Systèmes de Références Temps-Espace, Observatoire de Paris, CNRS, UMR 8630, 61 Av. de l'Observatoire, 75014 Paris, France
[3]Laboratoire de Physique des Lasers, CNRS-UMR7538, Université Paris 13 – Institut Galilée, 99, avenue Jean-Baptise Clément, 93430 Villetaneuse, France
[4]Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences, Université de Bordeaux, Institut d'Optique Graduate School, CNRS, UMR 5298, 351 cours de la Libération, 33405 Talence, France

**Obor:** nevyvážený interferometr, vláknová cívka, PI kontrol, fázový šum




Obr. 1: Schéma sestavy pro měření a stabilizaci laserového modulu ORION na nevybalancovaném heterodynním interferometru Michelsonova typu. Sestava se skládá z optické části: laserový modul ORION, 90/10 a 50/50 vláknové děliče, 2 Faradayových zrcadel (FM), akusto-optického modulátoru (AOM) a 1 km dlouhé vláknové cívky. Záznějový signál je detegován na fotodetektoru (PD). Frekvence AOM je kontrolována pomocí DDS kontrolovaného pomocí 10 MHz stabilního časového normálu.

Při měření změny délky optického rezonátoru [1-4] je limitujícím faktorem spektrální šířka čáry. Proto je třeba použití laserů s úzkou spektrální šířkou [5,6]. Nevýhodou takových laserů je jejich úzká spektrální přeladitelnost nutná k sledování změn v celém rozsahu. Mnohem větším rozsahem přeladitelnosti disponují např. DFB laserové diody [7]. Jejich nevýhodou je ovšem široká spektrální čára v řádu 1 MHz. Řešení nabízí DFB laserové diody s velkým přeladěním zúžené pomocí vláknového interferometru. V této práci ukazujeme stabilizaci laserové diody na nevyváženém vláknovém interferometru. Nestabilizovaný zdroje je reprezentován kompaktním laserovým modulem ORION s planárním vlnovodem od firmy Redfern Integrated Optics, Inc. pracující na vlnové délce 1540.57 nm se spektrální šířkou

menší než 3 kHz. Vlnová délka modulu přesně odpovídá absorpční čáře P(13) $^{13}C_2H_2$ pro potřeby přesné metrologie. Její proladitelnost je ovšem limitovaná +/- 10 pm. Zkonstruovali jsme vláknový Michelsonův interferometr s jedním dlouhým ramenem o délce 1 km založeného na SMF-28 vláknové cívce k potlačení šumu laseru pomocí rychlé PI kontroly ve smyčce až do 33 kHz pomocí modulačního napětí. Byli jsme schopni snížit úroveň šumu až o -60 dBc/Hz do 33 kHz.

Projekt byl finančně podporován projektem GAČR GPP102/12/P962. R. Šmíd také děkuje vřelému přijetí ve skupině Lien Optique Ultra-Stable v laboratořích LNE-SYRTE v Paříži. Práce byla podpořena za institucionální podpory RVO: 68081731 a MŠMT CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a CZ.1.07/2.4.00/31.0016.

**Literatura:**

1. Smid, R.; Cip, O.; Lazar, J. Precise length etalon controlled by stabilized frequency comb. *Meas. Sci. Rev.* **2008**, *8*, 114-117.
2. Smid, R.; Cip, O.; Cizek, M.; Mikel, B.; Lazar, J. Conversion of Stability of Femtosecond Mode-Locked Laser to Optical Cavity Length. *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control* **2010**,*57*, 636-640.
3. Cip, O.; Smid, R.; Cizek, M.; Buchta, Z.; Lazar, J. Study of the thermal stability of Zerodur glassceramics suitable for a scanning probe microscope frame. *Cent. Eur. J. Phys.* **2012**, *10*, 447-453.
4. Lawall, J.R. Fabry-Perot metrology for displacements up to 50 mm. J. Opt. Soc. Am. A **2005**, *22*, 2786-2798.
5. Quinn T.J. Mise-En-Pratique of the definition of the meter 1992 *Metrologia* **1994**, *30*, 523541.
6. Redfern Integrated Optics product list: http://www.rio-inc.com/products/orion.php
7. Morthier, G. , Vankwikelberge P., *Handbook of Distributed Feedback Laser Diodes*, 1997.

# SPONZOŘI:

Lasery a Optika

**www.lao.cz**

MiT

Lasery, fotonika
a jemná mechanika

**www.mit-laser.cz**

**www.nwg.cz**

# alisi

Aplikační laboratoře
mikrotechnologií
a nanotechnologií

Cílem ALISI je vybudovat a provozovat moderně vybavené výzkumné centrum dosahující aplikovatelných výsledků a přiblížit se tak technologickou úrovní výzkumu a vývoje k světové elitě.

Aplikační a vývojové laboratoře pokročilých mikrotechnologií a nanotechnologií jsou určeny pro výkon výzkumných aktivit zasahujících do oblastí diagnostiky a technologií, které využívají metody magnetické rezonance, laserové interferometrie a spektroskopie, měření a vyhodnocování biosignálů, elektronové mikroskopie a litografie, svařování elektronovým a laserovým paprskem, magnetronového naprašování a kryogeniky ke konstrukci nových přístrojů a systémů.

alisi Aplikační laboratoře mikrotechnologií a nanotechnologií

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název: Sborníku příspěvků multioborové konference LASER53

Editor: Bohdan Růžička

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

Vydáno v roce: 2013

Vydání: první

Náklad: 85 ks

Za obsahovou a jazykovou úpravu odpovídají autoři příspěvků.

ISBN 978-80-87441-10-7