




Průvodce
aplikačními možnostmi
Ústavu přístrojové techniky
AV ČR, v.v.i.

 **alisi** – Průvodce
aplikačními možnostmi
Ústavu přístrojové techniky
AV ČR, v.v.i.





Průvodce aplikačními možnostmi Ústavu přístrojové techniky AVČR, v.v.i.

Průvodce, kterého právě otevíráte, Vás seznámí s aplikačním potenciálem Ústavu přístrojové techniky AVČR, v.v.i (dále ve zkratce ÚPT). ÚPT se již více jak 50 let věnuje výzkumným aktivitám zaměřeným na hledání fyzikálních metod a konstrukci přístrojových prvků pro diagnostiku a technologie v nanosvětě i makrosvětě. Současně se také jedná o instituci, která úspěšně spolupracuje s průmyslovou sférou a výsledkem této spolupráce byla řada unikátních přístrojů, často prvních svého druhu v České republice nebo i ve světě např. elektronové mikroskopy a později elektronový litograf, lasery a celé interferometrické systémy pro přesné odměřování, NMR spektrometry a kryogenní systémy. V posledních dvaceti letech se ÚPT orientuje zejména na hledání a zdokonalování nových fyzikálních metod v tradičních oblastech svého působení a to v celé šíři problému, od jeho teoretického popisu po realizaci unikátních přístrojových celků. Naše aktivity pokrývají:

- využití elektronových svazků k zobrazování, diagnostice, litografii a ke svařování,
- návrh nových sekvencí pro magnetickou rezonanční tomografii a jejich využití k detekci chemických změn v živých organismech včetně člověka,
- měření tepelného vyzařování či absorpce materiálů za velmi nízkých teplot, návrh kryogenních systémů,
- technologie nanášení tenkých vrstev,
- snímání a zpracování biosignálů v lékařství,
- využití laserových svazků ke svařování, ve spektroskopii, k přesnému měření vzdáleností a indexu lomu plynů, k manipulacím s mikrobjekty a nanoobjekty.

S ohledem na své výsledky ÚPT uspěl v náročné konkurenci a získal v roce 2010 dotaci ve výši 432 941 962 Kč na realizaci Aplikačních a vývojových laboratoří pokročilých mikrotechnologií a nanotechnologií (ve zkratce Alisi), které významně rozšíří a modernizují výzkumné zázemí ÚPT. Následující stránky Vás seznámí detailněji s vybranými aplikačními aktivitami ÚPT.

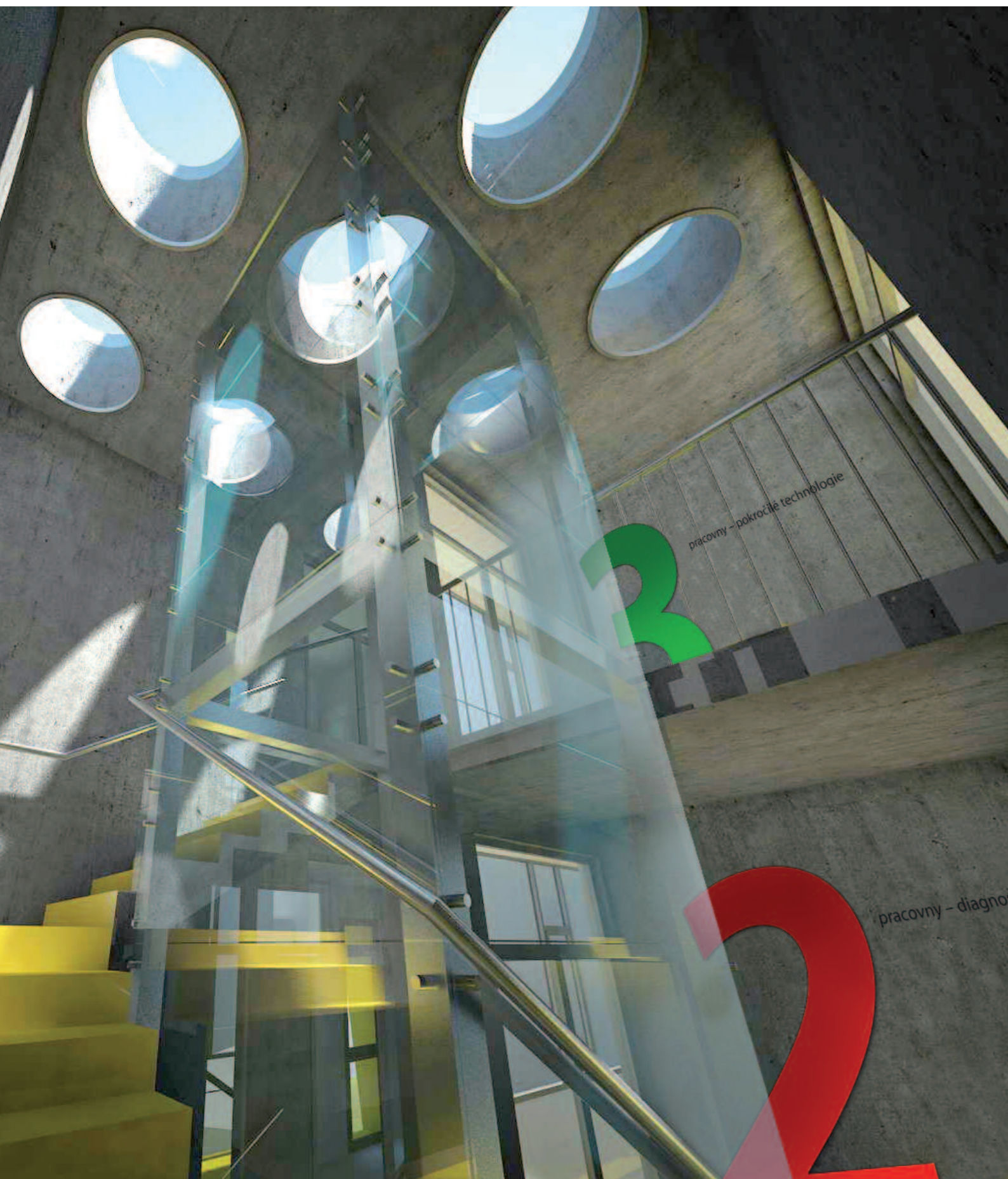
prof. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D.
zástupce ředitele ÚPT



Pohled ze dvora na koridor spojující stávající infrastrukturu s novostavbou. Pod terénem se ortogonálně k nadzemní části budovy nacházejí laboratoře s čistým provozem.

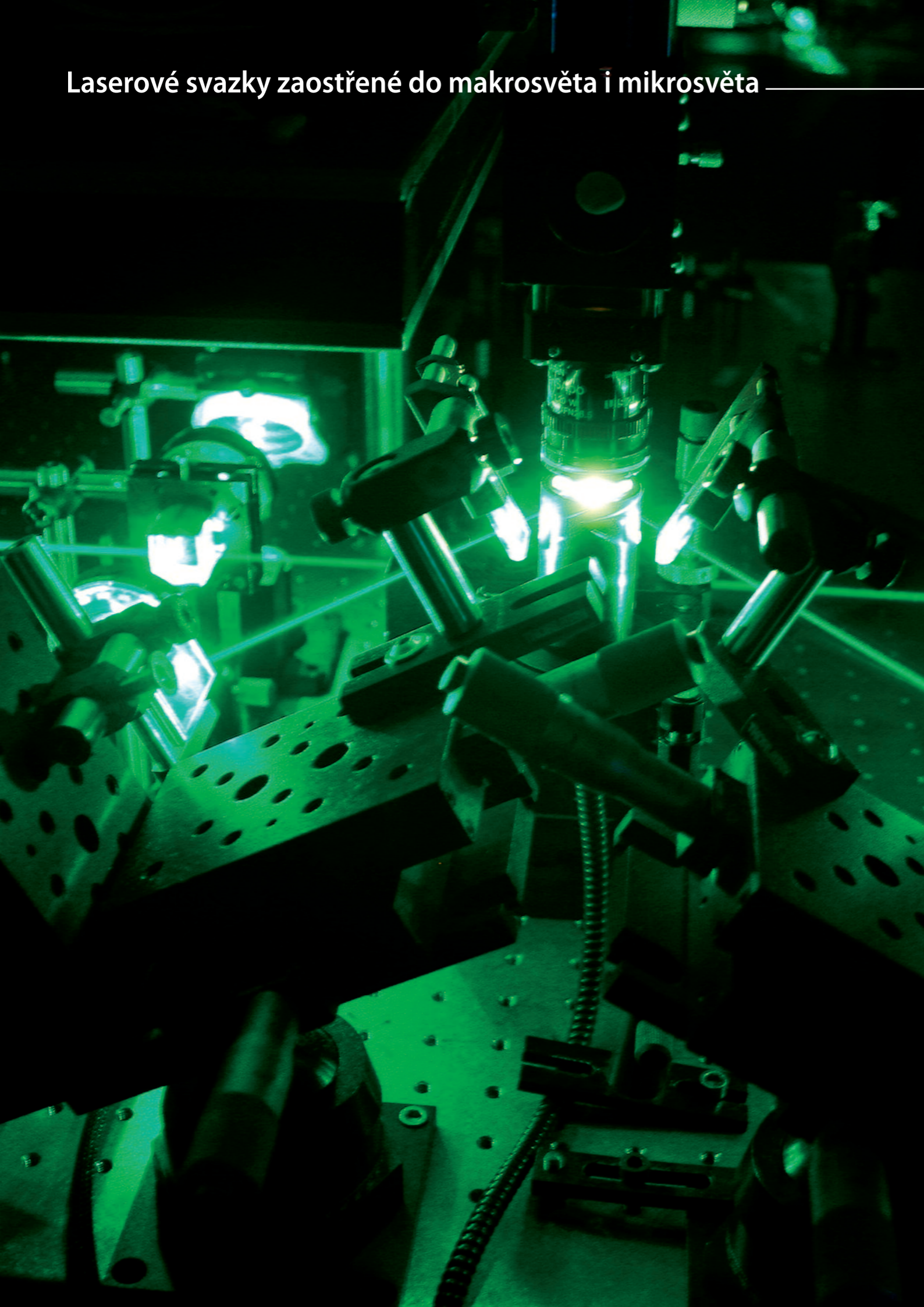


Čelní pohled na novou budovu Aplikačních laboratoří ÚPT AV ČR z ulice Tyršova.



Obsah

Laserové svazky zaostřené do makrosvěta i mikrosvěta	10
Applikace spektroskopie laserem buzeného plazmatu LIBS	11
Ramanovská laserová spektroskopie	13
Optické mikromanipulační techniky	15
Speciální technologie	18
Svařování elektronovým svazkem	19
Vakuové pájení a žíhání	21
Vývoj a výroba vakuových průchodek	22
Depozice tenkých vrstev magnetronovým napařováním a jejich dynamické rázové testování	23
Elektronová mikroskopie	24
Vysokorozlišovací rastrovací elektronová mikroskopie s analytickými technikami	27
Rastrovací mikroskopie pomalými elektrony	29
Elektronová mikroskopie biologických a jiných senzitivních vzorků	32
Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie a detekční systémy	33
Měření lokální tloušťky tenkých vzorků a hmotnosti jednotlivých nanočástic pomocí REM	36
Elektronová mikroskopie v podmínkách ultravysokého vakua	37
Nové zobrazovací metody elektronové mikroskopie	39
Kryogenika a supravodivost	40
Nízkoteplotní termometrie	41
Návrhy a realizace kryogenních systémů	42
Stanovení tepelně radiačních vlastností materiálů	43
Vakuová technika	44
Stacionární magnetická pole	44
Konzultace a školení o bezpečnosti v oblasti kryogenní techniky	44
Lasery pro měření a metrologii	46
Lasery s vysokou koherencí pro měřicí účely	47
Výkonové ECL lasery	49
Laserové etalony optických frekvencí	49
Absorpční kyvety pro spektroskopii a optické frekvenční etalony	52
Laserové interferometrické měřicí systémy	53
Depozice interferenčních vrstev vakuovým napařováním elektronovým svazkem a spektrofotometrické měření jejich spektrální odrazivosti a propustnosti	55
Speciální elektronika a software	57
Elektronová litografie	58
Elektronový litograf	59
Technologie elektronové litografie	60
Optické difrakční struktury	61
Pokročilé výkonové laserové technologie	62
Pokročilé výkonové laserové technologie	63
Měření a zpracování signálů v medicíně – MediSIG	66
Software – metodologie & zpracování	68
Akviziční systémy	69
Experimentální přístroje pro měření biologických signálů	69
Jaderná magnetická rezonance	72
Zobrazování a analýza dat	74
Oblasti aplikací	75



Využití optických metod k diagnostice látek nalézá v poslední době řadu nových aplikací od biologie až po jaderný průmysl. Mezi výhody těchto metod patří zejména **rychlé a bezkontaktní měření**, analýza výsledků **v reálném čase** a relativně **nízké pořizovací náklady**. Optické metody umožňují určit **prvkové složení vzorku** a rovněž **typy chemických vazeb** (např. u organických vzorků) s prostorovým rozlišením od **jednotek mikrometrů po desítky metrů**.

Sestava pro optické třídění mikroobjektů (str. 10).

Skupina *optických mikromanipulačních technik* nabízí zkušenosti:

- v oblasti konstrukce unikátních přístrojů pro diagnostiku, které využívají spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS) a Ramanovu spektroskopii,
- v oblastech využití fokusovaných laserových svazků v mikrosvětě k bezkontaktnímu přemísťování mikroobjektů a jejich třídění, k vytváření mikrostruktur fotonopolymerací, k modifikaci povrchů či objemů struktur laserovou (mikro)ablací,
- v hledání nových metod identifikace mikroorganismů, jejich separace či destrukce.

Aplikace spektroskopie laserem buzeného plazmatu LIBS

Ve všech oborech roste zájem o experimentální metody, které umožňují okamžitou interpretaci výsledků. Tento zájem úzce souvisí s požadavky průmyslu na rychlé a přesné vyhodnocení daného stavu materiálu nebo okamžité určení jeho parametrů a složení bez časově náročných laboratorních metod. Pro účely rychlé materiálové analýzy se přímo nabízí spektroskopie laserem buzeného plazmatu, označovaná ve zkratce LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy), která využívá pulzní lasery s výstupní energií svazku menší než 1 J/pulz. Tato metoda je založena na interakci laserového pulzu s povrchem vzorku, během které dodaná energie odpaří (ablatuje) malé množství materiálu a vytvoří svítící plazma, v jehož záření jsou obsaženy spektrální čáry odpařených prvků. Spektrum je snímáno spektrometrem, analyzováno a výstupem je informace o prvkovém složení ablatovaného materiálu. Detekční limity se pohybují od jednotek do stovek ppm (w/w).

Výhody a aplikační příklady metody LIBS:

- Jednoduchost a pružnost LIBS předurčují k vyšetřování přímo **na místě u sledovaného objektu**, tedy i v určité fázi výrobního procesu nebo v určitém období provozu zařízení. Měření probíhá **vzdušnou cestou** a vyžaduje pouze „viditelný“ kontakt se vzorkem.

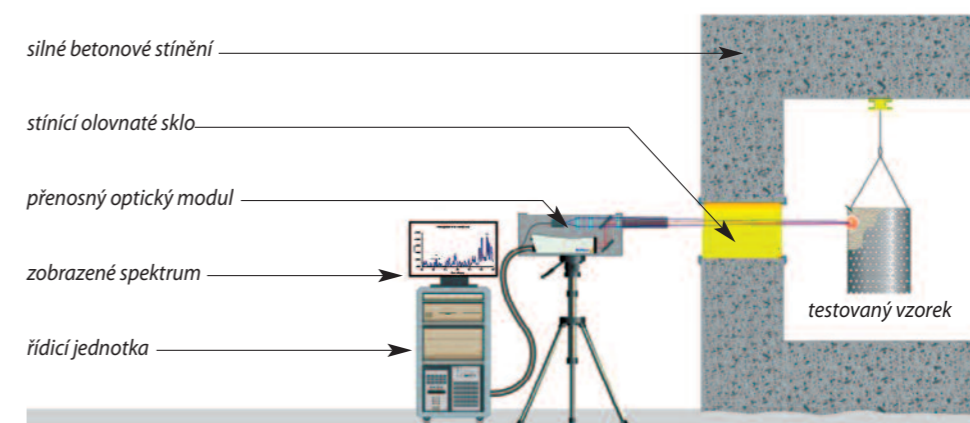
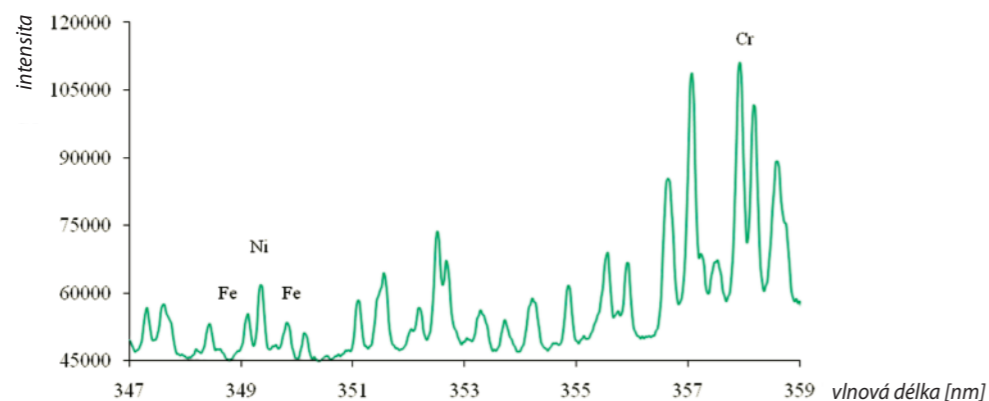


Schéma měření složení materiálu vzdušnou cestou přes olovnaté sklo.

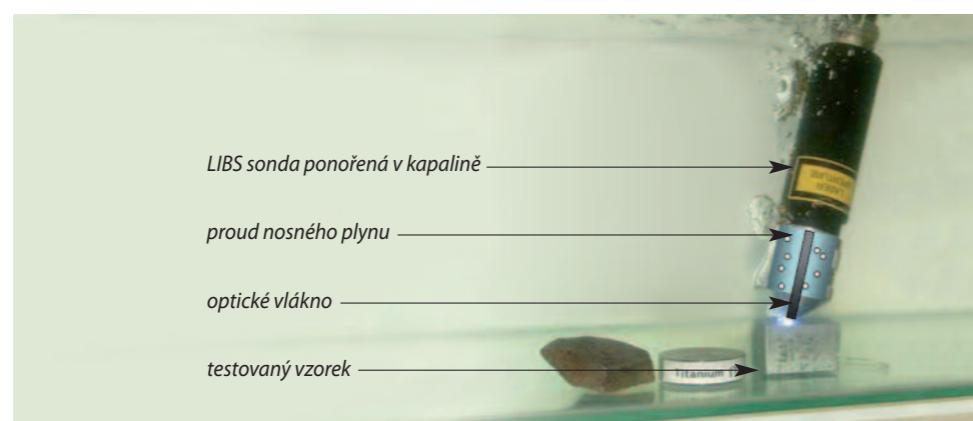
- Aparatura může být **mobilní**, může využívat vhodný systém optických vláken k vedení laserových pulzů ke vzorku a obráceným směrem přenášet získaný optický signál do spektrometru. Mobilní aparaturu lze především využít na velké nepřemístitelné vzorky nacházející se v **těžce přístupných prostředích** nebo **zdraví ohrožujících provozech** (např. v prostředí jaderných reaktorů, chemických podniků, oceláren, zpracování odpadů).
- Dostupné rozlišení umožňuje **identifikovat druhy ocelí** (např. FV520, NAG, 17/4 a 18/13) podle zastoupení důležitých prvků, např. Mo, Ni, Ti.

Příklad spektra získaného metodou LIBS ze vzorku oceli. Příměsi Cr a Ni jsou snadno detekovatelné na odpovídajících spektrálních čarách.



- Mobilní i statické systémy lze použít k **monitorování životního prostředí**.
- Vzorky mohou být **ponořeny v tekutinách nebo roztocích** a analyzovány přímo na místě v reálném čase a bez zdlouhavé manipulace a dopravy do laboratoře.

Příklad LIBS sondy vhodné k měření vzorků ponořených v kapalinách až několik metrů pod hladinou. V koncové části sondy je schematicky vyznačen detail znázorňující proud nosného plynu, který je používán k vytěsnění kapaliny z oblasti snímání na vzorku.



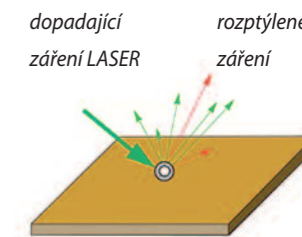
- Běžně detekuje prvky jako Be, U, I, Al, C, Ca, Mg, Cr, Pb, Si, Li, Hg, Sr, Rb, Ti, Fe, Ni, V, Mn, Mo a další.
- Umožňuje analyzovat **velmi malé vzorky** pomocí svazku zaostřeného na vzorek do stopy o rozměru **desítek mikrometrů**, nebo **velké vzorky vzdálené desítky až stovky metrů** od aparatury (např. sedimenty uvnitř skladovacích nádrží, ocelové konstrukce, aj.).

Kontakt: Mgr. Ota Samek, Dr. ■ e-mail: osamek@isibrno.cz ■ tel: 541 514 127

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/omitec>

Ramanovská laserová spektroskopie

Ramanovská spektroskopie je nedestruktivní technika, která je založena na osvětlení vzorku zářením o určité vlnové délce a detekci záření na jiných vlnových délkách, vzniklého rozptylem ve vzorku. Toto velmi slabé rozptýlené záření obsahuje informace o vibracích atomů v chemických vazbách zastoupených ve vzorku. Spektrální analýza trvající řádově minuty umožňuje identifikovat tyto chemické vazby a odlišit vzorky s různým zastoupením např. DNA, RNA, tuků, cukrů, pigmentů, sacharidů, amidů atd. Ozářený objem vzorku určuje prostorové rozlišení, s jakým lze tyto informace získat. Pomocí silně zaostřených laserových svazků lze získat informace o chemických vazbách obsažených ve vzorku o miniaturním (femtolitrovém) objemu. Přestože princip metody je známý více než sto let, v poslední době se metoda teprve začíná prosazovat v řadě unikátních aplikací především v důsledku rozvoje citlivých detektorů záření.

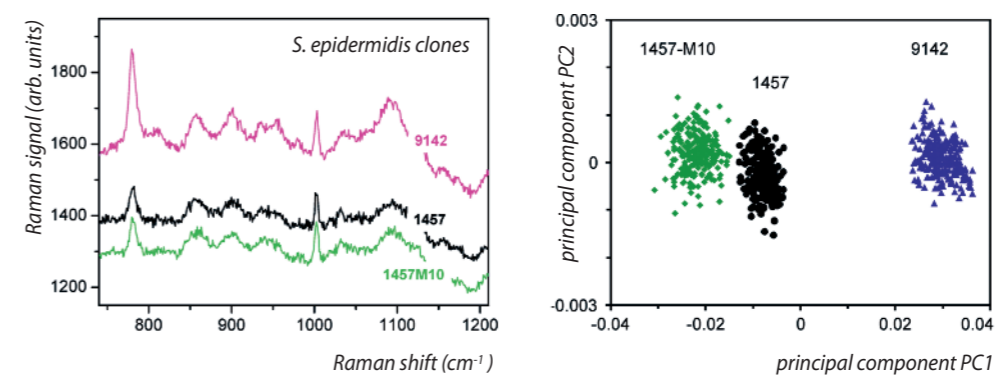


Princip ramanovské laserové spektroskopie:

- rozptýlené záření na stejné vlnové délce jako laser
- ramanovské záření na jiných vlnových délkách – posuv vlnových délek je závislý na vlastnostech vzorku.

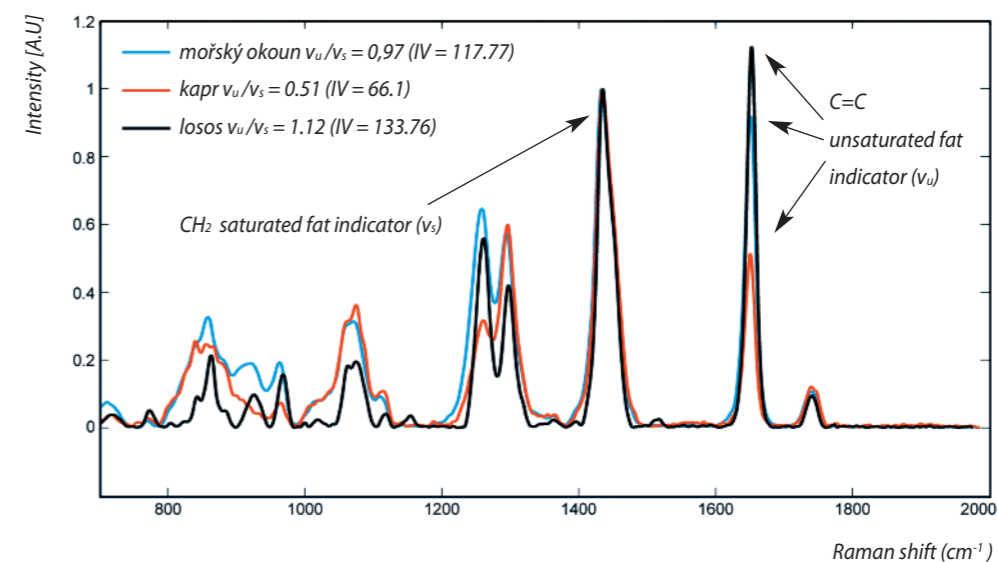
Výhody a aplikační příklady ramanovské spektroskopie:

- Umožňuje **rozpoznávání jednotlivých druhů mikroorganismů nebo typů biologických vzorků**. Lze od sebe odlišit i jednotlivé klony bakteriálních kmenů, např. *Staphylococcus epidermidis*, což má velký význam v lékařství pro diagnostiku bakteriální infekce již během ambulantní návštěvy pacienta.



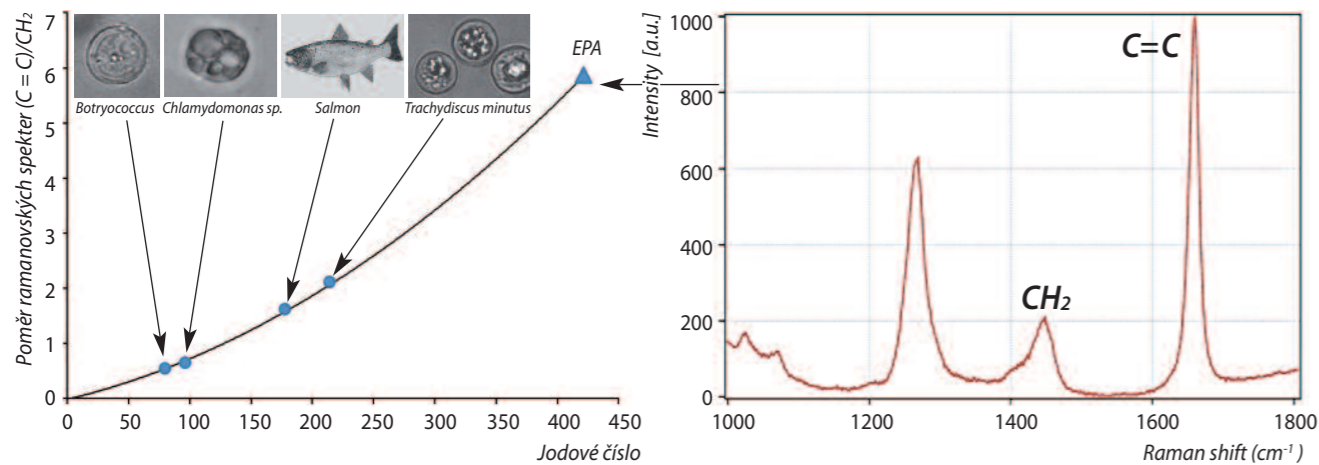
Příklad ramanovských spekter tří klonů (odlišených barvou a číslem) bakteriálního kmene *S. epidermidis* (vlevo).

Příklad zpracování ramanovského spektra vedoucího k rozlišení bakterií, které nevytvářejí (1457-M10) resp. vytvářejí biofilm (vpravo).



Typická ramanovská spektra tuku ze tří různých vzorků ryb. Z poměru intenzity ramanovských pásů 1656 cm⁻¹ (indikátor nenasyčenosti tuku) a 1445 cm⁻¹ (indikátor nasycenosti tuku) lze určit stupeň nenasyčenosti tuku resp. jodové číslo. V uvedeném grafu je vidět, že stupeň nenasyčenosti se liší pro jednotlivé vzorky ryb, konkrétně tuk z lososa má výrazně vyšší obsah nenasyčených mastných kyselin ve srovnání s dalšími dvěma měřnými vzorky.

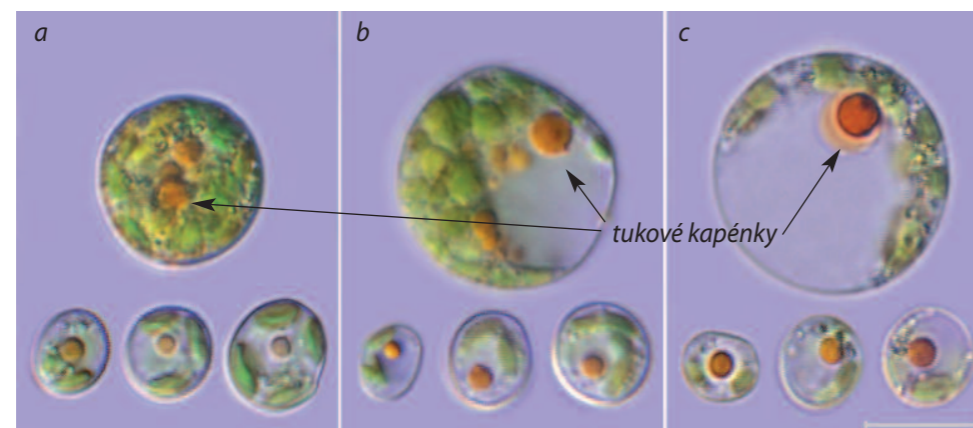
- Určuje nasycenost mastných kyselin obsažených v mikroorganismech (např. řasách) a v rybím tuku.



Nenasycenost mastných kyselin je také možné vyjádřit jodovým číslem často používaným v potravinářském a chemickém průmyslu. Jodové číslo pro dané vzorky se určuje podle kalibrační křivky, kde na svislou osu vynášíme experimentálně určený poměr předem zvolených ramanovských spekter (na obrázku pro tři druhy řas a lososa). Nejvyšší hodnotu jodového čísla má kyselina eikosapentaenová (EPA) ze skupiny omega-3 mastných kyselin, jejíž ramanovské spectrum je pro demonstraci zobrazeno.

- Charakterizuje a **rozpoznává biofilmy** v reálném čase, což umožní včas identifikovat riziko zdravotních komplikací pacientů s katetry či kloubními náhradami. Povrchy materiálů používané v lékařství se postupně pokrývají několika vrstvami často různých typů bakterií (biofilm), které jsou odolné vůči medikamentům a způsobují infekci.
- **Nedestruktivně analyzuje chemické složení farmaceutických výrobků** a umožňuje tak kontrolovat např. pravost léků v reálném čase.
- **Rozpoznává nádorové a zdravé tkáně/buňky** a nabízí se tak jako unikátní diagnostický nástroj pro onkologii jak in vivo (např. při včasné rozpoznání rakoviny kůže), tak in vitro (analýza odebraných buněk či tkání).
- **Umožní rozpoznávat buňky zasažené virovou infekcí.**
- **Vytváří chemickou mapu povrchů nebo identifikuje nanostruktury.**
- **Lze ji kombinovat s optickou pinzetou a aplikovat i na mikroorganismy volně plovoucí v kapalině.**

Kontakt: Mgr. Ota Samek, Dr. ■ e-mail: osamek@isibrno.cz ■ tel: 541 514 127
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/omitec>



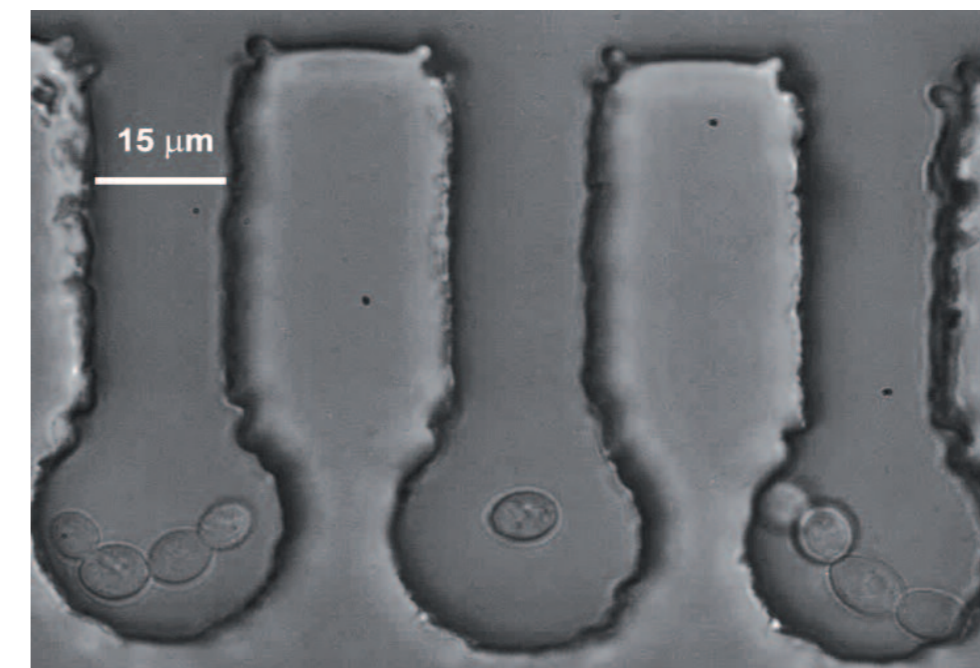
Obrázky řas (*Trachydiscus minutus*) z optického mikroskopu, které byly pěstovány v různém osvětlení. Zelená tělíska jsou vyvinuté chromatofory. Žluté kapénky představují lipidy s rozpuštěnými karoteny. Pomocí ramanovské spektroskopie lze monitorovat kvalitu tukových kapének. Měřítko 5 μm .

Optické mikromanipulační techniky

Optické mikromanipulační techniky využívají mechanických účinků světla v průběhu změny směru jeho šíření při rozptylu na mikroobjektech. Tímto způsobem je možné prostorově ovlivnit pohyb objektů o rozměrech od desítek nanometrů po desítky mikrometrů pouhým osvětlením laserovým paprskem. Optická pinzeta – světelná analogie klasického mechanického manipulačního nástroje – využívá jediného ostře fokusovaného laserového svazku k bezkontaktnímu zachycení objektů. Protože objekty jsou zachyceny v blízkosti ohniska, způsobí změna jeho polohy i následný přesun objektů, tedy jejich řízenou mikromanipulaci. Více ohnisek rozmístěných v prostoru umožní zachytit a pomocí sofistikovaného řízení poloh ohnisek také přemístit více objektů současně. Nyní se tento nástroj používá převážně pro zachycení a přemísťování mikroobjektů v kapalném prostředí (živé mikroorganismy nebo buňky ve vodě či vhodném roztoku, mikroobjekty za průhlednými překážkami apod.). Protože tak malé objekty je možné pozorovat pouze s využitím optického mikroskopu, jsou oba systémy často kombinovány.

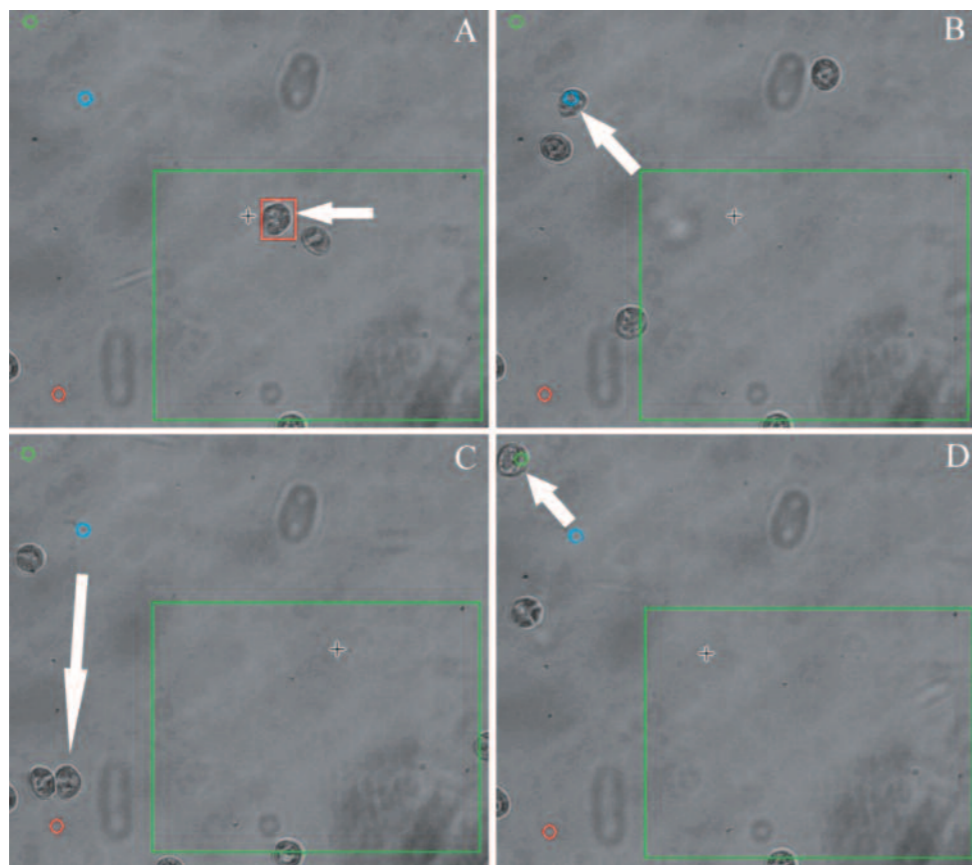
Aplikační příklady optických mikromanipulací ALISI a ÚPT:

- Ve spolupráci s Meopta-Optika s.r.o. jsme vyvinuli **kompaktní verzi** zařízení, která obsahuje integrovaný laser nebo adaptér na optické vlákno a umísťuje se mezi světelný mikroskop a objektiv (<http://www.meopta.com/cz/nanotechnologie-1404041412.html>). Není tedy nutné zasahovat do optické cesty komerčního optického mikroskopu, kterým jsou objekty pozorovány.
- **Optickou pinzetu jsme kombinovali s řadou optických spektroskopických technik** (např. ramanovskou mikrospektroskopií, fluorescenční spektroskopií), které umožňují bezkontaktně a nedestruktivně charakterizovat vlastnosti zachyceného mikroobjektu.
- Velmi perspektivní je kombinace optických mikromanipulačních technik s **mikrofluidními systémy** (lab-on-a-chip), např. ke studiu stresu na úrovni jednotlivých buněk a k nedestruktivní a bezkontaktní separaci živých buněk.



Ukázka mikrofluidní struktury komůrek s živými buňkami (kvasinkami). V krajních komůrkách jsou nestresované buňky, které se dělí, zatímco v prostřední komůrce je stresovaná buňka. Buňky byly do jednotlivých komůrek rozmístěny optickou pinzetou.

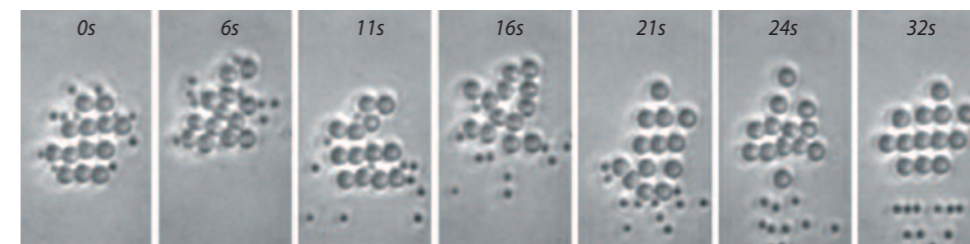
Ukázka třídění buněk řas optickou pinzetou kombinovanou s ramanovskou mikrospektroskopií v mikrofluidním systému. Buňky řas přitékají zprava mikrofluidním kanálem (na obrázku A) a jsou detekovány analýzou obrazu v oblasti zájmu (zelený rámeček). Buňka označená bílou šipkou je vybrána k analýze (červený rámeček), přesunuta do místa excitace ramanovského spektra (modrý kroužek na obrázku B) prostřednictvím pohyblivého svazku laserové pinzety. Řídící software automaticky zaznamená a vyhodnotí ramanovské spektrum a analyzovanou buňku přesune do proudnice směřující do odpadu (obrázek C) nebo do kanálu pro vybírané buňky (obrázek D, zelený kroužek).



Příklad 3D manipulace uvnitř průhledných objektů. Malé krystalky jsou opticky zachyceny uvnitř živé améby, kde je lze přemísťovat.



- Kromě silně fokusovaných svazků lze k optickému zachycení mikroobjektů použít i řady jiných konfigurací světelného pole, které např. umožňují **uspořádávání mnoha mikročástic** do pravidelných struktur v prostoru nebo na povrchu.
- Působit lze i na mikročástice v pohybu a dosáhnout usměrnění jejich stochastického pohybu v kapalině (např. v mikrofluidním systému) vedoucího až k **separaci různých složek suspenze** (nebo různých druhů buněk) pouhým osvětlením laserem.

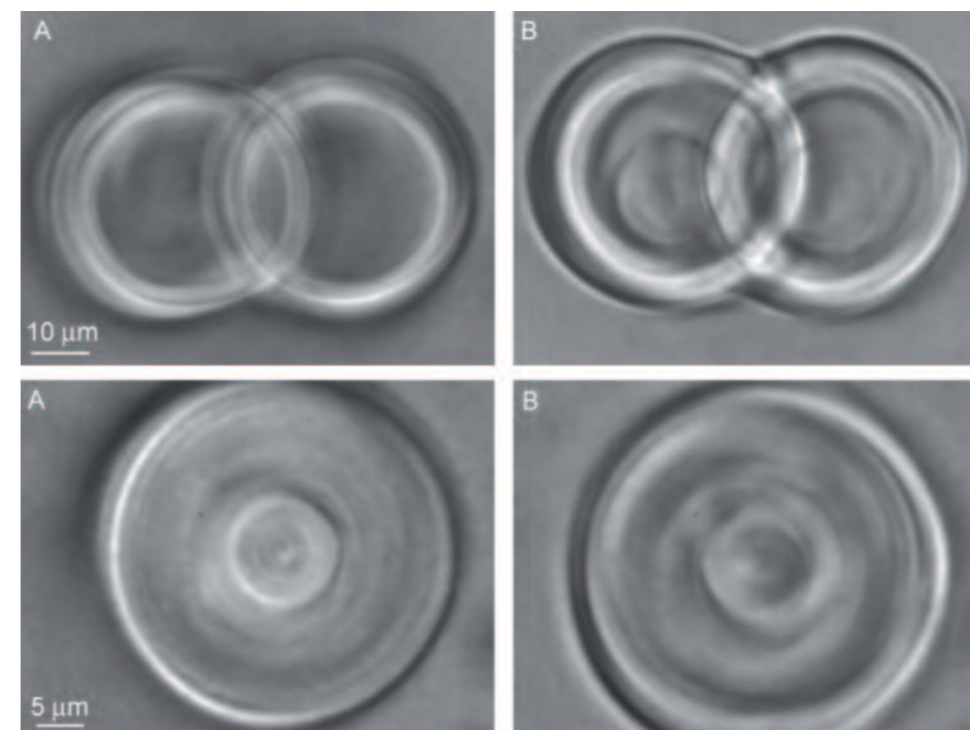


Ukázka optické separace složek v heterogenní suspenzi vytvořené z polystyrénových částic o velikostech 800 nm a 1587 nm.

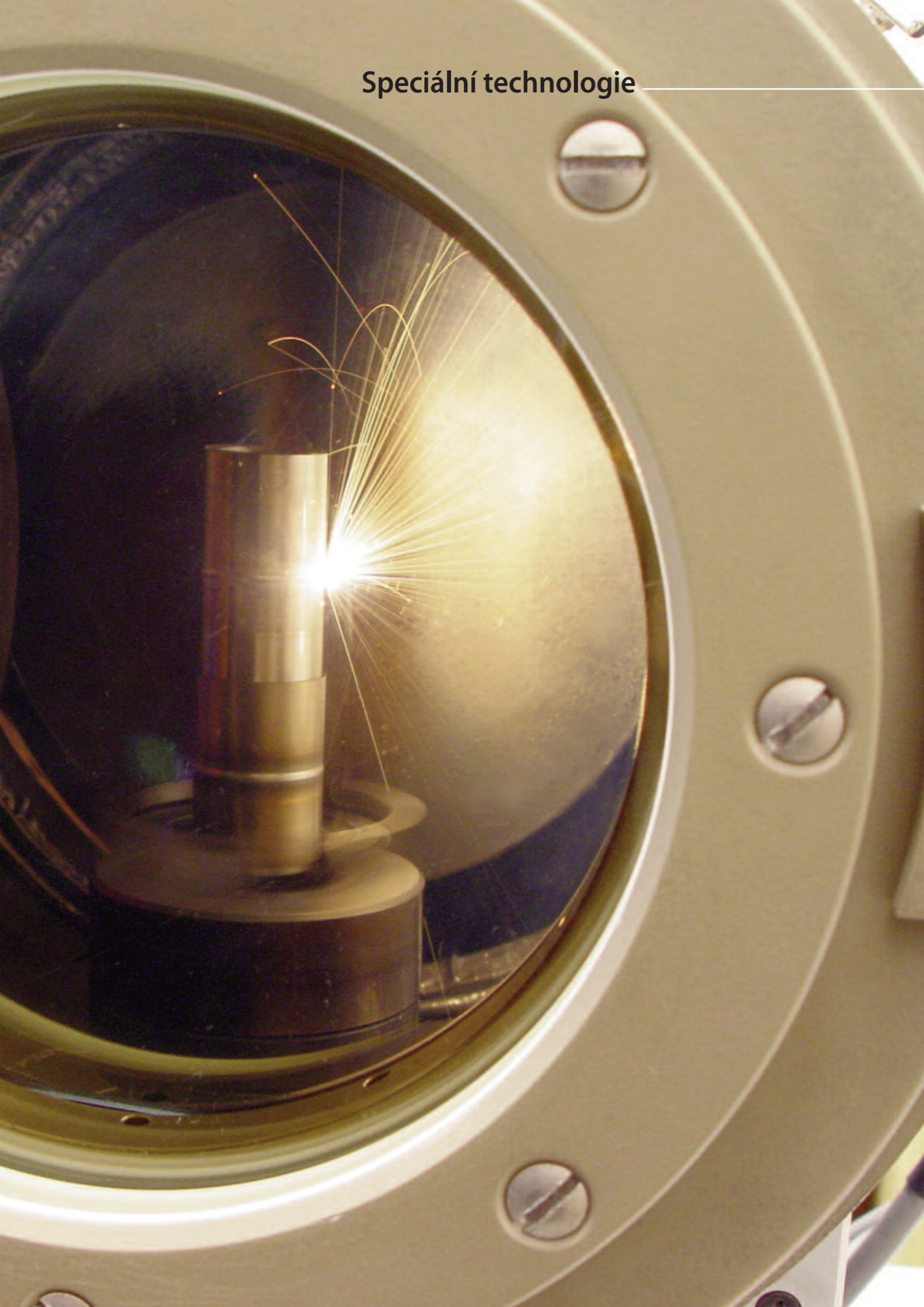
Aplikační příklady laserových svazků fokusovaných do stop o mikrometrovém průměru:

- Výrazný nárůst intenzity fokusovaného svazku v bezprostředním okolí ohniska lze využít k inicializaci fotopolymerace, tedy chemické reakce, během které z kapalného monomeru vznikne tuhý polymer. Pohybem ohniska laserového svazku v monomeru lze vytvářet i velmi komplikované mikrostruktury.
- Pulzní fokusované laserové svazky vhodné vlnové délky nabízejí řadu možností, jak využít jejich destruktivních účinků (mikroablace) k objemové či povrchové modifikaci objektů včetně zásahů uvnitř živých buněk.

Kontakt: prof. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D. ■ e-mail: zemanek@isibrno.cz ■ tel: 541 514 202
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/omitec>



Příklad mikrostruktur vytvořených fotopolymerací. Tenká dutá do sebe vnořená vlákna měla tloušťku stěny 2 μm a byla dlouhá až několik centimetrů. Sloupce obrázků porovnávají tvar a rozměry protilehlých konců vláken vzdálené několik centimetrů.



Skupina *speciálních technologií* se zabývá:

- Vývojem technologií a konstrukcí technologických zařízení, která představují nezbytné zázemí pro stavbu *elektronově optických přístrojů* pracujících ve vakuovém, resp. ultra-vysokovakuovém prostředí. Mezi tyto technologie patří především **svařování a obrábění elektronovým svazkem, pájení ve vakuu, vývoj a výroba vakuových průchodek** apod.
- **Magnetronovým naprašováním**, kterým vytváří povlaky např. Al, Si, Mo, Ti, Ni, Ag, C, ITO, Nb, W, TiN, Si₃N₄, SiO₂ a jejich kombinací. Skupina zvládla přípravu multivrstvých systémů pro rentgenovou optiku, tvořených dvouvrstvami nanometrových tloušťek o sumární tloušťce desetin mikrometru s přesností v oblasti desetin nanometru.
- **Otěrzdornou ochranou nástrojů** perspektivními povlaky uhlíku, nitridu uhlíku, nanostrukturovaných multivrstev a nanokompozitů na bázi uhlíku.
- **Charakterizací tvrdých otěrzdorných povlaků** dynamickým impaktním testerem (jako jedno ze dvou pracovišť v ČR).

Svařování nerezové trubky pomocí elektronového svazku (str. 18).

Svařování elektronovým svazkem

Svařování elektronovým svazkem patří mezi tavné způsoby spojování materiálů a používá se k němu fokusovaný svazek elektronů s vysokou energií 30 keV až 200 keV. Při dopadu elektronů je jejich kinetická energie přeměněna v teplo, které lokálně ohřívá svařované součásti. Svařování probíhá zpravidla bez přídavného materiálu a v závislosti na parametrech aparatury lze na jeden průchod spojovat značné tloušťky materiálu. Celý proces probíhá ve vakuu o tlaku 10^{-2} až 10^{-3} Pa, které funguje jako „ochranná atmosféra“ umožňující svařovat i reaktivní kovy (např. Ti). Nelze však svařovat kovy s vysokou tenzí par (např. Zn, Cd, Mg). Přes vysokou finanční náročnost si elektronové svařování svými charakteristickými a unikátními vlastnostmi vydobylo pevné postavení v mnoha významných průmyslových odvětvích, jako např. v automobilovém, jaderném, kosmickém a leteckém průmyslu.

K hlavním výhodám elektronového svařování patří:

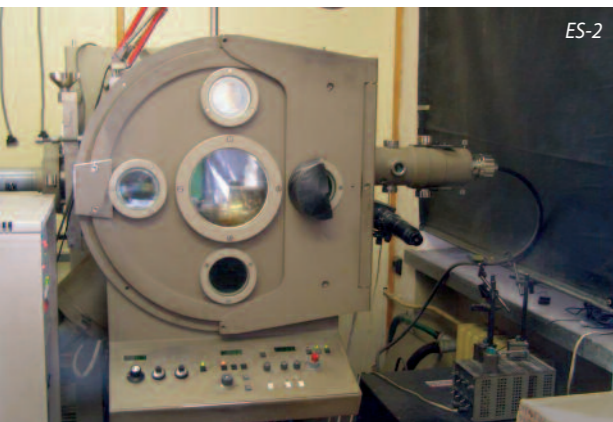
- vysoký poměr hloubky svaru k jeho šířce, blíží se hodnotě 25:1, a to s charakteristickým nožovým průřezem,
- hluboké průvary na jeden průchod (až desítky centimetrů),
- svařování kovových materiálů bez ohledu na jejich tavicí teplotu,
- minimální rozměr tepelně ovlivněné oblasti a následně i její minimální deformace,
- vysoká produktivita svařování,
- čistota svaru, vakuové přetavení kovu.

Pracoviště ÚPT je vybaveno třemi elektronovými svářečkami vlastní výroby, které mají válcovou komoru a manipulátor zajišťující rotaci a vertikální posuv svařované součásti. U všech aparatur může být poloha elektronového děla na komoře volena tak, že jeho osa je buď kolmá na osu rotačního manipulátoru nebo s ní rovnoběžná a je tedy možné provádět radiální nebo axiální svary. Technické parametry systémů jsou následující:

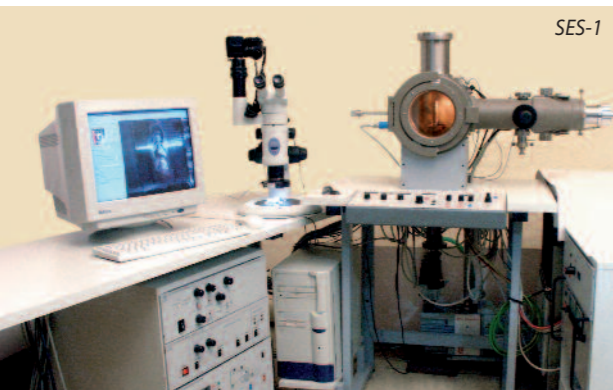
- Modernizovaná elektronová svářečka ES-2 s komorou o průměru 600 mm a hloubce 490 mm je vybavena elektronovou tryskou 50 kV/1,5 kW.
- Stolní elektronová svářečka SES-1 s komorou o průměru 235 mm a hloubkou 165 mm umožňuje zvětšit komoru pomocí nástavců a obsahuje elektronovou trysku 50 kV/1,5 kW. Svařenec je možné pozorovat v režimu rastrovacího elektronového mikroskopu (REM režim).

Modernizovaná elektronová svářečka ES-2, stolní elektronová svářečka SES-1 a experimentální stolní elektronová svářečka MEBW-60/2-E.

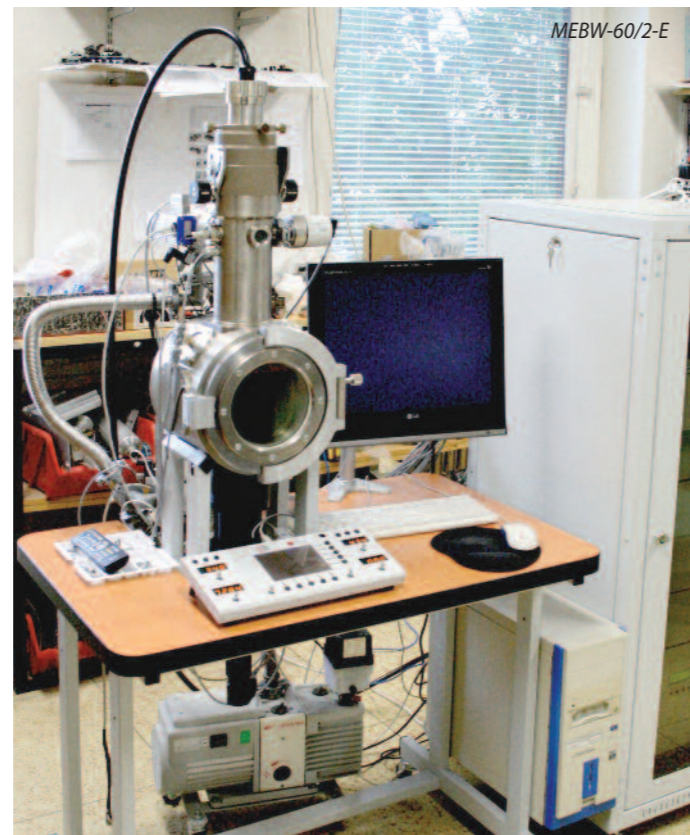
- Experimentální stolní elektronová svářečka MEBW-60/2-E má komoru se stejnými rozměry jako SES-1, ale je vybavena elektronovou tryskou 60 kV/2 kW. Elektronika svářečky je plně digitalizovaná a přes ovládací pult lze svařovat v několika základních režimech. Ovládání procesu přes osobní počítač umožňuje i pokročilé režimy jako svařování po křivce a gravírování (lokální řízené přetavování povrchu).



ES-2



SES-1



MEBW-60/2-E

Aplikace elektronové svářečky

- vakuové komponenty (fitinky, ventily),
- komponenty pro jadernou energetiku (např. tepelné výměníky),
- kombinace kovů s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi (např. hliník s titanem, niklem nebo stříbrem, měď s nerezí, titan s ocelí apod.),
- svařování těžko tavitelných kovů jako molybden nebo wolfram,
- svařování reaktivních kovů jako zirkon apod.

Kontakt: Ing. Martin Zobač, Ph.D. ■ Ing. Ivan Vlček, Ph.D. ■ e-mail: zobac@isibrno.cz ■

iv@isibrno.cz ■ tel: 541 514 297

Podrobnější informace: <http://ebt.isibrno.cz/Svarovani>

Vakuové pájení a žihání

Skupina speciálních technologií disponuje rozsáhlými zkušenostmi s vakuovým pájením, a to např. stříbrem, mědí nebo niklovou pájkou. Ke spojování kovů s křehkými nekovovými materiály zavedla pájení tvárnými aktivními pájkami. Totéž zařízení se využívá i k žihání součástek ve vakuu.

Pracoviště ÚPT disponuje dvěma vakuovými pecemi s následujícími parametry:

Modernizovaná vakuová pec PZ 810 z produkce Tesly Rožnov:

- max. rozměry vsázky: průměr 350 mm, výška 490 mm,
- max. dlouhodobá teplota 1400°C, molybdenový topný a stínící systém,
- vakuum 5×10^{-2} Pa až 1 Pa podle typu vsázky a pracovní teploty,
- IR ohřev molybdenovým topným košem,
- maximální rychlost nárůstu teploty 1500°C za hodinu,
- chlazení bez použití inertního chladiva (přirozené ve vysokém vakuu),
- doba ochlazení okolo 8 hodin.

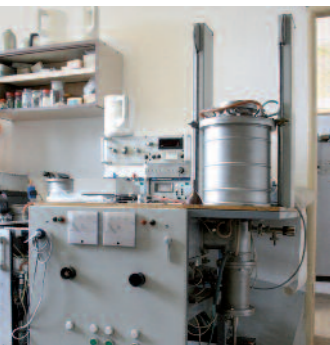


Modernizovaná vakuová pec PZ 810.

Příklady vakuových komponent svařovaných elektronovým svazkem



Příklady použití vakuového pájení.



Laboratorní pec vlastní konstrukce, vhodná pro pájení a tepelné zpracování menších součástek:

- rozměry vsázky: průměr 150 mm, výška 200 mm,
- možnost nastavení komory pro pájení trubek o max. průměru 18 mm,
- maximální teplota 1100°C.

Kontakt: Ing. Martin Zobač, Ph.D. ■ Ing. Ivan Vlček, Ph.D. ■ e-mail: zobac@isibrno.cz
iv@isibrno.cz ■ tel: 541 514 297

Podrobnější informace: <http://ebt.isibrno.cz/VakuovePajeni>

Laboratorní pec vlastní konstrukce.

Vývoj a výroba vakuových průchodek

Skupina speciálních technologií vyvíjí a vyrábí metodou skleněného zátavu (zátav s kovarovým sklem nebo tlakový zátav) vakuové elektrické průchodky, které lze přivařit na příruby. Na pracovišti jsou dostupné následující kategorie a typy průchodek:



- jednokolíková vakuová průchodka pro teplotní rozsah -196°C až +400°C,
- sedmi- a dvanácti-kolíkové průchodky pro teplotní rozsah -196°C až +400°C,
- proudové průchodky pro teplotní rozsah -60°C až +300°C,
- vysokotlaké průchodky pro jaderný průmysl pro teplotní rozsah -60°C až +300°C,
- zákaznické průchodky.

Aplikace průchodek

- různá vakuová zařízení včetně ultravysokovakuových (UHV) jako elektronové mikroskopy apod.,
- jaderná energetika.

Kontakt: Ing. Martin Zobač, Ph.D. ■ Ing. Ivan Vlček, Ph.D. ■ e-mail: zobac@isibrno.cz
iv@isibrno.cz ■ tel: 541 514 297

Podrobnější informace: <http://ebt.isibrno.cz/VakuovePruchodky>

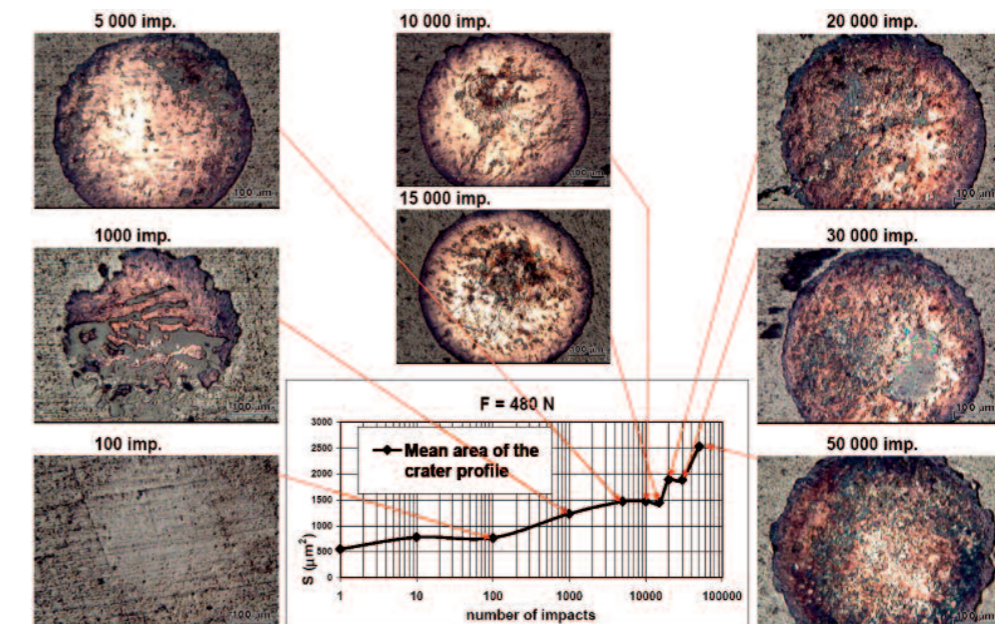
Depozice tenkých vrstev magnetronovým naprašováním a jejich dynamické rázové testování

Tenké vrstvy připravujeme pomocí vysokofrekvenčního magnetronového naprašování na komerčním zařízení LEYBOLD-HERAEUS Z 550. Toto zařízení umožňuje ovrstvovat malé série nebo jednotlivé kusy podložek s maximálním průměrem 100 mm a tloušťkou 20 mm. Naprašovačka je vybavena třemi magnetrony s průměrem terče 152 mm pro naprašování až tří různých materiálů během jednoho vakuového cyklu. Pro speciální účely je možné přivést na podložku elektrické napětí (tzv. naprašování s předpětím, iontové leptání) a podložku lze před depozicí ohřívat.

Aplikace magnetronového naprašování

- Deponujeme **multivrstvy pro EUV a rentgenovou optiku** v kombinacích dvojevrstev nikl/uhlíkové, molybden/křemíkové, skandium/křemíkové a.j., vhodné pro záření v rozmezí vlnových délek **od 12 nm do 50 nm**. Maximální hodnoty odrazivosti pro kolmý dopad dosahují až 70 %.
- Pro velmi krátké vlnové délky rentgenového záření (pod 4 nm) nemohou být multivrstvé systémy použity kvůli nerovnostem rozhraní, která způsobují značnou degradaci odrazivosti. Přesto jsou periodické multivrstvy použitelné pro šikmý dopad, při němž poskytují odrazivost mnohem vyšší než monovrstvé povlaky.

V současné době jsme jedním ze dvou pracovišť v ČR, která nabízejí **charakterizaci tvrdých otěruvzdorných nanokompozitních a multivrstevných povlaků dynamickým rázovým testerem**. Během testování je povrch vzorku cyklicky zatěžován úderem wolfram-karbidovou kuličkou, simulujícím dynamické namáhání systému vrstva/podložka například u razníků, obráběcích nástrojů, povlakovaných částí automobilových motorů a další.

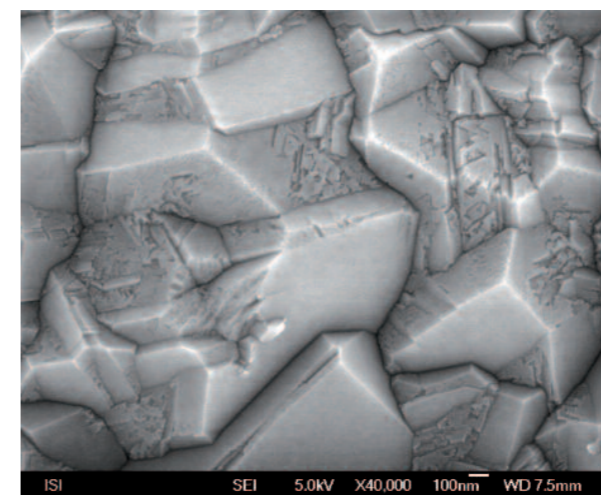


Kontakt: Ing. Jaroslav Sobota, CSc. ■ e-mail: sobota@isibrno.cz ■ tel: 541 514 256

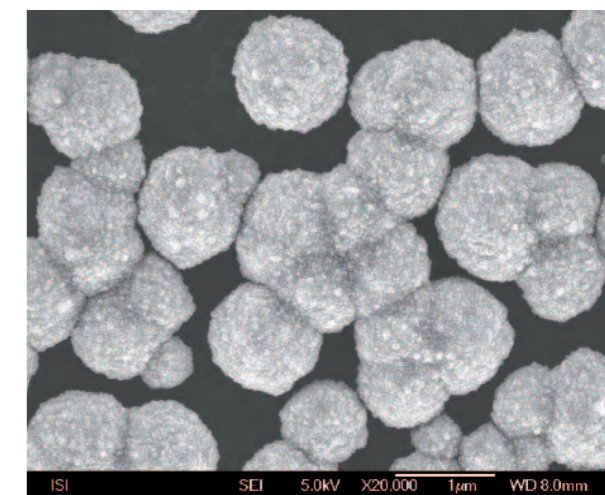
Podrobnější informace: <http://ebt.isibrno.cz/Naprasovani>

Elektronová mikroskopie je jednou z nejčastěji používaných technik zkoumání hmoty s extrémně širokým rejstříkem aplikací v materiálových i biomedicínských vědách. Laboratoř elektronové mikroskopie (LEM) disponuje rozsáhlými zkušenostmi ve vývoji a užití přístrojové techniky stejně jako v metodologii elektronové mikroskopie. V současné době nabízí několik unikátních metod zobrazování a analýzy povrchů pevných látek s vysokým prostorovým rozlišením.

Nanostruktura katalyzátoru
(s. 24).

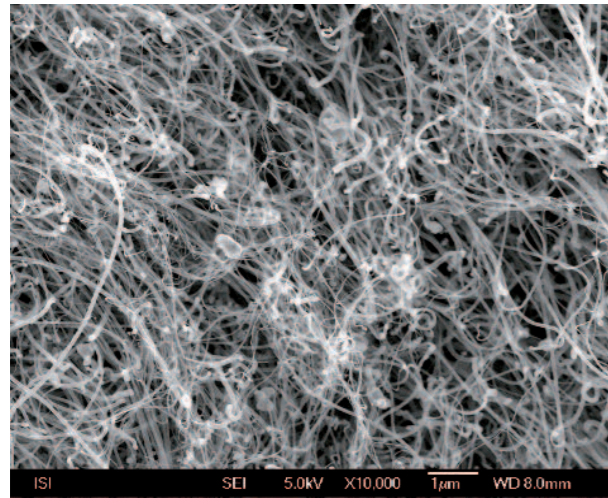


Povrch syntetické diamantové vrstvy.

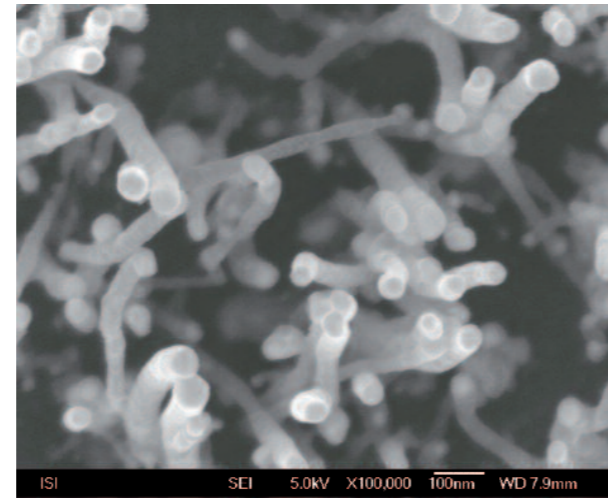


Shluky diamantových zrn mikrometrových rozměrů.

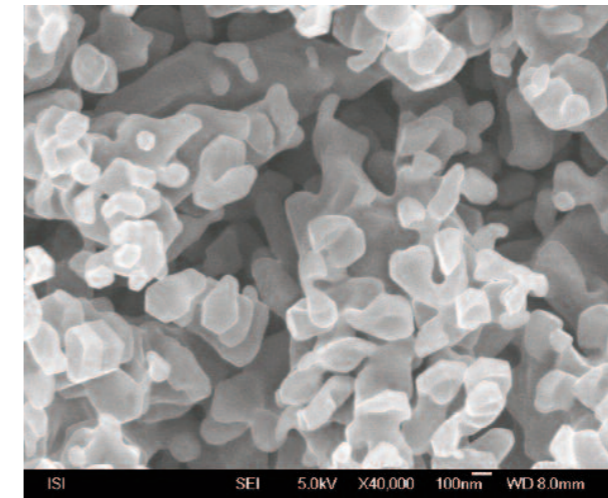
- Špičkového prostorového rozlišení je dosahováno pomocí Schottkyho nebo studeného autoemisního zdroje elektronů, instalovaných v rastrovacích elektronových mikroskopech MAGELLAN 400 respektive JEOL JSM 6700 F. MAGELLAN 400 dosahuje rozlišení 0,8 nm při energii elektronů 2 keV a 1,5 nm při energii elektronů 200 eV a je vybaven energiově disperzivním analyzátozem rtg záření, EBSD a katodoluminiscencí. JEOL JSM 6700F dosahuje rozlišení 1 nm při energii elektronů 15 keV a je vybaven energiově disperzivním analyzátozem rtg záření.
- Metodologie rastrovací elektronové mikroskopie při velmi nízkých energiích byla vyvinuta v ÚPT a příslušné přístavky jsou instalovány na několika mikroskopech v LEM. Metoda umožňuje udržet rozlišení obrazu až do libovolně nízké energie, což u komerčně dostupných přístrojů není možné. V oblasti velmi nízkých energií elektronů se setkáváme s množstvím nových kontrastních mechanismů odhalujících elektronickou a krystalickou strukturu preparátu.
- Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie (EREM) umožňuje studovat vzorky živé hmoty a materiálů za zvýšeného tlaku okolního plynu až do 3000 Pa. V takovém prostředí nedochází k nabíjení nevodivých vzorků a dokonce i vlhký materiál je možné ochránit před vyschnutím. Přístroje pro EREM nicméně mohou pracovat i za standardních podmínek vysokého vakua.
- Elektronová mikroskopie v ultravysokém vakuu řádu 10^{-8} Pa umožňuje studovat atomově čisté povrchy, které je možné přímo v přístroji očistit bombardováním iontovým svazkem. Toto zařízení nabízí pro nízkoenergiovou mikroskopii zvláště vynikající podmínky.
- LEM má k dispozici standardní preparační techniky jako je napařování a napařování povrchových vrstev, ztenčování pomocí iontového svazku, přesné řezání. Pro doplňkové světelně optické zobrazení se používá konfokální mikroskop Olympus LEXT 3100.



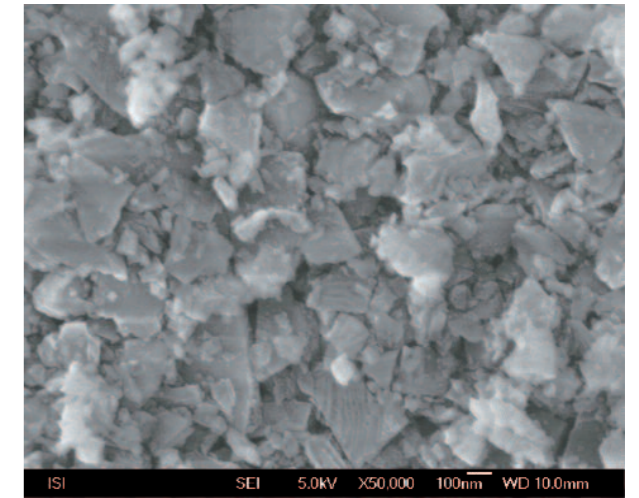
Struktura náhodně rostoucích uhlíkových nanotrubic.



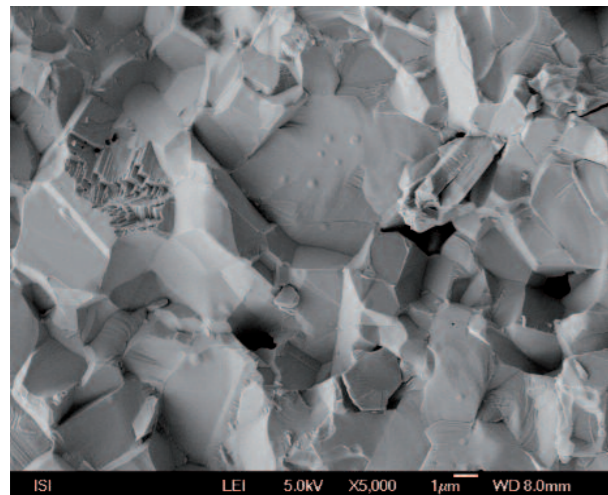
Zvětšená struktura uhlíkových nanotrubic.



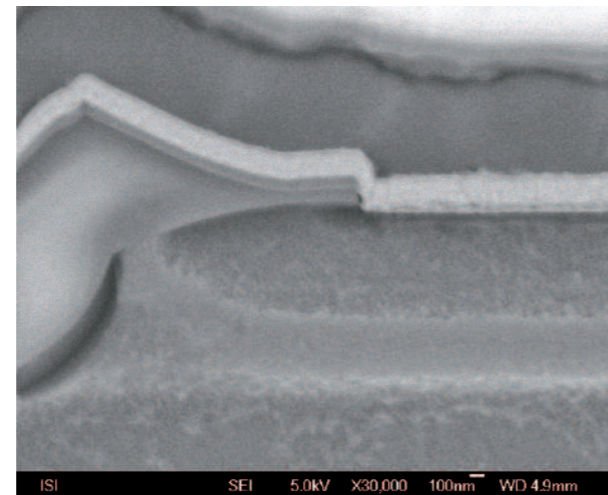
Oxid železa deponovaný na povrch křemíku.



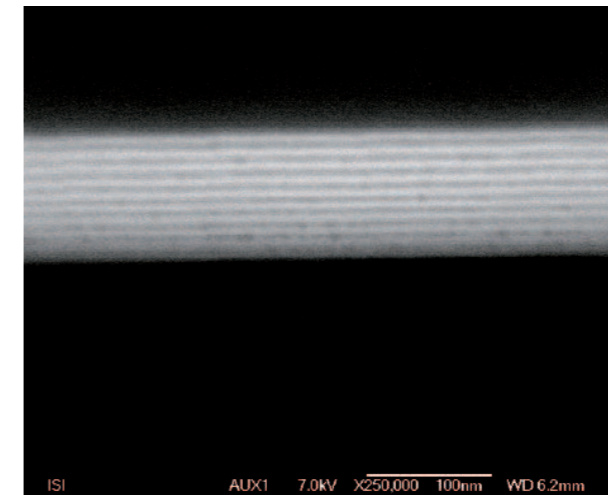
Průmyslový diamantový prášek k opracování tvrdých materiálů.



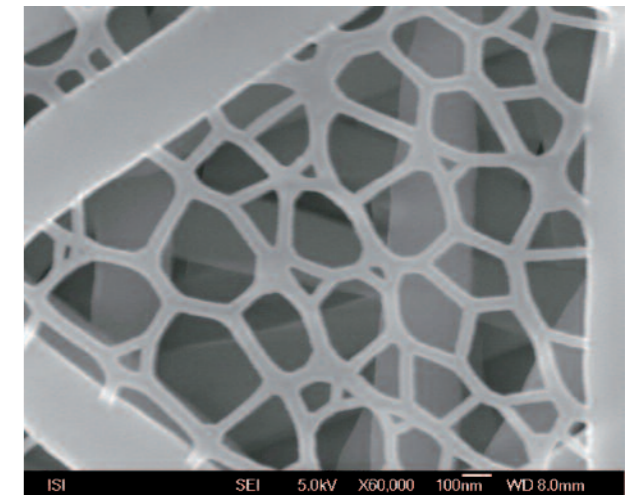
Lomová plocha korundové keramiky.



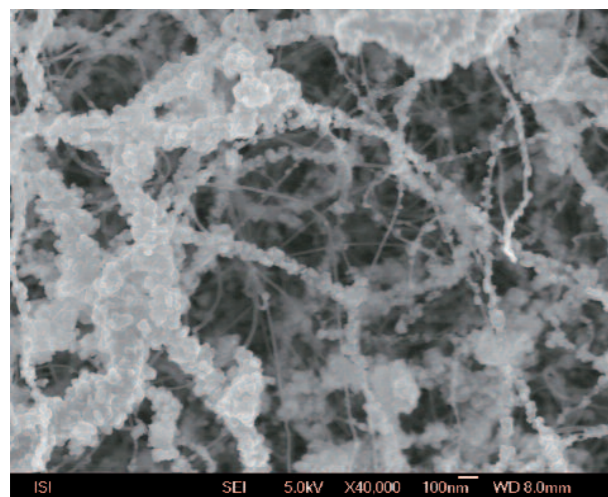
Příčný řez mnohavrstvou polovodičovou strukturou.



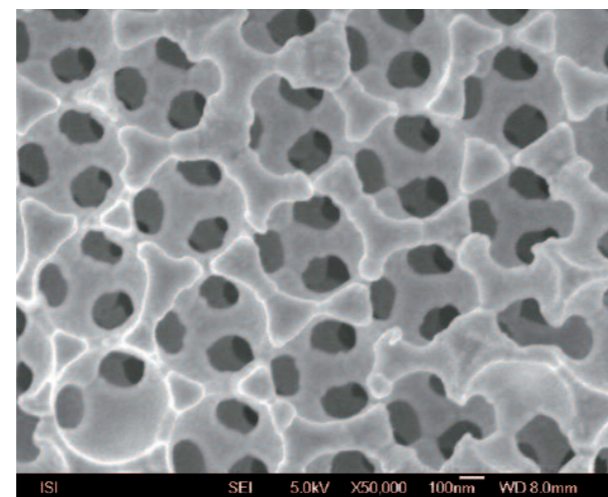
Příčný řez mnohavrstvou nanostrukturou Mo-Si.



Textilie vyrobená z nanovláken.



Nanostruktura na bázi uhlíku s částicemi železa na křemíkové podložce.



Nanostrukturované zlaté elektrody elektrochemických čidel.

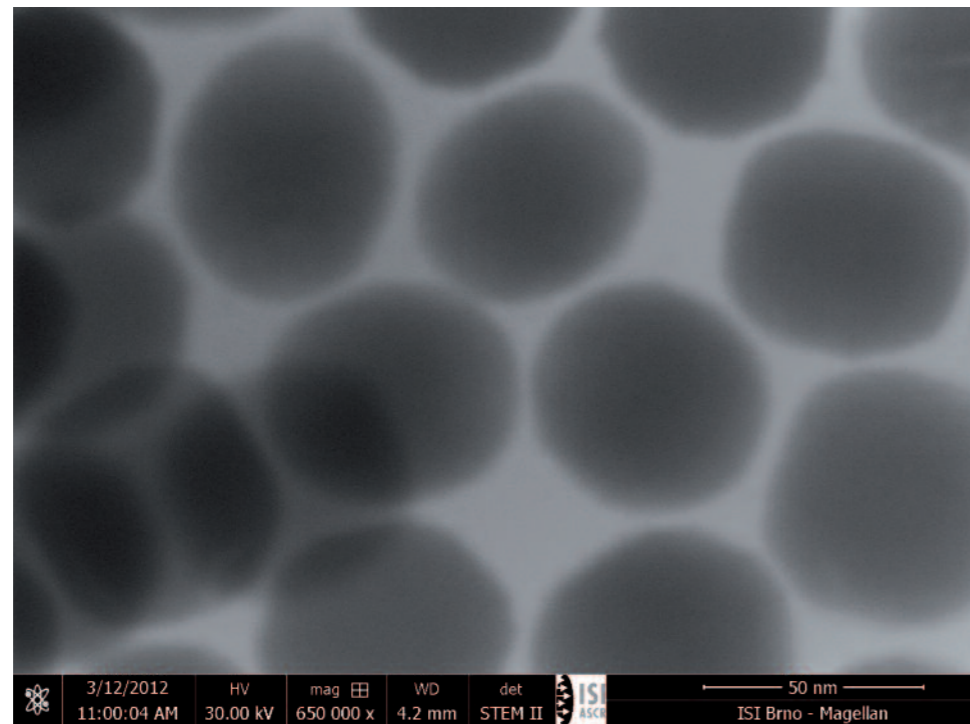
Vysokorozlišovací rastrovací elektronová mikroskopie s analytickými technikami

Rastrovací elektronová mikroskopie vysokého rozlišení nachází uplatnění v téměř všech vědeckých odvětvích. V kombinaci s rtg mikroanalýzou, EBSD a katodoluminiscencí je zdrojem informací o topografii povrchu preparátu, jeho krystalografické orientaci a lokálním kvantitativním chemickém složení.

Výhody a příklady aplikací:

- Zobrazování pomocí detektorů prošlého i odraženého signálu poskytuje **komplexní informaci** o preparátu.
- Povrch lze pozorovat při velmi nízkých energiích elektronů až do 1 eV při vysokém rozlišení.
- **Sekundární elektrony** informující o topografii povrchu jsou zachycovány dvěma vzájemně se doplňujícími detektory.
- Zpětně odražené elektrony jsou rovněž detekovány různými detektory s možností zachytit veškerou emisi tohoto signálu včetně **elektronů odražených pod velkými úhly**, které jsou v konvenčních přístrojích opomíjeny.

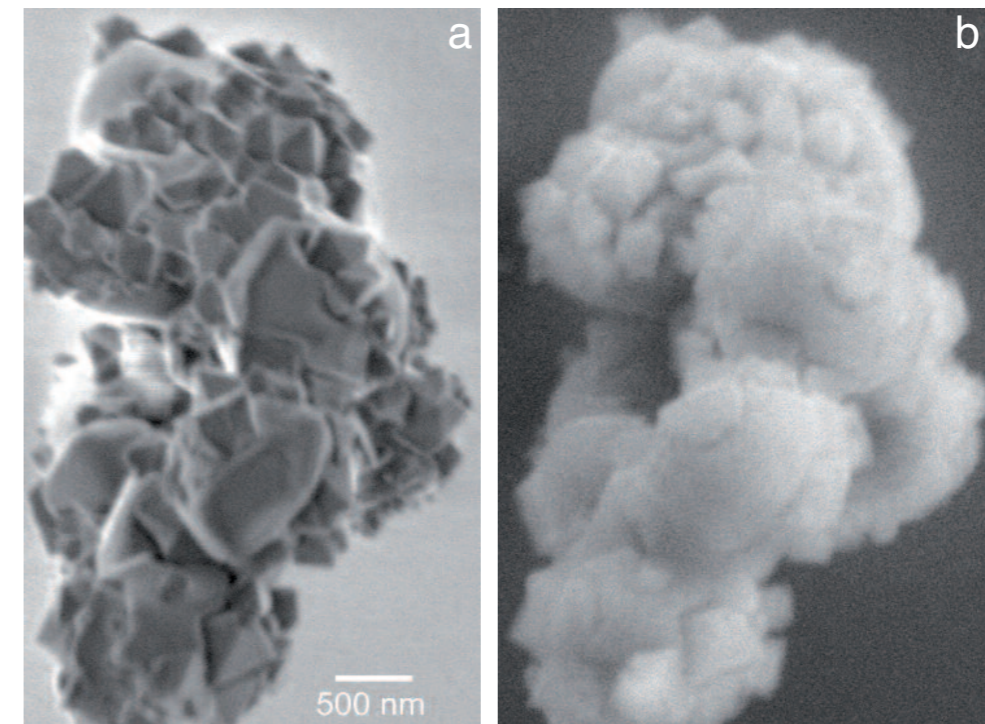
Částice NaYF_4 zobrazené
STEM detektorem.



- **Prošlé elektrony** jsou detekovány segmentovým detektorem STEM, schopným zobrazovat v režimech světlého pole (BF), temného pole (DF) a temného pole pod vysokým úhlem (HAADF). Detektor má vysokou sběrovou účinnost v širokém rozsahu energií primárního svazku od desítek eV do 30 keV.
- **Subnanometrové rozlišení**, dosahované **bez použití korektoru optických vad**, je plně dostačující pro zkoumání prakticky všech mikro- a nano-struktur.
- Kvantitativní chemické složení (Apolo X nebo Inca energy 350) v kombinaci se zobrazením při vysokém rozlišení ponechává jen málo neznámého o jakémkoliv vzorku.
- **EBSD detektor** (Hikari) umožňuje určit krystalografickou orientaci, studovat defekty, identifikovat fáze a hranice zrn u mnoha materiálů.
- **Katodoluminiscenční detektor** Mono CL 4 detekuje signál z ultrafialové, viditelné i infračervené oblasti emitovaný například minerály, biologickými vzorky, polovodiči, ale i vzorky s omezeným objemem jako jsou nanovlákna, tenké filmy a nanočástice. Emisní spektra jsou zobrazována s velmi vysokým prostorovým rozlišením.

Kontakt: Ing. Filip Mika, Ph.D. ■ e-mail: mika@isibrno.cz ■ tel: 541 514 298

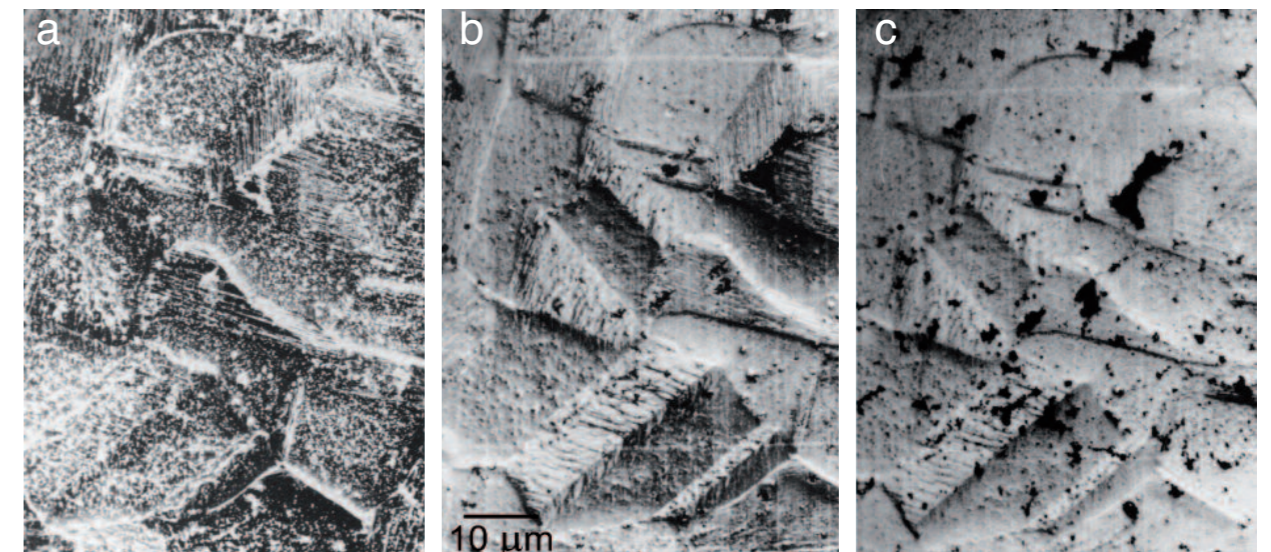
Podrobnější informace: <http://www.lem.isibrno.cz>



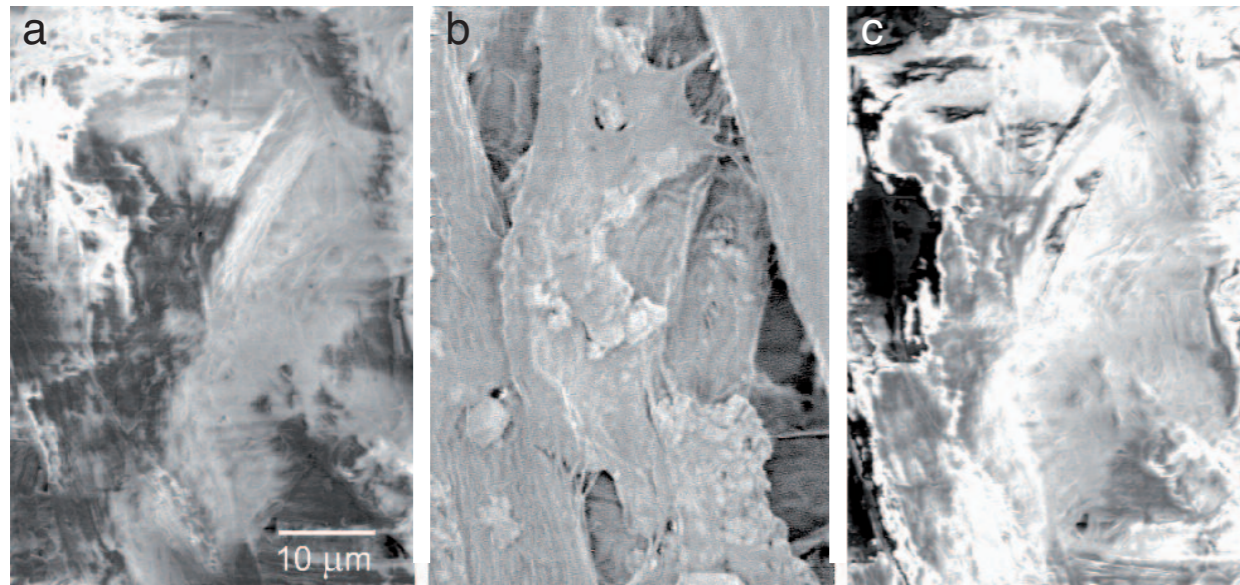
Krystaly spinelu vyrostlé
na povrchu keramiky
v kompozitu s kovovou maticí
založenou na hliníkové slitině:
(a) zobrazení při 1 keV
pomocí úplné emise zpětně
odražených elektronů,
(b) standardní mikrosnímek
při 10 keV.

Rastrovací mikroskopie pomalými elektrony

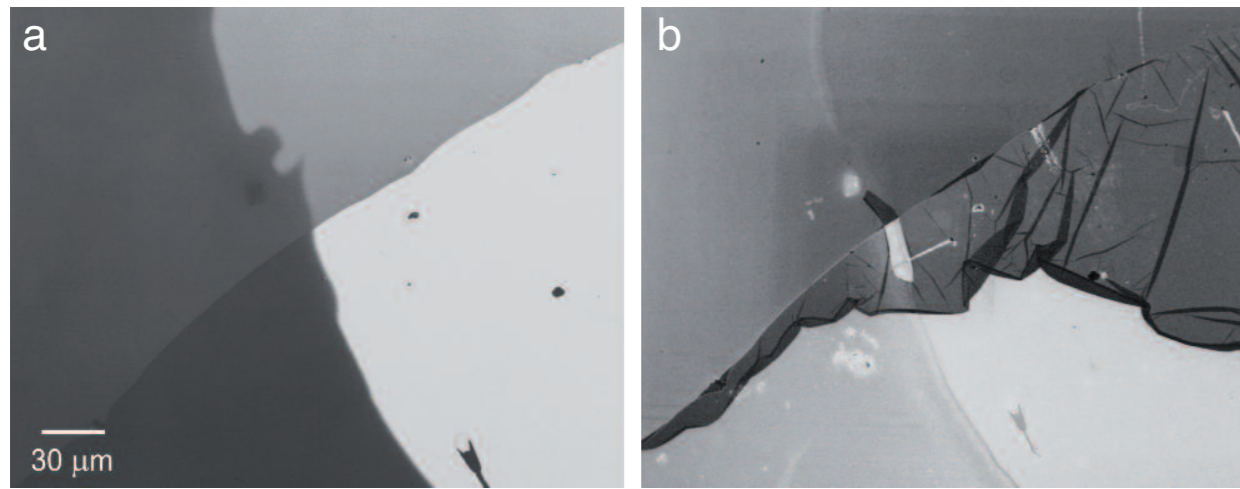
Rastrovací mikroskopie **pomalými elektrony** využívá princip tzv. **katodové čočky brzdící elektronový svazek** bezprostředně před povrchem vzorku. Elektronový svazek je tedy zformován a zaostřen na vysoké energii a díky tomu stopa dopadajícího svazku určující rozlišení obrazu může zůstat velice malá pro všechny energie elektronů od 15 keV až do 1 eV. Unikátní řešení detektoru nabízí **velmi vysokou účinnost** sběru signálu a **vysoké zesílení** i při nejnižších energiích.



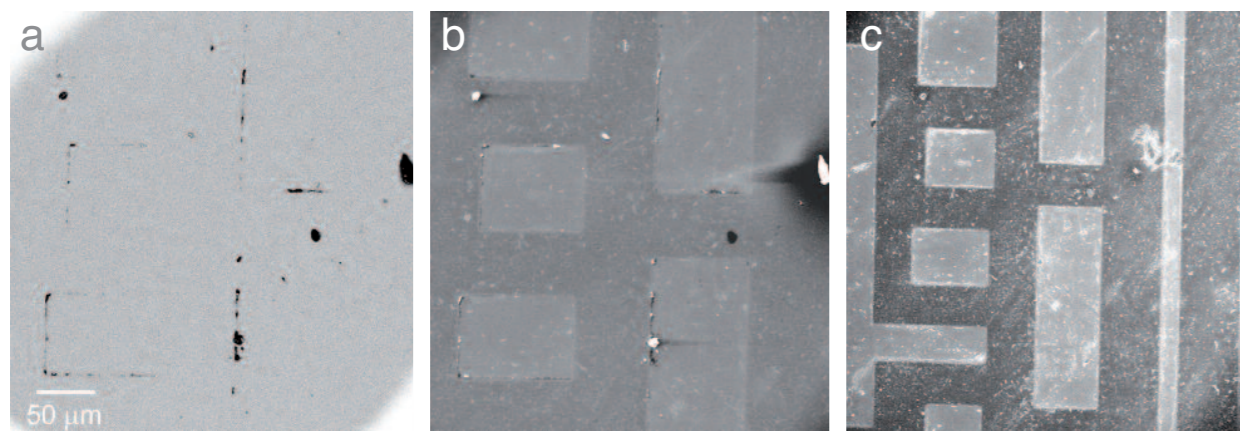
Povrch polykrystalické mědi, zobrazený při energii elektronů 5 keV (a), 200 eV (b) a 10 eV (c).



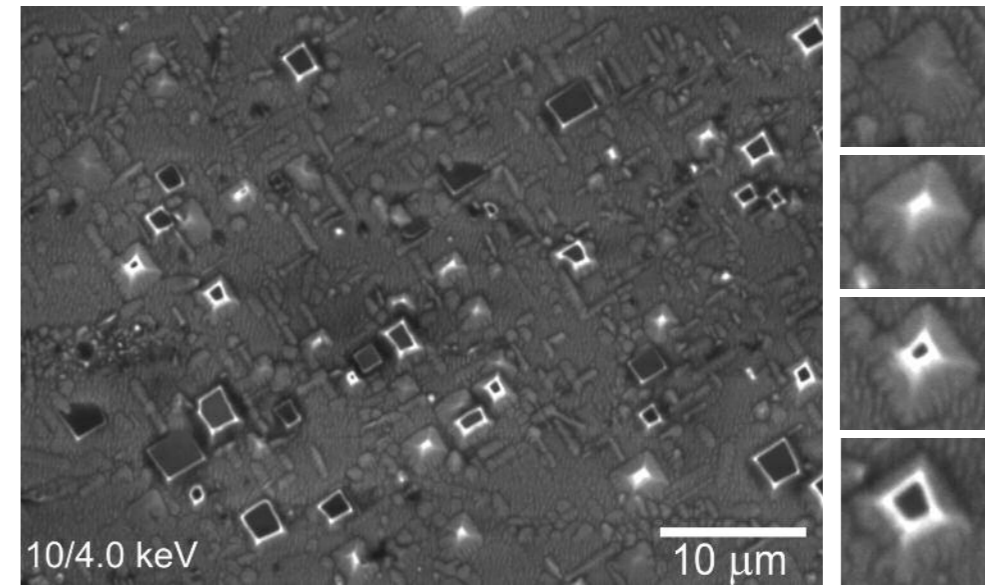
Povrch kancelářského papíru v jeho původním nevodivém stavu, zobrazený pod (a), při (b) a nad (c) optimální energii elektronů pro potlačení nabíjení.



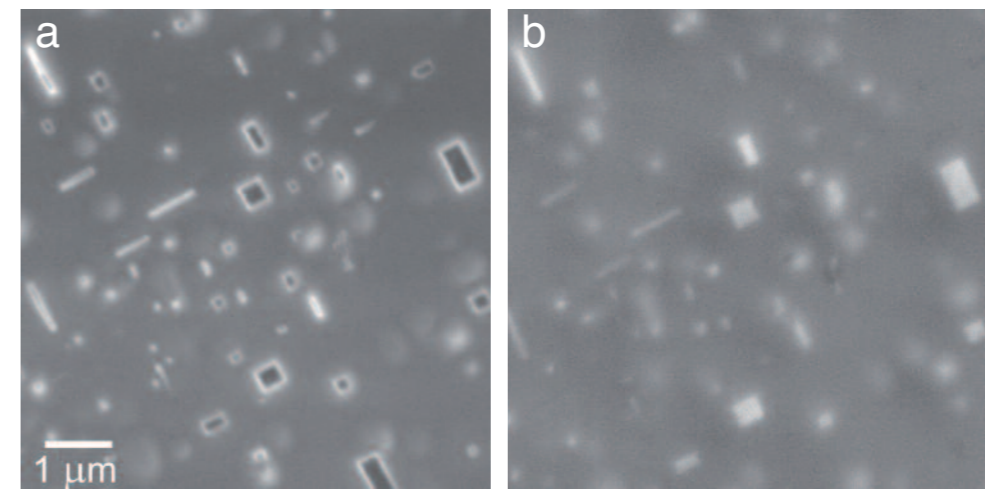
Mnohavrstvá struktura členěná do obrazců, zobrazená při různých povrchových citlivostech řízených energií elektronů; mikrosnímek při energii 9800 eV (a) a 850 eV (b).



Dopované oblasti p-typu na křemíkovém substrátu n-typu, zobrazené pomocí tradičních detektorů (a, b) a s použitím režimu katodové čočky (c).



Precipitáty ve slitině Al-Mg-Si-Ag, zobrazené s využitím celkové emise zpětně odražených elektronů.

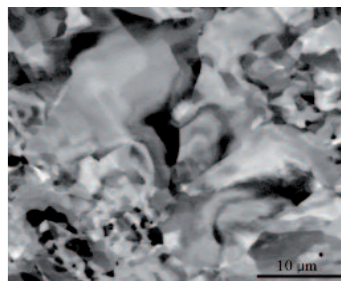


Precipitáty ve slitině Al-Mg-Si-Ag, zobrazené při optimální energii elektronů (a) ve srovnání s tradičním zobrazením (b).

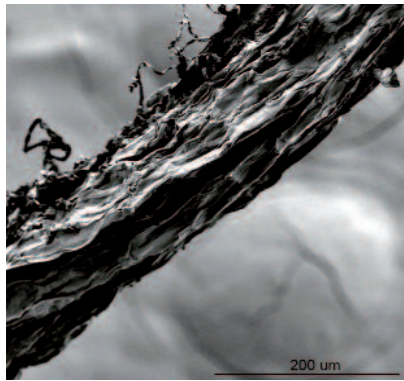
Výhody a příklady aplikací:

- Zmenšený prostor interakce pomalých elektronů uvnitř vzorku a tedy **zlepšené rozlišení** pro reálné vzorky spolu se **zvýšenou povrchovou citlivostí**.
- Zvýšený signál sekundárních elektronů **zlepšující poměr signálu k šumu** obrazového signálu.
- Zobrazení **nevodivých preparátů** při optimální energii elektronů nevyvolávající lokální nabíjení ani ve vysokém vakuu.
- Hloubkové zkoumání vzorku pomocí **tomografie** založené na proměnné energii elektronů.
- Zobrazení dopantů v **polovodičích** a měření jejich hustoty.
- Nastavení energie elektronů na maximální **materiálový kontrast** pro konkrétní kombinace materiálů.
- Zachycování signálních elektronů odražených pod velkými úhly vůči optické ose, které přenášejí vysoký **krystalický kontrast**.

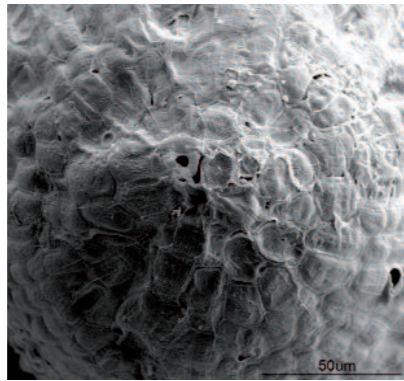
Kontakt: Ing. Ilona Müllerová, DrSc. ■ e-mail: ilona@isibrno.cz ■ tel: 541 514 300
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



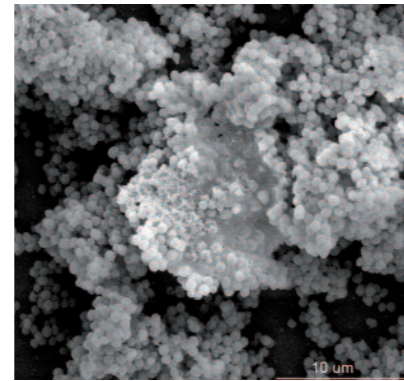
Vnitřní pnutí uvnitř krystalových zrn v za horka válcované feritické oceli.



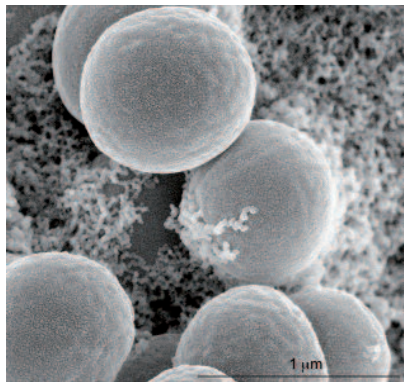
Kořen Elytrigia (Poaceae) vysušený na vzduchu.



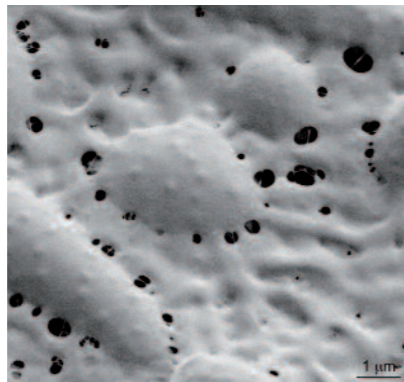
Kořenová špička Elytrigia (dehydratace, sušení CPD)



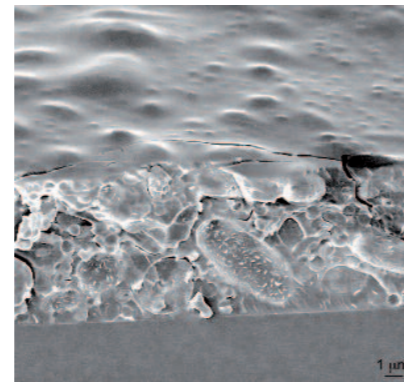
Bakterie Staphylococcus epidermidis a její biofilm (chemická fixace, dehydratace, sušení HMDS).



Biofilm S. epidermidis (kombinovaná příprava vzorku – chemická fixace, mrazové sušení).



Kvasinka Candida parapsilosis (mrazová příprava).



S. epidermidis a C. parapsilosis (mrazové lámání).

Elektronová mikroskopie biologických a jiných senzitivních vzorků

Vzorky pro elektronovou mikroskopii nesmí obsahovat vodu, protože jsou ve vysokorozlišovacím elektronovém mikroskopu vystaveny vysokému vakuu a z mokřých preparátů by se voda bouřlivě uvolňovala. Kromě degradace preparátu by rovněž srážky urychlených elektronů s molekulami vody značně ovlivnily obraz. Proto je nutné biologický materiál, který obsahuje vysoké procento vody, před pozorováním v mikroskopu upravit tak, aby žádnou vodu neobsahoval. Existuje několik přístupů, jak na vodu bohaté preparáty připravit:

- Vyschnutí substrátu na vzduchu (nejjednodušší, avšak v důsledku působení povrchového napětí dochází často k destrukci vzorku).
- Chemická fixáž (cílem je zachovat buněčnou ultrastrukturu s minimem změn oproti nativnímu stavu).
- Odvodnění vzorku – dehydratací (etanolová, acetonová řada) a sušení (pomocí látek s nízkým povrchovým napětím (např. HMDS) nebo s využitím kritického bodu (tzv. CPD)).
- Fyzikální (mrazové) metody, kde se nativní stav vzorku zachovává velmi rychlým zmrazením, velmi pomáhá následná sublimace vodních par a v současné době jde o nejdokonalejší způsob přípravy biologických a senzitivních vzorků s obsahem vody.
- Pokovení povrchu preparátu (např. Au, Pt, W) pro zvýšení signálu.

Kontakt: Ing. Vladislav Krzyžánek, Ph.D. ■ e-mail: krzyzanek@isibrno.cz ■ tel: 541 514 302

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>

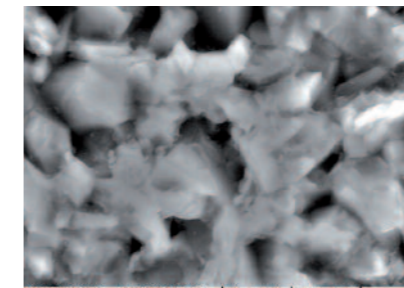
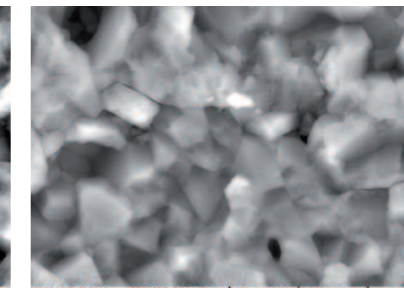
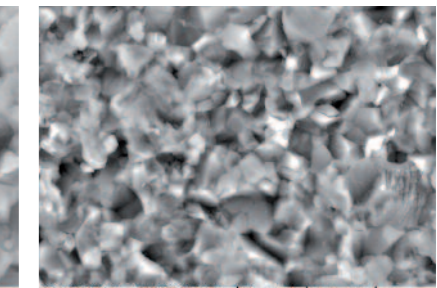
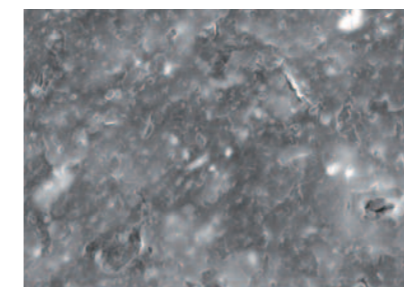
Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie a detekční systémy

Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie (EREM) představuje jednu z moderních mikroskopických metod umožňujících pozorování elektricky nevodivých vzorků bez nutnosti pokrytí jejich povrchu elektricky vodivou vrstvou. I vlhké vzorky živé i neživé přírody tak lze ochránit a pozorovat ve stavu blízcím se jejich přirozenému.

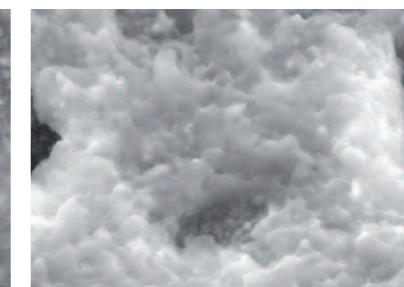
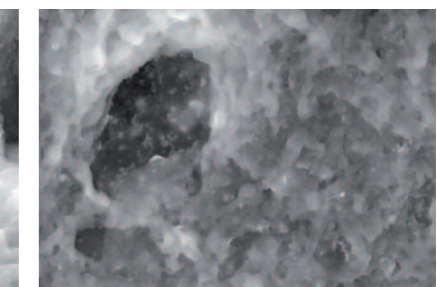
Je-li tlak plynů v komoře vzorku EREM vyšší než přibližně 200 Pa, dochází k ionizačním srážkám primárních i signálních elektronů s atomy a molekulami plynů v okolí preparátu a vzniklé ionty kompenzují nabíjení vzorku dopadajícími elektrony. Je-li v komoře vzorku tlak plynů, nejlépe vodních par, vyšší než 611 Pa (při teplotě 0°C), lze pozorovat objekty obsahující menší či větší množství vody bez jejich vyschnutí a poškození.

Možnosti EREM:

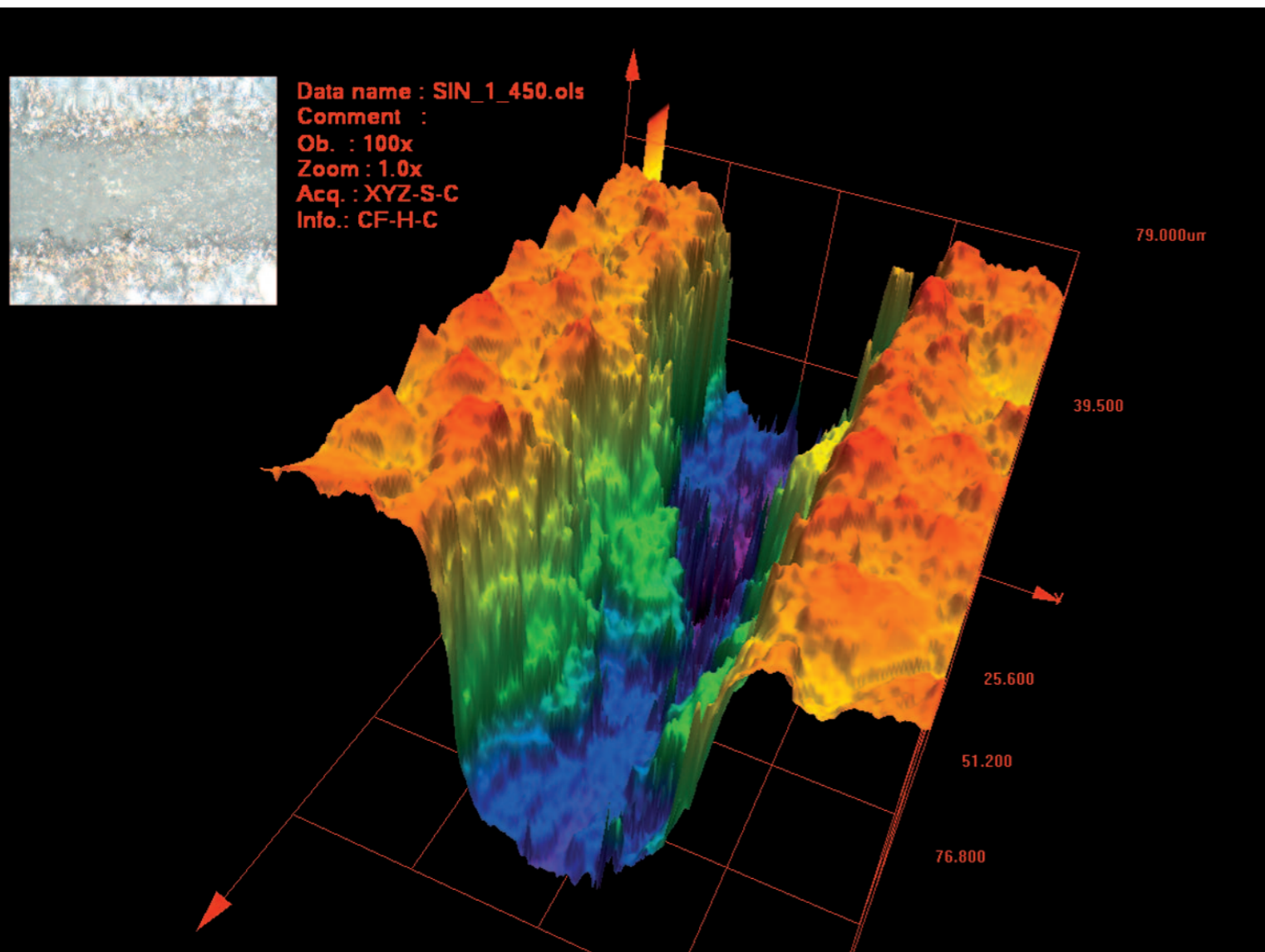
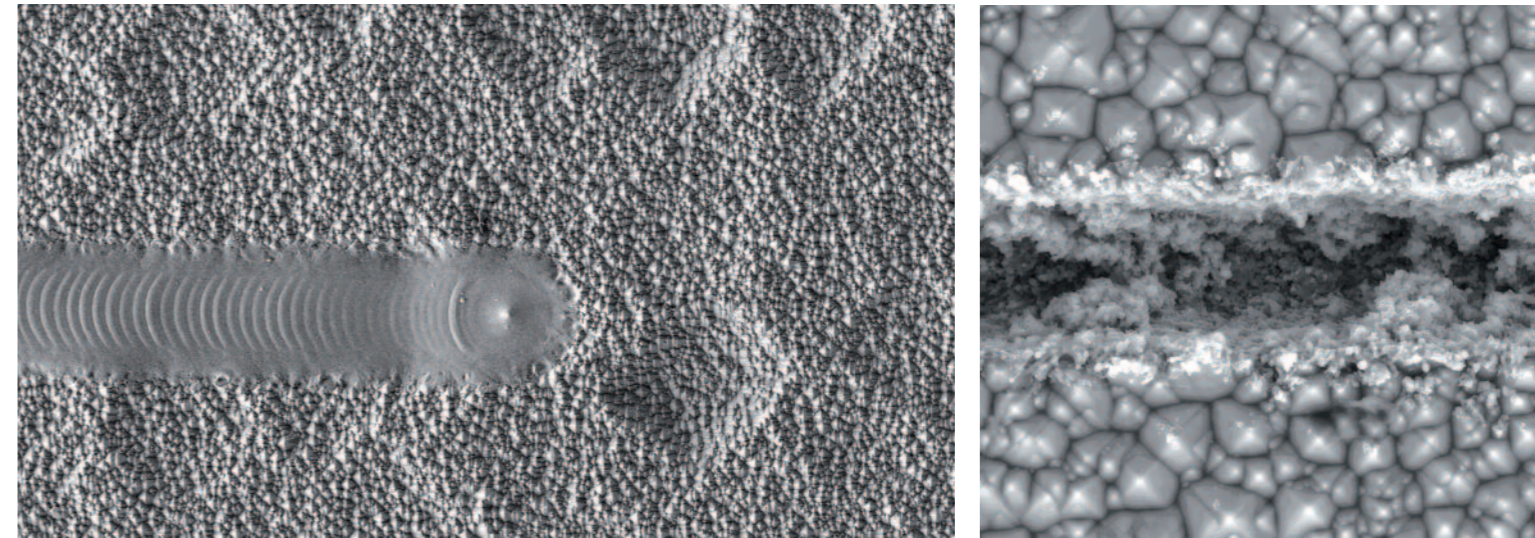
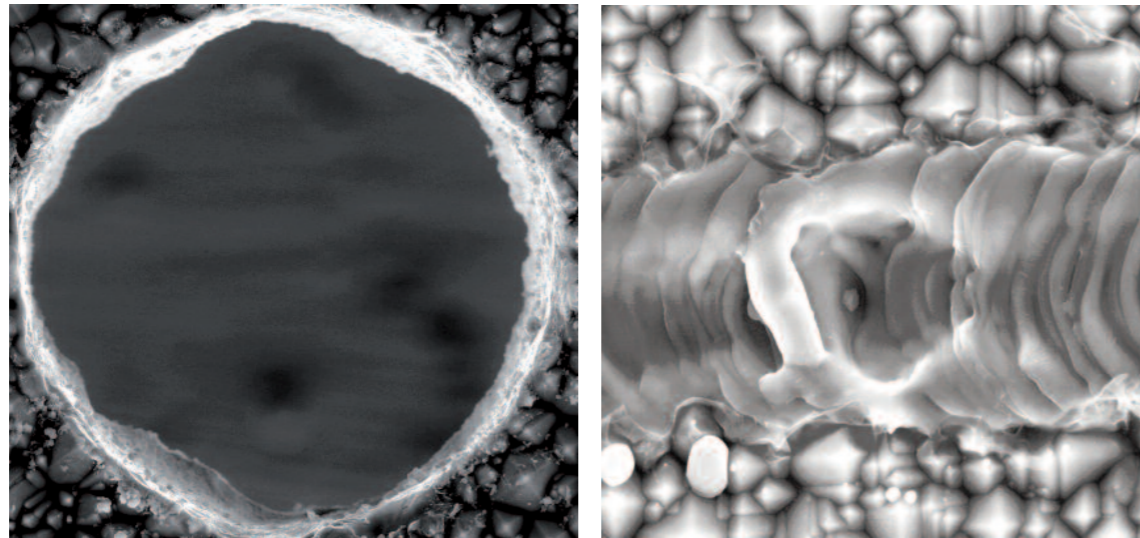
- Studium detailů **struktury povrchů** vodivých i nevodivých vzorků pocházejících z živé i neživé přírody o rozměrech nanometrů až milimetrů.
- Studium **vlhkých vzorků** a vzorků na fázovém rozhraní skupenství (procesy kondenzace, vypařování, tání, tuhnutí, atd.).
- Studium vzorků v podmínkách mechanického i tepelného namáhání v prostředí vakua, nebo různých druhů plynů s volitelnou vlhkostí.
- Studium materiálového, topografického, popř. napětového kontrastu (umožňujícího zobrazit nahromadění a rozložení elektrického náboje, například na hradlech tranzistorů).
- Studium reakcí různých chemických látek v komoře vzorku mikroskopu.
- Studium chemicky agresivních látek, například bateriových hmot.
- Studium různých druhů vzorků v podmínkách **blízcím se atmosférickému tlaku**.

Nekorodovaný povrch keramiky Al₂O₃.Povrch keramiky korodovaný v H₂SO₄.Povrch keramiky korodovaný v H₃PO₄.

Nekorodovaný povrch těsnícího „O“ kroužku.

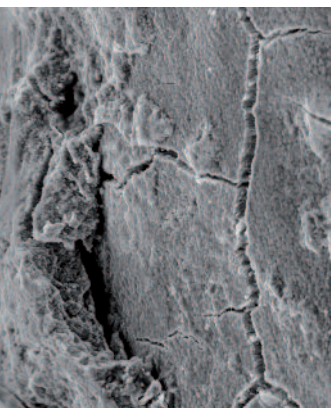
Povrch „O“ kroužku korodovaný v H₂SO₄.Povrch „O“ kroužku korodovaný v HNO₃.

Povrchová struktura solárních článků opracovaná různými laserovými systémy.



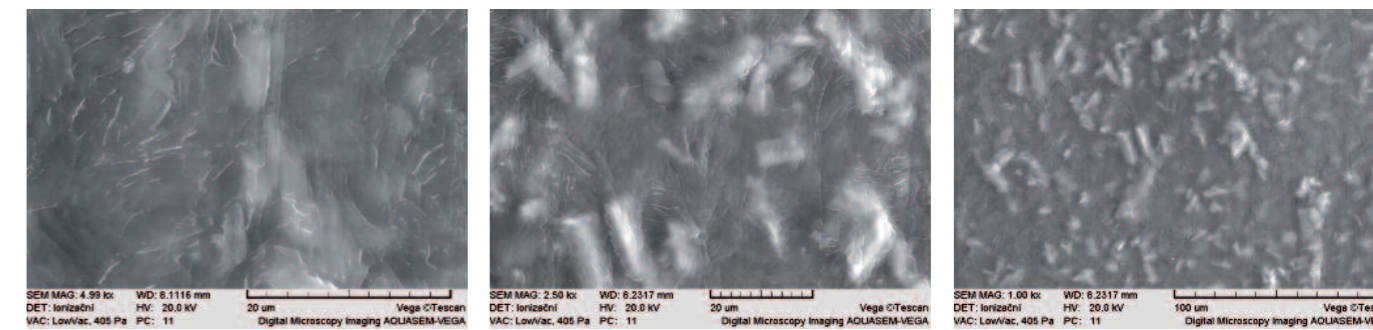
Vybrané aplikace EREM a výsledky výzkumu ve spolupráci s průmyslovými partnery za poslední tři roky:

- Studium desítek vybraných materiálů před korozí a po korózi různými chemickými látkami s cílem zjistit odolnost a životnost zkoumaných materiálů a odhadnout změnu jejich mechanických vlastností vlivem korozí.
- Studium vnitřního povrchu několika typů cévních katétrů s cílem stanovit a vzájemně porovnat jejich topografickou strukturu. V případě výrazné topografie povrchu by mohlo hrozit nebezpečí vzniku embolie.
- Studium povrchů pracovních elektrod elektrochemických senzorů s cílem podrobně zmapovat povrchovou topografickou strukturu, změřit její skutečnou a geometrickou plochu a výsledně optimalizovat výrobní proces tohoto produktu a uvést na trh zcela nový typ elektrochemických senzorů.
- Studium povrchové struktury solárních článků s cílem podrobně zmapovat vliv laserových procesů na různé vlastnosti těchto článků a optimalizovat jejich použití během výroby fotovoltaických zdrojů.
- Ve spolupráci s lékařským zařízením byla provedena rozsáhlá studie vlivu různých technik odstraňování zubního kamene na poškození lidských zubů.

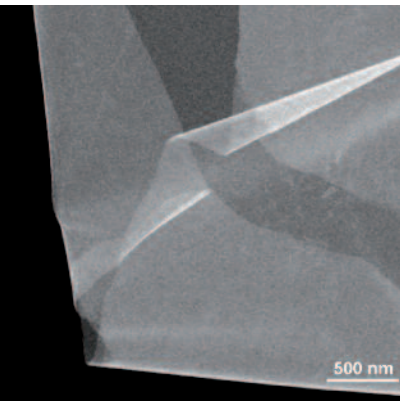


Povrchová topografie lidských zubů v oblasti rozhraní mezi zubním kamenem a očištěnou sklovinou bez zubního kamene.

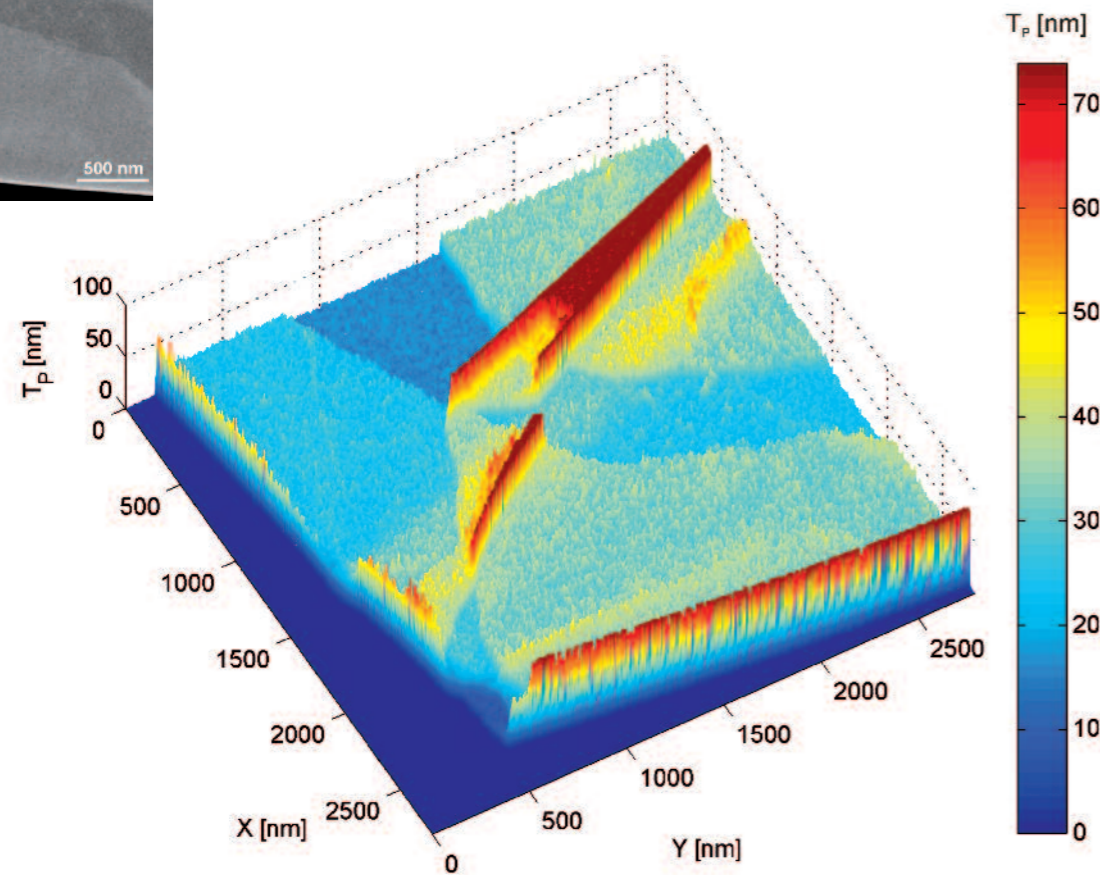
Kontakt: Ing. et Ing. Vilém Neděla, Ph.D. ■ e-mail: vilem@isibrno.cz ■ tel: 541 514 333
 Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



Vnitřní povrch cévního katétru zobrazený pomocí environmentálního rastrovacího elektronového mikroskopu.



Náhodně přeložená velmi tenká uhlíková fólie (ADF obraz a mapa tloušťek)



Měření lokální tloušťky tenkých vzorků a hmotnosti jednotlivých nanočástic pomocí REM

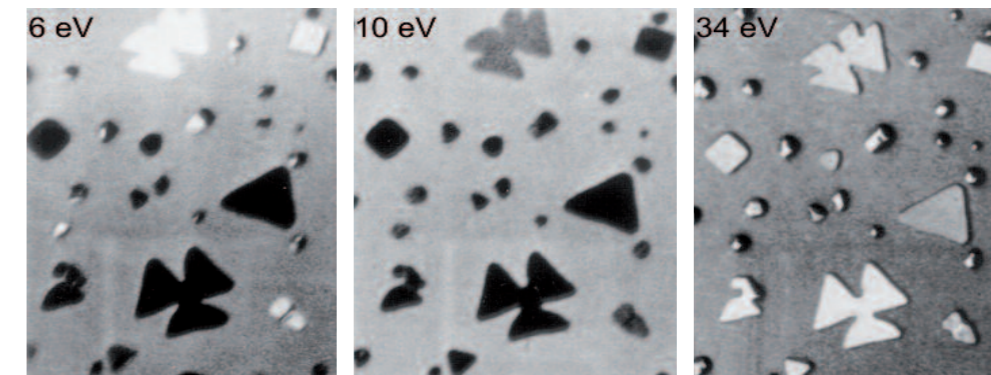
Vhodně kalibrovaný rastrovací elektronový mikroskop (REM) lze použít také pro kvantitativní zobrazování. Pokud je REM vybaven velmi citlivým prstencovým detektorem pro temné pole (angl. annular dark-field, ADF), jeho signál lze pomocí Monte Carlo simulací použít pro měření:

- lokální tloušťky tenkých filmů a nanočástic, molekulární hmotnosti makromolekulárních komplexů (např. hmotnosti jednotlivých částic, hmotnosti na jednotku délky filamentů a hmotnosti na jednotku plochy vrstev).
- V případě, že je celý systém kalibrován, tzn. že jeho nastavení je vztaženo k aktuálním parametrům dopadajícího elektronového svazku a jsou známy detekční charakteristiky, můžeme s jeho pomocí provádět absolutní měření bez jakýchkoliv standardů.

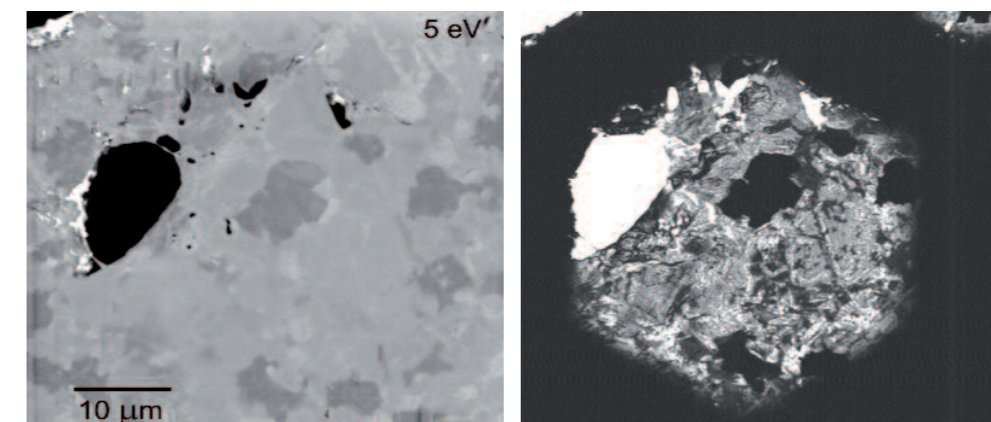
Kontakt: Ing. Vladislav Krzyžánek, Ph.D. ■ e-mail: krzyzane@isibrno.cz ■ tel: 541 514 302
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>

Elektronová mikroskopie v podmínkách ultravysokého vakua

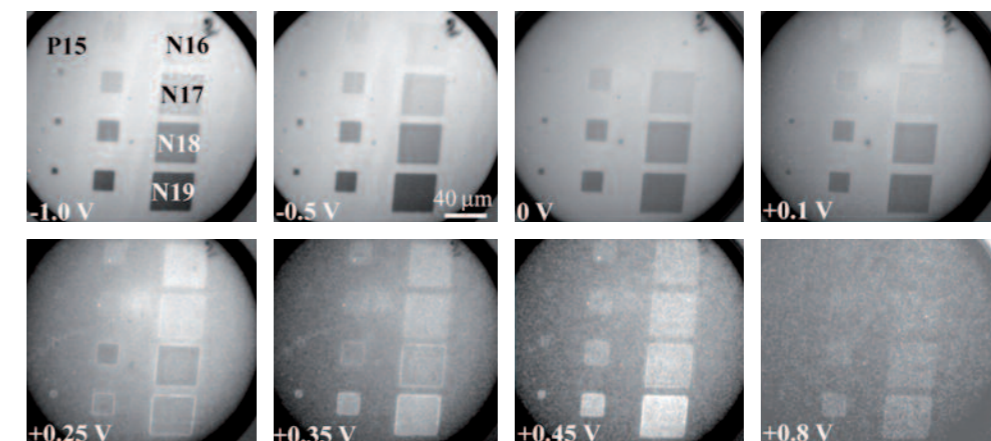
Mikroskopie a analýza **velmi čistých povrchů v ultravysokovakuových podmínkách** představuje pro současné a zejména pro nastupující nanotechnologie nenahraditelný nástroj. ÚPT si postavil vlastní verzi ultravysokovakuového rastrovacího elektronového mikroskopu pro studium atomově čistých a definovaných, popř. přímo v přístroji připravených povrchů pevných látek. Díky svojí kompletní vypékateľnosti mikroskop pracuje s vakuem v řádu 10^{-8} Pa, nicméně vzorky jsou pohodlně a rychle vyměňovány vakuovou propustí. Zařízení sestává ze tří vakuových komor: pozorovací komory, preparační komory a vakuové propusti. V pozorovací komoře je instalován elektronově optický tubus umožňující práci při všech energiích elektronů až do zlomků elektronvoly a dokonce i sběr zrcadlového obrazu povrchu preparátu. K dispozici jsou



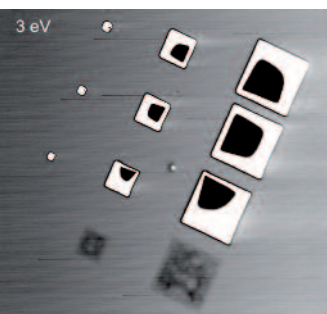
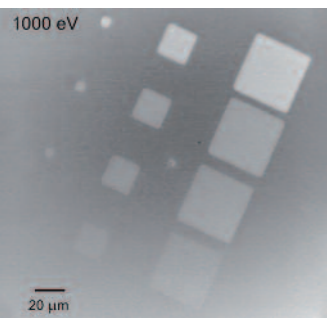
Atomově rovné dvourozměrné krystaly olova na povrchu křemíku, zobrazené pomocí difrakčního kontrastu v temném poli.



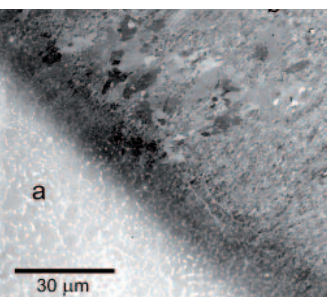
Vzájemně se překrývající vločky grafénu (volně umístěné dvourozměrné uhlíkové fólie o tloušťce jednoho atomu) se světlými místy jediné vrstvy grafénu, zobrazené prostřednictvím zpětně odražených elektronů (vlevo) a prošlých elektronů (vpravo) a vykazující extrémní kontrast jednotlivých atomových vrstev.



Dopované oblasti n-typu o různých hustotách dopantu na povrchu křemíku p-typu, zobrazené pomocí fotoemisního elektronového mikroskopu s energiovou filtrací obrazu.



Tyž dopované oblasti n-typu, zobrazené při 1000 eV s kontrastem úměrným hustotě dopantu a při 3 eV s dynamickým kontrastem umožňujícím měřit kritické rozměry.



Ultrajemně zrná měď (UFG) po vložení do ultravysokého vakua (a) a po očištění povrchu iontovým svazkem odhalujícím krystalickou strukturu (b). Energie elektronů 2 keV.

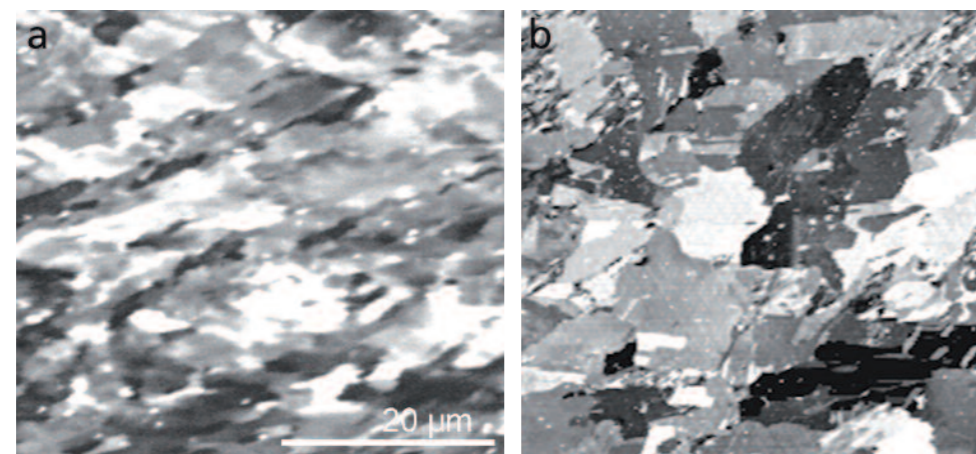
Ultrajemně zrná měď ve vysoce deformovaném stavu po ECAPu (a) (vykazující neostře hranice zrn v důsledku nahromadění dislokací) a po vyžhání (b). Energie elektronů 10 eV.

detektory pro zachycení kompletní emise zpětně odražených elektronů při všech energiích, emise sekundárních elektronů a emise prošlých elektronů (STEM mód). Také lze snímat a analyzovat plyny uvolňované dopadem elektronů. Zařízení je vybaveno **analyzátorem energií Augerových elektronů**. V preparační komoře se nacházejí zařízení pro čištění a odprašování povrchu iontovým svazkem a pro napařování vrstev z až tří různých materiálů.

Výhody a příklady aplikací:

- Unikátní sestava manipulátoru vzorku a detektoru umožňuje seřízení přístroje na optimální parametry práce při libovolně nízkých energiích.
- Elektrické pole v prostoru nad vzorkem soustřeďuje veškerou emisi elektronů, a tedy zajišťuje shromáždění veškerých dostupných informací.
- Velmi vysoká sběrová účinnost detekce signálu zvyšuje poměr signálu k šumu v obraze a **urychluje sběr dat**.
- Při velmi nízkých energiích elektronů se v mikrosnímčích objevují nové typy kontrastních mechanismů, které navíc k tradičnímu topografickému a materiálovému kontrastu odhalují elektronickou a krystalickou strukturu vzorku.
- Malý interakční objem značně zlepšuje rozlišení detailů **ponořených pod povrch nebo vystupujících nad něj** a obecně zvyšuje povrchovou citlivost.
- Zrna v polykrystalických materiálech se stávají viditelnými s vysokým kontrastem, a to včetně podzrn, dvojčat, apod., s možností identifikace jejich krystalografické orientace.
- S vysokým kontrastem a rozlišením je mapováno **vnitřní napětí v polykrystalických materiálech**.
- **Dopované oblasti v polovodičích** je možné studovat kvantitativně a také přesně měřit kritické rozměry těchto obrazců.
- Při velmi nízkých energiích ustává radiační poškození extrémně citlivých preparátů.
- Díky zvětšené vlnové délce velmi pomalé elektrony vytvářejí **difrakční a interferenční jevy**, které se stávají novými nástroji zkoumání **nanostuktur**.

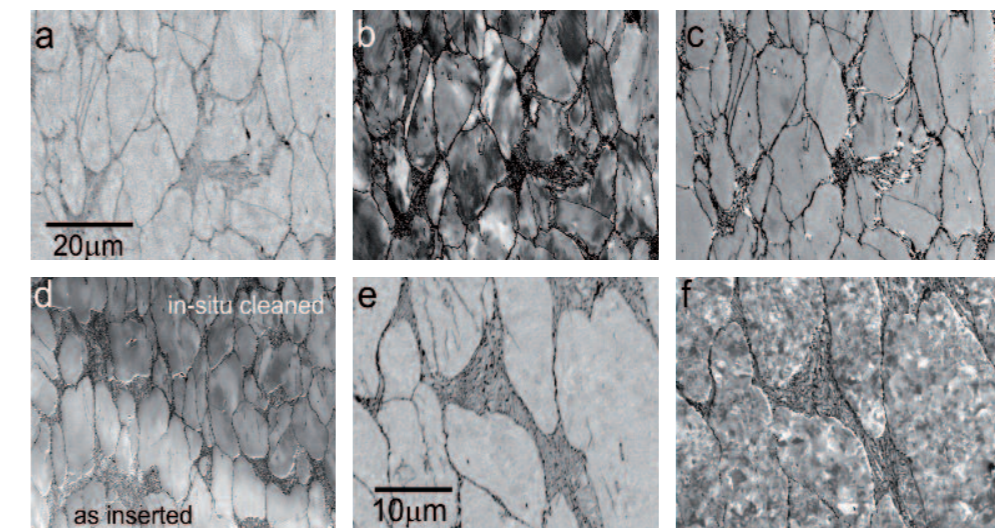
Kontakt: Mgr. Zuzana Pokorná, Ph.D. ■ e-mail: zuza@isibrno.cz ■ tel: 541 514 316
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



Nové zobrazovací metody elektronové mikroskopie

Nové zobrazovací metody elektronové mikroskopie umožňují mnohem úspěšněji shromažďovat komplexní údaje o materiálu, tedy souhrn dat o chemické, krystalové i elektronické struktuře. Mikroskopie pomalými zpětně odraženými elektrony, které byly emitovány pod velkými úhly od normály k povrchu a které proto nejsou ve standardních mikroskopech detekovány, přináší podstatně rozšířený rozsah informací.

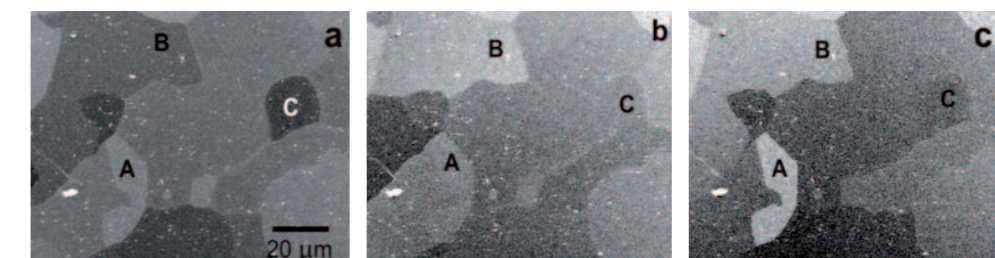
Zobrazení polykrystalického materiálu zpětně odraženými elektrony o energii stovek elektronvoltů přináší v případě, že jsou zachyceny všechny emitované částice, vysoký kontrast zrn polykrystalického materiálu a dokonce zviditelňuje s vysokým rozlišením rozložení vnitřního pnutí a lokální deformace.



Ocel X210Cr12 zahřátá do semi-solid stavu na 1265°C, deformovaná 2:1 při 800°C a ochlazená, pozorování v UHV: standardní obraz ve zpětně odražených elektronech (BSE) při 6 keV (a), kompletní BSE obraz při 500 eV (b) a při 50 eV (c); rozhraní mezi oblastmi in-situ čištěnou ionty a stavem při vložení (d); vzorek žhán po dobu 60 min. při 500°C: standardní BSE při 8 keV (e) a kompletní BSE při 500 eV (f).

Pokud snížíme energii dopadajících elektronů pod cca 30 eV, stane se jejich odrazivost nepřímo úměrná lokální hustotě elektronových stavů, která je specifická pro krystalový systém a jeho prostorovou orientaci. Závislost odrazivosti na energii je tedy použitelná v roli „otisku prstu“ orientace krystalového zrna.

Kontakt: Mgr. Ing. Šárka Mikmeková ■ e-mail: sarka@isibrno.cz ■ tel: 541 514 263
 Mgr. Zuzana Pokorná, Ph.D. ■ e-mail: zuza@isibrno.cz ■ tel: 541 514 316
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



Polykrystalický hliník čištěný a vyžháný in-situ, UHV zobrazení v kompletním BSE při 7.8 eV (a), 17.4 eV (b) a 24.6 eV (c); orientace označených zrn: A ~ (101), B ~ (111), C ~ (001).



Základní pracovní náplní skupiny *kryogeniky a supravodivosti* byl výzkum a vývoj supravodivých magnetů pro nukleární magnetickou rezonanci (NMR) včetně souvisejícího vědeckého i technického zázemí k dosahování a uchování velmi nízkých teplot až do 4,2 K. V průběhu let se náplň činnosti postupně rozšiřovala o další nezbytné součásti kryogeniky, např. o vakuovou techniku, nízkoteplotní termometrii, materiálové inženýrství a další. V současné době řeší skupina projekty z oblasti základního i aplikovaného výzkumu. V obou případech skupina využívá své rozsáhlé, a v rámci ČR zcela ojedinělé experimentální zázemí k ověřování a testování vědeckých i technických teorií a poznatků. Významným podpůrným prvkem je vlastní zkapařovač hélia.

Zásobníky kapalného hélia (str. 40).

Skupina *kryogeniky a supravodivosti* nabízí své zkušenosti v následujících oblastech:

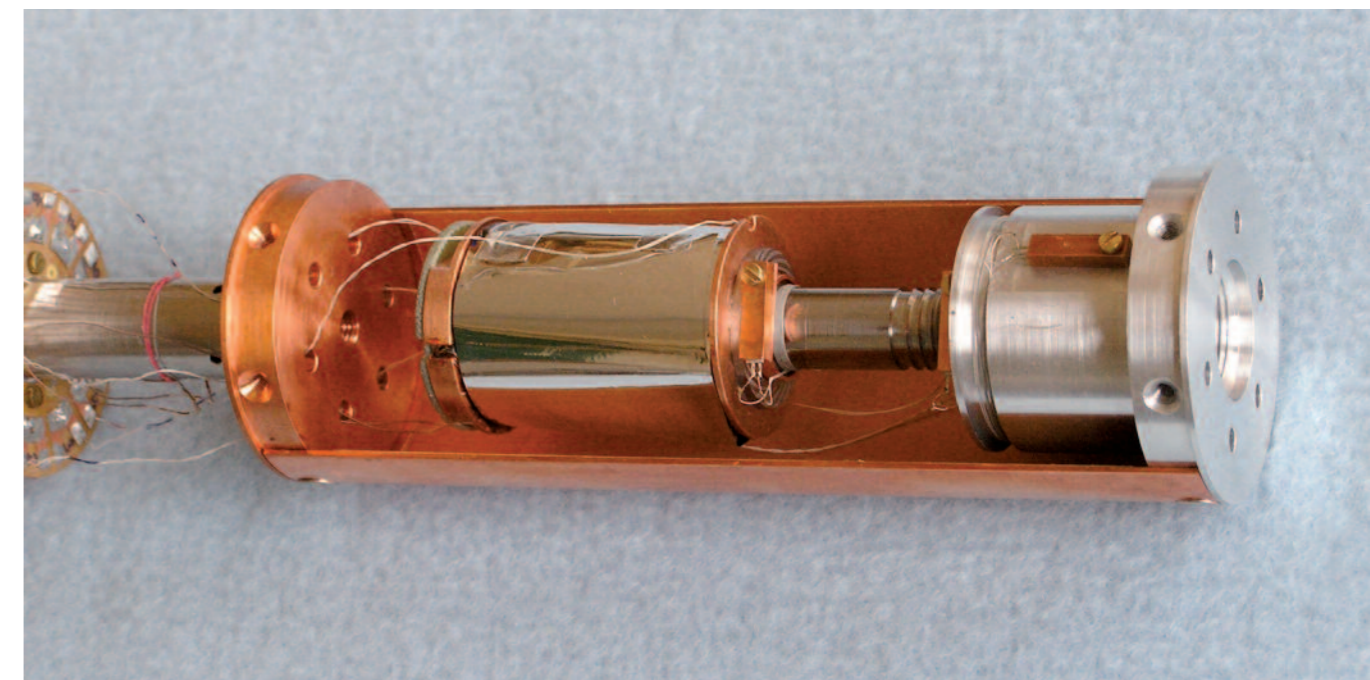
- nízkoteplotní termometrie,
- návrhy a realizace **kryogenních systémů**,
- stanovení tepelně-radičních vlastností materiálů,
- vakuová technika,
- měření magnetických polí a návrhy supravodivých magnetů,
- konzultace a školení v oblasti **bezpečnosti kryogenní techniky**.

Nízkoteplotní termometrie

Aktivity v této oblasti využívají zařízení vlastní konstrukce, která umožňují:

- kalibraci teplotních snímačů pomocí sekundárního teplotního etalonu v rozsahu 1,4–100 K s přesností lepší než ± 16 mK,
- měření tepelné vodivosti materiálů a součástek v rozsahu teplot 10–300 K. Menší vzorky do průměru 40 mm a délky 50 mm lze proměřovat v existujícím zařízení, pro větší vzorky je možné navrhnout a vyrobít speciální měřicí zařízení.

Zařízení k měření tepelného toku hřídelem héliového kompresoru.



Héliový kryostat pro výzkum klasické kryogenní turbulence



Návrhy a realizace kryogenních systémů

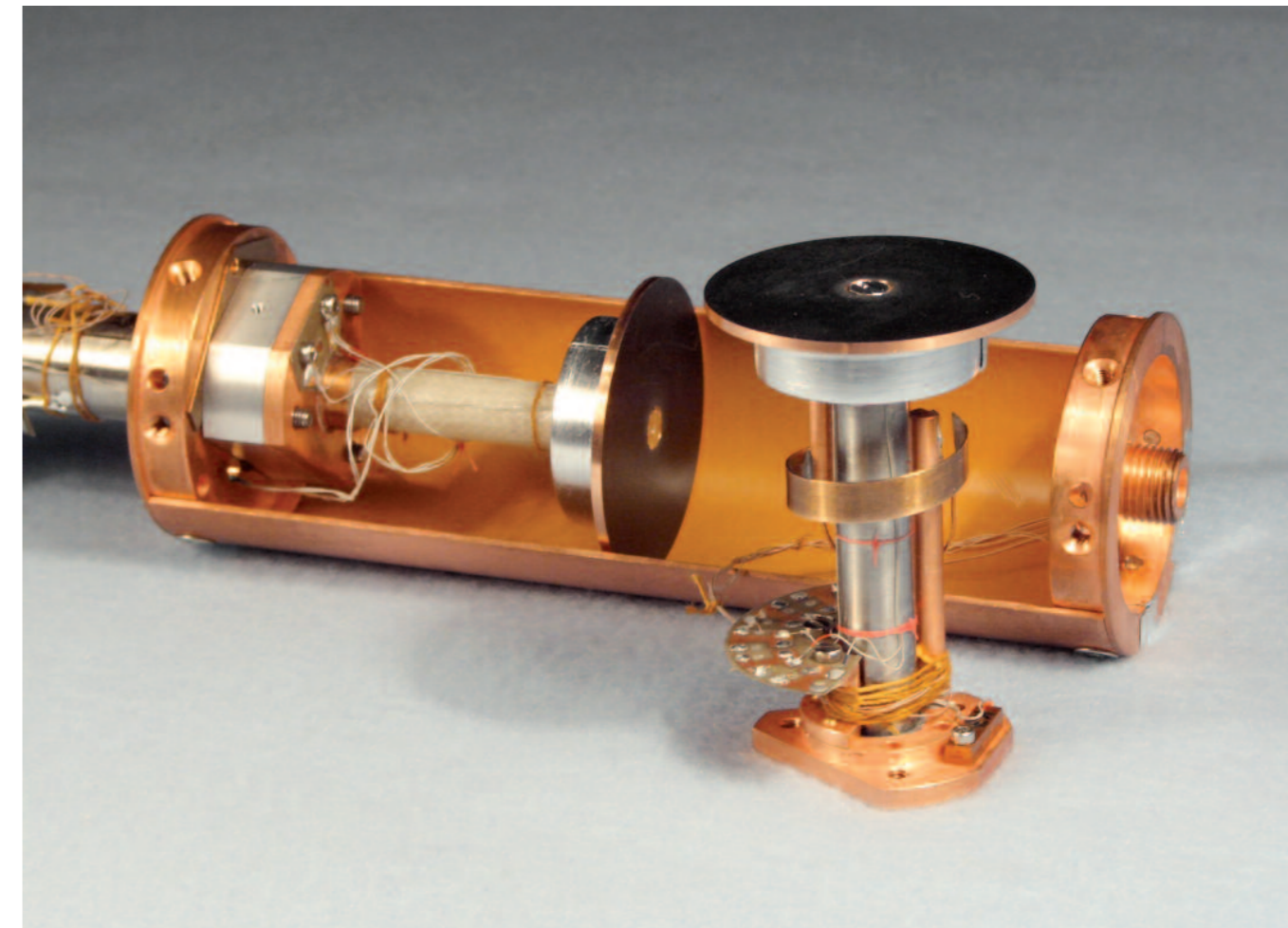
Realizovali jsme množství specializovaných kryogenních systémů pro širokou škálu použití a máme navrženy teoretické i experimentální postupy (programy, testy, ověřování vlastností) vedoucí až k realizaci konkrétního systému dle požadavků zákazníka.

Nabízíme mnohaleté zkušenosti v následujících oblastech:

- numerické modelování ustálených i neustálených tepelných dějů v kryogenních systémech pomocí námi vyvinutého programu KRYOM 3.3,
- tepelné cyklování materiálů v rozsahu 4,2–373 K,
- zjišťování mechanických vlastností materiálů za nízkých teplot,
- chlazení využívající zkapalněných plynů,
- licenci k programu KRYOM 3.3, který umožňuje analyzovat a optimalizovat obvyklá kryotechnická zařízení.

Příklady realizací:

- kryostaty pro uchovávání zkapalněných plynů (např. pro supravodivé magnety),
- kryogenní systémy pro fyzikální experimenty,
- héliová kryovývěva pro vakuová čerpání bez vibrací a elektromagnetických polí.

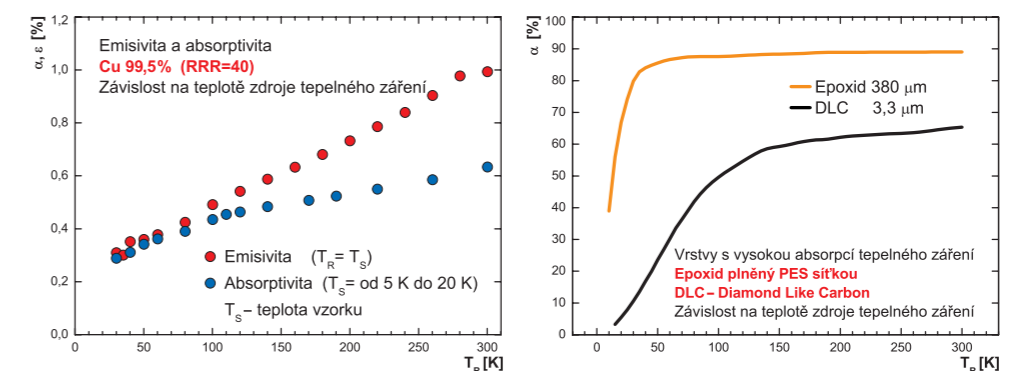


Stanovení tepelně radičních vlastností materiálů

Radiační a absorpční vlastnosti povrchů hrají v kryogenice zásadní úlohu a významným způsobem ovlivňují ekonomiku provozu a často i funkci systémů pracujících za velmi nízkých teplot. V mnoha případech je nutné eliminovat parazitní tepelný tok z teplého povrchu na studený. Zajišťujeme

- měření teplotních závislostí emisivit a absorptivit povrchů materiálů na vzorcích o průměru 40 mm v rozsahu teplot 20–300 K.

Příprava měření absorptivity černého povrchu.



Teplotní závislost emisivity a absorptivity mědi a absorptivity nekovevých povrchů s vysokou absorpcí tepelného záření („černé povrchy“).



Héliová kryovývěva pro superčisté čerpání vakuových prostorů bez vibrací a bez elektrického napájení.

Vakuová technika

Mnohaleté působení v tomto oboru nám přineslo praktické zkušenosti v následujících aktivitách:

- kvantitativní i kvalitativní stanovení zbytkových plynů (až do hmotnostního čísla 100) ve vakuových systémech,
- superčisté čerpání vakuových prostorů héliovou kryovývěvou vlastní konstrukce, která dosahuje čerpací rychlosti 25 l/s pro hélium a může čerpat vakuové prostory až do tlaku 10^{-7} Pa bez vibrací a bez elektrického napájení,
- měření nízkých tlaků v rozsahu 100 Pa–0,6 MPa v neagresivním prostředí s přesností 0,1 %,
- hledání netěsností ve vakuových systémech, v prochlazených systémech i hledání netěsností pro supratekuté hélium (λ -netěsnost).

Stacionární magnetická pole

Historické propojení skupiny s problematikou magnetické rezonance a supravodivých magnetů prohloubilo naše zkušenosti v následujících aktivitách:

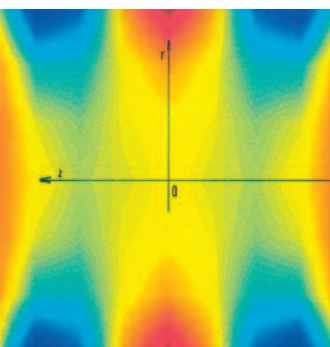
- **mapování rozptylových magnetických polí** s využitím Hallovy sond,
- **precizní měření homogenních magnetických polí** v rozsahu 0,7–13,7 T metodou využívající magnetické rezonance,
- **experimentální stanovení vlivu stacionárního magnetického pole** až do 4,7 T na vyvíjené technické systémy,
- **návrhy a realizace supravodivých magnetických systémů** s rotační symetrií.

Konzultace a školení o bezpečnosti v oblasti kryogenní techniky

Nebezpečí v oblasti kryogeniky jsou značná a nejsou na první pohled příliš zřetelná. Osoby pracující v této oblasti musí být dobře informovány a proškoleny, neboť hrozí vážné poškození zdraví (nizkoteplotní popáleniny, mechanická zranění, smrt udušením). Většina nádob na uchování zkapalněných plynů jsou tlakové nádoby, pro které platí velmi přísné předpisy pro výrobu, manipulaci i údržbu.

Nabízíme konzultace a školení v následujících oblastech:

- bezpečnost práce s kryokapalinami,
- bezpečnost při skladování a dopravě kryokapalin.



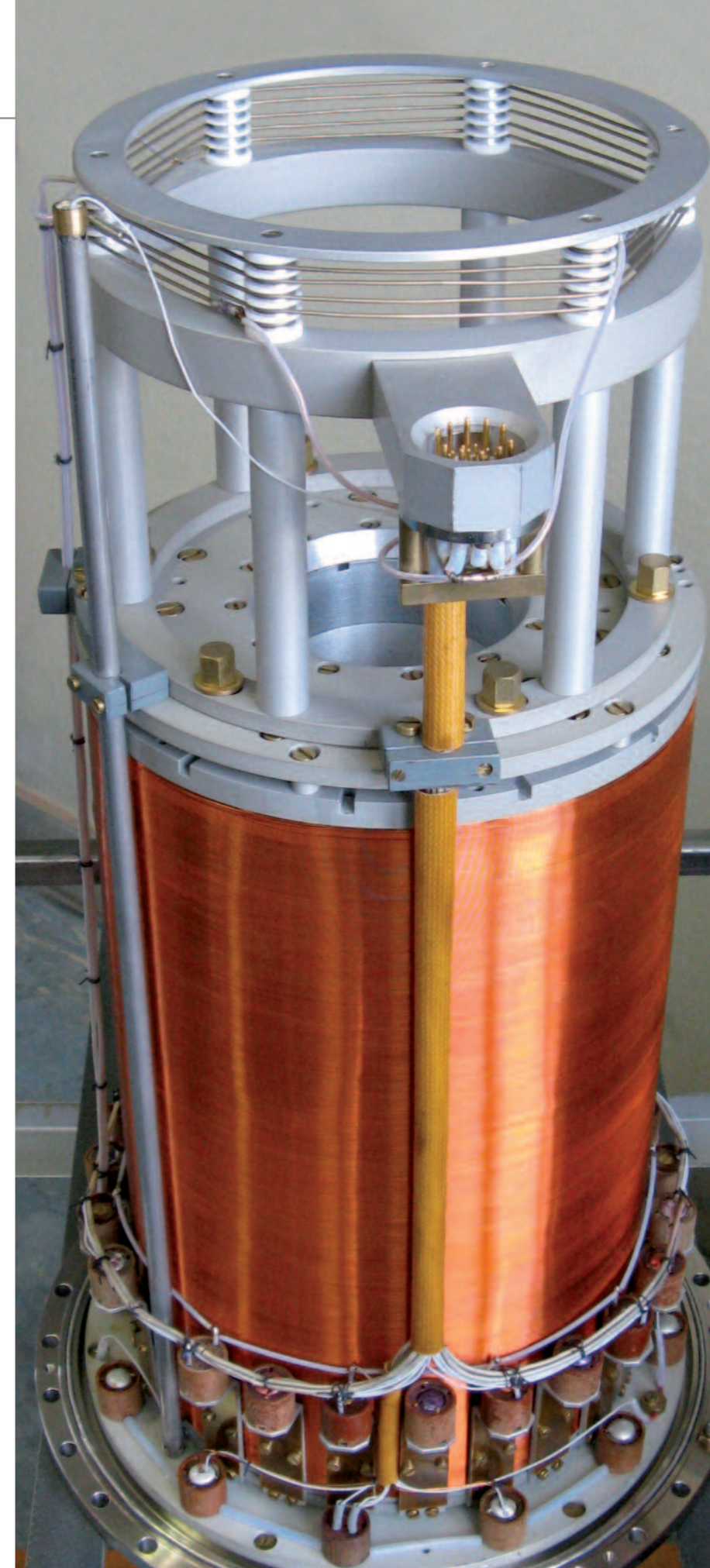
Mapa magnetického pole s rotační symetrií.

Kontakt: Ing. Aleš Srnka, CSc. ■ e-mail: srnka@isibrno.cz ■ tel: 541 514 264

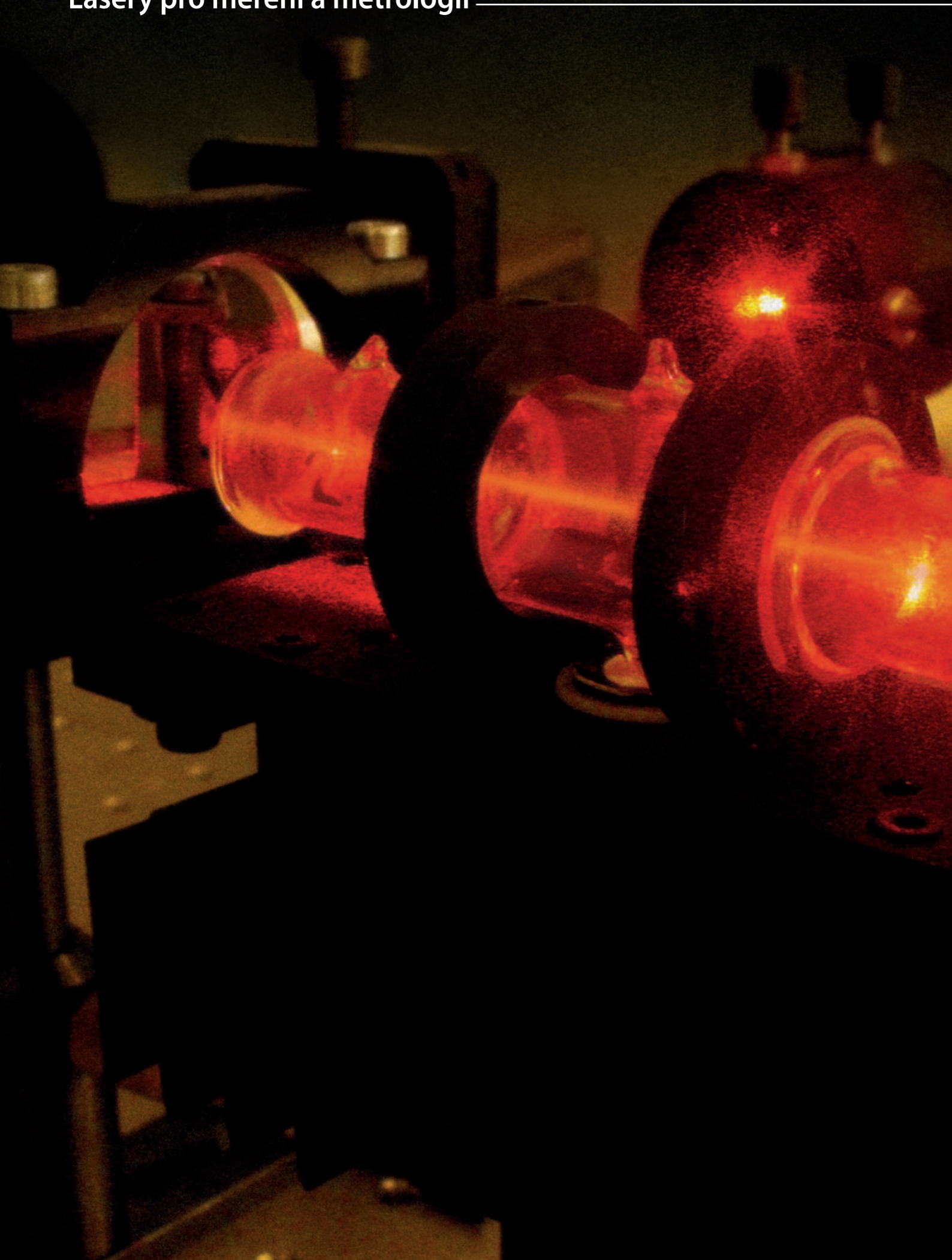
Ing. Tomáš Králík, Ph.D. ■ e-mail: kralik@isibrno.cz ■ tel: 541 514 269

Ing. Pavel Hanzelka ■ e-mail: hanzelka@isibrno.cz ■ tel: 541 514 265

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/cryogenics>



Supravodivý magnet 4,7 T pro NMR spektrometr.



V roce 2010 oslavil laser 50. výročí od svého vzniku. Od počáteční kuriozity vědeckých laboratoří si dnes již našel cestu do téměř každé domácnosti. Přes tisíce různých aplikací laseru patří laserové měření vzdáleností mezi jednu z neznámějších. V laboratořích ÚPT byl realizován první český He-Ne laser jen tři roky po jeho světové premiéře a jeho konstrukce byla postupně zdokonalována pro potřeby české metrologie.

Experiment s absorpční kyvetou (str. 46).

Z této mnohaleté historie vychází i naše nabízené zkušenosti v následujících oblastech:

- **úprava spektra vlnových délek** vyzařovaného plynovými a polovodičovými lasery,
- **konstrukce laserů** pro metrologické aplikace s **extrémní stabilitou** vyzařované frekvence,
- **zhotovování kyvet plněných ultračistými plyny** pro absorpční spektroskopii,
- **návrh a realizace interferometrických měřicích systémů**,
- **návrh a realizace speciální elektroniky pro řízení experimentů** včetně software.

Lasery s vysokou koherencí pro měřicí účely

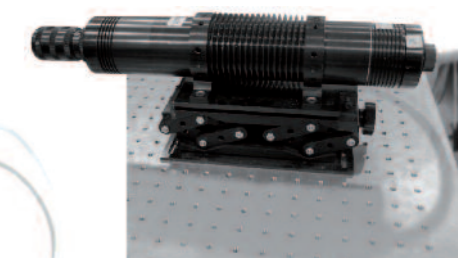
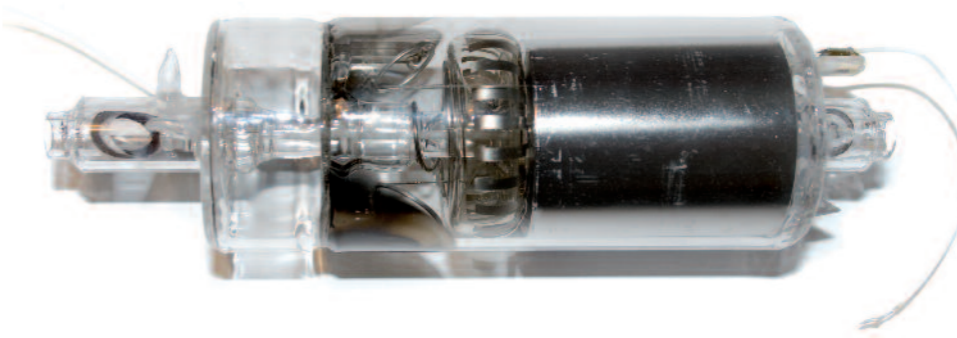
Lasery vyvinuté v ÚPT jsou unikátní svou vysokou koherencí, a proto jsou vhodné k:

- **přesnému měření vzdáleností** na principu laserové interferometrie,
- **analýze složení plynů** a dalších transparentních látek na principu laserové spektroskopie.

ÚPT disponuje lasery s vysokou koherencí, pracující na následujících vlnových délkách: **502 nm, 532 nm, 543 nm, 633 nm, 760 nm, 780 nm, 1064 nm, 1315 nm, 1540 nm**. Podle potřeby uživatelů lze tento základní výběr rozšířit o další vlnové délky.

Příklady realizovaných konstrukcí

- **He-Ne lasery a výbojové trubice pro konstrukci He-Ne laserů.** Vyvinuli jsme technologii výroby plynových He-Ne laserů, které dominují v oblasti přesného měření délky. Tyto lasery jsou teplotně stabilní a vhodné např. jako zdroj laserového záření pro odměřovací systémy na principu laserového interferometru. Od většiny světových výrobců se naše He-Ne lasery liší především rychlým přeladěním vlnové délky vyzařovaného světla, které zajišťují integrované piezoelektrické měniče.

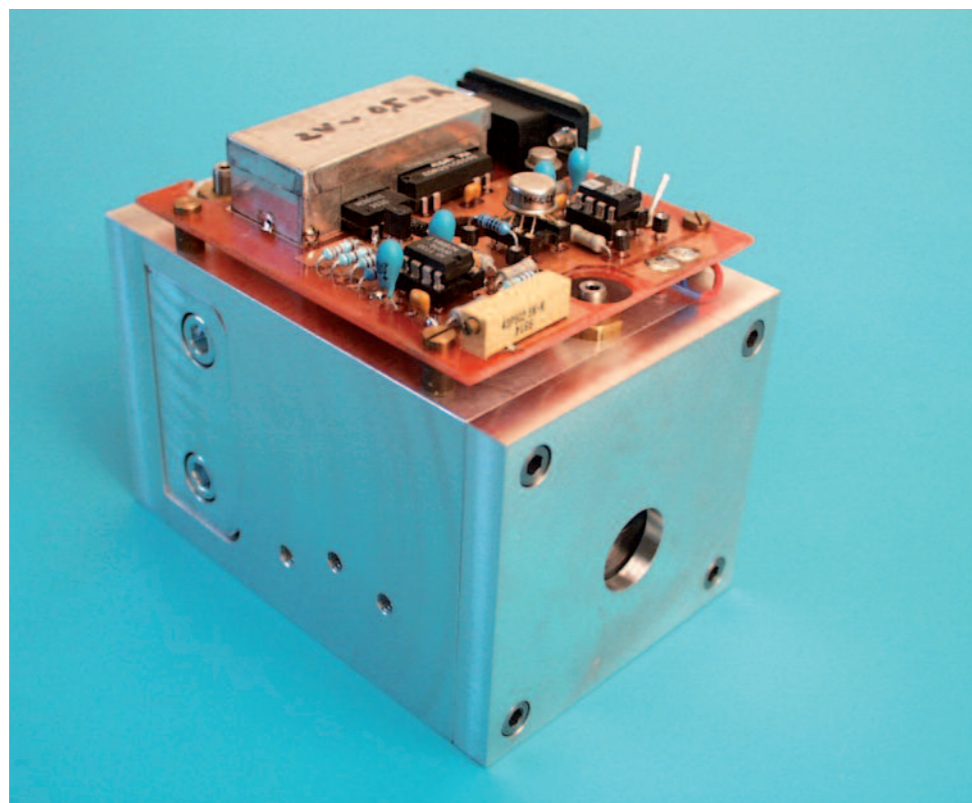


Finální He-Ne laser (nahore) a jeho klíčová část – výbojová trubice z křemenného skla (vlevo).

- **ECL lasery pro měření a spektroskopii.** Tradiční He-Ne lasery pracující ve viditelné oblasti spektra je možné ladit pouze ve velmi úzkém spektrálních rozsahu. Tuto nevýhodu nemají laserové diody, které však na rozdíl od He-Ne laserů mají mnohem širší spektrum současně vyzařovaných vlnových délek, a proto nejsou vhodné pro přesnější spektroskopické aplikace např. pro analýzy plynů a dalších materiálů. Vyvinuli jsme proto technologii výroby

polovodičových laserů s tzv. externím rezonátorem (Extended Cavity Laser – ECL), který velmi účinně zužuje spektrální vyzařovací charakteristiku běžné laserové diody a současně zachovává široký rozsah dostupných vlnových délek, na které lze laser typu ECL naladit. Získali jsme tak kompaktní laditelný laserový zdroj vhodný pro spektroskopické aplikace, jehož pracovní oblast vlnových délek je určena zvolenou laserovou diodou.

ECL laser pracující na vlnové délce 633 nm s přeladěním vlnové délky o 0,1 nm. Tento laser je používán jako náhrada He-Ne laseru.



■ **Laserné systémy s laserovými diodami VCSEL, DFB a DBR.** Vyvinuli jsme specializovanou elektroniku pro řízení vlnové délky komerčních laserových diod, které se vyznačují úzkým spektrálním profilem vyzařovaného světla. Jedná se o diody s vertikálním rezonátorem VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser), distribuovanou zpětnou vazbou DFB (Distributed FeedBack) a distribuovaným Braggovým reflektorem DBR (Distributed Bragg Reflector). Vyzařované vlnové délky těchto diod se řídí velikostí injekčního proudu protékajícího přes polovodič a pracovní teplotou polovodiče. Řídící elektronika je vybavena sadou signálových procesorů, které hlídají uživatelem nastavený pracovní bod laserové diody.

Příklad řídicí elektroniky pro řízení vlnové délky vysoce koherentních laserových diod (dole).



Kontakt: doc. Ing. Josef Lazar, Dr. ■ e-mail: joe@isibrno.cz
tel: 541 514 253

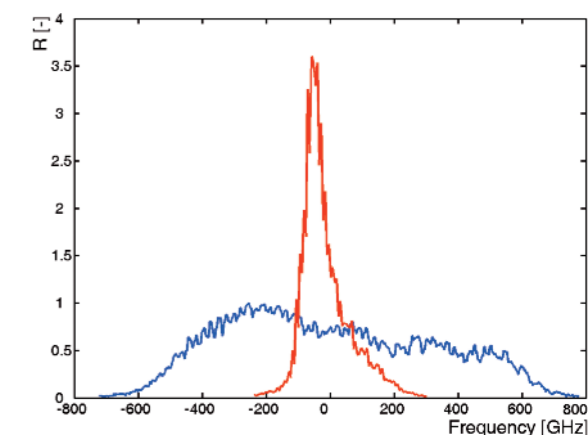
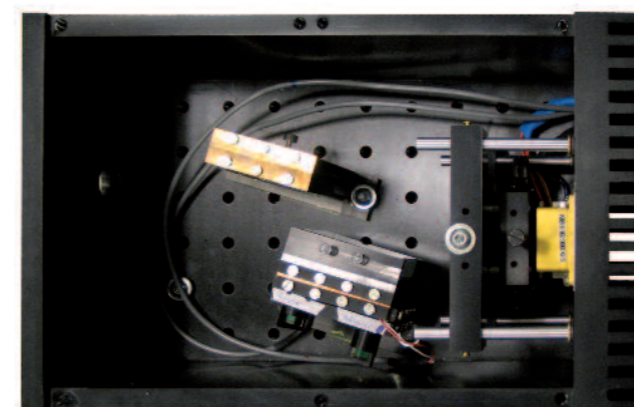
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Výkonové ECL lasery

Výkonové ECL lasery jsou opět založeny na principu zúžení spektrální charakteristiky komerční laserové diody či pole laserových diod vnějším rezonátorem, který obsahuje selektivní zrcadlo a optickou mřížku. Pro další zúžení spektrální čáry jsme použili techniku „injection locking“ s využitím externího Ti:safírového laseru.

Realizovali jsme

■ výkonový polovodičový laser typu ECL pro **laserovou magnetizaci jader Xenonu** s výstupním výkonem 1,5 W. Takto upravený plyn funguje jako velmi účinná kontrastní látka pro magnetickou rezonanční tomografii. Podobné výkonové lasery mohou nalézt uplatnění např. jako atmosférická optická komunikační pojítka na velké vzdálenosti.



Na obrázku vlevo je vlastní konstrukce výkonového laseru typu ECL, který využívá pole laserových diod, vpravo je modrou čarou znázorněno výsledné zúžené emisní spektrum tohoto laseru.

Kontakt: doc. Ing. Josef Lazar, Dr. ■ e-mail: joe@isibrno.cz ■ tel: 541 514 253

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Laserné etalony optických frekvencí

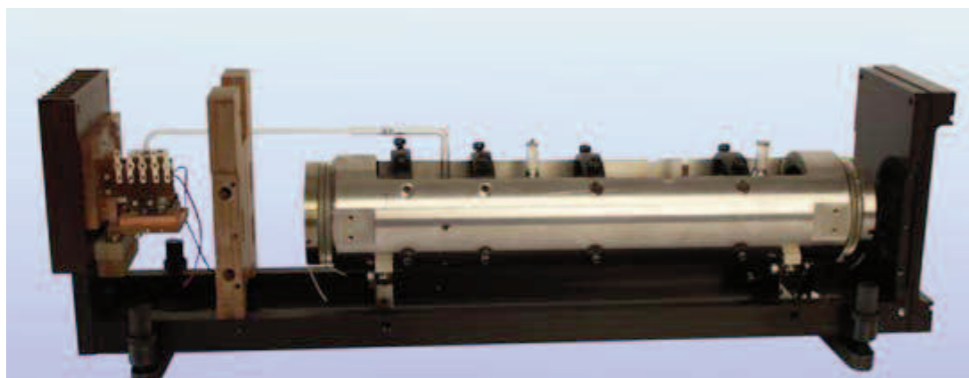
Etalony optických frekvencí (vlnových délek) jsou vysoce koherentní lasery, které generují na svém výstupu laserové světlo o přesně stanovené optické frekvenci (vlnové délce). Jedná se o frekvence v řádu stovek THz, čemuž obvykle odpovídá vlnová délka 500–1500 nm. Tyto lasery slouží jako primární zdroje pro realizaci mezinárodní definice jednotky délky a jsou využívány metrologickými institucemi jako zdroj světla v odměřovacích laserových interferometrech. Pravidelné srovnání podnikových mechanických normálů délky, koncových měrek, s těmito systémy zajistí **navázání metrologického systému podniku na primární definici jednotky délky**. Přesnost a stabilita těchto laserových etalonů pak ovlivňuje celkovou měřicí schopnost sekundárních měřidel v podnikové metrologii. V ÚPT je této oblasti věnována dlouhodobě mimořádná pozornost a byla zde vyvinuta technologie výroby několika typů těchto laserových etalonů optických frekvencí.

Příklady realizovaných systémů:

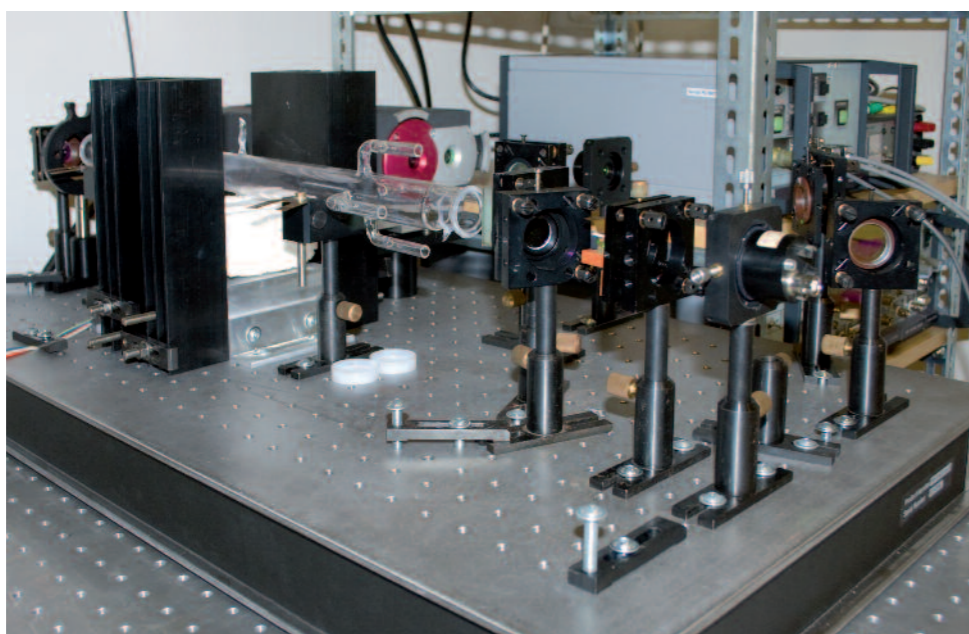
■ **He-Ne stabilizovaný laser na vlnové délce 633 nm.** He-Ne laser se stabilizací optické frekvence, sestavený v ÚPT, patří mezi základní etalony na vlnové délce 633 nm a je v současnosti používán jako národní etalon délky. Optická frekvence He-Ne laseru je stabilizována

prostřednictvím saturevané absorpce v parách jodu technikou derivační spektroskopie. Jedná se o finální výrobek ÚPT – kompaktní systém vybavený elektronikou podporující počítačové řízení. Relativní stabilita tohoto laseru je pro integrační čas 1 s na úrovni 10^{-11} . Je využíván ke kalibraci laserů určených pro interferometrické systémy.

Poslední verze jodem stabilizovaného He-Ne laseru ÚPT, vybaveného kompletní elektronikou a řídicím software pro nasazení v metrologických střediscích.

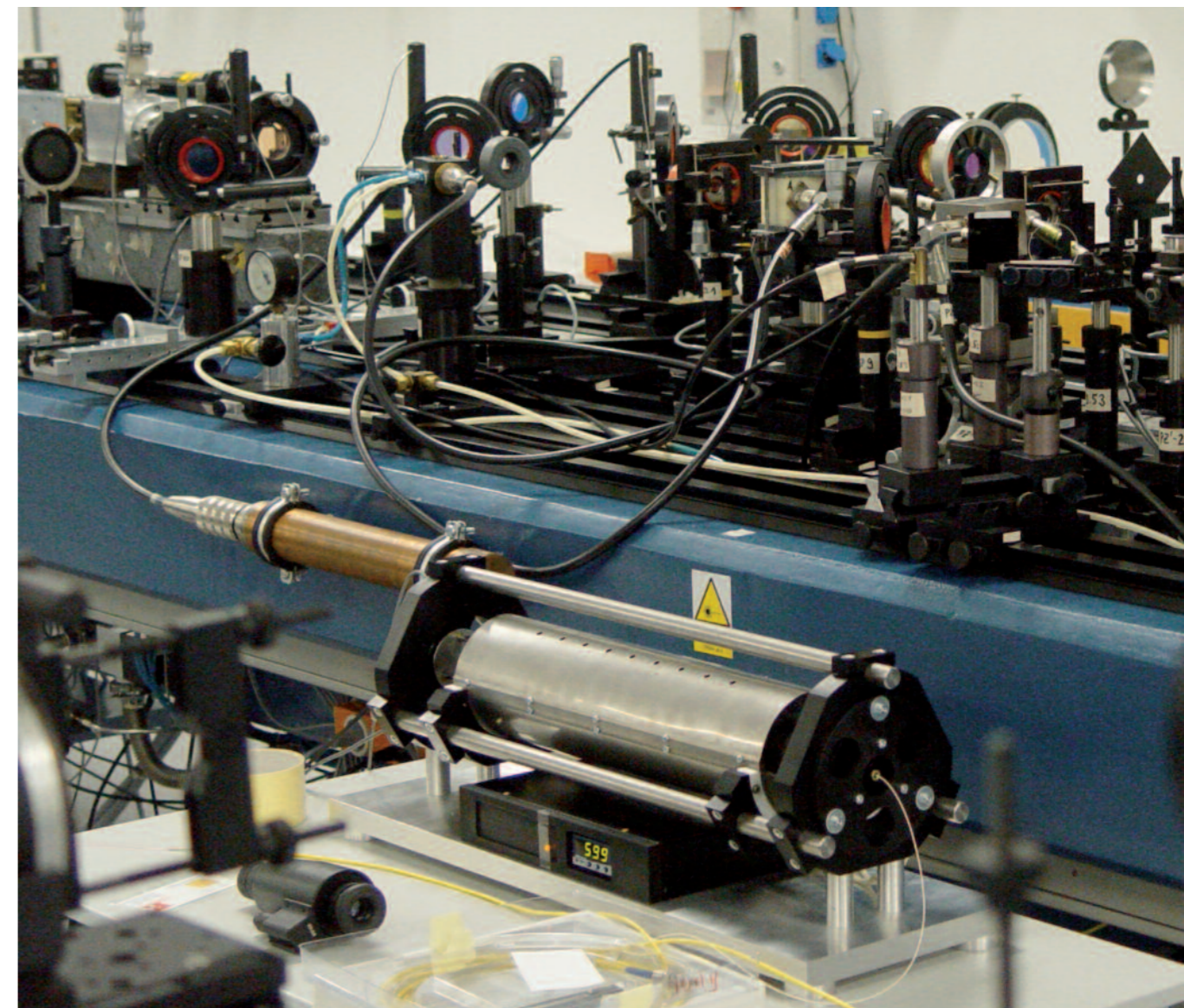


- **Nd:YAG stabilizovaný laser na vlnové délce 532 nm a 1064 nm, využívající absorpci v parách jodu.** Páry molekulárního jódu jsou nejrozšířenějším absorpčním prostředím pro stabilizaci laserů ve viditelné části spektra. Nabízejí hustou síť úzkých hyperjemných přechodů s nejlepším poměrem signál/šum v okolí vlnové délky 500 nm. Jodem stabilizované Nd:YAG lasery (Nd:YAG-I₂) dosahují stability optické frekvence na úrovni 10^{-14} . ÚPT disponuje experimentálním systémem na bázi Nd:YAG laseru, který generuje stabilní optické frekvence na vlnových délkách 532 nm a 1064 nm.



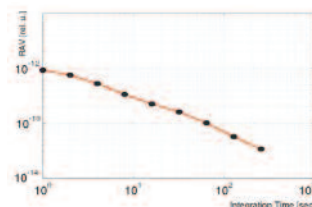
- **Stabilizovaný systém na vlnové délce 1315 nm.** Pro potřeby centra „Prague Asterix Laser System“ (PALS) jsme navrhli a realizovali stabilizovaný laser na bázi úzkospektrální DBR laserové diody, který funguje jako „Master oscillator“ na počátku zesilujícího řetězce. Jedná

se o laser s optovláknovým výstupem, jehož frekvence je stabilizována pomocí lineární absorpce v parách disociovaného jódu. Detekce a řízení je plně autonomní a přístroj je ovládán několika signálovými procesory. Laser pracuje na vlnové délce 1315 nm, tedy v telekomunikačním pásmu, a může sloužit i jako etalon na této vlnové délce.

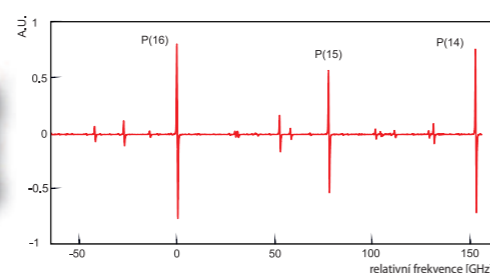
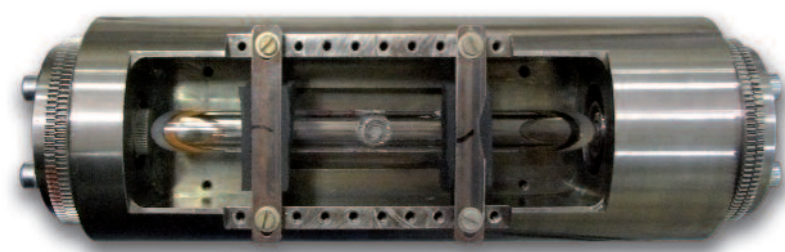


- **Normálový DFB laser na vlnové délce 1540 nm pro optické telekomunikace.** Na objednávku Českého telekomu (v současnosti Telefónica) byl vyvinut stabilizovaný laser sloužící jako etalon optické frekvence v blízkém infračerveném (telekomunikačním) pásmu 1540 nm. Jádrem je DFB laserová dioda s vysokou koherencí. Systém pracuje se stabilizací frekvence prostřednictvím spektroskopie v acetylenu $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ a umožňuje přeladění na některou ze spektrálních čar v rozsahu spektra až 200 GHz. Systém lze použít např. pro kalibrace vlnoměrů a spektrálních analyzátorů, které slouží ke správnému nastavení přenosových kanálů pro optické komunikace s multiplexem vlnových délek, tzv. D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Pohled na konečnou verzi „Master oscillator“ pro laserové centrum PALS.

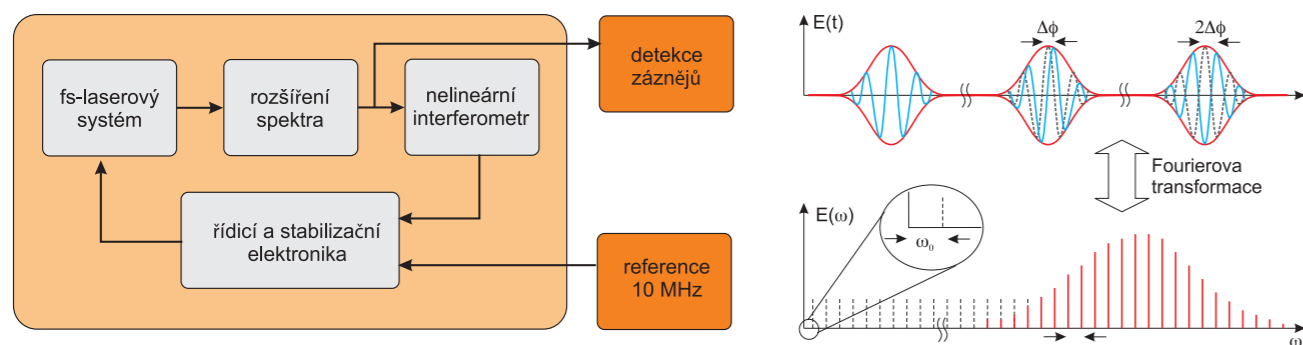


Vpravo je komplexní sestava etalonu optické frekvence na bázi Nd:YAG-I₂ laseru. Nahoře je záznam Allanových variancí ze srovnávacího měření dvou Nd:YAG-I₂ laserů, který prokazuje vysokou stabilitu optické frekvence těchto laserů.



Spektroskopická část telekomunikačního normálu na vlnové délce 1540 nm (vlevo) a průběh záznamu spektra acetylenu, který se používá pro stabilizaci vlnové délky telekomunikačního normálu (vpravo).

■ **Femtosekundový syntezátor optických frekvencí.** V laboratořích ÚPT provozujeme dva systémy syntézy optických kmitočtů na bázi femtosekundových pulzních laserů pracujících ve viditelné a v infračervené spektrální oblasti. Optický syntezátor umožňuje přenos relativní stability kmitočtů mezi radiofrekvenční a optickou částí spektra a slouží jako reference (etalony) optických frekvencí pro metrologii, interferometrii a spektroskopii. Systémy ÚPT budou v brzké době navazovat na referenci H₂ maseru se stabilitou na úrovni 10⁻¹⁵.



Vlevo je blokové schéma optického syntezátoru.

Na obrázku vpravo nahoře je časový průběh záření na výstupu syntezátoru a vpravo dole jeho spektrální vyjádření (tzv. optický hřebec).

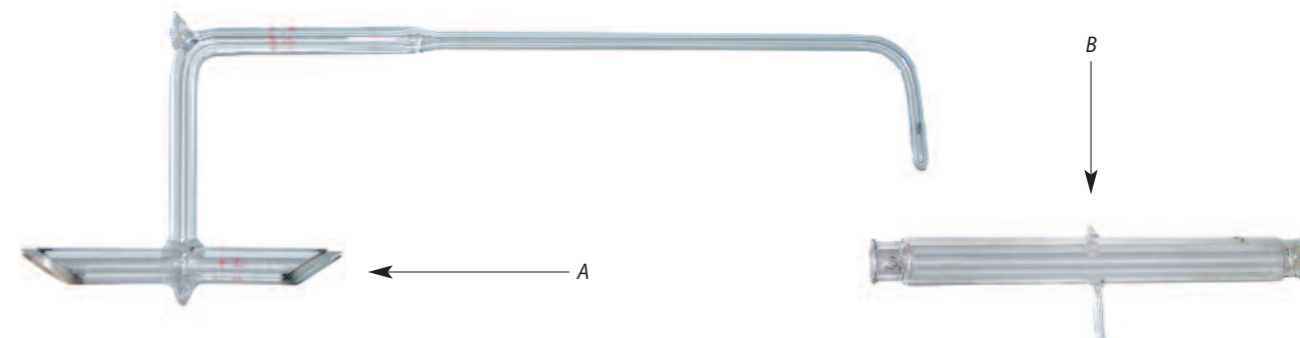
Kontakt: Ing. Ondřej Číp, Ph.D. ■ e-mail: ocip@isibrno.cz ■ tel: 541 514 254
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Absorpční kyvety pro spektroskopii a optické frekvenční etalony

Absorpční kyvety slouží především pro laserovou spektroskopii plynů a využívají se jako reference ke stabilizaci optických frekvencí laserů na vybrané absorpční čáře. Technologie výroby kyvet v ÚPT je realizována ve specializované sklářské dílně a jedná se především o kusovou zákazkovou produkci pro významné národní metrologické instituty, např. PTB v Německu, NIST v USA, BIPM ve Francii atd.

Příklady a vlastnosti zhotovených kyvet:

- z křemenného skla s klínovitými okny vybavenými antireflexí nebo s okny pod Brewsterovým úhlem,



- plněné superčistými plyny (acetylen ¹³C₂H₂, metan, xenon, krypton) nebo nasycenými parami jodu, cesia, rubidia. Kyvety plněné jodem slouží jako reference základních normálů (vlnové) délk. Frekvenční odchylky kyvet plněných v ÚPT jsou nejmenší na světě (pod 1 kHz optického kmitočtu). Technologie ÚPT dovoluje plnit vyráběné kyvety i dalšími plyny podle konečného určení.

Specializovaná kyveta s Brewsterovými okny pro etalon optické frekvence na bázi He-Ne laseru (obr. A). Standardní kyveta s klínovitými okny plněná jodem I₂ (obr. B).

Kontakt: doc. Ing. Josef Lazar, Dr. ■ e-mail: joe@isibrno.cz ■ tel: 541 514 253
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Laserní interferometrické měřicí systémy

Laserní interferometrické měřicí systémy využívají interference dvou a více laserových vln k odměřování neznámé vzdálenosti. Jejich využití je velmi široké a lze je použít jak k měření velmi krátkých vzdáleností v řádu milimetrů, tak i pro odměřování vzdáleností v řádech jednotek až desítek metrů. Přitom primární rozlišení měření se stále pohybuje v jednotkách až desítnách nanometru.

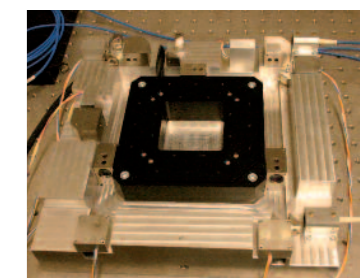
Systémy zhotovené v ÚPT se používají

- k měření polohy trojosých polohovacích stolků,
- ke kalibraci stupnic celé řady typů snímačů délky,
- k měření indexu lomu plyných prostředí.

Příklady aplikací

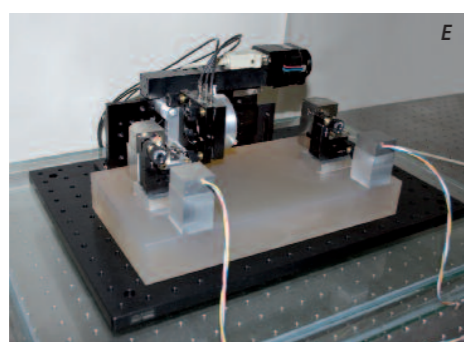
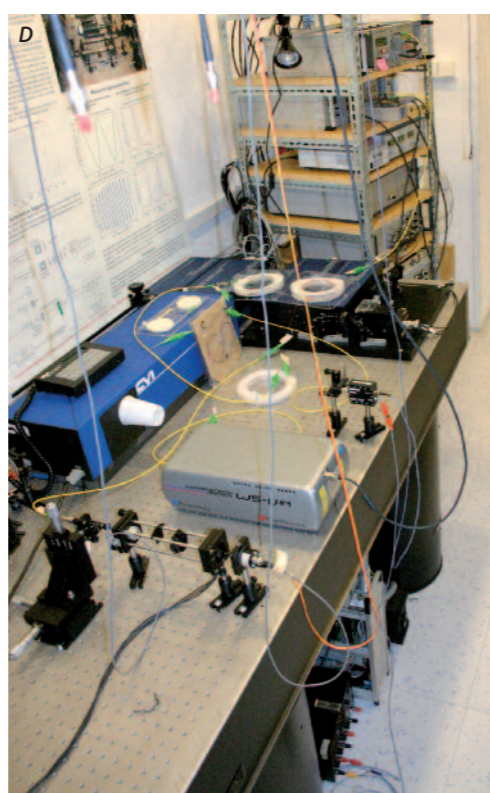
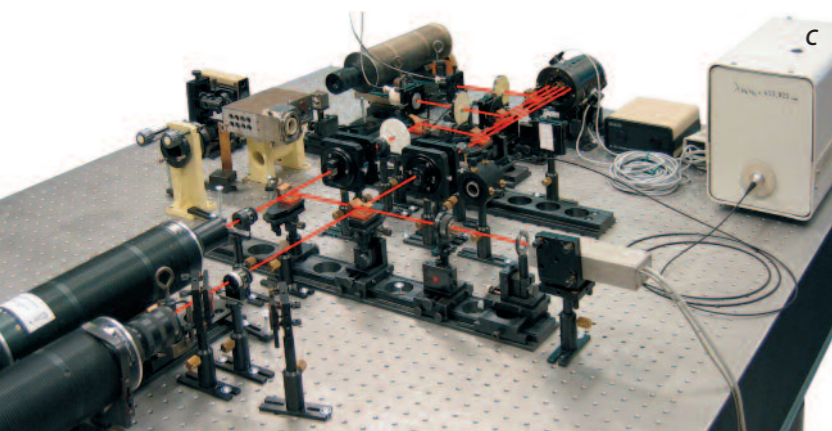
■ **Interferometrie pro nanometrologii.** Nanometrologie je založena na zobrazování vzorků technikami sondové mikroskopie, např. mikroskopie atomárních sil (AFM). Má-li jít o měření rozměrů v nanosvětě, musí být polohování sondy mikroskopu odměřováno interferometricky s přímou návazností na základní etalon délky (stabilizovaný laser). Sestava pro měření polohy vzorku vychází z nanopolohovacího souřadnicového stolu a systému šesti interferometrů monitorujících polohu stolu ve všech stupních volnosti. Sondový mikroskop je umístěn nad vzorkem. Limity nejistoty měření jsou dané mechanickou tuhostí sestavy a vlivem změn indexu lomu vzduchu. Rozlišení interferometrů je pod 1 nm.

■ **Přesné odměřovací systémy a komparátory.** Interferometrické systémy realizované v ÚPT dovolují rozlišení až v desítnách nanometru, tedy na úrovni meziatomových vzdáleností. Praktické využití těchto metod je např. v oblasti kalibrace stupnic různých délkových snímačů, které jsou pak následně využívány v průmyslovém měření.



Příklad víceosého interferometru pro 3D odměřování polohy sondy AFM mikroskopu.

Laserní komparátory pro kalibraci snímačů délky. Vlevo je systém pro kalibraci snímačů ve svislé poloze (obr. A), vpravo pro kalibraci snímačů ve vodorovné poloze (obr. B).



Systém pro měření indexu lomu vzduchu pomocí He-Ne laserů (obr. C).

Systém pro měření indexu lomu pomocí femtosekundového syntezátoru optických frekvencí (obr. D).

Příklad experimentálního laserového interferometru pro měření vzdáleností s potlačením vlivu indexu lomu vzduchu (obr. E).

- **Měření indexu lomu plyných prostředí.** V laboratořích ÚPT se také zabýváme výzkumem metod měření indexu lomu vzduchu nebo jiných plyných prostředí. K dispozici máme dva systémy pro identifikaci indexu lomu vzduchu, které lze nasadit i v dalších oblastech, např. k měření indexu lomu transparentních prostředí, kapalin i pevných látek.
- **Interferometrie s kompenzací vlivu indexu lomu vzduchu.** Uspořádání s diferenčním měřením vzdálenosti umožňuje kompenzovat vliv změn indexu lomu vzduchu. Základem sestavy interferometru je mechanická reference s velmi malou teplotní roztažností, na kterou je fixována vlnová délka laseru prostřednictvím součtu vzdáleností odměřovaných dvěma protiběžnými interferometry.

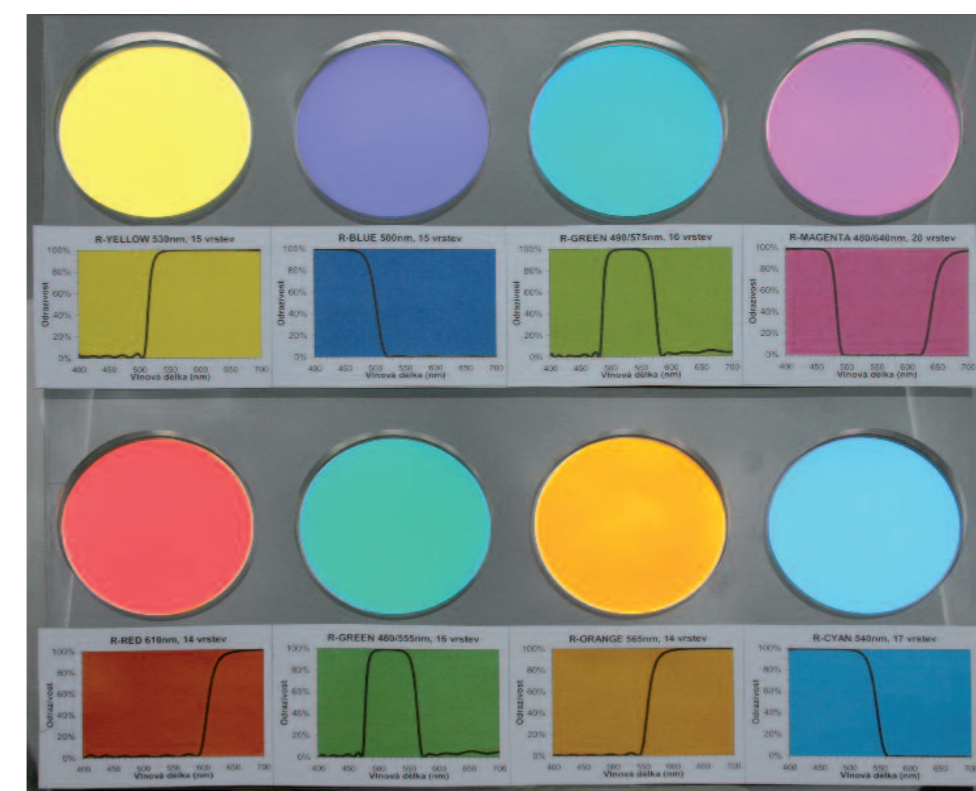
Kontakt: Ing. Ondřej Číp, Ph.D. ■ e-mail: ocip@isibrno.cz ■ tel: 541 514 254

doc. Ing. Josef Lazar, Dr. ■ e-mail: joe@isibrno.cz ■ tel: 541 514 253

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

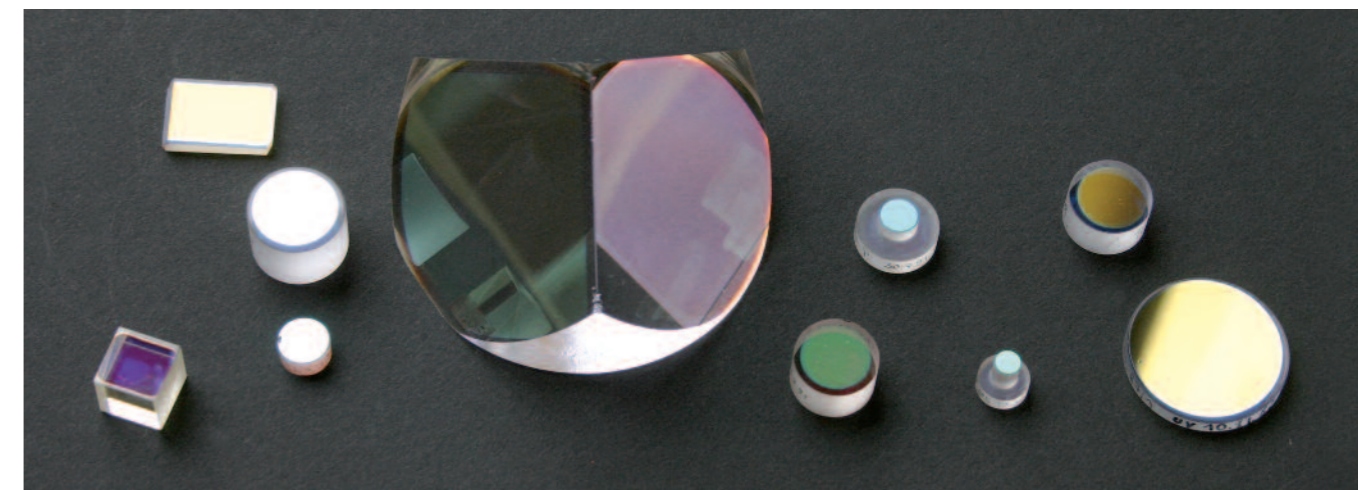
Depozice interferenčních vrstev vakuovým napařováním elektronovým svazkem a spektrofotometrické měření jejich spektrální odrazivosti a propustnosti

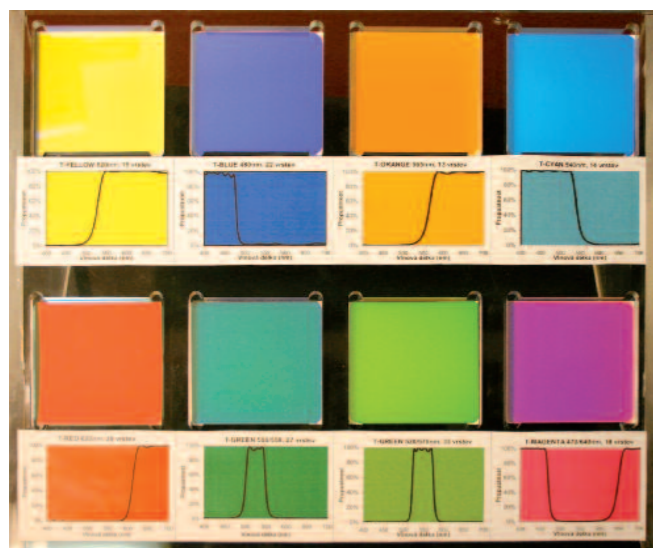
Tenké vrstvy připravujeme vakuovým napařováním elektronovým svazkem na zařízení Balzers BAK550 vybaveném dvěma elektronovými děly. Podložky lze před depozicí ohřívat. Zařízení umožňuje produkovat malé série substrátů s maximálním průměrem 180 mm nebo obdélníky 170 mm x 120 mm. Jsme schopni deponovat následující materiály: TiO_2 , SiO_2 , Ta_2O_5 , ZrO_2 , CeO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , MgF_2 a Na_3AlF_6 . Systavy interferenčních vrstev navrhujeme s pomocí specializovaného softwaru a dosažené parametry měříme spektrofotometrem.



Dichroické filtry – barva na odraz.

Optické prvky s interferenčními multivrstvami.





Dichroické filtry – barva na průchod.

Aplikace:

Aplikacemi jsou interferenční filtry pro viditelnou, blízkou UV a blízkou IR oblast světelného spektra. Příklady filtrů jsou:

- antireflexní vrstvy;
- neabsorbující zrcadla;
- studená zrcadla;
- tepelné filtry;
- barevné (dichroické) filtry;
- hradící a pásmové filtry;
- děliče světla;
- polarizátory;
- nepolarizující odražeče;
- monochromatické filtry.

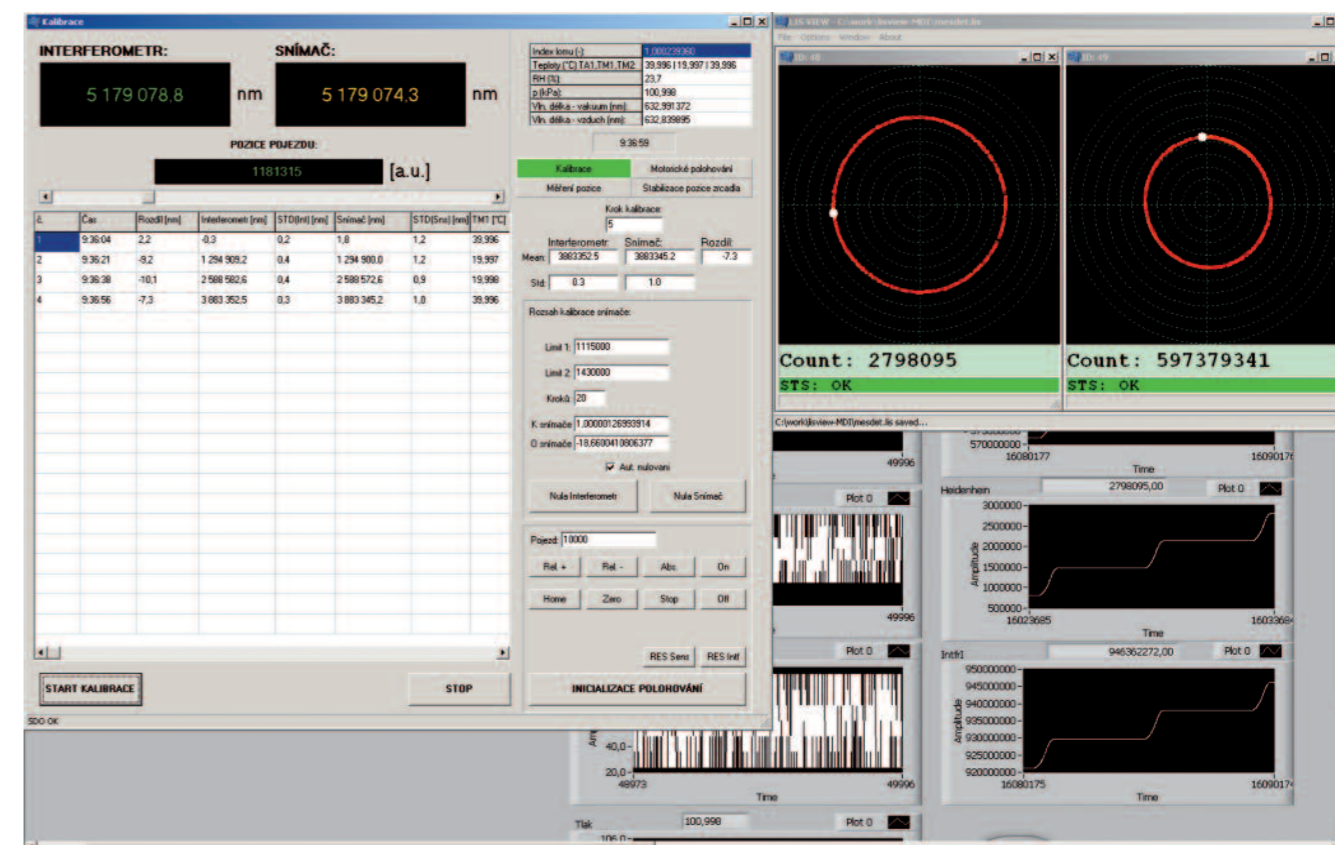
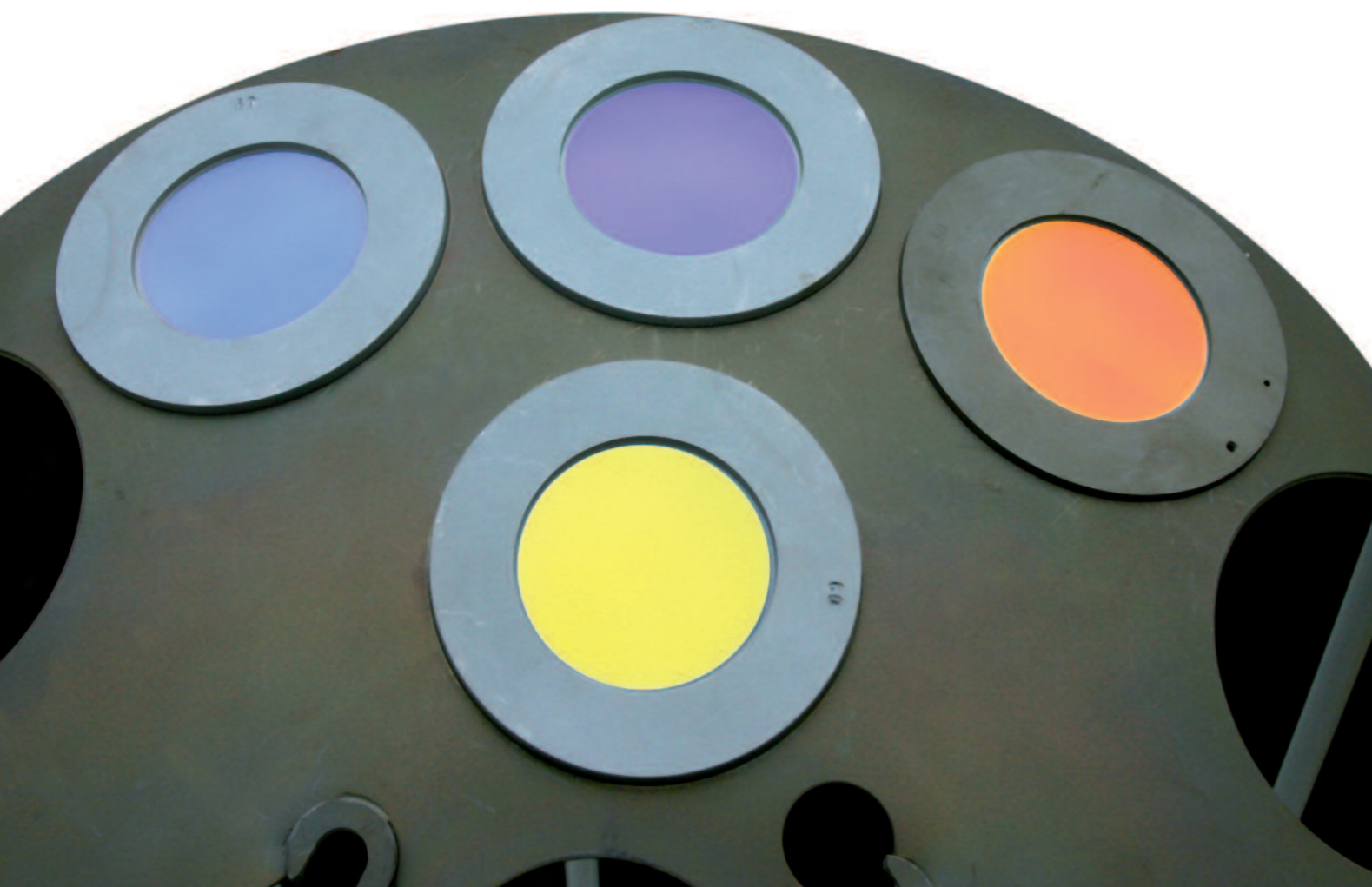
Měření spektrální odrazivosti a propustnosti provádíme na spektrofotometru Varian Cary 5E.

Kontakt: RNDr. Pavel Pokorný ■ e-mail: pok@isibrno.cz ■ tel: 541 514 257

Mgr. Jindřich Oulehla ■ e-mail: oulehla@isibrno.cz ■ tel: 541 514 226

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Příklad kaloty.

**Speciální elektronika a software**

Návrhy speciální elektroniky pro řízení experimentů včetně software představují významnou část aktivit výzkumného týmu.

Jedná se o:

- nízkošumové proudové kontroléry pro laserové diody,
- přesné teplotní kontroléry pro laserové diody a pro absorpční květy,
- číslicové systémy synchronní demodulace,
- karty pro digitalizaci signálů s AD a DA převodníky,
- vysokonapěťové zesilovače pro piezoelektrické měniče,
- kompletní detekční řetězce pro derivační i frekvenčně-modulační spektroskopii,
- komunikační interface pro TCP/IP, USB a CAN sběrnice a sítě,
- napájecí zdroje a fotodetektory.

Software vyvinutý v oddělení laserů ÚPT zahrnuje:

- originální algoritmus pro linearizaci stupnice laserového interferometru,
- komunikační server pro zpracování a přenos dat po síti TCP/IP v reálném čase,
- ovladače pro prostředí LabView,
- řídicí software pro sběrnici CAN.

Kontakt: Ing. Ondřej Číp, Ph.D. ■ e-mail: ocip@isibrno.cz ■ tel: 541 514 254

doc. Ing. Josef Lazar, Dr. ■ e-mail: joe@isibrno.cz ■ tel: 541 514 253

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz/kgs>

Příklad programového vybavení řídicího systému kalibračních komparátorů ÚPT.

Kompletní elektronika pro stabilizaci frekvence laserových diod (dole).





Laboratoř elektronové litografie (EBL) ÚPT se zaměřuje na technologické principy a realizaci submikronových struktur připravených v různých materiálech pevné fáze. Výsledky laboratoře nacházejí uplatnění ve výzkumných a univerzitních laboratořích i u průmyslových partnerů. Naše práce se v posledních letech zaměřuje na následující oblasti:

- Generátor předloh s elektronovým svazkem.
- Technologie elektronové litografie.
- Fázové difrakční optické prvky (fázové DOE) a počítačem generované hologramy (CGH).

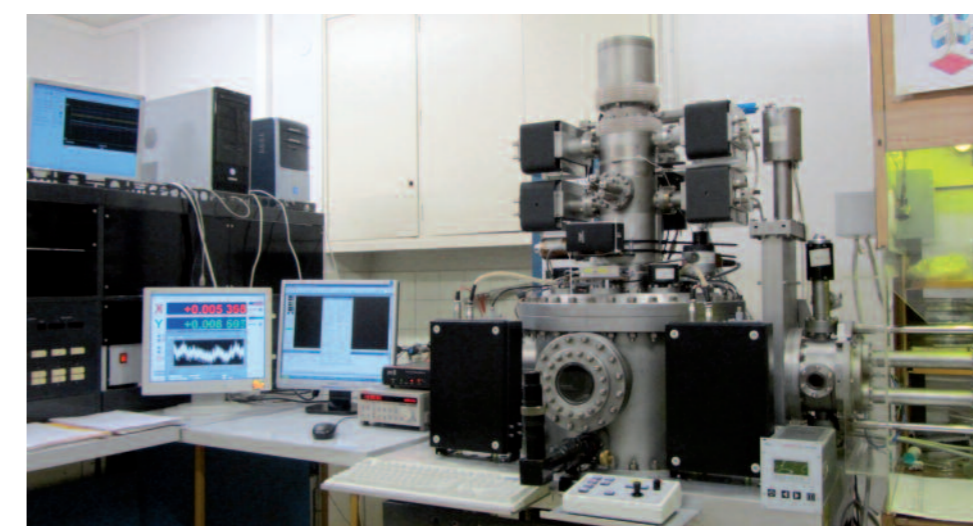
Elektronový litograf

Nezbytným předpokladem pro aplikační výsledky je soustavná inovace vlastního zápisového zařízení (elektronového litografu). Modernizace a rozšiřování této aparatury zahrnuje zejména intenzivní aktualizace SW a HW komponent tohoto složitého systému a výzkum v oblasti elektronových emitérů ZrO/W, zatímco fyzikální část (původní originální návrh v laboratořích ÚPT z konce 70. let) zůstává prakticky beze změn.

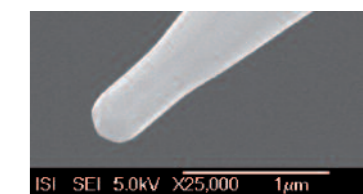
Elektronový litograf (generátor předloh) pracující s elektronovým svazkem obdélníkového průřezu s proměnnou velikostí (Tesla BS600+) umožňuje **rychlou expozici obrazových předloh ve velkém rozlišení** do tenké vrstvy rezistu nanesené na křemíkové (skleněné, keramické) podložce. Základní krok zapisovacího zařízení je **50 nm**; maximální hustota zapisovaných periodických struktur je asi **3 000 čar na milimetr**. Do konce roku 2012 bude nainstalován nový elektronový litograf (Vistec EBPG5000plusES). Kombinace obou zařízení umožní realizaci velmi jemných struktur na relativně velkých plochách.

Aplikační oblasti a vybrané výsledky:

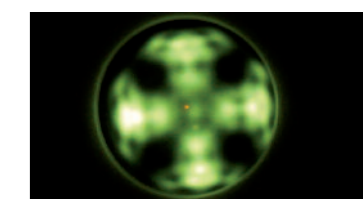
- Technologie přípravy ZrO/W Schottky katod, aktivační proces, příprava hrotů pro obecné použití. Katody jsou dodávány průmyslovému partnerovi.
- Aplikační SW pro přípravu zákaznických předloh a grafik.
- Elektronika litografu. Dva elektronové litografy (Tesla BS601+) byly revitalizovány, modernizovány a dodány průmyslovému partnerovi.



Kontakt: Ing. Miroslav Horáček, Ph.D. ■ e-mail: mih@isibrno.cz ■ tel.: 541 514 318
Podrobnější informace: <http://EBL.isibrno.cz/>



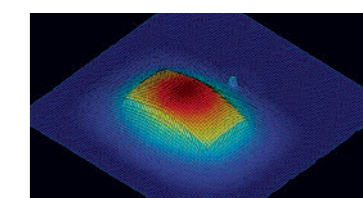
Katoda – detail hrotu (obr. z REM).



Katoda – úhlový emisní obrazec.



Mřížka s hustotou 3000 čar/mm.



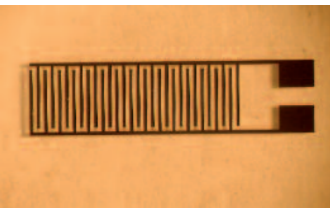
Simulace rozptylu elektronů.



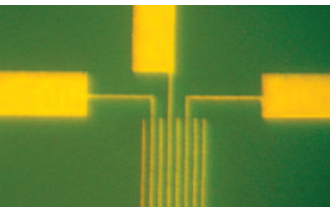
Upravený rámeček pro uchycení substrátu.

Elektronový litograf BS600.

Tvarování laserového svazku na holografické struktře CGH (s. 58).



Mikrosnímač s hřebínkovou strukturou



Mikročip pro měření vlastností nanotrubic



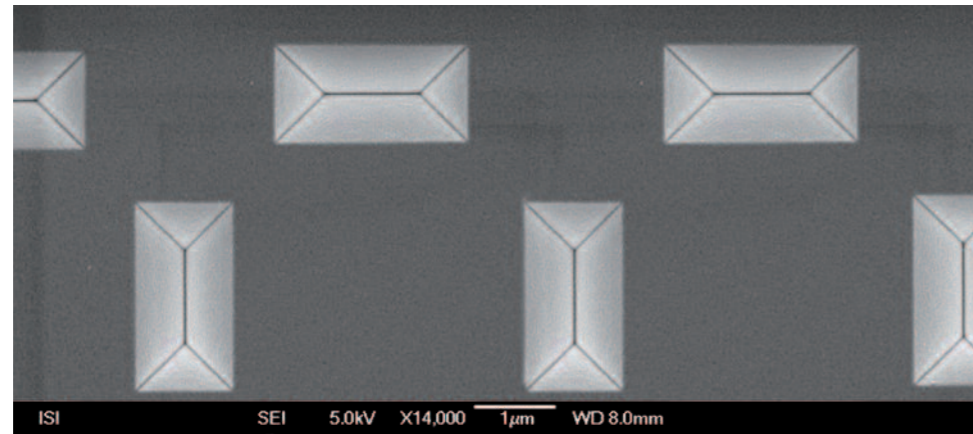
Maska pro monitorování zeměření (detail)



Soukrytovací fotolitografické značky

Struktura rozměrového normálu (detail), mřížka s periodou 5 μm . (vpravo nahoře)

Litografická čtyřpalcová maska – chrom na skleněném substrátu.



Technologie elektronové litografie

Požadovaný obrazec se zaznamená **do tenké vrstvy elektronového rezistu** (expozicí vznikne latentní obraz). Vyvoláním exponované vrstvy rezistu (v odpovídající vývojce) se vytvoří planární rezistová maska, přes kterou je možné opracovat povrch podložky (substrátu) nebo tenkou funkční vrstvou (zpravidla kov nebo dielektrikum) předem na nosném substrátu nanesenou.

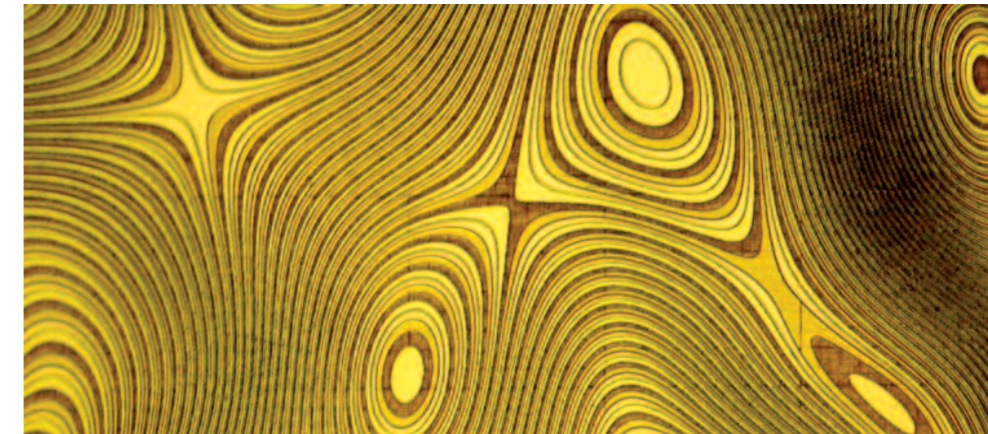
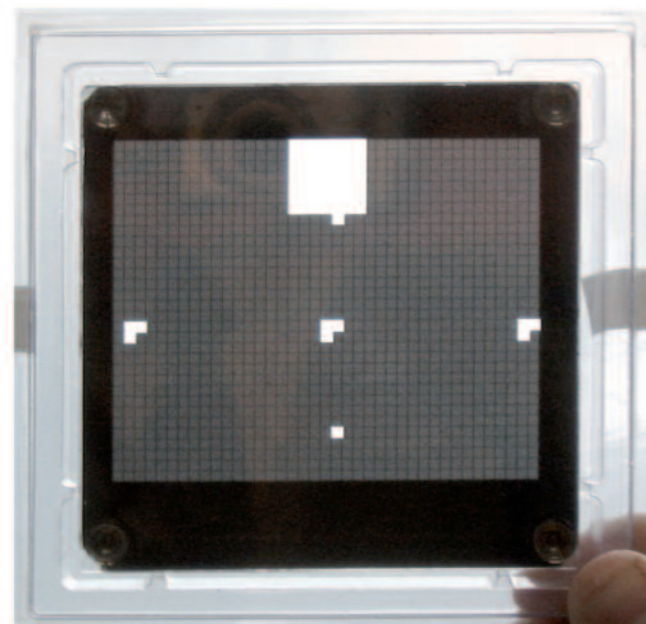
Aplikační oblasti a vybrané výsledky:

- Struktury rozměrových normálů. Podle požadavků zadavatele bylo vytvořeno několik kusů rozměrových normálů pro elektronovou a optickou mikroskopii. Přesnost normálů se expozicí kalibrovaného expozičního pole elektronového litografu odvozuje od laserových interferometrů a je garantována certifikátem Českého metrologického institutu.
- Skleněné masky pro optickou a UV litografii.
- Struktury vytvořené přímou litografií například různé typy mikrosnímačů.
- Charakterizace povrchů pomocí mikroskopu atomárních sil (AFM), konfokálního mikroskopu (CLSM) a rastrovacího elektronového mikroskopu (REM).

Kontakt: Ing. Milan Matějka ■ e-mail: mmatejka@isibrno.cz ■ tel: 541 514 344

Mgr. Michal Urbánek ■ e-mail: urbanek@isibrno.cz ■ tel: 541 514 222

Podrobnější informace: <http://EBL.isibrno.cz/>



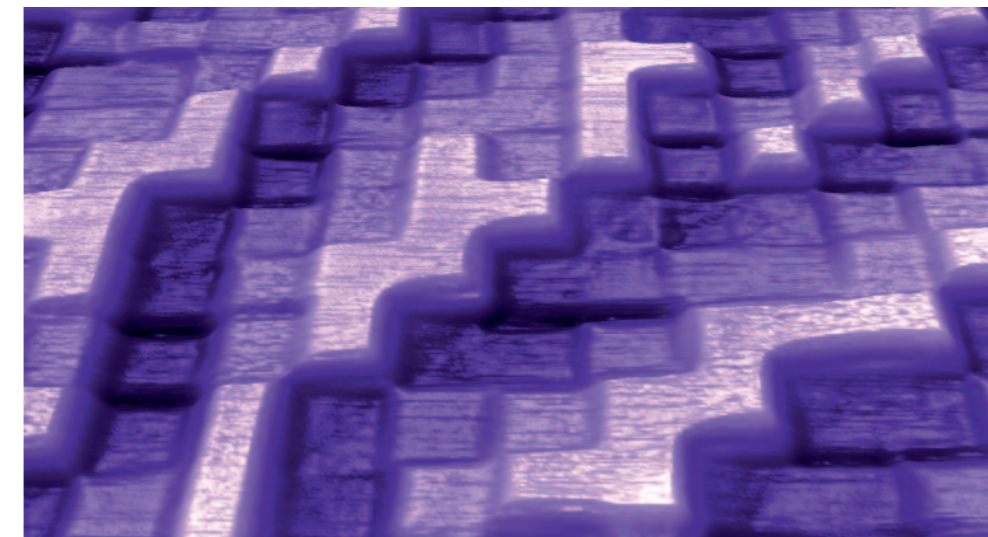
Detail obecné difrakční víceúrovňové struktury (optický mikroskop, zvětšení 200 \times).

Optické difrakční struktury

Rozlišení elektronového litografu umožňuje expozici mřížek s periodou pod jeden mikron, což je perioda blízká vlnové délce viditelného světla (asi 400–700 nm). S relativně velkou zápisovou rychlostí je možné vytvářet difrakční struktury celkové velikosti několik cm^2 . Díky pružnému způsobu zápisu je možné vytvářet sady struktur s různými parametry a jejich kombinace na jednom vzorku.

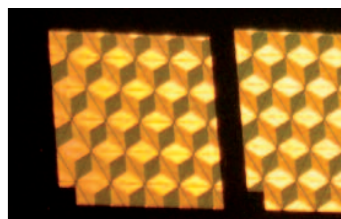
Aplikační oblasti a vybrané výsledky

- **Počítačem generované hologramy (CGH)** – metodika a technologie přípravy struktur.
- Optické difrakční **Fresnelovy čočky** a obecné Fresnelovské struktury.
- Průmyslová aplikace elektronové litografie v oblasti **fázových difrakčních optických prvků** (fázové DOE) resp. syntetických hologramů, které jsou zapisovány přímo vryp po vrypu na rozdíl od laserové interferenční metody. Několik desítek vzorků velkoplošných holografických struktur připravených v tenké vrstvě polymeru (elektronového rezistu) bylo dodáno na základě technických a grafických podkladů průmyslového partnera.

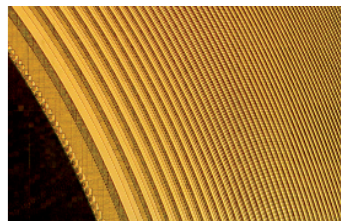


Kontakt: Doc. Ing. Vladimír Kolařík, Ph.D. ■ e-mail: kolariq@isibrno.cz ■ tel: 541 514 336

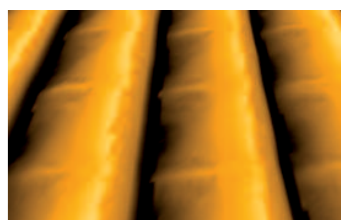
Podrobnější informace: <http://EBL.isibrno.cz/>



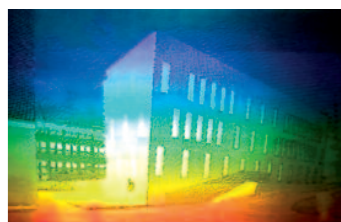
Obecná Fresnelova struktura 20 \times 20 mm^2



Fresnelova čočka (výřez)

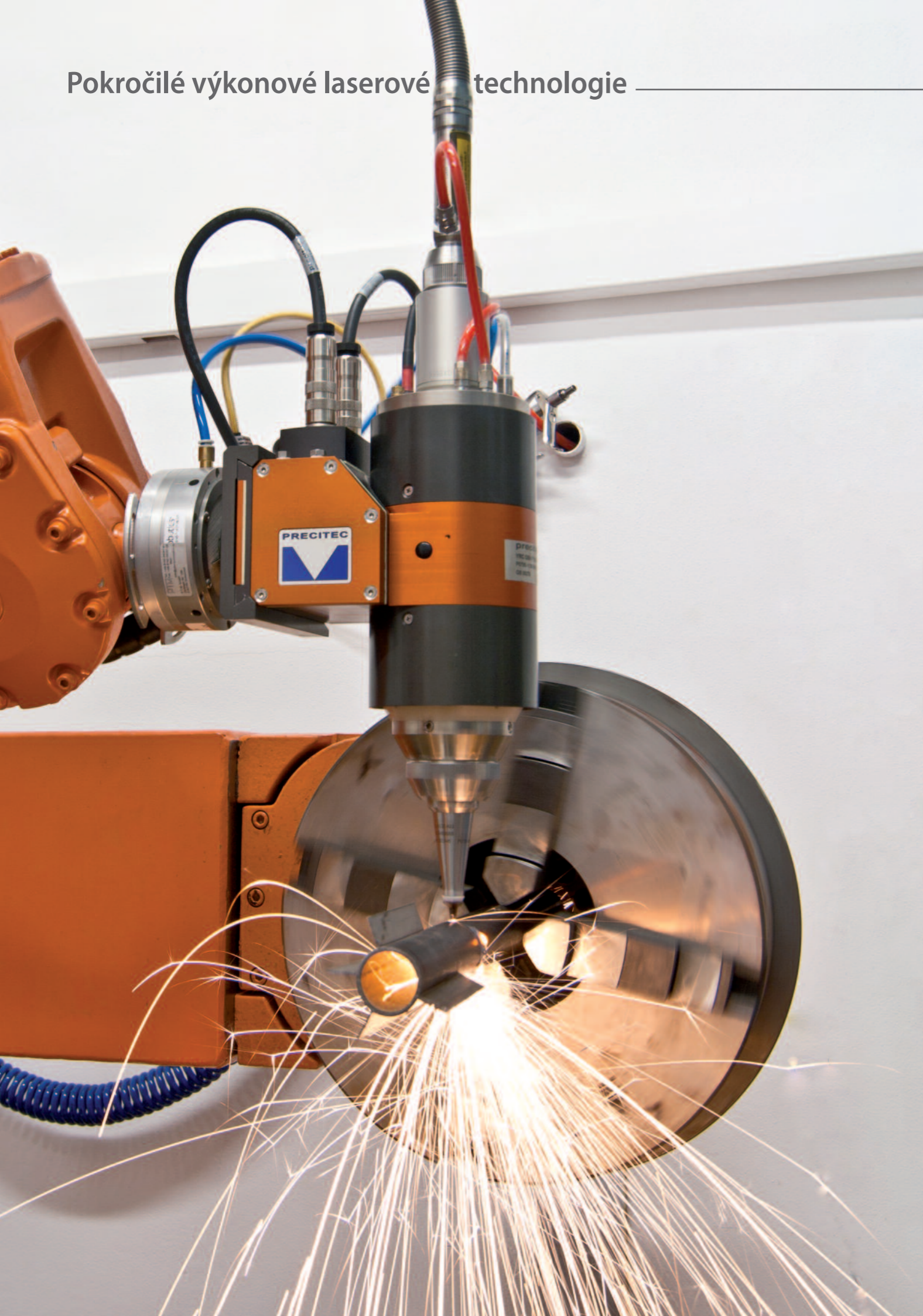


Vyhlazená mřížka



Jednoduchý hologram (budova ALIS)

CGH struktura (vlevo)



Technologie využívající laser ke **svařování, vrtání, řezání nebo kalení materiálů** patří v dnešní době mezi progresivní a perspektivní metody umožňující výrobním subjektům zvyšovat přidanou hodnotu svých výrobků nebo vyvíjet výrobky nové, jinými metodami nevyrobitelné. Strojní a technologická náročnost však brání hlavně malým a středním podnikům si taková zařízení pořídit. Jejich ekonomický přínos není okamžitý, poněvadž je třeba zdokonalovat postupy a zejména u laserového svařování provádět řadu technologických zkoušek. Také z těchto důvodů vzniká v ÚPT pracoviště, které bude nabízet využití nejpokročilejších laserových technologií i formou služby.

Dělení trubky za pomoci polohovadla (s.62).

Pokročilé výkonové laserové technologie

Princip **laserového svařování** využívá vysoké hustoty energie (řádově 10^7 W cm^{-2}) v ploše ozářené svazkem, která způsobí okamžité odpaření materiálu s minimální tepelnou disipací do okolního objemu. Vytváří se tak válcová dutina vyplněná parami kovu o takovém tlaku, že brání slítí tekutého kovu na stěnách dutiny. Pokud se paprsek vhodnou rychlostí pohybuje po povrchu, dutina sleduje pohyb paprsku a lze tak v porovnání s jinými metodami dosáhnout **velmi štíhlého svaru s průvarem do velké hloubky**. Proces nemusí probíhat ve vakuu – do místa svaru je přiváděna vhodná ochranná atmosféra k potlačení oxidace svarové lázně. Pokud je souběžně s paprskem přiváděn do místa tavení procesní plyn s vyšším tlakem, kapalný kov je ze spáry vytlačován a místo svařovací dochází k **řezání materiálu**.

Oproti ostatním tepelným metodám svařování či dělení **minimalizuje užití laseru tepelné ovlivnění materiálu** a tím i jeho následné deformace.

V ÚPT je využíván **vláknový laser**, ke kterému jsou připojeny dvě technologické aplikační hlavy pro **dělení a svařování materiálů**. Řezací hlava je na rameno robota upevněna přes vlastní nezávislou lineární osu, která pomocí zabudovaného zpětnovazebního systému udržuje konstantní odstup řezné trysky od materiálu, což je jeden z kritických požadavků na řezný proces. Svařovací hlava je vybavena koaxiální kamerou pro přímý pohled na probíhající svařovací proces. Polohování aplikačních hlav zajišťuje šestiosý robot, a doplňkové polohování opracovávaného dílu vzhledem k robotickému ramenu obstarává dvouosé polohovadlo napojené na řídicí systém robota. Systém tak umožňuje nejvyšší možnou flexibilitu polohování.

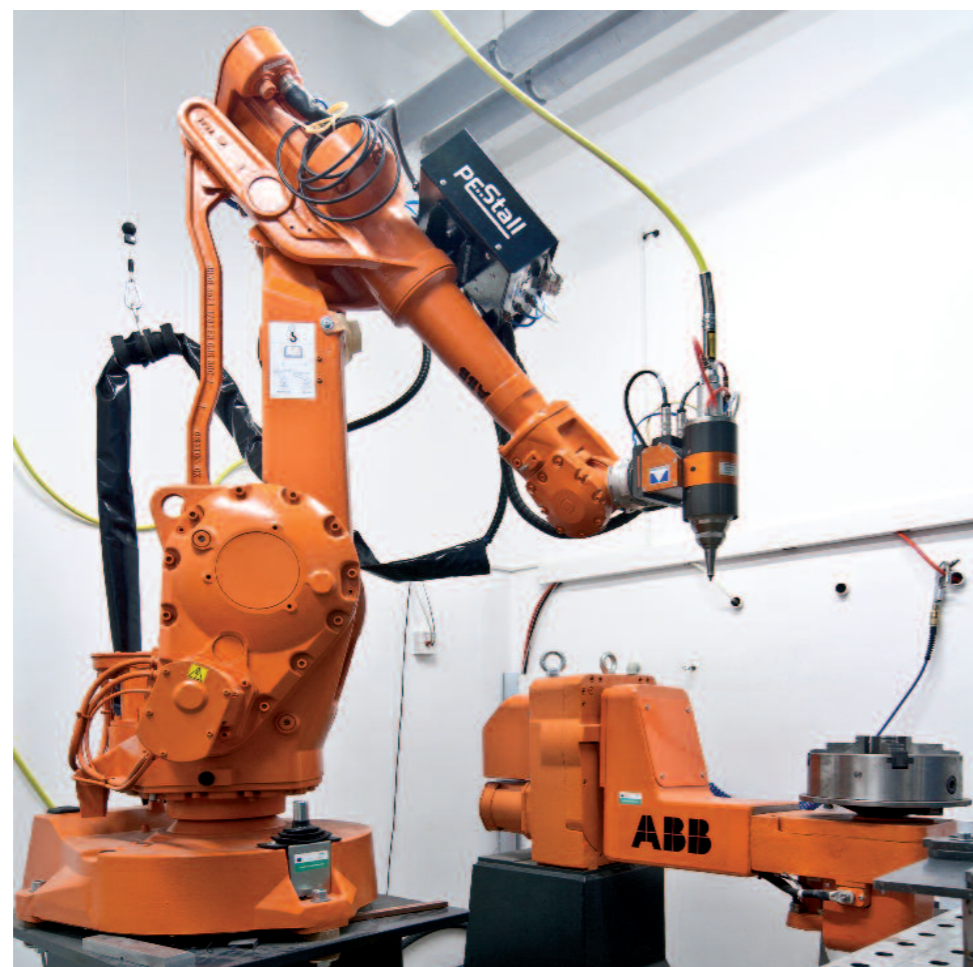
Parametry systému:

- výkon laseru 2 kW,
- dosah robota 1,6 m,
- nosnost polohovadla 250 kg,
- maximální hloubka průvaru cca 5 mm,
- maximální síla řezu cca 5 mm,
- procesní rychlost do 10 m/min.

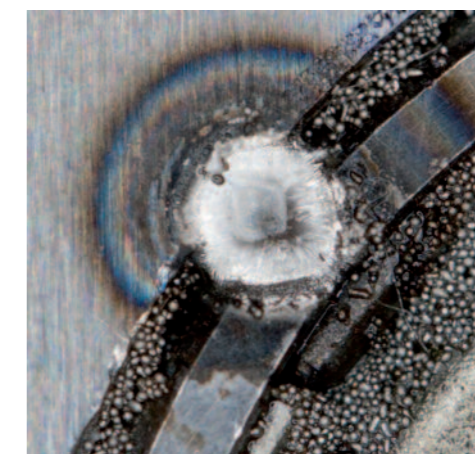
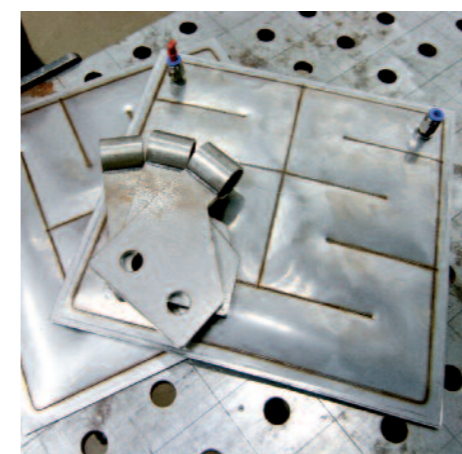


Detail výbrusu svaru laserem zobrazený pomocí Nomarského metody.

Šestiosé robotické rameno s dvouosým polohovadlem ABB.



Kalení hřídele laserem.



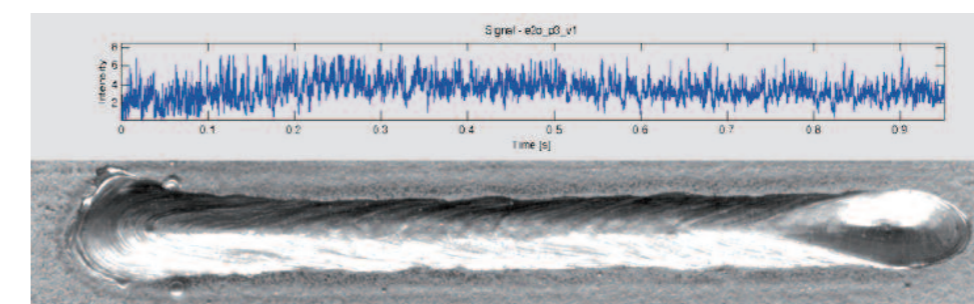
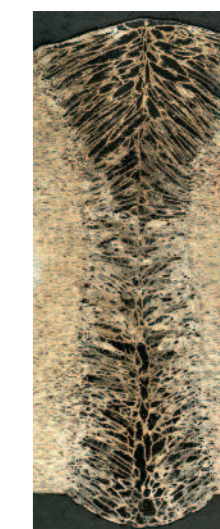
Ukázky praktického využití laserového svařování (vlevo).

Detail pájení laserem.

Příklady využití výkonového laseru:

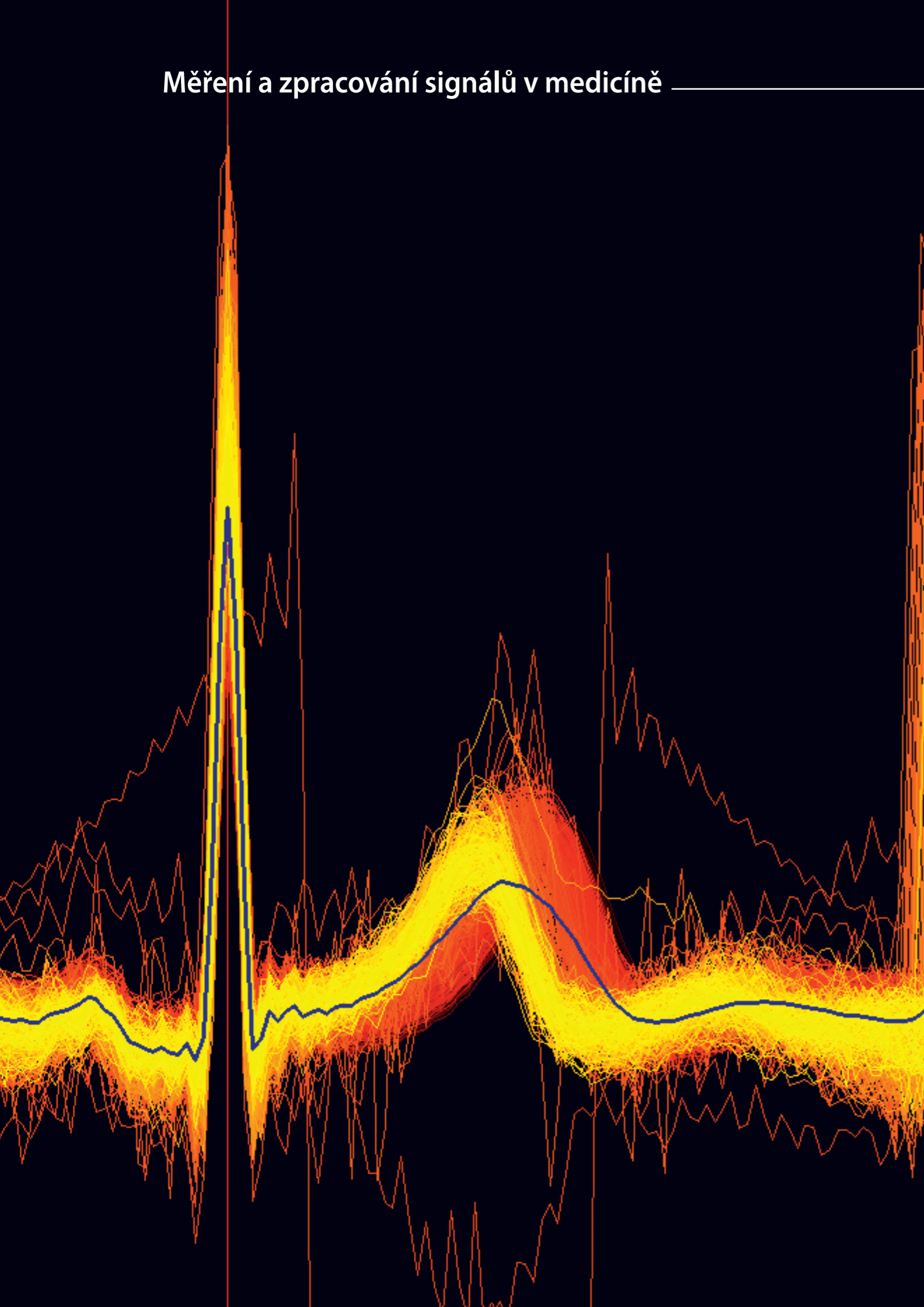
- **Laserové svařování** přelátováním dvou a více plechů do celkové síly 5 mm, svary natupo do celkové síly 5 mm, svařování dílů ve formě rovných plechů, výlisků, profilů a trubek, svařování materiálů z uhlíkové a nerezové oceli, titanu a dalších kovů a slitin, svařování materiálů s povrchovou úpravou jiným kovem (zpravidla Zn, Al).
- **Laserové dělení** materiálů ve formě rovných plechů, výlisků, profilů a trubek do síly cca 5 mm, materiálů zhotovených z uhlíkové a nerezové oceli, titanu a dalších kovů a slitin, materiálů s povrchovou úpravou jiným kovem (zpravidla Zn, Al) nebo s ochrannou fólií.
- **Laserové vrtání** otvorů do kovových a keramických materiálů se při použití laseru v pulzním režimu vyznačuje vysokou štíhlostí (až 1:30).
- **Bodové a maloplošné povrchové laserové kalení** materiálů schopných vytvářet martenzitickou strukturu, a to do hloubky cca 1 mm.
- **Technologické a prototypové zkoušky** pro testování nových postupů.
- **Výzkum svařovacího procesu** zaměřený na diagnostiku laserového svařovacího procesu, aktivní řízení svařovacího procesu a studium svařitelnosti materiálů.

Výbrus svaru zobrazený konfokálním mikroskopem (dole).



Záznam intenzity záření plasmatu během laserového svařování.

Kontakt: RNDr. Libor Mrňa, Ph.D. ■ e-mail: mrna@isibrno.cz ■ tel.: 541 514 214 ■ mobil: 731 462 192
 Jan Řeřucha ■ e-mail: jr@isibrno.cz ■ mobil: 724 974 311
Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



Signál EKG (s.66).

Tým MediSIG poskytuje kompletní řešení měření a analýzy signálů v neurologii a kardiologii včetně obecné analýzy signálů a expertních služeb.

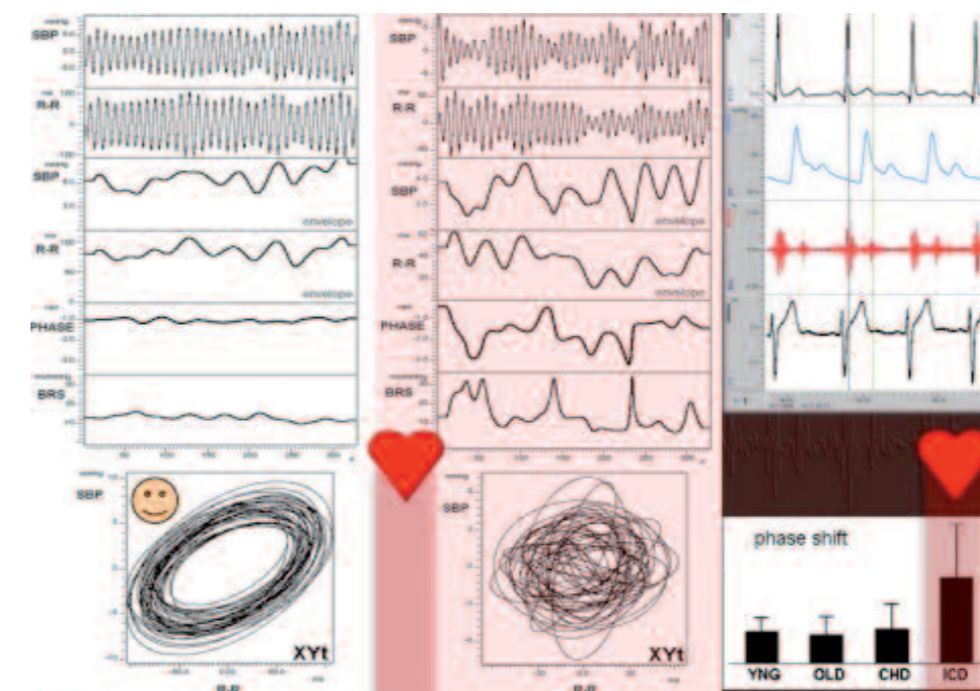
Aktivita MediSIG zahrnují návrh nových **neinvazivních diagnostických metod v kardiologii a neurologii, měření a zpracování signálů v lékařství a návrh a konstrukci experimentálních lékařských přístrojů a akvizičních systémů**. Skupina spolupracuje s tuzemskými (především FN u sv. Anny, Brno) a zahraničními (především Mayo Clinic, MN, USA) lékařskými pracovišti na kompletních diagnostických postupech. Sem patří realizace měřících a vyšetřovacích protokolů, návrh parametrů záznamů a kombinace měřených fyziologických signálů, digitalizace a archivace dat, zpracování a detekce fyziologických parametrů a analýza a statistické vyhodnocení výsledků. Produktem mezioborové spolupráce jsou společné patenty a původní experimentální přístroje a metodiky.

Oblast kardiologie – metody pro neinvazivní diagnostiku vlastností krevního oběhu.

Metody zahrnují neinvazivní diagnostiku kardiovaskulárních onemocnění zaměřenou především na stanovení míry rizika akutních srdečních příhod. Jedná se především o náhlou srdeční smrt, arytmie, srdeční infarkty a selhání srdce, diagnostiku ischemických chorob, vysokého tlaku krve a inervace srdce po transplantaci. Diagnostika je založena na vyhodnocování vícesvodového signálu EKG, signálu krevního tlaku, srdečního výdeje, srdečních zvuků a dechové křivky. Součástí diagnostiky je též stanovení hemodynamických parametrů, pružnosti cév a regulačních vlastností krevního oběhu.

Oblast neurofyziologie – zpracování EEG, epilepsie a Parkinsonova choroba

MediSIG poskytuje kompletní zpracování, analýzu a statistické vyhodnocení EEG záznamů z hlubokých mozkových elektrod. Pacienti trpící farmakorezistentní epilepsií mohou být léčeni chirurgicky vyjmutím epileptického ložiska. Ve fázi přesné lokalizace epileptogenního ložiska jsou zaváděny tzv. hluboké mozkové elektrody. Unikátní záznamy EEG signálu z hlubokých elektrod umožňují vývoj nových metod pro analýzu evokovaných dějů, synchronizací a desynchronizací, hledání směrů šíření signálu a souvislostí mezi jednotlivými mozkovými strukturami při různé mentální činnosti a aktivitě vnímání.



Rozložení rizika akutní srdeční příhody.

Ve spolupráci s Fakultní nemocnicí u sv. Anny a Lékařskou fakultou Masarykovy university, Brno, Mayo Clinic, Rochester, MN, USA.

Software – metodologie & zpracování

ScopeWin – systém pro měření, digitalizaci dat a zpracování.

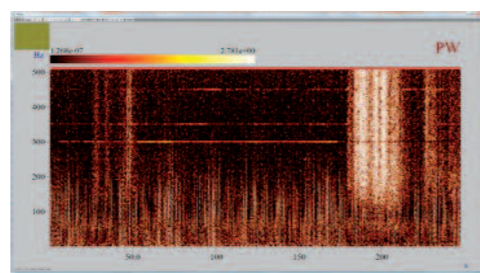
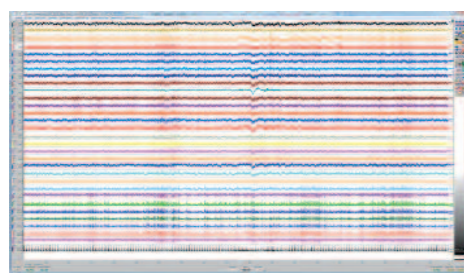
Základní charakteristika:

- **Záznam dat** – spolupráce s kompletní hardwarovou nabídkou akvizičních systémů National Instruments.
- **Vizualizace** – grafický editor, který umožňuje komfortní zobrazení dat, porovnávání různých průběhů, kopírování, mazání, kurzorové operace apod. Data lze exportovat do běžných formátů.
- **Zpracování** – obecné postakviziční zpracování zahrnuje následující funkce: frekvenční analýza, digitální filtrace, funkce pro matematické zpracování signálu (spline funkce, derivace, integrace, digitální kvadratická detekce a demodulace, zpracování 50 Hz signálu, zpracování a detekce poruch v síti), dvojdimenzionální analýza (například časově frekvenční analýza amplitudy, výkonu a fáze), segmentace a zprůměrnění dat podle stanovených kritérií a další. Většinu funkcí měření, zobrazení a zpracování lze vložit do programu a provádět sekvenčně bez nutnosti zásahu obsluhy.

Zpracování signálu v kardiologii zahrnuje například funkce: detekce parametrů signálu EKG (R vlna, QT interval, tepová frekvence), detekce parametrů kontinuálního záznamu krevního tlaku (systolický, diastolický, střední tlak, variabilita krevního tlaku, baroreflexe), srdečních zvuků (S1, S2), impedanční kardiografie (srdeční výdej, pružnost cév, pulzní vlna) a respirace (frekvence a hloubka dýchání). ScopeWin poskytuje automaty pro kompletní vyhodnocení hemodynamických veličin krevního oběhu. Umožňuje též implementaci nových postupů a metod analýzy.

Zpracování signálu v neurologii zahrnuje například následující funkce: vizualizace rozsáhlých datových souborů intrakraniálních záznamů EEG, časově frekvenční analýza, segmentace, automatické odstranění uměle vytvořených segmentů, zprůměrnění a výpočty evokovaných potenciálů, obálková analýza.

Analýza EEG signálu z hlubokých elektrod. Ve spolupráci s Centrem pro epilepsie Brno, oddělením neurologie a neurochirurgie Fakultní nemocnice u sv. Anny a Lékařskou fakultou Masarykovy university, Brno.



Zpracování signálu EEG

MediSIG zajišťuje odborné poradenství při realizaci měření EEG dat a jejich kompletní analýzu. Metody analýzy jsou realizovány ve vlastních softwarových nástrojích (ScopeWin, Scope MAT) a jsou navrženy pro off-line zpracování signálů především EEG, EKG, EMG a EOG.

Zpracovávaná data pocházejí z klinických i experimentálních intracerebrálních nebo skalpových měření. V současné době jsou snímána až ze 120 kontaktů se vzorkovací frekvencí až 1 kHz.

Aplikační příklady analýzy dat:

- analýza jednorázových událostí bez stimulace pacienta – klidové stavy, různé aktivity, epileptické záchvaty,
- analýza opakovaných dějů (stimulace pacienta vizuálním/zvukovým/taktilním/aj. podnětem)
- vliv hluboké mozkové stimulace (DBS) na tvar signálu EEG

Vývoj softwarových nástrojů

Vyvinuté softwarové nástroje zahrnují kompletní off-line zpracování neurologických dat umožňující:

- podrobné grafické zobrazení s vysokým rozlišením, manipulaci s bloky dat, předzpracování, analýzu dat založenou na FFT, zobrazení a základní statistickou parametrizaci (ScopeWin),
- statistické vyhodnocení a automatizaci procesů (ScopeMAT);
- vyhodnocení informačního toku založeného na korelační a koherenční analýze.

Program ScopeMAT umožňuje parametrizované dávkové zpracování dat, které zahrnuje: FFT filtraci, analýzu výkonů, časově frekvenční analýzu, statistické vyhodnocení opakovaných dějů (Wilkoxonův test, ttest, bootstrap test), automatickou detekci nárůstu a poklesu výkonu a statisticky významných složek ve frekvenční i časové oblasti či testy pro určení rozdílů opakujících se signálů nasnímaných za různých podmínek (stimulace subjektu typu A/B/aj, t-test pro dvě modality, Schoffe test pro více než dvě modality). Pomocí tohoto programu lze také vyhodnocovat skupiny subjektů, počítat tzv. „grand-average“ a přehledně tato data v rámci různých skupin kontaktů zobrazovat.

Program je navržen v prostředí MATLAB, které umožňuje rychlý vývoj nových algoritmů podle požadavků kladených řešenou problematikou. ScopeMAT poskytuje numerický a grafický výstup do mnoha formátů včetně MS Word a MS Excel.

Akviziční systémy

Součástí návrhu lékařských přístrojů jsou i akviziční systémy zahrnující snímání a předzpracování dat. Lze snímat až 128 kanálů, vzorkování až 5MHz na jeden kanál, rozlišení od 16 bit. Je využíván převážně hardware National Instruments s rozhraním PCI/PCMCIA/USB. Pro řízení experimentů a organizaci dat je využíván systém ScopeWin.

Příklady realizací:

- Akviziční modulární systém ISI Brno.
- M&I – ISI akviziční systém pro CARS.
- ANNALab – akviziční systém pro měření signálů v kardiologii. Instalace FN u sv. Anny, Brno, Mayo Clinic, USA.

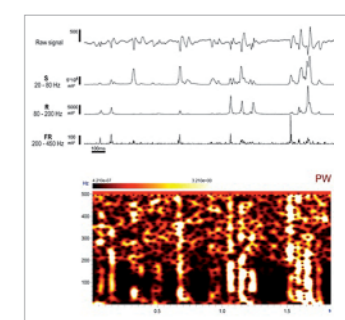
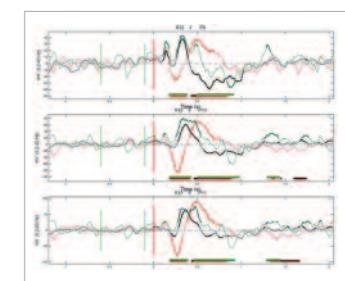
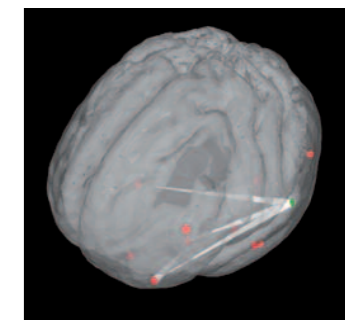
Experimentální přístroje pro měření biologických signálů

MediSIG navrhuje a realizuje především experimentální zařízení pro měření a zpracování biologických signálů. MediSIG se zaměřuje především na taková zařízení, která nejsou dostupná na trhu a umožňují realizaci původních měření s vysokou informační hodnotou.

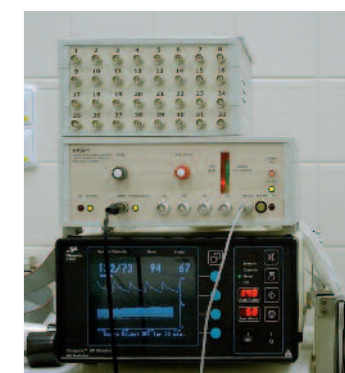
Příklady realizací:

Detektor aktivity stimulace vagového nervu. Detektor slouží k neinvazivní detekci aktivity stimulatoru vagového nervu. Stimulátor je implantován epileptickým pacientům za účelem snížení počtu a zmírnění epileptických záchvatů. Detektor umožňuje současné měření EEG a stimulace s vysokou časovou přesností (1 ms). To umožňuje vyhodnocovat okamžitý vliv stimulace na mozkovou aktivitu, provádět zprůměrnění a zesilování velmi slabých signálů. Pomocí detektoru je možné optimalizovat nastavení vagového stimulatoru. Toto zařízení bylo patentováno v USA.

RECO – zařízení pro řízení respirace. RECO umožňuje pomocí sloupce světelných diod kontrolovat frekvenci a hloubku dýchání. Používá se k řízení excitací změn tepové frekvence a krevního



Analýza intrakraniálního signálu EEG. Ve spolupráci s Fakultní nemocnicí u sv. Anny, Brno.



Detektor aktivity stimulace vagového nervu.



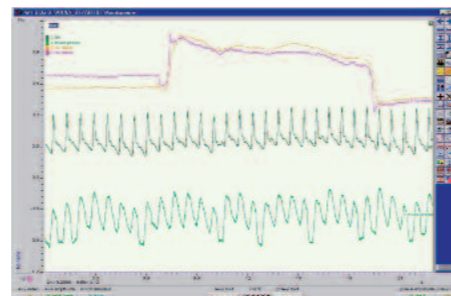
RECO – zařízení pro řízení respirace.

tlaku. Lze nastavit frekvenci dýchání v rozsahu 1–39 dechů za minutu, různé modulační (trojúhelníkové, sinus) s proměnnou hloubkou 25–100 %.

SGP – Strain Gauge Plethysmograf. SGP je určen pro měření změn objemů. Nejčastější aplikací je měření hloubky a frekvence dýchání v oblasti hrudníku a břicha. SGP lze také využít pro neinvazivní měření svalové kontrakce v končetinách, pro měření změn toku krve a krevního tlaku a pro šíření pulzní vlny. SGP zahrnuje celkem 10 nezávislých kanálů. Lze tak například současně měřit hrudníkové a břišní dýchání, kontrakci končetin a dobu šíření tlakové vlny.



Strain Gauge Plethysmograph.

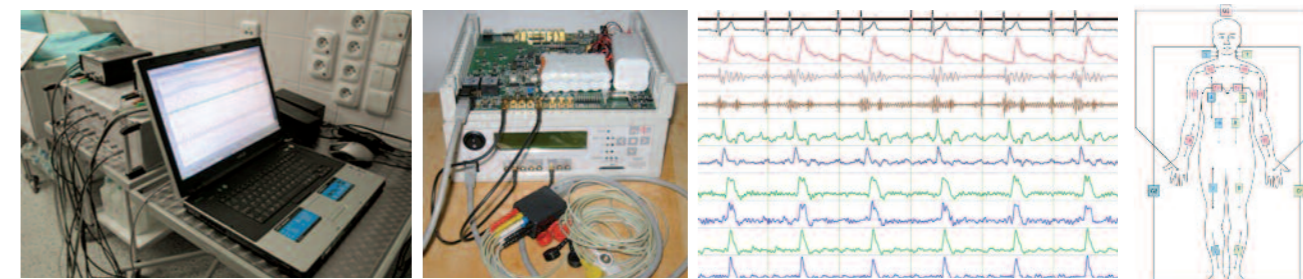
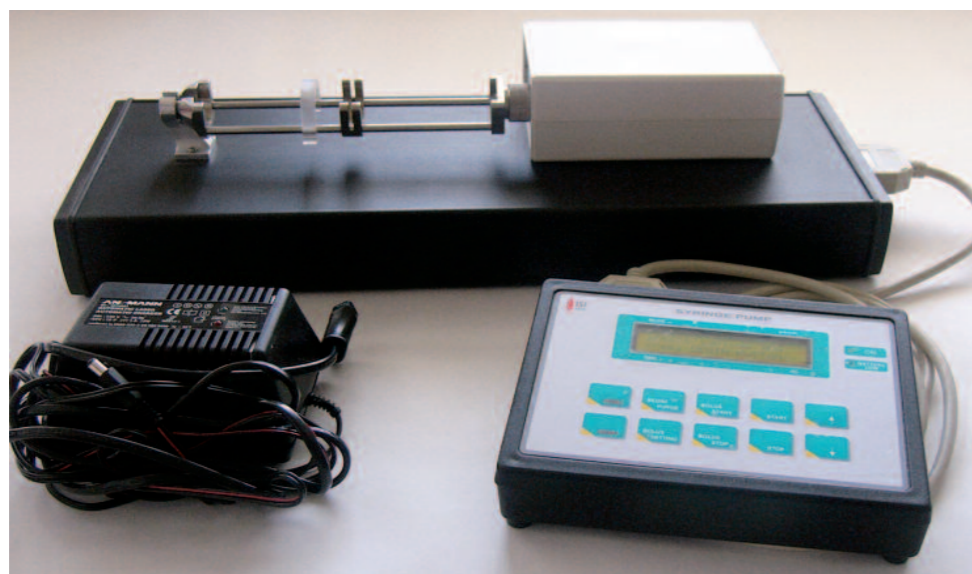


Strain Gauge Plethysmograph.

Experimentální míchací pumpa pro sonografické kontrastní látky. Pumpa umožňuje kontinuální infuzi a bolus za stálého promíchávání obsahu injekční stříkačky. Řízení pumpy je zajištěno mikrořadičem a je uživatelem plně programovatelné. Zařízení je napájeno akumulátorem a má robustní konstrukci. Technické parametry: injekční stříkačka standardní 10 ml nebo 20 ml, rychlost infuze 0,3..4,0 ml/min, rychlost bolusu 0,3..4,0 ml/min, programovatelný čas bolusu max. 60 s, rychlost míchání 30 cyklů +/-180° /minutu, minimální doba chodu na plný akumulátor 4,5 hodiny.

Vícekanálová impedanční kardiografie. Impedanční kardiografie je metoda založená na měření změn impedance hrudníku. Ze změn elektrické impedance je možné následně vypočítat důležité parametry kardiovaskulárního systému jako je srdeční výdej. Monitor umožňuje měřit malé změny impedance na různých částech subjektu a určit krevní tok, a zejména šíření pulzní vlny v celém těle. Zároveň je možné stanovit pružnost cév. Komerční přístroje jsou vybaveny

Míchací pumpa pro sonografické kontrastní látky.



Příklady vícekanálové impedanční kardiografie, EKG, tlak krve, srdeční ozvy.

jedním nebo dvěma kanály a současně měření celého těla není tak dostupné. Hlavní výhodou našeho monitoru je vysoká kvalita impedančního signálu, koherentní detekce ve všech kanálech, měření změn fáze impedance a měření záznamů do vnitřní paměti bez připojení k počítači a vnějšímu napájení.

■ Vícekanálová impedanční jednotka se skládá z dvoukanálových modulů. Každý modul obsahuje 2 zdroje proudu a dva napěťové detektory. Celkem lze propojit až 9 modulů pomocí synchronizačních signálů a vytvořit tak 18ti kanálový systém. Moduly mohou zapisovat naměřený signál do SD/SDHC paměťové karty, přenášet jej v reálném čase přes USB linku do PC a případně vysílat signál na analogové výstupy.

■ Parametry modulů jsou:

- měřicí frekvence 30 kHz až 70 kHz nebo 1 kHz až 1 MHz (volitelně)
- měřicí proud 1 mA, nastavitelný
- frekvence hodin přímého digitálního syntezátoru, AD převodníku a synchronního detektoru 60 MHz
- celkový dynamický rozsah 127 dBc/√Hz
- rozlišení fáze lepší než 0,001 stupně
- výstupní formát dat 16-bit komplexní obálka na 10 kS/s
- čas provozu na plně nabitý akumulátor 3 hodiny.

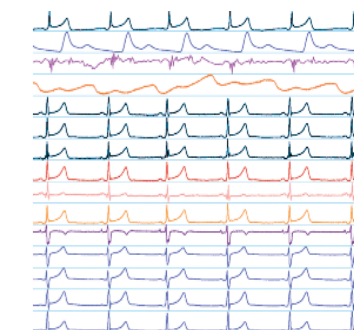
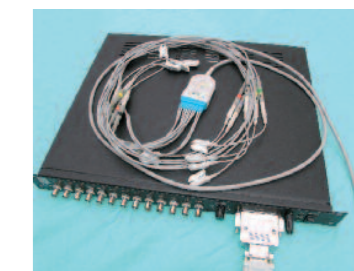
Zařízení pro měření signálů z nervů – mikroneurografie. Mikroneurografie měří sympatickou aktivitu přímo z nervových vláken prostřednictvím speciální tenké jehly. Zařízení zahrnuje zesilovač pro záznam velmi slabých elektrických signálů (jedná se o jednotky mikrovoltů, šířka pásma 40 kHz), další zesilovače a integrátory. Výstup lze napojit na jakoukoliv digitalizační jednotku.

12 svodové EKG. EKG zesilovač umožňuje záznam až 12 svodů s šířkou pásma do 500 Hz. Zařízení je určeno pro experimentální záznam EKG, který nelze realizovat pomocí komerčních EKG monitorů. EKG zesilovač je plně bateriově napájený s 12 paralelními BNC výstupy a s USB konektorem pro datovou komunikaci.

Kromě přístrojů uvedených v příkladech realizací MediSIG navrhuje a konstruuje širokou škálu zařízení pro měření biologických signálů. Patří sem například zesilovače, filtry, zařízení pro měření tlaku v ústech a plicích pro přesný záznam řízené plicní ventilace, zařízení pro záznam srdečních zvuků (phonocardiography), spirometry a další. Převážná většina těchto zařízení je bateriově napájena a lze je použít pro měření velmi slabých signálů v elektromagneticky čistých prostředích. Jejich nezávislost na síťovém napájení umožňuje realizaci experimentů s vypnutým síťovým rozvodem. Tímto postupem lze zcela eliminovat vliv 50 Hz signálu.

Kontakt: Ing. Pavel Jurák, CSc. ■ e-mail: jurak@isibrno.cz ■ tel: 541 514 312

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



12 svodové EKG.



Výzkum skupiny jaderné magnetické rezonance (NMR) je zaměřen v první řadě na metodologii lokalizované **in vivo MR spektroskopie a spektroskopického zobrazování** a na kvantitativní zobrazování založené na MR **difuzometrii a relaxometrii**.

Tato neinvazivní, neionizující a neionizující měření využívají interakci mezi magnetickými poli vytvářenými NMR přístrojem s atomovými jádry některých nuklidů nacházejícími se v objemu vzorku. Nejvyšší citlivosti se dosahuje u jader ^1H (protonů), a proto nejširší škála dostupných měřících technik se zaměřuje na molekuly vody, hojně zastoupené v biologických vzorcích a mnoha materiálech. V NMR měřeních pozorovaná jádra mohou informovat o morfologii vnitřku vzorku, ale současně mohou fungovat jako atomové sondy vypovídající o svém nejbližším okolí a procesech odehrávajících se v časovém měřítku pikosekund až hodin.

Vedle schopnosti identifikovat určité druhy atomů a molekul tak mohou měřená data poskytnout statistickou charakterizaci rychlých a náhodných interakcí atomů a molekul (vyjádřených relaxačními časy, difúzními koeficienty, rychlostí chemické výměny a pozorovaných jako změny obrazové intenzity), nebo i časově/prostorově rozlišenou informaci o daleko pomalejších procesech (změnách koncentrace, perfúzi, tocích tekutin či pohybech, zobrazených v časových posloupnostech obrazů). Mohou být získány kvantitativní obrazy mapující prostorové rozložení některých dobře definovaných fyzikálních vlastností (koncentrace, relaxačních časů, rychlosti a směru difúze, rychlosti toku, teploty atd.), může být detegována přítomnost paramagnetických nebo superparamagnetických nanočástic.

Vybavení:

S MR přístroji instalovanými v ALISI mohou být prováděny v zásadě všechny druhy měření známé z klinických MR skenerů. Díky zvýšené citlivosti vyplývající z vysokého magnetického pole a malých cívek těsně obepínajících vzorek je dosažitelné prostorové rozlišení vhodné pro studium malých vzorků. Jakkoli je oblast biomedicínského zobrazování dominantní, je možný vývoj technik zaměřených na využití NMR pro řešení specifických technologických problémů.

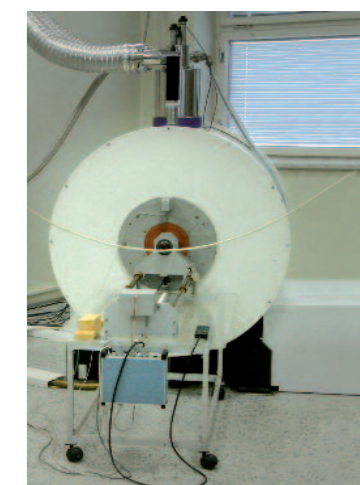
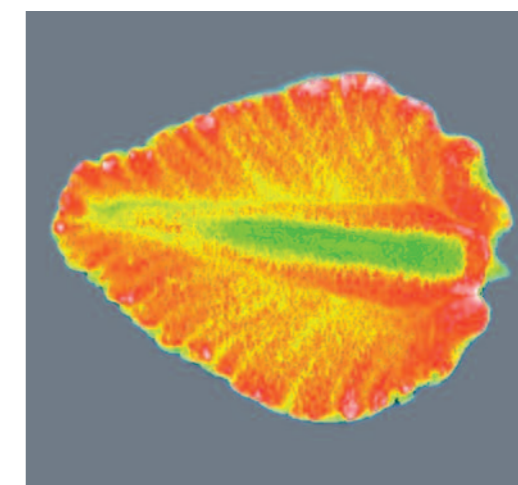
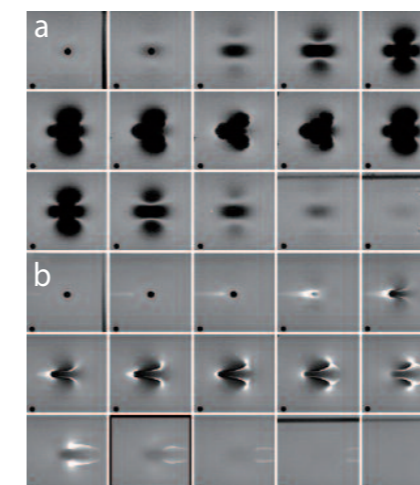
- MR skener **4,7 T/210 mm** (protonový rezonanční kmitočet **200 MHz**), optimální průměr vzorku 40 mm, maximální průměr 100 mm, maximální délka cca **300 mm**; měřitelná jádra: ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P , ^{23}Na , ^{129}Xe (okamžitě), další jádra na základě dohody (podmíněno dostupností příslušných RF cívek a filtrů).
- MR skener **9,4 T/210 mm** (protonový rezonanční kmitočet 400 MHz, od poloviny roku 2012).
- **Monitor fyziologických funkcí** a jednotka pro anestézii malých zvířat isofluranem.
- RF laboratoř.

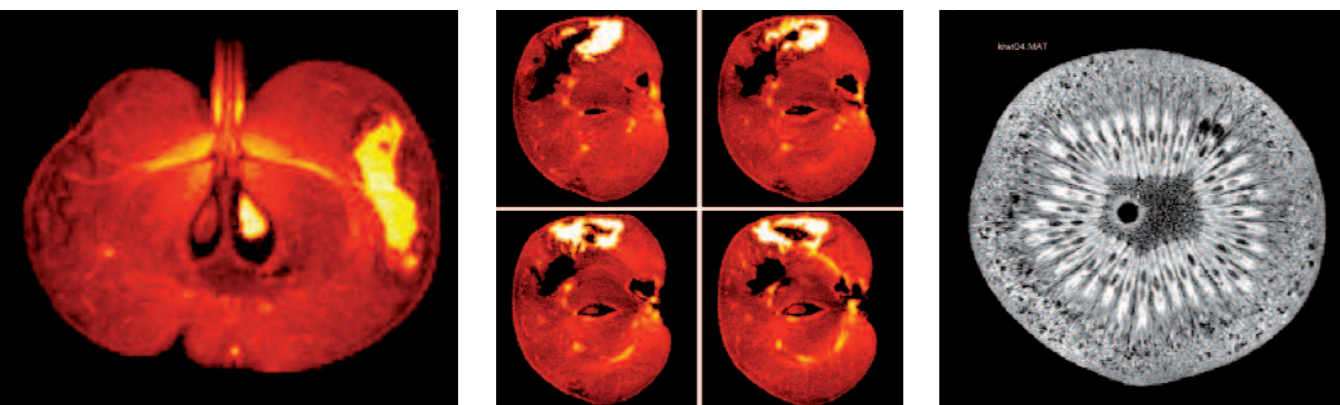
Příčný řez neporušeným citronem. (s.72).

Obrazové artefakty vznikající ve 2D MR obrazech měřených technikou (a) gradientního, (b) spinového echa v blízkosti vzorku zhotoveného z paramagnetického dentálního materiálu.

Příčný řez jahodou.

Magnet s polem 4,7 T.





Čtyři sousedící řezy rozkládají se červivým jablkem. Zvýšený jas rozkládajících se tkání souvisí s rychlejší relaxací menších molekul.

Jasně semínko indikuje přítomnost oleje.

Anatomie plodu kiwi zobrazená v MR skeneru s polem 4,7 T.

Zobrazování a analýza dat

ALISI je schopno optimalizovat protokoly měření a zpracování data k získání odpovědi na specifické otázky a provést nezbytná měření. Vzhledem ke složitosti technického vybavení a velké flexibilitě NMR měření je pro využití této techniky nejvhodnější organizační formou spolupráce, stavící na synergii odbornosti klienta a NMR kompetenci týmů ALISI.

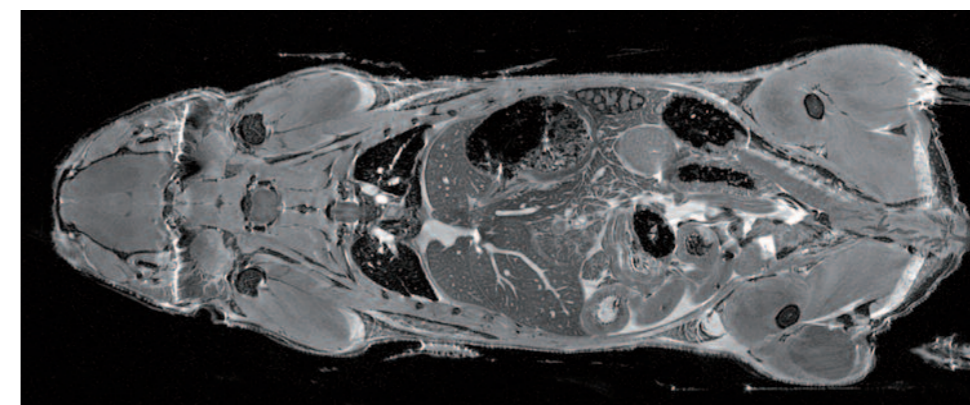
MR zobrazování, lokalizovaná spektroskopie a spektroskopické zobrazování

- Prostorové mapování 2D řezů nebo 3D objemů, prostorové rozlišení až cca $0,1 \times 0,1 \times 1 \text{ mm}^3$ (10 nL) nyní, $0,05 \times 0,05 \times 1 \text{ mm}^3$ (2.5 nL) od r. 2012.
- Obrazy zvýrazňující spinovou hustotu, časy T_1 , T_2 , T_2^* , difúzi, magnetickou susceptibilitu.
- Molekulově-specifické obrazy (voda, tuk, specifické malé molekuly).
- Kvantitativní zobrazení relaxace, difúze, perfúze, toku, změn teploty, magnetické susceptibility.
- Mapování 3D prostorového rozložení vybraných malých molekul, zejména pro in vivo studie buněčných kultur, rostlin, extrahovaných tkání, malých zvířat (myš, potkan).
- Kvantifikace poměrů metabolitů in vivo.

Analýza MR dat

- **MR zobrazování and spektroskopické zobrazování:** vlastní software Marevisi (vyvinutý ve spolupráci s National Research Council Canada – Institute for Biodiagnostics) – zpracování a vizualizace multidimenzionálních MR datových souborů.
- **MR spektroskopické zobrazování:** kvantověmechanické simulace a vyhodnocení dat, software jMRUI (vyvíjený ve spolupráci s konsorciem evropských výzkumných institucí).
- **Specializovaná řešení vyhodnocení MR dat.**
- **Vyhodnocení perfúzních studií.**

4,7 T MR skener.



Myš zobrazená v MR skeneru s polem 9,4 T.

Vzdělávání a výcvik

- Kurzy na míru, demonstrace MR technik a výcvik MR operátorů pro pre- nebo postgraduální univerzitní programy nebo výzkumné pracovníky.

Oblasti aplikací

Biomedicínský výzkum

Měření v MR skeneru s vysokým polem a malým pracovním objemem mohou být obzvláště přínosná pro rychle se rozvíjející oblasti nanomedicíny, pro vývoj a testování

- terapií využívajících **kmenové buňky** v kardiologii, neurologii, ortopedii, diabetologii;
- cílených léčiv pro **onkologii, kardiologii, neurologii, psychiatrii;**
- MR kontrastních látek na bázi **superparamagnetických nanočástic.**

Měření buněčných kultur, měkkých tkání, chrupavek, vyňatých orgánů, nebo myši či potkanů in vivo s vysokým prostorovým rozlišením může přispět k přenosu molekulárních a buněčných technik do humánní medicíny. Je výhodou, že tytéž NMR techniky mohou být použity u zvířecích modelů a člověka. ALISI je proto otevřeno i spolupráci zaměřené na vývoji a využití progresivních MR technik v lékařském výzkumu. Slibnou tematikou pro další rozvoj je biomedicínské molekulární zobrazování na bázi NMR v kombinaci s optickými modalitami (fluorescenční, bioluminiscenční zobrazování, Ramanova spektroskopie apod.).

Zkušenosti ALISI v oblasti NMR mohou být využity i v dalších oblastech vztahujících se k biomedicínskému sektoru, jako např.

- návrh a konstrukce **NMR fantomů** a cívek pro zvláštní účely;
- **testování MR kompatibility materiálů a implantátů;**
- studium fyziologie rostlin.

Průmyslová technologie NMR zobrazování a/nebo spektroskopie se mohou uplatnit i v různých oblastech **chemického, potravinářského, stavebního průmyslu či energetiky**, např. při

- charakterizaci porézních materiálů a gelů relaxometrickými a difuzometrickými metodami;
- měření magnetické susceptibility materiálů;
- vývoji biotechnologií.

Kontakt: Ing. Zenon Starčuk, CSc. ■ starcuk@isibrno.cz ■ tel: 541 514 247

Podrobnější informace: <http://www.isibrno.cz>



Průvodce
aplikačními možnostmi
Ústavu přístrojové techniky
AV ČR, v.v.i.

Koncepce publikace: prof. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D. ■ Ing. Oldřich Sobotka, MBA
Ing. Bohdan Růžička, Ph.D. ■ Ing. Lucie Oprchalová

Autoři: Mgr. Ota Samek, Dr. ■ prof. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D. ■ Ing. Martin Zobač, Ph.D.
Ing. Ivan Vlček, Ph.D. ■ Ing. et Ing. Vilém Neděla, Ph.D. ■ Ing. Aleš Srnka, CSc.
Ing. Tomáš Králík, Ph.D. ■ Ing. Pavel Hanzelka ■ doc. Ing. Josef Lazar, Dr.
Ing. Ondřej Číp, Ph.D. ■ doc. Ing. Vladimír Kolařík, Ph.D. ■ RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
Ing. Petr Jedlička, Ph.D. ■ Ing. Filip Mika, Ph.D. ■ Ing. Pavel Jurák, CSc.
Ing. Ilona Müllerová, DrSc. ■ Mgr. Miloš Hovorka ■ RNDr. Pavel Pokorný
Mgr. Jindřich Oulehla ■ Ing. Zenon Starčuk, CSc.

Konzultant: prof. RNDr. Jiří Doupovec, CSc.

Fotografie, ilustrace: archiv ÚPT AV ČR,
Musil, Hybská – architektonický atelier, s.r.o. (vizualizace budovy)

Grafická úprava: Alena Jedličková

Tisk: CCB, spol. s r. o.

Vydal Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, Brno, 2012.

Publikace je k dispozici v elektronické podobě na internetových stránkách

<http://alisi.isibrno.cz>

ISBN: 978-80-87441-05-3



AKADEMIE VĚD
ČESKÉ REPUBLIKY



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OP Výzkum a vývoj
pro inovace



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ