

LŠVT 2022 bude věnovaná přípravě a charakterizaci nanostruktur  
a jejich aplikacím  
(pokročilí uživatelé, doktorandi a výzkumná sféra)

## LŠVT 2022

### Nanostruktury za nízkého tlaku – příprava, charakterizace

30. 5. – 2. 6. 2022

Penzion Rumburak v Bítově na Jižní Moravě

### Program

Úterý 31. 5. 2022, dopoledne

*Příprava nanostruktur*

#### 1) Tenké vrstvy pro fotovoltaiku nanášené plasmochemickými metodami

**RNDr. Antonín Fejfar, CSc.**, Fyzikální ústav, AV ČR, v.v.i., Praha

*Fotovoltaická (FV) přeměna sluneční energie se postupně stává rozhodujícím dějem v transformaci energetických systémů: na konci roku 2020 dosáhla celková nainstalovaná FV kapacita ve světě 760 GW a ročně přibývá cca dalších 140 GW nových instalací, a tak již během blízké doby dosáhne kapacita 1 TW a odpovídající plocha instalací cca 5 tis. km<sup>2</sup>. Dominantní většina instalací je založena na technologii křemíkových desek, nicméně, stále větší roli ve výsledných člancích hrají tenké vrstvy, a to nejen v antireflexních povrchových vrstvách a v kontaktech, ale nejnověji i v zajištění samotné FV přeměny v selektivních pasivačních kontaktech. Tyto kontakty tvoří obvykle jen několik nanometrů vrstev nanášených plasmochemickými metodami, ale s patřičným složením dokáží nahradit i klasickou tvorbu PN přechodu dopováním. V tomto příspěvku budou představeny moderní typy solárních článků založených na funkcionalizaci křemíkových desek tenkými vrstvami jako je PERC, TOPCON, SHJ a/nebo IBC SHJ. Pro Evropu je podstatné, že dochází k renesanci evropské výroby: na několika místech se staví továrny s roční kapacitou výroby na úrovni ~5 GW, které směřují k výrobě panelů s vysokou účinností a nízkou uhlíkovou stopou výroby.*

## 2) Plasmatická depozice fotokatalyticky a fotoelektrochemicky aktivních tenkých vrstev a hybridních nanostruktur

**Štěpán Kment, Ph.D., RCPTM, Olomouc**

*Ochranné povlaky, funkční tenké vrstvy a nanostruktury, jsou často připravovány za pomoci nízkoteplotních plazmatických výbojů. Typickým příkladem je metoda magnetronového naprašování. Tato nízkotlaká depoziční technika je v současnosti zřejmě nejznámější a průmyslově nejrozšířenější. Principem nanášení povlaků je v tomto případě iontové odprašování kovového (ale i dielektrického) terče, který je primárním zdrojem deponovaného materiálu, v prostředí hustého plazmatu. Parametry depozičního plazmatu, jako je např. stále rozšířenější pulzní modulace, tlak, výkon, teplota substrátu atd., významně ovlivňují vlastnosti a funkčnost připravovaných nanostruktur. V tomto příspěvku se zaměříme na použití magnetronového naprašování a jiných PVD technik (např. výboj v duté katodě) pro přípravu fotoaktivních vrstev a hierarchických nanostruktur polovodičů a to zejména oxidů kovů. Tyto polovodičové nanostruktury nalézají uplatnění v oblasti obnovitelných zdrojů energie, jako je výroba vodíku fotoelektrochemickým a/nebo fotokatalytickým štěpením vody nebo elektrické energie v elektrochemických článcích. Podrobněji bude diskutována technika vysokoenergetického pulzního magnetronového naprašování (ang. tzv. high-impulse power magnetron sputtering – HiPIMS) pro přípravu fotoaktivních tenkých vrstev s řízenými nanodefekty.*

Úterý 31. 5. 2022, odpoledne:  
*Příprava nanostruktur*

## 3) Chemická depozice diamantových tenkých vrstev z par plynů

**Doc. Ing. Alexander Kromka, DrSc., Fyzikální ústav, AV ČR, v.v.i., Praha**

*Klíčovým předmětem bádání ve 21. století je implementování progresivních materiálů do praxe za účelem zkvalitnění lidského bytí a zabezpečení ekonomické stability či prosperity společnosti. V rámci široké škály takových materiálů je pozornost věnována syntetickému růstu diamantových tenkých vrstev díky výjimečné kombinaci jejich intrinsických vlastností (vysoká tvrdost, vysoká tepelná vodivost, optická transparence v širokém spektru, vysoká šířka zakázaného pásu, široké elektrochemické okno, a jiné). Příprava diamantových tenkých vrstev a jejich (nano-) struktur vyžaduje zvládnutí více technologických kroků. V prvním kroku „diamantové technologie“ je důležité aktivovat povrch nediamantové podložky (křemík, skla, keramiky, kovy, atd.) vhodným procesem známým jako nukleace anebo zárodkování. Nejčastěji se jedná o proces iontového bombardování povrchu anebo jeho pokrytí nanočásticemi detonačního diamantu velikostí 5 nm. Druhým klíčovým krokem je samotný růst diamantové vrstvy tzv. chemickou depozicí z par plynů (CVD – Chemical Vapor Deposition) za tlaků <10 000 Pa a teplot <1000 °C, který je nejčastěji realizován v plynné směsi metanu a vodíku za podpory mikrovlnné buzeného plazmatu. Následně jsou samotné parametry CVD procesu (složení plynné směsi, teplota podložky, tlak, mikrovlnný výkon) optimalizovány s ohledem na typ podložky,*

resp. omezení z něj vyplývající, a požadavky na způsob využití samotné diamantové vrstvy (povrchově hladké vs. drsné, nano- vs. mikro-rozměrné krystaly, dopované vs. intrinsické).

V rámci přednášky budou prezentovány nejnovější technologické pokroky v růstu diamantových vrstev a jejich (nano-) struktur na různé podložky v CVD procesu za asistence mikrovlnně buzeného plazmatu dosažené v laboratořích FZÚ AV ČR. Hlubší pochopení probíhajících fyzikálně-chemických procesů během růstu diamantu, tj. zejména kontrolovaný a reprodukovatelný růst z par plynů, nám umožnilo vytvářet cíleně „laděné“ (optimalizované) diamantové vrstvy a jejich (nano-) struktury pro perspektivní směry jako jsou (bio-) sensorika a opto-elektronika, degradace chemických polutantů (odpadů) a dezinfekce vody, anebo biotechnologie a life science. Navíc budou v přednášce také diskutovány specifické technologické požadavky (až záludnosti), s kterými se potýkáme během studia růstu diamantových vrstev v rámci základního a aplikovaného výzkumu probíhajícího v našich laboratořích.

#### 4) Pulzná laserová depozice a příprava nanostruktur

**Ing. Jaroslav Bruncko, Ph.D.,** Medzinárodné laserové centrum - CVTI SR, Bratislava, Slovenská republika

- Základné princípy pulznej laserovej depozície (PLD)
- PLD ako vákuová technológia
- Hlavné depozičné parametre procesov
- Príprava nanoštruktúr pomocou PLD
- Silné stránky a obmedzenia PLD
- Príklady nanoštruktúr pripravených v MLC (tenké vrstvy, nanovlákná, ...)

Středa 1. 6. dopoledne

## Charakterizace nanostruktur

### 5) Iontové mikro/nanostrukturování a komplementární využití iontových analytických metod pro charakterizaci struktury a složení materiálů

**Doc. RNDr. Anna Macková, Ph.D.,** Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i., Řež u Prahy Husinec

*Iontové svazky jsou efektivní nástroj pro cílenou modifikaci materiál, v široké škále parametrů iontových svazků je lze využít pro dopování, cílené vytváření strukturních defektů, nanostrukturování, mikrostrukturování a iontovou litografií pro aplikace v optice, elektronice, fotonice, bio-aplikacích atd. Současně jsou iontové analytické metody zásadní při zkoumání prvkového složení, hloubkového profilování prvků, strukturních studiích a analýze stopových prvků i při prvkovém mapování v 3D. Iontovými analytickými metodami lze zkoumat multivrstvy, tenké vrstvy, objemové materiály a stanovovat prvkové složení s velmi nízkými detekčními limity a hloubkovým rozlišením pod 10 nm, laterálním rozlišením v řádu mikrometrů. V rámci přednášky budou prezentovány nejnovější možnosti instrumentace iontových analytických metod v laboratoři Tandetronu ÚJF AV ČR a současně aplikace iontových svazků v řadě oborů materiálových a fyzikálních věd.*

### 6) Hmotnostná spektrometrie sekundárních ionů (SIMS)

**Ing. Andrej Vincze, Ph.D.,** Medzinárodné laserové centrum - CVTI SR, Bratislava, Slovenská republika

*Príspevok sa zaoberá analýzou pomocou SIMS rôznych materiálov, materiálových štruktúr, povrchov a objemov. Samotná charakterizácia pomocou SIMS slúži ako dôležitá informácia a zároveň aj ako spätná väzba pre technológa alebo technologický postup pri epitaxnom raste, o prechodových oblastiach a rozhraniach medzi substrátom a rastenou epitaxnou vrstvou a tiež o ich homogenite. SIMS v princípe nie je závislá od druhu materiálu, teda analyzovaný tuhofázový materiál môže byť akéhokoľvek druhu, organický, anorganický ale aj biologický. Je založená na atomárnom bombardovaní povrchu materiálov primárnymi iónmi s vysokou energiou až do 25 keV. Tieto ióny prenikajú do analyzovaného materiálu a odovzdávajú svoju kinetickú energiu zasiahnutým atómom v dôsledku čoho vzniká emisia ionizovaných atómov, molekúl a klastrov z povrchu. V našom prípade jednotlivé iónové častice sú analyzované metódou TOF (Time of Flight - Doba letu). Metóda TOF SIMS nám umožňuje detekciu skoro všetkých prvkov periodickej tabuľky pri tuhofázových materiáloch. Po analýze ako výsledok dostávame hmotnostné spektrum, 2D mapu prvkov z danej oblasti, hĺbkový profil alebo 3D distribúciu chemického zloženia. SIMS teda môžeme použiť na kompletnú analýzu jednotlivých materiálov. Pre niektoré typy meraní je to deštruktívna metóda.*

*Nami používaná modifikácia je TOF (Time of Flight) s  $\text{Bi}^+$  ionovým analytickým zdrojom, ktorá pracuje do 10000 amu. Analyzátor uskutoční hmotnostnú analýzu v relatívne veľkom rozlíšení ( $>7000 \text{ m}/\Delta\text{m}$ ). Ióny sú urýchľované elektrickým poľom podľa ich hmotnosti (rýchlosti, ktorá je úmerná hmotnosti) a prerušované bloky odlišných hmotnostných iónov sú*

detegované na MCP alebo iného detektora iónov. TOF SIMS ponúka hĺbkovú profilováciu techniku a jej citlivosť k veľmi nízkej koncentrácii (~1 ppb) elementov - čo je hlavne dôležité v polovodičom priemysle, kde dopant (prímes) je často prítomný vo veľmi nízkej koncentrácii. Rýchlosti odprašovania v typických SIMS experimentoch sú v rozsahu 0.5 až 5 nm/s v závislosti od tvrdosti, vodivosti a ďalších parametrov analyzovaného materiálu.

V príspevku sú uvažované rôzne modelové prípady štruktúr a materiálov.

Čtvrtek 2. 6. 2022, dopoledne

Příprava a aplikace nanostruktur

## 7) Mikrofluidní zařízení a biosensory pro medicínské aplikace

**Mgr. Jan Malý, Ph.D.,** Přírodovědecká fakulta, UJEP, Ústí nad Labem

Mikrofluidní zařízení a biosensory reprezentují slibné rychle se vyvíjející technologie s řadou aplikací v oblasti medicínské diagnostiky, biotechnologie, testování nových typů léčiv či v designu pokročilých biologických modelů, tzv. orgánů na čipu. Jejich vývoj je spojen s využitím široké škály technik a postupů, jako jsou nano a mikrostrukturace povrchů pomocí UV litografických technik, elektronové a iontové litografie, hlubokého reaktivního iontového leptání, různých typů vakuových depozičních technik a rovněž řady postupů cílené modifikace povrchových vlastností materiálů vhodných pro ukotvení a zajištění funkčnosti biologické komponenty. V rámci přednášky budou na modelových příkladech řešených v Centru nanomateriálů a biotechnologií PŘF UJEP prezentovány jednotlivé přístupy a aplikace vyvíjených zařízení, zejména s ohledem na techniky používané při jejich vývoji, jako je např. soft-litografie, nano/mikro imprint litografie, DRIE aj.

## 8) Povrchové úpravy polymerních nanovláken

**Ing. Lucie Blahová, Ph.D.,** CEITEC, Brno

Polymerní nanovlákná jsou perspektivním materiálem pro širokou škálu aplikací, k čemuž je předurčuje zejména jejich velký měrný povrch, vysoká porozita spolu s jednoduchou a levnou přípravou. Můžeme se s nimi setkat v biomedicíně jako se scaffoldy v tkáňovém inženýrství, nosiči pro řízené uvolňování léčiv nebo antimikrobiálními kryty ran, používají se jako optické senzory, filtry pro ochranu ovzduší či do obličejových masek, vyrábějí se z nich membrány do funkčních textilií. Nanovlákná jsou nejčastěji připravována metodou elektrostatického zvlákňování (electrospinning), jehož rozvoj zásadně ovlivnila bezjehlová technologie Nanospider vyvinutá Technickou univerzitou v Liberci. K dalším způsobům přípravy patří například odstředivé zvlákňování.

Použití polymerních nanovláken zejména v biomedicíně komplikuje, že jsou většinou ze své podstaty hydrofobní, což snižuje biokompatibilitu a bioaktivitu. Tento problém lze vyřešit povrchovou úpravou nanovláken vedoucí k vytvoření polárních funkčních skupin (aminy, karboxyly, hydroxyly...) na povrchu, čímž se nanovlákná stávají hydrofilními. Metody povrchových úprav často operují za nízkého tlaku. Patří sem především aktivace v plazmatu, při které jsou na povrch polymeru naroubovány funkční skupiny, nebo

*plazmochemická depozice tenkých vrstev (PECVD) s požadovanými funkčními skupinami. Na takto upravená nanovláknna lze dále navázat nanočástice, léčiva, proteiny, enzymy apod. Za účelem získání antimikrobiálních vlastností se nanovláknna modifikují pomocí kovů (Cu, Ag, Ti, Zn aj.) a jejich oxidů ve formě nanočástic, iontů (iontová implantace) nebo tenkých vrstev (vakuové napařování, magnetronové naprašování).*