

LŠVT 2023 bude věnovaná metodám materiálového výzkumu  
(pokročilí uživatelé, doktorandi a výzkumná sféra)

## LŠVT 2023

„Metody materiálového výzkumu pro laboratoř i průmysl“

“Methods of materials science in laboratory and industry”

29. 5. – 1. 6. 2023

Penzion MEDARD, Boží Dar v Krušných horách

Úterý 30. 5. 2023, dopoledne:

### *Analytické metody*

#### 1) Úvod do světa fotoelektronové spektroskopie

**Ing. Michal Procházka, Ph.D.** a **prof. Dr. Ján Minár**, Oddělení pokročilých technologií,  
Nové technologie - výzkumné centrum (NTC) Západočeské univerzity v Plzni

*Fotoelektronová spektroskopie je experimentální povrchově citlivá metoda zabývající se studiem chemického složení a elektronové struktury látek. V této přednášce se nejprve podíváme do historie a připomeneme si osobnosti a objevy, které u vzniku fotoelektronové spektroskopie stály. Dále si popíšeme její základní principy, mechanismy a přístroje používané během měření. Hlavní pozornost bude věnována rentgenové fotoelektronové spektroskopii neboli XPS (z anglického X-ray Photoelectron Spectroscopy), ale zmíníme i metodu SARPES (Spin and Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy), která umožňuje měřit i spin elektronů. V závěru se seznámíme i se základy teoretických výpočtů, jež jsou často používány v kombinaci s experimentálním měřením.*

#### 2) Analýza povrchů pomocí metod XPS buzenou synchrotronovým zářením a RHEED

**Prof. RNDr. Karel Mašek, Ph.D.**, Katedra fyziky plazmatu a povrchů, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Praha

XPS – Fotoelektronová spektroskopie buzená synchrotronovým zářením:

*V této části se budeme zabývat použitím synchrotronového záření pro fotoelektronovou spektroskopii v oblasti měkkého a tvrdého rtg záření. Laditelností energie primárního záření lze využít v řadě aplikací například pro hloubkové profilování v povrchové a blízké podpovrchové oblasti vzorku. Dále se budeme zabývat rezonanční fotoelektronovou*

spektroskopii. Tato metoda bude demonstrována na použití pro výzkum oxidačního stavu oxidu ceru.

*RHEED – difrakce vysokoenergetických elektronů na odraz:*

*Elektronově difrakční metoda RHEED se používá pro výzkum struktury povrchů uspořádaných a orientovaných struktur. Budeme se zabývat teoretickými základy metody včetně Ewaldovy konstrukce na povrchové struktuře, potřebným experimentálním vybavením a kombinacemi s jinými metodami zkoumání povrchů. Použití metody RHEED bude demonstrováno na příkladech základního výzkumu nanostruktur i průmyslových aplikacích.*

Úterý 30. 5. 2023, odpoledne:  
*Analytické metody*

### 3) X-ray Spectroscopy Methods at the SOLARIS Synchrotron

**Dr. Edyta Beyer**, SOLARIS, National Synchrotron Radiation Centre Jagiellonian University, Krakow, Poland

*The interaction of light and matter includes the phenomena of light absorption and the consecutive emission of photoelectrons and fluorescence radiation. These effects lead to spectroscopic techniques: X-ray absorption spectroscopy, photoelectron spectroscopy and X-ray fluorescence spectroscopy. These evolved further to techniques like angle-resolved photoelectron spectroscopy or spectroscopic microscopy.*

*The basic detection principles and standard applications of the above mentioned techniques are explained with regard to the use of synchrotron light in the X-ray range and the availability at SOLARIS. As an example, the use of synchrotron-supported measurements for the surface quantification of a mass standard is elaborated. Combined photoelectron spectroscopy and X-ray fluorescence measurements were used here in a joint effort to determine the Avogadro- and Planck-constant for the revision of the international unit system SI and the redefinition of the unit kilogram.*

### 4) Optická charakterizace tenkých vrstev pomocí elipsometrie a spektrofotometrie

**Mgr. Daniel Franta, Ph.D.**, Ústav fyzikální elektroniky, PŘF MU Brno

*Optická charakterizace tenkých vrstev poskytuje informace o optických konstantách a o strukturních parametrech studovaných vrstev. Nedílnou součástí optické charakterizace je fitování experimentálních dat pomocí vhodných disperzních a strukturálních modelů jelikož elipsometrii a spektrofotometrii aplikovanou na tenké vrstvy na rozdíl od absorpční spektroskopie nelze považovat za analytické metody umožňující jednoduchou interpretaci experimentálních dat.*

V přednášce budou diskutovány různé aspekty optických charakterizačních metod od jednoduchých metod založených na zpracování experimentálních dat z jednoho optického přístroje do metod kombinující data z několika různých optických přístrojů. Na jednoduchém příkladu dielektrické vrstvy bude demonstrováno, že metoda založená na kombinaci spektroskopické elipsometrie v ultrafialovém a viditelném oboru spektra s infračervenou spektrofotometrií umožňuje získat optické konstanty v širokém spektrálním oboru pokrývající fononové i mezipásové elektronové excitace. Navíc tato metoda je dostatečně citlivá, aby odhalila základní strukturální defekty vrstvy jako je drsnost rozhraní nebo profil indexu lomu vrstvy.

## 5a) Analýza tenkých vrstev pomocí Mössbauerovy spektroskopie

**Ing. Pavla Roupová, Ph.D.**, Ústav fyziky materiálů AV ČR, v. v. i., Brno

Spektroskopie využívající mössbauerova jevu, nebo-li, magnetické bezodrazové jaderné fluorescenční rezonance poskytuje při analýze materiálu vzhled do tak velkého množství parametrů, že z ní dělá nejkompaktnější a nejuniverzálnější metodu studia materiálu vůbec. Isomerní posuv nám dává informaci o chemickém složení v okolí atomu sledovaného jádra, kdy ještě upřesňuje informace o vazbách a oxidačních stavech kvadrupólový posuv (rozštěpení). Hodnocením Zeemanova jevu získáváme informace o magnetických vlastnostech materiálu. Kromě běžných in-situ měření v závislosti na teplotě můžeme pozorovat změny materiálu v magnetickém poli, detekujeme rozhraní, kterým je i povrch. Mimo to je tato metoda velmi robustní i ve vztahu k velikosti částic, takže můžeme sledovat všechny tyto jevy u amorfních i nanokrystalických materiálů, např. studium super-paramagnetických částic. Bylo by to příliš hezké, kdyby se tato metoda dala využít v laboratorních podmínkách na více isotopech než jen na Fe a Sn. Ale i tak má tato metoda nezastupitelné místo v materiálové vědě i pionýrských objevech v oblasti fyziky např. částicové fyzice, kdy dokazuje, že gama záření může excitovat jádro, že se vesmír rozpíná atd.

Standardní materiálové (MS nebo MSA) měření je nastaveno tak, že měříme mössbauerův efekt na průchod a detekujeme gama a X-záření. Méně častá jsou měření na odraz, můžeme mimo fotonů (BSMS) detekovat i elektrony (CEMS) a také určovat z jaké specifické hloubky pocházejí (DSCEMS). Tato metoda např. potvrdila přítomnost vody na Marsu, kdy detekovala olivín. Používá se k studiu historického dědictví, mineralogii i studiu běžných konstrukčních materiálů.

*Středa 31. 5. 2023 dopoledne:*

## *Analytické metody*

### **6) Laserové ablace ve spojení s hmotnostní spektrometrií indukčně vázaného plazmatu**

**Doc. Mgr. Michaela Vašinová Galiová, Ph.D.**, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí, Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně a BIC Brno

*Metoda laserové ablace ve spojení s hmotnostní spektrometrií indukčně vázaného plazmatu, označovaná zkratkou LA-ICP-MS z anglického názvu Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, patří mezi pokročilé instrumentální metody analýzy anorganických a organokovových látek. Vyznačuje se možností analyzovat pevné materiály in situ s velkou citlivostí i nízkými limity detekce. Tato jedinečná metoda, která je v posledních letech využívána ve všech vědních disciplínách, umožňuje nejen analýzu individuálních fází, tenkých vrstev, ale také 2D zobrazování distribuce prvků skrze odprašovaný povrch.*

*Přednáška je zaměřena na vysvětlení procesu laserové ablace jako vzorkovací techniky pevných látek, možnosti rastrování povrchu vzorku, vlivu velikosti ablační cely na rychlost vymývání aerosolu a přehledu parametrů ovlivňující prostorové rozlišení. Součástí přednášky bude probírání i vliv analyzátorů hmotnostního spektrometru na časové rozlišení zaznamenávaného signálu. Z hlediska hloubkového profilování bude LA-ICP-MS srovnána s metodou spektrometrie laserem indukovaného mikroplazmatu. Nedílnou součástí jsou také ukázky využití LA-ICP-MS ve vědecko-výzkumných projektech.*

### **7) Analýzy EDS a WDS: Princip, porozumění a na co si dát pozor.**

**RNDr. Stanislav Haviar, Ph.D.**, Katedra fyziky a NTIS - European Center of Excellence, ZČU Plzeň

*V této přednášce představíme základní principy energiově disperzní spektroskopie (EDS) a vlnově disperzní spektroskopie (WDS). Přes interakci elektronů s pevnou látkou přes principy detekce se dostaneme až ke kvalitativní a kvantitativní analýze spekter. Probereme výhody a nevýhody metody i její omezení. Příklady dobré a špatné praxe budou dány do souvislostí s fyzikálními principy, na kterých metody fungují.*

### **5b) Stručný úvod do Ramanovy spektroskopie**

**RNDr. Stanislav Haviar, Ph.D.**, Katedra fyziky a NTIS - European Center of Excellence, ZČU Plzeň

*V této úvodní přednášce o Ramanově spektroskopii probereme fyzikální principy jejího fungování. Budeme diskutovat její vztah k infračervené spektroskopii. Zaměříme se na*

*informace, které metoda poskytuje zvláště z pohledu užití na pevné látky / tenké vrstvy. V závěru zmíníme i kombinaci Ramanovy spektroskopie s mikroskopií atomových sil (TERS).*

Čtvrtek 1. 6. 2023, dopoledne:

## *Analýza vlastností průmyslově připravených tenkých vrstev*

### 8) Studium vrstev a tenkých filmů s využitím spektroskopických metod

**Jiří Tuček**, HVM Plasma spol. s r.o., Praha

*Tenký film je definován jako vrstva materiálu, jehož jeden rozměr je o mnoho řádů menší než zbylé dva. Ukazuje se, že pokud se jeho tloušťka pohybuje v jednotkách, desítkách až stovkách nanometrů, lze pozorovat vývin nových fyzikálních vlastností, povahou dosti odlišných od těch, které vykazují jeho objemové protějšky. Jejich vznik je obecně řízen tzv. povrchovými a kvantovými jevy, které jsou významně délkově a dimenzionálně závislé. Je-li tudíž tloušťka vrstvy pod jistou charakteristickou hodnotou (tzv. charakteristickou délkou jistého fyzikálního jevu), je vybavena vlastnostmi, které výrazně obohacují její aplikační potenciál a otevírají nové oblasti jejího využití. V posledních několika desítkách let byla pak studiu tenkých vrstev věnována vzrůstající pozornost jak z pohledu základního tak i aplikačního výzkumu, mohutně doprovázeného technologickým pokrokem jejich příprav. V současné době existuje celá řada syntetických přístupů tenkých filmů, které více či méně umožňují jejich tvorbu s vlastnostmi požadovanými pro danou oblast použití.*

*Přednáška je rozdělena do tří dílčích bloků. V první části se seznámíme se základními fyzikálními principy, které se objevují u tenkých filmů a udílí jim mimořádně zajímavé a aplikačně slibné fyzikální vlastnosti. Pozornost bude zejména věnována konceptu kritických délek a popisu délkově a rozměrově závislých jevů a dějů. V druhé části přednášky se zaměříme na analýzu elektronických a optických vlastností vrstev a tenkých filmů. Mimo jejich teoretický popis si představíme experimentální metody jejich studia pomocí spektroskopických metod (zejména elipsometrie, reflektometrie, UV-VIS spektrofotometrie, atp.), běžně používaných na pracovištích HVM Plasma spol. s r.o. Rovněž si ukážeme, jak lze tyto experimentální techniky elegantně využít pro měření tloušťky vrstev a tenkých filmů. Pozornost zde bude rovněž soustředěna na Ramanovu spektroskopii, která v poslední době, zejména v oblasti hlubokého ultrafialového záření, přináší zajímavé informace o vlastnostech vrstev a tenkých filmů v relaci, například, s jejich mechanickými vlastnostmi. V třetí části se zaměříme na představení a diskusi zajímavých praktických výsledků studia vrstev a tenkých filmů pomocí spektroskopických metod a ukážeme způsoby analýzy získaných experimentálních dat a jejich relevance pro stanovení jejich aplikačního potenciálu. Závěr přednášky bude věnován identifikaci výzev a možného směřování využití spektroskopických metod v aplikační sféře s přesahem do průmyslových oblastí.*

### 9) **Mechanické vlastnosti tenkých otěruvzdorných vrstev a jejich měření.**

**Ing. Ondřej Zindulka**, SHM s.r.o., Šumperk

*Standardní mechanické vlastnosti jako pevnost, tvrdost, houževnatost, pružnost a únavové charakteristiky byly stanoveny pro objemové materiály. Pro tenké vrstvy o tloušťce jednotek  $\mu\text{m}$  stanoveny dosud nejsou nebo nedávají praktický smysl. Z nich pouze velmi náročně instrumentovaná mikro/nanotvrdost a související Youngův modul nachází uplatnění v průmyslovém měřítku při jejich vývoji a výrobě. Příspěvek se kromě problematiky tvrdosti věnuje dalším mechanickým vlastnostem příbuzným veličinám souvisejícím se světem tenkých vrstev a jejich návrhu. Je uveden přehled nejčastějších měřících technik a charakteristických hodnot nejfrekventovanějších vrstev a kontakty na měřící pracoviště. Závěr je věnován kritickému zhodnocení laboratorních měření ve vztahu ke skutečným aplikacím v průmyslovém měřítku.*