



## Session II, May 29, Monday

L5

### CENTRUM MOLEKULOVÝCH A KRYSTALOVÝCH STRUKTUR

#### I. Císařová

*Katedra anorganické chemie, Přírodovědecká fakulta, Universita Karlova v Praze, Hlavova 2030/8, 128 40 Praha 2*

*cisarova@natur.cuni.cz*

Pracoviště se zabývá řešením krystalových struktur pomocí difrakce rentgenového záření na monokrystalech malých molekul. Navazuje na oblast výzkumu, kterou od roku 1963 na katedře anorganické chemie ustanovil profesor. Josef Loub, CSc. [1]. V současné době přímo využívají experimentální zařízení pravidelně tři lidé. S ohledem na převažující zdroj vzorků zapadá laboratoř do chemické krystalografie a její výsledky jsou obvykle publikovány jako součást publikací základního výzkumu v anorganické a organické chemii. Často řešeným problémem je stanovení absolutní konfigurace, pro což jsou k dispozici dvě vlnové délky záření Mo i Cu lampy na dvou difraktomet-

rech s plošnými detektory, Cu záření umožňuje stanovení absolutní konfigurace i pro čistě organické sloučeniny.

Laboratoř je nízkoprahová, nebo každý vyrostlý krystal si zaslouží mít svou strukturu, a proto jsou vítány krystaly jakéhokoliv původu. Při průměrné frekvenci tří stanovaných struktur denně je k dispozici, na dvou difraktometrech, dostatek měřicího času.

Pro studenty magisterského studia anorganické chemie je vedena jednosemestrální přednáška “Krystalová strukturní analýza” v rozsahu 2+1 hodiny.

I. I. Císařová, P. Štěpnička, I. Němec, *Chem. Listy*, **104**, (2010) 1220-1225 .



**Obrázek 1.** Laboratoř strukturní analýzy se nachází v budově chemických kateder na Albertově, ve druhém patře, za modrou šipkou.

L6

## LABORATOŘ RTG. STRUKTURNÍ ANALÝZY NA UNIVERZITĚ JANA EVANGELISTY PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM

Pavla Čapková<sup>1</sup>, Petr Ryšánek<sup>1</sup>, Stanislav Daniš<sup>2</sup>

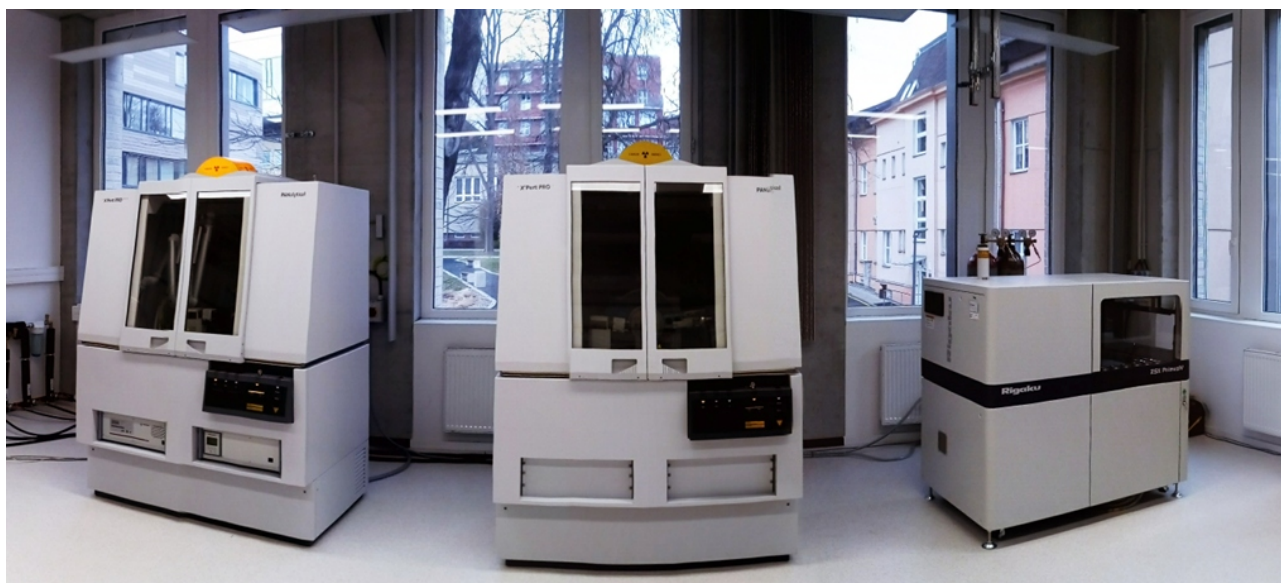
<sup>1</sup>Centrum nanomateriálů a biotechnologií, Přírodovědecká fakulta Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Pasteurova 3632/15, 400 96 Ústí nad Labem

<sup>2</sup>Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Pasteurova 3632/15, 400 96 Ústí nad Labem

Laboratoř vznikla v roce 2011 díky prof. Pavle Čapkové. V tomto roce byl pořízen první rentgenový difraktometr X'Pert MPD s vysokoteplotní komůrkou Anton Paar HTK 1200N. Difraktometr slouží převážně ke studiu polykrystalických vzorků a nanovlákných textilií („nanohadrů“). Je osazen rentgenkou s měděnou anodou. K detekci rozptýleného záření lze použít bodový proporcionální detektor nebo lineární pozičně citlivý detektor X'Celerator včetně monochromátoru. Difrakční experiment lze provést také v transmisním uspořádání. Druhý difraktometr X'Pert MPD je určen zejména ke studiu tenkých vrstev. K dispozici je Eulerova kolíbka a rtg. zrcadlo.

Kromě rtg. difrakce lze vzorky analyzovat metodou rtg. spektrometrie (XRF). Laboratoř je pro tuto metodu vybavena vlnově disperzním spektrometrem Rigaku ZSX PrimusIV s automatickým podavačem vzorků. Kvantitativně lze bezstandartní metodou určovat prvkové složení od fluoru, kvalitativně od uhlíku.

Laboratoř spolupracuje s řadou pracovišť (například Fakulta životního prostředí UJEP, Fakulta strojního inženýrství UJEP, Ústecké muzeum, ...) a podílí se také na výuce studentů (přednášky *Struktura látek a difrakční analýza materiálů* a *Difrakce záření a struktura materiálů* včetně rentgenářského praktika).



L7

## RENTGENOVÁ DIFRAKCE NA KATEDŘE INŽENÝRSTVÍ PEVNÝCH LÁTEK FJFI ČVUT V PRAZE

K. Trojan, N. Ganev, J. Čapek, K. Kolařík

Katedra inženýrství pevných látek, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické, Trojanova 13, 120 00 Praha 2, Česká Republika, karel.trojan@jfji.cvut.cz

Laboratoř strukturní rentgenografie Katedry inženýrství pevných látek FJFI ČVUT v Praze [1] je pracoviště vědecké i pedagogické. Kromě výuky studentů se ve své vědecko-výzkumné činnosti tradičně zaměřuje především na rtg difrakční studium stavu zbytkové napjatosti v

polykrystalických kovových i keramických materiálech. Přístrojové vybavení laboratoře bylo v posledních letech výrazně inovováno a dnes umožňuje rovněž zkoumat kvalitativně i kvantitativně fázové složení i tenkých vrstev a přednostní orientace polykrystalických materiálů.



Historie Laboratoře strukturní rentgenografie byla popsána podrobně již v několika publikacích prof. Krause, například i v Jubilejních almanaších FJFI ČVUT 1955–2015 [2]. Základy Laboratoře strukturní rentgenografie byly položeny už při zakládání Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrství ČVUT v Praze, studium fyziky pevných látek je zde nabízeno posluchačům od podzimu 1960. Program rentgenového výzkumu struktury krystalických pevných látek začali vytvářet prom. fyz. Ivo Kraus a prom. fyz. Galina Gosmanová ve spolupráci s prof. Adélou Kochanovskou z ÚFPL ČSAV. Od té doby je pracoviště jedním z předních laboratoří využívající rentgenovou difrakci, jehož přístrojové vybavení je neustále modernizováno a možnosti analýz jsou neustále rozšiřovány.

Laboratoř strukturní rentgenografie od loňského prosince využívá nový práškový rentgenový difraktometr Empyrean od firmy PANalytical (obr. 1), který je vybaven účinným pozičně citlivým detektorem 1Der s vysokým energetickým rozlišením ( $< 5\%$  CuK $\alpha$ ) doplněný rovněž příslušenstvím pro studium tenkých vrstev (Göblovlo parafookusační a rovinné zrcadlo) a textur (3-osá otevřená Eulerova kolébka). I nadále je v laboratoři využíván práškový difraktometr X'Pert PRO MPD od firmy PANalytical, který je vybaven unikátním polohovacím systémem pro rozměrné vzorky vyvinutým pracovníky laboratoře, triangulačním laserovým zaměřováním s 5 $\mu$ m přesností stanovení polohy a vysokoteplotní komůrkou HTK 2000N pro *in-situ* rtg difrakční studie do 2300 °C ve vakuu a do 1600 °C na vzduchu. Velkou předností laboratoře je, že je vybavena pěti rentgenkami s různou anodou, konkrétně lze volit mezi prvky Cr, Mn, Co, Cu a Mo, což odpovídá vlnovým délkám 2,29 až 0,71 Å. Na pracovišti jsou stále v provozu dvě rtg difrakční zařízení s plošnou detekcí difrakčních obrazců SEIFERT ID 3003 od firmy GE Inspection Technologies, kde je používán dvoudimenzionální pevnolátkový detektor – paměťová fólie, získaná data jsou vyhodnocována softwarem LUCIA pro analýzu obrazu. Pro studium hloubkových průběhů strukturně

citlivých charakteristik je nezbytné definované postupné elektrolytické odnímání povrchových vrstev k čemuž jsou v laboratoři dva přístroje LectroPol 5 a mobilní Proto Electropolisher Model 8818-V3.

Tématika problémů řešených v Laboratoři strukturní rentgenografie jak v rámci projektů základního a aplikovaného výzkumu, tak i na žádost našich i zahraničních pracovišť a smluvních partnerů je neobyčejně pestrá. Za projekty základního výzkumu lze například zmínit projekt „Mechanické vlastnosti funkčních vrstev submikronových tloušťek“, v rámci aplikovaného výzkumu v současnosti běží projekt „Vysoce produktivní stroje pro prostředí digitálních továren“. Laboratoř spolupracuje s dalšími výzkumnými organizacemi a také se podílí na výzkumu průmyslových partnerů jak těch velkých jako například UJV Rež, a.s. nebo UJP Praha a.s., tak těch menších, avšak neméně důležitých, jako třeba NEVA – TST s.r.o., což je malý podnik v jižních Čechách zaměřující se na výrobu strojů a nástrojů pro zpracování dřeva.

Laboratoř strukturní rentgenografie přispívá k výchově fyzikálních inženýrů na FJFI ČVUT v Praze, jejich přednostmi jsou dokonalé pochopení teorie fyzikálních procesů, příprava a zvládnutí experimentů, jejich kritické zhodnocení a využití výsledků laboratorního výzkumu v průmyslové praxi.

1. Webová stránka Laboratoře strukturní rentgenografie: <https://kiplweb.fjfi.cvut.cz/web/xrd/>
2. I. Kraus & Š. Zajac v *Jubilejní almanach FJFI ČVUT 1955–2015*, editoři I. Kraus, L. Škoda & Š. Zajac (Praha: ČVUT, FJFI), 2015, ISBN 978-80-01-05766-7

*Pracoviště je podpořeno grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS22/183/OHK4/3T/14 a projektem CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000778 "Center for advanced applied science" v rámci Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělání, který je kontrolován inisterstvem školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky.*



**Obrázek 1.** Difraktometr Empyrean (PANalytical) s účinným pozičně citlivým detektorem 1Der s vysokým energetickým rozlišením.

## RTG LABORATOŘE A VÝZKUM NA ÚFKL

M. Meduňa, O. Caha, J. Novák, P. Mikulík

Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno  
mjme@physics.muni.cz

Rentgenové laboratoře na Ústavu fyziky kondenzovaných látek (ÚFKL) [1], který je součástí historického areálu Přírodovědecké fakulty Masarykovy university (PřF MU) v centru Brna, mají bohatou historii sahající až do období po konci druhé světové války v roce 1945. Stručná historie naší rentgenové fyzikální laboratoře byla popsána celkem podrobně již v letech 2001 a 2010 [2,3] a nedávno také v rozsáhlé publikaci [4] zahrnující přehled historie všech oborů na PřF MU. Od roku 2010 došlo v našich rtg laboratořích k několika významným změnám, především co se týče provozovaných zařízení, ale také v personálním složení a proto se zaměříme na historii jen od konce tisíciletí.

### 1. Stručná historie

Po příchodu společenských změn v roce 1989 a pak především na konci 90. let minulého století a na začátku století nového docházelo k významné modernizaci přístrojů v rtg laboratoři na ÚFKL. Postupně byly nahrazeny letité zdroje rentgenového záření Mikrometa 2E (obr. 1 vlevo) novými zdroji od tehdejší firmy Siemens a ty pak vybaveny novými optickými elementy a detektory (obr. 1 vpravo), z nichž většina je v laboratoři užívána v modernizované formě dodnes. Laboratoř, v té době pod vedením Václava Holého a Josefa Kuběny, byla rozšířena zejména o tři významné difraktometry v tehdejší (ale i dnešní) době na špičkové úrovni. Nejprve to byl okolo roku 1997 reflektometr „Huber“ s goniometrem od firmy Huber sestavený pro studium reflektivity a difúzního rozptylu na multivrstvách. Dále okolo roku 2000 byl místo původního přístroje s Mikrometou sestaven také nový difraktometr „Bartels“ s Bartelsovým monochromátorem a goniometrem od firmy

DeLong Instruments pro měření difúzního rozptylu a deformačních polí v okolí difrakčních bodů v uspořádání na odraz. Okolo roku 2001 byl také sestaven třetí významný rentgenový přístroj určený zejména pro měření rentgenové reflexe a vybavený vakuovou píčkou pro měření reflektivity *in-situ* na goniometru s vertikálním uspořádáním. Tento byl určený hlavně ke studiu tepelné stability multivrstev a v současnosti se již nepoužívá.

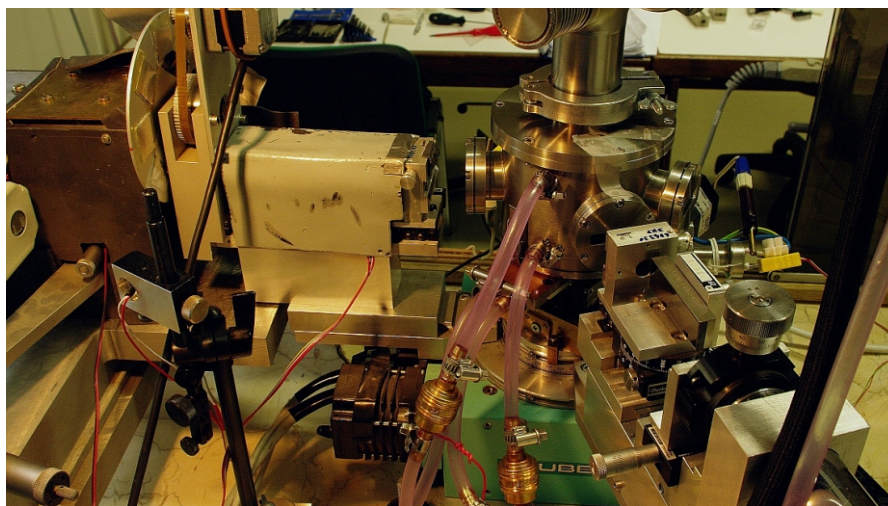
V tomto období se pod vedením Václava Holého a Josefa Kuběny na vědecké práci podíleli tehdejší kolegové a zejména studenti doktorského studia: Zdeněk Bochníček, Petr Mikulík, Mojmír Meduňa, Jiří Novák, Ondřej Caha, Jan Grim, Pavel Polouček, Pavel Klang, Jan Krčmář a další, z nichž někteří pracují na ústavu dodnes.

V pozdějších letech byly stávající přístroje upraveny a modernizovány. Reflektometr Huber byl v období mezi lety 2008–2010 doplněn o *in-situ* vysokoteplotní vakuovou komůrku s omezeným úhlovým oborem (obr. 2) a zároveň rozšířen o grafitový monochromátor pro měření práškové difrakce s vysokou intenzitou. Difraktometr Bartels byl přibližně v tomtéž období přestaven na Mo záření (obr. 3) a upraven také pro měření difrakce na průchod. V tomto uspořádání se oba přístroje více méně používají dodnes.

V roce 2004 byl do praktika z pevných látek pořízen malý stolní rentgen firmy Phywe se vzduchem chlazenou rentgenkou o maximálním výkonu zdroje 35 kV a 1 mA. Okolo roku 2009 se na ústav podařilo také získat a znovu zprovoznit původně vyřazený mikrofokální zdroj JEOL JMX-8H za účelem možnosti pořizování topografických snímků Si desek.



Obrázek 1: Rtg laboratoř s temnou komorou a původními zdroji Mikrometa 2E (vlevo) a difraktometr s Bartelsovým monochromátorem pro měření difúzního rozptylu s vysokým rozlišením na přelomu tisíciletí (vpravo).



**Obrázek 2:** Reflektometr a difraktometr „Huber“ s žíhací komorou pro měření rtg reflektivity



**Obrázek 3:** Difraktometr s Bartelsovým monochromátorem upravený na Mo rtg lampu pro měření difrakce a rtg fluorescence.

Od roku 2011 se rentgenová laboratoř na ÚFKL začala aktivně podílet na realizaci vybavení tehdy nově vznikající velké brněnské výzkumné infrastruktury CEITEC (Středoevropský technologický institut), v rámci které byly pořízeny nové nejmodernější difraktometry SmartLab od firmy Rigaku. Pod naší správou je difraktometr SmartLab vybavený 9kW rotační anodou (obr. 4).

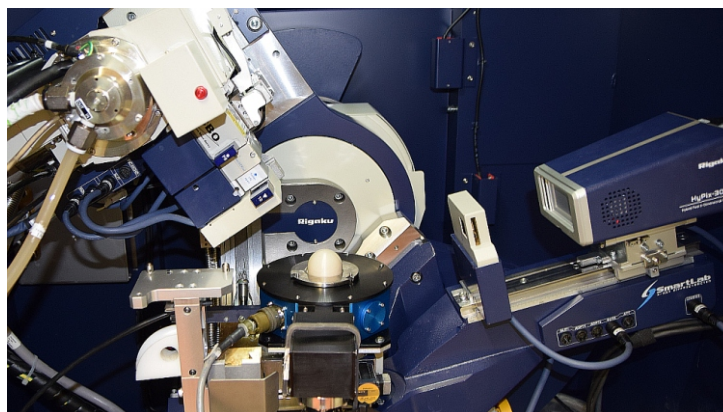
V roce 2013 byl v rámci projektu CEPLANT do naší laboratoře na PřF MU pořízen další difraktometr SmartLab s běžnou 3kW Cu rentgenovou lampou.

## 2. Experimentální vybavení laboratoře

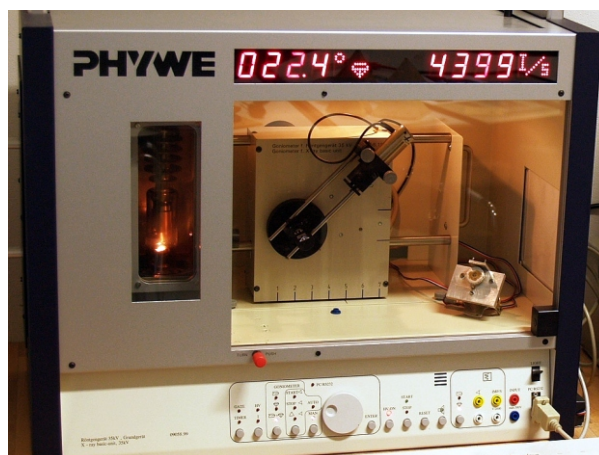
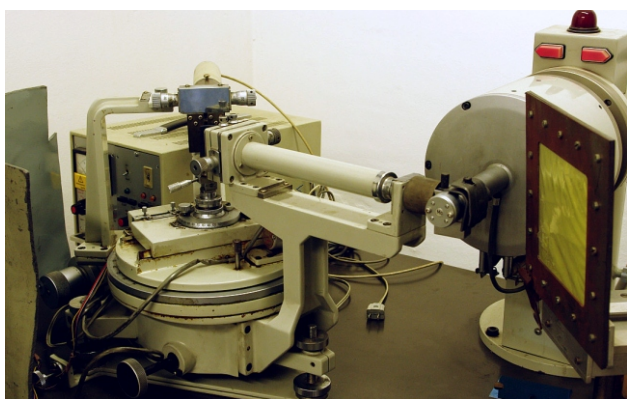
V současné době využívá naše rentgenová laboratoř několik rentgenových přístrojů, přičemž nejvíce využívané jsou moderní automatické difraktometry od firmy Rigaku. Během posledních deseti let byly oba dva difraktometry dovybaveny 2D polovodičovými detektory Hypix-3000, které umožňují rychlé mapování recipročního prostoru a efektivní měření práškové difrakce. Difraktometr SmartLab 9kW s rotační anodou, který je umístěn v rámci core-facility na CEITEC VUT, je navíc vybaven žíhací komorou ve tvaru kupole s rozsahem až do 1100 °C a také heliovým kryostatem opět ve tvaru kupole (obr. 4) umožňující chlazení až k teplotám okolo 5 K, což umožňuje sledování řady strukturálních změn uvnitř materiálů *in-situ*.

V prostorách PřF MU pak dále využíváme již dříve zmiňované difraktometry „Huber“ a „Bartels“ sestavené na přelomu tisíciletí.

Pro další výzkumné záměry a pro účely výuky pak využíváme také zmiňovaný mikrofokální zdroj JEOL a malý školní rentgen od firmy Phywe (obr. 5).



**Obrázek 4:** Moderní vysoce vybavený difraktometr Rigaku s kryostatem až do 5 K a 2D plošným detektorem.



**Obrázek 5:** Mikrofokusní rtg zdroj JEOL používaný především pro topografii (vlevo) a malý školní přístroj Phywe používaný hlavně pro výuku rtg praktik a vedení studentských prací (vpravo).

### 3. Současné výzkumné aktivity

Mezi aktuální zaměstnance naší rentgenové laboratoře kromě současných studentů patří Václav Holý, který zároveň řadu let působí také na Univerzitě Karlově, dále Petr Mikulík, Mojmír Meduňa, Jiří Novák a Ondřej Caha, kde každý z nich se zabývá určitými tématy výzkumu. Naše laboratoř je také již od roku 2011 aktivně zapojena ve využití výzkumné infrastruktury CEITEC a to zejména v programu pokročilých mikro- a nanostruktur. Od roku 2021 působí tato skupina na ÚFKL již mimo rámec CEITEC MU, v těsné spolupráci s CEITEC Nano a díky tomu také využíváme a obhospodařujeme difraktometr s rotační anodou Rigaku, kde Ondřej Caha působí jako garant přístroje.

Do současných výzkumných aktivit naší laboratoře řadíme například experimentální studium fyzikálních vlastností tenkých vrstev tzv. topologických izolantů, což jsou moderní materiály s velmi specifickou disperzní relací kvazičástic v povrchové oblasti (O. Caha, V. Holý); výzkum tenkých vrstev organických polovodičů a molekulárních nano-magnetů, který přispívá k pochopení interakcí mezi funkčními molekulami na fundamentální úrovni (J. Novák); dále studium strukturálních vlastností heteroepitaxních vrstev ve formě velkých polí sloupovitých mikropilířků a drátů z různých materiálů (obvykle Ge SiGe, SiC GaAs a další) na Si substrátech za účelem monolitické integrace různých materiálů na Si technologii a vývoje detektorů rentgenového záření nové generace (M. Meduňa); vývoj a využití rentgenových difrakčních metod, jako jsou například metody Rocking Curve Imaging neboli digitální rtg difrakční topografie s velkým zorným polem, která byla dříve rozvíjena pomocí synchrotronového záření a v naší laboratoři jsme ji převedli do běžných laboratorních podmínek (P. Mikulík, O. Caha) a další témata. Náš tým se také po dlouhá léta zúčastňuje řady experimentů na synchrotronu ESRF v Grenoblu a dalších evropských synchrotronech.

V naší laboratoři se také řadu let podílíme na výzkumu ve spolupráci s průmyslem a to zejména s firmou onsemi v Rožnově pod Radhoštěm, se kterou spolupracujeme jak na strukturální analýze desek Si, tak v poslední době také na

vývoji a strukturální analýze SiC monokrystalů. Mimo to řadu let spolupracujeme také např. se švýcarskou firmou Evatec AG, zabývající se výrobou různých polovodičových materiálů, a s dalšími firmami.

### 4. Závěr

V následujícím období plánujeme zachovat současný výzkumný směr našeho pracoviště. Studium struktury polovodičů, tenkých vrstev a nanostruktur je velmi žádoucí a perspektivní v elektronice a materiálových vědách.

### References

1. Webová stránka ÚFKL: <http://www.physics.muni.cz/ufkl/>.
2. J. Kuběna, V. Holý, Materials Structure **8**, (2001), 106.
3. M. Meduňa, O. Caha, P. Mikulík, Materials Structure **17**, (2010), k22.
4. Dějiny psané přírodovědci: Vývoj vědních oborů na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity (2022). Kolektiv autorů. Brno: MUNIPRESS. ISBN: 978-80-280-0088-2.

*Rozvoj laboratoře na Ústavu fyziky kondenzovaných látek PřF MU by nebyl možný bez významné podpory MŠMT, Grantové agentury ČR a Technologické agentury ČR.*



L9

## STRUCTURAL ANALYSIS OF HARD COATINGS AND THIN FILMS AT DEP FMPI CU IN BRATISLAVA

T. Roch, B. Grančič, M. Mikula, P. Ďurina, M. Gregor, T. Plecenik, L. Satrapinsky

*Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University in Bratislava, Mlynska dolina F2, 842 48 Bratislava, Slovak Republic*

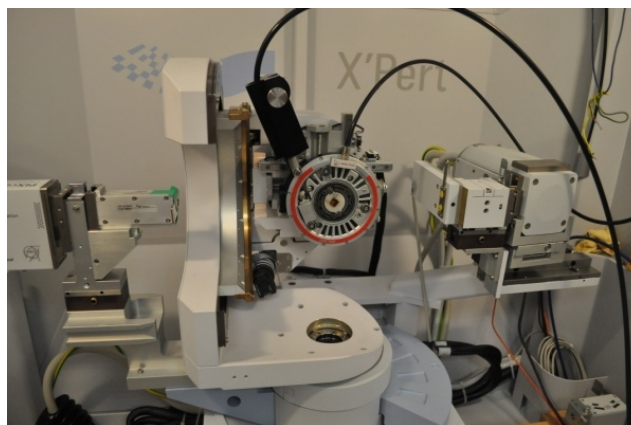
*roch@fmph.uniba.sk*

Historically, X-ray structural analysis has been performed at the Comenius University in Bratislava since the 1950s. Basic research in the solid state physics and development of X-ray diffraction methods continued after establishing of Faculty of Mathematics and Physics by the separation of the physical and mathematical departments from the former Faculty of natural sciences in 1980.

The Laboratory of Structural Analysis at the Faculty of Mathematics, Physics and Informatics of Comenius University in Bratislava is today part of a larger complex of Laboratories of Advanced Technologies established in 2010 which is located at the Department of Experimental Physics. Our research group mainly focuses on three core topics: hard coatings for industrial applications and extreme environmental conditions, superconducting cryo-electronic heterostructures, development of novel simple gas sensors based on metal oxides. The investigated samples are in the form of thin layers, and the laboratory equipment fully enables their preparation and analysis.



**Figure 1.** X'pert Pro MRD diffractometer.



**Figure 2.** Goniometer with Eulerian cradle and attached HT chamber for in-situ measurements.

Laboratories of Advanced Technologies contain set of PVD techniques like evaporation, magnetron sputtering (DC, RF), advanced sputtering methods (HiPIMS, HiTUS) and pulsed laser deposition equipped with in-situ RHEED and ellipsometry. The micro- and nano-structures for test devices are fabricated using optical and e-beam lithography and by focused ion beam. Elemental chemical analysis is performed using energy- and wavelength-dispersive X-ray spectroscopy implemented in scanning electron microscopes. X-ray photoelectron spectroscopy provides extended chemical analysis. Electrical transport, magnetometry and thermal measurements can be performed using the multifunctional physical properties measurement system in temperature range of 50mK – 500K and magnetic field up to 14T. A complete characterization of mechanical and tribological properties is provided at the detached workplace of our group in Turany.

The main analytical facility for structural analysis is the diffractometer PANalytical X'pert Pro MRD (Fig. 1), commissioned in October 2011. Within available budget the diffractometer was procured with options which could cover wide range of measurement modes of structural analyses of thin films. The diffractometer uses ceramic 1.8 kW X-ray tube (CuK radiation) with long fine focus capable to flip into point focus. A precise motorized sample stage on the Eulerian cradle (X, Y, Z, azimuth, tilt) allows texture and stress analyses and also in-plane diffraction mode using an included option. Measurement setups are easily interchangeable using pre-aligned PreFIX optical modules. For high-resolution diffraction or (non-) specular reflectivity the parabolic X-ray mirror, 4-bounce Ge (022) Bartels monochromator with 3-bounce Ge (022) channel-cut analyzer, parallel plate collimator or variable detec-

tor slits are available. Monocapillary is suitable for texture, stress or in-plane diffraction measurements in combination with parallel plate collimator in front of detector. The diffractometer is routinely used for fast screening of deposited hard coatings. Typically, the comparison of coplanar grazing incidence diffraction together with fast symmetrical Bragg-Brentano scanning with PIXcel detector provides sufficient data for fast qualitative phase analysis and microstructure parameters estimation together with preferential orientation and stress-states. Short X-ray reflectivity measurements help in determination of mass density and thin films thickness. Although samples surface plane is positioned vertically, it is also possible to measure powders in Bragg-Brentano setup with appropriate measures.

Our research in hard coatings is focused on transition metal (TM) nitrides and borides. For example, TM diborides often contain vertically elongated nanocrystallites of the AlB<sub>2</sub>-type hexagonal phase embedded in a boron-rich amorphous tissue phase. For the more detailed structural analysis at nanoscale it is necessary to utilize e.g. transmission electron microscopy [1]. We have good cooperation with the Slovak Academy of Sciences or the Slovak Technical University in using their TEM equipment as an external service. Advantage is the ability to prepare our own lamellae using our focused ion beam equipment.

The mostly used monocrystalline silicon or sapphire substrates induce strong bi-axial texture especially in thin superconductor or metal oxide thin films [2,3]. Often the um-thick polycrystalline hard coatings show filamentary preferential orientation induced by deposition processes.

To investigate thermal stability, phase transitions and oxidation processes, the equipment allows *in-situ* measurements using a domed hot stage (AntonPaar DHS1100). In recent years, investigations of new hard coatings systems begin with theoretical calculations using density functional theory [4].

1. K. Viskupová, B. Grančič, T. Roch, Š. Nagy, L. Satrapinskyy, V. Šroba, M. Truchlý, J. Šilha, P. Kúš, M. Mikula, *Scripta Materialia*, **229**, (2023), 115365.
2. T. Roch, M. Gregor, P. Švec Jr., T. Plecenik, L. Satrapinskyy, M. Čaplovičová, R. Bystrický, P. Kúš, A. Plecenik, *Appl. Surf. Sci.* **461**, (2018), 233.
3. T. Roch, P. Durina, B. Grancic, M. Gregor, T. Plecenik, M. Truchly, M. Mikula, L. Satrapinskyy, P. Kus, A. Plecenik, *Appl. Surf. Sci.* **312**, (2014), 192.
4. T. Fiantok, V. Šroba, N. Koutná, V. Izai, T. Roch, M. Truchlý, M. Vidiš, L. Satrapinskyy, Š. Nagy, B. Grančič, P. Kúš, M. Mikula, *J. Vac. Sci. Technol., A* **40**, (2022), 033414.

*The work is the result of support under the Operational Program Integrated Infrastructure for the projects: Advancing University Capacity and Competence in Research, Development and Innovation (ACCORD) and UpScale of Comenius University Capacities and Competence in Research, Development and Innovation (USCCCORD, ITMS 2014+: 313021BUZ3), co-financed by the European Regional Development Fund.*