

O PROJEKTE

ÚDAJE – PROSTREDIE – SPOLUPRÁCA S PRAXOU – EXCELENTNÝ VÝSKUM

2019 - 2023



EURÓPSKA ÚNIA

Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO

DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



SCIENTIFIC AND RESEARCH CENTRE OF EXCELLENCE SLOVAKION
FOR MATERIAL AND INTERDISCIPLINARY RESEARCH

ABOUT THE PROJECT

DATA – ENVIRONMENT – COOPERATIONS WITH INDUSTRY PARTNERS – EXCELLENT RESEARCH

2019 - 2023



EUROPEAN UNION

European Regional Development Fund
OP Integrated Infrastructure 2014 – 2020



MINISTRY

OF TRANSPORT
AND CONSTRUCTION
OF THE SLOVAK REPUBLIC



EURÓPSKA ÚNIA

Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO

DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

„Táto brožúra vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: **Vedeckovýskumné centrum excelentnosti SlovakION pre materiálový a interdisciplinárny výskum**, kód projektu v ITMS2014+ : 313011W085 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“



EUROPEAN UNION

European Regional Development Fund
OP Integrated Infrastructure 2014 – 2020

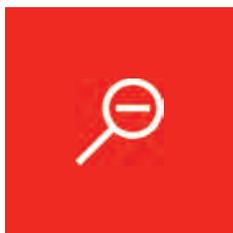


MINISTRY

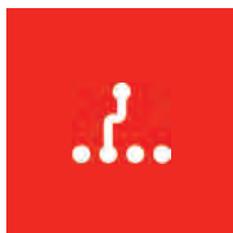
OF TRANSPORT
AND CONSTRUCTION
OF THE SLOVAK REPUBLIC

„This brochure was supported by the Operational Programme Integrated Infrastructure for the project: **Scientific and Research Centre of Excellence SlovakION for Material and Interdisciplinary Research**, code of the project ITMS2014+ : 313011W085 co-financed by the European Regional Development Fund.“

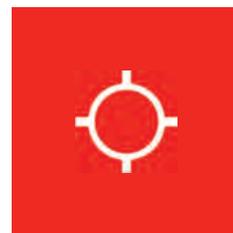
OBSAH / CONTENTS



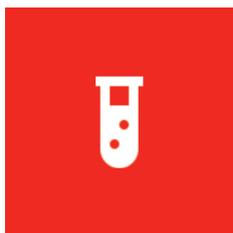
Identifikácia projektu
Identification of Project



Ciele projektu
Project goals



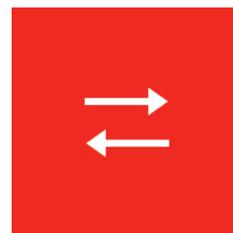
Infraštruktúra
Infrastructure



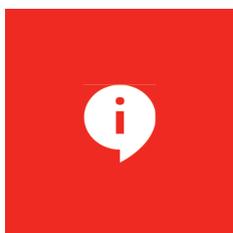
Veda a výskum
Science and research



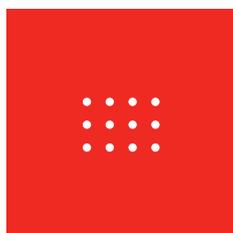
Medzinárodné prostredie
International environment



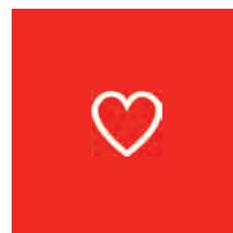
Spolupráca s praxou
Cooperations with industry partners



O ústave
About the Institute



O MTF STU
About the STU MTF

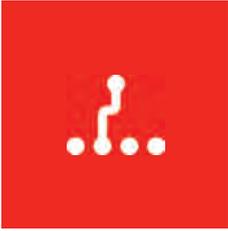


Ľudské zdroje
Human resources



IDENTIFIKÁCIA PROJEKTU

Názov projektu:	Vedeckovýskumné centrum excelentnosti SlovakiON pre materiálový a interdisciplinárny výskum
Acronym:	Teaming
Číslo projektu:	313011W085
Poskytovateľ:	MŠVVaŠ SR v zastúpení: Výskumná agentúra
Názov a sídlo prijímateľa:	Slovenská technická univerzita v Bratislave- Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 91724 Trnava
Miesto realizácie projektu:	Slovenská technická univerzita v Bratislave- Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Kód výzvy:	OPVAI-VA/DP/2018/1.1.3-04
Operačný program:	Operačný program Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020 Informácie o Operačnom programe Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020 nájdete na www.opii.gov.sk
Spolufinancovaný fondom:	Európsky fond regionálneho rozvoja
Výška poskytnutého NFP:	Celkové oprávnené výdavky: 10 442 177,79 EUR Výška žiadaného príspevku: 9 920 068,90 EUR
Prioritná os:	1 Podpora výskumu, vývoja a inovácií
Investičná priorita:	1.1 Rozšírenie výskumnej a inovačnej infraštruktúry a kapacít na rozvoj excelentnosti v oblasti výskumu a inovácií a podpora kompetenčných centier, najmä takýchto centier európskeho záujmu
Špecifický cieľ:	1.1.3 Zvýšenie výskumnej aktivity prostredníctvom zlepšenia koordinácie a konsolidácie VaV potenciálu výskumných inštitúcií
Doba riešenia:	1.12.2019 – 31.05.2023



CIELE PROJEKTU

Generálnym cieľom projektu je vytvorenie udržateľného excelentného výskumno-vývojového, inovačného a inštitucionálno-riadiaceho prostredia na realizáciu aktivít v oblasti materiálového výskumu, vývoj nových materiálov, najnovšie diagnostické metódy, simulácie a modelovanie v materiálovom inžinierstve a materiálové vlastnosti a taktiež v oblasti IKT, kde sa projektové aktivity sústreďujú na spracovanie a analýzu signálov, simulácie a modelovanie, strojové učenie a integráciu riadenia a signálov. Táto aktivita vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014-2020 spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. **Strategickým cieľom** je dosiahnuť štatút medzinárodne vedecky konkurencie schopného centra najmä v oblasti materiálového výskumu využívajúceho technológie iónových zväzkov a plazmy, ale aj v interdisciplinárnych oblastiach výskumno-vývojových aktivít.

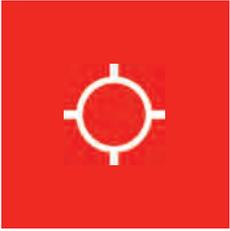
Aktivity projektu:

Hlavná aktivita projektu je „Rozvoj excelentného pracoviska a posilnenie vedeckého inštitútu SlovakiON pre etablovanie sa v ERA v transdisciplinárnych VaV oblastiach RIS3“, realizovaná v týchto bodoch:

1. Výskum nanoštruktúrnych materiálov a funkčných tenkých vrstiev
2. Iónové technológie
3. Modelovanie a simulácie v procesnom a materiálovom inžinierstve
4. Rozvoj a modernizácia výskumno-vývojovej a technologickej infraštruktúry **SlovakiON**

SlovakiON sa aktívne zaoberá iónovými a plazmovými technológiami, ktoré sa stali kľúčovými výskumnými technológiami umožňujúcimi európsku inováciu v rôznych oblastiach vrátane materiálových vied, aplikovanej elektroniky a inžinierstva povrchov. Predovšetkým existuje obrovský potenciál technológií iónových zväzkov a plazmy na podporu inovácie produktov. Z historického hľadiska v európskych pracoviskách s iónovými zväzkami sa prejavuje nedostatočná prepojenosť s priemyslom a nerovnomernosť dostupnosti v rôznych regiónoch, ktoré je potrebné prekonať.

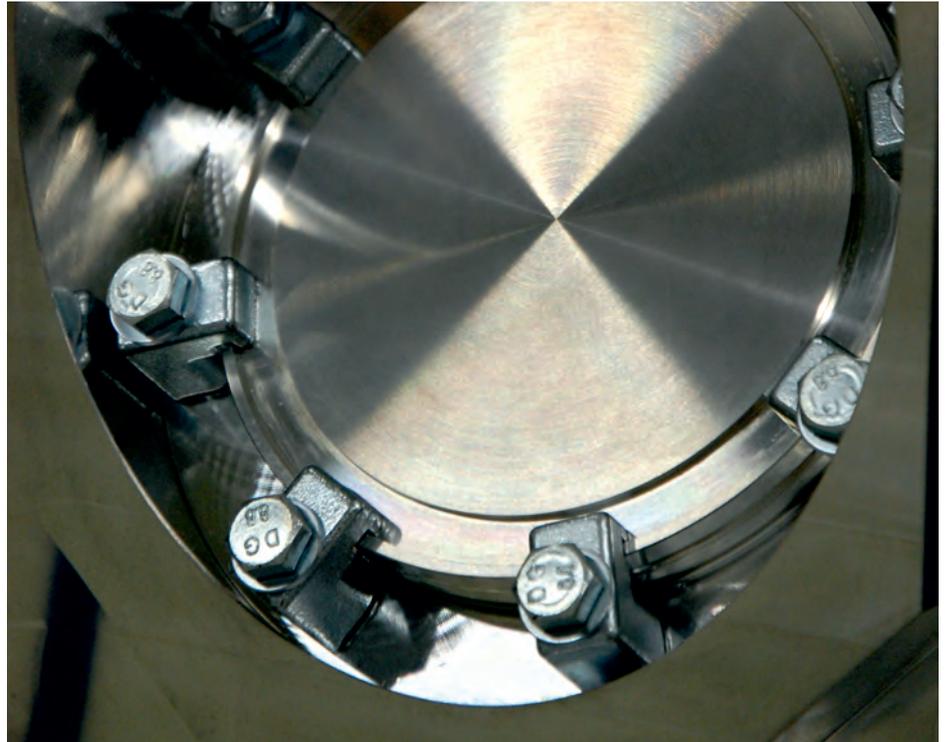
Technológie iónových zväzkov sa môžu považovať za „švajčiarsky nôž“ inžinierstva povrchov, pretože sa odvíjajú od typu iónov, ich energie a dávky, pričom nimi možno upraviť a zlepšiť takmer všetky povrchové vlastnosti (tribologické, optické, elektronické, magnetické) materiálov. Tiež umožňujú modifikáciu materiálov na nanoúrovni, ako aj spracovanie veľkých plôch, pretože iónový zväzok a plazmové metódy sú škálovateľné a rešpektujú rozmery materiálov. Navyše rôzne dobre vyvinuté metódy analýzy iónového zväzku sú schopné charakterizovať elementárne zloženie materiálov. To poskytuje obrovský potenciál pre aplikácie v rôznych odvetviach.



INFRAŠTRUKTÚRA

Vedecké centrum materiálového výskumu s laboratóriami disponuje zariadeniami na oblasti technológie iónového zväzku, plazmatické modifikácie a depozičné analytické metódy, počítačové modelovanie. Základné vybavenie pre depozičné procesy za asistencie iónového zväzku a plazmy v centre materiálového výskumu – SlovakiON pozostáva zo zariadení pre:

- reaktívne a nereaktívne nanášanie za asistencie zväzku iónov (IBAD) s rôznymi nízkoenergetickými iónovými zdrojmi,
- univerzálneho systémového zariadenia pre aplikácie procesov magnetrónového naprašovania s možnosťou reaktívneho duálneho magnetrónového naprašovania alebo rádiovýfrekvenčného magnetrónového naprašovania a možnosťou diagnostiky plazmy a diagnostiky hrúbky tenkých vrstiev,
- zariadení umožňujúcich kombináciu procesov iónovej implantácie ponorením do plazmy a depozičných procesov s iónmi o energiách do 40 kV.



Indukčne viazaný rádiovýfrekvenčný výboj vytvára prevažne plazmu tvorenú iónmi plynov. Použitie vzácnych plynov umožňuje implantáciu kovových iónov a / alebo následnú depozičnú kovových vrstiev za asistencie iónov vzácnych plynov. Použitie iónov kyslíka a dusíka umožňuje tvorbu oxidických a nitridických filmov. Magnetróny umiestnené nad držiakom vzorky pri technike PBIl poskytujú vysoké depozičné rýchlosti kovových, oxidických alebo nitridických vrstiev. Na začiatku depozičie by mali magnetróny pracovať v režime HPIMS,

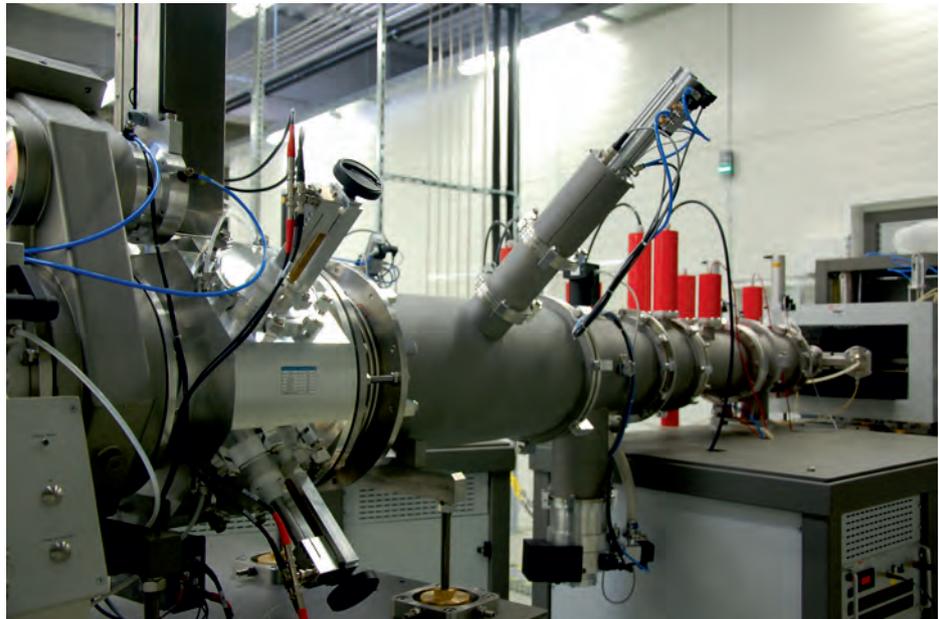
keď sa vytvára hustá plazma potrebná k tvorbe vrstvy zo zmesaným rozhraním na dosiahnutie dobrej priľnavosti za asistencie PBIl. Potom by mali prejsť do bežného módu s vysokou rýchlosťou naprašovania.

Zariadenia získané v 1. etape:

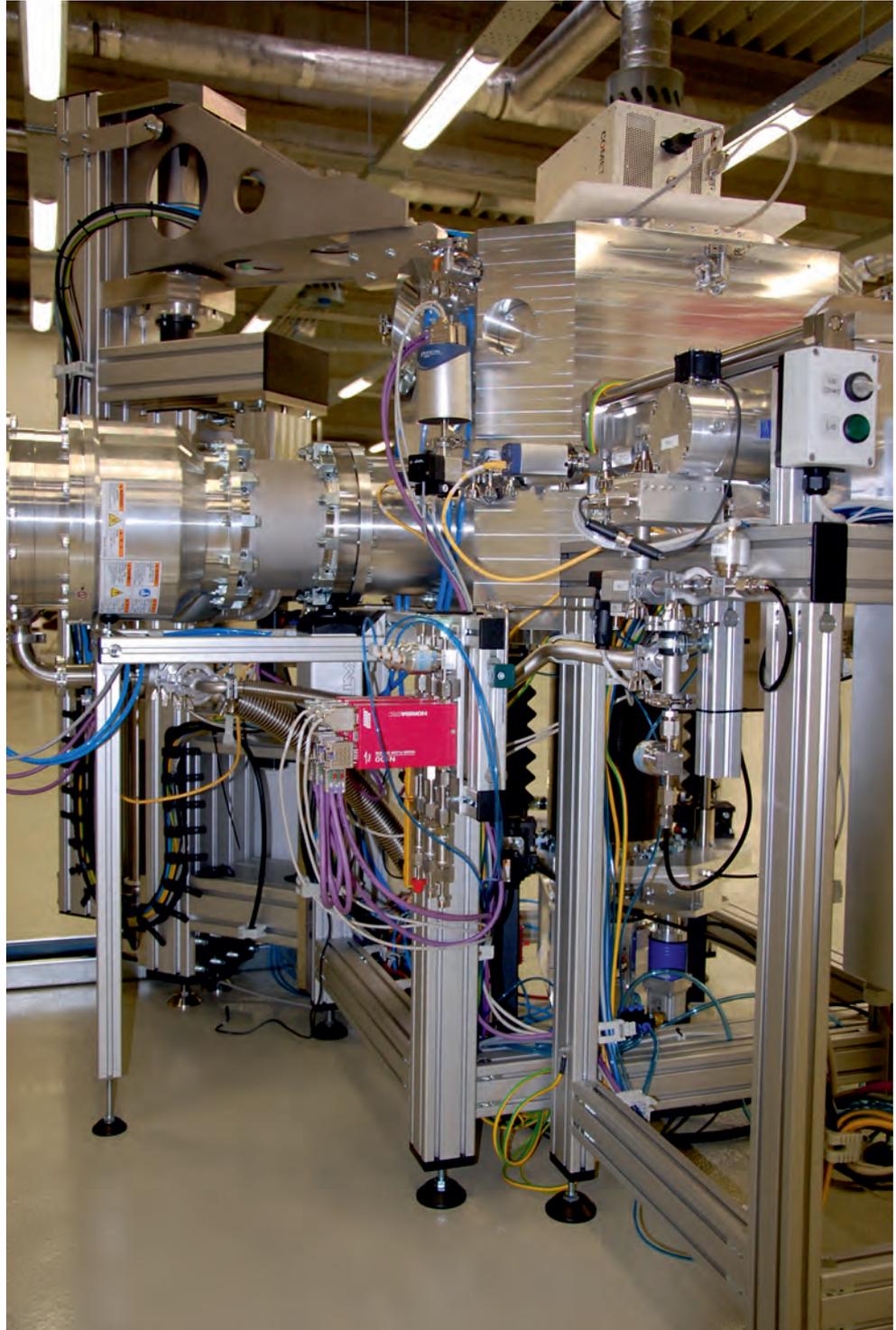
- 6 MV urýchľovací systém s vysokým prúdom zväzku pre analýzu pomocou iónového zväzku (IBA) a iónovú implantáciu – určený špeciálne pre výskum v oblastiach ako: fyzika tuhých látok, modifikácia materiálov pomocou iónového zväzku, atómová fyzika, analýza materiálov pomocou iónového zväzku (IBA), astrofyzika, ekológia.

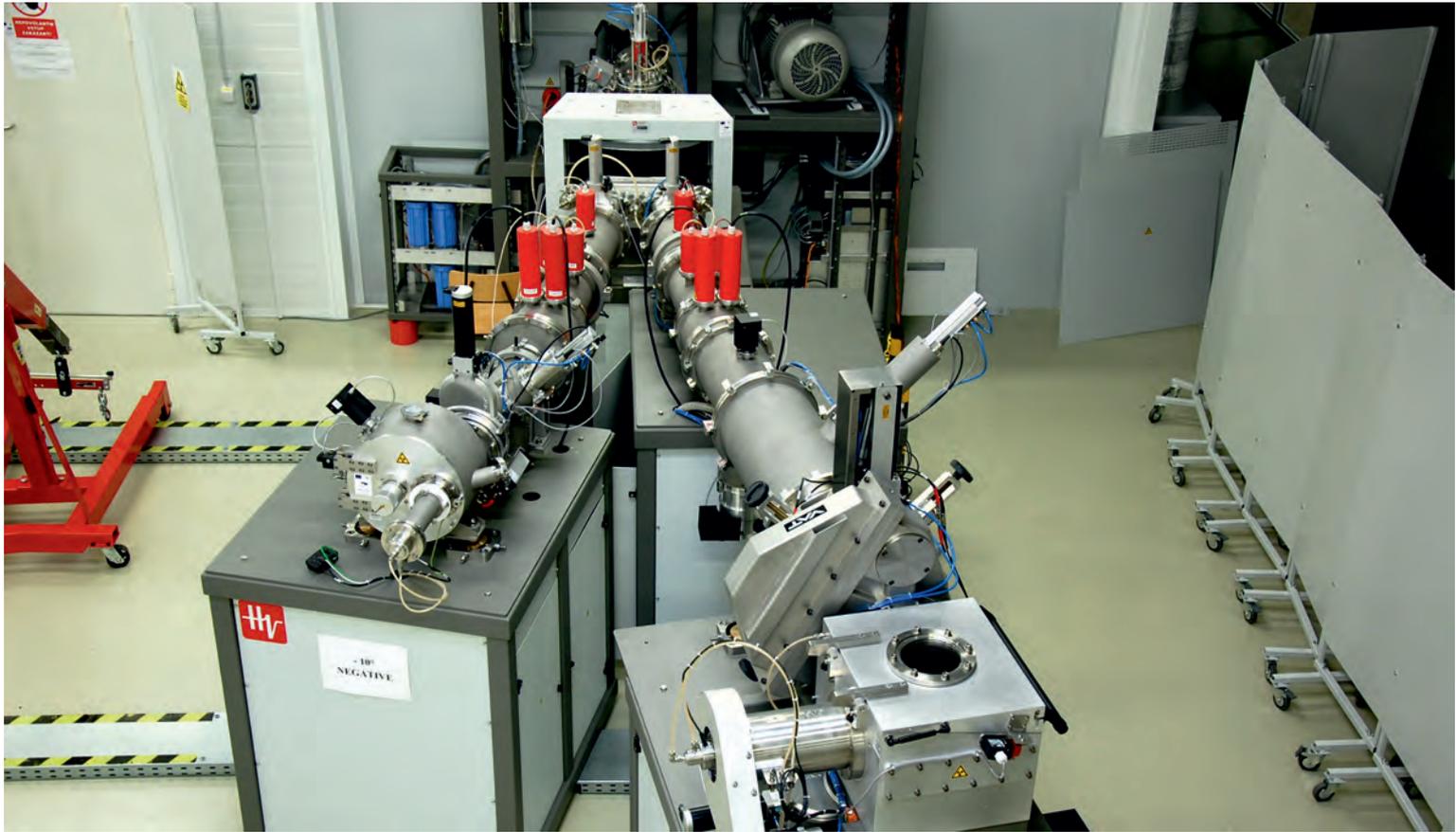
Zahŕňa kombináciu takých funkcií, ktoré bežne dostupné zariadenia tohto typu nemajú. Medzi tieto funkcie patria minimálne: úplný rozsah hmotností prvkov, široký rozsah dosiahnuteľných energií, veľmi vysoké hmotnostné rozlíšenie, spôsobilosť použitia viacnásobne nabitých iónov, ultra vysoké vákuum, možnosť použitia oblasti iónov s nízkou energiou, kompletný sortiment iónových zdrojov.

- Viacúčelový 500 kV vzduchom izolovaný urýchľovací systém pre iónovú implantáciu. Zariadenie pre technológiu iónovej implantácie je použiteľné na dotovanie materiálov, ochranu voči opotrebeniu, zvýšenie tvrdosti, antikorošnú ochranu, nanoštruktúrovanie, nanovrstvy, nanopórovitosť, modifikovanie elektrických, magnetických, fyzikálnych alebo chemických vlastností povrchov.
- PIII pre trojrozmerné substráty. Zariadenie pre iónovú implantáciu ponorením do plazmy pre trojrozmerné substráty rozmerov max. 200 mm x 200 mm x 200 mm je vybavené procesným modulom (komora z nehrdzavejúcej ocele), load lock modulom s príslušenstvom, systémom plynového hospodárstva a riadiacim systémom. Plynná plazma je excitovaná z ICP zdroja (frekvenčná oblasť: 13,56 MHz, výkon: 1 kW), max. výstupné napätie 40 kV.



- PIII pre rovinné substráty.
Zariadenie pre iónovú implantáciu ponorením do plazmy (PIII Plasma Immersion Ion Implantation) pre rovinné substráty priemeru max. 200 mm je vybavené procesným modulom (hliníková komora), load lock modulom s príslušenstvom, systémom plynového hospodárstva a riadiacim systémom. Plynná plazma je excitovaná z ICP (inductively coupled plasma) zdroja s dvoma anténami (frekvenčná oblasť: 13,56 MHz, výkon: 1 kW), max. výstupné napätie 20kV.
- Magnetronový systém s pulznou duálnou MS separáciou s výkonom 2,5kW. Jedná sa o reaktívny jednosmerný impulzový naprašovací systém.
- Zariadenie pre povlakovanie kovových targetov reaktívnym i nereaktívnym spôsobom, predovšetkým oxidov a nitridov, pre optiku, elektroniku (GaN, InN), fotovoltaiku (ITO, AZO, TiO₂) a pre technológiu displejov (ITO, AZO) a všetkých vhodných materiálov pre reaktívne jednosmerné impulzové naprašovanie (napr. Si wafer, sklo, kovy, plasty a iné).





- Magnetronový systém s pulznou duálnou MS separáciou s výkonom 5kW . Ide o rádiofrekvenčný naprašovací systém s predpätím. Reaktívny jednosmerný impulzový rozprašovací systém z rôznych materiálov terčikov ako sú reaktívne kovové oxidy a kovy je určený pre povlakovanie targetov reaktívnym spôsobom. Je vhodný pre súčasné naprašovanie kovových oxidov a izolujúcich materiálov prostredníctvom rádiofrekvenčného rozprašovania, resp. kovov prostredníctvom jednosmerného naprašovania pre materiály s vysokým indexom lomu a kompozity.
- Elipsometer – zariadenie na zisťovanie hrúbky tenkých vrstiev zo zmeny stavu polarizácie svetla po odraze od vyšetrovanej vzorky.
- Langmuirova sonda – sonda na elektrostatickom princípe, slúžiaca na diagnostiku plazmy, vybavená príslušným softvérom.



VÝSKUMNÁ CHARAKTERISTIKA

Ústav výskumu progresívnych technológií

VEDA A VÝSKUM

Ústav výskumu progresívnych technológií je zameraný predovšetkým na materiálové inžinierstvo v oblasti iónových a plazmových technológií, automatizáciu a zavádzanie informačných a komunikačných technológií v priemyselných procesoch alebo v oblasti výskumu vôbec, napr.: nanotechnológie a nanoštruktúry, sensorika, špecifický hardvérový a softvérový vývoj, počítačové videnie a spracovanie obrazov, big data, simulácia a modelovanie. Oblasť materiálového výskumu zahŕňa teoretické modelovanie pomocou ab-initio metód buď na veľmi presnej úrovni pri malých systémoch (atómov, molekúl), alebo s využitím DFT metód v prípade materiálov a povrchov. Oblasť automatizácie, informačných a komunikačných technológií tiež poskytuje priestor pre výskum a vývoj v širokom spektre hardvéru, komunikácii a riadení automatizovaných softvérových nástrojov, vedomostných systémov, archivácii a distribúcii znalostí nadradených systémov. Aplikovaný výskum je zameraný napr. na oblasti:

- kvantová chémia, materiálové technológie a nanotechnológie



- umelá inteligencia, strojové učenie, interakcia človek - robot v spolupráci s UIAM MTF.
- automatizácia a inžinierstvo riadenia v priemysle.

Ústav sa vysokou mierou zasadzuje do projektovej činnosti v rámci H2020 ako hlavného nástroja na podporu výskumu, vývoja a inovácií Európskej komisie na roky 2014 až 2020. Vďaka iniciatíve ústavu získala Slovenská technická univerzita v Bratislave (STU) financovanie z Európskej komisie (EK)

pre strategický rozvojový výskumný projekt SlovakiON. Projekt komisia hodnotila v rámci schémy TEAMING, ktorá je jednou zo schém v kľúčovom programe Európskej únie pre výskum a inovácie Horizont 2020. Schéma TEAMING je zameraná na rozvoj kapacít výskumu v oblasti materiálov a technológií. Výskum materiálov v oblasti iónových a plazmových technológií prináša nové možnosti v materiálom inžinierstve a v nanotechnológiách, najmä možnosti modifikácií vlastností materiálov, povrchov a ich rozhraní.

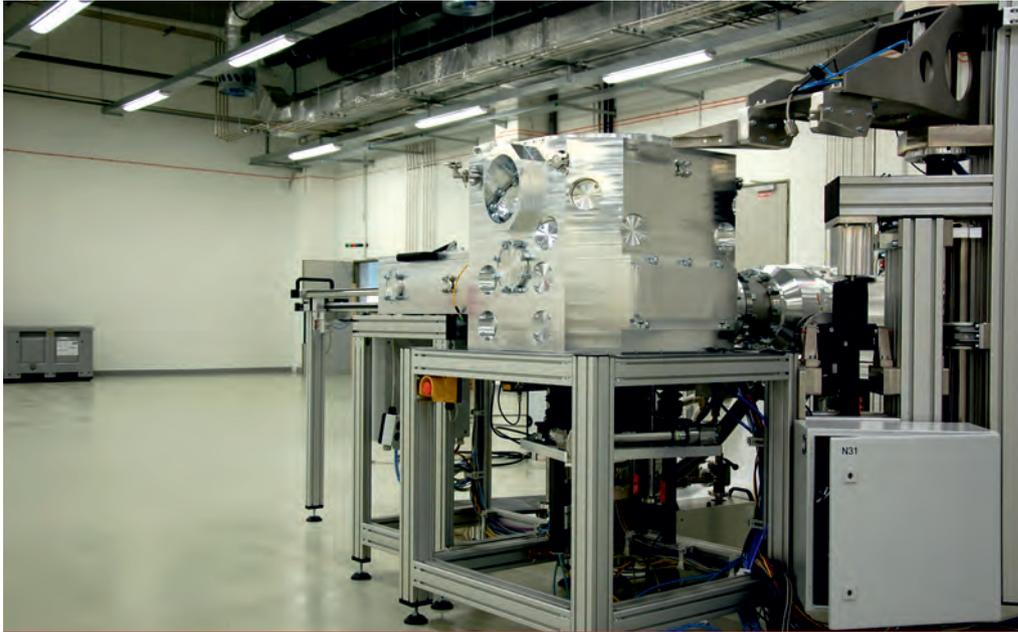
Hľadaným výsledkom budú vhodnejšie nové technologické postupy a vlastnosti produktov, ktoré sa doterajšími spôsobmi nedajú dosiahnuť.

Tieto technológie sú pre Slovensko zaujímavé aj z pohľadu kľúčového automobilového priemyslu. Tieto technológie sú pre Slovensko zaujímavé aj z pohľadu kľúčového automobilového priemyslu. Konzorcium, ktoré projekt rieši, má sedem partnerov. STU je hlavným koordinátorom celého projektu. Cieľom centra materiálového výskumu – SlovakiON je integrácia najlepších tzv. „high-end“ iónových technológií do výskumnej kapacity STU. Činnosť centra je rovnomerne využitá nielen na účely domáceho a externého výskumu, ale aj na účely pomerne širokej škály služieb zameraných na podporu výskumu, vývoja a technologického transferu nových materiálov, nanoštruktúr, modifikovaných povrchov prostredníctvom plazmových a iónových technológií do výrobných procesov. Centrum materiálového výskumu - SlovakiON vykonáva základný a aplikovaný výskum v oblasti materiálového inžinierstva ako aj modifikáciu a analýzu pevných povrchov pomocou techník iónového zväzku. Vplyv iónového bombardovania na tvorbu a modifikáciu vlastností tenkých vrstiev sa pritom skúma experimentálne a prostredníctvom počítačových simulácií. Okrem štúdia vzťahov medzi štruktúrou a vlastnosťami sa výskum zameriava na rôzne možné aplikácie. Veľmi dôležitá súčasť výskumu a vývoja je použitie nízkoenergetických iónov a použitie impulznej plazmy pre tvorbu metastabilných fáz, špecifických textúr, nanoštruktúr, tenkých filmov s veľkou

mernou hmotnosťou, či filmov charakteristických svojou mimoriadne dobrou priľnavosťou. Úzka spolupráca s priemyselnými a ostatnými partnermi sa sústreďuje okrem technologického transferu moderných iónových technológií aj na vývoj špičkových zariadení v danej oblasti. Iónové technológie umožňujú využívať vysoko urýchlené ióny s rýchlosťami v rozsahu medzi 500 km/s a 50 000 km/s, čo zodpovedá kinetickým energiám zhruba medzi 10 keV a 100 MeV. Centrum materiálového výskumu – SlovakiON používa širokú paletu zariadení pre iónovú implantáciu s maximálnymi urýchľovacími napätiami 6 MV, 500 kV, 40 kV a 20 kV. Interakcia iónového zväzku s povrchom látky vedie k rade základných javov. V dôsledku kolízie urýchleného iónu s atómom v materiáli môže dôjsť spätnému rozptylu iónu s generovaním pomalého alebo rýchleho odrazeného atómu. Ďalej môže urýchlený ión iniciovať jadrovú reakciu, ktorá emituje častice alebo - žiarenie. Okrem toho môže dôjsť k interakcii iónu s elektrónmi na vnútorných obálkach elektrónového obalu, v dôsledku čoho sa zase emituje charakteristické röntgenové žiarenie. Detekcia a spektroskopia týchto primárnych alebo sekundárnych častíc či žiarení môže byť využitá na analýzu chemického zloženia povrchových vrstiev. Pribehom následných interakcií iónu s atómami a elektrónmi v materiáli sa urýchlený ión spomalí až sa nakoniec zastaví. Tieto „zastavené ióny“ predstavujú pre materiál implantát a pri dostatočne vysokej koncentrácii implantovaných častíc vzniká možnosť ovplyvňovať chemické zloženie daného materiálu.



Kolízie urýchlených iónov s atómami terčika môžu vyprodukovať energeticky podmienené kaskádové procesy medzi atómami na povrchu terčika. Po dosiahnutí rovnováhy atómov zúčastnených sa kaskádových procesoch môžu zostať v materiáli trvalé zmeny ako sú napr. neusporiadané štruktúry v pevných látkach, porušené väzby v polyméroch alebo v biologických bunkách. Nakoniec môžu späťne odrazené atómy opustiť povrch, v dôsledku čoho je dotknutý povrch kontinuálne radiačne poškodzovaný. Povrchy môžu byť štruktúrované prostredníctvom zaostreného zväzku alebo o zväzku širšieho priemeru štandardnými litografickými technikami.



Fyzikálna podstata všetkých javov týkajúcich sa iónových technológií je dnes chápaná na tak dobrej úrovni, že iónové technológie môžu byť v praxi aplikované spôsobom, ktorý je veľmi dobre kontrolovateľný. Iónová implantácia je metóda využívajúca urýchlené ióny vhodná na vnesenie cudzích atómov (vo forme iónov) do základného materiálu alebo na vytvorenie štruktúrnych porúch v základnom materiáli. Týmto spôsobom môžeme cielene meniť základné vlastnosti materiálov. V princípe je možné implantovať všetky chemické prvky vrátane rádioaktívnych izotopov. Materiál, do ktorého chceme ióny implantovať, tzv. substrát môže byť z kovu, zliatiny, polovodiča, keramiky či plastu. Implantácia rádioaktívnych izotopov a následná dvojdimenzionálna detekcia kanálovaných a emitovaných elektrónov umožňuje presné stanovenie umiestnenia nečistôt

v mriežke monokryštálových materiáloch. Pre praktické účely je produktivita vysokoenergetickej iónovej implantácie často obmedzená, najmä pri požadovaných vysokých iónových tokoch na väčšie plochy. Okrem toho sa pri trojrozmerných súčiastkach vyžaduje mechanická manipulácia. Tieto problémy môžu byť prekonané priamou implantáciou iónov ponorením do plazmy. Na vzorku sa privedie impulzné predpätie, čím sú ióny extrahované s veľkého objemu nízkotlakej plazmy urýchlené smerom k povrchu. V porovnaní s vysokoenergeticou iónovou implantáciou má táto technika nevýhodu v znečistení iónového zväzku, na druhej strane ju možno realizovať v širšom spektre energií iónov.

Oblasť aplikácií:

- Iónová litografia: mikroštruktúrovanie fotocitlivých materiálov, vzorky nanometrickej mierky pre procesnú diagnostiku, prototypy a opravy nanoštruktúr
- Biomateriály: nanoporózne biomateriály, tribologické ochranné vrstvy, antibakteriálne povrchy, biokompatibilné povrchy, bariérové vrstvy
- Vrstvy z veľmi tvrdých materiálov ako je kubický nitríd bóru a nitríd titánu
- Nitridácia austenitických ocelí a hliníka
- Povrchová ochrana titánu a zliatin na báze TiAl: ochrana voči oxidácii TiAl zliatin pri vysokých teplotách, ochrana proti skrehnutiu Ti, ochranné povlaky pre TiAl zliatiny
- Nanoštruktúrovanie: nanoporózne povrchové štruktúry kovov, nanoporózny polymérový membránový filter

Depozícia za asistencie iónového zväzku IBAD - Moderné procesy depozície tenkých vrstiev pomocou iónového zväzku hrajú dôležitú úlohu pri vylepšovaní a modifikácii vlastností tenkých vrstiev ako sú príľnavosť, tvrdosť, hustota, morfológia povrchu, ďalej pri vzniku fáz, textúr alebo nízkotepelných depozíciách. Hlavnou výhodou kombinovaného procesu iónovej implantácie ponorením do kovovej plazmy a depozície (MePBIID) v porovnaní s konvenčnými technológiami depozície tenkých filmov je atermálna energetická depozícia urýchlenými iónmi, ktorá spôsobuje zmiešanie atómov prítomných v zónovom rozhraní.



Týmto spôsobom sa pripravujú napr. vrstvy vynikajúcej priľnavosti aj pri izbových teplotách. Analogicky k depozícii za asistencie iónového zväzku je možné získať textúrované tenké vrstvy technikou MePBIID. Zmenou impulzného napätia a impulznej dĺžky sa môžu dosiahnuť požadované prednostné orientácie v daných vrstvách. Naprášené tenké vrstvy sú kompaktné, bez prítomnosti pórov aj napriek ich kolumnárnemu rastu a priemeru kolumnárneho zrna v rozmedzí 50 až 500 nm. Základný princíp IBA - pri analýze tohto typu je na skúmaný povrch usmernený vysokoenergetický iónový zväzok s energiami typickými v rozmedzí 1-100 MeV. V dôsledku interakcie iónov s atómami bombardovaného materiálu môže dôjsť buď k spätnému odrazu iónov, ku generovaniu odrazených atómov, k emitácii charakteristického röntgenového žiarenia alebo interakcia môže vyvolať spustenie jadrovej reakcie. Za pomoci vhodných detektorov energiovej spektroskopie môžeme z emitovaných častíc alebo fotónov informácie o druhu skúmaných atómov. Okrem toho, dopadajúce ióny ako aj emitujúce častice strácajú časť energie pri prechode cez materiál. Potom je možné opäť prostredníctvom energiovej spektroskopie stanoviť hĺbku, v ktorej k danej interakcii došlo, čím získame hĺbkové profily s priebehom chemického zloženia. Chemické zloženia tenkých vrstiev a vrstiev nachádzajúcich sa v tesnej blízkosti pod povrchom môžu byť stanovené kvantitatívnou analýzou bez nutnosti použitia štandardov. Vo všeobecnosti je známe, že výsledky IBA nie sú ovplyvnené prítomnosťou substrátu. IBA je nedeštruktívna metóda v tom zmysle, že vzorka nie je narušená, avšak môžu tu byť vplyvy analyzujúceho zväzku, ktoré ovplyvňujú výsledky vo veľmi citlivých materiáloch, ktoré môžu byť minimalizované určitými experimentálnymi prostriedkami. Typické detekčné limity ležia zhruba medzi 100 a 10 000 ppm (v závislosti od danej metódy) a sú dostačujúce pre mnoho aplikácií. Zariadenia so štandardným nastavením umožňujú analyzovať plochy s priemerom niekoľkých milimetrov. IBA môže byť aplikovaná na detekciu najľahších prvkov, najmä izotopov vodíka, hélia a lítia. Výsledkom sú hĺbkové profily chemického zloženia bez erózie povrchu vzorky, čiže jeho poškodenia. Príslušne, máme pri týchto metódach minimálne skreslenie hĺbkových profilov. Vertikálne rozlíšenie IBA je v závislosti od konkrétnej IBA metódy väčšinou obmedzené medzi niekoľkými manometrami a približne jedným mikrometrom. Avšak je tu možnosť zvýšiť vertikálne rozlíšenie v oblastiach blízkych k povrchu prostredníctvom špeciálneho zariadenia na úroveň jednej atómovej vzdialenosti. Prostredníctvom týchto techník však väčšinou nie je možné získať informácie o stave chemickej väzby. IBA nie je druhovo vhodná ani na štruktúrnu analýzu. Avšak v súvislosti s tunelovým efektom je možné skúmať špecifické štruktúrne záležitosti, ako mriežkové poruchy alebo stanovenie polôh cudzích atómov.



MEDZINÁRODNÉ PROSTREDIE

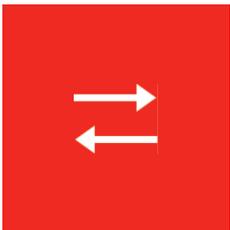
Ústav sa vysokou mierou zasaduje do projektovej činnosti v rámci H2020 ako hlavného nástroja na podporu výskumu, vývoja a inovácií Európskej komisie na roky 2014 až 2020. Vďaka iniciatíve ústavu získala Slovenská technická univerzita v Bratislave (STU) financovanie z Európskej komisie (EK) pre strategický rozvojový výskumný projekt SlovakION. Projekt komisia hodnotila v rámci schémy TEAMING, ktorá je jednou zo schém v kľúčovom programe Európskej únie pre výskum a inovácie Horizont 2020. Schéma TEAMING je zameraná na rozvoj kapacít výskumu v oblasti materiálov a technológií. Výskum materiálov v oblasti iónových a plazmových technológií prináša nové možnosti v materiálovom inžinierstve a v nanotechnológiách, najmä možnosti modifikácií vlastností materiálov, povrchov a ich rozhraní. Hľadaným výsledkom budú vhodnejšie nové technologické postupy a vlastnosti produktov, ktoré sa doterajšími spôsobmi nedajú dosiahnuť. Tieto technológie sú pre Slovensko zaujímavé aj z pohľadu kľúčového automobilového priemyslu. Konzorcium, ktoré projekt rieši, má sedem partnerov.

STU je hlavným koordinátorom celého projektu. Cieľom centra materiálového výskumu – SlovakION je integrácia najlepších tzv. „high-end“ iónových technológií do výskumnej kapacity STU. **Strategickým cieľom je dosiahnuť štatút medzinárodne vedecky konkurencie schopného centra najmä v oblasti materiálového výskumu** využívajúceho technológie iónových zväzkov a plazmy, ale aj v interdisciplinárnych oblastiach výskumno-vývojových aktivít. **Najvýznamnejším úspechom v prvom roku riešenia projektu TEAMING** bola najmä realizácia výpočtov z prvých princípov (tzv. ab initio) pre Beta-Nuclear magnetic resonance (Beta-NMR) experiment CERN-ISOLDE (Švajčiarsko). Pre chemické a biochemické aplikácie beta-NMR sa používa kvapalný terč pre implantáciu rádioaktívnych iónov. Tento terč je zložený z iónových

kvapalín kvôli nízkemu tlaku nasýtených pár. Naše pracovisko poskytuje CERN-ISOLDE veľmi presné výpočty NMR tienenia v kvapalinách - voda, iónové kvapaliny. Pilotným spoločným článkom UVPT s CERN-ISOLDE je Physical Review X, 10, 041061 (2020), <https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.10.041061> kde sa po prvý krát podarilo zmerať magnetický dipólový moment rádioaktívneho krátko žijúceho jadra ²⁶Na s presnosťou parts-per-milion. Tento výsledok bol dosiahnutý zlepšením experimentálnych techník a zlepšením presnosti našich ab initio výpočtov. Spolupráca UVPT a CERN-ISOLDE pokračuje - stali sme sa súčasťou interného projektového návrhu na nové experimenty v CERN-ISOLDE. Dlhodobým cieľom je vývoj beta-NMR spektroskopie pre chemické a biochemické aplikácie.

Významná spolupráca okrem CERN-ISOLDE sa prejavila najmä so Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, EMPA Dubendorf, ale i European Space Agency (ESAC Madrid), Španielsko, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Nemecko, INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania, Taliansko, Institute of Nuclear Sciences Vinča, University of Belgrade, Srbsko, Kyoto University, Japonsko a ďalšími.





SPOLUPRÁCA S PRAXOU

Pre výskumnú univerzitu je neodmysliteľná intenzívna spolupráca s praxou. Táto činnosť výrazne obohacuje vzdelávaciu aj výskumnú činnosť, pretože reflektuje na aktuálnu potrebu poskytovania mnohokrát unikátnych riešení akútnych technických problémov, urýchľuje transfer poznatkov a prináša aj finančné prostriedky. Je príspevkom fakulty k naplneniu Lisabonskej stratégie. Do tejto významnej činnosti sa popri erudovaných a uznávaných špičkových pracovníkov univerzity veľkou mierou zapájajú aj študenti, hlavne doktorandi, ktorí majú takto možnosť priameho napojenia výskumných tém z priemyslu na svoje projekty. Formy spolupráce fakulty a praxe majú rôzny charakter: sú to úlohy z praxe riešené na základe priamej zmluvy alebo objednávky, výskumné a inovačné projekty riešené spolu s partnermi z priemyselnej sféry, zapájanie malých a stredných podnikov do riešenia medzinárodných projektov, praxe a stáže študentov v podnikoch doma aj v zahraničí, podpora vzniku malých firiem vychádzajúc ich z prostredia fakulty a ďalšie. Úzka spolupráca s priemyselnými a ostatnými partnermi sa sústreďuje okrem technologického transferu moderných iónových technológií aj na vývoj špičkových zariadení v danej oblasti.

Oblasti expertíz

- Analýzy materiálov pomocou iónových zväzkov
- Iónová implantácia a syntéza
- simulácia radiačného poškodenia materiálov pre jadrovú energetiku
- ab-initio predpoveď štruktúry a vlastností materiálov
- podpora pre prenos pokrokových technológií do praxe,
- transfer know-how, inovácií a znalostí z akademického prostredia do praxe a poskytovanie podpory pre start-up a spin-off aktivity.



Ponuka pre prax – oblasti spolupráce:

1. Vysokocitlivá analýza obsahu prvkov (od vodíka po urán) až s možnosťou rozlíšenia jednotlivých izotopov použitím metód:
 - a. Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)
 - b. Particle Induced X-ray spectrometry (PIXE)
 - c. Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)
 - d. Nuclear Reaction Analysis (NRA)

2. Úprava materiálov, aktivácia, syntéza exotických rádionuklidov a izotopov:
 - a. Iónová implantácia v rozsahu energií 20 keV - 100 MeV v závislosti od implantovaného prvku
 - b. vysokodávková iónová implantácia plošných aj objemových substrátov/súčiastok
 - c. povlakovanie a syntéza tenkých vrstiev.
3. Testovanie radiačnej odolnosti a vyhodnotenie vplyvu radiácie na materiál.
4. Dizajn materiálov pomocou počítačového modelovania a experimentálna validácia.

5. Analýza časových radov, satelitných dát a obrazových snímok.
6. Analýza materiálov – metalografia, zloženie, mikroštruktúra, kryštalografia:
 - a. Elektrónová mikroskopia (riadkovaná aj transmisná)
 - b. RTG difrakcia
 - c. Glow-discharge optical emission spectroscopy (GDOES)

Využitie v priemysle: Centrum excelentnosti SlovklON je schopné vykonávať výskum v oblasti prípravy materiálov, ktoré nájdu uplatnenie v rôznych aplikáciách napr. automobilového priemyslu, optike, elektrotechnike, fotovoltaike, príp. špecifických technológiách displejov, výrobných technológiách, informačných a komunikačných technológiách, optike, senzorike. Technológie iónových zväzkov umožňujú modifikáciu materiálov na nanoúrovni, ako aj spracovanie veľkých plôch, pretože iónový zväzok a plazmové metódy sú škálovateľné a rešpektujú rozmery materiálov. To poskytuje potenciál pre aplikácie v rôznych odvetviach priemyslu. Nepôjde len o inováciu nových materiálov, ale aj automatizované algoritmické riešenia v praxi.





Popri vzdelávaníu 3. stupňa vysokoškolského štúdia v oblasti svojho pôsobenia ponúka ATRI aj odbornú výchovu pre pracovníkov priemyselnej praxe, s cieľom podporiť transfer a zavádzanie inovácií v priemysle Slovenska, a zároveň tak podporiť aj ekonomický rast nášho EU regiónu.

O ÚSTAVE

Ústav výskumu progresívnych technológií (ATRI - Advance Technologies Research Institute) vznikol v roku 2013, ako novovybudovaný ústav Materiálovotechnologickej fakulty v Trnave, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Ústav je taktiež súčasťou a primárnym užívateľom prostriedkov a technológií Univerzitného vedeckého parku CAMBO v Trnave, vybudovaného zo ŠF SR v celkovej hodnote 42 mil. EUR

ATRI je zameraný predovšetkým na materiálové inžinierstvo v oblasti iónových a plazmových technológií, na automatizáciu a informačné a komunikačné technológie ako aj na oblasti chémie, fyziky a astrofyziky. Okrem toho sa zameriava na medzinárodne integrovaný špičkový výskum, ako základ aplikovaného výskum a prenosu nových technológií do priemyslu, na úzku spoluprácu najmä s regionálnym priemyslom, kde chcem rozvinúť činnosti podporujúce zavádzanie inovácií do praxe.

Oddelenie iónových vzäzkov
Vedecké centrum materiálového výskumu predstavuje vedecko-



výskumnú základňu pre aplikáciu iónových a plazmových technológií vo fyzikálnom a materiálovom inžinierstve a v nanotechnológiách. Je vybavené špičkovými technológiami na modifikáciu a analýzu povrchových, podpovrchových a tenkých vrstiev tuhých látok s využitím pôsobenia urýchlených iónov a plazmy.

Oddelenie chémie a fyziky

Výskum oddelenia fyziky a chémie je zameraný na oblasti: vývoja a aplikácie tzv. "coupled cluster" metódy, výpočtov vlastností kovových klastrov

"ab initio", presných výpočtov molekulárnych NMR vlastností vrátane relativistických a solvatačných efektov, výpočtov hyperplôch potenciálnej energie pre teoretickú infračervenú spektroskopiu, výpočtov v atmosferickej chémii, modelovania materiálových rozhraní a ich vplyv na termodynamické vlastnosti nano-vrstiev, rýchlych stochastických variácií jasnosti "červený šum" akrečných procesov v dvojhviezdach a aktívnych galaktických jadrách, Monte Carlo simulácie červeného šumu a analýza družicových dát misíi Kepler a XMM-Newton.

Oddelenie simulácie a modelovania

V oblasti priemyselnej automatizácie, zberu a spracovania údajov, elektroniky a mikroelektroniky poskytuje oddelenie podporu ostatným zložkám ústavu i fakulty. Vybavenie centra umožňuje okrem iného vykonávať testy s využitím analógovo-digitálneho simulátora pripojiteľného na reálne zariadenia, priemyselného kamerového systému a ďalších technológií.

Oblasti základného a aplikovaného výskumu:

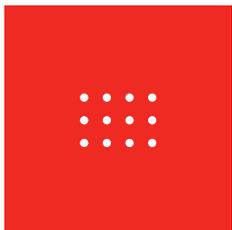
- Automatizácia a inžinierstvo riadenia v priemysle
- Umelá inteligencia, strojové učenie, interakcia človek - robot, robotika
- Modelovanie, simulácia a optimalizácia výrobných procesov a systémov
- Big data a získavanie znalostí z výrobných databáz v hierarchickom riadení procesov
- Matematické modely a reprezentácie (systémy s rýchlou spätnou väzbou)
- Počítačové videnie a spracovanie obrazu
- Vývoj softvéru (GIS , telemetrické systémy, Distribuované riadiace systémy)

V rámci aplikovaného výskumu pre priemysel boli doteraz v rámci oddelenia riešené problémy v oblasti vývoja softvéru pre modelovanie magnetických polí v okolí cievok v elektromagnetických relé (Hengstler/ Danaher) a v oblasti dizajnovania a optimalizácie vysokovýkonných ultrazvukových vysielateľov (Kraintek).

Oddelenie využíva výpočtové zdroje HPC klastra Slovenskej technickej Univerzity a Slovenskej akadémie vied.

Oddelenie spolupracuje s viacerými Univerzitami a výskumnými centrami vo svete ako napr.: **Oddelenie astronómie Kyótskej univerzity, Japonsko; Ústav organickej chémie, Poľská akadémia vied; EMPA, Švajčiarske federálne laboratóriá pre materiálový výskum a technológie, Dubendorf, Švajčiarsko; ESAC, Európska vesmírna agentúra (ESA), Madrid, Španielsko; Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francúzsko; GSMA, Reimská Univerzita Champagne-Ardenne, Reims, Francúzsko.**





Kto je MTF STU

Slovenská technická univerzita v Bratislave, ktorej súčasťou je Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, dlhoročne patrí medzi popredné výskumné univerzity na Slovensku. Potvrdzujú to aj svetové rebríčky univerzít - QS World University Rankings®, Times Higher Education World University Rankings a Academic Ranking of World Universities, alebo The Best Global Universities ranking.

O MTF STU

Výskumná charakteristika MTF STU

Cieľom Materiálovotechnologickej fakulty STU v Bratislave so sídlom v Trnave je, v kontexte s víziou STU, byť výskumne orientovanou a medzinárodne uznávanou fakultou v rámci fakúlt podobného zamerania vo svetovom meradle t.j. fakúlt, ktoré rozvíjajú moderné trendy vo výskume a priemyselnej výrobe, s dôrazom na progresívne materiály, sofistikované výrobné technológie a priemyselné inžinierstvo, automatizáciu a informatizáciu výrobných a technologických procesov ako aj kvalitu, bezpečnosť, environmentálne a manažérske aspekty priemyselnej produkcie.

Zameranie výskumnej činnosti

MTF STU

Výskumná činnosť MTF STU sa realizuje formou:

- projektov základného a aplikovaného výskumu s podporou domácich grantových agentúr,
- dopytovo orientovaných projektov,
- projektov riešených v rámci medzinárodných programov a zahraničných grantových schém,



- projektov medzinárodnej vedecko-technickej spolupráce,
- zmluvného výskumu a vývoja.

Obsahovo je vedeckovýskumná činnosť fakulty orientovaná najmä na nasledovné oblasti:

- materiálový výskum s orientáciou na výskum, vývoj a technologické spracovanie materiálov,
- výskum a vývoj nových technológií priemyselnej výroby, orientovaných najmä na technologické spracovanie moderných technických materiálov a ekologicky čisté produkcie,
- priemyselná informatika a automatizácia, riadenie procesov a informačné zabezpečenie technologických a výrobných systémov,
- výskum v oblasti priemyselného inžinierstva a manažmentu priemyselných podnikov,
- bezpečnosť a spoľahlivosť technologických zariadení a systémov s dôrazom na metódy analýzy a syntézy systémov.





Oblasti a priority výskumu

Akreditovanými oblasťami výskumu MTF STU sú:

- materiály
- strojárské technológie a materiály
- automatizácia
- priemyselné inžinierstvo.

V súlade s definovaným poslaním Slovenskej technickej univerzity chce Materiálovotechnická fakulta STU ako univerzitná fakulta aktívne prispievať k jeho naplneniu - **s prioritou na materiálové vedy a výrobné technológie** - v akreditovaných oblastiach výučby, vedy a výskumu v rámci stanovených kompetencií:

- realizovať univerzitný systém

vzdelávania vo všetkých stupňoch v akreditovaných študijných programoch,

- šíriť, prehľbovať a rozvíjať poznanie nástrojmi vedy a výskumu,
- zabezpečiť prenos výsledkov vedy a výskumu do procesu vzdelávania,
- zabezpečiť transfer výsledkov vedy a výskumu do podnikateľskej praxe,
- chrániť výsledky svojho výskumu.

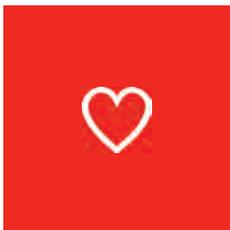
Sedem univerzitných vedeckých parkov na Slovensku predstavuje výskumné pracoviská najlepších slovenských univerzít a SAV, v ktorých sa realizuje špičkový aplikovaný výskum a prenos poznatkov z akademickej sféry do hospodárskej a spoločenskej praxe prostredníctvom transferu technológií (licencie, spin-off, alebo iné formy

spracovania poznatkov). Ide o komplexné celky, ktoré sa zameriavajú na systematický rozvoj územia kľúčových vedeckých inštitúcií; integrujú výskumnú infraštruktúru do väčšieho celku a disponujú sieťou unikátnych moderných výskumných prístrojov, laboratórií a pracovísk; vytvárajú priestor pre akceleráciu ideí a inkubáciu inovatívnych firiem prostredníctvom realizácie aplikovaného výskumu; disponujú veľmi kvalitným, efektívnym vedeckým manažmentom, ktorý vychádza z dobrých skúseností v renomovaných vedeckých parkoch a ktorý zabezpečuje kvalitné riadenie a udržateľnosť univerzitného vedeckého parku. Maximálna výška podpory v prípade UVP mohla dosiahnuť 40 mil. EUR.

Na MTF STU vznikol prvý univerzitný vedecký park na Slovensku v roku 2015.

Univerzitný vedecký park je primárne zameraný na oblasť materiálového inžinierstva v oblasti iónových a plazmových technológií a automatizácie a informatizácie priemyselných procesov.





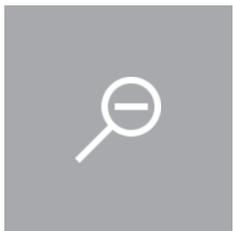
ĽUDSKÉ ZDROJE

VEDECKÍ PRACOVNÍCI NA PROJEKTE

priezvisko	meno	WoS (Researcher ID)	Scopus (AuthorID)	ORCID
Antušek	Andrej	L-9517-2015	8530185700	0000-0002-4574-2943
Bajčičáková	Ingrida	Q-9250-2018	56149921900	0000-0001-9021-2450
Beňo	Matúš		55771268900	
Bezák	Pavol	F-3327-2017	55858008100	0000-0002-0637-2740
Bohovičová	Jana	F-2663-2017	23480955200	0000-0001-9582-5272
Bónová	Lucia		25824695500	
Borkin	Dmitrii		57210187956	
Buranský	Ivan	O-4668-2019	55620800800	0000-0002-7600-9007
Cuninka	Peter		57189005363	
Cuninková	Eva	F-1500-2018	57207355942	0000-0003-2196-5832
Čaplovič	Ľubomír	M-9938-2016	6507055197	0000-0002-2280-008X
Derzsi	Mariana	S-9358-2017	26535817400	0000-0002-4404-0392
Degmová	Jarmila	AAG-6931-2021	6602449531	0000-0003-3517-1945
Dobrotka	Andrej		8956647500	
Dobrovodský	Jozef		57194150402	
Dubecký	Matúš	P-1720-2016	56358387500	0000-0002-3975-1106
Halanda	Juraj			
Horváth	Dušan			0000-0002-9647-4627
Janíková	Dominika		53663710500	
Janovec	Jozef	C-6904-2018	7005456311	0000-0001-7526-0083
Kršjak	Vladimír	I-8684-2018	24399657800	0000-0002-6765-6974
Minárik	Stanislav		6507270144	0000-0002-6851-0053
Moravčík	Roman	T-1998-2017	6507499319	0000-0002-6039-2822
Moravčík	Oliver		6508121153	
Muška	Martin		57194144761	
Noga	Pavol		47161344600	0000-0002-4258-2382
Pekarčíková	Marcela	F-2845-2017	7801552354	0000-0002-4300-6109
Priputen	Pavol	N-2250-2016	16022868800	0000-0002-6259-5711

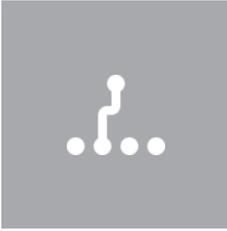
priezvisko	meno	WoS (Researcher ID)	Scopus (AuthorID)	ORCID
Riedlmajer	Róbert		57194147119	
Sahul	Miroslav	AAE-7078-2020	37013730700	0000-0001-5091-6381
Skarba	Michal		8890930300	0000-0002-5381-2905
Sojak	Stanislav		55851947569	
Štrémy	Maximilián	C-7106-2014	55512587000	0000-0003-2918-0714
Šugár	Peter	S-1823-2016	55096613400	0000-0002-9499-5672
Šulka	Martin	C-3944-2012	24759724000	0000-0002-2492-4377
Šulková	Katarína	B-7799-2014	55604082400	
Tanuška	Pavol	O-9478-2019	35811159400	0000-0001-7025-1911
Tokár	Kamil	V-3908-2018	35769762800	0000-0003-3257-3666
Vaňa	Dušan		56904112000	
Vážan	Pavel		36198972300	0000-0001-6943-2635
Vyskoč	Maroš		57193208204	0000-0002-0729-0042
Závacká	Anna		55898628300	





PROJECT IDENTIFICATION

Project title:	Scientific and Research Centre of Excellence SlovakiON for Material and Interdisciplinary Research
Acronym:	Teaming
Project No.:	313011W085
Donor:	Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic represented by: Research Agency
Name and address of beneficiary:	Slovak University of Technology in Bratislava – Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, St. Jána Bottu No. 2781/25, 91724 Trnava
Place of project implementation:	Slovak University of Technology in Bratislava – Faculty of Materials Science and Technology in Trnava
Code of call:	OPVAI-VA/DP/2018/1.1.3-04
Operational programme:	Information on Integrated Infrastructure Operational Programme 2014 – 2020 - www.opii.gov.sk
Co-financed by fund:	European Regional Development Fund
Sum of provided non-repayable financial contribution:	Total eligible expenses: 10 442 177.79 EURO. The sum of required contribution: 9 920 068.90 EURO
Priority axis:	1 Support of research, development and innovations
Investment priority:	1.1 Enhancement of research and development infrastructure and capacities to develop the excellence in the field of research and innovations and the support of competence centres, particularly the centres of European interest
Specific goal:	1.1.3 Increase of research activities by improving the coordination and consolidation of research and development potential of research institutions
Period of project implementation:	1 Dec 2019 – 31 May 2023



PROJECT GOALS

The general goal of the project is to create a sustainable excellent research and development, innovation and institutional management environment for the implementation of activities in the field of materials research, development of new materials, the latest diagnostic methods, simulations and modelling in materials engineering, material properties, and also in ICT, where the project activities are focused on signal processing and analysis, simulation and modelling, machine learning, control, and signal integration. This activity was developed thanks to the support of the Operational Program Integrated Infrastructure 2014-2020 co-financed by the European Regional Development Fund.

The strategic goal is to achieve the status of an international scientifically competitive centre, especially in the field of materials research using ion beam and plasma technologies, but also in the interdisciplinary areas of research and development activities.

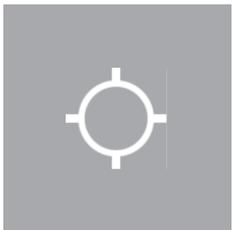
Project activities:

The main activity is "Development of the excellent workplace and the **SlovakION** Scientific Institute improvement to establish in ERA in transdisciplinary research and development in the field of RIS3", conducted in the following:

1. Research in nanostructured materials and functional thin layers
2. Ion technologies
3. Modelling and simulations in process and material engineering
4. Development and modernisation of SlovakION research and development and technological infrastructure

SlovakION actively deals with ion and plasma technologies which have become key research technologies allowing thus European innovation in various fields including material science, applied electronics and surface engineering. In particular, there is a huge potential of ion beam technologies and plasma to support product innovations. From the historical point of view, in the European workplaces dealing with ion beams there appears to be an insufficient interconnection to industry as well as the unevenness of accessibility in various regions which should be managed.

Ion beam technologies can be considered to be a "Swiss knife" of surface engineering as they relate from the ion type, its power and amount, while they can be used to modify and improve almost all surface properties (tribologic, optical, electronic, and magnetic) of materials. The technology also allows material modification on the nanostructure level as well as processing of large surfaces since the ion beam and plasma methods can be scaled and respect material dimensions. In addition, the well-developed methods of ion beam analysis are capable to characterise the elementary composition of materials, which provide a huge potential for applications in various fields.



INFRASTRUCTURE

The scientific centre of materials research (SlovakION) with laboratories has at its disposal the devices in the field of ion beam, plasma modification and deposition, analytical methods, and computer modelling. The basic equipment for deposition processes by means of the ion beam and plasma in the Centre of materials research (SlovakION) consists of the following devices for:

- reactive and non-reactive ion beam assisted deposition (IBAD) with various low energy ion sources,
- universal system devices for applying the processes of dual magnetron reactive sputtering either or radio frequency magnetron sputtering with the possibility of diagnostics of plasma and thin layers thickness,
- devices allowing the combination of ion implantation processes via immersing into plasma and deposition processes with ion up to 40 kV.



An inductive bound radio frequency discharge creates prevalingly plasma made of gases ions. The use of rare gases allows the implementation of metal ions and /or subsequent deposition of metal layers via rare gases' ions assistance.

The use of oxygen and nitrogen ions allows the formation of oxidic and nitridic films. By PBII technology, the magnetrons located above the sample holder provide high deposition speeds of metal, oxidic, or nitridic layers. In the beginning of deposition, the magnetrons should operate in HPIMS regime, when a thick plasma essential for the formation of the layer with mixed interface to achieve a good PBII assisted adherence is formed.

Subsequently, they should enter the common mode with high speed of sputtering.

The devices obtained in Stage I:

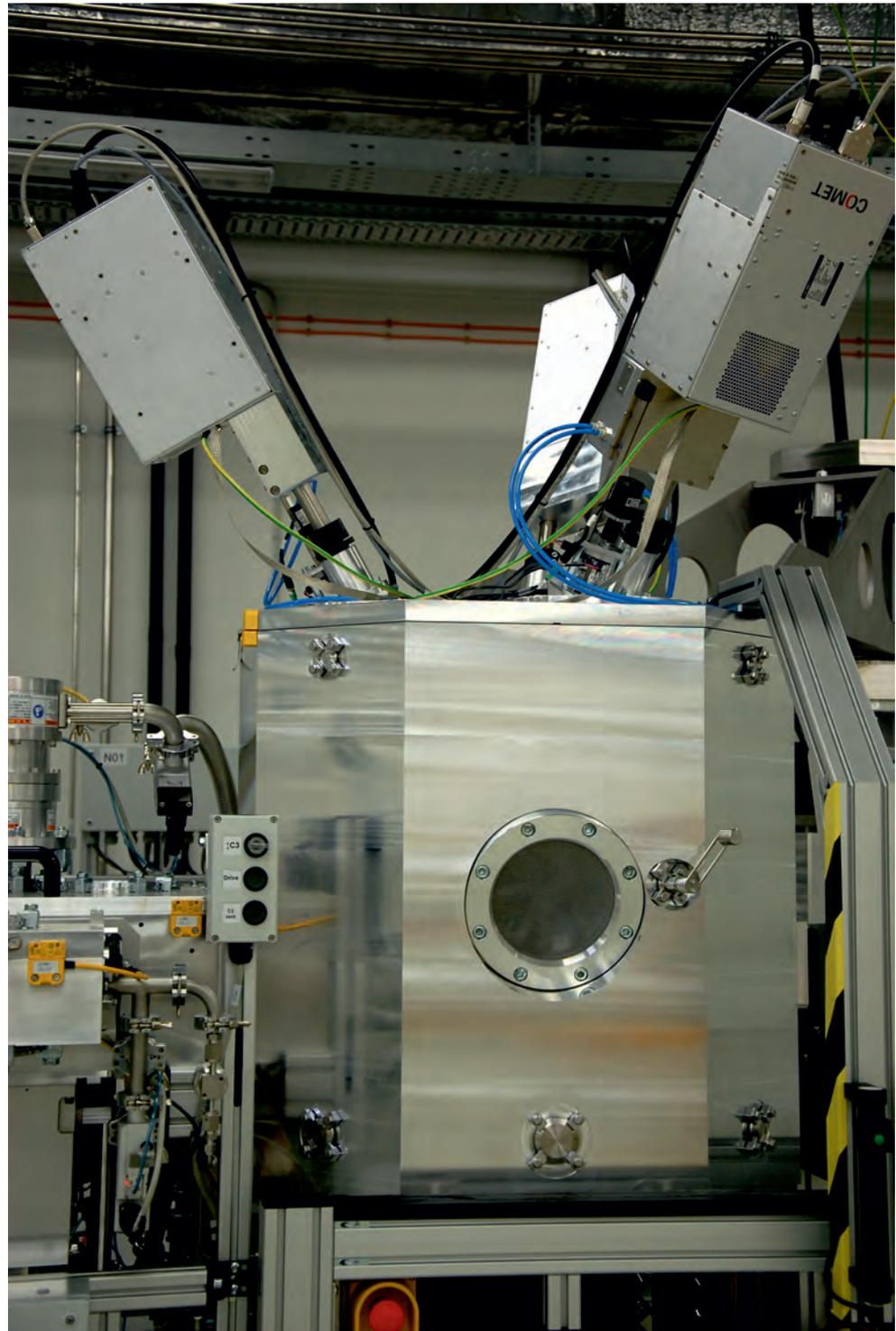
- 6 MV acceleration system with high stream of beams for ion beam assisted (IBA) analysis and ion implantation – determined particularly for the research in the following fields: physics of solids, ion beam modification of materials, atomic physics, a ion beam assisted (IBA) analysis of materials, astrophysics, and ecology.

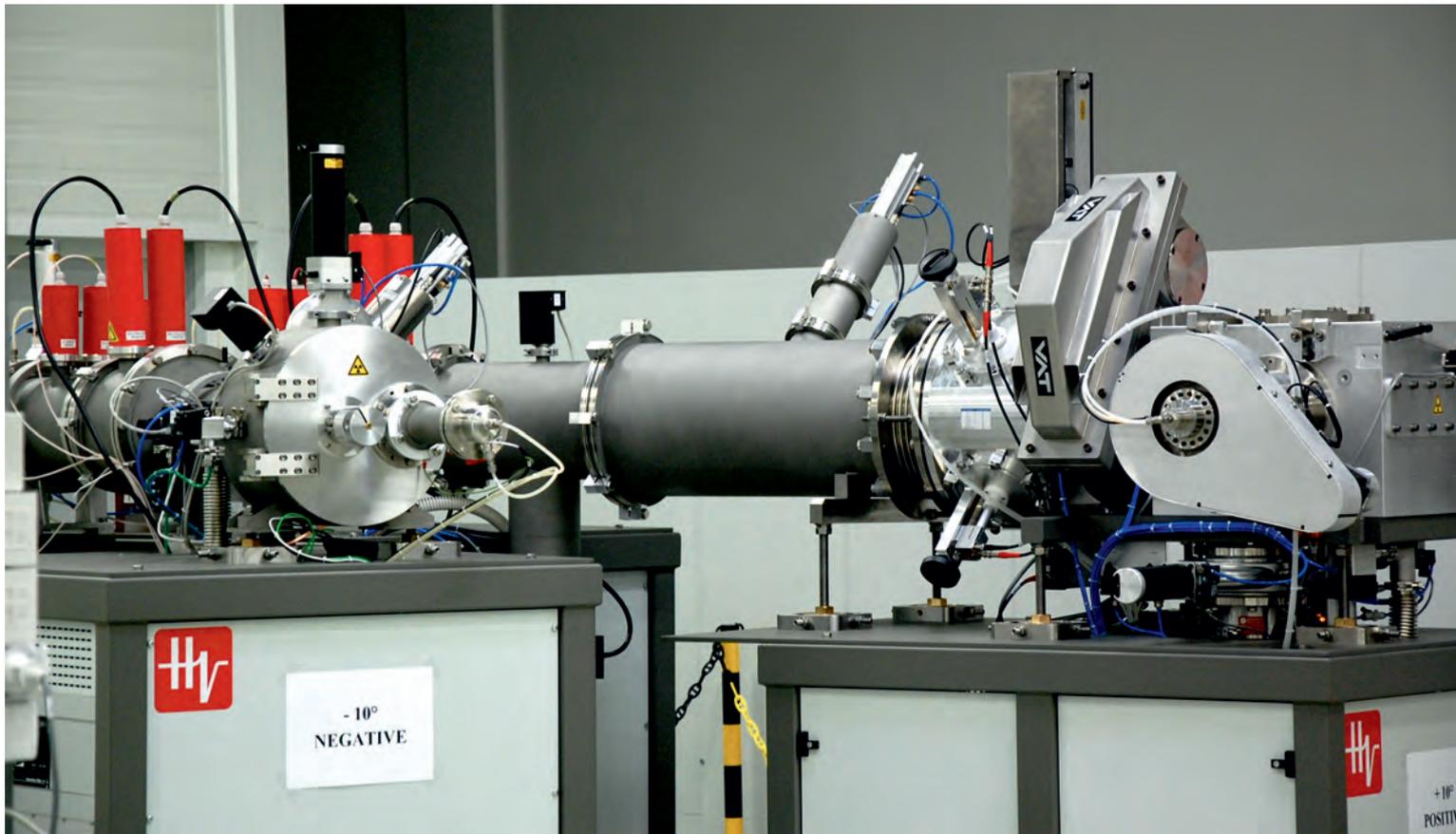
It combines the functions not commonly available with such a device, e. g. complete range of weights of elements, wide scope of accessible energies, very high weight distinction, capability of using multi charged ions, ultra-high vacuum, possibility of using the field with low energy ions, and a full range of ion sources.

- Multi-purpose 500 kV air isolated acceleration system for ion implementation. The device for ion implementation technology is applicable for doping materials, material wear protection, hardness increase, anti-corrosion protection, nano-structuring, nano-layers, nano-porosity, and modification of electric, magnetic, physical or chemical surface properties.
- PIII for 3D substrates. Device for ion implantation via immersing into plasma for 3D substrates with dimensions max. 200 mm x 200 mm x 200 mm is equipped by the process module (anticorrosion steel chamber), load lock module with accessories, system of gas economy, and control system. The gas plasma is excited from ICP (inductively coupled plasma) source (frequency area: 13.56 MHz, power: 1 kW), maximum output voltage is 40 kV.



- PIII for planar substrates. The device PIII – Plasma Immersion Ion Implantation for planar substrates with a diameter max 200 mm is equipped by a process module (aluminium chamber), load lock module with accessories, system of gas economy, and control system. The gas plasma is excited from ICP (inductively coupled plasma) source with two aeriels (frequency area: 13.56 MHz, power: 1 kW), maximum output voltage is 20 kV.
- Magnetron system with pulse dual MS separation with power 2.5 kW. It is a reactive one direction impulse magnetron sputtering system.
- Device for coating of metal targets either by reactive or non-reactive way, especially the oxide and nitrides for optics, electronics (GaN, InN), photovoltaic (ITO, AZO, and TiO_2), and for the display technology (ITO, AZO) as well as for all suitable materials for reactive one direction impulse magnetron sputtering (e.g. Si wafer, glass, metals, plastics, etc.).





- Magnetron system with pulse dual MS separation with power of 5 kW. It is a radio frequency sputtering system with bias voltage. Reactive one direction impulse sputtering system of various target such as reactive metal oxides and metals is determined for coating the targets by a reactive way. It is suitable for simultaneous sputtering of metals oxides and insulation materials via radio frequency sputtering, or
- metals via one direction sputtering for materials with high refractive index and for composites.
- Langmuir probe – a probe based on an electrostatic principle providing plasma diagnostics. It is equipped with appropriate software.
- Ellipsometer – a device for measuring the thickness of thin layers from the changing stage of light polarisation after reflection from the measured sample.



RESEARCH CHARACTERISTICS

Advanced Technology Research Institute

SCIENCE AND RESEARCH

The Advanced Technology Research Institute is focused mainly on materials engineering in the field of the ion and plasma technologies, automation and implementation of the information and communication technologies in industrial processes or generally in the field of research, e.g.: nanotechnologies and nanostructures, sensors, specific hardware and software development, computer vision and image processing, big data, simulation and modeling. The field of materials research involves theoretical modeling using ab-initio methods, either at a very precise level for small systems (atoms, molecules), or using the DFT methods for materials and surfaces. The areas of automation, information and communication technologies also provide space for research and development in a wide range of hardware, communication and control of automated software tools, knowledge systems, archiving and knowledge distribution of parent systems. Applied research is focused on the following areas:

- Quantum chemistry, benchmarking, material technology and nanotechnology;



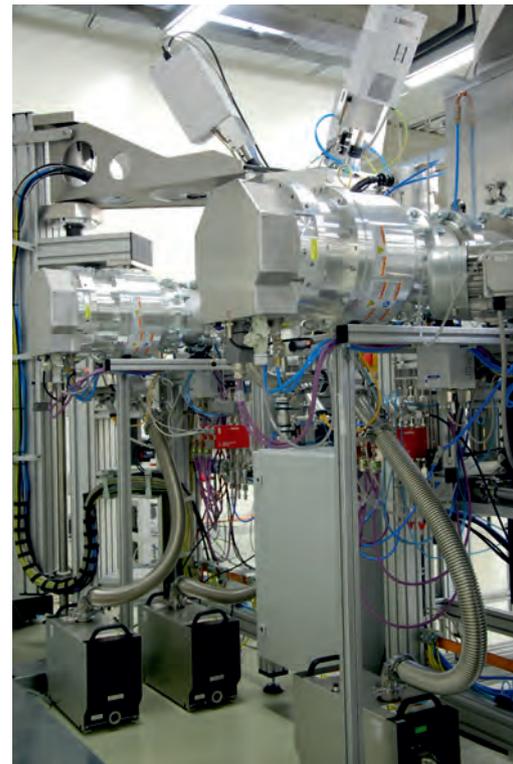
- Artificial intelligence, machine learning, human-robot interaction in cooperation with the MTF Institute of Informatics, Automation and Mechatronics.
- Automation and control engineering in industry.

The Institute is exceedingly involved in the H2020 project activities, the major tool promoting the research, development and innovation of the European Commission for the years 2014 to 2020. Thanks to the initiative of the Institute, the Slovak University of Technology in Bratislava received funding from the European

Commission for SlovakION, the strategic development research project. The project was evaluated by the Commission under the TEAMING scheme, which is one of the schemes within the European Union's key programs for the Horizon 2020 research and innovation. The TEAMING scheme aims at developing the research capacities in materials and technology. Materials research in the field of ion and plasma technologies opens new options in materials engineering and nanotechnology, particularly the possibility of modifying the materials

properties, surfaces and their interfaces. The result will bring more suitable new technological processes and product characteristics, which cannot be achieved by common methods. Such technologies are also interesting for Slovakia, mainly regarding its key automotive industry. The Consortium involved in the project comprises seven partners with STU being the principle coordinator of the whole project. The aim of SlovakiON, the Materials Research Centre, is to integrate the best high-end ion technologies into the STU research pool. The activities of the Centre will be equally utilised for both domestic and external research, as well as a relatively wide range of services aimed at promoting the research, development and technological transfer of new materials, nanostructures and modified surfaces through plasma and ion technologies into production processes. SlovakiON, the Centre of Materials Research conducts the base and applied research in the field of materials engineering, as well as modification and analysis of solid surfaces using the ion beam techniques. The effect of ion bombardment on the formation and modification of properties of thin films is being investigated both experimentally and by means of computer simulations. In addition to studying the relationships between structure and properties, the research focuses on various possible applications. A very important part of research and development is the application of low-energy ions and the use of impulse plasma for the

formation of metastable phases, specific textures, nanostructures, high density thin films, or the films characterized by their extremely good adhesion. Besides the technology transfer of modern ion technologies, close cooperation with the industrial and other partners is focused on the development of the state-of-the-art equipment in the field. Ion technologies make it possible to use highly accelerated ions at the velocities ranging between 500 km/s and 50,000 km/s, which corresponds to the kinetic energies of between 10 keV and 100 MeV. SlovakiON, the Centre of Materials Research uses a wide variety of ion implantation devices with the maximum acceleration voltages of 6 MV, 500 kV, 40 kV and 20 kV. Interaction of the ion beam with the surface of the substance generates a number of basic phenomena. Collision of the accelerated ion with the atom in the material may initiate the ion back scattering thus generating a slow or fast reflected atom. The accelerated ion can also initiate a nuclear reaction emitting particles or γ -radiation. In addition, the ion may interact with the electrons on the inner envelopes of the electron sheath, which in turn emits typical X-rays. The detection and spectroscopy of these primary or secondary particles or radiation can be used to analyse the chemical composition of surface layers. Subsequent interactions of the ion with atoms and electrons in the material slow down the accelerated ion until it eventually stops. The “stopped ions” represent an implant for the material; a sufficiently high



concentration of implanted particles may then influence chemical composition of the material. Collisions of an accelerated ion with target atoms can generate the energy-conditioned cascading processes between the atoms on the target surface. After thermalization of the atoms involved in the cascade processes, permanent changes (such as disordered structures in solids or broken bonds in polymers or in biological cells) may take place in the material. The backscattered atoms can then leave the surface, thus letting the affected surface be continuously damaged by radiation. The surfaces may be structured via a focused beam or a beam of a wider



diameter by standard lithographic techniques. Physical nature of all the phenomena related to ion technologies is now understood to such a good standard that the ion technologies can be applied in practice in a way that is very well controllable. Ion implantation is a method using the accelerated ions suitable for introduction of foreign atoms (in the form of ions) into the base material, or to create structural defects in the base material. In this way, we can purposefully alter the basic properties of materials. In principle, it is possible to implant all chemical elements, including radioactive isotopes. The material to be implanted by ions, so called substrate, may be of metal, alloy, semiconductor, ceramics or plastics. Implantation of radioactive isotopes and subsequent two-dimensional detection of the

channeled and emitted electrons allow precise determination of the impurities location in the lattice of monocrystalline materials. For practical purposes, efficiency of the high energy ion implantation is frequently limited, especially with the desired high ion fluxes over larger areas. In addition, three-dimensional components require mechanical handling. The problems can be overcome by direct implantation of ions, i.e. their immersion in plasma. Impulse bias applied to the sample causes that the ions extracted from a large volume of low-pressure plasma are accelerated towards the surface. Compared to the high-energy ion implantation, disadvantage of this technique is contamination of the ion beam; on the other hand, the technology can be deployed in a wider spectrum of ion energies.

Application areas:

- Ion Lithography: microstructuring of photosensitive materials, nanometric scale samples for process diagnostics, nanostructure prototypes and repairs;
- Biomaterials: nanoporous biomaterials, tribological protective layers, antibacterial surfaces;
- Nitriding of austenitic steels and aluminium;
- Surface protection of the titanium and TiAl-based alloys: protection from oxidation of TiAl alloys at high temperatures, protection against Ti embrittlement, protective coatings for TiAl alloys;
- Nanostructuring: nanoporous metal surface structures, nanoporous polymer membrane filter.

Ion-beam assisted deposition (IBAD). Modern ion-beam thin film deposition processes play an important role in enhancing and modifying thin-film properties such as adhesion, hardness, density, surface morphology, as well as in forming the phases, textures or low-temperature deposition. The main advantage of the combined metal plasma immersion and deposition (MePBIID) process compared to the conventional thin film deposition technologies is the nonthermal accelerated ion deposition, which causes the mixing of the atoms present in the zone interface.



In this way, e.g. the layers of excellent adhesion can be prepared even at room temperature. Analogically to the ion beam assisted deposition, textured thin films can be obtained by the MePBIID technique. By varying the pulse voltage and pulse length, the desired preferred orientations in the layers can be achieved. Despite their cumulative growth and columnal grain diameter in the range of 50-500 nm, the sputtered thin layers are compact, without the presence of pores. The basic principle of IBA: when analysing this type, a high-energy ion beam with energies in the range of 1-100 MeV is directed to the investigated surface. As a result of the interaction of the ions with the atoms of the bombarded material, the ions can either be ejected back, the reflected atoms can be generated, the typical X-rays can be emitted, or the interaction can trigger a nuclear reaction.

Suitable detectors of energy spectroscopy can be used to obtain information from emitted particles or photons on the type of the atoms under investigation. In addition, incident ions as well as emitting particles lose some energy when passing through the material. It is then possible, again by means of energy spectroscopy, to determine the depth at which the interaction took place, thus obtaining depth profiles with the course of the chemical composition.

Chemical composition of the thin layers and the layers located in close proximity to the surface can be determined by quantitative analysis without the need for standards. It is generally known that the results of IBA are not affected by the presence of substrate. IBA is a non-destructive method as the sample is not distorted. Yet the analysing beam may affect the results in very sensitive materials. The affect can be minimized by certain experimental means. Typical detection limits lie between 100 and 10,000 ppm (depending on the method) and are sufficient for many applications. Devices with standard settings allow analysing the areas several millimeters in diameter. IBA can be applied to detect the lightest elements, especially isotopes of hydrogen, helium and lithium. The resulting depth profiles of the chemical composition are without erosion of the sample surface, i.e. its damage.

Correspondingly, these methods enable the minimum distortion of the depth profiles. Depending on a particular IBA method, vertical resolution of IBA is usually limited from several nanometers to approximately one micrometer. However, there is the possibility to increase vertical resolution in the areas close to the surface by means of a special device to the level of one atomic distance. However, these techniques usually cannot be used to obtain information on the state of the chemical bond. IBA is also not suitable for structural analysis. However, specific structural issues such as lattice defects or foreign atom positions can be investigated in the context of the tunnel effect.



INTERNATIONAL ENVIRONMENT

The Institute is exceedingly involved in the H2020 project activities, the major tool promoting the research, development and innovation of the European Commission for the years 2014 to 2020. Thanks to the initiative of the Institute, the Slovak University of Technology in Bratislava received funding from the European Commission for SlovakION, the strategic development research project. The project was evaluated by the Commission under the TEAMING scheme, which is one of the schemes within the European Union's key programs for the Horizon 2020 research and innovation.

The TEAMING scheme aims at developing the research capacities in materials and technology. Materials research in the field of ion and plasma technologies opens new options in materials engineering and nanotechnology, particularly the possibility of modifying the materials properties, surfaces and their interfaces. The result will bring more suitable new technological processes and product characteristics, which cannot be achieved by common methods. Such technologies are also

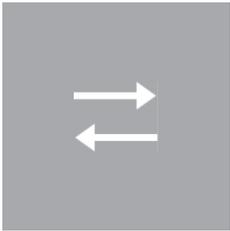
interesting for Slovakia, mainly regarding its key automotive industry. The Consortium involved in the project comprises seven partners with STU being the principle coordinator of the whole project. The aim of SlovakION, the Materials Research Centre, is to integrate the best high-end ion technologies into the STU research pool. **The strategic goal is to achieve the status of an international scientifically competitive center, especially in the field of materials research** using ion beam and plasma technologies, but also in interdisciplinary areas of research and development activities.

The most significant success in the first year of the TEAMING project was the implementation of ab initio calculations for Beta-NMR experiment at CERN-ISOLDE. Liquid target is used for radioactive ion implantation in chemical and biochemical applications of Beta-NMR.

Ion liquids are used for this purpose due to low vapor pressure. Our laboratory provides for CERN-ISOLDE highly accurate ab initio calculations of NMR shielding in liquids (ion liquids or water). The first paper from ATRI MTF STU and CERN-ISOLDE cooperation [Phys. Rev. X 10, 041061 (2020)], <https://journals.aps.org/prx/references/10.1103/PhysRevX.10.041061> reports the first measurement of nuclear magnetic dipole moment of short lived radioactive nucleus with parts-per-million accuracy. This result was reached by development of beta-NMR experimental equipment and by increased accuracy of ab initio NMR calculations. Cooperation between ATRI and CERN-ISOLDE continues - we participate in an internal ISOLDE experimental proposal. The long-term goal of the cooperation is the development of beta-NMR spectroscopy for chemical and biochemical applications.

Apart from CERN-ISOLDE, **significant cooperation** was manifested especially with the Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, EMPA Dübendorf, but also with the European Space Agency (ESAC Madrid), Spain, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Germany, INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania, Italy, Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Serbia, Kyoto University, Japan etc.





COOPERATIONS WITH INDUSTRY PARTNERS

An intensive cooperation with industry partners is a must for any research university type higher institution. Such activity significantly enhances the education as well as the research as it reflects the current need of providing unique solutions of urgent technical issues, accelerates knowledge transfer, and last but not least brings financial means. It is also contributory in terms of meeting the Lisbon Strategy requirements. The cooperation is carried out not only by knowledgeable and respected university experts but by students, particularly doctoral students who can thus directly connect their research topics with industrial practice.

The Faculty and practice cooperation can be of a diverse form: tasks from practice investigated on the basis of contract or order, research and innovation projects investigated together with partners from industrial practice, involvement of small and medium-sized companies into international projects, students' practice or internship in national or foreign companies, support of small companies originating at the Faculty, etc.

Besides the technology transfer of modern ion technologies, close cooperation with the industrial and

Fields of expertise

- analysing materials via ion beams
- providing ion implanting and synthesising
- simulating radiation damage of materials for nuclear power plants
- providing ab-initio forecast of structure and properties of materials
- supporting transfer of advanced technologies into practice
- transferring know-how, innovations and knowledge from academia into practice and supporting start-ups and spin-offs



other partners is focused on the development of the state-of-the-art equipment in the field.

Expertise and services offered:

1. High--sensitivity analysis of the content of elements (from hydrogen to uranium) up to the possibility of distinguishing individual isotopes using these methods:
 - a. Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)
 - b. Particle Induced X-ray spectrometry (PIXE)
 - c. Elastic Recoil Detection Analysis

ERDA)

- d. Nuclear Reaction Analysis (NRA)
2. Modification of materials, activation, synthesis of exotic radionuclides and isotopes:
 - a. Ion implantation in the energy range of 20 keV - 100 MeV depending on the implanted element
 - b. High-dose ion implantation of planar and bulk substrates / components
 - c. Thin films coating and synthesis
3. Testing of radiation resistance and evaluation of radiation influence on the material.

4. Designing materials using computer modelling and experimental validation
5. Time series analysis, analysis of satellite data and images.
6. Material analysis - metallography, composition, microstructure, crystallography:
 - a. Electron microscopy (scanning and transmission)
 - b. RTG diffraction
 - c. Glow-discharge optical emission spectroscopy (GDOES)

Industry application: The SlovakION Center of Excellence is able to carry out research in the field of material preparation that can be implemented in various applications, e.g. automotive industry, optics, electrical engineering, photovoltaics, or specific display technologies, production technologies, information and communication technologies, optics, sensors. Ion beam technologies allow nano-level modification of materials, as well as large areas processing, since the ion beam and plasma methods are scalable and with respect to the material dimensions. This provides potential for applications in various industries. This will bring not only new material innovations, but also automated algorithmic solutions in practice.





R&D in the field of Automation and ICT aims at hardware and software development, knowledge-based systems, process- and high-level automation, data processing and security systems.

ABOUT THE INSTITUTE

The Advance Technologies Research Institute (ATRI) was established in 2013 as a new build institute of The Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Slovak University of technology in Bratislava.

ATRI is the first and main institute at the **University Science Park** (Slovak University of Technology in Bratislava), having an interdisciplinary team of researchers, engineers, PhD candidates and junior researchers. ATRI is focused on materials engineering applying ion and plasma technologies, solid state physics, astrophysics, computational chemistry, automation and ICT implementation in industrial processes, mathematical modelling and simulation. The area of materials research ranges from theoretical modelling using ab-initio methods at the atomic and molecular scale, DFT methods for bulk materials and surfaces, to experimental work using accelerators and plasma-based technologies.



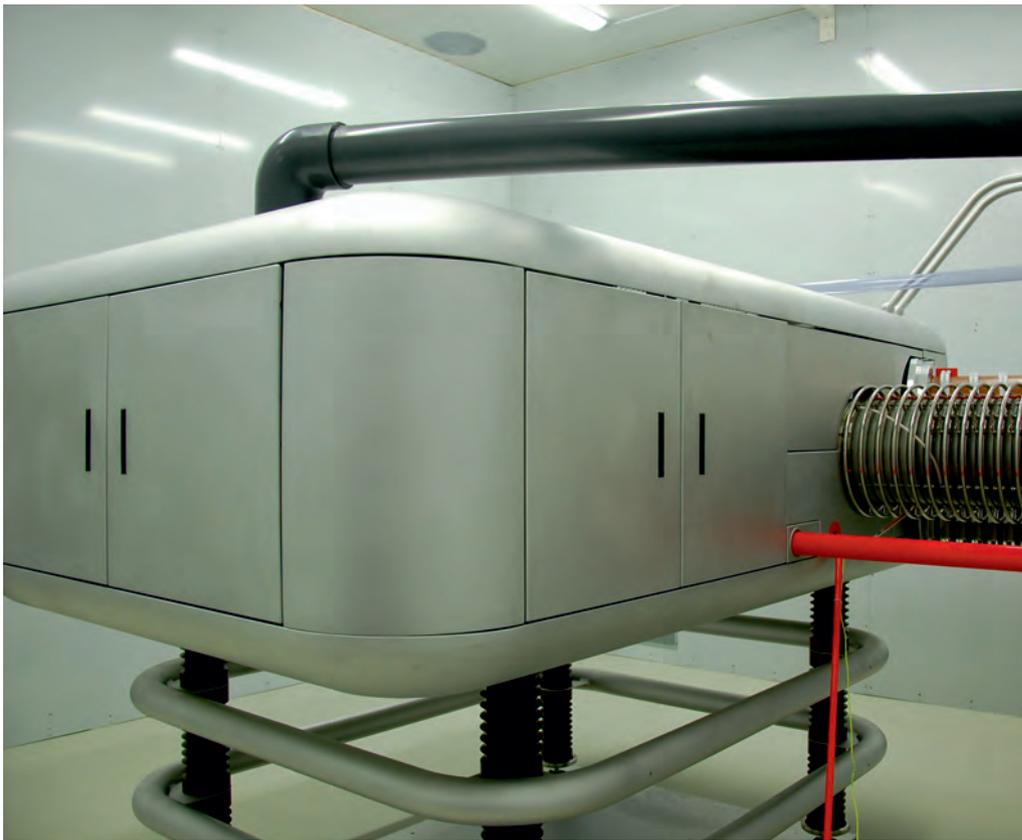
Department of ion-beam technologies

The Science Centre of Materials Research represents a science and research basis for the application of the ion and plasma technologies in the physical and material engineering and in nanotechnologies. It is equipped with the top technologies for the modification and analysis of the subsurface and thin layers of solid substances by using the effect of accelerated ions and plasma.

Department of chemistry and physics

THE CURRENT RESEARCH COVERS THE FOLLOWING TOPICS:

Development and applications of coupled cluster methods, ab initio calculations of metallic clusters properties, accurate calculations of molecular NMR properties including relativistic and solvent effects, potential energy surfaces for theoretical infrared spectroscopy, computational atmospheric chemistry, ab initio modelling of materials



interface structure and its impact on the thermodynamic properties of nano-layers, fast stochastic variability (red noise) of accretion processes in the binary stars and active galactic nuclei, Monte Carlo simulations of red noise and satellite observation data analysis from Kepler and XMM-Newton missions. The problems solved by the researchers in the frame of applied research for industry are e. g. development of computer application for numerical modelling of magnetic fields in the high reliability relays (Hengstler/Danaher) and design and optimization of high-performance ultra-sound transducers (Kraintek). The Laboratory uses computational resources of HPC cluster of the Slovak University of Technology and Slovak Infrastructure for High Performance Computing.

PARTNERS

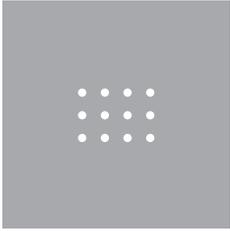
Institute of Astrophysics, Kyoto University, Japan; Institute of Organic Chemistry, Polish Academy of Sciences; EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf, Switzerland; ESAC, European Space Agency, Madrid, Spain; Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, France; GSMA, Reims University Champagne-Ardenne, Reims, France.

Department of simulation and modeling

In the area of industrial automation, data collection, electronics and microelectronics, the department provides support to other departments of the institute and faculty. The center's facilities also enable you to perform tests using an analogue-to-digital simulator that connects to real-world devices, industrial camera systems and other technologies.

Fields of interest:

- Automation and engineering management in industry
- Artificial intelligence, machine learning, human interaction - robot, robotics
- Modelling, simulation and optimization of production processes and systems
- Big data and acquisition of knowledge from production databases in hierarchical process management
- Mathematical models and representations (systems with high-speed feedback)
- Computer vision and image processing
- Software Development (GIS, Telemetry Systems, Distributed Control Systems)



The Slovak University of Technology in Bratislava, comprising the **Faculty of Materials Science and Technology based in Trnava**, belongs to the prestigious research universities in Slovakia, as confirmed by the QS World University Rankings®, Times Higher Education World University Rankings and Academic Ranking of World Universities or The Best Global Universities ranking.

ABOUT STU MTF

Research characteristics of STU MTF

As part of the Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology based in Trnava endeavours to be a research-oriented and internationally recognized faculty developing modern trends in research and industrial production, with emphasis on advanced materials, sophisticated production technologies and industrial engineering, automation and computerization of manufacturing and technological processes, as well as quality, safety, environmental and managerial aspects of industrial production.

Focus of the STU MTF research activity

Research activity of STU MTF takes the forms of:

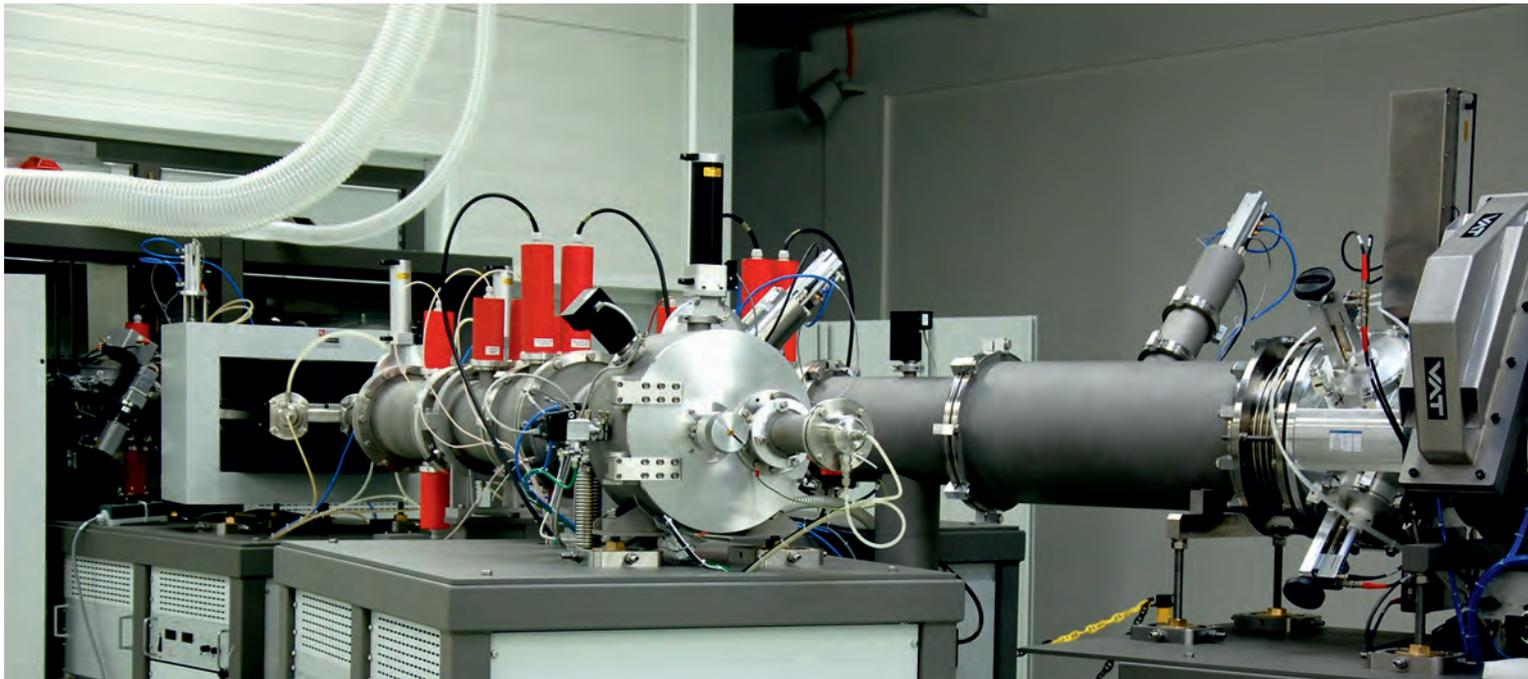
- Projects of the base and applied research supported by the domestic grant agencies,
- Demand-oriented projects,
- Projects within the international programmes and international grant schemes,
- Projects of international scientific and technical collaboration,
- Contractual research and development.



The Faculty research activities are focused on the following areas:

- Materials research with emphasis on the materials research, development and treatment,
- Research and development of new technologies of industrial production, oriented mainly on technological treatment of modern engineering materials and ecologically clean production,
- Industrial informatics and automation, process control and information security for the technology and manufacturing systems,
- Research into Industrial engineering and management of industrial enterprises
- Safety and reliability of technology equipment and systems, with emphasis on the methods of systems analysis and synthesis.





Fields and priorities of the STU MTF research

Accredited research fields of STU MTF are:

- Materials
- Mechanical Engineering and Materials
- Automation
- Industrial Engineering.

The Faculty of Materials Science and Technology strives to actively contribute to the defined mission of the Slovak University of Technology by **prioritising materials science and production technologies** in the accredited areas of education, science and research within the following objectives:

- Implement the university education

system at all levels in accredited study programmes,

- Disseminate, promote and develop knowledge through the science and research tools,
- Ensure the transfer of science and research results into the education process,
- Ensure the transfer of science and research results into entrepreneurial practice,
- Protect the results of the Faculty research.

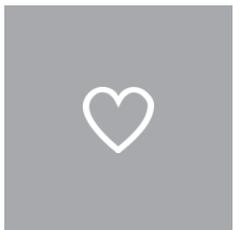
Seven university science parks (USP) in Slovakia represent the research workplaces of the best Slovak universities and the Slovak Academy of Sciences where the top-quality applied research and knowledge transfer from the academic sphere into the economic and social practice through

technology transfer (licenses, spin-offs, or other forms of knowledge processing) take place. USPs are complex units focusing on the systematic development of key scientific institutions via the integration of the research infrastructure into a larger unit and having a network of unique, modern research devices, laboratories and workplaces. They provide space for the acceleration of ideas and incubation of innovative companies via the implementation of applied research and dispose a high quality and efficient scientific management based on best practice in renowned science parks, thus ensuring high quality management and sustainability of the University Science Parks. The maximum amount of support for a USP can reach € 40 mil.

The first University Science Park in Slovakia established at STU MTF in 2015

The STU MTF University Science Park is primarily oriented on the fields of Materials Engineering, the Ion and Plasma Technologies and Automation, and Informatisation of Industrial Processes.





HUMAN RESOURCES

PROJECT RESEARCHERS

Last name	name	WoS (Researcher ID)	Scopus (AuthorID)	ORCID
Antušek	Andrej	L-9517-2015	8530185700	0000-0002-4574-2943
Bajčičáková	Ingrida	Q-9250-2018	56149921900	0000-0001-9021-2450
Beňo	Matúš		55771268900	
Bezák	Pavol	F-3327-2017	55858008100	0000-0002-0637-2740
Bohovičová	Jana	F-2663-2017	23480955200	0000-0001-9582-5272
Bónová	Lucia		25824695500	
Borkin	Dmitrii		57210187956	
Buranský	Ivan	O-4668-2019	55620800800	0000-0002-7600-9007
Cuninka	Peter		57189005363	
Cuninková	Eva	F-1500-2018	57207355942	0000-0003-2196-5832
Čaplovič	Ľubomír	M-9938-2016	6507055197	0000-0002-2280-008X
Derzsi	Mariana	S-9358-2017	26535817400	0000-0002-4404-0392
Degmová	Jarmila	AAG-6931-2021	6602449531	0000-0003-3517-1945
Dobrotka	Andrej		8956647500	
Dobrovodský	Jozef		57194150402	
Dubecký	Matúš	P-1720-2016	56358387500	0000-0002-3975-1106
Halanda	Juraj			
Horváth	Dušan			0000-0002-9647-4627
Janíková	Dominika		53663710500	
Janovec	Jozef	C-6904-2018	7005456311	0000-0001-7526-0083
Kršjak	Vladimír	I-8684-2018	24399657800	0000-0002-6765-6974
Minárik	Stanislav		6507270144	0000-0002-6851-0053
Moravčík	Roman	T-1998-2017	6507499319	0000-0002-6039-2822
Moravčík	Oliver		6508121153	
Muška	Martin		57194144761	
Noga	Pavol		47161344600	0000-0002-4258-2382
Pekarčíková	Marcela	F-2845-2017	7801552354	0000-0002-4300-6109
Priputen	Pavol	N-2250-2016	16022868800	0000-0002-6259-5711

Last name	name	WoS (Researcher ID)	Scopus (AuthorID)	ORCID
Riedlmajer	Róbert		57194147119	
Sahul	Miroslav	AAE-7078-2020	37013730700	0000-0001-5091-6381
Skarba	Michal		8890930300	0000-0002-5381-2905
Sojak	Stanislav		55851947569	
Štrémy	Maximilián	C-7106-2014	55512587000	0000-0003-2918-0714
Šugár	Peter	S-1823-2016	55096613400	0000-0002-9499-5672
Šulka	Martin	C-3944-2012	24759724000	0000-0002-2492-4377
Šulková	Katarína	B-7799-2014	55604082400	
Tanuška	Pavol	O-9478-2019	35811159400	0000-0001-7025-1911
Tokár	Kamil	V-3908-2018	35769762800	0000-0003-3257-3666
Vaňa	Dušan		56904112000	
Vážan	Pavel		36198972300	0000-0001-6943-2635
Vyskoč	Maroš		57193208204	0000-0002-0729-0042
Závacká	Anna		55898628300	

