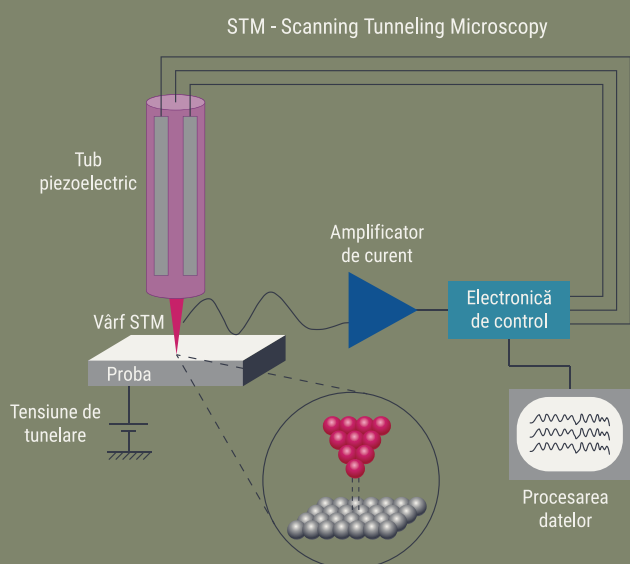


Creșterea capacității de transfer tehnologic și de cunoștințe a INCDTIM Cluj în domeniul bioeconomiei **TTC-ITIM**

Proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin
Programul Operațional Competitivitate 2014-2020

<http://www.itim-cj.ro/poc/ttc>

Parteneriate pentru transfer de cunoștințe



18. MICROSCOPIE DE SCANARE ÎN VID ULTRAÎNALT PRIN STM ȘI AFM

MICROSCOPIE DE SCANARE ÎN VID ULTRAÎNALT PRIN STM ȘI AFM

Cuvinte cheie: *microscopie de scanare, STM, AFM contact, AFM non-contact, vid ultraînalt*

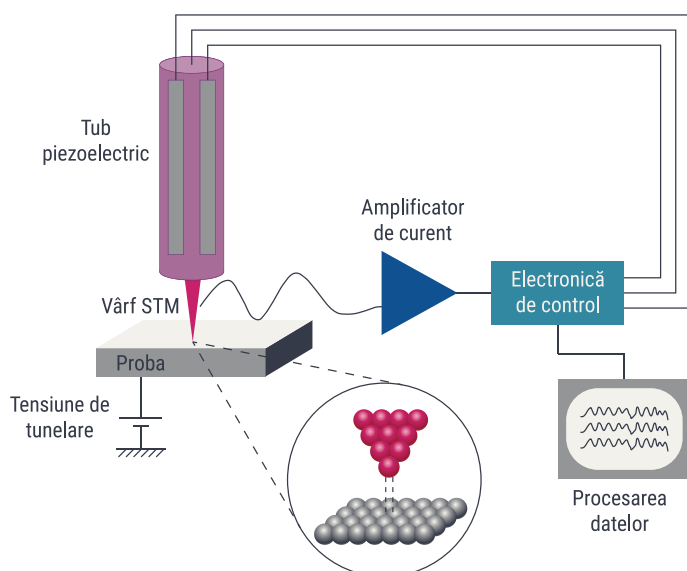
DESCRIERE

Microscopia de scanare, de tip AFM și STM, este o tehnică de cartografiere la scară nanometrică a proprietăților fizico-chimice ale suprafeței unui material, cum ar fi relieful, conductivitatea electrică, modulul de elasticitate, magnetizarea, compoziția chimică, obținându-se astfel o imagine a modului în care sunt distribuite aceste proprietăți pe suprafața probei studiate.

În funcție de proprietățile fizice sau chimice care sunt cartografiate, microscopia de scanare poate fi de mai multe feluri. Două tehnici importante ale microscopiei de scanare sunt microscopia de scanare de tip STM (*Scanning Tunneling Microscopy*) și microscopia de scanare de tip AFM (*Atomic Force Microscopy*). Fiecare dintre acestea prezintă diferite versiuni de funcționalitate, și există chiar o tehnică de scanare ce îmbină tehnica STM cu cea AFM și care poartă denumirea de Qplus.

Microscopia de scanare de tip AFM oferă o rezoluție ce poate coborî până sub nivelul unui nanometru și, în funcție de versiunea specifică folosită, poate înregistra fie topografia suprafeței probei de studiat, fie poate cartografia anumite proprietăți mecanice ale suprafeței în cauză (elasticitate, duritate, coeficient de frecare).

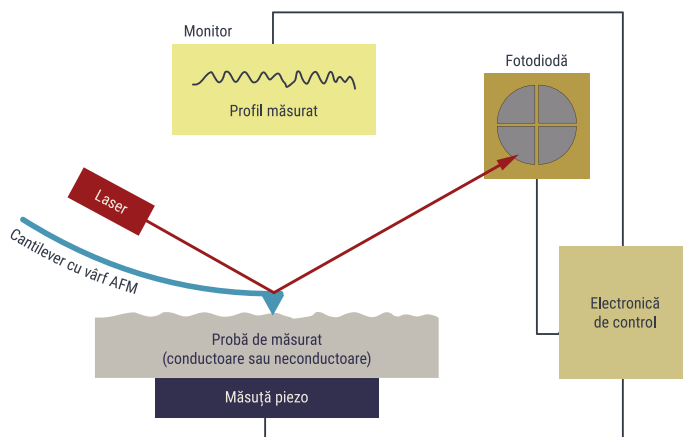
Tehnica STM - Scanning Tunneling Microscopy



Principiul de funcționare al tehnicii AFM se bazează pe interacțiunea fizică, de natură mecanică, dintre un vârf AFM, foarte ascuțit, confecționat din siliciu sau nitrură de siliciu, și suprafața probei de studiat, vârful având o rază de curbură de câțiva nanometri. Vârful AFM este fixat la capătul unui cantilever. Există trei versiuni principale ale tehnicii AFM: AFM contact, AFM noncontact, AFM *tapping mode*.

În modul **AFM contact**, cantileverul presează, prin intermediul vârfului AFM, suprafața de studiat. Pe măsură ce vârful AFM va scana suprafața probei, proba va fi deplasată și pe verticală, pentru a menține constantă poziția spotului razei laser care se reflectă pe capătul cantileverului. Acest lucru înseamnă că forța de apăsare a vârfului AFM pe suprafață va fi constantă, astfel topografia probei va fi înregistrată sub forma unei multitudini de profile liniare ce vor forma o imagine tridimensională.

Tehnica AFM - Atomic Force Microscopy



În modul **AFM noncontact**, cantileverul este pus într-o stare de vibrație în imediata vecinătate a frecvenței sale de rezonanță. Vârful AFM pe măsură ce este adus în vecinătatea suprafeței de scanat, va simți o interacțiune cu suprafața probei, fapt ce va duce la modificarea frecvenței de rezonanță a cantileverului. Astfel va apărea o diferență între frecvența de excitație a cantileverului și frecvența de rezonanță a acestuia, iar dacă această diferență este menținută constantă în timpul scanării, înseamnă că interacțiunea dintre vârf și suprafață este constantă, ceea ce înseamnă că vârful AFM va scana în mod fidel relieful suprafeței.

Multitudinea de profile liniare de scanare astfel înregistrate vor forma o imagine tridimensională a topografiei investigate. Modul AFM noncontact este folosit atunci când există o forță de adeziune între vârful AFM și suprafața de studiat, ceea ce ar face dificilă scanarea în modul AFM contact datorită forțelor mari de frecare dintre vârf și probă. Amplitudinea de oscilație a vârfului AFM în modul noncontact are valori tipice de câțiva nanometri (< 10 nm) și poate coborî până la câțiva picometri, rezoluția oferită fiind cu atât mai bună cu cât amplitudinea de oscilație este mai mică.

Modul **AFM tapping** este similar modului AFM noncontact dar amplitudinea de oscilație a vârfului AFM este substanțial mai mare, aproximativ 200 nm. De asemenea, vârful AFM va avea contact cu suprafața scanată la fiecare oscilație, în poziția de elongație negativă minimă. Această tehnică AFM este potrivită pentru acele probe care nu pot fi scanate prin metoda AFM contact și care prezintă o topografie cu variații mari pe verticală la o pantă de înclinare ridicată.

Principiul de funcționare al **microscopiei de scanare prin efect tunel STM** se bazează pe fenomenul cuantic în care proprietățile de undă ale electronilor le permit să tuneleze dincolo de suprafața unui solid în regiuni ale spațiului care le sunt interzise conform regulilor fizicii clasice. Vârful ascuțit al unui ac de wolfram este poziționat la câțiva ångströmi de suprafața probei, iar o mică tensiune aplicată între vârf și suprafață provoacă tunelarea electronilor. Pe măsură ce vârful de wolfram scanează suprafața, acesta înregistrează variații ale curentului de tunelare, iar aceste informații pot fi procesate pentru a oferi o imagine topografică a suprafeței. Imaginile topografice ale suprafeței sunt colectate într-unul din cele două moduri: în **modul înălțime constantă**, în care modificările curentului de tunelare sunt mapate direct, în timp ce în **modul curent constant** este înregistrată tensiunea care controlează înălțimea vârfului, iar curentul de tunelare este menținut la un nivel prestabilit.

APLICAȚII

Domenii de aplicabilitate: cercetare-dezvoltare în electronică, biologie, medicină, știința materialelor

Sisteme:

Microscopia de scanare în vid ultraînalt este folosită în principal pentru probe care au fost fabricate în astfel de condiții, evitând scoaterea lor în atmosferă ambiantă pentru a nu fi contaminate. De asemenea, pot exista și situații când proba de interes a fost fabricată în atmosferă ambiantă și, pentru măsurătorile de microscopie, trebuie introdusă în instalația de vid ultraînalt pentru a beneficia de un proces preliminar de decontaminare a suprafeței prin degazare termică.

Industrii:

Microscopia de scanare STM și AFM permite verificarea atingerii calității necesare a suprafețelor, din punct de vedere al topografiei corelată cu proprietățile fizico-chimice, pentru dispozitivele care găsesc aplicații în industria microelectronică și optoelectronică.

INFRASTRUCTURA

Departamentul de Fizică Moleculară și Biomoleculară dispune de o instalație modernă de microscopie de scanare STM și AFM (Omicron, Germania).

Instalația dispune de o incintă de vid ultraînalt la un nivel de 10^{-10} mbar, asigurat de un sistem de pompe care include o pompă turbo-moleculară, o pompă ionică și o pompă de sublimare cu titan.

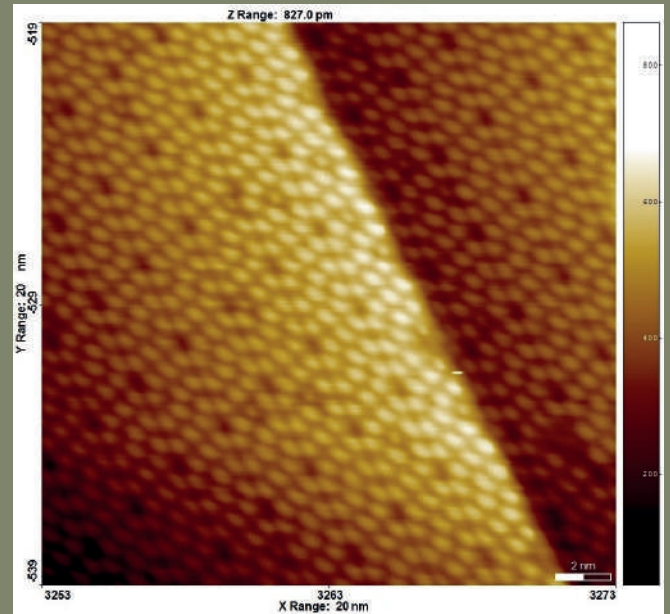
Instalația SPM în vid ultraînalt și temperaturi joase



APLICAȚII UZUALE – EXEMPLE:

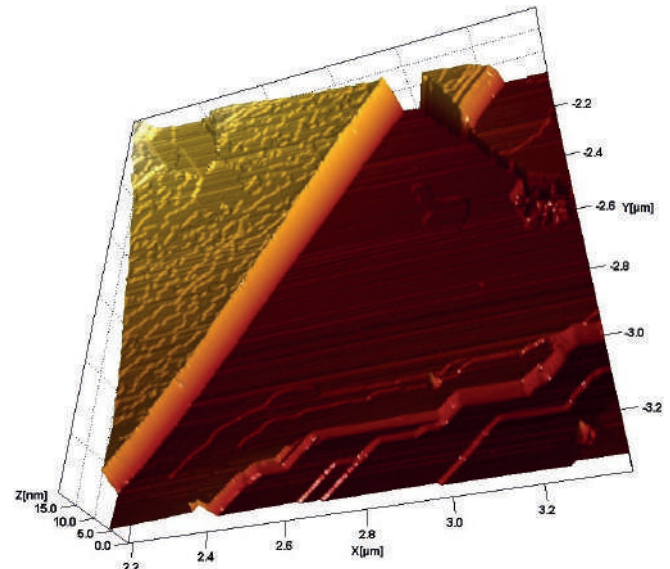
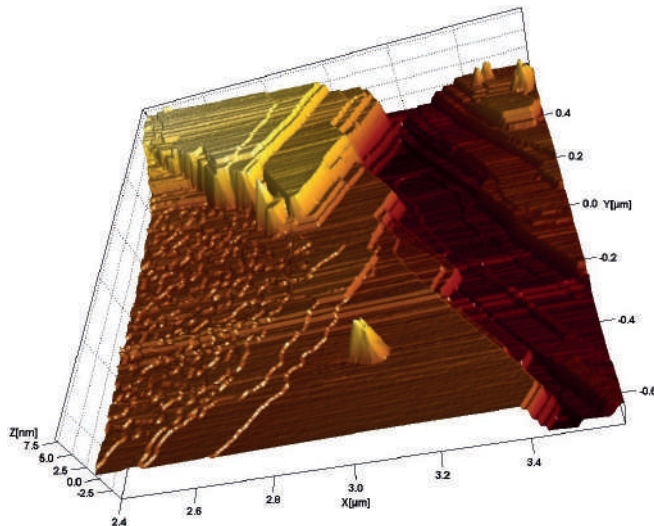
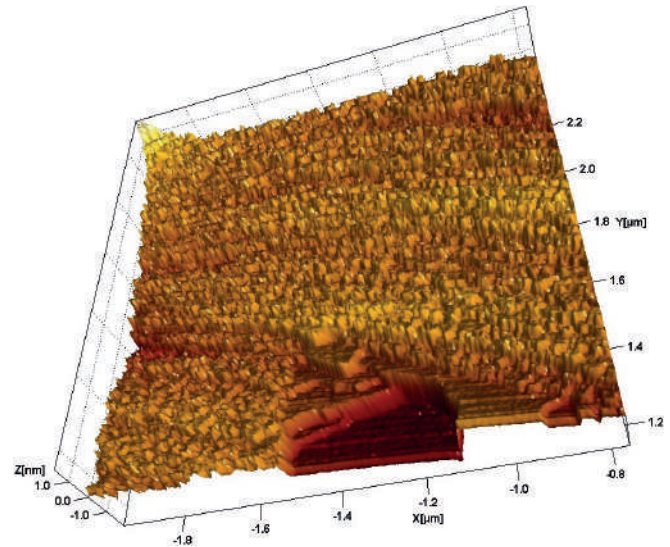
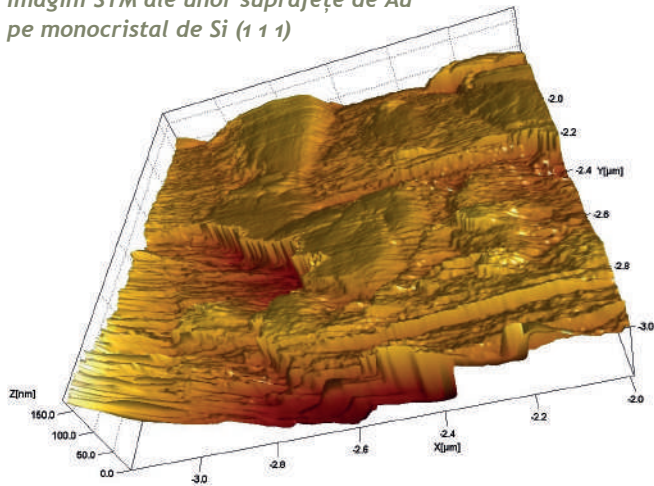
Nanoștiință și nanotehnologie. Microscopia SPM este o tehnică de reprezentare vizuală, fiind o metodă esențială în caracterizarea materialelor, în special a materialelor nanostructurate precum filmele subțiri depuse prin tehnici avansate, de ultimă generație. Procesele de nanofabricație pot fi optimizate prin caracterizarea topografică la nivel atomic atât prin STM, cât și prin AFM. Astfel, microscopia STM este utilizată pentru caracterizarea și vizualizarea suprafețelor conductoare sau semiconductoare.

Suprafețe metalice ultraplate. Microscopia STM a fost aplicată cu succes la INCDTIM în caracterizarea 2D și 3D a suprafețelor metalice ultraplate fabricate prin tehnici de depunere în condiții de puritate ultraînaltă. Pentru filmele de aur depuse pe substrat de Si (1 1 1) au putut fi optimizați parametrii de fabricație prin caracterizarea topografică a suprafețelor nanostructurate ale filmelor odată cu variația temperaturii substratului în timpul depunerii. Mai mult, tehnica permite identificarea și caracterizarea modurilor de creștere ale filmelor de aur – creștere insulară sau strat cu strat – pe substrat.



Imaginea STM a suprafeței unui monocristal de Si (1 1 1) reconstruit 7×7 în care se poate observa rezoluția atomică

Imagini STM ale unor suprafețe de Au pe monocristal de Si (1 1 1)

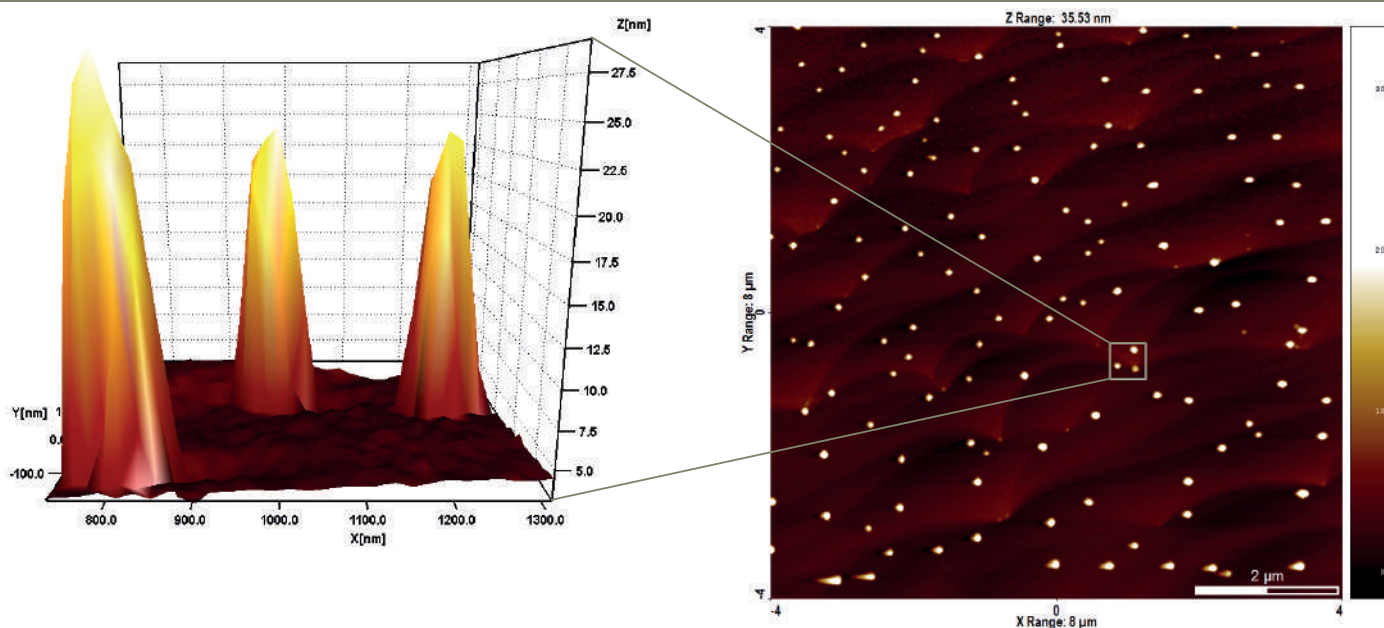


Nanoobiecte pe suprafețe

semiconductoare. Microscopia STM este aplicată frecvent pentru examinarea nanoobiectelor crescute pe diferite suprafețe metalice și semiconductoare. Grupul nostru de cercetare are experiență în realizarea și caracterizarea proprietăților topografice ale nanoconurilor de Si depuse pe substraturi de Si (1 1 1) reconstituit 7×7 prin depunere epitaxială cu jet molecular. În funcție de aplicația preconizată, morfologia nanoconurilor de Si fabricate poate fi reglată pentru detectarea optimă a semnalelor foarte slabe, în dezvoltarea senzorilor moleculari și biologici și a dispozitivelor de tip *lab-on-a-chip*.

Substrate SERS pe bază de filme de aur structurate.

Din imaginile AFM contact și noncontact ne sunt furnizate detalii morfologice ale structurii insulare a filmului de aur depus, a aceluiași substrat SERS realizat prin depunerea unui film de aur structurat, a cărui eficiență a fost dovedită prin măsurarea unui semnal Raman ridicat în prezența unei molecule de cristal violet. Eficiența este dată tocmai de tipul de structurare insulară a filmului de aur.



Imagini STM ale unor nanoconuri de siliciu depuse pe substraturi de Si (1 1 1)

AVANTAJE

- ➔ **Rezoluție deosebit de bună:** : imaginea obținută poate avea rezoluție de aproximativ 1000 de ori mai bună decât cea caracteristică microscopiei optice, unde fenomenul de difracție a luminii limitează rezoluția la o valoare comparabilă cu lungimea de undă a radiației optice folosite
- ➔ **Metodă de nanolitografiere:** microscopia de scanare de tip AFM și STM poate fi folosită, pentru a crea mici structuri pe suprafața probei, fie prin indentarea suprafeței (AFM contact), respectiv prin topirea locală a acesteia (STM)
- ➔ **Păstrează puritatea probei:** microscopia de scanare în vid ultraînalt asigură protecția suprafeței studiate împotriva unor potențiali contaminanți care se află în atmosfera mediului ambiant
- ➔ **Acces facil la echipamente auxiliare de fabricație:** instalația de microscopie de scanare în vid ultraînalt este cuplată la o instalație de epitaxie moleculară cu facilități de tratare a probei în jet de ioni de argon și cu facilități de acoperire a probei cu un strat subțire protector, dintr-un material potrivit ales

COSTURI ESTIMATIVE

Prețul pentru măsurarea unei probe prin microscopie de scanare în vid ultraînalt pornește de la valoarea minimă de 500 de lei și depinde de caracteristicile specifice ale măsurătorii cerute.

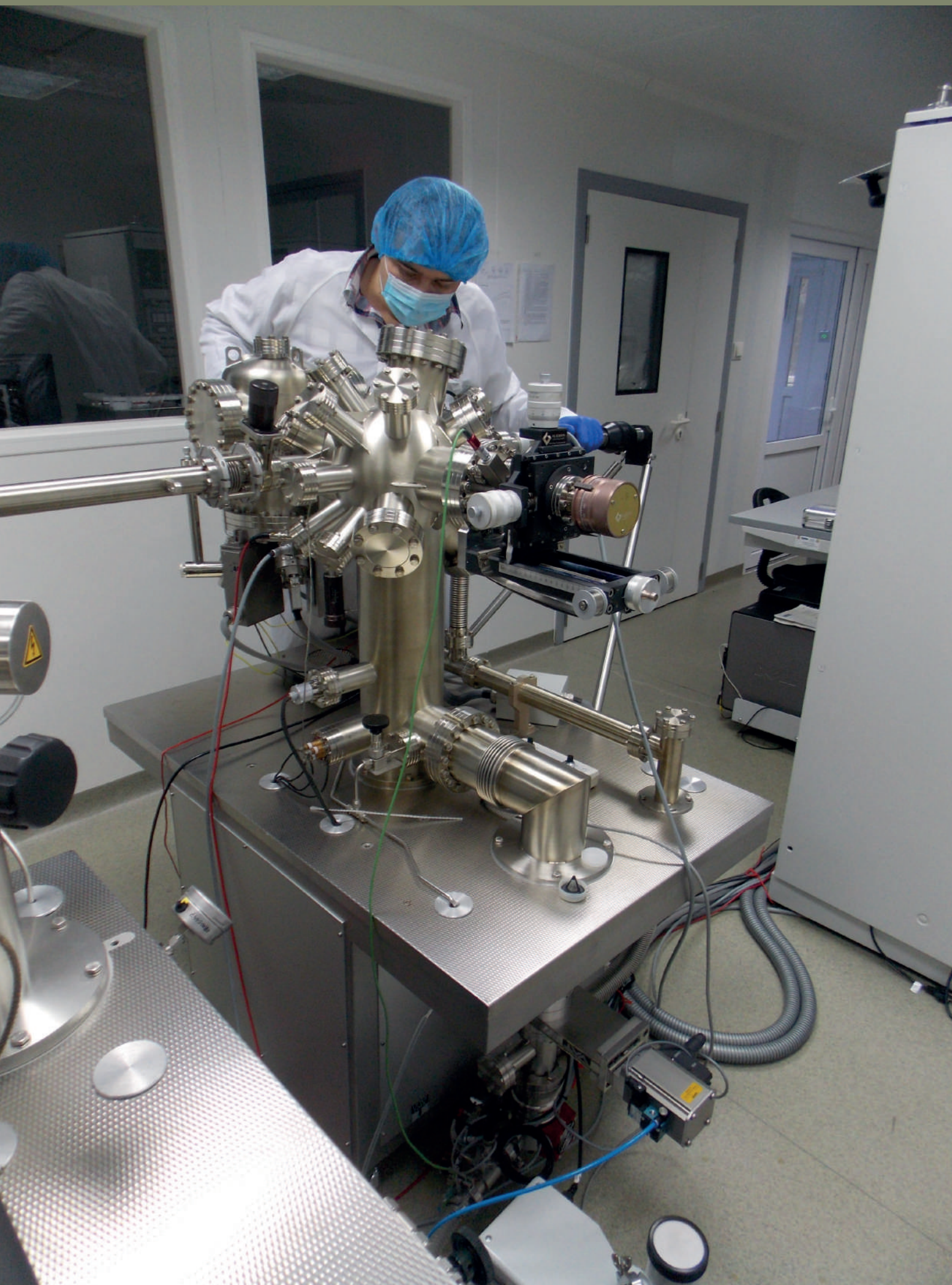
CONTACT



Dr. Daniel MARCONI
Cercetător științific III
Departamentul de Fizică Moleculară și Biomoleculară, B1.05
☎ (+4)0264-584037, int 217
✉ daniel.marconi@itim-cj.ro
🌐 www.itim-cj.ro



Dr. Radu Tiberiu BRĂTFĂLEAN
Cercetător științific II
Departamentul de Fizică Moleculară și Biomoleculară, B1.04
☎ (+4)0264-584037, int 169, 172
✉ radu.bratfalean@itim-cj.ro
🌐 www.itim-cj.ro



Proiectul TTC-ITIM se implementează la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Izotopice și Moleculare INCDTIM Cluj-Napoca, pe o durată de 60 de luni, începând cu data de 1 septembrie 2016.

Valoarea totală a proiectului este de 15.530.000 lei, din care 13.500.000 lei reprezintă asistența financiară nerambursabilă: 11.302.200 lei contribuția Uniunii Europene prin Fondul European de Dezvoltare Regională și 2.197.800 lei contribuția Guvernului României prin bugetul național.

Proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional Competitivitate 2014-2020

Titlul proiectului: Creșterea Capacității de Transfer Tehnologic și de
Cunoștințe a INCDTIM Cluj în Domeniul Bioeconomiei
TTC-ITIM

Cod SMIS2014+: 105533 **ID:** P_40_404

Contract: 18/01.09.2016

Beneficiar: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii
Izotopice și Moleculare
INCDTIM Cluj-Napoca

Axa Prioritară: Cercetare, dezvoltare tehnologică și inovare în sprijinul
competitivității economice și dezvoltării afacerilor

Tip proiect: Parteneriate pentru transfer de cunoștințe

Cod competiție: POC-A1-A1.2.3-G-2015

**Perioada de
implementare:** 01.09.2016 - 31.08.2021

Editor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii
Izotopice și Moleculare INCDTIM Cluj-Napoca

Data publicării: Iunie 2021

Contact: Dr. Claudiu Filip, Director proiect TTC-ITIM
Tel.: +40 264 58 40 37, int 186
E-mail: claudiu.filip@itim-cj.ro
<http://www.itim-cj.ro/poc/ttp>



INCDTIM
67-103 Donat, 400293 Cluj-Napoca, România
Tel.: +40 264 58 40 37, Fax: +40 264 42 00 42
E-mail: itim@itim-cj.ro, <http://www.itim-cj.ro>

Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României

*Pentru informații detaliate despre celelalte programe cofinanțate de Uniunea Europeană vă invităm să vizitați
www.fonduri-ue.ro*