### **RAPORTARE STIINTIFICA**

RST - Raport stiintific si tehnic in extenso – maxim 30 pagini etapa intermediara:

## **Rezumatul etapei**

S-au definit parametrii constructivi ai pmpei uscate: dimensiuni, numar de etaje, caracteristici motor pentru obtinerea unui vid limita de 4 Pa. S-a achizitionat si testat lampa UV pentru degazari in incinta UHV. S-a montat si testat bateria de pompare pompa turbomoleculara + pompa criogenica. S-au proiectat matricile de memorii nevolatile si s-au testat materialele care vor fi folosite pentru acestea. S-a proiectat sursa de nanoparticule cu destindere adiabatica. S-a reconfigurat instalatia de epitaxie din fascicul molecular si s-a reparat sistemul RHEED. S-au calibrat evaporatoarele instalate. S-a configurat instalatia SERS pentru masuratori la temperatura variabila. Pentru realizarea instalatiei de forcespinning prototip, in aceasta etapa a fost intocmita tema de proiectare luind in calcul cerintele necesare si realizata proiectarea componentelor principale ale instalatiei. A fost stabilit necesarul si o parte din elementele componente ale instalatiei au fost deja achizitionate, urmand ca celelalte sa fie fabricate. Rezultatele aceastei etape asigura asamblarea componentelor pentru realizarea instalatiei prototip. S-a reconfigurat instalatia de debitare cristale. S-au formulat 5 noi tehnologii de laborator: obtinere Ge(001) (2 x 1) – (1 x 2), obtinere Si(111) 7 x 7, straturi monocristaline de Ag(111) depuse pe Si(111), Si(111) hidrogenat si zirco-titanat de plumb PZT(001) atomic curat. S-au sintetizat tehnologiile existente pentru prepararea si caracterizarea suprafetelor atomic curate. S-a proiectat si realizat sistemul pentru masuratori electrice in situ. –au modelat numeric 3 tehnologii de crestere a cristalelor: Bridgman pentru fluoruri, EFG pentru safir si Bridgman-Stockbarger pentru crestere de monocristale organice. S-au publicat 2 articole in reviste cotate ISI, un altul este in proces de evaluare, iar un al patrulea este elaborat si va fi trimis. S-a participat la 23 de conferinte internationale si la 2 conferinte nationale.

**Descrierea stiintifica si tehnica**, cu punerea in evidenta a rezultatelor etapei si gradul de realizarea obiectivelor - se vor indica rezultatele si modul de diseminare a rezultatelor la nivelul proiectului complex, cat si la nivelul fiecarui proiect component, incluzand realizarea indicatorilor de rezultat atinsi

# Proiect 1

Act 1.1 - Pompa uscată: Definitivare calcule, estimare viteza de pompare, configurare dimensiuni, caracteristici motor (Indicator de rezultat: Realizare vid convenabil la frecvențe și puteri reduse) Sisteme de pompaj "uscat", fara folosirea uleiurilor, sunt in momentul de fata din ce in ce mai cerute in tehnologia vidului inalt si ultrainalt, electronica, fizica semiconductorilor etc. Aceste sisteme sunt folosite actualmente pentru inlocuirea pompelor de vid preliminar "traditionale", cu palete si lubrifiere cu ulei. Acest ulei este toxic pentru orice aplicatie in alimentatie publica sau in medicina; de asemenea, este considerat cel mai serios agent contaminant pentru esantioanele de inalta puritate, filamentele diferitelor dispozitive functionand sub ultravid, dispozitive functionand sub ultravid extrem de scumpe (spectrometre, analizoare de electroni, oglinzi, retele de difractie etc.). Cerinta de baza pentru toate sistemele de pompaj preliminar este ca presiunea minima dezvoltata sa fie de ordinul a 1-10<sup>-2</sup> Torr, suficienta pentru aplicatiile in industria alimentatiei publice si in medicina si, de asemenea, necesara pentru conectarea unei pompe turbomoleculare pentru aplicatii de vid inalt si ultrainalt. In momentul de fata, sistemele de pompaj uscat existente pe piata sunt bazate pe mai multe tehnologii: - sisteme de pompaj cu diafragme elastice (din viton), care sunt in general cu mai multe etaje pentru a oferi o presiune minima in domeniul catorva Torri. Aceste sisteme, desi nu sunt prea scumpe, sunt zgomotoase si introduc vibratii. De asemenea, presiunea lor minima este destul de ridicata (1-10 Torr) si, pentru a functiona intre aceasta valoare a presiunii si vidul inalt (10<sup>-6</sup>-10<sup>-8</sup> Torr) sau ultrainalt (10<sup>-9</sup>-10<sup>-11</sup> Torr), un nou tip de pompe turbomoleculare, numite pompe hibride, a trebuit sa fie dezvoltat. Aceste

pompe turbomoleculare sunt cu 20-30 % mai scumpe decat pompele turbomoleculare standard. Nu in ultimul rand, semnalam uzura membranelor, care trebuie schimbate in mod periodic.

- sisteme de pompaj "scroll". Aceste sisteme ofera o presiune ultima in domeniul 10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Torr, insa sunt foarte scumpe (8-9 000 €) deoarece realizarea lor implica o mare cantitate de piese mecanice uzinate cu inalta precizie si de forma foarte sofisticata.

- sisteme dezvoltate foarte recent, numite "rotor vane segment" sau "queen bee screw", pot de asemenea sa ofere o presiune ultima in domeniul a 10<sup>-2</sup> Torr, insa raman totusi foarte scumpe si in continuare realizarea lor implica folosirea unor piese mecanice foarte sofisticate. Prezentul proiect prezinta un nou sistem de pompaj uscat, extrem de simplu de realizat din punct de vedere tehnologic, bazat pe un set de discuri rotitoare cu mare viteza. Acest sistem a si fost testat preliminar pe un prototip experimental si simulat teoretic. In continuare, vom discuta numai modele simplificate ale acestei pompe, pentru a estima ordinele de marime ale principalelor valori implicate.

Consideram un disc rotitor care antreneaza aerul cu viteza unghiulara  $\omega$  constanta ca functie de coordonata radiala r. Fie  $p_0$  presiunea in centrul discului si p(r) dependenta acestei presiuni de distanta pana la centrul discului. Folosim ecuatia Bernoulli:

$$p(r) + \frac{1}{2}\rho(r)\omega^2 r^2 = p_0 = \text{const.}$$
 (1)

In continuare, vom presupune ca presiunea *p* si densitatea aerului  $\rho$  sunt mutual dependente prin ecuatia de stare a gazului ideal  $p\mu_0 = \rho RT$  ( $\mu_0$  = masa molara, *R* = constanta universala a gazelor, *T* = temperatura) sau, in mod echivalent,  $p = \rho c^2$ , unde  $c = (RT/\mu_0)^{1/2} = 295$  m/s pentru azot molecular (N<sub>2</sub>) la *T* = 293 K. Dependenta presiunii de distanta pana la centrul discului devine:

$$p(r) = \frac{p_0}{1 + \frac{\omega^2 r^2}{2c^2}}$$
(2)

In continuare, evaluam presiunea statica la marginea discului  $r = r_0$ . Pentru  $\omega = 2 \times \pi \times 400$  rot/s (24 krpm) si  $r_0 = 0.3$  m, se obtine  $p(r_0) = 0.234 p_0$ . Daca se folosesc 7 etaje de pompare (Fig. 1), presiune ultima care se obtine este de cca.  $4 \times 10^{-2}$  mbar  $\approx 4$  Pa, ceea ce este suficient ca presiune de baza pentru functionarea unei pompe turbomoleculare.



$$\tau \equiv \frac{\delta F_{||}}{\delta A} = \eta \, \frac{dv_{||}}{dz}$$

(3)
Se arata usor caa forta de frecare intre straturi depinde de viteza. Intr-adevar, daca ficare molecula care loveste suprafata in miscare cu viteza v<sub>11</sub> dupa o directie perpendiculara pe z preia un impuls mv<sub>11</sub>, asupra placii va actiona o forta paralela cu miscarea si orienata in sens opus. Se calculeaza variatia impulsului total si se inlocuieste fluxul de molecule pe suprafata dA pornind de la un calcul de teorie cinetica a gazelor pe care nu-l detaliem aici:

Figura 1. Sistem de pompaj uscat multietaj.

$$\delta F_{||} = -\frac{dP_{||}}{dt} = -mv_{||}\frac{dN}{dt} = -2mv_{||}n\delta A\bar{v}_{z} = -nv_{||}\delta A\left(\frac{8mk_{\rm B}T}{\pi}\right)^{1/2} = -pv_{||}\delta A\left(\frac{8m}{\pi k_{\rm B}T}\right)^{1/2}$$
(4)

Inlocuind in ecuatia viscozitatii, rezulta o dependenta exponentiala a vitezei straturilor de aer ~  $\exp(-z/z_0)$ , unde dimensiunea caracteristica a stratului antrenat este data de:



admisie

$$z_0 = \frac{\eta}{p} \left(\frac{8m}{\pi k_{\rm B}T}\right)^{1/2} \tag{5}$$

Se estimeaza usor ca  $z_0 \approx 0.9$  mm pentru  $p \approx 4$  Pa. Viteza  $u_0 = \left(\frac{\pi k_{\rm B}T}{8m}\right)^{1/2}$  este cca. 190 m/s pentru azot la T ambianta. Puterea consumata se calculeaza ca produsul dintre momentul rezistiv M si pulsatia unghiulara  $\omega$ , iar primul se obtine prin integrare:

$$M = 2\pi \int_{0}^{R_{0}} \tau(r) r^{2} dr = \frac{2\pi p\omega}{u_{0}} \int_{0}^{R_{0}} r^{4} dr = \frac{\pi p\omega R_{0}^{4}}{2u_{0}}$$
(6)

unde  $R_0$  este raza tubului de aspirare. Pentru o frecventa unghiulara corespunzatoare unei viteze de rotatie de 24 krpm si un diametru al tubului de aspirare de 40 mm, rezulta o putere de 836 W (consideram presiunea atmosferica). In continuare, vom exprima aceasta putere ca produsul dintre presiune si viteza de pompare, neglijand efectele termice. Rezulta o valoare maxima de 8,4 l/s = 30 m<sup>3</sup>/h ceea ce este o valoare robusta chiar si pentru pompele cu palete si baie de ulei.

*Calculul sarcinii rulmentilor*. Considerand ca avem un numar de 10 discuri rotitoare cu diametrul de aproximativ 30 cm, rezulta suprafata unui disc:

 $S_1 = \pi r^2 = 3,14*15^2 = 706,5 \text{ cm}^2$ 

Pentru 10 discuri vom avea: S<sub>10</sub>=706,5\*10 =7065 cm<sup>2</sup>

Avand in vedere ca la aspiratia pompei se creaza un vacuum de ordinal mbar, putem considera diferenta de presiune intre aspiratia pompei de vid si refularea care se face direct in atmosfera, ca fiind egala cu 1 bar= 10 N/cm<sup>2</sup>.

Diferenta de presiune evolueaza linear de la mbar pana la atmosfera, si pentru simplificarea calculelor se poate considera o presiune de calcul medie de 0,5 bar, adica 5 N/cm<sup>2</sup>.





Fig. 1. Rulment radial axial pentru lagarul inferior Fig. 2. Rulment radial axial pentru lagarul superior Aceasta presiune aplicata pe suprafata celor 10 talere da nastere unei forte ascensionale de:  $F[N]=P[N/cm2]*S_{10}=5*7065=35325 N$ 

Tinand cont ca greutatea rotorului pompei actioneaza in jos, opus fortei ascensionale, si luand in considerare diametrul axului, putem aproxima ca forta care solicita lagarele este in jur de 30 000 N.

In afara de capacitatea de incarcare, un alt parametru important in alegerea rulmentului este turatia, in cazul de fata luandu-se in calcul o turatie de 20 000 – 30 000 rpm.

Un rulment care se preteaza foarte bine in cazul de fata este un rulment radial – axial, fig. 2.

Pompa, mai precis rotorul pompei va fi sustinut de doua lagare cu rostogolire. Cele doua lagare care sustin pompa, inferior si superior, sunt strans conditionate si de diametrul interior al rotorului, 28 mm in cazul motorului ales. Daca luam in calcul un singur rulment pe lagar, rezulta un diametru al axului in lagar de 35 mm. Se propune ca in cazul de fata sa se foloseasca doua lagare diferite, unul superior si unul inferior, cu rulmenti radiali – axiali, lagarul inferior va prelua incarcarea dinamica, iar lagarul superior va prelua incarcarea statica, fig. 3.

In cazul pompei uscate actioneaza in principal forta axiala F = 30 000 N. Pentru aceasta forta se dimensioneaza lagarul inferior fig. 2.

Capacitatea de incarcare dinamica pentru un lagar de tipul celui din fig. 1 se defineste astfel, [1]:

$$C = i * 0.7 * Csingur rulment [N]$$

Unde i = numarul de rulmenti in cazul setului de rumenti, in cazul nostru i = 1.

Considerand rulmentul S 6207 CTA care are dimensiunile din fig. 3, si incarcarile din fig. 4 rezulta pentru capacitatea de incarcare dinamica valoarea:

		Bounda	undary dimensions Balls						Dimensions							Abutment dimensions			
Designation		d	D	В	d <sub>m</sub>	Dw	Z	dı	d₂	D1	D	2 r <sub>1,2</sub>	r <sub>3,4</sub>	r <sub>a max</sub>	<sub>nax</sub> r <sub>b max</sub>	d <sub>a</sub> , <sub>b min</sub>	D <sub>a</sub> , <sub>b max</sub>	d <sub>T</sub>	
35 mm																			
S 6207	C TA	35	72	17	53.5	11.112	13	47.4		60.6	64	.5 1.1	0.6	1.0	0.6	43.0	64.0	50.9	
Fig. 4																			
Weight	Contact angle		Lo	ad ratin	g		Spee	d value		Preload/axial rigidity Spring preload									
m	α0	С		C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	HY	n <sub>oil</sub>	n <sub>grea</sub>	se	Fv	C <sub>ax</sub>	Fv	C <sub>ax</sub>	$F_{\mathbf{v}}$	C <sub>ax</sub>	Ff	Design	ation	
										L M S								35 mm	
0.000		25004			47					60	53.0	100				6 600			
0.290	15	35000		24300	17	100	32000	2400	1 00	80	60	530	102	1000	142	900	S 620		
	Fig. 5																		

Aceasta valoare este satisfacatoare, tinand cont de configuratia pompei uscate.

O alta solutie ar fi folosirea unor lagare formate din rulmenti montati in tandem, caz in care ansamblul de lagare ar avea o capacitate dinamica de peste 50 000 N.

Deci, pentru constructia pompei uscate putem lua in calcul doua variante de lagare:

1. Varianta cu doi rulmenti diferiti S 6207 CTA si S 6205 CTA,

- 2. Varianta cu doua tandemuri formate fiecare din cate doi rulmenti S 6205 CTA.
- I. Alegerea motorului pentru actionarea pompei uscate

Pentru alegerea motorului de antrenare sepleaca de la ecuatia generala a miscarii:

$$M - M_s = M_d$$
 [2]

In care: M = cuplul motorului, M<sub>s</sub> = cuplul static, M<sub>d</sub> = cuplul dinamic, J = momentul de inertie al ansamblului motor pompa raportat la axul motor,  $\omega$  = viteza unghiulara

 $\frac{dJ}{dt} = 0$ 

Cuplul dinamic se calculeaza cu formula [2]

$$Md = J\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2}\frac{dJ}{dt}$$
(7)

In care

(8)

si rezulta

 $Md = J \frac{d\omega}{dt} \tag{9}$ 

Pentru dimensiunile propuse, rezulta J = Jmotor +Jrotor pompa =  $0.6018 \text{ Nm}^2$ Pentru n = 20 000 rpm, rezulta  $\omega$  = 2093 rad/s

$$Md = J\frac{\omega}{td}$$

(10)

Pentru td timp de demaraj = 10 min, rezulta un cuplu dinamic de 2.1 Nm, ceea ce in cazul unui factor de supraincarcare a motorului, pe perioada de pornire, egal cu 3 conduce la o putere a motorului de 880 W.

#### Act 1.2 - Proiectare pompă uscată (Indicator de rezultat: Desene)

Pompa dry este realizata integrat ca in fig. 6 pe un ax central motorul electric de actionare, rotorul si discurile rotitoare care realizeaza pompajul propriu zis. In figura nu este detaliata partea de pompaj. Proiectarea ansamblul motor ax pompa a tinut cont de incarcarea dinamica si statica rezultata din functionarea pompei.

Sustinerea rotorului pompei se realizeaza pe doua lagare de rostogolire cu rulmenti de turatie care sa asigure regimul ridicat de viteza al pompei.

Astfel pentru lagarul inferior, fig. 6 s-a utilizat un rulmenti radial-axial de diametru interior 35 mm.

Acestia sunt rulmenti de turatie de tip S 6207 CTA care rezista la incarcari de pana la 35000 N. Se vor fixa cu suruburi cu filet pe stanga pentru a evita desfacerea in timpul functionarii.

Pentru lagarul superior din fig. 8 s-a utilizat acelasi tip de rulmenti, radiali-axiali. Acestia sunt rulmenti de turatie de tip S 6205 CTA care rezista la incarcari de pana la 19000 N de diametru interior 25 mm. Se vor monta cu strangere pe ax si se vor fixa prin flansa de umerii laterali ai carcasei.

Alegerea a doi rulmenti de dimensiuni diferite pentru preluarea incarcarilor a condus la alegerea in proiectare a axului motor pompa de diametru variabil pe toata lungimea pompei. Acesta va necesita o prelucrare speciala pentru a asigura un nivel minim de vibratii in functionare.





Fig. 6 Ansamblu pompa uscata (fara grup pompaj)

Motorul electric este un motor asincron trifazat, reprezentat in fig. 9. Racirea acestuia este asigurata de aripioarele laterale ale carcasei. In carcasa sunt prevazute canale speciale pentru accesul la capetele infasurarilor. Evacuarea pompei se realizeaza prin canalelele si sectiunea din figura 10.



Fig. 9 Motorul de antrenare a pompei



Fig. 8. Reprezentare lagar superior



Fig. 10 Canalul de evacuare in atmosfera

Bibliografie:

- 1. GMN Catalog 4000 0911 ENG
- 2. E. Seracin Tehnica actionarilor electrice, Editura tehnica, Bucuresti 1985

Act 1.3 - Configurare motor și elemente anexe (Indicator de rezultat: Motor de turatie ridicata si elemente anexe) Pentru actionarea pompei se alege un motor asincron trifazat, alimentat in tensiune si frecventa cu urmatoarele caracteristici, tab. 1 si tab. 2.

Z	Technical Spec			S1		S6 60% 12	20s	S6 40% 12	S6 25% 12		
	Туре	Asynchronous	f	n	Р	М	Р	М	Р	М	Р
	Number of poles	2	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	Nm	kW	Nm	kW	Nm	kW
	Winding protection	Standard									
	Stator cooling	Water	0	0	0.00	1.45	0.00	1.60	0.00	1.81	0.00
	Rotor material	Соррег	100	6'000	0.60	1.45	0.67	1.60	0.75	1.81	0.87
	Stator OD	83.00 mm	200	12'000	1.51	1.45	1.66	1.60	1.88	1.81	2.17
	Stator Stack Length	60.00 mm	300	18'000	2.51	1.45	2.75	1.60	3.13	1.81	3.62
	Total length <sub>max</sub>	110.00 mm	400	24'000	3.52	1.45	3.87	1.60	4.40	1.81	5.08
	Rotor ID <sub>max</sub>	28.00 mm	500	30'000	4.56	1.45	5.03	1.60	5.69	1.81	6.57
	Rotation speed max	39'000 min <sup>-1</sup>	633	38'000	5.77	1.45	6.37	1.60	7.20	1.81	8.32
	1	т	- h - J								

Tab. 1

Tab. 2

Act 1.4 - Configurare lămpi UV (Indicator de rezultat: Lampi UV cu parametri optimizati pentru desorbtie moleculara) A fost achiziționată o primă lampă UV (Fig. 11), iar testarea ei pentru bakeout este în curs. Primele rezultate sunt încurajatoare, s-a obținut un vid în domeniul 10<sup>-9</sup> mbar după numai 24 h de operare.

Caracteristici principale:

- radiație UVC, lungimea de undă 185 nm;
- flux emis 0,34 mW/cm<sup>2</sup> la o distanță de 6 cmș
- timp de viață: minim 5000 ore;
- alimentare 12 V / 2,5 A cu alimentare la 115 / 230 V.

Figura 11. Lampă UVC pentru desorbția apei de pe pereții interiori ai incintei.

Act 1.5 - Configurare elemente pentru bateria de pompare (pompă criogenică + turbomoleculară) (Indicator de rezultat: Pompa criogenica si pompa turbomoleculara configurate)

Acest sistem (Fig. 12) a fost montat și este în operare pe o incintă nouă UVH. Aceasta este în momentul de față supusă testării la scurgeri cu He, folosindu-se un spectrometru de masă cuadrupolar.

Figura 12. Bateria de pompare pompă turbomoleculară + pompă criogenică, montată pe incinta UHV.





## Proiect 2

Act 1.6 - Proiectare matrici de memorii nevolatile (MNV) cu nanocristale de SiGe în oxid cu constantă dielectrica mare și tehnologie de fabricare: studii preliminare pe structuri test (Indicator de rezultat: Structuri preliminare și definirea parametrilor acestora)

1. Introducere Există un interes deosebit pentru memorii nevolatile (MNV) cu poartă flotantă realizată din nanocristale (NC) ale elementelor din grupa a IV-a înglobate în diferiți dielectrici [1–5], si anume NC Si si respectiv de Ge in SiO<sub>2</sub>. Deoarece in Ge raza Bohr excitonica este de ~5 ori mai mare decât cea a Si, folosirea NC de SiGe ca centri de stocare de sarcina cu rol de poarta flotanta in dispozitive MNV prezinta urmatoarele avantaje:
i) Si si Ge sunt complet miscibile; ii) bugetul termic de formare a NC SiGe este relativ mic, pentru ca bugetul

termic de formare a NC Ge este mult mai mic decat cel de formare a NC Si; **ii**) banda interzisa a NC SiGe este ajustabila atat prin compozitia x a aliajului Si<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub>, cat si prin dimensiunea NC SiGe intre banda interzisa a Si (1,12 eV) si cea a Ge (0,66 eV); **iv**) Ge are un offset pozitiv al benzii de valență față de substratul de Si, conducand la cresterea timpului de retenție a golurilor. În ceea ce privește matricea dielectrică, aceasta poate fi oxidica sau nitridica. Un rol important al acesteia il constituie acela de pasivare a NC. Cel mai folosit oxid este SiO<sub>2</sub>, care are dezavantajul ca are constanta dielectrica (k) mica, limitand microminiaturizarea. Ca urmare, inlocuirea SiO<sub>2</sub> cu oxizi cu k mare (HfO<sub>2</sub> [6,7], Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [8,9], ZrO<sub>2</sub> [10]), a devenit o necesitate.

Metodele de depunere a MNV cu poartă flotantă cu NC de Si sau Ge raportate in literatura sunt pulverizarea cu magnetron, MS [11] (cea mai folosita), evaporarea din fascicul de electroni [12], depunerea chimică din fază de vapori, CVD si ALD [13], depunerea prin pulsuri laser, PLD [14]la epitaxia cu fascicul molecular, MBE [15] și implantarea ionică [16]. Substratul este de Si monocrstalin. Pentru formarea NC GeSi, structurile proaspat depuse sunt tratate termic in cuptor conventional sau prin tratament termic rapid (RTA).

2 Prepararea probelor În cadrul prezentei faze preparam și caracterizăm structuri test discrete de MNV cu 3 straturi, în care dielectricul folosit este HfO<sub>2</sub>. Structurile conțin următoarea succesiune de straturi:  $HfO_2$  oxid de control / strat intermediar cu NC SiGe înglobate în  $HfO_2$  /  $HfO_2$  oxid tunel / Si-p. Stratul intermediar format din NC SiGe înglobate în HfO<sub>2</sub> are rol de poarta flotanta, in care NC SiGe sunt noduri /centri de stocare de sarcina. Structurile au fost realizate pe substrat de Si – p, de orientare (100) și de rezistivitate 7-14  $\Omega$ cm, folosind metoda pulverizării cu magnetron (MS) pentru depunerea structurii și tratamente termice rapide (RTA) ulterioare, pentru formarea NC SiGe.

Plachetele de Si au fost spălate în camera curată folosind procedeul standard RCA pentru eliminarea contaminantilor organici, urmat de inlaturarea oxidului nativ al Si intr-o solutie apoasa de 2% HF. Placheta se spala apoi in apa deionizata (18 MΩ) si se uscuca în flux de N<sub>2</sub> 5N. Plachetele curatate se introduc in echipamentul *Gamma 1000 C* - Surrey NanoSystems (vid ultrainalt  $10^{-8}$  Torr), prevazut cu elipsometru Woollam M-2000X (370 – 1000 nm) pentru monitorizarea profilului si grosimii in timp real, si cu tehnici de analiza a suprafeței *Auger-LEED* - Omicron. In timpul depunerii probele sunt pozitionate pe un suport rotitor care asigură uniformitatea stratului depus în limita a 5% pe placheta de 5 inch. Depunerea s-a realizat în atmosfera de Ar 6N (debit 20 sccm și presiune de lucru 10 mTorr). Tratamentul RTA a fost efectuat in echipamentul *As-Micro* – Annealsys care permit tratamente termice până la 1250 °C, cu rampe foarte rapide (200 °C/s).



**Fig. 1** Imagini HRTEM ale structurii *HfO*<sub>2</sub> *poarta / GeSi / HfO*<sub>2</sub> *tunel / Si-p:* (a) structura proaspat depusa; (b) structura tratata RTA la 1000 °C.

Depunerea structurii se face intr-un singur pas tehnologic. Se depune mai întâi stratul de oxid tunel de  $HfO_2$ in radiofrecventa (RF) la puterea 40 W RF, apoi un strat de SiGe in regim continuu (DC), din doua tinte de Si (40 W DC) si Ge (15 W DC), și în final stratul de  $HfO_2$  de poarta /control (40 W RF). Structurile proaspat depuse sunt amorfe, iar pentru formarea NC SiGe acestea au fost tratate RTA la 1000 °C. Pentru testarea electrica a structurilor a fost necesara configurarea acestora in structuri MNV discrete. In acest scop, au fost depuse contacte de Al prin evaporare termica in vid.

*3. Rezultate si discutii* Am efectuat masurari de caracterizare morfologica și structurala folosind microscopia electronica prin transmisie in inalta rezolutie (HRTEM) – microscopul JEOL ARM-200F. In Fig. 1a se prezinta imaginea HRTEM a unei structuri proaspat depuse, HfO<sub>2</sub> poarta (21 nm) / GeSi (6 nm) / HfO<sub>2</sub> tunel (10

nm) / Si-p. Fig 1b prezinta imaginea HRTEM a structurii dupa RTA la 1000 °C. Dupa cum se poate observa, stratul de SiGe se cristalizeaza partial, asfel incat se formeaza NC SiGe alungite in planul nanostructurii imersate in matrice amorfa. Aparent stratul intermediar de SiGe se ingusteaza prin difuzia in principal a Ge catre suprafata libera a structurii. Straturile de HfO<sub>2</sub>, de oxid tunel si de poarta sunt de asemenea cristalizate in structura monoclinica.



Pentru testarea proprietatilor de memorie am efectuat **măsurări de caracteristici capacitate-tensiune** (*C*–*V*). Masurarile au fost efectuate la frecventa de 1 MHz, la temperatura camerei, în întuneric, folosind *puntea Agilent E4980*. In Fig. 2 este data o caracteristica C-V masurata pe aceste structuri, care prezinta o bucla de histerezis parcursa in sens invers acelor de ceasornic (pornind din zona de saracire, +2V), ceea ce arata ca incarcarea (si descarcarea) NC SiGe se face din substratul de Si prin HFO<sub>2</sub> de tunelare. Bucla de histerezis, desi are o fereastra de memorie foarte mare de 9,24 V, este asimetrica in tensiune (fiind centrata pe tensiune negativa) iar panta ramurii de descarcare a NC SiGe este mai mica decat cea pentru incarcare. Acest rezultat arata ca in structura exista centri de incarcare pozitionati la interfata SiO<sub>2</sub>/Si (pantele diferite ale ramurilor de incarcare si descarcare a NC SiGe) si de asemenea o sarcina pozitiva fixa in HfO<sub>2</sub> de poarta (centrul buclei de histerezis se afla la tensiune negativa). Acest rezultat va fi folosit ca feed-back la prepararea structurilor test in Etapa II.

*4. Proiectarea matricilor de memorii* Pentru realizarea structurilor test au fost proiectate 3 masti, prezentate in Fig.3. Prima masca (Fig.3a) se utilizeaza pentru metalizarea structurilor, fie printr-un proces lift-off, fie prin ingrosare electrochimica. Cea de a doua masca (Fig.3b) se utilizeaza la izolarea celulelor structurii care se realzeaza prin corodarea stratului activ si a ~ 30µm din substratul de Si. Ultima masca (Fig.3c) se foloseste la

deschiderea contactului dupa depunerea unui strat dielectric pentru pasivare. In Fig.4 este prezentat un detaliu privind suprapunerea celor 3 masti.

5. Concluzii In Etapa I am preparat și caracterizat structuri test discrete de MNV cu 3 straturi:  $HfO_2 oxid de$  control / strat intermediar cu NC SiGe înglobate în  $HfO_2 / HfO_2 oxid tunel / Si-p$ . Aceste structuri au fost preparate in 2 secvente tehnologice, depunerea MS urmata de tratament RTA la 1000 °C pentru nanostructurare.

Imaginea HRTEM arata ca stratul intermediar de SiGe este partial cristalizat in NC SiGe alungite in planul structurii imersate in matrice amorfa. Straturile de  $HfO_2$  de oxid tunel si de poarta sunt de formate din NC cu structura monoclinica.

Au fost testate proprietatile de memorie prin efectuare de măsurări de caracteristici C–V. Caracteristicile C-V masurate prezinta bucla de histerezis parcursa in sens invers acelor de ceasornic ceea ce arata ca incarcarea (si descarcarea) NC SiGe se face din substratul de Si prin stratul de HFO<sub>2</sub> de tunelare. Bucla de histerezis, desi are o fereastra de memorie foarte mare de 9,24 V, este asimetrica in tensiune, este centrata pe tensiune negativa, iar panta ramurii de descarcare a NC SiGe este mai mica decat cea pentru incarcare. Acest rezultat arata ca in structura exista centri de incarcare pozitionati la interfata SiO<sub>2</sub>/Si, care sunt responsabili de pantele diferite ale ramurilor de incarcare si descarcare a NC SiGe. De asemenea in structura exista o sarcina pozitiva fixa in HfO<sub>2</sub> de poarta care deplaseaza centrul buclei de histerezis la tensiuni negativa. Aceste rezultate vor fi folosit ca feed-back la prepararea structurilor test in Etapa urmatoare.

Au fost proiectate mastile de fotolitografie pentru structuri test de matrici de memorie folosind infrastructura partenerului (IMT – MINAFAB).



Fig. 4: Detaliu privitor la suprapunerea celor 3 masti pentru realizarea structurilor test

[1] A M Lepadatu, C Palade, A Slav, A V Maraloiu, S Lazanu, T Stoica, C Logofatu, V S Teodorescu and M L Ciurea, Nanotechnology **28** (2017) 175707.

[2] C. Palade, A.M. Lepadatu, A. Slav, S. Lazanu, V.S. Teodorescu, T. Stoica, M.L. Ciurea, Appl. Surf. Sci. 428 (2018) 698-702.

[3] D. Lehninger, J. Beyer, and J. Heitmann, Phys. Stat Sol.a 275 (2018) 1701028.

[4] A. Slav, C. Palade, A.M. Lepadatu, M.L. Ciurea, V.S. Teodorescu, S. Lazanu, A.V. Maraloiu, C. Logofatu, M. Braic, A. Kiss, Scripta Materialia **113** (2016) 135-138.

[5] R.E. Shankar, VES Hasaneen, EK Heller, FC Jan, IEEE Trans. VLSI Syst. 25 (2017) 1774-1781.

[6] E. Vieira, S Levichev, CJ. Dias, R Igreja, M Buljan, S Bernstorff, O Conde, A Chahboun, AG. Rolo, and MJM Gomes, Eur. Phys. J. B **86** (2013) 336

[7] S. Wang, W. Liu, Q. Wan, J.Y. Dai, P.F. Lee, L. Suhua, Q. Shen, M. Zhang, Z. Song, and C. Lin, Appl. Phys. Lett 86 (2005) 113105

[8] S Choi, B Park, H Kim, K Cho and S Kim, Semicond Sci. Technol. 21 (2006) 378–381.

[9] E. Vieira, S Levichev, CJ. Dias, R Igreja, M Buljan, S Bernstorff, O Conde, A Chahboun, AG. Rolo, and MJM Gomes, Eur. Phys. J. B **86** (2013) 336.

[10] D. Lehninger, P. Seidel, M. Geyer, F. Schneider, V. Klemm, D. Rafaja, J. von Borany, J. Heitmann, *Appl. Phys. Lett.* **106** (2015) 23116.

[11] S. Das, K. Das, R. K. Singha, A. Dhar, and S. K. Ray, Appl. Phys. Lett. 91 (2007) 233118.

[12] S. Wang, W. Liu, Q. Wan, J.Y. Dai, P.F. Lee, L. Suhua, Q. Shen, M. Zhang, Z. Song, and C. Lin, Appl. Phys. Lett 86 (2005) 113105.

[13] I.D. Sharp, D.O. Yi, Q. Xu, C.Y. Liao, J.W. Beeman, Z.L. Weber, K.M. Yu, D.N. Zakharov, J.W. Ager, D.C. Chrzan, E.E. Haller, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 63107.

[14] S. Das, R. Aluguri, S. Manna, R. Singha, A. Dhar, L. Pavesi and S.K. Ray, Nanoscale Res Lett. 7 (2012) 143.

[15] R. Aluguri, S. Das, R.K. Singha, S.K. Ray, Current Appl. Phys. 13 (920013) 12-17.

[16] I.D. Sharp, D.O. Yi, Q. Xu, C.Y. Liao, J.W. Beeman, Z.L. Weber, K.M. Yu, D.N. Zakharov, J.W. Ager, D.C. Chrzan, E.E. Haller, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 63107.

Act 1.7 - Proiectare sursă de nanoparticule (Indicator de rezultat: Desene) Principiul de funcționare al sursei de nanoparticule este reprezentat în Fig. 5.



Nanoparticulele se formează prin destindere adiabatică asistată de un gaz-tampon printr-un mic orificiu de la o presiune ridicată (fracțiuni de bar) la vid înaintat. În Fig. 6 am reprezentat principalele elemente constructive ale cuptorului de temperatură ridicată, montat pe o trecere de curent DN 40 CF ridicat; în

electroda de Cu transportoare a curentului se va executa un tunel pentru introducerea gazului tampon, iar în partea exterioară se va adapta o trecere de tip swagelok<sup>™</sup> pentru montarea robinetului de admisie gaz. Fig. 7 reprezintă principalele repere ale cuptorului și modul de asamblare al lor. Fig. 8 reprezintă schema montajului electric, incluzând: (i) sursa de curent ridicat pentru încălzirea cuptorului; (ii) sursa de tensiune de accelerare; (iii) sursele de tensiune de polarizare a filtrului electromagnetic; (iv) sursa de tensiune de deflexie pentru variația câmpului electric; (v) aparatele de măsură interfațabile pentru măsurarea spectrelor de masă.

Act 1.8 - Configurare instalație MBE pentru sinteză de compuși III-V. Repunere în funcțiune instalație RHEED (Imagini RHEED. Curbe de calibrare viteze de evaporare) Fig. 10 prezintă instalația de epitaxie din fascicul molecular, configurată, împreună cu câteva exemple de rezultate obținute recent. Sistemul RHEED, nefuncțional de cca. 2 ani, a fost repus în funcțiune prin mijloace proprii. Fig. 11 prezintă câteva curbe de calibrare ale vitezelor de evaporare pentru evaporatoarele disponibile în instalația MBE (a) Ni; (b) Ag; (c) Pt.



Inversul Temperaturii (1/K)

Figura 10. Instalația de epitaxie din fascicul molecular, cu câteva exemple de rezultate obținute în cadrul prezentului Proiect inserate: (i) o imagine de difracție de electroni lenți (LEED) pe o suprafață Si(111) 7 x 7; (ii) o imagine de difracție de electroni rapizi (RHEED) obținută în timpul preparării unei probe de PZT(001); (iii) presiunea de bază a instalației, în mbar.



Act 1.9 - Configurare instalație SERS pentru măsurători la temperaturi scăzute, variabile (Indicator de rezultat: Curbe de testare a dependenței temperaturii de timp) Metoda SERS (surface enhanced Raman spectroscopy) a fost recent explicată pe baza unui nou model [1]; prin același model, s-a evidențiat posibilitatea ca semnalul SERS să fie mult amplificat la temperaturi mai joase.

Inversul Temperaturii (1/K)

$$dI_{SERS} \propto E^2 \alpha^2(z) \Delta n(z) dz \Delta S \propto \frac{E^4 \alpha^4(z)}{(2z)^3 T} dz \Delta S \propto \frac{\alpha_0^4 E^4}{T} \cdot \frac{(2z)^9}{\left[(2z)^3 - V_p f\right]^4} dz \Delta S \tag{1}$$

Prin fitarea datelor din una din puținele lucrări care au tratat dependența semnalului SERS de temperatură (Fig. 12) s-a obținut o dependență de tipul exp(const./T). Aceasta a fost explicată luându-se în considerație și dinamica adsorbției/desorbției moleculelor analizate pe suprafața de metal amplificatoare a semnalului SERS. În continuare, se intenționează investigarea sistematică a acestor fenomene și pentru aceasta s-a dezvoltat un sistem de analiză a semnalelor SERS la temperaturi mai scăzute, până la temperatura azotului lichid (Fig. 13).

#### Referințe:

[1] C.M. Teodorescu, Phys. Chem. Chem. Phys. 17, 21302–21314 (2015).

[2] C. Siemes, A. Bruckbauer, A. Goussev, A. Otto, M. Sinther, and A. Pucci, J. Raman Spectrosc. **32**, 231–239 (2001).



#### Proiect 3

# Act 1.10 - Definire parametri constructivi instalație forcespinning (Indicator de rezultat: Documentație de realizare)

Obiectivele etapei stabiliti pentru producerea de material fibrilare sunt definirea parametrilor constructivi și proiectarea instalatiei de electrospining, configurarea și asigurarea infrastructurii necesare. Forcespinning reprezintă o tehnică pentru a obține micro- sau nano-fibre folosind un câmp centrifugal pentru accelerarea și alungirea de jeturi vâsco-elastice. Aceasta metoda consta practic, în plasarea unei solutii sau topituri polimerice intr-un rezervor ejector si supusa unor viteze mari de rotatie. Forta centrifuga impinge solutia prin ejectoarele rezervorului în aer ducand la formarea de fibre ce sunt apoi colectate pe un suport. Solutia este eliminata prin duza de filare în momentul în care forța centrifugă este mai mare decât tensiunea superficiala a acesteia. Daca forta exercitata asupra jetului este foarte mare apare fenomenul de rupere al acestuia [1]. În figura 1 este prezentata o scchema de baza a tehnicii. Printre avantajele acestei tehnici se numara productivitate mare, o gama larga de polimeri artificiali sau naturali ale caror

solutii sau topituri care pot fi folosite in fabricarea de fibre [3-7]. In plus, pot filate materiale solide direct din topitura.

Parametrii de baza pentru controlul fibrelor sunt viteza de rotatie, forma si configuratia ejectoarelor, sistemul de colectare, temperatura si mediul ambiental dar si vascozitatea si tensiunea superficiala a solutiei sau topiturii.

Pentru proiectarea instalatiei de forcespinning a fost definita **tema de proiectare** care descrie cerintele parametrilor constructivi necesari pentru producerea de material fibrilar, si cuprinde:

1. **Denumirea și indexul elaborarii.** Denumirea produsului este: *Instalatie forcespinning;* Denumirea comerciala a produsului este: **IFS 10** 

2. **Destinatia produsului.** Obtinerea de materiale micro- si nano-fibrilare.



Fig. 1. Schemă de bază [2]

<u>3</u>. **Compunerea produsului**. Produsul este alcatuit din urmatoarele componente majore: (i) Incinta de depunere; (ii) Sistem antrenare; (iii) Cap spinnare; (iv) Sistem electronic

**Descrierea si functiunile componentelor majore.** <u>Incinta de depunere</u> va fi o incinta rotunda cu dimensiunea de maxim 500 mm, prevazuta cu elemente mecanice pentru captarea fibrelor formate prin forcespinning. <u>Sistemul de antrenare</u> este compus din motor electric AC sau DC ce asigura rotirea capului de spinnare la turatii cuprinse intre: 0 -15000rpm. <u>Capul de spinnare</u> solidar cu sistemul de antrenare asigura producerea fibrelor micro- sau nanometrice. <u>Sistemul mecanic</u> va fi compus din materiale care sa asigure rigidizarea sistemului de antrenare si a incintei de depunere. <u>Sistemul electronic</u> va fi compus din sursa de alimentare motor, variator de turatie motor, timer setabil pentru functionarea controlata a sistemului de antrenare, afisarea timer-ului, afisarea turatiei.

4. **Cerinte tehnice privind produsul.** Deoarece produsul urmeaza a fi utilizat in spatii inchise cu climat controlat va trebui sa: permita alimentarea de la reteaua electrica 230V/ 50Hz; aiba dimensiunile de gabarit de maxim: 400x400x500mm; aiba o greutate maxima de 50kg; permita utilizarea in maxim 5 minute de la pornire; permita o utilizare neintrerupta de maxim 99 minute.



## 5. Cerinte constructive.

*Cerinte constructive pentru incinta de depunere si capul de spinnare*: Dimensiunea incintei: maxim 500 mm;Capul de spinare: inox. *Cerinte constructive pentru sistemul electronic*: Functiile pe care le realizeaza sunt: Alimentare motor; Variator de turatie; Timer maxim 99 minute; Setare si afisare timer; Setare si afisare turatie.

*Cerinte privind compatibilitatea si interschimbabilitatea*: Deoarece produsul urmeaza a fi utilizat fara a fi cuplat cu alt aparat nu exista cerinte privind compatibilitatea si interschimbabilitatea.

Cerinte privind protectia radioelectronica: Produsul nu necesita precautii pentru protectia radioelectrica.

*Cerinte privind stabilitatea la actiunea factorilor externi:* Deoarece produsul urmeaza a fi utilizat in incaperi inchise cu climat controlat, sunt exceptate urmatoarele incercari:

- Actiunea umiditatii ridicate a mediului
- Incercarea privind actiunea presiunii atmosferice scazute
- Incercarea privind stabilitatea la radiatii solare
- Incercarea privind stabilitatea la medii speciale

Se admit urmatoarele valori pentru:

Temperatura mediului inconjurator:

- Pentru functionare: +5°C...+40°C; - Pentru depozitare: -20°C...+50°C

Rezistenta la transport in stare ambalata:

- Acceleratii 100 ms<sup>-2</sup>; - Frecventa 120....200 socuri/minut; - Numarul total de socuri: 2000

Se considera conditii normale de lucru pentru produsul IFS 10 (conform specificatiei tehnice a motorului), urmatoarele conditii: -Temperatura aerului cuprinsa intre + 150 C...350 C; - Umiditatea relativa a aerului cuprinsa intre 20% si 80%; -Presiunea atmosferica cuprinsa intre 860 hPa si 1060 hPa.

*Cerinte privind fiabilitatea:* - Durata de functionare pâna la defectare (MTBF): min. 2000 de ore. - Probabilitatea functionarii fara defectare: 95%. - Durata de viata utila: 10.000 ore. - Conservabilitatea: 10 ani.

*Cerinte privind ergonomia si design industriala* (conformitatea stilului cu formele actuale ale nivelului de dezvoltare, coordonarea si proportia formelor etc.): Produsul trebuie sa fie compact, usor de manevrat si cu un aspect adecvat scopului.

*Cerinte privind exploatarea, comoditatea in deservire:* Produsul va fi prevazut cu ventilatoare pentru asigurarea temperaturii optime de functionare. Comoditate in reparare: Proiectarea trebuie realizata astfel incat depanarea sa se faca usor. Tipurile si inventarul PSA:Continutul PSA se va stabili la omologarea produsului.

*Cerinte privind pastrarea:* Depozitarea produsului in stare ambalata se face in incaperi inchise la temperatura ambianta. Nu se admite depozitarea impreuna cu substante chimice corozive, cu produse petroliere sau radioactive.

*Cerinte privind transportul:* Prin alegerea tipului de ambalare corespunzator trebuie sa se permita transportul produsului cu orice mijloc de transport (terestru, naval sau aero) in orice conditii de climat.

Cerinte privind secretizarea si mascarea: Nu se aplica.

Cerinte privind tehnologia: Se stabilesc dupa omologarea prototipului.

Cerinte privind standardizarea si tipizarea: Nu sunt necesare standarde speciale pentru realizarea produsului.

*Cerinte privind materiile prime, materialele si produsele de completar:* Se solicita actele de conformitate si garantie ale componentelor achizitionate de la furnizori.

Cerinte privind marcarea, ambalarea si conservarea: Se stabilesc in faza de proiectare a prototipului.

*Cerinte speciale:* Pentru utilizarea produsului va fi necesar o singura persoana instruita in prealabil. Pentru utilizarea produsului nu se vor utiliza alte instalatii, echipamente si accesorii.

Ordinea elaborarii, incercarile, receptia produsului si finalizarea lucrarilor: Fazele necesare pentru executia produsului sunt urmatoarele:

- Elaborare documentatie de executie model experimental; - Experimentare model experimental; - Elaborarea documentatiei de executie prototip; - Experimentare prototip.

#### Act 1.11 - Proiectare instalație forcespinning (Indicator de rezultat: Proiect dispozitiv)

<u>Schemele de proiectare si documentatia</u> pentru realizarea instalatiei au fost intocmite. In acest raport sunt prezentate cateva din acestea.

Α	1			000			file		25052-00	MISEUL
	DE B/	DOCUMENTA AZA (CONSTI	ATIE RUCTIVA)						-	
A.1	DESENE	DE EXECUT	E							
A1.1	ANSAME	LE PROPRI		-					-	
1	Instalatie	forcespinning	8	F10	000 000 00	0	2	A2 A3		
2.	Ansamble	ı cadru	9	F10.	A01.000.00	0	1	A2		
3.	Ansambli	1 ax		F10.	A02.000.00	0	1	A3	-	-
4.	Ansamble	motor		F10.	A03.000.00	0	1	A3		
5.	Ansamble	L cap forcespi	nning	F10.	A04.000.00	0	1	A3		
A.1.2	REPERE	PROPRII							-	
1.	Distantier			F10.	000.000.00	1	1	A4		
2.	Placa ghi	daj inferioara		F10.	000.000.003	2	1	A3	-	
3.	Panou fro	ontal cutie	F10.	000.000.000	3	2	A3			
4.	Panou stanga cutie Panou spate cutie				000.000.000	4	2	A3		
5.					000.000.00	5	2	A3	-	
6.	Suport LO	CD		F10.	000.000.000	6	1	A4		
7.	Suport an	diuno-releu		F10.	000.000.00	7	1 A4			
8.	Suport el	ectronica ardii	ino-releu	F10.	000.000.000	8	1	A4		
9.	Placa infe	rioara cutie		F10.	000.000.009	9	1 A3 2 A3		-	
10.	Panou dr	eapta cutie		F10.	000.000.01	0				
11.	Placa ghi	daj superioara	i.	F10.	000.000.01	1	1	A3	1	
12.	Baza sup	ort colectare		F10.	000.000.01	2	1	A4	1	
13.	Disc			F10.	000.000.01	3	1	A4	1	
	1	Projectat:	Ighigeanu	1	Verificat:	Jele	a	-	Material:	Masa pe
		Desenat:	Ighigeanu	0	Aprobat:	Mat			Pag.	
8	INCOEM		F10	000 004	000-BD		Scara:	Data:		
5	REAR LINE		latie for	cespinning			2010			

S.		Fl	0.000.0 alatie f	00.000-BD				Scara:	2018	
		Projectat: Ighigeanu Desenat: Ighigeanu			Verificat: Jele Aprobat: Mat				Material:	Main peak Rag.
					1		-		1	
1	BORDERO	OUL DOCUME forcespioning	NTATIEI	F1	0.000.000.000	)- BD	1	A4		
A.3	BORDER	DU								
A.2	Tema de p	roiectare	F1	0.000.000.000	)	4	A4			
29.	Palnie			F1	0.A04.000.0	03	1	A4		
28.	Capac			F1	0.A04.000.0	02	1	A3		
27.	Baza			F1	0.A04.000.0	01	1	A3		
26.	Placa late	rala motor		F1	0.A03.000.0	05	1	A3		
25.	Roata cu	rea.	F1	0.A03.000.0	04	1	A4			
24.	Ax motor			F1	0.A03.000.0	03	1	A4		
23.	Placa infe	rioara motor	F1	0.A03.000.0	02	1	A3			
22.	Placa sur	perioara motor	F1	0.A03.000.0	01	1	A4			
21.	Roata cui	iea.		F1	0.A02.000.0	04	1	A4		
20.	Ax centrif	uga		F1	0.A02.000.0	03	1	A4		
19.	Suport ax	-rulment		F1	0.A02.000.0	02	1	A4		
18.	Suport ru	lment		F1	0.A02.000.0	01	1	A3		
17.	Profil AI s	uport ax		F1	0.A01.000.0	02	1	A4		
16.	Profil AI a	x		F1	0.A01.000.0	01	1	A3		
15.	Placa sur	erioara cutie		F1	0.000.000.01	15	1	A3		
14.	Profil prin	dere suport c	plectare	F1	0.000.000.0	14	1	A4		

Pag. 2/2

Figura 4. Documentatie de baza (Constructiva)

Act 1.12 - Studiu si optimizare materiale și componente instalație forcespinning (Indicator de rezultat: Definire materiale si componente instalatie forcespinning)



Figura 5. Tabel componente

Pentru o imagine de ansamblu este prezentata in figura . schema 3D a instalatiei. Ansamblul general al instalatiei este prezentat in figura 3. Elementele ce o compun se gasesc in documentatia de baza (figura 4) si tabelul de componente (figura 5). Schema electrica a instalatiei este prezentata in figura 6. In urma stabilirii temei de proiectare si cerintelor sistemului a fost au fost achizitionate din comert toate componentele si materialele necesare urmand ca in etapa urmatoare sa se confectioneze si asambleze componentele instalatiei IFS 10.



Figura 6. Schema electrica a instalatiei IFS 10.

#### <u>Rezultatele</u> acestei etape sunt concretizate prin <u>eleborarea temei de proiectare, proiectul instalatiei si documentatia</u> <u>constructiva</u>, realizandu-se astfel obiectivele etapei 1.

Bibliografie: [1] P. Mellado et al. A simple model for nanofiber formation by rotary jet-spinning, Applied Physics Letters 99, 203107 (2011). [2] K. Lozano and S. Kamalaksha, "Superfine fiber creating spinneret and uses thereof," US 8,721,319 B2, 2014. [3] D. Salamon et al., "Facile method of building hydroxyapatite 3D scaffolds assembled from porous hollow fibers enabling nutrient delivery," Ceram. Int., vol. 40, no. 9 PART B, pp. 14793–14799, 2014.
[4] M. M. Asli et al., "Release Profiles of Tricalcium Phosphate Nanoparticles from Poly(L-lactic acid) Electrospun Scaffolds with Single Component, Core-Sheath, or Porous Fiber Morphologies: Effects on hASC Viability and

Osteogenic Differentiation," Macromol. Biosci., vol. 12, no. 7, pp. 893-900, 2012. [5] H. R. Pant et al., "Fabrication of highly porous poly (e{open}-caprolactone) fibers for novel tissue scaffold via water-bath electrospinning," Colloids Surfaces B Biointerfaces, vol. 88, no. 2, 587–592, 2011.[6] D. E. Mogosanu et al., "Fabrication of 3-dimensional biodegradable microfluidic environments for tissue engineering applications," Mater. Des., vol. 89, pp. 1315–1324, 2016. [7] B. Wang et al., "Porous NiO fibers prepared by electrospinning as high performance anode materials for lithium ion batteries," Electrochem. commun., vol. 23, no. 1, pp. 5–8, 2012.



Act 1.13 - Studiu si configurare instalație debitare cristale (Indicator de rezultat: Instalatie debitare cristale configurată) Instalația de debitare cristale din INCDFM a fost repusă în funcțiune; a fost schimbat discul diamantat, iar instalația a fost realiniată. Precizia de variație a unghiului de tăiere estimată în momentul de față este de 0,2°.

Figura 7. Instalație de debitare cristale la unghiuri variabile.

Act 1.14 - Configurare instalație MBE pentru lucru pe substraturi la T ridicate și depunere razantă (Indicator de rezultat: Buletin de încercări testare T ridicată si depuneri la incidenta razanta)



Figura 8

Figura 9



S-a adaptat manipulatorul de tip CreaTec (temperatură de operare maximă 900 °C) pentru lucrul la temperaturi mai ridicate (Fig. 8). Fig. 9 prezintă mai imagini obținute în timpul încălzirii probelor (Si(111) în principal) până la temperaturi de cca. 1300 °C, măsurate cu pirometrul optic. Fig. 9 prezintă un suport de probe din Mo adaptat pentru fixarea de probe de dimensiunea 5 x 10 mm<sup>2</sup>, astfel încât probele să fie în același plan cu suprafața suportului și deci să se poată efectua depunerea la unghi razant.

# **Proiect 4**

Act 1.15 - Formulare tehnologie Ge(001) cu reconstrucție (2 x 1) – (1 x 2) (Indicator de rezultat: Scheme de operare. Diagrame de flux tehnologic. Imagini LEED exemplu. Spectre XPS standard) Schema logică a tehnologiei este dată în Fig. 1. Pana in prezent, au fost produse cca. 50 de probe, la fiecare efectuându-se între 10 și 40 imagini LEED, 12 spectre XPS. S-au analizat prin STM 3 probe, priducându-se cca. 150 imagini în total. Exemple de rezultate obținute prin LEED, XPS și STM sunt prezentate în Fig. 2.



Figura 1. Secvențele logice ale procedurii de obținere și caracterizare a suprafețelor Ge(001) cu reconstructia  $(2 \times 1) - (1 \times 2)$ .



Figura 2. (a) imagine LEED a unei suprafete Ge(001) cu reconstructia  $(2 \times 1) - (1 \times 2)$ ; (b) spectre XPS Ge 2p; (c) imagine STM pe o arie de 3 x 3 nm<sup>2</sup>. S-au figurat dimerii de suprafata.

# Act 1.16 - Formulare tehnologie Si(111) cu reconstrucție (7 x 7) (Indicator de rezultat: Scheme de operare. Diagrame de flux tehnologic. Imagini LEED exemplu. Spectre XPS standard)

Schema logică a tehnologiei este reprezentată în Fig. 3, iar exemple de rezultate obținute prin LEED, XPS și STM sunt reprezentate în Fig. 4. S-au produs cca. 70 de substraturi, incluzând comenzile pentru IMT, fiecare a fost caracterizată prin LEED (10–25 imagini la energii diferite), XPS (10 spectre fiecare probă), iar 12 probe au fost analizate prin STM, rezultând 599 imagini în total.

Act 1.17 - Formulare tehnologie straturi monocristaline Ag/Si(111) (Indicator de rezultat: Scheme de operare. Diagrame de flux tehnologic. Imagini LEED exemplu. Spectre XPS standard) Am reprezentat și tehnologia de condiționare a instalației MBE în Fig. 5. Fig. 6 reprezintă pașii tehnologici pentru realizarea de depuneri metalice pe substraturi de Si(111). Această tehnologie se bazează pe tehnologia descrisă la paragraful precedent. S-au reprezentat rezultate obținute pe straturi de Ag(111) sintetizate pe Si(111): LEED (Fig. 7), XPS (Fig. 8) și STM (Fig. 9). S-au realizat cca. 12 probe, fiecare cu 9 pași de depunere, toate fiind analizate prin XPS (6 spectre) și LEED (10 – 15 energii cinetice diferite). 3 probe au fost analizate prin STM, rezultând 68 de imagini diferite. O parte din rezultate vor fi publicate în Applied Surface Science.



Figura 3. Secvențele logice ale procedurii de obținere și caracterizare a suprafețelor Si(111) 7 x 7.



Figura 4. (a) imagine LEED a unei suprafete Si(111) cu reconstructia 7 x 7; (b) spectre XPS Si 2p; (c) imagine STM pe o arie de  $10 \times 10 \text{ nm}^2$ . S-a figurat o celula elementara de suprafata cu 7 x 7 atomi.

# Act 1.18 - Formulare tehnologie Si(111) pasivat cu hidrogen (Indicator de rezultat: Scheme de operare. Diagrame de flux tehnologic. Imagini LEED exemplu. Spectre XPS standard)

Această tehnologie este similară cu aceea de obținere a Si(111) cu reconstrucție 7 x 7. În plus, după obținerea reconstrucției 7 x 7, proba este tratată cu hidrogen molecular (P = 2 x  $10^{-8}$  mbar) în prezența unui filament de W-Re încălzit la cca. 2700 °C, pentru discocierea hidrogenului. După 10 minute de tratament, imaginile LEED arată dispariția reconstrucției 7 x 7, numai reconstrucția 1 x 1 mai este vizibilă (similară cu imaginile Ag(111) reprezentate în Fig. 7(I)). Spectrele XPS prezintă componenta principală a Si 2p la 99,5 eV și sunt destul de similare cu acelea din Fig. 4(b), doar componenta datorată adatomilor dispare, întrucât legăturile nesatisfăcute ale acestora vor fi saturate cu hidrogen. Imaginile STM au prezentat reconstrucții 1 x 1 (Fig. 10)

Un rezultat neașteptat s-a obținut atunci când o probă care avea pre-depus un strat de Ag(111) a fost supusă tratamentului cu hidrogen atomic. S-a constatat că argintul a "dispărut" de pe suprafață, iar spectrele XPS ale Si 2p prezentau un aspect similar cu al Si(111) hidrogenat. Așadar, hidrogenul substituie metalul de pe suprafață. S-au efectuat și testări ale stabilității suprafețelor Si(111) hidrogenat. Anumite probe au fost extrase din instalație, lăsate la presiune atmosferică pe durate între 5 min. și o zi, apoi reintroduse pentru analiză. Spectrele XPS au arătat o creștere nesemnifcativă a contaminării (sub 5 %), însă nu există niciun fel de siliciu oxidat, iar spectrul Si 2p este același ca înainte de expunerea la atmosferă.





Figura 6. Tehnologia pentru depunerea prin MBE a metalelor pe substraturi atomic curate Si(111) 7 x 7.

Figura 7. Imagini LEED la depunerea Ag pe Si(111)

**(I)** 

(k)



Figura 8. Spectre XPS ale nivelurilor Si 2p și Ag 4s (a), Si 2s (b) și Ag 3d (c) obținute la o depunere secvențială de Ag pe Si(111).





Figura 10. Imagini STM cu rezoluție atomică obținute pe Si(111) hidrogenat.

Figura 9. Imagini STM obținute pe Si(111), 50 x 50 nm<sup>2</sup> (a), pe Ag(111) la aceeași scară (b), pe Ag(111) la scară de 3 x 3 nm2, precum și profilele topografice obținute de-a lungul liniilor din (b).

# Act 1.19 - Formulare tehnologie $Pb(Zr,Ti)O_3(001)$ atomic curat (Indicator de rezultat: Scheme de operare. Diagrame de flux tehnologic. Imagini LEED exemplu. Spectre XPS standard)

Procedura este schematizată în Fig. 11, exemple de imagini LEED și spectre XPS indicând evoluția cu procedura de curățare sunt date în Fig. 12, iar imagini STM în Fig. 13. S-au sintetizat 6 serii de probe, pentru fiecare efectuându-se 21 – 28 spectre XPS, 12 – 20 imagini LEED, iar în total s-au acumulat 353 imagini STM. O parte din rezultate au fost publicate în Physical Review Applied.

Act 1.20 - Sinteză tehnologii de laborator în domeniul suprafețelor atomic curate (Indicator de rezultat: Ghid editat, multiplicat, livrat comunitatii stiintifice) Ghidul este accesibil la adresa web a proiectului.







1s; (f) exemplu de imagine LEED.



PZT(001) scara 100

nm; 50 nm; 10 nm.

Figura 11. Tehnologie obtinere PZT(001) atomic curat.



(Indicator de rezultat: Desene de ansamblu. Desene repere.) Sistemul este format dintr-o piesă de polare formată dintr- o pastilă de Cu electro-

polisată la cel mai înalt grad (N1, rugozitate RMS < 25 nm), pe care s-a depus un strat izolator de titanat de stronțiu prin PLD (Fig. 14). Proba pentru realizarea măsurătorilor electrice in situ are depuneri schematizate în Fig. 15. Fig. 16 prezintă un exemplu de montaj experimental.

## **Project 5**

# Act 1.22 - Modelarea numerică a tehnologiei Bridgman de crestere a monocristalelor de fluoruri (Indicator de rezultat: Model numeric validat)

Pentru a studia influenta pe care forma rezistentei si puterea aplicată o au asupra interfetei de solidificare si asupra gradientului axial de temperatură s-a realizat o simulare numerică globală a instalației de tip Bridgman ce se găsește în Laboratorul de Creștere a Cristalelor din cadrul Facultății de Fizică a Universității de Vest din Timișoara. Modelările numerice au fost realizate cu programul de simulare CrysMAS. Schema instalației utilizate în modelul numeric este prezentată în Figura 1(a).



**Figura 1.** (a)Reprezentarea schematică a instalației de tip Bridgman; (b) distributia temperaturii (cazul 1); (c) distributia temperaturii cazul 2.

Au fost luate in considerare doua tipuri de geometrii ale rezistentei : una profilata – cazul 1- (fig.1b) si una cilindrica – cazul 2- (fig.1c).



**Figura 2**. Gradientul de temperatură axial pentru cele două cazuri cu aceeași putere fixată pe rezistență (5kW)

Simulările efectuate au indicat că forma rezistenței are o influență atât asupra pozitiei interfeței de solidificare cât și asupra gradientului de temperatură axial. Astfel, pentru aceeasi pozitie a creuzetului pozitia interfetei de cristalizare este mult inferioara in cazul 2 comparativ cu cazul 1. In acelasi timp, gradientul de temperatura in cristal, in apropierea interfetei de cristalizare este mult mai mare pentru rezistenta cilindrica (~33K/cm) decat pentru cea profilata(~15K/cm). Gradientul de 15K/cm este mai favorabil obtinerii unor cristale de o calitate superioara, ceea ce indica necesitatea profilarii rezistentei de grafit, chiar daca costurile de fabricatie sunt mai ridicate.

# Act 1.23 - Modelarea numerică a tehnologiei EFG de creștere a monocristalelor de safir (Indicator de rezultat: Model numeric validat)

Metoda EFG (Edge Defined Film-Fed Growth) constă în topirea materiei prime într-un creuzet in care este inserat un generator de forma cu un tub capilar și apoi tragerea verticală a cristalului cu ajutorul unei samanțe. Un fenomen important care are loc la nivelul meniscului este convecția Marangoni sau convecția termocapilară: tensiunea superficială variază cu temperatura și aceasta dă naștere unui vortex la marginea liberă a meniscului (vezi mai jos). Instalația EFG folosită la Universitatea de Vest din Timișoara folosește pentru încălzire rezistențe de grafit, ceea ce necesită vidarea instalației. Creuzetul cu generatorul de formă (din molibden ambele) și încălzitoarele se află într-un clopot de oțel al cărui exterior este ținut la temperatura camerei cu ajutorul apei. În clopot se realizează un vid înalt prin intermediul unei pompe de difuzie, după care se trece curent prin rezistențele de grafit, acestea încălzind și topind materia primă (de obicei safir, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Apoi cu ajutorul unui motor se realizează contactul dintre sămânță și menisc (de asemenea în vid în interiorul clopotului) și apoi se începe tragerea. Programul ANSYS Fluent a fost folosit pentru modelarea proceselor din creuzet si menisc. Geometria constă din două corpuri, un solid și un lichid (fig.1.). Solidul este generatorul de formă din molibden, iar lichidul este topitura de safir. Pentru a optimiza procesul am analizat în ce măsură se modifică curgerea și distribuția de impurități dacă se adaugă o placă de molibden în partea de jos a creuzetului, chiar deasupra găurii prin care topitura pătrunde în capilar.



Figura 1: a) Cotele geometriei în general. b) Cotele părții de sus a generatorului de formă, care conține meniscul

Proprietatea	Safir (lichid)	Molibden (solid)
Densitate (kg·m <sup>-3</sup> )	5543.16 - 1.08 · T(K)	10220
Conductivitate termică (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	2.05	138
Căldură specifică (J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	1260	277
Punct de topire (K)	2327	-
Vâscozitate (Pa·s)	0.03	-
Căldură latentă (J·kg <sup>-1</sup> )	1407000	-
Coeficient Marangoni (N·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	-3.5.10-5	-

În tabelul de mai jos sunt prezentate constantele de material folosite:

Conditiile pe frontieră au fost impuse astfel încât să se apropie cât mai mult de situatia reală. În partea de sus a meniscului (adică la interfata de solidificare), avem o conditie de viteză verticală (pe axa z) egală cu 1.8 mm/min. Pentru a compensa pierderea de masă prin suprafata de solidificare vom adăuga continuu (conditie mass inflow) 1.14·10<sup>-6</sup> kg/s în partea superioară a masei topiturii. Toți pereții prezintă condiția no-slip pentru viteză. Pe marginea exterioară (cea curbată) a meniscului a fost fixată o conditie de tip Marangoni, adică termenul tensiunilor din ecuatiile Navier-Stokes este dedus la suprafață pe baza coeficientului Marangoni al safirului și a gradientului termic. Gradientul termic pe peretii creuzetului este fixat la 2K/mm pe peretii creuzetului, 5K/mm de-a lungul părtii generatorului de formă aflată deasupra topiturii, 50K/mm de-a lungul meniscului. La baza creuzetului, temperatura este de 2422 K, la suprafata liberă a topiturii, 2372 K, la baza meniscului, 2342 K, iar la suprafata de solidificare. 2327 K, punctul de topire/solidificare al safirului. Pentru concentrație am setat o valoare (arbitrară) de 100 la suprafata liberă a topiturii și un flux în afara domeniului la interfata de solidificare egal cu viteza de tragere înmultită cu unu minus coeficientul de segregare (am folosit valoarea 0.2) înmulțită cu concentrația:  $\phi = -v_t (1-k) \cdot c$ . Coeficientul de difuzie a avut valoarea de  $2.4 \cdot 10^{-9}$ . Pentru început s-a realizat o simulare steady-state a procesului din creuzetul fără placa orizontală. Rezultatele pot fi observate în imaginile de mai jos. Se observă dezvoltarea în masa fluidului, a unei structuri de curgere tridimensionale datorate diferentei de temperatură între partea inferioară a creuzetului și cea superioară. Viteza maximă se găseste în jurul valorii de 7 mm/s. În menisc se observă formarea vortecsilor la marginea acestuia, datorati convectiei Marangoni, cu o viteză maximă în jurul valorii de 1.5 mm/s. De asemenea, concentrația este mai mare în zona exterioară a meniscului, impuritățile fiind captate acolo de vortecșii Marangoni. Valoarea maximă a concentrației este de 100.56 (de reținut că valoarea fixată a acesteia pe suprafața liberă a topiturii a fost 100). Totodată, se observă o distribuție uniformă a impurităților în masa lichidului odată cu atingerea condițiilor de echilibru.



Figura 2: a) Câmpul termic în masa fluidului și în shaper. b) Câmpul de viteză în masa fluidului. c) Câmpul de concentrație de impurități în masa fluidului, secțiune. d) Câmpul de viteză în menisc, secțiune. e) Câmpul de concentrație în menisc.



Figura 6: a) Câmpul termic în masa fluidului și în shaper, văzut în secțiune. b) Câmpul de viteză în masa fluidului, secțiune. c) Câmpul de concentrație de impurități în masa fluidului, secțiune. d) Câmpul de viteză în menisc, secțiune. e) Câmpul de concentrație în menisc.

În final, a fost realizata o simulare de tip steady-state pentru cazul creuzetului cu o placă orizontală așezată în acesta. Geometria și rețeaua au fost singurele lucruri modificate, condițiile pe frontieră rămânând aceleași. Se observă că structura de curgere este acum prezentă doar deasupra plăcii, care blochează sub ea fluid cu o temperatură mare. Viteza maximă a fluidului în masa sa este de aproximativ 5 mm/s în acest caz. Viteza vortecșilor din menisc nu este influențată de placă, ei fiind datorați gradientului termic, acesta fiind constant între cele două simulări.

Se observă însă faptul că maximul concentrației este mai mic decât în primul caz (100.47 vs 100.56) ceea ce ar putea sugera faptul că plasarea unei plăci de molibden în partea de jos a creuzetului ar putea duce la îmbunătățirea cristalelor de safir crescute prin tehnica EFG prin reducerea concentrației de impurități.

# Act 1.24 - Modelarea numerică a tehnologiei Bridgman-Stockbarger de creștere a monocristalelor organice (Indicator de rezultat: Model numeric validat)

**Introducere**. Solidele organice sunt o clasa de materiale cu potential crescut pentru a fi utilizate in fabricarea dispozitivelor optice neliniare si electro-optice. Neliniaritatile proprietatilor optice ale acestor materiale se bazeaza pe particularitatile unitatilor moleculare componente care contin electroni  $\pi$  puternic delocalizati si pe existenta unor grupe donoare/acceptoare de electroni, situate in pozitii opuse ale moleculelor. Pentru majoritatea aplicatiilor optice, materialele trebuie sa fie sub forma de monocristal fiind caracterizare de o puritate ridicata si o densitate scazută de defecte structurale, chimice, etc. Pentru obtinerea monocristalelor organice se pot folosi metode de crestere din solutie, topitura sau faza de vapori, in functie de tipul de compus organic si caracteristicile lui (puritate, stabilitate

termica si chimica generala, temperatura de topire, etc.). Orice material care se topeste fara descompunere chimica, poate fi folosit pentru a creste cristale din topitura. Desi compusii organici au tendinta de a prezenta supraracire, in special cei cu structuri moleculare complexe, cristalizarea lor din topitura se poate realiza prin racire sau prin folosirea unui germene.

<u>Metoda Bridgman-Stockbarger si factorii care afecteaza cresterea cristalelor din topitura.</u> Cristalele organice sunt mult mai greu de crescut decat cristalele anorganice, datorita supraracirii si a conductivitatii termice scazute. Metoda Bridgman-Stockbarger [1, 2] asigura initierea nucleatiei și propagarea cristalizarii in intregul al topiturii. Principalii factori care influenteaza procesul de crestere a cristalelor prin aceasta metoda sunt: gravitatia, regimul termic si viteza de deplasare a incintei de crestere. Principalul efect al gravitatiei consta in aparitia convectiei ascensionale care influenteaza stabilitatea morfologica a interfetei de crestere. Convectia poate fi redusa in configuratia Bridgman prin utilizarea unor fiole de diametru mic (<10 mm).

În acest proces, transferul de caldură este determinant pentru forma interfeței de creștere solid-lichid care este corelata cu calitatea cristalului crescut. Forma macroscopica a interfetei topitura-solid este influentata de conditiile in care are loc cresterea. Aceste conditii trebuie sa fie apropiate de cele care caracterizeaza "starea stationara". Cele mai bune conditii de crestere sunt descrise de o temperatura uniforma în sectiunea cuptorului (fara variatii radiale), un gradient de temperatura vertical cât mai abrupt si o viteza de deplasare a interfetei cat mai mica. Pentru a asigura un gradient abrupt a fost realizata o configuratie experimentala incluzand un cuptor cu doua zone de temperatura intre care exista un gradienta asigurat prin varierea pasului infasurarii (Fig. 7). Se obtine astfel o forma bine definita a interfetei solid-topitura apropiata de cea plana, caracterizata de o raza de curbura cat mai mica, tensiunile termice care pot genera defecte fiind minime.

Pentru a se asigura o deflexie (diferenta dintre localizarea interfetei in centrul fiolei si la marginea acesteia) scazuta, adica pentru o deviere mica de la planeitate a interfetei, este necesar sa se utilizeze fiole dintr-un material cu conductivitate termica scazuta. In configuratia Bridgman verticala, morfologia interfetei de crestere este convexa inspre topitura prezentand deflexii la interfață. Forma interfetei este determinata de doi factori: a) conductivitatea termica scazuta a compusului organic, in comparatie cu cea a materialului fiolei ducand la o variatie radiala semnificativa de temperatura; b) pierderile radiative mari la interfață este afectată de lungimea zonei de gradient, prin creșterea acesteia putandu-se reduce deflexia la interfață.

Combinația dintre supraracirea mare corelata cu tendinta la fatetare favorizata de aceasta, manifestata in procesul de crestere a cristalului si caldurile latente de topire ridicate, specifice compusilor organici, duce la dificultati in mentinerea unor conditii de crestere cat mai apropiate de echilibru, care sa favorizeze mentinerea interfetei solid-lichid cat mai aproape de planeitate. In cazul gradientului mare impus de supraracire, interfata se deplaseaza usor spre zona rece, conducand spre o interfata convexa (Fig. 8) care asigura o buna selectie a germenului de crestere.

In proiectarea si realizarea instalatiei Bridgman-Stockbarger pentru cristalogeneza compusilor organici trebuie sa se tina cont de urmatoarele aspecte: 1) temperatura de topire a materialului; 2) controlul riguros al temperaturii; 3) evitarea pierderilor termice; 4) gradient mare de temperatura intre cele doua zone; 5) viteza mica de deplasarea fiolei in cuptor; 6) incinta de crestere cu diametru mic dintr-un material la care sa nu adere cristalul; 7) configuratie a incintei de crestere care sa favorizeze nucleatia (varf conic, zona ingustata pentru selectia directiei de crestere). Stabilitatea termica pe termen lung a materialului topit este foarte importanta, deoarece perioada de crestere este lunga (de câteva zile).

Au fost efectuate experimentari preliminare de cristalizare a unor compusi aromatici si a unor derivati aromatici substituiti de tipul: naftalina (Nf), meta-dinitrobenzen (m-DNB), benzil (Bz). Pentru cristalizarea compusilor organici s-a utilizat o instalatie Bridgman-Stockbarger cu doua zone termice intre care se asigura gradientul de temperatura necesar.

<u>Modelarea numerica a tehnologiei Bridgman-Stockbarger de crestere a monocristalelor organice.</u> Abordarea din punct de vedere teoretic a procesului de crestere a cristalelor implica doua aspecte: 1) analiza regimului termic (problema transferului termic consta în determinarea câmpului de temperatura în cristal, în conditii externe date (dispozitive de încalzire, ecrane termice, etc. ); 2) studierea mecanismului de cristalizare (problema procesului de cristalizare presupune studierea formei si stabilitatii interfetei solid-topitura).



Alegerea conditiilor celor mai potrivite este dificila deoarece trebuie urmariti mai multi factori cu actiune contradictorie. Pe de o parte aparitia tensiunilor poate fi preîntâmpinata prin folosirea unor gradienti termici mai mici. Pe de alta parte, gradientii mari sunt absolut necesari pentru a compensa efectele supraracirii.



Dificultatea consta în a gasi conditiile optime de creștere, ca un compromis între cele doua extreme. Diferiti derivati aromatici de puritate ridicata au fost cristalizati in conditii experimentale specifice, folosind o configuratie speciala de fiola pentru a initia si selecta directia de crestere. In cazul materialelor investigate, prezentand

entalpii de topire mari se estimeaza valori mari ale raportului ( $\Delta_t H/kT_t$  unde  $\Delta_t H$ =caldura latenta de topire, k=constanta Boltzmann si T<sub>t</sub>=temperatura de topire): 4,6x10<sup>24</sup> mol<sup>-1</sup> pentru benzil, 3,5x10<sup>24</sup> mol<sup>-1</sup> pentru metadinitrobenzen si 4,02x10<sup>24</sup> mol<sup>-1</sup> pentru Nf). Deoarece necesita compensarea unor supraraciri ridicate, in special pentru Bz si Nf, este favorizata morfologia de crestere fatetata.

<u>1) Modelarea regimului termic</u>: Rezultate preliminare legate de modelarea regimului termic au fost realizate utilizand programul 'Fluent' [4]. In cadrul acestui proiect s-a incercat o alta abordare, utilizand programul COMSOL Multiphysics, folosind ecuatiile de transfer termic generice [4]. Pentru simplitate, modelul a fost realizat folosind ca substanta organica naftalina, deoarece sunt cunoscuti din literatura toti parametrii (pentru faza lichida si faza solida) necesari simularii. In cazul parametrilor legati de caracteristicile instalatiei Bridgmann Stockbarger s-au utilizat datele reale.

*1	Property	Name	Value	Unit	Property group		-11	Property	Name	Value	Unit	Property group
$\checkmark$	Heat capacity at constant pressure	Ср	213*(1/0.128)	J/(kg·K)	Basic		$\checkmark$	Heat capacity at constant pressure	Ср	196*(1/0.128)	J/(kg·K)	Basic
$\checkmark$	Density	rho	1025	kg/m²	Basic		$\checkmark$	Density	rho	1275.5-0.83*T	kg/m³	Basic
	Thermal conductivity	k	0.122	W/(m·K)	Basic		$\checkmark$	Thermal conductivity	k	0.1052	W/(m-K)	Basic
$\checkmark$	Ratio of specific heats	gamma	1	1	Basic	SOIID		Ratio of specific heats	gamma	1	1	Basic IICNIC

Au fost realizate primele simulari (Fig. 9) legate de modelarea regimului termic, mai exact de modul in care se topeste substanta in functie de temperatura (tensiunea aplicata pe infasurarea cuptorului). Rezultatele sunt concludente pentru situatia in care regimul termic este monitorizat cu ajutorul a 2 termocupluri pozitionate unul in contact cu peretele de sticla al fiolei (realitate) si unul in interiorul ei (simulare) (Fig. 10).



Fig.9. Modelarea regimului termic (a) in interiorul fiolei si (b) in interiorul cuptorului si fiolei

Se traseaza curbele de variatie a temperaturii in timp (Fig.10), curba de temperatura data de termocuplul situat in interiorul fiolei prezentand un asa-numit prag. Acest prag se manifesta in momentul in care substanta organica (ex. naftalina) trece de la faza lichida la cea solida (Fig.11).





Fig.10. Curbele de temperatura in functie de timp

Fig.11. Simularea transformarii de faza (trecerea de la faza solida-lichida-solida)

<u>2) Modelarea procesului de cristalizare</u>. Procesele de cristalizare sunt procese heterogene, toate problemele de cresteri de cristale fiind de tip Stefan [5]. Aceste procese implica fenomene de transport, descrise de ecuatii diferentiale de difuzie asociate cu o interfata mobila. Problema Stefan conventionala pe care am abordat-o in aceasta modelare presupune cunoscute forma interfetei (plana) si temperatura la interfata de crestere si a permis evaluarea vitezei de deplasare a interfetei. In cazul sistemului nostru Bridgman-Stockbarger aplicam problema Stefan cu o forma plana a interfetei, pentru Bz pur, a carui topitura este mentinuta la o temperatuta mult mai scazuta decat temperatura de topire  $T_{\infty} \leq T_{t}$ , pentru a compensa supraracirea materialului.

Din ecuatiile pentru conductia de caldura si aceea de continuitate la interfata se obtine urmatoarea relatie pentru "constanta de crestere",  $\alpha$ :  $\alpha \exp(\alpha^2) erfc(\alpha) = (T_t - T_{\infty}) \cdot c_L / \Delta_t H \pi^{1/2}$  unde  $c_L$ =caldura specifica a compusului organic in stare lichida,  $\Delta_t$ H=caldura latenta de topire iar  $T_t$ - $T_{\infty}$ = $\Delta T$  este gradientul la interfata. A fost studiata dependenta specifica a lui  $\alpha$  de  $\Delta T$  (Fig.12-13). Se observa ca  $\alpha$  creste putin pentru valori mici ale gradientului termic pentru ca dupa a anumita valoare a acestuia cresterea constantei de crestere sa fie foarte abrupta. Astfel, a) cristalul ajunge la o grosime de 5 mm in ~3 h pentru  $\Delta T$ =10 °C, sau dupa o crestere de 48 h cristalul are o grosime de 1,5 cm; b) pentru  $\Delta T$ =25°C, o grosime de cristal 5 mm este atinsa in ~20min, iar in 48 h se obtine o grosime de cristal de 5 cm.



Dezvoltand si adaptand rezultate preliminare anterioare [6], s-a efectuat un studiu asupra stabilitatii interfetei solidtopitura si a conditiilor de initiere a instabilitatilor in sistem. Folosind criteriul de stabilitate Mullins-Sekerka [7] s-a obtinut o relatie intre unele constante de material ( $\rho_t$ ,  $k_t$ ,  $k_s$ ,  $\Delta_f$ H), gradientul de concentratie la interfata ( $\Delta$ C) si panta curbei lichidus care determina punctul de topire (m) pe de o parte si gradiwentul termic ( $\Delta$ T) sau viteza de deplasare (v) pe de alta parte:  $a \ge b(2\Delta T + \Delta C \cdot m)$ , unde  $a=v\rho_t\Delta_f$ H si  $b=k_t-k_s$  cu  $\rho_t=$ densitatea topiturii,  $k_t$  si  $k_s=$ conductivitatile termice ale topiturii si cristalului,  $\Delta_t$ H=caldura latenta de topire. Aceste curbe pentru v=const. respectiv  $\Delta$ T=const. stabilesc zonele de crestere stabila/instabila si identifica conditiile de aparitie a instabilitatilor in sistem.



**Rezultate.** Interpretari. In cazul cristalizarii din topitura a m-DNB-ului, aria de crestere stabila nu este afectata semnificativ de cresterea vitezei de deplasare a fiolei, v. Aria zonei de crestere stabila creste odata cu cresterea diferentei de temperatura,  $\Delta T$  (Fig.14). In cazul cristalizarii din topitura a benzilului, o crestere in viteza de deplasare a fiolei, v, nu afecteaza in mod semnificativ aria corespunzatoarea cresterii in conditii de stabilitate a interfetei. Aria zonei de crestere stabila poate fi crescuta in mod semnificativ pentru o viteza de deplasare v, crescand diferenta de temperatura,  $\Delta T$ .

A fost testat modelul propus pe trei tipuri de compusi din care s-au crescut cristale in configuratia mentionata. S-a obtinut o buna concordanta intre valorile vitezei de cristalizare rezultate prin aplicarea acestui model si valorile folosite in experimentarile preliminare de cristalizare. Aplicand modelul pentru Bz se obtine o viteza de crestere de 1,37 mm/h pentru  $\Delta T=5$  °C, rata fiind situata in domeniul valorilor experimentale utilizate pentru cresterea cristalului. La o dublare a gradientul termic,  $\Delta T = 10$  °C, viteza devine v=2,5 mm/h. Pentru m-DNB viteza de crestere a cristalului pentru un  $\Delta T=5$  °C este v=1,8 mm/h, foarte apropiata de aceea folosita experimental pentru cresterea cristalului cuprinsa intre 1,5 si 2 mm/h. La o dublare a gradientul termic,  $\Delta T = 10$  °C, viteza de crestere a cristalului la  $\Delta T=5$  °C este v=1,4 mm/h. Daca crestem gradientul la  $\Delta T=10$  °C, viteza se dublează si devine apropiata de aceea folosita experimental v=3.55 mm/h. Pentru Nf, viteza de crestere a cristalului la  $\Delta T=5$  °C este v=1,4 mm/h. Daca crestem gradientul termic este mai abrupt se poate folosi o viteza de tragere a fiolei mai mare fara a afecta cresterea in conditii de stabilitate a interfetei.

<u>Concluzii: Modelarea numerica a tehnologiei Bridgman-Stockbarger</u> de crestere a monocristalelor organice a implicat 2 aspecte: 1) modelarea regimului termic care a fost realizata cu programul COMSOL Multiphysics; 2) modelarea procesului de crestere la interfata care implica rezolvarea problemei Stefan conventionale si utilizarea criteriului de stabilitate Mullins-Sekerka. Modelarea regimului termic si a procesului de crestere la interfata a permis identificarea conditiilor termice optime pentru a contracara efectul supraracirii si a conductibilitatii termice scazute care caracterizeaza compusii organici, in vederea obtinerii unor cristale de calitate Au fost identificate zonele caracterizate de o interfata de crestere stabila in functie de valoarea gradientului si a vitezei de deplasare. A fost evaluata constanta de crestere si studiata influenta gradientului termic asupra acesteia.

<u>In validarea modelelor</u> au fost folosite date experimentale obtinute in configuratia Bridgman-Stockbarger utilizata in realizarea unor experimentari preliminare de crestere a cristalelor de benzil, meta-dinitrobenzen si naftalina. Valorile vitezei de crestere obtinute prin modelare au fost in concordanta cu acelea folosite in experimentari.

<u>Planul de optimizare a instalatiei Bridgman-Stockbarger pentru cristale organice</u> presupune: a) imbunatatirea controlului asupra gradientului termic dintre cele doua zone ale cuptorului, prin controlul pasului infasurarii acestuia, in vederea asigurarii unui gradient termic cat mai abrupt (>10 °C) intre cele doua pozitii ale fiolei de crestere (1. zona de topire si 2. zona de initiere a nucleatiei) si 2) perfectionarea sistemului mecanic de deplasare a fiolei in cuptor pentru a asigura o viteza de deplasare a interfetei cat mai mica, de ordinul mm/h.

## **Bibliografie**:

1. BRIDGMAN P.W.: (1925) Proc. Am. Acad. Arts. Sci., vol. 60, p.303;

2. STOCKBARGER D. C.: (1949) Disc. Faraday Soc. , vol. 5, p.224, 299;

3. KARL N.: (1980) "*High Purity Organic Molecular Crystals*" in "Cryst. Growth, Properties and Applications", Springer-Verlag, Berlin;

4. BARVINSCHI F., STANCULESCU A., STANCULESCU F.: (2011) J. Cryst. Growth vol. 317, p. 23;

- 5. STEFAN J. :(1891), Ann. Phys. Chem. (n.F. 42), p. 269;
- 6. SEKERKA R. F.: (1993), J. Cryst. Growth, vol. 128, p. 1;

7. STANCULESCU A.: (2007), J. Optoelectr. Adv. Mat. vol. 9, p. 1329.

Diseminare (pagina web: http://infim.ro/project/vardimtech/):

### Articole in reviste cotate ISI:

Polarization orientation in lead zirco-titanate (001) thin films driven by the interface with the substrate, L.C. Tănase, L.E. Abramiuc, D.G. Popescu, A.-M. Trandafir, N.G. Apostol, I.C. Bucur, L. Hrib, L. Pintilie, I. Pasuk, L. Trupină, C.M. Teodorescu, Phys. Rev. Applied 10, 034020(1-19) (2018).
 Room temperature ferromagnetism and its correlation to ferroelectricity of manganese embedded in lead zirco-titanate, I.C. Bucur, N.G. Apostol, L.E. Abramiuc, L.C. Tănase, C.A. Tache, G.A. Lungu, R.M. Costescu, C.F. Chirilă, L. Trupină, L. Pintilie, C.M. Teodorescu\*, Thin Solid Films, accepted (2018). DOI: 10.1016/j.tsf.2018.11.018.

3. Growth of Ag(111) on Si(111) with nearly flat band and abrupt interface, A.E. Bocîrnea, R.M. Costescu, N.G. Apostol, C.M. Teodorescu, Appl. Surf. Sci., resubmitted with minor revision (2018).

4. Memory capacitor with Ge nanoparticles in HfO<sub>2</sub> for ionising radiation dosimetry, C. Palade, A. Slav, A.M. Lepadatu, I. Stavarache, I. Dascalescu, T. Stoica, V.S. Teodorescu, M.L. Ciurea, S. Lazanu, to be submitted at Adv. Mat. Interf. (2018).

#### Prezentari la conferinte internationale:

1. I.C. Bucur, L.C. Tănase, L.E. Abramiuc, D.G. Popescu, N.G. Apostol, M.A. Huşanu, G.A. Lungu, C.F. Chirilă, L.M. Hrib, L. Pintilie, A. Barinov, and C.M. Teodorescu, Photoelectron spectroscopy and spectro-microscopy techniques in studies of surfaces of ferroelectric materials, Sixth European Conference on Crystal Growth, September 16–20, 2018, Varna, Bulgaria (invited talk).

D.G. Popescu, M.A. Husanu, Spectroscopic signature of depletion state in buried hole-doped manganite, The 6<sup>th</sup> International Colloquium "Physics of Materials", November 15–16, 2018, Bucharest, Romania (invited talk).
 M.A. Husanu, D.G. Popescu, Band bending at Au/BaTiO3 and Cu/BaTiO3 interfaces investigated by XPS, The 6<sup>th</sup>

 M.A. Husanu, D.G. Popescu, Band bending at Au/BariO3 and Cu/BariO3 interfaces investigated by XPS, The B International Colloquium "Physics of Materials", November 15–16, 2018, Bucharest, Romania (poster).
 A. Cordos, A. Popescu, D. Vizman, R. Negrila, Scale-up effects in directional solidification of silicon under the combined influence of electrical current and magnetic field, 6<sup>th</sup> European Conference on Crystal Growth, September 16–20, 2018, Varna, Bulgaria (poster).

5. I. Nicoara, M. Stef, S. Arjoca, C. Negut, D. Vizman, Influence of growth conditions on the optical properties of gamma irradiated BaF<sub>2</sub> crystals, 6th European Conference on Crystal Growth, September 16–20, 2018, Varna, Bulgaria (poster).

6. D. Vizman, Multiscale Modeling of Crystal Growth, 2<sup>nd</sup> European School on Crystal Growth, September 13–16, 2018, Varna, Bulgaria (invited talk).

7. D. Vizman, Control of Melt Convection Using Magnetic Fields, 10<sup>th</sup> Jubilee Conference of the Balkan Physical Union, August 26–30, 2018, Sofia, Bulgaria (oral).

8. A. Popescu, M. Bellmann, D. Vizman, 3D Numerical Studies of Thermal Convection and Impurities Transport in a Czochralski Process for Solar Silicon Growth, 9<sup>th</sup> International Workshop on Modelling in Crystal Growth, October 21–24, 2018, Kona, USA (oral).

9. S. Arjoca, O. Puscas, M. Stef and D. Vizman, Influence of Growth Conditions on the Structural Defects-Dislocations of YbF3 doped CaF<sub>2</sub> Crystals, TIM18 Physics Conference, May 24–26, 2018, Timisoara, Romania (poster).

10. C. C. Negrila, S. L. Iconaru, M. Motelica-Heino, Regis Guegan, G. Predoi, F. Barbuceanu, R. V. Ghita, C. C. Petre, G. Jiga, M. L. Badea, A. M. Prodan, D. Predoi, Commercial hydroxyapatite powders for lead removal from aqueous solution, 9<sup>th</sup> International Conference on Times of Polymers and Composites-From Aerospace to Nanotechnology, June 17-21, 2018, Ischia, Naples, Italy (poster).

11. R.V. Ghita, D. Predoi, S.L. Iconaru, Titanium, GaSb and GaAs substrates in biomaterial coating application, EMN Greece Meeting, May 14-18, 2018, Heraklion, Crete (invited talk).

12. C.C. Negrila, S.L. Iconaru, A. Groza, R.V. Ghita, C.M. Chifiriuc, P. Chapon, S. Gaiaschi, D. Predoi, Structural and biological characterization of antimicrobial layers obtained by magnetron sputtering technique, EMN Greece Meeting, May 14–18, 2018, Heraklion, Crete (poster).

13. R. Ivan, C. Popescu, A. Perez del Pino, C. Logofatu, E. György, Reduced graphene oxide/transition metal oxide/ urea composite materials for photocatalytic degradation of organic pollutants in aqueous medium, 7th International Symposium on Transparent Conductive Materials – TCM 2018, October 14–19, 2018, Platanias – Chania, Crete, Greece (poster).

14. M. Florea, G. Postole, F. Matei-Rutkovska, A. Urda, F. Neaţu, L. Massin, P. Gelin, Steam reforming of methane in the presence of H<sub>2</sub>S on doped ceria materials, 4th International Conference on Advanced Complex Inorganic NanoMaterials (ACIN2018), July 14–21, 2018, Namur, Belgium (poster).

15. M. Florea, F Neatu, S. Neatu, A. Urda, F. Matei-Rutkovska, G. Postole, L. Massin, P. Gelin, Doped ceria materials prepared by modified precipitation route for fuel cells fed with biogas, 7<sup>th</sup> EuCheMS Chemistry Conference, August 26–30, 2018, Liverpool, UK (oral).

16. M. Florea, F. Neatu, S. Neatu, C. Mozaceanu, S. Derbali, C. Bartha, L. N. Leonat, A. G. Tomulescu, V. Stancu, V. Toma, I. Pintilie, Synthesis and properties of  $C_3N_2H_5PbI_3$  powders as precursors for hybride perovskite based solar cells, 7<sup>th</sup> EuCheMS Chemistry Conference, August 26–30, 2018, Liverpool, UK (poster).

17. F. Neatu, M. Trandafir, S. Neațu, M. Florea, Selective oxidation of aromatic hydrocarbons in the presence of heterogeneous Mn and Co-based catalysts, 7<sup>th</sup> EuCheMS Chemistry Conference, August 26–30, 2018, Liverpool, UK (poster).

18. S. Neatu, F. Neatu, M. Florea, M. M. Barsan, N. G. Apostol, T. A. Enache, V. C. Diculescu, Ternary composites as excellent (photo)electrocatalysts for water splitting reaction, 7<sup>th</sup> EuCheMS Chemistry Conference, August 26–30, 2018, Liverpool, UK (poster).

19. S. Neatu, World War I - The Beginning of the Chemical Warfare Agents Era and their Impact on Mankind along the last 100 Years, Humboldt Kolleg, September 17–19, 2018, Bucharest, Romania (oral).

20. V. Musat, M. Purica, A. Dinescu, N Tigau, ZnO-based nanostructures grown by hydrothermal method in preselected areas for direct integration into gas sensing and fotodetection devices, 12<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-12), September 22–28, 2018, Heraklion, Crete, Greece (oral).
21. C. Cotirlan-Simioniuc, C.C. Negrila, C. Logofatu, Functional metasurfaces for localized surface plasmon resonance enhanced angle-resolved evanescent-wave cavity ring-down spectroscopy, I18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, July 11–14, 2018, Constanta, Romania (poster).
22. I. V. Tudose, P. Pascariu, C. Pachiu, F. Comanescu, M. Danila, R. Gavrila, E. Koudoumas, M. Suchea, Comparative study of Sm and La doped ZnO properties, International Semiconductor Conference 2018 (CAS 2018), October 10–12, 2018, Sinaia, Romania, CAS 2018 Proceedings, ISSN: 1545-827X, pp. 245– 248 (poster).
23. A. Stanculescu, M. Socol, O. Rasoga, N. Preda, F. Stanculescu, I. Ionita, C. Breazu, G. Petre, Effect of dopants on the properties of aromatic derivatives crystals, ECCG6 (Sixth European Conference on Crystal Growth), September 16–20, 2018, Varna, Bulgaria (poster).

## Prezentări la conferinte nationale:

1. F. Neatu, S. Neatu, M. Florea, Materiale catalitice pentru celulele de combustie- surse de energie alternative, Workshop INCDFM "Oferta INCDFM in domeniul materialelor multifunctionale cu aplicatii in domeniul energetic (Metode neconventionale de productie, stocare, transport, economisire)", 27–28 Februarie 2018, Magurele, Ilfov, Romania (oral). 2. F. Neatu, M. Trandafir, S. Neatu, M. Florea, Efficient manganese and cobalt based materials for catalytic selective oxidation reactions, Workshop INCDFM, 6–8 iunie 2018, Magurele, Ilfov, Romania (oral).

Prezentarea structurii ofertei de servicii de cercetare si tehnologice cu indicarea link-ului din Erris

**INCDFM**: sinteze materiale: bulk prin spark plasma sintering, metode solvotermale, tehnologii ceramice; straturi subtiri prin pulverizare magnetron, depunere din pulsuri laser, epitaxie din fascicul molecular; analize prin microscopie electronica de transmisie de inalta rezolutie, microscopie electronica de baleiaj, spectroscopii de fotoelectroni, microscopie cu efect tunel, microscopie atomica si piezoresponsiva de forta, spectroscopii optice, Raman, caracterizari electrice si magnetice, rezonanta electronica de spin, difractie de raze X, absorbtie de raze X <u>https://erris.gov.ro/INCDFM</u>

**ICSI**: expertiza in criogenie, vid ultrainalt, analize mediu (apa, sol, aer), analize combustibili si biocombustibili, testare / verificare butelii si amestecuri de gaze, consultanta tehnica, proiectare instalatii, imbuteliere/certificare gaze si amestecuri de gaze, producere de lichide criogenice (heliu lichid):<u>https://erris.gov.ro/INSTITUTUL-NATIONAL-DE-CERCE-23</u>

**UVT**: Cresteri de cristale, simulare procese de crestere, caracterizari cristalografice <u>https://erris.gov.ro/UNIVERSITATEA-DE-VEST-TIMISO</u>

**IMT**: producere microdispozitive, nanolitografie, epitaxie din fascicul molecular, caracterizare la nivel nanometric, dispozitive cu microunde, microscopii de baleiaj, caracterizari optice, difractie de raze X, spectroscopie Raman, spectroscopii optice, caracterizari electrice, simulare microdispozitive, depuneri de straturi subtiri <u>https://erris.gov.ro/IMT-Bucharest</u>

**IFT**: sinteza materiale magnetice, sinteza micro/nanoparticule si nanofire cu proprietati magnetice si catalitice, fire magnetice acoperite, difractie de raze X, microscopii de baleiaj, microscopie electronica de transmisie, analiza dimensionala, caracterizari electrice si magnetice, defectoscopie, procesare mecanica, tratamente termice si cu ultrasunete <u>https://erris.gov.ro/INSTITUTUL-NATIONAL-DE-CERCE-31</u>

Locuri de munca sustinute prin program, inclusiv resursa umana nou angajata

Personal existent: CO: INCDFM: 24 P1: ICSI: 2 P2: UVT: 6 P3: IMT: 10 P4: IFT: 15 Personal nou angajat:

Poz.	Pr.	Instit.	Nume prenume	grad	Poz.	Pr.	Instit.	Nume prenume	grad
90	1	INCDFM	Borcan Larisa	ACS	97	3	INCDFM	Constantinescu M.O.	ACS
91	1	INCDFM	Lalău Ioana	ACS	82	3	IFT	Buema Gabriela	ACS
101	1	ICSI	Brill Cătălin	ACS	92	4	INCDFM	Pătru Roxana	CS
102	1	ICSI	Sirosh Oleksandr	ACS	98	4	INCDFM	Trandafir Mihaela	ACS
79	1	IMT	Şuchea Mirela	ACS	81	4	IMT	Gavrilă Orlando	ACS
94	2	INCDFM	Hristea Ioana	ACS		5	UVT	Cordoș Andrei	ACS
95	2	INCDFM	Pena Adrian	ACS	93	5	INCDFM	Nicolaev Adela	CS3
80	2	IMT	Crăciun Gabriel	ACS	99	5	INCDFM	Petre Gabriela	ACS
96	3	INCDFM	Barză Alexandru	ACS	83	5	IFT	Nistor Ioan Cristian	ACS

Prezentarea valorificarii/ imbunatatirii competentelor/ resurselor existente la nivelul consortului (cecuri): nu s-au folosit.

**Director Proiect Complex**,

CS1 Dr. abil. Teodorescu Cristian Mihail