



### FIȘA DISCIPLINEI

#### 1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București
1.2 Facultatea	Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
1.3 Departamentul	Dispozitive, Circuite și Arhitecturi Electronice
1.4 Domeniul de studii	Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale
1.5 Ciclul de studii	Masterat
1.6 Specializarea	Micro și Nanoelectronică

#### 2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei (ro)		Procese nanotehnologice avansate					
2.1 Denumirea disciplinei (en)							
2.2 Titularul activităților de curs		Colaborator Dr. Adrian Dinescu					
2.3 Titularul activităților de seminar / laborator		Colaborator Dr. Adrian Dinescu					
2.4 Anul de studiu	2	2.5 Semestrul	I	2.6. Tipul de evaluare	E	2.7 Regimul disciplinei	Ob
2.8 Tipul disciplinei	DA	2.9 Codul disciplinei	UPB.04.M3.O.05-31	2.10 Tipul de notare	Nota		

#### 3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	4	Din care: 3.2 curs	2.00	3.3 seminar/laborator	2
3.4 Total ore din planul de învățământ	56.00	Din care: 3.5 curs	28	3.6 seminar/laborator	28
Distribuția fondului de timp:					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					20
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate					
Pregătire seminarii/ laboratoare/proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri					
Tutorat					0
Examinări					24
Alte activități (dacă există):					0
3.7 Total ore studiu individual	44.00				
3.8 Total ore pe semestru	100				
3.9 Numărul de credite	4				

#### 4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	Cursuri fundamentale de Dispozitive Electronice, MCEMI
4.2 de rezultate ale învățării	Cunoștințe generale de fizică, dispozitive electronice și simulare software a circuitelor electronice

#### 5. Condiții necesare pentru desfășurarea optimă a activităților didactice (acolo unde este cazul)

5.1 Curs	Cursul se va desfășura într-o sală dotată cu videoproiector sau pe platforma MSTEams
----------	--



5.2 Seminar/ Laborator/Proiect	Proiectul se va desfășura într-o sală cu dotare specifică, care trebuie să includă: calculatoare, legatură la INTERNET, simulator de circuite electronice de tip SPICE sau pe platforma MSTeams, studenții având calculatoare cu un simulator de tip SPICE instalat.
-----------------------------------	--

**6. Obiectiv general** (*Se referă la intențiile profesorilor pentru studenți, la ceea ce studenții vor fi învățați în timpul cursului. Oferă o orientare cu privire la locul cursului în cadrul domeniului științific abordat, precum și la rolul pe care acesta îl are în cadrul specializării studiate. Vor fi descrise de o manieră generală tematicile abordate, justificarea includerii cursului în planul de învățământ al specializării studiate etc.*)

Această disciplină se studiază în cadrul domeniului Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii informaționale, specializarea Microelectronică și nanoelectronică și își propune să familiarizeze studenții cu principalele abordări, metode și tehnologii utilizate în domeniul nanofabricației dispozitivelor nanoelectronice.

Cursul prezintă tehnologiile principale din domeniul nanofabricației precum și câteva dispozitive nanoelectronice, care se pot realiza cu ajutorul acestora. Capitole mari abordate:

Introducere în micro-nanofabricație

Metode de procesare aditivă: CVD (depuneri chimice din fază de vapori)

PVD (depuneri prin evaporare: termică și cu fascicul de electroni)

MBE (epitaxie din fascicul molecular)

Metode litografice : litografie optică, litografie cu fascicul de electroni

Metode de procesare substractivă: corodare în plasmă (RIE, DRIE)

Metode de dopare: difuzie și implantare ionică

Metode de caracterizare a nanostructurilor: microscopie optică, microscopie electronică de baleiaj, microscopie electronică de transmisie, EDX, difracție de raze X, spectroscopie Raman, microscopie de forță atomică

Tehnologie de fabricație a nanotranzistoarelor pe bază de materiale 2D și de nanofire de siliciu

**7. Competențe** (*Capacitatea dovedită de a utiliza cunoștințe, aptitudini și abilități personale, sociale și/sau metodologice în situații de muncă sau de studiu și pentru dezvoltarea profesională și personală. Reflectă cerințele angajatorilor.*)

Specifice	<p><b>Demonstrează</b> că deține cunoștințe avansate ale elementelor fundamentale referitoare la dispozitive, circuite, sisteme, instrumentație și tehnologie electronică.</p> <p><b>Corelează</b> cunoștințele referitoare la proiectarea, simularea și testarea de dispozitive, circuite integrate, sisteme micro și nanoelectronice cu instrumente software moderne.</p> <p><b>Aplică</b> în practică cunoștințele referitoare la modelarea și procesarea dispozitivelor și circuitelor integrate utilizând tehnologii avansate.</p> <p><b>Argumentează și analizează</b> coerent și corect contextul de aplicare a cunoștințelor de bază privind proiectarea, simularea și testarea de dispozitive, circuite și sisteme optoelectronice cu instrumente software și tehnologii moderne micro- și nanoelectronice.</p> <p><b>Comunicare orală și în scris în limba română:</b> utilizează vocabularul științific specific domeniului.</p> <p><b>Comunicare orală și în scris într-o limbă străină (engleză):</b> demonstrează înțelegerea vocabularului aferent domeniului.</p>
-----------	---



<b>Transversale (generale)</b>	<p><b>Capacitate de analiză și sinteză:</b> prezintă în mod sintetic cunoștințele dobândite privind noile tehnologii ca urmare a unui proces de analiză sistematică.</p> <p><b>Autonomie și gândire critică:</b> abilitatea de a gândi în termeni științifici, de a căuta și analiza date în mod independent, precum și de a prezenta/identifica soluții în context nou.</p> <p><b>Lucrează în echipă și comunică eficient</b> coordonându-și eforturile cu ceilalți pentru rezolvarea unor situații problemă cu complexitate medie.</p>
--------------------------------	--

**8. Rezultatele învățării** (Sunt enunțuri sintetice referitoare la ceea ce un student va fi capabil să facă sau să demonstreze la finalizarea unui curs. Rezultatele învățării reflectă realizările studentului și mai puțin intențiile profesorului. Rezultatele învățării informează studenții despre ceea ce se așteaptă de la ei din punct de vedere al performanței, pentru a obține notele și creditele dorite. Sunt definite în termeni concreți, folosind verbe similare exemplurilor de mai jos și indică ceea ce se va urmări prin evaluare. Rezultatele învățării vor fi astfel redactate încât să fie evidențiată clar relația față de competențele definite la punctul 7.)

<b>Cunoștințe</b>	<p>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau factice.</p> <p><b>Enumeră</b> tipuri de nanotehnologii <b>Definește</b> caracteristicile nanostructurilor <b>Describe/clasifică</b> tehnici litografice <b>Evidențiază</b> particularitățile soluțiilor constructive speciale</p>
<b>Aptitudini</b>	<p>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente).</p> <p><b>Selectează</b> și grupează informații relevante despre nanostructuri <b>Utilizează</b> argumentat principii specifice . <b>Lucrează</b> productiv în echipă pentru efectuarea proiectului. <b>Elaborează un text științific</b> în redactarea proiectului <b>Verifică experimental soluțiile</b> extragerii tensiunii de prag prin mai multe metode. <b>Rezolvă</b> aplicații practice în cadrul proiectului. <b>Interpretează</b> adecvat relații de cauzalitate dintre valorile extrase. <b>Analizează și compară</b> valoarea tensiunii de prag. <b>Identifică soluții</b> și elaborează proiectul disciplinei. <b>Formulează</b> concluzii la experimentele realizate. <b>Argumentează</b> soluțiile identificate în cadrul proiectului .</p>



<b>Responsabilitate și autonomie</b>	<i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale.</i>
	<b>Selectează</b> surse bibliografice potrivite și le analizează.
	<b>Respectă principiile de etică academică</b> , citând corect sursele bibliografice utilizate.
	<b>Demonstrează receptivitate</b> pentru contexte noi de învățare.
	<b>Manifestă colaborare</b> cu ceilalți colegi și cadre didactice în desfășurarea activităților didactice
	<b>Demonstrează autonomie</b> în organizarea procesului/contextului de învățare sau a situației problemă de rezolvat
<b>Promovează/contribuie prin soluții noi, aferente domeniului de specialitate.</b>	
<b>Conștientizează valoarea contribuției sale în domeniul ingineriei</b> la identificarea de soluții viabile/sustenabile	
<b>Aplică principii de etică</b>	

**9. Metode de predare** *(Se vor avea în vedere metode care să asigure predarea centrată pe student. Se va descrie modul în care se asigură participarea studenților la stabilirea propriului parcurs de învățare, cum se identifică eventualele rămăneri în urmă și ce măsuri remediale se adoptă în astfel de cazuri.)*

Pornindu-se de analiza caracteristicilor de învățare ale studenților și de la nevoile lor specifice, procesul de predare va explora metode de predare atât expositive (prelegerea, expunerea), cât și conversativ-interactive, bazate pe modele de învățare prin descoperire facilitate de explorarea directă și indirectă a realității (experimentul, demonstrația, modelarea), dar și pe metode bazate pe acțiune, precum exercițiul, activitățile practice și rezolvarea de probleme.

În activitatea de predare vor fi utilizate prelegeri, în baza unor prezentări Power Point sau diferite pagini de Internet care vor fi puse la dispoziția studenților. Fiecare curs va debuta cu recapitularea capitolelor deja parcurse, cu accent asupra noțiunilor parcurse la ultimul curs.

Prezentările utilizează imagini și scheme, astfel încât informațiile prezentate să fie ușor de înțeles și asimilat. Această disciplină acoperă informații și activități practice menite să-i sprijine pe studenți în eforturile de învățare și de dezvoltare a unor relații optime de colaborare și comunicare într-un climat favorabil învățării prin descoperire.

Se va avea în vedere exersarea abilităților de ascultare activă și de comunicare asertivă, precum și a mecanismelor de construcție a feedback-ului, ca modalități de reglare comportamentală în situații diverse și de adaptare a demersului pedagogic la nevoile de învățare ale studenților.

Se va exersa abilitatea de lucru în echipă pentru rezolvarea diferitelor sarcini de învățare.

Se va verifica atenția studenților prin teste rapide (tip quizz) în timpul sau la finalul cursului la anumite cursuri.

## 10. Conținuturi

CURS		
Capitolul	Conținutul	Nr. ore
1	Capitolul 1. Introducere 1.1. Tematica cursului 1.2. Prezentare generală a obiectivelor specifice 1.3. Prezentarea generală a proiectului	2



2	Capitolul 2. Tehnologii de procesare aditiva/depunere de straturi subtiri cu grosimi nanometrice: 2.1. Elemente de tehnica vidului 2.2. CVD (depuneri chimice din faza de vapori) atat la presiune scazuta (LPCVD), cat si depuneri asistate de plasma (PECVD) sau de tip metal-organic (MOCVD), 2.3. PVD - depuneri fizice din stare de vapori ( evaporare termica si evaporare cu fascicul de electroni) si pulverizare catodica (sputtering) 2.4. Depuneri epitaxiale din faza lichida si din fascicul molecular (MBE)	6
3	Capitolul 3. Tehnologii litografice de configurare la scara nanometrica: 3.1. Introducere in litografie si nanolitografie (incluzand metodele SPM si NIL) 3.2. Litografia optica , inclusiv DUV si EUV 3.3. Litografia cu fascicul de electroni	4
4	Capitolul 4. Tehnologii de procesare substractiva a nanostructurilor si dispozitivelor. 4.1. Corodare umeda 4.2. Corodare in plasma 4.3. RIE 4.4. DRIE 4.5. Corodare cu fascicul de ioni.	4
5	Capitolul 5. Metode de caracterizare la scara nanometrica: 5.1. Microscopia optica 5.2. SEM-microscopia electronica de baleiaj 5.3. TEM-microscopia electronica de transmisie 5.4. AFM- microscopia de forta atomica 5.5. EDX-spectroscopia de raze X in SEM 5.6. XRD- difractia de raze X 5.7. Spectroscopia Raman	4
6	Capitolul 6. Tehnologii de fabricatie a jonctiunilor semiconductoare (dopare): metoda difuziei si metoda implantarii ionice.	4
7	Capitolul 7. Fluxuri de fabricatie a unor nanotranzistoare cu efect de camp pe baza de materiale uni si bidimensionale (nanotuburi de carbon, grafena, MoS2, SnS) si be baza de nanofire de siliciu, pe substrat de tip SOI.	4
	<b>Total:</b>	28

**Bibliografie:**

1. M.A. Dinescu Procese Nanotehnologice Avansate <https://curs.upb.ro/2023/enrol/index.php?id=9679>
2. <https://curs.upb.ro/2021/enrol/index.php?id=9507>
3. [Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications](#), Weilie Zhou (Editor), Zhong Lin Wang (Editor), Hardcover (November 2006)
4. M.Dragoman and D.Dragoman, 2D Nanoelectronics: Physics and devices of atomically thin materials, Springer, 2017
5. [Semiconductor Micromachining : Fundamental Electrochemistry and Physics](#), H.- J. Lewerenz (Editor), S. A. Campbell (Editor), Paperback (April 1998), John Wiley & Sons; ISBN: 04719668
6. [Thin Film Deposition : Principles and Practice](#), Donald L. Smith, Hardcover (May 1994)
7. [Handbook of Microlithography, Micromachining, and Microfabrication : Micromachining and Microfabrication](#), P. Rai-Choudhury (Editor), Hardcover Vol 002 (September 1997)



PROIECT		
Nr. crt.	Conținutul	Nr. ore
1	Creșteri și depuneri de straturi subțiri prin metode chimice: oxidare termică, CVD, ALD	2
2	Depuneri de straturi subțiri prin metode fizice: evaporare cu fascicul de electroni și pulverizare catodică	2
3	Corodare în plasmă: RIE și DRIE	4
4	Deolitografie	4
5	Litografie cu fascicul de electroni	4
6	Microscopie electronică de baleiaj: SEM și Metode spectroscopice: EDX, Raman, XRD	8
7	Verificare finală	4
	<b>Total:</b>	28

**Bibliografie:**

1. M.A. Dinescu Procese Nanotehnologice Avansate <https://curs.upb.ro/2023/enrol/index.php?id=9679>
2. <https://curs.upb.ro/2021/enrol/index.php?id=9507>
3. [Handbook of Microlithography, Micromachining, and Microfabrication : Microlithography](#), P. Rai-Choudhury (Editor), Hardcover Vol 001 (June 1997), SPIE Press; ISBN: 081942378
4. [Semiconductor Micromachining : Techniques and Industrial Applications](#), H.- J. Lewerenz (Editor), S. A. Campbell (Editor), Paperback Vol 2 (April 1998), John Wiley & Sons; ISBN: 0471966827
5. [The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication](#), Stephen A. Campbell, Hardcover - 536 pages (March 1996), Oxford University Press; ISBN: 0195105087

**11. Evaluare**

Tip activitate	11.1 Criterii de evaluare	11.2 Metode de evaluare	11.3 Pondere din nota finală
11.4 Curs	Cunoașterea teoretică a proceselor nanotehnologice avansate	Lucrare de verificare	30%
	Evaluarea cunoștințelor prezentate pe baza argumentelor din cadrul diferitelor probleme	Examen	50%
11.5 Seminar/laborator/proiect	Evaluarea se face cumulativ la un termen intermediar de verificare a proiectului (midterm) și la un termen final de verificare.	Verificare orală asupra soluțiilor alese pentru realizarea proiectului	20%
11.6 Condiții de promovare			
Capacitatea de a elabora un flux tehnologic elementar de fabricație a unui FET pe materiale 2D. Obținerea a 50% din punctajul total. Obținerea a 50% din punctajul aferent activității pe parcursul semestrului. Respectarea regulamentului UNSTPB privind condițiile de promovare.			



**12. Coroborarea conținutului disciplinei cu așteptările reprezentanților angajatorilor și asociațiilor profesionale reprezentative din domeniul aferent programului, precum și cu stadiul actual al cunoașterii în domeniul științific abordat și practicile în instituții de învățământ superior din Spațiul European al Învățământului Superior (SEİS)**

- Prin activitățile desfășurate, studenții dezvoltă abilități de a oferi soluții unor probleme și de a propune idei de îmbunătățire a situației existentei în domeniul nanofabricației dispozitivelor nanoelectronice
- În dezvoltarea conținutului disciplinei s-au avut în vedere cunoștințe, fenomene descrise de literatura de specialitate și propriile cercetări publicate .
- Prin activități legate de prezentarea tehnologiilor principale din domeniul nanofabricației și manufacturarea dispozitivelor nanoelectronice se are în vedere dezvoltarea abilităților absolventului de a gestiona situații practice cu care se poate confrunta în viața reală în scopul creșterii contribuției acestuia la îmbunătățirea mediului socio-economic.

Data completării	Titular de curs	Titular(i) de aplicații
09.09.2024	Colaborator Dr. Adrian Dinescu	Colaborator Dr. Adrian Dinescu

Data avizării în departament	Director de departament
31.10.2024	Prof. Dr. Claudiu DAN

Data aprobării în Consiliul Facultății	Decan
01.11.2024	Prof. Dr. Mihnea Udrea