

 UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI	FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI		Cod: F.01.O.006	
			Ediția	1
			Revizia	0
			Pagina	1/5


FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI

MD-2045, CHIȘINĂU, STR. STUDENȚILOR, 9/7, TEL: 022 50-99-14 | FAX: 022 50-99-10, www.utm.md
ELECTRONICA CUANTICĂ ȘI SPINTRONICA
Date despre disciplină/modul

Facultatea	Calculatoare, Informatica, Microelectronica				
Departamentul	Microelectronica și inginerie biomedicala				
Ciclul de studii	Studii superioare de master, ciclul II				
Programul de studii	Microelectronica și nanotehnologii				
Anul de studii	Semestrul	Tip de evaluare	Categoria formativă	Categoria de opționalitate	Credite ECTS
I (învățământ cu frecvență);	8	E	S – unitate de curs de specialitate	O - unitate de curs obligatorie	4

1. Timpul total estimat

Total ore în planul de învățământ	Din care				
	Ore auditoriale		Lucrul individual		
	Curs	Laborator/seminar	Proiect de cercetare	Studiul materialului teoretic	Pregătire aplicații
40	30	10			

2. Precondiții de acces la disciplină/modul

Conform planului de învățământ	Module ale fizicii generale (termodinamica, electricitatea și magnetism, fizica cuantică), conceptele de bază ale fizicii cuantice, supraconductivității, magnetismul și ale matematicii superioare, materiale ale tehnicii electronice,
Conform competențelor	bazele electronicii supraconductoare, proprietățile magnetice și semiconductori .

3. Condiții de desfășurare a procesului educațional pentru

Curs	Auditoriu echipat cu: calculator, proiector, tabla interactivă. Curs, compendiu tipărit sau în formă electronică. Manuale, cărți în domeniu accesibile gratis în biblioteca UTM, în Internet. Acces gratis la Internet.
Laborator/seminar	Dotare cu: calculator, proiector, spectrometru, dispozitive și instalații de vid Surse de calibrare și testare Vor pregăti 4 lucrări de laborator din domeniu propuse de cadrul didactic.

4. Competențe specifice acumulate

Competențe profesionale	CG 3. Utilizarea generațiilor noi de materiale la dezvoltarea produselor industriei de profil ✓ identifica materialele potrivite pentru produse inovative în corespundere cu destinația acestora; CG 4. Realizarea activității de cercetare
-------------------------	---

	FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI	Cod: F.01.O.006	
		Ediția	1
		Revizia	0
		Pagina	1/5
	✓ aplica metode și mijloace de cercetare la soluționarea problemelor specifice domeniului profesional; 3 CP 1. Elaborarea produselor micro/nanoelectronice cu complexitate sporită ✓ dezvoltă produse micro/nanoelectronice prin creșterea gradului de funcționalitate; CP 2. Elaborarea tehnologiilor inovative de fabricație în micro/nanoelectronică ✓ elaborează soluții optime de fabricație a produselor micro/nanoelectronice; ✓ aplica tehnologii avansate de fabricație a produselor micro/nanoelectronice.		
Competențe transversale	CT1. Capacitatea de a alege și implementa în mod rezonabil în practică o metodologie eficientă pentru studiul experimental al parametrilor și caracteristicilor dispozitivelor, circuitelor, dispozitivelor și instalațiilor spintronice și nanoelectronice pentru diverse scopuri funcționale. CT3. Disponibilitatea de a analiza și sistematiza rezultatele cercetării, transmite materiale sub formă de rapoarte științifice, publicații, prezentări.		

5. Obiectivele disciplinei/modulului

Obiectivul general	Cunoașterea principiilor fizice ale interacțiunii câmpului magnetic cu materia, ce stau la baza funcționării dispozitivelor spintronice.
Obiectivele specifice	➤ Cunoașterea principiilor de funcționare ale valvei de spin și alte dispozitive spintronice. ➤ Cunoașterea noțiunilor fizice ce stau la baza interacției câmpului magnetic cu materia și a efectelor în metale feromagnetice. ➤ Cunoașterea principiilor fizice, care asigură funcționarea rețele neuronale artificiale ca baza de computer cu arhitectura ne von Neumann. ➤ Cunoașterea efectelor existente în sisteme cu dimensiuni reduse, precum și procedee tehnologice avansate pentru fabricarea lor. ➤ Cunoașterea aplicațiilor electronicii cuantice și spintronicii.

6. Conținutul disciplinei/modulului

Tematica activităților didactice	Numărul de ore
	învățământ cu frecvență
Tematica prelegerilor	
Tema 1. ÎNCĂLCAREA „LEGII MOOR” ȘI NEVOIA DE ELECTRONICĂ ALTERNATIVE-SPINTRONICĂ Limitele fizice ale dezvoltării computerelor tradiționale cu o bază de element semiconductor sunt o încălcare a legii lui Moor și o creștere catastrofală a consumului de energie. Arhitectura computerelor Von Neumann și limitările acesteia. Spintronica și electronica supraconductoare sunt o nouă bază de elemente. Calculatoare cu arhitectură non-von Neumann. Calculatoare cuantice și rețele neuronale ca alternativă pentru progresul în știința	2

	FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI	Cod: F.01.O.006	
		Ediția	1
		Revizia	0
		Pagina	1/5
informației și în calcul.			
Tema 2. MAGNETISM ȘI PROPRIETĂȚI MAGNETICE ALE MATERIALELOR Spinul electronilor. Interacțiuni care implică spinul electronilor. Momentele magnetice orbitale și de spin ale învelișurilor atomice. Rotirea fotonului. Principalele tipuri de magnetism al substanțelor. paramagnetism Pauli. Structura benzii a unui feromagnet. Heisenberg schimbă Hamiltonian. Aproximarea câmpului molecular Weiss, tranziție feromagnetică. Forța coercitivă și histerezis. Unde de spin într-un feromagnet, cuantificarea undelor de spin. Rezonanța feromagnetică.		4	
Tema 3. SPINTRONICA: ORIGINEA, DEZVOLTAREA, PERSPECTIVE Conductivitate dependentă de spin a feromagneților. Descoperirea magnetorezistenței gigantice de Albert Furth și Peter Grünberg. GMC șefi de hard disk-uri de computer. GMS în geometria „perpendiculară curentă pe plan”. Fenomenul de acumulare de spin. Efect magnetorezistiv de tunel (TMR) și joncțiuni de tunel magnetic (MTJ). RAM MRAM de mare capacitate pe MTJ.		2	
Tema 4. DISPOZITIVE SPINTRONICE Tranzistor de spin semiconductor. Spin diodă emițătoare de lumină. Dispozitive care folosesc efectul de magnetorezistă gigant. Structuri de diode bipolare. Structuri de tranzistori cu trei terminale. Nanostructuri cu comutare de magnetizare indusă de curent. Tranzistor electronic spin-rezonant pentru calcul cuantic.		2	
Tema 5. SUPERCONDUCTIVITATEA CA BAZĂ A ELECTRONICII CUANTICE Starea coerentă cuantică macroscopică a materiei. Rezistența zero, diamagnetismul ideal și cuantizarea fluxului magnetic sunt proprietățile cheie ale unui supraconductor. Fenomenul Cooper, împerecherea Cooper, teoria Bardeen-Cooper-Schrieffer. Inductanța cinetică a unui supraconductor. Efectul Josephson, curentul critic al contactului Josephson, generarea și absorbția radiației RF. vârtejul Josephson. SQUID cu două contacte și cu un singur contact. magnetometrie SQUID.		2	
Tema 6. TEHNOLOGII PENTRU PREGĂTIREA NANOSTRUCTURILOR SUPERCONDUCTORE PENTRU ELECTRONICA CUANTICA Epitaxia fasciculului molecular, celule Knudsen. Depunerea în vid termic a filmelor. Pulverizarea cu magnetron a peliculelor subțiri și a structurilor funcționale multistrat. Fotolitografie și proces de spin-off. Gravare ionică cu focalizare fină (FIB). Fabricarea elementelor de bază ale electronicii cuantice - contacte Josephson.		2	
Tema 7. METODE DE STUDIERE A NANOSTRUCTURILE SUPERCONDUCENTE Studiul parametrilor supraconductori - temperatura critică Tc, curentul critic Ic, câmpul magnetic critic Hc al supraconductorului. Studiul proprietăților magnetice folosind magnetometria SQUID și reflectometria cu neutroni polarizați. Studiul spectrelor de transmisie a filmelor subțiri.		2	
Tema 8. SPINTRONICA SUPERCONDUCTOARĂ Efect de proximitate supraconductor-ferromagnet. Statul Larkin-Ovchinnikov-Fulde-Ferrell (LOFF). Împerecherea triplet și efect de memorie în nanostructuri cu o supapă de spin, F-S-F - supapă de spin ca posibil element MRAM pentru spintronica supraconductoare. Modelarea		4	

	FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI	Cod: F.01.O.006	
		Ediția	1
		Revizia	0
		Pagina	1/5
nanostructurilor și tehnologiilor de pregătire a acestora. Supape supraconductoare triplet și Josephson spin. Blocuri de construcție supraconductoare - neuron artificial și sinapsă pentru calculatoare de putere redusă non-von Neumann. Posibilități și perspective pentru aplicații ale unui supercalculator supraconductor.			
TOTAL, ore		20	

Tematica lucrărilor de laborator	Numărul de ore
	învățământ cu frecvență
1. Calibrarea rezistențelor Allen-Bradley	2
2. Depunerea termică a peliculelor subțiri în vid	2
3. Depunerea de magnetron a peliculelor supraconductoare	4
4. Investigarea spectrelor de transmisie a peliculelor subțiri	2
Total lucrări practice, ore	10

Notă: Tematica seminarelor este flexibilă, pentru fiecare student, dar în limita nr de ore planificate.

7. Teme proiecte de cercetare

1. „LEGEA MOOR” în electronica semiconductoare
2. Arhitectura computerului Von Neumann, mașina Turing.
3. Spinul electronilor.
4. Magnetorezistență gigantică în structuri multistrat.
5. Supapă de rotație și tranzistor cu efect de câmp de spin
6. RAM MRAM
7. Interferometru cuantic supraconductor
8. Inductanța cinetică a unui supraconductor
9. Elementul de bază al electronicii cuantice este joncțiunea Josephson
10. Supapa de spin supraconductoare

8. Referințe bibliografice

Principale	1.A. Sidorenko (Editor). Functional Nanostructures and Metamaterials for Superconducting Spintronics. Springer, 2018, 279 pages. ISBN 978-3-319-90481-8 https://www.springer.com/gp/book/9783319904801 2.A. Sidorenko (Editor), Fundamentals of Superconducting Nanoelectronics. Springer, 2011, 326 pages. 3.Hahn, H.; Sidorenko, A.; Tiginyanu, I. (Editors), Nanoscale Phenomena: Fundamentals and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 212 p. 4.R. Gross, A. Sidorenko, L. Tagirov (Editors), Nanoscale devices – fundamentals and applications. Springer, Printed in the Netherlands, 2006, 399 p. 5. IAEA Safety Standard for protecting people and environment. (în Engleză, Rusă). http://www-ns.iaea.org/standards/
------------	---

6. Directiva 2013/59/Euratom a Consiliului din 5 decembrie 2013 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante și de abrogare a Directivelor 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom și 2003/122/Euratom. (în Română, Engleză). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=RO>
7. Kittel, Charles (2013). *Introduction to solid state physics* (8th ed.). New Jersey: Wiley. p. 680. ISBN 978-0-471-41526-8. OCLC 820453856
8. Michael Tinkham. Introduction to Superconductivity. (2nd edition) McGraw Hill, 1996, 454p.
9. Данилов Ю. А., Демидов Е. С., Ежевский А. А. Основы спинтроники: Учебное пособие, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 173стр., 2009г.
10. Аплеснин С. С. Основы спинтроники. Издательство "Лань" ISBN 978-5-8114-1060-6
2-е изд. испр. 288 Страниц, 2022г.
Борисенко В. Е., Данилюк А. Л., Мигас Д. Б. **Спинтроника: учебное пособие.** Издательство "Лаборатория знаний"
ISBN 978-5-93208-558-5 Год 2021, 2-е изд. 232стр.
11. Хомицкий Д. В. Физические основы методов управления спиновой плотностью в наноструктурах спинтроники: Учебно-методическое пособие. Издательство: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Год 2011, Страниц 94.

Suplimentare

1. Anatolie S. Sidorenko, Horst Hahn and Vladimir Krasnov. Frontiers of nanoelectronics: intrinsic Josephson effect and prospects of superconducting spintronics. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2023, 14, 79–82.
<https://doi.org/10.3762/bjnano.14.9>
2. Anatolie Sidorenko and Horst Hahn (the Editors), Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security. Springer, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental, Dordrecht, Netherlands, 2021, 320 pages. ISBN : 978-94-024-1908-5
<https://www.bookdepository.com/Functional-Nanostructures-Sensors-for-CBRN-Defence-Environmental-Safety-Security-Anatolie-Sidorenko/9789402419115?ref=grid-view&qid=1574222042922&sr=1-634>
3. Bruno P. Quantum transport in nanostructures: a panorama. Lecture course: winter semester, 2003/2004 - http://www1.mpi-halle.mpg.de/~bruno/lectures/quantum_transport/quantum_transport.html
4. Dugaev V.K. Spin-dependent transport theory. Lecture course: winter semester, 2004/2005 - <http://cfif.ist.utl.pt/~vdugaev/lectures.htm>
5. Levy P.M. Transport in solids. Doctoral level course. Orsay, March 2005 - <http://ebookbrowse.com/transport-course-2005-5-ppt-d14201864>
5. Альбер Ферт. Нобелевская лекция по физике – 2007: Происхождение, развитие и перспективы спинтроники. Успехи Физических Наук, том 178, №12, 1336-1348, 2008. DOI: 10.3367/UFNr.0178.200812f.1336

	FIȘA DISCIPLINEI/MODULULUI	Cod: F.01.O.006	
		Ediția	1
		Revizia	0
		Pagina	1/5

9. Evaluare

Periodică		Curentă	Studiu individual	Proiect/teză	Examen
EP 1	EP 2				
15%	15%	15%	15%	-	40%
Standard minim de performanță Prezența și activitatea la prelegeri și lucrări de laborator; Obținerea notei minime de „5” la EP1, EP2, curentă și la studiu individual; Obținerea notei minime de „5” la examen;					