

UNIVERSITATEA DE STAT „ALECU RUSSO” DIN BĂLȚI
FACULTATEA DE ȘTIINȚE REALE, ECONOMICE ȘI ALE MEDIULUI
CATEDRA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI INGINEREȘTI

Discutat în Ședința
Catedrei de științe fizice și ingineresti
din **_8 mai 2014_**
proces-verbal nr. **_10_**

Aprobat în Ședința
Consiliului Facultății de Științe Reale,
Economice și ale Mediului
din **_19 iunie 2014_**
proces-verbal nr. **_9_**

Fizica semiconductorilor

Curriculum disciplinar
(*ciclul II, specialitatea Didactica fizicii*)

Autor: Mihail Popa,
conf. univ., dr.

Bălți, 2014

I. Informații de identificare a cursului

Facultatea: *Științe Reale, Economice și ale Mediului*

Catedra: *Științe fizice și ingineresti*

Domeniul general de studiu: *14. Științe ale educației*

Domeniul de formare profesională la ciclul II: *Program de profesionalizare*

Denumirea specialității / specializării: *Didactica fizicii*

Administrarea unității de curs:

Codul unității de curs	Credite ECTS	Total ore	Repartizarea orelor				Forma de evaluare	Limba de predare
			Prel.	Sem.	Lab.	Lucr. ind.		
F.01.O.01	5	150	24	–	16	110	Examen	Română

Statutul: *disciplină fundamentală*

II. Informații referitoare la cadrul didactic



Titularul cursului – Popa Mihail, doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar;

– Licențiat în Fizică și Tehnică, Facultatea de Tehnică, Fizică și Matematică, Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți (1993);

– Stagiunea de doctorat, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România (1999–2003);

– Stagiune de post-doctorat, Nanobiomedical Centre, Adam Mickiewicz University of Poznan, Poland (2013–2014).

Biroul: Blocul II, aula 240

Nr. telefon de contact: 068020395

Adresa e-mail: miheugpopa@yahoo.com

Ore de consultații: joi, 14.00–16.00. Se oferă consultații și în orele libere de la facultate, pot răspunde la întrebări utilizând și alte surse informaționale.

III. Integrarea cursului în programul de studii

Conform datelor recente publicate în revista *Nature* (2011) cercetarea din domeniul *Fizica Corpului Solid (Physics of Condensed Matters)* ocupă circa 65% din cercetarea mondială din domeniul fizicii (laboratoare, cercetători, reviste, conferințe etc.).

Fizica semiconductorilor este cel mai intens domeniu de cercetare experimentală și teoretică de la Institutele Academiei de Științe ale Moldovei. Fizicienii de la catedră și-au scris tezele de doctorat în acest domeniu și astăzi activează cu succes în fizica semiconductorilor și nanotehnologiilor. Studenții de la master sunt antrenați în diferite activități la perfectarea lucrărilor de laborator și a tezelor de master (efectuarea măsurătorilor, prelucrarea datelor, interpretarea rezultatelor, participări la conferințe, publicarea rezultatelor etc.).

Dezvoltarea fizicii semiconductorilor este legată și de multiplele ei aplicații în știință, tehnică, medicină, biologie ș.a. Obținerea tranzistorilor, a circuitelor integrate și a microprocesoarelor, a straturilor subțiri magnetice cu aplicații în tehnica computațională,

realizarea detectorilor în diferite domenii spectrale, a traductorilor de câmp magnetic, de presiune, a supraconductorilor cu temperaturi critice ridicate folosiți la obținerea unor câmpuri magnetice intense de peste 25T, a ecografului, a televizorului color, a camerei video, a instrumentelor digitale, nu ar fi fost posibilă fără dezvoltarea fizicii semiconductorilor.

Cursul respectiv se predă din anul 2011, după aprobarea noului plan de învățământ la specialitatea *Didactica fizicii*.

IV. Competențe prealabile

Înainte de începerea studierii cursului dat studentul trebuie să îndeplinească planul de învățământ la cursurile de *Fizică generală și Fizică teoretică* (să susțină toate probele de evaluare preconizate, să efectueze și să susțină lucrările de laborator, să susțină examenele).

De asemenea, studentul trebuie să îndeplinească planul de învățământ la *Matematică superioară* și la *Informatică generală*.

V. Competențe dezvoltate în cadrul cursului

- Cunoașterea legilor fundamentale și a sistemului deductiv al fizicii semiconductorilor;
- Tratarea științifică corectă a fenomenelor fizice din semiconductori și ale proprietăților acestora în lipsa sauprezența unor perturbații exterioare și în funcție de tipul acestora;
- Cunoașterea aplicațiilor directe ale semiconductorilor în dispozitive optoelectronice și în nanotehnologii;
- Descrierea, înțelegerea, construirea și aplicarea modelelor fizice;
- Dezvoltarea capacității de a prelucra și interpreta datele experimentale;
- Dezvoltarea capacității de a căuta, prelucra și analiza informații dintr-o varietate de surse bibliografice, de elaborarea unor referate științifice;
- Evidențierea conexiunilor intra- și interdisciplinare ale fizicii semiconductorilor;
- Capacitatea de a aplica cunoștințele din fizica semiconductorilor la rezolvarea unor probleme concrete din alte domenii ale fizicii și tehnicii.

VI. Finalități de studii

La finele cursului studenții vor fi capabili:

- să definească principiile, postulatele și legile de bază a fizicii semiconductorilor;
- să explice științific corect fenomenele fizice, modelele fizice și teoriile fizicii semiconductorilor;
- să cunoască deducerea (demonstrarea) legilor fizice și a formulelor de calcul ale mărimilor fizice;
- să demonstreze capacități de cunoaștere a funcționării și aplicării diferitor elemente optoelectronice bazate pe semiconductori (termistorul, fotorezistorul, bolometrul, generatorul termoelectric, elementul Peltier, varistorul etc.);
- să aplice expresiile matematice ale legilor fizicii semiconductorilor la rezolvarea problemelor specifice;
- să posede priceperi și deprinderi de a rezolva probleme din fizica semiconductorilor;
- să poată înțelege conexiunile intra- și interdisciplinare ale fizicii semiconductorilor cu alte ramuri ale fizicii.

VII. Conținuturi

<i>Nr.</i>	<i>Teme predate</i>	<i>Nr. de ore</i>
1.	Caracteristicile generale ale corpurilor cristaline. Rețea spațială. Bază. Structură cristalină. Rețelele Bravais.	2
2.	Indicii Miller pentru plane și direcții cristaline. Coordonate atomice. Raze atomice. Coeficient de compactitate. Distanța interplanară.	2
3.	Rețeaua reciprocă. Vectorii fundamentali ai rețelei reciproce pentru diferite tipuri de rețele Bravais. Celula Wigner-Seitz.	2
4.	Forțele de legătură dintre atomi. Legătura Van der Waals. Cristale moleculare. Legătura ionică. Cristale ionice.	2
5.	Vibrațiile rețelei cristaline unidimensionale cu un singur tip de atom pe celula elementară.	2
6.	Ecuția lui Schrodinger pentru corpul solid. Aproximația adiabatică. Modelul Kronig-Penney pentru benzile de energie ale electronilor din corpul solid.	2
7.	Clasificarea corpurilor solide. Clasificarea semiconductorilor și aplicațiile acestora. Concentrația electronilor liberi în banda de conducție și a golurilor libere în banda de valență în semiconductorii intrinseci.	2
8.	Fenomene de transport în solide. Ecuția de transport Boltzmann. Timpul de relaxare.	1
9.	Clasificarea fenomenelor de transport. Conductivitatea electrică a semiconductorilor. Dependența de temperatură a concentrației purtătorilor de sarcină, a mobilității acestora și a conductivității electrice.	2
10.	Efecte galvanomagnetice. Efectul Hall. Explicarea fenomenului. Coeficientul Hall în cazul semiconductorilor cu un singur purtător de sarcină și în cazul conducției mixte.	2
11.	Efectul magnetorezistiv. Efectul Ettingshausen. Efectul Nernst.	1
12.	Fenomene termoelectrice (efectul Seebeck, efectul Peltier, efectul Thomson). Aplicații.	2
13.	Fenomene termomagnetice (efectele Nerst-Ettingshausen transversal și longitudinal, efectul Maggi-Righi-Leduc și Righi-Leduc).	2

Total 24 ore

<i>Nr.</i>	<i>Teme pentru studiu individual</i>
1.	Coordonate atomice. Raze atomice. Coeficient de compactitate. Distanța interplanară.
2.	Defectele structurale în cristale.
3.	Legătura covalentă. Legătura metalică. Cristale metalice. Legătura de hidrogen.
4.	Vibrațiile rețelei cristaline unidimensionale cu două tipuri de atomi pe celula elementară.
5.	Proprietățile termice ale corpului solid. Teorii ale căldurilor molare ale corpurilor solide.
6.	Concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductorii extrinseci. Ecuția neutralității electrice la echilibru termic. Dependența nivelului Fermi de temperatură în semiconductorii extrinseci.
7.	Conductivitatea termică. Legea lui Wiedemann-Franz.

<i>Nr.</i>	<i>Activitatea în laborator. Tematica lucrărilor de laborator</i>	<i>Nr. de ore</i>
1.	Introducere. Regulile tehnicii securității în laboratorul didactic.	2
2.	Studiul dependenței de temperatură a conductivității electrice a unui semiconductor. Determinarea lărgimii benzii interzise.	2
3.	Trasarea caracteristicii de temperatură a unui termistor. Determinarea parametrilor caracteristici ai termistorului. Determinarea constantei de timp.	2
4.	Trasarea caracteristicii volt - amperice a unui termistor. Determinarea parametrilor caracteristici ai termistorului.	2
5.	Studiul fotorezistorilor. Trasarea caracteristicilor și determinarea parametrilor caracteristici ai unui fotorezistor.	2
6.	Studiul efectului Hall și determinarea parametrilor caracteristici ai unui semiconductor.	2
7.	Efectul Seebeck în semiconductori. Determinarea coeficientului Seebeck.	2
8.	Susținerea finală a lucrărilor de laborator.	2

Total 16 ore

VIII. Activități de lucru individual

Tematica cursului (teme ce vor fi predate și temele pentru studiul individual) sunt propuse studenților la prima oră de curs, iar modalitățile de evaluare sunt următoarele:

1. Lucrările de laborator conțin în chestionarul pentru susținerea lucrării întrebări, exerciții și probleme din temele pentru studiu individual. Studentul trebuie să studieze subiectele respective pentru a putea răspunde la întrebările formulate în prospectul lucrării, să îndeplinească diferite însărcinări practice (de exemplu, să completeze o schemă electrică cu diferite elemente de circuit) sau să rezolve diferite probleme de fizică din chestionar. Fiecare lucrare de laborator, având finisate toate calculele, completate toate tabelele, având răspunsurile la sarcinile din chestionar, se susține oral, public și se apreciază cu notă. Toate lucrările susținute sunt adunate într-un portofoliu, iar media notelor acumulate la laborator reprezintă *nota reușitei curente*.

2. La prelegeri titularul de curs pune întrebări orale prin care verifică studiul individual. Se verifică și conspectul temelor pentru studiul individual.

3. Titularul de curs oferă consultații săptămânale pentru a ajuta studentul în realizarea sarcinilor propuse.

IX. Evaluare

Activitatea în cadrul lucrărilor de laborator include următoarele etape:

–*studiul prospectului lucrării, obținerea „admisului”* de la laborant. Aceasta se face după ore, cu cel puțin o zi înaintea orei de laborator;

–*efectuarea lucrării* se face în timpul orei de laborator. În scopul evitării plagiatului după efectuarea fiecărei lucrări de laborator studentul este obligat să prezinte datele cadrului didactic, iar acesta pune semnătura pe datele obținute de student;

–*prelucrarea datelor* (efectuarea calculelor, completarea tabelor, trasarea graficelor, interpretarea rezultatelor, găsirea răspunsurilor la întrebări și rezolvarea problemelor din chestionarul lucrării etc.) se face după efectuarea lucrării;

–*susținerea lucrării de laborator* se face la următoarea oră de laborator.

Media aritmetică a notelor de laborator reprezintă *nota reușitei curente*.

Nota finală la disciplina *Fizica semiconductorilor* se calculează conform formulei:

$$\text{Nota finală} = 0,6 \times \text{Nota reușitei curente} + 0,4 \times \text{Nota de la examen.}$$

Examenul final se susține în scris. Notele de la examen se anunță în ziua desfășurării examenului, după cel mult 2 ore de la finisarea examenului (timp de verificare a lucrărilor). În cazul în care studentul nu este de acord cu nota acumulată, el are dreptul să tragă un alt bilet de examinare și să răspundă oral la sarcinile formulate.

IX.1. Chestionarul pentru evaluarea finală:

1. Caracteristicile generale ale corpurilor cristaline. Rețea spațială. Bază. Structură cristalină. Rețelele Bravais;
2. Indicii Miller pentru plane și direcții cristaline;
3. Coordonate atomice. Raze atomice. Coeficient de compactitate. Distanța interplanară;
4. Rețeaua reciprocă. Vectorii fundamentali ai rețelei reciproce pentru diferite tipuri de rețele Bravais. Celula Wigner-Seitz;
5. Defectele structurale în cristale;
6. Forțele de legătură dintre atomi. Legătura Van der Waals. Cristale moleculare. Legătura ionică. Cristale ionice;
7. Legătura covalentă. Legătura metalică. Cristale metalice. Legătura de hidrogen;
8. Vibrațiile rețelei cristaline unidimensionale cu un singur tip de atom pe celula elementară;
9. Vibrațiile rețelei cristaline unidimensionale cu două tipuri de atomi pe celula elementară;
10. Ecuația lui Schrodinger pentru corpul solid. Aproximația adiabatică. Modelul Kronig-Penney pentru benzile de energie ale electronilor din corpul solid;
11. Proprietățile termice ale corpului solid. Teorii ale căldurilor molare ale corpurilor solide;
12. Clasificarea corpurilor solide. Clasificarea semiconductorilor și aplicațiile acestora;
13. Concentrația electronilor liberi în banda de conducție și a golurilor libere în banda de valență în semiconductori intrinseci;
14. Concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductori extrinseci. Ecuația netralității electrice la echilibru termic. Dependența nivelului Fermi de temperatură în semiconductori extrinseci;
15. Fenomene de transport în solide. Ecuația de transport Boltzmann. Timpul de relaxare;
16. Clasificarea fenomenelor de transport. Conductivitatea electrică a semiconductorilor;
17. Dependența de temperatură a concentrației purtătorilor de sarcină, a mobilității acestora și a conductivității electrice;
18. Conductivitatea termică. Legea lui Wiedemann-Franz;
19. Efecte galvanomagnetice. Efectul Hall. Explicarea fenomenului. Coeficientul Hall în cazul semiconductorilor cu un singur purtător de sarcină și în cazul conducției mixte;
20. Efectul magnetorezistiv. Efectul Ettingshausen. Efectul Nernst;
21. Fenomene termoelectrice (efectul Seebeck, efectul Peltier, efectul Thomson). Aplicații.
22. Fenomene termomagnetice (efectele Nerst-Ettingshausen transversal și longitudinal, efectul Maggi-Righi-Leduc și Righi-Leduc).

IX.II. Mostre de bilete pentru examen:

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți
Facultatea de Științe Reale, Economice și ale Mediului
Catedra de științe fizice și ingineresti

Bilet de examinare Nr. 1 Examen la FIZICA SEMICONDUCTORILOR (ciclul II, specialitatea Didactica fizicii)

Aprob
Șef de catedră _____

Expuneți temele:

1. (5p.) Defectele structurale în cristale.
2. (5p.) Efectul magnetorezistiv. Efectul Ettingshausen. Efectul Nernst.

Rezolvați problema:

3. (4p.) Determinați parametru rețelei cristaline a și distanța interplanară d dintre atomii de Ca, dacă celula elementară a acestuia este cubică cu baze centrate, iar densitatea cristalului $\rho = 1,55 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

R: 556 pm, 393 pm

Barem de evaluare

Nr. puncte	14	13	12	10-11	8-9	6-7	4-5	3	2	1
Nota	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

14. XII. 2013 Examinator: conf. univ, dr. Mihail Popa / /

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți
Facultatea de Științe Reale, Economice și ale Mediului
Catedra de științe fizice și ingineresti

Bilet de examinare Nr. 2 Examen la FIZICA SEMICONDUCTORILOR (ciclul II, specialitatea Didactica fizicii)

Aprob
Șef de catedră _____

Expuneți temele:

1. (5p.) Indicii Miller pentru plane și direcții cristaline.
2. (5p.) Conductivitatea termică. Legea lui Wiedemann-Franz.

Rezolvați problema:

3. (4p.) Un cristal semiconductor de germaniu este încălzit de la 0 până la 17°C . Cunoscând că lărgimea benzii interzise a germaniului este $\Delta E = 0,72 \text{ eV}$ determinați, de câte ori se modifică conductivitatea electrică a semiconductorului intrinsec.

R: crește de 2,45 ori

Barem de evaluare

Nr. puncte	14	13	12	10-11	8-9	6-7	4-5	3	2	1
Nota	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

14. XII. 2013 Examinator: conf. univ, dr. Mihail Popa / /

X. Bibliografie

1. NICOLAESCU, I.I., CANȚER, V.G., *Fizica corpului solid*, vol. I-IV, Chișinău, Editura UTM, 1992-1993. 808p.
2. KIREEV, P.S., *Fizica semiconductorilor*, București, Editura științifică și enciclopedică, 1977. 791p.
3. RUSU, G.I., RUSU, G.M., *Bazele fizicii semiconductorilor*, Iași, Editura Cermi, 2005. 362p.
4. SMITH, R.A., *Semiconductors*, London, University Press, 1987. 496p.
5. BLAKEMORE, I.S., *Solid state physics*, Cambridge University Press, 1985. 506p.
6. ШАЛИМОВА, К.В., *Физика полупроводников*, Москва, «Наука», 1987. 615с.
7. ЗЕЕГЕР, К., *Физика полупроводников*, Москва, «Мир», 1987. 615с.
8. АНСЕЛЬМ, А.И., *Введение в теорию полупроводников*, Москва, «Наука», 1978. 612с.
9. RUSU, G.G., BABAN, C., MIHAELA RUSU, *Materiale și dispozitive semiconductoare (lucrări de laborator)*, Iași, Editura Universității „A.I.Cuza”, 1998. 236p.
10. РИГЕР, Е.Р., *Физика полупроводников: сборник лабораторных работ*, Ульяновск Издательство Технического Университета, 2005. 345 с.