

Чернівецький національний університеті мені Юрія Федьковича

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра електроніки і енергетики

СИЛАБУС
навчальної дисципліни

“Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур”

вибіркова

Освітньо-професійна програма “Мікро- та наносистемна техніка”

Спеціальність № 153 “Мікро- та наносистемна техніка”

Галузь знань 15 “Автоматизація та приладобудування”

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень вищої освіти

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання українська

Розробники: Стребежев Віктор Миколайович, доцент, к.ф.-м.н., доцент

(вказати авторів (викладач (ів)), їхні посади, наукові ступені, вчені звання)

Профайл викладача (-ів)

<http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/%d1%81%d1%82%d1%80%d0%b5%d0%b1%d0%b5%d0%b6%d0%b5%d0%b2-%d0%b2%d1%96%d0%ba%d1%82%d0%be%d1%80-%d0%bc%d0%b8%d0%ba%d0%be%d0%bb%d0%b0%d0%b9%d0%be%d0%b2%d0%b8%d1%87/>

Контактний тел. 0372242514

E-mail: v.strebezhev@chnu.edu.ua

Сторінка курсу в Moodle

Консультації

Очні консультації: **середа з 16.30 до 17.30**

Онлайн-консультації: **середа з 16.30 до 17.30**

1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни).

Курс “Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур” є навчальною дисципліною з вивчення фізичних основ функціонування, конструкції, технології виготовлення та застосування ультрамініатюрних приладних структур, принципи дії яких базуються на квантових закономірностях.

2. Мета навчальної дисципліни:

Метою викладання навчальної дисципліни “Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур” є надання студентам базових знань вмінь і навичок з фізичних основ наномасштабної електроніки та явищ і фізичних процесів, які визначають функціонування фотоприймачів і лазерів на квантових ямах і точках, резонансно-тунельних та одноелектронних транзисторів, приладів на основі балістичного транспорту, квантово-точкових клітинних автоматів, НЕМТ-транзисторів та інших елементів і пристроїв.

3. Пререквізити. Засвоєння матеріалу даної дисципліни передбачає знання основ дисциплін “Квантова механіка”, “Фізичні основи електроніки”, “Технологічні основи електроніки”, “Твердотільна електроніка”, “Основи наноелектроніки”.

4. Результати навчання

- **знати:** фізичну суть процесів, які відбуваються при переході від об'ємних кристалів напівпровідників до низькорозмірних квантових структур, систем і надграток, електронні властивості та застосування наноструктур в якості наноелектронної елементної бази, принципи роботи та технологічні аспекти створення фотоприймачів і лазерів на квантових ямах і точках, резонансно-тунельних та одноелектронних транзисторів, приладів на основі балістичного транспорту, квантово-точкових клітинних автоматів, НЕМТ-транзисторів та інших елементів і пристроїв.

вміти: самостійно користуватися сучасною технічною і довідковою літературою для самостійного освоєння нових теоретичних, технологічних, конструкційних та матеріалознавчих підходів в процесі проектування і формування низькорозмірних структур, їх застосування в якості бази для створення елементів, приладів та інтегральних схем з нанометровою топологією й мати практичні навички визначення їх будови та основних характеристик, технологічних методів отримання.

Програмні результати навчання

ПРН1 Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.

ПРН2 Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.

ПРН3 Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.

ПРН4 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності.

ПРН6 Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.

ПРН11 Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів.

5. Опис навчальної дисципліни

5.1. Загальна інформація

Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур											
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	5	9	6,0	180	30	–	–	30	120	–	екзамен

5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
Змістовий модуль 1. Фізика і технологія елементної бази на основі низькорозмірних структур						
Тема 1. Розмірне квантування і квантово-розмірні структури	17	2	-	2	-	15
Тема 2. Технології квантово-розмірних структур, локальні зондові методи.	25	4	-	4	-	15
Тема 3. Самоорганізація імплантованих наноструктур в напівпровідниках	23	4		4		15
Тема 4. Методи вуглецевої наноелектроніки та спінтроніки	23	4		4		15
Разом за змістовим модулем 1	88	14		14		60
Змістовий модуль 2. Застосування квантово-розмірних структур в приладах мікро- та наносистемної техніки						
Тема 5. Наногетероструктури, резонансно-тунельні структури та прилади на їх основі	23	4		4		15
Тема 6. Оптиелектронні прилади на квантових ямах і точках та квантово-точкові клітинні автомати	23	4		4		15
Тема 7. Одноелектронні транзистори і прилади на основі балістичного транспорту	23	4		4		15
Тема 8. Спінові нанотранзистори та наноелектромеханічні системи	23	4		4		15
Разом за змістовим модулем 2	92	16		16		60
Усього годин	180	30	-	30	-	120

5.2.1 Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Лабораторна робота №1. Отримання напівпровідникових плівок рідинно-фазною епітаксією та їх лазерне наноструктурування	4
2	Лабораторна робота №2. Вивчення спектрів люмінесценції нанокристалів CdS в колоїдному розчині	4
3	Лабораторна робота №3. Дослідження інтерференційних ефектів у спектрах оптичного пропускання тонких шарів селеніду галію.	4
4	Лабораторна робота №4. Отримання плівок графену методом електричної дуги.	4
5	Лабораторна робота №5. Вимірювання товщини плівок за допомогою мікроінтерферометра і РЕМ.	4
6	Лабораторна робота №6. Вимірювання товщини та показника заломлення наноплівки методом лазерної еліпсометрії.	4
7	Лабораторна робота №7. Вимірювання спектральних характеристик пропускання інтерференційних багатошарових тонкоплівкових систем	2
8	Лабораторна робота №8. Діагностика роботи мікросхеми в растровому електронному мікроскопі	4

5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розмірне квантування і квантово-розмірні структури	15
2	Технології квантово-розмірних структур, локальні зондові методи.	15
3	Самоорганізація імплантованих наноструктур в напівпровідниках	15
4	Методи вуглецевої наноелектроніки та спінтроніки	15
5	Наногетероструктури, резонансно-тунельні структури та прилади на їх основі	15
6	Оптоелектронні прилади на квантових ямах і точках та квантово-точкові клітинні автомати	15
7	Одноелектронні транзистори і прилади на основі балістичного транспорту	15
8	Спінові нанотранзистори та наноелектромеханічні системи	15

6. Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю

Формами поточного контролю є усна чи письмова (тестування, есе, реферат, творча робота, лабораторна робота) відповідь студента, модульна контрольна робота та ін.

Формами підсумкового контролю є залік, екзамен, комплексний іспит.

Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання можуть бути:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- проекти (наскрізні проекти; індивідуальні та командні проекти; дослідницько-творчі та ін.);
- аналітичні звіти;
- реферати;
- есе;
- розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- контрольні роботи;
- завдання на лабораторному обладнанні, тренажерах, реальних об'єктах тощо;
 - інші види індивідуальних та групових завдань.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання може бути досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни.

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни “Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур”:

Знання студентів на екзамені оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки.

Студент має відповісти на три питання до дисципліни “Елементи і прилади на основі низькорозмірних структур”, які поставлені у відповідному білеті. За відповідь на перше і друге питання у білеті студент може максимально одержати по 13 балів, на третє питання – 14 балів.

Результати іспиту оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому:

0–2 балів. Студент виявляє слабке уявлення про елементи і прилади на основі низькорозмірних структур

. 3-5 балів. Студент має фрагментарні уявлення з предмета вивчення і може відтворити окремі його частини. Знає основні закономірності фізичних основ елементів і приладів на основі низькорозмірних структур, але не розуміє їх призначення.

6-7 балів. Студент невпевнено знає окремі розділи, означення, факти, що стосуються фізичних основ елементів і приладів на основі низькорозмірних структур та технологічних методів їх формування.

8-9 балів. Студент за допомогою викладача відтворює основні частини навчального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

10-11 балів. Студент самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює

закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки. Може пояснити процеси або явища, які стосуються принципів роботи елементів і приладів на основі низькорозмірних структур.

11-12 балів. Студент самостійно відтворює практичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть фізичних основ елементів і приладів на основі низькорозмірних структур, узагальнює їх, але допускає неточності.

12-14 балів. Студент вільно володіє засвоєними знаннями і використовує їх у нестандартних ситуаціях, самостійно оцінює суть явищ і процесів, що виникають в елементах і приладах на основі низькорозмірних структур, встановлює зв'язки між явищами що в них протікають, має системні знання з предмета, аргументовано використовує їх, у тому числі в проблемних ситуаціях; самостійно знаходить і використовує інформацію згідно з поставленим завданням; аналізує додаткову інформацію.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) студента заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (екзамен; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)										Екзамен (Кількість балів)	Сума- рна к-ть балів
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2					40	100
T1	T2	T3	T4	Всього	T5	T6	T7	T8	Всього		
8	8	7	7	30	7	8	8	7	30		

T1, T2 ... T8 – теми змістових модулів.

7. Рекомендована література

Основна

1. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч.1 / уклад.: **В.М. Стребезhev**, І.М. Юрійчук. Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича. 2021. 120 с.
2. Olena Maslyanchuk, **Viktor Strebezhev**, Petro Fochuk, Ihor Fodchuk, Mykola Sorokatyi, Aleksey Bolotnikov, and R. B. James "The effect of laser treatment on the morphology of graphene/CdTe x-ray and γ -ray detectors"// Proc.SPIE.– 2020, 11494,
<https://doi.org/10.1117/12.2570634> ISSN:0277-786X E-ISSN:1996-756X
CiteScore (Scopus)=0,8 2020 p. <https://www.scopus.com/sourceid/40067>
3. I. Savchuk, P.M. Fochuk, V.V. Strebezhev, G.I. Kleto, I.M. Yuriychuk, Y.B. Khalavka, Yu.K. Obedzynskiy, **V.M. Strebezhev**/ The effect of laser treatment on the morphology and structure of CdSb-Cd_{1-x}Mn_xTe and CdSb-In₄(Se₃)_{1-x}Te_{3x} thin film heterojunctions // Applied Surface Science. – 2017. – V.418. – P. 536-541. IF=2,982
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433216325788?>
4. Патент України на корисну модель № 131779. Ростовий контейнер для електрорідинної епітаксії. Ю.Г. Добровольський, **В.М. Стребезhev**, В.В. Стребезhev. (заявка № u 2018 08981 від 28.08.2018 МПК (2018.01) B65D 81/00, C30B 19/00, H01L 21/20, H01L 21/208. Опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.
<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=255170>
5. Д.М. Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 580с.
6. З.Ю. Готра. Технологія електронної техніки. Навчальний посібник у двох томах. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. – 884 с.

7. Фізичні основи електронної техніки : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Готра З.Ю., Лопатинський І.Є., Лукіянець Б.А., Микитюк З.М., Петрович І.В.; За редакцією Готри З.Ю. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2004. – 880 с.
8. М.М. Прищепа, В.П. Погребняк. Мікроелектроніка. В 3ч. Ч.1. Елементи мікроелектроніки. Навч. посіб. Київ, Вища школа, 2004, 431с.
9. Суздаев И. П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М. : КомКнига, 2006.- 592 с.
10. Пека Г.П., Стріха В.І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках.- Київ : Либідь, 1992. – 240 с.
11. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. – М : Мир, 1982. – 256 с.
12. Гапоненко С.В. Оптические процессы в полупроводниковых нанокристаллитах (квантовых точках) // Физика и техника полупроводников. – 1996.- Т.30, вып.4.- С. 577- 619.
13. Yoffe A.D. Low-dimensional systems: quantum size effects and electronic properties of semiconductor microcrystallites (zero-dimensional systems) and some quasi-two-dimensional systems // Advances in Physics. – 1993.- V.42, No.2.- P. 173-266.
14. Шик А. Я., Бакуева Л. Г., Мусихин С. Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем. – СПб.: Наука, 2001.- 160 с.
15. Шпак А. П., Куницький Ю. А., Коротченко О. О., Смик С. Ю. Квантові низькорозмірні системи. К.: Академперіодика, 2003.- 310 с.
16. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надгратки.- Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006.- 220 с.
17. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2007.- 416 с.

Допоміжна

1. Henneberger F., Schmitt-Rink S., Gobel E.O. Optics of Semiconductor Nanostructures. Akademic Verlag, Berlin, 1993. – 589 p.
2. Shchukin V.A., Ledentsov N.N., Bimberg D. Self-organized Formation of Semiconductor Nanostructures. Springer –Verlag, 2000.- 250 p.
3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. – М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006.- 496 с.
4. Щука А.А. Нанoeлектроника.- М.: Физматкнига, 2007.- 464 с.
5. Савчук А.Й. Ефекти розмірного квантування в напівпровідникових квантових структурах. Навчальний посібник.- Чернівці : Рута, 2002.- 56 с.
6. Савчук А.Й. Напівпровідникові квантові структури. Навчальний посібник.- Чернівці : Рута, 2002.- 51 с.

7. И. Броудай, Дж. Мерей. Физические основы микротехнологии. – Москва, Мир, 1985. – 494с.

8. Інформаційні ресурси

1. <http://e-learning.chnu.edu.ua> - Сайт дистанційної освіти ЧНУ.
2. <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/442/1/M05311.pdf>
3. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/116780/02-KryuchenkoNEW.pdf?sequence=1>
4. <https://www.twirpx.com/file/1561955/>
5. <http://vlp.com.ua/node/4407>