

Чернівецький національний університеті мені Юрія Федьковича

Навчально-науковий Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра електроніки і енергетики

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

“ Електроніка низькорозмірних систем ”

вибіркова

Освітньо-професійна програма **“Мікро- та наносистемна техніка”**

Спеціальність № 153 “Мікро- та наносистемна техніка”

Галузь знань 15 “Автоматизація та приладобудування”

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Навчально-науковий Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання українська

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

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. 0992624184

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

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=1097>.

Консультації

Очні консультації: **вівторок з 14.30 до 15.30**

Онлайн-консультації: **вівторок з 14.30 до 15.30**

Очні консультації: за попередньою домовленістю: **п'ятниця з 14.30 до 15.30**

1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни)

Курс “Електроніка низькорозмірних систем” для студентів закладів вищої освіти є навчальною дисципліною з вивчення фізичних основ взаємодії електронів з електромагнітними полями, процесів формування наноелектронних елементів і систем, що включають в себе набір квантових ям та потенціальних бар’єрів, володіють властивостями багатофункціональності та виконанням складних динамічних функцій, при чому хвильові властивості електронів та квантово-розмірні ефекти в цих нанoeлементax і системах використовуються для передачі, обробки і зберігання інформації.

Курс включає в себе розгляд способів і методів створення елементів і приладів нанометрових розмірів, в тому числі з окремих молекул і атомів, в яких виключно мала інерційність електронів дозволяє ефективно використовувати взаємодію електронів з мікрополями атомів, молекул, або з полем кристалічної ґратки для створення приладів і пристроїв нового покоління, що відрізняються високою продуктивністю, мінімальним споживанням енергії, надвисокою швидкістю і надмініатюрними розмірами.

Переваги вивчення дисципліни “Електроніка низькорозмірних систем” полягають у тому, що отримані компетентності дадуть студентам основи свідомого освоєння нових теоретичних, технологічних, конструкційних та матеріалознавчих підходів щодо сучасної електроніки низькорозмірних структур і систем, що допоможе їм стати досвідченими спеціалістами в області мікро-та наносистемної техніки.

2. Мета навчальної дисципліни:

Метою викладання навчальної дисципліни “Електроніка низькорозмірних систем” є формування у студентів базових знань з фізичних основ, явищ і закономірностей хвильової взаємодії електронів з електромагнітними полями в нанoeлементax і системах, які використовуються для передачі, обробки і зберігання інформації, а також вивчення процесів формування наноелектронних елементів і систем на основі квантових ям та потенціальних бар’єрів, для створення приладів і пристроїв нового покоління, що відрізняються високою продуктивністю, мінімальним споживанням енергії, надвисокою швидкістю і надмініатюрними розмірами.

3. Пререквізити. Засвоєння матеріалу даної дисципліни передбачає знання основ дисциплін “Квантова механіка”, “Фізичні основи електроніки”, “Фізика твердого тіла”, “Основи наноелектроніки”,.

4. Результати навчання:

- **знати** фізичні закономірності і явища, що визначають електронні властивості низькорозмірних наноприладів і наносистем;
- **знати** сучасні наукові основи електроніки низькорозмірних систем, особливості процесів перенесення і розподілу зарядів, балістичного транспорту, впливу трансформації енергетичного спектру при зміні розмірності системи, процесів тунелювання, транспортного ефекту Ааронова – Бома, перерозподілу енергії, маси і інформації при наноструктурованні;
- **знати** і застосовувати теоретичні і технологічні основи сучасних елементів і систем на базі низькорозмірних структур: приладів одноелектроніки, приладів вуглецевої наноелектроніки, квантових вентилів, квантових інтерферометрів, квантових каскадних лазерів, фотоприймачів на квантових ямах, одноелектронних комірок пам'яті, бістабільних логічних елементів, тунельних та резонансно-тунельних гетероструктур, квантових нанопроцесорів;
 - вміти** аналізувати можливості нанотехнологій для створення низькорозмірних систем, наноматеріалів, наноелементів і приладів з необхідним комплексом електронних властивостей;
 - **вміти** застосовувати знання і розуміння фізики низькорозмірних структур та квантово-розмірних ефектів, використовувати сучасні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу низькорозмірних систем електроніки для потреб мікро- та наносистемної техніки;
 - **вміти** визначати принципи формоутворення наноматеріалів і наносистем різноманітного призначення за допомогою зондових нанотехнологій;
- **вміти** аналізувати та застосовувати фактори, які впливають на ефективність функціонування наномасштабних пристроїв і приладів, забезпечують оптимізацію фізичної структури, параметрів і характеристик приладів електроніки низькорозмірних елементів та систем.

Програмні результати навчання

ПР 16. Застосовувати результати досліджень фізичних явищ в тонкоплівкових і мікро- та нанорозмірних напівпровідникових об'єктах для побудови елементів мікро- та наносистемної техніки.

5. Опис навчальної дисципліни

5.1. Загальна інформація

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	4	8	3,0	90	24	-	-	24	42	-	екзамен

5.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	пр	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Змістовий модуль 1. Епітаксійні та зондові нанотехнології для створення елементної бази електроніки низькорозмірних систем						
Тема 1. Вступ. Основи фізики низькорозмірних систем і розвиток технологій напівпровідникових надграток і структур з квантовими ямами.	9	2	-	2	-	5
Тема 2. Процес молекулярно-променевої епітаксії, роль кінетики, термодинаміки і структури поверхні в створенні гетероперехідних систем.	14	4	-	4	-	6
Тема 3. Зондові нанотехнології для створення елементної бази електроніки низькорозмірних систем	13	4	-	4	-	5
Тема 4. Зондова мікроскопія	9	2	-	2	-	5

наноелементів вуглецевої електроніки.						
Разом за змістовим модулем 1	45	12	-	12	-	21
Модуль 2						
Змістовий модуль 2.						
Тема 5. Низькорозмірні елементи і прилади: квантовий вентиль, квантовий інтерферометр, квантовий каскадний лазер, молекулярний тригер, наноелектромеханіка.	9	4	-	2	-	5
Тема 6. Транзистори із резонансним тунелюванням та одноелектронні транзистори.	14	2	-	4	-	6
Тема 7. Оптоелектронні прилади на основі надграток і структур з багатьма квантовими ямами.	13	4	-	4	-	5
Тема 8. Інтегральні системи на основі вуглецевих наноструктур та квазіодновимірних провідників.	9	2	-	2	-	5
Разом за змістовим модулем 2	45	12	-	12	-	21
Усього годин	90	24	-	24	-	42

5.2.1. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Лабораторна робота №1. Отримання вуглецевих плівок та наноструктур методом електричної дуги.	3
2	Лабораторна робота №2. Дослідження структури вуглецевих плівок методами зондової мікроскопії РЕМ та АСМ.	4
3	Лабораторна робота №3. Вивчення режимів роботи растрового електронного мікроскопі та електронна обробка низькорозмірних структур.	4

4	Лабораторна робота №4. Динамічний контроль товщини багатшарових тонкоплівкових систем методом лазерної інтерференції.	4
5	Лабораторна робота №5. Еліпсометричні методи характеристики та діагностики наноплівки.	3
6	Лабораторна робота №6. Формування нанорельєфу за допомогою зондових методів.	3
7	Лабораторна робота №7. Вимірювання оптичних характеристик багатшарових інтерференційних тонкоплівкових систем.	3

5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Вступ. Основи фізики низькорозмірних систем і розвиток технологій напівпровідникових надграток і структур з квантовими ямами. Поверхневі стани. Рівні Тамма, Шоклі. Квантування енергії носіїв у при поверхневій області.	5
2	Тема 2. Процес молекулярно-променевої епітаксії, роль кінетики, термодинаміки і структури поверхні в створенні гетероперехідних систем. Можливість формування гетероструктур з мінімальним розузгодженням за параметрами ґратки. Електронні властивості гетероструктур у магнітному полі.	6
3	Тема 3. Зондові нанотехнології для створення елементної бази електроніки низькорозмірних систем. Квазіодновимірні провідники, їх зондове формування. Елементи металевої наноелектроніки. Нанотранзистори на основі вуглецевих нанотрубок.	6
4	Тема 4. Зондова мікроскопія нанoeлементів вуглецевої електроніки. Методи селекції ВНТ. Фізико-хімічні ефекти в зондовій мікроскопії. Локальна модифікація поверхні у глибині кристала. Методи дослідження СТМ та АСМ-мікроскопії.	6
5	Тема 5. Низькорозмірні елементи і прилади: квантовий вентиль, квантовий інтерферометр, квантовий каскадний лазер, молекулярний тригер, нанoeлектромеханіка. Методи створення надпровідних нанорозмірних структур. Електронні елементи на основі надпровідних нанорозмірних структур. Датчики магнітного поля. Датчик ІЧ- випромінювання болометричного типу.	6
6	Тема 6. Транзистори із резонансним тунелюванням та одноелектронні	5

	транзистори. Наноструктурні пристрої з ефектом ГМО.. Молекулярні логічні елементи. Наносенсори. Резонансно-тунельний транзистор на квантовій точці. Прилади на основі балістичного транспорту. Ефект Джозефсона. Ефект Мейснера.	
7	Тема 7. Оптоелектронні прилади на основі надграток і структур з багатьма квантовими ямами. Зонна структура політичних надграток. Оптичні переходи у надгратках.	3
8	Тема 8. Інтегральні системи на основі вуглецевих наноструктур та квазіодновимірних провідників. Вуглецеві нанотрубки. Графен, фелерени та методи одержання. Високочастотні діелектричні властивості нанорозмірних плівок. Структурно-чутливі властивості нанокомпозитів. Нанокомпозити в функціональній електроніці. Структури та прилади екстремальної наноелектроніки.	5

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 екзамен.

Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання можуть бути:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- реферати;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- контрольні роботи;
- завдання на лабораторному обладнанні
- 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 “Електроніка низькорозмірних систем”. Знання студентів на екзамені оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки.

Студент має відповісти на три питання до дисципліни “Електроніка низькорозмірних систем”, 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 слабе уявлення про дисципліну “Електроніка низькорозмірних систем”

3-5 балів. Студент має фрагментарні уявлення з предмета вивчення і може відтворити окремі його частини. Знає основні закономірності та фізичні основи створення низькорозмірних структур, але не розуміє їх призначення.

6-7 балів. Студент невпевнено знає окремі розділи, означення, факти, що стосуються фізики низькорозмірних структур і систем та нанотехнологічних 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 напівпровідникових квантових структур і систем.

11-12 балів. Студент самостійно відтворює практичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть фізичних основ напівпровідникових квантових структур і нанотехнологій, 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 квантових структурах і нанотехнологіях, 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
Т1	Т2	Т3	Т4	Всього	Т5	Т6	Т7	Т8	Всього		
8	8	7	7	30	7	8	8	7	30		

Т1, Т2 ... Т8 – теми змістових модулів.

7. Рекомендована література

Методичні та наукові роботи автора

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. Yuriyчук, Y.B. Khalavka, Yu.K. Obedzynskyi, **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](https://doi.org/10.1016/j.apusc.2017.04.118). – 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>

ОСНОВНА

5. Д.М. Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 580с.

6. Пека Г.П., Стріха В.І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках.- Київ : Либідь, 1992. – 240 с.

7. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надгратки.- Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006.- 220 с.
8. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Навчальний посібник. Суми: Сумський державний університет. 2014, 125с
9. Гречихин Л. И. Наночастицы и нанотехнологии / Минск. гос. высш. авиац. колледж. – Минск : Право и экономика, 2008. - 406 с. – Библиогр.: с. 391-405 .
10. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. – М : Мир, 1989. – 238 с.
11. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под ред. Л. Черга и К. Плога. . – М : Мир, 1989. – 582 с.
12. В. Неволин. Зондовые нанотехнологии в электронике. . – М : Техносфера, 2005. – 147 с.
13. Кульбачинский В.А. Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки. – М : Изд-во физического факультета МГУ, 1998.- 164 с.
14. Суздалев И. П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М. : КомКнига, 2006.- 592 с.
15. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. – М : Мир, 1982. – 256 с.
16. 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.nbuiv.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>

6. Статті та повідомлення в періодичних наукових та Інтернет виданнях з тематики сучасної нанотехнології. Статті по тематиці предмету представлені у різних міжнародних наукометричних базах даних: Scopus, Web of Science, Google Scholar.