

Чернівецький національний університеті мені Юрія Федьковича

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

Кафедра електроніки і енергетики

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

“Квантова електроніка”

дисципліна вільного вибору студентів

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=1101>.

Консультації

Очні консультації: **понеділок з 16.00 до 17.00**

Онлайн-консультації: **понеділок з 17.30 до 19.00**

1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни)

Курс “Квантова електроніка” для студентів закладів вищої освіти є навчальною дисципліною з вивчення фізичних основ та особливостей сучасної квантової електроніки, закономірностей взаємодії квантової системи з електромагнітним полем, застосування квантових явищ для генерації, підсилення і перетворення когерентних хвиль, принципів побудови квантових генераторів й підсилювачів, лазерів і модуляторів, дальномірів і гіроскопів, використання квантових приладів в напівпровідниковій технології, системах зв’язку, в обчислювальній техніці, медицині та біології. Переваги вивчення дисципліни “Квантова електроніка” полягають у тому, що отримані компетентності дадуть студентам основи свідомого освоєння нових теоретичних, технологічних, конструкційних та матеріалознавчих підходів щодо сучасної квантової електроніки, що допоможе їм стати досвідченими спеціалістами в області мікро-та наносистемної техніки, оскільки в ній широко використовуються квантові прилади.

2. Мета навчальної дисципліни:

Метою викладання навчальної дисципліни “Квантова електроніка” є оволодіння студентами базовими знаннями з фізичних основ і процесів, напрямків розвитку, принципів і методів сучасної квантової електроніки, основ і закономірностей взаємодії квантової системи з електромагнітним полем, застосування квантових явищ для генерації, підсилення і перетворення когерентних хвиль, формування у студентів базових знань з фундаментальних властивостей лазерного випромінювання, будови та конструкції квантових генераторів, квантових підсилювачів, лазерів і модуляторів, дальномірів і гіроскопів, а також застосування квантових приладів в різних областях науки і промисловості, в напівпровідниковій технології, системах зв’язку, в обчислювальній техніці, медицині та біології.

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

4. Результати навчання

знати:

- фізичні основи і фізичні ефекти, що визначають закономірності взаємодії квантової системи з електромагнітним полем, застосування квантових явищ для генерації, підсилення і перетворення когерентних хвиль;
- основні принципи і моделі, сучасні наукові основи квантової електроніки, на яких ґрунтується будова та конструкція квантових генераторів, квантових підсилювачів, дальномірів і гіроскопів, модуляторів лазерного випромінювання, і забезпечується застосування квантових приладів в

напівпровідниковій технології, системах зв'язку, в обчислювальній техніці, медицині та біології;

вміти:

- застосовувати і оптимізувати фактори (енергія фотонів, інтенсивність випромінювання, частота та кількість імпульсів), які впливають на ефективність використання квантових приладів та забезпечувати здійснення безпечної діяльності;
- аналізувати теоретичні і технологічні основи конструювання квантових генераторів, квантових підсилювачів, дальномірів і гіроскопів, використовувати квантові прилади в напівпровідниковій технології, при розв'язанні завдань мікро-та наносистемної техніки;
- проводити вимірювання основних характеристик квантових приладів і визначати їх параметри.

Програмні результати навчання

ПР 2. Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікро- та наносистемної техніки.

ПР 3. Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв 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	3	6	4,0	120	30	-	-	15	75	-	залік

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. Фізичні основи взаємодії квантової системи з електромагнітним полем						
Тема 1. Вступ. Напрямки розвитку квантової електроніки.	13	2	-	2	-	9
Тема 2. Фізичні процеси в квантовій системі.	16	4	-	2	-	10
Тема 3. Квантові підсилювачі.	15	4	-	2	-	9
Тема 4. Фізичні принципи функціонування і будова квантових приладів.	16	4	-	2	-	10
Разом за змістовим модулем 1	60	14	-	8	-	38
Модуль 2						
Змістовий модуль 2. Фізичні і технічні основи конструкції квантових приладів різного призначення						
Тема 5. Твердотільні й газові лазери.	16	4	-	3	-	9
Тема 6. Фізичні процеси в активному середовищі на основі напівпровідників та інжекційні лазери.	16	4	-	2	-	10
Тема 7. Фізика процесів модуляції і перетворення лазерного випромінювання та пристрої керування.	13	4	-	-	-	9
Тема 8. Основи лазерної голографії та інші прилади лазерної техніки.	15	4	-	2	-	9
Разом за змістовим модулем 2	60	16	-	7	-	37
Усього годин	120	30	-	15	-	75

5.2.1. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Лабораторна робота №1. Вивчення принципу роботи та юстування газових лазерів.	1
2	Лабораторна робота №2. Дослідження однорідності лазерного випромінювання.	2
3	Лабораторна робота №3. Вимірювання розбіжності випромінювання оптичного квантового генератора.	2
4	Лабораторна робота №4. Вимірювання потужності лазерного випромінювання тепловим методом.	2
5	Лабораторна робота №5. Визначення енергії та потужності лазерного випромінювання фотоелектричним методом.	2
6	Лабораторна робота №6. Визначення параметрів лазерного випромінювання інтерференційним методом.	2
7	Лабораторна робота №7. Пондеромоторні методи вимірювання енергетичних параметрів лазерів.	2
8	Лабораторна робота №8. Інтерференційні методи вимірювання енергетичних параметрів лазерів.	2

5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

№	Назва теми	Кількість годин
1	Напрямки розвитку квантової електроніки. Активні квантові речовини. Методи інвертування заселеності. Оптичні резонатори. Резонансна частота спектральної лінії випромінювання – відмітка еталонного часу.	9
2	Фізичні процеси в квантовій системі. Частота генерації імпульсного твердотільного лазера. Конструкція системи охолодження і термостабілізації лазерних головок. Графоаналітичний метод розрахунку конструктивних параметрів імпульсного твердотільного	9

	лазера. Розрахунок енергетичних характеристик. Плівковий лазер з розподіленим зворотнім зв'язком. Методики розрахунку основних характеристик лазерів.	
3	Квантові підсилювачі. Парамагнітні кристали – активні речовини квантових підсилювачів. Рубін – активна речовина лазера. Нестационарне теплове поле і теплопровідність активної речовини. Ефект Саньяка і кільцевий інтерферометр – резонатор. Кільцевий лазер і його основні характеристики. Основні рівняння кільцевого лазера і явища захоплення різниці частоти. Методика розрахунку основних характеристик кільцевого лазера.	10
4	Фізичні принципи функціонування і будова квантових приладів. Фізика процесів модуляції і перетворення лазерного випромінювання та пристрої керування. Управління частотою лазерного випромінювання. Тепловий і фотоелектричний принципи перетворення оптичної потужності в електричну. Модуляція та управління лазерним випромінюванням. Фізичні принципи, класифікація і основні характеристики модуляторів лазерного випромінювання. Електрооптичний ефект в кристалах. Неперервний оптичний рефлектор.	10
5	Твердотільні й газові лазери. Цезієвий атомно-випромінювальний стандарт частоти. Аміачний лазер – активний стандарт частоти. Квантові стандарти частоти оптичного діапазону довжини хвиль. Застосування і перспективи квантових стандартів.	10
6	Фізичні процеси в активному середовищі на основі напівпровідників та інжекційні лазери. Особливості каналу зв'язку. Характеристики оптичного каналу. Системи телекомунікаційного лазерного зв'язку. Лазерні дальноміри і гіроскопи. Принципи проектування лазерних гіроскопів.	9
7	Фізика процесів модуляції і перетворення лазерного випромінювання та пристрої керування. Електрооптична модуляція позарезонаторного неперервного випромінювання. Фотопружність і акустооптичні модulators випромінювання. Метод модуляції добротності резонатора. Лазер з призмовим затвором. Електрооптичні затвори. Пасивні модulators добротності. Неперервний оптичний дефлектор. Дискретний оптичний дефлектор. Нелінійні оптичні ефекти і перетворення лазерного випромінювання.	9
8	Основи лазерної голографії та інші прилади лазерної техніки. Застосування лазерів у технології напівпровідників: лазерна обробка кристалів та епітаксійних шарів і плівок. Лазери в обчислювальній техніці, медицині та біології. Переваги лазерного зв'язку та лазерної технології. Режими введення випромінювання в зону обробки. Технічні характеристики промислових установок.	9

6. Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю

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

Формами підсумкового контролю є залік.

Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання можуть бути:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- реферати;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- 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.

Знання студентів на заліку оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки. Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за шкалою ECTS та національною шкалою на заліку з дисципліни “Квантова електроніка”:

Студент має відповісти на три питання до дисципліни “Квантова електроніка”, 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 цих відповідей додаються. Результати заліку оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали - 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому по окремих питаннях білета виставляється:

0–2 балів. Студент виявляє слабке уявлення про суть предмету “Квантова електроніка”.

3-5 балів. Студент має фрагментарні уявлення з предмету вивчення і може відтворити окремі його частини. Знає деякі закономірності квантових явищ в активному середовищі, але не розуміє їх призначення.

6-7 балів. Студент невпевнено знає окремі розділи, означення, факти, щодо квантових явищ в активному середовищі, але неповно розуміє конструкцію та функціонування лазерних елементів і систем.

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 квантової електроніки.

11-12 балів. Студент самостійно відтворює практичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть фізичних основ квантової електроніки, 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 квантової електроніки, встановлює зв'язки між різними розділами, 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 (залік; 0-40 балів) згідно наступної таблиці:

У випадку сумарної кількості балів від 50 до 100 залік студенту **зараховано**, у протилежному випадку – **незараховано**.

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) T1, T2 ... T8 – теми змістових модулів											Екзамен (Кількість балів)	Сумарна к-ть балів	
Змістовий модуль 1						Змістовий модуль 2						40	100
T1	T2	T3	T4	-	-	T5	T6	T7	T8	-	-		
6	8	8	8	-	-	8	8	6	8	-	-		

7. Рекомендована література

Методичні та наукові роботи автора

- 1) 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>
- 2) **V.M. Strebezhev**, I.M. Yuriychuk, P.M. Fochuk, V.V. Strebezhev, V.G. Pylypko, M.O. Sorokatyi/ Ellipsometric studies and scanning electron microscopy of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ films and layers modified by laser irradiation // Proc. SPIE. – 2020, 11369, 113691E. <https://doi.org/10.1117/12.2553967>
- 3) **Strebezhev V.M.** Preparation of $\text{Cd}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Te}$ crystal surface by laser irradiation for the creation of barrier structures /V.M. Strebezhev, G.I. Vorobets, P.M. Fochuk, V.V. Strebezhev, I.M. Yuriychuk, Y.G. Dobrovolskyi, S.V. Nichyi // Proceedings of IEEE, ELNANO. – Kyiv, 2019. – P. 330-334.
DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783834
- 4) A.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 $\text{CdSb-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ and $\text{CdSb-In}_4(\text{Se}_3)_{1-x}\text{Te}_{3x}$ thin film heterojunctions // Applied Surface Science. – 2017. – V.418. – P. 536-541. Імпакт-фактор: IF=2,982
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433216325788?>
- 5) **V. Strebezhev**, I.Yuriychuk, P. Fochuk, S. Nichyi, Yu. Dobrovolsky, V. Tkachuk, M. Sorokatyi, Yu. Sorokatyi. Determination of the structural state and stability of the laser crystallized $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ crystal surface // Informatyka. Automatyka. Pomiar. Politechnika Lubelska (PL). IAPGOS. – 1/2020. – P. 40-43.
<http://doi.org/10.35784/iapgos.918>
- 6) О.В. Галочкін, В.М. Жихаревич, Г.І. Раренко, **В.М. Стребежев**, Я.Д. Захарук, С.Г. Дремлюженко. Вплив потужного мілісекундного лазерного випромінювання на глибину проплавленого шару в кристалах CdTe та $\text{Cd}_{0,8}\text{Mn}_{0,2}\text{Te}$ // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т. 13, № 1. – С. 224-229.
- 7) Гацкевіч А.І., Іулеу Г.Д. Рарэнка А.І., Саучук А.І. **Стрэб'яжау В.М.** Захарук З.І. Мадыфікацыя паверхневых слаёў крышталаў CdMnTe уздзеяннем нанасекунднага лазернага выпраменьвання // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, серыя фізіка-матэматычных навук, № 3, 2008. – С.94-96.
- 8) Melnychuk T.A, **Strebegev V.N.** Vorobets G.I. Laser synthesis of thin films and layers of In_4Se_3 , In_4Te_3 and modification of their structure. // Applied Surface Science, V.254 (2007) P.1002-1006.
- 9) E.I. Gatskevich, G.D. Ivlev, A.I. Rarenko, A.I. Savchuk, **V.N. Strebegev**, Z.I. Zakharuk. Modification of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ crystal surface layers by nanopulsed laser irradiation // Applied Surface Science. 2007. – V.254. –N4. – P.993-996.

10) Vorobets G.I., Vorobets O.I., **Strebegev V.N.** Tanasyuk Yu.V. Laser gettering of structural – impurity defects in the contacts of metal – intrinsic CdTe with a Schottky barrier. // Applied Surface Science, V.254 (2007) P.942-947.

Основна

1. З.Ю. Готра, Я.В. Бобицький. Лазерні методи обробки в мікроелектроніці. – Львів.: Світ; 1991. – 168с.
2. У.Я. Швець, Л.Б. Дмитрієва. Квантова електроніка. Навчальний посібник. – ЗДІА. 2003. – 148 с.
3. Ю.В. Байбородин, Основы лазерной техники. – К.: Вища школа, 1988. – 383с.
4. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. – М: Высш.шк., 2005. – 543 с.
5. Реди Дж. Промышленное применение лазеров. – М.: Мир: 1981. – 638с.
6. О'Шна, Дональн и др. Лазерная техника. – М.: Мир: 1980. – 256с.
7. У. Дьюли. Лазерная технология и анализ материалов. – М.: Мир: 1986. – 504с.
8. Справочник по лазерной технике. – М.: Энергоиздат, 1991. – 544 с.
9. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. – М: Мир, 1986. – 304 с.
10. Смит Р. Полупроводники. – Изд. 2-е. М: Мир, 1982. – 560 с.
11. Мосс.Т., Баррел Г.,Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. – М: Мир, 1976. – 431с.
12. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. – М: Мир, 1973. – 456 с.
13. В. Демтредер. Лазерная спектроскопия. – М: Наука, 1985. – 607 с.
14. Газовые лазеры. Под ред. И. Мак-Даниэля У. Нигена. – М: Мир, 1986. – 548 с.

Допоміжна

15. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. – Т.1–2. – М.: Мир, 1981. – 660 с.
16. А.А. Щука. Электроника. Учебное пособие. – СПб, БХВ-Петербург, 2006. – 800с.
17. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2003. – 488 с.
18. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М., Энергия, 1978. – 312 с.
19. Тауц Я. Оптические свойства полупроводников в видимой и ультрафиолетовой части спектра. – М: Мир, 1967. – 75с.

Інформаційні ресурси

1. <http://e-learning.chnu.edu.ua/> - Сайт дистанційної освіти ЧНУ.
2. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/32034/1/Kvantova_elektonika.pdf
О.С. Кривець, О.О. Шматько, О.В. Ющенко. Квантова електроніка
Навчальний посібник. Суми. 2013.
3. apd.ipt.kpi.ua/infusions/downloads/downloads.php?file_id=155
[PDF] Квантова електроніка. Лекції.