

Чернівецький національний університеті мені Юрія Федьковича

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

Кафедра електроніки і енергетики

СИЛАБУС
навчальної дисципліни
“Лазерні прилади і системи”

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=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 “Лазерні прилади і системи” для студентів закладів вищої освіти є навчальною дисципліною з вивчення фізичних основ та конструкційних принципів сучасної лазерної техніки, наукових рекомендацій і технічних рішень, при виконанні яких створюються різноманітна квантова апаратура. В основу функціонування цієї апаратури та устаткування покладено застосування квантових явищ для генерації, підсилення, модуляції та перетворення висококогерентних монохроматичних електромагнітних хвиль. В курсі розглядаються науково обґрунтовані методи проектування, технічні засоби і рішення, які дозволяють оптимальним чином створювати схеми і конструкції квантових приладів, зокрема квантових стандартів часу, довжини і частоти, квантових генераторів й підсилювачів, лазерів і модуляторів, дальномірів і гіроскопів, а також лазерних систем зв’язку, лідарів, гірометрів, приладів обчислювальної техніки, систем обробки, запису та відображення інформації. Переваги вивчення дисципліни “Лазерні прилади і системи” полягають у тому, що отримані компетентності дадуть студентам основи свідомого освоєння нових теоретичних, технологічних, конструкційних та матеріалознавчих підходів щодо сучасної лазерної техніки, що допоможе їм стати досвідченими спеціалістами в області мікро- та наносистемної техніки, яка зв’язана із використанням лазерних приладів і систем.

2. Мета навчальної дисципліни:

Метою викладання навчальної дисципліни “Лазерні прилади і системи” є оволодіння студентами базовими знаннями з фізичних основ і процесів, напрямків розвитку, принципів і методів сучасної лазерної техніки, основ наукових рекомендацій і технічних рішень, при виконанні яких створюються різноманітна квантова апаратура для генерації, підсилення і перетворення когерентних хвиль, формування у студентів базових знань з практичної побудови та конструювання квантових генераторів, квантових підсилювачів, лазерів і модуляторів, дальномірів і гіроскопів, лазерних систем зв’язку, лідарів, гірометрів, приладів обчислювальної техніки, систем обробки, запису та відображення інформації, а також застосування лазерних приладів і систем в різних областях науки і промисловості.

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 взаємодію квантової системи з електромагнітним полем, застосування квантових явищ у

приладах і системах для генерації, підсилення і перетворення когерентних хвиль;

- науково обґрунтовані методи проектування, технічні засоби і рішення, які дозволяють оптимальним чином створювати схеми і конструкції квантових приладів та систем;
- основні принципи і моделі, сучасні наукові основи лазерної техніки, на яких ґрунтується побудова та конструювання квантових генераторів, квантових підсилювачів, лазерів і модуляторів, дальномірів і гіроскопів, лазерних систем зв'язку, лідарів, гірометрів, приладів обчислювальної техніки, систем обробки, запису та відображення інформації, а також застосування лазерних приладів і систем в різних областях науки і промисловості

вміти:

- застосовувати і аналізувати науково обґрунтовані методи проектування, технічні засоби і рішення, які дозволяють оптимальним чином створювати схеми і конструкції квантових приладів та систем;
- оптимізувати фактори (густина енергії, інтенсивність випромінювання, частота та кількість імпульсів), які підвищують ефективність використання квантових приладів;
- забезпечувати здійснення безпечної діяльності при роботі з лазерною технікою;
- аналізувати теоретичні моделі і технологічні принципи, технічні засоби і рішення, сучасні наукові основи лазерної техніки, що застосовуються при розв'язанні завдань мікро-та наносистемної техніки;
- проводити вимірювання основних характеристик лазерних приладів і систем, 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. Параметри взаємодії квантів з речовиною та технологічні лазерні прилади | | | | | | |
| Тема 1. Вступ. Лазерне випромінювання, принципи генерації та характеристики. | 13 | 2 | - | 2 | - | 9 |
| Тема 2. Аналіз режимів роботи лазерів. | 16 | 4 | - | 2 | - | 10 |
| Тема 3. Методи керування лазерним променем та його модуляція у квантових приладах. | 15 | 4 | - | 2 | - | 9 |
| Тема 4. Будова та функціонування технологічних лазерних приладів різного типу. | 16 | 4 | - | 2 | - | 10 |

| | | | | | | |
|---|-----|----|---|----|---|----|
| Разом за змістовим модулем 1 | 60 | 14 | - | 8 | - | 38 |
| Модуль 2 | | | | | | |
| Змістовий модуль 2. Застосування лазерних приладів і систем в науці та промисловості | | | | | | |
| Тема 5. Лазерні системи для запису інформації, обчислювальної техніки та голографії. | 16 | 4 | - | 3 | - | 9 |
| Тема 6. Лазерні прилади для радіолокації, радіоастрономії та біомедичних досліджень. | 16 | 4 | - | 2 | - | 10 |
| Тема 7. Напівпровідникові лазери для волоконно-оптичних ліній зв'язку. | 13 | 4 | - | - | - | 9 |
| Тема 8. Лазери для контрольно-виміральної апаратури, робототехніки, воєнної техніки та інші квантові прилади. | 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 будови та юстування твердотільних і газових лазерів. | 1 |
| 2 | Лабораторна робота №2. Ознайомлення з будовою і роботою технологічних лазерних установок. | 2 |
| 3 | Лабораторна робота №3. Одержання напівпровідникових плівок за допомогою імпульсного лазерного випромінювання в статичному вакуумі. | 2 |
| 4 | Лабораторна робота №4. Різка та свердління отворів за допомогою лазерного випромінювання. | 2 |
| 5 | Лабораторна робота №5. Визначення енергії та потужності лазерного випромінювання фотоелектричним методом та лазерна обробка | 2 |

| | | |
|---|---|---|
| | напівпровідників. | |
| 6 | Лабораторна робота №6. Визначення параметрів лазерного випромінювання інтерференційним методом і контроль товщини плівок. | 2 |
| 7 | Лабораторна робота №7. Зварювання металів за допомогою потужного лазерного випромінювання. | 2 |
| 8 | Лабораторна робота №8. Виготовлення та підгонка параметрів плівкових резисторів методом лазерної обробки. | 2 |

5.3. Зміст завдань для самостійної роботи

| № | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|-----------------|
| 1 | Лазерне випромінювання, принципи генерації та характеристики. Активні квантові речовини. Методи інвертування заселеності. Оптичні резонатори. Резонансна частота спектральної лінії випромінювання – відмітка еталонного часу. | 9 |
| 2 | Аналіз режимів роботи лазерів. Частота генерації імпульсного твердотілого лазера. Конструкція системи охолодження і термостабілізації лазерних головок. Графоаналітичний метод розрахунку конструктивних параметрів імпульсного твердотілого лазера. Розрахунок енергетичних характеристик. Плівковий лазер з розподіленим зворотнім зв'язком. Методики розрахунку основних характеристик лазерів. | 9 |
| 3 | Будова та функціонування технологічних лазерних приладів різного типу. 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 | Методи керування лазерним променем та його модуляція у квантових приладах. Фізика процесів модуляції і перетворення лазерного випромінювання та пристрої керування. Управління частотою лазерного випромінювання. Тепловий і фотоелектричний | 10 |

| | | |
|---|--|----|
| | 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. | |
| 5 | Лазерні системи для запису інформації, обчислювальної техніки та голографії. Цезієвий атомно-випромінювальний стандарт частоти. Аміачний мазер – активний стандарт частоти. Квантові стандарти частоти оптичного діапазону довжини хвиль. Застосування і перспективи квантових стандартів. Лазери в обчислювальній техніці, медицині та біології. | 10 |
| 6 | Напівпровідникові лазери для волоконно-оптичних ліній зв'язку. Особливості каналу зв'язку. Характеристики оптичного каналу. Системи телекомунікаційного лазерного зв'язку. Лазерні дальноміри і гіроскопи. Принципи проектування лазерних гіроскопів. | 9 |
| 7 | Лазери для контрольно-вимірювальної апаратури, робототехніки, воєнної техніки та інші квантові прилади. 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 | Лазерні прилади для радіолокації, радіоастрономії та біомедичних досліджень. Застосування лазерів у технології напівпровідників: лазерна обробка кристалів та епітаксійних шарів і плівок. 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 “Лазерні прилади і системи”:

Студент має відповісти на три питання до дисципліни “Лазерні прилади і системи”, 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 слабе уявлення про суть предмету Лазерні прилади і системи.

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 приладів, 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 курсу Лазерні прилади і системи.

11-12 балів. Студент самостійно відтворює практичний і теоретичний навчальний матеріал,

пояснює суть фізичних основ курсу Лазерні прилади і системи, 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 Cd_{1-x}Mn_xTe 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 Cd_xMn_{1-x}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 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. 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 Cd_{1-x}Mn_xTe crystal surface // Informatyka. Automatyka. Pomiaru. 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. Стребезhev**, Я.Д. Захарук, С.Г. Дремлюженко. Вплив потужного мілісекундного лазерного випромінювання на глибину проплавленого шару в кристалах CdTe та Cd_{0,8}Mn_{0,2}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. **Стрэбязжау В.М.** Захарук З.І. Мадыфікацыя паверхневых слаёў крышталяу CdMnTe уздзеяннем наносекунднага 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 In₄Se₃, In₄Te₃ 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 $Cd_{1-x}Mn_xTe$ 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.

Допоміжна

13. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. – Т.1–2. – М.: Мир, 1981. – 660 с.
14. А.А. Щука. Электроника. Учебное пособие. – СПб, БХВ-Петербург, 2006. – 800с.
15. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2003. – 488 с.
16. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.; Энергия, 1978. – 312 с.
17. 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.