

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико - технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термоелектрики та медичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

 Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ

“09” серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Термоелектричне матеріалознавство

(вибіркова)

Освітньо-професійна програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

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

Мова навчання Українська

Чернівці 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Термоелектричне матеріалознавство» складена відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 6 від «26» травня 2022 року).

Розробник:

Кшевецький Олег Станіславович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

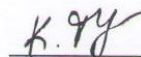
Викладач:

Кшевецький Олег Станіславович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Погоджено з гарантом ОП і затверджено на засіданні кафедри термоелектрики та медичної фізики ННІФТКН ЧНУ імені Юрія Федьковича

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

В.о. завідувача кафедри



Кобилянський Р.Р.

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН



Козярьський І.П.

Пояснювальна записка

1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни).

Навчальна дисципліна «Термоелектричне матеріалознавство» спрямована на вивчення властивостей, способів отримання та обробки матеріалів, які використовуються в термоелектриці. Вивчаються основи теорії сплавів, процеси структуроутворення матеріалів та фактори, що на них впливають. Ця дисципліна покликана сформулювати у майбутнього фахівця глибокі знання основ термоелектричного матеріалознавства, а головне, уявлення про досягнення науково-технічного прогресу в галузі створення нових термоелектричних матеріалів, вдосконалення технологічних процесів, а також умінь і навички практичного визначення властивостей матеріалів і спрямованого впливу на них.

2. Мета навчальної дисципліни:

- вивчення студентами фізичних основ термоелектричного матеріалознавства, методів отримання термоелектричних матеріалів та дослідження їх термоелектричних властивостей;
- формування у студентів системи базових знань про фізичні процеси, явища, фізико-хімічні закономірності їх протікання, на основі яких створені технології отримання і підвищення ефективності термоелектричних матеріалів;
- вироблення умінь проводити науково-методичний аналіз інформації, планувати науково-навчальну роботу з предмету;
- формування у студентів навиків проведення технологічного і фізичного експерименту.

3. Завдання - розкрити фізичну суть явищ, які відбуваються у матеріалах під впливом на них різних факторів в умовах виробництва та експлуатації, вплив цих факторів на властивості матеріалів; встановити залежність між складом, будовою та властивостями матеріалів; вивчити теорію і практику вирощування термоелектричних матеріалів; вивчити основні групи сучасних термоелектричних матеріалів, їх властивості і шляхи підвищення основних термоелектричних характеристик таких матеріалів.

4. Пререквізити. Для ефективного засвоєння курсу студенти повинні засвоїти наступні курси: «Загальна фізика (різні розділи)», «Фундаментальні засади прикладної фізики», «Теплофізика», «Прикладна фізика твердого тіла», «Прикладна електрофізика».

5. Результати навчання:

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

- **знати** основні види та властивості сучасних матеріалів, які використовуються в термоелектриці; фізичну сутність явищ, які відбуваються у термоелектричних матеріалах в умовах виробництва та експлуатації; їх взаємний зв'язок з властивостями матеріалів; шляхи досягнення високих значень параметрів матеріалів; шляхи підвищення якості і довговічності виробів за рахунок раціонального вибору матеріалу при досягненні високої техніко-економічної ефективності.

- **уміти** використовуючи одержані знання в своїй практичній діяльності, правильно вибирати термоелектричний матеріал та його обробку з метою отримання потрібної структури та властивостей, що забезпечували б високу надійність відповідних пристроїв; оцінювати поведінку термоелектричних матеріалів при впливі на них різних експлуатаційних факторів і на цій підставі визначати умови, режими і строки експлуатації виробів; визначати дослідним шляхом основні характеристики термоелектричних матеріалів.

Компетентності за результатами вивчення курсу

Загальні компетентності

ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК4. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.

ЗК8. Здатність працювати з інформацією: знаходити, оцінювати й використовувати інформацію з різних джерел, потрібну для розв'язання професійних завдань.

ЗК12. Здатність до соціальної й професійної взаємодії та співпраці в колективі.

Фахові компетентності

ФК2. Здатність коректно використовувати дослідницькі методики. Здатність отримати на базі фізичних методик, методів, вимірювальної апаратури комплекс експериментальних і теоретичних даних.

ФК10. Здатність до діагностування якісної роботи технологічного обладнання.

ФК16. Здатність виконувати дослідницькі роботи, збирати, систематизувати науково-технічну інформацію, обробляти та аналізувати результати експериментів, складати звіти.

6. Опис навчальної дисципліни

6.1. Загальна інформація

Назва навчальної дисципліни <u>Термоелектричне матеріалознавство</u>												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	4	7	6	180	2	45	-	-	30	105	-	залік

6.2. Дидактична карта навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Елементи загального матеріалознавства												
Тема 1. Вступ. Завдання і перспективи сучасного термоелектричного матеріалознавства	11	2				9						
Тема 2. Формування властивостей матеріалів	17	4		4		9						
Тема 3. Класифікації матеріалів. Властивості різних класів матеріалів	15	6				9						
Тема 4. Діаграми стану	17	4		4		9						
Тема 5. Методи отримання та технологічної обробки матеріалів	17	4		4		9						
Тема 6. Методи дослідження властивостей	13	2		2		9						

матеріалів												
Разом за змістовий модуль 1	90	22	-	14	-	54	-	-	-	-	-	-
Змістовий модуль 2. Особливості термоелектричного матеріалознавства												
Тема 7. Фізичні принципи оптимізації ТЕМ для термоелементів.	7	2				5						
Тема 8. Методи одержання напівпровідникових ТЕМ.	14	3		6		5						
Тема 9. Низькотемпературні ТЕМ. Пресовані і екструдовані ТЕМ.	13	4		4		5						
Тема 10. Середньотемпературні ТЕМ.	9	2		2		5						
Тема 11. Високотемпературні ТЕМ.	7	2				5						
Тема 12. Часова і термічна стабільність ТЕМ	7	2				5						
Тема 13. Макро- і мікронеоднорідності в ТЕМ на основі Bi_2Te_3	7	2				5						
Тема 14. Контакти до термоелектричних матеріалів	11	2		4		5						
Тема 15. Методи механічної обробки термоелектричних матеріалів	7	2				5						
Тема 16. Новітні досягнення термоелектричного матеріалознавства	8	2				6						
Разом за змістовий модуль 2	90	23	-	16	-	51	-	-	-	-	-	-
Усього годин	180	45	-	30	-	105	-	-	-	-	-	-

6.2.1. Теми лабораторних занять

№	Назва теми
1	Вивчення процесу первинної кристалізації
2	Дослідження переходу з рідкого в твердий стан аморфних та кристалічних матеріалів
3	Вивчення діаграм стану подвійних сплавів
4	Розрахунок наважок, зважування й завантаження в ампулу напівпровідникових

	матеріалів.
5	Однотемпературний синтез твердих розчинів на основі телуриду вісмуту.
6	Отримання монокристалів із розплаву методом вертикального зонного плавлення.
7	Вимірювання коефіцієнта термо-ЕРС і електропровідності злитків та пластин термоелектричного матеріалу.
8	Вивчення мікроструктури термоелектричних матеріалів.
9	Очистка Bi і Sb методом зонного плавлення.
10	Отримання середньотемпературних матеріалів методом гарячого пресування.
11	Вимірювання міцності зчеплення на розрив електролітичного покриття з термоелектричним матеріалом.

6.2.2. Самостійна робота

Самостійна робота студентів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; підготовку до лабораторних занять; виконання індивідуальних домашніх завдань.

№	Назва теми
1.	Класифікація твердих тіл
2.	Будова та властивості металів та сплавів
3.	Методи визначення твердості металів
4.	Загальні методи дослідження матеріалів
5.	Теорія сплавів. Діаграми стану сплавів
6.	Фазова рівновага в напівпровідникових і металевих системах
7.	Діаграма стану залізо вуглець. Структура й властивості вуглецевих сталей і чавунів
8.	Вивчення структури й властивостей легованих сталей
9.	Кінетика кристалізації
10.	Методи отримання кристалічних та полікристалічних структур
11.	Фізичні основи отримання плівкових і нитковидних структур
12.	Види та характеристика неметалевих матеріалів, їх використання в техніці
13.	Бабіти і припої, антифрикційні сплави, металокераміка
14.	Сплави із спеціальними властивостями
15.	Склад, будова і класифікація композиційних матеріалів. Композиційні
16.	матеріали на полімерній матриці
17.	Композиційні матеріали на металічній основі
18.	Керамічні композиційні матеріали
19.	Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали склад, будова та властивості кераміки. Кераміка на основі глини. Технічна кераміка
20.	Конструкційні порошкові матеріали
21.	Пластичні маси, каучук та гума, плівкоутворюючі матеріали (клеї, герметики)
22.	Склокристалічні матеріали, технічне скло і скловолокнисті матеріали
23.	Графітовуглецеві і абразивні матеріали
24.	Особливості отримання вакууму.
25.	Методи одержання напівпровідникових ТЕМ
26.	Холодне і гаряче пресування порошків

27.	Метод екструзії
28.	Вирощування напівпровідникових матеріалів методом Стокбаргера. Метод Киропулоса
29.	Низькотемпературні ТЕМ на основі Bi_2Te_3 для охолоджуючих пристроїв. Поведінка дефектів і домішок у матеріалах на основі Bi_2Te_3
30.	Термоелектрична ефективність твердих розчинів $\text{n-Bi}_2(\text{Te,Se})_3$ і $\text{p-(Bi,Sb)}_2\text{Te}_3$
31.	Теплові властивості Bi_2Te_3 і твердих розчинів на його основі
32.	Макро- і мікронеоднорідності в ТЕМ на основі Bi_2Te_3
33.	Рухливість і механізми розсіяння носіїв заряду
34.	Зонна структура твердих розчинів на основі Bi_2Te_3
35.	Середньотемпературні ТЕМ
36.	Технологія вирощування тонких плівок сполук $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ та методика дослідження їх термоелектричних властивостей
37.	Термоелектричні властивості аналогів телуриду свинцю
38.	Високотемпературні ТЕМ Високотемпературні ТЕМ на основі силіцидів перехідних металів
39.	Контакти до термоелектричних матеріалів
40.	Контактні явища на межі метал-напівпровідник
41.	Механічні напруги у термоелектричних плівках

7. Форми і методи навчання

Форми навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, консультації.

Методи навчання: проблемний виклад, частково-пошукові та дослідницькі методи, презентації, бесіди і дискусії, практичні завдання, електронні мультимедійні комплекси навчальних дисциплін у системі «Moodle», які дають можливість навчатися дистанційно.

8. Політика оцінювання

Політика щодо дедлайнів та перескладання: кожна оцінка виставляється відповідно до розроблених викладачем та заздалегідь оголошених студентам критеріїв, у випадку нездачі студентом попереднього модульного завдання до наступного модульного контролю він не допускається; пропущені заняття без поважних причин обов'язково мають бути відпрацьовані. Форму і час відпрацювання студент та викладач попередньо погоджують. Перескладання модулів відбувається за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності. Дотримання академічної доброчесності передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);
- посилання на джерела інформації у разі використання не авторських ідей, розробок, тверджень, відомостей і т.п.;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про результати власної наукової діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- академічний плагіат – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;
- фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в наукових дослідженнях;

- фальсифікація – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються наукових досліджень.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнені до такої академічної відповідальності:

- повторне проходження оцінювання (залік);
- повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньо-наукової програми.

Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись за індивідуальним графіком або ж в он-лайн формі (через платформу Moodle та ін.) за погодженням із керівником курсу.

9. Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю

Основними формами поточного контролю є такі види:

- усні відповіді студентів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- виконання модульної контрольної роботи.

Зазначені форми контролю на лекційних та лабораторних заняттях є обов'язковими для всіх студентів.

Система оцінювання знань є накопичувальною (складається із суми балів за різними видами здійсненого контролю).

Форма підсумкового контролю – залік (комбінований: виконання тестових завдань та усні відповіді).

Засоби оцінювання:

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- реферати;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- виконання та захист лабораторних робіт.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

«А» ставиться у разі, якщо студент:	– постійно готувався до занять та згідно з програмою дисципліни; – глибоко та всебічно розкривав зміст питань; – показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал; – показав уміння вільно виконувати завдання; – переконливо та логічно викладав матеріал, проявляв творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та підготовки до лабораторних робіт; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
«В» ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу; – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.

«C» ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань практичних занять; – брав участь у виконанні індивідуальних завдань та наукових повідомлень; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
«D» ставиться у разі, якщо студент:	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав індивідуальні завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну лабораторну роботу.
«E» ставиться у разі, якщо студент:	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі лабораторні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
«Fx» ставиться у разі, якщо студент:	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на практичних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував лабораторні роботи; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» ставиться у разі, якщо студент:	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав індивідуальні завдання та не підготував наукове повідомлення; – не виконував лабораторні роботи; – на підсумковому занятті не вміє відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни; – не виконав завдання модульного контролю.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС (залік)

Рейтингова оцінка з дисципліни	Оцінка за шкалою ECTS	Залік за національною шкалою
90-100	A	Зараховано
80-89	B	
70-79	C	
60-69	D	

50-59	E	Не зараховано
35-49	Fx	
1-34	F	

10. Рекомендована література

10.1. Базова (основна)

1. Анатичук Л.І., Лисько В.В. Вимірювання електричного контактного опору структури «метал – термоелектричний матеріал» з використанням ефекту Пельтьє. – Термоелектрика №1-2, 2024. С. 34-45. <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-1-2-34-45>
2. Лисько В.В., Ніцович О.В. Комп'ютерна оптимізація методу вертикальної зонної плавки для виготовлення плоских злитків термоелектричних матеріалів на основі Bi_2Te_3 . – Термоелектрика №4, 2023. С. 27-37.
3. Анатичук Л.І., Горський П.В., Михальченко В.П. Вплив розмірних ефектів на властивості термоелектричних матеріалів. – Термоелектрика №1, 2014. С. 5-12.
4. Анатичук Л.І., Вихор Л.М. Вплив електричних та теплових опорів контактів і комутацій на холодильний коефіцієнт термоелектричного модуля. – Термоелектрика №3, 2021. С. 19-33.
5. Анатичук Л.І., Ніцович О.В. Комп'ютерне дослідження впливу ефекту пельтьє на процес кристалізації термоелектричних матеріалів. – Термоелектрика №2, 2019. С. 70-78.
6. Горський П. В. Типові механізми деградації термоелектричних матеріалів та шляхи зниження їх впливу на надійність термоелектричних модулів / П. В. Горський // Фізика і хімія твердого тіла. - 2022. - Т. 23. - № 3. - С. 505-516.
7. Вихор Л. М. Оптимізація матеріалів та оцінка характеристик генераторних модулів для рекуператорів тепла / Л. М. Вихор, В. Я. Михайловський, Р. М. Мочернюк // Фізика і хімія твердого тіла. - 2014. - Т. 15. - № 1. - С. 206-213.
8. Матківський О. М. Термоелектричні властивості композитних матеріалів на основі телуриду свинцю / О. М. Матківський, В. І. Маковишин, Т. І. Купчак, Г. Д. Матеїк, І. В. Горічок // Фізика і хімія твердого тіла. - 2022. - Т. 23. - № 2. - С. 368-374.
9. Фреїк Д.М. Наноструктуровані термоелектричні матеріали: проблеми, технології, властивості (огляд)/ Д.М. Фреїк, М.А. Лоп'янко// Фізика і хімія твердого тіла, Т. 14, №2 (2013) С. 280-299.
10. Шперун В.М., Фреїк Д.М., Запихляк Р.І. Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів. – Івано-Франківськ: Плай, 2000. – 250 с.
11. Сандуляк І. І, Касіян А. І. Органічні термоелектричні матеріали: сучасний рівень і перспективи. – Термоелектрика №2, 2017. С. 18-31.
12. Фреїк Д. М. Нові термоелектричні нанокompозитні матеріали (огляд) / Д. М. Фреїк, М. О. Галушак, О. С. Криницький, О. М. Матківський // Фізика і хімія твердого тіла. - 2013. - Т. 14. - № 2. - С. 300-316.
13. Anatychuk L.I., Vikhor L.N. Thermoelectricity. Volume IV. Functionally graded thermoelectric materials. – Institute of Thermoelectricity, Printed by “Bukrek” Publishers, 2012. – 172 p.
14. Uher C. ed. Materials Aspect of Thermoelectricity. – 2017. – 610 p.
15. Park C.R. ed. Advanced Thermoelectric Materials. – 2019. – 549 p.
16. Lee HoSung. Thermoelectrics: Design and Materials, 2nd Edition. – 2025. – 544 p.

10.2. Допоміжна

17. Бхаттачарія С., Голдсмід Х. Дж. Визначення термоелектричної добротності через максимальне зниження температури використанні ефекту охолодження Пельтьє. – Термоелектрика №1, 2018. С. 28-34.
18. Rowe D.M. CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC Press. – 1995. – 701 p.
19. Прогресивні матеріали і технології: У 2-х томах. – К.: Академперіодика. – 2003. – Т.2. – С. 104. – 663 с.

20. Фреїк Д. М. Досягнення і проблеми термоелектрики II. Основні положення теорії термоелектричних явищ (огляд) / Д. М. Фреїк, Л. І. Никируй, М. О. Галушак, Г. Д. Матеїк // Фізика і хімія твердого тіла. - 2012. - Т. 13. - № 3. - С. 574-585.
21. Фреїк Д.М., Горічок І.В., Борик В.В., Михайльонка Р.Я., Яремій І.П., Криськов Ц.А. Технологічні аспекти синтезу термоелектричного плюмбум телуриду // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – Т.10, №4. – С. 924-928.
22. Сабо Є.П. Технологія халькогенних термоелементів. Фізичні основи. Розділ 1. Структура та властивості матеріалів. 1.3. Власні точкові дефекти. // Термоелектрика. – 2001. – №1. – С.25-37.
23. Касіян А.І., Сандуляк І.І. Органічні термоелектричні матеріали: нові можливості. – Термоелектрика №3, 2013. С. 11-19.