

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА»

Фізико-технічний факультет

Кафедра фізики і хімії твердого тіла

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія математичного планування і оптимізація технологічних процесів (ТМПиОТП)

Освітня програма бакалавра

Спеціальність 104 Фізика та астрономія,
105 прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри
Протокол № 3 від “23” жовтня 2019 р.

м. Івано-Франківськ - 2019

ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Результати навчання (компетентності)
5. Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
7. Політика курсу
8. Рекомендована література

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	Теорія математичного планування і оптимізація технологічних процесів (ТМПиОТП)
Викладач (-і)	Лоп'янка Михайло Антонович
Контактний телефон викладача	0990063350; 0972577600
E-mail викладача	Mikhaylo.lopyanko@pnu.edu.ua
Формат дисципліни	Очна
Обсяг дисципліни	6 кредитів
Посилання на сайт дистанційного навчання	http://www.d-learn.pu.if.ua/
Консультації	Згідно з графіком консультацій
2. Анотація до курсу	
Дисципліна «Теорія математичного планування і оптимізація технологічних процесів (ТМПиОТП)» є вибірковою дисципліною циклу дисциплін вільного вибору студентів. Дисципліна присвячена вивченню нових можливостей сучасної фізики, зокрема, матеріалознавства, завдяки переходу від макро- спочатку до мікро-, а тепер і до наносвіту. В багатьох розділах фізики, хімії, металургії та інших наукових дисциплінах виникає необхідність встановлення певного взаємозв'язку між тими чи іншими фізичними величинами. У курсі розглянуті питання, які стосуються класифікації наноматеріалів, методів їх отримання, дослідження, а також розглянуто використання технологій отримання напівпровідникових тонких плівок і відповідних наноструктур, застосування методів фізичного моделювання та теорій математичного планування експерименту. Курс дозволяє розширити світогляд студента та виробити навички для самостійної роботи.	
3. Мета та цілі курсу	
Мета курсу: Використання характерних особливостей речовини, що проявляються на відстанях декількох нанометрів, створює цілком нові можливості для їх застосування в різних областях техніки і напрямках науки. Це, перш за все, стосується наноелектроніки. Саме на неї покладаються обґрунтовані надії у розробці надмініатюрних і надшвидкодіючих систем реєстрації та обробки інформаційних даних, які гігантськими об'ємами накопичує людство. Даний навчальний предмет базується синтезі передових технологій отримання наноструктур та сучасних теоретичних методів моделювання та обробки результатів експерименту. Завдання курсу: засвоєння студентами основ газової динаміки, ознайомлення, вивчення та використання технологій отримання напівпровідникових тонких плівок і відповідних наноструктур, вивчення методів фізичного моделювання та теорій математичного планування експерименту.	
4. Результати навчання (компетентності)	
У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати: - сфери використання напівпровідникових елементів в мікроелектроніці; - основні характеристики напівпровідникових сполук та їх твердих розчинів, які використовуються для отримання напівпровідникових елементів; - наноструктури, їх загальна характеристика та врахування розмірних ефектів; - основні технологічні способи отримання напівпровідникових сполук та формування відповідних наноструктур; - поняття про молекулярно-променеву епітаксію, газофазну епітаксію із металоорганічних сполук, йонне розпилення, йонне бомбардування, метод “гарячої стінки”, метод “відкритого вакууму” та “газодинамічного потоку пари”; - поняття про основні параметри, які характеризують напівпровідникові наноструктури та технологічні фактори, які забезпечують отримання вищевказаних структур; - параметри структури, електрофізичні параметри;	

- технологічні фактори: температура випарування конденсованої суміші T_v , температура осадження T_{oc} , швидкість конденсації v_c ;
- основні рівняння газової динаміки для одинарного потоку;
- рівняння неперервності;
- рівняння енергії;
- гранична швидкість руху;
- число Маха;
- механічна формула рівняння енергії (рівняння Бернуллі);
- рівняння кількості руху;
- рівняння моментів кількості руху;
- ентропія;
- одномірне протікання газу;
- адіабатичне протікання газу з тертям;
- рух газу в трубі сталого перерізу;
- рух розігрітого газу в трубі сталого перерізу;
- розрахунок газових течій з допомогою газодинамічних функцій;
- усереднення параметрів нерівномірного потоку;
- скачки ущільнення потоку;
- прямі скачки ущільнення потоку;
- косі скачки ущільнення потоку;
- процеси випарування, масопереносу і конденсації в квазізамкненому об'ємі;
- якісний опис процесів випарування та конденсації;
- механізми масопереносу;
- основні визначення методу математичного планування;
- основні положення теорії математичного планування експерименту;
- спосіб дослідження маловивчених систем з допомогою поняття "чорного ящика";
- поняття про технологічні фактори та параметри оптимізації;
- види параметрів оптимізації та вимоги до них;
- визначення факторів;
- вимоги, яким повинні задовольняти фактори при плануванні експерименту;
- вимоги до сукупності факторів;
- приклади означення факторів в різних фізико-хімічних, технічних та біологічних системах;
- поняття про метод розмірностей фізичних величин;
- застосування методу розмірностей (МР) для вибору числа кількісних та якісних факторів при розгляді поведінки різних досліджуваних систем;
- повний факторний експеримент;
- прийняття рішення перед плануванням експерименту;
- властивості повного факторного експерименту;
- дробовий факторний експеримент;
- мінімізація числа дослідів;
- дробова репліка;
- вибір напівреплік та $1/4$ - реплік;
- репліки вищих подрібнень;
- вибір моделі;
- послідовність проведення та реалізації експерименту;
- кроковий принцип;
- як вибрати модель?;
- поліноміальні та експоненціальні моделі;
- активний та пасивний експеримент;
- ознаки спорідненості та відмінності між ними;

- математичний апарат регресійного аналізу;
- обчислення коефіцієнтів регресії;
- перевірка значущості коефіцієнтів регресії по t-критерію Стюдента, або ж з допомогою побудови інтервалу довір'я Δb_j ;
- статистичний аналіз рівняння регресії;
- приклади застосування регресійного аналізу для обробки результатів пасивного експерименту;
- матриця планування експерименту;
- основні поняття та принципи побудови різних матриць планування;
- побудова матриці планування виду 2^K ;
- побудова матриць планування 2-го, 3-го та вищих порядків з урахуванням "зіркових точок";
- проведення експерименту;
- реалізація плану експерименту;
- обробка результатів експериментів;
- помилки паралельних дослідів, дисперсія відтворюваності $\sqrt{S_b^2}$;
- дисперсія параметру оптимізації $\sqrt{S_{ад}^2}$;
- перевірка однорідності дисперсій;
- метод найменших квадратів;
- регресійний аналіз;
- перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера $F_{кр}$. Перевірка значущості коефіцієнтів за t-критерієм Стюдента;
- фізико-хімічна інтерпретація результатів дослідів;
- аналіз кількісного впливу того чи іншого числа факторів на зміну параметра оптимізації;
- використання функціональних залежностей у вигляді регресійних моделей, отриманих з допомогою методу математичного планування експерименту, для побудови строгих фізико-хімічних теорій на мікроскопічному рівні;
- розрахунок відповідних фізико-хімічних коефіцієнтів;
- фізико-технічні дослідження.;
- побудова діаграм склад - властивість;
- опис кристалохімічних реакцій;
- газодинамічна модель руху пари в замкненому об'ємі;
- газодинамічна модель випарування;
- визначення параметрів пари в початковому газодинамічному перерізі;
- рівняння руху пари в квазізамкненому об'ємі для ізольованого розхідного впливу;
- чисельний розрахунок розподілу параметрів пари у випарній камері;
- рух пари при комбінованій взаємодії (розхідній та геометричній);
- особливості процесу нанесення плівок дисоційованих сполук;
- загальні закономірності формування структури і складу конденсатів;
- вплив механізму масопереносу на структуру конденсатів;
- зворотна конденсація в умовах газодинамічного потоку;
- механізми росту конденсатів;
- молекулярний склад парової фази в замкненому об'ємі;
- структура і склад конденсатів деяких напівпровідникових сполук;
- електрофізичні властивості напівпровідникових конденсатів та відповідних наноструктур;
- механізми провідності напівпровідникових конденсатів;
- вплив структури на провідність конденсатів;
- вплив термодинамічних параметрів пари на електрофізичні властивості

конденсатів; - провідність конденсатів; - керування властивостями конденсату з допомогою хімічних реакцій в паровій фазі; - касетний варіант технології препарування конденсатів. вміти: - користуватися набутими знаннями при розгляді практичних задач; - синтезувати знання з розділів даного курсу; - узагальнювати теоретичні і практичні знання методів теорії математичного планування і оптимізації технологічних процесів.					
5. Організація навчання курсу					
Обсяг курсу					
Вид заняття				Загальна кількість годин	
лекції				26	
лабораторні				34	
самостійна робота (виконання індивідуальних завдань)				120	
Ознаки курсу					
Семестр		Спеціальність		Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
3		104 Фізика та астрономія, 105 прикладна фізика та наноматеріали		2	Вибіркові дисципліни (дисципліни вільного вибору студента)
Тематика курсу					
Тема, план	Форма заняття	Література	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
Тема 1. Вступ. Актуальність теми.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять
Тема 2. Основні технологічні способи отримання напівпровідникових сполук та формування відповідних наноструктур. Лабораторна робота 1. Основні технологічні способи отримання напівпровідникових сполук та формування відповідних наноструктур.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 2 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 3. Поняття про основні параметри, які характеризують	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 2 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять

напівпровідникові наноструктури та технологічні фактори, які забезпечують отримання вищевказаних структур. Лабораторна робота 2. Основні параметри, які характеризують напівпровідникові наноструктури та технологічні фактори, які забезпечують отримання вищевказаних структур.					
Тема 4. Основні рівняння газової динаміки для одинарного потоку. Лабораторна робота 3. Основні визначення методу математичного планування.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 5. Одномірне протікання газу. Лабораторна робота 4. Поняття про технологічні фактори та параметри оптимізації.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 6. Скачки ущільнення потоку.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів, 1-4 (лаб. роб)	Згідно розкладу занять
Тема 7. Процеси випарування, масопереносу і конденсації в квазізамкненому об'ємі.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять
Тема 8. Основні визначення методу математичного планування.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять
Тема 9. Поняття	Лекція	Згідно	2 год	1-10	Згідно

про технологічні фактори та параметри оптимізації.		списку літератури		балів,	розкладу занять
Тема 10. Поняття про метод розмірностей фізичних величин. Лабораторна робота 5. Повний факторний експеримент.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 11. Повний факторний експеримент. Лабораторна робота 6. Поняття про метод розмірностей фізичних величин.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 12. Дробовий факторний експеримент. Лабораторна робота 7. Послідовність проведення та реалізації експерименту.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 13. Вибір моделі. Послідовність проведення та реалізації експерименту. Лабораторна робота 8. Матриця планування експерименту. Проведення експерименту.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 2 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 14. Математичний апарат регресійного аналізу.	Лекція/ практичне заняття	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів, 1-4 (лаб. роб)	Згідно розкладу занять
Тема 15. Матриця планування експерименту. Проведення експерименту. Лабораторна робота 9. Обробка	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год. (звіт по роботі)	1-10 балів,	Згідно розкладу занять

результатів експериментів.					
Тема 16. Обробка результатів експериментів.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять
Тема 17. Фізико-хімічна інтерпретація результатів дослідів. Досвід застосування математичних методів планування експерименту.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять
Тема 18. Газодинамічна модель руху пари в замкненому об'ємі. Лабораторна робота 10. Газодинамічна модель руху пари в замкненому об'ємі.	Лекція/ лабораторне заняття	Згідно списку літератури	2 год./ 4 год.(звіт по роботі)	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 19. Загальні закономірності формування структури і складу конденсатів.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів, 1-4 (лаб.роб)	Згідно розкладу занять
Тема 20. Електрофізичні властивості напівпровідникових конденсатів та відповідних наноструктур.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год	1-10 балів,	Згідно розкладу занять

6. Система оцінювання курсу

Загальна система оцінювання курсу	Для перевірки знань, умінь і навичок студентів при вивченні навчальної дисципліни використовуються такі форми контролю: - поточний; - підсумковий (залік). Поточний контроль передбачає оцінювання лабораторних робіт студентів та результатів тестування. Підсумковий контроль здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю.	
Вимоги до письмової роботи	Звіт по лабораторних роботах включає зазначення мети та завдання лабораторної роботи, вихідні дані, основні розрахункові формули, оформлені у вигляді таблиць. Виконання звіту закінчується висновком,	

	який є коротким підсумком лабораторної роботи.
Семінарські заняття	-
Умови допуску до підсумкового контролю	Студент допускається до підсумкового контролю за наявності звітів до лабораторних робіт та виконанню всіх лабораторних робіт, а також результатів опитувань.
7. Політика курсу	
Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.	
Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на практичних та лабораторних заняттях, поточному тестуванні, самостійній роботі. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Вимоги викладача. Кожен викладач ставить студентам систему вимог та правил поведінки студентів на заняттях, доводить до їх відома методичні рекомендації щодо виконання контрольних робіт, тестових завдань. Все це гарантує високу ефективність навчального процесу і є обов'язковою для студентів.	
8. Рекомендована література	
Базова	
1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч., Ч.1: Учеб. руководство: Для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М., Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. 2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч., Ч.2: Учеб. руководство: Для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М., Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. 3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., Наука, 1971. 4. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Наука, 1965. 5. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. – М.: Мир, 1990. 6. Лоп'яно М.А., Кланічка Ю.В., Дзундза Б.С., Харун Л.Т. Приповерхневі шари та профілі електричних параметрів епітаксійних плівок плюмбум селеніду PbSe // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – Т. 10, № 3. – С. 582-585.	
Допоміжна	
1. Лоп'яно М.А., Никируй Р.І., Ткачук А.І. Парофазне осадження тонких плівок телуриду свинцю. І. Планування та оптимізація технології // Фізика і хімія твердого тіла. 11(4). сс. 876-883 (2010). 2. Лоп'яно М. А. Математичні методи планування і оптимізації технологічних процеів вирощування тонких плівок і наноструктур АІВВІ та АІВВІ з парової фази. // Матеріали XII Міжнародної конференції з фізики і технології тонких плівок та наносистем. Т. 1, 18-23 травня 2009. Івано-Франківськ. - С. 178-182. 3. Фреїк Д.М., Лоп'яно М.А., Дзундза Б.С., Никируй Р.І. Технологія наноструктур термоелектричних напівпровідникових сполук IV-VI // Термоелектрика. №3. сс. 50-60 (2010). 4. Фреїк Д.М., Малашевіч Г.Є., Лоп'яно М.А., Бачук В.В., Никируй Р.І. Мікроструктура і оптичні властивості плівок PbTe на склі // Фізика і хімія твердого тіла. 12(1). сс. 76-78 (2011).	
1. http://www.scopus.com/home.url - Scopus.Наукометрична реферативна база даних 38 млн. записів про публікації світового репертуару 2. http://search.epnet.com/ - Бази даних Academic Search Premier; Inspec; Library, Information Science & Technology Abstracts; MEDLINE; Newspaper Source 3. Зібрання журналів американських наукових товариств American Chemical Society: http://pubs.acs.org/about.html	

American Institute of Physics: <http://journals.aip.org/>
American Physical Society: <http://publish.aps.org/>
American Society of Mechanical Engineers: <http://www.asmedl.org/journals/doc/ASMEDL-home/jrnls/>

Викладач _____ Лоп'янок М.А.