

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Факультет фізико-технічний

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Вуглецеві наноматеріали

Освітня програма аспірант (PhD)

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри
Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

м. Івано-Франківськ - 2022

ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Опис дисципліни
3. Структура курсу
4. Система оцінювання курсу
5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу
6. Ресурсне забезпечення
7. Контактна інформація
8. Політика навчальної дисципліни

| 1. Загальна інформація | |
|---|---|
| Назва дисципліни | Вуглецеві наноматеріали |
| Освітня програма | Аспірант (PhD) |
| Спеціальність 105 | Прикладна фізика та наноматеріали |
| Галузь знань 10 | Природничі науки |
| Освітній рівень | PhD |
| Статус дисципліни | Основна |
| Курс/семестр | II/I |
| Розподіл за видами занять та годинами та навчання | Лекції –20год, Семінарські – 10год, Самостійна робота – 60год |
| Мова викладання | українська |
| Посилання на сайт дистанційного навчання | http://www.d-learn.pn.if.ua |
| 2. Анотація до курсу | |
| <p>Курс «Вуглецеві наноматеріали» створений для аспірантів (PhD) освітньо-наукової програми «105 Прикладна фізика та наноматеріали». Курс розроблено для того, щоб сформувати у аспірантів уявлення про принципово нові фізико-хімічні явища і процеси, що притаманні вуглецевим наноматеріалам (пористі структури, нанотрубки, фулерени.) Такі знання є обов'язковими при цілеспрямованому їхньому використанні у пристроях накопичення і збереження електричної енергії.</p> | |
| 3. Мета та цілі курсу | |
| <p>Мета: відповідно до сучасних вимог забезпечити аспірантів знаннями про фізико-хімічні властивості вуглецевих наноматеріалів, методи їхнього отримання та діагностики. В курсі подано відомості про сучасний стан та перспективи розвитку досліджень нанопористих вуглецевих матеріалів, зокрема про основні напрямки їхнього застосування в пристроях накопичення та зберігання електричної енергії. Розглянуті електрохімічні процеси, які супроводжують накопичення електричної енергії. Особлива увага приділена висвітленню конкретних технологічних умов отримання вуглецевих наноматеріалів з сировини рослинного походження та вплив умов синтезу на пористу структуру, величину розвинутої поверхні, поведінку в водних та апротонних електролітах. Окрема частина курсу присвячена принципам формування пристроїв накопичення електричної енергії, оптимізації їхніх ємнісних та енергетичних характеристик за рахунок тих чи інших механізмів накопичення заряду, зокрема з використанням подвійного електричного шару, псевдоємності.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:</p> <p><u>Знати</u> основні поняття і терміни: пористий вуглецевий матеріал, графен, фулерен, фулерит, нанотрубки, хіральність, подвійний електричний шар, псевдоємність, водні й апротонні електроліти, імпеданс, пористість, інтеркаляція.</p> <p><u>Вміти</u> застосовувати отримані знання для отримання вуглецевих матеріалів з наперед заданими характеристиками, встановити його основні характеристики, зокрема питому поверхню, розподіл пор за розмірами, наявність поверхневих функціональних груп, питому електропровідність, сформувавши пристрій накопичення електричної енергії та встановити його питому ємність, питому потужність, внутрішній опір, виявити вплив на дані характеристики тих чи інших функціональних груп.</p> | |
| 4. Результати навчання (компетентності) | |
| <p>Компетенції соціально-особистісні:</p> <ul style="list-style-type: none"> • наполегливість у досягненні мети; • турбота про якість виконуваної роботи; • креативність, здатність до системного мислення. | |

| | | | | | |
|---|---------------------|---------------------------|---|----------------|---------------------|
| Інструментальні компетенції: | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • навички управління інформацією. | | | | | |
| Професійні компетенції: | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • здатність до критичного аналізу та оцінки сучасних наукових досягнень; • здатність генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких і практичних завдань; • здатність до застосування знань для вирішення завдань якісного і кількісного характеру; • здатність пропонувати та обґрунтовувати гіпотези на основі теоретико-методологічного аналізу; • здатність застосовувати комп'ютерні технології та програми для проведення дослідження та аналізу отриманих даних. | | | | | |
| 5. Організація навчання курсу | | | | | |
| Обсяг курсу | | | | | |
| Вид заняття | | | Загальна кількість годин | | |
| лекції | | | 20 | | |
| семінарські заняття / практичні / лабораторні | | | 10 | | |
| самостійна робота | | | 60 | | |
| Ознаки курсу | | | | | |
| Семестр | Спеціальність | Курс (рік навчання) | Нормативний / вибірковий | | |
| III | | II | вибірковий | | |
| Тематика курсу | | | | | |
| Тема, план | Форма заняття | Література | Завдання, год | Вага оцінки | Термін виконання |
| Змістовний модуль 1 | | | | | |
| Отримання, структура та властивості нанопористого вуглецевого матеріалу | | | | | |
| Тема 1. Способи отримання та модифікації нанопористого вуглецевого матеріалу Вимоги до вихідної сировини. Гідротермальна методика отримання нанопористого вуглецевого матеріалу. Механізми фізичної активації. Механізми хімічної активації. Термохімічно модифікований вуглецевий матеріал. Допування нанопористого вуглецевого матеріалу металам з високою густиною електронних станів. Лазерна | Лекція практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 3/2 | 6 | Згідно розкладу |

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|---|---|-----------------|
| модифікація вуглецевого матеріалу. | | | | | |
| Тема 2. Методи досліджень нанопористого вуглецевого матеріалу. Порометрія. Питома поверхня та розподіл пор за розмірами. Імпедансна спектроскопія. Діаграми Найквіста, їх аналіз. Термографічний аналіз. Поверхневі функціональні групи, їх виявлення і аналіз шляхом Раман і ШЧ спектроскопії. Циклічна вольтамперометрія. Вольт-фарадні характеристики. | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 2/1 | 6 | Згідно розкладу |
| Тема 3. Моделі ПЕШ. Умова утворення ПЕШ. Роль хімічних потенціалів при утворенні ПЕШ. Модель Гельмгольца. Врахування концентрації електроліту і величини прикладеного потенціалу в моделі Гуї-Чемпена. Дифузійна модель ПЕШ. Модель Штерна. Сольватованість. Врахування розміру йонів електроліту. Модель Бокріса-Мюллера. Формула для товщини ПЕШ. | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 3/1 | 6 | Згідно розкладу |
| Тема 4. Інтеркаляційні процеси в нанопористих вуглецевих матеріалах. | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 2/1 | 6 | Згідно розкладу |

| | | | | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|---|----------|------------------------|
| <p>Основні поняття і терміни. Методи інтеркалювання. Термічно-експозиційний, хімічно-селективний, електрохімічний. Структурні сапекти інтеркалювання. Фазові перетворення, зумовлені процесами інтеркаляції. Гоінтеркаляція і коінтеркаляція. Зарядовий стан “гостьової” підсистеми.</p> | | | | | |
| <p>Змістовний модуль 2. Пристрої накопичення і зберігання електричної енергії на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.</p> | | | | | |
| <p>Тема 5. Принцип роботи та класифікація електрохімічних конденсаторів. Накопичення заряду подвійним електричним шаром. Псевдоємнісне накопичення заряду. Роль азотовмісних груп. Композити на основі нанопористого вуглецевого матеріалу. Гібридні електрохімічні конденсатори.</p> | <p>Лекція/ практична</p> | <p>Згідно списку літератури</p> | <p>Опрацювання лекційного матеріалу 2/1</p> | <p>6</p> | <p>Згідно розкладу</p> |
| <p>Тема 6. Вимоги до елементів конструкції суперкондесаторів. Способи виготовлення електродів, їх оптимальна товщина. Взаємозв'язок між масами електродів. Сепаратор йонна і електронна провідність сепаратора. Водні і апртонні електроліти, їх провідність та</p> | <p>Лекція/ практична</p> | <p>Згідно списку літератури</p> | <p>Опрацювання лекційного матеріалу 2/1</p> | <p>5</p> | <p>Згідно розкладу</p> |

| | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|-----------------|
| напруга декомпозиції. Металічні і пластмасові корпуси: переваги і недоліки. Струмоznімачі. | | | | | |
| Тема 7. Експлуатаційні характеристики суперконденсаторів. Питома ємність і внутрішній опір, оптимальне співвідношення між ними. Питома енергія і питома потужність. Кулонівська ефективність, її залежність від кількості циклів заряду/розряду. Використання можливості заряджати і розряджати суперконденсатор при довільних значеннях напруги. Суперконденсатори що працюють за принципом заряду/розряду ПЕШ, псевдоконденсатори, гібридні суперконденсатори, їх переваги і недоліки. | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 2/1 | 5 | Згідно розкладу |
| Тема 8. Типи рідин Рідини. Типи рідин і рідинних систем. Вода. Аномальні властивості води. | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 2/1 | 5 | Згідно розкладу |
| Тема 9. Електронні властивості твердих тіл Електронні властивості твердих тіл: основні експериментальні факти. Рівняння Больцмана. Час релаксації. Дрейф вільних носіїв заряду в твердих тілах. Механізми | Лекція/ практична | Згідно списку літератури | Опрацювання лекційного матеріалу 2/1 | 5 | Згідно розкладу |

| | | | | | |
|--|---|--|--|-----------|--|
| <p>розсіювання носіїв заряду. Електропровідність напівпровідників і металів. Час релаксації і рухливість вільних носіїв. Залежність рухливості від температури при різних механізмах розсіювання. Температурна залежність електропровідності напівпровідників і металів. Ефект Холла. Коефіцієнт Холла і його зв'язок з параметрами напівпровідників. Залежність коефіцієнта Холла від температури. Термоелектричні явища. Ефект Зеебека. Об'ємна і контактна складові термоЕРС. Температурна залежність коефіцієнта термо-е.р.с. в напівпровідниках. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Фотопровідність, оптичне поглинання.</p> | | | | | |
| <p>Підсумковий контроль (екзамен)</p> | | | | <p>50</p> | |
| <p>6. Система оцінювання курсу</p> | | | | | |
| <p>Загальна система оцінювання курсу</p> | <p>Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, практичних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані аспірантами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p>Модульний контроль (сума балів за окремий змістовий модуль) проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань аспірантів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> | | | | |

| | |
|--|---|
| | <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p>Семестровий (підсумковий) контроль проводиться у формі екзамену.</p> <p>Екзамен – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння аспірантом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p> |
| Вимоги до письмової роботи | Підсумкова письмова робота виконується у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді. Кількість тестових завдань – 100. |
| Семінарські заняття | Перевірка набутих знань, навичок і умінь здійснюється за допомогою опитування аспірантів на практичних заняттях, захисті індивідуальних завдань, дистанційне навчання. |
| Умови допуску до підсумкового контролю | <p>Позитивні оцінки з поточного контролю знань за змістовними модулями (оцінювання роботи студента під час практичних занять; поточне тестування після вивчення розділу; реферат)</p> <p>Аспірант допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Аспірант не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав менше 25 балів.</p> |
| 7. Політика курсу | |
| <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на практичних заняттях, поточному тестуванні, самостійній роботі (реферати, презентації). При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність аспіранта 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.</p> <p>Вимоги викладача. Кожен викладач ставить аспірантам систему вимог та правил поведінки аспірантів 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 аспірантів.</p> | |
| 8. Рекомендована література | |
| <p>1. Будзуляк І.М., Рачій Б.І., Коцюбинський В.О., Яблонь, Морушко О.В. Синтез, структура та електрохімічні властивості нанопористого вуглецевого матеріалу та композитів на його основі. – Івано-Франківськ: ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2021, 382с.</p> | |

2. Шпак А.П. Отримання та модифікація нанопористого вуглецю для молекулярних накопичувачів електричної енергії / [А.П. Шпак, І.М. Будзуляк, Р.П. Лісовський та ін.] – К.: Наукове видання. ІФМ НАН України, 2006.– 82 с. – ISBN 966-360-029-2.
3. Остафійчук Б.К. Наноматеріали в пристроях генерування і накопичення енергії / [Б.К. Остафійчук, І.М. Будзуляк, І.І. Григорчак, І.Ф. Миронюк] – Івано-Франківськ. ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2007. – 200 с. – ISBN 978-966-640-216-8.
4. Preparation and electrochemical characteristics of N-enriched carbon foam / M. Kodama, J. Yamashita, Y. Soneda, [at al.]. // Carbon. – 2007. – V. 45.– P. 1105–1107.
5. Фрумкин А. Н. Двойной слой и электродная кинетика / А. Н. Фрумкин. – М.: Наука, 1981. – 376 с.
6. Béguin F. Carbons for Electrochemical Energy Storage and Conversion Systems / F. Béguin, E. Frackowiak. – CRC Press, 2010. – 532 p.
7. Питомі енергетичні характеристики нанопористого вуглецю, активованого ортофосфорною кислотою / Б. І. Рачій, Б. К. Остафійчук, І. М. Будзуляк, Н. Я. Іванічок. // Журнал нано- та електронної фізики. –2015. – Т. 7, № 4. – С. 04077(6).
8. Nanoporous Nitrogen-containing Coal for Electrodes of Supercapacitors / B. K. Ostafiychuk, I. M. Budzulyak, V. I. Rachiy, M. M. Kuzyshyn, L. O. Shyuko. // Nanoscience and Nanotechnology Research. – 2013. – V. 1, № 2. – P. 17–22.
9. Кузишин М. М. Електрична провідність азотовмісних нанопористих вуглецевих матеріалів / М. М. Кузишин, І. М. Будзуляк, Б. К. Остафійчук, Б. І. Рачій, Р. В. Ільницький, Л. О. Мороз. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 3. – С. 497–503.
10. Вольфович Ю.М. Электрохимические конденсаторы / [Ю.М. Вольфович, Т.М. Сердюк] // Электрохимия. – 2002. – Т. 38, № 39. – С. 1043–1068.

Викладач _____