



Національна академія наук України
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича



Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни
**ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕР-КЕРАМІЧНИХ
НАНОКОМПОЗИТІВ**
**FUNDAMENTALS OF POLYMER-CERAMIC NANOCOMPOSITE
FORMATION**

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	13 «Механічна інженерія»
Спеціальність	132 «Матеріалознавство»
Освітня програма	Порошкова металургія та композиційні матеріали
Статус дисципліни	<i>дисципліна вільного вибору</i>
Форма навчання	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс навчання, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити ECTS, 90 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 42 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, залік – 1 год</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про викладачів	<i>канд. техн. наук, науковий співробітник, Іванченко Сергій Едуардович s.ivanchenko@ipms.kyiv.ua 066 44 88 401</i>
Розміщення курсу	Google Classroom; доступ за запрошенням викладача

Програма навчальної дисципліни

1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна присвячена підготовці у галузі знань механічної інженерії та матеріалознавства сучасних методів створення та характеристики полімер-керамічних наноконкомпозитів для галузі мікроелектроніки.

Предмет освітньої компоненти – сучасні методи та технології приготування і стабілізації дисперсій керамічних наночастинок, створення розчинів полімерів, взаємодія наночастинок з полімерною матрицею, методи приготування суспензій, дослідження реологічних властивостей матеріалів, технології формування композитів, методи характеристики поверхні та дослідження електричних властивостей нанокompозитів. Формування багатошарових нанокompозитів та пояснення їх практичного застосування в галузі мікроелектроніки.

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства, проводити дослідно-інноваційну діяльність, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК06. Здатність оцінювати соціальну значимість результатів своєї діяльності, сприймати та використовувати в своїй роботі нові знання та технології, усвідомлювати принципи відкритої науки.

ЗК09. Здатність до самостійного освоєння нових технологій та методів дослідження.

Фахові компетентності:

ФК01. Здатність проводити інноваційну діяльність, що сприяє створенню нових знань у матеріалознавстві та суміжних міждисциплінарних галузях.

ФК02. Здатність застосовувати новітні підходи до аналізу інформації і застосування її для створення новітніх матеріалів та підвищення ефективності сучасних виробничих процесів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК07. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних технічних рішень і впровадження нових технологій і матеріалів з огляду на їх вплив на навколишнє середовище.

ФК09. Здатність до аналізу результатів сучасних досліджень в області матеріалознавства металевих, керамічних, композиційних та нано- матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем і генерації нових знань.

Програмні результати навчання. Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН01. Проявляти наукові погляди та підходи при проведенні експертного аналізу наукових даних, оцінювати вплив технологічних факторів на властивості матеріалів.

PH02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі матеріалознавства та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

PH03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.

PH04. Встановлювати закономірності управління складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення на основі фізико-хімічних процесів у матеріалах, з метою створення матеріалів із заданими структурами та характеристиками.

PH05. Встановити закономірності та вивчити особливості поведінки матеріальних об'єктів шляхом використання фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання, а також застосування методів теоретичного й експериментального аналізу структури та властивостей матеріалів.

PH09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

PH18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

PH19. Знайти оригінальне рішення, направлене на розв'язання конкретної науково-технічної проблеми.

2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

Пререквізити:	
Матеріалознавство	Основи матеріалознавства як міждисциплінарної галузі науки, що вивчає залежність між складом, структурою та властивостями матеріалів у взаємозв'язку з технологією їх отримання, умовами експлуатації та вартістю.
Колоїдна хімія	Досліджує властивості дисперсних систем, стабілізацію частинок, а також взаємодію поверхні наночастинок у суспензіях, що є критично важливим для розуміння процесів створення стабільних полімер-керамічних композитів.
Фізика твердого тіла	Допомагає зрозуміти поведінку матеріалів на атомному та молекулярному рівнях, включаючи провідність, поляризацію та інші фізичні властивості, важливі для електричних і механічних характеристик композитів.
Реологія	Наука про деформацію і плинність речовин. Особливо важлива для аналізу властивостей суспензій під час формування композитів, зокрема у процесах екструзії та лиття.

Науково-дослідна практика	Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напрямку.
Постреквізити:	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

3. Зміст освітньої компоненти

Тема 1. Компоненти, властивості та процеси створення полімер-керамічних суспензій

Будуть розглянуті основні компоненти полімер-керамічних суспензій, включаючи полімери (зв'язка, пластифікатор, ПАР), розчинники та керамічні nano порошки. Студенти дізнаються про властивості цих матеріалів та їхній вплив на стабільність і характеристики суспензій. Будуть розглянуті основні типи стабілізації частинок у дисперсіях (електростатичний, стеричний, електростеричний, стабілізація виснаженням). Будуть також охоплені ключові процеси приготування розчинів полімерів, методи диспергування частинок і забезпечення однорідності системи для подальшого формування суспензій. Базові методи моделювання структури композиту.

Тема 2. Практична реологія полімер-керамічних суспензій

Вивчення реологічних властивостей полімер-керамічних суспензій, таких як в'язкість, межа текучості та реакція на дію механічних сил. Ознайомлення з основними типами течії: псевдопластичним, тиксотропним, дилатантним та реопексним. Будуть проаналізовані причини їх виникнення пов'язані зі складом структурою суспензії. Студенти ознайомляться з методами вимірювання та розрахунку реологічних характеристик суспензій, а також з тим, як ці властивості впливають на процеси формування композитів. Базові методи моделювання течії.

Тема 3. Методи формування полімер-керамічних композитів

Тема охоплює основні технології створення полімер-керамічних нанокомпозитів, зокрема методи лиття плівок, трафаретний друк та центрифугування. Студенти дізнаються про природу виникнення механічних напружень, що формують композити у різних методах та навчаться їх розраховувати. Буде також розглянуто вплив технологічних параметрів на властивості кінцевого матеріалу, зв'язок з реологією та оптимізацію процесів для досягнення необхідних характеристик композитів. Базові методи моделювання механічних напружень.

Тема 4. Аналіз поверхні та створення багат шарових полімер-керамічних композитів

Тема зосереджена на методах вимірювання характеристик шорсткості поверхні нано композитів за допомогою оптичної профілометрії та атомно-силової мікроскопії. Студенти ознайомляться з принципами роботи обладнання та її застосуванням для аналізу топографії поверхні багат шарових композитних матеріалів. Також буде розглянуто технології створення багат шарових структур за допомогою холодного ізостатичного пресування і вплив послідовного нанесення шарів та якості поверхні на функціональні властивості композитів.

Тема 5. Електричні властивості полімер-керамічних композитів та методи їх дослідження

Тема присвячена вивченню провідних і діелектричних властивостей полімер-керамічних композитів. Студенти дізнаються про механізми електропровідності та поляризації у таких матеріалах, а також про методи їх дослідження, зокрема імпедансну спектроскопію та вимірювання діелектричної проникності. Особлива увага буде приділена впливу складу і структури композитів на їх електричні властивості та можливості практичного застосування у мікроелектроніці.

Тема 6. 3D друк за полімер-керамічних композитів

Тема охоплюватиме сучасні технології адитивного виробництва з використанням полімер-керамічних суспензій (Robocasting, Direct Ink writing) та порошків (Powder Bed). Студенти дізнаються про принципи роботи 3D принтерів, які працюють з такими матеріалами, а також про підготовку суспензій, і порошків, що забезпечують необхідні реологічні та технологічні властивості для процесу друку. Буде розглянуто вплив параметрів друку на структуру і властивості готових виробів та перспективи застосування адитивних технологій у виробництві функціональних матеріалів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

Базова література:

1. Основи обертальної реології та її значення для дисперсійної стабільності. Carolyn O'Grady, менеджер лабораторії та спеціаліст по реології, Malvern Instruments Limited https://iht.knu.ua/sites/default/files/UA_Kiev%20Rheology%2024.11.pdf
2. Viscosity of Newtonian and Non-Newtonian Fluids: URL: <https://www.rheosense.com/applications/viscosity/newtonian-non-newtonian>(дата звернення: 26.05.20).
3. Understanding Rheology of Structured Fluids: URL: http://www.tainstruments.com/pdf/literature/AAN016_V1_U_StructFluids.pdf(дата звернення: 26.04.20).
4. Anton-Paar_GmbH. Flow curve and yield point determination with rotational viscometry: URL: <https://wiki.anton-paar.com/en/flow-curve-and-yield-point-determination-with-rotational-viscometry/>.
5. Basics of thixotropy [Електронний ресурс]: Anton Paar Wiki – Режим доступу: <https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-thixotropy/> – Заголовок з екрану.: URL: <https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-thixotropy/>(дата звернення: 12.01.20).
6. Internal structures of samples and shear-thinning behavior [Електронний ресурс]: Anton Paar Wiki – Режим доступу: <https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-thixotropy/> – Заголовок з екрану: URL: <https://wiki.anton-paar.com/en/internal-structures-of-samples-and-shear-thinning-behavior/>(дата звернення: 27.05.20).
7. Mistler, R. E., Twiname, E. R. Tape casting : theory and practice: American Ceramic Society, 2000. 298с.
8. Rahaman MN. Ceramic Processing.; 2017. doi:10.1201/9781315276045
9. Jabbari M, Bulatova R, Tok AIY, Bahl CRH, Mitsoulis E, Hattel JH. Ceramic tape casting: A review of current methods and trends with emphasis on rheological behaviour and flow analysis. Mater Sci Eng B Solid-State Mater Adv Technol. 2016;212:39-61. doi:10.1016/j.mseb.2016.07.011
10. Brook, R. J. Materials Science and Technology, Processing of Ceramics: / за ред. R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer. Wiley-VCH, 1995. 405с.
11. Відеоматеріали на youtube каналі лектора:
 - Створення керамічних плівок методами колоїдного формування (<https://youtu.be/akLVwJpqJNg>). Тривалість 36:02 хв.
 - Реологічні дослідження (<https://youtu.be/PzpZChYeqZ0>). Тривалість 46:09 хв.
 - Приготування суспензій нанопорошків для використання у методах колоїдного формування (https://youtu.be/4D_WhjL7HUg). Тривалість 32:07 хв.

- Створення багат шарових нанокompозитів (<https://youtu.be/HuupFvCc3VQ>). Тривалість 13:49 хв.
- 3D Друк відео лабораторна робота (https://youtu.be/qa6hf7t_cbg). Тривалість 25:15 хв.

Додаткова література:

1. Brown, E., Jaeger, H. M. The role of dilation and confining stresses in shear thickening of dense suspensions. *Journal of Rheology*. 2012. Vol. 56, No. 4. С. 875–923.
2. Mewis, J., Wagner, N. J. Thixotropy. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2009. Vol. 147–148. С. 214–227.
3. Schurz, J. Rheology of polymer solutions of the network type. *Progress in Polymer Science*. 1991. Vol. 16, No. 1. С. 1–53.
4. Jabbari, M., Hattel, J. Numerical modeling of fluid flow in the tape casting process: AIP Conference Proceedings, 11. С. 143–146.
5. Hossain, M. Z., Hojo, D., Yoko, A., та ін. Dispersion and rheology of nanofluids with various concentrations of organic modified nanoparticles: Modifier and solvent effects. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2019. Vol. 583.
6. Mewis, J. Thixotropy - a general review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 1979. Vol. 6, No. 1. С. 1–20.
7. Ding, J., Tracey, P., Li, W., та ін. Review on shear thickening fluids and applications. *Australian Institute for Innovative Materials - Papers*. 2013. Vol. 2, No. 4. С. 161–173.
8. Cheng, X., McCoy, J. H., Israelachvili, J. N., та ін. Imaging the microscopic structure of shear thinning and thickening colloidal suspensions. *Science*. 2011. Vol. 333, No. 6047. С. 1276–1279.
9. Eltawahni HA, Benyounis KY, Twiname ERER, Mistler RERE. Tape Casting and Lamination. In: Elsevier; :9083-9088.
10. Імпедансна спектроскопія, Григорчак І. І., Понеділок Г. В. Код: 978-617-607-116- Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 352 с.

Навчальний контент

● 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

●6. Самостійна робота

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

Політика та контроль

●7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта R розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг) S та диференційованого заліку C . Додаткові бали D можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг S складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), активну роботу на занятті (2 бали), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 30.

На заліку аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 50 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 1 бал. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де S – стартовий рейтинг;

C – залік;

D – додаткові бали.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

Кількість балів	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	
60-64	E	Задовільно
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено канд. техн. наук, науковим співробітником, Іванченком Сергієм Едуардовичем.

Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).