

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

| | |
|--|---|
| Повна назва навчальної дисципліни | Сучасні експериментальні методи дослідження властивостей матеріалів в прикладній фізиці та наноматеріалознавстві |
| Повна офіційна назва закладу вищої освіти | Сумський державний університет |
| Повна назва структурного підрозділу | Факультет електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики |
| Розробник(и) | Шпетний Ігор Олександрович |
| Рівень вищої освіти | Третій рівень вищої освіти, НРК – 8 рівень, QF-LLL – 8 рівень, FQ-EHEA – третій цикл |
| Семестр вивчення навчальної дисципліни | 10 тижнів протягом 3-го семестру |
| Обсяг навчальної дисципліни | Обсяг навчальної дисципліни становить 6 кредитів ЄКТС, 180 годин, 50 години становить контактна робота з викладачем (30 годин лекцій, 20 годин практичних робіт), 130 годин становить самостійна робота |
| Мова викладання | Українська |

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

| | |
|---|---|
| Статус дисципліни | Обов'язкова навчальна дисципліна для освітньої програми "Прикладна фізика та наноматеріали" |
| Передумови для вивчення дисципліни | Необхідними для вивчення дисципліни є знання з дисципліни "Нанотехнології та наноматеріали" |
| Додаткові умови | відсутні |
| Обмеження | відсутні |

3. Мета навчальної дисципліни

Формування знань про сучасні експериментальні методи та методики дослідження властивостей наноматеріалів.

4. Зміст навчальної дисципліни

| |
|---|
| <p>Тема 1 Методи електронної мікроскопії і мікроаналізу для дослідження структурного стану і фазового складу наноматеріалів</p> <p>1.1 Взаємодія пучка електронів з твердим тілом. 1.2 Просвітлювальна електронна мікроскопія. 1.3 Дифракція повільних та відображених швидких електронів. 1.4 Растрова електронна мікроскопія. 1.5 Рентгеноспектральний мікроаналіз. 1.6 Польова іонна мікроскопія.</p> |
| <p>Тема 2 Сканувальна зондова мікроскопія</p> <p>2.1 Сканувальна тунельна мікроскопія: фізичні основи та можливості методу. 2.2 Фізичні основи методу атомно-силової мікроскопії. Режими роботи АСМ мікроскопу. 2.3 Магнітосилова та електросилова мікроскопія.</p> |
| <p>Тема 3 Мас-спектрометрія, як метод дослідження ізотопного складу матеріалів</p> <p>3.1 Історія розвитку мас-спектрометрії. 3.2 Кількісний і якісний аналіз. 3.3 Структурна схема та принцип роботи мас-спектрометра. 3.4 Класифікація та маркування мас-спектрометричних приладів. Основні характеристики приладів. 3.5 Конструкція та принцип роботи статичних і динамічних мас-аналізаторів. 3.6 Вторинно-іонна мас-спектрометрія. Фізичні основи та можливості методу.</p> |
| <p>Тема 4 Спектроскопічні методи дослідження.</p> <p>4.1 Електронна оже-спектроскопія. Фізичні принципи методу. Кількісний аналіз в оже-спектроскопії. Растрова оже-спектроскопія. 4.2 Спектроскопія розсіювання швидких іонів (спектроскопія резерфордівського зворотного розсіювання). Спектроскопія розсіювання іонів середніх енергій. 4.3 Атомні та молекулярні спектральні методи. 4.4 Спектроскопія ядерного магнітного резонансу.</p> |
| <p>Тема 5 Методи дослідження магнітотранспортних та електрофізичних властивостей плівкових матеріалів.</p> <p>5.1 Конструктивні особливості обладнання для вимірювання магніторезистивних та терморезистивних властивостей плівкових наноматеріалів. 5.2 Спін-залежне розсіювання електронів в багатошарових плівкових системах та гранульованих плівках. Явище гігантського магнітоопору. СВП- та СПП- конфігурації структур з ефектом гігантського магнітоопору.</p> |
| <p>Тема 6 Методи дослідження магнітних та магнітооптичних властивостей наноматеріалів.</p> <p>6.1 Фізичні принципи методів квантової (СКВІД) та вібраційної магнітометрії. Конструкція приладів та можливості методів. 6.2 Методика визначення критичного розміру переходу частинки у суперпарамагнітний стан. Температура блокування магнітного моменту наночастинки. 6.3 Застосування магнітооптичних ефектів Керра та Фарадея для дослідження магнітних властивостей наноматеріалів.</p> |

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

| | |
|-----|--|
| PH1 | Самостійно проводити наукові дослідження з прикладної фізики та наноматеріалознавства. |
| PH2 | Розуміти фізичні основи сучасних методів дослідження властивостей наноматеріалів. |

| | |
|-----|--|
| PH3 | Самостійно інтерпретувати та аналізувати отримані результати. |
| PH4 | Уміти систематизувати матеріал, що міститься у наукових працях з прикладної фізики та наноматеріалознавства. |
| PH5 | Презентувати наукові результати у наукових публікаціях. |

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.
Для спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали:

| | |
|-----|--|
| ПР1 | Презентувати і обговорювати результати своєї наукової діяльності державною та іноземними мовами в усній і письмовій формах, розуміти іншомовні професійні, наукові та навчальні публікації з відповідної тематики. |
| ПР4 | Проводити наукові дослідження з прикладної фізики, у т.ч. і наноматеріалознавства, аналізувати результати власних досліджень і презентувати їх результати в наукових публікаціях. |

7. Види навчальних занять та навчальної діяльності

7.1 Види навчальних занять

| |
|--|
| Тема 1. Методи електронної мікроскопії і мікроаналізу для дослідження структурного стану і фазового складу наноматеріалів |
| Лк1 "Просвітлювальна електронна мікроскопія" Взаємодія пучка електронів з твердим тілом. Пружне та непружне розсіювання електронів. Конструкція та принцип роботи просвітлювального електронного мікроскопу (ПЕМ). Формування зображень. Режими роботи ПЕМ. Підготовка проб для аналізу. |
| Лк2 "Дифракційний принцип формування зображення" Дифракція повільних електронів. Повільні електрони і завдання методу. Кристалографія поверхні. Дифракція від двовимірних структур. Дифракція відображених швидких електронів. Геометрія експерименту. Побудова сфери відбиття Евальда. |
| Лк3 "Растрова електронна мікроскопія" Конструкція растрового електронного мікроскопу. Об'єкти дослідження та можливості методу. Принцип формування зображення. Збільшення. Глибина фокусу. Детектори електронів. |
| Лк4 "Рентгеноспектральний мікроаналіз та польова іонна мікроскопія." Гальмівне і характеристичне рентгенівське випромінювання. Фізичні принципи рентгеноспектрального мікроаналізу. Конструкція і принцип роботи рентгенівського дифрактометра. Польова емісія. Польова іонна мікроскопія. Польова іонна мас-спектрометрія. |

| |
|--|
| <p>Пр1 "Дослідження структурного стану тонких металевих плівок методом просвітлювальної електронної мікроскопії."</p> <p>Дослідження структурного стану тонких металевих плівок методом просвітлювальної електронної мікроскопії. Побудова гістограм розподілу розміру кристалів.</p> |
| <p>Пр2 "Препарування зразків для досліджень структурно-фазового стану наноматеріалів методом просвітлювальної електронної мікроскопії."</p> <p>Підготовка проб для аналізу структури та фазового складу плівкових матеріалів методом просвітлювальної електронної мікроскопії.</p> |
| <p>Пр3 "Електронографічне дослідження кристалічної структури тонких металевих плівок з кубічною ґраткою"</p> <p>Вивчення методики одержання та розшифрування електронограм від полікристалічних зразків металів кубічної сингонії.</p> |
| <p>Тема 2. Сканувальна зондова мікроскопія</p> |
| <p>Лк5 "Сканувальна тунельна мікроскопія: фізичні основи та можливості методу."</p> <p>Фізичні основи методу. Конструкції скануючих тунельних мікроскопів. Режими роботи скануючого тунельного мікроскопу. Можливості методу.</p> |
| <p>Лк6 "Фізичні основи методу атомно-силової мікроскопії."</p> <p>Фізичні основи методу. Обладнання для проведення досліджень. Контактний, безконтактний та напівконтактний режими роботи мікроскопа. Можливості методу. Електро-силова мікроскопія. Магніто-силова мікроскопія.</p> |
| <p>Пр4 "Застосування програми Nova для обробки зображення морфології поверхні методом атомно силової мікроскопії."</p> <p>Дослідження структурних характеристик поверхні гранульованих магнітних плівок при обробці АСМ зображень програмою Nova.</p> |
| <p>Тема 3. Мас-спектрометрія, як метод дослідження ізотопного складу матеріалів</p> |
| <p>Лк7 "Основи мас-спектрометричного аналізу складу речовин."</p> <p>Історія розвитку мас-спектрометрії. Кількісний і якісний аналіз. Структурна схема та принцип роботи мас-спектрометра. Класифікація та маркування мас-спектрометричних приладів. Основні характеристики приладів.</p> |
| <p>Лк8 "Конструкція та принцип роботи статичних і динамічних мас-аналізаторів"</p> <p>Основні типи статичних та динамічних мас-аналізаторів. Конструкція та принцип дії.</p> |
| <p>Лк9 "Застосування методу вторинної іонної мас-спектрометрії для кількісного і якісного мікроаналізу матеріалів."</p> <p>Емісія вторинних іонів. Конструкція, принцип дії та характеристики приладів вторинної іонної мас-спектрометрії. Фізичні основи та можливості методу. Застосування методу вторинної іонної мас-спектрометрії для дослідження дифузійних процесів у плівкових матеріалах.</p> |

| |
|--|
| <p>Пр5 "Визначення елементного складу тонких плівок методом мас-спектрометричного аналізу."</p> <p>Розшифровка мас-спектрів. Якісний та кількісний аналіз складу матеріалів.</p> |
| <p>Пр6 "Розрахунок роздільної здатності мас-спектрометричного приладу."</p> <p>Освоєння методики визначення роздільної здатності мас-спектрометричного приладу.</p> |
| <p>Тема 4. Спектроскопічні методи дослідження.</p> |
| <p>Лк10 "Електронна оже-спектроскопія."</p> <p>Фізичні принципи методу електронної оже-спектроскопії. Кількісний аналіз в оже-спектроскопії. Растрова оже-спектроскопія.</p> |
| <p>Лк11 "Спектроскопія резерфордівського зворотного розсіювання та спектроскопія ядерного магнітного резонансу"</p> <p>Фізичні принципи методу спектроскопії резерфордівського зворотного розсіювання. Спектроскопія розсіювання швидких іонів та іонів середніх енергій. Фізичні принципи явища ядерного магнітного резонансу.</p> |
| <p>Лк12 "Атомні та молекулярні спектральні методи"</p> <p>Класифікація методів атомної спектроскопії. Атомно-адсорбційна спектроскопія. Фотометрія полум'я. Атомно-емісійна спектроскопія. Молекулярні спектральні методи. Спектрофотометрія.</p> |
| <p>Тема 5. Методи дослідження магнітотранспортних та електрофізичних властивостей плівкових матеріалів.</p> |
| <p>Лк13 "Дослідження магніторезистивних та терморезистивних властивостей плівкових наноматеріалів."</p> <p>Конструктивні особливості обладнання для вимірювання магніторезистивних та терморезистивних властивостей плівкових наноматеріалів. Спін-залежне розсіювання електронів в багатошарових плівкових системах та гранульованих плівках. Явище гігантського магнітоопору. СВП- та СПП- конфігурації структур з ефектом гігантського магнітоопору. Дослідження магнітних матеріалів з ефектом анізотропного магнітоопору.</p> |
| <p>Пр7 "Дослідження магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів."</p> <p>Освоєння методики вимірювання магнітоопору плівкових матеріалів. Отримання польових залежностей магнітоопору зразків. Розрахунок коефіцієнтів гігантського та анізотропного магнітоопору.</p> |
| <p>Пр8 "Методики дослідження електрофізичних властивостей наноматеріалів."</p> <p>Дослідження температурної залежності питомого опору та термічного коефіцієнту опору плівкових матеріалів нанорозмірної товщини.</p> |
| <p>Тема 6. Методи дослідження магнітних та магнітооптичних властивостей наноматеріалів.</p> |

| |
|--|
| <p>Лк14 "Методи дослідження магнітних властивостей наноматеріалів."</p> <p>Фізичні принципи методів квантової (СКВІД) та вібраційної магнітометрії. Конструкція приладів та можливості методів. Методика визначення критичного розміру переходу частинки у суперпарамагнітний стан. Температура блокування магнітного моменту наночастинки.</p> |
| <p>Лк15 "Методи дослідження магнітооптичних властивостей наноматеріалів."</p> <p>Фізичні основи методу. Конструкція обладнання для вимірювання магнітооптичних властивостей матеріалів. Магнітооптичні ефекти Керра та Фарадея.</p> |
| <p>Пр9 "Освоєння методик дослідження магнітних властивостей наноматеріалів."</p> <p>Визначення критичного розміру переходу частинки у суперпарамагнітний стан. Температура блокування.</p> |
| <p>Пр10 "Застосування методів квантової та вібраційної магнетометрії для дослідження магнітної структури та намагніченості феромагнітних матеріалів."</p> <p>Застосування методів квантової (СКВІД) та вібраційної магнетометрії для дослідження магнітної структури та намагніченості феромагнітних матеріалів. Типи геометрій вимірювання.</p> |

7.2 Види навчальної діяльності

| | |
|-----|--|
| НД1 | Підготовка до практичних занять |
| НД2 | Підготовка та презентація доповіді |
| НД3 | Виконання практичних завдань |
| НД4 | Підготовка до поточного та підсумкового контролю |

8. Методи викладання, навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

| | |
|-----|---|
| МН1 | Лекція-візуалізація із використанням мультимедійних засобів навчання |
| МН2 | Лекція – прес-конференція |
| МН3 | Метод демонстрацій |
| МН4 | Проблемний семінар |
| МН5 | Дослідницька робота |
| МН6 | Самостійна робота з вивчення електронних матеріалів з можливістю консультацій очних та онлайн |

Лекції із використанням змішаних методів навчання, презентацій, мультимедійних засобів навчання. Практичні заняття у вигляді семінарів з застосуванням методу демонстрацій. Розв'язування задач. Проведення наукових досліджень.

1. Здатність до аналізу та синтезу. 2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. 3. Під час проведення занять здобувачі отримують навички комунікації,

лідерства, вміння працювати в команді, здатність логічно і системно мислити.

9. Методи та критерії оцінювання

9.1. Критерії оцінювання

| Визначення | Чотирибальна національна шкала оцінювання | Рейтингова бальна шкала оцінювання |
|---|---|------------------------------------|
| Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок | 5 (відмінно) | $90 \leq RD \leq 100$ |
| Вище середнього рівня з кількома помилками | 4 (добре) | $82 \leq RD < 89$ |
| Загалом правильна робота з певною кількістю помилок | 4 (добре) | $74 \leq RD < 81$ |
| Непогано, але зі значною кількістю недоліків | 3 (задовільно) | $64 \leq RD < 73$ |
| Виконання задовольняє мінімальні критерії | 3 (задовільно) | $60 \leq RD < 63$ |
| Можливе повторне складання | 2 (незадовільно) | $35 \leq RD < 59$ |
| Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни | 2 (незадовільно) | $0 \leq RD < 34$ |

9.2 Методи поточного формативного оцінювання

| | |
|------|---|
| МФО1 | Настанови викладача в процесі виконання практичних завдань |
| МФО2 | Опитування та усні коментарі викладача за його результатами |
| МФО3 | Проведення розрахунків |
| МФО4 | Проведення наукових досліджень |

9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

| | |
|------|--|
| МСО1 | Виконання завдань на практичному занятті |
| МСО2 | Виконання пошуково-дослідного завдання (підготовка, презентація, захист) |
| МСО3 | Поточні контрольні роботи |
| МСО4 | Підсумковий контроль: екзамен |

Контрольні заходи:

| | |
|--|------------------|
| 3 семестр | 100 балів |
| МСО1. Виконання завдань на практичному занятті | 20 |
| | 20 |
| МСО2. Виконання пошуково-дослідного завдання (підготовка, презентація, захист) | 20 |
| 2x10 | 20 |
| МСО3. Поточні контрольні роботи | 20 |

| | | |
|-------------------------------------|--|-----------|
| | | 20 |
| МСО4. Підсумковий контроль: екзамен | | 40 |
| | | 40 |

Контрольні заходи в особливому випадку:

| | | |
|--|------|------------------|
| 3 семестр | | 100 балів |
| МСО2. Виконання пошуково-дослідного завдання (підготовка, презентація, захист) | | 40 |
| | 4x10 | 40 |
| МСО3. Поточні контрольні роботи | | 20 |
| | | 20 |
| МСО4. Підсумковий контроль: екзамен | | 40 |
| | | 40 |

10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

10.1 Засоби навчання

| | |
|-----|--|
| ЗН1 | Мультимедіа, відео- і звуковідтворювальна, проєкційна апаратура (відеокамери, проєктори, екрани, смартдошки тощо) |
| ЗН2 | Бібліотечні фонди |
| ЗН3 | Комп'ютери, комп'ютерні системи та мережи |
| ЗН4 | Просвітлювальний електронний мікроскоп ПЕМ-125К, вакуумні універсальні пости ВУП-5М, газові мас-аналізатори МХ 7304, вторинно-іонний мас-спектрометр МС-7201М, прилад для дослідження магніторезистивних властивостей наноматеріалів, вимірювальне обладнання. |

10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

| Основна література | |
|---------------------------|--|
| 1 | Проценко І.Ю., Черноус А.М., Проценко С.І. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів – Суми: СумДУ, 2020. – 270 с. |
| 2 | Данильченко С.М., Кузнецов В.М., Проценко І.Ю. Рентгенодифракційні методи дослідження кристалічних матеріалів: навчальний посібник. - Суми: СумДУ, 2019. -135 с. |
| 3 | В.В. Загородній. Локальні методи досліджень: підручник. - Київ: КПІ, 2019. - 323 с. |
| 4 | Influence of composition on the structural-phase state, electrophysical and magnetotransport properties of alloy thin films based on Co and Cu / I.O. Shpetnyi, I.Yu. Protsenko, S.I. Vorobiov, V.I Grebinaha, L. Satrapinsky, T. Lucinski // Vacuum. – 2021. – V. 187. – P. 110141-1 – 110141-9 |

| | |
|-----------------------------|--|
| 5 | Influence of the magnetic field on the structural characteristics of granular CoxAg100-x thin film alloys / I.O. Shpetnyi, V.Ya. Pak, Yu.O. Shkurdoda et al. // Thin Solid Films. – 2021. – V. 724 – P. 138613-1 – 138613-8. |
| Допоміжна література | |
| 1 | Лобода В.Б., Іваній В.С., Шкурдода Ю.О. та ін. Сучасні методи дослідження структури речовини. Спеціальний фізичний практикум: навч. посібник. – Суми: Університетська книга, 2012. – 259 с. |
| 2 | Pazukha I. M., Protsenko I.Yu. Theoretical methods of investigation of thin film materials properties : study guide. - Sumy: Sumy State University, 2017. - 102 p. |