



Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

• Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2- курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 (90) Лекції –18 год., семінарські заняття – 9, СР – 63год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: к. ф.-м. н., с.н.с. Литвин Петро Мар'янович peter.lytvyn@ccu-semicond.net</i>
Розміщення курсу	https://drive.google.com/open?id=1NyudR3lowGLaHOxG4qqs11aZRANUQtKA

• Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Метою дисципліни є ознайомлення із сучасним рівнем та тенденціями розвитку методів і приладів скануючої зондової мікроскопії та цифрової оптичної мікроскопії; засвоєння знань, достатніх для ефективного залучення цих методів діагностики у власному профілі досліджень в задачах напівпровідникового наноматеріалознавства та фізики приладних структур пониженої розмірності. Предметом дисципліни є фізичні принципи функціонування та апаратна реалізація сучасних методів скануючої зондової мікроскопії та ультра високороздільної оптичної мікроскопії в задачах діагностики матеріалів та приладів нанoeлектроніки і суміжних галузей нанотехнологій. В курсі детально розглядаються фізичні ефекти в наноконтакті зонду з поверхнею в скануючій атомно-силовій мікроскопії, струмочутливих методах зондової мікроскопії, методах електросилової та магнітної мікроскопії, нанозондовій літографії, мікроскопії ближнього поля та ін.

Значна увага приділена методології та технічним засобам мікроскопії, їх метрологічному забезпеченню, алгоритмам обробки та аналізу даних. Основними завданнями вивчення дисципліни “Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів” є засвоєння базових знань про діагностичні методи цифрової оптичної мікроскопії, скануючої зондової мікроскопії та нанозондові технології, нанометрологію, особливості їх застосувань в галузях наноматеріалознавства, нанoeлектроніки, фотоніки, нанобіотехнологій тощо.

Загальні компетентності:

ЗК 1. Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових і складних ідей, переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику, розв'язувати значущі наукові та інші проблеми.

ЗК 2. Здатність використовувати у професійній діяльності сучасні знання з різних наук, у тому числі міждисциплінарного характеру.

ЗК 5. Здатність знаходити, обробляти й аналізувати необхідну інформацію для вирішення проблем й прийняття рішень.

ЗК7. Здатність забезпечувати безперервний саморозвиток і самовдосконалення, відповідальність за розвиток інших.

Спеціальні (фахові) компетентності:

ФК 1. Здатність самостійно здійснювати науково-дослідну та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій

ФК 2. Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в галузі прикладної фізики для вирішення наукових і практичних проблем

ФК 3. Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, комбінувати та зв'язувати їх методи, інтерпретувати одержані результати з метою виявлення властивостей та характеристик досліджуваних об'єктів в галузі прикладної фізики та нанотехнологій

ФК 4. Здатність проводити дослідження складних систем, їх системний та синергетичний аналіз, використовувати моделі та методи моделювання в наукових дослідженнях.

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі *програмні результати навчання (ПРН)*:

ПРН 1. Системні знання у фізиці та інших природничих науках, включаючи оволодіння методами наукового дослідження при здійсненні професійної діяльності;

ПРН 2 Системні знання поглибленого рівня в галузі прикладної фізики, наукомістких технологій, нових речовин і матеріалів, методів дослідження їх властивостей, зокрема, знання сучасних досягнень та інноваційних прикладних рішень, в тому числі на стику різних галузей наук.;

ПРН 3 Знання методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень, основоположних принципів системного та синергетичного аналізу, розуміння моделей та методів моделювання в прикладній фізиці.;

ПРН 9 Вміння орієнтуватися в наукових проблемах у професійній сфері, знаходити оптимальні шляхи їх розв'язання;

ПРН 10 Вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові складні ідеї, які заслуговують на рецензовану публікацію на національному або міжнародному рівні;

ПРН 11 Вміння розширення меж і переосмислення наявного теоретичного знання й професійних практик, здатності сприймати, розробляти, застосовувати і адаптувати основний процес дослідження з науковою повнотою і цілісністю;

ПРН 12 Вміння обирати теоретичні й експериментальні методи дослідження, відповідні методи системного і синергетичного аналізу, застосовувати моделі та методи моделювання та інноваційні підходи для розв'язання складних завдань і проблем в науково-дослідній та/або інноваційних сферах;

ПРН 15 Вміння збирати та інтерпретувати наукову та фахову інформацію, з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та пошукових систем;

ПРН 16 Вміння використовувати сучасні методи і технології професійної комунікації українською та іноземними мовами;

ПРН 17 Вміння ефективно взаємодіяти в професійному середовищі й соціумі в цілому, результативно, науково і професійно працювати над новими ідеями як індивідуально, так і як член творчої команди.

Також до спеціальних (фахових) програмних результатів навчання, що деталізують ПРН 1, ПРН 2, ПРН 3, ПРН 12 у відповідності до досліджуваного предмету дисципліни, які після її засвоєння мають продемонструвати аспіранти відносяться:

- оволодіння знаннями фізичних принципів функціонування та апаратної реалізації сучасних методів скануючої зондової мікроскопії та ультра високороздільної оптичної мікроскопії
- оволодіння навичками і засвоєння особливостей застосувань нанозондової та оптичної мікроскопії в галузях наноматеріалознавства, наноелектроніки, фотоніки, нанобіотехнологій тощо.
- оволодіння практичними навичками роботи із аналітичним програмним забезпеченням зондової та оптичної мікроскопії;
- розуміння загальних підходів в забезпеченні єдності та відтворюваності нанометрологічних вимірювань;

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Отримані практичні навички полягають в умінні інтерпретувати та кількісно аналізувати дані зондової та оптичної мікроскопії, обирати їх адекватні методи для вирішення відповідних прикладних задач. Ефективно використовувати теоретичні знання дисципліни «Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» для вирішення широкого кола проблематики сучасної фізики.

Необхідні навички:

- дисципліна вимагає знань дисциплін загальної та професійної підготовки: Навчальна дисципліна мовно-практичної підготовки, Актуальні проблеми прикладної фізики, Сучасні тенденції розвитку наноматеріалів та нанотехнологій, Методологія наукових досліджень, Інформаційні технології та прикладна фізика.

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни «Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» надається 105 годин / 3,5 кредити ECTS (з них лекції – 18 годин, семінарські заняття – 9 годин, самостійна робота – 78 години), семестрова атестація – екзамен.

Тема 1. Зондові нанотехнології: діагностика та направлена модифікація поверхонь

Методологія та технічні засоби зондової мікроскопії. Особливості мікроскопічних досліджень в системах пониженої розмірності. Наноматеріалознавство, наноелектроніка, нанофотоніка, наномедицина, нанометрологія, зондова нанолітографія, наноманіпулювання та препарування. Атомно-силова, електросилова, магнітна, струмочутлива скануюча зондова мікроскопія. Сучасні тенденції розвитку приладів і методів зондової мікроскопії.

Тема 2. Фізичні основи атомно-силової, електростатичної та магнітної мікроскопії

Типи силових взаємодій. Пружні взаємодії. Задача Герца. Капілярні сили. Сили Ван-дер-Ваальса. Орієнтаційна взаємодія. Індукційна взаємодія. Дисперсійна взаємодія. Ван-дер-Ваальсове притягання зонду до поверхні. Адгезійні сили (моделі DMT, JKR, Maugis). Особливості електростатичних взаємодій зонд-поверхня. Магнітні диполь-дипольні взаємодії. Основні фізичні ефекти в наноконтактах зонду з поверхнею.

Тема 3. Струмочутливі методи зондової мікроскопії

Скануюча тунельна мікроскопія. Теоретичне підґрунтя процесу одновимірного тунелювання. Основні принципи роботи СТМ. Ефекти електронних станів у скануючій тунельній мікроскопії. Тунельна спектроскопія. Провідна атомно-силова мікроскопія. Особливості струмопереносу в наноконтакті метал-напівпровідник. Фізичні основи скануючої ємнісної мікроскопії. Контакт метал-діелектрик-напівпровідник.

Тема 4. Фізичні основи наномеханічних зондових вимірювань. Скануюча зондова нанолітографія

Силова спектроскопія. Методи калібрування пружних констант консолей зондів. Криві індентування. Кількісні оцінки механічних параметрів поверхонь та мікро- і нанооб'єктів. Метод модульованої сили, резонансна акустична мікроскопія, PeakForce мікроскопія. Механічна, електрохімічна і термічна нанозондова літографія. Літографія методом зануреного пера.

Тема 5. Методи мікроскопії ближнього поля та оптичної цифрової мікроскопії

Фізичні основи скануючої ближньопольної оптичної мікроскопії основні методи і технічна реалізація. Методологія та технічні засоби цифрової оптичної мікроскопії. Основні технічні характеристики та розрахунки параметрів оптичних мікроскопів. Інтерференційна мікроскопія. Темнопольна і поляризаційна оптична мікроскопія. Фазово контрастні зображення. Люмінесцентна мікроскопія. Тривимірні оптична мікроскопія. Оптична мікроскопія надвисокої роздільної здатності.

Тема 6. Апаратно-програмна реалізація скануючих зондових мікроскопів. Метрологічне забезпечення зондової мікроскопії та нанометрологія поверхонь

Будова тунельного та атомно-силового мікроскопів. Зонди, сканери, системи попереднього підведення зонду, схеми детектування та зворотного зв'язку, системи захисту. Програмне забезпечення керування вимірюваннями та обробки результатів зондової мікроскопії. Формати файлів даних. Математичні методи в обробці та аналізі даних. Метрологічна модель приладу, тестові структури, процедури калібрування сканерів та реконструкції форми вістря. Артефакти вимірювань. Процедури перевірки мікроскопів. Державна метрологічна служба. Стандарти, що регулюють проведення нанометрологічних випробувань.

Тема 7. Атомно-силова морфометрія та силова спектроскопія мінеральних, полімерних та біологічних об'єктів

Особливості пробопідготовки для вимірювань у вакуумі, рідині та на повітрі. Режими роботи атомно-силового мікроскопу. Вибір оптимальних зондів в залежності від об'єкту та предмету досліджень. Особливості налаштувань та оптимізації параметрів вимірювальної системи. Система параметрів характеристикації рельєфу поверхонь. Практичні аспекти наномеханічних досліджень поверхонь, мікро- та нанооб'єктів. Картографування сил тертя, твердості, пружності та адгезивних сил. Практика дослідження поверхонь, статистичний аналіз результатів, метрологічний аналіз.

Тема 8. Електростатична, Кельвін-зонд та магнітна силова мікроскопія

Двопрохідні методи зондової мікроскопії. Детектування заряду поверхні методом градієнтної електростатичної мікроскопії. Крос-кореляційний аналіз карт рельєфу поверхні та фазового і частотного контрасту. Амплітудна та фазо-модульована Кельвін-зонд мікроскопія поверхневого потенціалу. Процедури магнітної силової мікроскопії. Реконструкція карт поверхневого потенціалу та магнітного поля розсіяння. Їх інтерпретація. Практичні дослідження поверхонь.

Тема 9. Практична діагностика локальних електричних параметрів поверхонь

Особливості пробопідготовки для локальних електричних вимірювань методами тунельної, провідної атомно-силової та ємнісної мікроскопії. Картографування провідності, типу і концентрації носіїв в напівпровідникових наноструктурах. Локальні вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики. Практичні дослідження напівпровідникових мікро- та наноструктур.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Антонюк В.С., Тимчик Г.С., Бондаренко Ю.Ю., Петльований П.В., Білокінь С.О., Бондаренко М.О. Методи та засоби мікроскопії. – НТУУ «КПІ», ВПІ ВПК «Політехніка», 2013. – 334 с.
2. Антонюк В.С., Тимчик Г.С., Варцанова О.В., Бондаренко Ю.Ю., Білокінь С.О., Бондаренко М.О. Мікроскопія в нанотехнологіях. – НТУУ «КПІ», ВПІ ВПК «Політехніка», 2013. – 258 с.
3. Тузяк О. Я., Курляк, В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії. – Львів: Вид. ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 296 с.
4. Горячко А., Кулик С., Прокопенко О. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Підручник. Ч.1. – Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2010. – 133 с.
5. Горячко А., Кулик С., Прокопенко О. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Підручник. Ч.2 – Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2012. – 170 с.
6. Дедкова Е. Г., Чуприк, А. А., Бобринецкий, И. И., Неволин, В. К. Приборы и методы зондовой микроскопии. – Москва: МФТИ, 2011. – 160 с.
7. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: «Техносфера», 2014. – 174 с.

8. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: «Техносфера», 2005. – 144 с.
9. Александрова О.А., Титков А.Н., Кононова И.Е., Максимов А.И., Мараева Е.В., Мошников В.А., Алексеев П. А. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии. – Учебн. пособие/Под ред. проф. ВА Мошникова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ” ЛЭТИ, 2012. – 172 с.
10. Сергеев А. Г. Введение в нанометрологию. – Изд. Владимирского государственного университета, 2010. – 296 с.
11. Витязь А. П., Свидунович Н. А., Куис Д. В. Наноматериаловедение. – Минск: «Высшая школа», 2015. – 512 с.
12. Баранов А.В., Виноградова Г.Н., Воронин Ю.М., Ермолаева Г.М., Парфенов П.С., Шилов В.Б. Техника физического эксперимента в системах с пониженной размерностью. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 188 с.

Допоміжна література

1. Voigtländer B. Scanning Probe Microscopy. – Berlin Springer-Verlag Berlin, 2015. – 375 p.
2. Kalinin S. V., Gruverman, A. Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale. – Springer Science & Business Media, 2007. – 1002 p.
3. Sadewasser S., Glatzel, T. Kelvin probe force microscopy. – Berlin: Springer, 2012. – 330 p.
4. Hopster H., Oepen H. P. (Eds.). Magnetic microscopy of nanostructures. – Springer Science & Business Media, 2005. – 324 p.
5. Sarid D. Exploring scanning probe microscopy with Mathematica. – John Wiley & Sons, 2007. – 311 p.
6. Kaupp G. Atomic force microscopy, scanning nearfield optical microscopy and nanoscratching: application to rough and natural surfaces. – Springer Science & Business Media, 2006. – 302 p.
7. Klapetek P. Quantitative Data Processing in Scanning Probe Microscopy: SPM Applications for Nanometrology. – Elsevier., 2013. – 316 p.
8. Török P., Kao F.J. (Eds.). Optical imaging and microscopy: techniques and advanced systems (Vol. 87). – Springer, 2007. – 501 p.
9. Yao N., Wang, Z. L. (Eds.). Handbook of microscopy for nanotechnology. – Boston: Kluwer academic publishers, 2005. – 745 p.

● **Навчальний контент**

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:

- лекції;
- семінарські заняття;
- самостійна робота.

Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На лекціях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити аспірантам розуміння завдань семінарських занять та можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу.

Теми та порядок самостійної роботи сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з метою дисципліни та здійснюються з використанням рекомендованої літератури та глобальної мережі Internet.

Лекційний матеріал подається з використанням комп'ютера та мультимедіа-проектора, практичні роботи проводяться на базі лабораторії скануючої зондової микроскопі Центру колективного користування приладами НАН України при Інституті фізики напівпровідників НАН України.

5.1 Лекційні заняття

Семестровий (кредитний) модуль

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів - 18 год.

№ з/п	Назви тем лекційних занять	Кількість годин
1	Тема 1. Зондові нанотехнології: діагностика та направлена модифікація поверхонь	2
2	Тема 2. Фізичні основи атомно-силової, електростатичної та магнітної мікроскопії	2
3	Тема 3. Струмочутливі методи зондової мікроскопії	2
4	Тема 4. Фізичні основи наномеханічних зондових вимірювань. Скануюча зондова нанолітографія	2
5	Тема 5. Методи мікроскопії ближнього поля та оптичної цифрової мікроскопії	2
6	Тема 6. Апаратно-програмна реалізація скануючих зондових мікроскопів. Метрологічне забезпечення зондової мікроскопії та нанометрологія поверхонь.	2
7	Тема 7. Атомно-силова морфометрія та силова спектроскопія мінеральних, полімерних та біологічних об'єктів.	2
8	Тема 8. Електростатична, Кельвін-зонд та магнітна силова мікроскопія	2
9	Тема 9. Практична діагностика локальних електричних параметрів поверхонь	2

5.2 Семінарські заняття

Семестровий (кредитний) модуль

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів - 9.

№ з/п	Назви тем практичних занять	Кількість годин
1	Апаратно-програмна реалізація скануючих зондових мікроскопів. Метрологічне забезпечення зондової мікроскопії та нанометрологія поверхонь.	2
2	Атомно-силова морфометрія та силова спектроскопія мінеральних, полімерних та біологічних об'єктів.	2
3	Електростатична, Кельвін-зонд та магнітна силова мікроскопія	2
4	Практична діагностика локальних електричних параметрів поверхонь	3

6. Самостійна робота (СР) аспірантів

Семестровий (кредитний) модуль

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів – 78 год.

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин
1	Тема 1. Зондові нанотехнології: діагностика та направлена модифікація поверхонь	7
2	Тема 2. Фізичні основи атомно-силової, електростатичної та магнітної мікроскопії	7
3	Тема 3. Струмочутливі методи зондової мікроскопії	7
4	Тема 4. Фізичні основи наномеханічних зондових вимірювань. Скануюча зондова нанолітографія	7
5	Тема 5. Методи мікроскопії ближнього поля та оптичної цифрової мікроскопії	7
6	Тема 6. Апаратно-програмна реалізація скануючих зондових мікроскопів. Метрологічне забезпечення зондової мікроскопії та нанометрологія поверхонь.	7

7	Тема 7. Атомно-силова морфометрія та силова спектроскопія мінеральних, полімерних та біологічних об'єктів.	7
8	Тема 8. Електростатична, Кельвін-зонд та магнітна силова мікроскопія	7
9	Тема 9. Практична діагностика локальних електричних параметрів поверхонь	7

● Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Аспірантам рекомендується відвідувати заняття. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність аспіранта, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички. Відсутність на практичних заняттях, без поважних причин штрафується від'ємними балами.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	5-10 балів в залежності від місця, яке зайняв	Порушення термінів виконання тестування (експрес-опитування)	-5 балів
Виступ на занятті з ініціативною доповіддю на обрану творчу тему за програмою дисципліни	5 балів	Порушення термінів виконання індивідуальної практичної роботи	-2 бали

Пропущені контрольні заходи

Результат календарного (проміжного) контролю для аспіранта, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, аспірант має можливість пройти контрольний захід, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки аспірантів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Аспіранти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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

Семестрові (кредитні) модулі

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів

Поточний контроль: тестування, індивідуальна практична робота.

Календарний контроль: атестація проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації ¹		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг ²		≥ 10 балів	≥ 30 балів
	Поточний контрольний захід	Тестування 1	+	-
	Поточний контрольний захід	Індивідуальна практична робота 1	+	-
	Поточний контрольний захід	Тестування 2	-	+
		Індивідуальна практична робота 2	-	+

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю:

Обов'язкові:

- Виконані тести (експрес-опитування)
- Виконані індивідуальні практичні роботи як результат самостійної роботи аспіранта (СР) та їх презентація (реферат, тези; стаття, рецензія)
- Поточний рейтинг $RD \geq 30$ балів.

Необов'язкові:

- Активність на заняттях.
- Позитивний результат першої атестації та другої атестації.

Система рейтингових балів:

1. Тестування за темами дисципліни здійснюється на основі тестів і залежить від тривалості контрольного заходу (5-10 хвилин). Кожний блок тестів відповідає вимогам змістової характеристики тем дисципліни. Замість тестів може бути проведено експрес-опитування за визначеними темами.

2. Індивідуальні практичні роботи (реферат, тези; стаття, рецензія) сформовані таким чином, що їх завдання сприяють навичкам правильного виконання дослідження за темами дисципліни та є результатом самостійної роботи аспіранта, що передбачає їх виконання та презентацію.

3. Екзамен. Умовою допуску до семестрового контролю є виконання усіх поточних контрольних заходів та рейтинг більший за 30 балів ($RD \geq 30$). Максимальна кількість балів – 50.

- вичерпна відповідь – 40 – 50 балів;
- відповідь з незначними помилками – 30-39 балів;
- неповна відповідь та незначні помилки – 20 – 29 балів;
- грубі помилки – 8-19
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Розрахунок шкали рейтингу:

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Тестування	20	5	2	10
3.	Індивідуальна практична робота (презентація СР аспіранта)	20	20	2	40
4.	Екзамен	50	50	1	50
	Всього				100

¹ Там само.

² Там само.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Семестрові (кредитні) модулі

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів

Завдання екзамену відповідають наступним питанням:

- Зондові нанотехнології
- Моделі взаємодії зонд поверхня
- Мікроскопія сил тертя
- Електростатична мікроскопія
- Силовий Кельвін-зонд мікроскопія
- Магнітна мікроскопія
- Ємнісна мікроскопія
- Тунельна мікроскопія
- Скануюча мікроскопія ближнього поля
- Цифрова оптична мікроскопія
- Мікро-/наномеханічні випробування поверхонь
- Нанозондова літографія
- Метрологічне забезпечення зондової мікроскопії.

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Нанозондові методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів

Складено:

к. ф.-м. н., с.н.с. Литвином Петром Мар'яновичем

Ухвалено

кафедрою прикладної фізики (протокол № 02/2020-2021 від 04 вересня 2020 року)

Затверджено

Вченою радою Фізико-технічного інституту (протокол № 7/1 від 07 вересня 2020 року)