



ФІЗИКА І ХІМІЯ ПОВЕРХНІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський) / Другий (магістерський) / Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика
Статус дисципліни	Нормативна / Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 (6) курс, осінній / <u>весняний семестр</u> (семестр 4(12))
Обсяг дисципліни	90 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Модульні контрольні роботи, блиц-опитування, реферат
Розклад занять	
Мова викладання	<u>Українська/Англійська/Німецька / Французька</u>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Стронський Олександр Володимирович, 050-95-975-82, e-mail: alexander.stronski@gmail.com , https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=T912ZwMAAAAJ науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані ¹ науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані ² Практичні / Семінарські: науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані Лабораторні: науковий ступінь, вчене звання, ПІБ, контактні дані
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Викладач обґрунтовує необхідність вивчення навчальної дисципліни, відповідаючи на питання «Чому майбутньому фахівцю варто вчити саме цю дисципліну?», визначає **мету, предмет дисципліни та програмні результати³ навчання** (компетентності, знання, уміння, навички, досвід, послідовність дій в стандартних виробничих ситуаціях тощо), які студент/аспірант набуде після вивчення дисципліни з розподілом на окремі освітні компоненти (якщо дисципліна вивчається декілька семестрів).

Розвиток сучасного виробництва потребує. в першу чергу, забезпечення його спеціалістами в галузі високих технологій. Останні спрямовані на зменшення енерго- та матеріалоємності, а також

¹ Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

³ Для нормативних дисциплін зазначається згідно матриці відповідності програмних компетентностей та результатів навчання в освітній програмі.

поліпшення екології людини і навколишнього середовища. Одним з найбільш важливих загальних напрямків розвитку цих технологій є формування необхідної структури і фізико-хімічних властивостей поверхні напівпровідників, діелектриків та металів. Це має значення не тільки для різних галузей промисловості, але й для різних сфер практичного застосування.

Поверхня твердого тіла захищає об'єм матеріалу від механічного та хімічного руйнування, сприяє очищенню оточуючого середовища від промислового забруднення, прискорює хімічні реакції, відіграє ключову роль в оптичних явищах, в перетворенні теплової, хімічної і сонячної енергії в електричну і, найголовніше, вся елементна база мікроелектроніки побудована з урахуванням характеристик енергетичних бар'єрів на поверхні твердого тіла. Саме тому вивчення курсу „Фізика і хімія поверхні” є необхідним і корисним для студентів кафедри „Прикладна фізика”.

Метою підготовки студентів, які вивчають курс „Фізика і хімія поверхні”, є підвищення загального рівня знань, засвоєння основних понять і одержання нових знань з питань структури поверхні, електронних процесів на ній, електронних властивостей, поверхневих явищ, а також сучасних методів дослідження та модифікування поверхні. Крім того студенти будуть ознайомлені з деякими функціональними елементами і приладами, дія яких ґрунтується на поверхневих явищах.

Вивчивши дисципліну, студент повинен:

1- знати основні поняття про природу поверхневих електронних станів, утворення поверхневого заряду і появу енергетичних електронних станів, утворення поверхневого заряду і енергетичних поверхневих бар'єрів,

2- мати уявлення про особливості зонної структури вільної поверхні і поверхні розділу фаз, досягти такого рівня знань, який дозволить розуміти природу поверхневих явищ, а також сприймати на атомному та електронному рівнях сучасні технологічні процеси.

3- вміти проводити розрахунки, будувати енергетичні діаграми вільної поверхні і поверхні розділу фаз для різних випадків і визначати за ними процес перерозподілу носіїв заряду.

4- мати уявлення про структуру поверхні та термодинамічні аспекти поверхні.

5- знати структурні особливості твердотільних наноструктур, нуклеації і росту нанокластерів в нанопорах речовини.

6- знати особливості формування колоїдних наносистем, формування кластерів в мікроемульсіях, організації і самоорганізації колоїдних структур, оптичних і електронних властивостей кластерів.

7- розуміти природу явищ на границях розділу речовин: контактної різниці потенціалів, контакту метал – напівпровідник, бар'єри Шоткі, електронно-діркового переході (p-n-перехід), гетеропереходах.

8- знати особливості природи та застосувань емісійних явищ: термоелектронної емісії, холодної емісії, фотоелектричної і вторинної емісії, електронної оптики.

9- мати основні поняття про методи дослідження поверхні: дифракцію електронів, рентгенівські спектроскопічні і дифракційні методи- рентгенівська спектроскопія і дифракція, рентгенівська спектроскопія поглинання: EXAFS, XANS, NEXAFS, рентгенівську фотоелектронну та Оже-спектроскопію, атомну силову та тунельну мікроскопію.

10- знати особливості природи фізичної і хімічної адсорбції, каталізу

Вивчення основ математичного аналізу, основ квантової механіки, хімії і фізики твердого тіла необхідно проводити до вивчення цього курсу, тому що на згаданих курсах базується розгляд питань з фізики і хімії поверхні.

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

Зазначається перелік дисциплін, або знань та умінь, володіння якими необхідні студенту (вимоги до рівня підготовки) для успішного засвоєння дисципліни (наприклад, «базовий рівень володіння англійською мовою не нижче A2»). Вказується перелік дисциплін які базуються на результатах навчання з даної дисципліни.

Засвоєння студентами цього курсу потребує наявності знань з таких дисциплін, як основи математичного аналізу, основи квантової механіки, фізики та хімії твердого тіла.

3. Зміст навчальної дисципліни

Надається перелік розділів і тем всієї дисципліни.

Вступ

1.1. Основні задачі фізики і хімії поверхні. Поверхня і процеси на поверхні та в приповерхневих шарах. Розмірні ефекти. Структура поверхневих шарів. Адсорбція. Поверхнева дифузія. Міжфазні характеристики. Катализ. Методи досліджень поверхні.

2. Особливості електронної структури і електронних властивостей поверхні

2.1 Методи розрахунку електронної структури поверхні

2.1.1. Одновимірна модель поверхні кристалу.

2.1.2. Стани Тамма і Шоклі.

2.2 Поверхневі електронні стани.

2.2.1. Типи поверхневих станів. Моделі поверхневих станів.

2.2.2. Поверхневий потенціал і бар'єри.

2.2.3. Інверсійний шар на поверхні. Просторовий заряд. Подвійний заряджений шар.

2.3. Електронні властивості поверхні

2.3.1. Механізми впливу поверхні на електронні властивості.

2.3.2. Ефект поля. Пільовий (МДН) транзистор.

2.3.3. Поверхнева рекомбінація. Квантові ями.

2.3.4. *Вимірювання характеристик поверхні. Питомий опір. Діагностика поверхневих станів. Пільові МОН транзистори (MOSFET). Структури пільових МОН транзисторів. Модульовано-леговані пільові транзистори (MODFET або HEMT).*

3. Структура поверхні і поверхневі дефекти

3.1 Структура ідеальної поверхні.

3.1.1. Основні уявлення. Індеси напрямків і площин.

3.1.2. Двовимірні елементарні комірки. Типові операції симетрії.

3.1.3. Атомна структура ідеальної поверхні. Віцинальні поверхні. Рівняння Гіббса.

3.2. Термодинамічні аспекти поверхні.

3.2.1. Хімічний потенціал. Вільна енергія Гіббса та вільна енергія Гельмгольца.

3.2.2. Рівняння Гіббса. Термодинаміка поверхні і поверхонь розділу.

3.2.3. Термодинаміка криволінійної поверхні. Структура поверхні і міжфазних границь.

3.3 Нуклеація і ріст нанокластерів в нанопорах речовини.

3.3.1 Нуклеація і ріст кластерів на основі твердотільних реакцій. Термодинамічна модель кластера.

3.3.2 Структурні особливості твердотільних наноструктур. Нуклеація і ріст кластерів на основі твердотільних реакцій. Термодинамічна модель кластера.

3.3.3 Структурні особливості твердотільних наноструктур.

3.4 Колоїдні кластери і наноструктури.

3.4.1. Формування колоїдних наносистем. Міцели. Мікроемульсії. Формування кластерів в мікроемульсіях. Організація і самоорганізація колоїдних структур.

3.4.2. Оптичні і електронні властивості колоїдних кластерів. Оптичні властивості кластерів металів і плазмонні коливання.

3.4.3 Оптичні властивості напівпровідникових кластерів. Електронна релаксація в колоїдних кластерах. Одноелектронний перенос в кластерах.

3.5. Реальна поверхня і дефекти поверхневої структури

3.5.1. Релаксація і реконструкція .

3.5.2. Дефекти. Модель дефектної поверхні.

3.6. Динаміка атомів на поверхні

3.6.1. Середньоквадратичне зміщення атомів, анізотропія амплітуди коливань.

3.6.2. Температура Дебая. Теплове розширення атомів на поверхні. Особливості плавлення поверхневого шару.

4. Поверхні розділу фаз

4.1 Потенціальні бар'єри

4.1.1 Контактна різниця потенціалів. Контакт метал - напівпровідник Бар'єри Шоткі, вплив поверхневих станів.

4.1.2. Випрямлення струму на контакті метал – напівпровідник. Електронно-дірковий перехід (р-п-перехід).

4.1.3. Гетеропереходи. Атомарно-різкі границі. Епітаксія.

4.2 Електронні процеси на границях розділу фаз.

4.2.1. Перерозподіл заряду, потенціалу і поля.

4.2.2. Міжзонні електронні переходи, тунелювання. Інверсійний шар на границі.

4.2.3. Дефекти на границях розділу.

4.3 Емісійні явища

4.3.1. Термоелектронна емісія. Термоелектронні перетворювачі енергії.

4.3.2. Холодна емісія Фотоелектрична емісія. Вторинна емісія.

4.3.3. Електронна оптика.

5. Методи дослідження поверхні.

5.1.1 Дифракція електронів. Дифракція повільних електронів. Дифракція відбитих швидких електронів.

5.1.2. Рентгенівська спектроскопія і дифракція. Розсіювання на аморфних і частково впорядкованих об'єктах. Малокутове рентгенівське розсіювання.

5.1.3. Рентгенівська спектроскопія поглинання: EXAFS, XANS, NEXAFS.

5.1.4. Електронна спектроскопія. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Ультрафіолетова електронна спектроскопія.

5.1.5. Електронна Оже-спектроскопія.

5.2. Атомносілова та тунельна мікроскопія.

5.2.1. Принципи, на яких оснований атомносілова та тунельна мікроскопія. 5.2.2. Умови застосування методів. Області практичних застосувань.

6. Поверхневі процеси та явища

6.1 Фізична і хімічна адсорбція

6.1.1. Ізотерма адсорбції. Природа адсорбційних сил. Центри адсорбції.

6.1.2. Теплота адсорбції. Швидкість адсорбції. Поверхнево-активні речовини. Ефект Ребіндера.

6.2 Каталіз.

6.2.1. Швидкість хімічних реакцій. Гомогенний і гетерогенний каталіз.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Зазначається: базова (підручники, навчальні посібники) та додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни.

Основна література

1. Физика и химия поверхности, книга 2 Химия поверхности (в трех томах) под ред. Н.Т.Картеля, т.1. 2018 Киев. Интерсервис, 2018, 636С.
2. Физика и химия поверхности в 2-х томах под ред. Н.Т.Картеля, «НПП«Интерсервис», Киев, 2015. Т.1. – 2015. – 588 с., Т.2. – 2015. – 522 с.
3. SURFACE PHYSICS Theoretical Models and Experimental Methods M. V. Mamonova, V. V. Prudnikov and I. A. Prudnikova © 2014 by CISP CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
4. Trends in Nanoscale Mechanics Mechanics of Carbon Nanotubes, Graphene, Nanocomposites and Molecular Dynamics Vasyl Harik Editor © Springer Science+Business Media Dordrecht 2014.
5. Physics and Chemistry at Surfaces Mehmet Erbudak 2012
6. Surface Science Foundations of Catalysis and Nanoscience Third Edition KURT W. KOLASINSKI Department of Chemistry, West Chester University, West Chester, PA, USA 2012 John Wiley & Sons, Ltd
7. В.П.Драгунов, И.Г.Неизвестный, В.А.Гридчин Основы нанoeлектроники.-М «Физматкнига», 2006.
8. В.В.Погосов Введение в физику зарядовых и размерных эффектов: поверхность, кластеры, низкоразмерные системы М., «Физматлит», 2006.
9. И.П.Суздаев Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов.-М.: КомКнига, 2006
10. Гладких Н.Т., Дукаров С.В., Крышталь А.П., Ларин В.И., Сухов В.Н., Богатыренко С.И. // Поверхностные явления и фазовые превращения в конденсированных пленках / Под ред. Проф. Н.Т.Гладких.-Харьков: ХНУ им. В.Н.Каразина, 2004.
11. А.Л.Асеев Нанотехнологии в полупроводниковой электронике Новосибирск. И-во Со РАН, 2004.
12. Introduction to Surface and Thin Film Processes JOHN A. VENABLES Cambridge University Press <http://www.cambridge.org> © John A. Venables 2000 This edition © John A. Venables 2003.
13. В.П.Драгунов, И.Г.Неизвестный, В.А.Гридчин // Основы нанoeлектроники.-Новосибирск.- 2000.
14. A.J.Milling Surface characterization methods: principles, techniques and applications Marcel Dekker, Inc., 1999.
15. S.N.Magonov, M-H.Whangbo Surface analysis with STM and AFM VCH Verlagsgesellschaft, 1996.
16. Зимон А.Д., Лещенко Н.Ф. //Коллоидная химия.-М.: Химия, 1995.
17. Willfried Monch Semiconductor Surfaces and Interfaes Springer-Verlag, 1993.
18. D.J.Shaw Introduction to Colloid and Surface Chemistry, 4th Edition Butterworth-Heineman, Elsevier Science Ltd, 1992.
19. Бехштед Ф., Энрелайн Р. //Поверхности и границы раздела полупроводников.-М.: Мир., 1990.
20. Зенгуил Э. // Физика поверхности.- М.Мир, 1990.
21. Л.Фельдман, Д. Майер Основы анализа поверхности тонких пленок М. «Мир», 1989.
22. Г.П.Пека Физические явления на поверхности полупроводников // Киев «Вища школа», 1984.
23. Нестеренко Б.А., Снитко О.В. //Физические свойства атомарно-чистой поверхности полупроводников.-Киев: Наукова Думка, 1983.
24. Черепин В.Т., Васильев М.А. // Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Справочник.-Киев, Наукова думка, 1982.
25. Зандерны А. //Методы анализа поверхностей.-М.:Мир, 1979.
26. С.Дэвисон, Дж. Левин Поверхностные (Таммовские) состояния М.»Мир», 1973.

27. Ф.Ф.Волькенштейн Физико-химия поверхности полупроводников М «Наука», 1973.

Додаткова література

1. Жданов В.П. //Элементарные физико-химические процессы на поверхности. М.: Наука, 1989.
2. Снитко О.В., Саченко А.В., Примаченко В.Е. и др. Проблемы физики поверхности полупроводников, Киев, «Наукова думка», 1981.
3. М.Робертс, Ч.Макки / Химия поверхности раздела металл-газ М., «Мир», 1981.
4. Морисон С. // Химическая физика поверхности твердого тела.-М.:Мир, 1980.
5. Шимони К. //Физическая электроника. М.: Энергия, 1977.
6. Воюцкий С.С. //Курс коллоидной химии.-М.: Химия, 1975.
7. В.И.Стриха Теоретические основы работы контакта металл-полупроводник Киев, «Наукова Думка», 1974.
8. М.Грин Поверхностные свойства твердых тел М. «Мир», 1972.
9. В.Ф.Киселев Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках М. «Наука», 1970.
10. Г.П.Пека // Физика поверхности полупроводников. И-во Киевского университета, 1967.
11. Г.Е.Пикус Основы теории полупроводниковых приборов М «Наука» 1965.

Можна надати рекомендації та роз'яснення:

- де можна знайти зазначені матеріали (бібліотека, методичний кабінет, інтернет тощо);
- що з цього є обов'язковим для прочитання, а що факультативним;
- як саме студент/аспірант має використовувати ці матеріали (читати повністю, ознайомитись тощо);
- зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни.

Бажано зазначати не більше п'яти базових джерел, які є вільно доступними, та не більше 20 додаткових.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Надається інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, лабораторні) та надаються рекомендації щодо їх засвоєння (наприклад, у формі календарного плану чи деталізованого опису кожного заняття та запланованої роботи).

№ з/п	Тема	Програмні результати навчання	Основні завдання	
			Контрольний захід	Термін виконання
1.	Вступ Лекція 1. Основні задачі фізики і хімії поверхні. Поверхня і процеси на поверхні та в приповерхневих шарах. Розмірні ефекти. Структура поверхневих шарів. Адсорбція. Поверхнева дифузія. Міжфазні характеристики. Каталіз. Методи досліджень поверхні.	№1-10		
2.	2. Особливості електрон-	№1-4	Бліц-опитування (кожна лекція)	Кожна лекція

	<p>ної структури і електронних властивостей поверхні</p> <p>Лекція 2. Методи розрахунку електронної структури поверхні. Одновимірна модель поверхні кристалу. Стани Тамма і Шоклі.</p> <p>Лекція 3. Поверхневі електронні стани. Типи поверхневих станів. Моделі поверхневих станів. Поверхневий потенціал і бар'єри. Інверсійний шар на поверхні. Просторовий заряд. Подвійний заряджений шар.</p> <p>Лекція 4 . Електронні властивості поверхні. Механізми впливу поверхні на електронні властивості. Ефект поля. Польовий (МДН) транзистор. Поверхнева рекомбінація. Квантові ями.</p> <p>Лекція 5. Вимірювання характеристик поверхні. Питомий опір. Діагностика поверхневих станів. Польові МОН транзистори (MOSFET). Структури польових МОН транзисторів. Модульовано-леговані польові транзистори (MODFET або HEMT).</p>		по матеріалам попередньої)	
3.	<p>3. Структура поверхні і поверхневі дефекти</p> <p>Лекція 6. Структура ідеальної поверхні. Основні уявлення. Індеси напрямків і площин. Двовимірні елементарні комірки. Типові операції симетрії. Атомна структура ідеальної поверхні. Віцинальні поверхні. Рівняння Гіббса.</p> <p>Лекція 7. Термодинамічні аспекти поверхні. Хімічний потенціал. Вільна енергія Гіббса та вільна енергія Гельмгольца. Рівняння Гіббса. Термодинаміка поверхні і поверхонь розділу. Термодинаміка криволінійної</p>	№ 5-6	Модульна контрольна 1	9-й тиждень

	<p>поверхні. Структура поверхні і міжфазних границь.</p> <p>Лекція 8. Нуклеація і ріст нанокластерів в нанопорах речовини. Нуклеація і ріст кластерів на основі твердотільних реакцій. Термодинамічна модель кластера. Структурні особливості твердотільних наноструктур. Нуклеація і ріст кластерів на основі твердотільних реакцій. Термодинамічна модель кластера. Структурні особливості твердотільних наноструктур.</p> <p>Лекція 9. Колоїдні кластери і наноструктури. Формування колоїдних наносистем. Міцели. Мікроемульсії. Формування кластерів в мікроемульсіях. Організація і самоорганізація колоїдних структур. Оптичні і електронні властивості колоїдних кластерів. Оптичні властивості кластерів металів і плазмонні коливання. Оптичні властивості напівпровідникових кластерів. Електронна релаксація в колоїдних кластерах. Одноелектронний перенос в кластерах.</p> <p>Лекція 10. Реальна поверхня і дефекти поверхневої структури. Релаксація і реконструкція. Дефекти. Модель дефектної поверхні.</p> <p>Лекція 11. Динаміка атомів на поверхні. Середньоквадратичне зміщення атомів, анізотропія амплітуди коливань. Температура Дебая. Теплове розширення атомів на поверхні. Особливості плавлення поверхневого шару.</p>			
4.	<p>4. Поверхні розділу фаз</p> <p>Лекція 12. Потенціальні бар'єри. Контактна різниця потенціалів. Контакт метал – напівпровідник. Бар'єри</p>	№ 7, 8		

	<p>Шоткі, вплив поверхневих станів. Випрямлення струму на контакті метал – напівпровідник. Електронно-дірковий перехід (p-n-перехід). Гетеропереходи. Атомарно-різкі границі. Епітаксія.</p> <p>Лекція 13. Емісійні явища. Термоелектронна емісія. Термоелектронні перетворювачі енергії. Холодна емісія. Фотоелектрична емісія. Вторинна емісія. Електронна оптика.</p>			
5.	<p>5. Методи дослідження поверхні.</p> <p>Лекції 14. Дифракція електронів. Дифракція повільних електронів. Дифракція відбитих швидких електронів. Рентгенівська спектроскопія і дифракція. Розсіяння на аморфних і частково впорядкованих об'єктах. Малокутове рентгенівське розсіяння. Рентгенівська спектроскопія поглинання: EXAFS, XANS, NEXAFS. Електронна спектроскопія. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Ультрафіолетова електронна спектроскопія. Електронна Оже-спектроскопія.</p> <p>Лекція 15. Атомносілова та тунельна мікроскопія. Принципи, на яких основані атомносілова та тунельна мікроскопія. Умови застосування методів. Області практичних застосувань.</p>	№ 9		
6	<p>Поверхневі процеси та явища.</p> <p>Лекція 16. Фізична і хімічна адсорбція. Ізотерма адсорбції. Природа адсорбційних сил. Центри адсорбції. Теплота адсорбції. Швидкість адсорбції. Поверхнево-активні речовини. Ефект Ребіндера.</p> <p>Лекція 17. Каталіз.</p>	№ 10	Модульна контрольна 2	16-й тиждень

	Швидкість хімічних реакцій. Гомогенний і гетерогенний каталіз.			
	Модульна контрольна робота (по матеріалам лекцій 1-9)	№ 1-7		9-ий тиждень
	Модульна контрольна робота (по матеріалам лекцій 10-17)	№ 8-11		16-ий тиждень
	Бліц-опитування (кожна лекція, по матеріалам попередньої)	№1-12	Бліц-опитування	кожен тиждень (кожна лекція)
	Наукові презентації (реферати) з явищ нелінійної оптики	№1-12	Виступ за регламентом	3 10-го тижня

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Зазначаються види самостійної роботи (підготовка до аудиторних занять, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, розв'язок задач, написання реферату, виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи тощо) та терміни часу, які на це відводяться.

Самостійна робота студента включає підготовку до аудиторних занять, написання реферату, виконання контрольних робіт тощо, у відповідності з календарним планом (див. п.5).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом:

- *правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних);*
- *правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо);*
- *правила захисту лабораторних робіт;*
- *правила захисту індивідуальних завдань;*
- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів;*
- *політика дедлайнів та перескладань;*
- *політика щодо академічної доброчесності;*
- *інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.*
- **Відвідування занять**

- Відвідування лекцій, практичних та лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання практичних завдань та успішного написання МКР, а також виконання реферату. В разі великої кількості пропусків студент може бути недопущений до заліку, якщо не встигне виконати навчальний план.
- Пропущені контрольні заходи**
- Результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

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

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР, тест тощо

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен / залік / захист курсового проекту (роботи)

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання / зарахування усіх лабораторних робіт / семестровий рейтинг більше XX балів.

Система оцінювання

№ з/п	Контрольний захід	Макс. бал	Ваговий коеф.	Кількість	Всього
1.	МКР (ч. 1, ч.2)	20	1	2	40
2.	Реферат	40	1	1	40
3.	Бліц-контроль на лекційних заняттях	2	1	10	20
	Всього				100

Семестрова атестація студентів

Обов'язкова умова допуску до <u>екзамену</u> /заліку		Критерій
1	загальний рейтинг	RD \geq 60
2	Модульна контрольна робота (ч. 1, ч.2)	Ч. 1 та Ч. 2 написані на позитивну оцінку (12 з 20 кожна)
3	Бліц-опитування	Виконані всі роботи на позитивну оцінку (разом 12 з 20)

4	Реферат	Виконано на позитивну оцінку (разом 24 з 40)
---	---------	---

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*
- *інша інформація для студентів/аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.*

Питання для модульно-контрольних робіт

I. Фізичні властивості при поверхневої області напівпровідників.

1. Що таке рівні Тамма? Яка є їх природа? Отримання рішень одновимірного рівняння Шредінгера з використанням моделі Кроніна-Пені для періодичного потенціалу.
2. Причини утворення при поверхневого шару просторового заряду.
3. Розподіл концентрації носіїв заряду: статистика Фермі-Дірака та Больцмана. Рівень Фермі.
4. Розрахунок просторового заряду в області просторового заряду (ОПЗ).
5. Розрахунок поля в ОПЗ.
6. Хід потенціалу в ОПЗ. Шари збагачення, збіднення та інверсії.
7. Надлишкова концентрація вільних носіїв в ОПЗ. Поверхнева провідність.
8. Ефект поля (вплив зовнішнього електричного поля на провідність напівпровідника).
9. Ємність при поверхневого шару просторового заряду.
10. Квантування енергетичного спектру носіїв в тонких напівпровідникових плівках та інверсійних шарах.
11. Умови, що необхідні для прояву розмірного квантування.
12. Густина електронних станів у підзонах при розмірному квантуванні. Осциляції рухливості.
13. Довжина хвилі деБройля. Тунелювання.

II. Опис структури поверхні

1. Опис структури кристалів. Класи кристалів. Елементарні комірки.
2. Кристалографічні площини. Індеси Мілера.
3. Симетрія тривимірного кристалу з ідеальною поверхнею.
4. Атомна структура ідеальної поверхні. Плоскі ґратки Браве. Двовимірні елементарні комірки.
5. Точкові і просторові групи.
6. Релаксовані і реконструйовані поверхні
7. Моделі поверхневих структур.
8. Середньоквадратичне зміщення атомів. Температура Дебая.
9. Теплове зміщення атомів на поверхні.
10. Напівпровідникові надґратки. Виникнення додаткового періода трансляції (орієнтаційні віциальні НГ).

III. Контактні явища

1. Контакт метал – напівпровідник.
2. З чим пов'язано виникнення контактних явищ?
3. Що таке робота виходу електрона?
4. Що таке контактна різниця потенціалів яким чином вона виникає?
5. Як змінюється зонна структура напівпровідника в при поверхневому шарі у випадку контакту метал – напівпровідник?
6. Що таке запірні та антизапірні шари?
7. Механізм випрямлення току на контакті метал – напівпровідник.
8. Електронно-дірковий (p - n – перехід) перехід. В чому полягає його відмінність від контакту метал – напівпровідник?
9. Як класифікуються p - n – переходи?
10. Чим відрізняється гетероперехід від звичайного гомогенного переходу?
11. Яку напругу прийнято вважати позитивною при з'єднанні (підключенні) p - n – переходу до джерела зовнішньої напруги?

IV. Термоелектронна емісія

1. Робота виходу. Формула Річардсона-Дешмана.
2. Природа Термоелектрики.
3. Холодна емісія. Фотоелектрична емісія. Вторинна емісія. Електронна оптика.

V Методи аналізу поверхні

1. Основні фізичні принципи метода рентгенівської фотоелектронної спектроскопії.
2. Фізичні основи методу Оже-спектроскопії.
3. Можливості застосування методів рентгенівської фотоелектронної спектроскопії та Оже-спектроскопії і їх обмеження.
4. Рентгенівська спектроскопія поглинання: EXAFS, XANS, NEXAFS..
5. Дифракція повільних електронів. Обернена решітка кристала.
6. Вторинна-іонна масс-спектрометрія. Механізм явища. Кількісний аналіз. Отримання профілів концентрацій по глибині.
7. Скануючий тунельний мікроскоп.
8. Атомно-силова мікроскопія. Сили зв'язку в кристалах.
9. Електронна мікроскопія.

VI Поверхневі процеси та явища+

1. Фізична і хімічна адсорбція.
2. Ізотерма адсорбції. Природа адсорбційних сил. Центри адсорбції.
3. Каталіз.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

Професор кафедри прикладної фізики, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
Стронський Олександр Володимирович
посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

Ухвалено кафедрою _____ (протокол № ____ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету⁴ (протокол № ____ від _____)

⁴ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.