



Епітаксійні технології наноелектроніки

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5 кредити ЕКТС (135 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д. т. н., професор Макогон Юрій Миколайович, y.makogon@kpi.ua, viber/telegram/моб. +38(068)8060763</i> Лабораторні: <i>д. т. н., професор Макогон Юрій Миколайович, y.makogon@kpi.ua, viber/telegram/моб. +38(068)8060763</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MjU4NTU5MDY1MjIw?cjc=wsgezzp

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна присвячена технологіям отримання функціональних елементів наноелектроніки, які є основою пристроїв сучасного мікро- та наноприладобудування.

Метою вивчення дисципліни є технології отримання функціональних елементів наноелектроніки та закономірності фізичних процесів, що відбуваються у плівкових композиціях нанометрових товщин, при формуванні епітаксійних шарів.

Плівкові композиції отримуються різними методами осадження та ступінню вакууму шляхом вирощування на монокристалічних підкладках кремнію та сапфіру різної орієнтації.

Надаються відомості щодо впливу на фазовий склад, структуру і властивості епітаксійних шарів таких факторів як: легуючі елементи, забруднюючі домішки; ступінь вакууму, середовище відпалу, поверхнева енергія.

Основне призначення проміжних шарів полягає в перетворенні шару з дифузійного бар'єру в дифузійну мембрану складного хімічного складу. Поступове руйнування дифузійної мембрани контролює рівномірну дифузію атомів до підкладки Si і формування епітаксійної плівки.

На практичних роботах опановуються методи оцінки фазового складу, орієнтації структури і розрахунки механічних напружень у шарах плівкових композицій, які застосовуються у сучасному мікро- та наноприладобудуванні.

В результаті вивчення дисципліни повинні бути сформовані наступні програмні результати навчання:

Компетентності

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства.
- Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення

Знання:

- новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах;
- Фізичних, хімічних та математичних принципів матеріалознавства
- Закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення

Уміння:

- Застосовувати знання наукових принципів матеріалознавства для модернізації та створення нових матеріалів та процесів
- Планувати теоретичне та експериментальне дослідження, оцінювати, адаптувати та узагальнювати його результати

Досвід:

– обирати матеріали та технології отримання і обробки для виготовлення нанорозмірних плівкових епітаксійних композицій з заданим фазовим складом, структурою та властивостями на основі отриманих знань, науково-технічної документації, матеріалознавчих баз даних, сучасного світового досвіду.

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

Пререквізити - Дисципліна базується на курсах бакалаврської та магістерської підготовки спеціальності 132 матеріалознавство.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Методи отримання епітаксійних шарів тонких плівок та їх застосування в мікроприладобудуванні.

Тема 1.1 Застосування епітаксійних шарів тонких плівок в мікроприладобудуванні.

Тема 1.2 Методи отримання епітаксійних шарів тонких плівок.

Розділ 2. Фактори, що впливають на формування структурно-фазового складу тонких плівок

Тема 2.1 Хімічний склад вихідного матеріалу, що розпилюється. Умови осадження. Умови термічної обробки. Структурно-фазовий стан підкладки.

Тема 2.2 Домішки. Фактор нанорозмірності Роль сурфактанту в епітаксійному зростанні плівки

Тема 2.3 Внутрішні макронапруження в вакуумних конденсатах, механізми їх формування і класифікація.

Практичні заняття

Вступ. Техніка безпеки при проведенні робіт.

1. Поняття про фізичні методи конденсації тонких плівок і покриттів: електронно-променевий, термічний, катодний і магнетронний методи.
2. Особливості дослідження морфології поверхні епітаксійних плівок.
3. Визначення фазового складу, структури та орієнтації епітаксійних шарів методом рентгеноструктурного фазового аналізу.
4. Пошаровий хімічний аналіз епітаксійних плівок на основі FePt методом Резерфордівського зворотного розсіювання
5. Визначення товщини епітаксійних плівок методом рентгенівської рефлектометрії

6. Оцінка напруженого стану методом $\sin^2\psi$ у нанорозмірних плівкових композиціях. Визначення термічних напружень в шаруватих нанорозмірних плівках
7. Дослідження магнітних властивостей епітаксійних плівок на основі MnSi_2 методом MOKE
8. Дослідження магнітних властивостей нанорозмірних плівок на основі MnSi_2 методом SQUID.
9. Визначення енергії магнітної анізотропії у нанорозмірних плівках на основі FePt .

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Палатник Л.С. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок / Л.С.Палатник, М.Я.Фукс, В.М.Косевич. Москва: Металлургия, 1992. - 319 с.
2. С.І.Сидоренко, О.В.Філатов, С.М.Волошко. Закономірності масопереносу в металах в умовах імпульсних навантажень. – Київ, КПИ, 2008. – 68 с.
3. Миронов В.М., Мазанко В.Ф., Герцрикен Д.С., Філатов А.В. Массоперенос и фазообразование в металлах при импульсных воздействиях. Самара, Самарский университет, 2001. 232 с.
4. Р.А.Андрієвський. Современные проблемы наноструктурного материаловедения //Наноструктурное материаловедение, 2005, № 1, с.4–10.
4. Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок / Ю.Ф. Комник. – 1979: Атомиздат, 262 с.
5. Сидоренко С.І. Будова рідких, аморфних та кристалічних матеріалів. Електронний підручник / С.І.Сидоренко, М.В. Белоус, М.О. Васильев, Є.В. Іващенко, Г.Д. Холмська. - Миколаїв, 1999. - 263 с.

Допоміжна література

6. Монографія. С.И. Сидоренко, Ю.Н. Макогон, С.М. Волошко. Матеріалознавство тонкоплівкових наноструктур. Диффузія і реакції.-Київ.:Наукова думка, 2000, 571 с.
7. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера. – М.: Мир, 2017. – 576 с
8. Л.С.Палатник, М.Я.Фукс, В.М.Косевич. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок. 2006 Москва. 319 с.
9. Л.С.Палатник, В.Н.Сорокин. Материаловедение в микроэлектронике. 2114, М.Энергия, 278 с.
10. Быстрозакаленные металлические сплавы. Перевод с английского под редакцией С.Штиба и Г. Варлемонта. Москва, Металлургия.2019. 305 с.
11. Аморфные металлические сплавы.Перевод с английского под редакцией Ф.Е.Люборского. М.: Атомиздат 1990. 487 с.
12. В.М.Иевлев. Л.И.Трусов, В.Л.Холмянский. Структурные превращения в тонких пленках. 1982. М.: Металлургия. 253 с.
13. Л.С.Палатник, И.И.Папиров. Эпитаксиальные пленки. 1990. М.Наука. 321 с.
14. Э.М.Точицкий. Кристаллизация и термообработка тонких пленок. 1976. Минск. Наука и техника. 305 с.
15. Л.И.Трусов, В.Л.Холмянский, Л.С.Палатник. Ориентированная кристаллизация. 1964. М.Металлургия. 234 с.
16. Зайт В. Диффузия в металлах / Под ред. Б.И. Болтакса. – М.: Иностранная литература, 1957. – 384 с.
17. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. – М.: ГосИздат, 2007. – 383 с.
18. Зейтц Ф. Физика металлов. – М.: ОГИЗ, 1999. – 365 с.
19. Соколовская Е.М., Гузей Л.С. Металлохимия.– М.: Госуниверситет, 1986. – 264 с.
20. Проблемы физической кинетики и физики твердого тела / Под ред. Ситенко А.Г. – Киев: Наукова думка, 1990. – 488 с.
21. Брик В.Б. Диффузия и фазовые превращения. – Киев: Наукова думка, 1982 с.
22. Бокштейн Б.С. Атомы блуждают по кристаллу. – М.: Наука, 1984. – 208 с.

23. Лариков Л.Н., Исайчев В.И. Диффузия в металлах и сплавах. – Киев: Наукова думка, 2007. – 510 с.
24. Структура и свойства внутренних поверхностей раздела в металлах. / Под ред. Бокштейна Б.С. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
25. Черепин В.Т. Ионный микрозондовый анализ. -Киев: Наукова думка, 1992. - 344 с.
26. Зенгуил Э. Физика поверхности. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
27. Сидоренко С.І., Барабаш Р.І. Сучасний рентгеноструктурний аналіз реальних кристалів. – Київ: Наукова думка, 1997. – 365.
28. С.І.Сидоренко, М.В.Белоус, М.О.Васильев, Є.В.Іващенко. Г.Д.Холомська. Будова рідких, аморфних та кристалічних матеріалів. Миколаїв, 1999, 263 с.
29. Монокристаллические пленки.-под редакцией З.Г.Пинскера, М. Мир, 1966, 400 с.
30. Л.Фельдман, Д.Майер- Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.:Мир, 342 с.
31. В.Т.Черепин, М.А.Васильев- Методы и приборы для анализа поверхности материалов. Справочник, Киев, Наукова думка. 398 с.
32. Э.И. Точицкий. Кристаллизация и термообработка тонких пленок.- Минск: Наука и техника, 1976. 353 с.
33. Физика тонких пленок / под ред. М.Х.Фрамкомба и Р.У.Гофмана.- М. Мир, Т.6, 1973. 235 с.
34. Л.С. Палатник, П.Г.Черемской М.Я.Фукс, Пory в пленках .- М.:Энергоатомиздат, 1992, 273 с.
35. И.В. Золотухин. Нанокристаллические материалы. Физика. 1998.Соросовский образовательный журнал, стр 103 -106
36. И.Л. Ройх. Л.Н. Колтунова. С.Н.Федоров. Нанесение защитных покрытий в вакууме. 1976, М. Машиностроение. 365 с.
37. Каур И., Густ В. Диффузия по границам зерен и фаз. – М.: Машиностроение, 1991. – 446 с.
38. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 214 с.
39. Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы зерен.– М. Мир, 1975.–376 с.
40. Технология тонких пленок- справочник под редакцией Л.Майсела, Р.Глэнга М. Советское радио, 1977, Т 1, 662 с., Т.2, 762 с.
41. Технология СБИС :в 3 кн. Под редакцией С.Зи. – М.: Мир. 1986
42. С.І.Сидоренко, С.М.Волошко, Ю.М.Макогон "Актуальні проблеми тонкоплівкового матеріалознавства", Київ, Наукова думка, 2009, 303с.
- 43.С.І. Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Тонкоплівкові силіциди. Фактор нанорозмірності. – Київ: Наукова думка, 2011. – 389 с. – ISBN 978-966-00-1068-0;
- 44.С.И. Сидоренко, Ю.Н. Макогон, Е.П. Павлова, С.М. Волошко. Многослойные гетероструктуры. Силициды. С. 448-459. Раздел в монографии Л.Л. Товажнянского, А.Т. Пугачева, А.Л. Топтыгина «Лев Самойлович Палатник: У истоков эры микро- и нанотехнологии». Харьков. Видавництво «Підручник НТУ «ХПІ»». 2011
45. С.І. Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Глава "Нанорозмірні магнітно-тверді плівки FePt для підвищення щільності магнітного запису і збереження інформації." в Розділі 4"Функціональні і композиційні матеріали" в Монографії - Збірнику наукових праць «Актуальні проблеми сучасного матеріалознавства», присвяченого 95-річчю від часу заснування НАН України, 2013,18 жовтня. Видавництво "Академперіодика",С- 482-500
46. Лабораторний практикум "Сучасні експериментальні методики фізичного матеріалознавства" для студентів напряму підготовки 050403 – Інженерне матеріалознавство спеціальності 05040302 – Фізичне матеріалознавство денної та заочної форм навчання. (Укладачі : О.В.Філатов, В.В. Холявко).
47. Макогон Ю.Н. «Наноразмерные термоэлектрические пленки на основе скуттерудита CoSb3» / Ю.Н. Макогон, Р.А. Шкарбань, С.И. Сидоренко // Монография, изд.: LAMBERT Academic Publishing. – 2019. – 160 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекції (13 годин – 7 лекцій)

Практичні (18 годин – 9 практичних)

Лекційні заняття

Лекція 1 Тонкі плівки епітаксійних силіцидів перехідних металів в мікроелектроніці.

Мета лекції: показати завдання стоять перед фізичним матеріалознавство при використанні плівок силіцидів перехідних металів в якості функціональних елементів мікросхем, мікроприладів. Застосування тонких плівок перехідних металів як функціональних елементів мікроприладобудування і мікроелектроніки. 5 етапів розвитку електроніки

Процес утворення силіцидів з необхідними експлуатаційними властивостями шляхом термічно активованої твердотільної хімічної реакції між металом і кремнієм.

Література І.В.Золотухин. Нанокристаллические материалы. Физика. 1998. Соросовский образовательный журнал, стр 103 -106.

Лекція 2 Формування епітаксійних плівок силіцидів перехідних металів на кремнії.

Методи епітаксії з використанням між плівкою і підкладкою кремнію проміжного шару Ti (TIME – Ti-interlayer mediated epitaxy). Методи епітаксії з використанням між плівкою і підкладкою кремнію проміжного шару оксиду SiO₂ (OME - oxide mediated epitaxy), Комбінований метод епітаксії з використанням проміжних шарів Ti і SiO₂ між плівкою і підкладкою Si

Умови епітаксiального зростання плівок дисилицида кобальту, дисилицида нікелю і дисилицида хрому на монокристаллическом кремнії. Особливості осадження багат шарових плівок методом електронно-променевого осадження. Адсорбция. Адгезия, методи оціки.

Епітаксія є явище, що має важливе практичне значення, так як дозволяє отримати шари (плівки), які за своїми структурними характеристиками можуть розглядатися як монокристалічні, тобто плівки з мінімальною дефектністю кристалічною структурою

Література:: Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Тонкоплівкові силіциди.

Фактор нанорозмірності. – Київ: Наукова думка, 2011.С. 45 – 63.

Література: И.Л.Ройх. Л.Н.Колтунова. С.Н.Федоров. Нанесение защитных покрытий в вакууме. 2006, М.Машиностроение .65 -107с.

Лекція 3. Методи отримання. Твердофазна реакція. Двошаровий метод. Реактивне осадження.

Метод шаблону. Мезотаксія Алотаксія.

Показано, як структурно-фазовий склад і експлуатаційні властивості тонких плівок визначається фізико-технологічними параметрами осадження.

Метод термічного (вакуумного) напилення. Метод електронно-променевого осадження.

Метод катодного розпилювання. Фізичне катодне розпилювання. Реактивне катодне розпилювання. Диодне розпорощення. Метод тріодного розпилювання. Магнетронне розпилювання. Метод надвисоко частотного плазмового осадження (13,6 Мгц).

Література: Технология СБИС :в 3 кн. Под редакцией С.Зи. – М.: Мир. 1986. [1, с.21-33; 3, с.53-70; 4, с.120-145.]

Лекція 4. Фактори, що впливають на формування структурно-фазового складу тонких плівок.

1.Хімічний склад вихідного матеріала, що розпилюється. 2 Умови осадження. 3 Умови термічної обробки. 4. Структурно-фазовий стан підкладки. 5. Домішки. 6. Фактор нанорозмірності.

Література: Сидоренко, Ю.Н. Макогон, Е.П. Павлова, С.М. Волошко. Многослойные гетероструктуры. Силициды. Раздел в монографии Л.Л. Товажнянского, А.Т. Пугачева, А.Л. Топтыгина «Лев Самойлович Палатник: У истоков эры микро- и нанотехнологии». Харьков.

Видавництво «Підручник НТУ «ХПІ»». 2011 Формування фазового складу, структури і властивостей. С. 145- 1679.

Лекція 5. Нанокристалічні матеріали (НКМ). Вплив розмірного фактора на фазовий склад та структуру плівок. Фазовий розмірний ефект.

Література: Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок / Ю.Ф. Комник. – 1979: Атомиздат, с. 76- 83

Література: Технология СБИС :в 3 кн. Под редакцией С.Зи. – М.: Мир. 1986. 1, С.21-33; 3, с.53-70; 4, С.120-145.

Лекція 6. Методи оцінки внутрішніх механічних напружень у плівках.: рентгенографічні, оптичні, механічні. Вплив напружень на фізичні властивості у феромагнітних плівках - магнітну анізотропію, зміну коерцитивної сили. Вплив на механічні властивості.

С.І.Сидоренко, С.М.Волошко, Ю.М.Макогон "Актуальні проблеми тонкоплівкового матеріалознавства", Київ, Наукова думка, 2009, , С. 67-85. С. 96-102.

Лекція 7. Оцінка домішково-розмірного фактору формування структури тонких металевих плівок.

Література: .С.І. Сидоренко, Ю.М. Макогон, О.П. Павлова. Тонкоплівкові силіциди.

Фактор нанорозмірності. – Київ: Наукова думка, 2011. С.57-75.

Лекція 16. Спінтроніка - новий напрямок в мікроелектроніці. Базується на використанні такої квантово-механічної характеристики електронів, як спін. Пристрої, створені на її основі, дозволять вирішити багато існуючі, і очікувані в найближчому майбутньому проблеми традиційної мікроелектроніки: енергонезалежність, зменшення енергоспоживання, збільшення щільності логічних елементів і швидкості обробки даних.

Література: ІТС.UA, Леонид Бараш, 9 октября 2002 г. CPU и платформа Комплектующие Технологии

№ з/п Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу Кількість годин СРС

1. Причини зміни періоду кристалічної решітки фаз в тонких плівках.
2. Рентгенотензометричний спосіб визначення механічних макронапружень в плівках.
3. Фазовий розмірний ефект
4. Вплив впорядкування на властивості твердих розчинів
5. Способи визначення механічних напружень в плівках.
6. Аномалії структурного стану вакуумних конденсатів, які можна пояснити домішково-розмірним чинником.
7. Електронно-променевий метод одержання плівок.
8. Швидкість та кількість мод звукових коливань в твердій речовині.
9. Вплив розмірного чинника на температуру фазового переходу в плівках.
10. Поведінка домішкових атомів в плівці. Парціальний тиск.
11. Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності.
12. Способи визначення механічних напружень в плівках.
13. Аномалії структурного стану вакуумних конденсатів, які можна пояснити домішково-розмірним чинником.
14. Електронно променевий метод одержання плівок
15. Нанокристалічні матеріали. Особливості структурного стану.
16. Механізми зростання епітаксійних плівок. Дислокації невідповідності Структурні характеристики плівок, які не спостерігаються в масивних матеріалах
17. Отримання аморфного стану. Необхідно підготувати звіт з кожної практичної роботи з відповідними розрахунками та висновками, відповісти на контрольні питання;
18. Адсорбція, абсорбція.
19. Адгезія. Методи визначення адгезії

20. Вимоги до чистоти плівкових матеріалів. Вплив домішкових атомів в плівках на їх фізико-механічні властивості.
21. Отримання аморфного стану плівок.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед аспірантом:

- *обов'язкове відвідування лекційних та практичних занять*
- *на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує відповідні додатки для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, практичних робіт; викладач відкриває доступ до матеріалів дисципліни, викладених у classroom для користування електронними матеріалами лекцій та протоколами практичних занять, а також для звітів та відповідей на питання самостійної роботи;*
- *на лекції та практичній роботі заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу. Питання та уточнення аспіранти задають у відведений для цього час в кінці лекції чи протягом практичного заняття;*
 - *роботи захищаються після виконання завдання. Необхідно підготувати звіт з кожного практичного заняття з відповідними розрахунками та висновками.*

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

Поточний контроль: розрахунки та здача практичних занять, опитування за темою самостійної роботи.

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

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання / зарахування усіх практичних робіт / семестровий рейтинг більше 60 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 9 практичних робіт;
- виконання самостійної роботи (СРС).

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Самостійна робота (СРС)

Ваговий бал – 30

Критерії оцінювання:

Виконання практичних робіт.

- «відмінно» - своєчасно та на високому рівні захищена практична робота - 5 балів;
- «добре» - не достатній рівень захисту практичної роботи- 4 бали;
- «задовільно» - низький рівень захисту практичної роботи – 3 бали.
- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 28 балів;

Штрафні (rs) бали нараховуються за:

- пропуск практичної роботи без поважних причин – 1 бал;
- несвоєчасний захист практичної роботи – 1 бал;

Заохочувальні (rs) бали від 4 до 8 нараховуються за:

- модернізацію практичних робіт;
- виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R = R_p + R_c = 45 + 30 = 75 \text{ балів.}$$

Необхідною умовою допуску до заліку є:

- зарахування всіх практичних робіт;

Отриманий рейтинг кредитного модуля переводиться у традиційні та ECTS оцінки відповідно до таблиці:

Значення рейтингу з кредитного модуля	ECTS	Оцінка традиційна
95-100	A	відмінно
85-94	B	дуже добре
75-84	C	добре
65-74	D	задовільно
60-64	E	достатньо
Менше 60	F	незадовільно
Не допущений до заліку незадовільно (потрібна додаткова робота)		

Рейтингова система оцінювання успішності навчання та визначення рейтингу аспірантів (далі PCO) впроваджується з метою зробити систему оцінювання більш гнучкою, об'єктивною, що сприяє систематичній та активній самостійній роботі протягом усього періоду навчання, забезпечує здорову конкуренцію у навчанні, сприяє виявленню і розвитку творчих здібностей аспірантів.

Рейтингова система має на меті оцінку систематичності і успішності роботи аспірантів з кредитного модуля – “Плівкові гетероструктури для комп'ютерної техніки”.

В основу PCO покладено поопераційний контроль і накопичення рейтингових балів у аспірантів за різнобічну навчально-пізнавальну діяльність за семестр.

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочим навчальним планом.

Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Методичні рекомендації

Кредитний модуль повністю забезпечений навчально-методичною літературою, перелік якої аспіранти отримують на початку курсу. Також на початку семестру надається робоча навчальна програма, рейтингова система оцінки знань та перелік завдань для самостійної роботи, контрольні питання на поточний та підсумковий контроль. Всі необхідні методичні матеріали для вивчення дисципліни розміщені у локальній комп'ютерній мережі кафедри фізики металів. На веб-сторінці кафедри для додаткового спілкування викладача та аспірантів відкрито форум, що дозволяє обговорювати питання поза аудиторними заняттями.

Індивідуальне консультування проводиться раз на тиждень згідно з розкладом, затвердженим кафедрою. Протягом семестру аспірантам пропонується опанувати частину матеріалу (більш поглиблено) при виконанні СРС, теми яких наведено після відповідних лекційних завдань. Графік виконання СРС додається.

На початку семестру аспірантам видається диск з текстом методичних вказівок до виконання практичних робіт з завданнями до кожної роботи та основною дидактичною інформацією до лекційного курсу. Повідомляється електронна адреса в локальній мережі кафедри, де все це можливо прочитати та додатково скачати основні підручники в електронному вигляді.

Практичні роботи проводити у чіткій узгодженості з інформацією, поданою на лекціях. Це дасть можливість виносити частину матеріалу для вивчення на практичні заняття. Практичні роботи виконувати або використовувати довідникові матеріали для розрахунків, або за допомогою відповідних експериментальних даних згідно протоколів практичних робіт, що видаються аспірантам на початку семестру в електронному вигляді.

Виконання самостійних завдань (СРС) розподілити протягом семестру з перевагою на його початок, щоб було достатньо часу для їх виконання.

Для покращення сприйняття матеріалу, бажано демонструвати протягом аудиторних занять максимальну кількість прикладів практичного прояву явищ, що обговорюються.

Всі питання, винесені для самостійного опанування аспіранти мають оформлювати в своєму конспекті. Дата здачі кожної роботи повідомляється в день її видачі.

Всі індивідуальні роботи (СРС) вносяться до рейтингової системи оцінювання знань. Запроваджуються штрафні бали за несвоєчасний захист робіт.

В рамках кредитного модулю «Епітаксійні технології наноелектроніки» на WEB-сторінці кафедри <http://kpm.kpi.ua/> для аспірантів відкрито форум для додаткового спілкування викладача та аспірантів, що дозволяє обговорювати найбільш актуальні питання поза аудиторні заняття <http://kpm.kpi.ua/index.php/uk/forum>.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професор, д.т.н, професор, Макогон Юрій Миколайович

Ухвалено кафедрою фізики металів (протокол № 9-1/20 від 01 вересня 2020 р.)

Погоджено Методичною комісією ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 1 від 23 вересня 2020 р.)