**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Методы элементного анализа твердых тел**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Физическая электроника

Форма обучения:

Очная

Москва 20\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Доктор физ.-мат наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, кафедра физической электроники физического факультета МГУ
2. Канд. физ-мат. наук Иешкин Алексей Евгеньевич, кафедра физической электроники физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Доктор физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, заведующий кафедрой физической электроники

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

В курсе рассматриваются методы анализа состава и структуры поверхности твердотельных структур, основанные на регистрации вторичных частиц, индуцированных облучением пучками ускоренных ионов, электронов и рентгеновским излучением. Приводятся характеристики процессов эмиссии вторичных частиц из твёрдого тела под действием облучения. Показано, что информация об элементном составе и структуре поверхности содержится в энергетических спектрах рассеянных ионов и масс-спектрах распылённых атомов и ионов. Обсуждаются принципы аппаратной реализации методов анализа.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Вариативная часть, обязательная дисциплина.

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

*Не установлены*

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | Знать физические принципы методов элементного анализа.Уметь планировать эксперимент по анализу и интерпретировать его результаты.Владеть методами элементного анализа для решения практических задач. |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе: 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),****Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего****(ак.ч.)** | **В том числе** | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)*****Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | **Самостоятельная работа обучающегося,****академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| **Введение** | **6** | **2** | **2** |  |  |  | **2** | Контрольная работа |
| **Краткие сведения из теории атомных столкновений. Процессы при взаимодействии ионов с поверхностью твердых тел.** | **18** | **6** | **6** |  |  |  | **6** | Контрольная работа |
| **Резерфордовское обратное рассеяние.**  **Ориентационные эффекты в РОР** | **18** | **6** | **6** |  |  |  | **6** | Контрольная работа |
| **Рассеяние ионов низких энергий.** | **8** | **2** | **2** |  |  |  | **4** | Контрольная работа |
| **Масс-спектрометрия вторичных ионов и распыленных нейтралей.** | **14** | **4** | **4** |  |  |  | **6** | Контрольная работа |
| **Ионно-фотонная эмиссия для элементного анализа.** | **12** | **4** | **4** |  |  |  | **4** | Контрольная работа |
| **Электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ, PIXE.** | **12** | **4** | **4** |  |  |  | **4** | Контрольная работа |
| **Оже-электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.** | **20** | **6** | **6** |  |  |  | **6** |  |
| **Промежуточная аттестация экзамен/зачет** | ***2*** | **2[[2]](#footnote-2)** |  |
| **Итого**  | **108** | **68** | **40** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

1. Принципы построения анализа: зонд - отклик. Используемые зонды и отклики.
2. Параметры зонда, мишени, условия эксперимента. Вакуумные условия.
3. Абсолютно упругое столкновение твердых сфер.
4. Рассеяние в центральном поле.
5. Потенциал взаимодействия атомных частиц.
6. Сечение рассеяния, дифференциальное сечение рассеяния.
7. Потери энергии при движении иона в твердом теле.
8. Распыление. Режимы распыления:
9. Коэффициент распыления Y. Основные характеристики распыления в линейном режиме.
10. Особенности распыления многокомпонентных мишеней.
11. Компьютерное моделирование взаимодействия ионов с веществом.
12. Резерфордовское обратное рассеяние. Физические основы.
13. Рассеяние на тонкой пленке. Спектр ионов, рассеянных от двухкомпонентной пленки и объемной мишени.
14. Инструментальная реализация РОР.
15. Характеристики РОР.
16. Спектроскопия ядер отдачи (ERDA).
17. Каналирование.
18. Спектроскопия рассеяния ионов средних энергий (MEIS).
19. Принцип построения спектроскопии рассеяния ионов низких энергий (LEIS).
20. Масс-спектрометрия вторичных ионов (МСВИ) и распыленных нейтралей. Схема метода.
21. Системы измерения массы ионов.
22. Основная формула МСВИ. Характеристики МСВИ.
23. Ионно-фотонная эмиссия для элементного анализа.
24. Спектроскопия в тлеющем разряде (GD-OES).
25. Формирование топографического и элементного контраста в электронном микроскопе.
26. Рентгеновский микроанализ (EDS/WDS). Области отклика в РЭМ.
27. Оже-электронная спектроскопия (AES). Принцип работы оже-спектрометра.
28. Характеристики оже-спектроскопии.
29. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Схема метода,
30. Характеристики методики РФЭС.

Типовые вопросы, задания итп. для проведения промежуточной аттестации (зачета и (или) экзамена):

1. На углеродную (С) пластину напылили плёнку сплава СuAu. Толщина плёнки – 50 нм. Нарисуйте спектр РОР ионов He+ с энергией Е0 = 2 МэВ
2. Оценить время, необходимое для получения профиля концентрации алюминия в кремнии на глубину 1 мкм методом МСВИ. Ток профилирующего пучка 70 нА, область анализа 200 мкм.
3. Нарисуйте примерный вид спектра рентгеновского излучения, возбуждаемого электронами с энергией 10 кэВ и протонами с энергией 1 МэВ при облучении медной мишени.
4. Оценить, какой процент примеси гелия (относительно кремния) будет внедрен в кремниевую матрицу за время анализа РОР.

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

* Перечень основной и дополнительной учебной литературы
1. Л. Фелдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности и тонких плёнок.
2. Д.Бриггс, М.П.Сих. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии
3. В. В. Углов, Н. Н. Черенда, В. М. Анищик. Методы анализа элементного состава поверхностных слоев.
4. Surface and Thin Film Analysis. A Compendium of Principles, Instrumentation, and Applications. Edited by G. Friedbacher and H. Bubert
5. Н.Н. Никитенков. Основы анализа поверхности методами атомной физики
* Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения
1. SRIM/TRIM
2. SIMNRA
3. SESSA

**8. Язык преподавания:** русский.

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося* [↑](#footnote-ref-2)