**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:

**Взаимодействие ионов с поверхностью**

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 физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, кафедра физической электроники физического факультета МГУ
2. Кандидат физико-математических наук, Шемухин Андрей Александрович, НИИЯФ МГУ
3. Кандидат физико-математических наук, Киреев Дмитрий Сергеевич, 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**

Рассматриваются явления, происходящие при облучении поверхности твердых тел ускоренными ионами, и их применение в науке и технике. В рамках курса лекций дается описание основных процессов: распыление, ионная имплантация, вторичная ионная, электронная и ионно-фотонная эмиссии, а также формирование рельефа поверхности под действием ионного облучения. Разбираются основные характеристики этих процессов и методы их исследования.

**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 основные процессы, происходящие при облучении твердых тел ускоренными ионами и их характеристики  Уметь применять фундаментальные знания в области взаимодействия ионов с поверхностью для решения научно-исследовательских задач  Владеть методами исследования в области взаимодействия ионов с поверхностью 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. Упругие и неупругие столкновения атомных частиц.** | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** | Опрос  Контрольная работа |
| **Физическая природа распыления явления распыления.** | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **4** | Опрос  Контрольная работа |
| **Каскадный механизм распыления** | **6** | **3** |  |  |  | **3** | **4** | Опрос  Контрольная работа |
| **Экспериментальные исследования распыления. Основные характеристики процесса распыления.** | **10** | **5** |  |  |  | **5** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Методы исследования распыления.** | **10** | **5** |  |  |  | **5** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Линейная каскадная теория распыления Зигмунда. Нелинейные эффекты в распылении.** | **6** | **3** |  |  |  | **3** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Распыление многокомпонентных материалов.** | **8** | **4** |  |  |  | **4** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Эмиссионные процессы при распылении** | **10** | **5** |  |  |  | **5** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Резерфордовское обратное рассеяние. Энергетические спектры рассеянных ионов.** | **10** | **5** |  |  |  | **5** | **5** | Опрос  Контрольная работа |
| **Промежуточная аттестация экзамен** | **8** | | | | | | **8[[2]](#footnote-2)** | Опрос  Контрольная работа |
| **Итого** | **108** |  | | | | | **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:

Типовые вопросы к промежуточной аттестации и опросу:

* Явления, происходящих при облучении поверхности твердых тел ускоренными ионами, и их применение в науке и технике
* Потенциал взаимодействия ион-атом и атом-атом. Движение в центральном поле. Сечение рассеяния. Критерий применимости классической механики к анализу атомных столкновений.
* Гроува. Модель горячего пятна (Штарк, Хиппель). Эксперименты Венера, Томпсона и Хонига.
* Фокусоны и линзовая фокусировка. Механизм Лемана-Зигмунда.
* Зависимость коэффициента распыления от энергии бомбардирующих ионов. Модель прозрачности. Каналирование ионов в кристаллах.
* Влияние атомного номера мишени и бомбардирующего иона.
* Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов. Зависимость коэффициента распыления от температуры мишени.
* Пространственные и энергетические распределения распыленных частиц.
* Линейная каскадная теория распыления Зигмунда. Нелинейные эффекты в распылении.
* Уравнение Харпера-Брэдли.
* Радиационно-стимулированная гиббсовская сегрегация.
* Вторичная ионная эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.
* Внедрение ионов. Средний проективный пробег. Образование радиационных дефектов.
* Рассеяние ионов низких энергий. Пик двукратного рассеяния.
* Резерфордовское обратное рассеяние. Энергетические спектры рассеянных ионов. Роль каналирования. Эффект теней.
* Вторичная электронная эмиссия. Кинетическая и потенциальная эмиссия вторичных ионов.
* Эмиссия рентгеновского излучения при ионном облучении поверхности.
* Взаимодействие кластерных ионов с поверхностью.

Типовые задачи к промежуточной аттестации и контрольной работе:

* Рассчитать скорость распыления мишени из тантала ионами аргона с энергией *1 кэВ* при плотности ионного тока *10 А/см2.*Коэффициент распыления тантала *Y=1,18 ат/ион.*
* Рассчитать коэффициент распыления ванадия ионами аргона с энергией 5 кэВ, используя теорию Зигмунда.
* Альфа-частица с кинетической энергией 0,27 МэВ рассеялась золотой фольгой на угол 60°. Найти соответствующее значение прицельного параметра.
* На какое минимальное расстояние приблизится α-частица с кинетической энергией Т = 0,40 МэВ (при лобовом соударении):

а) к покоящемуся тяжелому ядру атома свинца;

б) к первоначально покоившемуся легкому свободному ядру Li7?

* Альфа-частица с кинетической энергией Т = 0,50 МэВ рассеялась под углом ϑ = 90° на кулоновском поле неподвижного ядра атома ртути. Найти:

а) наименьший радиус кривизны ее траектории;

б) минимальное расстояние, на которое она сблизилась с ядром.

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

* Перечень основной и дополнительной учебной литературы
* Основная литература

1. Бериш Р. (ред.) «Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел». т.1, М. Мир. 1984.
2. Бериш Р. (ред.) «Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Распыление сплавов, соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности». т.2, М. Мир. 1986.
3. Фелдман Л., Майер Д. «Основы анализа поверхности и тонких пленок». М.: Мир, 1989.

* Дополнительная литература
  1. Плешивцев Н.В. «Катодное распыление». М.: Атомиздат, 1968.
  2. В.Е. Юрасова. «Взаимодействие ионов с поверхностью». Избранные труды. М.: 1999.
* Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

physelec.phys.msu.ru

**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)