

Специальные вопросы ионной технологии

1) Краткое содержание дисциплины.

В рамках дисциплины «Специальные вопросы ионной технологии» изучаются основы физики взаимодействия ускоренных ионов с веществом и физическая сущность процессов, протекающих в твёрдом теле при торможении в нём быстрых ионов, математические модели, описывающие поведение объектов исследования, перспективы практического применения ионной технологии.

2) Кредитная стоимость дисциплины.

4,0 Ст ECTS (3,5 ЗЕТ, 126 ач, включая экзамен)

3) Цель

Целью изучения дисциплины является подготовка высококвалифицированных специалистов, умеющих обоснованно и результативно применять существующие и осваивать новые методы модификации свойств материалов и изделий под воздействием ускоренных ионов и способных на основе полученных знаний к активной творческой работе в области современной технической физики и нанотехнологий как в научно-исследовательских учреждениях, так и в условиях промышленного производства.

Это полностью соответствует цели основной образовательной программы подготовки выпускников-магистров по направлению 223200 «Техническая физика», которой является формирование у них знаний, умений, навыков, обеспечивающих способность к самостоятельной творческой профессиональной деятельности в условиях быстро развивающихся наукоемких отраслей техники и технологии.

4) Результаты обучения:

Знания, навыки, умения:

- знание основных представлений о роли изучаемых процессов в современной науке, технике и технологии, о возможных применениях в различных областях науки и технологии и о современных тенденциях в развитии физики модификации материалов и устройств;
- знание основ физики взаимодействия ускоренных ионов с веществом и физической сущности процессов, протекающих в твёрдом теле при торможении в нём быстрых ионов;
- умение выполнять количественные оценки характеристик протекающих процессов с учётом особенностей облучаемых материалов и параметров бомбардирующих ионов, способность осознанно использовать эти процессы для анализа и модификации свойств материалов;
- умение самостоятельно осваивать и использовать результаты новых экспериментальных и теоретических исследований, выбирать методы и объекты исследований.

Компетенции:

ОК-2, способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, пополнению своих знаний в области современных проблем технической физики и смежных наук, готовность к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности.

ПК-1, способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов (в соответствии с целями ООП магистратуры).

ПК-2, способность демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и те, которые находятся на передовом рубеже технической физики.

ПК-4, способность вскрыть физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их качественный и количественный анализ.

ПК-5, способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной и инновационной деятельности, конференциях, выставках и презентациях.

ПК-6, способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.

ПК-7, способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.

ПК-8, готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов.

5) Содержание:

1. Ионно-лучевая и плазменная технология. Нанотехнология: Л – 1 ач, СР – 1 ач.
2. Парные взаимодействия ионов с атомами. Удельные дифференциальные сечения: Л – 3 ач, ПЗ – 6 ач, СР – 6 ач.
3. Торможение ускоренных ионов в твёрдом теле. Удельные потери энергии в упругих и неупругих столкновениях.: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 4 ач.
4. Распределение внедрённых ионов по траекторным пробегам и по глубине. Методы их компьютерного моделирования: Л – 2 ач, ПЗ – 6 ач, СР – 6 ач.
5. Каналирование ионов в кристаллах: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 2 ач.
6. Генерация первичных дефектов при облучении твёрдых тел ионами, их распределение по глубине: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 3 ач.
7. Накопление устойчивых радиационных нарушений при облучении полупроводников легкими и тяжёлыми ионами. Процессы вторичного дефектообразования. Инженерия дефектов: Л – 3 ач, ПЗ – 6 ач, СР – 6 ач.
8. Ионная имплантация в полупроводники: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 2 ач.
9. Распыление твёрдых тел ионами: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 2 ач.
10. Изменение топографии поверхности при ионном распылении. Ионное травление: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 2 ач.
11. Напыление тонких пленок ионным распылением: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 2 ач.
12. Экзамен: 36 ач.

6) Пререквизиты:

Изучение дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин «Физика», «Математика», «Физика твердого тела и полупроводников», «Теоретическая физика», «Физика электронных и ионных процессов» предшествующей бакалаврской подготовки.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении, ряда дисциплин вариативной части профессионального цикла, при проведении НИРМ и при подготовке магистерской диссертации.

7) Основной учебник

- Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский — СПб.: Лань, 2008
- Введение в нанотехнологию. / Н. Кобаяси — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008

8) Дополнительная литература

- Физические основы электронной и ионной технологии. Учеб. пособие для вузов. / И.А. Аброян, А.Н. Андронов, А.И. Титов — М.: Высш. шк., 1984.
- Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. / — М. Мир, 1984.
- Радиационные процессы в многокомпонентных материалах. Теория и компьютерное моделирование. / Ю.В. Трушин — Санкт-Петербург ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 2002.

9) Координатор:

Профессор, д.ф.-м.н. А.И. Титов

10) Использование компьютера:

Компьютер используется при выполнении практических занятий и самостоятельной работы по всем разделам дисциплины.

11) Лабораторные работы и проекты

Лабораторные работы и проекты учебным планом не предусмотрены.

Оценка выставляется по результатам устного ответа на экзамене на 2 вопроса экзаменационного билета.

Экзаменационные вопросы

1. Ионно-лучевая технология. Достоинства и недостатки ионной технологии. Блок-схема установки ионно-лучевой модификации.
2. Упругое столкновение частиц. Лабораторная система координат и система центра масс. Столкновение ионов в СЦМ: уравнение движения, приведённая масса.
3. Упругое столкновение частиц: импульсы и скорости частиц после столкновения, соотношения между импульсами и углами в системе центра масс и лабораторной.
4. Угол рассеяния иона на атоме: законы сохранения энергии и момента количества движения, угол рассеяния –точное выражение.
5. Угол рассеяния иона на атоме: импульсное приближение.
6. Справедливость классического подхода к описанию рассеяния ионов.
7. Потенциалы взаимодействия.
8. Дифференциальные сечения рассеяния.
9. Потери энергии иона в упругих столкновениях с атомами.
10. Потери энергии иона в неупругих столкновениях. Сравнение упругих и неупругих потерь энергии иона.
11. Траекторный и проективный пробеги иона. Распределение пробегов по глубине и моменты этого распределения.
12. Распределение пробегов по глубине: метод Монте-Карло. Различия в проникновении тяжёлых и лёгких ионов.
13. Распределение пробегов по глубине: метод молекулярной динамики. Зависимости параметров распределения ионов по глубине от энергии и массы иона.
14. Каналирование ионов: рассеяние иона на цепочке атомов. Критический угол каналирования.
15. Каналирование ионов в кристалле.
16. Эффект теней (блокинг-эффект).
17. Образование дефектов кристаллической структуры при ионном облучении. Типы дефектов.
18. Смещения атомов твёрдого тела при облучении полупроводников лёгкими и тяжёлыми ионами. Каскады смещений. Пороговая энергия смещения. Нелинейные энергетические пики.
19. Накопление устойчивых дефектов при имплантации тяжёлых ионов в полупроводники при комнатной температуре.
20. Распределение по глубине смещённых атомов. Первичные дефекты при имплантации ионов разных масс.
21. Вторичные процессы образования устойчивых дефектов. Диффузия. Рекомбинация. Комплексообразование. Спонтанный переход в аморфную фазу.
22. Накопление устойчивых нарушений при имплантации в кремний лёгких ионов средних энергий: генерация первичных дефектов; распределение нарушений по глубине; поверхностный и объёмные пики структурных нарушений и их зависимость от дозы облучения.
23. Накопление устойчивых нарушений при имплантации в кремний лёгких ионов средних энергий: влияние плотности ионного тока; механизмы повреждения.
24. Накопление устойчивых нарушений при имплантации в полупроводники лёгких ионов малых энергий: экспериментальные данные и механизм явления.
25. Радиационное повреждение полупроводников при повышенных температурах облучения.
26. Отжиг радиационных дефектов.
27. Перераспределение атомов примесей в процессе облучения и отжига: традиционная диффузия и диффузия при отжиге.
28. Изменение электрических свойств при ионной имплантации в полупроводники: локализация внедрённых атомов, роль радиационных дефектов.

29. Активация электропроводности имплантированного кремния при термическом отжиге. Коэффициент использования вводимой примеси.
30. Электрическая изоляция широкозонных полупроводников.
31. Распыление вещества ионами: механизм явления; коэффициент распыления и его зависимость от энергии и массы иона.
32. Распыление вещества ионами: коэффициент распыления и его зависимость от угла падения первичного пучка. Распределение распылённых ионов по энергиям и углам выхода. Распыление многокомпонентных мишеней.
33. Особенности ионного распыления для монокристаллов. Угловые зависимости коэффициента распыления. Пятна Венера. Фокусоны.
34. Изменение топографии поверхности при распылении.
35. Ионное травление.