

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики плазмы**



академик РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

2020 г.

Рабочая программа дисциплины

ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

направление подготовки: **03.04.02 Физика. Курс 1, семестр 2**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	108	30	16		40	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачетные единицы из них: - контактная работа 50 часов - в интерактивных формах 16 часов Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:

к.ф.-м.н.

И. о. зав. КФПл ФФ НГУ

к.ф.-м.н.

Руководитель программы

д.ф.-м.н.

А.А. Шошин

А.Д. Беклемишев

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

Содержание

Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	6
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	11
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	11
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	11
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	12

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Плазменные технологии»

Направление: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа дисциплины «Плазменные технологии» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики плазмы, в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета в весеннем семестре.

Цель курса – ознакомление магистрантов-физиков, с промышленными и технологическими применениями низкотемпературной плазмы.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы и плазменных технологий, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований.
- **Уметь:** применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по физике плазмы и плазменных технологий.
- **Владеть:** навыками самостоятельной работы с учебной литературой по прикладным применениям физики плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы.

Курс рассчитан на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контрольные работы, реферат.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **108** академических часов / **3** зачетных единицы.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Основной целью курса «Плазменные технологии» является ознакомление магистрантов-физиков специализирующихся в области физики плазмы, с промышленными и технологическими применениями низкотемпературной плазмы.

Курс состоит из двух частей, первая из которых посвящена физическим основам используемых в современной промышленности плазменных технологий, таким, как элементарные процессы в газоразрядной плазме и на поверхности электродов; дрейфы, диффузия плазмы; адсорбция и десорбция веществ на поверхности; механизмы разрушения поверхности под воздействием потоков плазмы.

Вторая часть курса рассматривает методы и оборудование плазменных технологий, в частности, газоразрядные устройства; плазменные реакторы; электродуговые, ВЧ и СВЧ плазмотроны; плазменные пушки и плазменные ускорители; термоэмиссионные преобразователи; методы модификации поверхности и низкоэнергетичной имплантации, нанесения покрытий и пленок, обработки пластин в микроэлектронике, обработки материалов, электрометаллургии и плазмохимии. Также рассматриваются вопросы диагностики поверхностей в плазменных технологиях.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы и плазменных технологий, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований (ПК 1.1).
- **Уметь:** применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по физике плазмы и плазменных технологий (ПК 2.2).
- **Владеть:** навыками самостоятельной работы с учебной литературой по прикладным применениям физики плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы (ПК 2.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Плазменные технологии» реализуется в весеннем семестре для студентов 1-го и 2-го курсов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики плазмы.

В результате изучения курса студенты должны освоить основы физики и техники низкотемпературной плазмы, а также основные методы решения стандартных задач из этих разделов физики плазмы. Кроме того, у студентов должно сформироваться умение использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области физики и техники низ-

котемпературной плазмы; умение приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

Для успешного освоения курса «Плазменные технологии» студенты должны обладать предварительными знаниями основ общей физики, физики плазмы, физики газового разряда, основ электротехники. Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	108	30	16		40	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачетные единицы из них: - контактная работа 50 часов - в интерактивных формах 16 часов Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзаменов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, реферат;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 30 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 40 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 50 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 16 часов (практические занятия).

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Плазменные технологии» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Физические основы плазменных технологий		50	18	10	22			
2	Современные методы и оборудование		36	12	6	18			
	Групповая консультация		2					2	
17	Подготовка к экзамену		18				18		
18	Экзамен		2						2
Всего			108	30	16	40	18	2	2

Программа и основное содержание лекций (30 часов)

I. Физические основы плазменных технологий (18 часов)

Введение

- Синергетика плазменных процессов.
- Области применения плазменных технологий.

Процессы в газоразрядной плазме

- Возбуждение, диссоциация, ионизация, рекомбинация.
- Дрейф и диффузия.

Процессы на поверхности

- Эмиссионные процессы. Термо- и автоэмиссия. Вторичная эмиссия.
- Адсорбция и десорбция.
- Поверхностная ионизация.
- Внедрение и отражение. Распыление.

Газовые разряды

- Тлеющий разряд (нормальный и аномальный, затрудненный, с полым катодом).
- Разряды в магнитном поле (пеннинговский, магнетронный).
- Дуга с горячим катодом. Вакуумные дуги.
- Дуга высокого давления.
- ВЧ и СВЧ разряды.

Формирование ускоренных пучков заряженных частиц

- Электронные пушки и ускорители.
- Ионные источники и ионные электродно-оптические системы.
- Лазерные системы

II. Современные методы и оборудование (12 часов)

Газоразрядные устройства

- Реакторы для управляемого термоядерного синтеза.
- Магнитогазодинамическая машина.
- Термоэлектрические преобразователи.
- Разделение изотопов (электромагнитное и плазменное).
- Плазменные телевизоры.
- Магнетронные распылительные установки.
- Плазмохимические реакторы для утилизации отходов.
- Плазмохимические реакторы для очистки поверхности и нанесение пленок.
- Плазменные источники для EUV литографии.
- Электродуговые, ВЧ и СВЧ плазмотроны для высокотемпературной обработки материалов.
- Плазменные пушки и плазменные ускорители (инжекторы, электрореактивные движители).
- Ионные источники (инжекторы, имплантеры, многозарядные ионы для ядерной физики и ядерной медицины, отрицательные ионы).

Вакуумно-плазменные технологии

- Нанесение покрытий и пленок (испарение, распыление, ионные пучки).
- Модификация поверхности неполупроводниковых материалов (высококонцентрационная, высокодозная (РШ) и низкоэнергетичная имплантации).

- Современные планарные технологии микроэлектроники. Травление и осаждение пленок. Высокоэнергетическая имплантация и современные имлантеры. EUV-литография и фокусированные ионные пучки. MEMS технологии

Диагностика поверхности.

- Электронная микроскопия. Растровый микроскоп.
- Оже-спектроскопия.
- Ионная микроскопия, ВИМС

Программа практических занятий (16 часов)

Тематика практических занятий совпадает с тематикой лекций.

Самостоятельная работа студентов (58 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	8
Подготовка реферата	22
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	10
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Райзер Ю.П. "Физика газового разряда", - М., Наука, 2009, 416 с
2. А.И.Морозов "Введение в плазмодинамику" М., Физматлит, 2008, 614 с

5.2. Дополнительная литература

3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А., "Основы нанозлектроники". Н., НГТУ, 2004

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. М., Мир, 1985
2. Ивановский Г.Ф, Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. М., Радио и связь, 1986
3. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: справочник. М. Радио и связь. 1991
4. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. М., Энергоатомиздат, 1987
5. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М., Энергоатомиздат, 1989
6. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологии. М., Высшая школа, 1984

7. Пархоменко В.Д. и др. Технология плазмохимических производств. Киев, Выща школа, 1991
8. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., Наука, 1992
9. Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок. М. Атомиздат, 1979
10. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.Машиностроение, 1981
11. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М. Наука, 1977
12. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. М., Metallurgia, 1990
13. Дресвин С.В., Бобров А.А. и др. "ВЧ- и СВЧ- плазмотроны". Новосибирск, Наука, 1992 Серия "Низкотемпературная плазма". Том 6.
14. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. Л., Химия, 1981
15. Серия "Низкотемпературная плазма". Том 3. Химия плазмы. / Полак Л.С., Синярев Г.Б. и др., Новосибирск, Наука, 1991
16. Физика и технология источников ионов. Под ред. Я.Брауна, М., Мир, 1998
17. Габович М.Д., Семашко Н.Н., Плешивцев Н.В. "Пучки ионов и атомов для УТС и технологических целей". М., Энергоатомиздат, 1986
18. Форрестер А.Т. Интенсивные ионные пучки. М, Мир, 1992
19. Черепин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов (справочник). Киев, Наукова думка, 1982
20. Петров Н.Н. и Аброян И.А. Диагностика поверхности с помощью ионных пучков. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977
21. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М., Мир, 1989
22. Зенгуил Э. Физика поверхности. М., Мир, 1990
23. Физика и технология источников и ионов. Под.ред. Я.Брауна. М.: "Мир", 1998.
24. Плазменная технология в производстве СБИС. Под ред. Н.Айнспрука, Д.Брауна. М.: "Мир", 1987
25. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А., "Основы наноэлектроники". Н., НГТУ, 2004
26. Щука А.А. "Наноэлектроника". М., Физматкнига, 2007
27. Морозов А.И. «Введение в плазмодинамику» М. Физматлит, 2008
28. Roth J. R., Industrial Plasma Engineering Vol. 1&2, IOP 2001
29. Liberman M., Lichtenberg A. "Principles of plasma discharges and material processing". NY, Wiley, 1994
30. Konuma M. "Film deposition by plasma techniques". Springer-Verlag, Berlin, 1992
31. R.Shul, S.Peartson(eds). Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques, Springer-Verlag, Berlin, 2000
32. Handbook of plasma processing technology. Ed. by S.Rossnagel, J.Cuomo, W.Westwood, Noyes Publication, 1990
33. F.Chen. Industrial application of low temperature plasma. Phys. Plasmas, v.2, n.6, 1995
34. Physics of Thin Films, Ed. by M.Francombe, J.Vossen, Academic Press, 1994
35. High Density Plasma Sources. Ed. By O.Popov, Noyes Publication, 1995
36. Microwave Excited Plasmas, Ed. By M.Moisan, J.Pelletier
37. Anders A., Cathodic Arcs: From Fractal Spots to Energetic Condensation, Springer 2008
38. Boulos M. I., Fauchais P. and Pfender E., Thermal Plasmas, Fundamentals and Applications Vol. 1, Plenum 1994
39. Brown S. C., Basic Data of Plasma Physics, AIP Press 1994
40. Chen F. F. and Chang J. P., Lecture Notes on Principles of Plasma Processing, Kluwer Academic/Plenum Publishers 2003
41. Fridman A., Plasma Chemistry, Cambridge University Press 2008
42. Fridman A. and Kennedy L. A., Plasma Physics and Engineering, Taylor & Francis 2004
43. Hippler R. et al, Editors, Low Temperature Plasmas: Fundamentals, Technologies and Techniques, 2nd Edition, Wiley 2008

44. M.Ohring. The materials science of thin films. Academic press, London, 1992.
45. Thin film processes II . Ed. J.L.Vossen, W.Kern. Academic press, London, 1991.
46. Coaton J. R. and Marsden A. M., Lamps and Lighting, Arnold 1997
47. Cobine J. C., Gaseous Conductors, Theory and Engineering Applications, Dover 1958
48. Moisan M. and Pelletier J., Physique des Plasmas Collisionnels, EDP Sciences 2006
49. Raizer Y. P., Shneider M. N. and Yatsenko N. A., Radio-Frequency Capacitive Discharges, CRC Press 1995
50. Vacquié S. Ed., L'Arc Électrique, CNRS Éditions 2000
51. von Engel A., Ionized Gases, AIP Press 1993
52. Броддай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. М., Мир, 1985
53. Ивановский Г.Ф, Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. М., Радио и связь, 1986
54. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств : справочник. М. Радио и связь.1991
55. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. М., Энергоатомиздат, 1987
56. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М., Энергоатомиздат, 1989
57. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологии. М., Высшая школа, 1984
58. Пархоменко В.Д. и др. Технология плазмохимических производств. Киев, Выща школа, 1991
59. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.,Наука, 1992
60. Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок. М. Атомиздат, 1979
61. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.Машиностроение, 1981
62. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М. Наука, 1977
63. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. М., Металлургия, 1990
64. Дресвин С.В., Бобров А.А. и др. "ВЧ- и СВЧ- плазмотроны". Новосибирск, Наука, 1992 Серия "Низкотемпературная плазма". Том 6.
65. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. Л., Химия, 1981
66. Серия "Низкотемпературная плазма". Том 3. Химия плазмы./ Полак Л.С., Синярев Г.Б. и др., Новосибирск, Наука, 1991
67. Физика и технология источников ионов. Под ред. Я.Брауна, М., Мир, 1998
68. Габович М.Д., Семашко Н.Н., Плешивцев Н.В. "Пучки ионов и атомов для УТС и технологических целей". М., Энергоатомиздат, 1986
69. Форрестер А.Т. Интенсивные ионные пучки. М, Мир, 1992
70. Черепин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов (справочник). Киев, Наукова думка, 1982
71. Петров Н.Н. и Аброян И.А. Диагностика поверхности с помощью ионных пучков. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977
72. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М., Мир, 1989
73. Зенгуил Э. Физика поверхности. М., Мир, 1990
74. Физика и технология источников и ионов. Под.ред. Я.Брауна. М.: "Мир", 1998.
75. Плазменная технология в производстве СБИС. Под ред. Н.Айнспрука, Д.Брауна. М.: "Мир", 1987
76. Шука А.А. "Нанoeлектроника". М., Физматкнига, 2007
77. Морозов А.И. «Введение в плазмодинамику» М. Физматлит, 2008
78. F.Chen. Industrial application of low temperature plasma physics, Phys. Plasmas, v.2, n.6, 1995.
79. N.Sakudo. Ion sources for ion implantation and ion beam modification of materials. Rev.Sci.Instruments, **65(4)**, 1994.

80. G.Alton. Ion sources for accelerators in material research. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, **B73**, 1993.
81. A.Grotjohn. Ion sources for microfabrication. Rev.Sci.Instruments, **65(4)**, 1994.
82. Grigoryan V.G. Ion Sources for space thrusters. Rev.Sci.Instrum., **67(3)**, 1996.
83. Kaufman A.H. Broad-beam ion sources. Rev.Sci.Instrum., **61 (II)**, 1990.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по

образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе проведения контрольных работ и подготовки реферата.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области плазменных технологий в профессиональной деятельности.

Важнейшим моментом при прохождении курса «плазменные технологии» являются подготовка магистрантом реферата и презентации на выбранную тему курса. Это работа - единственная полностью индивидуальная форма обучения, и направлена на формирование коммуникативных навыков, умения объяснять, логически излагать решение, быстро отвечать на вопросы преподавателя и сокурсников. Магистрант рассказывает на презентации основное содержание подготовленного реферата, отвечает на дополнительные вопросы преподавателя и сокурсников. Презентации заслушиваются группой и лектором на семинарах. Таким образом, комплекс: «лекции + реферат + презентация + контрольные задания» способствуют активному усвоению материала и позволяют магистрантам не столько выучить теорию, сколько научиться применять ее для решения задач.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня.

Оценка на экзамене складывается из трех сумм: $\Sigma = \Sigma_b + \Sigma_t + \Sigma_p$, где Σ_b — количество баллов, заработанных студентом в семестре (реферат, презентация), Σ_t — количество баллов, полученных за ответ на билет, Σ_p — количество баллов, полученных за решение задач из промежуточных контрольных заданий. Каждая из сумм может равняться нулю. В зависимости от набранных баллов проставляется оценка за экзамен:

Σ	Оценка
[0;20)	неудовлетворительно
[20; 50)	удовлетворительно
[50; 70)	хорошо
[70;100]	отлично

Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Плазменные технологии».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продemonстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продemonстрированы знания по решению нестандартных задач.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Контрольная № 1

1. Определить работу выхода у фотокатода в электрическом поле $3 \cdot 10^8$ В/см, если «красная» граница находится при энергии квантов 1,5 эВ.
2. Водородная плазма с начальной плотностью 10^{12} см⁻³ и соотношением ионов H^+ , H_2^+ и $H_3^+ = 1:1:1$ распадается за счет объемной рекомбинации. Оцените, за какое время плотность плазмы уменьшится в 10 раз. Коэффициент рекомбинации для ионов H^+ равен $\beta \sim 5 \cdot 10^{-13}$ см³/с, для ионов H_2^+ и $H_3^+ \sim 10^{-9}$ см³/с.

3. Отличие диагностики по Оже-электронам и отраженным электронам.
4. Определить «верхний» край энергетического спектра вторичных электронов при бомбардировке поверхности вольфрама ($\phi=4,5$ эВ) ионами $C^+(11,3$ эВ), $K^+(4,34$ эВ) и $K^{2+}(31,63$ эВ) с энергией 50 эВ?
5. Какие существуют способы подавления паразитного распыления стенок в плазменном объеме?

Контрольная № 2

1. Способы повышения электрической прочности в межэлектродном промежутке?
2. Как изменится напряжение на (телющем) разряде, если плотность тока увеличить в 2 раза, а давление газа не изменять?
3. Найти условие «высокочастотности» разряда в диоде по напряженности электрического поля (для частоты 13.56 МГц), если расстояние между электродами 2 см, частота столкновений электронов с атомами водорода $\nu_{ea} = 5 \cdot 10^8$ с⁻¹.
4. Применение магнитного поля в плазменных системах (DC, ВЧИ, ЭЦР, дуга).
5. Механизмы нагрева плазмы в постоянном, ВЧ, СВЧ разрядах.

Примеры тем рефератов

1. МГД генераторы
2. Электроракетные двигатели
3. Ионно-ускорительные комплексы для терапии
4. Плазменные источники для EUV литографии
5. Ионные источники для имплантеров
6. Современные проблемы плазменных технологий при производстве высокоаспектных полупроводниковых микросхем
7. Имплантация в металлы: источники, технологии
8. Диагностика в плазменно-технологических процессах
9. Плазменные реакторы для утилизации отходов (химические, медицинские, ядерные)
10. Спектроскопия поверхности
11. Плазменные панели
12. Плазматроны

Вопросы, выносимые на экзамен

1. Обоснования синергетики плазменных процессов. Опыт Кобурна. Преимущества Плазменных технологий
2. Области применения плазменных технологий. Получение и преобразование энергии: реакторы для управляемого термоядерного синтеза, магнитогазодинамическая машина, термоэлектрические преобразователи. Источники частиц и излучений: лазерные системы, разделение изотопов, плазменные телевизоры. Технологические процессы.
3. Элементарные процессы в газоразрядной плазме. Возбуждение, диссоциация, ионизация, рекомбинация: ионные и электронные процессы, основные закономерности (сечения процессов). Дрейф и диффузия
4. Процессы на поверхности. Основные закономерности эмиссионных процессов. Предельные плотности тока при первичных эмиссионных процессах (термо- и автоэмиссия эмиссии). Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Туннелирование (эффект Шоттки). Автоэлектронные эмиттеры.

5. Процессы на поверхности. Основные закономерности вторичных эмиссионных процессов. Вторичная электрон-электронная эмиссия (энергоспектр, коэффициент эмиссии). Эмиттеры.
6. Ион-электронная эмиссия (потенциальная и кинетическая эмиссии). Эмиттеры.
7. Фотоэлектронная эмиссия. Эмиссия электронов из диэлектриков и полупроводников. Эмиттеры. Фотоэлектронная спектроскопия.
8. Элементарные процессы при адсорбции и десорбции (прилипание, предсостояние, термодесорбция). Поверхностная ионизация. Каналы десорбции
9. Взаимодействие ионов с поверхностью. Торможение ионов в веществе (электронные, ядерные потери). Проективный пробег. Каналирование. Высоковольтная имплантация и имплантеры для микроэлектроники. Высокодозная имплантация в плазме. Фокусированные источники ионов.
10. Процессы при отражении частиц. Коэффициенты отражения (энергии, частиц). Энергоспектр отраженных частиц. Спектроскопия медленных ионов. Спектроскопия быстрых ионов.
11. Процессы на поверхности при распылении. Основные закономерности (коэффициент распыления энергия распыленных частиц). Самораспыление. Физико-химическое распыление. Лазерное распыление. Виды травления в микроэлектронике. Системы для травления поверхности.
12. Процессы в газоразрядной плазме. Зажигание разряда. Ионизационный коэффициенты. Потенциал зажигания. Тлеющий разряд (нормальный и аномальный, затрудненный, с полым катодом). Классическая газоразрядная трубка. Вольт-амперная характеристика.
13. Разряды в магнитном поле (пеннинговский, магнетронный). Движение электронов в магнитном поле. Пеннинговский разряд. Вольт-амперные характеристики. Разновидности магнетронных распылительных установок.
14. Дуга с горячим катодом. Вакуумные дуги. Разновидности дуговых разрядов. Катодные пятна: развитие, стабилизация. Промышленные дуговые установки: Булат, MEVVA, Радуга, Диана, дуоплазматрон, калютрон.
15. Дуга высокого давления. Свойства дуг высокого давления. Каналовая модель. Температура струи. Электродуговые плазматроны. Стабилизация дуги. Классификация и применение плазматронов.
16. ВЧ и СВЧ разряды. Движение электронов в переменном поле. ВЧ нагрев. Стохастический нагрев. ВЧ и СВЧ плазматроны для высокотемпературной обработки материалов. ВЧ реакторы (ВЧИ, ВЧЕ, геликон, геликальный источник). СВЧ пробой. Разряд в волноводе. СВЧ разряд в магнитном поле. ЕЦР нагрев: основные закономерности и конструкции. СВЧ (микроволновые и ЕЦР) реакторы.
17. Формирование ускоренных пучков заряженных частиц. Эмитанс и яркость. Электронные пушки и ускорители.
18. Формирование ускоренных пучков заряженных частиц. Пространственный заряд пучка. 3-х электродная и 4-х электродная оптические системы. Многоапертурные системы. Ионные источники (инжекторы, имплантеры, многозарядные ионы для ядерной физики и ядерной медицины, отрицательные ионы). Плазменные пушки и плазменные ускорители (инжекторы, электрореактивные движители).
19. Вакуумно-плазменные технологии. Нанесение покрытий и пленок (испарение, распыление, ионные пучки). Режимы формирования пленки. Методы осаждения пленок (вакуумное осаждение, распыление, ионное осаждение). Плазмо-химические методы осаждения пленок. Плазмо-химические реакторы для утилизации отходов, для очистки поверхности и нанесение пленок.
20. Модификация поверхности неполупроводниковых материалов (высококонцентрационная, высокодозная (РП) и низкоэнергетичная имплантации). Предельная доза имплантации.

21. Современные планарные технологии микроэлектроники. Травление и осаждение пленок. Высокоэнергетическая имплантация и современные имлантеры. EUV-литография и фокусированные ионные пучки. MEMS технологии.
22. Диагностика поверхности. Электронная микроскопия. Растровый микроскоп. Оже-спектроскопия. Основные
23. Диагностика поверхности. Ионная микроскопия (принципы работы и основные параметры). ВИМС (принципы работы и основные параметры).

Пример экзаменационного билета

1. Процессы на поверхности. Основные закономерности вторичных эмиссионных процессов. Вторичная электрон-электронная эмиссия (энергоспектр, коэффициент эмиссии). Эмиттеры (на компетенцию ПК-1).
2. ВЧ и СВЧ разряды. Движение электронов в переменном поле. ВЧ нагрев. Стохастический нагрев. ВЧ и СВЧ плазмотроны для высокотемпературной обработки материалов. ВЧ реакторы (ВЧИ, ВЧЕ, геликон, геликальный источник). СВЧ пробой. Разряд в волноводе. СВЧ разряд в магнитном поле. ЕЦР нагрев: основные закономерности и конструкции. СВЧ (микроволновые и ЕЦР) реакторы (на компетенцию ПК-2).

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</i></p> <p>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» <i>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1.</p> <p>2.</p>
<p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации фонда оценочных средств
по дисциплине «Плазменные технологии»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного

