

**Программа утверждена на заседании Ученого Совета факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова  
Протокол № 195 от 07 июля 2017 г.**

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): **Плазменные процессы нанесения неорганических функциональных материалов.**

Краткая аннотация: Программа курса предназначена для аспирантов, специализирующихся на работе с тонкопленочными материалами и покрытиями. Конечной целью изучения дисциплины является освоение физико-химических основ процесса формирования покрытий низкотемпературной плазмой, овладение техникой их нанесения. Развитие представлений о механизме формирования, особенностях морфологии макро-, микро- и субструктуры, фазового и химического состава, механических и физических свойств покрытий. Курс состоит из двух разделов. Задачи лекционного курса: освещение ключевых вопросов программы; материал лекций призван стимулировать аспирантов к последующей самостоятельной работе. Задачи практических занятий: формирование умений и навыков для решения проблемных и ситуационных задач; формирование навыков правильной постановки и выполнения экспериментальной работы, трактовки полученных результатов с учётом современных воззрений.

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки. Направленность (профиль) Неорганическая химия, Химия твердого тела

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)».

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1 Способен проводить эксперименты по нанесению неорганических покрытий методом низкотемпературной плазмы	З1 Знать методы нанесения покрытий низкотемпературной плазмой, особенности морфологии, структуры и состава покрытий
	У1 Уметь использовать низкотемпературную плазму для получения неорганических покрытий с заданными функциональными свойствами

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (20 часов занятия лекционного типа, 10 часов практических занятий, 6 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 72 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия. В специалитете или бакалавриате и магистратуре должны быть освоены общие курсы: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Кристаллохимия».

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Самостоятельная работа с научной и учебной literaturой	Всего
<p><b>1. Введение. Физика плазмы. Генераторы плазмы. Оборудование.</b>            Основные принципы физических методов нанесения покрытий. Области применения плазменной технологии нанесения покрытий.            Состав плазмообразующих газов, энергетика плазменных струй. Генераторы плазменных струй (плазмотрон и другие устройства) для нанесения покрытий из прекурсоров разного типа порошка, проволоки и суспензии. Технологическое оборудование для нанесения в разных средах (атмосфера воздуха, с местной защитой, в</p>	12	2	1				3	2	7	9

инертной атмосфере, в динамическом вакууме. Системы подачи прекурсоров в плазменную струю (порошковые питатели, механизмы подачи проволоки). Теплофизика плазменного формирования покрытия: тепловые потоки плазмы, частиц, теплоотвод в подложку и окружающее газовое пространство, относительное перемещение подложки и плазмотрона, роботизация. Структура участка для плазменного напыления покрытий, техника безопасности (порошки, световое излучение, шум).										
<b>2. Требования к прекурсорам</b> Металлы и сплавы в виде проволоки, до эвтектические составы. Порошки, формируемые распылением расплава, в том числе эвтектического состава. Композиционные порошки: механические смеси, механически легированные составы (заэвтектические, керметы), агломерированные, полученные спеканием и дроблением. Растворы и суспензии. Структура и свойства напыляемых материалов.	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	<b>7</b>
<b>3. Физико-химические и механические процессы в плазменной струе</b> Распыление проволоки плазмой: взаимодействие плазменной струи с цилиндрическим телом. Распыление порошковых материалов: взаимодействие плазмы с частицами порошка, изменения их фазового состава, структуры, физического и химического состояния и частиц порошка, испарение. Теплофизические свойства плазмообразующих газов. Геометрические размеры дуги. КПД перехода тепла дугового разряда плазмообразующему газу. Плазмотроны с межсекционными вставками. Место ввод порошка в плазменную струю. Основы выбора режимов плазменного распыления	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	<b>7</b>

<p>порошковых материалов по их теплофизическим свойствам (критерии), структуре и размерам и требованиям к сохранению структуры и механических свойств подложек, на которых формируются покрытия. Контроль температуры и скорости плазменных частиц, температуры подложки.</p>										
<p><b>4. Изменение структуры и химического состава напыляемых частиц в плазменной струе</b>  Влияние температуры и химического состава плазменной струи на структуру, химический и фазовый состав напыляемых частиц. Напыление материалов в атмосфере воздуха, с местной защитой, в инертной (и разреженной) атмосфере.</p>	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	7
<p><b>5. Условия формирования напыляемых частиц на подложке. Изменение физических, химических и механических свойств, структуры и фазового состава напыляемого материала при формировании покрытия на подложке</b>  Подготовка подложки перед напылением: абразивная и ультразвуковая обработки, подогрев, активация подложки дуговым разрядом, лазером. Соударение одиночной напыляемой частицы с подложкой: деформация, затвердевание, охлаждение. Теплофизика затвердевания и охлаждения одиночной частицы, скорость охлаждения. Физическое и химическое взаимодействие напыляемой частицы с подложкой, формирование между ними соединения. Поведение системы одиночная частица – подложка с учетом их температуры, скорости напыляемой частицы и шероховатости подложки. Остаточные напряжения в металлических и керамических покрытиях, методы их снижения, уменьшение концен-</p>	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	7

трации напряжений на границе подложка покрытие. Родственные процессы соединения материалов, перспективы повышения адгезии и когезии плазменных покрытия. Типы напыленных частиц в покрытии. Формирование макро-, микро- и субструктуры, пористости и шероховатости покрытия.										
<b>6. Изменение структуры основных напыляемых материалов в покрытии. Способы управления структурой. Методы исследования плазменных покрытий</b> Изменение макро-, микро- и субструктуры напыляемых материалов на подложке: чистые металлы, твердые растворы, двух- и многофазные сплавы, оксиды. Управление структурой плазменных покрытий. Сплавы эвтектического и заэвтектического состава. Химические соединения, интерметаллиды. Модельные материалы: Al-Fe Fe-B. Методы исследования покрытий: рентген, химический анализ основных элементов и газовых примесей (азот и кислород), ДТА, определение механических свойств, оптическая и электронная (растровая и на просвет) микроскопия структуры, удельное электросопротивление, ртутная порометрия.	<b>12</b>	2	1			2	<b>5</b>	1	6	<b>7</b>
<b>7. Механические свойства плазменных покрытий.</b> Влияние параметров напыления (температура и скорость частиц, температура подложки) на структуру (пористость) и механические свойства (модуль упругости, адгезия, когезия, сдвиг, механические свойства при растяжении). Чистые металлы, сплавы в том числе с легирующими элементами с малой растворимостью в равно-	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	<b>7</b>

весном состоянии (Al-Fe), сплавы эвтектического и заэвтектического составов, карбиды, оксиды. Остаточные напряжения в покрытии, влияние подслоев на работоспособность покрытия. Теплозащитные покрытия, термоциклика.										
<b>8. Формирование покрытий со специальной макро- и микроструктурой</b> Покрытия с регулируемой пористостью: теплозащитные покрытия, трехмерные капиллярно – пористые покрытия для композиционного материала «имплантат – костная ткань». Покрытия на нерасходуемых анодах. Плазменно – напыленные планарные дискретно армированные композиционные материалы. Волокнистые композиционные материалы с борными волокнами и напыленной алюминиевой матрицей, зависимость прочностных свойств волокон от межфазного взаимодействия волокна с матрицей.	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	<b>7</b>
<b>9. Плазменные покрытия с нано и аморфной структурой</b> Аморфные магнитно мягкие покрытия для экранирования электромагнитного излучения. Износостойкие керметные наноструктурные покрытия на основе карбидов вольфрама и титана. Коррозионностойкие покрытия.	<b>12</b>	2	1			2	<b>5</b>	1	6	<b>7</b>
<b>10. Влияние термической и термопластической обработок на структуру и механические свойства плазменных покрытий.</b> Изменение структуры и фазового состава плазменных покрытий при термообработке. Электромеханическая обработка покрытий: изменение структуры (пористость, суб- и микроструктура) и механических свойств.	<b>10</b>	2	1				<b>3</b>	1	6	<b>7</b>

Горячее прессование покрытий (WC-Co), получение волокнистых композиционных материалов с алюминиевой, молибденовой, интерметаллидной (TiAl) матрицами. Изменение структуры и физико-механических свойств напыленного алюминия при прокатке.										
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	<b>2</b>					2	<b>2</b>			
<b>Итого</b>	<b>108</b>	20	10			6	<b>36</b>	11	61	<b>72</b>

#### 8. Образовательные технологии

Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций; и практические занятия, направленные на формирование навыков получения неорганических покрытий с функциональными свойствами методом низкотемпературной плазмы. Материал лекций составлен на основе базовых и новейших мировых научных результатов, в том числе результатов исследований, проведенных авторами программы дисциплины.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): Аспирантам предоставляется программа курса, указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

#### 10. Ресурсное обеспечение:

Аудитория, проектор, доска, мел или фломастер.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается доступом к базам данных, полнотекстовым статьям в отечественных и зарубежных журналах.

Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

#### Основная литература:

1. Теория и технология формирования неорганических покрытий: монография/Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. –М.: Альфа М, 2014.-928 с.:ил.
2. Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура : учеб. пособие / В.М. Иевлев. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. В. Н. Анциферов и др. М. Металлургия. 1987. 792 с.
4. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
5. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М.: Наука,1977. 184с.
6. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. К: Техника. 1986. -233 с.
7. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. Киев. Наукова Думка. 1987. 544 с.

8. Калита В.И., Комлев Д.И Плазменные покрытия с нанокристаллической и аморфной структурой. М.: Лидер. 2008.-400 с. ил
9. Нанесение покрытий плазмой. Кудинов В.В., Пекшев П.Ю., Белашенко В.Е., Солоненко О.П., Сафиуллин В.А. М.: Наука. 1990. 408 с.
10. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Москва. Металлургия. 1992. 432 с.
11. Высокоэнергетические процессы обработки материалов. (Низкотемпературная плазма, т.18) Под ред. ак. Жукова М.Ф. и чл.-корр. Фомина В.М. Новосибирск: Наука. СИФ РАН. 2000
12. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение в плазме тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение. 1981.
13. Куницкий Ю.А., Коржик В.Н., Борисов Ю.С. Некристаллические материалы и покрытия в технике. Киев.: Тэхника. 1988. 198 с.
14. Шмырева Т.П., Береза Е.Ю. Быстроохлажденные эвтектические сплавы. Тэхника. Киев. 1990. 145 с.

Дополнительная литература:

1. Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнические установки Новосибирск: изд. НГТУ, 2005.
2. Даутов Г.Ю., Тимошевский В.Н., Аньшаков А.С. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. Проблемы и перспективы. Новосибирск: Наука. 2004.
3. Жуков М.Ф., Тимошевский А.Н., Ващенко С.П. Плазмотроны. Новосибирск, изд. СО РАН, 1995.
4. Гуляев А.П. Металловедение. Металлургия. М. 1977. 647 с.
5. Современные композиционные материалы. Крок Р., Браутман Л. Принципы упрочнения в композиционных материалах. Под редакцией Л. Браутмана и Р. Крока. Изд-во. «Мир». 1970, с. 13 – 40.
6. Физическое металловедение. Атомное строение металлов и сплавов. Вып. 1. Под ред. Кана Р.М.: Мир. 1968, 333 с.
7. Кристиан Дж. У. Фазовые превращения. Физическое металловедение. Под ред. Кана Р.М. М.: Мир. 1968, вып. 2. 275 с.
8. Физическое металловедение. Дефекты кристаллического строения, механические свойства металлов и сплавов. Вып. 3. Под ред. Кана Р. М.: Мир. 1968. 484 с.
9. Дуфлос Ф., Кантор Б. Мартенсит при сплетинге железа и сплавов Fe – Ni. В кн. Быстрозакаленные металлы. М.: Металлургия. 1983, с. 81 – 83.
10. Третьяков В.И. М. Основы металловедения и технологии производства спеченых твердых сплавов. 2-е изд. М., Металлургия. 1976. 528 с.
11. Александрова Н.М., Макушев С.Ю., Лясоцкий И.В., Дьяконова Н.Б., Дьяконов Д.Л., Супов А.В. Структурообразование и свойства быстрозакаленной из расплава стали Р6М5. Сталь. 2004. № 11, с. 100-103.
12. Ruhl R.C. Cooling Rates in Splat Cooling. Mater. Sci. and Eng. 1967, v.1, № 6, p. 313-320.
13. Inoue A., Wang X.M. Bulk amorphous FC20 (Fe-C-Si) alloys with small amounts of B and crystallized structure and mechanical properties. Acta Mater. 2000, v. 48, p. 1383-1395.
14. Аморфные сплавы. Манохин А.И., Митин Б.С., Васильев В.А., Ревякин А.В. М., Металлургия. 1984. 160 с.
15. Сафай С., Герман Г. Материалы, получаемые плазменным напылением. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов: Сб. научных трудов. Под ред., Германа Г. М.: Металлургия, 1986, с.146 -172.
16. Сплавы тугоплавких и редких металлов для работы при высоких температурах. Отв. ред. Е. М. Савицкий. 1984. с. 467
17. Металлические и керамические покрытия. Хокинг М., Васантасри С., Сидки П. 2000.-516 с
18. Свойства, получение и изменение тугоплавких соединений. Справочник под ред. Косолаповой Т. Я. Металлургия. 1986. 928 с.

19. Реновация и упрочнение деталей методами газотермического напыления. Под редакцией Балдева Л. Х. 2004. 134 с
20. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойствами плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. 384 с.
21. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. Наука. М. 1976. 230 с.
22. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидостали. М.: Metallurgia. 1988. 144 с.
23. Буше Н.А., Семенов А.П. Материалы триботехнического назначения, с.131-203, в книге «Конструкционные материалы: Справочник /Б.Н. Арзамасов и другие. Под общей редакцией Б.Н. Арзамасова. Машиностроение.,1990. 688 с.
24. Толстобров А.К., Митрофанов Б.В., Зашляпин М.Ю. Влияние металла связки на прочность и износостойкость плазменных покрытий на основе карбонитридов титана и титан – циркония. Порошковая металлургия (Киев). 1992, №11, с. 53-57.
25. Келли А. Высокопрочные материалы. М.: Мир. 1976. 179 с.
26. Меткалф А., Кляйн М. Поверхности раздела в металлических композитах. Под ред. А. Меткалфа. М.: Мир. 1978, вып. 1, с. 152.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

<http://www.elibrary.ru> – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели: Калита В.И., д.т.н., каф. междисциплинарного материаловедения, ФНМ

13. Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1.

2. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:

Для освоения современных тенденций в разработке и исследовании новых функциональных плазменных покрытий на практических занятиях студентов необходимо знакомить с соответствующими результатами, опубликованными в ведущих научных журналах. Необходимо ознакомление с новыми подходами к интерпретации плазменных процессов и покрытий, содержащих аморфные и наноразмерные фазы. Желательно, чтобы каждый из студентов сделал доклад по тематике, близкой к его научной работе или подготовил лекцию с учётом имеющегося учебного плана. Всё это должно делаться устно с применением средств мультимедиа, подготовка рефератов в магистратуре нежелательна. Это, а также подготовка к тестированию, входит в самостоятельную работу. Посредством тестирования необходимо осуществлять текущий контроль.

**Приложение 1. Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Методы колебательной спектроскопии для исследования функциональных материалов» на основе карт компетенций выпускников**

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)						
	1	2	3	4	5	
З1 (УК-1) Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, связанных с плазменными методами нанесения покрытий	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания в области синтеза покрытий плазменными методами нанесения покрытий	Общие, но не структурированные знания в области синтеза покрытий плазменными методами нанесения покрытий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области синтеза покрытий плазменными методами нанесения покрытий	Сформированные систематические знания в области синтеза покрытий плазменными методами нанесения покрытий	зачет в устной форме
У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности методы нанесения неорганических покрытий с функциональными свойствами	Отсутствие умений	Частично освоенное умение в выборе и применении методов нанесения неорганических покрытий с функциональными свойствами	В целом успешно, но не систематически осуществляемое умения в выборе и применении методов нанесения неорганических покрытий с функциональными свойствами	В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы умения в выборе и применении методов нанесения неорганических покрытий с функциональными свойствами	Сформированное умение в выборе и применении методов нанесения неорганических покрытий с функциональными свойствами	решение предложенных практических задач