

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



по учебно-методической работе

А.А. Панфилов

« 14 » 09 2016 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### «Высоковакуумные технологические процессы в нанонженерии»

Направление подготовки: 28.03.02 Наноинженерия

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоем- кость зач. ед, час.	Лек- ций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5	7, 252	36	18	18	144	экзамен (36ч)
Итого	7, 252	36	18	18	144	экзамен (36ч)

Владимир, 2016

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» направлено на достижение следующих целей ОПОП 28.03.02 «Нанотехнологии»:

Код цели	Формулировка цели
Ц2	Подготовка выпускников к <i>проектно-конструкторской и проектно-технологической деятельности</i> , включающей в себя участие в составе коллектива исполнителей в проведении расчетных и проектных работ при разработке процессов нанотехнологий

*Целью дисциплины* является изучение теоретических и экспериментальных основ высоковакуумных покрытий и основных технологий и методов их нанесения. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач.

Основными задачами дисциплины являются:

получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных высоковакуумных технологий; физико-химических основ получения покрытий; основ моделирования данных процессов, анализе новых областей использования вакуумных покрытий в машиностроении; диагностики и испытаний наноматериалов и нанопокрываний в машиностроении; практических навыков в области получения покрытий.

Основные дидактические единицы (разделы): Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» изучается в 5-ом семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения дисциплин «Методы диагностики в нанотехнологии», «Введение в нанотехнологии», «Основы нанотехнологий в машиностроении», «Физика», «Материаловедение», «Физико-химические основы нанотехнологий». Дисциплина является одной из основных в получении наноструктурированных пленок и покрытий, а также наноразмерных объектов различного назначения.

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы *теоретического характера*, а именно: классификация методов и технологий получения вакуумных покрытий; обзор физических принципов и основ получения высоковакуумных покрытий, высокотехнологичных установок для получения вакуумных покрытий; анализ областей использования вакуумных покрытий в отраслях машиностроения. Большое внимание уделяется изучению современного технологического оборудования в вакуумном машиностроении, в том числе для получения покрытий металлообрабатывающего инструмента, оснастки, ответственных деталей.

В рамках изучения дисциплины приобретаются *практические навыки работы* с вакуумными установками для нанесения покрытий, подготовки поверхностей под напыление механическими, химическими и физическими методами; навыками работы с экспериментальными приборами и установками для проверки физико-механических, химических, структурных и трибологических свойств покрытий и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

*Целью дисциплины* является изучение методов нанесения высоковакуумных покрытий, которые носят как теоретический, так и экспериментальный характер. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач. Основными задачами дисциплины являются:

- получение теоретических навыков и компетенций в области математического описания существующих и перспективных технологий получения вакуумных покрытий;
- физико-химических основ получения вакуумных покрытий;
- основ моделирования данных процессов,
- анализе новых областей использования методов получения покрытий для различных применений;
- диагностики и испытаний вакуумных покрытий в машиностроении;
- практических навыков в области диагностики вакуумных покрытий.

Основной упор в курсе делается на научное направление кафедры «Технологии машиностроения», а именно «Наноструктурированные вакуумные покрытия в машиностроении», а также на работы в НОЦ «Нанотехнологии» ВлГУ.

В рамках данного курса будет рассмотрено устройство и принцип работы вакуумных установок для получения покрытий различного назначения и принципа действия, методы и технологические процессы получения вакуумных покрытий, будут изучены базовые физические явления, лежащие в основе различных методов получения пленок и покрытий, представлены примеры использования микроскопии и диагностики для исследования различных вакуумных покрытий и пленок. В ходе освоения курса студенты получают реальные практические навыки работы на вакуумных установках нанесения покрытий, сканирующих зондовых микроскопах и проведут измерения различных пленок и покрытий с нанометровым пространственным разрешением. Особое внимание будет уделено теоретическому и практическому освоению методов математической обработки и количественного анализа изображений скратч тестирования, калотестирования, микроскопии и диагностики наноматериалов. В ходе изучения курса будет проведено несколько семинаров, на которых студенты получают возможность сделать доклады по использованию методов нанесения покрытий для перспективных изделий машиностроения, по исследованию новых перспективных пленок и наноматериалов, основываясь на статьях ведущих мировых научных изданий и интернет-публикациях.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание общих курсов «Физики» из цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин. Изучение дисциплины также рекомендовано студентам, бакалаврам и магистрам, планирующим использовать разнообразные методы получения вакуумных покрытий при выполнении курсовых и дипломных работ.

В результате изучения дисциплины студенты должны иметь четкое представление об общих принципах работы вакуумных установок, технологических процессах получения PVD-покрытий, областях применения вакуумных покрытий в машиностроении и других областях промышленности, методах проверки качества получаемых вакуумных покрытий.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 28.03.02:

**Р2, Р5, Р6** (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 28.03.02).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциями ОПОП:

готовность осуществлять патентные исследования в области профессиональной деятельности, а также сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации (ПК-5):

*знать:* из доступных источников информации основные принципы работы и устройства вакуумной техники и вакуумных установок для получения покрытий,

*уметь:* использовать научно-техническую, справочную и информацию и руководства пользователя для поддержки работы вакуумных установок в рабочем состоянии;

*владеть:* необходимым объемом научно-технической информации для разработки технологических процессов получения покрытий в вакууме на имеющемся оборудовании.

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проектных работах по созданию и производству нанообъектов, модулей и изделий на их основе (ПК-7):

*знать:* структуру, состав и особенности работы вакуумных установок по получению покрытий;

*уметь:* разрабатывать технологические процессы получения известных покрытий в вакууме в составе группы под руководством преподавателя и инженера-исследователя;

*владеть:* навыками подготовительных и регламентных работ на вакуумных установках по получению покрытий под руководством преподавателя и инженера-исследователя.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единицы 252 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	КП / КР		
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.</b>	5	<b>1-6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>48</b>		<b>12/50</b>	
1.1	Введение. Основные термины и определения.		1-2	4	2	2	9		4/50	Рейтинг-контроль №1
1.2	Теоретические основы вакуумной техники.		3-4	4	2	2	9		4/50	
1.3	Свойства вакуума.		5-6	4	2	2	9		4/50	
<b>2</b>	<b>Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.</b>		<b>7-12</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>48</b>		<b>12/50</b>	
2.1	Высоковакуумные методы нанесения покрытий.		7-8	4	2	2	9		4/50	Рейтинг-контроль №2
2.2	Теоретические основы технологии нанесения вакуумных покрытий методом магнетронного распыления с использованием несбалансированных магнетронов.		9-10	4	2	2	9		4/50	
2.3	Инструментальные методы исследования свойств покрытий.		11-12	4	2	2	9		4/50	
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.</b>		<b>13-18</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>48</b>		<b>12/50</b>	
3.1	Выбор параметров процесса нанесения металлического покрытия ("металлический режим").		13-14	4	2	2	9		4/50	Рейтинг-контроль №3
3.2	Разработка вакуумных ТП получения покрытий.	15-16	4	2	2	9		4/50		
3.3	Выбор параметров процесса нанесения реактивного покрытия ("реактивный режим").	17-18	4	2	2	9		4/50		
<b>Всего</b>				<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>144</b>		<b>36/50</b>	<b>Экзамен (36ч)</b>

## Тематическое содержание курса

### **Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.**

*Тема 1-1. Введение. Основные термины и определения.*

Требования, предъявляемые к вакуумным покрытиям. Современное состояние рынка оборудования систем создания и поддержания вакуума. Направления развития компаний-участников рынка вакуумного оборудования. Развитие требований потребителей к вакуумному оборудованию.

*Тема 1-2 Теоретические основы вакуумной техники.*

Понятие вакуума Основные термины, применяемые в вакуумной технике, Откачка. Время откачки. Предельное остаточное давление. Вакуумная система и ее элементы. Оборудование для получения и поддержания вакуума. Средства для измерения и контроля вакуума. Пути технологического развития вакуумного оборудования.

*Тема 1-3 Свойства вакуума.*

Степень разрежения. Диапазон допустимых величин разрежения. Быстрота откачки. Типовые схемы вакуумных установок. Сравнение технических параметров вакуумных нанососов.

### **Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.**

*Тема 2-1 Высоковакуумные методы нанесения покрытий.*

Методы физического осаждения из паровой фазы. Типичная схема высоковакуумных установок и ТП для нанесения покрытия. Основные принципиальные схемы катодного распыления. Схема магнетронного распыления. Ионная имплантация. Лазерная группа методов. Технологии, основанные на химических процессах.

*Тема 2-2. Теоретические основы технологии нанесения вакуумных покрытий методом магнетронного распыления с использованием несбалансированных магнетронов.*

Структура и состав покрытий, получаемых по данной схеме. Операции технологического процесса, полный технологический цикл нанесения покрытий Параметры технологического процесса, определяющие и контролируемые параметры. Параметры основных операций технологического цикла нанесения покрытий.

*Тема 2-3. Инструментальные методы исследования свойств покрытий.*

Методы инструментального измерения свойств покрытий (скратч-тестирование, калотестирование, микро- и наноиндентирование, измерение микротвердости, трибометрование).

### **Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.**

*Тема 3-1. Выбор параметров процесса нанесения металлического покрытия ("металлический режим").*

Основные параметры и режимы, особенности схем и оснастки.

*Тема 3-2. Разработка вакуумных ТП получения покрытий.*

Принципы построения ТП высоковакуумных покрытий, основные технологические операции и возможные проблемы.

*Тема 3-3. Выбор параметров процесса нанесения реактивного покрытия ("реактивный режим").*

Основные параметры и режимы, особенности схем и оснастки.

## Тематика практических занятий

Занятие 1-2.

Метод нанесения упрочняющих покрытий с использованием дуального магнетрона.

Занятие 3-4.

Описание технологических операций высоковакуумных процессов нанесения покрытий.

Занятие 5-6.

Проверка качества покрытий.

Занятие 7-8.

Исправление возможных дефектов покрытий.

### **Тематика лабораторных работ**

Лабораторная работа № 1-2. Изучение конструкции вакуумных насосов и вакуумного системы установки UniCoat 600 SL+.

Лабораторная работа № 3-4. Разработка технологического процесса получения покрытия TiAlN в вакууме и проверка их свойств.

Лабораторная работа № 5-6. Разработка технологического процесса получения покрытий типа латтик в вакууме и проверка их свойств.

Лабораторная работа № 7-8. Разработка технологического процесса получения защитных и декоративных покрытий в вакууме и проверка их свойств.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

На лекциях, на практических и лабораторных занятиях используются активные формы обучения, включающие компьютерные симуляции, деловые и ролевые игры, разбор конкретных ситуаций, проблемное изложение материала, постановку и разрешение проблем при активном участии студентов, а также такие формы активизации студентов как защита рефератов, презентации и доклады на студенческих научных конференциях, выполнение индивидуальных заданий, участие в НИРовских работах, выполняемых на кафедре.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **Вопросы для проведения рейтинг-контроля №1**

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Устройства высоковакуумных установок.

### **Вопросы для проведения рейтинг-контроля №2**

1. Особенности схемы вакуумного напыления наноструктурных покрытий.
2. Модели технологических процессов нанесения вакуумных покрытий.
3. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
4. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.

### **Вопросы для проведения рейтинг-контроля №3**

1. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
2. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
3. ТП покрытий в вакууме.
4. Оптимизация ТП нанесения вакуумных покрытий.

### **Вопросы для подготовке к промежуточной аттестации - экзамену**

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Устройства высоковакуумных установок.
5. Особенности схемы вакуумного напыления наноструктурных покрытий.
6. Модели технологических процессов нанесения вакуумных покрытий.
7. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
8. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.
9. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
10. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
11. ТП покрытий в вакууме.
12. Оптимизация ТП нанесения вакуумных покрытий.

### **Самостоятельная работа студентов**

Перечень занятий для самостоятельного прохождения студентом:

Занятие 1 Вакуумная техника.

Занятие 2 Основные технологические процессы работы в вакууме.

Занятие 3. Устройство вакуумных установок (1 часть).

Занятие 4. Устройство вакуумных установок (2 часть).

Занятие 5 Ионно-плазменные технологии для машиностроения.

Занятие 6. Особенности установки вакуумного напыления.

Занятие 7. Осаждение тонких пленок материалов на поверхность подложки.

Занятие 8. Особенности высоковакуумной техники.

#### *Примерные темы рефератов:*

- 1.Классификация приборов для измерения вакуума. Жидкостные манометры.
- 2.Измерение высокого вакуума. Ионизационные манометры.
- 3.Высоковакуумные технологические процессы.
- 4.Состав вакуумных установок.
- 5.Измерение парциальных давлений. Основные параметры масс-спектрометров. Принцип действия магнитного масс-спектрометра.
- 6.Масс-спектрометры нестационарного типа. Основные отличительные особенности времяпролетного, радиочастотного и квадрупольного масс-спектрометров. Градуировка масс-спектрометров.
- 7.Течеискание. Требования к герметичности вакуумных систем. Методы течеискания. Пробные вещества для течеискания и критерии их выбора.
- 8.Конструктивные элементы вакуумных систем. Общие сведения, разъемные и неразъемные соединения.
- 9.Коммутационная вакуумная аппаратура: вентили, клапаны, вспомогательное оборудование. Системы ввода движения в вакуумные установки.
10. Обзор форвакуумных насосов.
11. Обзор плунжерных насосов.
12. Обзор установок для нанесения покрытий в вакууме.
13. Дорожная карта РФ по развитию вакуумных покрытий.



### *Практические задачи*

Разработать технологический процесс нанесения вакуумного покрытия на режущий инструмент (метчик, сверло, пластина, концевая фреза), выполненный из быстрорежущей стали (твердого сплава) для обеспечения требований, заданных преподавателем (толщина, кол-во слоев, твердость, износостойкость и др.).

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*а) основная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):*

1. Попов А.Н. Вакуумная техника: Учебное пособие / А.Н. Попов. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 167 с.: ил.; 60x88 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006031-6. <http://znanium.com/bookread2.php?book=31736>.
2. Физические основы вакуумной техники/Беркин А.Б., Василевский А.И. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 84 с.: ISBN 978-5-7782-2424-7. <http://znanium.com/bookread2.php?book=546221>.
3. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч. 1. Инженерно-физические основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Х. Хабляян, Г.Л. Саксаганский, А.В. Бурмистров. - Казань: Издательство КНИТУ, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788214474.html>.
4. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Головин Ю.И. - М.: Машиностроение, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942756628.html>.

*б) дополнительная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):*

1. Морозов В.В. Нанотехнологии в керамике: монография: в 2 ч. / В.В. Морозов, Э.П. Сысоев; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010-2011. — ISBN 978-5-9984-0075-9. Ч. 1: Наночастицы [Электронный ресурс]. — Электронные текстовые данные (1 файл: 18,5 Мб). — 2010. — 274 с.: ил. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 262-269. — Свободный доступ. — Adobe Acrobat Reader 4.0. — ISBN 978-5-9984-0056-8. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3076/1/00687.pdf>>.
2. Морозов В.В. Нанотехнологии в керамике: монография: в 2 ч. / В.В. Морозов, Э.П. Сысоев; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010-2011. — ISBN 978-5-9984-0075-9. Ч. 2: Нанопленки, нанопокрyтия, наномембраны, нанотрубки, наностержни, нанопроволока [Электронный ресурс]. — Электронные текстовые данные (1 файл: 24,9 Мб). — 2011. — 167 с.: ил. — В надзаг.: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 159-165. — Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. — Adobe Acrobat Reader. — ISBN 978-5-9984-0137-4. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3055/1/00633.pdf>>.
3. Вакуумная техника [Электронный ресурс]: справочник /К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др.; под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942754365.html>.
4. Физика СВЧ вакуумно-плазменных нанотехнологий [Электронный ресурс] / Яфаров Р.К. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111508.html>.
5. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие / А.А. Ильин, В.В. Плихунов, Л.М. Петров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Современные технологии: Магистратура). (п) ISBN 978-5-98281-366-4. <http://znanium.com/bookread2.php?book=426490>.
6. Вакуумный практикум: учебно-методическое пособие / Иванов И. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2009. - 56 с. ISBN 978-5-9275-0604-0. <http://znanium.com/bookread2.php?book=553467>.

в) периодические издания:

1. Журнал ВАК «Наноинженерия» 2011...2016 г.г.
2. Журнал ВАК «Российские нанотехнологии» 2011...2016 г.г.

в) Интернет-ресурсы:

<http://www.portalnano.ru/>

<http://www.ntsrf.info/>

<http://www.nanonewsnet.ru/>

<http://www.rusnanoforum.ru/>

<http://www.nanometer.ru/>

<http://www.ru-tech.ru/pub/nano>

<http://www.nanotech.ru/>

<http://nano-info.ru/>

<http://www.iacnano.ru/>

<http://www.nanoprom.net/>

### Учебно-методические издания

1. Жданов А.В. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Жданов А.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
4. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

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

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 28.03.02 «Наноинженерия» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения учебного процесса по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии» предусмотрено использование следующих лабораторий кафедры ТМС и НОЦ «Нанотехнологии» ВлГУ

**1. Лаборатория нанодиагностики и фемтосекундной лазерной техники (ауд. 118-4).**

*Краткая характеристика помещения:*

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), компьютерный класс на 16 посадочных мест; 2 этаж – вспомогательные помещения, кондиционер. Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03

*Оборудование:*

1) Чистая комната:

2) установка фемтосекундная лазерная "упорядоченного наноструктурирования"

(РФ):

- имеет 3 рабочих длины волны, ультрафиолет, зеленый, и инфракрасный луч.
- 2 участка обработки (100x100 мм; 20x20 мм с возможностью позиционирования с точностью до 2 нм)
- диаметр пучка около 60 микрометров в случае поля 100x100 мм
- диаметр пучка от 0,5 микрометров (зависит от используемого объектива)
- возможность обработки и диагностики проводящих, диэлектрических, прозрачных, непрозрачных материалов.

3) зондовая лаборатория "Интегра спектра" (РФ)

Уникальная интеграция Сканирующего Зондового Микроскопа с конфокальной микроскопией/спектроскопией люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). Благодаря эффекту гигантского усиления КР позволяет проводить КР спектроскопию и получать изображения с разрешением в плоскости до 50 нм.

Система для конфокальной оптической микроскопии представляет собой комбинированную систему, включающую конфокальный сканирующий лазерный спектрометр высокого пространственного разрешения, оптический микроскоп и универсальный сканирующий зондовый микроскоп. Система способна работать в режиме регистрации пространственного, трехмерного распределения спектров люминесценции и комбинационного рассеяния света, а также в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии, включая наноиндентацию, наноманипуляцию и нанолитографию.

Система для сканирующей зондовой микроскопии. Одновременно с оптическим наблюдением, ИНТЕГРА Спектра позволяет исследовать объект с помощью арсенала методов сканирующей зондовой микроскопии — АСМ, МСМ, СТМ, сканирующей ближнепольной микроскопии, силовой спектроскопии. Уникальное совмещение оптических и зондовых методов в одном приборе позволяет ставить комплексные эксперименты, в которых информация о распределении оптических свойств образца и его химического состава может быть наложена на распределение его механических, электрических, магнитных и других свойств.

Система для исследования оптических свойств объекта за пределом дифракции (флуоресценция, спектроскопия комбинационного рассеяния). Отличительной чертой Нанолaborатории ИНТЕГРА Спектра является возможность исследовать оптические свойства объектов за пределом дифракционных ограничений. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и эффекты локального усиления комбинационного рассеяния (TERS — tip enhanced Raman scattering), дают возможность картировать распределение оптических свойств (пропускание, рассеяние, поляризация света и др.), а также осуществлять спектроскопию комбинационного рассеяния с разрешением до 50 нм в плоскости XY.

#### **Особенности**

- Острие АСМ зонда и фокус лазерного пучка могут быть спозиционированы друг относительно друга с высокой точностью (необходимо для получения максимального эффекта КР-TERS)
- При использовании оптической схемы "на просвет" высокотемпературный объектив жестко встроен в основание АСМ. Это обеспечивает долговременную стабильность системы, необходимую для работы со слабыми сигналами
- Часть отраженного излучения используется для построения конфокального лазерного отражения

- Низкошумящая CCD камера с охлаждением до  $-70^{\circ}\text{C}$  (квантовая эффективность до 90%) служит высокочувствительным детектором
- В качестве альтернативного детектора можно использовать лавинный фотодиод
- Гибкий выбор поляризационных устройств
- Все компоненты системы (АСМ, оптические и механические устройства) интегрированы с помощью единого программного обеспечения. большинство ключевых узлов и устройств системы (лазеры, решетки, диафрагмы, поляризаторы и т.д.) можно выбирать и / или настраивать прямо из программы
- Три разных схемы для работы с TERS

Применяется для исследования биологических объектов, контроля качества поверхностей оптических деталей, излучающих полупроводниковых структур, характеристик нанооптических и интегрально-оптических элементов, исследования характеристик наноэлектронных элементов, в частности, спектров квантовых точек.

- Исследование соединительной ткани, ДНК, вирусов
- Определение характеристик оконечных оптических устройств
- Спектроскопические измерения
- Контроль химических реакций

#### 4) дифрактометр малоуглового рассеяния SAXSess

Предназначен для анализа тонких пленок или жидкостей, может строить кристаллические решетки вещества, определять размер частиц от 10 до 100 нанометров в растворе. SAXSess позволяет исследовать нанометровые структуры от 0.2 нм до 150 нм. SAXSess может работать в режиме линейной коллимации для быстрого сбора данных изотропных образцов и в режиме точечной коллимации для изучения анизотропных (ориентированных) образцов. Две системы могут работать одновременно в режимах линейной и точечной коллимации, используя один рентгеновский источник и одну систему детектирования. Широкий набор держателей образцов позволяют исследовать практически любые типы образцов от очень низких до высоких температур. Система TrueSWAXS<sup>TM</sup> делает возможным получение информации о наноструктуре и фазовом состоянии образца за одно измерение. Системы детектирования SAXSess не нуждаются в сервисном обслуживании и обеспечивают превосходное разрешение. Быстрый сбор и совершенная обработка экспериментальных данных. Система SAXSess включает в себя специальный пакет программного обеспечения для быстрого сбора и всесторонней обработки данных. Источник рентгеновского излучения используемый в SAXSess имеет следующие особенности: долговременная стабильность работы и минимальную стоимость эксплуатации. Современная многослойная фокусирующая оптика обеспечивает высокоинтенсивный монохроматический рентгеновский пучок. Улучшенная система блока коллимации даёт сформированный первичный рентгеновский пучок и эффективно убирает паразитное рассеяние. Она определяет разрешение системы и гарантирует низкий фон. температура очень точно контролируется в диапазоне от  $-150$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Существует большой выбор держателей под самые разные типы образцов. Полупрозрачный отсекающий первичного пучка позволяет точно определить нулевой угол рассеяния и измерить интенсивность первичного пучка для определения коэффициента пропускания образца можно получать данные о мало- и широкоугловом рассеянии за одно измерение на одном и том же образце. Система SAXSess предлагает две высококлассные системы детектирования, которые можно использовать альтернативно на одном приборе SAXSess без необходимости изменения его настроек или конфигурации:

- Система детектирования чувствительными пластинами обладает широким линейным динамическим диапазоном и покрывает углы рассеяния  $2$  до  $40^{\circ}$ .
- Система детектирования CCD даёт возможность проводить автоматизированные измерения SAXS и измерения онлайн процессов во времени. Мощное и простое в работе программное обеспечение. Вместе с прибором SAXSess поставляется мощный пакет программ для сбора и оценки данных малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS). Оценка данных включает базовую обработку данных (получение средних значений, вычитание фона и т.д.), моделирование, устранение размытий и аппроксимацию.

##### 5) Двухлучевой сканирующий УФ/В спектрофотометр LAMBDA 25

Двухлучевые сканирующие УФ/Вид спектрофотометры для рутинных и автоматических измерений. Эти приборы предназначены для различных промышленных, учебных, биологических и биохимических лабораторий и лабораторий по контролю окружающей среды. Они отличаются высокой стабильностью, гибкостью в выборе методов анализа, удобством представления и обработки полученных данных.

Ключевые особенности спектрофотометров серии Lambda:

Широкий выбор методов измерения – сканирование по длине волны, сканирование по времени (кинетические исследования) и количественный анализ (фотометрия)

Двухлучевая оптическая схема – высокие технические характеристики, точность и воспроизводимость получаемых данных

Высокая фотометрическая точность и низкий уровень шума – правильные и надежные результаты измерений при низких концентрациях аналита

Низкий уровень рассеянного света – измерения при высоких оптических плотностях

Встроенная система поверки прибора (IPV) – тестирование спектрофотометра на соответствие техническим характеристикам и требованиям GLP

Lambda 25 – спектрофотометр с фиксированной спектральной шириной щели 1 нм, соответствующий требованиям Американской, Европейской и другим национальным фармакопеям. Управление приборами, получение и обработка данных осуществляется с персонального компьютера с помощью ПО UV WinLab

Приборы могут комплектоваться кюветами различной длины и объема, системами автоматической смены кювет и термостатирования кювет (водяное и Пельтье); автодозатором, держателями для твердых образцов и гелей, интегрирующей сферой и волоконно-оптической системой для дистанционного анализа, приставками для анализа зеркального отражения и другими приставками и аксессуарами. Кроме того, на базе спектрофотометров могут быть сконфигурированы специальные системы для анализа растворимости лекарственных препаратов и проточно-инжекционная система для непрерывного поточного анализа.

##### б) Многофункциональный планшетный анализатор VICTOR X3 (PerkinElmer)

Многофункциональные анализаторы предназначены для различных видов детекции оптических сигналов в планшетном формате, за исключением радиометрических методов: фотометрия; УФ-фотометрия; флюоресценция; флюоресценция с разрешением по времени; поляризационная флюоресценция; люминесценция; AlphaScreen; Label-Free. Анализаторы PerkinElmer обладают превосходной чувствительностью, гибкостью по предлагаемым конфигурациям под различные пользовательские задачи и многофункциональностью, непревзойденными техническими характеристиками. Анализаторы PerkinElmer широко известны во всем мире и завоевали неоспоримую репутацию. Анализаторы могут использоваться как для рутинных лабораторных исследований в научных и медицинских лабораториях, так и для высокопроизводительных приложений в фармацевтических и биотехнологических лабораториях. Области применения: молекулярная и клеточная биология; генетический анализ и генотипирование; иммуноферментный анализ и ферментативные реакции; анализ активности рецепторов и молекулярных взаимодействий; квантификация; токсикологические и бактериологические исследования и т.д. Анализаторы могут работать как самостоятельно, так и в составе многофункциональных роботизированных комплексов.

Технологии детекции *Флюоресценция*: Измерение соотношения флюоресценции на двух длинах волн, Измерение флюоресценции снизу и сверху планшеты; *Поляризационная флюоресценция*; *Флюоресценция, отсроченная по времени (TRF)*: Двухоконная TRF, Измерение эмиссии на двух длинах волн; *Люминесценция*: Постоянная люминесценция (Glow), Импульсная люминесценция (Flash), Двойная (комбинированная) люминесценция; *Фотометрия в видимой области*; *УФ-фотометрия Формат планшет*: 1 - 1536-луночные планшеты *Встроенный шейкер*: три режима: линейный орбитальный, двойной орбиталь-

ный *Встроенный температурный контроль*: от + 2°C выше тем-ры окр. среды до 50°C.  
*Опции*: диспенсеры 1-4 канала; стекеры на 20 или 50 планшет; считыватель штрих-кодов; различные фильтры; ФЭУ красной области спектра для усовершенствования работы по технологиям LANCE и TR-FRET.

## **2. Лаборатория рентгеновской диагностики материалов (ауд. 108-4)**

*Оборудование:*

### *1) Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVINCE*

D8 ADVANCE – это самый современный, на сегодняшний день, лабораторный дифрактометр из представленных на рынке. D8 ADVANCE позволяет решать практически весь комплекс существующих задач в области порошковой дифрактометрии. В приборе реализована принципиально новая концепция построения модульных систем DAVINCI.DESIGN, которая существенно упрощает процесс конфигурирования дифрактометра. Переход от геометрии Брегг-Брентано к параллельно-лучевой оптике происходит максимально быстро благодаря новой рентгенооптической TWIN-системе, в которой совмещены традиционные щели и зеркало Гёбеля, переключение между которыми происходит автоматически. Новая рентгеновская TWIST-трубка позволяет осуществлять переключение между точечным и линейным фокусом.

Дифрактометр D8 ADVANCE дает возможность проводить исследования материалов в различных условиях: охладить до температуры 10 К, нагревать до 2000°C, создавать условия с повышенной влажностью. При анализе в комнатных условиях специальные загрузки образцов позволяют автоматизировать процесс измерения.

Важной составляющей частью современного дифрактометра является детектор. Решения от Bruker AXS включают в себя полный спектр точечных и позиционно-чувствительных детекторов. В дифрактометре D8 ADVANCE можно использовать энергодисперсионный детектор нового поколения SOL-XE и уже зарекомендовавшие себя в различных дифрактометрах от Bruker AXS динамические сцинтилляционные детекторы и линейные детекторы LynxEye и VANTEC-1.

- Качественный и количественный анализ кристаллических фаз.
- Структурный анализ.
- Определение размеров кристаллитов.
- Анализ структурных изменений кристаллических фаз при изменении температуры, влажности и давления с использованием соответствующих камер.
- Быстрый анализ с применением позиционно-чувствительного детектора.
- Автоматический режим сбора данных и дальнейшая обработка результатов программным пакетом DIFFRAC<sup>®</sup>

### *2) Рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL ADVANT X Thermo Scientific (USA)*

Технические характеристики:

- высокоэффективная рентгеновская трубка 4-го поколения с Rh анодом и тонким торцевым Be окном (0,075 мм);
- максимальная мощность 5 кВт;
- пропорциональный проточный детектор (3000 имп/сек);
- системы вращения проб и программируемых коллиматорных масок;
- диапазон анализируемых концентраций от 0,0001 до 100 %;
- двухкоординатный прободатчик на 98 кодированных позиций для проб в кассетах.

Направления использования:

- элементный анализ от Be до U (от ppb до 100%) образцов в виде металлов, прессованного и свободного порошка, стёкол и жидких проб;
- анализ масел, полимеров, цемента, горных пород, стёкол, металлов, руд, огнеупоров, геологических материалов.

## **3. Лаборатория 2D- и 3D наноструктурированных покрытий (ауд. 119-4).**

*Краткая характеристика помещения:*

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), 2 этаж – учебный класс на 15 посадочных мест (36 кв.м). Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03

*Оборудование:*

1. Установка для нанесения наноструктурированных покрытий UniCoat 600SL+; Производитель – РФ, год выпуска - 2008.

Установка для нанесения покрытий методом PVD с максимальной толщиной многослойного сэндвич-покрытия до 20 мкм на весь диапазон используемого концевое инструмента с системой визуализации, управления и термометрирования технологического процесса в течение всего цикла изготовления. Основные типы покрытий: традиционные покрытия – TiN, TiCN, Ti-C:H; 3D-нанокompозитные покрытия; 2D-нанокompозитные покрытия и пленки (в том числе алмазоподобные)- суперлаттики. Соответствует требованиям ОСТ 107.444.0001.004 ПДИР440310.002ТУ

*Основные технические характеристики:* размер мишеней, мм - 492x78, ширина зоны эффективного распыления мишени, мм – 72; габаритные размеры магнетронов, мм - 550x105x60; - возможность работы каждой пары в дуальном режиме; количество магнетронов, шт. – 4; выходная мощность, кВт - 2x12; выходной ток, А - 0.5-20; блок питания магнетронов импульсный с задаваемой частотой 0.1-40 кГц, оснащен системой стабилизации параметров и системой дугогашения; возможность работы блока в дуальном режиме и независимой работы каждого канала; диаметр инструмента, мм - от 2 до 200 мм; размеры вакуумной камеры, мм – 600 x 600 x 600.

2. Стационарная установка для измерения микротвердости HVS 1000

Производитель – Тайвань. Предназначен для измерения микротвердости в том числе и покрытий.

3. Испытательная система на растяжение термокамерой WDW-100.

Жесткость силовой рамы: 100 кН/мм, Наибольшая предельная нагрузка: 100 кН (10 тс); Тип привода: электромеханический, Точность измерения нагрузки:  $\pm 1,0\%$  (по заказу 0,5%), Диапазон измерения нагрузки: 400 Н ~ 100 кН; (0.4%-100% полной шкалы, автоматически переключаемые шкалы), 6 шкал, Разрешение нагрузки: 0,001% FS, Диапазон измерения деформации: 2 – 100%, Точность измерения деформации:  $\pm 1,0\%$ .

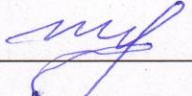
4. Калотестер CSM CAT (Модель CAT-S-AE), Производитель: CSM (Швейцария).

5. Микрокомбитестер CSM MCT Производитель: CSM (Швейцария).

6. Трибометр CSM (Модель TRB-S-CE-000). Производитель: CSM (Швейцария).



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 28.03.02 «Наноинженерия»

Рабочую программу составил К.Т.Н., доцент Жаанов А.В   
(ФИО, подпись)

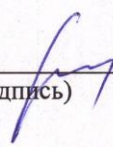
Рецензент:  
(представитель работодателя) ООО «Конструкторское бюро технологий  
машиностроения», генеральный директор



Дарсалия Р.Г.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения

Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.02 «Наноинженерия»

Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

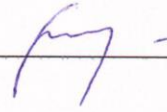
Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 29.08.2017 года

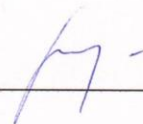
Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на 2018/2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 3.09.2018 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_