

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АТОМНО- И МОЛЕКУЛЯРНО-СЛОЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ

Кафедра физической и органической химии химического факультета

Образовательная программа

04.05.01 ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ

Профиль подготовки

Физическая химия

Уровень высшего образования

Специалитет

Форма обучения

Очная

Статус дисциплины: входит в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору

Махачкала, 2021 г.

Рабочая программа дисциплины «Атомно- и Молекулярно-слоевое осаждение» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (уровень специалитета).

от «13» июля 2017 г. № 652.

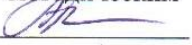
Разработчик: кафедра физической и органической химии, Абдулагатов И.М., д.т.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры физической и органической химии
от «28» 05 20 г., протокол № 9

Зав. кафедрой  проф. Абдулагатов И.М.
(подпись)

на заседании Методической комиссии _____ факультета
от «18» 06 2021 г., протокол № 10.

Председатель  доц. Гасангаджиева У.Г.
(подпись)

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим
управлением « 9 » июля 2021 г. 
(подпись)

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Атомно и молекулярно-слоевое осаждение» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, и является дисциплиной по выбору специалитета по специальности 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.

Дисциплина реализуется на химическом факультете кафедрой физической и органической химии.

Содержание дисциплины охватывает основные аспекты современных представлений о механизме формирования наноразмерных тонких пленок, взаимосвязь параметров и свойств пленок с условиями их формирования, основы технологических процессов получения тонких пленок, исследование их свойств. Подробно рассматриваются физическо-химические аспекты наиболее перспективной технологии Атомно- и молекулярно-слоевого осаждения тонких пленок.

Дисциплина нацелена на формирование следующих общепрофессиональных и профессиональных компетенций выпускника: ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции и лабораторные занятия.*

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *отчетов по лабораторным работам, контрольных работ и коллоквиумов, устный опрос, письменный опрос, тестирование* и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 3 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия в том числе						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен)
	Контактная работа обучающихся с преподавателем	из них						
Все	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации	экзамен		
8	108	20	38			50	зачет	

1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Атомно- и молекулярно-слоевое осаждение» – ознакомление студентов с физическими принципами технологий и основными этапами напыления тонких пленок, основными аспектами современных представлений о механизме формирования диспергированных наноразмерных и сплошных тонких пленок, о взаимосвязи параметров и свойств пленок с условиями их формирования, ознакомление с физическими основами технологии атомно- и молекулярно-слоевого осаждения (АСО и МСО) тонких пленок, а также развитие практических навыков по работе с современным технологическим оборудованием АСО/МСО тонких пленок и покрытий.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП специалитета

Дисциплина «Атомно и молекулярно-слоевое осаждение» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, и является дисциплиной по выбору специалитета по специальности 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.

В информационном и логическом планах дисциплина «**Атомно- и молекулярно-слоевое осаждение**» последовательно развивает дисциплину «Физическая химия», «Органическая химия», «Коллоидная химия» поэтому требует от студентов знаний из области физической, органической, коллоидной химии, умений проведения лабораторных работ, интерпретации результатов, полученных при выполнении лабораторных работ, работать с компьютером и компьютерными химическими прикладными программами. Освоение данной дисциплины необходимо для выполнения курсовых, дипломных работ и закрепления расширенных профессиональных навыков.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-6 способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе	ОПК-6.1 Грамотно составляет отчет о проделанной работе в письменной форме	Знает: требования к рабочему журналу химика; правила составления протоколов отчетов химических опытов; требования к представлению результатов исследований в виде курсовых и квалификационных работ. Умеет: представить результаты опытов и расчетных работ согласно требованиям в данной области химии; представить результаты химических исследований в соответствии с требованиями к квалификационным работам. Владеет: опытом представления результатов экспериментальных и расчетно-теоретических работ в виде протоколов испытаний, отчетов,	Устный опрос, письменный опрос

		курсовых и квалификационных работ	
	ОПК-6.2 Представляет результаты работы в виде научной публикации (тезисы доклада, статья, обзор) на русском и английском языке	Знает: требования к тезисам и научным статьям химического профиля; Умеет: составить тезисы доклада и отдельные разделы статьи на русском и английском языке Владеет: навыками представления результатов собственных научных изысканий в компьютерных сетях и информационной научно-образовательной среде	
	ОПК-6.3 Представляет результаты работы в устной форме на русском и английском языке	Знает: грамматику, орфографию и орфоэпию русского и английского языка. Умеет: представить результаты исследований в виде постера; формулировать вопросы к членам профессионального сообщества и отвечать на вопросы по теме проведенного исследования; грамотно и логично изложить результаты проделанной работы в устной форме на русском и английском языке. Владеет: свободно русским и английским языком.	
ПК-1. Способен проводить сбор, анализ и обработку литературных данных для	ПК-1.1. Собирает информацию по тематике научного проекта в выбранной области химии с использованием открытых источников информации и	Знает: Знает перечень открытых источников информации и специализированных баз данных в области аналитической химии.	Устный опрос, письменный опрос

<p>решения поставленной задачи в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p>специализированных баз данных</p>	<p>Умеет: Пользоваться электронными ресурсами и базами данных, а так же периодическими изданиями в области аналитической химии. Владеет: навыками сбора информации по тематике научного проекта в области аналитической химии с использованием открытых источников информации и специализированных баз данных, в том числе Scopus и Web of Science.</p>	
	<p>ПК-1.2. Анализирует и обрабатывает литературные данные по тематике исследования в выбранной области химии</p>	<p>Знает: знает методы систематизации и классификации литературных данных по тематике исследования в области аналитической химии. Умеет: систематизировать и классифицировать литературные данные по тематике исследования в области аналитической химии. Владеет: навыками систематизации и классификации литературных данных по тематике исследования в области аналитической химии.</p>	
<p>ПК-2. Способен планировать работу и выбирать методы решения поставленных задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с</p>	<p>ПК-2.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий.</p>	<p>Знает: методы составления планов отдельных стадий и общего плана исследования в области аналитической химии. Умеет: составлять планы отдельных стадий и общий плана исследования в области аналитической химии.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

химией науках		Владеет: навыками составляет общего плана исследования в области аналитической химии и детальными планами отдельных стадий.	
	ПК-2.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.	Знает: экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи в области аналитической химии. Умеет: выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи в области аналитической химии исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов. Владеет: навыками выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя в области аналитической химии из имеющихся материальных и временных ресурсов.	
	ПК-2.3. Планирование и проведение научно-исследовательских работ по разработке и внедрению нормативных документов по системам стандартизации, разработки и постановки продукции на производство.	Знает: методы нормативные документы по системам стандартизации, разработки и постановки продукции на производство. Умеет: планировать и проводить научно-исследовательские работы по разработке и внедрению нормативных документов по системам	Устный опрос, письменный опрос

		<p>стандартизации, разработки и постановки продукции на производство.</p> <p>Владеет: навыками планирования и проведения научно-исследовательских работ по разработке и внедрению нормативных документов по системам стандартизации, разработки и постановки продукции на производство.</p>	
<p>ПК-3. Способен проводить экспериментальные и расчетно-теоретические работы по заданной теме в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p>ПК-3.1. Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии</p>	<p>Знает: методы проведения экспериментальных исследований по заданной теме в области аналитической химии.</p> <p>Умеет: проводить экспериментальные исследования по заданной теме в области аналитической химии.</p> <p>Владеет: навыками проведения экспериментальных исследований под руководством руководителя по заданной теме в области аналитической химии.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос, сдача лабораторных работ</p>
	<p>ПК-3.2. Проводит расчетно-теоретические исследования по заданной теме в выбранной области химии</p>	<p>Знает: методы расчетно-теоретических исследований по заданной теме в области аналитической химии.</p> <p>Умеет: проводит расчетно-теоретические исследования по заданной теме в области аналитической химии.</p> <p>Владеет: необходимыми навыками качественного</p>	

		проведения расчетно-теоретических исследований по заданной теме в области аналитической химии.	
	ПК-3.3. Управляет высокотехнологичным химическим оборудованием	Знает: технические характеристики высокотехнологического аналитического оборудования. Умеет: управлять высокотехнологичным аналитическим оборудованием. Владеет: навыками управления и обслуживания высокотехнологичного аналитического оборудования.	Устный опрос, письменный опрос, сдача лабораторных работ
	ПК-3.4. Проводит испытания новых образцов продукции	Знает: методы проведения анализа новых образцов продукции. Умеет: проводить анализ новых образцов продукции. Владеет: навыками качественного и количественного анализа образцов новых реальных объектов.	
	ПК-3.5. Разрабатывает новые методики контроля сырья, прекурсоров и готовой продукции	Знает: методологию разработки новых методик контроля сырья, прекурсоров и готовой продукции. Умеет: проверять правильность новых методик контроля сырья, прекурсоров и готовой продукции. Владеет: навыками разработки новых методик контроля сырья, прекурсоров и готовой продукции и проверки их правильности.	
ПК-4. Способен	ПК-4.1. Обрабатывает	Знает: современные	Устный

<p>обрабатывать и интерпретировать результаты проведенных работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках с использованием различных методов и подходов.</p>	<p>полученные данные с использованием современных методов анализа информации.</p>	<p>методы анализа информации. Умеет: применять современные методы анализа информации для обработки полученных данных. Владеет: навыками обработки полученных результатов анализа реальных объектов с использованием современных методов анализа информации.</p>	<p>опрос, письменный опрос, сдача лабораторных работ</p>
	<p>ПК-4.2. Грамотно интерпретирует результаты исследований в выбранной области химии.</p>	<p>Знает: методы интерпретации результатов исследований в области аналитической химии. Умеет: грамотно интерпретировать результаты исследований в области аналитической химии. Владеет: навыками интерпретации и наглядного представления результатов исследований в области аналитической химии.</p>	
	<p>ПК-4.3. Анализирует результаты испытаний сырья, прекурсоров, готовой продукции; оценивает степень их соответствия нормативным документам (стандартам и технологическим регламентам).</p>	<p>Знает: стандарты и технологические регламенты сырья, прекурсоров, готовой продукции. Умеет: анализировать результаты испытаний сырья, прекурсоров, готовой продукции. Владеет: навыками статистической обработки результатов испытаний сырья, прекурсоров, готовой продукции; оценки степени их соответствия стандартам и технологическим регламентам.</p>	

<p>ПК-5. Способен проводить критический анализ полученных результатов и оценивать перспективы продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p>ПК-5.1. Критически анализирует полученные результаты исследований в выбранной области химии, выявляет достоинства и недостатки</p>	<p>Знает: методы критического анализа полученных результатов исследований в области аналитической химии, способы выявления достоинств и недостатков. Умеет: критически анализировать полученные результаты анализа реальных объектов и научных исследований в области аналитической химии. Владеет: навыками критического анализа полученных результатов анализа реальных объектов и научных исследований в области аналитической химии.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>
	<p>ПК-5.2. Готовит отдельные разделы отчетов по результатам НИР и НИОКР в выбранной области химии</p>	<p>Знает: методологию подготовки отчетов по результатам НИР и НИОКР в выбранной области химии. Умеет: готовить отдельные разделы отчетов по результатам НИР и НИОКР в области аналитической химии. Владеет: навыками подготовки отдельных разделов отчетов по результатам НИР и НИОКР в области аналитической химии.</p>	
	<p>ПК-5.3. Формулирует рекомендации по продолжению исследования в выбранной области химии.</p>	<p>Знает: способы подготовки рекомендаций по продолжению исследования в области аналитической химии. Умеет: формулировать рекомендации по продолжению</p>	

	<p>исследования в области аналитической химии. Владеет: навыками формулировки рекомендаций по продолжению исследования в области аналитической химии.</p>	
<p>ПК-5.4. Анализирует полученные результаты и формулирует предложения по оптимизации отдельных стадий технологического процесса.</p>	<p>Знает: методы анализа полученных результатов и оптимизации отдельных стадий технологического процесса. Умеет: анализировать полученные результаты и формулировать предложения по оптимизации отдельных стадий технологического процесса. Владеет: навыками анализа полученных результатов и разработки предложений по оптимизации отдельных стадий технологического процесса.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>
<p>ПК-5.5. Разрабатывает техническую документацию и регламенты</p>	<p>Знает: виды технической документации и регламентов в области аналитической химии. Умеет: разрабатывать техническую документацию и регламенты в области аналитической химии. Владеет: навыками и практическим опытом разработки технической документации и регламентов в области аналитической химии.</p>	

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Се- мес- тр	Недел- я семес- тра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Сам ост- оате- льн- ая раб.	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Ле- к.	Пр- акт зан- .	Л- аб- за- н	К- о- нт- р- и- са- м- ра- б		
Модуль 1. Физико-химические основы тонких пленок									
1	Тема 1. Тонкие пленки: определение, основные параметры, стадии процесса роста, механизмы роста.	8		2				4	Устный опрос.
2	Тема 2 Физические методы осаждения тонких пленок.	8		2		4		4	Устный опрос.
3	Тема 3 Химические методы осаждения тонких пленок.	8		2		4		5	Устный опрос.
4	Тема 4. Свойства тонких пленок. Методы изучения свойств наноматериалов.	8		4		5			Устный опрос. Коллоквиум
	<i>Итого по модулю 1:</i>		36	10		13		13	Коллоквиум
Модуль 2. Методы Атомно-слоевого осаждения									
5	Тема 5. Основные технические характеристики методов атомно- и молекулярно- слоевого осаждения (АСО, МСО) тонких пленок	8		2		4		6	Устный опрос,
6	Тема 6. Атомно	8		2		4		5	Устный опрос

	слоевое осаждение тонких пленок диоксида титана и оксида алюминия.								
7	Тема 7. Теоретические модели атомно-слоевого осаждения.	8		2		5		6	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 2:</i>		36	6		13		17	Коллоквиум
Модуль3. Методы молекулярно- слоевого осаждения									
8	Тема 8. Основные технические характеристики методов молекулярно-слоевого осаждения (МСО) тонких пленок	8		2		6		10	Устный опрос
9	Тема 9. Молекулярно слоевое осаждение органо-неорганических тонких пленок.	8		2		6		10	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 3:</i> ВСЕГО		36 108	4 20		12 38		20 50	Коллоквиум зачет

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1. Физико-химические основы тонких пленок.

Тема 1. Тонкие пленки: определение, основные параметры, стадии процесса роста, механизмы роста. Основные понятия и определения. Классификация пленок в зависимости от природы материала: металлические, полупроводниковые, керамические, полимерные, композиционные (однослойные, многослойные, комбинированные). Основные параметры пленок. Этапы и четыре стадии формирования пленки. Подложки, основные материалы подложек. Требования, предъявляемые к подложкам. Потенциальные кривые физической и химической адсорбции. Хемосорбция, десорбция и миграция. Образование дефектов в процессе роста пленок. Классификация дефектов. Методы формирования тонких пленок: физические и химические способы. Влияние вакуума на рост пленок.

Тема 2. Физические методы осаждения тонких пленок. Методы физического осаждения из газовой фазы (PVD). Методы, основанные на испарении мишени: Резистивное термическое испарение (Resistive Thermal Evaporation), Индукционное испарение (High Frequency Induction Spraying), Электронно-лучевое испарение (Electron Beam Physical Vapor Deposition), Электродуговое испарение (Cathodic Arc Deposition), Лазерное испарение (Pulsed Laser Deposition). Методы, основанные на распылении мишени: Ионно-лучевое распыление (Ion Beam Sputtering, IBS), Катодное распыление (Cathode Sputtering), Магнетронное распыление (Magnetron Sputtering). Преимущества и недостатки PVD

Тема 3. Химические методы осаждения тонких пленок. Газофазные методы осаждения пленок (Chemical Vapor Deposition, CVD). Принципы метода CVD. CVD процессы, протекающие при атмосферном давлении (Atmospheric Pressure CVD), при давлении, ниже атмосферного (Low-Pressure CVD) и в высоком или сверхвысоком вакууме (10^{-6} Па и ниже) (Ultrahigh Vacuum CVD). Осаждение пленок из жидких растворов прекурсоров (Liquid Phase Deposition (LPD)). Растворы и их классификация. Метод Золь-Гель. Метод центрифугирования. Осаждение пленок из истинных растворов. Преимущества и недостатки CVD.

Тема 4. Свойства тонких пленок. Методы изучения свойств наноматериалов. Формирование наноматериалов по механизму “снизу-вверх”, “сверху-вниз”. Свойства пленок. Адгезия, толщина, площадь поверхности, шероховатость, пористость пленок. Основные характеристики качества пленки. Адсорбция газа на поверхности твердого тела. Механические свойства: прочность, пластичность, внутренние напряжения, микротвердость, антифрикционные свойства. Коррозионная устойчивость и защитные свойства пленок. Влияние химической природы вещества, фазового состава и микроструктуры пленок на их свойства. Электрические свойства тонких пленок. Измерение толщины пленок. Устройства по контролю роста пленок. Определение элементного состава. Определение фазового состава. Методы изучения поверхности. Применение тонкопленочных материалов.

Модуль 2. Методы Атомно-слоевого осаждения.

Тема 5. Основные технические характеристики методов атомно-слоевого осаждения (АСО) тонких пленок. Основы процессов АСО. Исследованные материалы. Требования к самоограничивающимся реакциям. Кинетика адсорбции. Механизм хемосорбции. Факторы, вызывающие насыщение. Рост менее одного монослоя за цикл. Влияние температуры на прирост за один цикл. Зависимость прироста вещества за один цикл от количества циклов. Способы роста пленки. Влияние условий эксперимента на химию поверхностных реакций. Преимущества и недостатки методов АСО. Требования к прекурсорам.

Тема 6. Атомно-слоевое осаждение тонких пленок диоксида титана и оксида алюминия. Реагенты для атомно-слоевого осаждения диоксида титана и оксида алюминия. Параметры процесса. Определение прироста толщины пленки за реакционный цикл. Элементный и химический состав формируемых пленок. Фурье-ИК спектроскопический и рентгено-дифракционный анализ структуры диоксида титана и оксида алюминия, формируемого методом атомно-слоевого осаждения. Расчет прироста толщины диоксида титана и оксида алюминия за один экспериментальный цикл. Применение модели плотной упаковки лигандов для расчета прироста толщины оксида алюминия за один экспериментальный цикл.

Тема 7. Теоретические модели атомно-слоевого осаждения.

Модель плотной упаковки исходных молекул. Модель с учетом длин и углов связей молекул реагентов. Модель по числу и размерам лигандов (модель плотной упаковки лигандов). Уравнение баланса на основе закона сохранения массы для процесса атомно-слоевого осаждения. Расчет максимально возможной плотной упаковки лигандов на поверхности подложки. Прирост слоя за один реакционный цикл.

Модуль 3. Методы молекулярно-слоевого осаждения.

Тема 8. Основные технические характеристики методов молекулярно-слоевого осаждения (МСО) тонких пленок. Основы процессов МСО. Исследованные материалы. Кинетика адсорбции. Механизм хемосорбции. Факторы, вызывающие

насыщение. Рост менее одного монослоя за цикл. Влияние температуры на прирост за один цикл. Зависимость прироста вещества за один цикл от количества циклов. Способы роста пленки. Влияние условий эксперимента на химию поверхностных реакций. Преимущества и недостатки методов МСО. Требования к прекурсорам.

Тема 9. Молекулярно слоиое осаждение органо-неорганических тонких пленок. Получение алкоксидных V-Ti, Al-Ti и V-Al гибридных пленок методами МСО: реагенты для осаждения, механизмы поверхностных реакций. Получение пористой структуры. Потенциальные области применения функциональных пористых пленок. Анализ данных мониторинга роста пленок методом кварцевого пьезоэлектрического микровзвешивания (КПМ), рентгеновской рефлектометрии (XRR), рентгенодифракционного анализа (XRD)

и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS). Вывод о реальном механизме осаждения пленок на основе данных КПМ и XPS.

Лабораторные работы

№№ и названия разделов и тем	Цель и содержание лабораторной работы	Результаты лабораторной работы
Лабораторная работа №1. Вакуумная установка атомно- и молекулярно- слоиоего осаждения тонких пленок: основные узлы и принцип работы (5 ч).		
Модуль 1. Физико-химические основы нанопленочных покрытий	Изучение принципов функционирования вакуумной установки атомно- и молекулярно- слоиоего осаждения.	Освоение принципа работы АСО/МСО вакуумного оборудования.
Лабораторная работа №2. Исследование шероховатости поверхности с помощью атомно силового микроскопа (АСМ) (5 ч).		
Модуль 1. Физико-химические основы нанопленочных покрытий	Получить представление о шероховатости различных видов подложек до и после нанесения пленок различной толщины и состава.	Анализ полученных значений шероховатости пленок различной толщины и состава.
Лабораторная работа №3. Атомно слоиое осаждение тонких пленок диоксида титана (5 ч).		
Модуль 2. Методы атомно- слоиоего осаждения тонких пленок	-Разработать и заполнить в управляющем компьютере установки АСО технологический маршрут осаждения диоксида титана -Провести эксперимент по АСО TiO ₂ при температуре подложки 180°C, количество циклов – 100. -По результатам определения толщины сформированной пленки диоксида титана определить прирост толщины слоя за цикл.	Получить пленки TiO ₂ на различных подложках. Анализ полученных пленок на ИК-Фурье спектрометре. Определить прирост толщины слоя диоксида титана за цикл.
Лабораторная работа №4. Атомно слоиое осаждение тонких пленок оксида алюминия (5 ч)		

Модуль 3. Методы молекулярно-слоевого осаждения тонких пленок	Разработать и заполнить в управляющем компьютере установки МСО технологический маршрут осаждения оксида алюминия По результатам определения толщины сформированной пленки оксида алюминия определить прирост толщины слоя за цикл.	Получить пленки Al_2O_3 на различных подложках. Анализ полученных пленок на ИК-Фурье спектрометре. Определить прирост толщины слоя оксида алюминия за цикл.
---	---	---

5. Образовательные технологии

В ходе освоения дисциплины предусматривается применение следующих активных методов обучения:

- Семинары с разбором практических задач;
- Отчетные занятия по разделам «Физико-химические основы нанопленочных покрытий», «Методы атомно-слоевого осаждения тонких пленок», «Методы молекулярно-слоевого осаждения тонких пленок»
- Выполнение студентами индивидуальной исследовательской работы по анализу реальных образцов.
- Подготовка студентами презентаций (15-20 мин.) по темам практического применения функциональных тонких пленок.
- Круглый стол.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

6.1. Виды и порядок выполнения самостоятельной работы

1. Изучение рекомендованной литературы.
2. Подготовка реферата, презентации и доклада.
3. Подготовка к коллоквиуму.
4. Подготовка к зачету.

№	Вид самостоятельной работы	Вид контроля	Учебно-методич. обеспечение
1.	Изучение рекомендованной литературы.	Устный опрос по разделам дисциплины.	См. разделы 7.1, 8, 9 данного документа.
2.	Подготовка реферата (до 10-15 страниц), презентации и доклада (25-30 минут)	Прием реферата, презентации, доклада и оценка качества их исполнения на мини конференции.	См. разделы 6.2 и 6.3, 8, 9 данного документа.
3.	Подготовка к коллоквиуму	Промежуточная аттестация в форме контрольной работы.	См. разделы 7.1, 8, 9 данного документа.
4.	Подготовка к зачету.	Устный опрос, либо компьютерное тестирование.	См. разделы 7.1, 8, 9 данного документа.

Текущий контроль успеваемости осуществляется непрерывно, на протяжении всего курса. Прежде всего, это устный опрос по ходу практических занятий, выполняемый для оперативной активизации внимания студентов и оценки их уровня восприятия. Для текущего контроля используется и такой вид самостоятельной работы как подготовка рефератов, содержание которых будет представлено публично на практическом занятии и сопровождается презентацией. Выбор темы реферата согласуется с лектором.

Промежуточный контроль проводится в форме контрольной работы, в которой содержатся теоретические вопросы.

Итоговый контроль проводится либо в виде устного экзамена, либо в форме тестирования.

Оценка “отлично” ставится за уверенное владение материалом курса.

Оценка “хорошо” ставится при полном выполнении требований к прохождению курса и умении ориентироваться в изученном материале.

Оценка “удовлетворительно” ставится при достаточном выполнении требований к прохождению курса и владении конкретными знаниями по программе курса.

Оценка “неудовлетворительно” ставится, если требования к прохождению курса не выполнены и студент не может показать владение материалом.

6.2 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Тематика рефератов ежегодно подвергается пересмотру и обновлению соответственно появлению новых средств и методов работы с информацией. Предлагается следующий список рефератов, который может быть расширен и уточнен при обсуждении и конкретизации со студентами.

6.3. Примерные темы рефератов

1. Применение АСО и МСО в технологии современной микроэлектроники.
2. Сравнение методов АСО и МСО с другими методами получения тонких пленок.
3. Механизмы хемосорбционных поверхностных реакций: обмен лигандами, диссоциация, ассоциация.
4. Принцип самоконтролируемости процесса АСО/МСО.
5. Реализация реакций в хемосорбционных слоях – основа высокого качества тонких пленок, формируемых методом АСО.
6. Теоретические модели процесса АСО тонких пленок.
7. Устройства по контролю роста пленок.
8. Электронно-микроскопические методы исследования тонких пленок.
9. Преимущества и недостатки методов физического осаждения из газовой фазы.
10. Преимущества и недостатки методов химического осаждения из газовой фазы.
11. Сходства и различия между методами измерения толщины пленок с помощью СЗМ и профилометра.
12. Обзор наиболее применяемых исходных реагентов в процессах АСО и МСО. Основные требования к реагентам.
13. Оборудование для АСО и МСО тонких пленок.
14. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Типовые контрольные задания.

Формы контроля и критерии оценок

Формы контроля: текущий контроль (систематический учет знаний и активность студентов на занятиях), промежуточный контроль по модулю (рубежная контрольная работа по пройденному блоку тем) и итоговой контроль (экзамен). Текущий контроль осуществляется в виде устного опроса, тестирования, проведения коллоквиума, обсуждения реферата, проверки домашнего задания.

Оценка текущего контроля включает 70 баллов:

- активность на семинарском занятии (10 баллов);
- допуск к выполнению лабораторных работ (10 баллов);
- выполнение и сдача лабораторных работ (20 баллов);
- выполнение контрольной работы (с включением задач) – 20 баллов.

Промежуточный контроль (в виде контрольной работы или коллоквиума) оценивается в 30 баллов.

Итоговый контроль (100 баллов) проводится в виде устного собеседования, содержащего вопросы по всем разделам курса “Атомно- и молекулярно-слоевое осаждение”. Среднее число баллов по всем модулям, которое дает право получения положительной оценки без итогового контроля знаний – 51 и выше.

Вопросы по текущему контролю

Раздел 1. Физико-химические основы нанопленочных покрытий

1. Классификация пленок в зависимости от природы материала: металлические, полупроводниковые, керамические, полимерные, композиционные (однослойные, многослойные, комбинированные).
2. Этапы и четыре стадии формирования пленки.
3. Потенциальные кривые физической и химической адсорбции.
4. Хемосорбция, десорбция и миграция.
5. Дефекты пленок: определение и классификация. Образование дефектов в процессе роста пленок.
6. Принципы метода физического осаждения из газовой фазы.
7. Методы физического осаждения из газовой фазы, основанные на испарении мишени.
8. Методы физического осаждения из газовой фазы, основанные на распылении мишени.
9. Принципы метода химического осаждения из газовой фазы.
10. Процессы химического осаждения из газовой фазы при атмосферном давлении, при давлении, ниже атмосферного и в высоком или сверхвысоком вакууме.
11. Метод Золь-Гель.
12. Метод центрифугирования.
13. Формирование наноматериалов по механизму <<снизу-вверх>> и “сверху-вниз”.
14. Основные свойства тонких пленок.

Раздел 2. Методы Атомно-слоевого осаждения тонких пленок

1. Основы процессов АСО.
2. Требования к самоограничивающимся реакциям.
3. Механизм хемосорбции.
4. Зависимость прироста вещества за один цикл от количества циклов.
5. Преимущества и недостатки методов АСО. Требования к прекурсорам.
6. Расчет прироста толщины пленки за один экспериментальный цикл на примере диоксида титана и оксида алюминия.

7. Применение модели плотной упаковки лигандов для расчета прироста толщины оксида алюминия за один экспериментальный цикл.
8. Получение алкоксидных V-Ti, Al-Ti и V-Al гибридных пленок методами АСО: реагенты для осаждения, механизмы поверхностных реакций.
9. Способы получения пористой структуры.
10. Модель плотной упаковки исходных молекул.
11. Уравнение баланса на основе закона сохранения массы для процесса атомно-слоевого осаждения.

Раздел 3. Методы молекулярно-слоевого осаждения тонких пленок

1. Основы процессов МСО.
2. Требования к самоограничивающимся реакциям.
3. Механизм хемосорбции.
4. Зависимость прироста вещества за один цикл от количества циклов.
5. Преимущества и недостатки методов МСО. Требования к прекурсорам.
6. Получение алкоксидных V-Ti, Al-Ti и V-Al гибридных пленок методом МСО: реагенты для осаждения, механизмы поверхностных реакций.
9. Способы получения пористой структуры.
10. Модель плотной упаковки исходных молекул.
11. Уравнение баланса на основе закона сохранения массы для процесса атомно-слоевого осаждения.

Контрольные вопросы к итоговому контролю

1. Классификация пленок в зависимости от природы материала: металлические, полупроводниковые, керамические, полимерные, композиционные (однослойные, многослойные, комбинированные).
2. Этапы и четыре стадии формирования пленки.
3. Подложки, основные материалы подложек. Требования, предъявляемые к подложкам.
4. Потенциальные кривые физической и химической адсорбции.
5. Хемосорбция, десорбция и миграция.
6. Дефекты пленок: определение и классификация. Образование дефектов в процессе роста пленок.
7. Принципы метода физического осаждения из газовой фазы.
8. Методы физического осаждения из газовой фазы, основанные на испарении мишени.
9. Методы физического осаждения из газовой фазы, основанные на распылении мишени.
10. Преимущества и недостатки метода физического осаждения из газовой фазы.
11. Принципы метода химического осаждения из газовой фазы.
12. Процессы химического осаждения из газовой фазы при атмосферном давлении, при давлении, ниже атмосферного и в высоком или сверхвысоком вакууме.
13. Метод Золь-Гель.
14. Метод центрифугирования.
15. Преимущества и недостатки метода химического осаждения из газовой фазы.
16. Формирование наноматериалов по механизму <<снизу-вверх>> и <<сверху-вниз>>.
17. Основные свойства тонких пленок.
18. Применение тонкопленочных материалов.
19. Основы процессов АСО, МСО.
20. Требования к самоограничивающимся реакциям.
21. Механизм хемосорбции.
22. Зависимость прироста вещества за один цикл от количества циклов.
23. Влияние условий эксперимента на химию поверхностных реакций.

24. Преимущества и недостатки методов АСО, МСО. Требования к прекурсорам.
25. Реагенты для атомно-слоевого осаждения диоксида титана и оксида алюминия.
26. Параметры процесса. Определение прироста толщины пленки за реакционный цикл.
27. Расчет прироста толщины пленки за один экспериментальный цикл на примере диоксида титана и оксида алюминия.
28. Применение модели плотной упаковки лигандов для расчета прироста толщины оксида алюминия за один экспериментальный цикл.
29. Получение алкоксидных V-Ti, Al-Ti и V-Al гибридных пленок методами АСО и МСО: реагенты для осаждения, механизмы поверхностных реакций.
30. Способы получения пористой структуры. Потенциальные области применения функциональных пористых пленок.
31. Модель плотной упаковки исходных молекул. Модель с учетом длин и углов связей молекул реагентов.
32. Уравнение баланса на основе закона сохранения массы для процесса атомно-слоевого осаждения.
33. Расчет максимально возможной плотной упаковки лигандов на поверхности подложки.
34. Данные рентгеновской рефлектометрии (XRR), рентгенодифракционного анализа (XRD) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) для анализа тонких пленок.
35. Мониторинга роста пленок методом кварцевого пьезоэлектрического микровзвешивания (КПМ).

7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 70% и промежуточного контроля - 30%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- выполнение практических заданий – 25 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 25 баллов.
- устный опрос - 10 баллов,

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- письменная контрольная работа - 30 баллов.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Ипполитов Е. Г. Физическая химия - М.: Academia, 2005. – 447 с
2. Артамонова, О. В. Химия твердого тела: учебное пособие / О. В. Артамонова. - Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 168 с. - ISBN 978-5-89040-529-6. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/55066.html> (дата обращения: 14.02.2020)
3. Ковалев, И. Н. Физические методы в химии твердого тела: учебно-методическое пособие / И. Н. Ковалев, Е. А. Белая, В. В. Викторов. - Челябинск: Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2017. - 148 с. - ISBN 978-5-906908-59-9. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/83884.html> (дата обращения: 14.02.2020)

б) дополнительная литература:

1. Сарина М. П. Физика твердого тела: учебное пособие / М. П. Сарина. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-3319-5. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/91466.html> (дата обращения: 14.02.2020)

2. Плотников, П. Г. Актуальные темы физики твёрдого тела: учебное пособие / П. Г. Плотников, Л. В. Плотникова. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. - 106 с. - ISBN 2227-8397. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/68641.html> (дата обращения: 14.02.2020)

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

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1999. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 21.10.2019). – Яз. рус., англ.
2. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>, свободный (дата обращения: 21.10.2019)
3. ЭБС iprbook.ru [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31168.html> (дата обращения: 21.10.2019).

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Методические указания студентам должны раскрывать рекомендуемый режим и характер учебной работы по изучению теоретического курса (или его раздела/части), практических и/или семинарских занятий, лабораторных работ (практикумов), и практическому применению изученного материала, по выполнению заданий для самостоятельной работы, по использованию информационных технологий и т.д. Методические указания должны мотивировать студента к самостоятельной работе и не подменять учебную литературу.

Указывается **перечень** учебно-методических изданий, рекомендуемых студентам для подготовки к занятиям и выполнения самостоятельной работы, а также методические материалы на бумажных и/или электронных носителях, выпущенные кафедрой своими силами и предоставляемые студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- гlossарий (словарь терминов по тематике дисциплины);
- тезисы лекций,
- раздаточный материал и др.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом в объеме не менее 50-70% общего количества часов, должна соответствовать более глубокому усвоению изучаемого курса, формировать навыки исследовательской работы и ориентировать студентов на умение применять теоретические знания на практике.

Задания для самостоятельной работы составляются по разделам и темам, по которым не предусмотрены аудиторские занятия, либо требуется дополнительно проработать и проанализировать рассматриваемый преподавателем материал в объеме запланированных часов.

Задания по самостоятельной работе могут быть оформлены в виде таблицы с указанием конкретного вида самостоятельной работы:

- конспектирование первоисточников и другой учебной литературы;

-проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях, к участию в тематических дискуссиях и деловых играх;

-работа с нормативными документами и законодательной базой; -поиск и обзор научных публикаций и электронных источников информации, подготовка заключения по обзору;

-выполнение контрольных работ, творческих (проектных) заданий, курсовых работ (проектов);

-решение задач, упражнений;

-написание рефератов (эссе);

-работа с тестами и вопросами для самопроверки;

-выполнение переводов на иностранные языки/с иностранных языков;

-моделирование и/или анализ конкретных проблемных ситуаций ситуации;

-обработка статистических данных, нормативных материалов;

-анализ статистических и фактических материалов, составление выводов на основе проведенного анализа и т.д.

Самостоятельная работа должна носить систематический характер, быть интересной и привлекательной для студента.

Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине “Физико-химические основы тонких пленок. Методы Атомно- и Молекулярно- слоевого осаждения”:

- Компьютеры, проекторы и интерактивная доска.
- Программы пакета Microsoft Office
- Программа Origin
- Программа HSC 5.1
- Программа ChemDraw Ultra 7.0

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

В соответствии с требованиями ФГОС кафедра имеет специально оборудованную учебную аудиторию для проведения лекционных и семинарских занятий по потокам студентов. Помещение для лекционных занятий укомплектовано техническими средствами обучения (экран настенный с электроприводом и дистанционным управлением, мультимедиа проектор с ноутбуком).

Обеспечение дисциплины осуществляется кафедрой физической и органической химии химического факультета и включает в себя приборы для физико-химического анализа (спектрофотометрия, кондуктометрия, газо-жидкостная хроматография и пр., вычислительная техника, химическое программное обеспечение.