

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 11:02:41
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г. Балашов

«01» июля 2024 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Низкотемпературные методы синтеза наноструктурированных материалов»

Направление подготовки - 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Направленность (профиль) - «Технологии материалов микроэлектроники»

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенции ОП	Компетенции/ подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Индикаторы достижения компетенций/ подкомпетенций
ОПК-5 Способен решать научно-исследовательские задачи при осуществлении профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств	ОПК-5.НМСНМ Способен определять перечень ресурсов и программного обеспечения для проектирования процессов получения и модификации наноструктурированных материалов	Знания: ресурсов и программного обеспечения для моделирования и анализа процессов получения и модификации наноструктурированных материалов Умения: находить данные для моделирования процессов получения и модификации нано-структурированных материалов и работать в соответствующих приложениях Опыт деятельности: выбор и использование необходимых ресурсов и программного обеспечения для проектирования процессов получения и модификации наноструктурированных материалов

Компетенция **ПК-1** «Способен разрабатывать и обосновывать модернизацию технологических линий, процессов измерений параметров и модификации свойств» сформулирована на основе профессионального стандарта 40.104 Профессиональный стандарт «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Обобщенная трудовая функция 40.104 С [6] Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Трудовая функция 40.104 С/02.6 Модернизация существующих и внедрение новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.НМСНМ Способен осуществлять формирование микро- и наноматериалов и модификацию поверхности материалов с	<i>научно – исследовательский тип задач:</i> - Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур - Лабораторно-	Знания: основных типов электрохимических процессов, основных параметров электрохимических процессов, основных факторов, влияющих на качество обработки поверхности низкотемпературными

использованием электрохимических процессов	аналитическое сопровождение разработки наноструктурированных композиционных материалов	химическими методами, классификации областей на диаграмме Пурбе, методики получения конформных покрытий низкотемпературными химическими методами; Умения: расчета параметров электрохимических процессов обработки поверхности; Опыт деятельности: подготовка проведения технологических операций получения, модификации наноматериалов и структур на их основе
--	--	---

Компетенция ПК-2 «Способен организовывать и аналитически сопровождать выполнения научно-исследовательских работ по закреплённой тематике» сформулирована на основе профессионального стандарта 26.006 «Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов»

Обобщенная трудовая функция - А [6] Лабораторно-аналитическое сопровождение разработки наноструктурированных композиционных материалов

Трудовая функция - А/03.6 Подбор технологических параметров процесса для производства наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.НМСНМ Способен осуществлять выбор низкотемпературных методов для производства и обработки покрытий и материалов	<i>научно – исследовательский тип задач:</i> - Организация выполнения научно-исследовательских работ по закреплённой тематике - Лабораторно-аналитическое сопровождение разработки наноструктурированных композиционных материалов	Знания: низкотемпературных методов получения наноструктурированных материалов, их технологических параметров Умения: определение по имеющимся теоретическим данным допустимых диапазонов технологических параметров для получения заданных наноструктурированных материалов Опыт деятельности: проведение измерений параметров наноматериалов и структур электронной техники

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, приобретенных студентами при изучении дисциплин: «Химия», «Физика», «Физическая химия», «Физико-химические основы технологии интегральных микро- и наноструктур», «Общее материаловедение». Является предшествующей для прохождения практики и выполнения выпускной работы.

Входные требования к дисциплине: знание основных типов материалов и их свойств; содержания основных законов химии, химических и физико-химических свойств различных систем и веществ; принципов, лежащих в основе технологических процессов; умение выделять основные параметры технологического процесса; навыки проведения термодинамических расчетов и анализа свойств материалов.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4	7	3	108	16	16	16	60	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1. Общие представления об электрохимических процессах	4	8	8	14	Контрольная работа 1
					Рубежное тестирование
					Защита лабораторных работ 1 и 2
					Контроль выполнения роль БДЗ (Модуль 1)
2. Процессы электрохимического удаления и окисления	6	4	4	17	Контрольная работа 2
					Защита лабораторной работы 3
					Контроль выполнения БДЗ (Модуль 2)

3. Процессы формирования тонких пленок	4	2	4	21	Контрольная работа 3
					Защита лабораторной работы 4
					Контроль выполнения БДЗ (Модуль 3)
4. Примеры реализации приборных структур.	2	2	-	8	Контрольная работа 4
					Контроль выполнения БДЗ (задания по контролю всех модулей)

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Предмет электрохимии. Основные понятия и определения. Электролитическая диссоциация. Электрическая проводимость растворов электролитов. Механизм образования ЭДС и природа электродного потенциала
	2	2	Двойной электрический слой вблизи поверхности металлического электрода и его строение. Термодинамическое выражение для равновесного электродного потенциала. Полупроводниковые электроды в электрохимических процессах.
2	3	2	Процессы анодного растворения в технологии микро- и наноструктур. Анодное растворение полупроводников
	4	2	Анодное растворение в технологии кремниевых микро- и наноструктур. Квантово-размерные эффекты в пористом кремнии
	5	2	Закономерности образования барьерных анодных оксидов на поверхности металлов и полупроводников. Закономерности образования пористых анодных оксидов
3	6	2	Катодное осаждение в технологии микро- и наноструктур. Катодное осаждение сплавов в технологии соединения элементов микросистем. Матричное (темплатное) осаждение нитевидных нанокристаллов
	7	2	Химические методы получения наноструктурированных материалов: золь-гель синтез, атомно-слоевое осаждение из растворов (SILAR)
4	8	2	Применение электрохимической обработки материалов в технологии УБИС, МЭМС и нанотехнологиях

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Электролитическая диссоциация.
	2	2	Расчет константы равновесия. Закон Фарадея.
	3-4	4	Термодинамическое выражение для равновесного электродного потенциала. Расчет ЭДС электрохимических цепей. Контрольная работа
2	5	2	Расчет электрофизических параметров процесса анодного растворения кремния
	6	2	Расчет диаграмм Пурбе для однокомпонентных систем.
3	7	2	Расчет диаграмм Пурбе для многокомпонентных систем
4	8	2	Использование диаграмм Пурбе для электрохимической обработки материалов в технологии УБИС, МЭМС и нанотехнологиях

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	4	Измерение концентрационной зависимости электропроводности электролитов
	2	4	Изучение кинетики процессов анодного окисления титана.
2	3	4	Формирование наноструктурированных слоев кремния методом жидкостного травления с использованием серебра как катализатора
3	4	4	Исследование процесса электрохимического формирования металлических пленок и нанобъектов.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1-3	8	Подготовка к лабораторным работам
	6	Выполнение домашних заданий по темам практических занятий
	4	Подготовка к прохождению рубежного контроля
	4	Подготовка к контрольным работам

	8	Подготовка к защите лабораторных работ
1-4	8	Изучение теоретического материала (в объеме лекций и дополнительных материалов)
	18	Выполнение большого домашнего задания (БДЗ)
	4	Подготовка к зачету

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Все учебно-методические материалы для подготовки к практическим занятиям и выполнению БДЗ представлены в составе УМК дисциплины в соответствующих модулях в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>. Подробные рекомендации по подготовке студентов к каждому занятию и контрольному мероприятию с указанием прямых ссылок на методические материалы даны в Методических указаниях студентам.

Модуль 1 «Общие представления об электрохимических процессах»

✓ Материалы для выполнения домашнего задания по теме практических занятий, для подготовки к контрольной работе 1, для изучения теории в рамках подготовки к выполнению и защита лабораторных работ 1 и 2, материалы для самостоятельного изучения теоретического материала (в объеме лекций и дополнительных материалов)

Модуль 2 «Процессы электрохимического удаления и окисления»

✓ Материалы для выполнения домашнего задания практических занятий, для подготовки к контрольной работе 2, материалы для изучения теории в рамках подготовки к выполнению и защите лабораторной работы 3, материалы для самостоятельного изучения теоретического материала (в объеме лекций и дополнительных материалов)

Модуль 3 «Процессы формирования тонких пленок»

✓ Материалы для выполнения домашнего задания практических занятий, для подготовки к контрольной работе 2, материалы для изучения теории в рамках подготовки к выполнению и защите лабораторной работы 4, материалы для самостоятельного изучения теоретического материала (в объеме лекций и дополнительных материалов)

Модуль 4 «Примеры реализации приборных структур»

✓ Материалы для подготовки к контрольной работе 2, методические указания по выполнению БДЗ, методические указания по подготовке к зачету

✓

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Гаврилов С.А.. Электрохимические процессы в технологии микроэлектроники и нанoeлектроники [Текст] : Учеб. пособие / С. А. Гаврилов, А. Н. Белов. - М.: Высшее образование, 2009. - 257 с.
2. Пасынков В.В. Материалы электронной техники [Текст] / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1986. - 367 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. База данных «Термодинамические константы веществ» (химического факультета МГУ): сайт. – Москва, 1999-2020. – URL: <http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html/welcome.html> (дата обращения: 10.12.2024).
2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 11.12.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики: сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.11.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
4. База American Chemical Society (ACS): Некоммерческое научное издательство. – Американское химическое общество, 2021. – URL: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 11.11.2024). – Режим доступа: свободный.
5. Электронная версия базы данных ECS издательства Electrochemical Society: Научное издательство IOP Publishing, 2021. – URL: <http://ecsd.org/> (дата обращения: 20.11.2024). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение (основано на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий формами и видами взаимодействия в электронной образовательной среде).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОС «Домашние задания», сервис для управления проектами в режиме онлайн <https://trello.com/>, электронная почта.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы**: электронные презентации, фотогалереи и видеоролики лекций и мастер-классов по использованию оборудования для выполнения лабораторных работ; по выполнению расчетных заданий; контрольные тестирования в MOODLe.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория №4136 «Лаборатория Микроскопии»	Технические средства обучения: Проектор Epson EB-G5600, мультимедийный комплекс, компьютеры, принтеры	ОС Microsoft Windows MS Office
Учебная аудитория № 4315 «Лаборатория технологии наноматериалов»	Автоматизированный комплекс нанесения материалов атомно-слоевым осаждением KSV Dip Coater Потенциостат-гальваностат AUTOLAB PGSTAT302 Электрохимический комплекс НАНО-ХТ-1 Комплект оборудования для электрохимического формирования наноматериалов AMMT GmbH Germany весы OXAUSModelPA 214 C симулятор солнечного излучения NEWPORT 67005 с источником тока NEWPORT 69907 источник тока KEITHLEY 2450 потенциостат-гальваностатElinsP-45X термостат жидкостной LaudamodelAlpha Компьютер с ПО и возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows MS Office браузер Программное обеспечение HSC CHEMISTRY - Chemical Reaction and Equilibrium Thermo – для расчета электрохимических равновесий и моделирования различных процессов в области физической химии
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows 7 MS Office 2007/2010, Internet Explorer/Chrome

10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции ОПК-5.НМСНМ Способен определять перечень ресурсов и программного обеспечения для проектирования процессов получения и модификации наноструктурированных материалов
2. ФОС по подкомпетенции ПК-1.НМСНМ Способен осуществлять формирование микро и наноматериалов и модификацию поверхности материалов с использованием электрохимических процессов

3. ФОС по подкомпетенции ПК-2.НМСНМ Способен осуществлять выбор низкотемпературных методов для производства и обработки покрытий и материалов

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Модуль 1 «Общие представления об электрохимических процессах» является базовым для всех последующих. Порядок освоения модулей 2 «Процессы электрохимического удаления и окисления» и 3 «Процессы катодного формирования тонких пленок и наноструктур» может быть произвольным, но после модуля 1. Заключительным модулем является модуль 4 «Примеры реализации приборных структур». При изучении модуля 4 закрепляются знания, полученные в предыдущих модулях.

Подобная последовательность обусловлена тем, что данная последовательность имеет логику изложения: каждый следующий раздел для достижения понимания использует базисные знания предыдущих разделов.

Базовым является первый раздел, посвященный изучению основ и закономерностей электрохимических процессов, что требует увеличить аудиторное время, выделяемое на освоение данного раздела.

Необходимо уделить особое внимание изучению тем:

- Электролитическая диссоциация.
- Механизм образования ЭДС и природа электродного потенциала.
- Основные принципы кинетики электродных процессов

Самостоятельная работа студентов направлена на предварительную подготовку к практическим занятиям: подготовка к лабораторным работам и проработка теоретического материала для семинарских занятий, выполнению большого домашнего задания.

Большое домашнее задание содержит 2 части: решения типовых задач и расчет, и построение диаграмм Пурбе для заданного материала по вариантам. Расчетная часть должна содержать уравнения химических реакций, протекающих в системе, вывод уравнений Нернста, построение диаграммы Пурбе, определение характерных областей на диаграмме для заданного материала, и формулировку и аргументацию выбора режимов для создания наноструктур и пленок заданного материала электрохимическими методами. Выполнение расчетной части осуществляется в ходе выполнения домашних заданий практических занятий 6-8. Контрольные рубежи по сдаче БДЗ: 8-ая неделя (1 часть), и 15-ая неделя семестра (2 часть).

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных консультаций и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ и электронной почты.

Зачет проходит в форме выполнения заданий для промежуточной аттестации.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

По завершению изучения дисциплины предусмотрен зачёт с оценкой. Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 71 балл), активность в семестре (в сумме 19 баллов) и сдача зачета (10 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>

Получение баллов по всем контрольным мероприятиям в течение семестра обязательно.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

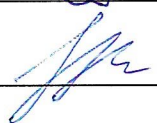
Разработчики:

Доцент Института ПМТ, к.т.н.



А.А.Дронов

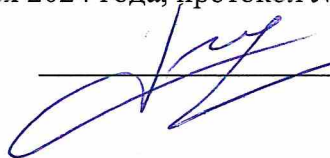
Ст. преподаватель Института ПМТ



Ю.В.Назаркина

Рабочая программа дисциплины «Низкотемпературные методы синтеза наноструктурированных материалов» по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», направленности (профилю) «Технологии материалов микроэлектроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института 19 декабря 2024 года, протокол № 16

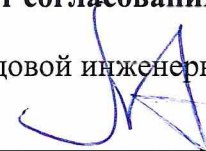
Директор Института ПМТ

 /С.В.Дубков/

Лист согласования

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ

 /А.Л.Переверзев /

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки

 /Т.П.Филиппова/