

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 11:02:40
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

«10» июля 2024 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы исследования материалов и структур»

Направление подготовки - 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Направленность (профиль) - «Технологии материалов микроэлектроники»

Москва 2024

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК-2 «Способен организовывать и аналитически сопровождать выполнения научно-исследовательских работ по закреплённой тематике» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.008 «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»**

Обобщенная трудовая функция 40.008 А[6] Организация выполнения научно-исследовательских работ по закреплённой тематике

Трудовая функция 40.008 А/01.6 Разработка и организация выполнения мероприятий по тематическому плану

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.МИМС Способен осуществлять выбор и проводить исследования свойств и состава материалов и структур	<i>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности:</i> - Организация выполнения научно-исследовательских работ по закреплённой тематике, - Проведение измерений параметров наноматериалов и наноструктур в соответствии с требованиями технической и нормативной документации.	Знание основ рентгеноструктурного анализа, электронографии, световой, рентгеновской и электронной микроскопии; методов исследования элементного состава Умение выбрать необходимый метод исследования свойств и состава материалов и структур Опыт обработки и интерпретации результатов измерений параметров наноматериалов и наноструктур

Компетенция ПК-3 «Способен прогнозировать влияние микро- и нано- масштаба на механические, физические, химические и другие свойства веществ и материалов» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.104 Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур**

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

Трудовая функция С/01.6 Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-3.МИМС Способен проводить выбор методов исследования материалов различной размерности	<i>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности:</i> Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Знание основ рентгеноструктурного анализа, электронографии, световой, рентгеновской и электронной микроскопии; методов исследования элементного состава Умение выбрать метод исследования материалов различной размерности Опыт деятельности в выборе методов исследования материалов, исходя из представлений о размернозависимых эффектах

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине.

Изучению дисциплины предшествует формирование компетенций в дисциплинах: «Математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Физика» (Механика. Термодинамика. Электричество и магнетизм. Оптика. Атомная физика), «Химия», «Кристаллография», «Метрология, стандартизация и технические измерения», «Физико-химические основы технологии интегральных микро- и наноструктур». Формируемые в процессе изучения дисциплины компетенции в дальнейшем углубляются в дисциплине «Физика и химия полупроводников», практикой и служат основой для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР).

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	5	180	32	32	16	64	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1. Характеристика исследуемых объектов и излучений; физические эффекты, лежащие в основе методов исследования структуры	4	2	4	10	Защита лабораторных работ
2. Рентгенографический анализ	8	4	12	16	Контрольная работа
					Защита лабораторных работ
					Тестирование
3. Электронографический анализ	8	4	8	14	Защита лабораторных работ
4. Световая, рентгеновская и электронная микроскопия.	8	4	4	12	Защита лабораторных работ
					Контрольная работа
5. Методы анализа элементного состава твердого тела.	4	2	4	12	Защита лабораторных работ

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Предмет, задачи, структура курса. Классификация объектов исследования,; характеристика излучений, используемых при исследовании структуры и состава твердых тел. Методы регистрации информации об объектах.
	2	2	Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Уравнение Лауэ. Закон Вульфа – Брэгга. Использование обратной для интерпретации уравнений дифракции рентгеновских лучей на кристаллической

			решетке. Интенсивность рассеяния рентгеновских лучей. Факторы, влияющие на интенсивность линий рентгенограммы.
2	1	2	Рентгенофазовый анализ поликристаллических образцов. Метод Дебая-Шеррера. Индицирование дебаеграмм. Прецизионное определение параметра кристаллической решетки. Систематические и случайные ошибки.
	2	2	Методы рентгеноструктурного анализа монокристаллов: качания – вращения, Бонда, Косселя. Последовательность определения атомной структуры кристаллов.
	3	2	Рентгенографический анализ текстур. Рентгенографические методы определения размеров зерен. Анализ интенсивности кривых качания для определения микронапряжений и размеров областей когерентного рассеяния. Рентгенографический анализ микро- и микронапряжений.
	4	2	Определение ориентации монокристаллов. Метод Лауэ. Съемка на просвет и на отражение. Использование методов рентгеноструктурного анализа в промышленности.
3	1	2	Электронография. Сравнительный анализ электронографии и рентгенографии. Области применения и задачи электронографии.
	2	2	Образование электронограмм. Вид электронограмм от монокристаллов, поликристаллов, текстурированного и аморфного материалов. Дополнительные эффекты на точечных электронограммах.
	3	2	Вывод основного уравнения электронографии. Индицирование электронограмм.
	4	2	Применение электронографии для исследования материалов и структур.
4	1	2	Основы световой микроскопии. Формирование изображения в световом микроскопе. Осветительная система по Келлеру. Характеристики светового микроскопа. Специальные виды световой микроскопии.
	2	2	Конструкции электронных микроскопов. Просвечивающая электронная микроскопия. Основные характеристики. Режимы работы. Формирование изображения. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии.
	3	2	Растровая электронная микроскопия. Конструкция микроскопа. Режимы работы. Применение РЭМ для анализа причин отказов работы ИС.
	4	2	Рентгеновская микроскопия: абсорбционная, эмиссионная, дифракционная. Формирование контраста. Интерпретация изображений. Применение к исследованию атомно – кристаллической структуры.
5	1	2	Общая характеристика методов контроля химического состава объемных материалов, поверхности и границ раздела. Рентгеноспектральный анализ. Электронная спектроскопия для

			химического анализа.
	2	2	Электронная Оже-спектроскопия. Спектроскопия упруго рассеянных ионов. Вторичная ионная масс-спектроскопия.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Расчет толщины защитного экрана.
2	1	2	Теоретический расчет интенсивности рефлексов рентгенограмм
	2	2	Расчет и построение рентгенограммы от заданного текстурированного образца.
3	1	2	Расчет плотности поверхностных состояний на межфазной границе
	2	2	Определение вектора Бюргерса, дислокаций. При заданных векторах дифракции.
4	1	2	Анализ условий визуального исследования кристаллов и определения их оптико – физических характеристик в световых микроскопах.
5	1	2	Расчет концентрационного профиля элемента по данным интенсивности рентгеновского микроанализатора.
	2	2	Расчет параметров процесса упругого и неупругого рассеяния ионов.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Техника безопасности при работе с лазерами, источниками некогерентного ИК – и УФ излучений, рентгеном.
2	1	4	Техника рентгеноструктурного анализа.
	2	4	Метод рентгенофазового анализа поликристаллических образцов.
	3	4	Рентгенографический анализ текстуры волочения
3	1	4	Электроннографические исследования моно- и поликристаллических образцов
	2	4	Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии. Исследование дефектов, возникающих на операциях диффузии, эпитаксии, окисления
4	1	4	Специальные виды световой микроскопии Освоение работы на

			микроскопах: МИИ-4, МИМ-7, МИК-1, ЛМ-2, МП -2. Неофот-2.
5	1	4	Определение качественного и количественного состава поверхности твердого тела методом электронной Оже-спектроскопии.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Изучение теоретического материала по тематике лекций 1-2 модуля 1. Подготовка к лабораторной работе №1, Подготовка к практическому занятию № 1.
2	16	Изучение теоретического материала по тематике лекций 1-4 модуля 2. Подготовка к лабораторным работам №1,2.3 модуля 2. Подготовка к практическому занятию № 1. 2. Выполнение практико-ориентированного задания 1 (подготовка к контрольной работе №1).
3	14	Подготовка к прохождению рубежного контроля. Изучение теоретического материала по тематике лекций 1-4 модуля 3. Подготовка к лабораторным работам №1,2. модуля 3. Подготовка к практическому занятию № 1.2 модуля 3.
4	12	Изучение теоретического материала по тематике лекций 1-4 модуля 4. Подготовка к лабораторным работам №1,2. модуля 4. Подготовка к практическому занятию № 1 модуля 4.
5	12	Изучение теоретического материала по тематике лекций 1-2 модуля 5. Подготовка к лабораторным работам №1, модуля 5. Подготовка к практическому занятию № 1.2 модуля 5. Выполнение практико-ориентированного задания 2 (подготовка к контрольной работе №2).

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС // URL: <http://orioks.miet.ru/>):

Модуль 1 «Характеристика исследуемых объектов и излучений; физические эффекты, лежащие в основе методов исследования структуры»

По учебнику авторов Л.И.Матына, В.А.Федоров, Ю.Н.Коркишко. "Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники". Часть 2. М.: МИЭТ, 1997 изучить материал на стр. 5-12

По Д.Брандон, У.Каплан «Мир материалов и технологий». «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля». М.: Техносфера, 2004 изучить (повторить) материал на стр.39 – 59. Стр.78 -82.

Модуль 2 «Рентгенографический анализ»

По учебнику авторов Д. Брандон и У. Каплан «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля». М.: Техносфера, 2004 изучить материал на стр. 67 – 94.

Модуль 3 «Электроннографический анализ»

По учебнику авторов Д.Брандон, У.Каплан «Мир материалов и технологий». «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля». М.: Техносфера, 2004 изучить (повторить) материал на стр.39 – 59. Стр.99 – 108.

Для самопроверки и закрепления материала рекомендуется решить задачи: № 2.1; 2.4; 2.7; 2.6.

Модуль 4 «Световая, рентгеновская и электронная микроскопия»

По учебнику авторов Д.Брандон, У.Каплан «Мир материалов и технологий». «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля». М.: Техносфера, 2004 изучить материал на стр.123 – 138. Стр.146 – 166; 171 – 174; 183-194.

Рекомендуется повторить основные термины и понятия, а также познакомиться с представленным ниже материалом.

Модуль 5 «Методы анализа элементного состава твердого тела».

По учебнику авторов Д. Брандон и У. Каплан «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля». М.: Техносфера, 2004 изучить материал на стр. 253 - 269, 287 – 306.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля [Текст] : Учеб. пособие / Д. Брандон, У. Каплан; Пер. с англ. под ред. С.Л. Баженова, с доп. О.В. Егоровой. - М. : Техносфера, 2006. - 384 с.
2. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Старостин. — 4-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2015. — 434 с. — ISBN 978-5-9963-2601-3. — URL: <https://e.lanbook.com/book/66203> (дата обращения 20.11.2024)
3. Пул Ч. Нанотехнологии [Текст] : Учеб. пособие / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; Пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2009. - 336 с.
4. Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники [Текст]: Учеб. пособие. Ч. 1 : Методы исследования состава материалов электронной техники / Ю. Н. Коркишко [и др.]; Под ред. Ю.Н. Коркишко. - М.: МИЭТ, 1997. - 256 с.
5. Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники [Текст]: Учеб. пособие. Ч. 2 : Методы исследования структуры материалов электронной техники / Л. И. Матына [и др.]; Под ред. Ю.Н. Коркишко. - М.: МИЭТ, 1997. - 120 с.
6. Матына Л.И. Основы световой, электронной и рентгеновской микроскопии [Текст]: Учеб. пособие по курсу "Методы исследования состава, структуры и электрофизических свойств материалов электронной техники" / Л. И. Матына. - М.: МИЭТ, 1998. - 104 с.

Периодические издания

1. Известия вузов. Материалы электронной техники : Научный рецензируемый журнал / ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС". - М. : МИСиС, 1998 - 2020.
2. Российские нанотехнологии = NANOTECHNOLOGIES IN RUSSIA / Федеральное агентство по науке и инновациям РФ, Парк-медиа. - М. : Российские нанотехнологии,

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека:** сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 09.12.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. **SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики:** сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.11.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. **Информационно-поисковая система Федерального института промышленной собственности:** сайт. - Москва, 2009-2019. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 21.11.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
4. **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: 20.11.2024).
5. **База American Chemical Society (ACS):** Некоммерческое научное издательство. – Американское химическое общество, 2021. – URL: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 11.12.2024). – Режим доступа: свободный.
6. **Электронная версия базы данных ECS издательства Electrochemical Society:** Научное издательство IOP Publishing, 2021. – URL: <http://ecsd.org/> (дата обращения: 12.12.2024). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение, основанное на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий и самостоятельной работы студентов формами и видами взаимодействия преподавателей и обучающихся в электронной образовательной среде.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: электронная почта, платформа ZOOM, а также иные виды информационно-коммуникативных технологий сети Интернет, обеспечивающие оперативный канал связи преподавателя со студентом.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в форме тестирования в ОРИОКС.

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»	Компьютер с ПО и возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ, беспроводная клавиатура + мышь, проектор, микроскопы: МИИ4-М, микроскопы металлографические «МЕТАМ РВ21- 1»	ОС Microsoft Windows 7 MS Office браузер
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Windows от 7 версии; Пакет программ Microsoft Office; Браузер Acrobat reader DC Проигрыватель Windows Media

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции **ПК-2.МИМС** Способен осуществлять выбор и проводить исследования свойств и состава материалов и структур

2. ФОС по подкомпетенции **ПК-3.МИМС** Способен проводить выбор методов исследования материалов различной размерности

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

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

В рамках рассматриваемого курса предусмотрены следующие формы учебных занятий:

- *лекции*, цель которых состоит в формировании знаний путем рассмотрения теоретических вопросов дисциплины;

- **практические занятия**, цель проведения которых – формирование умений путем выполнения практико-ориентированных заданий;

- **лабораторные занятия**, цель проведения которых – формирование навыков и приобретение опыта проведения измерений и использования измерительных средств;

- **внеаудиторная самостоятельная работа**, цель которой – закрепление полученных знаний и подготовка к практическим (лабораторным) занятиям, приобретение опыта самостоятельной работы с различными источниками информации.

Для успешного усвоения нового материала необходимо просматривать ранее пройденный материал по соответствующим предметам и разделам. Например,

1. Для изучения тем разделов «Рентгенографические методы исследования структуры» и «Оптические и электронно – оптические методы исследования структуры» необходимы знания разделов курсов: «Кристаллография», «Физика», «Математический анализ». Знания методов численного решения дифференциальных уравнений, разделов курсов: «Теория вероятностей», «Линейная алгебра»; курса «Физико-химические основы технологии интегральных микро- и наноструктур».

2. Изучение раздела «Спектральные методы анализа состава твердых тел» предполагает знания

- основ зонной теории полупроводников,
- оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

3. Изучение раздела «Основы световой, рентгеновской и электронной микроскопии» требует знаний разделов курсов: «Физика». Раздел «Оптика», темы: «Интерференция», «Дифракция», «Основы когерентной оптики».

4. Изучение раздела «Методы контроля электрофизических параметров изделий электронной техники» требует знаний разделов курсов: «Электротехника», «Физика. Оптика».

Приступать к лабораторным работам необходимо после изучения теоретического материала, рекомендованного преподавателем в рамках самостоятельной работы. и изучения описания соответствующей лабораторной работы.

Для выполнения лабораторного практикума в библиотеке МИЭТ имеются учебно-методические пособия. Можно воспользоваться также разработками лабораторных работ, находящихся на кафедре, и активно использовать учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС // URL:<http://orioks.miet.ru/>). Студенты получают допуск к лабораторной работе после ознакомления с описанием лабораторной работы. Для получения допуска необходимо правильно ответить на контрольные вопросы к теоретической части, приведенные в конце описания лабораторной работы.

Контроль выполнения студентами индивидуальных практико-ориентированных заданий 1 и 2 (на обработку и интерпретацию результатов измерений параметров наноматериалов и наноструктур; на выбор методов исследования материалов) проводится на семинарах во время контрольных работ 1 и 2.

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.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система (НБС).

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 50 баллов) и сдача экзамена (в сумме 50 баллов).

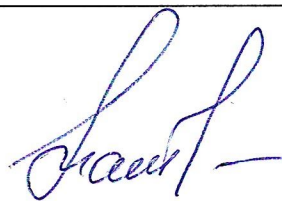
По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

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

РАЗРАБОТЧИК:

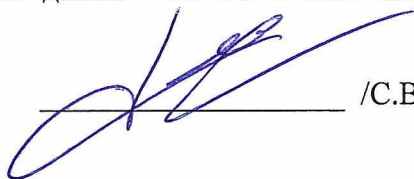
Доцент Института ПМТ, к.т.н., доцент



Л.И.Матына

Рабочая программа дисциплины «Методы исследования материалов и структур» 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

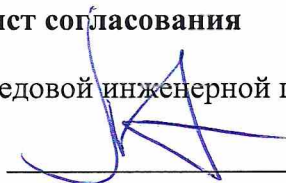
Директор Института ПМТ

 /С.В.Дубков/

Лист согласования

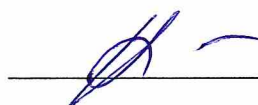
Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

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/