

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

УТВЕРЖДАЮ

Ректор МФТИ

д-р физ.-мат. наук, профессор

Д. В. Ливанов



«28» октября 2024 г.

**Дополнительная профессиональная
программа повышения квалификации
«Синхротронное излучение для исследования материалов и
функциональных структур микро- и нанoeлектроники»**

УГСН 03.00.00 Физика и астрономия

Направление подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика

03.04.01 Прикладные математика и физика

ОКВЭД 72 Научные исследования и разработки

Москва 2024

1. Общая характеристика программы

1.1.Цель реализации программы

Целью реализации дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Синхротронное излучение для исследования материалов и функциональных структур микро- и нанoeлектроники» является подготовка специалистов в области разработки, проектирования и строительства источников синхротронного и нейтронного излучения, а также научных кадров для проведения синхротронных и нейтронных исследований (разработок) в целях получения результатов мирового уровня.

Лицам, успешно освоившим программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдается удостоверение о повышении квалификации установленного образца.

1.2.Совершенствуемые и/или приобретаемые компетенции

Компетенции, формируемые и совершенствуемые в результате обучения, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

№	Компетенции в соответствии с направлением подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика (Собственный стандарт МФТИ)	Код компетенции
1.	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1
2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2

Таблица 2

№	Компетенции в соответствии с направлением подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика (Собственный стандарт МФТИ)	Код компетенции
1	Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1

1.3.Планируемые результаты обучения

Планируемые результаты обучения представлены в таблице 3.

Таблица 3

№	Уметь - знать	Направление подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика
		Квалификация: бакалавр
		Код компетенции
1	Знать: основы теории рассеяния синхротронного излучения и его взаимодействия с веществом Уметь: осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации	УК-1
2	Знать: современные синхротронные методы исследования Уметь: определять и формулировать круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, поставить задачу и планировать эксперимент для исследования конкретной узла устройства микроэлектроники	УК-2
		Направление подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика
		Квалификация: магистр
		Код компетенции
	Знать: Теоретические основы описания взаимодействия синхротронного излучения с веществом, основные физико-математические модели рассеяния и дифракции Уметь: Ставить и решать задачи в области синхротронных исследований материалов и структур микроэлектроники	ПК-1

1.4.Категория обучающихся

Программа повышения квалификации предназначена для специалистов в области физики твердого тела и физической электроники, имеющих высшее или среднее профессиональное образование, а также лиц, получающих высшее или среднее профессиональное образование.

1.5.Форма обучения

Очно-заочная.

Программа может быть реализована в сетевой форме.

1.6.Объем программы

74 академических часа.

1.7.Режим обучения

2 недели

2. Содержание программы

2.1.Учебный (тематический) план

Учебный (тематический) план программы представлен в таблице 4.

Таблица 4

№ п/п	Наименование разделов (модулей) и тем	Всего, час.	Лекции	Практич. работа	Самост. работа	Форма контроля
1	Рентгеновские методы для исследования материалов и структур микроэлектроники	36	8	10	18	
2	Синхротронное излучение для контроля свойств и характеристик конденсированных сред	36	8	10	18	
	Итоговая аттестация	2		2		зачет
	Итого:	74	16	22	36	

2.2.Календарный учебный график

Календарный учебный план составляется при сформированной группе с учетом уровня их подготовки.

Календарный учебный график отражает периоды теоретических занятий, практик, процедур промежуточной и итоговой аттестаций и т.д.

КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

Учебные недели	1	2
Учебные занятия (Т)	Т	Т
Практические занятия (П)	П	П
Самостоятельная работа (СР)	СР	СР
Стажировка (С)		
Контроль Зачет, экзамен (З, Э)		
Итоговая аттестация (А)		А

2.2. Учебная программа

Содержание учебной программы приведено в таблице 5.

3. Таблица 5

№ п/п	Наименование модуля, разделов и тем	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы	Объем, ак. час.
1	Модуль 1 «Рентгеновские методы для исследования материалов нано- и микро-электроники»	Лекции 1.1 Синхротронное излучение для обеспечения единства измерений параметров оптического излучения ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов спектра 1.2 Метрологическое обеспечение дифракционных методов с использованием синхротронного излучения 1.3 Синхротронное излучение для operando измерений параметров функциональных тонких электронных структур 1.4 Двухфотонная фотополимеризация для изготовления рентгеновских оптических приборов	8
		Практическая работа Выполнение заданий по теме лекции	10
		Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции	18
	Модуль 2 «Синхротронное излучение для контроля свойств и характеристик конденсированных сред»	Лекции 2.1 Поверхностно-чувствительные синхротронные методы в исследовании тонкопленочных слоистых систем 2.2 Исследование прототипов инновационных устройств энергонезависимой памяти спектроскопическими методами на синхротронных источниках 2.3 Рентгеновская метрология для электроники 2.4 Дифракционные методы в электронике	8
		Практическая работа Выполнение заданий по теме лекции	10
		Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции	18
	Итоговая аттестация	зачет	2
	Итого:		74

3. Формы аттестации и оценочные материалы

3.1. Формы аттестации

Итоговая аттестация по программе является обязательной.

Форма итоговой аттестации: зачет.

Критерии оценивания:

- Корректный ответ / некорректный ответ на два теоретических вопроса по программе лекций;
- Выполнение / не выполнение практических заданий.

Оценивание

Таблица 6

Критерий	Соответствует	Не соответствует
корректный ответ / некорректный ответ на два теоретических вопроса по программе лекций	1 балл	0 баллов
выполнение / не выполнение практических заданий	1 балл	0 баллов

Оценивание проводится преподавателем на основе представленных критериев и шкалы оценки.

Зачет выставляется слушателю, если по результатам оценивания слушатель получает 2 балла.

3.2.Оценочные материалы

Таблица 7

Наименование модуля, разделов и тем	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки	Вес задания, %
Модуль 1 «Рентгеновские методы для исследования материалов и структур микроэлектроники»	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос Практические задания по темам лекций	30
Модуль 2 «Синхротронное излучение для контроля свойств и характеристик конденсированных сред»	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос Практические задания по темам лекций	30
Итоговая аттестация	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос	40

Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения аттестации обучающихся

- Порошковая дифракция (XRPD).
- Малоугловое рентгеновское рассеяние на ансамблях наночастиц в геометрии скользящего падения (GISAXS)
- Малоугловая порошковая дифракция в геометрии скользящего падения (GID)
- Малоугловое рентгеновское рассеяние на ансамблях наночастиц в геометрии нормального падения (SAXS)
- Малоугловое рентгеновское рассеяние на ансамблях наночастиц в геометрии скользящего падения (GISAXS)
- Метод стоячих рентгеновских волн (XSW)
- Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия на жестком рентгеновском излучении (HAXPES)
- Рентгеновский магнитный круговой/линейный дихроизм. (методы: XMCD/XMLD)

Практические задания

Тема 1. Обработка и сравнительный анализ рентгеновских дифрактограмм многослойной структуры на основе тонкой поликристаллической сегнетоэлектрической пленки, полученной с помощью лабораторного дифрактометра и синхротронного излучения.

Тема 2. Обработка и сравнительный анализ данных рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии границ раздела многослойной структуры на основе тонкой поликристаллической сегнетоэлектрической пленки, полученной с помощью лабораторного спектрометра и синхротронного жесткого рентгеновского излучения.

Тема 3. Расчёт геометрии линзы для синхротронного рентгеновского излучения, изготавливаемой методом двухфотонной полимеризации.

4. Организационно-педагогические условия реализации программы

4.1. Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы

4.1.1. Список литературы

Основная литература

1. Боуэн, Д. К. и Таннер, Б. К. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография. Наука, 2002.

2. Фетисов, Геннадий. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. Litres, 2018.

Дополнительная литература

1. Daillant, Jean, and Alain Gibaud, eds. X-ray and neutron reflectivity: principles and applications. Vol. 770. Springer, 2008.

2. Als-Nielsen, Jens, and Des McMorrow. Elements of modern X-ray physics. John Wiley & Sons, 2011.

4.1.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

www.picosun.com,

www.mipt.ru

4.2. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по программе

Таблица 8

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория	Лекция	Проектор, компьютер для преподавателя
Аудитория	Практическая работа	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор
-	Самостоятельная работа	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет
Аудитория	Итоговая аттестация	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор

5. Организация образовательного процесса

В таблице 9 описаны образовательные технологии.

Таблица 9

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	Лекция	Ознакомление с теоретическими основами синхротронного излучения, методов исследования и обработки данных	Актуализация и систематизация теоретических знаний по дисциплине
2	Практическая работа	Выполнение заданий	Осознание связей между теорией и практикой, повышение степени понимания материала
3	Самостоятельная работа	Самостоятельное изучение дополнительных материалов и литературы.	Получение дополнительных теоретических знаний
4	Итоговая аттестация	Выполнение заданий.	Контроль освоения программы

6. Составители программы

Токунов Юрий Матвеевич, к.ф.-м.н., доцент (кафедра общей физики),

Чижев Павел Сергеевич, к.ф.-м.н., Старший научный сотрудник (Центр коллективного пользования уникальным научным оборудованием в области нанотехнологий),


Чуприк Анастасия Александровна, к. ф.-м. н., доцент (Кафедра нанометрологии и наноматериалов),

Витухновский Алексей Григорьевич, д.ф.-м.н., Главный научный сотрудник (Конструкторское бюро оптической литографии),


Зенкевич Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., Ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией (Лаборатория функциональных материалов и устройств для наноэлектроники),

Николаев Константин Владимирович, Ph. D., доцент (Кафедра нанометрологии и наноматериалов).

Согласовано,
Эксперт ОСОП

 Ж. И. Зубцова

Согласовано
Директор ФЭФМ

 А. С. Батурин

КВАЛИФИКАЦИЯ И ОПЫТ ПРИВЛЕКАЕМОГО ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

«Синхротронное излучение для исследования материалов и функциональных структур микро- и наноэлектроники»

Ф.И.О. лектора, год рождения	Информация об образовании, полученном в соответствии с образовательными программами высшего профессионального образования, дополнительного профессионального образования (в т.ч. о наличии званий и ученых степеней) и т.д.	Место работы, занимаемая должность в настоящий момент, общий трудовой стаж	Опыт преподавания и консультирования по предмету, согласующемуся с направлением лота (перечислить), педагогический стаж	Наличие опыта практической работы в отечественных и зарубежных организациях в сфере деятельности, совпадающей с направлением преподавания
Батурин Андрей Сергеевич	К. ф.-м.н.	МФТИ, Директор ФЭФМ, стаж 23 года	1) Курс «Электроника», чтение лекций (стаж 10 лет) 2) Курс «Метрология в нанотехнологиях», чтение курса лекций (2 год)	МФТИ, ВНИИОФИ, 23 года
Токунов Юрий Матвеевич	К. ф.-м. н., доцент	Ведущий научный сотрудник (Центр испытаний функциональных материалов), Доцент	1) Курс «Общая физика», проведение семинаров и лабораторных	МФТИ, 30 лет

Чуприк Анастасия Александровна	К. ф.-м. н., доцент	(Кафедра общей физики), стаж 30 лет	работ (21 год), 2) научное руководство студентами (9 лет)	
Витухновский Алексей Григорьевич	Д. ф.-м. н., профессор	Ведущий научный сотрудник – заведующий лабораторией, стаж 21 лет	1) Курс «Электроника», проведение лаб. работ (15 лет), семинаров (8 лет) 2) лабораторный практикум по нанодиагностике (5 лет) 3) научное руководство студентами и аспирантами (8 лет)	Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, МФТИ, 35 лет
Якунин Сергей Николаевич	К. ф.-м. н.	Главный научный сотрудник-заведующий лабораторией (Лаборатория технологий 3D-печати функциональных микроструктур), Главный научный сотрудник (Конструкторское бюро оптической литографии), стаж 35 лет	Научное руководство студентами и аспирантами (20 лет)	НИЦ «Курчатовский комплекс синхротронно-нейтронных исследований», 24 года
Зенкевич Андрей Владимирович	К. ф.-м. н.	Ведущий научный сотрудник – заведующий	Научное руководство студентами и аспирантами (9 лет)	МИФИ, МФТИ, стаж 32 года

Николаев Константин Владимирович	Ph. D.		лабораторией, стаж 32 года Доцент, старший научный сотрудник МФТИ, старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт», стаж 4 года	(16 лет) 1) Курс «Синхротронные методы в нанометрологии», чтение лекций (2 года) 2) Научное руководство (4 года)	НИЦ «Курчатовский институт», МФТИ, 4 года
Чижов Павел Сергеевич	К. ф.-м. н.		Доцент, старший научный сотрудник МФТИ (9 лет)	1) Курс «Приборы и методы рентгеновской и электронной дифракции», чтение лекций (8 лет) 2) Курс «Химия твердого тела», чтение лекций (8 лет)	МГУ, МФТИ, 9 лет

Руководитель подразделения
Заведующий кафедрой
нанометрологии и наноматериалов
Батурин Андрей Сергеевич



Пояснительная записка
к разработке и реализации программы повышения
квалификации/профессиональной переподготовки/дополнительной
общеобразовательной программы


«Синхротронное излучение для исследования материалов и функциональных структур микро- и наноэлектроники»

№	Информация о программе и организаторе курса	Данные
1	Планируемое название дополнительной профессиональной или общеобразовательной программы (далее - программы)	Синхротронное излучение для исследования материалов и функциональных структур микро- и наноэлектроники
2	Вид программы	ПК
3	Выдаваемый документ	Удостоверение о повышении квалификации
4	Форма обучения	Очно-заочно
5	Режим обучения	Смешанные занятия
6	Объем, в ак. ч.	74
7	Подразделение	Кафедра нанометрологии и наноматериалов
8	Контактное лицо	Чуприк Анастасия Александровна, доцент, chouprik.aa@mipt.ru, +79261888623
9	Цель и задачи программы	Целью реализации программы является совершенствование компетенций слушателей в области разработки, проектирования и строительства источников синхротронного и нейтронного излучения, а также подготовка научных кадров для проведения синхротронных и нейтронных исследований (разработок) в целях получения результатов мирового уровня. В результате освоения программы слушатель будет знать основы теории рассеяния синхротронного излучения, его взаимодействия с веществом и современные синхротронные методы исследования.
10	Краткое содержание программы	Программа предусматривает изучение следующих тем: - Рентгеновские методы для исследования материалов нано- и микроэлектроники. - Синхротронное излучение для контроля свойств и характеристик конденсированных сред.
11	Целевая аудитория программы	Программа предназначена для студентов магистратуры, аспирантов и специалистов в области физики конденсированного состояния и физической электроники.
12	Продолжительность	2 недели
13	Сроки (период) обучения	25 ноября – 6 декабря 2024 г.
14	Количество слушателей	20
15	Источник финансирования	ФЛС 10123.25.02.ПРХ047
16	Стоимость обучения, р.	бесплатно
17	Условие запуска курса	Плановое обучение по проекту «Разработка и развитие основных элементов государственной

		системы обеспечения единства измерений на источниках синхротронного излучения для контроля качества ключевых узлов и деталей изделий промышленности с международным признанием результатов», дополнительное соглашение № 075-15-2023-448/3 к Соглашению от 28 февраля 2023 года № 075-15-2023-448
18	Оборудование	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор.
19	Состав преподавателей	Токунов Юрий Матвеевич, к.ф.-м.н., доцент (кафедра общей физики), Якунин Сергей Николаевич, к. ф.-м. н., первый заместитель руководителя НИЦ «Курчатовский комплекс синхротронно-нейтронных исследований», Николаев Константин Владимирович, Ph. D., доцент (кафедра нанометрологии и наноматериалов), старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский комплекс синхротронно-нейтронных исследований», Зенкевич Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией (Лаборатория функциональных материалов и устройств для нанoeлектроники), Чижов Павел Сергеевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник (Центр коллективного пользования уникальным научным оборудованием в области нанотехнологий), Чуприк Анастасия Александровна, к. ф.-м. н., доцент (Кафедра нанометрологии и наноматериалов), Витухновский Алексей Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор главный научный сотрудник (Конструкторское бюро оптической литографии), Батурин Андрей Сергеевич, к.ф.-м.н., директор ФЭФМ.
20	Теги по программе	для поиска программы по реперным точкам Например, #синхротронноеизлучение, #синхротрон, #микроэлектроника

Руководитель подразделения

Заведующий кафедрой
нанометрологии и наноматериалов
Батурин Андрей Сергеевич



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 2

заседания учебно-методического совета от 28 октября 2024 года.

ПОВЕСТКА:

Рассмотрение дополнительных общеобразовательных и профессиональных программ.

Проректор по учебной работе А. А. Воронов

СЛУШАЛИ: заместителя директора (Центр дополнительного, дополнительного профессионального и онлайн-образования "Пуск") А. И. Рыбакову о представлении дополнительных общеобразовательных и профессиональных программ (Центр «Пуск», МФТИ).

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к утверждению в установленном порядке дополнительную профессиональную программу повышения квалификации «Синхротронное излучение для исследования материалов и функциональных структур микро- и нанoeлектроники».

Решение принято единогласно.

Форма проведения заседания: заочная

Председатель УМС МФТИ

Ученый секретарь УМС МФТИ



А.А. Воронов

М.В. Березникова