

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники» (далее – Программа) предназначена для повышения квалификации специалистов в области разработки и производства элементов интегральной фотоники по целевым группам «Инженер-проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

Авторы:

1. Чаплыгин Юрий Александрович, докт.техн.наук, академик РАН, президент МИЭТ.
2. Балашов Александр Геннадьевич, канд.техн.наук, проректор по учебной работе НИУ МИЭТ.
3. Крупкина Татьяна Юрьевна, докт.техн.наук, профессор Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
4. Лосев Владимир Вячеславович, канд.техн.наук, директор Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
5. Путря Михаил Георгиевич, докт.техн.наук, профессор Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
6. Сибатов Ренат Тимергалиевич, докт.физ.-мат.наук, начальник лаборатории НПК «Технологический центр».
7. Артамонова Евгения Анатольевна, канд.техн.наук, зам. директора по образовательной деятельности Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
8. Красюков Антон Юрьевич, канд.техн.наук, доцент Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
9. Голишников Александр Анатольевич, канд.техн.наук, доцент Института интегральной электроники НИУ МИЭТ.
10. Поломошнов Сергей Александрович, канд.техн.наук, начальник лаборатории НПК «Технологический центр».

11. Певчих Константин Эдуардович, советник генерального директора АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» (АО «ЗНТЦ»)
12. Светиков Владимир Васильевич, канд. физ.-мат. наук, начальник отдела АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» (АО «ЗНТЦ»).
13. Панкратов Олег Вячеславович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» (АО «ЗНТЦ»).
14. Сафонов Сергей Олегович, канд. техн. наук, начальник отдела ООО «НМ-Тех»
15. Жданова Ирина Витальевна, старший преподаватель Института СПИНТех НИУ МИЭТ

Правообладатель программы:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», место нахождения: 124498, г. Москва, г.

Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: netadm@miec.ru

тел.: +7 (499) 731-44-41, факс: +7 (499) 710-22-33.

© «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», 2024

© Авторы, 2024

1.1. Общие положения

Нормативную правовую основу разработки дополнительной профессиональной программы повышения квалификации (далее – Программа) составляют:

- Федеральный закон РФ от 29 декабря 2012 г. «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ (в действующей редакции);
- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 1 июля 2013 г. № 499 «Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам»;
- Профессиональный стандарт 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники».
- нормативные документы Минобрнауки России;
- Устав МИЭТ и иные локальные нормативные акты Университета

Термины, определения и используемые сокращения

В программе используются следующие термины и их определения:

ВПД – вид профессиональной деятельности. Виды профессиональной деятельности – составная часть области профессиональной деятельности, образованная целостным набором трудовых функций, каждая из которых обладает относительной автономностью и определена работодателем как необходимый компонент содержания образовательной программы профессиональной переподготовки. Основные виды профессиональной деятельности – профессиональные функции, каждая из которых обладает относительной автономностью и определена работодателем как необходимый компонент содержания профессиональной образовательной программы.

ПК – профессиональная компетенция. Профессиональная компетенция – интегрированный результат образования, готовность применять знания, умения и практический опыт для успешной деятельности в процессе выполнения определенной трудовой функции.

ПМ – профессиональный модуль. Профессиональный модуль – часть образовательной программы дополнительного профессионального образования, предназначенная для формирования определенных профессиональных компетенций в рамках того или иного вида профессиональной деятельности.

Трудовая функция - работа по должности в соответствии со штатным расписанием, профессии, специальности с указанием квалификации; конкретный вид поручаемой работнику работы.

Компетенция – способность применять знания, умения, личностные качества и практический опыт для успешной деятельности в определенной области.

Умение – знаниевый результат на уровне применения; операция (действие), выполняемая определенным способом и с определенным качеством.

Знание – информация о свойствах объектов, закономерностях процессов и явлений, правилах использования этой информации для принятия решений, присвоенная обучающимся на одном из уровней, позволяющих выполнять над ней мыслительные операции.

Квалификационные (профессиональные) дефициты – отсутствие у конкретного работника качеств, соответствующих требуемым на конкретном рабочем месте профессиональным знаниям, умениям, трудовым действиям или трудовым функциям.

Опыт практической деятельности – образовательный результат, включающий выполнение обучающимся деятельности, завершающейся получением результата/продукта, значимого при выполнении трудовой функции, в условиях реального производства или в модельной ситуации, которая воспроизводит значимые условия реального производства.

Образовательные результаты – освоенные компетенции, обеспечивающие соответствующую квалификацию и уровень образования

ЭУК - Электронный учебный курс

СДО - Система дистанционного обучения.

1.1.1. Требования к поступающим

Лица, поступающие на обучение, должны иметь документ о получении высшего профессионального образования естественнонаучного или технического профиля.

Формирование контингента слушателей осуществляется по заявке предприятия-партнера или индивидуальным заявлениям от физических лиц, мотивированных к обучению.

1.1.2. Нормативный срок освоения программы

Программа включает в себя один междисциплинарный курс и три профессиональных модуля, научно-исследовательскую практику, итоговую аттестацию.

Тематическое содержание междисциплинарного курса МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения» включает основные вопросы, относящиеся к физическим основам фотоники, принципам построения и применения устройств интегральной фотоники. Междисциплинарный курс может быть реализован (частично) с использованием дистанционных образовательных технологий.

Профессиональные модули ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники», ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем», ПМ.03 «Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники» обеспечивают формирование необходимых профессиональных компетенций по трем целевым группам слушателей, соответственно: «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

Суммарный объем программы по каждой целевой группе составляет 132 часа (70 аудиторных часов) (учебный план с распределением учебных часов представлен далее в п. 1.3). Это обеспечивает формирование у слушателей необходимых профессиональных компетенций по направлению повышения квалификации для трех указанных целевых групп: «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

1.1.3. Квалификационная характеристика выпускника

Образовательная программа реализуется по направлению, предусматривающему повышение квалификации категорий сотрудников: «Инженер

– проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

Все выпускники получают теоретические и профессиональные знания, вырабатывают навыки и умения, приобретают опыт практической деятельности в профессиональной области.

Компетенции выпускников программы, их знания, умения и опыт практической деятельности по итогам повышения квалификации для трех целевых групп слушателей Программы представлены в таблицах 1 - 3.

Таблица 1 - Перечень образовательных результатов для целевой группы «Инженер - проектировщик элементов интегральной фотоники»

Профессиональная компетенция	Знания	Умения	Опыт деятельности
ПК1.1 Моделировать конструкции элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР	31.1.1. Конструкции и основные характеристики элементов интегральной фотоники. 31.1.2. Методы моделирования и математические модели элементов интегральной фотоники; преимущества и недостатки методов численного, аналитического и статистического моделирования физических процессов 31.1.3. Возможности современных САПР в области моделирования характеристик планарных волноводных структур; преимущества и недостатки различных САПР	У1.1.1. Выбирать модели и методы для расчета характеристик элементов интегральной фотоники. У1.1.2. Разрабатывать компьютерные модели конструкции элементов интегральной фотоники У1.1.3. Моделировать характеристики и параметры элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР	О1.1.1. Опыт расчета характеристик и выбора параметров конструкции заданного элемента интегральной фотоники для достижения характеристик, соответствующих требованиям ТЗ О1.1.2. Опыт проведения анализа и формирования отчета о результатах моделирования.

<p>ПК1.2 Анализировать схемотехнические решения, рассчитывать параметры и допуски элементов интегральной фотоники</p>	<p>31.2.1. Схемотехнические решения и критерии их выбора для реализации элементов интегральной фотоники, 31.2.2. Методы расчета параметров и допусков элементов интегральной фотоники</p>	<p>У1.2.1. Проводить анализ схемотехнических решений для реализации элементов интегральной фотоники У1.2.2. Выполнять основные этапы аналитического расчета характеристик элементов интегральной фотоники У1.2.3. Проводить расчет основных характеристик планарных волноводных структур средствами современных САПР</p>	<p>О1.2.1. Опыт обоснованного выбора схемотехнических решений для реализации заданного элемента интегральной фотоники с параметрами, соответствующими требованиям ТЗ О1.2.2. Расчет параметров и допусков заданного элемента интегральной фотоники в соответствии с требованиями ТЗ</p>
<p>ПК1.3 Формировать исходную информацию для разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники</p>	<p>31.3.1. Правила разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники 31.3.2. Правила оформления ТЗ на разработку КД элементов интегральной фотоники</p>	<p>У1.3.1. Анализировать результаты компьютерного моделирования конструкции и схемотехнических расчетов и осуществлять выбор итоговых значений параметров и допусков заданного элемента интегральной фотоники У1.3.2. Готовить исходную документацию для оформления ТЗ на разработку КД элементов интегральной фотоники</p>	<p>О1.3.1. Опыт подготовки ТЗ на разработку конструкторской документации элементов интегральной фотоники в соответствии с техническими требованиями, установленными локальными нормативными актами</p>

Таблица 2 - Перечень образовательных результатов для целевой группы «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»

Профессиональная компетенция	Знания	Умения	Опыт деятельности
ПК2.1 Проводить компьютерное моделирование технологических процессов, рассчитывать параметры технологических операций формирования элементов интегральной фотоники	32.1.1. Возможности средств САПР и методы математического моделирования технологических маршрутов 32.1.2. Модели технологических операций изготовления элементов интегральной фотоники.	У2.1.1. Разрабатывать компьютерные модели базовых технологических операций формирования элементов интегральной фотоники У2.1.2. Рассчитывать зависимости характеристик формируемых интегральных слоев от входных параметров базовых технологических операций с использованием средств САПР	О2.1.1. Выбор входных параметров технологических операций формирования заданного элемента интегральной фотоники для достижения характеристик, соответствующих требованиям ТЗ

<p>ПК2.2 Разрабатывать и осуществлять выполнение технологических маршрутов и технологических операций формирования элементов интегральной фотоники</p>	<p>32.2.1. Свойства материалов, используемых для изготовления элементов интегральной фотоники 32.2.2. Возможности оборудования на производстве элементов интегральной фотоники 32.2.3 Базовые и вспомогательные технологические операции, преимущества и недостатки различных типов технологических операций во взаимосвязи с характеристиками изготавливаемых структур 32.2.4. Порядок согласования маршрутного листа</p>	<p>У2.2.1. Разрабатывать технологический маршрут формирования заданного элемента интегральной фотоники У2.2.2. Заполнять стандартные формы маршрутных листов в соответствии с установленными регламентами У2.2.3. Разрабатывать документацию на отдельную технологическую операцию, включая обоснованное «окно процесса» с подтвержденными допустимыми отклонениями параметров</p>	<p>О2.2.1. Опыт разработки последовательности базовых технологических операций, вспомогательных технологических операций и технологических переходов, обеспечивающей формирование заданного элемента интегральной фотоники в соответствии с требованиями ТЗ О2.2.2. Сопровождение и, при необходимости, в случае отклонения контролируемых характеристик изделия за допустимые границы, корректировка технологического маршрута, осуществляемые в соответствии с маршрутной технологической картой, действующими протоколами и стандартами предприятия</p>
<p>ПК2.3 Осуществлять межоперационный контроль параметров формируемых волноводных структур элементов интегральной фотоники</p>	<p>32.3.1 Критерии качества результатов технологического процесса во взаимосвязи с функционалом изготавливаемой структуры. 32.3.2. Методы межоперационного контроля входных и выходных параметров базовых и вспомогательных технологических операций</p>	<p>У2.3.1. Осуществлять межоперационный контроль параметров волноводных структур У2.3.2. Проводить анализ выявленных отклонений параметров волноводных структур от заданных техническими требованиями (указанных в сопроводительном листе) значений</p>	<p>О2.3.1. Опыт разработки рекомендаций для устранения отклонений измеренных параметров волноводных структур по результатам межоперационного контроля от заданных техническими требованиями (указанных в сопроводительном листе)</p>

Таблица 3 - Перечень образовательных результатов для целевой группы «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»

Профессиональная компетенция	Знания	Умения	Опыт деятельности
<p>ПКЗ.1 Проводить контроль характеристик волноводных слоев.</p>	<p>33.1.1. Особенности параметрических моделей и методов их экспериментального исследования 33.1.2. Оборудование для проведения контроля характеристик волноводных слоев. 33.1.3. Методы проведения контроля характеристик волноводных слоев 33.1.4. Методы анализа результатов измерений и контроля параметров и выявленных отклонений параметров от заданных значений</p>	<p>УЗ.1.1. Проводить измерения параметрических характеристик слоев волноводных структур УЗ.1.2 Проводить анализ результатов измерений и контроля параметров и выявленных отклонений параметров от заданных значений.</p>	<p>ОЗ.1.1. Опыт оформления протоколов и заключений по результатам проведения контроля параметрических характеристик слоев волноводных структур ОЗ.1.2. Опыт разработки рекомендаций по устранению причин отклонений параметрических характеристик функциональных и вспомогательных слоев волноводных структур</p>
<p>ПКЗ.2 Осуществлять выходной контроль оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники.</p>	<p>33.2.1. Оборудование для проведения выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники. 33.1.3. Методы проведения выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники</p>	<p>УЗ.2.1. Строить план эксперимента проведения измерения выходных оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники УЗ.2.2. Проводить измерения выходных оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники УЗ.2.3 Проводить анализ результатов измерений и выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров и выявленных отклонений параметров от заданных значений.</p>	<p>ОЗ.2.1. Опыт оформления протоколов и заключений по результатам проведения выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники ОЗ.2.2. Опыт разработки рекомендаций по устранению причин отклонений выходных оптических и оптико-электрических параметров заданного элемента интегральной фотоники</p>

1.2. Характеристика подготовки

1.2.1. Общая характеристика подготовки

Программа представляет собой комплекс нормативно-методической документации, регламентирующей содержание, организацию и оценку результатов.

Слушатель, прошедший обучение и итоговую аттестацию, должен быть готов к профессиональной деятельности в качестве инженера по соответствующей целевой группе: «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

1.2.2. Образовательные результаты и структура программы

Обучение по программе предполагает получение образовательных результатов, зафиксированных в Таблице 4, в процессе изучения междисциплинарного курса и перечисленных профессиональных модулей.

Таблица 4 - Образовательные результаты и структура образовательной программы

Код ПК	Формулировка образовательного результата	Структурная единица
ПК1.1	Моделировать конструкции элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР	МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения». ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники»
ПК1.2	Анализировать схмотехнические решения, рассчитывать параметры и допуски элементов интегральной фотоники	ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники»
ПК1.3	Формировать исходную информацию для разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники	ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники»
ПК2.1	Проводить компьютерное моделирование технологических процессов, рассчитывать параметры технологических операций формирования элементов интегральной фотоники	МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения». ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем»
ПК2.2	Разрабатывать и осуществлять выполнение технологических маршрутов и технологических операций формирования элементов интегральной фотоники	ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем»

ПК2.3	Осуществлять межоперационный контроль параметров формируемых волноводных структур элементов интегральной фотоники	ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем»
ПК3.1	Проводить контроль характеристик волноводных слоев	МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения». ПМ.03 «Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники»
ПК3.2	Осуществлять выходной контроль оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники	МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения». ПМ.03 «Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники»

1.2.3. Пояснительная записка

Ключевым ответом на происходящие системные изменения, прежде всего усложнение технологий, особенно в области микроэлектроники, вычислений, новых материалов, системотехники, требующее развития соответствующих компетенций и глубокой кооперации исследований является применение сквозных технологий. К числу сквозных технологий (технологических направлений), выделенных в Концепции технологического развития РФ, отнесена, в том числе, технология микроэлектроники и фотоники.

Для построения современных коммуникационных сетей необходимы технологии, позволяющие существенным образом увеличить объем и защищенность передаваемой информации. Фотонные технологии позволяют увеличить скорость обработки и передачи данных в 50–100 раз, а также позволяют значительно сократить потребляемую энергию.

Актуальность разработки современной образовательной программы повышения квалификации в области разработки и производства элементов интегральной фотоники обусловлена острой нехваткой специалистов, обладающих необходимой степенью квалификации, востребованной для развития сквозной технологии микроэлектроники и фотоники, в области проектирования, моделирования и технологии изготовления элементной базы и изделий интегральной фотоники, а также перспективой применения программы для повышения уровня подготовки специалистов для профилирующих предприятий.

Действующие учебные программы в области фотоники рассматривают, как правило, отдельные теоретические или практические аспекты создания конкретного типа фотонных приборов, а также приборов оптоэлектроники. Вместе с тем, для развития сквозной технологии микроэлектроники и фотоники, выделенной в Концепции технологического развития РФ, требуется комплексный подход при подготовке кадров, ориентированный на нужды конкретных производственных предприятий. Таким образом, предлагаемая программа нацелена на решение крайне актуальной задачи подготовки кадров в области разработки и производства элементов интегральной фотоники.

В ходе разработки программы были определены три целевые группы слушателей программы:

- Инженеры-проектировщики элементов интегральной фотоники;
- Инженеры-технологи в области производства элементов интегральной фотоники;
- Инженеры – технологи по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники.

На основе структурно-функционального анализа и результатов фокус - группы с представителями предприятия - работодателя, для данных целевых групп были скорректированы перечни трудовых функций, определены квалификационные дефициты. Согласованные с профильной организацией трудовые функции переведены в профессиональные компетенции – конечные результаты образовательной программы повышения квалификации, разработаны матрицы профессиональных компетенций.

Для достижения запланированных образовательных результатов предложена структура Программы, включающая базовый междисциплинарный курс МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения», инвариантный для трех целевых групп слушателей, и три профессиональных модуля:

- ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники», предназначенный для целевой группы «Инженер-проектировщик элементов интегральной фотоники»;

- ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем», предназначенный для целевой группы «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»;

-ПМ.03 «Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники», предназначенный для целевой группы «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники».

Программа предусматривает текущий и итоговый контроль в междисциплинарном курсе и каждом из профессиональных модулей. Итоговый контроль по всей программе осуществляется в форме выполнения практического задания, предусматривающего контроль сформированности единого комплекса компетенций по целевой группе.

При проектировании содержания были проанализированы образовательные программы в ведущих вузах России, также в программе нашел отражение опыт ведущих предприятий отрасли.

Образовательная программа соответствует современным принципам организации учебного процесса, включая модульность учебных дисциплин, увеличение часов, отводимых на самостоятельную работу слушателя, использование мультимедийных средств в учебном процессе и электронных тестов в процессе мониторинга уровня освоения дидактических единиц учебного плана в рамках компетентностного подхода.

Краткое содержание курсов и модулей программы приведено ниже.

Междисциплинарный курс МДК.01 «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения»

Фундаментальные принципы оптики, магнито-, электро-, акустооптики. Математическое описание оптических явлений как совокупности геометрических, волновых, электромагнитных и квантовых явлений. Принципы оптической обработки информации с применением методик магнито-, электро-, и акустооптики. Основные характеристики волноводов, оптических резонаторов, фотонных кристаллов, лазеров, источников одиночных фотонов, устройств магнито-, электро-, и акустооптики. Методы расчета характеристик элементов интегральной фотоники.

Теоретические основы фотоники. Классический электромагнетизм и оптика. Волновое уравнение, монохроматические волны. Уравнение Гельмгольца, плоские и сферические волны. Диапазоны длин волн. Поляризация света. Граничные условия, законы преломления и отражения, формулы Френеля, угол Брюстера. Элементы геометрической оптики. Дисперсия показателя преломления, классическая теория дисперсии.

Теория световодов. Основные явления в световодах. Полное внутреннее отражение. Числовая апертура и угол приема оптического волокна. Планарные зеркальные волноводы. Типы дисперсии в волноводах. Волноводные моды. Распределение поля для различных мод. Оптическая связь в волноводах. Разбор задач и выполнение практических заданий по теме «Теория световодов».

Теория оптических резонаторов. Резонатор Фабри-Перо. Собственные моды. Резонансные частоты. Потери в оптических резонаторах. Добротность. Моды шепчущей галереи. Кольцевой резонатор. Оптическая связь между кольцевым резонатором и волноводом. Применения кольцевых резонаторов в фотонике.

Фотонные кристаллы. Типы фотонных кристаллов. Волновое уравнение для одномерного фотонного кристалла. Блоховские моды. Брэгговский отражатель. Фазовая и групповая скорости в фотонных кристаллах. Распределённый брэгговский отражатель Анализ 2D и 3D фотонных кристаллов. Зонная структура. Фотонно-кристаллические волоконные световоды. Оптические циркуляторы.

Элементы нелинейной оптики. Нелинейные оптические среды. Нелинейное волновое уравнение. Нелинейная изотропная среда. Генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Материалы, используемые для генерации 2-ой гармоники. Оптическое выпрямление. Фазовая самомодуляция светового излучения. Эффект Керра в нелинейной среде. Оптические солитоны

Электрооптика. Электрооптический эффект. Диэлектрическая непроницаемость. Эффект Поккельса. Эффект Керра. Электрооптический модулятор. Анизотропия и электрооптический эффект. Модуляторы интенсивности на основе интерферометра. Модуляторы интенсивности на основе поляризаторов. Направленные ответвители. Электрооптическое управление фазовой расстройкой. Интегрально-оптический направленный ответвитель.

Акустооптика. Предмет акустооптики. Изменение показателя преломления вследствие присутствия звуковой волны. Дифракция Брэгга на звуковой волне. Доплеровский сдвиг. Акустооптические устройства. Дифракция плоской оптической волны на тонком акустическом пучке. Дифракция оптического пучка на акустическом пучке. Акустооптические модуляторы, сканеры, пространственные переключатели. Разбор задач и выполнение практических заданий по теме «Акустооптика».

Источники и детекторы фотонов. Принципы работы лазеров.

Спонтанное и вынужденное излучение. Возможность когерентного усиления. Инверсная заселённость уровней, создание активной среды (накачка). Лазерное усиление. Обратная связь и потери. Порог генерации. Спектральное распределение. Механизмы уширения спектральных линий. Плотность потока фотонов на выходе. Методы накачки. Волоконный лазер. Случайный лазер. Разбор задач и выполнение практических заданий по теме «Принципы работы лазеров».

Полупроводниковые источники фотонов. Основные типы полупроводниковых источников фотонов. Параметры инжекционной электролюминесценции. Светоизлучающие диоды. Квантово-точечные светодиоды. Лазерные диоды. Вертикально-излучающие лазеры. Квантовые каскадные лазеры. Фотонно-кристаллические поверхностно-излучающие лазеры. Лазер с распределенной обратной связью.

Полупроводниковые детекторы фотонов. Основные типы фотодетекторов. Внешний и внутренний фотоэффект. Процессы в полупроводниковых фотоэлектрических приемниках. Фотопроводники. Фотодиоды на основе рп-перехода. Фотодетекторы на основе 2D материалов. Инфракрасный фотодетектор с квантовыми ямами. PIN - фотодиод. Фотодиоды на барьерах Шоттки. Лавинный фотодиод. Шум в фотодетекторах.

Устройства фотоники и их применения. Волноводные оптические усилители и лазеры. Волноводные оптические усилители. Основные принципы работы волоконного лазера. Редкоземельные элементы, используемые в активных волоконных световодах. Резонаторы в волоконных лазерах. Брэгговское зеркало. Кольцевой резонатор. Волоконные лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния. Принцип каскадного комбинационного рассеяния.

Многокаскадный волоконный ВКР-лазер. Генерация наносекундных импульсов волоконными лазерами. Солитонные лазеры. Случайные волоконные лазеры.

Оптические соединения и коммутаторы. Оптические межсоединения. Принципы мультиплексирования и демultipлексирования. Демultipлексоры. Оптический мультиплексор ввода-вывода. Демultipлексор на основе интерферометра Маха-Цендера. Решетки с распределенными волноводами. Мультиплексирование с поляризационным разделением. Фотонные коммутаторы. Оптический переключатель на основе микроэлектромеханических систем. Термооптический коммутатор. Электрооптические коммутаторы. Оптическое переключение на основе двумерных материалов. Оптоэлектронная сборка. Краевое соединение волокна с фотонной интегральной схемой

Методы расчета характеристик элементов интегральной фотоники.
Возможности современных САПР в области моделирования характеристик планарных волноводных структур. Использование пакета программ RSoft Photonics CAD компании Synopsys для моделирования элементов интегральной фотоники. Возможности САПР Sentaurus TCAD для моделирования оптических эффектов и расчета характеристик элементов фотоники. Программное обеспечение для разработки фотонных устройств Ansys Lumerical.

Лабораторный практикум. Базовые инструменты интерфейса пользователя САПР RSoft для создания структур

Реализация методов расчетов в САПР RSoft. Определение граничных условий, задание источников и мониторов, задание поляризации.

Создание структуры многомодового интерферометра, расчет оптимальной длины устройства.

Создание модели и расчет характеристик Y-разветвителя.

Профессиональный модуль ПМ.01 «Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники»

Модели и методы расчета характеристик элементов интегральной фотоники. Системы моделирования и проектирования элементов ФИС. Программное обеспечение для построения моделей элементов и конструирования. Анализ

схемотехнических решений, Схемотехнические решения и критерии их выбора для реализации элементов интегральной фотоники. Маршрут проектирования фотонной интегральной схемы с использованием программного обеспечения.

Моделирование конструкции элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР. Методы моделирования и математические модели элементов интегральной фотоники. Моделирование пассивных и активных элементов интегральной фотоники САПР Sentaurus TCAD. Моделирование элементов интегральной фотоники средствами пакета программ Rsoft. Возможности метода Rsoft-FullWave. Возможности метода Rsoft-BeamProp.

Лабораторный практикум Моделирование интерферометра Маха-Цандера.

Расчет мод связанных волноводов. Моделирование кольцевого резонатора.

Исследование характеристик многомодового интерферометра.

Создание модели и расчет характеристик AWG-мультиплексора.

Расчет параметров элементов, подготовка информации для разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники

Схемотехнические решения и критерии их выбора для реализации элементов интегральной фотоники, методы расчета параметров элементов интегральной фотоники. Разбор задач и выполнение практических заданий по теме «Расчет параметров элементов интегральной фотоники»

Правила подготовки информации для оформления ТЗ и разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники, анализ примеров

Профессиональный модуль ПМ.02 «Технология создания фотонных интегральных схем».

Компьютерное моделирование технологических процессов, расчет параметров технологических операций изготовления ИС. Базовый технологический маршрут КМОП совместимой технологии изготовления ФИС. Базовые технологические модули КМОП совместимой технологии изготовления ФИС (Жидкостная и плазменная обработка поверхности, диффузия, ИЛ, термические обработки, фотолитография, процессы плазменного травления и плазменного осаждения

функциональных и вспомогательных слоев ФИС, включая PVD, HDPCD, PECVD, ALE, ALD. Разработка документации, включая маршрутные и операционные технологические карты для производства ФИС. Основы инфраструктурного и технологического обеспечения производственного процесса изготовления ФИС. Основные методы межоперационного контроля результатов проведения технологических процессов.

Моделирование технологических процессов формирования элементов интегральной фотоники. Возможности САПР и методы математического моделирования технологических маршрутов и процессов формирования элементов интегральной фотоники. Используемые модели технологических операций изготовления элементов интегральной фотоники. Системы приборно-технологического моделирования. Программная среда TCAD Synopsys. Моделирование основных технологических операций для производства фотонных интегральных схем. Алгоритм струны в моделировании травления и осаждения. Моделирование операции термического окисления.

Лабораторный практикум

Моделирование технологических процессов создания планарного интегрального волновода

Разработка технологических маршрутов формирования элементов интегральной фотоники

Базовый набор технологического оборудования для изготовления элементов интегральной фотоники. Методы разработки технологических маршрутов формирования интегральных элементов. Базовые и вспомогательные технологические операции

Входные и выходные характеристики технологических операций производства элементов интегральной нанофотоники

ФИС на основе фосфида индия; кремниевые ФИС; монолитные и немонолитные ФИС; современные методы компоновки фотонных и электронных ИС; монолитная интеграция.

Разработка документации на технологические операции, формы маршрутных листов. Порядок корректировки технологического маршрута.

Межоперационный контроль параметров формируемых элементов интегральной фотоники

Методы и технологии межоперационного контроля параметров элементов интегральной фотоники

Операционный контроль на производстве (In-line)

Планирование и проведение технологических экспериментов

Профессиональный модуль ПМ.03 «Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники».

Методы контроля характеристик волноводных слоев. Система менеджмента качества на производстве изделий интегральной фотоники. Методики квалификации технологии изготовления. Оборудование и методы для проведения контроля характеристик волноводных слоев, выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники.

Операционный контроль на производстве (In-line). Параметрический и функциональный контроль. Статистические методы контроля качества в производстве изделий интегральной фотоники.

Выходной контроль оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники. Правила оформления протоколов и заключений по результатам проведения контроля параметрических характеристик слоев волноводных структур выходного контроля оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники. Примеры разработки рекомендаций по устранению причин отклонений характеристик слоев волноводных структур и параметров элементов интегральной фотоники.

Лабораторный практикум.

Измерение толщины и показателя преломления диэлектрических слоёв на полупроводниковой подложке с помощью эллипсометра.

Измерение потерь в оптических средах

Сварка оптического волокна и контроль параметров.

Учебная программа повышения квалификации специалистов обеспечивает формирование у обучающихся профессиональных компетенций по профилям, соответствующим трем целевым группам: инженеров – проектировщиков элементов интегральной фотоники; инженеров – технологов в области производства элементов интегральной фотоники; инженеров – метрологов в области производства элементов интегральной фотоники.

Образовательный цикл включает базовую часть и специальную части, в том числе программу практики и итоговую аттестацию. Предусмотренная учебным планом научно-исследовательская практика слушателей будет проводиться на базе предприятий российской электроники, специализирующихся на разработке и выпуске фотонных интегральных схем АО «ЗНТЦ», НПК «Технологический центр», ООО «Фотис» и др.

Направления и тематика научно-исследовательской практики определяются при участии предприятия-работодателя.

В составе модулей предусмотрены лекционные занятия с использованием мультимедийных презентаций, лабораторно-практические занятия с использованием новейших типов программно-аппаратных комплексов и измерительного оборудования, консультации, в том числе проводимые с использованием дистанционных образовательных технологий. Общий объем часов, отводимых на изучение междисциплинарного курса, составляет 72 часа, на изучение профессионального модуля - 36 часов.

Предлагаемая к реализации программа основывается на сочетании теоретической подготовки с лабораторно-практическими занятиями, которые будут проводиться в лабораторно-исследовательском комплексе, оборудованном современными программными средствами проектирования ФИС, технологическим и контрольно-измерительным оборудованием. При выполнении практических занятий в лабораторно-исследовательском комплексе будут использованы методы работы слушателей в команде, будет организована совместная деятельность слушателей в группе, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды с делегированием полномочий и ответственности.

При разработке программ междисциплинарного курса и профессиональных модулей учтено использование инновационных технологий обучения слушателей, нацеленных на повышение качества образования, в том числе такие формы и методы обучения как проблемные лекции, дискуссии, автоматизированные обучающие системы, основанные на информационных технологиях компьютерного контроля знаний студентов, имитационное моделирование профессиональной деятельности и т.д.

В основе образовательной программы лежит использование информационных технологий - обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения процедур объективного контроля и мониторинга знаний слушателей.

В рамках программы также предлагается электронный учебный курс, реализуемый в формате дистанционных образовательных технологий.

Электронный учебный курс (ЭУК) «Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения» разработан в рамках программы повышения квалификации в области разработки и производства элементов интегральной фотоники (Программа) и является частью базового (общепрофессионального) модуля (междисциплинарного курса) Программы, реализуемой с использованием дистанционных образовательных технологий. ЭУК позволяет освоить теоретические разделы междисциплинарного курса МДК.01 в дистанционном формате, а именно: разделы «Теоретические основы фотоники», «Источники и детекторы фотонов» и «Устройства фотоники и их применения».

При реализации ЭУК обеспечена кроссплатформенная и кроссбраузерная совместимость. ЭУК функционирует в среде операционных систем Windows 10 и выше), Android 4.4 (и выше), iOS 8 (и выше). Обеспечена поддержка интерфейса как в режиме стационарного компьютера (мышь, клавиатура), так и в режиме планшета (тачскрин). ЭУК корректно функционирует в браузерах Google Chrome, Safari, Mozilla FireFox, MS Edge.

Структура ЭУК состоит из трех модулей: Модуль 1 «Теоретические основы фотоники», Модуль 2 «Источники и детекторы фотонов» и Модуль 3 «Устройства фотоники и их применения». Содержание ЭУК включает такие необходимые для

специалистов в области разработки и создания базовые темы, как «Классический электромагнетизм и оптика», Теория световодов», «Теория оптических резонаторов», «Фотонные кристаллы» и другие разделы. Общий объем ЭУК составляет 41 час, в том числе 24 часа – лекции, реализуемые в электронном формате, 6 часов – практические занятия, 11 часов – текущий контроль.

Рекомендовано последовательное изучение курса, без пропусков, с обязательным прохождением тестирования теоретического материала в каждой теме и выполнением практического задания в Модуле 1 и Модуле 2. Контроль успешности освоения материала ЭУК осуществляется по результатам выполнения практических заданий и прохождения тестирования по темам курса. Критерием успешного прохождения является сдача промежуточных тестов по разделу не менее, чем на 60%.

Реализация учебных программ междисциплинарного курса и профессиональных модулей будет осуществляться с привлечением ведущих специалистов российских предприятий, специализирующихся на разработке и выпуске интегральной фотоники и микроэлектроники – АО «ЗНТЦ», НПК «Технологический центр», ООО «НМ-Тех». При проведении аудиторных занятий предполагается широкое использование кейс-метода - анализа реальных проблемных ситуаций, имевших место в соответствующей области профессиональной деятельности, и поиск вариантов лучших решений.

Программа обеспечена учебно-методическим комплексом, включающим программы междисциплинарного курса и профессиональных модулей и учебно-методические комплексы курса/модулей, учебные, учебно-методические, контрольно-измерительные материалы. Программы междисциплинарного курса и профессиональных модулей и учебно-методические комплексы приведены в соответствующих Приложениях 1.1- 1.4 к Программе.

Таким образом, предлагаемая образовательная программа позволяет провести повышение квалификации слушателей, обеспечив формирование профессиональных компетенций в области в области разработки и производства элементов интегральной фотоники, по трем целевым группам слушателей: «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники», «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники», «Инженер –

технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники». Разработанная дополнительная образовательная программа – программа повышения квалификации позволит решить задачу оперативного реагирования на потребности производственных компаний, осуществляющих ускоренное развитие сквозной технологии микроэлектроники и фотоники, и возрастающие кадровые запросы этих компаний на специалистов, обладающих необходимой степенью квалификации, востребованной для развития в области проектирования, моделирования и технологии изготовления элементной базы и изделий интегральной фотоники.

1.3. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники»

Индекс	Элементы учебного процесса, в т.ч. учебные дисциплины, профессиональные модули, междисциплинарные курсы	Всего часов	Аудиторная учебная нагрузка, часов			Самостоятельная работа, часов	Практика, часов	Аттестация, часов
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общепрофессиональный цикл								
МДК.01	Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения	72	24	8	16	22		2
	Всего по общепрофессиональному циклу	72	24	8	16	22		2
Профессиональный цикл								
	<i>Специальный блок по профилю «Инженер-проектировщик элементов интегральной фотоники»</i>							
ПМ.01	Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники.	36	4	4	16	10		2
НИП.01	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)	16					16	
ИА.01	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)	8						8
	Всего часов по профилю «Инженер - проектировщик элементов интегральной фотоники»	132	28	12	32	32	16	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9

	<i>Специальный блок по профилю «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»</i>							
ПМ.02	Технология создания фотонных интегральных схем	36	6	14	4	10		2
НИП.02	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)	16					16	
ИА.02	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)	8						8
	Всего часов по профилю «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»	132	30	22	20	32	16	12
	<i>Специальный блок по профилю «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»</i>							
ПМ.03	Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники	36	4	8	12	10		2
НИП.03	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)	16					16	
ИА.03	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)	8						8
	Всего часов по профилю «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»	132	28	16	28	32	16	12

1.4 КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники»

Индекс	Элементы учебного процесса, в т.ч. учебные дисциплины, профессиональные модули, междисциплинарные курсы	Сроки обучения, недели			
		1 - 2	3-4	5-6	7-8
Общепрофессиональный цикл					
МДК.01	Физические основы фотоники: принципы, устройства и применения	36/24	36/24		
Профессиональный цикл					
	<i>Специальный блок по профилю «Инженер-проектировщик элементов интегральной фотоники»</i>				
ПМ.01	Моделирование и проектирование элементов интегральной фотоники.			27/18	9/6
НИП.01	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)				16
ИА.01	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)				8
	Всего по профилю «Инженер - проектировщик элементов интегральной фотоники»: 132 час./ 72 ауд. час.	36/24	36/24	27/18	33/6
	<i>Специальный блок по профилю «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»</i>				
ПМ.02	Технология создания фотонных интегральных схем			27/18	9/6
НИП.02	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)				16
ИА.02	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)				8
	Всего часов по профилю «Инженер - технолог в области производства элементов интегральной фотоники»: 132 час./ 72 ауд. час.	36/24	36/24	27/18	33/6
	<i>Специальный блок по профилю «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»</i>				
ПМ.03	Методы измерения и контроля характеристик элементов интегральной фотоники			27/18	9/6
НИП.03	Научно-исследовательская практика (в т.ч. стажировка на предприятии)				16
ИА.03	Итоговая аттестация: зачет (выполнение практического задания)				8
	Всего часов по профилю «Инженер - технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»: 132 час./ 72 ауд. час.	36/24	36/24	27/18	33/6
	Всего 132час./72 ауд. час	36/24	36/24	27/18	33/6

1.5. Оценка качества освоения образовательной программы дополнительного профессионального образования.

Оценка качества освоения программы включает текущий, промежуточный контроль и итоговую аттестацию.

Текущий, промежуточный контроль и итоговая аттестация проводится образовательным учреждением по результатам освоения программ междисциплинарного курса и профессиональных модулей программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники». Формы и условия проведения текущего, промежуточного контроля и итоговой аттестации доводятся до сведения обучающихся в начале обучения.

Учебно-методические материалы для обучающихся и Методические материалы для преподавателя приведены в соответствующих Приложениях к Программе междисциплинарного курса МДК.01 и к Программам профессиональных модулей ПМ.01, ПМ.02, ПМ.03 (Приложения 1.1 – 1.4).

Для текущего, промежуточного и итогового контроля образовательными учреждениями создаются фонды оценочных средств (ФОС). ФОС включают в себя педагогические контрольно-измерительные материалы, предназначенные для определения соответствия (или несоответствия) индивидуальных образовательных достижений основным показателям результатов профессионального модуля.

Текущий контроль проводится преподавателем на основе оценивания результатов лабораторных и практических работ и самостоятельной работы обучающихся.

Промежуточный контроль проводится в форме тестирования по результатам освоения междисциплинарного курса и профессиональных модулей.

Фонды оценочных средств для промежуточной аттестации приведены в Приложениях к Программе междисциплинарного курса МДК.01, к Программам профессиональных модулей ПМ.01, ПМ.02, ПМ.03 (Приложения 1.1 -1.4).

Итоговая аттестация проводится посредством оценивания результатов выполнения практических заданий для оценки сформированности следующих профессиональных компетенций:

-по целевой группе «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники»:

- ПК1.1 Моделировать конструкции элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР;
- ПК1.2 Анализировать схемотехнические решения, рассчитывать параметры и допуски элементов интегральной фотоники;
- ПК1.3 Формировать исходную информацию для разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники.

-по целевой группе «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники»:

- ПК2.1 Проводить компьютерное моделирование технологических процессов, рассчитывать параметры технологических операций формирования элементов интегральной фотоники;
- ПК2.2 Разрабатывать и осуществлять выполнение технологических маршрутов и технологических операций формирования элементов интегральной фотоники;
- ПК2.3 Осуществлять межоперационный контроль параметров формируемых волноводных структур элементов интегральной фотоники.

-по целевой группе «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»:

- ПК3.1 Проводить контроль характеристик волноводных слоев;
- ПК3.2 Осуществлять выходной контроль оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники.

Фонды оценочных средств для итоговой аттестации приведены в Программе итоговой аттестации выпускников программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники» (Приложение 1.5).

Итоговая аттестация проводится после завершения освоения междисциплинарного курса и профессиональных модулей и прохождения научно-исследовательской практики. По результатам итоговой аттестации формируются оценочные суждения о достижении образовательных результатов по программе повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной

фотоники» – профессиональных компетенций для каждой целевой группы слушателей в формате: «сформирована/не сформирована».

К итоговой аттестации допускаются лица, выполнившие требования, предусмотренные программой, и успешно прошедшие все оценочные процедуры, предусмотренные программами междисциплинарного курса и профессиональных модулей. Аттестационной комиссией проводится оценка освоенных выпускниками профессиональных компетенций в соответствии с согласованными с работодателем показателями оценки, утвержденными образовательным учреждением (Таблица 5).

Таблица 5 - Перечень показателей оценки результатов освоения профессиональных компетенций

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
ВПД Разработка и проектирование элементов интегральной фотоники и фотонных интегральных схем (целевая группа «Инженер – проектировщик элементов интегральной фотоники»)		
ПК1.1 Моделировать конструкции элементов интегральной фотоники с использованием средств САПР	Приведено обоснование выбора методов моделирования и моделей для расчета конструкции заданного элемента интегральной фотоники, удовлетворяющей требованиям технического задания	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Разработанная компьютерная модель конструкции заданного элемента интегральной фотоники обеспечивает расчет характеристик и параметров, соответствующих требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Рассчитанные характеристики и выбранные параметры конструкции заданного элемента интегральной фотоники соответствуют требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
ПК1.2 Анализировать схемотехнические решения, рассчитывать параметры и допуски элементов	Приведено обоснование выбора схемотехнического решения для реализации заданного элемента интегральной фотоники с параметрами, соответствующими требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Рассчитанные значения параметров и допусков заданного элемента интегральной	Продукт (итоговый отчет о

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
интегральной фотоники	фотоники соответствуют требованиям ТЗ	выполнении задания). Оценка – по критериям
ПК1.3 Формировать исходную информацию для разработки конструкторской документации элементов интегральной фотоники	Выбранные с учетом результатов компьютерного моделирования конструкции и схемотехнических расчетов итоговые значения параметров и допусков заданного элемента интегральной фотоники обеспечивают достижение характеристик, соответствующих требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Подготовленное ТЗ на разработку конструкторской документации элементов интегральной фотоники соответствует техническим требованиям, установленным локальными нормативными актами	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
ВПД Разработка технологии производства элементов интегральной фотоники (целевая группа «Инженер – технолог в области производства элементов интегральной фотоники»)		
ПК2.1 Проводить компьютерное моделирование технологических процессов, рассчитывать параметры технологических операций формирования элементов интегральной фотоники	Совокупность разработанных компьютерных моделей технологических операций охватывает все задействованные в процессе формирования элемента интегральной фотоники базовые технологические операции и обеспечивает расчет характеристик формируемых слоев волноводных структур в зависимости от входных параметров базовых технологических операций	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Интервал варьирования значений входных параметров технологических операций достаточен для выбора оптимальных значений параметров, обеспечивающих достижение требуемых характеристик формируемых слоев волноводных структур	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Выбранные значения входных параметров технологических операций обеспечивают достижение расчетных и соответствующих требованиям ТЗ характеристик формируемого элемента интегральной фотоники	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
ПК2.2 Разрабатывать и осуществлять выполнение технологических маршрутов и технологических операций формирования элементов интегральной фотоники	Разработанная последовательность базовых технологических операций, вспомогательных технологических операций и технологических переходов обеспечивает формирование заданного элемента интегральной фотоники в соответствии с требованиями ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Разработанная технологическая операция имеет подробно описанное и обоснованное «окно процесса» с подтвержденными допустимыми отклонениями каждого из входящих в него параметров в соответствии с действующими протоколами, технологической документацией и стандартами предприятия	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Сопровождение и, при необходимости, в случае отклонения контролируемых характеристик изделия за допустимые границы, корректировка технологического маршрута осуществляются в соответствии с маршрутной технологической картой, действующими протоколами и стандартами предприятия	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
ПК2.3 Осуществлять межоперационный контроль параметров формируемых волноводных структур элементов интегральной фотоники	Совокупность измеренных параметров волноводных структур соответствует техническим требованиям (указанным в сопроводительном листе)	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Результаты анализа выявленных отклонений параметров волноводных структур от заданных значений представлены для полного перечня выявленных отклонений	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Представленные рекомендации по устранению причин отклонений параметров волноводных структур обеспечивают достижение значений параметров, соответствующих техническим требованиям	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
ВПД Измерение характеристик и контроль параметров элементов интегральной фотоники и фотонных интегральных схем (целевая группа «Инженер – технолог по измерению и контролю параметров элементов интегральной фотоники»)		

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
ПКЗ.1 Проводить контроль характеристик волноводных слоев.	Совокупность измеренных параметрических характеристик функциональных и вспомогательных слоев волноводных структур соответствует требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Результаты анализа выявленных отклонений параметрических характеристик функциональных и вспомогательных слоев волноводных структур от заданных значений представлены для полного перечня выявленных отклонений	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Представленные рекомендации по устранению причин отклонений параметрических характеристик функциональных и вспомогательных слоев волноводных структур обеспечивают достижение значений характеристик, соответствующих техническим требованиям	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
ПКЗ.2 Осуществлять выходной контроль оптических и оптико-электрических параметров элементов интегральной фотоники	Совокупность измеренных выходных оптических и оптико-электрических параметров заданного элемента интегральной фотоники соответствует требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Результаты анализа выявленных отклонений выходных оптических и оптико-электрических параметров заданного элемента интегральной фотоники от заданных значений представлены для полного перечня выявленных отклонений	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям
	Представленные рекомендации по устранению причин отклонений выходных оптических и оптико-электрических параметров заданного элемента интегральной фотоники обеспечивают достижение значений выходных параметров, соответствующих требованиям ТЗ	Продукт (итоговый отчет о выполнении задания). Оценка – по критериям

Лицам, прошедшим соответствующее обучение в полном объеме и аттестацию, образовательными учреждениями выдаются документы установленного образца.

Проведение итоговой аттестации осуществляется согласно программе итоговой аттестации выпускников программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники».

Разработанная программа итоговой аттестации устанавливает требования к содержанию, структуре и оценке качества освоения программы повышения квалификации «Разработка и производство элементов интегральной фотоники».

Разработанная Программа итоговой аттестации приведена в Приложении 1.5 к Программе.

Информационное обеспечение обучения

1. Киреев В.Ю. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии. М.: Изд-во ФГУП «ЦНИИХМ», 2008. – 427 с.
2. Бирюков М.Г., Киреев В.Ю., Ковалев А.А., Певчих К.Э. Микроэлектроника России: проблемы разработки и производства технологического оборудования. - Перспективные технологии для систем безопасности, 2023, № 1 (01), с. 10 -31.
3. Фотоника - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоника>
4. Ковалев А.А. Интегральная фотоника – перспективы использовать в системах связи. – Современная электроника, 2021, № 4, с. 22 – 24.
5. Колесов А.А., Литманович А.М. Интегральная фотоника. М.: АСТ, 2023. – 211 с.
6. Андросик А. Б., Воробьев С. А., Мировицкая С. Д. Волноводная и интегральная фотоника. М.: МГОУ, 2011. — 370 с.
7. Слепов Н. Оптические мультиплексоры и демультимплексоры систем WDM. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. 2004, № 8, с. 42 – 47.
8. Киреев В.Ю., Костюков Д.А., Одинокое В.В. Системы металлизации интегральных микросхем. Часть 1. Эволюция систем металлизации в процессе развития планарной КМОП технологии. – Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника, 2023, № 2 (190), с. 32 – 51.

9. Беспалов В.А., Дюжев Н.А., Киреев В.Ю. Возможности и ограничения КМОП-технологии для производства различных микроэлектронных систем и приборов. - Российские нанотехнологии, 2022, т. 17, № 1, с. 29 - 45.
10. Разработан электрооптический модулятор Маха — Цендера для скоростной передачи больших объемов данных. 25.02.2020. ТУСУР - <https://naked-science.ru/article/column/razrabotan-elektroopticheskij-modulyator-maha-tsendera-dlya-skorostnoj-peredachi-bolshih-obemov-dannyh>
11. «Ростелеком», «Ростех» и «Система» создадут радиоэлектронный консорциум. 28 ноября 2019. - <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/11/27/817356-rostelekom>.
12. Википедия. Синхронная цифровая иерархия - https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхронная_цифровая_иерархия
13. Слепов Н.Н. Оптические мультиплексоры и демультимплексоры систем WDM. – ЭЛЕКТРОНИКА НТБ, 2004, № 8, с. 42 – 47.
14. Sahu P.P. Fundamentals of Optical Networks and Components. USA, Taylor & Francis Group, 2021. – 364 p.
15. Бирюков М.Г., Киреев В.Ю., Ковалев А.А., Певчих К.Э. Микроэлектроника России: проблемы разработки и производства технологического оборудования. - Перспективные технологии для систем безопасности, 2023, № 1 (01), с. 10 -31.
16. Баринов В.В., Калинин А.В., Киреев В.Ю. Кластерное производство специализированных СБИС. - Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА, 2000, № 4-5, с. 98 – 102.
17. Панфилов Ю.В. Электронные, ионные и плазменные технологии. Учебное пособие по курсу «Электронные технологии». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 16 с.
18. [Киреев В.Ю.](#) Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография – процессы и оборудование. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2016. - 320 с.
19. Киреев В., Столяров А. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. – Москва: Техносфера, 2006. - 192 с.

20. ГОСТ Р 8.736-2011 – Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. – 21 с.
21. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: учеб. пособие: в 2 т. – Долгопрудный: Интеллект, 2012.
22. Кирчанов В.С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 351 с.
23. Кириченко Н.А. Принципы оптики: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2016.
24. Ахманов С.А. Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: Издательство МГУ, Наука, 2004.
25. Никоноров НВ, Шандаров СМ. Волноводная фотоника. Санкт Петербург, ИТМО. 2008.
26. Reider, Georg A. Photonics. New York, NY, USA: Springer, 2016.
27. Gaponenko, S. V. (2010). Introduction to nanophotonics. Cambridge University Press.
28. Григорьев, Л. В. (2016). Кремниевая фотоника. Курс лекций (часть 1). СПб: Университет ИТМО.
29. Агекян, В. Ф. (2007). Основы фотоники полупроводниковых кристаллов и наноструктур. СПб.: КМЦ ФФ.–133 с.
30. M. Dressel, G. Gruner, Electrodynamics of Solid: Optical Properties of Electrons in Matter, Cambridge: Cambridge University Press, 2002
31. A. Taflove, S,C, Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Boston: Artech House, 3rd ed., 2005.
32. J.P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorbition of Electromagnetic waves", J. Comput. Physics, 114, 185 (1994)
33. H. Duan, S. yu, X. Jiang, X. Du and G. Lyu, "Design and simulation of etched physical structure fiber Bragg grating for fabricating high temperature sensors," 2019 18th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON), Huangshan, China, 2019, pp. 1-3.
34. H. Dsilva, A. Jain, S. J and A. Kumar, "Effective Segmentation approach of Package-to-PCB modeling using Full-Wave EM field Solver," 2020 IEEE

- Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS), Shenzhen, China, 2020, pp. 1-3.
35. H. Ihsudha, Y. Aska and M. A. Sulthoni, "Photonic Simulation of Al₂O₃-coated and Au Nanorod using Lumerical FDTD," 2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), Bandung, Indonesia, 2021, pp. 1-6.
36. Zaid Lateef Hussain, Raad S. Fyath, «Three mode polarization-independent (de)multiplexer based on multimode interference coupler», Microelectronics Journal, Volume 136, 2023, 105804
37. Ahmed S. Falih, Kadhim A. Hubeatir, Raad S. Fyath, «Full-wave multiphysics model for simulation and investigation of terahertz photoconductive antenna using LUMERICAL and CST softwares», Results in Optics, Volume 10, 2023, 100344

Разработчики программы:

Зам. директора Института ИнЭл по ОД
к.т.н., доцент

 / Е.А. Артамонова /

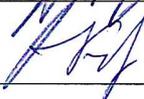
Профессор, д.т.н., профессор

 / Т.Ю. Крупкина /

Профессор, д.т.н., профессор

 / М.Г. Путря /

Доцент, к.т.н., доцент

 / А.Ю. Красюков /

Согласовано:

Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

Директор Института ИнЭл



В.В. Лосев