

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Министра
образования и науки
Российской Федерации


_____ Л.М. Огородова

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Министра
промышленности и торговли
Российской Федерации


_____ А.Н. Морозов

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора Госкорпорации
«Роскосмос»


_____ М.Н. Хайлов

**МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ ПРОГРАММА
ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ФОТОНИКИ
НА 2017 - 2020 ГОДЫ**

ПАСПОРТ**межведомственной программы исследований и разработок в области фотоники
на 2017-2020 годы**

Наименование Программы	- межведомственная программа исследований и разработок в области фотоники на 2017-2020 годы (далее - Программа)
Основание для разработки Программы	- Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 9 июля 2014 г. № 4 Протокол совещания у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.В. Дворковича от 30 сентября 2015 г. № АД-П8-216пр
Координатор Программы	- Министерство образования и науки Российской Федерации
Основные участники Программы	- Минобрнауки России, Минпромторг России, Госкорпорация «Роскосмос», заинтересованные ФОИВ, фонды и институты развития, государственные корпорации, Сколковский институт науки и технологий, Российский квантовый центр, технологическая платформа «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника».
Основная цель Программы	- Формирование научного, технического и технологического задела, обеспечивающего развитие отечественной фотоники в качестве критически важной для инновационного развития страны наукоемкой отрасли и стимулирования широкого практического освоения высокоэффективных технологий фотоники в реальном секторе экономики страны. Создание конкурентоспособной продукции на основе фотоники.

<p>Основные задачи Программы</p>	<p>- Развитие сектора исследований и разработок в области фотоники, обеспечивающего экономический рост и высокий уровень конкурентоспособности российской экономики, в том числе для решения задач импортозамещения продукции на основе решений фотоники.</p> <p>Обеспечение координации исследований и разработок в области фотоники для сосредоточения ресурсов на перспективных приоритетных направлениях исследований и разработок в области фотоники.</p> <p>Обеспечение эффективного трансфера результатов научных исследований и разработок в области фотоники в стадию коммерциализации и промышленного освоения.</p>
<p>Сроки реализации Программы</p>	<p>- 2017 – 2020 годы</p>
<p>Объем и источники финансирования Программы</p>	<p>- Финансирование Программы осуществляется в рамках утвержденных лимитов бюджетных обязательств. Объем и источники финансирования ежегодно уточняются при формировании федерального бюджета на соответствующий год и плановый период.</p>
<p>Ожидаемые конечные результаты реализации Программы</p>	<p>- Формирование эффективно функционирующего сектора исследований и разработок в области фотоники, обеспечивающего создание инновационной продукции и технологий.</p> <p>Формирование научного, технического и технологического задела по приоритетным направлениям фотоники.</p> <p>Развитие производства изделий фотоники, ориентированных на конечного потребителя.</p> <p>Увеличение степени независимости реального сектора экономики страны от импортных поставок в части фотоники.</p>

I. Характеристика проблемы, на решение которой направлена Программа

Сегодня фотоника охватывает область науки и техники, связанную с генерацией и распространением потоков фотонов, управлением ими, изучением и использованием их взаимодействия с веществом. Составными частями фотоники являются квантовая электроника, физика и техники лазеров, нелинейная, интегральная, волоконная и квантовая оптика, оптоэлектроника, лазерные технологии, голография и другие научно-технические направления, для которых базовым процессом является передача энергии или информации потоком фотонов. Развитие фотоники привело к созданию целого ряда высокоэффективных технологий и на их базе – новых видов техники и подотраслей – таких как оптическая связь, лазерные производственные технологии, биофотоника, оптоинформатика, техническое зрение и др. Число областей применения технологий фотоники постоянно растёт. Особое место в этом ряду занимает квантовая фотоника, которая работает на уровне единичных квантов или ансамблей до 100 квантов. Управление единичными квантами позволяет реализовывать новую идеологию и принципы построения фотонных приборов и устройств. Сегодня эти квантовые технологии, построенные на управлении единичными квантами, позволили открыть такие новые направления, как квантовые вычисления, квантовая информатика, квантовый компьютер, квантовая телекоммуникация, квантовая криптография. Эти направления будут определять уровень информационных и телекоммуникационных технологий на ближайшие 20-50 лет.

Сегодня фотоника и ее сверхсовременная составная часть - квантовые технологии являются комплексным звеном, объединяющим следующие технологические сектора исследовательской и инновационной деятельности: информационно-телекоммуникационные технологии, науки о жизни и здоровье, оборона и безопасность, освещение и энергетика. Именно достижения в области фотоники и квантовых технологий будут определять развитие и прогресс в перечисленных секторах.

Сегодня фотоника вписана в приоритетные направления развития науки и техники многих ведущих стран (США, Южной Кореи, Китая, Японии, стран Европейского Союза). В этих странах под фотонику разработаны государственные стратегические программы развития на 10-20 лет. Эти страны под фотонику выделяют значительное госбюджетное финансирование.

Сегодня фотоника это не только новейшая наука и современные технологии. Во всем мире фотоника успешно развивается как бизнес: тысячи высокотехнологичных компаний работают в этом секторе. Так, например, рынок фотоники начинает конкурировать с традиционным электронным рынком и по прогнозам должен в среднесрочной перспективе догнать рынок электроники.

Мировой рынок фотоники в настоящее время составляет более 400 млрд. евро и интенсивно растет с каждым годом. Современные технологии фотоники активно завоевывают новые ниши применений. Приборы и функциональные элементы на основе современных решений фотоники заменяют традиционные механические, электрические и другие устройства в разнообразных областях науки, промышленности, космоса, телекоммуникаций. Фотонные приборы (например, датчики, сенсоры, устройства записи, передачи и обработки информации и т.д.) обладают преимуществами по массе, энергопотреблению, быстродействию, цене и другим характеристикам по сравнению с аналогами, не использующими фотонные технологии.

Таким образом, все мировое научное и технологическое сообщество уже включилось в процесс раздела будущего рынка продукции фотоники. По ряду ключевых направлений фотоники Россия не потеряла инициативу более того, сегодня она находится на достаточно высоком уровне как по фундаментальным исследованиям в области фотоники, так и в области подготовки кадров высшей квалификации по этой тематике.

Российская Федерация традиционно обладает сильными позициями на мировом уровне как в научно-техническом, так и (в меньшей степени) в производственном секторах в ряде областей фотоники. В то же время, в большом количестве тех тематик, где наметилось отставание от мирового уровня, оно относительно невелико (по сравнению с, например, ситуацией в микроэлектронике) и может быть сокращено при относительно небольшом объеме финансирования в среднесрочной перспективе; по ряду приоритетных направлений есть понятные перспективы по выходу на мировой уровень продукции.

Особенностью ряда направлений фотоники, выделенных в приоритеты данной Программы является их относительная технологическая доступность: развитие на фазе разработки прототипа не требует вовлечения больших исследовательских групп и привлечения больших финансовых средств. Создание прототипов возможно на уже имеющемся в РФ оборудовании и материалах. Кроме того, одни и те же (или сходные) разработки и решения в ряде областей фотоники зачастую применяются в совершенно разных областях и могут быть ориентированы на различных потребителей: электронная, космическая, авиационная и оборонная промышленность, медицина, массовый потребительский сегмент и т.д. Таким образом, может достигаться кумулятивный коммерческий эффект от разработок.

Другие направления фотоники, описанные в данной Программе требуют скоординированной работы большого числа организаций и коллективов, продолжительного периода разработок, и относительно большого финансирования. Такие тематики выделены в приоритеты по причине существования конкретного заказчика (космический, авиационный, промышленный, оборонный и другие сектора),

способного частично обеспечить финансирование исследований и разработок и, в дальнейшем, обеспечить гарантированный заказ на большие объемы продукции.

В ЕС уже в 2005 г. была сформирована технологическая платформа «Фотоника-21» (“Photonics21”), объединяющая более 2500 компаний и исследовательских организаций. В 2009 г. фотоника вошла в состав ключевых обеспечивающих технологий (key enabling technologies), выбранных Европейской комиссией. В 2013 г. была составлена дорожная карта развития проекта Фотоника до 2020 года. Общий бюджет проекта оценивается в €7 млрд., из которых €5,6 млрд. будут инвестированы заинтересованными компаниями, а €1,4 млрд. вложит Европейская Комиссия в рамках программы Horizon 2020.

В США в 2012 г. после того, как Национальный исследовательский совет выпустил доклад по развитию фотоники и оптики, был начат процесс запуска Национальной инициативы в области фотоники (National Photonics Initiative). В 2014 г. Комитет по науке Национального совета по науке и технологиям США определил ключевые научные направления развития фотоники, их возможный вклад в развитие национальных приоритетов (таких, как исследования мозга, передовое производство, Большие данные и др.), состав мер поддержки, а также индикаторы оценки успеха их реализации. Государственные программы развития фотоники действуют в Китае, Южной Корее, Японии. Ежегодное суммарное финансирование проектов в области исследований и развития фотоники в мире - 18 млрд. долл. США.

В России в настоящее время имеется около 850 организаций, работающих в области фотоники – ведущих научные исследования и разработки, выпускающих продукцию фотоники, готовящих профильные кадры. Для развития отрасли фотоники в Российской Федерации также предпринимаются различные меры государственной поддержки.

В 2011 г. создана технологическая платформа «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника» (координатор – Лазерная ассоциация), объединяющая около 200 организаций, представляющих как сектор исследований и разработок, так и реальный сектор экономики.

В 2013 году распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2013 г. 1305-р утвержден план мероприятий («дорожная карта») «Развитие оптоэлектронных технологий (фотоники)», призванная ускорить развитие фотоники как отрасли высоких технологий, являющейся базой для современного развития многих отраслей экономики. В рамках реализации указанной «дорожной карты» в 2015 году разработана Стратегическая программа по тематике фотоники и её применений на период до 2020 г.

Предпосылкой для создания настоящей Программы является необходимость консолидации усилий всех заинтересованных отраслевых участников (федеральных органов исполнительной власти, сектора исследований и разработок, институтов

развития, бизнес-сообщества и промышленности) для обеспечения эффективной реализации полного цикла создания изделий фотоники, начиная от проведения фундаментальных и поисковых научных исследований до коммерциализации и внедрения результатов исследований и разработок на предприятиях отрасли.

Программа должна стать одним из координирующих инструментов государственных программ Российской Федерации, программ институтов развития, в рамках которых проводятся исследования и разработки в интересах фотоники.

Настоящая программа является важным звеном реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. № 2227-р) и Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р).

II. Цель и задачи Программы

Целью программы является формирование научного, технического и технологического задела, обеспечивающего развитие отечественной фотоники в качестве критически важной для инновационного развития страны наукоемкой отрасли и стимулирования широкого практического освоения высокоэффективных технологий фотоники в реальном секторе экономики страны, а также создание конкурентоспособной продукции на основе фотоники.

Реализация программы должна обеспечить развитие сектора исследований и разработок в области фотоники, обеспечивающего экономический рост и высокий уровень конкурентоспособности российской экономики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Развитие сектора исследований и разработок в области фотоники, обеспечивающего экономический рост и высокий уровень конкурентоспособности российской экономики, в том числе для решения задач импортозамещения продукции на основе решений фотоники.

Обеспечение координации исследований и разработок в области фотоники для сосредоточения ресурсов на перспективных приоритетных направлениях исследований и разработок в области фотоники.

Обеспечение эффективного трансфера результатов исследований и разработок в области фотоники в стадию коммерциализации и промышленного освоения, с целью развития реального сектора экономики в области производства изделий фотоники, ориентированных на конечного потребителя.

III. Приоритеты формирования и развития технологий фотоники

Выбор приоритетных направлений для реализации в рамках Программы обусловлен:

наличием потребностей государства, в т.ч. в целях исполнения государственной программы по импортозамещению наиболее критичных технологий;

наличием конечного заказчика и потребителя разрабатываемой продукции на внутреннем рынке и перспектив международной коммерциализации;

общемировыми средне- и долгосрочными тенденциями развития перспективных технологий и приборов на основе фотоники;

наличием компетенций, научно-технического и производственного задела, позволяющих выйти на создание как технологий и прототипов, так и серийных приборов в среднесрочной перспективе при относительно небольшом объеме дополнительного государственного финансирования.

Приоритеты исследований и разработок могут корректироваться Межведомственным координационным советом Программы. В рамках Программы планируется реализация по 5 основным приоритетным направлениям.

Каждое из выбранных направлений разбивается на «поднаправления» в соответствии с конкретными применениями создаваемых продуктов. Его приоритетность определяется пользователем – конкретным заказчиком конечной продукции фотоники и финансируется преимущественно за счет бюджетных средств, при условии обеспечения софинансирования со стороны такого заказчика.

Направления, не отнесённые к числу требующих сегодня приоритетной государственной поддержки, должны и будут развиваться, используя как механизмы рыночной конкуренции, так и созданную в стране инфраструктуру поддержки науки и инновационной деятельности (институты развития, программы инновационного развития госкорпораций и компаний с госучастием и др.).

Перечень приоритетно поддерживаемых направлений должен обновляться по мере развития отрасли.

На основе проведенных исследований, а также учитывая оценки экспертов с учетом вышеперечисленных критериев в качестве приоритетов развития отрасли выбраны следующие направления:

Направление 1. «Технологии оптических и квантовых материалов для построения новой элементной базы фотоники и устройства на их основе».

Материалы, используемые при изготовлении современных фотонных устройств можно условно разделить на «традиционные» и «новые». К традиционным материалам относятся кристаллы, неорганические и органические полупроводники, полимеры,

стекла и стеклокерамики, диэлектрики. К «новым» (или структурированным) фотонным материалам и структурам можно, в частности, отнести фотонные кристаллы, плазмонные материалы, материалы на основе коллоидных квантовых точек, метаматериалы и другие материалы с нетрадиционными оптическими и электрооптическими свойствами, квантовые оптические материалы, гибридные материалы, допированные и структурированные оптические волокна. Для широкого класса практических применений необходимо создание прозрачных опто-электронных материалов, обладающих свойствами высокой гибкости и эластичности. Сочетание традиционных и новых фотонных материалов обеспечивает мировой прогресс в создании функциональных элементов фотоники.

Компетенция в области разработки и производства традиционных и новых оптических материалов и структур на их основе является ключевым фактором для развития всех направлений фотоники в РФ. В рамках данной Программы определяются приоритетные задачи поддержки технологий производства фотонных материалов для достижения и поддержания конкурентоспособного мирового уровня и создания современной элементной базы и устройств фотоники на их основе.

Тематика «Традиционные материалы и структуры фотоники»

В области традиционных фотонных материалов требуется проведение работ по усовершенствованию технологий синтеза материалов и подложек высокой чистоты и структурного качества; расширению номенклатуры используемых материалов, прежде всего широкозонных диэлектрических и полупроводниковых, для покрытия всех необходимых спектральных диапазонов; совершенствованию технологий эпитаксиального роста квантоворазмерных наногетероструктур на основе различных неорганических и органических полупроводников и последующих технологий их процессирования; созданию новых стекол, керамик, кристаллических, полимерных и стеклокерамических материалов с заданными оптическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. Особый интерес представляют кристаллы и керамики с широким диапазоном прозрачности: широкозонные диэлектрические кристаллы (в первую очередь фториды) и кристаллы с узким фононным спектром (бромиды), поскольку они являются основой для реализации новых устройств фотоники неосвоенных спектральных диапазонов для последующих применений в инфо-коммуникационных, биомедицинских и специальных областях. Учитывая высокую востребованность таких материалов в передовых перспективных разработках и, одновременно, отсутствие отечественных производителей, развитие данного направления является критическим с точки зрения обеспечения суверенитета страны.

Тематика «Новые оптические материалы и фотонные структуры»

В области новых (структурированных) оптических материалов и структур на их основе требуется проведение научно-исследовательских работ по математическому моделированию материалов с заданными оптическими свойствами; разработке технологий синтеза материалов и созданию одно- двух- и трех- мерных структур на их основе для работы в различных спектральных диапазонах; разработке физических принципов и методов динамического и/или статического структурирования традиционных материалов; созданию, характеристике и оптимизации макетных образцов фотонных структур; сочетанию с традиционными оптическими материалами и структурами для создания гибридных структур и конечных фотонных устройств.

Ведущая роль при характеристике и контроле качества оптических материалов принадлежит тонким неразрушающим оптическим и радиоспектроскопическим методам – в т.ч. работающим на нанометровом пространственном масштабе и с пико- и фемтосекундным временным разрешением. Например, в материалах для квантовой памяти, являющейся необходимым компонентом квантового повторителя в линиях связи с использованием квантовой криптографии, необходимо знать тонкую и сверхтонкую структуру уровней и времена когерентности состояний (линейная и нелинейная спектроскопия высокого разрешения, времяразрешенная спектроскопия). Для характеристики материалов, перспективных в качестве однофотонных излучателей, адекватны методы спектроскопии одиночных молекул.

Тематика «Компоненты и устройства фотоники»

На основе различных сочетаний традиционных и новых оптических материалов создается современная компонентная база фотоники. В рамках программы определяются приоритетные типы и характеристики элементов фотоники, необходимые для использования в конечной продукции для различных областей промышленности РФ. В частности: (i) приемники излучения (детекторы) на различные спектральные диапазоны – одноканальные и многоканальные (одномерные линейки и двумерные матрицы); (ii) источники излучения (широкополосные, фиксированной и перестраиваемой частоты) в широких спектральных диапазонах - от терагерцового до глубокого УФ, включая светодиоды, лазерные диоды, излучатели с электронно-лучевой накачкой и униполярные каскадные излучатели, а также широкополосные источники «белого» света; (iii) антенны, электрооптические преобразователи, модуляторы, акусто-оптические фильтры света и др. В этой же связи, разработка компонентов фотоники должна включать в себя поисковые исследования новых эффективных люминофоров, обеспечивающих ап- и даун-конверсию излучения представляющих интерес спектральных диапазонов в излучение в области чувствительности датчиков (счетчиков квантов ИК излучения, различного рода визуализаторов), а также сцинтилляторов.

Тематика «Фотонные датчики, сенсоры и фотоэлектрические преобразователи»

Фотонные датчики, сенсоры и фотоэлектрические преобразователи являются наиболее широко распространенными и востребованными устройствами на основе как традиционных, так и новых решений фотоники. Существует большой спрос различных секторов промышленности на повышение технических и эксплуатационных характеристик различных видов датчиков и сенсоров: температуры, ускорения (акселерометры), давления, линейных и угловых перемещений, угловой скорости вращения, скорости потока жидкостей, электрического тока, магнитного поля, акустических полей, контроля механического состояния объектов, пламени (по свечению), возгорания (по газовыделению), примесей в жидкостях и газах; волоконные оптические гироскопы и др. В области фотоэлектрических преобразователей (в т.ч. солнечных элементов) ключевыми целями мирового развития являются повышение эффективности (КПД) и снижение себестоимости массового производства.

Помимо традиционных, новейшие подходы к созданию датчиков и сенсоров включают в себя использование **квантовых частиц и состояний**: плазмоны, поляритонные конденсаты, состояния в дефектах в алмазах и карбиде кремния и др. Использование в таких датчиках и сенсорах тонких квантовых эффектов позволяет достичь принципиально новых уровней чувствительности и разрешения.

Направление 2. Технологии для создания систем и инфраструктуры хранения, обработки, передачи и защиты информации

Тематика «Технологии и системы передачи информации»

Основным направлением в области создания сверхскоростных информационных сетей являются **технологии когерентной связи**. Для их осуществления требуется: создание быстрых аналого-цифровых преобразователей и микроципов для компенсации линейных искажений; микроципов для обеспечения фазовой синхронизации источника и фотоприемника; провести исследования, направленные на совершенствование и разработку принципов мультибитного кодирования сигнала с целью наиболее эффективного использования полосы пропускания оптического волокна.

Основной проблемой на пути создания протяженных когерентных линий связи (более 2 000 км) являются нелинейные искажения, связанные со свойствами материала оптического волокна. Необходимо выполнить исследования по разработке методов компенсации нелинейных искажений в системах когерентной связи.

Высокие требования, предъявляемые к допустимому уровню ошибок в системах хранения обработки и передачи информации требуют разработки кодов

коррекции ошибок нового поколения. Это связано с тем, что при высокоскоростной оптической передаче и обработке больших объёмов информации реализация стандартных итерационных методов коррекции ошибок становится затруднительной. Ограничения применимости стандартных методов обусловлены как большими скоростями потоков информации в современных системах, так и с отсутствием оптических буферов, позволяющих осуществлять временное хранение неискажённой последовательности битов на время итерационного исправления поврежденных участков. Необходимо разработать методы высокоскоростной коррекции ошибок для работы с большими объёмами информации. Работа по данной тематике должна быть сосредоточена на: (i) разработке новых принципов высокоскоростной коррекции ошибок; (ii) создании программного обеспечения; (iii) разработку и создание проблемно ориентированных чипов.

Наиболее востребованным для высокоскоростной передачи данных в атмосфере является спектр **субтерагерцовых частот** 100 – 300 ГГц. Именно этот диапазон частот является выделенным, поскольку дальнейшее повышение частоты приводит к быстро растущим потерям, связанным как с поглощением, так и с рассеянием в атмосфере, а понижение частоты накладывает ограничения по частоте модуляции сигнала, которая не может быть выше несущей частоты. Принцип действия большинства современных приемников субтерагерцового излучения основан на эффектах разогрева или туннелирования электронов, которые являются медленными процессами. Одним из новых перспективных принципов регистрации терагерцового излучения основан на преобразовании электромагнитных волн в плазменные волны с характерными временами разрешения детектора 200 - 300 пикосекунд. Из этих приемников можно изготавливать многопиксельные матрицы или линейки, что позволяет распараллеливать процесс передачи информации, увеличивая скорость передачи в десятки раз. На этом же принципе возможно создание миниатюрных генераторов СВЧ излучения частоты 100 - 200 ГГц с целью получения амплитудной модуляции субтерагерцового излучения с частотами модуляции около 50- 100 ГГц. Изучение физических основ распространения и деградации терагерцового сигнала в турбулентной атмосфере является принципиально важной задачей для практической реализации терагерцовых систем связи, позволяющей оценить уровень ошибок передачи, вероятность потери связи, и прочее в зависимости от характеристик атмосферной турбулентности.

Технологии организации вертикальных (по трассе «космос – атмосфера – суша, морская поверхность – толща океана») и горизонтальных (по трассе «суша – суша», «суша – море», «море – море») **беспроводных оптических линий связи** является приоритетным направлением развития информационно-оптических технологий резервного канала обеспечения скрытного, помехозащищенного, высокоскоростного обмена информацией при отсутствии возможности использования (например, из-за

преднамеренных помех, плохих гидрометеоусловий и т.п.) традиционных линий связи. Разрабатываемые по данному направлению технологии должны стать базовыми при решении задачи создания глобальной информационной сети связи между абонентами, находящимися на различных носителях.

Создание **оптических стандартов частоты** высокой и сверхвысокой стабильности принципиально важно для развития метрологии, систем навигации и позиционирования, высокоскоростной оптической связи и др.

Тематика «Технологии и системы защиты информации»

Одним из перспективных способов борьбы с новыми угрозами в области информационной безопасности является **квантовая криптография**, в т.ч. системы квантовой рассылки ключа (КРК), которые способны обеспечивать принципиально новый уровень защиты данных. Системы КРК позволяют пользователям рассылать симметричные секретные ключи, причём таким образом, что любая попытка перехвата сигнала в линии связи нелегитимным пользователем гарантированно обнаруживается. Это достигается за счёт квантовых свойств электромагнитных волн (в т.ч. одиночных фотонов), используемых в качестве носителей информации.

Интеграция технологии квантовой криптографии с сетевыми решениями является необходимым условием для её эффективного использования вне лабораторных условий. На сегодняшний день для практического внедрения систем КРК в телекоммуникационные сети необходимо решить несколько практически важных задач: (1) повышение спектральной эффективности систем КРК, использование полосы пропускания оптического канала связи сегодня составляет всего 0,1% (1 Мбит/с на волоконный канал в рекордных работах); (2) обеспечение эффективной маршрутизации в квантовых сетях, позволит распределять пропускную способность квантового канала с учётом количества активных пользователей, состояния линий, вторжения злоумышленника в отдельный участок сети; (3) совмещение устройств КРК с существующими стандартами и системами связи телекоммуникационного стандарта и масштабирование квантовых сетей, такими как пассивные маршрутизаторы и коммутаторы. (4) создание повторителей, позволяющих повысить максимальное расстояние, на которое квантовая информация может передаваться, от нескольких десятков километров, позволяемых современной технологией, до тысяч километров, а также разработка технологий надёжного хранения и считывания квантовой оптической информации, которые являются необходимым компонентом квантового повторителя; (5) создание межконтинентальных систем КРК по открытому пространству с использованием низкоорбитальных спутников.

В России существенный опережающий задел мирового уровня по решению задач эффективного управления потоками данных в квантовой сети.

Существующие методы КРК ограничены по скорости передачи ключей и

расстоянию передачи. Необходима разработка новых концепций и подходов не-квантовых методов безопасной передачи информации на больших скоростях и на дальние расстояния. Альтернативным подходом к защите передаваемой по оптическим линиям связи информации являются технологии **неквантовой физической защиты** за счет управления световым информационным потоком: физическое распараллеливание информационных каналов, использование нелинейных оптических эффектов в оптическом волокне и др.

Тематика «Технологии и системы обработки информации»

Для того, чтобы стать жизнеспособной альтернативой электронным компонентам, фотонные блоки должны быть исполнены в виде **микрочипов – фотонных интегральных схем (ФИС)**. Интеграция делает их надежными, миниатюрными, создает потенциал существенного снижения их цены, энергоэффективности, улучшения целостности, а также решает проблему согласования сигналов и меж-соединений между отдельными компонентами.

ФИС могут применяться в нескольких сегментах: в устройствах радиофотоники, в оптической связи (telecom) и оптической обработки сигналов; в оптических датчиках, включая биосенсоры; в оптических межсоединениях для центров обработки данных (datacom) и межчиповой/внутричиповой передачи данных (computercom); в квантовых компьютерах. Возможна реализация ФИС в различных вариантах интеграции: монолитной, гибридной и модульной. Наиболее перспективной является монолитная интеграция – интеграция на уровне чипа, открывающая большие возможности для интеграции большого количества компонентов и повышения функционала – по аналогии с электронными микросхемами. В этом случае можно ожидать увеличения функциональности ФИС по закону Мура.

В настоящее время большинство ФИС работают в аналоговом режиме. Из-за этого они накапливают ошибки по мере увеличения количества устройств. Это приводит к значительному ухудшению качества сигнала и требует регенерации сигналов. В некоторых перспективных применениях, таких как сверхширокополосная связь и радары высокого разрешения, использование цифровой обработки сигнала является ключевым требованием. Только цифровая обработка сигналов в них обеспечивает существенное улучшение характеристик приборов и возможность быстрого изменения функциональных возможностей. Ограничивающим фактором к использованию цифровой обработки сигнала обычно является быстродействие и компактность электронных (CMOS) АЦП. В последние десятилетия наблюдался существенный прогресс характеристик электронных микросхем в целом и электронных АЦП, в частности. Однако в электронных АЦП быстродействие ограничено несколькими фундаментальными технологическими факторами, такими как дрожание тактовой частоты (временной джиттер), время установки цепей, скорость компаратора и др. В

настоящее время быстродействие таких АЦП ограничено за счет фундаментальных факторов на уровне 100 GS/s и аналоговой частоте 20 ГГц. Использование ФИС позволит обеспечить быстродействие в 10 TS/s. Таким образом, переход от аналоговых к цифровым сигналам является ключевой задачей.

Для реализации ФИС пригодны технологические платформы на основе полупроводников, полимеров и ниобата лития, которые позволяют выполнять модуляцию на частотах в десятки и даже сотни гигагерц при минимальном вкладе модулятора в шумовые параметры системы, что особенно важно для малосигнальных радиочастотных применений. С точки зрения миниатюризации, а также удобства согласования компонентов, простоты юстировки лазера и фотодетектора относительно волновода наиболее перспективными представляются полупроводники. Из полупроводниковых систем используются InP (более 30% рынка), GaAs, (около 15% рынка с тенденцией к ее увеличению), а также системы кремниевой фотоники на основе SI или SOI кремния на изоляторе (суммарно около 40% рынка). Полупроводниковые ФИС на данный момент занимают около 90% рынка, ожидается, что подобная доля рынка сохранится за ними и в будущем.

Перечень разрабатываемых **компонентов интегральной фотоники** включает в себя лазеры, мультиплексоры/демультиплексоры, фотоприемники, модуляторы, аттенюаторы, оптические усилители. На их основе возможно создание таких устройств как оптические кабели высокой производительности, кремниевые волноводы, оптические линии задержки, делители сигналов, линии опорного сигнала, линейные широкополосные фильтры, миниатюрные высокопроизводительные спектрометры.

Интегральная цифровая фотоника будет основным двигателем развития будущих беспроводных технологий. Аккуратные прием и обработка сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов являются критическим требованием для широкого спектра применений. Современные электронные системы в состоянии обеспечивать требуемый функционал в широком диапазоне частот. Однако их построение зачастую требует громоздкого оборудования, их функционал на высоких частотах также ограничен. **Радиофотоника** открывает возможности для расширения функционала СВЧ систем на высоких частотах, а также открывает возможности для соединения их с информационно-коммуникационными системами. Большой интерес к радиофотонным системам традиционно связан с возможностью их специальных применений для современных систем радиолокации. Однако в последнее время стали очевидны возможности их гражданских применений в распределенных сотовых, беспроводных и спутниковых сетях, аэродромных антенных системах, обработке сигналов и визуализации. Использование радиофотонных систем в беспроводных сетях – гибридные радиофотонные системы становится ключевой технологией для обеспечения надежного функционирования сложных беспроводных сетей будущего. Разработка радиофотонных компонентов

для этих применений – перспективная задача, направленная на создание опережающего научно-технического задела. На данный момент готовой технологии радиофотонных компонентов для таких систем в мире не существует.

Высокоскоростная передача информации между чипами суперкомпьютеров нового поколения будет основана на **оптических межсоединениях** с использованием новых материалов и структур фотоники. Материалы для оптических межсоединений – кремний и полимеры. Кремниевые межсоединения требуют организацию кремниевого производства, полимерные – используют типовые технологические процессы и оборудования, используемые в электронике для производства печатных плат. Используемые длины волн: 850 нм, 1310 нм и 1550 нм. Для изготовления интегральных оптических межсоединений оптимальной с точки зрения себестоимости конечного продукта является длина волны – 850 нм. Разработка новых квантовых материалов, с улучшенными характеристиками, для модуляторов и фотодетекторов, составляющих основу интерконнектов позволят достичь более высоких скоростей для передачи информации. Необходимо провести комплексные исследования двухмерных и одномерных органических и неорганических структур с целью оценки их применимости: в интерконнект-системах высокой производительности; в многоканальных системах передачи информации; в качестве основы фотодетекторов.

Ключевые технологии и национальная безопасность на прямую зависят от возможности быстрого решения широкого класса оптимизационных проблем, сложность которых растёт экспоненциально быстро с числом переменных. **Квантовые симуляторы и вычислители**, методы квантового аннилинга (метод нахождения глобального минимума функции через квантовые флуктуации) были предложены как средства для решения таких задач. Для реализации этого направления необходимы исследования, направленные на создание аналоговых квантовых и оптических систем, способных привести к нетрадиционным способам решения сложных оптимизационных задач.

С точки зрения физической системы для построения квантового симулятора рассматривались и рассматриваются разные системы и в данный момент нельзя сказать, что какая-то одна система демонстрирует явные преимущества по сравнению с другими, хотя ясны достоинства и недостатки различных систем. Определённый прогресс был достигнут в использовании ультрахолодных атомов, ионов в ловушках, резонаторов, спиновых систем (электронные, ядерные, квантовые точки), сверхпроводящих цепей. В последнее время особенно многообещающе продемонстрировали себя системы на основе фотонов и, особенно, композитных (свет-вещество) квазичастиц в полупроводниковых неорганических, органических и гибридных структурах (например экситон-поляритоны). Необходимы исследования, направленные на изучение возможностей и принципов создания квантовых аналоговых, цифровых и гибридных вычислителей на основе оптических квантовых

систем, получение оценок физических ресурсов и ошибок при использовании квантовых симуляторов. Основопологающим результатом следует считать демонстрацию прототипов квантовых вычислений на основе таких квантовых систем.

Тематика «Технологии и системы хранения информации»

Развитие технологий записи и хранения больших массивов данных направлено главным образом на преодоление трех фундаментальных физических ограничений – супермагнитного предела, дифракционного предела и неустойчивости хранения электрического заряда при уменьшении размера ячейки памяти. Оптические принципы записи и хранения информации объединяют: 1) голографическую память, 2) многофотонную запись и 3) ближнеполевую память. Физическим носителем являются фотохромы, внедренные в аморфные или жидкокристаллические полимерные прозрачные матрицы. Ожидаемый целевой уровень по плотности записи информации равен 1 Pb/in^2 . Энергонезависимая резистивная полупроводниковая память делится на зарядовую (NAND Flash или NOR Flash) и без зарядовую платформу, основанную на использовании халькогенидных стекол, например, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST 225). Запись и считывание информации в ячейке фазовой памяти основано на изменении электрического сопротивления некоторого малого объема вещества. Важным преимуществом последнего типа записывающих устройств являются энерго-независимость и масштабируемость ячейки памяти до 2-3 нм. В ближайшем будущем будет достигнута рекордная плотности записи – 8 Tb/in^2 . Термоассистируемая магнитная память (Heat-Assisted Magnetic Recording) с перпендикулярной записью позволяет преодолеть супермагнитный предел путем использования оптического ближнего поля для уменьшения коэрцитивной силы записывающей среды и увеличения плотности записи до $2+ \text{ Tb/in}^2$.

Для методик оптической записи высокой плотности необходимо развитие технологий концентрации электромагнитного излучения на очень малых субдифракционных пространственных масштабах вблизи элементов носителей памяти. Это может быть достигнуто, в частности, за счет использования нано-волноводных структур на основе кремния, плазмонных и других современных материалов.

Направление 3. Системы оптического зондирования, локации и визуализации

Тематика «Оптическая локация и дальнометрия»

Системы оптического зондирования и локации (лидары, дальномеры, системы лазерного подсвета и управления), как правило, используют **твердотельные лазерные излучатели**, являющиеся одним из основных компонентов таких систем. Тенденция развития современных твердотельных лазерных излучателей в мире позволяет

определить два наиболее востребованных направления: создание импульсных лазерных излучателей для дальномеров средней и большой дальности с длиной волны 1,55 мкм с диодной накачкой на основе ионов Er с большим КПД с одной стороны, и разработка мощных твердотельных импульсных лазеров на ионах Nd с длиной волны 1,06 мкм, также с диодной накачкой, с энергией в одном импульсе не менее 250..500 мДж. Создание твердотельных лазеров подразумевает и развитие элементной базы лазеров: электрооптических и акустооптических затворов с высокой лучевой стойкостью на основе новых материалов, активных элементов и, самое главное, современных элементов накачки – лазерных полупроводниковых диодов, линеек и матриц на их основе. Для решения ряда задач дистанционного зондирования (экологический мониторинг, контроль состояния атмосферы, инспекция продуктопроводов и других) наиболее подходящим является средний инфракрасный диапазон длин (от 3 до 50 мкм), в котором находятся характерные линии молекулярного поглощения многих веществ. Современные мощные и компактные твердотельные лазерные источники в этом диапазоне могут быть созданы на основе кристаллов, керамики и стёкол, активированных ионами редкоземельных и переходных металлов (Ho^{3+} , Tm^{3+} , Cr^{2+} и других), с диодной или волоконно-лазерной накачкой, и параметрического преобразования в нелинейно-оптических материалах.

В области создания новых типов лазерных компонентов требуется проведение научно-исследовательских работ с целью повышения КПД, поиска новых генерирующих структур, оптимизации режимов генерации.

Помимо лазерных излучателей, большое значение для систем оптического зондирования и локации имеют **фотонные приемные системы для регистрации короткоимпульсного лазерного излучения**, обладающие большой обнаружительной способностью и малым быстродействием. Как правило, основу таких ФПУ составляют фотоэлектронные умножители и лавинные фотодиоды. Однако, не менее важна элементная база, обеспечивающая рабочие режимы фотоприемников: стробирования по дальности, температурную стабилизацию, динамическое АРУ. Немаловажное значение имеет создание приемников с новыми принципами работы, например, твердотельные ФЭУ. Эффективность применения таких приборов в составе систем локации еще необходимо исследовать в рамках отдельных НИР.

Еще одно востребованное направление в области регистрации лазерного излучения является создание высокотемпературных сенсоров (с рабочей температурой не менее -40..-60 град.), обладающих постоянной времени не более 2..4 нс в спектральных диапазонах 1..2 мкм, 2..4 мкм, 3..5 мкм и т.д. Подобные приемники на базе новых структур и материалов уже стали появляться за рубежом.

Разработка принципиально новых методов регистрации импульсов фемтосекундной и аттосекундной длительностей на основе возбуждения плазмонных резонансов металлических наночастиц является весьма актуальной задачей и имеет

широкую перспективу применений в фотонике. Варьирование геометрии и материала наночастиц позволяет смещать частоту плазмонного резонанса практически во всем оптическом диапазоне и таким образом регистрировать длительность огибающей лазерного импульса за счет кильватерного эффекта.

При регистрации коротких и сверхкоротких лазерных импульсов часто требуется их динамическая обработка с целью получения целевых параметров зондируемого объекта. При длительности регистрируемого лазерного импульса на уровне 1..5 нс применение традиционных методов зачастую является затруднительным. Необходима разработка новых, параллельных **методов и систем обработки широкополосных сигналов**. В частности, в последнее время все большую популярность получают методы вычисления дальности с помощью накопления эхо-сигнала. Такие методы позволяют при сохранении малых габаритов существенно увеличить дальность до объекта зондирования.

В настоящее время интенсивно развиваются **технологии и применения лазерной дальнометрии и локации**.

Для улучшения потребительских качеств дальномеров (частоты обновления информации, точности измерений, массогабаритных характеристик) необходимо разработать современные дальнометры, ориентированные на использование в качестве источника излучения новые типы лазеров безопасного для глаз диапазона, в том числе с высокими частотами следования импульсов и возможностью накопления сигнала.

Альтернативой использованию импульсных лазеров является дальнометрия на основе частотной модуляции излучения источника, позволяющая измерять дальность до объекта путём измерения сдвига частоты отражённого от него излучения. Гетеродинные датчики, используемые при этом подходе, также отличаются низкой стоимостью по сравнению с лавинными фотодиодами, а также способностью к приёму отражённого света в условиях дневного света.

Еще одной альтернативой импульсных лазеров является когерентная дальнометрия. Использование когерентных дальномеров позволяет измерять расстояния на дальностях в десятки метров (вплоть до 100 м) с микронными погрешностями. Использование оригинальных алгоритмов обработки сигналов позволит одновременно со значением расстояния получать спектр и амплитуду вибраций объекта в широком диапазоне частот. Основным достоинством данного метода является отсутствие гетеродинов и широкополосных схем (гетеродинирование происходит прямо в обычном фотодиоде). Частота измерений может достигать десятков килогерц.

В последнее десятилетие происходит интенсивное развитие **технологий, компонентной базы и систем, работающих в терагерцовом диапазоне частот, для обнаружения сложных органических веществ и теравидения**.

Развитие терагерцовых технологий создает возможность анализа состава сложных органических молекул ввиду наличия специфических сигнатур в терагерцовой области спектра. Особенности терагерцового диапазона частот (0,2 – 2 ТГц) позволяют проникать сквозь определенные предметы – одежда, упаковка и т.д., в то же время обеспечивают отражение от металлических и керамических предметов. За рубежом показана возможность создания изображения в ТГц диапазоне (Теравидение). Эти особенности привлекательны для создания систем сканирования пространства, обнаружения опасных предметов, распознавания ряда химических веществ (наркотики, взрывчатые вещества и т.д.), в том числе применяя указанные технологии в системах безопасности на транспорте. Преимуществами являются отсутствие вредного воздействия на организм человека, высокая чувствительность и селективность. Источниками излучения терагерцового диапазона являются квантовые каскадные лазеры на основе гетероструктур АЗВ5 (узкополосные), фотопроводящие антенны (широкополосные) на основе низкотемпературных/ полуизолирующих слоев GaAs, InGaAs и др. В рамках направления необходимо разработать технологии создания эффективных излучателей и приемников ТГц диапазона с компактными массогабаритными размерами на основе полупроводниковых структур, лазерных и плазмонных технологий, подходов радиофотоники.

Тематика «Оптические и спектральные методики на нанометровом пространственном масштабе»

Пространственное разрешение традиционных методик оптической визуализации, спектроскопии и литографии ограничено дифракционным пределом. Свет не может быть сфокусирован в пятно меньше, чем (приблизительно) половина длины волны излучения. Для оптического излучения видимого диапазона дифракционный предел составляет около 250 нм. Для света инфракрасного диапазона (3-15 мкм), наиболее широко используемого при характеристике химической структуры веществ, дифракционный предел составляет, соответственно, несколько микрометров. Возможность применения оптической микроскопии, спектроскопии, литографии и других методик на нанометровых пространственных масштабах являются одним из наиболее актуальных требований современных технологий, фундаментальных и прикладных исследований, а также при рутинной характеристике различных объектов. В последние 10 лет такие **«сверхразрешающие» оптические методики** активно развиваются, давая возможность измерять оптические свойства объектов (и получать соответствующие изображения) с пространственным разрешением более чем в 30 раз превышающим дифракционный предел (например, разрешение ~10 нм для видимого света). Соответствующие технологии активно коммерциализируются.

В частности, Нобелевская премия по химии в 2014 г. была присуждена за разработки и внедрение методик оптической флуоресцентной микроскопии пространственного сверхразрешения. В этих методиках для получения сверхразрешения используются нелинейные и стохастические методики в сочетании со специальными пространственными и временными режимами засветки образца, сбора и обработки сигнала; при этом для формирования светового пятна на образце используется классическая оптика. Существует альтернативный подход к методикам оптического сверхразрешения, позволяющий широко использовать различные виды не только микроскопии, но и спектроскопии и литографии на нанометровом пространственном масштабе: ближнепольные методики, **оптические (нано-) антенны** – концентраторы электромагнитного поля в области существенно меньше длины волны света.

Направление 4. Новые лазерные технологии.

Тематика «Твердотельные лазеры с высокой средней мощностью»

Твердотельные лазеры с высокой средней мощностью находят широкое применение в промышленности, медицине, научных исследованиях, лазерных системах с преобразованием частоты излучения. Перспективным направлением является разработка твёрдотельных дисковых лазеров с диодной накачкой. Благодаря высокой эффективности и высокому качеству излучения эти лазеры подходят для решения широкого круга задач по обработке материалов, в том числе на значительном расстоянии с применением компактной фокусирующей оптики. Резонатор дискового лазера нечувствителен к попаданию отраженных лучей, так что даже в случае материалов, обладающих высокой отражающей способностью, можно проводить технологические операции без риска аварийной остановки лазера. Актуальной задачей является создание мощных (более 1кВт) высокочастотных импульсно-периодических лазеров (до 100кГц и более) с пиковой мощностью, превышающей среднюю мощность на два-три порядка величины. В перспективе, для решения задач, связанных с удалением космического мусора из околоземного пространства, с лазерным запуском ракет, с созданием проводящих каналов большой дальности и т.п., требуется достижение средней мощности порядка МВт.

Тематика «Волоконные лазерные системы»

За последние годы наблюдается исключительно быстрый прогресс в создании разнообразных волоконных лазеров, включая непрерывные мощные лазеры, пико- и фемтосекундные лазеры, ВКР-лазеры и ряд других. Успехи в развитии волоконных лазеров в значительной мере обусловлены применением новых технологий создания световодов с минимальными потерями и необходимыми дисперсионными

свойствами. Актуальными задачами в этом направлении является использование легированных фотонно-кристаллических волокон для решения задач широкополосного усиления и преобразования лазерного излучения. В настоящее время большой интерес представляет освоение ИК-диапазона и генерация лазерного излучения в спектральной области 2-3 мкм и на более длинных волнах (медицинские и военные приложения). С этой точки зрения актуальной задачей является разработка лазеров на основе волокон, легированных ионами туллия и гольмия, а также поиск новых материалов для оптических волокон, обладающих низким поглощением в области длин волн, превышающих 1.9 мкм. С технологической точки зрения перспективной является разработка полностью волоконных лазеров (имеющих только волоконные компоненты) с модуляцией добротности и синхронизацией мод.

Тематика «Технологии управления параметрами фемтосекундных лазерных импульсов»

Развитие лазерных технологий неразрывно связано с разработкой методов генерации предельно коротких импульсов, что открывает пути создания лазеров, обладающих предельно высокой интенсивностью излучения. Исключительно высокая концентрация энергии при фокусировке пучков фемтосекундных лазеров открывает новый путь в прецизионной микрообработке материалов, а в медицине обеспечивает возможность проведения исключительно тонких операций в офтальмологии и нейрохирургии. При этом на передний план выходят задачи, связанные с управлением параметрами фемтосекундных лазерных импульсов: пространственно-временное профилирование, диагностика трёхмерного распределения интенсивности. Актуальной задачей является генерация световых импульсов короче оптического цикла с контролируемой фазой колебания внутри огибающей, позволяющих исследовать новые режимы нелинейного взаимодействия света с веществом.

Тематика «Диодные лазерные системы»

Диодные лазеры являются в настоящее время наиболее эффективными источниками света, покрывающими широкий спектральный диапазон, которые характеризуются компактным дизайном и могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Они имеют широкий спектр применения как сами по себе, так и для накачки активных элементов лазерных систем. Актуальными направлениями разработок являются полупроводниковые дисковые лазеры, работающие в видимом и ультрафиолетовом диапазонах (за счёт использования частотного преобразования), а также на длинах волн, превышающих 1.2 мкм, имеющие мощность порядка нескольких Вт. Активно разрабатываются матрицы

лазерных диодов, имеющие высокую мощность генерации (до 1 кВт в непрерывном режиме), которые можно использовать для обработки материалов и изделий из металлов и пластика, атмосферной оптической связи, медицины, а также для накачки твердотельных лазеров. Актуальным направлением остаётся разработка квантовых каскадных лазеров.

Тематика «Лазерные промышленные технологии»

В настоящее время наиболее крупным потребителем лазерных технологических установок, стимулирующим развитие лазерного технологического оборудования, является электронная промышленность. Помимо повышения уровня автоматизации производства, использование лазеров позволяет модифицировать свойства полупроводниковых приборов и создавать функциональные поверхностные микро- и наноструктуры. Одним из актуальных направлений является создание объёмных волноводных структур с помощью фемтосекундной лазерной печати. Данная технология не требует использования чистых комнат и является перспективным подходом к созданию компактных волноводных лазеров и усилителей, а также интегральных квантово-оптических схем. Другим перспективным направлением является двухфотонная стереолитография, позволяющая прямое изготовление микроструктур без использования фотомасок с разрешением 100 нм и меньше, которое можно реализовать в различных материалах, так их как полимеры, керамики и металлы.

Тематика «Технологии селективного воздействия»

Развитие лазерных технологий резко расширяет возможности воздействия излучения на вещество, в том числе и механического воздействия на микрочастицы. К настоящему времени в этом направлении достигнуты впечатляющие результаты, связанные с охлаждением и локализацией атомов. Актуальными задачами являются разработка технологий управления движением и позиционированием отдельных атомов и молекул, а также нано- и микрочастиц. Сочетание когерентных оптических систем с микромеханическими устройствами (оптомеханика) открывает возможность создания сверхчувствительных датчиков силовых воздействий и систем квантовой обработки информации. Среди технологий сверхбыстрого воздействия на вещество практический интерес вызывает разработка методов когерентного контроля спинов с помощью фемтосекундных лазерных импульсов.

Тематика «Технологии новых типов лазерных источников излучения»

Разработка новых лазерных технологий неразрывно связана с совершенствованием уже существующих и созданием новых лазерных систем. Наиболее актуальными направлениями являются разработка твердотельных лазеров

неосвоенных спектральных диапазонов (УФ, ВУФ, средний и дальний ИК диапазоны), твёрдотельных лазеров высокой средней мощности, волоконных лазерных систем, диодных лазерных систем и источников предельно коротких лазерных импульсов. Все они уже имеют широкое применение в промышленности, медицине, научных исследованиях или востребованы в передовых перспективных технологических процессах. Так, в частности, твердотельные лазеры УФ диапазона востребованы в технологиях прецизионной резки и микрообработке сверхтвёрдых прозрачных материалов (алмаз, корунд), полимерных, композитных и керамических изделий. Созданные в настоящее время такие лазерные источники на основе фторидных кристаллов обладают высокой эффективностью и низкой себестоимостью, а также потенциалом развития, связанным с реализацией микролазеров, управлением в широких пределах спектральными, энергетическими и временными характеристиками и использованием в перспективе полупроводниковой накачки. Актуальным направлением является разработка полностью волоконных лазеров с модуляцией добротности или синхронизацией мод, обладающих большой механической устойчивостью, низкими внутренними потерями, высоким порогом разрушения и простотой сборки. С точки зрения миниатюризации, снижения порога, а также достижения узкой полосы генерации при большой области дисперсии, перспективным является разработка лазеров на основе микрорезонаторов, в частности сферических микрорезонаторов с модами шепчущей галереи.

Направление 5. Фотоника в биологии и медицине.

Тематика «Оптическая диагностика биотканей»

Оптическая когерентная томография (ОКТ) основана на низкокогерентной интерферометрии и позволяет визуализировать внутреннюю структуру биологических тканей с пространственным разрешением на уровне единиц микрон, на глубине до 1-2 мм в режиме видеореята. Это особенно важно для целого ряда клинических задач, когда необходимо получить прижизненную информацию о внутренней структуре сложной биоткани, примерами которой являются ткани глазного яблока, кожа, слизистые и серозные оболочки внутренних органов. Так, ОКТ-исследование сетчатки глаза позволяет диагностировать ранние изменения органа зрения, и в настоящее время во всем мире является стандартом обследования в офтальмологии. В настоящее время ОКТ широко внедряется в клиническую практику для диагностики злокачественных новообразований и неопухоловой патологии, становится методом выбора для мониторинга различных видов лечения. Российские разработки в области ОКТ наиболее сильны в эндоскопии (в частности, разработаны уникальные ОКТ-зонды, совместимые со стандартными эндоскопами), что позволит применять ОКТ для решения перечисленных клинических задач

относительно органов дыхательной системы, желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы. Активно разрабатывается эндоваскулярное применение ОКТ для дополнительной диагностики кардиоваскулярной патологии. Для изучения состояния микроциркуляции внедряется ОКТ-ангиография. Развитие технологии ОКТ коммерчески привлекательно как в качестве импортозамещения в офтальмологии, так и для создания экспортного потенциала для стран СНГ и BRICS.

Оптоакустическая (ОА) визуализация биотканей основана на регистрации ультразвуковых импульсов, возбуждаемых в исследуемой среде вследствие поглощения импульсного лазерного излучения оптическими неоднородностями. ОА визуализация сочетает в себе преимущества как оптических (высокий контраст, возможность спектроскопического исследования, возможность применения высококонтрастных светопоглощающих агентов), так и ультразвуковых (высокое пространственное разрешение на глубинах более 1 мм) методов исследования. ОА методы позволяют получать взаимодополняющую структурную, функциональную и молекулярную информацию о биологических объектах на разных уровнях организации организма. В частности, ОА позволяет получать 3D изображения сосудистой сети с субмиллиметровым пространственным разрешением, определять уровень оксигенации крови, использовать молекулярные контрастные агенты. Первая коммерческая ОА система появились относительно недавно (2010 г.) и число компаний, заинтересованных в производстве таких систем, с каждым годом растет, что, с одной стороны, говорит о востребованности данной технологии на мировом рынке, а, с другой, – что рынок еще не насыщен.

Оптическая спектроскопия позволяет осуществлять неинвазивную функциональную диагностику биотканей на основании спектроскопических измерений с последующей реконструкцией концентрации основных эндогенных хромофоров (окси-, дезоксигемоглобин, вода, жир, меланин, коллаген). В частности, оптическая спектроскопия позволяет осуществлять дифференциальную диагностику злокачественных и доброкачественных новообразований, определять кислородный статус опухолей, что является ключевой информацией при выборе стратегии лечения, а также осуществлять мониторинг и прогноз эффективности лечения. Использование методов оптической спектроскопии перспективно также для развития анализа жидкостей и газов для использования в скрининге и мониторинге целого ряда социально-значимых патологий (онкологические заболевания, диабет и др.) и в сфере безопасности.

Также весьма актуальны задачи, связанные с развитием методов **флуоресцентной микроскопии с субдифракционным разрешением** для исследования биологических структур с пространственным разрешением десятки нанометров (в том числе нейроструктур).

Тематика «Лазерная хирургия»

Лазерная нанохирουργия получила свое развитие в последние годы благодаря созданию фемтосекундных лазеров, на основе которых разработаны лазерные комплексы для клеточных, субклеточных и генных манипуляций. Сферами применения фемтосекундной нанохирουργии являются биотехнологии, в том числе генная инженерия, процедуры экстракорпорального оплодотворения и др. Развитие данного направления перспективно в части развития лазерных технологий, разработки нового инструментария и новых биомедицинских технологий.

Лазерная модификация биотканей предполагает развитие нескольких направлений: лазерная хирургия, лазерная коррекция хрящей, лазерная косметология и тканевая инженерия.

Современная лазерная хирургия требует создания новых лазерных источников на линиях поглощения биоткани, прежде всего, в длинноволновой области ближнего ИК диапазона, 1.9-3.0 мкм, и среднем ИК диапазоне, 3-8 мкм. Наличие надёжных коммерчески-доступных волокон или каналов транспортировки оптического излучения делает возможным использование таких лазеров в эндоскопической хирургии, урологии, отоларингологии и других областях. Решение задач современной лазерной хирургии может быть достигнуто путём создания современных импульсно-периодических твердотельных лазерных источников в спектральном диапазоне 1.9-3.0 мкм с диодной и волоконно-лазерной накачкой.

Лазерная коррекция хрящей применяется в косметологии, ЛОР, ортопедии. В этом направлении целесообразно разработка инструментария и методик.

В лазерной косметологии целесообразно развитие новых технологий, в том числе фотодинамической терапии, направленной на восстановление коллагена, и оптимизация технологий лазерного фракционного фототемолиза.

В тканевой инженерии развитие лазерных технологий перспективно в части прототипирования тканей и органов, создания скаффолдов и развития технологии стимуляции регенерации тканей.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) — метод лечения онкологических заболеваний, некоторых заболеваний кожи или инфекционных заболеваний, основанный на применении светочувствительных веществ — фотосенсибилизаторов (ФС), и света определённого спектрального диапазона. После введения ФС в организм человека, пораженный участок ткани облучается светом определенной длины волны, что приводит к фотохимической реакции, в результате которой молекулярный триплетный кислород превращается в синглетный, а также образуется большое количество высокоактивных радикалов, вызывающих некроз и апоптоз опухолевых клеток. ФС, как правило, обладают флуоресцирующими свойствами, что позволяет контролировать его накопление и выгорание во время

ФДТ. В этом свете перспективным является развитие технологий ФДТ, обладающих обратной связью – мониторингом эффективности процедуры лечения с коррекцией параметров лазерного воздействия, что позволит повысить эффективность ФДТ. Повышение эффективности ФДТ возможно также за счет применения новых ФС, обладающих улучшенными спектральными характеристиками и(или) более высоким накоплением в пораженном участке биоткани по сравнению с окружающими тканями.

Тематика «Сенсоры для биологических и медицинских применений»

Оптические биосенсоры дают уникальную возможность производить неинвазивный мониторинг функциональных параметров в живых системах. За счет «умного» молекулярного дизайна биосенсоры могут обеспечить крайне высокую селективность и чувствительность, предоставляя специфичную количественную информацию об изучаемой биологической активности на разных уровнях – от клетки до организма – в динамическом развитии. Генетически кодируемые биосенсоры позволяют стандартизовать и многократно удешевить исследования на модельных биологических объектах и доклинические испытания лекарственных препаратов. Биологически-совместимые синтетические сенсоры имеют большой потенциал в диагностике заболеваний человека, например, в области интраоперационной флуоресцентной диагностики раковых опухолей, мониторинга состояния диабетиков и др.

Российские научные организации и биотехнологические компании занимают твердые, признанные во всем мире позиции в области развития и коммерциализации флуоресцентных биосенсоров. Это создает хороший базис для дальнейшего развития в таких актуальных направлениях как создание новых оптических молекулярных биосенсоров на ключевые сигнальные активности живых систем; изменение и оптимизация оптических свойств биосенсоров (яркость, чувствительность, фотостабильность, флуоресценция в дальнекрасной и инфракрасной областях спектра, где ткани наиболее прозрачны, и т.д.); развитие методов доклинических исследований и скринингов на основе биосенсоров; разработка новых диагностических подходов на основе биосенсоров; разработка комплексных решений с взаимно оптимизированными средствами доставки света и детекции сигнала биосенсора в целевой биологической модели или человеке; и др.

Тематика «Системы контроля продуктов, лекарств и окружающей среды»

Оптическими методами можно определить химический состав пищевых продуктов, они позволяют судить о доброкачественности продовольственных товаров. Этими методами определяют количество нитратов, нитритов, некоторых

тяжелых металлов, Сахаров, витаминов и других веществ. Они широко применяются для определения концентрации окрашенных растворов, а также для определения цвета многих пищевых продуктов. Данные методы обладают целым рядом преимуществ: неинвазивность; высокая чувствительность (многие современные лекарственные средства крайне трудно проанализировать химическими методами из-за малых содержаний действующего вещества); высокая воспроизводимость результатов анализов (что позволяет применять их в массовом производстве); возможность анализа веществ, не дающих химические реакции в стехиометрическом соотношении, а также возможность анализа многокомпонентных веществ, для которых нет методик количественного определения химическими методами (комплексные витаминные препараты, содержащие пиридоксин, рибофлавин и никотинамид). Например, оптические методы, основанные на анализе спектров поглощения и отражения, позволяют оперативно получать информацию о химическом составе исследуемого вещества, и находят широкое применение, как в лабораториях ученых, так и в производственном процессе; криминалисты используют эти методики при выявлении контрафактных товаров и фальсифицированных медикаментов.

Высокий коммерческий потенциал оптических методов контроля, а также удешевление электронных компонентов и используемых оптических сенсоров и источников излучения, обуславливает развитие новых методик и создание на их основе новых приборов, востребованных на массовых рынках, в том числе мобильных устройств. Данные приборы востребованы при проведении экспресс-анализов качества автомобильного топлива и масел, массовых концентраций загрязняющих примесей в питьевых, природных и сточных водах, качества лекарственных препаратов и во множестве других применений.

IV. Основные инструменты реализации Программы

Инструментом координации государственной поддержки исследований и разработок в области фотоники является привлечение финансового обеспечения из разных источников финансирования для выполнения комплексных проектов, предусматривающих реализацию объединенных общей конечной целью и взаимосвязанных исследований и разработок. Такой подход позволит реализовать большие комплексные проекты, при этом обеспечить решение сопутствующих основной цели задач.

Инструментом консолидации усилий науки и бизнеса являются проектные консорциумы, ориентированные на внешние и внутренние рынки и состоящие, в том числе из крупных компаний с государственным участием – потребителей технологий фотоники, ведущих высших учебных заведений, научных организаций

и исследовательских центров, инжиниринговых компаний, малых и средних предприятий, производящих продукты и технологические решения в области фотоники.

К проектным консорциумам предъявляются следующие рамочные требования: наличие совместной инициативы потребителя и производителя;

направленность на конечный результат, в том числе, на занятие известных и формирование новых продуктовых рынков с прогнозами высокого роста по миру в целом (а не решение узкотехнологических и тем более строго научных задач);

наличие просчитываемого рыночного спроса либо подтвержденного индустриального заказа;

перспектива использования разрабатываемых технических и технологических решений более чем в одной отрасли, области применений;

готовность участников консорциума к софинансированию предлагаемых к государственной поддержке проектов;

наличие в составе консорциума крупных компаний с государственным участием – потребителей технологий фотоники, ведущих высших учебных заведений и исследовательских центров, инжиниринговых компаний, малых и средних предприятий, а также международных компаний;

ориентация на внешние и внутренние рынки.

Координация представленных инструментов в рамках Программы должна способствовать успешному развитию в Российской Федерации инновационных процессов создания и внедрения научных и технологических разработок в области фотоники.

VI. Ресурсное обеспечение Программы

Источниками финансирования реализации Программы являются бюджетные средства федеральных органов исполнительной власти и иных главных распорядителей бюджетных средств, принимающих участие в реализации Программы. Важную роль в достижении показателей Программы должны сыграть внебюджетные средства. При этом именно наличие стартового заказа крупных инвесторов и (или) компаний-потребителей на отечественные технологии нового поколения является определяющим при принятии решения о бюджетном финансировании НИОКР.

Финансовое обеспечение реализации Программы осуществляется в объемах, устанавливаемых федеральным законом о федеральном бюджете на очередной финансовый год и плановый период.

VII. Результаты реализации Программы

В ходе реализации Программы планируется получение результатов по следующим направлениям:

По направлению 1 «Технологии оптических и квантовых материалов для построения новой элементной базы фотоники и устройства на их основе»

Тематика «Традиционные материалы и структуры фотоники»:

- Неорганические и органические полупроводниковые, метал-оксидные, полимерные и гибридные материалы и структуры; высокочистые элементарные материалы, газы и химические прекурсоры для эпитаксиальных технологий.
- Технологии создания и обработки многофункциональных широкозонных кристаллов и кристаллов с узким фононным спектром, стекол, керамик и стеклокерамик, структуры на их основе; оптические покрытия.
- Технологии эпитаксиального выращивания полупроводниковых наногетероструктур (в т.ч. квантоворазмерных) для элементной базы оптоэлектроники и фотоники в различных спектральных диапазонах.

Тематика «Новые оптические материалы и фотонные структуры»:

- Двумерные диэлектрические и полупроводниковые кристаллы.
- Фотонные кристаллы.
- Плазмонные материалы и структуры.
- Экситонные, поляритонные структуры.
- Метаматериалы.
- Гибкие и эластичные прозрачные материалы.
- Коллоидные структуры.
- Гибридные материалы и структуры (в т.ч. светоизлучающие, фотоприемные, сенсорные) на основе сочетаний различных типов материалов (в т.ч. биоструктурированных).
- Технологии создания трехмерных структур, фотонных кристаллов, плазмонных материалов и метаматериалов с уникальными оптическими и СВЧ – свойствами.
- Оптические волокна (активные, пассивные, структурированные, многосердцевинные) и устройства на их основе. Фотонные структуры с неперiodическими свойствами.
- Спектральные методы исследования оптических материалов и фотонных структур и контроля их качества.

Тематика «Компоненты и устройства фотоники»:

- Приемники излучения, преобразователи оптического излучения, метрология.
- Одиночные, линейчатые и матричные фотоприемные устройства различных спектральных диапазонов.
- Излучатели фиксированной и перестраиваемой частоты различных спектральных диапазонов разной степени когерентности (в т.ч. полупроводниковые с торцевым и поверхностным излучением).
- Модуляторы, переключатели, разветвители, резонаторы, волноводы, фильтры, дифракционные элементы и др. активные и пассивные оптические элементы.
- Оптические, плазмонные и гибридные нановолноводы.
- Антенны, электрооптические преобразователи, модуляторы, акусто-оптические дефлекторы и фильтры света и др.
- Системы визуализации, работающие на новых материалах и физических принципах.
- Источники и приемники излучения терагерцового диапазона.
- Технологии и устройства оптического захвата и манипуляций над квантовыми и нанобъектами.
- Люминофоры и сцинтилляторы.

Тематика «Фотонные датчики, сенсоры и фотоэлектрические преобразователи»

- Фотонные датчико-преобразующие устройства, включая оптоволоконные сенсорные системы.
- Фотонные сенсоры.
- Ультрочувствительные сенсоры и датчики на основе квантовых частиц и состояний.
- Высокоэффективные фотоэлектрические преобразователи и концентраторы для солнечных элементов.

По направлению 2 «Технологии для создания систем и инфраструктуры записи, хранения, обработки и передачи информации».

Тематика «Технологии и системы передачи информации»:

- Технологии когерентной оптической связи.
- Технологии телекоммуникационных систем с мультигигабитной и терабитной пропускной способностью.
- Технологии передачи информации в терагерцовом диапазоне.
- Технологии космических информационных сетей и систем передачи информации в открытом пространстве.

- Технологии создания каналов оптической связи в атмосфере и гидросфере в рассеянном свете.
- Оптические стандарты частоты.

Тематика «Технологии и системы защиты информации»

- Технологии квантовой криптографии
- Технологии физической защиты информации (распараллеливание оптических каналов, использование нелинейных свойств волокна и др.) и другие не-квантовые концепции безопасной передачи информации.

Тематика «Технологии и системы обработки информации»

- Компоненты цифровой интегральной фотоники и радиофотоники;
- Оптико-электронные чипы высокой степени интеграции, включая оптические АЦП, в т.ч. для радиофотоники.
- Оптические межсоединения (интерконнекты).
- Однофотонные излучатели и системы.
- Оптоспинтронные системы.
- Квантовые симуляторы и вычислители.
- Технологии высокоэффективных СВЧ фотодетекторов для систем радиофотоники.

Тематика «Технологии и системы хранения информации»

- Технологии фото-индуцированной фазовой памяти.
- Технологии голографической памяти.
- Технологии термоассистируемой магнитной записи.
- Технологии субволновой оптической памяти.
- Технологии квантовой памяти.

По направлению 3. «Системы оптического зондирования, локации и визуализации»

Тематика «Оптическая локация и дальнометрия»

- Лазерные твердотельные излучатели.
- Фотоприемные устройства (ФПУ) для регистрации короткоимпульсного лазерного излучения.
- Системы высокоскоростной обработки широкополосных сигналов.
- Технологии лазерной дальнометрии и локации.

- Технологии, компонентная база и системы, работающие в терагерцовом диапазоне частот, для обнаружения сложных органических веществ и теравидения.

Тематика «Оптические и спектральные методики измерения на нанометровом пространственном масштабе»

- Технологии оптической микроскопии, спектроскопии и литографии пространственного сверхразрешения.
- Технологии оптических наноантенн.
- Технологии оптической и спектральной нанодиагностики живых и неживых систем.

По направлению 4. «Новые лазерные технологии».

Тематика «Твердотельные лазеры с высокой средней мощностью»

- Технология термодиффузионной сварки композитных лазерных элементов (включая «кладдинг»).
- Технологии монтажа с высокоэффективным теплоотводом (включая криогенное охлаждение) для лазерных элементов различных геометрий.
- Технологии разработок лазерных компонентов (квантроны, усилители, оптические изоляторы, криостаты и т.п.).
- Технология построения твердотельных лазеров 100-киловаттного уровня мощности на основе дисковых активных элементов.

Тематика «Волоконные лазерные системы»

- Технологии волоконных лазеров.
- Технологии нелинейно-оптических волоконных преобразователей.
- Волоконные и волноводные усилители и лазеры.

Тематика «Технологии управления параметрами фемтосекундных лазерных импульсов»

- Технологии сокращения длительности и повышения временного контраста.
- Технологии пространственно-временного профилирования.
- Технологии диагностики трехмерного распределения интенсивности.
- Технологии лазерных сканирующих систем для фемтосекундной обработки поверхности хрупких диэлектрических материалов (стекло, керамика).

Тематика «Диодные лазерные системы»

- Излучатели полупроводниковые фиксированной и перестраиваемой частоты различных спектральных диапазонов, высококогерентные, с торцевым и поверхностным излучением.
- Технологии полупроводниковых лазерных диодов.
- Разработка технологии промышленного производства полупроводниковых лазерных диодных линеек/матриц различного назначения в т.ч. для накачки активных элементов лазерных систем.

Тематика «Лазерные промышленные технологии»

- Технологии лазерного (лазерно-гибридного) термоупрочнения и модифицирования поверхностей.
- Технология лазерной обработки - резки, сварки на большом расстоянии.
- Лазерные технологии для аддитивного производства.
- Технологии прецизионной резки и микрообработки прозрачных кристаллических, стеклообразных, керамических, полимерных и композитных материалов, в т.ч. твердых и сверхтвердых.
- Технологии микрообработка материалов высокоэнергетическим ультракороткоимпульсным лазерным воздействием.
- Лазерные технологии микрообработки для изготовления элементов МЭМС, 3D-сборок и прецизионных 3D-изделий.
- Технологии прямого лазерного микроструктурирования и базмасочной фотолитографии.
- Технологии прямого формирования поверхностных наноструктур в материале подложки импульсами пико- и фемто-секундных лазеров.
- Лазерные технологии формирования функциональных поверхностных нано- и микротекстур и сенсорных покрытий.
- Технологии лазерной сварки металлов с высоким коэффициентом отражения.

Тематика «Технологии селективного воздействия»

- Технологии управления движением и позиционированием отдельных атомов и молекул, нано- и микрообъектов.
- Технологии сверхбыстрого воздействия на вещество.
- Лазеры для технологий селективного воздействия.

Тематика «Технологии новых типов лазерных источников излучения»

- Технологии лазерных систем, не требующих обслуживания в процессе эксплуатации.

- Технологии лазерных систем с полным электронным управлением параметрами излучения.
- Технологии компактных лазерных источников новых спектральных диапазонов, включая источники мягкого рентгеновского излучения.
- Технологии создания твердотельных лазеров неосвоенных спектральных диапазонов (УФ, ВУФ, средний и дальний ИК диапазоны).
- Технология перестраиваемых лазеров с использованием объемных и интегрально-оптических акустооптических устройств.
- Технология лазеров на основе микрорезонаторов.

По направлению 5. «Фотоника в биологии и медицине»

Тематика «Методики визуализации и оптической диагностики органов и биотканей»

- Технологии когерентной и низкокогерентной оптической томографии.
- Технологии оптоакустической визуализации.
- Технологии оптической спектроскопии биотканей, биологических жидкостей, органов и газов.
- Технологии сверхразрешающей визуализации биотканей.
- Технологии и методики эндоскопии в широком спектральном диапазоне.
- Технологии фотодинамической диагностики.
- Технологии терагерцовой и оптоакустической томографии.
- Технологии лазерного сканирования.
- Технологии цифровой голографической микро-интерферометрии и томографии.

Тематика «Лазерная хирургия и лучевая терапия»

- Технологии лазерной нанохирургии биотканей.
- Технологии лазерной модификации биотканей.
- Технологии фотодинамической терапии.
- Технологии твердотельных хирургических лазеров в диапазоне длин волн 1.9-3 мкм.
- Системы и методики минимально инвазивных лазерных операций.

Тематика «Сенсоры для биологических и медицинских применений»

- Новые оптические молекулярные биосенсоры и технологии их использования в живых системах.
- Сенсоры на основе технологий нанофотоники и плазмоники.

- Оптические и волоконно-оптические спектральные системы и датчики.
- Технологии мобильных датчиков спектрального анализа.

Тематика «Системы контроля продуктов, лекарств и окружающей среды»

- Технологии и системы контроля подлинности и качества продуктов питания и фарм препаратов.
- Технологии и системы контроля загрязнения окружающей среды, дистанционного мониторинга атмосферы, датчики токсичных газовых примесей.

VIII. Органы управления и координации Программы

Схема управления программой строится на принципах проектного управления для вовлечения всех заинтересованных участников (органов государственного управления разного уровня; крупных компаний с государственным участием; ведущих научных организаций и университетов; организаций реального сектора экономики).

Координатор Программы – Министерство образования и науки Российской Федерации.

Координатор Программы:

разрабатывает и принимает в пределах своих полномочий совместно с иными федеральными органами исполнительной власти и организациями – участниками Программы нормативные акты, необходимые для ее выполнения;

вносит в Правительство Российской Федерации проекты федеральных законов, нормативных правовых актов Президента Российской Федерации и другие необходимые для выполнения Программы документы, по которым требуется решение Правительства Российской Федерации, для обеспечения нормативного, методического и информационного единства Программы;

обеспечивает участие в управлении реализацией Программы представителей федеральных органов исполнительной власти, Российской академии наук, государственных корпораций, институтов развития (венчурных фондов), технологических платформ, ведущих научных организаций и университетов, а также организаций реального сектора экономики;

представляет статистическую, справочную, аналитическую информацию о ходе реализации Программы.

Коллегиальным координационным органом Программы является Межведомственный координационный совет (далее – МКС), являющийся постоянно действующим совещательным органом, образованный с целью общего управления

Программой, планирования и мониторинга ее реализации, координации участников Программы и мер государственной поддержки. В своей работе МКС взаимодействует с Межведомственной рабочей группы по фотонике, созданной при Минпромторге России.

Основные функции МКС:

определение, утверждение и корректировка тематических направлений поддержки проектов в области фотоники;

рассмотрение и утверждение планов («дорожных карт») реализации каждого направления с определением источников и инструментов поддержки;

контроль за реализацией указанных планов («дорожных карт»).

В состав МКС должны входить представители федеральных органов исполнительной власти, государственных корпораций, Российской академии наук, институтов развития, технологических платформ, ведущих научных организаций и университетов, организаций реального сектора экономики.

Для оперативного решения организационных вопросов, связанных с координацией в области фотоники, может быть сформировано бюро МКС.

Для управления реализацией каждого направления фотоники создаются рабочие группы по направлениям, в которые входят представители организаций, ведомств и институтов развития, обеспечивающих финансирование работ на соответствующих этапах реализации инновационного цикла разработки и создания продукции (Минпромторг России, Минобрнауки России, Федеральное агентство научных организаций и другие), а также ведущих научных организаций и университетов, технологических платформ.

Функции рабочих групп по направлениям:

формирование предложений по продуктовым консорциумам и вынесение их на утверждение в МКС;

разработка планов («дорожных карт») реализации каждого направления, включающих полный инновационный цикл создания продукции от проведения фундаментальных и поисковых исследований до постановки изделия на производство. Разрабатываемые планы («дорожные карты») должны содержать взаимоувязанный комплекс мероприятий, включающий перечень научно-технических, технологических и организационных задач, обеспечивающих реализацию всего цикла создания продукции в области фотоники. В части реализации НИОКР под определяемую номенклатуру конечной продукции, планируемую к постановке на производство, должен быть сформулирован перечень научно-технических задач, требуемых для создания данной продукции, а также сформулированы тематики проектов, в рамках которых решаются обозначенные научно-технические задачи со сроками их выполнения;

формирование технических требований к результатам научно-технических проектов и их уточнение в ходе реализации планов («дорожных карт»);

определение механизмов финансового обеспечения проектов. Подготовка и представление организациям, осуществляющим финансирование перечней проектов, планируемых к реализации в рамках выполнения планов («дорожных карт»);

мониторинг выполнения и при необходимости подготовка предложений по корректировке планов («дорожных карт»).

Контроль достигнутых результатов и финансовый контроль за ходом выполнения Программы предполагается производить в установленном порядке со стороны главных распорядителей бюджетных средств и со стороны иных организаций – участников Программы.

Результаты контроля главными распорядителями бюджетных средств представляются координатору Программы с последующим представлением этих данных в МКС.