

Отечественная компонентная база радиофотоники: общее состояние, проблемы, перспективы

Давлеткильдеев Н.А., Мосур Е.Ю., Киселева Е.В.

АО «ОНИИП», Омск

ОНЦ СО РАН, Омск

Радиофотоника

Радиофотоника (microwave photonics) - область знания, которая изучает взаимодействие между оптическим и электрическим сигналом радиочастотного диапазона в различных нелинейных средах и устройствах; исследует методы *генерации, обработки и применения* оптического излучения, модулированного радиочастотными сигналами (в частотном диапазоне до 100 ГГц и выше).

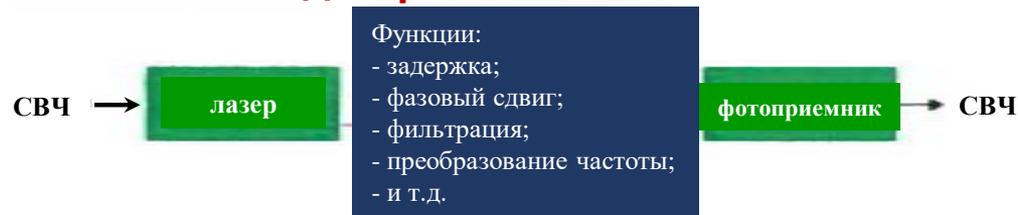
Основные *области применения* радиофотоники можно разделить на три класса:

- ✓ прием сигналов;
- ✓ передача сигналов;
- ✓ обработка информации.

Радиофотонная линия (MWP link)



Радиофотонная система



Радиофотоника позволяет реализовывать ключевые функции систем, которые сложно или невозможно реализовать с помощью СВЧ электроники и создает новые возможности в области систем информации и коммуникации.

Преимущества устройств радиофотоники

✓ снижение массы и габаритов;

вес типового РЧ кабеля специального применения (115 кг/км) более, чем в три раза больше, чем вес сравнимого волоконно-оптического кабеля специального применения

✓ низкие потери и неравномерности;

потери волоконно-оптического волокна (0.2 дБ/км на 18 ГГц) на порядки величины ниже, чем потери РЧ кабеля

✓ высокая помехозащищенность за счет слабой чувствительности оптико-электронной аппаратуры и линий связи к внешним электромагнитным воздействиям;

✓ высокая пропускная способность;

✓ повышение разрешающей способности по дальности и информативности из-за использования сверхширокополосных сигналов и снижения потерь в линиях передачи;

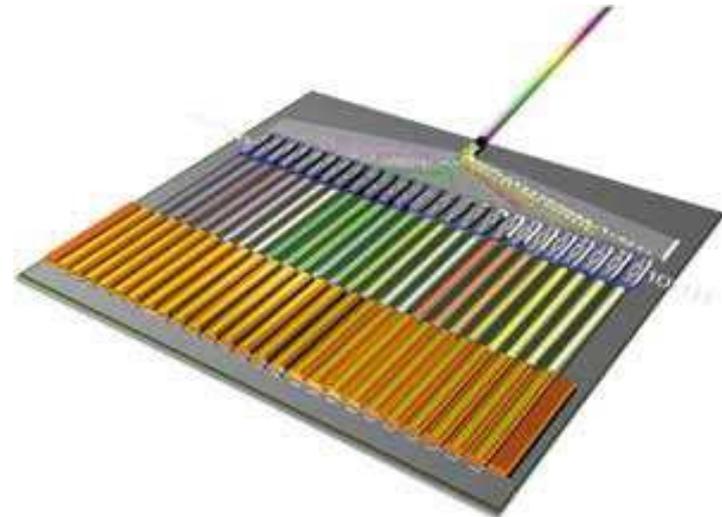
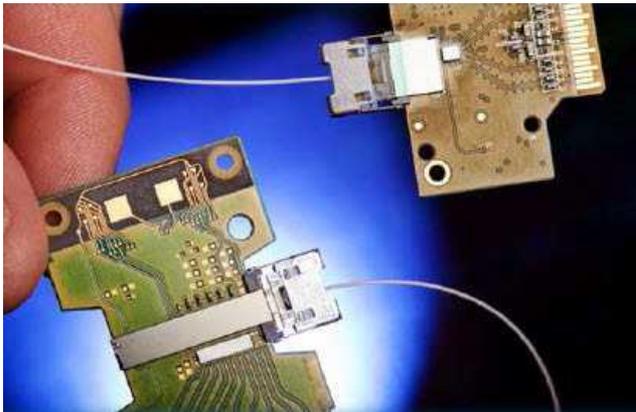
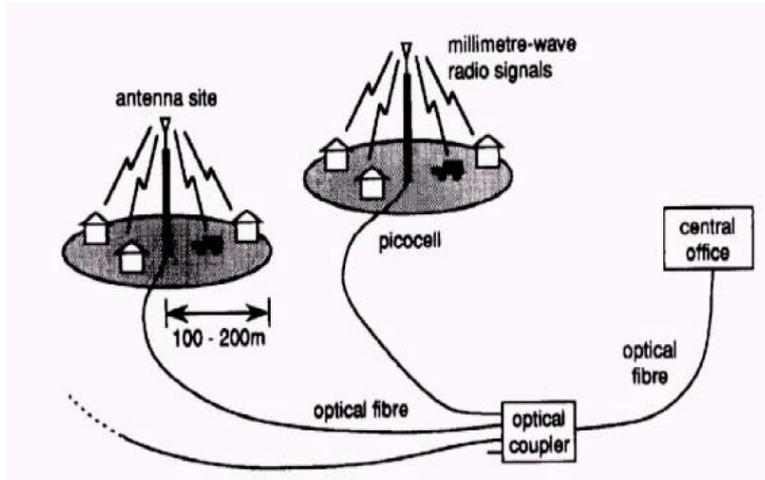
✓ обработка в реальном времени;

✓ в перспективе – снижение стоимости приборов – за счет перехода к крупносерийному производству радиофотонной элементной базы и меньшей материалоемкости изделий, а также планируемого перехода к высокопроизводительным фотонным АЦП;

✓

Радары и телекоммуникации – две основные области, выигрывающие при применении устройств радиофотоники

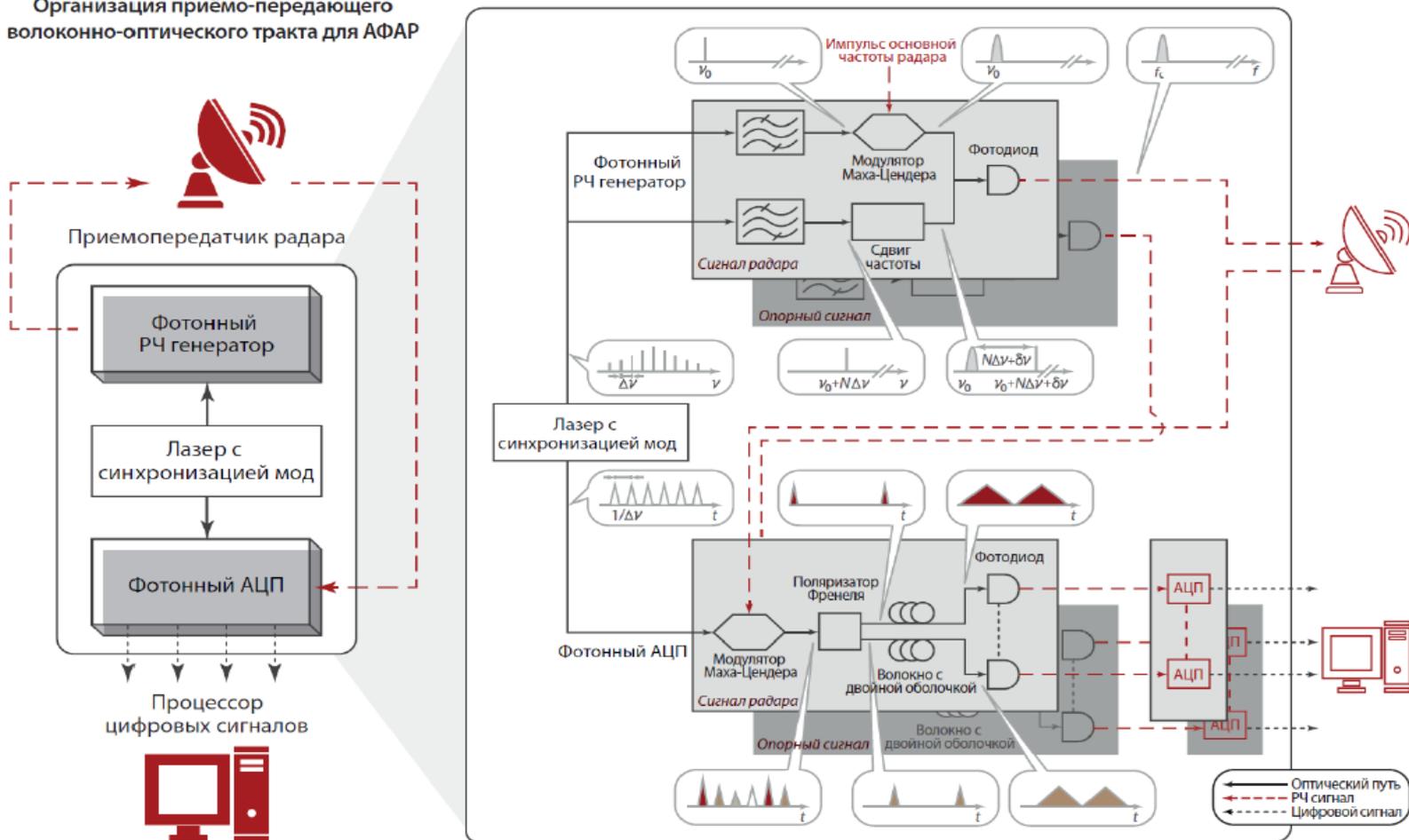
Телекоммуникации



Радиофотонная АФАР

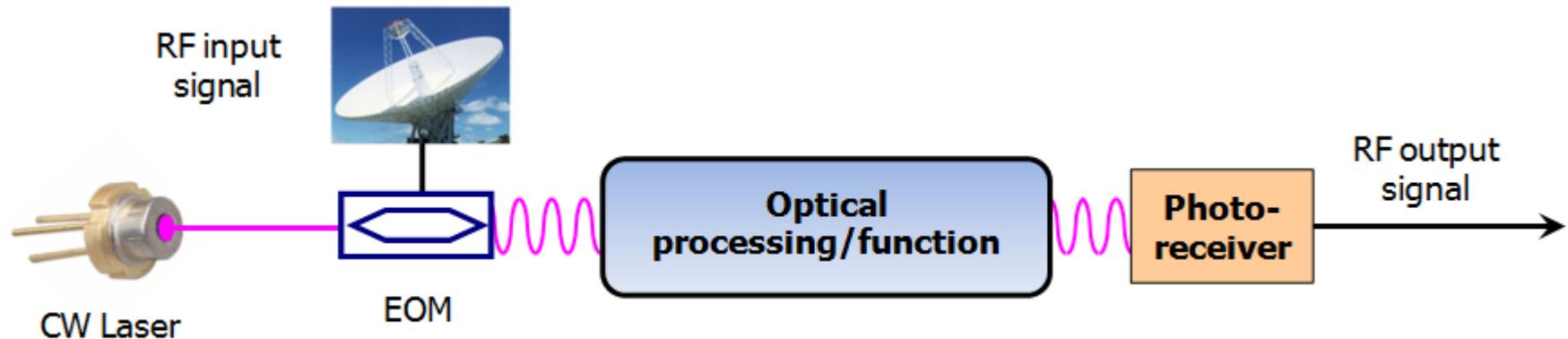
Активная фазированная антенная решётка (АФАР) — фазированная антенная решётка, в которой направление излучения и (или) форма диаграммы направленности регулируются изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на индивидуальных активных излучающих элементах

Организация приёмно-передающего волоконно-оптического тракта для АФАР



1 поколение радиопотонной ЭКБ

Последние 20-30 лет радиопотонные линии и системы основывались на дискретных оптоэлектронных элементах, стандартном оптическом волокне и оптоволоконных компонентах, которые позволяют реализовывать генерацию, распределение, обработку и анализ СВЧ сигнала.



1 поколение радиопотонной ЭКБ

Достижения радиопотонных линий :

- Малошумящие, высокомощные лазерные диоды;
- Электрооптические модуляторы с малыми потерями и с низким напряжением управления;
- Высокомощные фотодиоды с высокой линейностью.

Проблемы радиопотонных линий

- потери при Е/О и О/Е преобразовании;
- увеличение шумов;
- искажение сигнала.

Критерии качества

- **коэффициент передачи** – степень передачи СВЧ мощности;
- **коэффициент шума**;
- **динамический диапазон без паразитных сигналов** - максимальная выходная мощность при мощности интермодуляционных искажений ниже уровня шума.

2 поколение радиопотонных систем

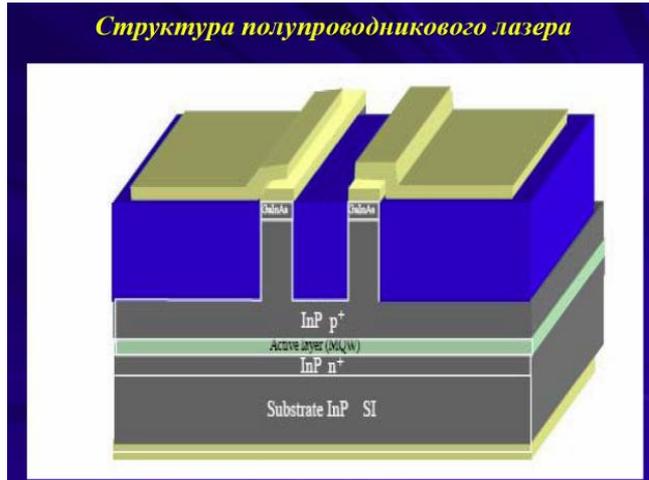
Системы радиопотоники на дискретных элементах громоздкие, дорогие и энергоемкие. Второе поколение радиопотонных систем на основе интегральных фотонных схем должно решить задачу понижения их энергопотребления и стоимости.



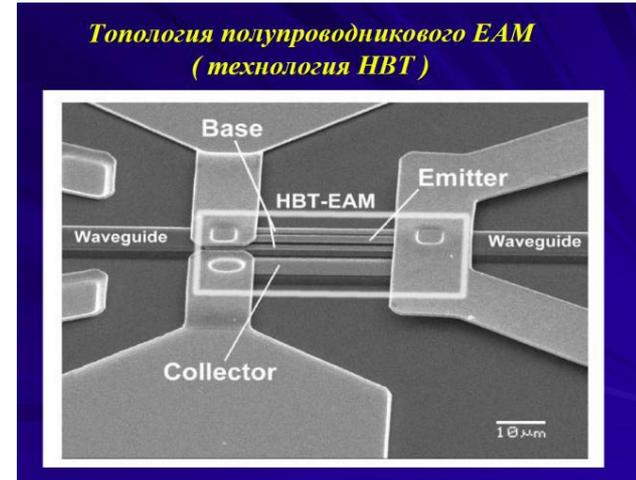
	silica / silicon nitride	silicon-on-insulator	indium phosphide
wavelength range	0.3 μm – 3 μm	1.1 μm – 4.5 μm	1.3 μm – 1.6 μm
lasers, amplifiers	NA	NA	+++
photodetectors	NA	++	+++
modulators	NA	+	++
passive devices	+++	++	+
wafer level packaging	+++	+++	NA
electronic SoC and SiP integration	+++	+++	NA

Основные оптические элементы радиофотоники

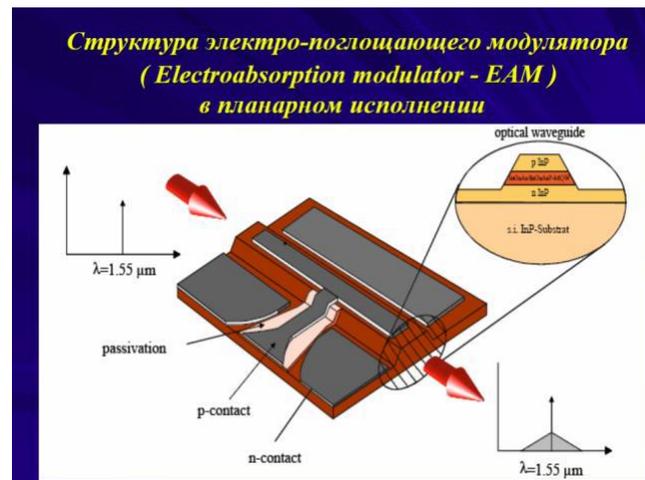
Источники излучения - лазеры



Приемники излучения - фотодетекторы



Модуляторы излучения



Отечественные производители элементов РФ

Источники и приемники излучения



АО «Научно-исследовательский институт «Полюс» имени М.Ф. Стельмаха»



Лазерные диоды и модули
Лазеры со стабилизацией длины волны
Одночастотные лазерные модули
Перестраиваемые лазерные модули
DFB лазеры
Суперлюминесцентные диоды
Полупроводниковые оптические усилители
Фотодиодные модули
Компактные лазерные модули
Драйверы лазерных диодов



Передающие оптические модули
Приемные оптические модули
Фотодиоды
Лазерные диоды
Драйверы
Лазерные модули видимого диапазона

Модуляторы излучения и пассивные элементы



ПНПК

ПЕРМСКАЯ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОМПАНИЯ

ПАО «Пермская научно-производственная
приборостроительная компания»

- Особо чистый кварц
- Оптические волокна
- Активный волоконный световод
- Активный радиационно-стойкий световод
- Активный световод, легированный эрбием
- Волоконный световод с сохранением круговой поляризации
- Многомодовый оптический световод
- Одномодовый изгибоустойчивый световод
- Радиационно-стойкий одномодовый световод
- Волоконно-оптические компоненты
- Диэлектрический датчик напряженности СВЧ-поля
- Схема интегрально-оптическая
- Усилитель спонтанной эмиссии
- Электрооптический модулятор интенсивности света

Характеристики отечественных элементов РФ

Большинство лазеров для связи имеют резонаторы типа Фабри–Перо (ФП). Однако в последние годы для многих применений используются одночастотные лазеры с резонаторами на основе волоконно-брэгговских решеток (ВБР) или с распределенной обратной связью (РОС) с шириной излучения 1МГц и менее.

Основные характеристики выпускаемых лазеров с резонатором Фабри-Перо

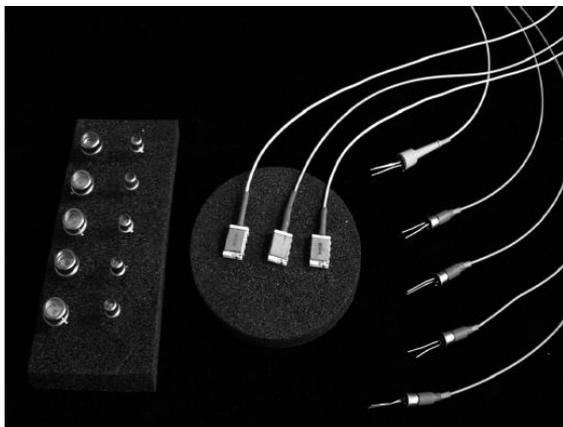
Длина волны, нм	Мощность, мВт	Ширина линии, нм
405–445	1..20	1–2
520–525	1..20	1–2
630–670	1..20	1–2
700–790	1..20	1–3
800–850	1..40	1–3
900–980	1..100	1–3
1020–1090	1..100	1–3
1270–1330	1..50	1–3
1510–1570	1..200	1–9
1620–1650	1..100	1–9

Характеристики отечественных элементов РФ

Наиболее широкое применение в волоконно-оптических линиях связи нашли приемные оптические модули на основе p-i-n фотодиодов с длиной волны излучения от 600 до 1700 нм

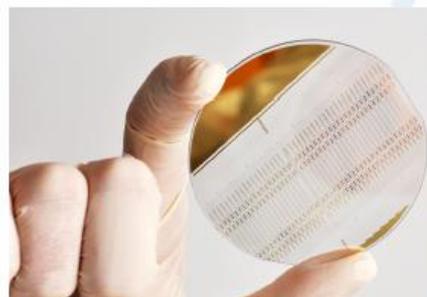
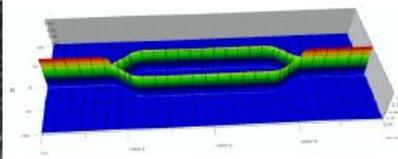
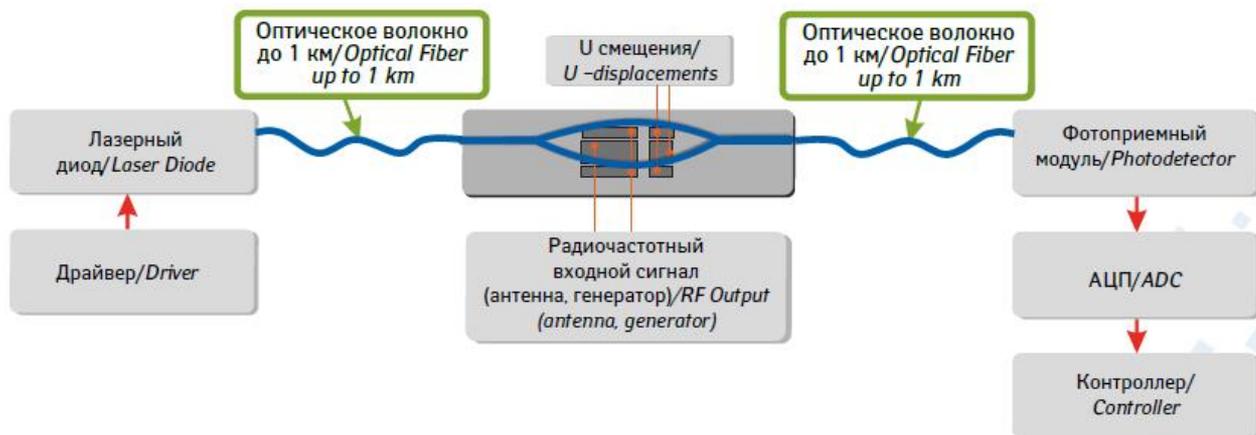
Основные параметры приемного модуля на основе InGaAs фотодиода

Температура		25° С		
		Мин	Тип	Макс
Чувствительность	А/Вт	0.9	0.95	1.0
Темновой ток	нА	0.5	1	2
Обратное напряжение	В	5	10	30
Длина волны	нм	1000		1650
Емкость	пФ	0.5	1	2



Модули имеют волоконно-оптический выход с коннектором различного типа как в одномодовом, так и в многомодовом исполнении.

Характеристики отечественных элементов РФ



**Электрооптический
модулятор
интенсивности света
на ниобате лития
МЗМ-х-014 для
систем телеметрии и
передачи
информации**

Технические характеристики/Technical Data

Параметр/Parameter	Значение/Value
Рабочая длина волны, нм <i>Operating Wavelength, nm</i>	1550 ± 20
Эффективность модуляции, рад/В <i>Modulation Efficiency, rad/V</i>	от/from 0,9 до/to 1,3
Температура эксплуатации, °С <i>Operating Temperature, °C</i>	от/from -60 до/to 70
Полоса пропускания, ГГц <i>Bandwidth, GHz</i>	от/from 0 до/to 0,5

Проблемы отечественной ЭКБ радиофотоники

- ✓ Массогабаритных характеристик ЭКБ;
- ✓ Ассортимента ЭКБ отечественного производства;
- ✓ Взаимозаменяемость отечественных комплектующих;
- ✓ Проблемы организационного характера;
- ✓ Недостаточно широкий ассортимент;
- ✓ Характеристики, не достигающие уровня зарубежных аналогов
- ✓ Качество, надежность и прогнозируемое время работы
- ✓ Отсутствие массового производства
- ✓ Длительные сроки исполнения
- ✓ Отсутствие конкуренции



МКЦП по развитию ЭКБ радиофотоники до 2030 г.

Цель: создание современных высокотехнологичных изделий радиофотоники, необходимых для реализации тактико-технических требований к перспективным образцам радиоэлектронной аппаратуры.

В настоящее время представляется трудно выполнимыми требования разработчиков в части разработки:

- цифровых оптоэлектронных модулей со скоростью передачи до **100** Гбит/с;
- аналоговых оптоэлектронных модулей с частотой модуляции до **100** ГГц;
- оптических волокон прочностью до **30-50** Н со строительной длиной **50-100** км и коэффициентом затухания менее **0,2** дБ/км;

Трудности в достижении данных требований обусловлена:

- отсутствием отечественных материалов и технологий для создания перспективных изделий оптоэлектронной техники;
- устаревшим производственно-технологическим, измерительным и испытательным оборудованием предприятий.

Подгруппы изделий оптоэлектронной техники, необходимые для разработки:

- ✓ квантово-каскадные лазеры;
- ✓ оптические мультиплексоры-демультиплексоры;
- ✓ многоканальные вращающиеся оптические переходы (в т.ч. погружные);
- ✓ волоконно-оптические аттенюаторы и изоляторы;
- ✓ волоконно-оптические фазовращатели;
- ✓ микроболометрические неохлаждаемые ФПУ;
- ✓ двухспектральные и многоспектральные ФПУ;
- ✓ быстродействующие лавинные и pin фотодиоды и ФПУ на их основе;
- ✓ электрооптические модуляторы;
- ✓ ФПУ на квантовых структурах и сверхрешетках.

МКЦП по развитию ЭКБ радиофотоники до 2030 г.

Требуемые технологии и материалы для достижения параметров ЭКБ до 2030 года:

- ✓ молекулярно-лучевая эпитаксия для создания квантово-каскадных лазеров, фотоприемников и изделий радиофотоники;
- ✓ технология автоматической сборки гетероструктур;
- ✓ технология производства заготовок для многомодовых и одномодовых кварцевых оптических волокон;
- ✓ технология глубокой очистки исходных материалов для получения заготовок и оптических волокон;
- ✓ технология изготовления прецизионных керамических наконечников для оптических соединителей;
- ✓ высокочистые металлоорганические материалы (арсин, фосфин, триметилгаллий, алюминий и т.п.);
- ✓ наноматериалы;
- ✓ высокочистые оптические кварцы, хлориды кремния, германия, фтора и т.п. для оптических компонентов;
- ✓ циркониевая керамика;
- ✓ редкоземельные материалы (ионы эрбия, неодима, иттербия, празеодима).

Спасибо за внимание