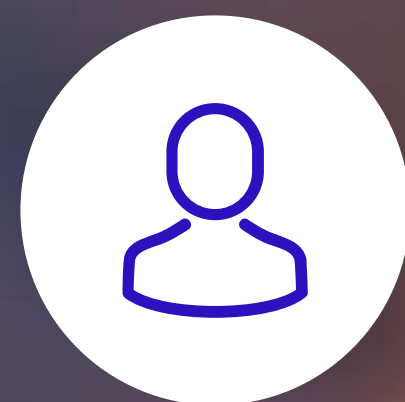


Материалы для ИК фотоники и оптики: вызовы и стремления

24, 25 Июня 2025 г.



Ивановских Константин Васильевич

Зам. директора по науке и инновациям,
АО "Государственный научно-исследовательский и проектный институт
редкометаллической промышленности «Гиредмет» им. Н.П. Сажина

Основная информация об АО «Гиредмет» им. Н.П. Сажина

Основная деятельность организации в области технологий
оптоэлектроники и фотоники

Технологии выращивания
монокристаллов оптических и
полупроводниковых
материалов

Технологии обработки
кристаллов и получения
полированных пластин

Технологии получения
эпитаксиальных
гетероструктур

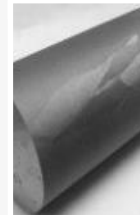
Ключевые изделия фотоники, производимые организацией



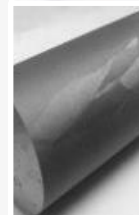
Арсенид
галлия (**GaAs**)



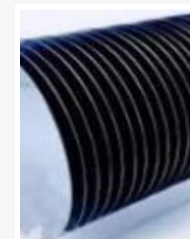
Арсенид индия
(**InAs**)



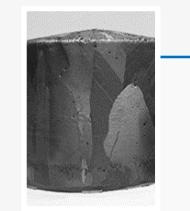
Антимонид
галлия (**GaSb**)



Антимонид
индия (**InSb**)



Пластины A3B5
(epi-ready)



CdZnTe и
эпитаксиальные
структуры CdHgTe

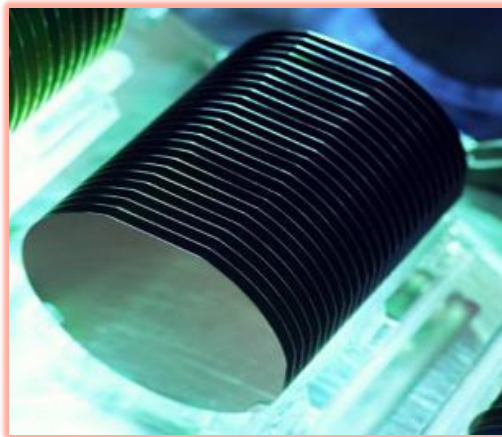
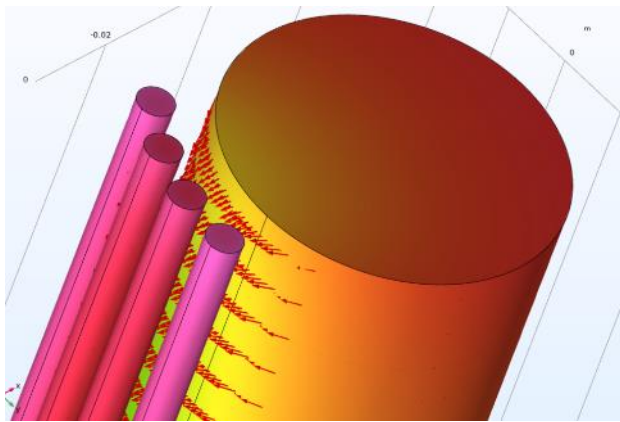
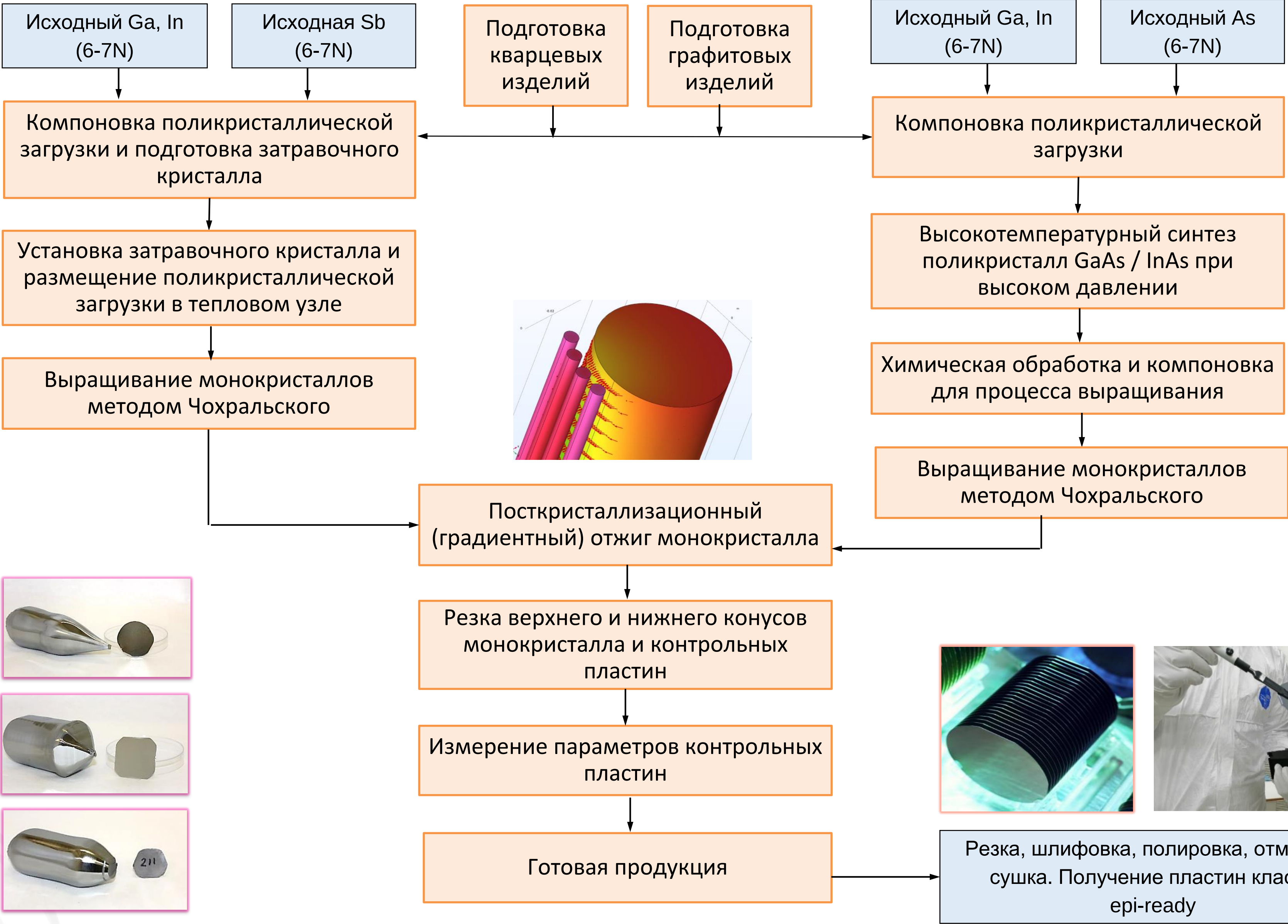


Галогениды Ag и Ta,
ИК оптические кристаллы

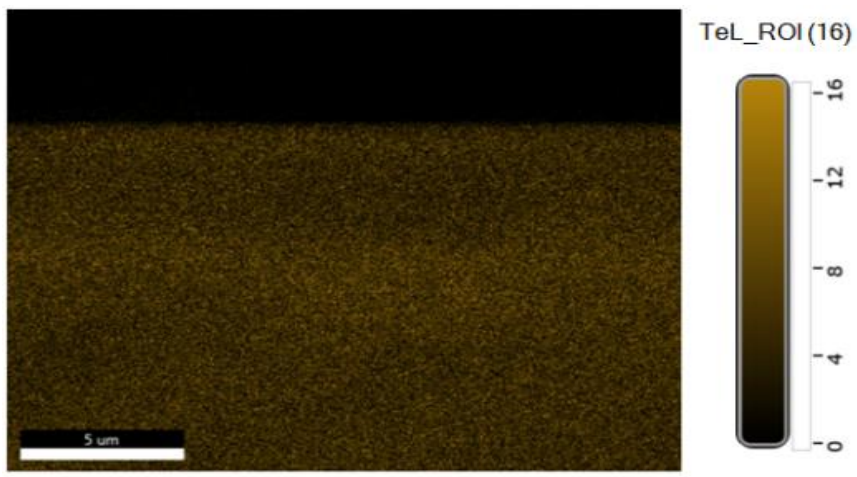
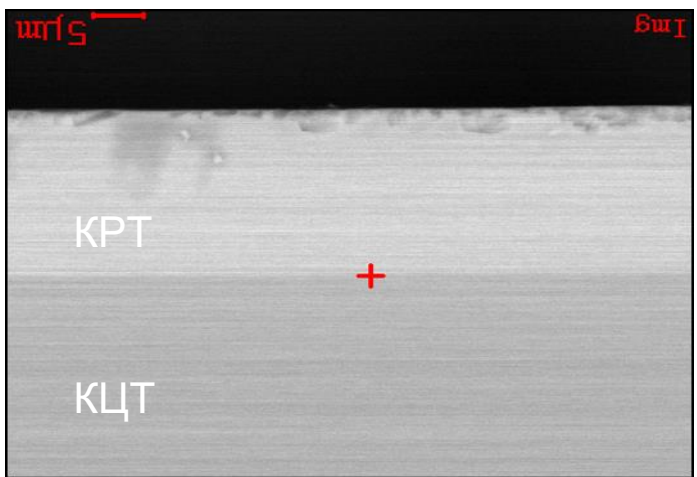
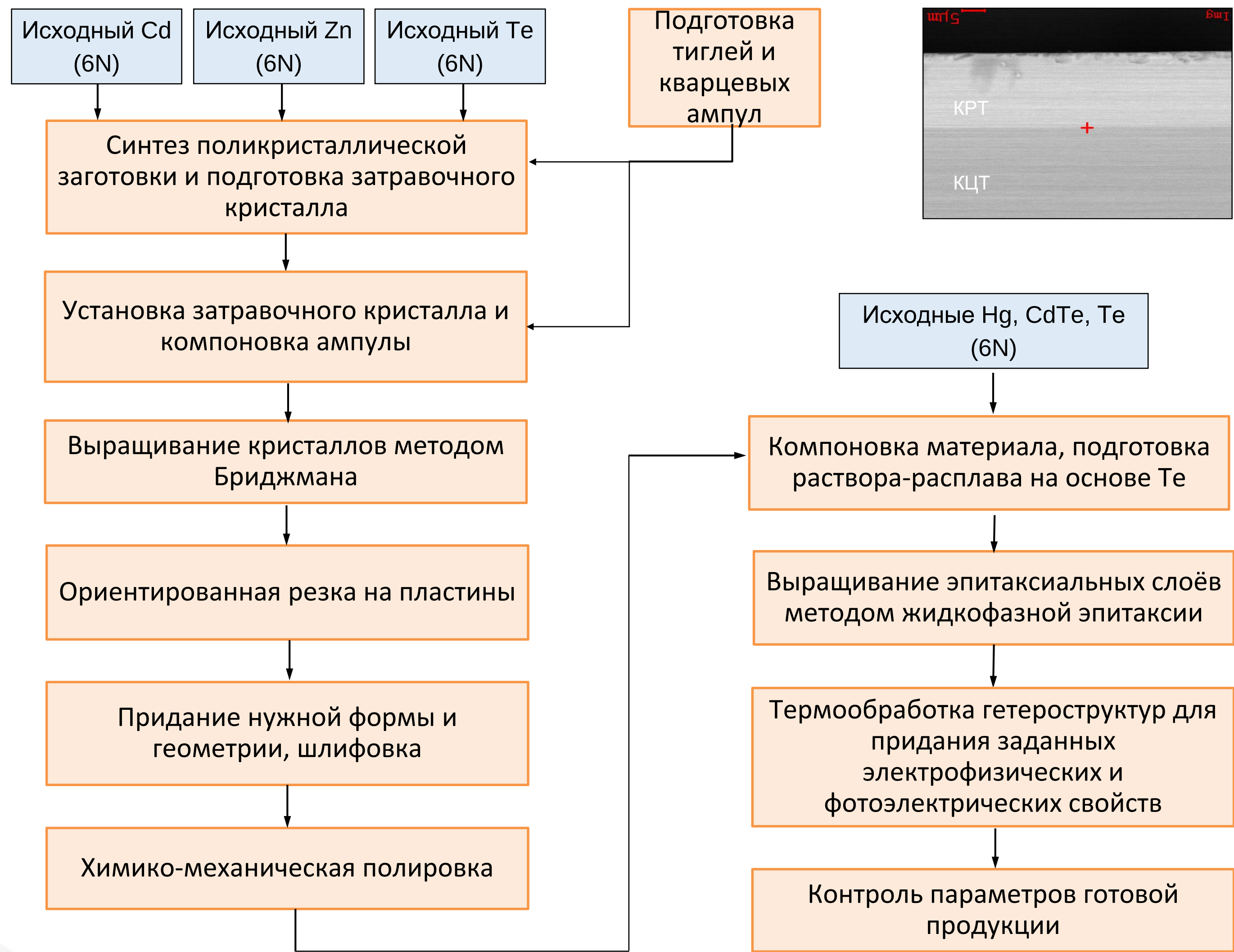


сцинтилляционные
кристаллы

Производственный цикл получения epi-ready пластин материалов A3B5



Производственный цикл получения гетероструктур с фоточувствительным эпитаксиальным слоем кадмий-ртуть-теллур

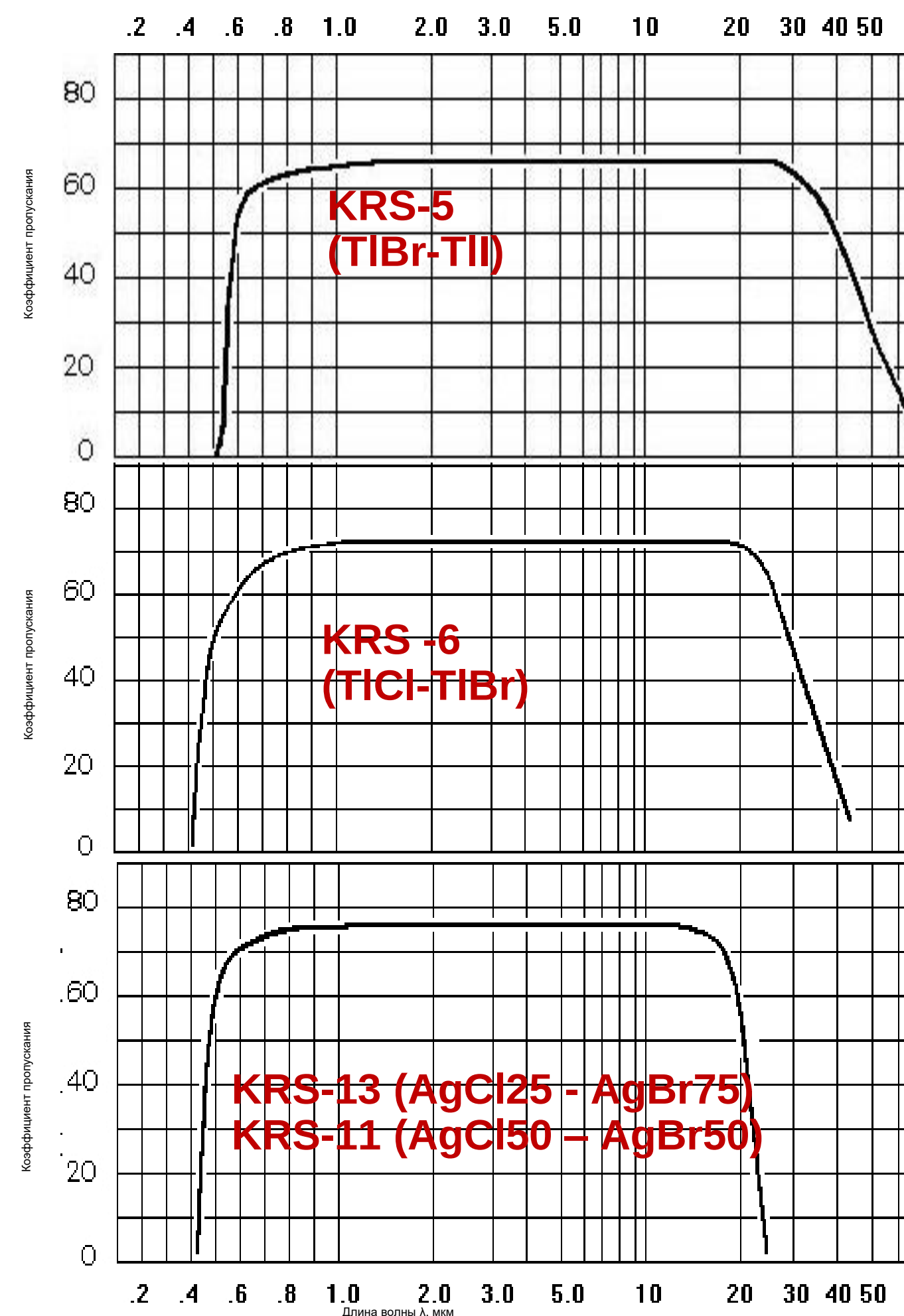


Оптические элементы ИК диапазона на базе галогенидов Ag и Tl

Оптические элементы ИК диапазона

Особенности:

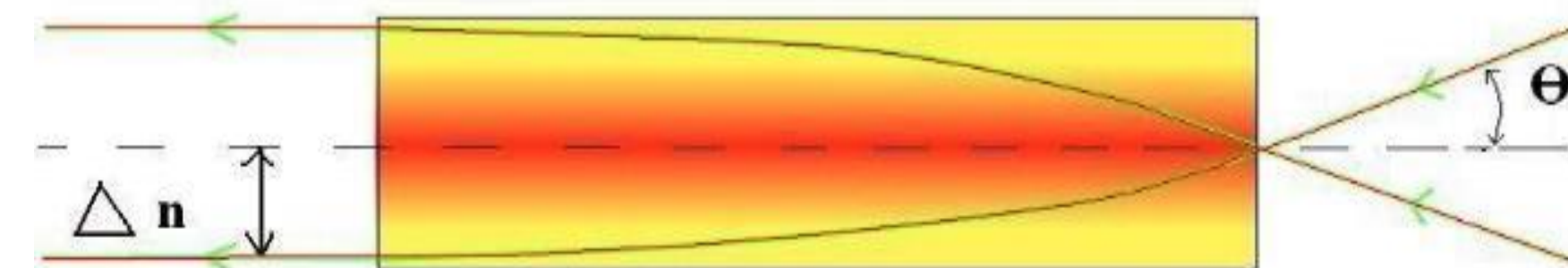
- широкая область прозрачности (0,4-50 мкм);
- низкое ИК-поглощение ($5 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$);
- широкий диапазон рабочих температур;
- высокая радиационная стойкость;
- негигроскопичны.



Область применения:

- контроль пожаро-взрывобезопасных производств,
- в аналитических спектрофотометрах,
- в космической разведке,
- в лазерных системах различного назначения.

Градиентные кристаллы



Характеристики:

Область спектрального пропускания:

0,4 - 50 мкм

Коэффициент спектрального пропускания:

– на длине волны 0,63 мкм: 55 - 65 %

– в диапазоне длин волн 2,5 - 25 мкм: 68 - 70 %

Коэф. поглощения лазерного излучения:

– при 5-6 и 10,6 мкм, см^{-1} : не более 5×10^{-4}

Размеры градиентных элементов,

– диаметр до 30 мм, длина до 30 мм

Диаметр фокального пятна: 10 - 12 мкм

Числовая апертура, $NA = \sin \Theta$: 0,4 - 0,6

Максимальная разность показателя преломления, Δn : 0,1 - 0,09

Радиальное распределение показателя преломления: параболическое

Размеры градиентных заготовок для волоконных световодов

– диаметр : 1 - 15 мм, длина: 30 – 80 мм

Вызовы на пути научно-технологического развития

SWOT анализ развития отечественного научного потенциала в области технологий фотоники



Strengths (Сильные стороны)

Фундаментальная школа	Признанные научные коллективы (ИТМО, ФИАН, МФТИ, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, ИФП РАН, МИФИ, ИТМО, ФТИ им. Иоффе и др.), способные вести фундамент. и прикладные исследования в области фотоники, включая квантовые технологии. Сильные компетенции в лазерной физике, нелинейной оптике, квантовой теории поля, разработки и исследовании фотонных интегральных схем, новых материалов (нитрид кремния, графен, ниобат лития). Высокий уровень компетенций в создании кристаллов, волокон, нелинейных, люминесцентных и оптических сред.
Связь со стратегич. секторами экономики	Потребность фотонных технологий в оборонных задачах, атомной промышленности, медицине, телекоммуникациях, металлургии, освоении космоса и т.п.
Наличие государственного заказа	Присутствие фотоники в рамках обсуждаемых федеральных и отраслевым программам по микроэлектронике, квантовым технологиям и импортозамещению. Спрос на строго отечественные технологии в области фотоприемников, оптоволоконных систем, лазерных систем, сенсоров и др. Проведение крупных специализированных выставок и форумов при гос. поддержке, способствующих обмену опытом и развитию отрасли

Weaknesses (Слабые стороны)

Фрагментированность научной среды	Дублирование тем между ведомствами, отсутствие межинститутской интеграции и координации между РАН, вузами, предприятиями и НТИ. Конкуренция в борьбе за «кусочек хлеба», а не за рыночные ниши.
Недостаток научной инфраструктуры	Ограниченный доступ к нанофабрикам, фемтосекундным лазерам, станциям синхротронного, лазерного и ТГц излучения, установкам для микро- и нанообработки и фабрикации.
Низкий УГТ и отсутствие внедрения	Низкий уровень готовности технологий (УГТ). Большинство проектов финансируются до уровня УГТ 5-6 или замыкаются на публикациях без выхода в прикладную область.
Разрыв коммуникаций с зарубежными научными школами	Снижение уровня научной коммуникации, замыкание на «традиционных» технологиях. Отсутствие доступа к исследовательской инфраструктуре мирового уровня. Отставание в постановке научных целей.
Слабая связь науки и производства	Слабая интеграция научных разработок с промышленным производством, что замедляет коммерциализацию инноваций и внедрение новых технологий.
Дефицит и утечка кадров	Низкая мотивация молодых кадров. Высокий средний возраст в основных научных школах. Сильные учёные часто мигрируют за рубеж, где есть стабильные научные проекты в фотонике и квантовых технологиях.
Ограниченность финансирования	Ограниченное финансирование фундаментальных исследований, фокус на быстрореализуемые инициативы, высокая забюрократизованность процессов инициирования и отчетности по НИОКРам.

SWOT анализ развития отечественного научного потенциала в области технологий фотоники



Opportunities (Возможности)

Цифровая трансформация и ИИ	Развитие фотоники как ключевого направления для цифровой трансформации промышленности, включая интеграцию с искусственным интеллектом и квантовыми технологиями, микроэлектроникой, материаловедением, медициной и биотехнологиями.
От цифровизации к фотонизации	Стимулирование применения фотонных технологий в медицине, фармацевтике, биотехнологиях, сельском хозяйстве, связи, системах контроля на производствах и т.д. Развитие систем квантовых коммуникаций, LIDAR-систем, оптических нейросетей, биофотоники, 6G, энергоэффективной оптоэлектронике и др.
Международное сотрудничество с «дружественными» странами	Повышение государственного финансирования, стимулирование международного сотрудничества с азиатскими странами в сфере фотоники, что позволит ускорить технологический прогресс. Возможность встроиться в глобальные тренды по квантовому интернету, криптографии и вычислениям, используя отечественные научные заделы.
Спрос на технологич. суверенитет	Потребность в отечественных технологиях по основным направлениям развития фотоники

Threats (Угрозы)

Ограниченный доступ к зарубежному оборудованию и компонентам	Санкции, экспортный контроль, запреты на поставку фотонных материалов и лазеров, в том числе из США, Японии, Европы
Технологическое отставание	Китай, США, Германия, Израиль, Сингапур и др. значительно опережают в области PIC, интегральных квантовых фотонных систем, фотонных ускорителей
Низкая мотивация к инвестициям в научные разработки	Высокая стоимость инвест. ресурсов. Долгий цикл возврата инвестиций, нехватка венчурных инструментов в deep tech-сегменте. Исполнители работ также имеют высокие риски и низкую защищённость при взятии обязательств по НИОКРам.
Фокус на узкие ниши и отсутствие масштабируемых платформ	Отдельные НИР не интегрируются в производственные дорожные карты и не поддерживают цепочки создания стоимости. Нет общего органа по формированию технологической политики в области фотоники.



Научно-технологические вызовы

Низкий уровень
фундаментальных
исследований

Отставание в
разработке фотонных
интегральных схем (PIC)

Ограниченные
компетенции в области
квантовой фотоники

Отсутствие замкнутых
технологических
цепочек

(Межведомственная)
разрозненность
научных школ

Ограниченные
компетенции и
производствен-
ные возможности
в области
источников
излучения УФ,
ИК, ТГц
диапазона

Недостаточная
интеграция фотоники
с другими науками

Ограниченный доступ
к современной
эксперимент. базе

Недостаточное развитие научной
базы в области новых фотонных
материалов

Слабое вовлечение инструментов
физики и моделирования
фотонных процессов

Приоритетные проблемные вопросы фотоники в РФ

Производственные вызовы

Зависимость от импортных исходных материалов

Дефицит и утечка кадров. Отсутствие кадров с междисциплинарной подготовкой

Недостаточный объем инвестиций. Скованность потенциальных инвесторов

Технологическое отставание производственной базы

Низкий объем, фрагментарность и несистемность спроса

Устаревшее оборудование и утрата компетенций по его производству

Организационные и бюрократические барьеры

Отсутствие единого центра компетенций по фотонике

Недостаточный учет фотоники в федеральных стратегиях

Отсутствие застрахованности и защиты производителей от

волатильности и нестабильности внутреннего рынка

Отсутствие стратегии развития «сверху».

Формирование стратегий от предложений «снизу».

Слабая интеграция в международные стандарты

Доминирование разработок и производств оборонного назначения

Бюрократизация научного процесса	Многоуровневая отчётность (необходимость ведения ежеквартальных, годовых, тематических, бухгалтерских отчётов в разном формате и в разные ведомства). Часто дублирующая документация, не связанная напрямую с научным содержанием. Формализм в подаче заявок и отчётности по грантам и субсидиям. Частые отклонения по «формальному признаку». Требования к составу отчёта (строгий объём, структура и состав по ГОСТ, указания на доли новизны, количественные показатели). Бумажный документооборот (несмотря на цифровизацию, во многих учреждениях требуется дублирование в бумажном виде с "синими печатями" и подписями, особенно для закупок, протоколов испытаний).
Ограничения в закупках и оснащении	Научное оборудование, реагенты и ПО, услуги соисполнителей покупаются по 44 или 223-ФЗ о госзакупках, что требует длительного согласования техзаданий, часто приводит к победе некачественных поставщиков из-за приоритета по цене, затрудняет оперативные закупки уникальных компонентов и оборудования или услуг, приводит к огромным затратам времени.
Финансовая негибкость и контроль	Отсутствие гибкости перераспределения средств без внесения изменений в договор. Риски формальных нарушений из-за сложной и порой противоречивой нормативной базы: требования ревизионных комиссий, счётной палаты, прокуратуры, ведомственных инспекций и проч.

Что могло бы помочь:

- Особый правовой режим для НИОКР.
- Освобождение научных организаций от 44-ФЗ и 223-ФЗ. Приоритет функциональности, а не цены.
- Цифровизация и унификация отчётности - одна платформа, без дублирования.

Предложения по развитию отечественных технологий фотоники

Предложения по развитию отечественных технологий фотоники



Диапазон	Материал	Применение	Комментарий
УФ (0.2–0.4 мкм)	GaN	Фотокатоды, УФ-фотодиоды	Высокая квантовая эффективность в ближнем УФ
	сапфир	Подложки, окна	УФ-прозрачность, химическая стойкость
	AlN	Буферные слои, фотоприемник УФ диапазона	Согласование с AlGaN по решетке, УФ-прозрачность
	β -Ga ₂ O ₃	Солнечно-слепы УФ фотоприемники	Устойчивость к высоким Т, радиационным полям
Видимый (0.4–0.7 мкм)	Si	Фотодиоды, лавинные фотодиоды	Основной полупроводник для приемников видимого света
	CdS/CdSe	Фоторезисторы, фотодиоды	Высокая чувствительность в синем и зелёном диапазоне
	GaP	Фотоприемники	Низкий тёмновой ток и высокая устойчивость к УФ-излучению. Высокий выход электронов в ближнем УФ и синем спектре
Ближний ИК (NIR, 0.7–3 мкм)	Ge	Фотодиоды	Высокая чувствительность до 1.6 мкм, интеграция с Si
	SiGe	Фотоприемники	Настройка спектрального отклика
	InP	Фотоприемники, ФИС	Высокая лучевая стойкость, высокая подвижность носителей, низкий шум
Средний ИК (MWIR, 3–8 мкм)	PbSe	Фоторезисторы	Устойчивость к температуре, чувствительность до 5 мкм
Дальний ИК (LWIR, 8–14 мкм)	HgCdTe / CdZnTe	ФПУ	Максимальная чувствительность в этом диапазоне. Повышение рабочей температуры
		Фотодиоды	Низкий шум, высокая чувствительность
ТГц диапазон	InSb	Болометры, фотодиоды	Высокая подвижность носителей
	Графен	ТГц-фотодетекторы	Сверхширокий спектральный отклик, высокие скорости



Спасибо за внимание!



24, 25 Июня 2025 г.

