

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

КЕРАМИКА + СИНТЕТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ

композиты • покрытия • функциональные материалы • цифровой паспорт • валидация

ЭКО-РРА • ИМАШ РАН • научная робототехника • минигенерация • 2026

Новая рамка материаловедения

Керамика

Обязательный базовый контур.

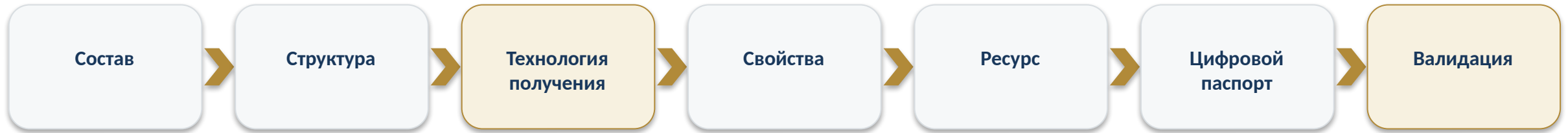
Поликристаллические материалы для несущих, защитных, изоляционных, износо- и термостойких функций.

Синтетические кристаллы

Второй равноправный контур.

Лабораторно выращенные кристаллы с управляемой чистотой, ориентацией, легированием, дефектностью и функциональными свойствами.

Материал как система параметров



Свойство материала определяется не только химической формулой, но и тем, как материал был выращен, спечён, обработан и испытан.

Почему керамика и кристалл — не одно и то же

Одинаковая химия

Al_2O_3 может быть технической керамикой или выращенным монокристаллом корунда.

Разная структура

Керамика — границы зерен; монокристалл — непрерывная кристаллическая решётка.

Разные свойства

Прозрачность, анизотропия, дефектность, оптика, пьезоэффект, теплопроводность и ресурс.

Основные классы синтетических кристаллов

Синтетический алмаз

C
твёрдость • теплоотвод •
сенсорика

Лейкосапфир

Al_2O_3
прозрачность •
термостойкость • изоляция

Фианит

кубический ZrO_2
оптические функции •
твёрдость

ИАГ / YAG

$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$
лазерная среда •
спектроскопия

ГГГ / GGG

$\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$
фотоника • магнитооптика

Ниобат лития

LiNbO_3
пьезоэффект • электрооптика

Синтетический кварц

SiO_2
резонаторы • метрология

Карбид кремния

SiC
жаростойкость • силовая
электроника

Методы выращивания и синтеза

Чохральского

вытягивание из расплава

Бриджмена

направленная
кристаллизация

Вернейля

рост из расплавленного
порошка

Гидротермальный

рост из раствора под
давлением

Флюсовый

рост из
высокотемпературного
раствора

HPHT

алмаз: высокие P и T

CVD

осаждение из газовой фазы

Что можно управляемо задавать

Химическая чистота

Кристаллографическая ориентация

Внутренние напряжения

Пьезоэлектрические свойства

Радиационная стойкость

Легирование

Дефектность

Оптическая прозрачность

Теплопроводность

Состояние поверхности

Единая классификация материалов проекта

Металлы и сплавы

несущая функция и
проводимость

Техническая керамика

изоляция, износ,
химстойкость

Синтетические кристаллы

оптика, фотоника, сенсорика

Полимеры

герметизация, гибкость,
лёгкость

Композиты

совмещение свойств и
снижение массы

Покрyтия

барьерные,
антифрикционные,
оптические

Функциональные материалы

магнитные, каталитические,
сенсорные

Гибридные кристалло- керамические

несущая + интеллектуальная
функция

Кристаллокерамический интеллектуальный узел

Керамика

несущая / защитная

Кристалл

сенсор / оптика

КРИСТАЛЛО-
КЕРАМИЧЕСКИЙ
УЗЕЛ

Покрытие

поверхность / барьер

Электроника

связь / обработка

Материалы в ЭКО-РРА

Минигенерация

SiC/GaN электроника •
алмазный теплоотвод
• керамические
изоляторы

Экомодули

износостойкие
насосные узлы •
химстойкие элементы
• сапфировые окна

Биоценозы

кварц • LiNbO_3 •
фотонные и
спектроскопические
элементы

Робототехника

пары трения • оптика
• пьезопроводы •
защитные элементы

Валидация

эталонные элементы •
резонаторы •
калибровочные узлы

Материаловедение в ИМАШ РАН

- механика разрушения монокристаллов и кристаллокерамических композитов;
- трибология керамики-кристаллических пар;
- динамика и виброакустика пьезоэлектрических материалов;
- цифровые двойники роста, обработки и эксплуатации материалов;
- роботизированная диагностика дефектов и ориентации кристаллов;
- V&V механических, термических и функциональных характеристик.

Инструменты валидации материалов

Химический

состав • примеси •
легирование

Структурный

фазы • ориентация • дефекты

Оптический

прозрачность • поглощение •
рассеяние

Механический

твёрдость • прочность •
трещиностойкость

Тепловой

теплопроводность •
расширение

Функциональный

пьезо- • электро- •
оптические параметры

Эксплуатационный

ресурс • деградация •
границы применимости

Цифровой паспорт материала

01 Химическая формула

02 Метод получения

03 Партия / образец / затравка

04 Ориентация

05 Легирование

06 Режимы роста и термообработки

07 Карта дефектов

08 Механические и тепловые свойства

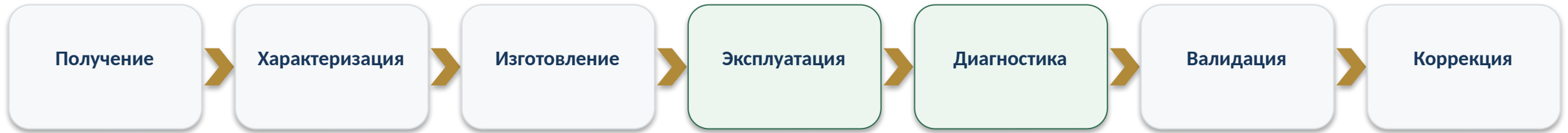
09 Оптические и электрические свойства

10 Покрытия и обработка

11 Испытания

12 Статус валидации

Самовалидирующееся материаловедение



Критический материал становится наблюдаемым объектом жизненного цикла, а не строкой в спецификации.

Новые направления изобретений

Самодиагностируемый узел

кристалл + керамика + сенсорика

Сапфировый биоценозный датчик

оптика + защита + цифровой паспорт

Термостабильный энергомодуль

алмазный теплоотвод + керамика

LiNbO₃-диагностика

пьезоузел для роботов и экомодулей

Роботизированный контроль кристаллов

дефекты + ориентация + автоматическая V&V

Адаптивный выбор материала

цифровой двойник + фактическая деградация

Унифицированная формулировка для всех новых материалов

Материаловедческий контур

«Материаловедческий контур включает техническую и функциональную керамику, синтетические кристаллы различной химической природы и способов выращивания, металлические, полимерные и композиционные материалы, покрытия, кристаллокерамические и гибридные структуры. Для критических материалов формируется цифровой паспорт происхождения, состава, структуры, технологии получения, свойств, дефектности, ресурса и результатов независимой валидации.»

КЕРАМИКА СОХРАНЯЕТСЯ.

**СИНТЕТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ СТАНОВЯТСЯ ВТОРЫМ РАВНОПРАВНЫМ
КОНТУРОМ.**

Материаловедение расширяется от конструкции — к функции, сенсорике, фотонике, энергетике и интеллектуальным узлам.