

*СЕТЕВОЙ ИНСТИТУТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
ЦЕНТР МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
СБОРКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРОВ ОСНОВАННЫХ
НА ПРИРОДНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ*

*Предложения по организации опытного производства и внедрения
инновационных материалов и технологического оборудования для
использования в критически важных сегментах
специализированной электроники*

13.07.2023

Стратегическая цель проекта – ускоренное импортозамещение специализированной электронной компонентной базы и электроники, а также разработка и продвижение на мировые рынки соответствующего роботизированного технологического оборудования

- 1. Разработка технологий производства инновационных материалов на основе Si, AlGaN/GaN, GaAs, SiC и других полупроводников, химических веществ и соединений для комплексного многоуровневого импортозамещения в специализированном электронном приборостроении.**
- 2. Разработка и продвижение установки лазерной кристаллографии, обеспечивающей мелкосерийное производство инновационных материалов для использования в специализированной электронике.**
- 3. Комплектование роботизированного опытно-производственного микроэлектронного комплекса (ОПМК), обеспечивающего мелкосерийное производство специализированных интегральных схем (ИС) и приборов (ИП), микросистем (МС) и электронных модулей (ЭМ).**
- 4. Разработка и продвижение установок лазерографии и автоматизированного монтажа ЭКБ, обеспечивающих в составе ОПМК мелкосерийное производство специализированных ИС, ИП, МС и ЭМ.**
- 5. Разработка и производство электроники для применения в составе бортовой аппаратуры морского, воздушного и космического базирования, а также робототехники для различных отраслей экономики.**

*** Потребители – приборостроительные вузы, НИИ и предприятия ВПК, а также страны, заинтересованные в создании и развитии микроэлектронной индустрии с ускоренной подготовкой специалистов**

*** Основные направления – СВЧ и силовая электроника, устройства связи с объектом (УСО), устройства ядерного приборостроения, бортовая электроника и т.д.**

Предпосылки и предложения

Основной задачей решаемой разработкой и внедрением ОПМК является ускоренное импортозамещение специализированных полупроводниковых материалов, электронной компонентной базы и микросборок, составляющих до 90 - 95 % от всей номенклатуры производимой ЭКБ и МС.

Мелкосерийное производство будет экономически эффективно и при единичных заказах, а кроме того сможет выполнять функции полигона для новых технологий и обучения специалистов.



НОМЕНКЛАТУРНАЯ ПИРАМИДА РЭИ

Предпосылки и предложения

Рентабельность производства массовых интегральных схем становится неоспоримой при достижении производительности десятков миллионов микросхем в год и более. Достижение этой цели требует многомиллиардных вложений не только в разработку и отработку соответствующих технологий, но и в продвижение производимой продукции на рынок, т.е. окупаемость больших кремниевых фабрик становится проблематичным для стран, не представленных на рынке передовых разработок.

Учитывая, что уровень развития производства электроники специального назначения определяет уровень национальной безопасности государства, считаем целесообразным первоочередное импортозамещение полупроводниковых материалов и специализированной электронной компонентной базы, составляющей до 90 - 95 % от всей номенклатуры производимой ЭКБ, и соответствующего производственно-технологического оборудования.

В связи с вышесказанным предлагаем к реализации проект организации с участием приборостроительных вузов, профильных НИИ и предприятий инновационных роботизированных производств специализированной электроники полного цикла, обеспечивающих опытное производство материалов и специализированной микроэлектроники с комплексным применением лазерных технологий от синтеза материалов до производства специализированных ИС, ИП, МС и ЭМ, объединенных в комплексную сетевую структуру. Предлагаемый комплекс имеет открытую архитектуру и в конечном итоге позволит вывести на рынок передовые разработки, как ИС, ИП, МС и ЭМ, так и дискретных пассивных и активных элементов.

Важным качеством таких производств является наличие выраженного мультипликативного эффекта в экономике региона при внедрении в электронное приборостроение для применений в ВПК, атомной и космической промышленности, а также в учебно-экспериментальные процессы по подготовке специалистов для этих и других отраслей. Проект может быть реализован на базе имеющейся инфраструктуры, с минимальными вложениями.

Номенклатурное разнообразие специализированных полупроводниковых приборов сочетается с ограниченным тиражом по каждому типу в диапазоне от 10 до 1000 шт. и с жесткими ограничениями по периоду разработки, производства и внедрения. ОПМК позволяет работать с любыми исходными заготовками, выпускать аналоговые и цифровые ИС, а так же ИП, по технологии "интеграция на целой пластине". Предусматривается возможность выпускать МС и ЭМ по технологии "высокоплотного монтажа", обеспечивающей выдающиеся массо-габаритные и потребительские характеристики, надежность и устойчивость к внешним воздействиям, помехозащищенность и малозаметность.

Продолжение

Предлагаемая технология обеспечивает проектирование и изготовление ИС, как на базовых матричных кристаллах (БМК), так и на пластинах с любой другой топологией. Технологические нормы проектирования по базовому этапу составят 600 нм. Предполагается, что роботизированные установки лазерографии обеспечат разрешение не менее 600 нм. Однако можно рассматривать вариант с привлечением сторонней кремниевой мастерской, на которой изготавливаются полуфабрикаты с любыми современными технологическими нормами, начальные слои металлизации выполняются там же, а окончательная разводка в 2-х ÷ 5-ти верхних слоях выполняется на ОПМК. Эта технология близка к технологии БМК, но отличается от неё существенно более высокой гибкостью и коэффициентом использования активных элементов.

Для обеспечения стабильности и технологичности процессов изготовления, а также воспроизводимости параметров тиражируемой на ОПМК продукции целесообразна полная автоматизация процессов лазерографии и применение в качестве полуфабрикатов изделий единого для всех производителя.

В качестве стартового примера по внедрению предлагаемой технологии могут служить МИС СВЧ-приборов. Номенклатура выпускаемых GaN усилительных МИС пока в десятки (если не в сотни) раз меньше, чем GaAs МИС, однако, фаза промышленного освоения этой технологии только началась и следует ожидать в ближайшие 2-3 года резкого расширения предложений на этом рынке.

Также не стоит упускать из вида и другой широкозонный материал – SiC, который хоть и является более низкочастотным, но также способен обеспечить крайне высокие усилительные и тепловые характеристики при разработках современной конкурентоспособной силовой электроники.

Для решения поставленной задачи необходимо в кратчайшие сроки осуществить локальную мобилизацию кадрового и научно-технического потенциала (задела от прежних разработок) с постановкой «амбициозных целей» в приборостроении конкретного региона, например, разработок новых поколений 3D эхолотов или мобильных комплексов аппаратуры геофизической разведки на базе вузов и предприятий.

При этом должны осуществляться меры по разрушению любых административных барьеров на основе самого широкого вовлечения в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы малых предприятий, так называемых аддитивных университетских производств и даже небольших неформальных групп молодежи.

Базовым решением выбранных задач, в наших условиях, может быть создание региональных межотраслевых ИТЦ на базе ОПМК объединенных в комплексную сетецентрическую структуру.

Организация такой структуры позволит, во-первых, обеспечить номенклатурный рывок по выводимой на рынок специализированной электронике, во-вторых, решить проблему подготовки кадров высокотехнологичных производств в регионах, и в третьих, окупить финансовые вложения за счет экспорта ОПМК и услуг.

УСЛОВНАЯ КОМПОНОВКА ОПМК И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

ASICfab is a compact, completely self-contained system for fabricating ASICs.



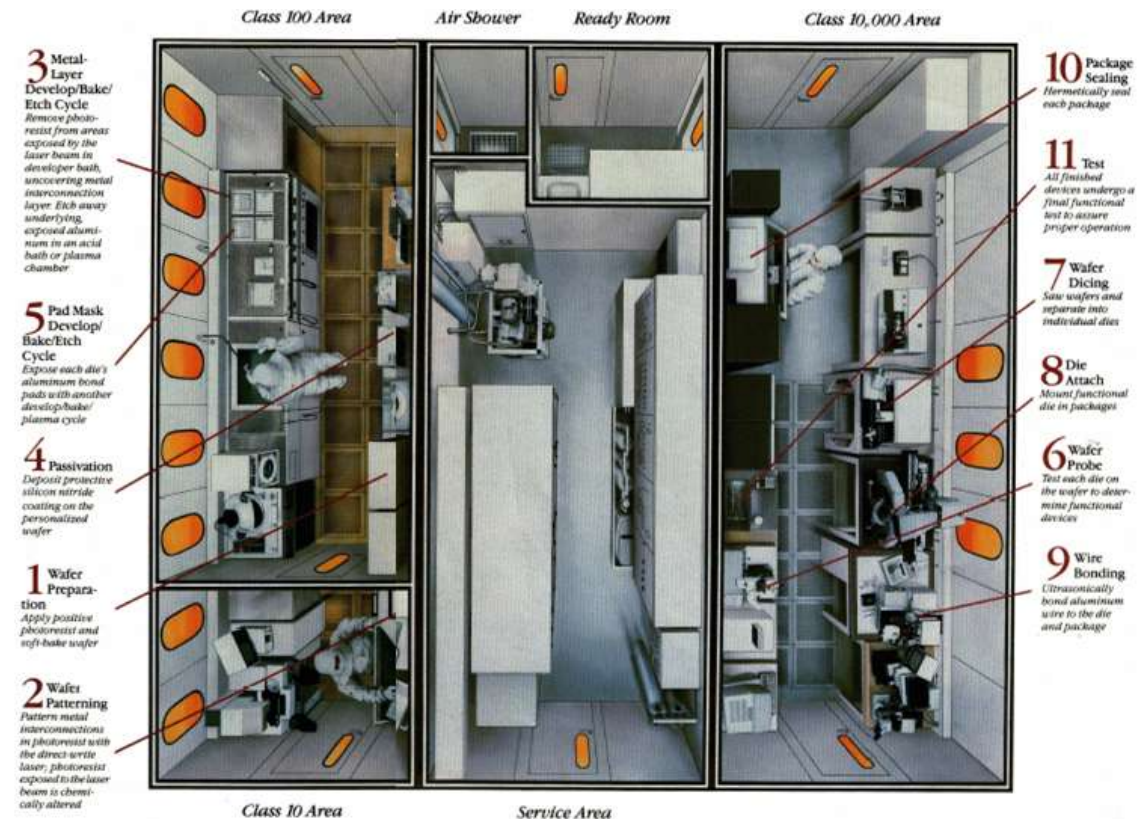
В перспективе, после проведения НИОКР по разработке отечественного лазерографического оборудования, возможно завоевание лидирующего положения на рынке ИС в производстве 3D-микросхем с объединением в одной ИС Si, AlGaIn/GaN, GaAs, SiC и других полупроводников на сапфировых, нитрид-титановых или SiC подложках обеспечивающих улучшение на порядок характеристик ИС при сравнительно невысоких технологических нормах за счет сокращения длины и емкости межсоединений и гигантского увеличения удельной плотности компоновки элементов.

После пуска единичного ОПМК в эксплуатацию период окупаемости составит 4 – 5 лет. Затраты на НИОКР будут возмещены, в числе прочего, и за счет продаж технологического оборудования и участия в организации учебно-производственных комплексов с применением сетевых моделей управления.

Период реализации базового этапа – 1.5 года от начала инвестиций до начала производства. Объем инвестиций – 280 - 340 млн. руб. Вновь создаваемых рабочих мест 28-30. Общая производственная площадь не более 150 кв.м. Технологические нормы производства ИС – 600-300 нм.

Проектом предусматривается разработка и изготовление:

1. Микромодулей внутреннего и объемного монтажа для СВЧ-техники, бортовой электроники, УСО и т.д.
2. МЭМС, МИС СВЧ-приборов и –трактов для систем связи и радиолокации, систем на кристалле и т.д.
3. Цифровых и аналоговых интегральных микросхем стандартов SPACE и MILITARY.
4. Блоков, приборов и систем авиационного и космического электронного приборостроения.
5. Блоков, приборов и систем ядерного приборостроения в бортовом исполнении и для работы в условиях высокой радиационной нагрузки.



Пример опытного микроэлектронного производства на основе стандартных технологий

- Компания MinimalFab (Япония), продемонстрировала на выставке Semicon Japan 2014 линию без чистых комнат из 25 отдельных установок, на которой в течение 1 дня демонстрируют полный цикл создания К-МОП транзисторной структуры. Линия включает в себя все стандартные процессы: от нанесения фоторезистов, через фотолитографию и ионную имплантацию, до контроля функционирования.
- Кристаллы помещаются в специальные вакуумноизолированные мини-контейнеры, что в итоге не требует специальных чистых комнат. В настоящее время освоена технология для размеров 0,8 мкм, через два года ожидается 22 нм.
- Небольшая производительность, мультитехнологичность, минимальная стоимость чипа (ориентировочная стоимость всего комплекта оборудования из 55 установок — 5 млн \$), отсутствие чистых комнат и громадных затрат.



РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ЛАЗЕРОГРАФИИ ОПМК

Полностью автоматизированная установка с искусственным интеллектом обеспечивающая опытное производство специализированных ИС и ИП, в том числе с вертикальной интеграцией активных элементов, на основе лазерно-стимулированных CVD-процессов (*Chemical vapor deposition* — химическое парофазное осаждение) с реализацией в ней максимально возможного количества основных технологических процессов:

1. легирование полупроводников
2. перераспределение примесей
3. гетерирование примесей
4. кристаллизация аморфных слоев
5. кристаллизация поликристаллических слоев
6. отжиг дефектов
7. возгонка терморезистов
8. травление
9. лазерная сварка.
10. формирование омических контактов
11. формирование межсоединений.

Основным критерием в технологии производства ИС специального назначения является стабильность, технологичность и воспроизводимость во времени параметров процессов. Эти критерии и качество продукции обеспечиваются полной автоматизацией последовательно проводимых операций в едином цикле "*in situ*" в малом объеме камеры-реактора с точным сохранением временных параметров и обеспечением оперативного изменения химической среды и физических условий (температура, давление, скорости газовых потоков, мощность и фокусировка лазерного излучения). При таком подходе влияние смежных процессов друг на друга не существенно и практически не влияет на качество производимой продукции. Такой подход дает резкое (на порядки) сокращение капитальных и инфраструктурных затрат, ускорение цикла разработки новых изделий в десятки раз, уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду в тысячи раз.

Роботизированный комплекс лазерографии обеспечивает разработку и производство ИС, ИП, МС и ЭМ для спецприменений по стандартам SPACE и MILITARY, мелкими сериями (10-1000 шт.)

Некоторые требования стандарта SPACE и MILITARY к ЭКБ:

- Повышенные требования к надежности (как кристалла, так и корпуса), устойчивости к вибрации и перегрузкам, влажности, температурный диапазон - существенно шире, т.к. военная техника должна работать и при -85 °С, и при +150 °С.
- Стойкость к поражающим факторам ядерного взрыва – электромагнитного излучения, большой мгновенной дозе гамма/нейтронного излучения. Нормальная работа в момент взрыва может быть невозможна, но, по крайней мере, прибор не должен необратимо выйти из строя.
- Стабильность параметров по мере медленного набора суммарной дозы облучения и выживание после встречи с тяжелыми заряженными частицами космической радиации.
- На высоких орбитах и в дальнем космосе нужны специальные радиационно-стойкие микросхемы, т.к. там отсутствует защита магнитного поля земли, а от высокоэнергетических частиц космической радиации не спасет и метр свинца.

При этом предусматривается два варианта формирования элементов – прямое «рисование», как активных элементов, так и межсоединений. И второй – замена фотолитографии на термолитографию с применением ППК (полипараксилилена или ему подобных полимеров, способных возгоняться под воздействием лазерного излучения).

ПРОДОЛЖЕНИЕ

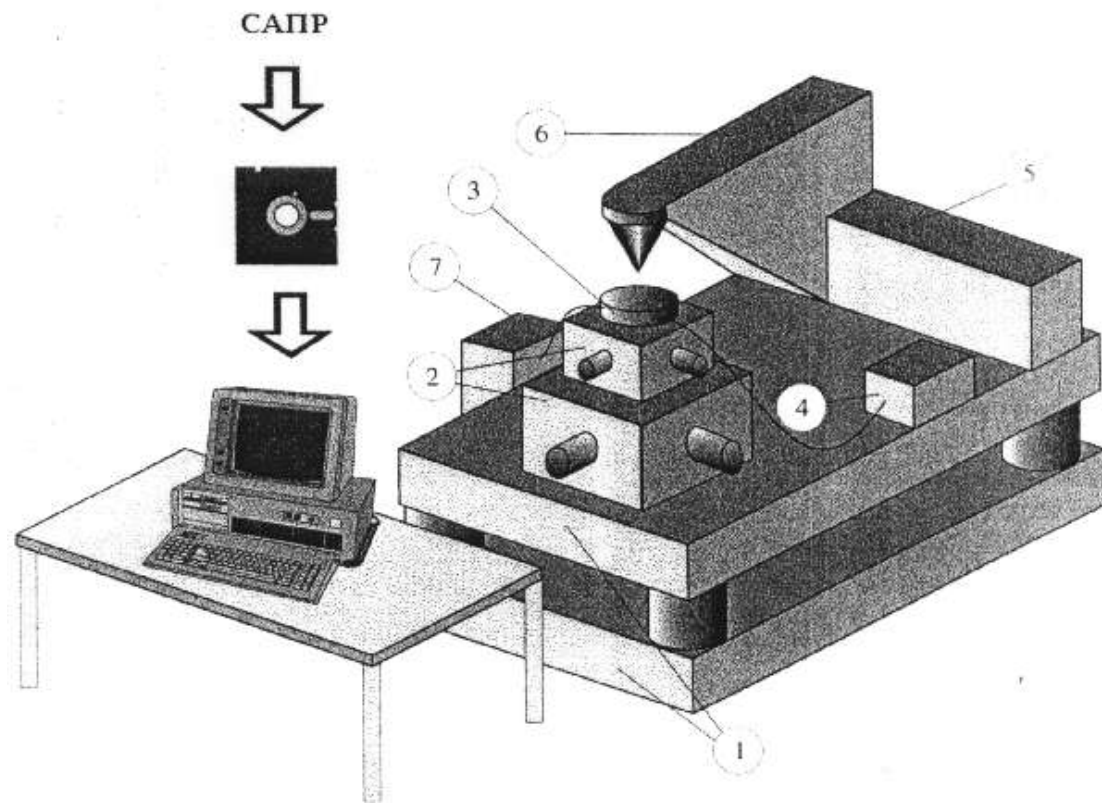
В сравнении с традиционными методами изготовления ИС, предлагаемый метод позволяет:

- **Расширить спектр базовых кристаллов, включая карбид кремния, КНС, КНИ и т.д.**
- **Расширить номенклатуру ИС (интегральные схемы, системы на кристалле, МЭМС, электронные микромодули для специальных применений и т.д., в том числе с вертикальной интеграцией элементов).**
- **Реализуется возможность изготовления изделий по технологии "интеграция на целой пластине" с обеспечением высокой надежности и функциональной полноты.**
- **В одном изделии можно совместить разные технологии и материалы, т.е. получить ИС и МС с ранее недостижимыми свойствами.**
- **Отказаться от изготовления фотошаблонов (прямое рисование).**
- **Резко снизить требования по чистоте помещений (процесс изготовления ИС осуществляется в небольшом замкнутом объеме).**
- **В несколько раз (до 1-2 дней) сократить цикл производства нового изделия.**
- **Существенно снизить требования по обеспечению экологической защиты за счет снижения расхода материалов в 1000-10000 раз**
- **Перейти от планарной 2D технологии производства ИС к трехмерной 3D, с вертикальной интеграцией активных элементов, за счет чего резко увеличить плотность упаковки элементов ИС и сократить ее энергопотребление.**
- **Обеспечить производство 3D МС способом автоматизированного прямого монтажа в едином технологическом цикле бескорпусных разнородных чипов и встраиваемых элементов на микрокоммутационную подложку или плату.**

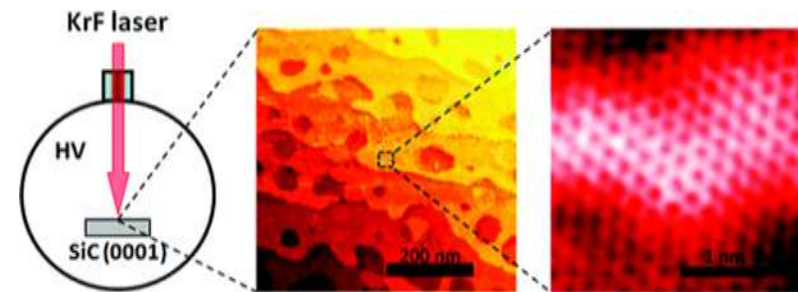
Применение 3D технологий приведет к улучшению на порядок характеристик ИС при сравнительно невысоких технологических стандартах за счет сокращения длины и емкости межсоединений и гигантского увеличения удельной плотности компоновки элементов.

Данная технология обеспечивает высокую мобильность производства, позволяющую сменять номенклатуру за 2-5 дней – это решающий фактор в конкурентной борьбе. При этом реализуется возможность опередить любого серийного поставщика на рынке специализированных ИС, а в некоторых случаях, когда изготавливаются полностью заказные микросхемы, сохранить полную монополию. Максимальная производительность комплекса составит не более 20'000 ИС и 1'000 микромодулей в год, что более чем достаточно для обеспечения потребностей любого разработчика и мелкосерийного производителя специализированной электроники. На базе комплекса будут созданы типовые производственные лазерографические участки ПЛУ-Т.

Блочная схема роботизированной установки лазерографии



1. Платформа стабилизации
2. Двухкоординатный двухуровневый ультрапрецизионный стол
3. Камера – реактор
4. Газовакуумная система
5. Силовой лазер
6. Оптическая система
7. Система утилизации



За счет внедрения отечественной универсальной роботизированной лазерографической установки достигается уменьшение инфраструктурных затрат в 3-5 раз (например, площадь чистых комнат сокращается до 100-125 кв.м.), а также резко увеличиваются возможности продаж и внедрения ОПМК, что в свою очередь приведет к мультипликативному эффекту в экономике конкретного региона .

Предполагаемая линейка разработок:

- установка лазерной кристаллографии
- установка лазерографии межсоединений
- установка 2D лазерографии активных элементов с планарной компоновкой
- установка 3D лазерографии активных элементов с вертикальной интеграцией
- установка лазерной термолитографии

Технологические варианты формирования межсоединений с применением технологии лазерографии

Одноуровневые процессы

Травление

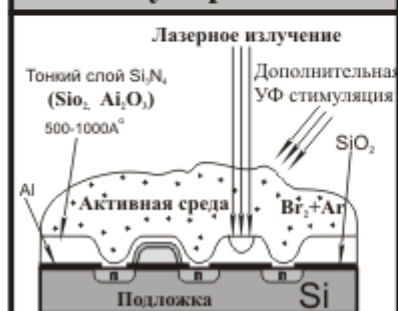
Осаждение

Не стимулированное



Селективность 1:10, 1:20
V_{тр} 1мкм/сек

Стимулированное



Селективность 1:100
V_{тр} 2 - 3мкм/сек

Тотальное



Достоинства: высокая адгезия, низкая плотность встроенного заряда, низкая температура процесса.

Локальное



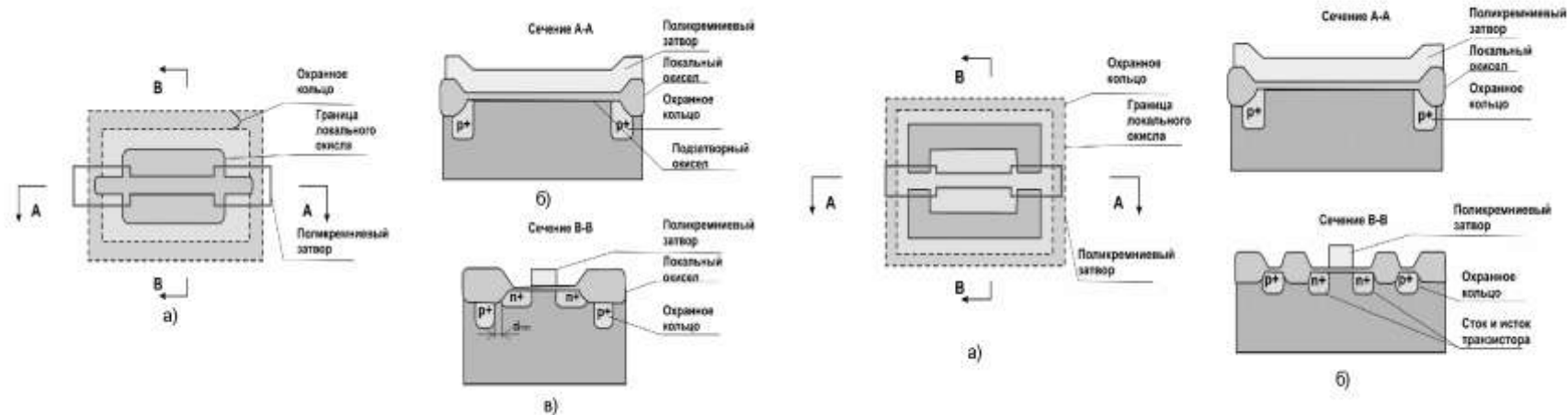
Многоуровневые процессы

Фрагмент 2 уровневой металлизации



Комбинированная технология БиКМОП

Эскиз топологии n-МОП транзистора с повышенной устойчивостью к ионизирующим воздействиям (а) и разрезы (б, в) его вертикальных сечений
 Эскиз топологии (а) и разрезы (б) конструкции n-канального МОП транзистора с повышенными значениями пробивных напряжений «сток-исток»



Характеристики установок лазерографии плавающие и зависят от выбранной технологии формирования активных элементов и межсоединений

	Лазерной термолитографии (без газовакуумной системы)	Прямой лазерографии (с газовакуумной системой)
Разрешение, мкм	0.7 (0.22)	0.7 (0.1)
Производительность в год*: -Для чипа S=300 мм ² -Для пластины Ø 50 мм -Для пластины Ø 200 мм	300000 16000 2000	15000 800 100
Габариты (ориентировочно)	1400x1200x1000	800x700x500
Энергопотребление	2.5 кВА	1.5 кВА

*Производительность указана для СБИС на КМОП-транзисторах с щелевой изоляцией и 3-х слойной металлизацией.

Этапы организации ИТЦ СЭ на базе ОПМК

Базовый этап: создание комплекса ОПМК в составе участков производства микроэлектронных материалов и приборов, а также высокоплотного монтажа ЭКБ на базе стандартных технологий и головного(учебного) центра.

Инновационный этап: создание отечественных роботизированных лазерографических установок, обеспечивающих мобильное производство материалов, ИС, ИП, МС и ЭМ , а также сети лабораторий дизайна специализированной электроники..

Коммерческий этап: создание на базе типовых ПЛУ и УВП микропроизводств ИС, ИП, МС и ЭМ, а также аппаратуры на их основе, обеспечивающих мультипликативный экономический эффект.

*** В настоящее время расчетная себестоимость отечественного микро-наноэлектронного технологического оборудования относится к рыночной стоимости западных образцов как 1 : 10.**

Имеющийся научно технический задел

При создании ОПМК и разработке новых установок будет использован опыт российских учёных, полученный ранее в работах по близкой тематике, закреплённый рядом патентов и получивший одобрение при рассмотрении результатов работ на НТС Минатома, Радиопрома, в секциях и комиссиях Минобороны, а также имеющиеся наработки российских ученых, полученные при разработке наноэлектронных технологий.

В 1995-2002 годы выполнялись работы в рамках НИР «ОКА» (Минатом РФ) и «Светлячок – ГКООП-Т» (Минобороны РФ). В результате работ по НИР «ОКА» была создана макетная установка прямого лазерного формирования межсоединений ИС, в т.ч. СБИС на базе БМК (базовых матричных кристаллов). Основной целью разработок был отказ от наиболее трудоемкой части технологических процессов производства микроэлектроники – фотолитографии. При этом для формирования межсоединений были апробированы два варианта – прямое «рисование» и замена фотолитографии на термолитографию с применением ППК (полипараксилилена). В процессе исполнения НИР «ОКА» были предложены процессы лазерной или лазерно-стимулированной обработки материалов, позволяющие выполнить все или большинство технологических операций *in situ*, что означает резкое снижение требований к инженерной инфраструктуре производства.

В то же время фирмой Lasagray (Швейцария) в сотрудничестве с Гейдельбергским университетом был создан комплекс Lasagray с установкой DVL-1, которая выполняла функции лазерного литографа. Комплекс работал фактически по стандартной планарной КМОП технологии, но обладал большой мобильностью в части смены номенклатуры изделий. Продолжением этих работ в Гейдельберге стали установки серии DVL, из которых для целей мелкосерийного производства наиболее подходит установка DVL-66. Кроме того, именно для мелкосерийных и опытных производств были разработаны настольные установки серии PG.

Модельная структура проектно-производственного центра (ПрПЦ) СИ СЭ:

1. Лаборатория электронного дизайна аппаратуры (ЛЭДА)

Запуск лабораторий на базе вузов, с минимальным набором оборудования, обеспечит количественный и качественный скачок в разработке, внедрении и коммерциализации специализированной электроники, аппаратуры и робототехнических комплексов, а также подготовку кадров в электронном приборостроении.

2. Опытно-производственный микроэлектронный комплекс (ОПМК)

Запуск ОПМК на базе роботизированных комплексов лазерографии и прямого высокоплотного монтажа ЭКБ в составе приборостроительного предприятия обеспечит ускоренную разработку и опытное производство специализированной электронной аппаратуры и робототехники с созданием высокотехнологичных рабочих мест, с минимальными инфраструктурными затратами.

3. Дизайн-центры проектирования искусственного интеллекта (ДЦ ИИ) и ИС, ИП, МС и ЭМ (ДЦ ИС), а также R&D центра технологического оборудования (R&D TO)

Наличие собственных ДЦ ИИ и ИС работающих в тесной кооперации с R&D TO и привлеченными R&D структурами в рамках единой сетецентрической структуры объединенных отечественными облачными САПР обеспечит ускоренную разработку и производство аппаратуры и робототехники, а также дополнительный приток денежных средств от предоставляемых рыночных (инжиниринг, обучение, опытное производство и т.д.) услуг.

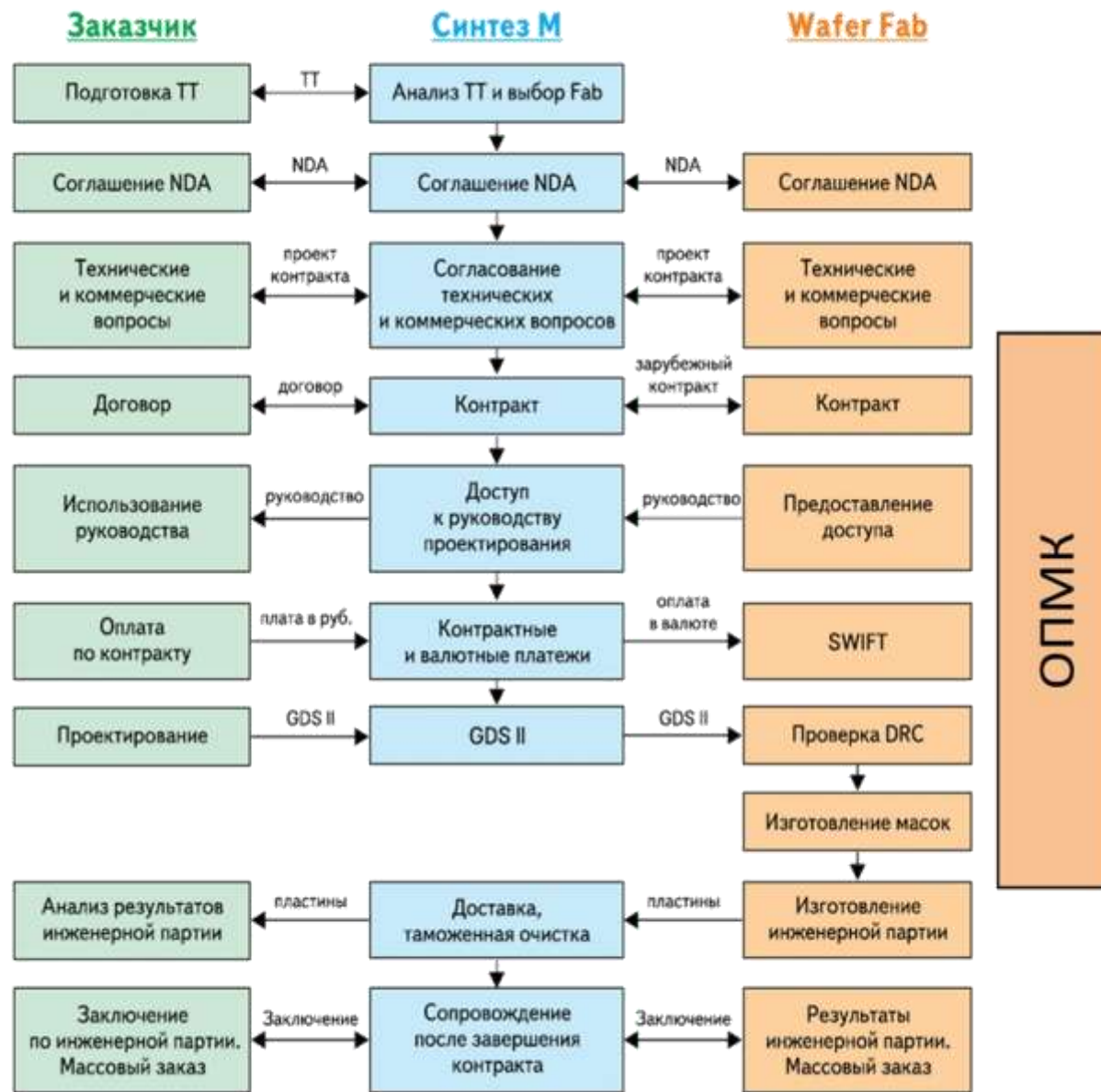
Важным направлением работ ИТЦ является инициирование разработки и продвижения отечественного ключевого микроэлектронного технологического оборудования (линейки роботизированных установок лазерографии и высокоплотного монтажа) для применения в составе ОПМК обеспечивающих мультипликативный экономический эффект в регионах внедрения и обладающих высоким экспортным потенциалом, а также роботизированных комплексов модульного типа для применения в различных отраслях экономики.

Продукция предполагаемая к производству с применением ОПМК

На начальном этапе предполагается наладить выпуск простейших по структуре элементов на основе Si и SiC (датчики и сенсоры давления, температуры, расхода, концентрации, частоты, скорости, перемещения, напряжения, электрического тока и т.п.)

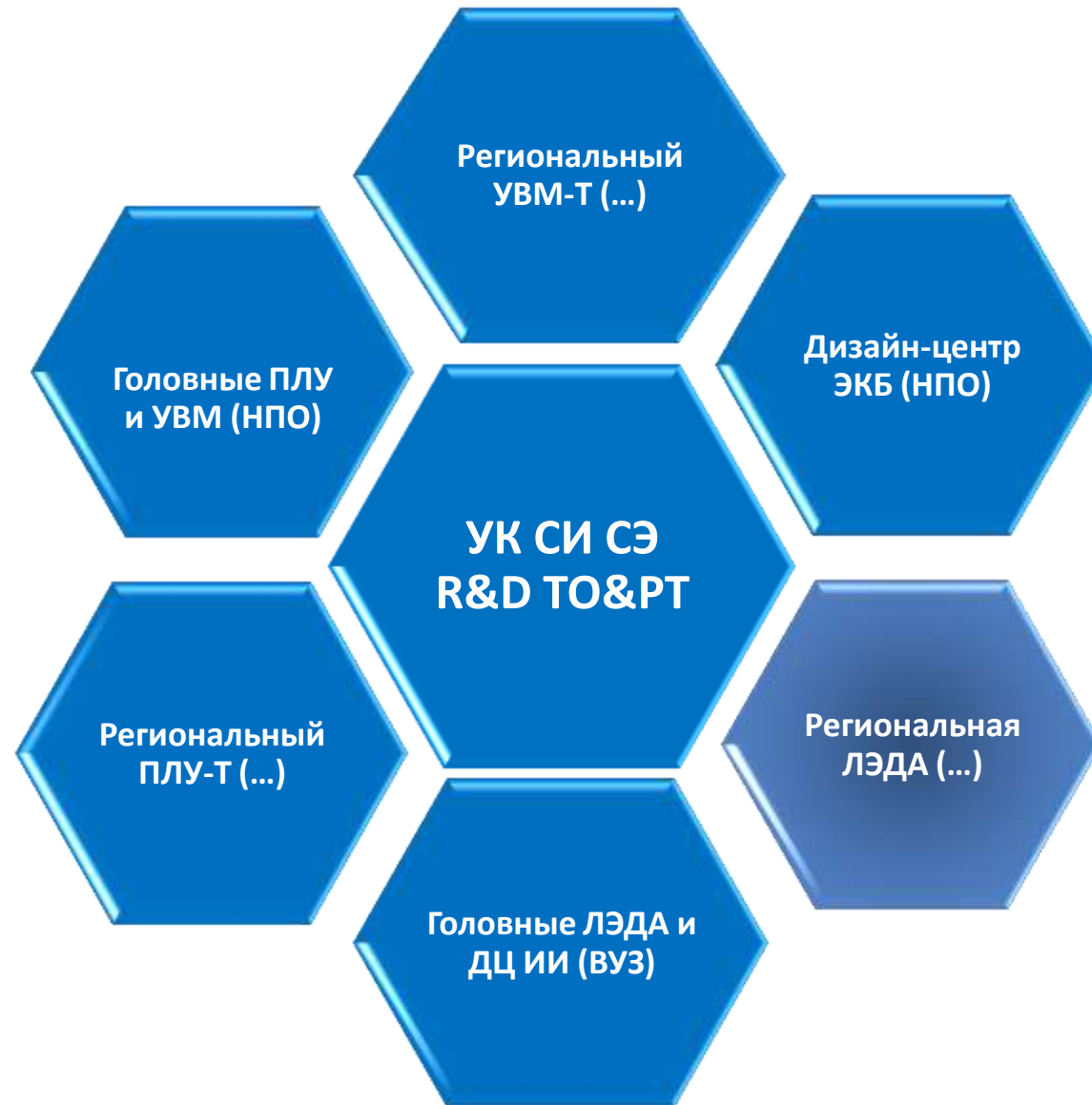
В дальнейшем предполагается наладить выпуск заказных СБИС. Базовый кристалл – кремний, КНС, КНИ. В перспективе – карбид кремния. Номенклатура СБИС - (интегральных схем, систем на кристалле, электронных модулей для специальных применений):

- * Детекторы различного назначения.
- * Аналоговые СБИС – преусилители термопар, тензодатчиков, термометров сопротивления и т.п.
- * Аналого-цифровые СБИС – преобразователи для "умных" датчиков, в т.ч. для датчиков и устройств LON-технологий (LonWorks – промышленный стандарт управляющих сетей использующийся для построения распределенных систем автоматизации зданий, транспортных сетей и систем автоматизации промышленных предприятий).
- * Цифровые СБИС – микроконтроллеры (без аналоговых преобразователей на первых этапах), скремблеры, преобразователи интерфейсов, анализаторы спектра и т.п.



Место ОПМК на примере взаимодействия Заказчик-Дизайнер-Изготовитель

Модель организации сетевидческой инновационно-технологической структуры



Для привлечения инвестиций и успешной коммерциализации проекта предпочтительна консолидация активов инновационно-технологического сетевого центра через организацию управляющего юридического лица

ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Проект может быть реализован на базе имеющейся инфраструктуры, с минимальными финансовыми вложениями с различными вариантами по глубине достигаемых результатов

№	НАИМЕНОВАНИЕ ЭТАПОВ, НИР/ОКР ПО СОЗДАНИЮ ОПМК	Период, год	Стоимость, млн. руб.
	Базовый этап: создание инфраструктурного комплекса центра микроэлектронных лазерных технологий		
0	Предпроектные подготовка и исследования, разработка ТЗ, детализированного БП и ТЭО Проекта, создание головных лабораторий дизайна электронной аппаратуры (ЛЭДА), роботизированных систем (РС) и пилотного тестирования ИС, МС, ЭМ, РЭА и РС	0.6÷1.2	
1	ОКР «Опытно-производственный микроэлектронный комплекс (ОПМК)» с созданием базовых типовых участков лазерографии ПЛУ-Т и высокоплотного монтажа (УВМ-Т) с применением дифференцированных технологий.	0.8÷1.2	
2	НИОКР «Комплексный проект полного цикла многоуровневого импортозамещения полупроводниковых материалов, химических веществ и соединений в специализированном электронном приборостроении»	1.2÷2.4	
3	НИОКР «Производственный лазерографический участок (ПЛУ) опытной сборки ИС и ИП»	1.2÷2.4	
4	НИОКР «Производственный участок высокоплотного монтажа (УВМ) опытной сборки МС и ЭМ»	1.2÷2.4	
5	НИОКР по производственной номенклатуре ЛЭДА, ПЛУ и УВМ	1.2÷2.4	
6	Создание головного учебного-технологического центра на базе участков опытного производства микроэлектронных материалов и приборов, а также высокоплотного монтажа ЭКБ с применением мелкосерийных технологий производства ИС и МС	0.8÷1.2	
	ВСЕГО :		
	Инновационный этап: модернизация ПЛУ и УВМ с применением интегрированных технологий		
7	НИОКР «Роботизированная установка лазерографии межсоединений ИС».	1.5÷2.0	
8	НИОКР «Роботизированная установка формирования активных элементов ИС».	2.0÷2.5	
9	НИОКР «Роботизированный высокоразрешающий лазерный комплекс дефектоскопии и микроскопии»	2.5÷3.0	
10	НИОКР "Роботизированная установка термолитографии ИС".	1.5÷2.5	
11	НИОКР «Роботизированная установка формирования 3D МС»	2.0÷2.5	
	ВСЕГО:		
12	Создание R&D центра микроэлектронного технологического оборудования, дизайн-центра специализированной микроэлектроники и электроники, а также сети региональных центров специализированной электроники и робототехники на базе ОПМК	2.5÷3.0	
ИТОГО:			

Новизна предлагаемой модели



Мы предлагаем отработать нашу модель при создании R&D центра специализированной электроники и далее использовать эти принципы при запуске других R&D центров в рамках СИ СЭ.