



Разработка новых метрических подходов к методам контроля и прототипов высокотехнологических решений для целей реализации комплексного проекта по повышению процента выхода годной электронной компонентной базы при серийном производстве цифровых, аналоговых и радио-фотонных интегральных схем на отечественных предприятиях электронной промышленности реального сектора экономики с проектными нормами менее 100 нм

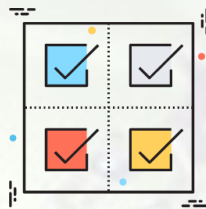


Общая информация о проекте



Цели проекта

Целью проекта является решение проблемы качественного и количественного перехода в промышленных электронных и радио-фотонных технологиях высокого уровня сложности посредством введения новых научных подходов и методов контроля электрофизических и приборных характеристик, параметров технологических процессов.



Результаты проекта

- Новые метрические подходы к методам контроля технологических процессов;
- Рекомендации по повышению воспроизводимости технологических процессов;
- Прототипы высокотехнологических решений по повышению процента выхода годной ЭКБ базы при серийном производстве.



Ключевые потребители

- АО «Светлана-Рост» г. Санкт-Петербург
- АО «НПП «Исток» им Шокина»
- ФГУП «НИИ Пульсар»
- «ИСВЧПЭ» РАН г. Москва
- АО «Микрон» г. Зеленоград
- ЗАО НПФ «Микран»
- «НИИПП» г. Томск
- НПП «Салют», Нижний Новгород



Решаемая проблема



Существующая проблема

Проблема повышения процента выхода годных кристаллов является одной из важнейших задач серийного производства отечественной ЭКБ. Для топологических норм <1 мкм статистика в отношении пластин, прошедших технологический маршрут обычно не превышает 60%. С учётом не получившихся пластин этот показатель значительно меньше. Для решения проблемы на данный момент используется традиционный подход, основанный на системе менеджмента качества, который не позволяет достичь требуемых показателей в 80-90%.

Не все существующие ГОСТы позволяют однозначно характеризовать результаты технологических процессов.

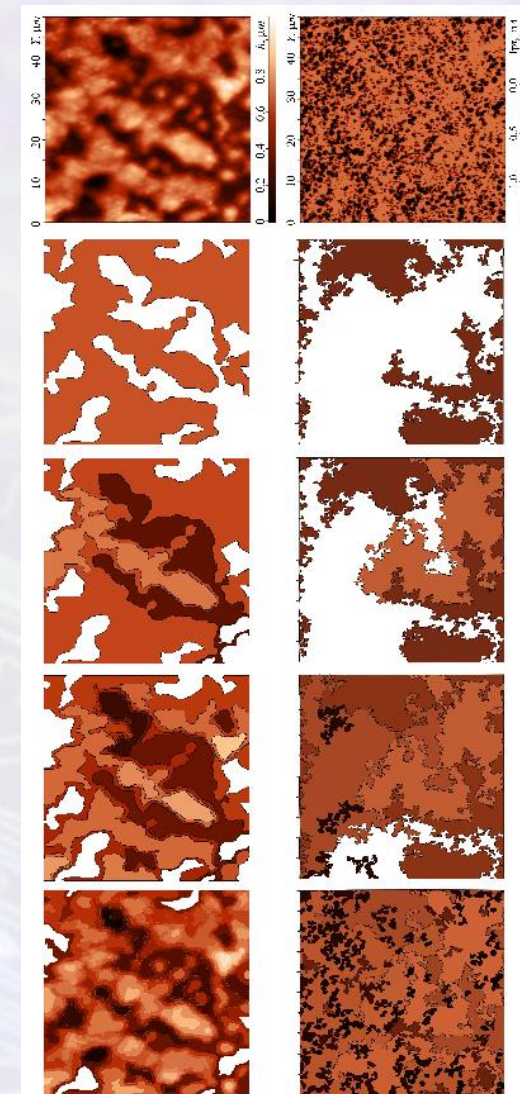
Способ решения проблемы

основан на разработке новых метрических подходов к контролю электрофизических и химических параметров технологических процессов нанолитографии, вакуумного напыления, плазмохимии, мокрой химии и электрохимии в рамках математического аппарата нелинейной геометрии дробных размерностей.

Научно-технический задел

С использованием понятий меры, метрики, метрических и нормированных функциональных пространств в локальном приближении исследованы размерные эффекты, проявляющиеся в зависимости технологических и функциональных характеристик объектов полупроводниковой электроники от их линейных размеров на микронном и нано-уровнях.

Предложенный подход позволяет прогнозировать как технологические параметры, так и размеры конструктивных элементов полупроводниковых приборов с требуемыми приборными характеристиками, что существенно ускоряет процесс их разработки и оптимизации.





Размерные эффекты в электронных технологиях (локальное приближение, $L \sim 100 \mu\text{m}$)



В приборных характеристиках.

Зависимость относительных приборных характеристик от линейных размеров элементов конструкции:

- Слоевого сопротивления металлизации
- Удельного сопротивления омических контактов
- Емкости
- Импеданса СВЧ линий передач
- Характеристиках контактов Шоттки
- Характеристиках НЕМТ-транзисторов

В электрофизических и химических характеристиках.

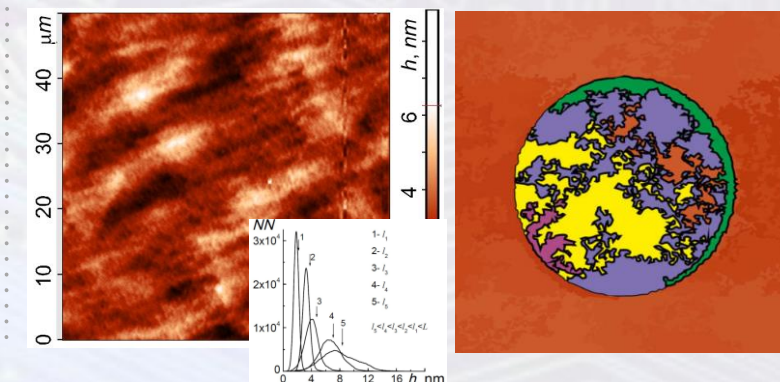
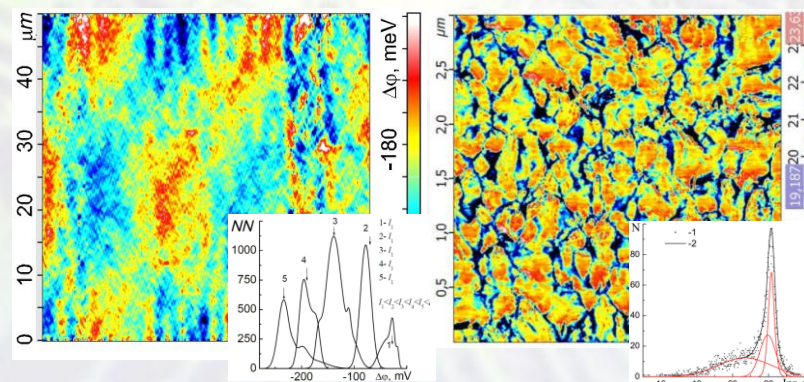
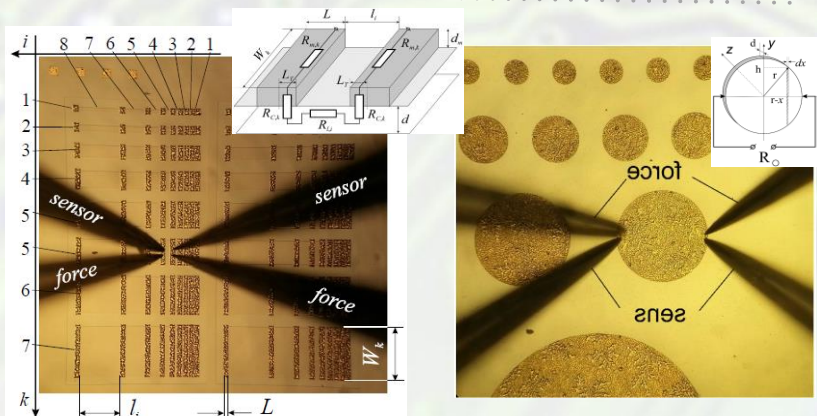
Зависимость электрофизических и химических характеристик от линейных размеров измерительных масштабов:

- Электростатического и химического потенциала поверхности
- Проводимости
- Распределения структурных дефектов и легирующей примеси
- Электрического заряда

В технологических процессах.

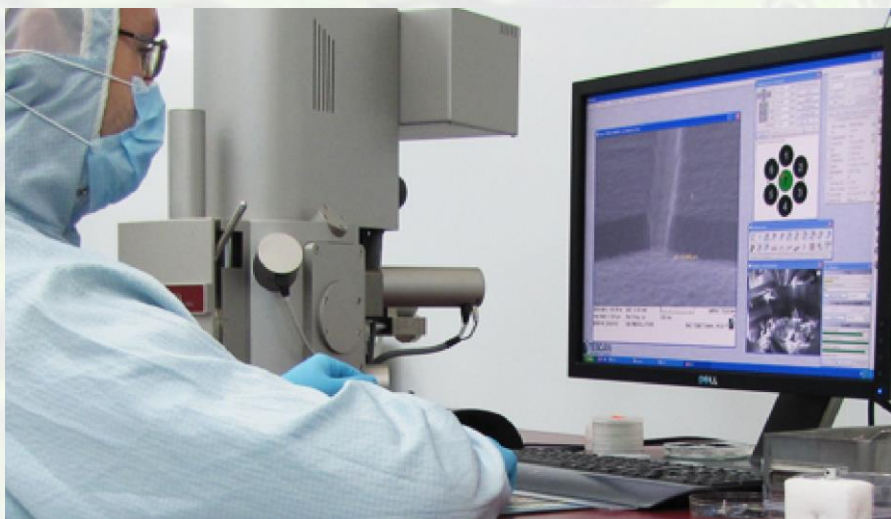
Зависимость результатов технологических процессов от линейных размеров измерительных масштабов:

- Размеров неровностей, шероховатости
- Размеров зерен и плотности их распределения
- Величины подтравов
- Скорости травления
- Диффузии
- Имплантации



Основные требования к технологической линейке промышленного предприятия

- Наличие высококвалифицированного персонала
- Современная действующая система менеджмента и качества
- Наличие хотя бы одного поставленного техпроцесса
- Наличие соответствующей проектно-конструкторской документации
- Возможности технологического оборудования
- Возможности аналитического оборудования
- Возможности контрольно-измерительного оборудования

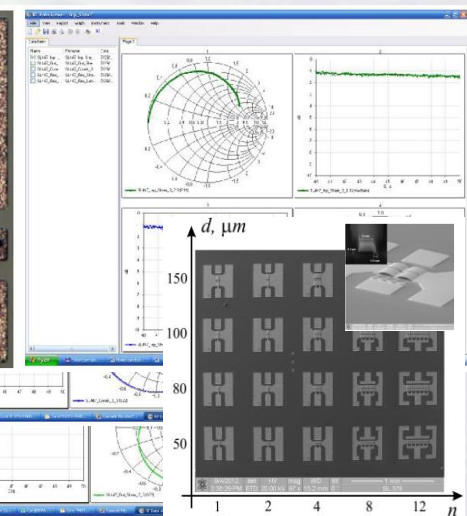
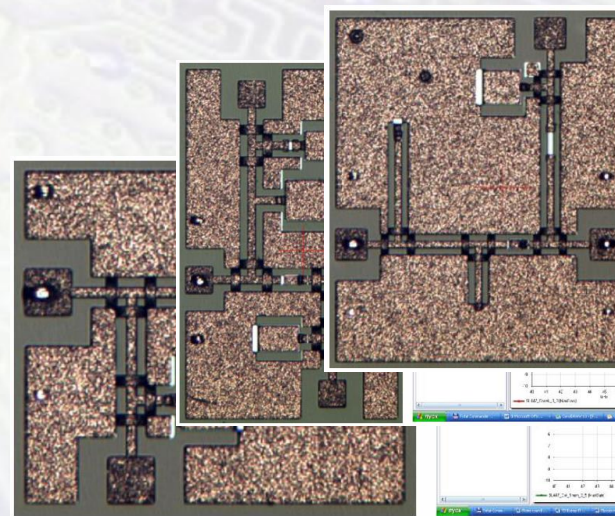
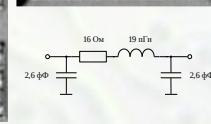
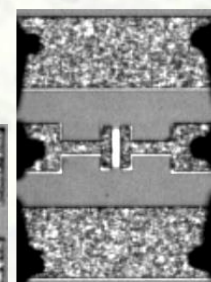
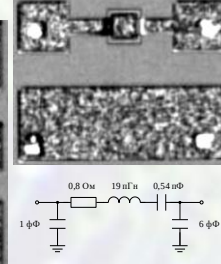
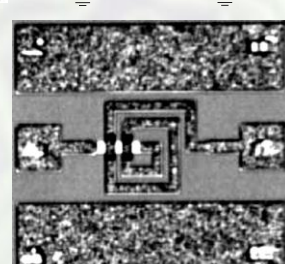
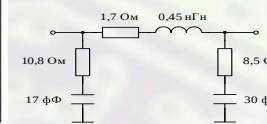
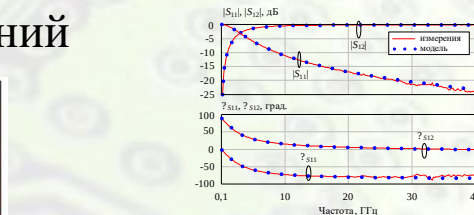
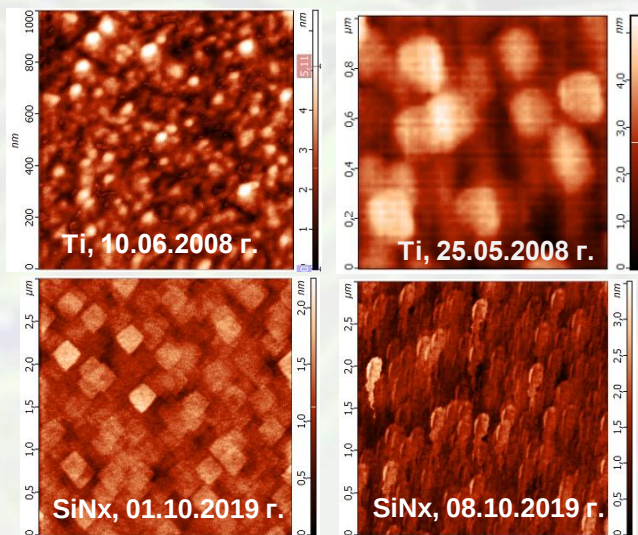
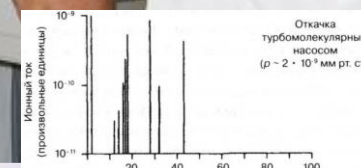
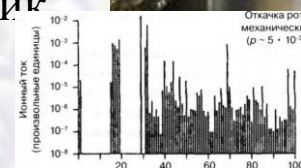
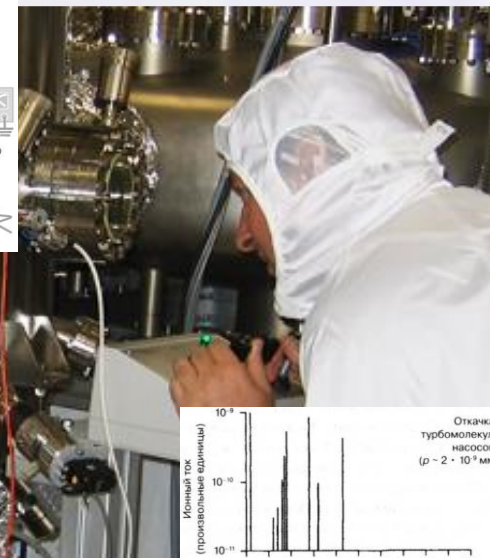
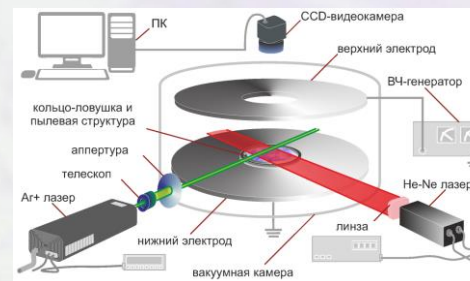




Способы достижения результатов проекта



- Подготовка и настройка технологического оборудования
- Контроль физических параметров микросостояний технологических процессов с использованием новых метрических подходов
- Контроль технологических характеристик с использованием новых метрических подходов
- Контроль электрофизических характеристик тестовых элементов с использованием новых метрических подходов
- Контроль в полуавтоматическом режиме приборных характеристик кристаллов до и после разделения пластины
- Анализ результатов испытаний



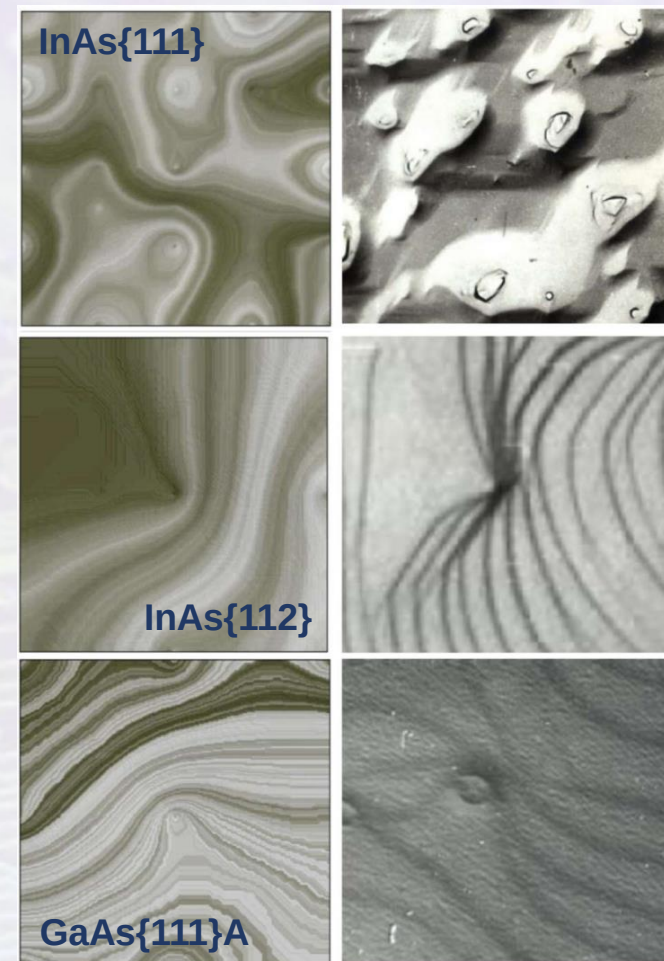
Значимость данного технологического направления подтверждается в частности тем, что за рубежом оно отнесено к разряду критических технологий. Например, программные блоки “Lithography” и “Topography” входящие в комплект САПР “TCAD” Synopsys использующие подобного рода технологии запрещены Госдепом США к экспорту. Опыт физического моделирования гетероструктур и функциональных элементов nano-электронных устройств в САПР Synopsys TCAD (USA) показал, что отсутствие информации о наблюдаемых размерных эффектах не позволяет осуществлять приборно-технологическое моделирование характеристик вышеперечисленных объектов с требуемой точностью.

Разработка алгоритмов моделирования и поведенческих моделей полупроводниковых приборов позволили исследовать влияние размерных эффектов и на их электрофизические и приборные СВЧ-характеристики.

Определены основные критерии морфологии тонкопленочных систем микрополосковых копланарных линий передач, влияющие на импеданс скин-слоя, в частности, на его активное сопротивление R и индуктивность L .

Обнаружена и описана нетривиальная зависимость токовой и вольтовой фоточувствительностей (вентильного фотоэффекта) от линейных размеров контактов Шоттки.

Полученные результаты были опубликованы в отечественных и зарубежных журналах входящих в информационные базы данных “Scopus” и “Web of Science”, а также использованы при выполнении ряда проектов (8.4029.2017/4.6, 8.3423.2017/4.6, FEWM-2020-0046).



Моделирование с учетом фрактальных сигнатур Реальные поверхности



Спасибо за внимание