

Семинар «Коррекция оптической близости в литографии»

Использование методов коррекции оптической близости в современной технологии

А.В. Кузовков

Инженер отдела проектирования фотошаблонов АО НИИМЭ



2019, Москва

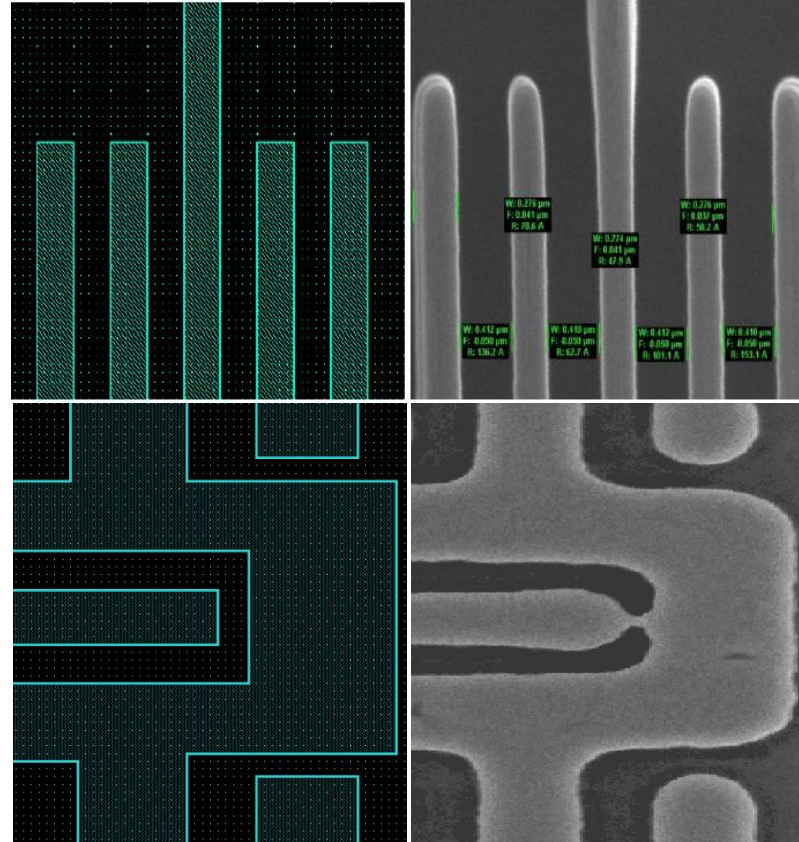
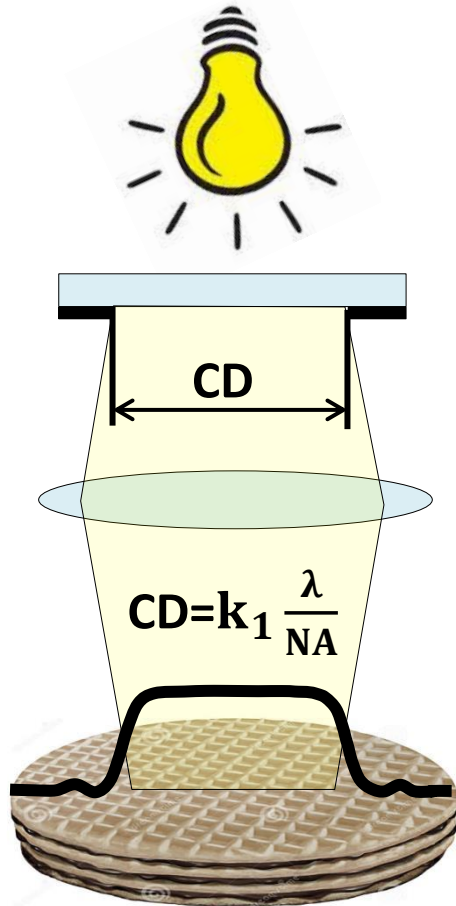
План доклада

- Актуальность. Место OPC в жизненном цикле изделия
- Механизмы OPC
- Механизмы расстановки SRAF
- Проблемы разработки OPC решений
- Ресурсное обеспечение разработки OPC решений

Актуальность. Место ОРС в жизненном цикле изделия

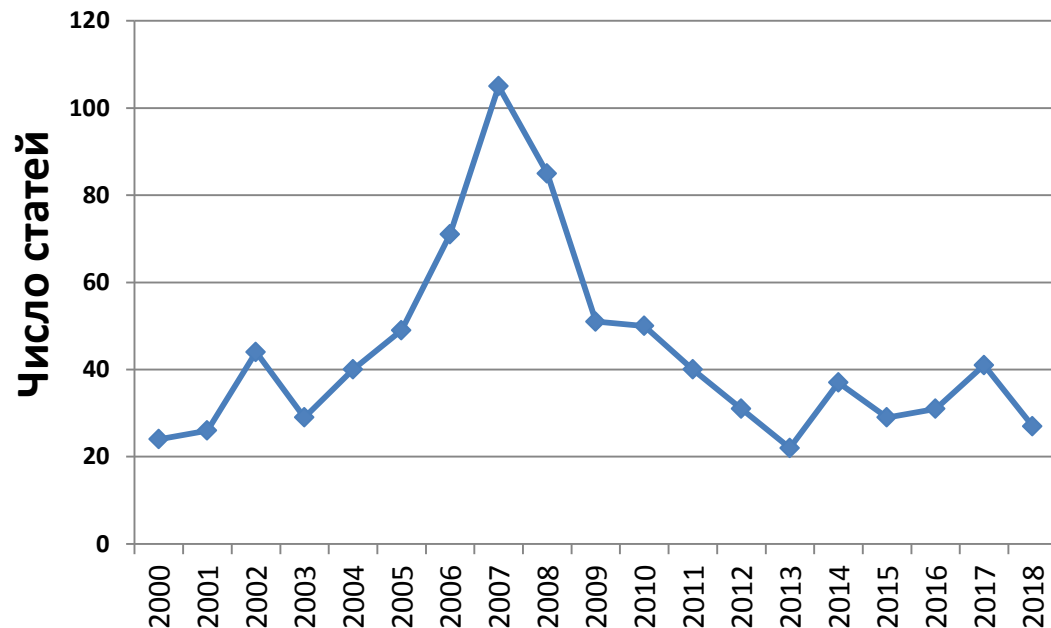
Зачем нужно ОРС?

Эффекты оптической близости

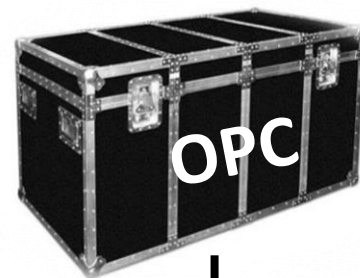
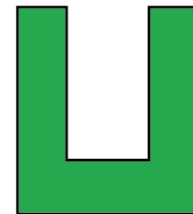


Интерес к OPC

Суммарное число статей на тему OPC на конференциях SPIE Advanced Lithography и SPIE Photomask technology



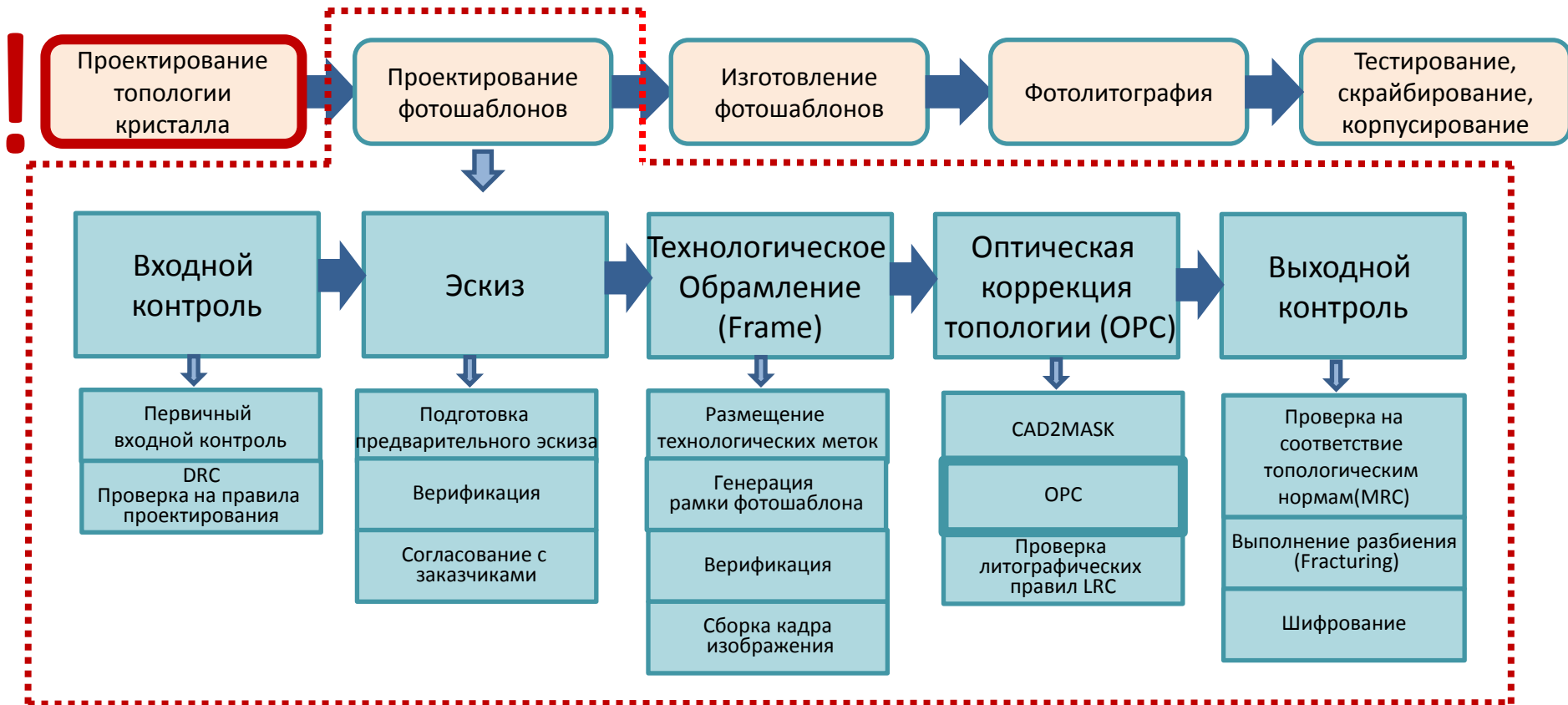
Исходная
топология



Топология с
коррекцией



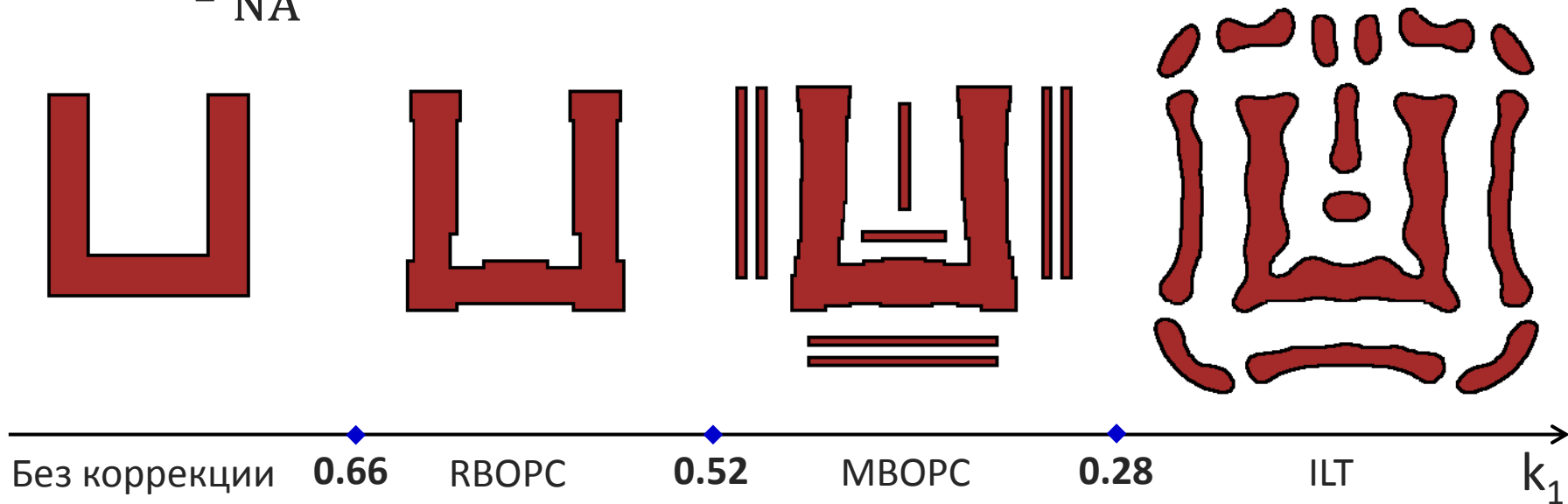
Место ОРС в жизненном цикле микросхемы



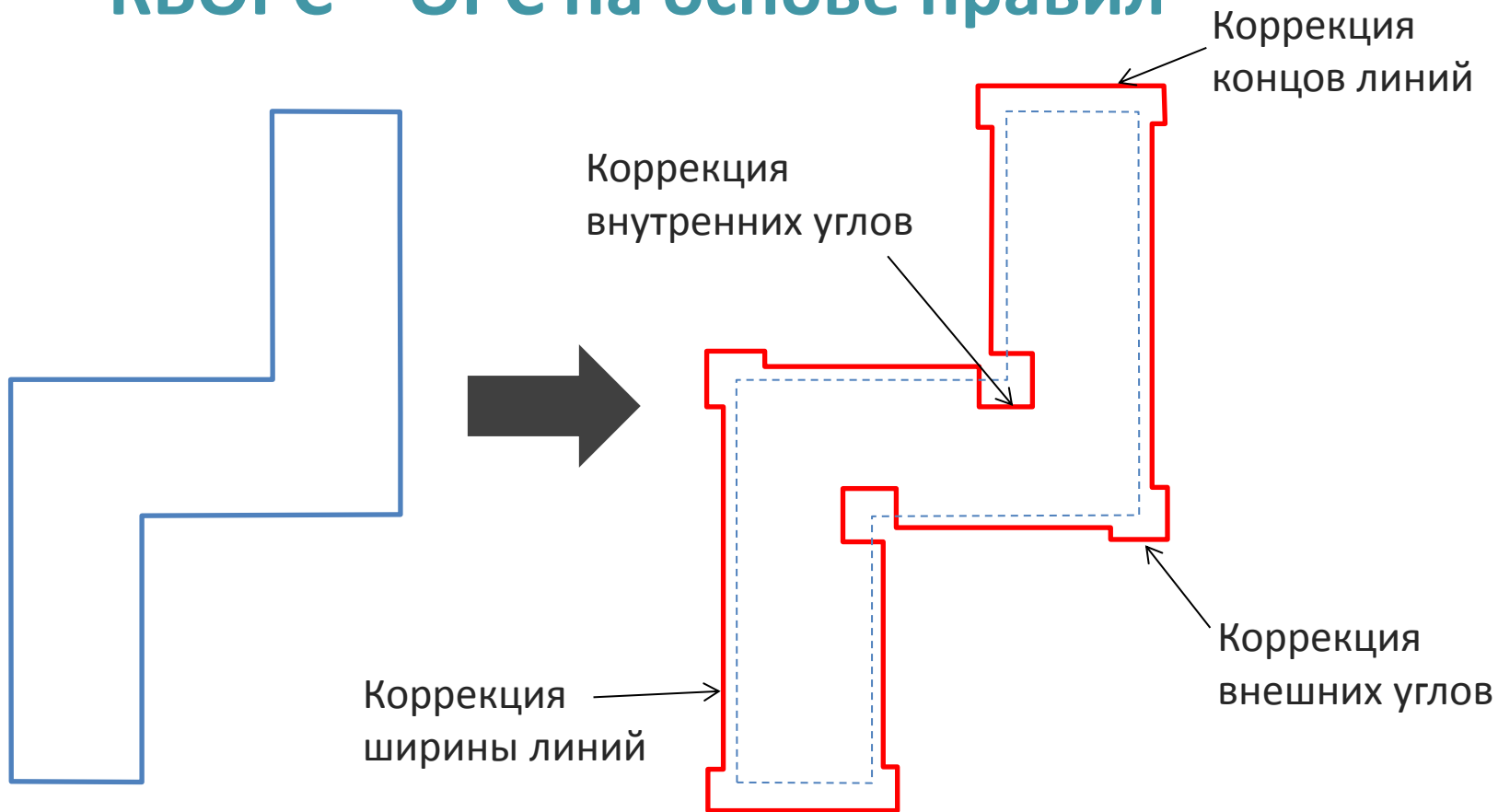
Механизмы ОРС

Механизмы ОРС

$$CD = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$



РВОРС – ОРС на основе правил



РВОРС – ОРС на основе правил

Пример: коррекция ширины линий
для технологии 90 нм

Матрица тестовых структур

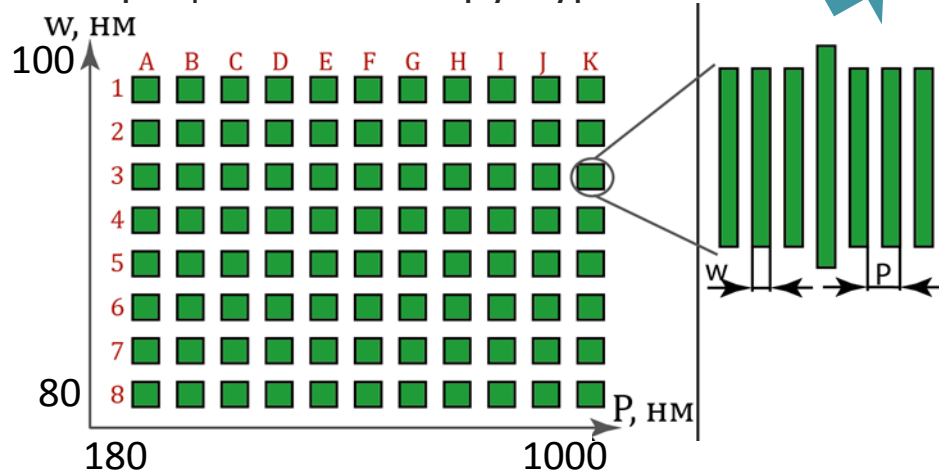


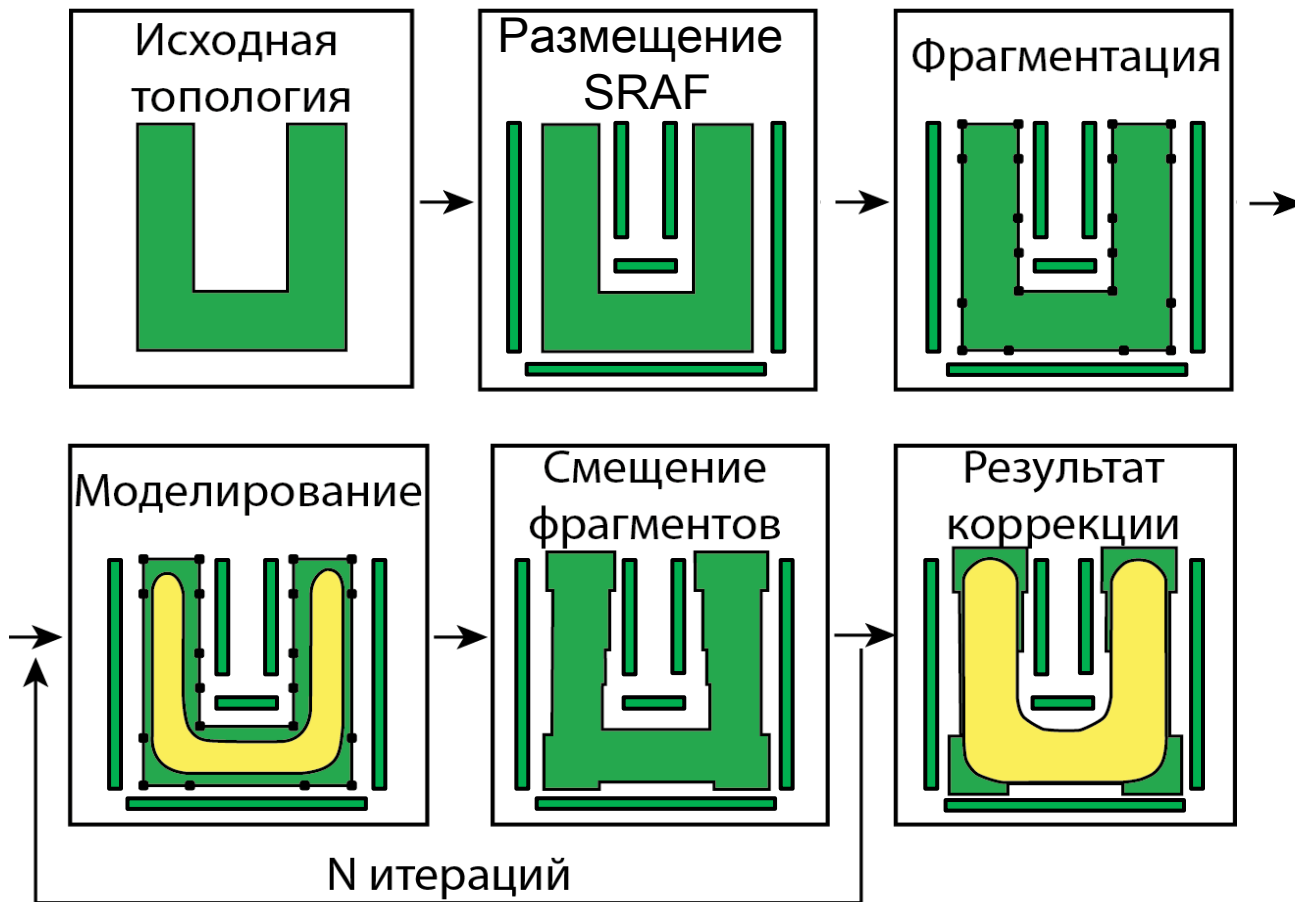
Таблица измерений

Р, нм	W, нм	Глубина фокуса, нм
180	80	0
180	82	190
180	84	230
180	86	215
...	...	...
1000	100	280

Таблица правил

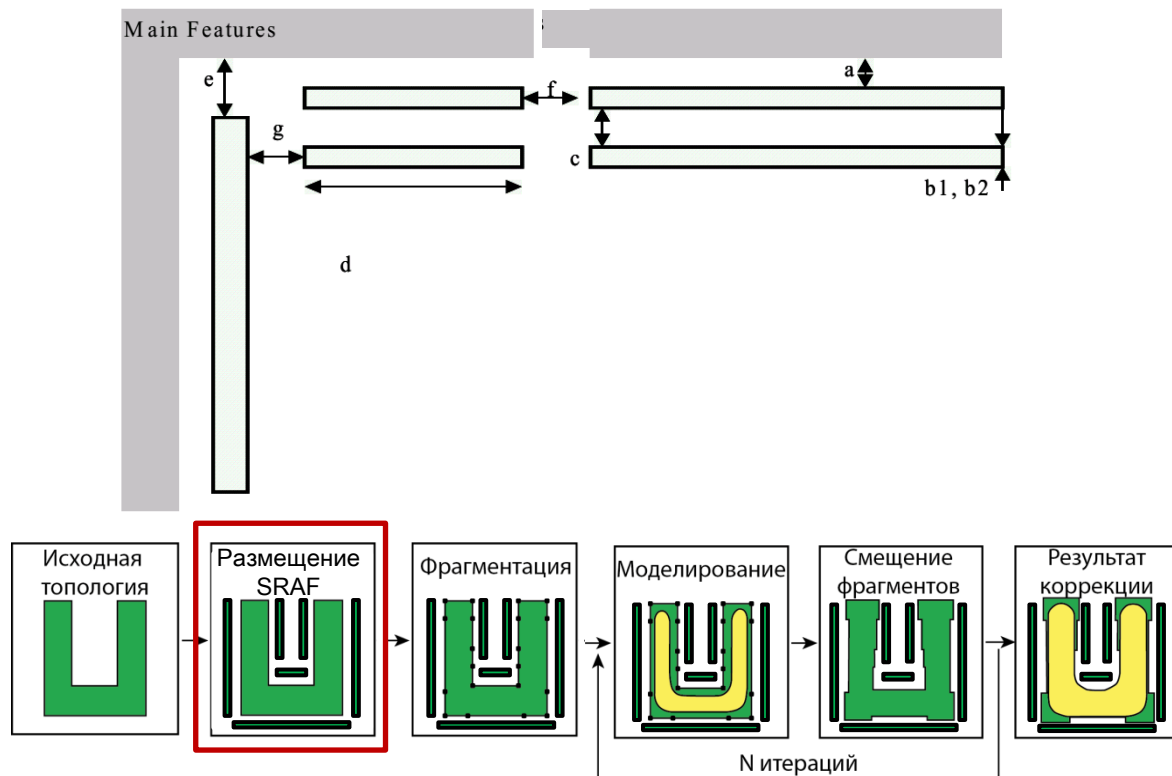
Р, нм	W, нм
180	92
190	86
...	...
100	84

МВОРС – ОРС на основе моделирования



МВОРС – ОРС на основе моделирования

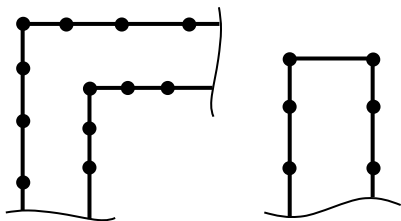
Размещение SRAF (sub-resolution assist features) – размещение непечатаемых вспомогательных структур согласно заранее определённым правилам.



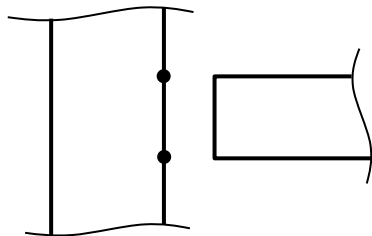
МВОРС – ОРС на основе моделирования

Фрагментация – границы полигонов разбиваются на фрагменты согласно заранее определённым правилам

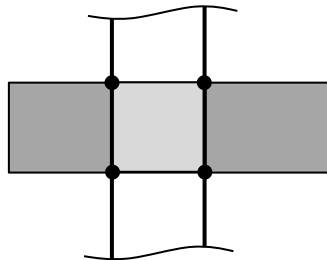
На концах линий
и углах



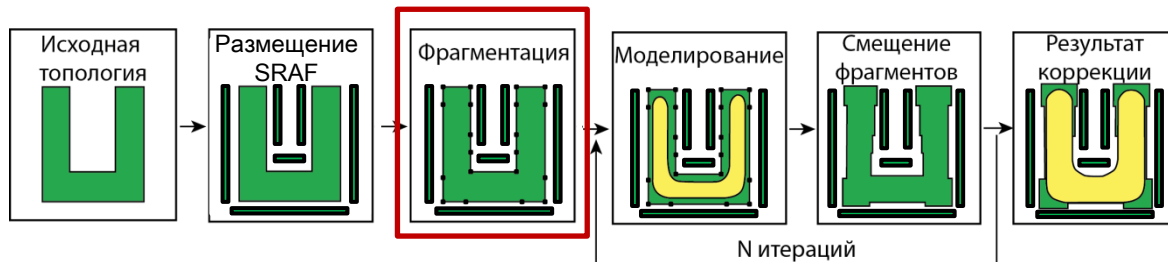
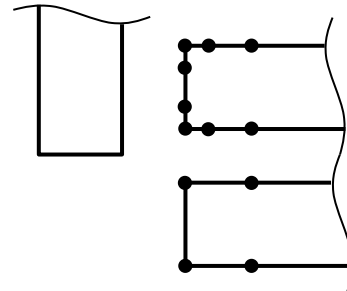
В областях взаимного
влияния фигур



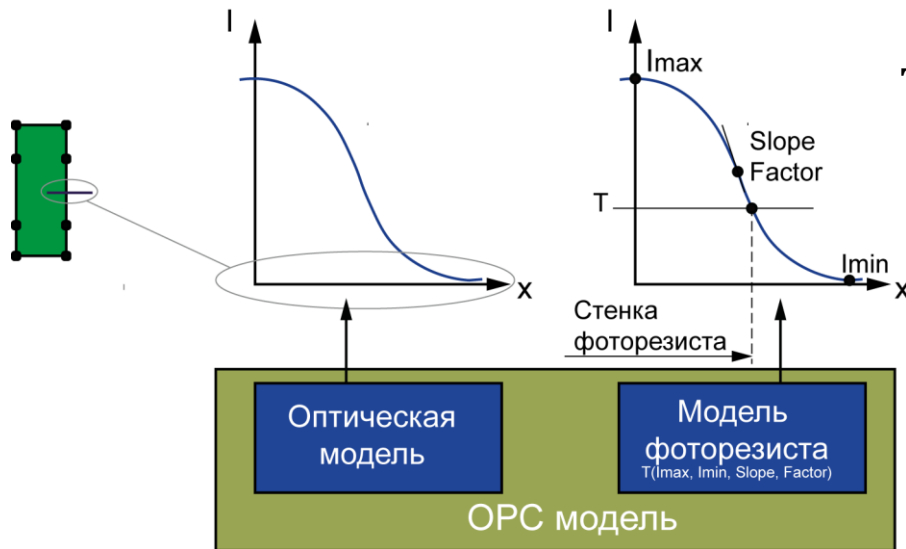
В областях влияния
других слоёв



Специальные случаи
фрагментации



МВОРС – ОРС на основе моделирования



$$T(I_{\max}, I_{\min}, \text{Slope}, \text{Factor}) =$$

$$= a_0 + a_1 I_{\max} + a_2 I_{\min} + a_3 \text{Slope}$$

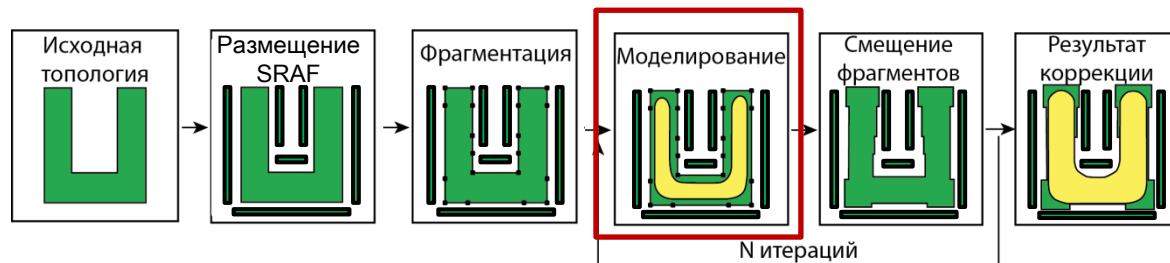
$$+ a_4 \text{Factor} + a_{11} I_{\max}^2 + a_{22} I_{\min}^2$$

$$+ a_{33} \text{Slope}^2 + a_{44} \text{Factor}^2$$

$$+ a_{12} I_{\max} I_{\min} + a_{13} I_{\max} \text{Slope}$$

$$+ a_{14} I_{\max} \text{Factor} + a_{23} I_{\min} \text{Slope}$$

$$+ a_{24} I_{\min} \text{Factor} + a_{34} \text{SlopeFactor}$$

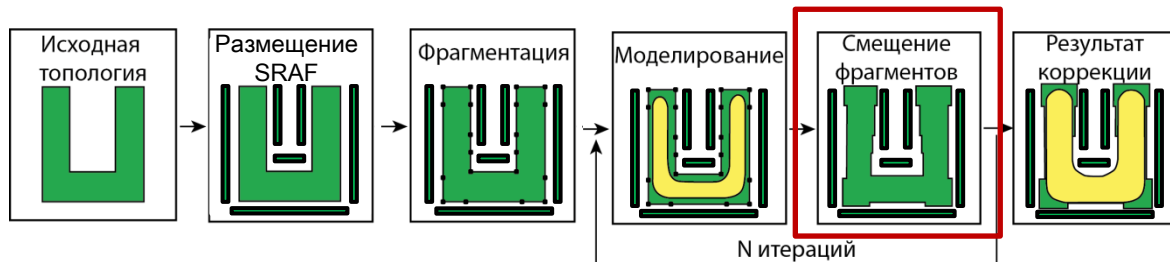


МВОРС – ОРС на основе моделирования

Смещение фрагментов – фрагменты смещаются, компенсируя разницу между смоделированным контуром и исходной топологией.

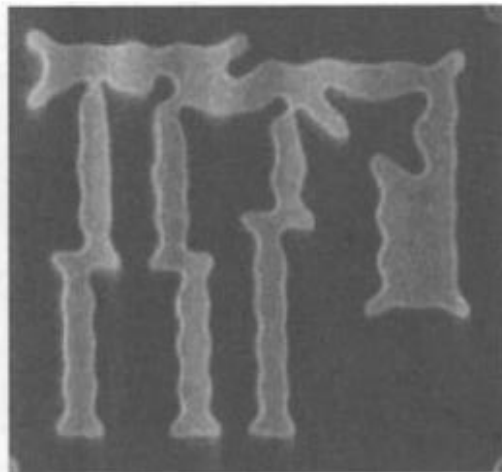
Смещение производится в соответствии с настроенным алгоритмом, который определяет число итераций, дискретность шага смещения, максимальное смещение.

Кроме того, может быть проведена классификация фрагментов, что позволяет определять эти параметры в пределах отдельных классов

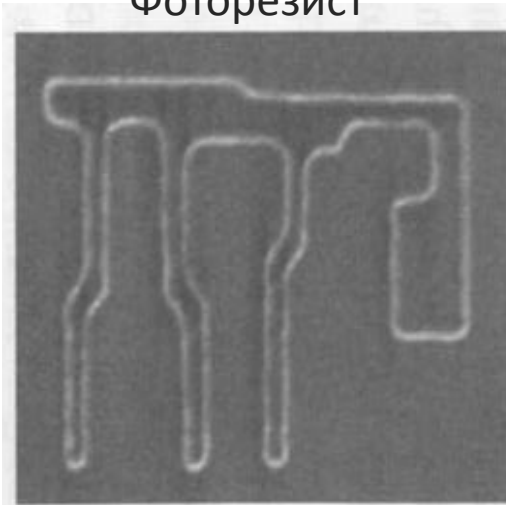


ILT- техника обратной литографии

Фотошаблон

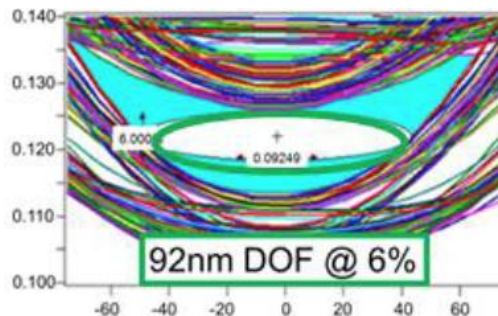


Фоторезист

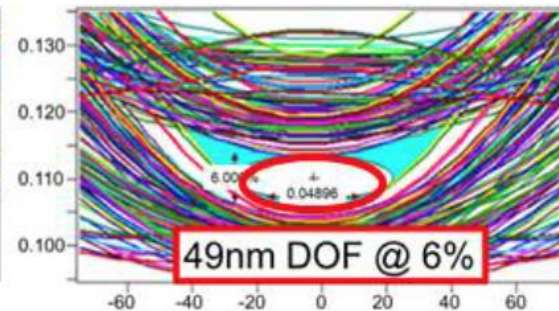


Техника инверсной литографии – точное решение задачи ОРС. По известному (требуемому) изображению на пластине восстанавливается изображение фотошаблона

Пример увеличения окна процесса для технологии 22 нм



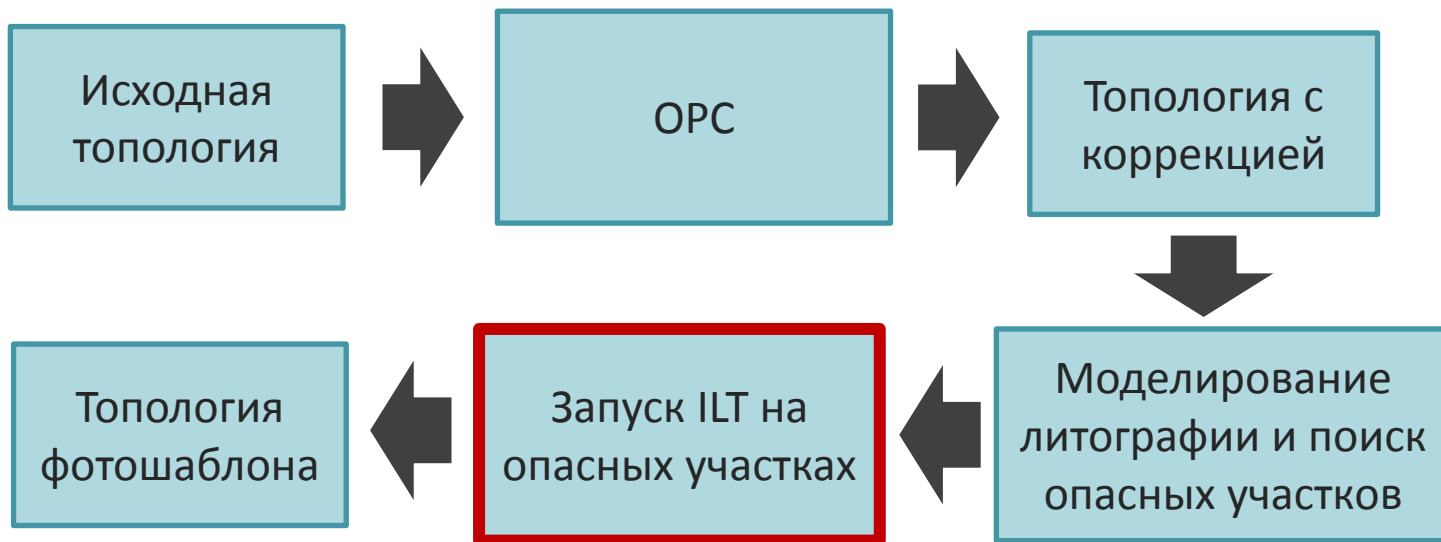
ILT



Обычная ОРС

ILT- техника обратной литографии

Место ILT в современной технологии

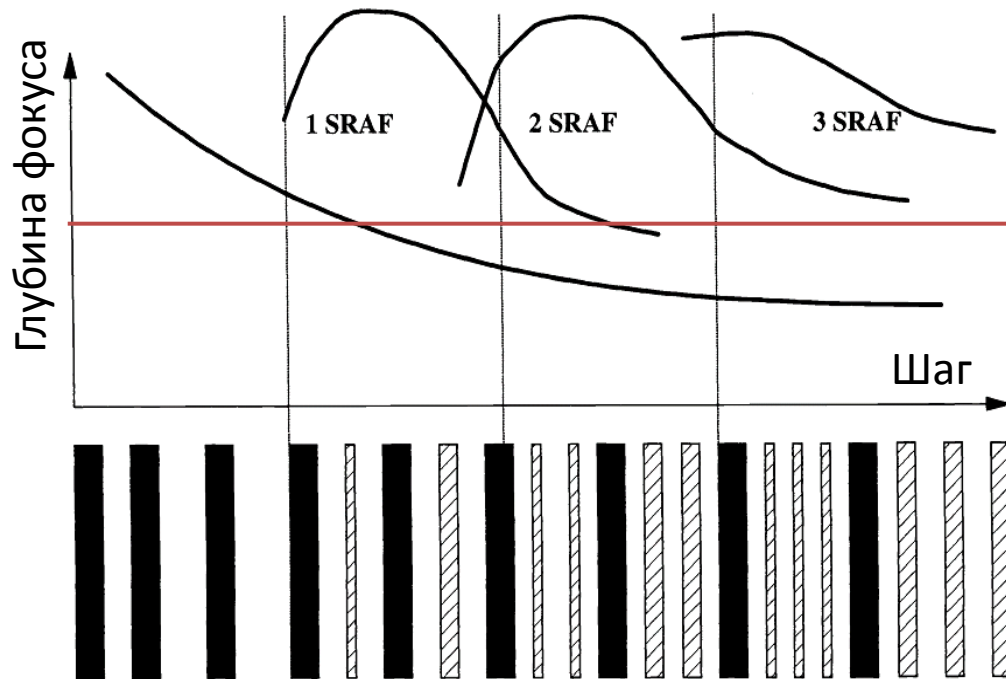
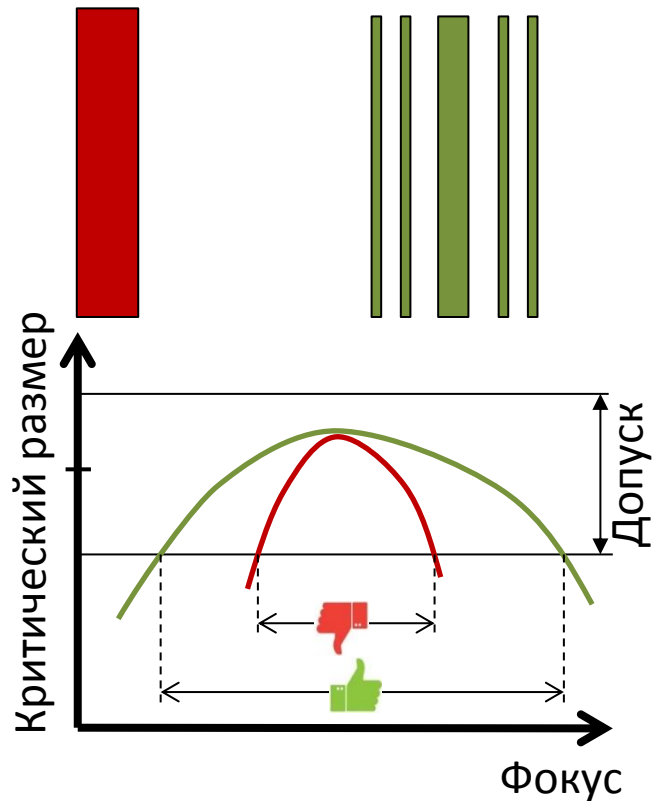


Механизмы расстановки вспомогательных структур

Использование SRAF

Только
коррекция

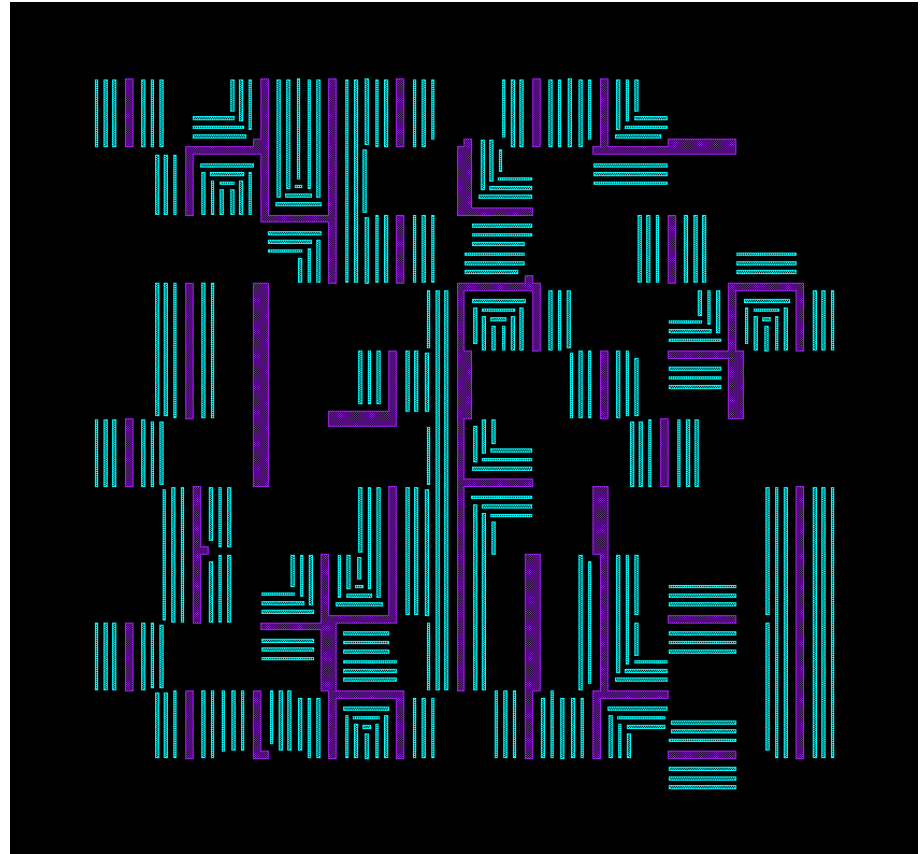
Коррекция +
SRAF¹



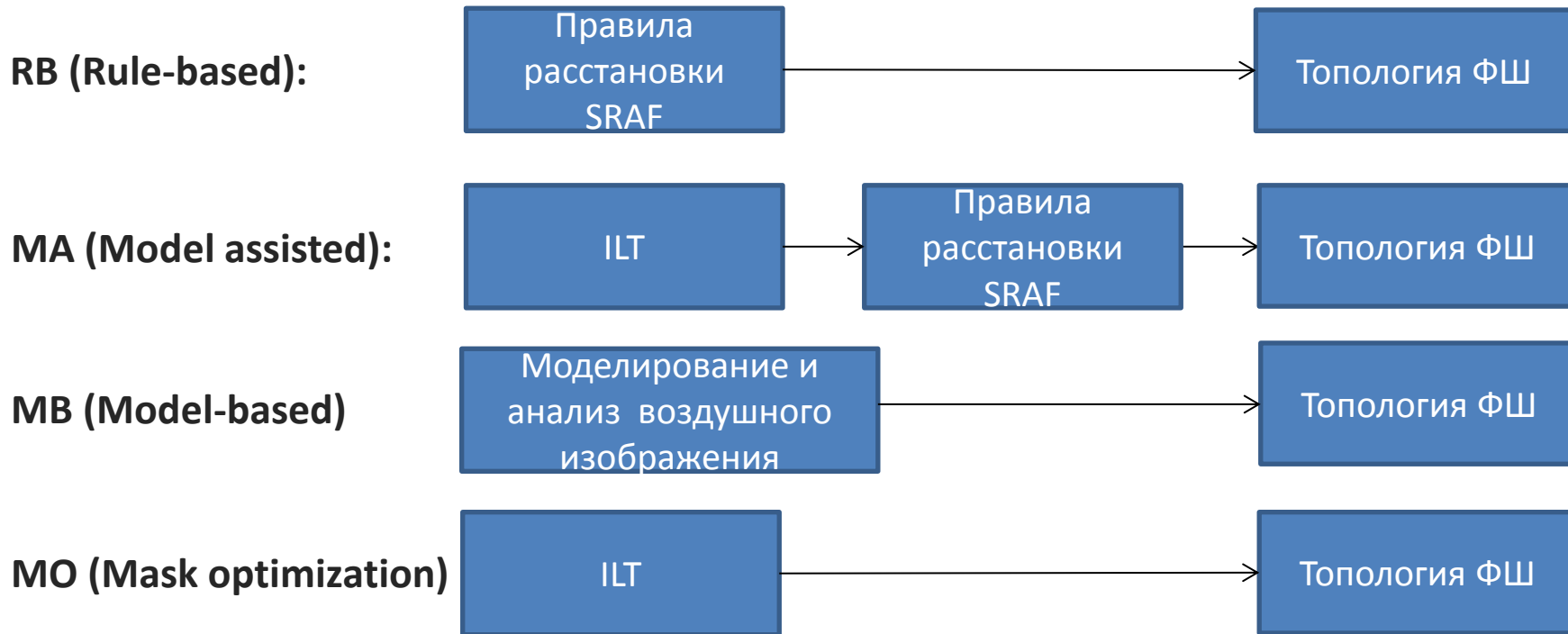
¹SRAF – sub-resolution assist feature

Использование SRAF

Расстановка SRAF для двумерных топологических ситуаций может потребовать определения более 40 геометрических параметров

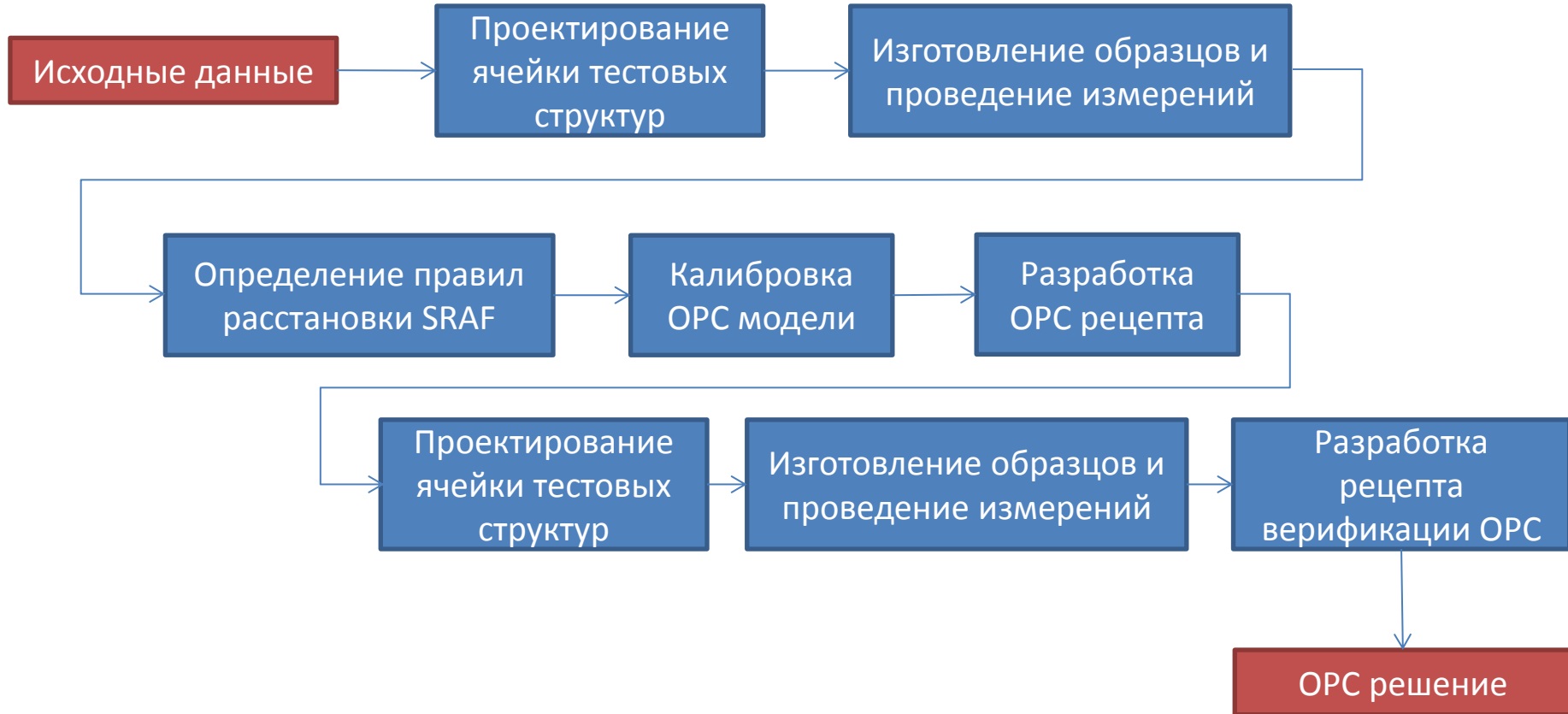


Подходы к расстановке

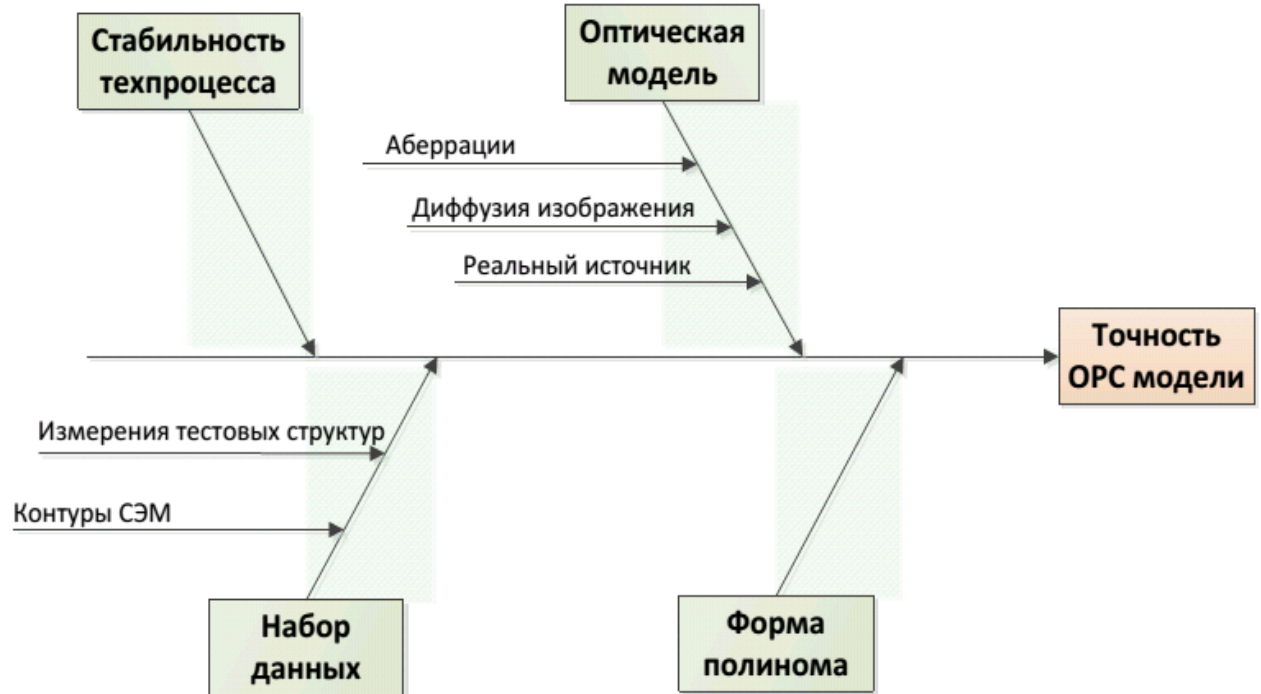
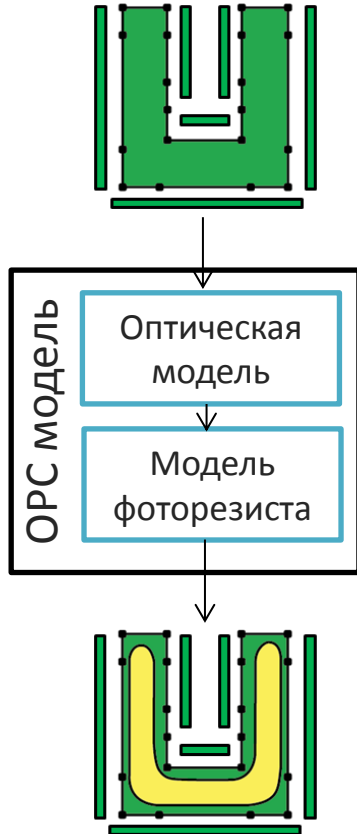


Проблемы разработки ОРС решений

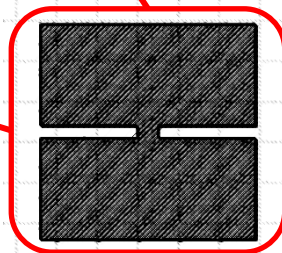
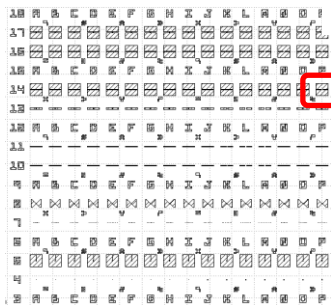
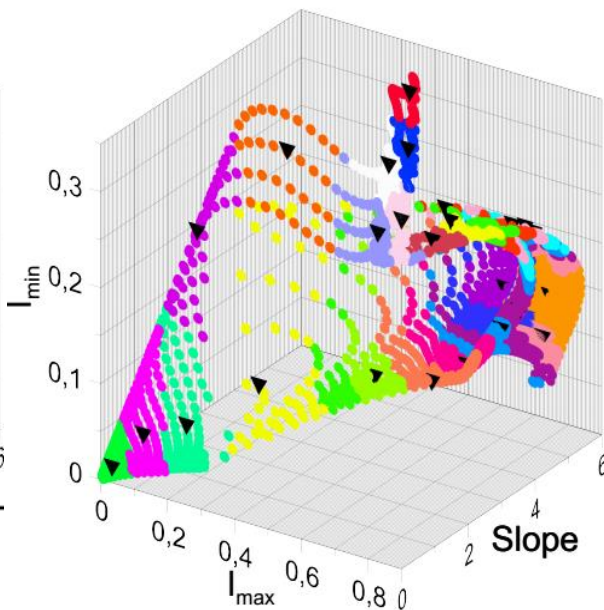
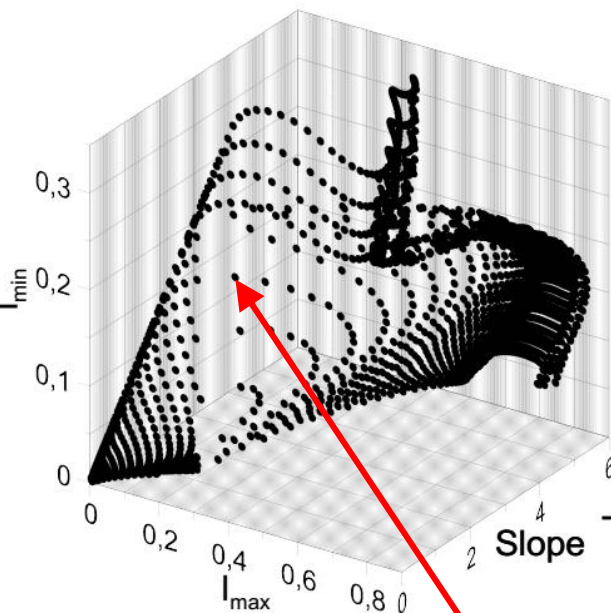
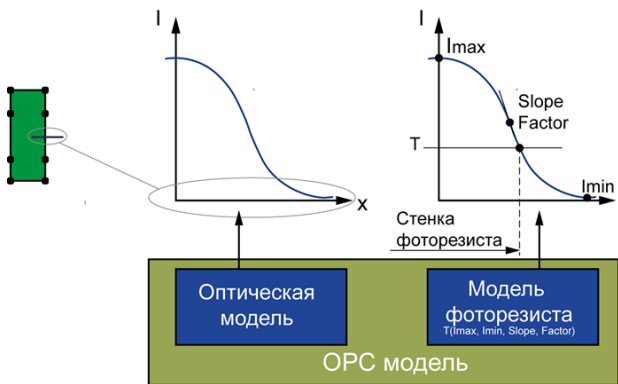
Маршрут разработки OPC



Проблема точности моделирования

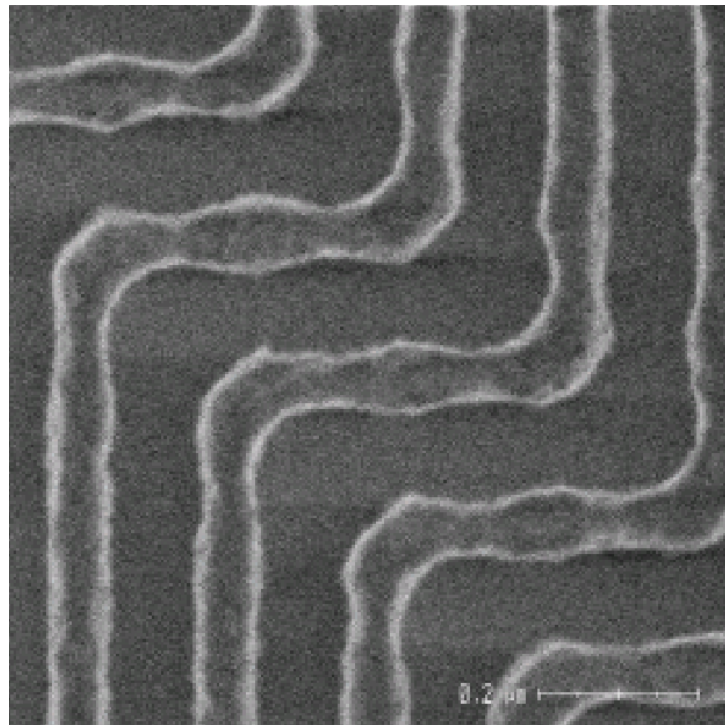
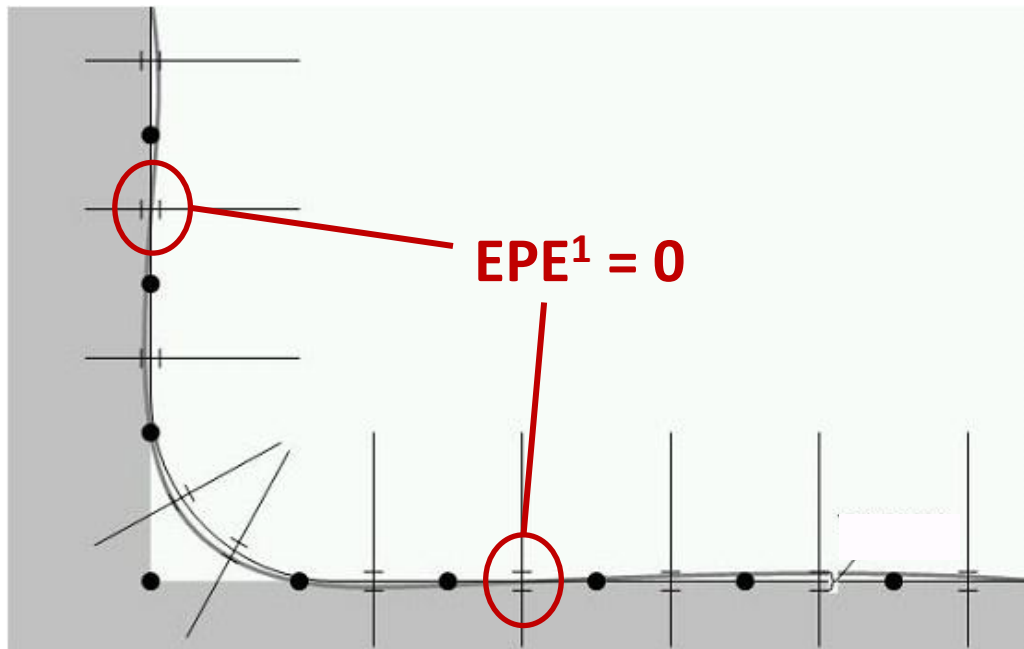


Проблема точности моделирования



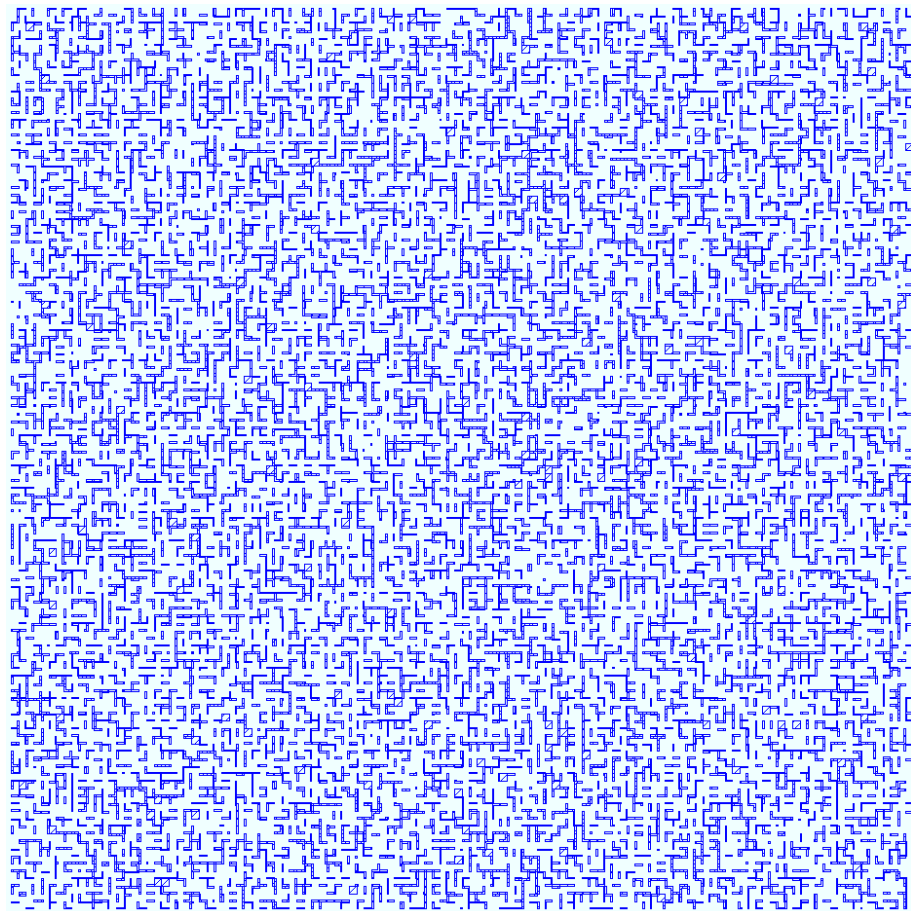
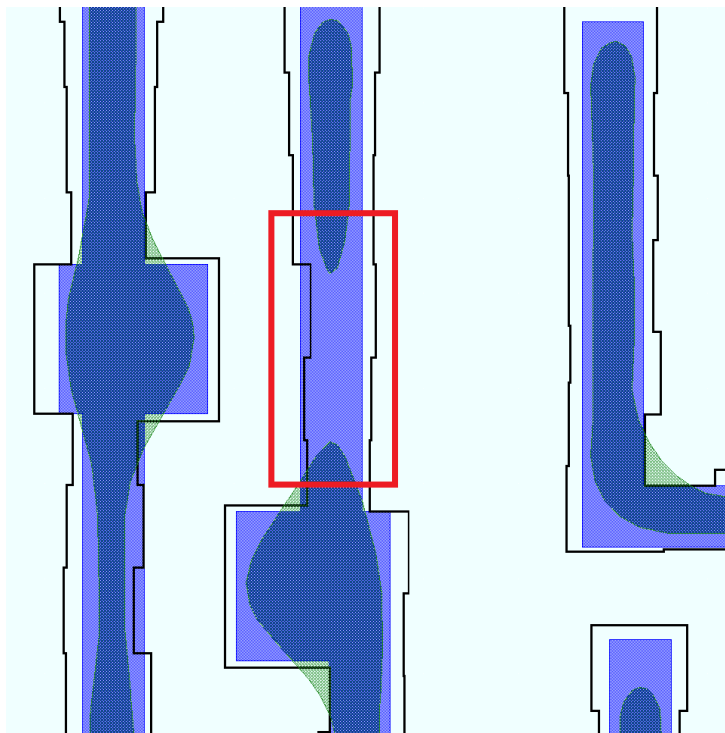
Проблема фрагментации

В ряде случаев нулевое значение ошибки положения края приводит к возникновению «ряби»



¹EPE – Edge Placement Error (ошибка положения края)

Проблема верификации



Ресурсное обеспечение разработки ОРС решений

Метрология

Измерения необходимы для:

- определения правил расстановки SRAF
- калибровки OPC модели
- аттестации OPC решения

Необходимо обеспечить:

- Измерения в разных точках окна процесса
- Измерения по нескольким кристаллам нескольких пластин
- Преобразование SEM изображений в контуры GDS

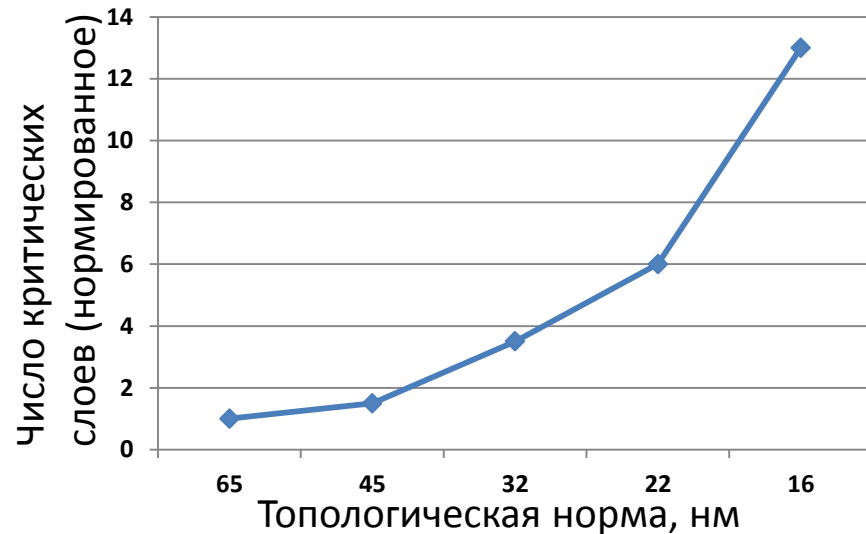
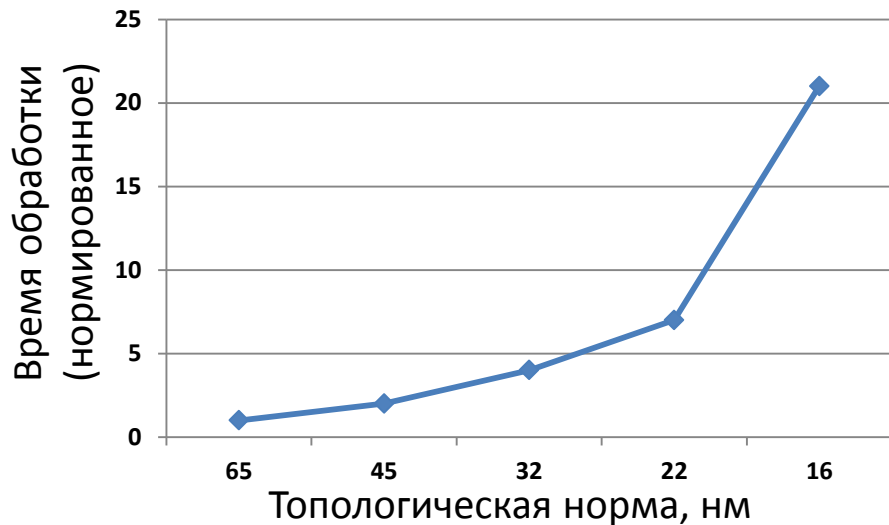


САПР

САПР для разработки и использования OPC:

- Calibre OPCpro – RBOPC и MBOPC для слоев с топологической нормой > 65 нм
- Calibre nmOPC – MBOPC для слоев с топологической нормой ≤ 65 нм
- Calibre pxOPC – техника ILT (для локального увеличения печатаемости)
- Calibre OPCsbar – расстановка SRAF
- Calibre OPCverify – верификация OPC
- Hitachi Design Gauge/Calibre Metrology API – автоматизация измерений

Вычислительные мощности



Источник: Chris Spence, Chris Spence, Scott Goad, Scott Goad, "Computational requirements for OPC", Proc. SPIE 7275, Design for Manufacturability through Design-Process Integration III, 72750U (12 March 2009); doi: 10.1117/12.813522; <https://doi.org/10.1117/12.813522>

Команда

Состав рабочей группы для разработки ОРС решений:

- Специалисты по CAD
- Технолог
- Метролог
- Разработчик
- Тополог

Подготовил:

Алексей Кузовков
akuzovkov@niime.ru

