

Проблемы и перспективы развития методов коррекции оптической близости для современных уровней технологии

академик Красников Г.Я.
Синюков Д.В.



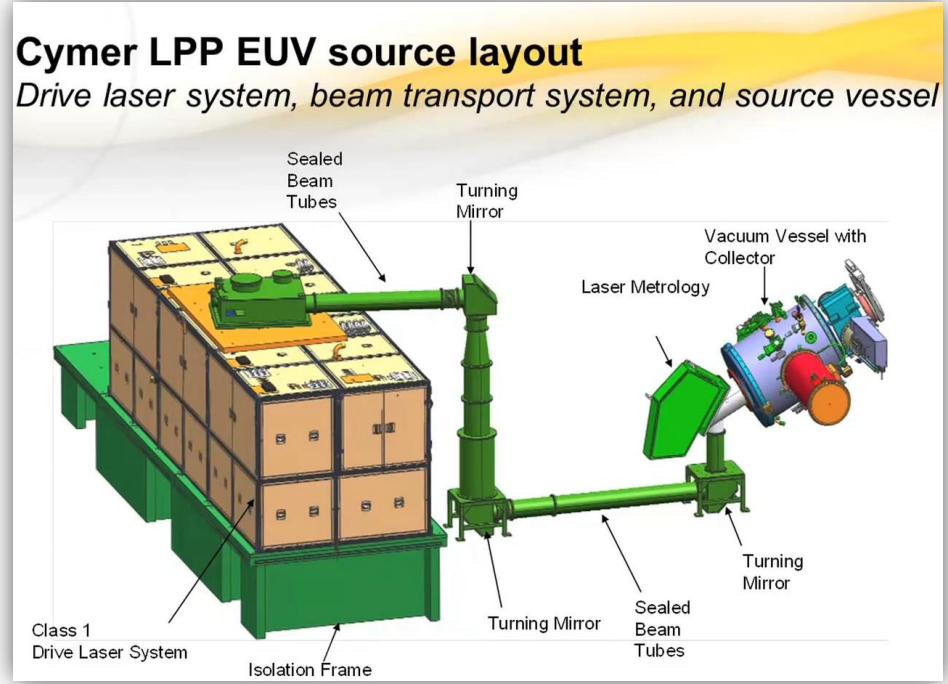
Оптическое разрешение проекционных систем установок фотолитографии

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

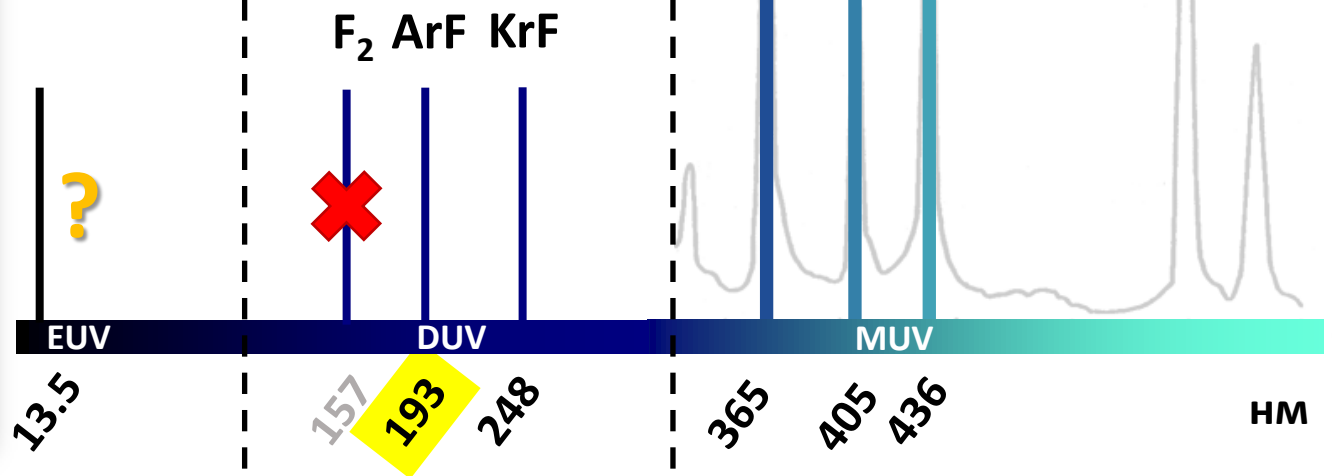
Источники плазмы индуцированной лазерным излучением (LPP)

Эксимерные лазеры

Ртутные лампы высокого давления (HBO)



i-line
h-line
g-line

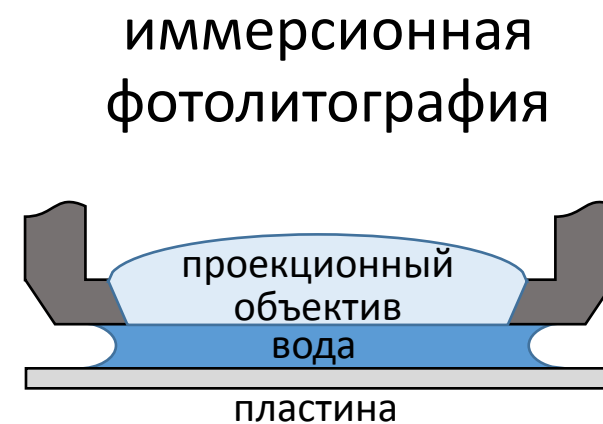
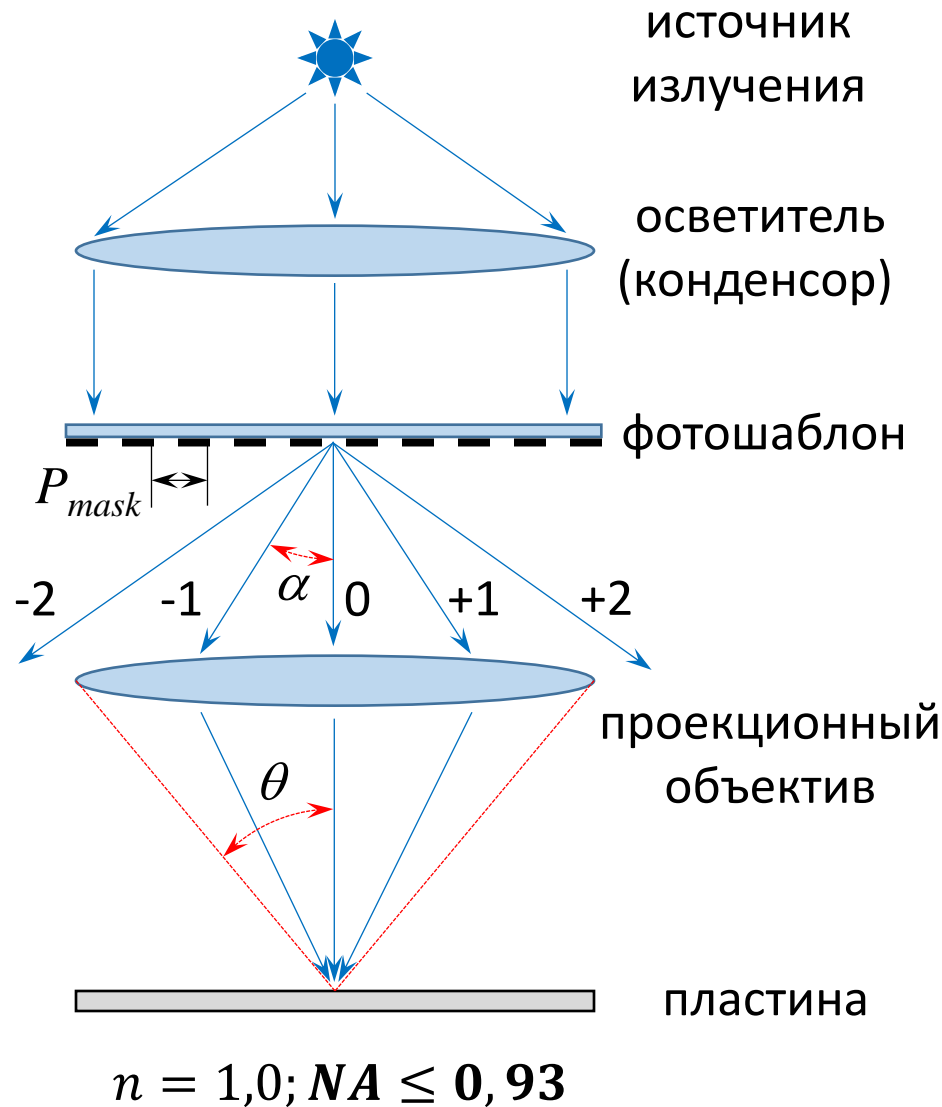


Оптическое разрешение проекционных систем установок фотолитографии

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

$$\alpha = \arcsin \frac{\lambda}{P_{mask}} \quad (1)$$

$$NA = n \cdot \sin \theta \quad (2)$$

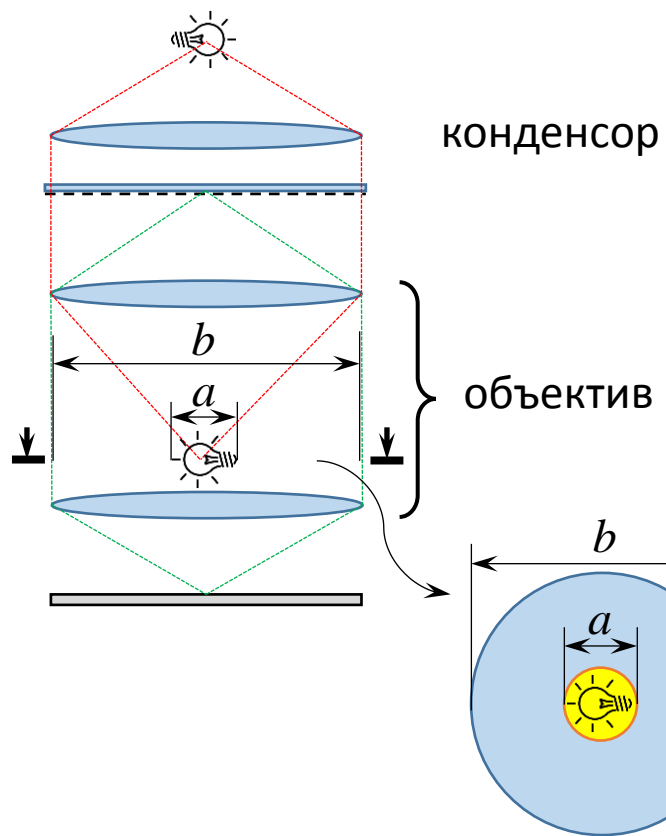


Оптическое разрешение проекционных систем установок фотолитографии

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

Требуемые для разрешения элементов топологии пороговые значения k_1

| $R, \text{ нм}$ | NA | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|-------|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|
| | $\lambda = 193 \text{ нм}$ | | $\lambda = 193 \text{ нм, иммерсия } n = 1,44$ | | | | $\lambda = 13,5 \text{ нм}$ | |
| | 0,75 | 0,85 | 0,93 | 1,07 | 1,2 | 1,3 | 1,35 | 0,33 |
| 130 | 0,505 | 0,573 | 0,620 | | | | | |
| 90 | 0,350 | 0,396 | 0,429 | 0,499 | 0,560 | | | |
| 65 | | 0,286 | 0,310 | 0,360 | 0,404 | 0,438 | | |
| 45 | | | | | 0,280 | 0,303 | 0,315 | |
| 32 | | | | | | | 0,224 | 0,782 |
| 22 | | | | | | | | 0,538 |



Дифракционный предел разрешения:

$$k_1 = \frac{1}{2(\sigma+1)}; \quad \sigma = \frac{a}{b}, \quad 0 \leq \sigma \leq 1$$

$k_1 = 0,5$ (когерентное освещение)
 $k_1 = 0,25$ (некогерентное освещение)

Методы повышения разрешающей способности (RET)

Малые значения $k_1 \approx 0,3$

Существенная потеря высокочастотных
компонентов формируемого изображения
+
Ухудшение контраста изображения



Искажения геометрии топологической структуры



Resolution Enhancement Techniques

Optical Proximity Correction

- коррекция искажений привносимых оптической системой сканера

Phase Shifting Masks

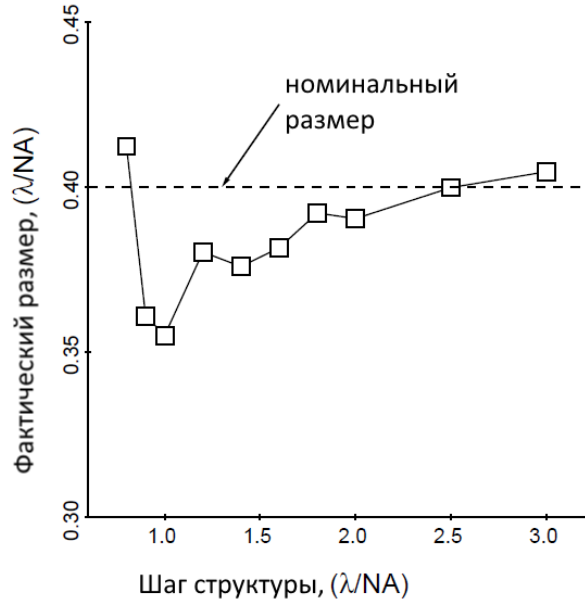
- усиление контраста изображения с помощью фазового контраста соседних элементов

Off-Axis Illumination

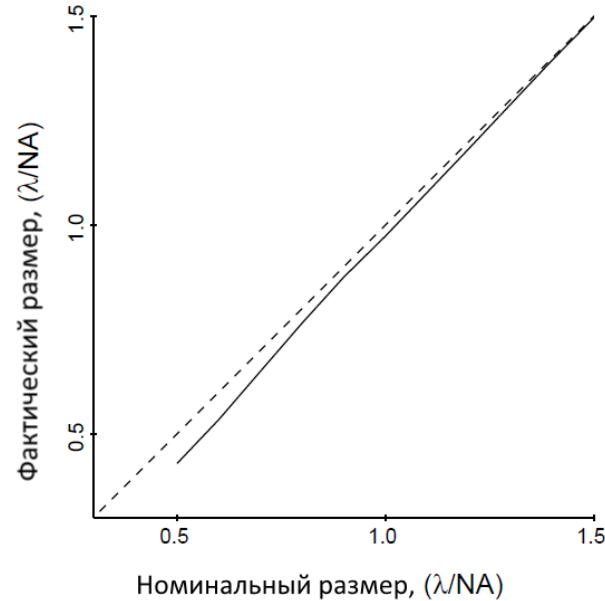
- усиление контраста изображения с помощью оптимизации настроек осветителя

Контролируемый процесс фотолитографии в условиях предельно близких к физическому (дифракционному) ограничению разрешения

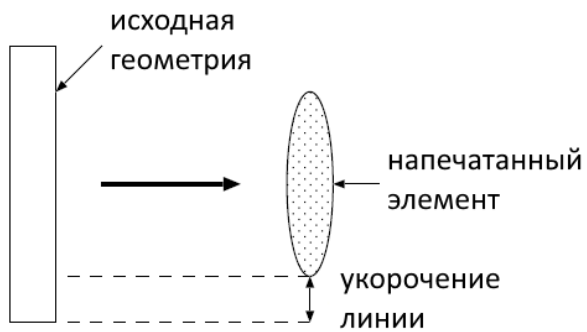
Задачи, решаемые методами ОРС



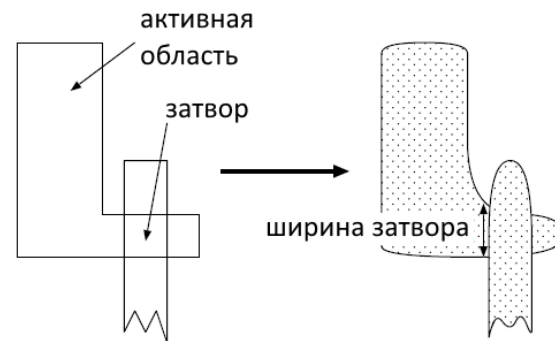
а) Эффект «плотности» структуры



б) Эффект нелинейности



в) Укорочение линий



г) Скругление углов

Проблемы, связанные с эффектом оптической близости:

1. Увеличение разброса линейных размеров по площади схемы
2. Усложнённый контроль совмещения
3. Невозможность создания плотноупакованных структур
4. Разброс характеристик транзисторов в зависимости от их окружения



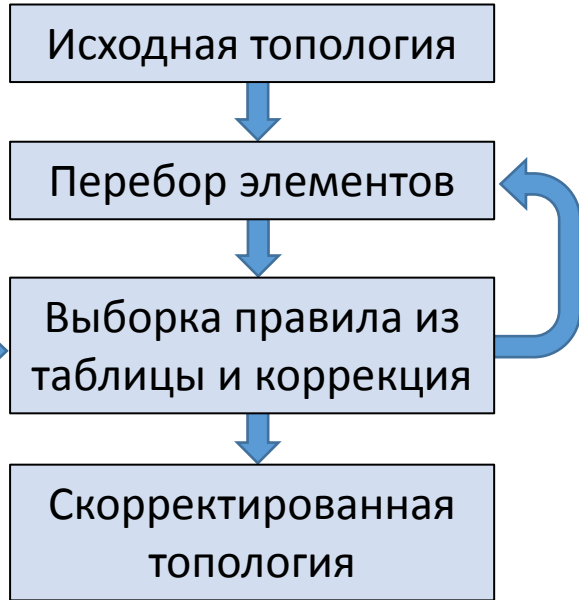
Внедрение предсказаний в топологию ФШ в процессе ОРС

- Компенсация «потерянной» информации при восстановлении дифракционной картины изображения топологии

Виды искажений изображения как результата эффекта оптической близости

Методы выполнения OPC

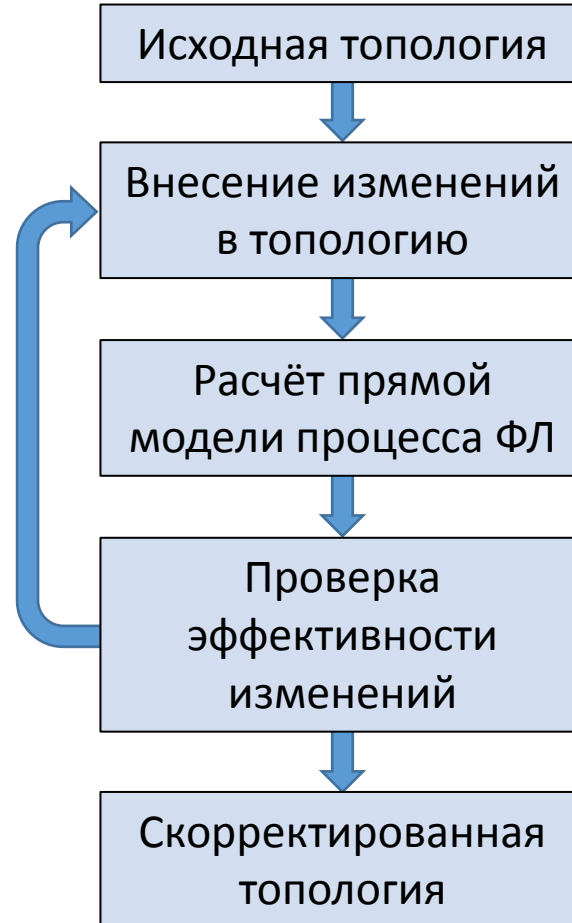
Rule-Based OPC



| № | Условие | Действие |
|-----|---------|----------|
| 1 | ... | ... |
| ... | ... | ... |
| n | ... | ... |

Model-Based OPC

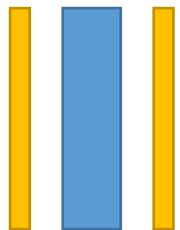
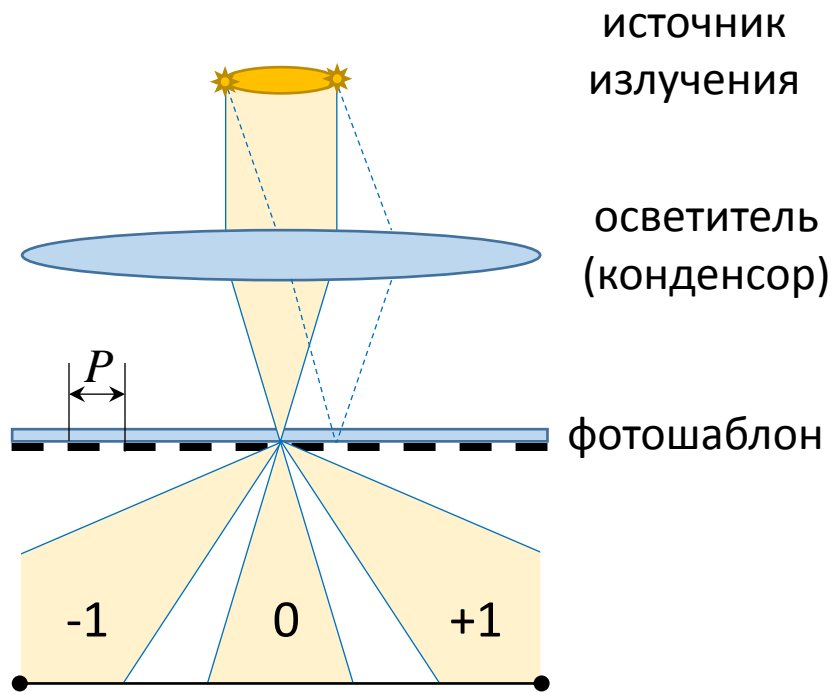
Прямая модель ФЛ



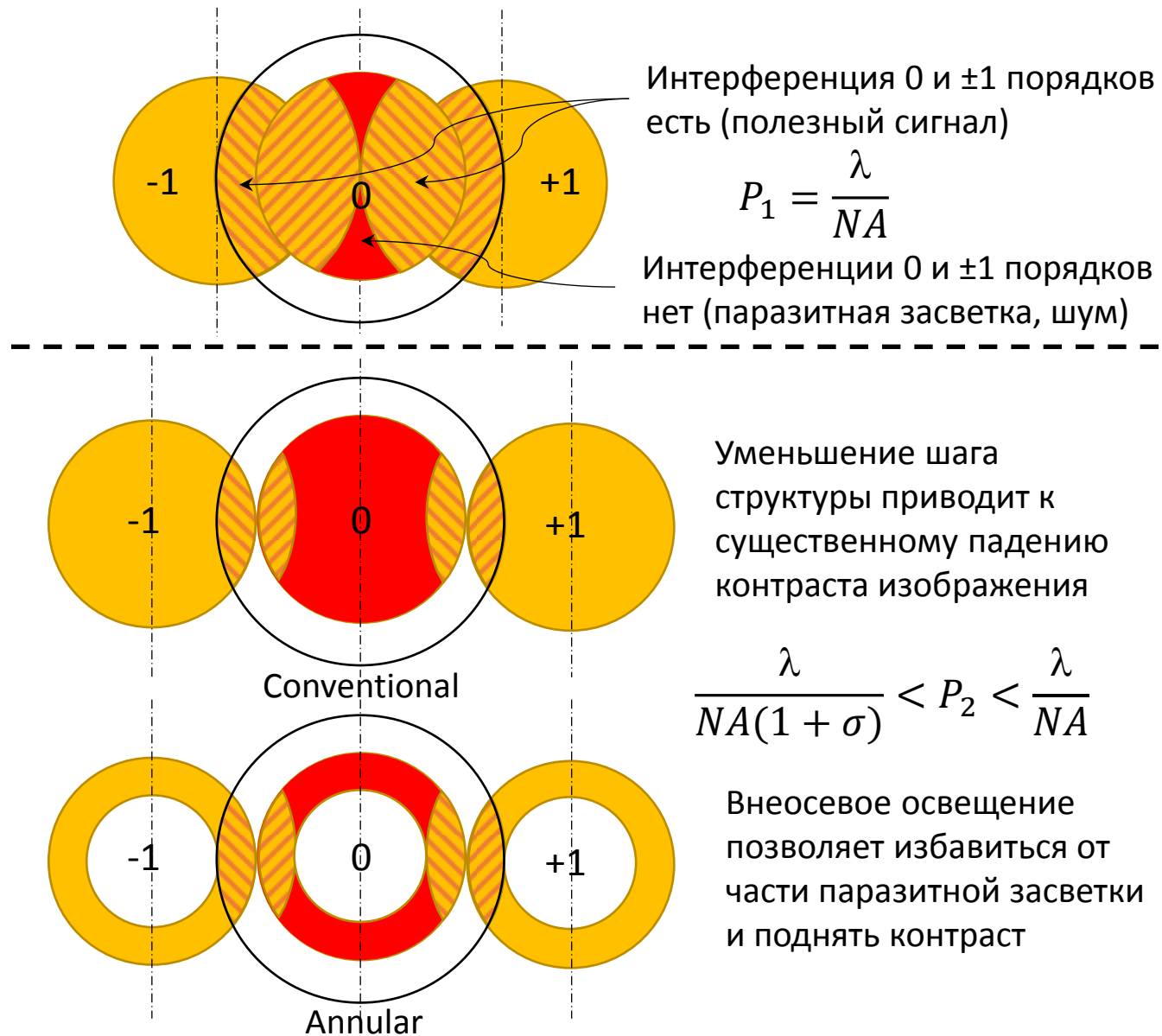
Обратная модель ФЛ



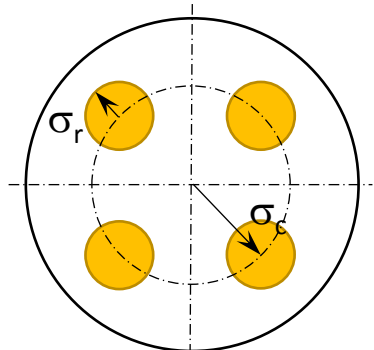
Задачи, решаемые использованием внеосевого освещения



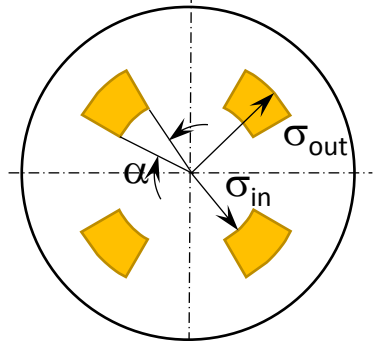
NB: При внеосевом освещении для отдельно стоящих элементов необходимо использовать SRAF OPC



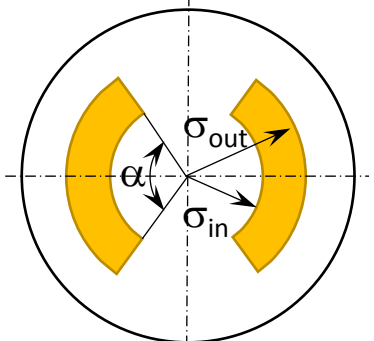
Свободно конфигурируемый источник излучения сканера



Квадруполь



«Quasar» (ASML)



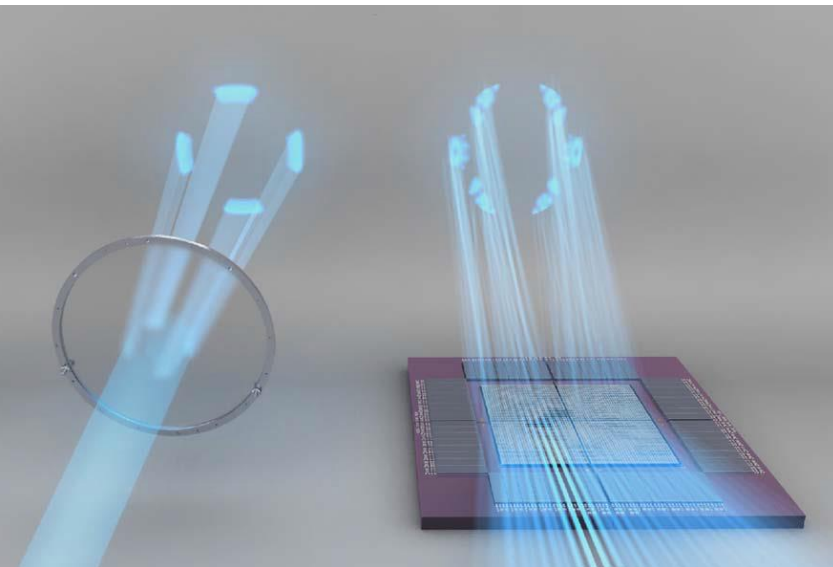
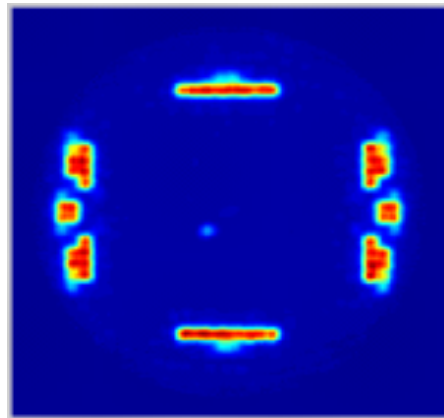
«Dipole» (ASML)

Параметрические источники внеосевого освещения позволяют выполнить оптимизацию для структуры только **одного** вида

Необходима совместная оптимизация источника освещения для элементов топологии **различной** формы



Использование свободно конфигурируемого осветителя позволяет создавать сложные комбинации освещения

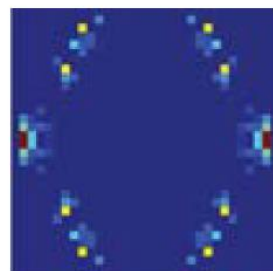


Сравнение работы DOE (параметрическое освещение) и FlexRay (свободно конфигурируемое освещение)

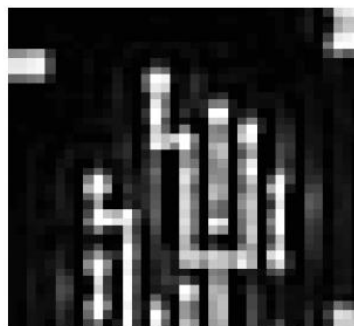
Совместное применение OPC и OAI Source-Mask Optimization

Схема рабочего процесса Source-Mask Optimization на примере Brion Tachyon SMO

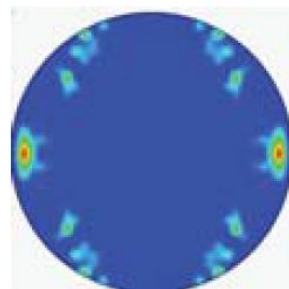
Конфигурация
источника
освещения



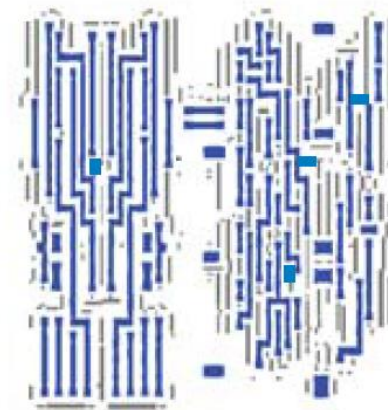
Топология
фотошаблона



Оптимизация
без наложения
технологических
ограничений



Получение технологически
применимого результата на
критических участках
топологии



Сшивка финальной
топологии полного
кристалла (Flexible Mask
Optimization)

Актуальные направления развития методов OPC

Задачи развития методов OPC:

- Повышение скорости выполнения коррекции на полной топологии рабочих схем
- Повышение эффективности выполнения коррекции для процессов фотолитографии с минимальными значениями k_1

Направления решения задач:

- Разработка эффективных алгоритмов и специализированного оборудования для выполнения MBOPC
- Разработка эффективных алгоритмов комбинирования нескольких типов OPC на топологии одной схемы
- Разработка методов совместного использования нескольких приёмов RET (SMO, OPC для PSM)