

НИИМЭ
НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ

АО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»

Подготовка управляющей информации для изготовления фотошаблонов Перспективные методы и автоматизация

Иванов Владимир Викторович

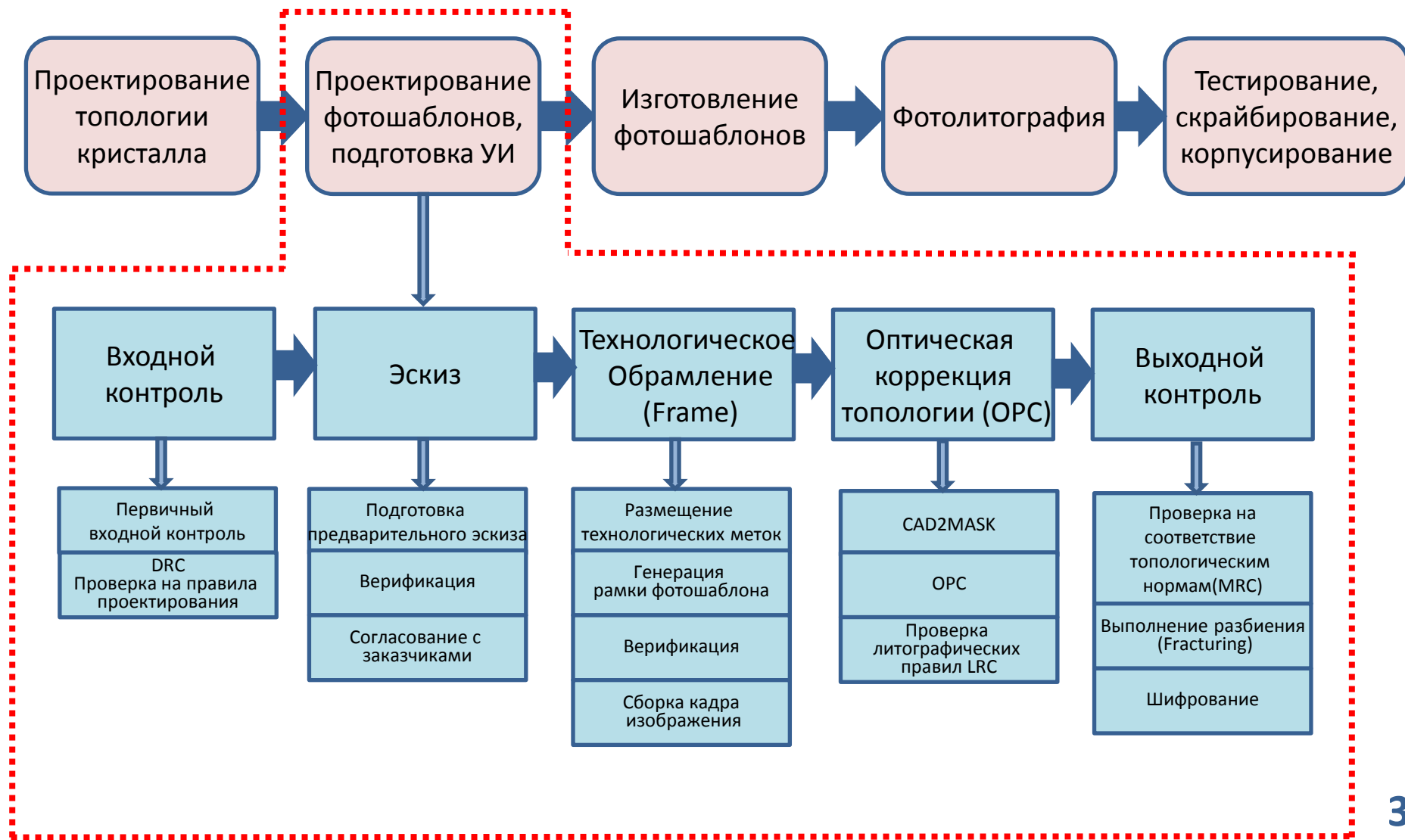
Тельминов Олег Александрович, к.т.н.

АО «НИИМЭ»

30.01.2019г.

1. Основные этапы подготовки управляющей информации (УИ)
2. Программный комплекс и перспективные методы подготовки УИ
3. Пути сокращения времени подготовки УИ
4. Выводы

Место подготовки управляющей информации в производстве интегральных микросхем



Фотошаблон представляет собой плоскопараллельную прозрачную пластину, с нанесенным непрозрачным покрытием, как правило, тонким слоем хрома.

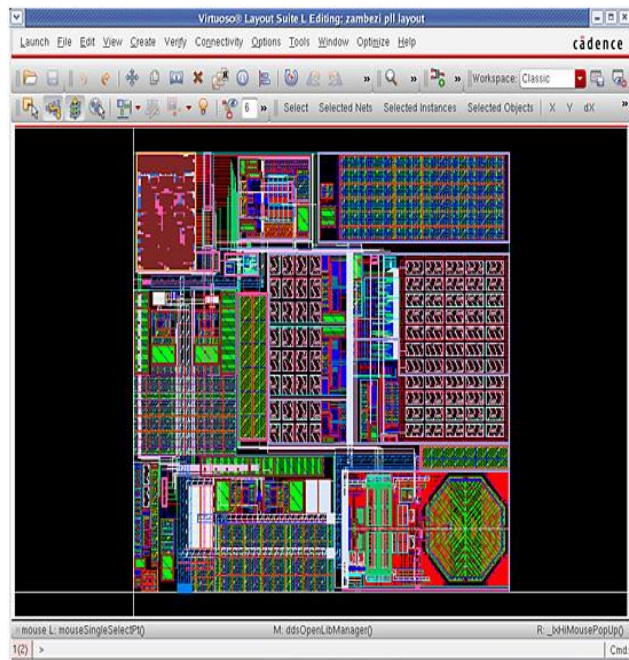
Материал фотошаблона, в основном, — кварцевое стекло.

Размеры фотошаблона:

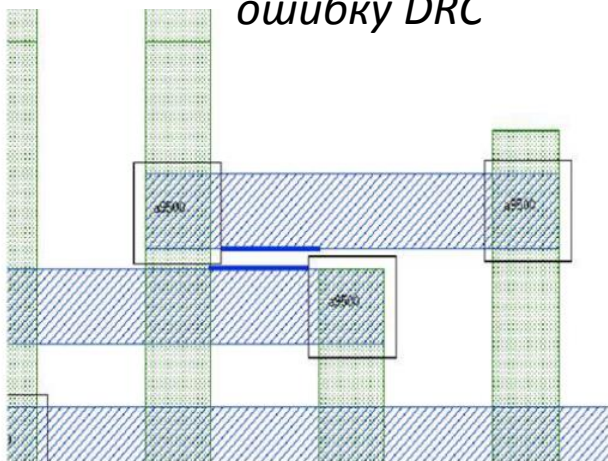
- пластины 4x4 — 7x7 дюймов;
- толщина: 2,25 — 6,25 мм



Уровень, нм	180	90	45	28
Стоимость критического слоя, тыс. \$.	5	25	70	200
Число слоёв	26 — 30	40	45	55



Фрагмент топологии, содержащий ошибку DRC



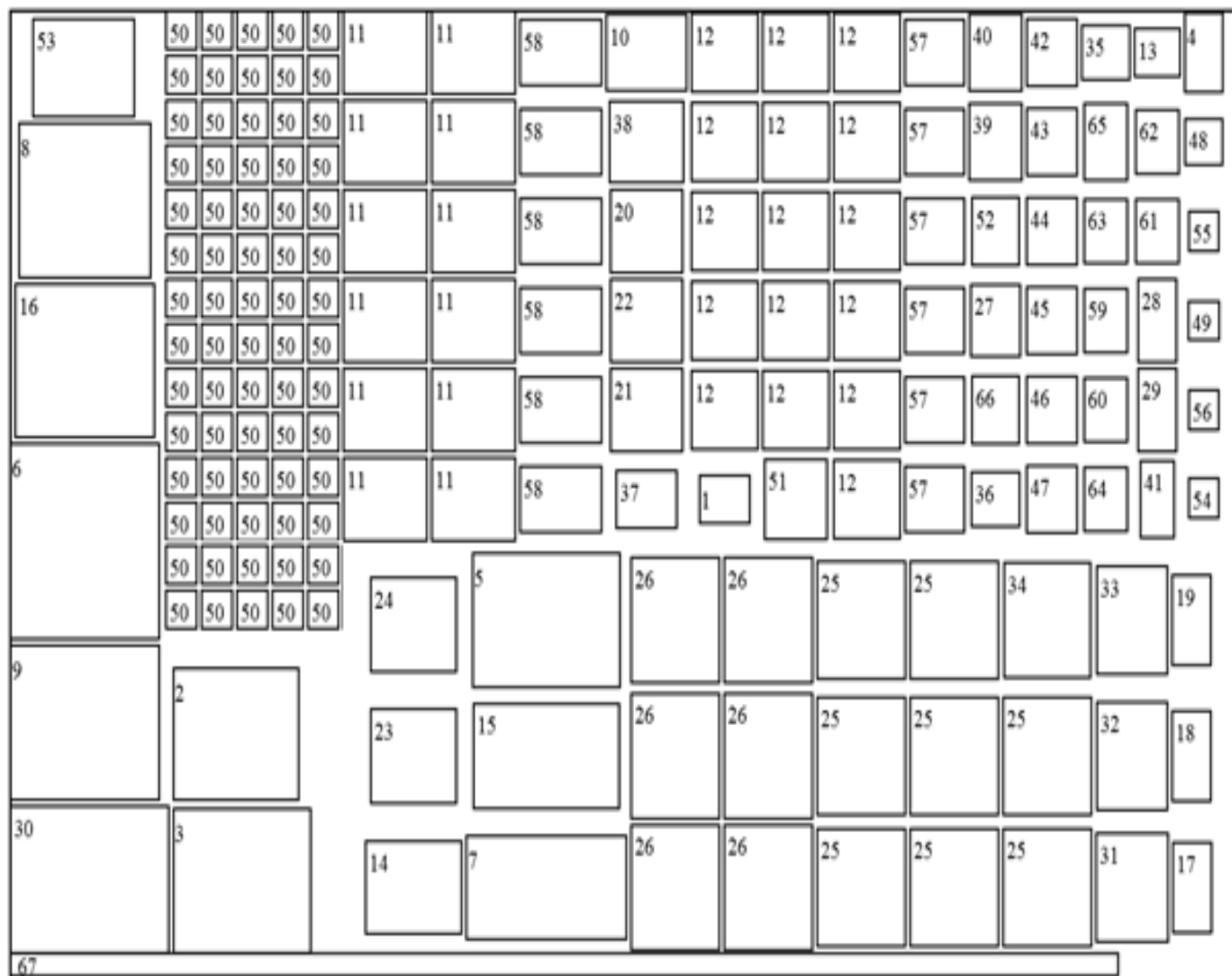
Верификация топологии состоит из первичного входного контроля:

- проверка ключевых параметров топологии (габаритные размеры, координаты центра, список слоёв, и т.д.)
- проверка на правила проектирования (DRC — Design Rule Check).

DRC содержит ряд строгих правил в зависимости от конкретной технологии. Основными критериями правил DRC являются:

- допустимая ширина топологического элемента;
- допустимое расстояние между элементами;
- допустимая зона перекрытия элементов, находящихся в разных слоях.

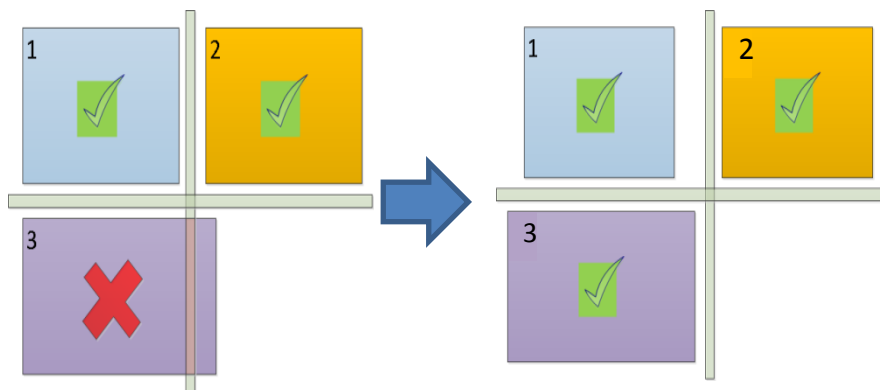
Пример эскиза кадра изображения



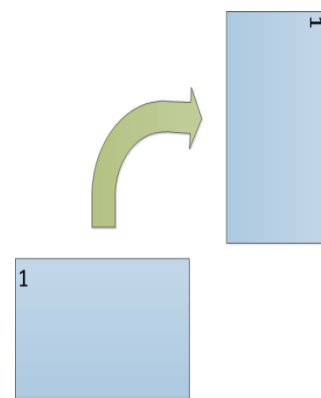
- На эскизе представлено 67 кристаллов разных проектов

Требования к схеме размещения кристаллов на кадре изображения(1)

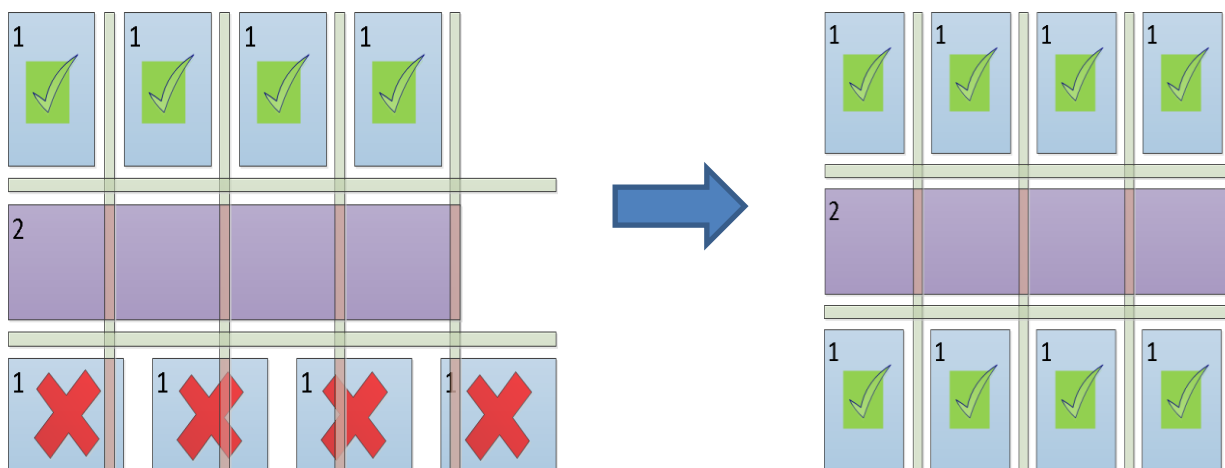
1. Ширина дорожки скрайбирования



2. Возможность поворота кристалла

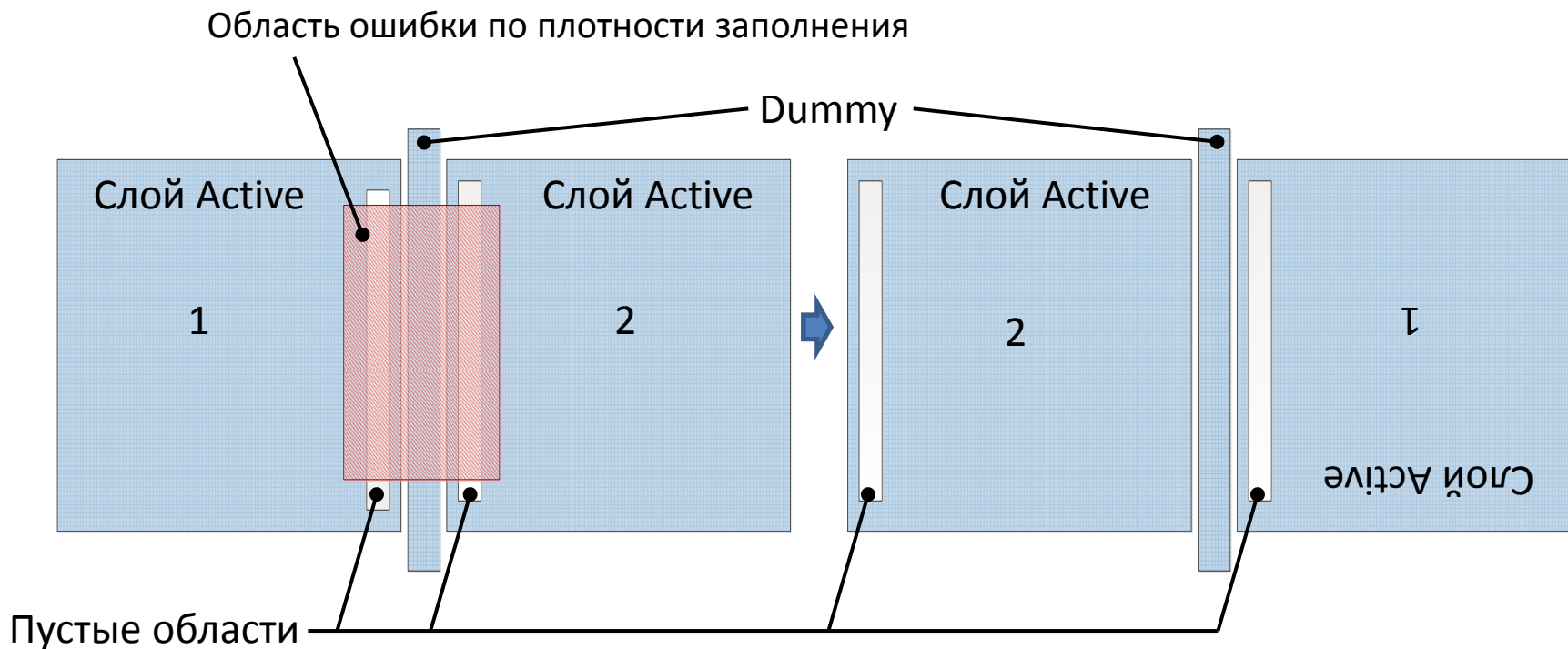


3. Возможность получения с одной пластины всех кристаллов одного заказчика



Требования к схеме размещения кристаллов на кадре изображения (2)

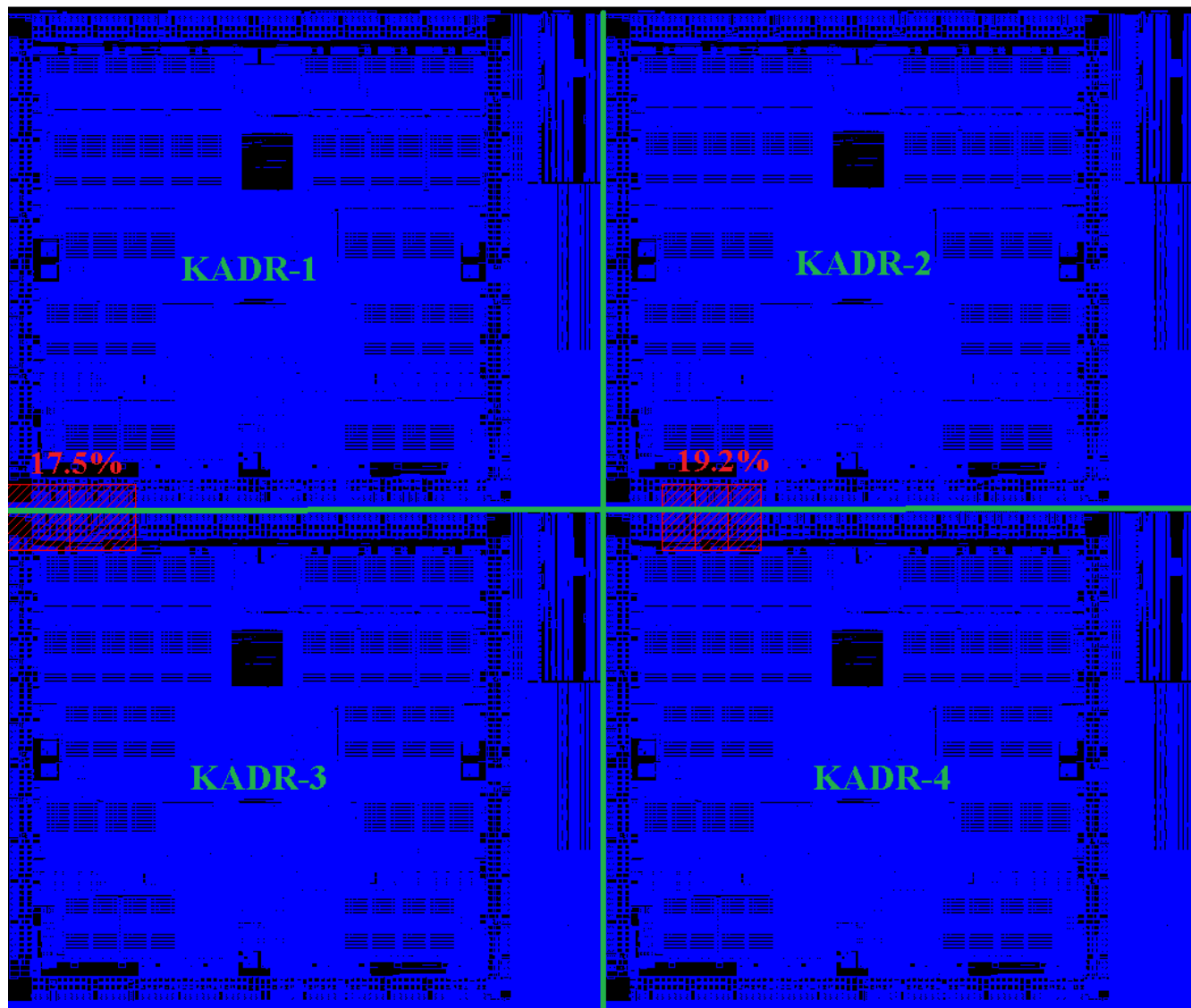
4. Технологические ограничения



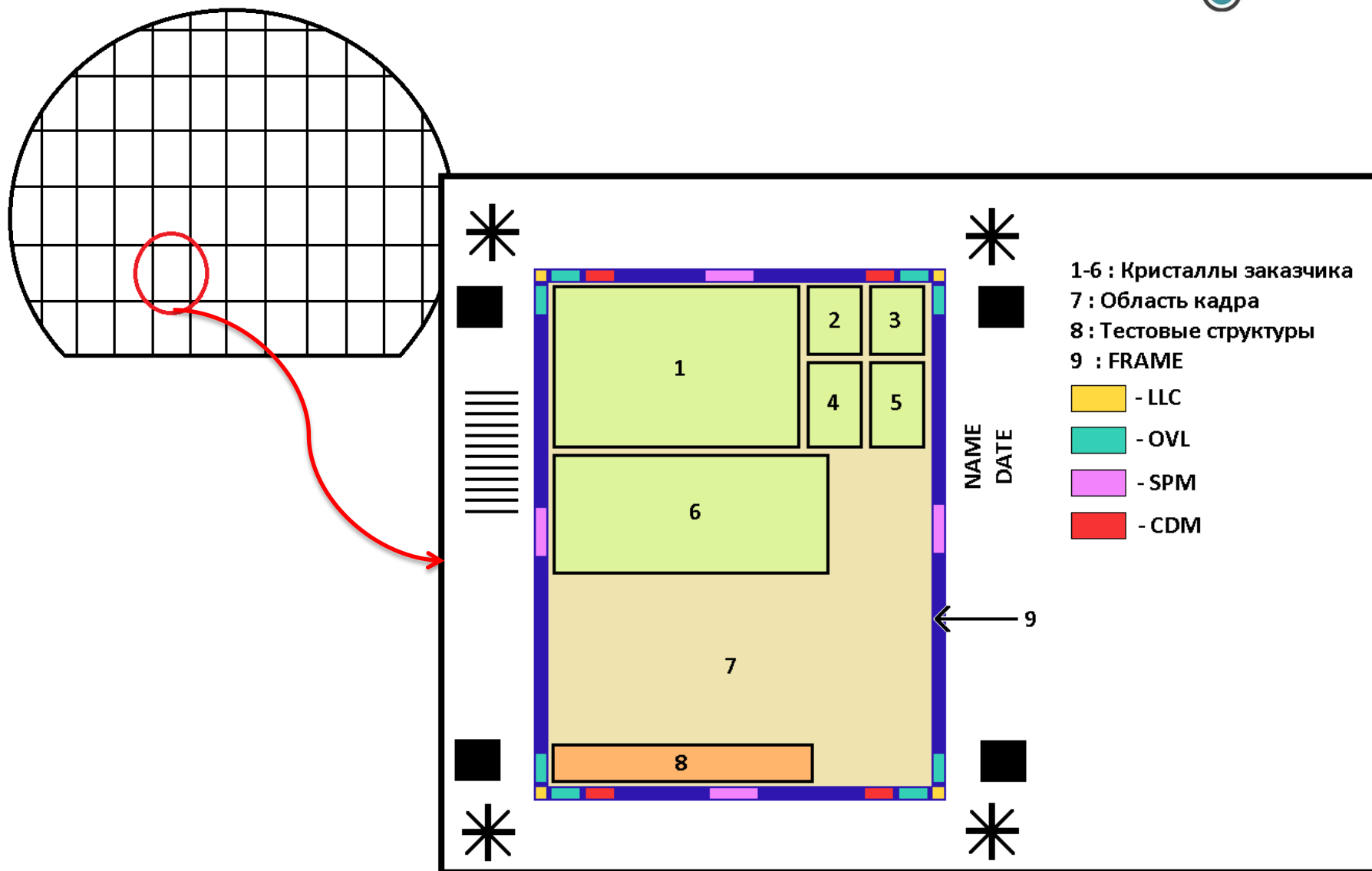
Таким образом, задача инженера, проектирующего эскиз кадра изображения, заключается в обеспечении компромисса между выполнением вышеперечисленных требований и плотностью размещения кристаллов в кадре.

Пример ошибки по плотности заполнения слоя метал 1 по технологии КНИ

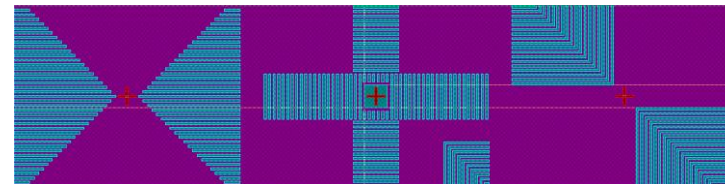
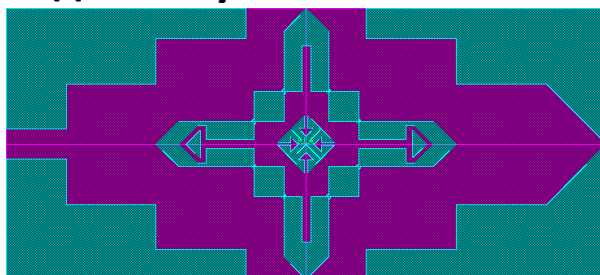
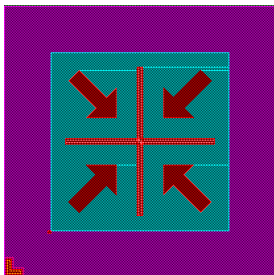
Минимальное значение плотности — 20 %



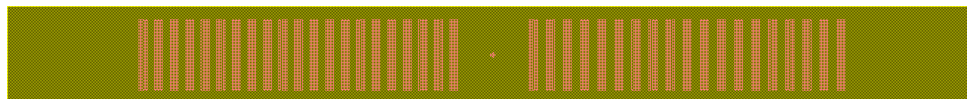
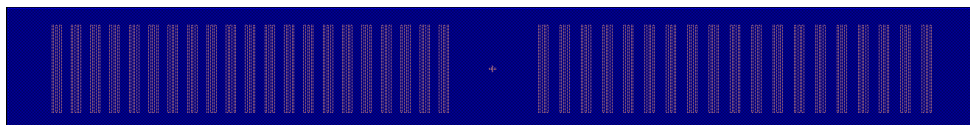
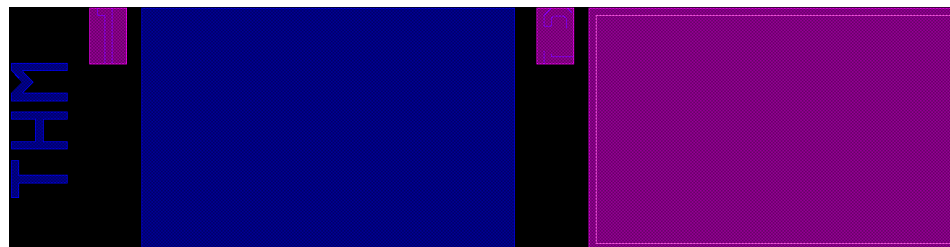
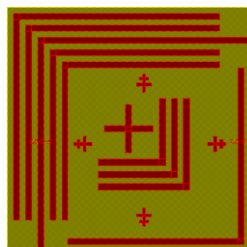
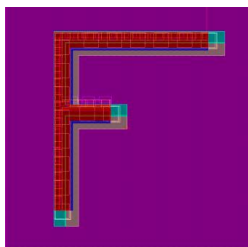
Технологическое оформление (Frame)



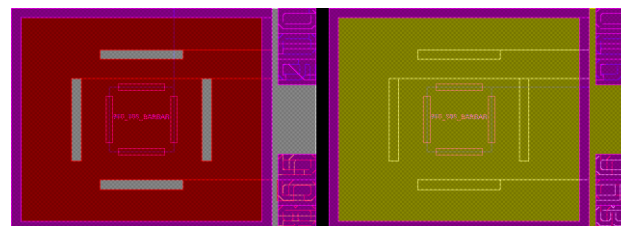
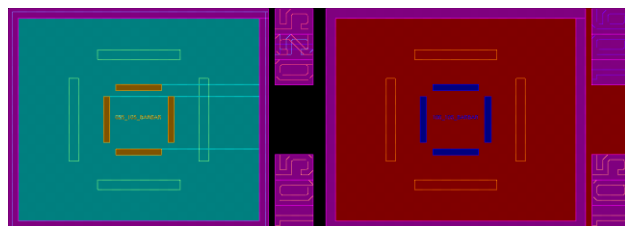
Метки для визуального и автоматического поиска структур



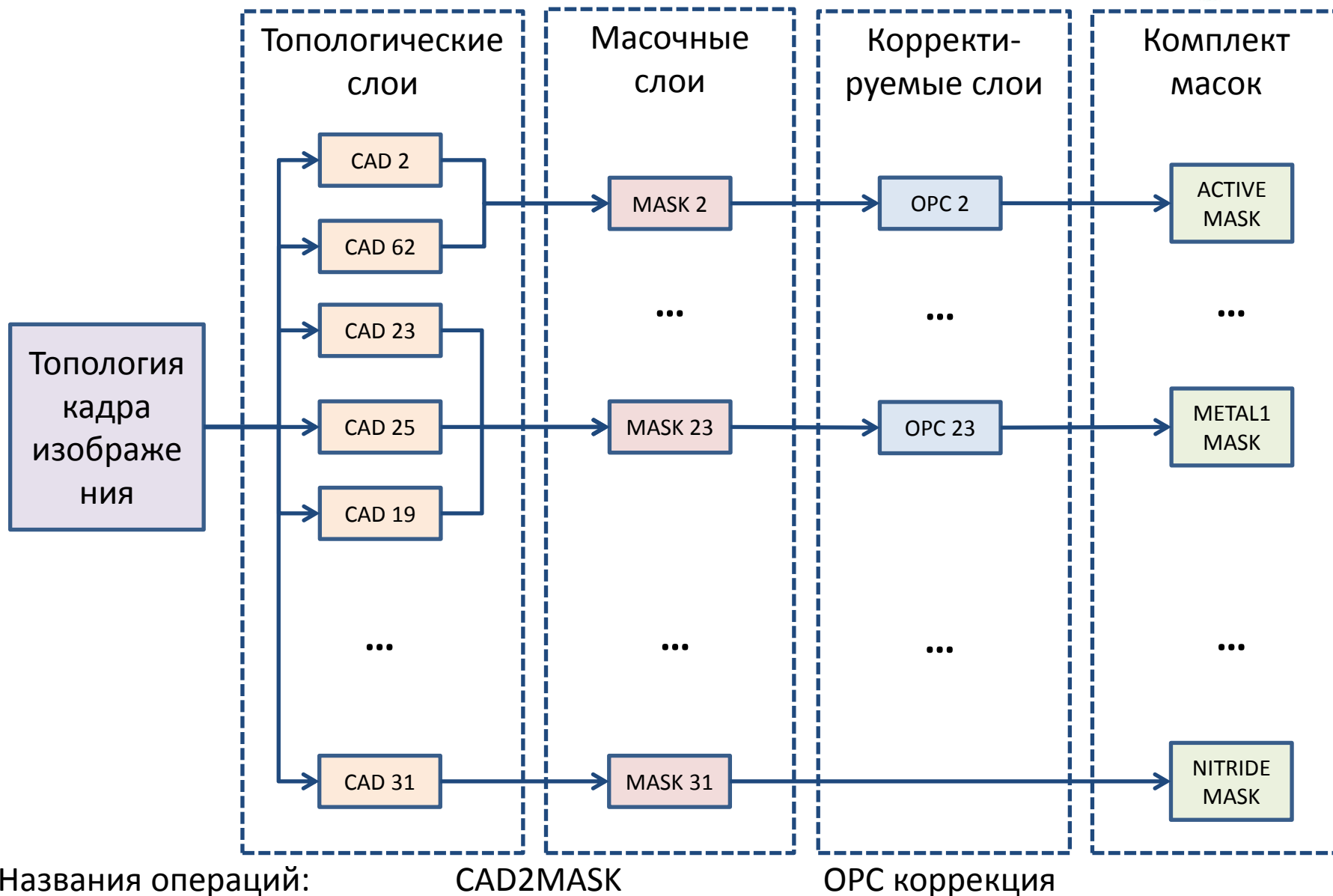
Метки определения критических размеров



Метки совмещения разной точности

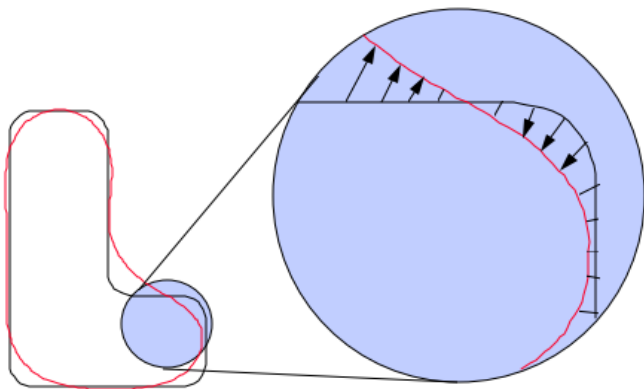


Процедура формирования масок

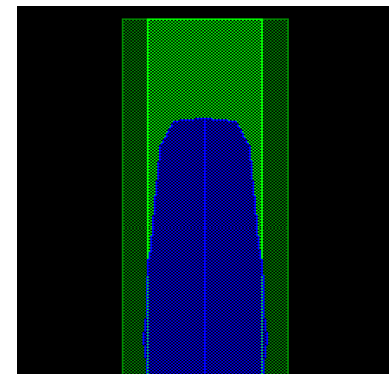


Негативные факторы, устраняемые с помощью коррекции эффекта оптической близости (ОРС)

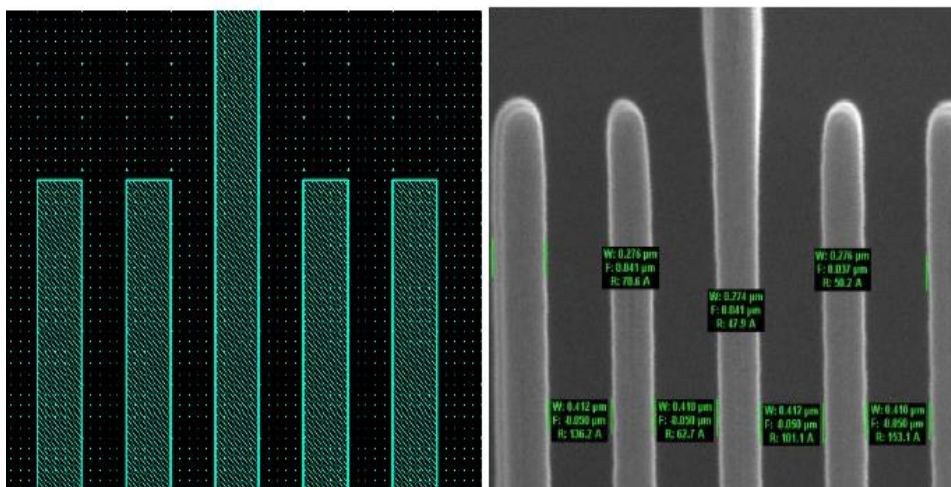
Скругление углов



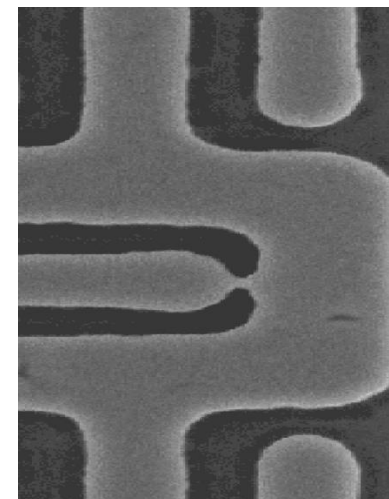
Укорачивание концов линий



Зависимость ширины от шага



Образование перемычек

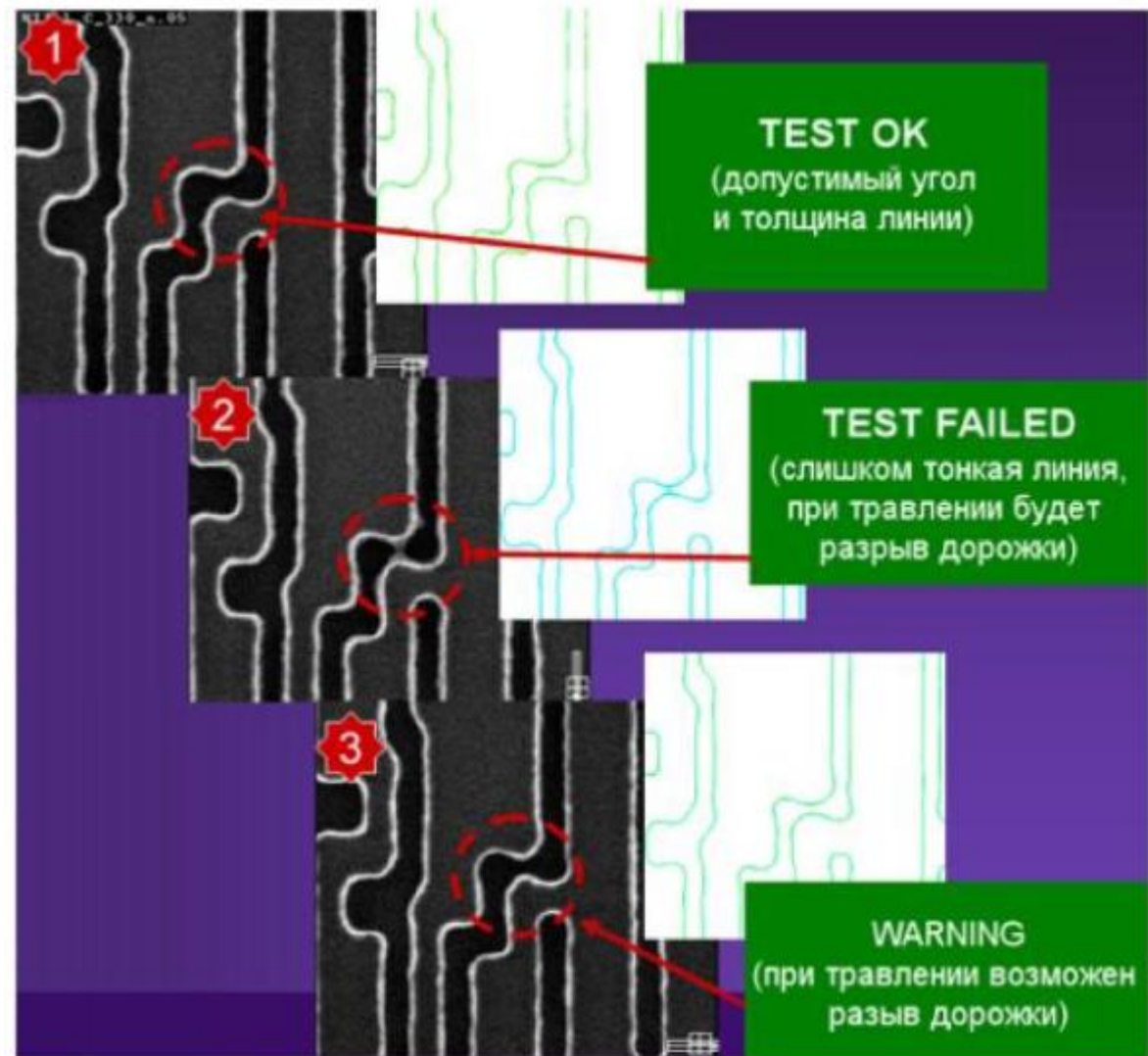


Проведение верификации проекта на соответствие правилам изготовления – MRC (1)

В ходе операции MRC проверяются:

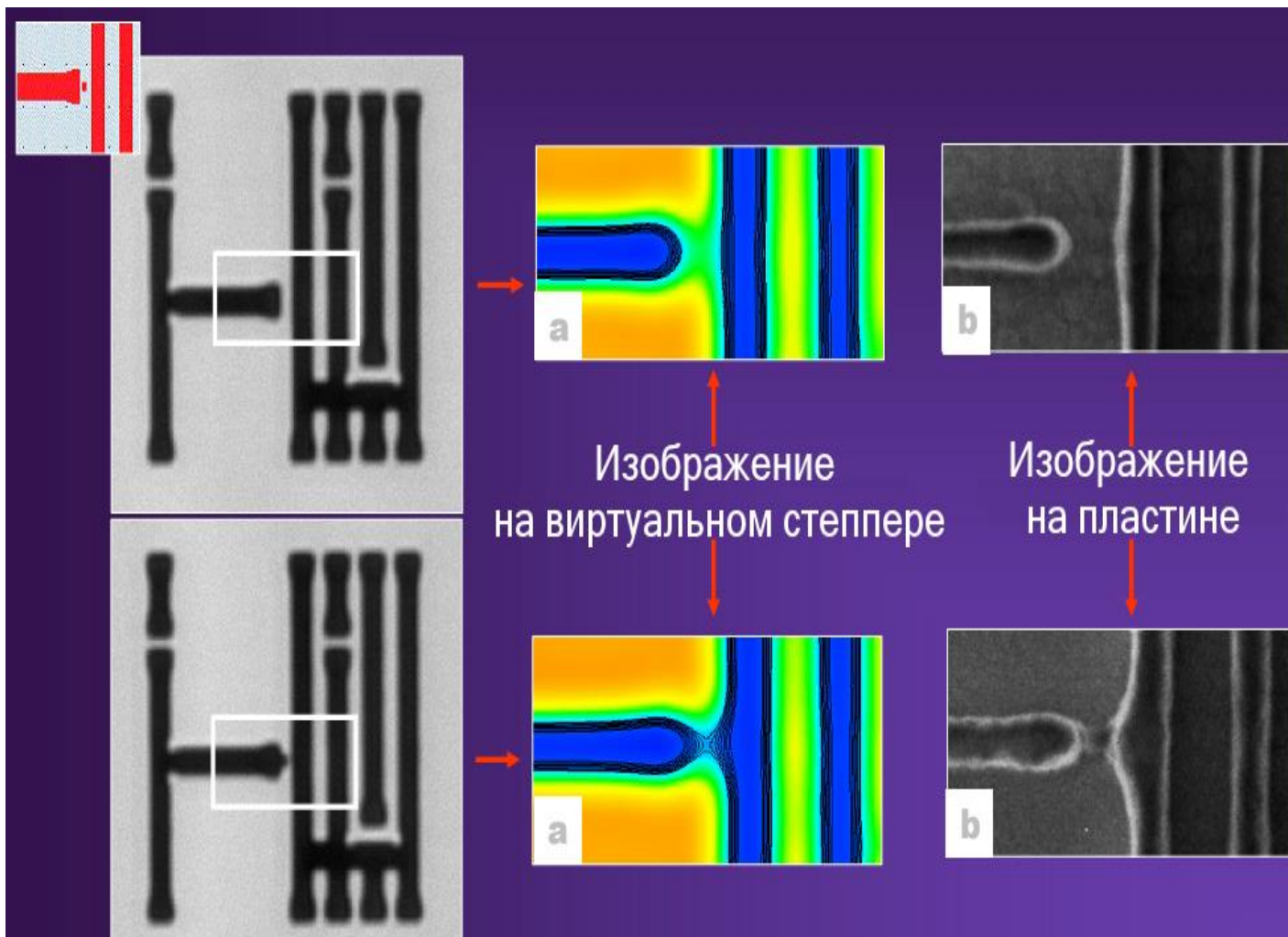
- ширина полигонов,
- расстояние между ними,
- расстояние между полигонами разных слоев.

Но в отличие от DRC, данные проверки могут не учитывать работоспособность схемы, а направлены лишь на то, чтобы гарантировать правильность изготовления фотошаблона (например, избежать смыкания полигонов и т.д.).



Проведение верификации проекта на соответствие правилам изготовления – MRC (2)

MRC – Manufacturing Rules Check



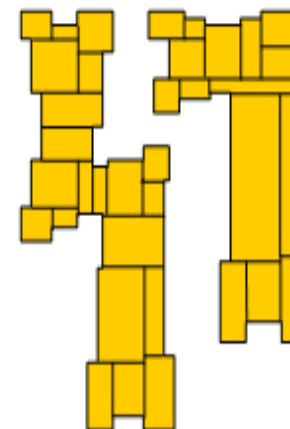
Проведение операции разбиения (fracturing)



Исходная топология



После OPC

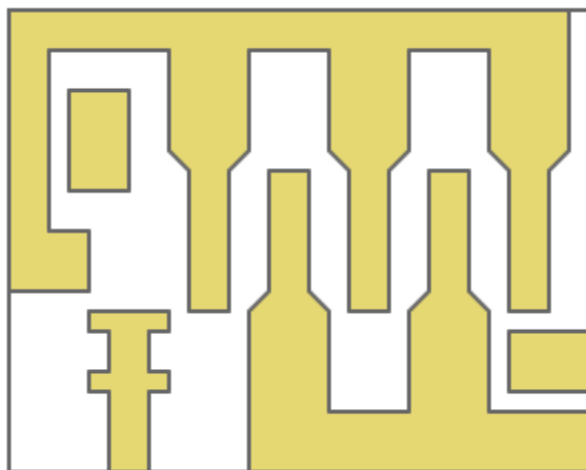


После разбиения
(fracturing)

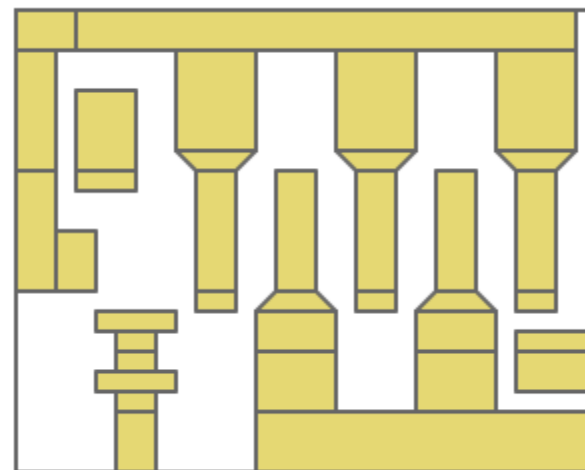
Процесс разбиения элементов топологии на геометрические примитивы – прямоугольники и трапеции называется **фрагментацией**.

Это связано с тем, что литографическое оборудование (генераторы изображений) выполняет экспонирование, перемещая пластину или экспонирующую головку строго линейно.

Схематичное изображения процесса фрагментации



До фрагментации



После фрагментации

Важно: для фрагментации необходимо задавать параметры(разрешение, высоту линии и т.д.) строго соответствующие типу и модели используемого оборудования, так как на другом типе оборудования могут быть отличия на аппаратном уровне(шаг перемещения, размер фокусного пятна, объём памяти и др.)

План выступления

1. Основные этапы подготовки управляющей информации (УИ)
2. Программный комплекс и перспективные методы подготовки УИ
3. Пути сокращения времени подготовки УИ
4. Выводы

Комплект инструментов для подготовки управляющей информации, полученный от партнёра



Фоторезистивная модель
(файлы)



Оптическая модель
(файлы)



Элементы фрейма
(библиотека)



Инструмент перевода: топологические слои → масочные слои
(скрипты + конфигурационные файлы)



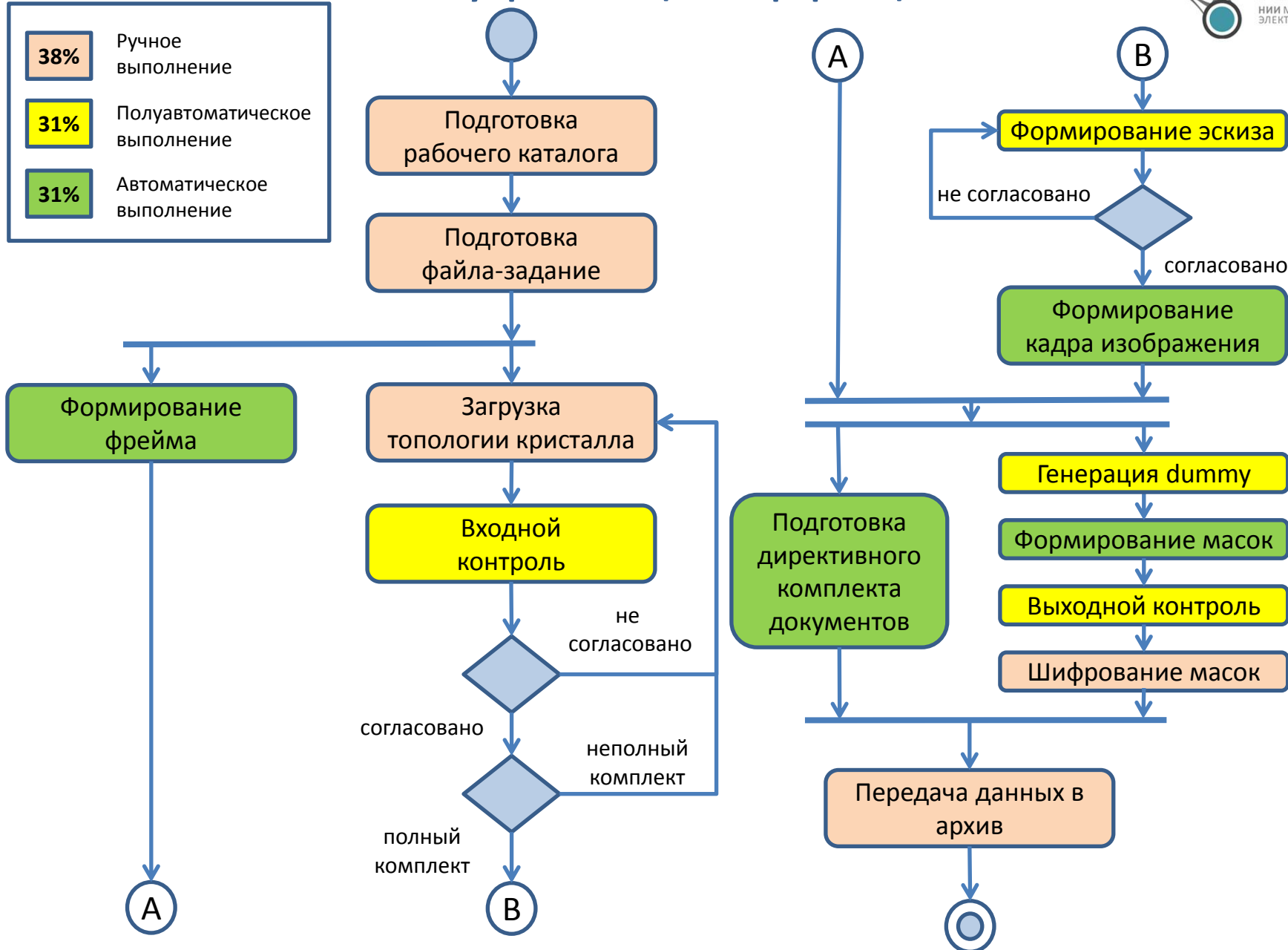
Инструмент коррекции эффектов оптической близости (OPC)
(скрипты + конфигурационные файлы)



Инструмент фрагментации
(скрипты + конфигурационные файлы)

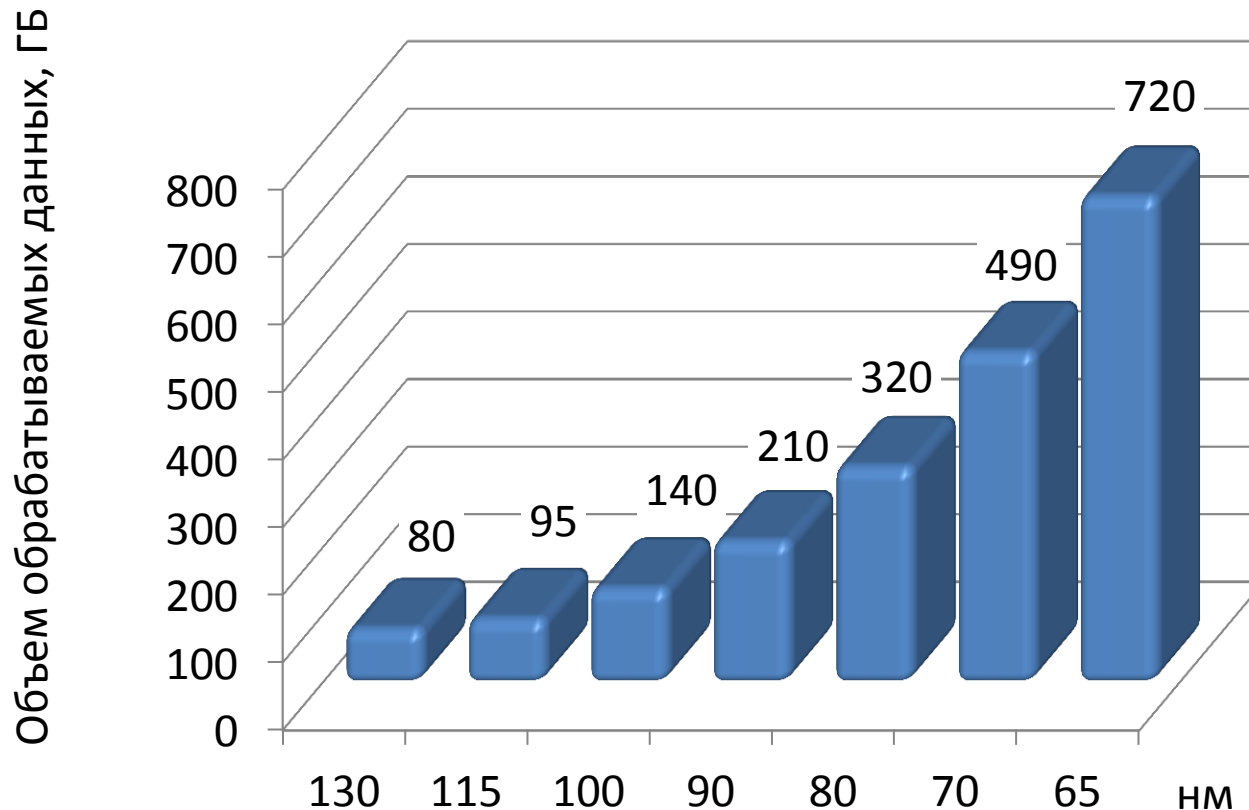
Адаптированный маршрут подготовки управляющей информации

38%	Ручное выполнение
31%	Полуавтоматическое выполнение
31%	Автоматическое выполнение



Сетевой график подготовки управляющей информации

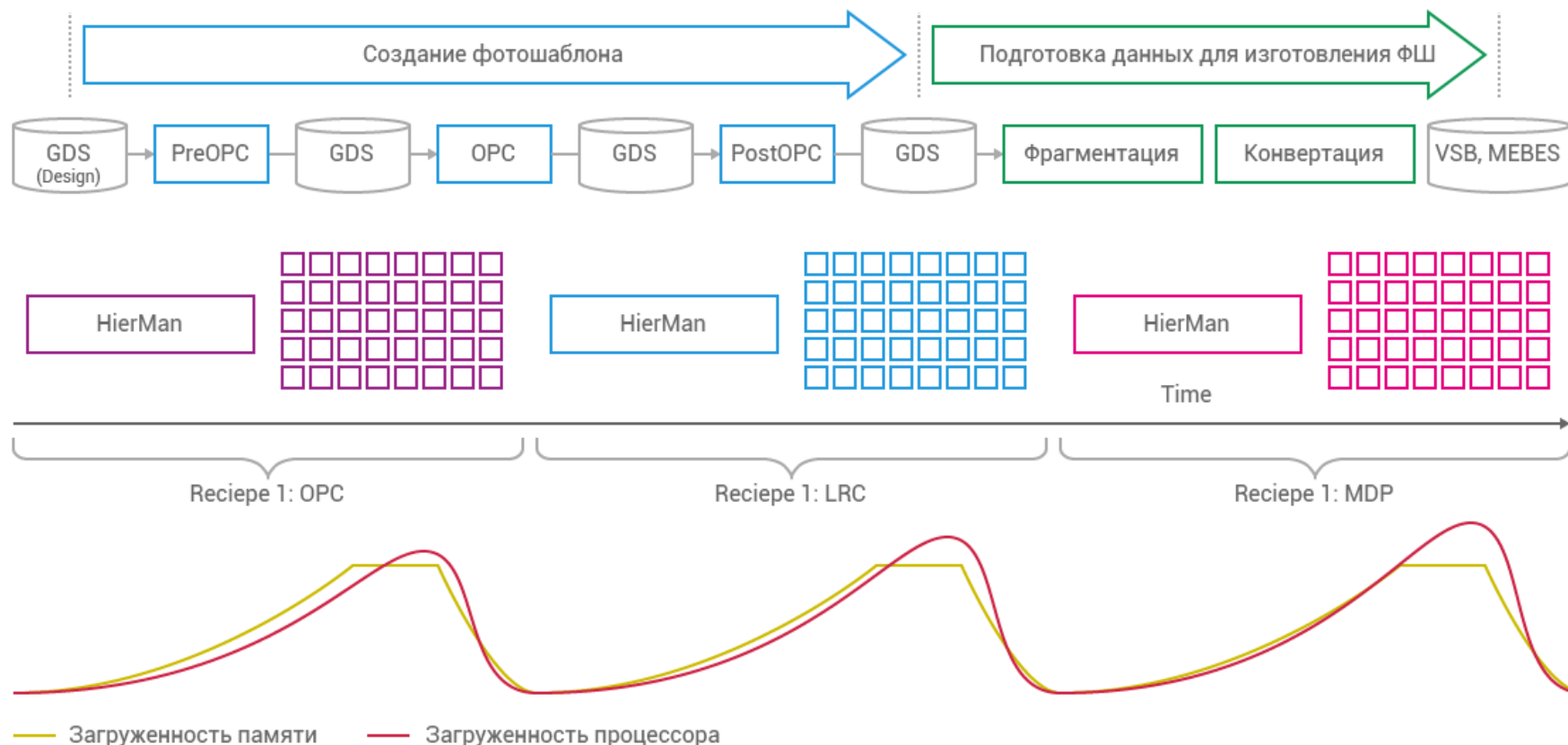




Разработка маршрута проектирования с учетом перехода на новые технологические уровни является сложным и дорогостоящим процессом.

Объём данных, описывающих топологию и элементы подавления оптических и дифракционных эффектов, достигает величин в сотни гигабайт.

Традиционный (линейный) метод обработки данных



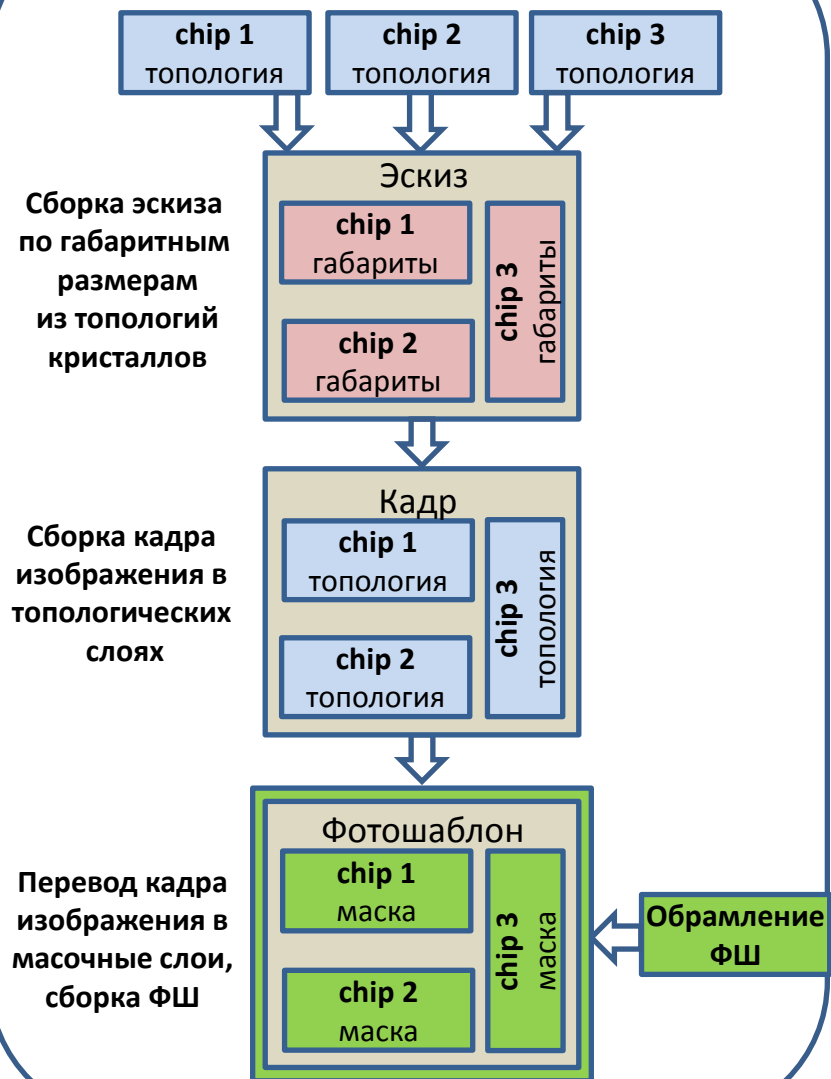
При выработке требований к программно-аппаратному комплексу необходимо учесть не только большие объемы обрабатываемых данных, но и методологию их обработки – оптимизацию потоков данных.

Недостатки маршрута подготовки УИ полученного от партнёра

Недостатки	Негативные последствия
Низкий уровень автоматизации маршрута, необходимость ручной конфигурации, запуска и контроля выполнения этапов.	• низкий показатель устойчивости процесса (более 70% ошибок связано с влиянием человеческого фактора); • повышенные требования к квалификации инженера-проектировщика фотошаблонов.
Недостаточная степень параллелизации операций, несовершенство алгоритма передачи входных данных, необходимость дополнительных согласований.	• существенные временные задержки на разных стадиях маршрута; • сложности контроля жизненного цикла изделия.
Неэффективный подход к организации хранения и передачи информации.	• проблема обеспечения целостности и актуальности информации при возобновлении процесса подготовки УИ после прерывания; • сложность организации совместной работы специалистов, участвующих в процессе.

Квазипараллельный алгоритм сборки фотошаблона

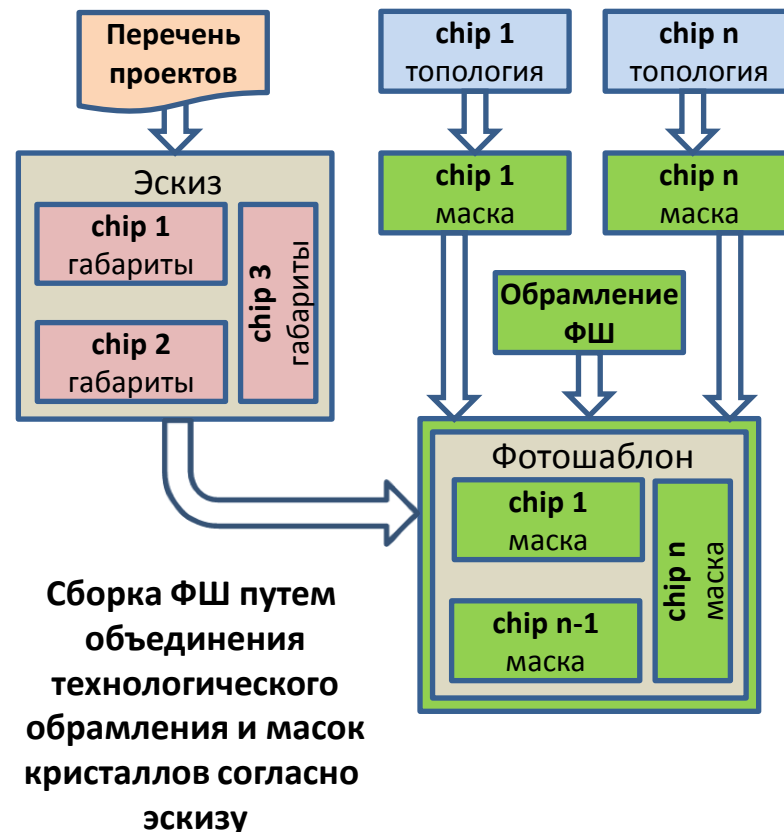
Старый подход



Квазипараллельный подход

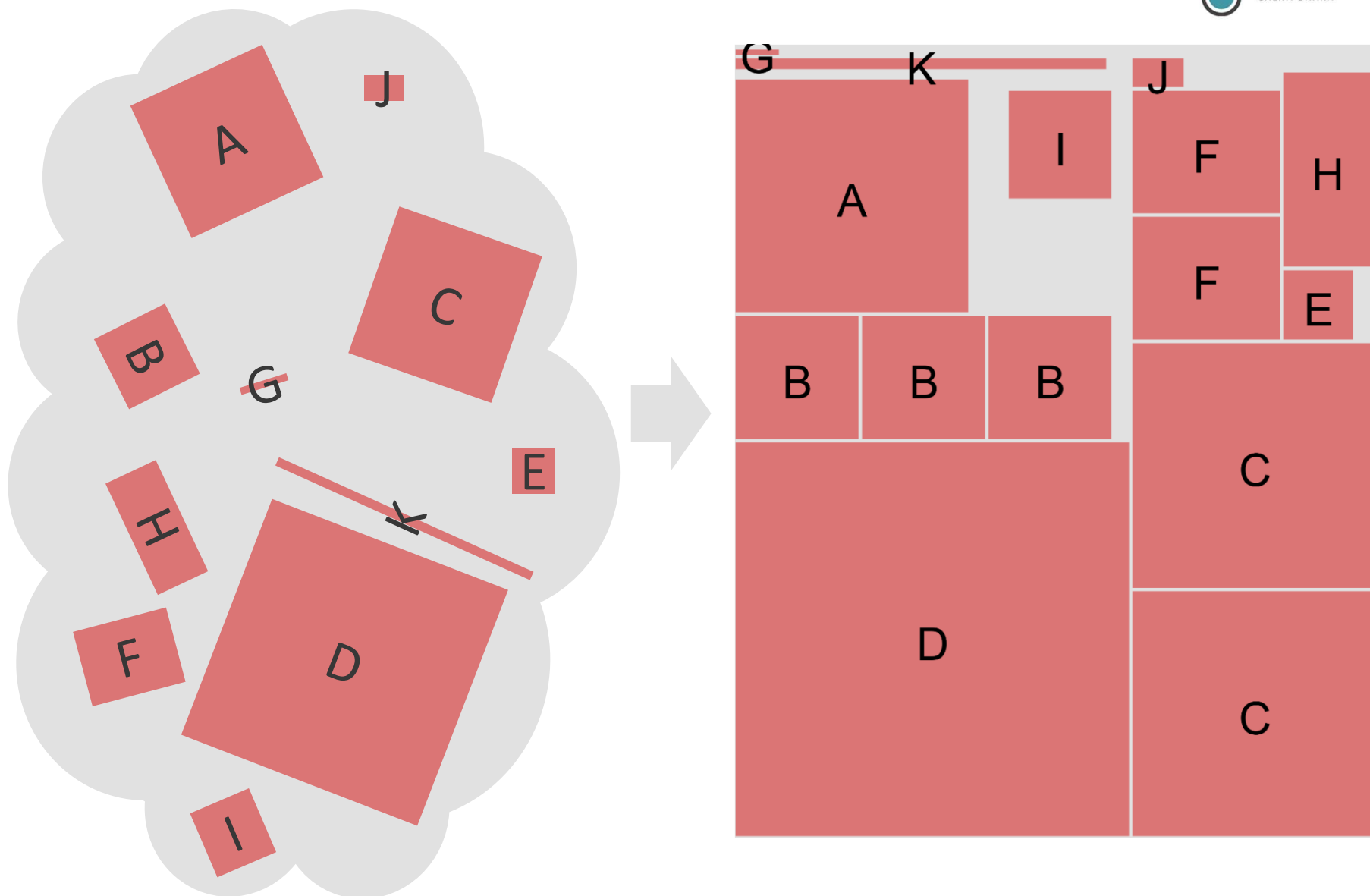
Сборка эскиза по габаритным размерам кристаллов из перечня проектов

Перевод топологий кристаллов в масочные слои



Алгоритм работы модуля входного контроля





Разработанный метод расстановки кристаллов

Программа
выпуска

Программа выпуска с
учетом выхода годных

Список кристаллов
в кадре

$\gamma = \exp(-D \cdot S_{кр})$
D – плотность дефектов
S_{кр} – площадь кристалла

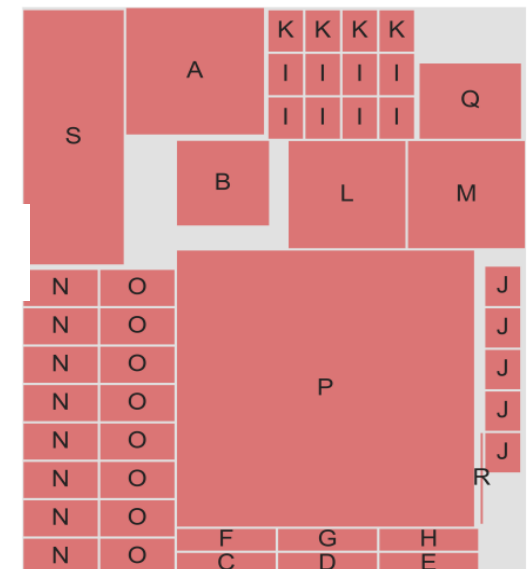
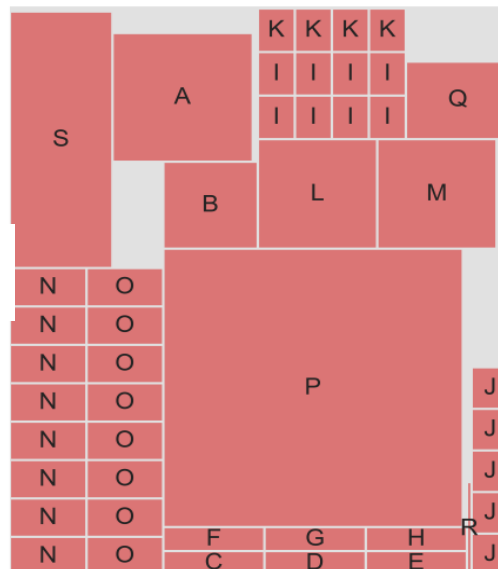
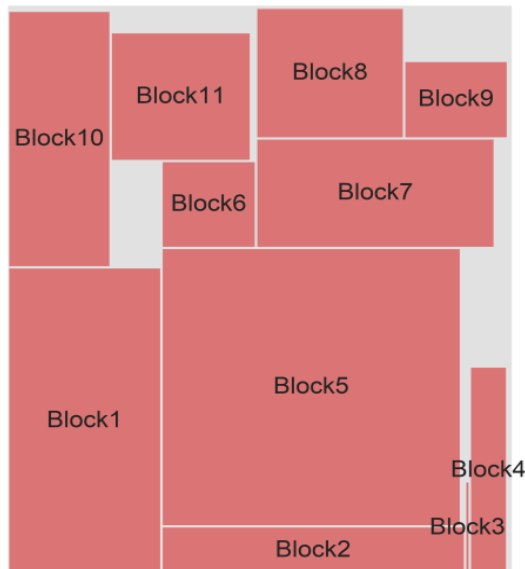
Блоки случайной
формы

Группы кристаллов
по габаритам

Случайное бинарное
дерево блоков

Эскиз

Оптимизированный
эскиз



Расстановка кристаллов, полученные результаты

№ Теста	Число наименований изделий	Число пластин		Нормированное число пластин	
		Инженер	Метод	Инженер	Метод
1	19	136	131	1	0,96
2	12	148	102	1	0,69
3	23	153	102	1	0,67
4	18	158	144	1	0,91

Экономия до 30% пластин

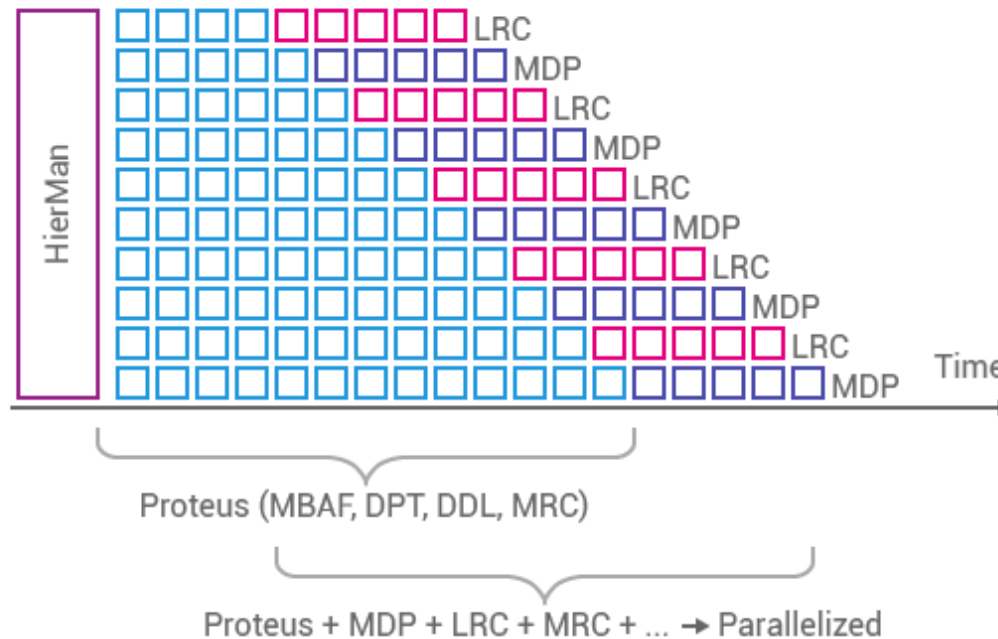
Сокращение цикла проектирования фотошаблонов на 10-30%

Организация хранения и передачи информации

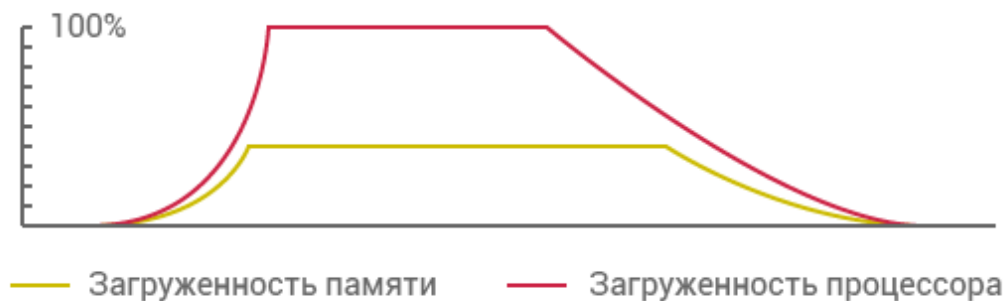
- База данных входного контроля предоставляется заказчику для проведения этапа входного контроля с использованием ресурсов сервера в автоматическом режиме.
- Основная база данных хранит актуальную информацию необходимую для производства изделия.
- После формирования УИ производится сохранение резервной копии базы данных в репозитории в автоматическом режиме.



Обработка данных при использовании конвейерного метода



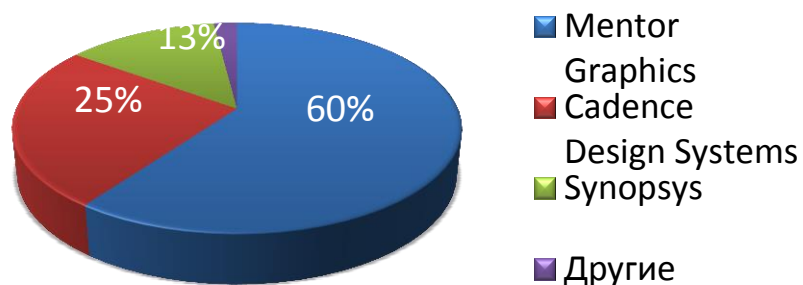
ВАЖНО!!!
использовать
современные
версии ПО



Технология конвейерной обработки данных позволяет сократить время обработки на 30-40%.

Обоснование выбора программной платформы для разработки комплекса

Востребованность средств
проектирования фабриками по
производству изделий
микроэлектроники



Программные платформы для
проектирования фотошаблонов

**Mentor
Graphics**
cadence
SYNOPSYS®

Calibre
MaskCompose
CATS

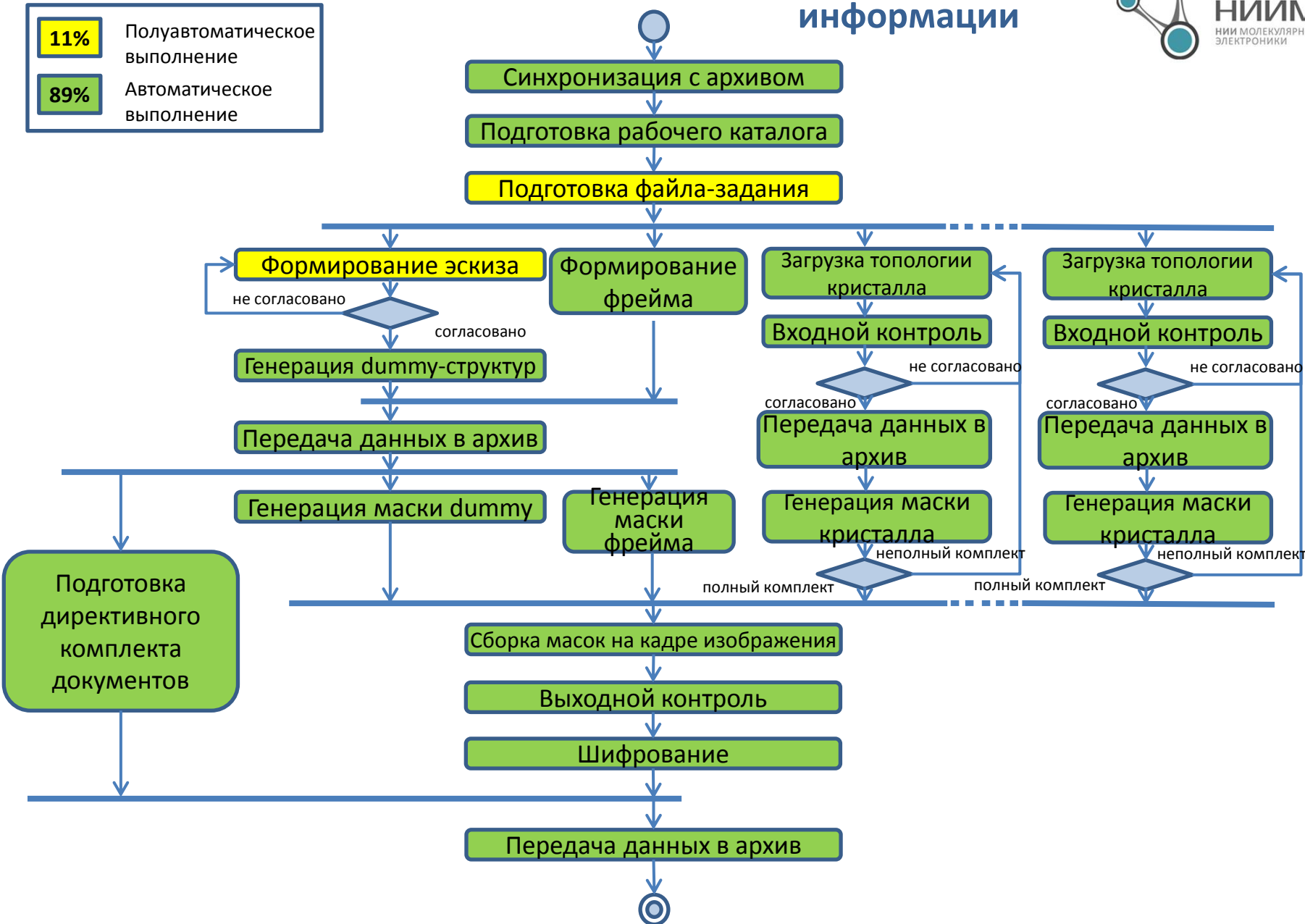
Балльная оценка эффективности программных платформ для проектирования фотошаблонов

	DRC (вес 8)	OPC (вес 10)	MRC (вес 5)	Компоновка ФШ (вес 5)	Фрагментация, конвертация (вес 4)	Стоимость лицензий (вес 10)	Расширяемость функционала (вес 8)	Внедрение (вес 7)	Итог
Calibre	10	10	7	4	7	5	10	8	449
Mask Compose	0	0	0	10	10	5	0	6	182
CATS	8	8	10	5	10	5	8	4	401

Модернизированный маршрут подготовки управляющей информации

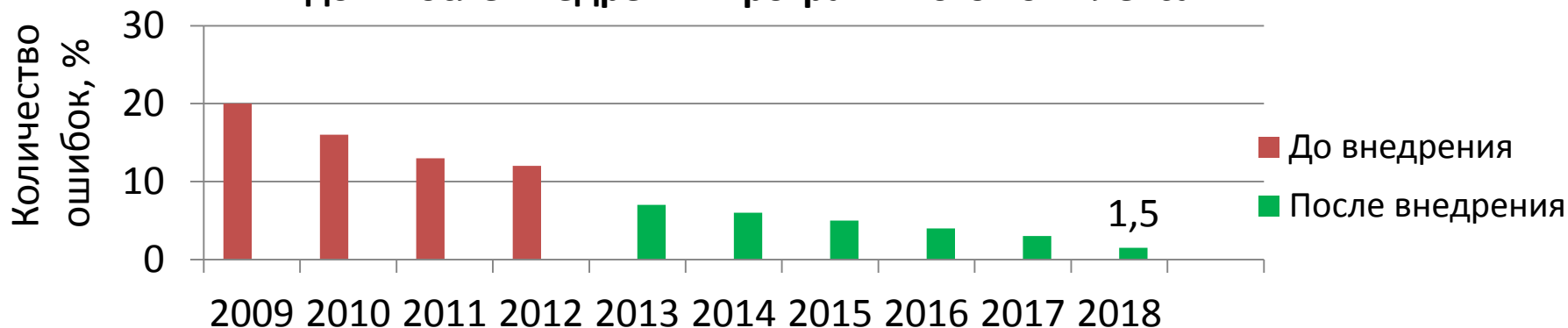
11% Полуавтоматическое выполнение

89% Автоматическое выполнение

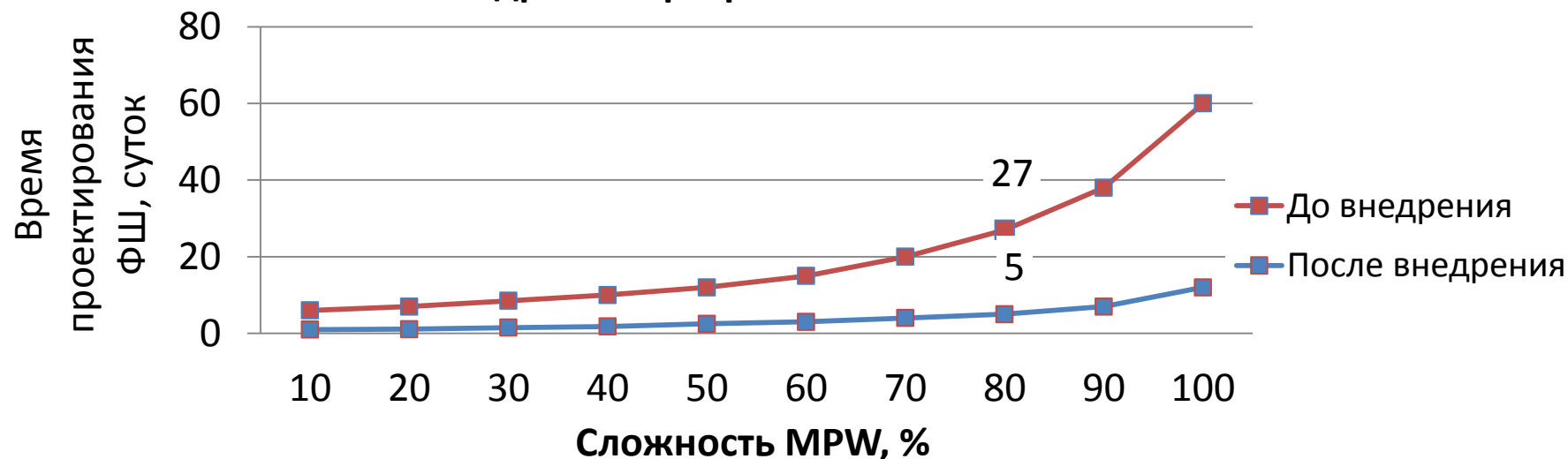


Результаты внедрения программного комплекса в АО «НИИМЭ»

Статистика возникновения ошибок при подготовке управляющей информации до и после внедрения программного комплекса



Зависимость временных затрат на подготовку УИ от сложности МРВ до и после внедрения программного комплекса



Дальнейшие планы по развитию программного комплекса



1. Разработка web-интерфейса и базы данных для обеспечения взаимодействия с заказчиком приёма информации и статуса цикла подготовки УИ.
2. Разработка и интеграция сервисов (демонов) для выполнения всех этапов маршрута в автоматическом режиме для обеспечения полной автоматизации.
3. Интеграция с системой электронного документооборота предприятия. Реализация системы оповещения.
4. Обеспечение прозрачности жизненного цикла изделия на этапе проектирования фотошаблонов.

План выступления

1. Основные этапы подготовки управляющей информации (УИ)
2. Программный комплекс и перспективные методы подготовки УИ
3. Пути сокращения времени подготовки УИ
4. Выводы

Пути сокращения времени подготовки управляющей информации и количества запусков на производстве (1)

1. Переход на современные версии программного обеспечения (ПО)

Требование: подготовка УИ возможна только на аттестованных версиях Calibre.

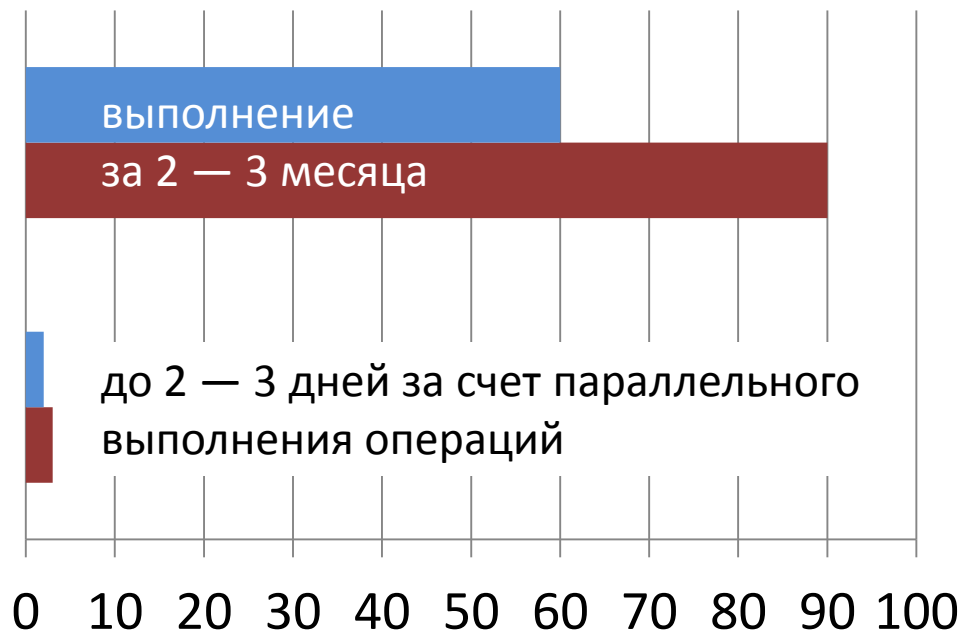
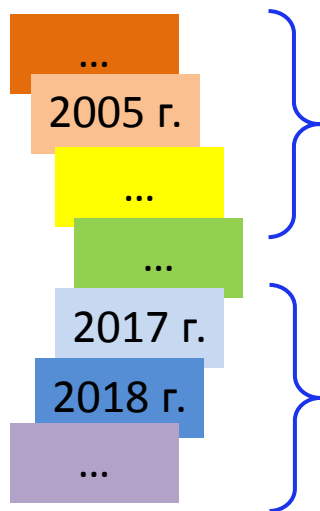
Проблема: аттестованы только старые (~ 2005 гг.) «медленные» версии Calibre.

Решение: аттестовать современные «быстрые» версии Calibre.

Наименование ПО

Версии ПО

Время выполнения расчета на ПО, дней



Пути сокращения времени подготовки управляющей информации и количества запусков на производстве (2)



2. Моделирование , использование эмпирических моделей.

Проблемы:

1. Низкая точность существующей фоторезистивной модели.
2. Большой итерационный цикл изготовления кристалла

Решение:

итерации только на этапе подготовки УИ за счет применения моделирования. Для этого нужна разработка новой **фоторезистивной модели**. Предлагается поставить **технологическую ОКР**, участники: сотрудники отдела проектирования ФШ, технологического и производственного отделов, программисты.

Подготовка УИ:
применение свежих
версий calibre

Производство
фотошаблонов

Запуск производства
пластин

- Сокращения времени подготовки УИ в **2-3 раза**;
- экономия \$ **(5 — 25) тыс.** за каждый незаказанный ФШ
- Экономия за каждый незаказанный запуск

Пути сокращения времени подготовки управляющей информации и количества запусков на производстве (3)

3. Увеличение мощности вычислительных серверов

Используемые мощности

серверов, шт. 5

процессоров, шт. 48

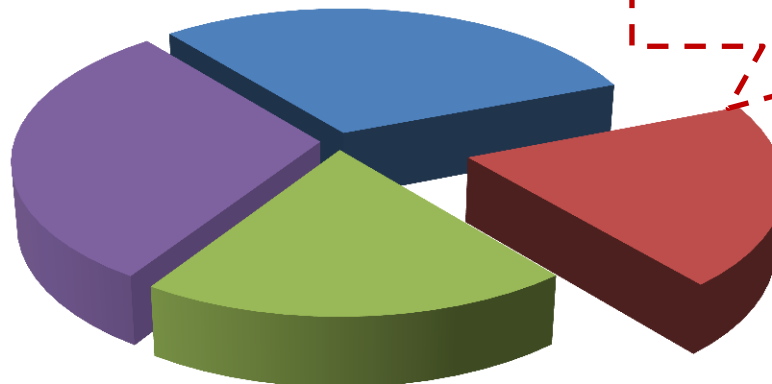
ОЗУ, ГБ 132 ... 256

загруженность, % 97... 100

Требуемые мощности с учетом новых* затрат на моделирование

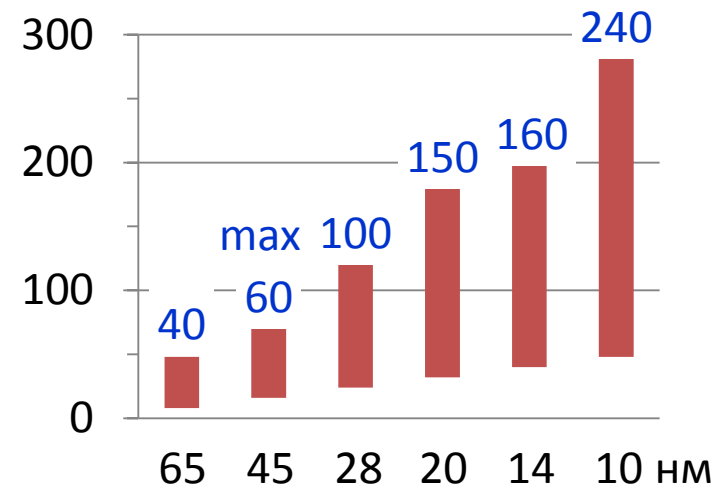
*моделирование коррекции
оптической близости

*моделирование
литографических
процессов



проверка на правила
проектирования
(DRC, design rule check)

Количество процессоров (min ... max)
для выполнения DRC в Calibre



другие операции стандартного маршрута проектирования УИ

План выступления

1. Основные этапы подготовки управляющей информации (УИ)
2. Программный комплекс и перспективные методы подготовки УИ
3. Пути сокращения времени подготовки УИ
4. Выводы

Выводы

1. Разработанный программный комплекс показывает увеличение в производительности и уменьшение количества ошибок в 5 — 6 раз.
2. Необходима разработка собственной модели для технологии 90 нм. Для этого предлагается открыть **технологическую ОКР**.
3. Для минимизации затрат по интенсивному развитию вычислительных мощностей необходимо использовать дополнительные мощности дата-центров.