

Модуль 6

ПРОВЕДЕНИЕ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ

Содержание модуля 6

6.1. Проведение операции разбиения элементов топологии кристалла на геометрические примитивы, соответствующие форматам технологических установок

6.2. Проведение верификации проекта на соответствие правилам изготовления

6.3. Конвертация данных в формат используемого лазерного генератора изображений, либо в формат установки, используемой сторонним изготовителем фотошаблонов

6.4. Аттестация фотошаблона

6.1. Проведение операции разбиения элементов топологии кристалла на геометрические примитивы, соответствующие форматам технологических установок

В процессе разработки и изготовления фотошаблонов используются данные в различных форматах: в программном обеспечении проектирования интегральных схем (в топологических редакторах) используются полигоны, в то время как утилиты экспонирования и контроля фотошаблонов используют прямоугольники или трапеции.

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

Процесс разбиения элементов топологии на геометрические примитивы — прямоугольники и трапеции называется **фрагментацией** (*Fracturing*), см Рисунок 6.1.



Рисунок 6.1 – Преобразование топологии в процессе подготовки данных для изготовления фотошаблонов

Процесс фрагментации данных идет построчно, сверху вниз (Рисунок 6.2).

Для фрагментации необходимо задавать параметры (разрешение, высоту линии и т.д.), строго соответствующие типу и модели используемого оборудования, т.к. на другом типе оборудования могут быть отличия на аппаратном уровне (шаг перемещения, размер фокусного пятна, объем памяти и др.).

В настоящее время процесс фрагментации можно выполнить при помощи пакетов Mentor Graphics Calibre и Synopsys CATS. Рассмотрим их подробнее.

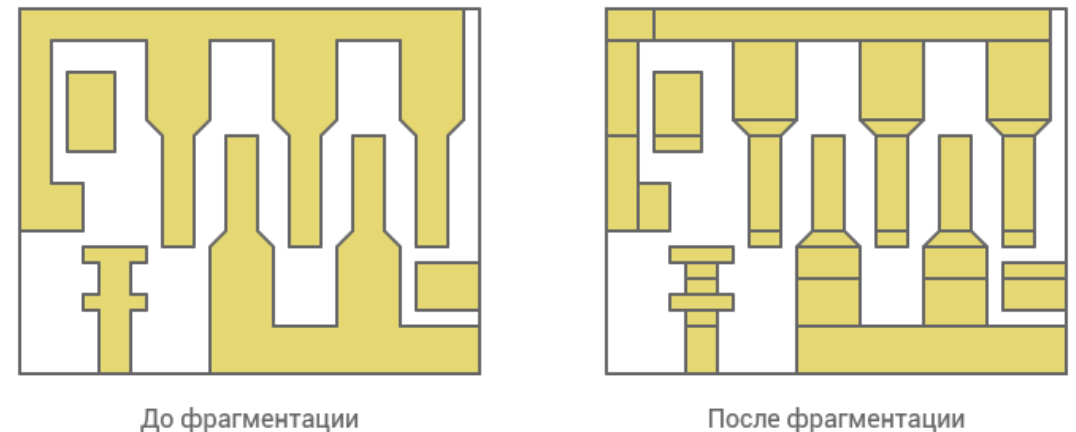


Рисунок 6.2 – Схематичное изображение процесса фрагментации топологического рисунка

Программный модуль *FRACTUREm* пакета *Mentor Graphics Calibre* предназначен для подготовки фрагментированной (fractured) топологии для фотошаблонов в формате MEBES.

Calibre FRACTUREm является частью программных средств подготовки данных для фотошаблонов.

Просмотр данных для фотошаблонов в формате MEBES, сгенерированных модулем *Calibre FRACTUREm*, показан на Рисунке 6.3.

Модуль *Calibre FRACTUREm* завершает цепочку инструментов, реализующую маршрут от физической верификации (DRC), через процессы RET, к подготовке данных для фотошаблонов (MDP). После оптической коррекции данные могут быть непосредственно в формат MEBES, без самостоятельного запуска других программ или создания больших промежуточных файлов.

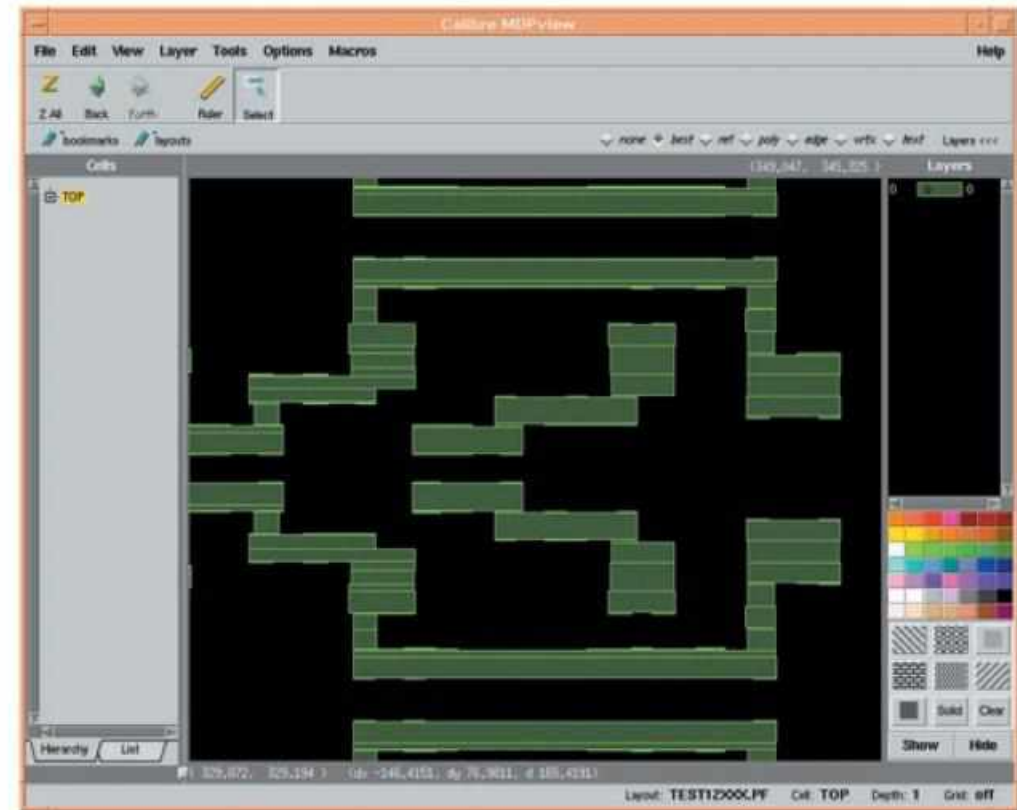


Рисунок 6.3 – Интерфейс модуля *FRACTUREm* пакета *Mentor Graphics Calibre*

В Synopsys CATS процесс фрагментации можно запускать как в графическом режиме (Рисунок 6.4), так и в фоновом (batch-mode) режиме.

Для запуска в фоновом режиме используются заранее подготовленные скрипты в формате .cinc (*Cats Include File*). Они содержат набор команд консоли CATS, используемых для подготовки данных.

Эти файлы можно как создавать вручную (в любом удобном текстовом редакторе), так и получать автоматически из CATS после задания всех нужных настроек.

При этом в скриптах можно использовать как встроенные команды САПР, так и инструкции командного интерпретатора. Для этого в скрипте перед такой командой вводится команда **dcl**.



Рисунок 6.4 – Просмотр результатов фрагментации (разбиения элементов топологии на геометрические примитивы) в пакете Synopsys CATS

Параметры фрагментации:

- **FORMAT:** Определение формата выходного файла. Выбор зависит от системы изготовления фотошаблонов.
- **UNIT:** Определяет единицы измерения для фрагментации и последующей обработки файла в графическом окне. Здесь можно выбрать следующие опции NM, UM, MICRON, MM, METER, MIL, INCH, A, RESOLUTION.
- **COMPACT:** Определяет, нужно ли использовать уплотнение для выходного файла. Уплотнение происходит построчно в процессе фрагментации файла. Опциональные выборы параметра- YES, NO, KEEP.

PRECUT: По умолчанию — YES. PRECUT не используется только в тех случаях, когда обрабатываются очень большие данные и встает вопрос острой нехватки памяти. Если включена опция PRECUT, то при введении входного файла, происходит разбиение и все фигуры остаются в памяти, тогда при любых изменениях в структуре рисунка, обрабатываются имеющиеся трапеции. Это дает не только большое преимущество в скорости последующих фрагментаций структур, но и требует некоторого пространства памяти для запоминания этих структур. Если встает вопрос нехватки памяти, то первое что стоит сделать, это увеличить параметры ALLOCATE, и только в крайнем случае стоит выключать функцию PRECUT. Так как при выключенном PRECUT, множество операций будут требовать каждый раз новой, полной фрагментации проекта.

- **PREGRID:** По умолчанию — YES. При включенном параметре PREGRID, перед фрагментацией, границы каждой фигуры будут округляться до размеров сетки фрагментации. Данную функцию нельзя использовать, если известно, что в проекте имеются библиотеки с шагом сетки отличным от сетки фрагментации. Для проверки наличия таких библиотек, можно использовать команду ONGRID.
- **JUSTIFY:** Определяет выравнивания входящего файла относительно имеющегося другого файла (Рисунок 6.5). Может принимать значение(в основном не используется), геометрическое выравнивание по центру, и любому из углов. А также может быть выровнено относительно своих геометрических углов и центра, и установлена позади или над другими файлами.

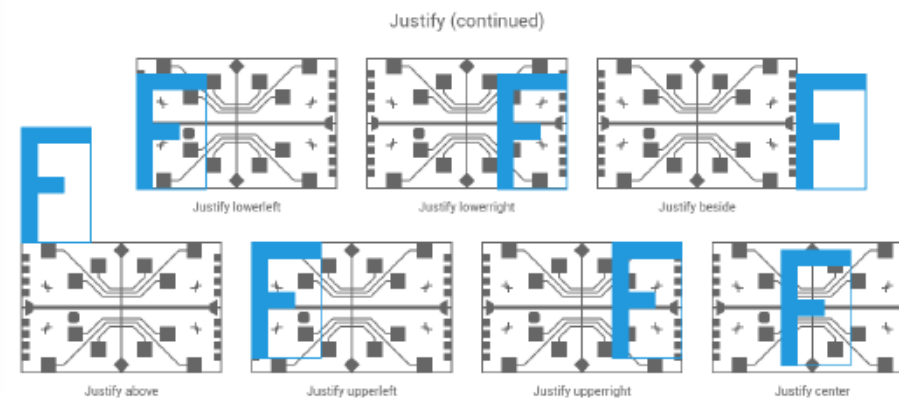


Рисунок. 6.5. Действие команды Justify

-
- **INCLUDE:** Служит для подключения файлов .cinc — файлов скриптов для CATS.
 - **FUNCTION:** Определяет логические операции для выполнения следующих функций. Значения параметра может принимать OR, AND, XOR, COMPARE.
 - **OVERLAPS:** Этот параметр определяет как будут обрабатываться перекрывающиеся фигуры — как одно целое или как две различные фигуры. Данный процесс занимает много времени, но по окончании процесса, работа с файлом становится быстрее, так как уменьшается количество фигур загружаемых в память и размеры самого выходного файла. Если известно, что входной файл не содержит перекрывающихся фигур или они уже были соединены ранее, то OVERLAPS устанавливается в YES.
 - **JOIN:** Это параметр связан с процессом OVERLAPS. Если две фигуры находятся одна над другой на расстоянии меньше допустимой ошибки, так, что их боковые грани находятся на одной линии, эти фигуры будут соединены в единую фигуру. При включенной функции JOIN, будут также соединяться и фигуры, боковые линии которых почти совпадают, а разница меньше расстояния допустимой ошибки. Данный параметр стоит отключать только в том случае, если известно, что в структуре имеются такие фигуры, которые находятся друг от друга на расстоянии меньше, чем это допустимо. Сливание фигур используется для объединения трапеций, которые образовались в результате разбиения файла.

-
- **WIDTH:** Определяет ширину блока в строке при фрагментации файла. Значение может быть установлено к примеру в микронах, либо установлено относительно разрешения, если задается в квадратных скобках.

RESOLUTION: Определяет размер пикселя (шаг сетки проектирования), который будет использоваться для отображения и обработки данных. Очень важно выбирать такое разрешение, при котором не происходит смещения координат, так как если точка не попадает в выбранный шаг сетки, ее координата округляется до соседнего узла сетки. Таким образом возможно искажение данных. (Использование: *resolution <значение>* или *res <значение>*)

ONGRID: Показывает, какое разрешение использовал дизайнер при проектировании топологии.

- **DATALAYERS:** Показывает, на каких слоях в данном файле есть информация.
- **TWOSIDED YES/NO:** Определяет, каким образом будут производиться смещения и изменения размеров. При включении данного режима изменение размеров и смещение будет применяться к каждой грани отдельно.

Пример:

twosided yes sizing 1 — к каждой грани фигуры добавляется по 1;

twosided no sizing 1 — к каждой грани фигуры добавляется по 0,5).

- **GRID:** Выводит в графическое окно координатную сетку с заданным шагом. Одновременно можно включить до трех координатных сеток сразу.
- **AREA:** Показывает, какой процент площади слоя заполнен данными.
- **EXTENT/EXTENT ALL:** Устанавливает границы слоя в соответствии с границами имеющейся в слое информации. В случае применения *Extent All* границы устанавливаются в соответствии с максимальными границами данных в файле.
- **SIZING:** Используется для изменения размеров фигур в слое\файле (растяжения\сжатия), Рисунок 6.6.
- **GROW:** Тоже, что *Sizing*, но служит для использования при обработке двух файлов после их слияния.

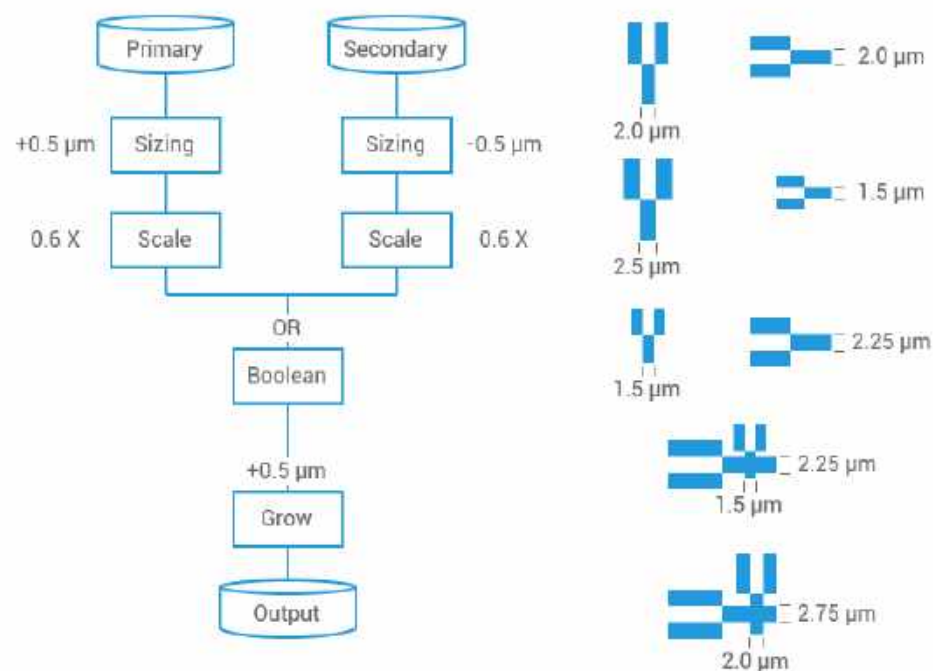


Рисунок 6.6 – Действие команд *Sizing* и *Grow*

Некоторые модели современного оборудования имеют свое программное обеспечение для процесса фрагментации.

С одной стороны, это является преимуществом, так как такое ПО в большей степени учитывает особенности конкретной модели технологического оборудования.

С другой стороны, оно чаще имеет более бедные функциональные возможности и реже обновляется разработчиками.

Пример листинга процедуры запуска фрагментации в Synopsys CATS:

```
% streamfile

First file name ($TED/trnscript_00,cflt)
OUTFILE01_08.cflt

What layer;datatype should this file be on? (8;0)

Next file name ($TED/OUTFILE01_09.cflt)

Output File Name ($TED/OUTFILE01.gds)

Output name $TED/OUTFILE01.gds
```


6.2. Проведение верификации проекта на соответствие правилам изготовления

Контроль выходных файлов осуществляется средствами Synopsys CATS MRC (Рисунок 6.7).

Настройку правил MRC можно осуществлять не только с помощью консольных команд, но и при помощи специального графического окна (Рисунок 6.8).

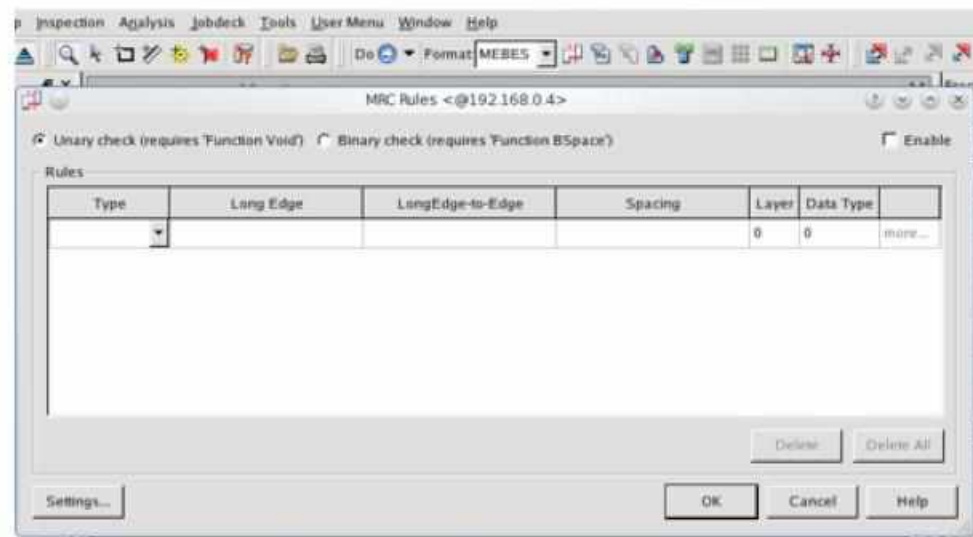


Рисунок 6.7 – Окно настройки параметров MRC в Synopsys CATS

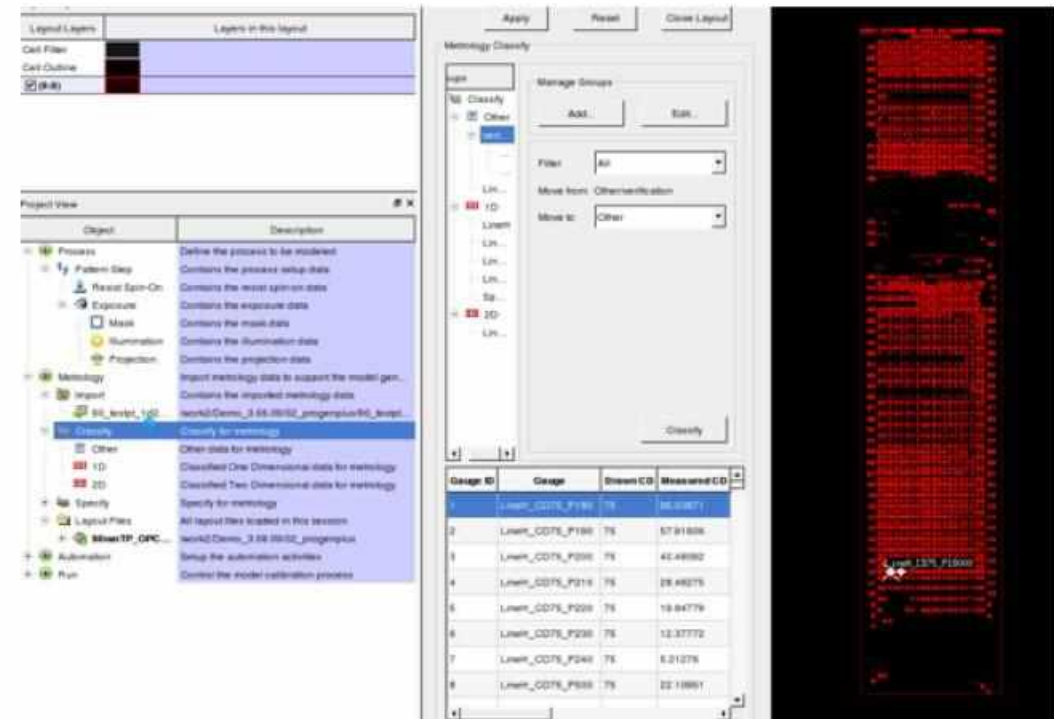


Рисунок 6.8 – Интерфейс ручного контроля размеров топологических элементов в Synopsys CATS MRC

В Synopsys CATS проверки правил изготовления делятся на две категории — *Unary* (проверка одного топологического слоя) и *Binary* (проверка двух топологических слоев).

При включении опции MRC «*output verbose true*» генерируется специальный текстовый файл со всеми обнаруженными в топологии ошибками.

После проведения проверки система сама откроет полученный файл и выведет на экран окно MRC Error Explorer, в котором будет представлена таблица нарушений (Рисунок 6.9). По нажатию на нарушение, программа покажет в графическом окне конкретное место, где обнаружена ошибка.

Возможные нарушения: прямоугольники, трапеции, линии с нулевой шириной и точки нулевой ширины, которые не смогут быть пропечатаны на данном техпроцессе. Линии и точки можно расширить до видимых прямоугольников и трапеций.

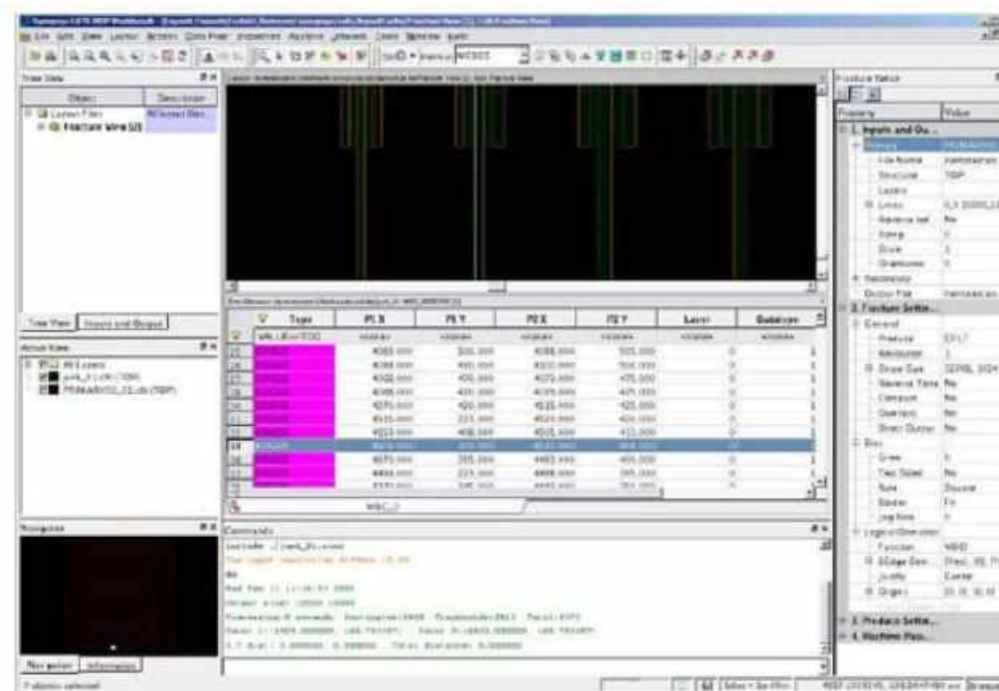


Рисунок 6.9 – Окно MRC Error Explorer

6.3. Конвертация данных в формат используемого лазерного генератора изображений, либо в формат установки, используемой сторонним изготовителем фотошаблонов

На заключительном этапе проектирования фотошаблона осуществляется перевод данных в управляющую информацию технологического оборудования: лазерного или электронно-лучевого генератора изображений, установок контроля критических размеров и аттестации на дефектность.

В процессе этого топологическая информация транслируется в бинарный формат для конкретной установки, например, из формата .cflr в формат *MEBES* (Рисунок 6.10).

Как правило, процедуры конвертации данных в управляющую информацию технологического оборудования содержат типовые шаги, поэтому хорошо поддаются автоматизации при помощи специальных управляющих файлов (скриптов) запуск можно осуществлять как вручную, из графического интерфейса, так и автоматически, запуском скриптового файла по окончании процедур подготовки данных.

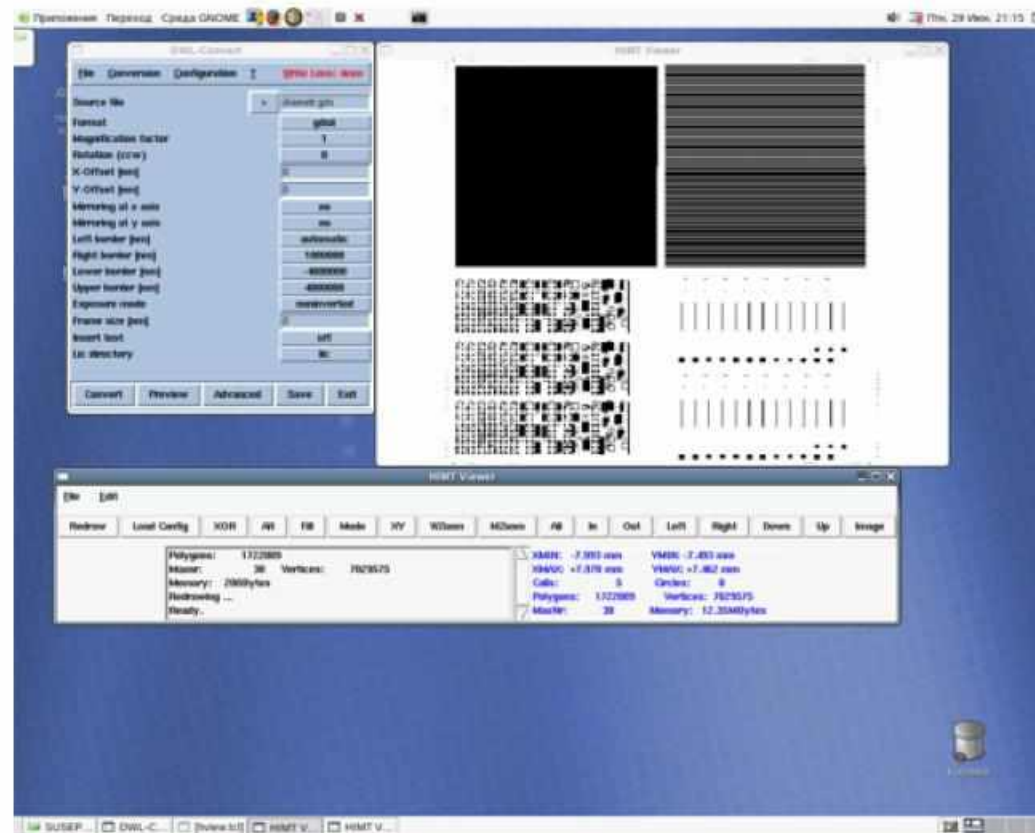


Рисунок 6.10 – Интерфейс программы конвертации топологии в формат для лазерной установки DWL200

Все скрипты имеют одинаковое строение, независимо от конкретного назначения.

В структуре скрипта выделяют несколько блоков. Рассмотрим их на примере скриптового файла для Synopsys CATS:

- Служебные комментарии – когда и как был создан скрипт (программа или создатель скрипта). Все строки комментариев в скриптах начинаются с символа «!».
- Блок определения формата выходного файла и генератора изображения, для которого будет производиться фрагментация топологии.
- Блок задания логической функции и служебных параметров. Задаются шаг сетки, размер страйпа MEBES-файла, включение/отключение сжатия, метод задания припусков (изменения ширины полигонов исходной топологии), включение/отключение изменения тональности исходной топологии.
- Блок определения исходной топологии. Указывается имя входного файла (и путь к нему, если файл находится не в директории скрипта), топологический слой для обработки, границы обработки данных, головная структура *GDSII*, коэффициент масштабирования, величина припуска, а также имя выходного файла. Этот блок может повторяться несколько раз (если обрабатываются несколько слоев одного файла или разные файлы с одинаковыми настройками). После ввода каждого файла (топологического слоя) вводится команда DO.
- Команда DO. Выделена в отдельный блок, так как эта команда занимает особое место среди команд CATS. Она запускает процесс фрагментации топологии на примитивы в соответствии с заданными выше настройками и, по окончании этого процесса, производит запись на диск .cflt или .cref-файла.

Пример управляющего файла конвертации для САПР Synopsys CATS:

```
! CATS C-2009.03-SP6 amd64 Linux 2.6.9-67.ELsmp
PRODUCTION 2010/05/21 23:39:35 219715
!Wed Dec 8 02:05:17 2010
Clear
Pregrid No
Format FLAT
Function OR
Compact NO
Reverse NO PRI
Resolution 0.1
Height [327680]
Width [327680]
Input /work/_Input/***_mask.gds
Structure ***_MASK
Layers 3;0
Limits (INPUT -52000,-52000) (INPUT 52000,52000)
Switch
Input /work/_Input/***_mask.gds
Structure GSI_2010_MASK
Layers 33;-
Limits (INPUT -63500,-63500) (INPUT 63500,63500)
Switch
Output /work/_Output/***_03_new.cflt
```

После завершения производственного цикла заказчик получает комплект фотошаблонов для изготовления СБИС на кремниевой подложке (Рисунок 6.11-6.12).

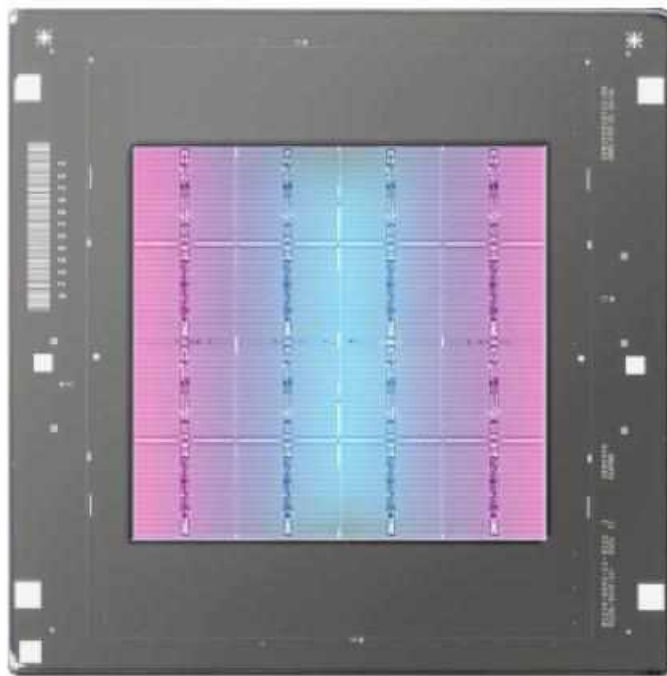


Рисунок 6.11 – Изготовленный фотошаблон со всеми технологическими метками

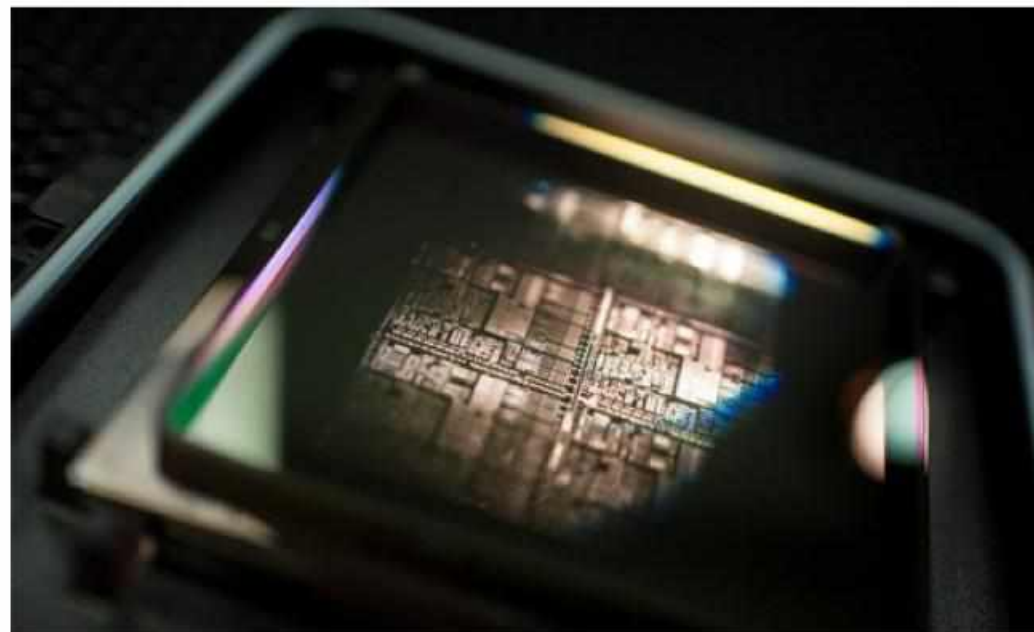


Рисунок 6.12 – Изготовленный фотошаблон со всеми технологическими метками

6.4. Аттестация фотошаблона

Заключительной операцией перед передачей комплекта фотошаблонов на изготовление кремниевой пластины должен являться выходной контроль – **аттестация фотошаблона**.

Качество фотошаблона непосредственно влияет на технико-экономические показатели производства СБИС, так как дефекты фотошаблона переносятся на структуры СБИС, и в итоге снижают процент выхода годных структур СБИС.

Основным критерием при изготовлении фотошаблона является качество рабочего поля, т.е. отсутствие недопустимых дефектов, включая полное соответствие топологического рисунка фотошаблона проектным данным, которые могут быть прорисованы на кремниевой пластине при переносе литографом-степпером изображения топологии на шаблоне.

Процесс аттестации комплекта фотошаблонов включает в себя множество различных измерений, таких как: измерения критических размеров, измерение рассовмещения фотошаблонов в наборе, операции по определению и классификации дефектов на фотошаблоне, сравнение исходных и проектных топологических данных с реализованными на шаблоне и др.

На точность воспроизведения топологии влияет размер пикселя (размер пятна луча генератора изображений) при записи рисунка, чем он меньше, тем выше резкость края изображения.

Дизайнер проекта должен заложить размер элемента топологии кратным размеру адреса – размеру пикселя.

Для измерения критических размеров необходимо указать количество и места расположения контролируемых элементов – эти данные поступают от дизайнера проекта. Если таких данных не поступает, то набор специальных элементов помещается в заранее определенные места согласно внутренним регламентам.

Для разных технологических слоев требования по точности разные. Для критических слоев, таких как слой затворов, контактных окон, металлизации, размеры допустимых дефектов приблизительно на порядок меньше по сравнению с некритическими, например для слоя пассивации.

Установки контроля критических размеров должны обеспечивать контроль с прецизионностью лучше 1–3% от критического размера. При контроле критических размеров элементов наиболее важны воспроизводимость измерений и минимизация аддитивной составляющей систематической ошибки (постоянное смещение размера).

Часто используемые фигуры для измерения – буквы L, F, Y представленные небольшим числом линий. Ширина линий служит для определения заданного размера. Измерения могут проходить либо в X, либо в Y направлении, в некоторых случаях измерения проходят в обоих направлениях.

Длина волны излучения, тип, апертура и степень когерентности освещения устанавливаются аналогично этим же параметрам фотолитографической установки.

Благодаря такой конструкции условия взаимодействия фотошаблона и рабочего излучения в обеих установках одинаковы, что определяет получение идентичных изображений, отличающихся только масштабом.

При проведении таких измерений для Reticle, можно использовать метки совмещения установленные для степпера. Измеряется расположение этих меток, затем оно сравнивается с расположением в файле с данными.

Контроль соответствия топологического рисунка готового фотошаблона проектным данным также является одной из важнейших задач.

Разработчик проекта всегда стоит перед проблемой – не допустить ошибку в топологии, которая может привести к катастрофическому браку.

При этом если спроектированную топологию можно проверить по специальным программам, то проверка фотошаблонов имеет ограниченное количество вариантов действий.

К дефектам фотошаблона относят: проколы, вырывы маскирующего слоя царапины, а также погрешности размеров рисунка маски (Рисунок 6.13).

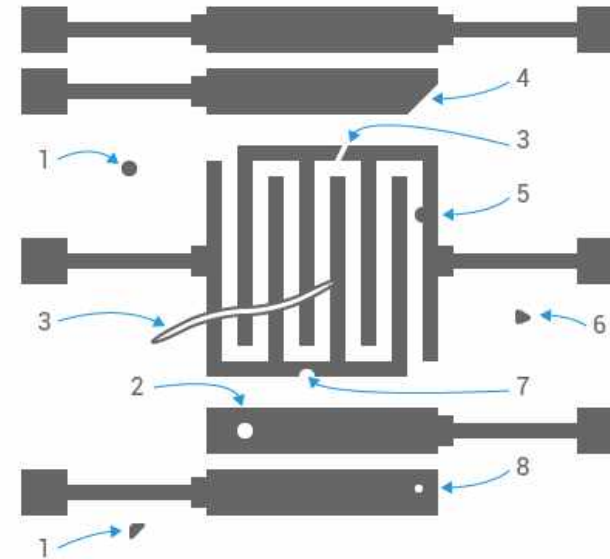


Рисунок 6.13 – Дефекты фотошаблона: 1 – загрязнение; 2 – большой прокол;

3 – царапина; 4 – низкая адгезия; 5 – выступ; 6 – остаток маскирующего покрытия; 7 – вырыв (подтрав); 8 – прокол

Применяемые методы определения соответствия топологического рисунка проектным данным и поиска дефектов на фотошаблоне:

- *Die to Die* – одинаковые кристаллы на фотошаблоне сравниваются друг с другом - сначала один чип сравнивают с данными использованными для изготовления, затем этот чип используется как эталон для сравнения с остальными. Несовпадения классифицируются как дефект. Метод *Die to Die* часто используется для фотошаблонов с мультиплицированной топологией. Преимущества: быстрый метод, хорошо работает со сложной геометрией.
- Метод *Die to Database* производится путем сравнения оптического изображения на фотошаблоне с проектными данными (Рисунок 6.14). Все несовпадения классифицируются как дефект. Данный способ существенно медленнее предыдущего, но позволяет обнаруживать дефекты всех типов, а также пригоден для контроля любых топологий на фотошаблонах, что делает его универсальным.

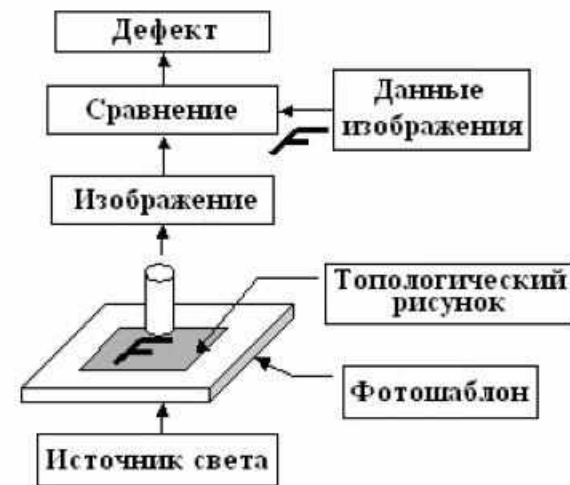


Рисунок 6.14 – Схема проверки фотошаблона на наличие дефектов методом *Die to Database*

-
- Метод визуального сканирования рабочего поля фотошаблона под микроскопом при увеличении не меньше 200, позволяет обнаружить дефекты, но не позволяет проверить соответствие топологического рисунка фотошаблона проектным данным. Визуальное сканирование не требует дорогостоящих программно-аппаратных средств, но имеет низкую достоверность контроля, влияние человеческого фактора и очень высокую трудоемкость. При этом чтобы повысить достоверность контроля необходимо осуществлять многоступенчатый контроль.

На настоящий момент самым надежным и достоверным методом аттестации фотошаблона проектным данным является метод контроля топологии на фотошаблона при помощи сравнения топологического рисунка фотошаблона с проектными данными на автоматической установке контроля топологии и поиска дефектов (*Die to Database*).

Проведение мероприятий по аттестации позволяет гарантировать качество изготовления фотошаблона. Учитывая высокую стоимость комплекта фотошаблонов, задача их аттестации является актуальной и необходимой в полном производственном цикле изготовления СБИС.