

## Особенности внесения изменений при перепроизводстве ИС в технологических процессах с нормами 28 и 16 нм

Антон Викторович Колотов

[Anton.V.Kolotov@mcst.ru](mailto:Anton.V.Kolotov@mcst.ru)

АО "МЦСТ". 117105, г. Москва, ул. Нагатинская, д. 1, стр.23

Тел.: +7(495)363-96-65

**Аннотация** – Разработана методика внесения изменений в схему при повторном выпуске для цифровых ИС, выполненных по технологиям 28нм и 16нм, с использованием перестраиваемых массивов вентиляей, при использовании которой не требуется переделка масок только слоёв металлов (Back end of line).

**Ключевые слова** – Внесение конструктивных изменений, массив вентиляей

### Usage of gate array cells for freeze silicon ECO in 28nm and 16nm technology nodes

Anton Viktorovich Kolotov

MCST JSC. 117105, Moscow, Nagatinskaya Street, 1 bld. 23

[mcst@mcst.ru](mailto:mcst@mcst.ru), Tel.: +7(495)363-96-65

**Abstract** – The method of usage of gate array cells for freeze silicon ECO in 28nm and 16 nm technology nodes was developed. This method allow to make freeze silicon ECO without remake non metal layers masks (Back end of line).

**Keywords** – Engineering change order, gate array, freeze silicon ECO, FEOL, BEOL

### Внесение изменений при перевыпуске ИС

При повторном выпуске ИС фабрикой заложена возможность внесения правок в схему без перевыпуска полного комплекта масок, обычно исправление можно сделать путём изменения только масок металлических слоёв (Back end of line), оставив неизменными самые дорогие маски — маски нижних слоёв (Front end of line). Такой метод внесения изменений называется «Внесение конструктивных изменений с заморозкой слоёв кремния» (Freeze silicon ECO или post silicon ECO).

Для внесения таких изменений существует два пути:

- Размещение запасных ячеек (spare cells) — с определённой плотностью по всем блокам проекта размещается набор стандартных ячеек, входы которых присоединятся к шинам земли. Этот набор подбирается так, чтобы обеспечить внесение большинства возможных изменений. При необходимости входы этих ячеек отсоединяются от земли, и затем их контакты подключаются к необходимым проводам. В большинстве случаев это осуществляется при помощи стандартных средств САПР.

- Использование массивов вентиляей (Gate Array cells) — в этом методе вместо стандартных логических элементов размещаются специальные ячейки, представляющие собой массивы вентиляей, которые при необходимости изменением только в слоях металлов (как правило M1 и M2) и металлизированных переходов (VIA12) можно преобразовать в одну или несколько логических ячеек с функциями, аналогичными стандартным, однако уступающими стандартным по временным параметрам и несколько большего размера.

Запасные ячейки использовались в наших проектах по технологиям 130нм, 90нм и 65нм. Сейчас используются только массивы вентиляей, т. к. они обладают большей гибкостью и позволяют править большее количество ошибок.

### Особенности внесения изменений в технологиях ниже 28 нм

В технологиях 28 нм и ниже в связи с коррекцией эффекта оптической близости при расчёте маски слоя на фабрике учитываются соседние слои. Таким образом, при внесении изменений в один из слоёв может возникнуть ситуация, при которой может понадобится перевыпустить маски соседних слоёв, несмотря на то, что изменений в этот слой внесено не было.

В частности это важно для нижнего слоя металла (M1), т. к. в ряде ситуаций может возникнуть необходимость переделывать маску контактного слоя СО (Обеспечивающего контакт M1 с нижними слоями).

Проверка того, какие маски должны быть переделаны производится с помощью специального набора правил: DRC RTO (Design Rule Check ReTape-Out).

Полигоны в слое СО представляют собой квадраты одного размера. Необходимость переделки маски СО может возникнуть в ситуации, когда в определённом радиусе от изменения слоя M1 оказывается полигон в слое СО. Анализируя правила DRC RTO было выделено три ситуации взаимного расположения полигонов M1 и СО, влияющие на замену маски:

1. Полигон слоя M1 покрывает полигон СО с существенным запасом со всех сторон.
2. Полигон слоя M1 покрывает полигон СО без запаса хотя бы с одной из сторон.
3. Полигон слоя M1 покрывает полигон СО с небольшим запасом хотя бы с одной из сторон.

Эти ситуации проиллюстрированы на рисунке 1.

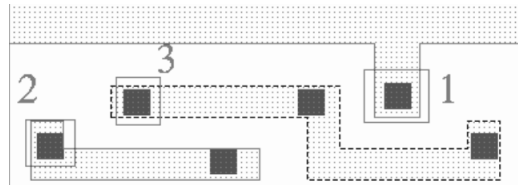


Рисунок 1: Возможные взаимные расположения полигонов в слоях M1 и CO

Если в определённом радиусе от изменяемого полигона в M1 оказывается полигоны в слое CO в положении, аналогичном ситуациям 2 или 3, то маску CO необходимо перевыпускать.

Внесение логических правок производится в несколько этапов:

1. Изменение логики схемы по изменённому RTL.
2. Размещение новых элементов (при помощи перестройки массивов вентиляей).
3. Исправление подключений к сетке земли - питания.
4. Разводка исправлений.

Таким образом для сохранения маски слоя CO необходимо обеспечить выполнение правил DRC RTO на каждом из этих этапов. Для внесения исправлений используется САПР Synopsys IC Compiler vJ-2014.06. Изменение слоя M1 происходит на этапах со второго по четвёртый. На втором этапе производится перестройка массивов вентиляей в необходимые логические элементы при помощи изменения полигонов в слоях M1 и M2. Необходимо обеспечить невозможность появления поддающихся нарушениям полигонов слоя CO в определённом радиусе от массивов вентиляей. Этого можно достичь окружив каждый из массивов вентиляей элементами, в которых не могут появиться нарушения. Как оказалось, среди стандартных элементов это могут быть только элементы развязывающих конденсаторов или заполнителей (элементов без полигонов в M1 и CO, заполняющих пустое пространство). Так как, регулярно расположенные развязывающие конденсаторы выполняют роль защиты от помех в шинах земли - питания, то было выбрано окружение массивов вентиляей ими (рисунок 2).

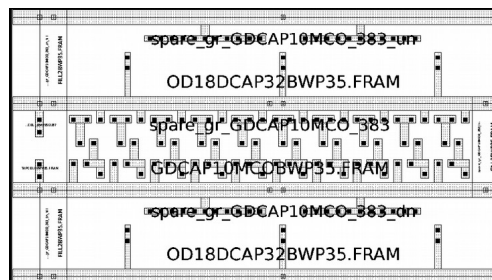


Рисунок 2: Массив вентиляей, окружённый развязывающими конденсаторами

Для ограничения изменения слоя M1 на третьем и четвёртом этапах маршрута внесения изменений в IC Compiler есть два варианта: первый вариант это полный запрет на изменение и проведение полигонов в M1, второй это такой же запрет, за исключением подключений к контактам логических элементов. Второй вариант позволяет трассировщику подключаться к контактам элементов, расположенным в M1 при помощи трёхслойных структур металлизированных переходов (VIA12 — переход из слоя M1 в слой M2). Такая структура состоит из полигонов в слоях M1, VIA12, M2. При подключении к контактам во втором варианте трассировщик часто выходит за границы контактов. Таким образом, нам подходит только вариант полного запрета на изменение M1. При этом трассировщик не сможет изменить подключение какого-либо провода к контакту стандартного элемента в слое M1.

Для собственно разрешения проблемы трассировки при таких ограничениях было предложено добавить несколько дополнительных стадий подготовки проекта к изменениям перед стадиями основного маршрута внесения изменений:

1. Сравнение логики с выгрузкой всех изменений, которые будут внесены (в формате управляющих команд САПР на языке Tcl).
2. Покомандный разбор полученного файла с целью вычленения команд, которые могут вызвать нарушения DRC RTO и формирование командного файла для предварительную обработку проекта, обеспечивающей разводку внесённых изменений, не вызывающую нарушений DRC RTO.
3. Применение полученного командного файла предварительной обработки проекта.

При таком подходе можно создать такие процедуры предварительной обработки проекта, которые обеспечат верное выполнение разводки.

### Анализ возможных ситуаций при внесении изменений

Перед тем, как рассматривать процедуры обработки проекта следует рассмотреть какую реакцию при сравнении логики порождают различные изменения RTL:

- Отсоединение провода от контакта логического элемента: `disconnect_net {net_name} {cell/pin_name}`
- Удаление провода. Это действие вызывает последовательность команд, состоящую из последовательного отсоединения провода от всех контактов, к которым он был подключён, а затем удаления провода:

```
disconnect_net {net_name} {cell_1/pin_name_1}
```

-----

```
disconnect_net {net_name} {cell_X/pin_name_Y}
```

```
remove_net {net_name}
```

- Создание нового провода в RTL: `create_net {net_name}`
- Подключение провода к контакту: `connect_net {net_name} {test_cell/pin_name}`

Другие операции, которые можно проводить над проводами будут раскладываться на несколько предыдущих, например: переименование провода в RTL вызывает реакцию в виде реакции на удаление провода с начальным именем, затем создаётся провод с новым именем, затем он подключается к всем контактам, к которым был подключён старый провод.

Операции, которые могут быть проведены производят с логическими ячейками:

- Создания новой ячейки: `create_cell - freeze_silicon {cell_name} {reference_name}`
- Удаление ячейки: `remove_cell - freeze_silicon {cell_name}`
- Замена ячейки на аналогичную по функциям ECO ячейки с сохранением того же имени и подключений (Переназначение типа ячейки):  
`change_link - freeze_silicon {cell_name} {new_reference_name}`

### Обработка ситуаций

После выяснений всех возможных команд, которые могут быть получены при внесении изменений было выделено несколько ситуаций (команд или групп команд), требующих предварительной обработки:

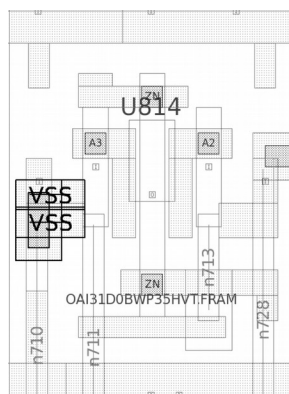
- Отсоединение провода от контакта логического элемента - требует обработки так как если этот контакт находится в M1, то при наложенных ограничениях при разводке он не может быть переподключен. В данном случае речь идёт о входных контактах (выходные расположены только в M2), которые после изменений остались неподключены.
- Отсоединение провода от контакта и присоединение к нему другого провода - требует обработки аналогично предыдущему пункту.
- Удаление ячейки - требует обработки так как. При данном действии входные контакты будут переподключены к земле, а провода, присоединённые ко всем контактам будут отключены, следовательно при этом действии возникают проблемы, аналогичные случаю отключения провода.
- Переназначение типа ячейки - фактически в режиме `freeze_silicon` при осуществлении данной команды происходит удаление (так же в режиме `freeze_silicon`) старой ячейки и следовательно такая ситуация также должна быть обработана.

Удаление провода не требует дополнительной обработки так как при удалении провода, как уже было отмечено, создаются команды отключения, которых будет достаточно для предотвращения удаления металлов в M1.

Основным действием, которое нужно произвести для избежания проблем с разводкой при переподключении контакта от одного провода к другому, является выделение всех структур, имеющих полигоны в замороженных слоях (M1 и VIA12), принадлежащие старому проводу и переназначить их принадлежность новому. В случае отключения провода от входного контакта в M1 в качестве провода, который назначается владельцем этих структур назначается провод земли (VSS), как показано на рисунке 3. После этого трассировщик может отключить старый провод от контакта и подключить контакт к новому месту.

Также для подключения к ячейкам созданным из массивов вентиляей, у которых входные контакты не вынесены в M2 необходимо разместить переходы из M1 в M2. Для этого в библиотеке стандартных элементов во все ячейки, получаемые из массивов вентиляей, входные контакты которых расположены в M1 были добавлены VIA12 структуры.

Единственной ситуацией, которая требует контроля разработчика и не может быть исправлена в автоматическом режиме, это отключение или переподключение проводов, все полигоны которых расположены в M1, с целью избежания данных ситуаций при перепроизводстве ИС на этапе разработки можно запретить разводку в слое M1.



*Рисунок 3: Пере назначение структур VIA12 и M1 провода n710 проводу VSS*

Данная методика была проверена на проекте по технологии 28 нм и позволила внести исправления в некоторые блоки проекта переделав только ограниченного количества масок металлов.

Особенностью применения данной методики в технологии 16 нм является существенное уменьшение радиуса от изменяемого полигона в M1, при нахождении в котором плохо окружённый полигон в слое CO вызывает необходимость переделки маски слоя CO. В связи с этим не требуется дополнительное окружение массивов вентилях другими элементами. Несмотря на это, дополнительные действия для обеспечения возможности разводки с заблокированным слоем M1 всё равно необходимы.

#### **Результаты и выводы:**

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

- исследованы проблемы методики внесения изменений при перепроизводстве ИС в технологиях 28 нм и ниже.
- предложена методика использования массивов вентилях для внесения исправлений.
- предложена методика предварительной обработки проекта для обеспечения переразводки сигналов не вызывая нарушения норм DRC RTO.
- предложенная методика применена на реальном проекте по технологии 28нм, показав свою эффективность.
- даны рекомендации для адаптирования данной методики к применению в технологии 16 нм.

#### **Список литературы:**

1. Kuan-Hsien Ho, Yen-Pin Chen, Jia-Wei Fang ECO Timing Optimization Using Spare Cells and Technology Remapping// IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems ( Volume: 29, Issue: 5, May 2010 ) pp. 697 — 710 DOI: 10.1109/TCAD.2010.2043573
2. Tilak Wadhwa, Gaurav Gupta (NXP Semiconductor, India) Metal ECO implementation using Mask Programmable cells // Design&Resuse2015 // URL: <https://www.design-reuse.com/articles/38868/metal-eco-implementation-using-mask-programmable-cells.html>