

Алгоритм преобразования топологии субмикронных СБИС 77-30569/249897

11, ноябрь 2011

авторы: Аверьянихин А. Е., Зинченко Л. А.

УДК. 21474 05

МГТУ им. Н. Э. Баумана

info@iu4.bmstu.ru

Введение

В настоящее время современная полупроводниковая промышленность развивается в сторону уменьшения топологических размеров элементов, последовательно осваивая технологические нормы изготовления элементов с критическими размерами 90,65,45 нм [1]. Тенденция размещения большего количества элементов на единице площади отвечает стремлениям производителей к микроминиатюаризации элементной базы электронной промышленности и созданию более сложных вычислительных устройств.

Однако с уменьшением технологических норм производства элементов топологии связаны определенные проблемы. Среди них и проблема эффективного теплоотвода, а так же возрастающая сложность производства элементной базы, связанная с негативным влиянием фундаментальных ограничений [2]. Примером таких ограничений может служить реализация эффекта оптической близости контуров элементов топологии, что приводит к их искажению при экспонировании из-за негативного влияния эффекта взаимной дифракции.

Таким образом, уменьшение критических размеров топологии СБИС приводит к все возрастающему влиянию фундаментального противоречия [4] между стремлением производителей к микроминиатюаризации элементной базы, и возрастающей сложностью производства элементов, отвечающим современным требованиям. По мнению ряда крупнейших аналитиков, предел классической КМОП технологии будет достигнут при приближении проектных норм к отметке 18 нм и менее. В этих условиях актуальной становится задача усовершенствования способов производства элементной базы для обеспечения возможности топологического воспроизводства элементной базы нового поколения [5].

Среди таких методов можно отметить:

- Изменение характеристик облучающего воздействия в процессе проекционной фотолитографии, например уменьшение длины волны или переход в область глубокого ультрафиолета;
- Изменение оптических характеристик среды экспонирования, например иммерсионная фотолитография;
- Математическое моделирование сложных фотошаблонов, которые при экспонировании в конкретных условиях реализации оптических эффектов близости дадут необходимый отпечаток элемента топологии, например фазосдвигающие фотошаблоны.
- Разделение слоя топологии с высокой плотностью расположения элементов на два слоя с меньшей плотностью расположения элементов и их последовательное экспонирование – технология двойного фотошаблона.

В работах [3, 5] описываются теоретические вопросы реализации декомпозиции топологии субмикронных СБИС для технологии двойного фотошаблона. Рассмотрим более подробно аспекты реализации алгоритмов трансформации топологии и представления топологической информации.

1 Постановка задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного фотошаблона

Современная СБИС содержит множество элементов, производство которых выполняется, как правило, поэтапно в процессе проекционной фотолитографии. Сложность современной СБИС создает необходимость применения систем автоматизированного проектирования в подготовке проекта СБИС, сохранению данного проекта и передаче его в программно-аппаратный комплекс для воспроизводства. Таким образом, проект современной СБИС представляет собой файл специального формата. На сегодняшний момент существует несколько распространенных форматов файлов топологии, отличающихся между собой способом описания геометрических примитивов слоя топологии, взаимосвязей между ними, а так же, возможно, применением средств уменьшения энтропии символьного потока.

Распространенными форматами описания топологии являются GDS, OASIS и ряд других. Для решения задачи трансформации топологии необходимо иметь аппарат представления элементов топологии в виде связанных структур, таким образом, задача разделения слоев не является тривиальной. Необходимо обеспечить чтение топологической информации из файла определенного формата, и представление данной информации в

памяти вычислительной системы таким образом, что бы не прибегать к избыточному использованию ресурсов, так как размеры файлов топологии современных СБИС могут достигать сотен гигабайт, что, конечно, накладывает ограничения на возможности их математической обработки на вычислительных системах класса IBM-PC совместимого персонального компьютера.

В данной статье рассматривается следующая формулировка задачи трансформации топологии субмикронных СБИС для технологии двойного шаблона.

Для заданного множества геометрических объектов:

$GeO = \{GeO_1, GeO_2, \dots, GeO_n\}$, представляющих собой заданную топологию СБИС, необходимо найти такое решение, чтобы были выполнены следующие ограничения:

$$d(GeO_i, GeO_j) \geq d_{dr}(GeO_i, GeO_j), \quad (1.1)$$

$$d(GeO_i, GeO_j) \geq d_{dp}(GeO_i, GeO_j), \quad (1.2)$$

где $d(GeO_i, GeO_j)$ – расстояние между геометрическими объектами GeO_i и GeO_j после трансформации топологии по оси K , $K=\{X, Y\}$;

$d_{dr}(GeO_i, GeO_j)$ - минимально допустимые расстояния между геометрическими объектами GeO_i и GeO_j согласно конструкторско-технологическим ограничениям;

$d_{dp}(GeO_i, GeO_j)$ - минимально допустимое расстояние между геометрическими объектами, лежащими в одном слое, допускающее воспроизведение этих геометрических объектов в одном слое;

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n.$$

При этом полагается, что множество геометрических объектов:

$GeO = \{GeO_1, GeO_2, \dots, GeO_n\}$, упорядочено по слоям, затем по координате X и затем по координате Y левого нижнего угла каждого геометрического объекта.

2 Особенности реализации алгоритма раскраски графа

В работе [5] предложены алгоритмы трансформации топологии субмикронных СБИС по технологии двойного фотошаблона. Однако реализация описанных алгоритмов требует определенной организации представления топологической информации. Это в первую очередь связано с большим объемом входной информации, а так же с необходимостью адаптации топологической информации для применения методов ее обработки.

В статье рассматриваются особенности реализации алгоритма раскраски графа противоречий, так как анализ расстояния между контурами геометрических примитивов имеет смысл проводить только в том случае, если исходная топология слоя может быть модифицирована путем разделения на два подслоя без потери целостности, а так же может быть восстановлена в первоначальном виде операцией объединения слоев. Для проверки делимости топологии используется алгоритм раскраски графов.

Математическая постановка задачи раскраски графа заключается в нахождении минимального числа цветов, в которые можно раскрасить вершины графа так, что бы концы любого ребра имели разные цвета. Мера минимального количества цветов, в которое может быть раскрашен граф – хроматическое число. Под хроматическим числом графа понимают минимальное число k , такое что множество V вершин графа можно разбить на k непересекающихся классов:

$$V = \bigcup_i C_i; C_i \cap C_j = \emptyset \quad (2.1)$$

Для раскраски графов выбран последовательный алгоритм раскраски графов. Перечислим его основные этапы.

На первом этапе выполняется сортировка вершин в порядке убывания степеней вершин. Вершине с максимальным числом связей присваивается цвет $k=1$. Он будет называться текущим цветом для данной итерации цикла.

На втором этапе, неокрашенные вершины просматриваются в порядке возрастания номера, полученного в порядке сортировки. Вершины, смежные с одной из окрашенных в текущий цвет, не могут быть раскрашены в этот цвет. В текущий цвет раскрашивается всякая вершина, не смежная с другой, уже окрашенной в этот цвет. После рассмотрения всех вершин номер цвета увеличивается на единицу и второй этап повторяется.

Для уменьшения вычислительных затрат в статье предложен модифицированный алгоритм раскраски графа, ориентированный на применение в задачах трансформации топологии СБИС для технологии двойного шаблона (рис. 2.1).

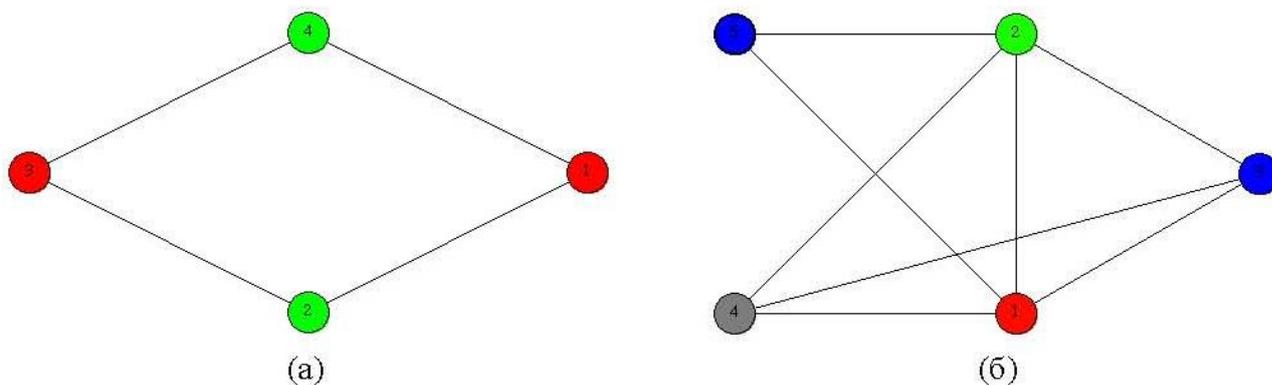


Рисунок 2.1 – Пример работы модифицированного последовательного алгоритма раскраски графа

(а – граф двухцветный, трансформация топологии возможна;
б – граф недвухцветный, трансформация невозможна).

В предложенном алгоритме выполняются первый и второй этапы, однако раскраска графа продолжается до тех пор, пока не будет использовано более двух цветов. В этом случае процедура раскраски графа завершается и сообщается, что заданная топология не может быть обработана. Если в процессе раскраски графа используется не более двух цветов, процедура раскраски графа завершается успешно, присвоив каждой вершине один из двух цветов. В этом случае происходит запуск процедуры трансформации анализируемой топологии.

После завершения процедуры трансформации топологии результат обработки сохраняется в исходном формате в виде файла с большим количеством слоев по сравнению с исходным.

3 Структура программного обеспечения TPLConeverter

Для выполнения операций с топологией СБИС используются списочные модели [6]. Конечная модель представляет собой иерархическую структуру, таким образом, конечную модель можно хранить в оперативной памяти и производить необходимую обработку.

Для представления описанной структуры, а так же для выполнения необходимых операций над ее элементами, разработаны специальные классы и методы. На рис. 3.1 приведена диаграмма классов программного обеспечения TPLConeverter. Для формирования графов применяется списочный метод, реализуемый на базе класса `ar_impl`, он имеет процедуры и методы для описания вершин графа, связей между вершинами в виде связанных списков, а так же выполнения элементарных операций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы» (ГК №П2292), а так же гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущей научной школы Российской Федерации НШ-3483.2010.9.

Литература

1. G. Moore. Cramming More Components Onto Integrated Circuits Gordon Moore // Electronics. –. 1965, №8.
2. В. Немудров, Г. Мартин. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие.- М.: Техносфера, 2004.- 212 с.
3. А.Е. Аверьянихин. Разработка алгоритма трансформации маски для фотолитографии по технологии двойного фотошаблона // Сборник трудов второй всероссийской школы — семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению наноинженерия. - Москва.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
4. А.В. Ревенков, Е.В. Резчикова. Теория и практика решения технических задач. 2-е изд. испр. и доп. М.: Форум, 2009.
5. Л.А. Зинченко, Е.В. Резчикова, А.Е. Аверьянихин. Алгоритмы трансформации топологии субмикронных СБИС // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана - Москва.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.

Translation algorithm of topology of sub-micron super large scale integration
(GSI)

777-30569/249897

11, November 2011

authors: Averyanikhin A.E., Zinchenko L.A.

Bauman Moscow State Technical University

info@iu4.bmstu.ru

The article covers approaches to solving the problem of topology transformation of sub-micron GSI for a dual phototemplate technology. A defined class with many elementary methods is assigned for each topology element. Processing the elements consists in their sequential sorting, analysis of distances between the outlines of geometric primitives to meet the assigned criterion. If the distance between the outlines of geometric primitives does not meet the assigned criterion, separation of the analyzed primitives into two different layers of topology is performed. The authors consider an algorithm of coloring a graph for conducting a topology analysis to study the possibility of transformation for the dual phototemplate technology.

Reference

1. G. Moore, Cramming More Components Onto Integrated Circuits Gordon Moore, Electronics 8 (1965).
2. V. Nemudrov, G. Martin, Systems-on-crystals. Design and development, Moscow, Tekhnosfera, 2004, 212 p.
3. A.E. Aver'ianikhin, in: The proceedings of the second all-Russian school - seminar of students, post-graduate students and young scientists in the direction of nanoengineering, Moscow, Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana - BMSTU Press, 2009.
4. A.V. Revenkov, E.V. Rezchikova, Theory and practice of solving of technical tasks, Moscow, Forum, 2009.
5. L.A. Zinchenko, E.V. Rezchikova, A.E. Aver'ianikhin, Vestnik MGTU im. N.E. Baumana - Bulletin of BMSTU (2011).