

Исследование критических параметров для технологии двойного фотошаблона

77-30569/368736

05, май 2012

Аверьянихин А. Е., Тихомиров Д. В.

УДК 681.51

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

iu4@iu4.bmstu.ru

Введение

40 лет назад Гордон Мур сумел предугадать фантастические темпы развития всей отрасли электроники на несколько десятилетий вперед и предсказать, что количество транзисторов на чипе будет увеличиваться в два раза каждые 24 месяца. В настоящее время в соответствии с законом Мура продолжается масштабирование микросхем, последовательно осваиваются топологические нормы 90, 65, 45 нм. Чем меньше критические размеры (Critical Dimensions (CD)) элементов интегральных схем, тем ближе предел, при котором начинают сказываться фундаментальные ограничения КМОП-технологии. При дальнейшей микроминиатюризации эффекты близости продуцируют вредные связи, снижающие точность воспроизводства геометрических фигур топологического слоя [1 - 10].

Поэтому производители интегральных схем пытаются всеми способами использовать возможные ресурсы для повышения разрешающей способности проекционной оптической литографии с помощью таких инноваций, как, например, фазосдвигающие фотошаблоны и внеосевое освещение. Среди множества различных подходов в документах ITRS выдвигаются следующие основные направления дальнейшего развития литографии [3-5, 9]:

- литография жестким ультрафиолетом (EUV);
- методики двойного экспонирования (double exposure), к которым и относится экспонирование с двойным фотошаблоном.

Современная методология проектирования SoC базируется на многократном использовании сложно-функциональных блоков (Intellectual Property блоков, IP-блоков).

Одним из наиболее сложных этапов при решении указанной задачи является построение графовых моделей, которое позволяет формализовать процедуры поиска различных альтернативных вариантов решения.

В статье рассматриваются нетривиальные перспективные подходы к автоматизации задач трансформации топологии на основе графовых моделей для технологии двойного фотошаблона, ориентированные на применение для сложно-функциональных блоков [2, 3].

Постановка задачи. На сегодняшний момент базовой технологией производства ИМС является КМОП технология – технология на объемном монокристаллическом кремнии. Физическим процессом производства до сих пор остается фотолитография.

Однако данный процесс, при стремительном уменьшении проектных норм ИМС начинает подвергаться негативному влиянию самых различных факторов. Так, с переходом к проектным нормам глубокого субмикрона, актуальными становятся негативные влияния волновой структуры облучающего воздействия, начинает проявляться взаимная дифракция от близко расположенных элементов. Для преодоления означенных проблем уже сейчас применяется ряд инновационных методик, таких как:

- переход в область жесткого ультрафиолета;
- применение фазосдвигающих фотошаблонов;
- применение технологии двойного фотошаблона.

Технология двойного фотошаблона является одной из распространенных, она заключается в разделении слоя топологии, вероятность успешного производства которого снижена, из-за негативного влияния технологических ограничений. Однако задача анализа больших объемов топологической информации сложна и требует применения систем автоматизированного проектирования.

Сложность задачи трансформации топологии субмикронных СБИС объясняется большими объемами информации, и сложностью структур данных, которыми необходимо оперировать в ходе ее решения. Для представления топологической информации необходимо формализовать все объекты, из которых состоит топология и определить их через математические сущности.

Для формализации технологических ограничений было введено понятие графа ограничений. Граф ограничений представляет собой направленный граф, вершины графа представляют собой геометрические объекты, а ребра – ограничения на расстояния между ними. Формирование графа основано на хорошо известном методе

сканирующей линии. Ограничения, задаваемые пользователем, представляют собой файл, имеющий определенный формат. Для его анализа применяется метод построчного считывания с разбором каждой строки файла путем выделения ключевых слов и значений.

Граф противоречий описывает наличие противоречий в топологии СБИС. Его наполнение основано на последовательном переборе всех элементов и анализе существующих ограничений. Фиксирование элемента в данном графе происходит при удовлетворении результатов анализа пар элементов какому-либо из ограничений.

1 Влияние особенностей технологии двойного фотошаблона на модели топологии СБИС

Основная идея технологии двойного фотошаблона заключается в последовательном применении двух фотошаблонов во время экспонирования фоторезиста для получения рисунка с размерами элементов, не достижимыми с помощью традиционных методов оптической литографии.

В связи с началом широкого промышленного использования технологии двойного шаблона необходим переход к интегральному и синергетическому развитию литографии и систем автоматизации проектирования. Это влечет за собой значительные изменения в различных компонентах САПР, в частности в моделях топологии СБИС [1-5].

Для решения поставленной задачи трансформации топологии на две подчасти при необходимых модификациях топологий субмикронных СБИС предлагается использовать совокупность графовых моделей. Это позволит обеспечить разделение информации о топологии, не разрушая ее логической целостности.

Для технологии двойного фотошаблона представляется целесообразным использование следующих двух основных графовых моделей. Граф ограничений используется для формализованного представления технологических ограничений. Однако использование только этой модели не позволяет учесть все особенности технологии двойного фотошаблона. В связи с этим используется также специализированная графовая модель - граф противоречий, который предназначен для учета особенностей технологии двойного фотошаблона. Он позволяет выделить те фрагменты топологии, которые должны быть спроектированы в разных слоях для удовлетворения противоречивых требований, предъявляемых двумя разными нормативными системами (уменьшить расстояние между топологическими элементами и уменьшить искажения от оптических эффектов близости) [1-10].

2 Алгоритмическое обеспечение технологии двойного фотошаблона

2.1 Алгоритмы построения графа ограничений

Построение графа ограничений требует больших вычислительных ресурсов, т.к. алгоритм его построения в наихудшем случае имеет временную сложность.

В настоящее время наиболее эффективными подходами к построению графа ограничений являются алгоритмы, базирующиеся на методе отбрасывания тени и методе сканирующей линии.

Метод сканирующей линии базируется на построении линии по координате, для которой строится граф ограничений. Все геометрические объекты, которые пересекаются сканирующей линией, добавляются в список препятствий.

Метод отбрасывания тени базируется на построении лучей от некоторого геометрического объекта по координате, для которой строится граф ограничений. В случае если луч упирается в другой элемент, этот элемент добавляется в список препятствий. На основании этого списка затем проводятся ребра графа между вершинами, соответствующими исходному геометрическому объекту и объекту, являющемуся препятствием [4].

2.2 Алгоритм построения графа противоречий.

Граф противоречий является обычным (невзвешенным) графом.

Построение графа противоречий выполняется следующим образом. Если расстояние между двумя геометрическими объектами GeO_i и GeO_j меньше значения $d_{dp}(GeO_i, GeO_j)$, то между вершинами графа, соответствующими этим объектам, добавляется ребро.

Необходимо отметить, что полученный граф противоречий представляет собой продукт анализа топологической информации с целью выделения близко расположенных геометрических объектов [3].

2.3 Иерархический алгоритм трансформации топологии СБИС

На основе предложенных графовых моделей может быть выполнена требуемая согласно условиям трансформация топологии СБИС. При дальнейшей микроминиатюризации СБИС, по всей видимости, могут быть применены следующие приемы разрешения противоречий : дробление, динамизация, местное качество, обратная связь. В данной работе для решения противоречий выбран прием дробления.

Предложенный алгоритм применим для проектирования топологии субмикронных СБИС, удовлетворяющих условиям воспроизведения по технологии двойного фотошаблона [3].

Заключение

Из рассмотренных методов по решению задачи трансформации топологии субмикронных СБИС наиболее подходящим является метод двойного фотошаблона. Показано, что использование графовых моделей позволяет упростить процедуру модификации топологии за счет формирования и последующего использования графа ограничений и графа противоречий. Предложены алгоритмы построения графа противоречий и трансформации топологии СБИС. Указанные алгоритмы могут быть легко реализованы на основе языков высокого уровня.

Литература

1. Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие.- М.: Техносфера, 2004.- 212 с.
2. Moore G. Cramming More Components Onto Integrated Circuits Gordon Moore // Electronics. –. 1965, №8.
3. B. J. Thompson, K. Suzuki, B. W. Smith. Microlithography. Science and technology. CRC Press, 2007, 800.
4. Зинченко Л. А., Резчикова Е.В., Аверьянихин А.Е. Алгоритмы трансформации топологии субмикронных СБИС // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, №1.
5. Курейчик В.М., Зинченко Л. А., Тарасенко М. В.. Применение символьных информационных технологий в задачах моделирования электронных устройств // Программные продукты и системы, 2001, №2, с. 13-17.
6. Geller D., Stahl S. The chromatic number and other parameters of the lexicographic product. J. Combin. Theory Ser. B 19. 1975. pp. 87-95.
7. А.И. Власов, А.В. Назаров Основы моделирования микро- и наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 144 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.14).
8. А.И. Власов, Л.А. Зинченко, В.В. Макаручук, И.А. Родионов Автоматизированное проектирование наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.13).

9. В.В. Макаrchук, И.А. Родионов, Ю.Б. Цветков Методы литографии в нанотинженерии: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Нанотинженерия": в 17 кн. Кн.13).
10. Зинченко Л.А. САПР Наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 224 с.: ил. (Библиотека "Нанотинженерия": в 17 кн. Кн.17).

Research of double exposure mask technology's critical parameters

77-30569/368736

05, May 2012

Averyanikhin A.E., Tihomirov D.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

iu4@iu4.bmstu.ru

Algorithms of topology transformation of submicron VLSIC, oriented to application for several classes of complex function blocks, designed for further manufacturing according to the technology of double exposure mask and met the demand for reproduction of given topology according to the technology of double exposure mask.

Publications with keywords: [VLSI](#), [exposure mask](#), [contradiction graph](#)

Publications with words: [VLSI](#), [exposure mask](#), [contradiction graph](#)

References

1. Nemudrov V., Martin G. Sistemy-na-kristalle. Proektirovanie i razvitie.- M.: Tehnosfera, 2004.- 212 s.
2. Moore G. Cramming More Components Onto Integrated Circuits Gordon Moore // Electronics. -. 1965, №8.
3. B. J. Thompson, K. Suzuki, B. W. Smith. Microlithography. Science and technology. CRC Press, 2007, 800.
4. Zinchenko L. A., Rezhikova E.V., Aver'yanihin A.E. Algoritmy transformacii topologii submikronnyh SBIS // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, 2011, №1.
5. Kureichik V.M., Zinchenko L. A., Tarasenko M. V.. Primenenie simvol'nyh informacionnyh tehnologii v zadachah modelirovaniya elektronnyh ustroystv // Programmnye produkty i sistemy, 2001, №2, s. 13-17.
6. Geller D., Stahl S. The chromatic number and other parameters of the lexicographic product. J. Combin. Theory Ser. B 19. 1975. pp. 87-95.
7. A.I. Vlasov, A.V. Nazarov Osnovy modelirovaniya mikro- i nanosistem: Uchebnoe posobie. - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. - 144 s.: il. (Biblioteka "Nanoinjeneriya": v 17 kn. Kn.14).

8. A.I. Vlasov, L.A. Zinchenko, V.V. Makarchuk, I.A. Rodionov Avtomatizirovannoe proektirovanie nanosistem: Uchebnoe posobie. - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. - 184 s.: il. (Biblioteka "Nanoinjeneriya": v 17 kn. Kn.13).
9. V.V. Makarchuk, I.A. Rodionov, Yu.B. Cvetkov Metody litografii v nanoinjenerii: Uchebnoe posobie. - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. - 184 s.: il. (Biblioteka "Nanoinjeneriya": v 17 kn. Kn.13).
10. Zinchenko L.A. SAPR Nanosistem: Uchebnoe posobie. - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. - 224 s.: il. (Biblioteka "Nanoinjeneriya": v 17 kn. Kn.17).