

**АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИММЕРСИОННОЙ
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ЛИТОГРАФИИ**

П.С. Костомаров

факультет Электроники и телекоммуникаций

Метод иммерсии в литографии позволяет повысить разрешающую способность путем увеличения числовой апертуры за счет изменения угла полного отражения на границе раздела сред объектов - воздушный зазор (между объективом и пластиной) [1].

Наибольшую трудность в практическом применении метода иммерсионной литографии представляет выбор технологического решения установки, удовлетворяющей производственным требованиям: проектные нормы, диаметр полупроводниковой пластины, скорость обработки.

Метод выбора технологического решения из ряда недоминируемых альтернатив

Разрабатывая алгоритм выбора, применим наиболее часто используемую меру неопределенности – энтропию, обозначив через p_i вероятностную функцию распределения – $\sum_{i=1}^m p_i \ln p_i$ (1)

Чтобы выразить нечеткое множество H_i через распределение вероятностей, установим

$$p_i^{(k)} = \frac{f_{H_i}(x_i^{(k)})}{\sum_{i=1}^m f_{H_i}(x_i^{(k)})} \quad (2)$$

где $p_i^{(k)}$ – оценка степени принадлежности $x_i^{(k)}$ нечеткому множеству H_i . Так что теперь мы можем определить неопределенность по i -му атрибуту как функцию энтропии

$$e_i = -M \sum_{k=1}^m p_i^{(k)} \ln p_i^{(k)} \quad (3)$$

где M – нормирующая константа, допускающая максимальное значение e_i , равное 1. Фактически, e_i максимально, если $p_i^{(k)} = \frac{1}{m}$, следовательно, $M = \frac{1}{\ln m}$ и $0 \leq e_i \leq 1$. Общая неопределенность получается путем суммирования неопределенностей по каждому атрибуту [2]

$$E = \sum_{i=1}^n e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m p_i^{(k)} \ln p_i^{(k)} \quad (4)$$

В расстоянии между двумя альтернативами весовые коэффициенты, зависящие от неопределенности, будут малы, если неопределенность высока. Высокое значение неопределенности относительно некоторого i -го атрибута означает, что довольно большое количество альтернатив имеет близкие по значению коэффициенты сатисфакции относительно этого i -го атрибута и поэтому решение о выборе некоторой альтернативы не будет существенно зависеть от этого атрибута. Другими словами, i -ый атрибут, не отличающийся по большинству альтернатив, имеет более существенной значение для принятия решения. Определим коэффициент сатисфакции согласно работе [3], как

$$\bar{S}_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n (1 - e_i)} = \frac{1 - e_i}{n - E}, \quad 0 < n < 1. \quad (5)$$

Отметим, что когда неопределенность соответствующая i -му атрибуту, высока, то e_i близко к 1 и коэффициент \bar{S} мал.

Пусть w_i – относительные веса по важности, назначенные экспертом i -му атрибуту априори. Тогда комбинированный весовой коэффициент можно определить как

$$S_i = \frac{S_i w_i}{\sum_{i=1}^n S_i w_i}, \quad 0 < n \leq 1. \quad (6)$$

Мера того, насколько удалена $A^{(k)}$ от идеальной альтернативы $A^{(*)}$, соответствует тому, насколько значения атрибутов $A^{(k)}$ удовлетворяют субъективным целевым

представлениям эксперта. Введем понятие дополнения нечеткого множества H_i , которое будем обозначать U_i , и для которого выполняется

$$f_{U_i}(x_i^{(k)}) = 1 - f_{H_i}(x_i^{(k)}).$$

Итак, если необходимо определить, на сколько удалены друг от друга альтернативы $A^{(k)}$ и $A^{(*)}$ по i -му атрибуту, то можно увидеть это по степени неудовлетворенности эксперта значением i -го атрибута для $A^{(k)}$, то есть определим

$$Dis^{(i)}[A^{(*)}, A^{(k)}] = S_i f_{U_i}(x_i^{(k)}), \quad (7)$$

и тогда

$$Dis^{(i)}[A^{(*)}, A^{(k)}] = \left[\sum_{i=1}^n (Dis^{(i)}[A^{(*)}, A^{(k)}])^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Здесь значение $Dis^{(i)}$ характеризует функцию различимости по каждому отдельному i -му атрибуту, а $Dis(A^{(*)}, A^{(k)})$ соответствует среднеквадратичному отклонению $Dis^{(i)}$. Нашей целью является выбор альтернативы $A^{(k_0)}$, которая максимально близка к $A^{(*)}$ [4]

$$Dis[A^{(*)}, A^{(k_0)}] = \min_k Dis[A^{(*)}, A^{(k)}]. \quad (9)$$

Можно ввести дополнительные метрики, в выборе которых может быть заинтересован пользователь, например:

$$Dis_{(1)}[A^{(*)}, A^{(k)}] = \sum_{i=1}^n S_i f_{U_i}(x_i^{(k)}), \quad (10)$$

Или

$$Dis_{(2)}[A^{(*)}, A^{(k)}] = \max_i \{S_i f_{U_i}(x_i^{(k)})\}. \quad (11)$$

Алгоритм выбора недоминируемого решения

Если сформировано множество недоминируемых альтернатив, то для осуществления окончательного выбора на этом множестве применим метод, описанный выше.

Из алгоритма видно, что на первом этапе пользователю представляются все имеющиеся недоминируемые альтернативы, на основе чего он назначает идеальную альтернативу. Далее пользователем задаются $f_{H_i}(x_i^{(k)})$ характеризующие предпочтительность k -ой альтернативы по i -му атрибуту для $\forall k, i$. Затем происходит ввод весовых коэффициентов w_i , определяющих относительную важность i -го атрибута.

После выполнения всех расчетов, эксперту предоставляются значения $Dis[A^{(*)}, A^{(k)}]$ и соответствующее им решение $A^{(k_0)}$. Если полученное решение не удовлетворяет эксперта, то последует переход к этапу назначения пользователем $f_{H_i}(x_i^{(k)})$ [5].

Алгоритмы поиска технических решений литографических установок

Одними из элементов системы автоматизированного проектирования, позволяющими проектировать процесс как исполнительный орган в системе обратной связи литографического оборудования являются разработанные алгоритмы поиска технических решений при проектировании процессов формирования объектов в литографической технологии. Данный процесс необходимо автоматизировать с целью уменьшения времени, затрачиваемого на проектирование процессов формирования объектов. Предложенные алгоритмы поиска технических решений позволяют автоматизировать этот процесс.

На рис. 1. представлен алгоритм выбора наилучшего варианта литографической установки с помощью обобщенного критерия оценки качества и анализа технической себестоимости выбранных решений.



Рис. 1. Алгоритм выбора лучшей иммерсионной литографической установки по критерию К

Первый этап позволяет осуществить выбор иммерсионных литографических установок, удовлетворяющих техническому заданию.

На этом этапе возможны следующие случаи:

- ТЗ соответствует несколько иммерсионных литографических установок;
- ТЗ соответствует одна иммерсионная литографическая установка;
- ТЗ не соответствует ни одна иммерсионная литографическая установка.

В первом случае переходим ко второй стадии выбора, во втором – задачу считаем решенной, в третьем – производим либо пересмотр ТЗ, либо выполняем выбор ближайшего прототипа и производим его модернизацию. После этого добавляем обновленную литографическую установку в морфологическую таблицу, либо разрабатываем новую конструкцию, после чего добавляем новую литографическую установку в морфологическую таблицу.

На первом этапе осуществляется выбор оптимальных литографических установок (принадлежащих множеству Парето) [6].

Третьим этапом является выбор лучшей литографической установки с помощью обобщенного критерия качества, а так же анализа технической себестоимости выбранных решений.

Для выделения определенной части множества Парето или нахождения некоторой единственной точки этого множества, необходимо иметь дополнительную информацию о критериях установки. Здесь, основная цель проектировщика – наличие наибольшего количества информации о критериальном множестве.

Только обладая такой информацией, появляется возможность рационального подбора параметров с использованием методов повышения разрешающей способности процесса проекционной литографии, таких как:

- использование внеосевого освещения при экспонировании резиста;
- разработка и применение фазосдвигающих шаблонов (PSM);
- применение методов коррекции оптического эффекта близости [7];
- разработка стратегии технического обслуживания оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии (ИУФЛ);

соответствующим требованиям проектирования иммерсионной литографической установки.

Список литературы:

1. Hand A. Double Patterning Wrings More From Immersion Lithography // Semiconductor International. 2007. January. 17 p.
2. Слободин М. Ю., Царёв Р.Ю. Компьютерная поддержка многоатрибутивных методов выбора и принятия решения при проектировании корпоративных информационно-управляющих систем // СПб.: Инфо-да, 2004. – С 85 – 91.
3. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
4. В.А. Васин, А.С. Вишневский, Е.Н. Ивашов, С.В. Степанчиков. Информационная технология в проектировании пластин плотной записи для накопителей на жестких магнитных дисках. – М.: Издательство НИИ ПМТ, 2010. – 227с.
5. Вишневский А.С., Домась К.И., Тхань Н.Д., Бинь Л.Т. Математическая модель и алгоритм принятия решения для недоминируемых альтернатив // Системы управления и информационные технологии, 2008, № 2.3 (32). – С. 336-339.
6. В.А. Васин, К.И. Домась, Е.Н. Ивашов, С.В. Степанчиков. Информационная технология в проектировании объектов лазерной обработки. – М.: Издательство НИИ ПМТ, 2011. – 211с.
7. Y. Cui, et al. Is Model-based Optical Proximity Correction Ready for Manufacturing? Study on 0.12 urn and 0.175 urn DRAM Technology // Proc. SPIE Microlithography. 2002. 4691. P. 67-75.