

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА ВЫБОРА УСТРОЙСТВА ИММЕРСИОННОЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ЛИТОГРАФИИ

© 2014 г. П.С. КОСТОМАРОВ

Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ
e-mail: Pavel.Kostomarov@gmail.com

Введение

Зачастую, перед инженерами, задействованными на производстве микроэлектронной промышленности, возникает задача выбора лучшего варианта устройства иммерсионной ультрафиолетовой литографии (УИУФЛ), при решении которой они руководствуются обобщенным критерием оценки качества. Обобщенный критерий включает в себя технические, технологические, структурные, экономические и экологические локальные критерии [1]. Необходимо сравнить варианты устройств по показателям обобщенного критерия качества, основываясь на порядковой шкале оценок.

Оценочное сравнение вариантов УИУФЛ с использованием порядковой шкалы показателей

Сравнивая варианты устройств ИУФЛ необходимо оперировать данными об их реальных, физических свойствах, которые не должны затрагивать отдельные, персональные оценки целесообразности лиц, принимающих решение (ЛПР). Допустим, необходимо сравнить устройства $s_1, s_2 \dots s_n$, $n \geq 2$, которые характеризуют показатели $X_1, X_2 \dots X_m$, $m \geq 2$. Векторные оценки $y \in Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m$ будут иметь следующий вид (1)

$$y = (x_1, x_2 \dots x_m). \quad (1)$$

В соответствие варианту $s_i \in S = \{s_1, s_2 \dots s_n\}$ ставится оценка вектора y_i (2)

$$y_i = f(s_i) = (x_1^i, x_2^i \dots x_m^i), \quad (2)$$

где x_j^i – оценка i -го варианта по показателю X_j , а $x_j^i \in X_j$, $i = 1 \dots n$ и $j = 1 \dots m$. Оценить представленные варианты по каждому из показателей можно либо путем непосредственного измерения, либо прибегнув к помощи коллектива экспертов или авторитетного мнения ЛПР. Проводя непосредственные измерения или аналитические расчеты, получают оценки на числовых шкалах, которые более достоверны в сравнении, скажем, с вербальными шкалами. Достоверность выбранной шкалы и характер измеряемого показателя влияют на объективность оценки, т. к. при согласовании оценок по вербальным шкалам приходится проходить процедуру согласования мнений, которая будет вносить погрешность в оценку отдельного эксперта за счет усредненности общей оценки всех экспертов. Будем полагать, что интенсивность свойства показателей будет возрастать от начала шкалы в сторону ее увеличения, а показатели, соответственно, будут однонаправленными.

Покажем условия, при которых оценки векторов вариантов $y_i = f(s_i)$ при $i = 1 \dots n$ можно использовать для сравнения.

Первое условие.

Обозначим пространство, не содержащее оценок по показателю X_j , как Y_j (3)

$$Y_j = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_{j-1} \times X_{j+1} \times \dots \times X_m, \quad (3)$$

тогда y_j^* – количество элементов X_j . При неизменном порядке предпочтения векторных оценок (x_j^i, y_j^*) , i от 1 до r_j (оценки по показателю X_j) при фиксированном y_j^* будем считать, что показатель x_j не зависит от других показателей по предпочтению. Тогда, упорядочение оценок показателей будет выполнено в соответствии с отношением «не менее предпочтительно, чем» (4)

$$x_j^{r_i-1} \geq x_j^{r_i} \geq \dots \geq x_j^1, \quad (4)$$

при $i = 1 \dots m$ [2].

Второе условие.

Если векторная оценка $y = (x_j^i, y_j^*)$ предпочтительнее чем $y' = (x_j', y_j^*)$, которая получена путем замены x_j на $x_j' \in X_j$ при $\forall j \in \{1 \dots m\}$, то можно говорить, что значения больших оценок преимущественнее оценок меньших по каждому рассмотренному показателю. Выполнение данного условия демонстрирует «принцип монотонности» преобразования свойств варианта.

Возможность выделить подмножества независимых векторных оценок Z_0 и соответствующего ему подмножества независимых вариантов S_0 появляется в случае выполнения приведенных выше условий взаимной независимости показателей и непрерывности оценки, произведенной управляющей системой. Предпочтительной векторной оценкой представленных вариантов называется такая оценка, которая имеет по какому-либо отдельному показателю более предпочтительную оценку, чем по остальным. Принадлежность векторной оценки к множеству независимых оценок Z_0 (эффективных оценок) определяется по ее предпочтительности к остальным вариантам. Если $f(s^*) \in Z_0$, то $s^* \in S$ и $s^* \in S_0$ [2].

Лучший вариант, выбранный в соответствии с многокритериальным подходом, следует относить к множеству независимых вариантов, детерминированных решающими правилами, не зависит от выбора решающих правил, в противном случае, в пространстве S будет найден вариант еще предпочтительнее.

В перечне предпочтительных вариантов можно найти такие, которые будут обладать высшими оценками по какому-либо локальному показателю. Выбирая вариант по сумме показателей, ограничим область поиска множеством Парето, содержащимся во множестве представленных для выбора вариантов. Данное ограничение является прикладным результатом определения множества независимых вариантов.

Для анализа вариантов s_1, s_2, \dots, s_n выполним покоординатное сравнение пар векторных оценок составленной матрицы векторных оценок для всех представленных вариантов по совокупности показателей $\|x_j^i\|$. Перечислим возможные случаи сравнения:

1. Вариант s_i предпочтительнее варианта s_g , если оценки, составляющие вектор $f(s_i)$ не отличаются от оценок, составляющих вектор $f(s_g)$ но, есть как минимум одна лучшая оценка;
2. Вариант s_i эквивалентен варианту s_g по предпочтению ($s_i \sim s_g$), если оценки, составляющие вектора $f(s_i)$ и $f(s_g)$ одинаковы;
3. Вариант s_i несравним с вариантом s_g по предпочтению ($s_i \Delta s_g$), если для оценок по показателям l и k одновременно выполняется (5)

$$x_l^i > x_l^g \text{ и } x_k^i > x_k^g, j, k \in \{1, 2, \dots, m\}, l \neq k. \quad (5)$$

Множество независимых вариантов S_0 образуется путем сложения вариантов, которые нельзя сравнить, с эквивалентными им вариантами [3].

Алгоритм поиска множества независимых вариантов УИУФЛ

Для поиска множества независимых вариантов УИУФЛ воспользуемся алгоритмом, представленным на Рис. 1. Перенумеруем варианты УИУФЛ и присвоим им векторные оценки, чтобы выполнить необходимые операции. Варианты устройств s_i и s_g принадлежат множеству S . Поочередно сравним векторную оценку $f(s_i)$ варианта s_i с

векторными оценками $f(s_g)$ вариантов s_g . Произведем сравнения по координатам векторных оценок $f(s_i)$ и $f(s_g)$.



Рис. 1. Алгоритм поиска множества независимых вариантов UIУФЛ.

Вариант s_g будет исключен из множества S , если вариант s_i окажется предпочтительнее его, если же вариант s_g сравним с вариантом s_g по предпочтению, то его не исключают из множества S . Далее сравнивают вариант $s_{g+1} \in S$ следующий за s_g . Окончив сравнение варианта s_i с крайним вариантом s_g , переходят к сравнению варианта s_{i+1} с не исключенными из множества S вариантами s_g . Данное сравнение позволяет исключить все подчиненные варианты, образуя тем самым множество независимых вариантов устройств ИУФЛ $\{s^*\}$.

Случаи, в которых обособление множества независимых вариантов устройств ИУФЛ $\{s^*\}$ будет приводить к определению одного самого предпочтительного варианта устройства, являются исключительными, в общем же случае обособление множества $\{s^*\}$ облегчит выбор такого варианта. Количество вариантов устройств, принадлежа-

щих множеству Парето, обуславливается расположением векторных оценок $f(s_i), i = 1, 2, \dots, n$ на шкале значений показателей. Данное количество, зачастую, превышает количество вариантов устройств, требуемое для решения задачи выбора наиболее предпочтительного варианта [4].

После определения множества независимых вариантов УИУФЛ можно прибегнуть к одной из представленных методик выбора:

- определить вариант при помощи случайного выбора, полагая, что варианты, принадлежащие множеству независимых вариантов устройств ИУФЛ $\{s^*\}$, одинаково предпочтительны для ЛПР;
- разработать принципы, позволяющие сузить количество вариантов, принадлежащих множеству $\{s^*\}$;
- для выбора устройства ИУФЛ ЛПР необходимо получить дополнительную информацию или проведя консультации с экспертами или исследуя построенные для анализа задачи модели.

Последняя методика считается наиболее приоритетной при выборе устройств ИУФЛ.

Заключение

Создание автоматизированной подсистемы выбора УИУФЛ сводится трем основным этапам:

1. Сравнению вариантов устройств ИУФЛ с использованием порядковой шкалы оценки показателей локальных критериев, составляющих обобщенный критерий оценки качества УИУФЛ;
2. Выделения множества независимых вариантов УИУФЛ S_0 ;
3. Поиску дополнительной информации о технологических особенностях данного конкретного процесса производства изделий микроэлектроники, которая обусловит выбор самого предпочтительного варианта устройства ИУФЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балан Н.Н., Васин В.А., Ивашов Е.Н., Костомаров П.С., Степанчиков С.В. Обобщенный критерий оценки качества оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии // В кн.: Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2012», 3–7 декабря 2012 г., Москва / Отв. ред.: А. С. Сигов. Ч. 7: Проблемы надежности и качества. – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН, 2012. С. 88-92.
2. Слободин М.Ю., Царев Р.Ю. Компьютерная поддержка многоатрибутивных методов выбора и принятия решения при проектировании корпоративных информационно-управляющих систем. – СПб.: Инфо-да, 2004. – 223 с.
3. Озерной В.М., Гафт М.Г. Методология решения многокритериальных задач // Многокритериальные задачи принятия решений. – М.: Машиностроение, 1978. С. 14-17.
4. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978.