



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.513, 621.382

В.А. Васин, канд. техн. наук, **Е.Н. Ивашов**, д-р техн. наук, **М.Ю. Корпачёв**,
П.С. Костомаров, **С.В. Степанчиков**, канд. техн. наук
(Московский институт электроники и математики)

mkorpachev@gmail.com

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
УФ-ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО МОДУЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Рассмотрена многокритериальная задача принятия решения при проектировании ультрафиолетового литографического оборудования, которая решается путём применения обобщённого критерия оценки качества, включающего технические, технологические, структурные, экономические и экологические локальные критерии с учётом их весовых коэффициентов. Показано, что предпочтительными критериями при сравнении вариантов конструктивных решений рассматриваемых технологии и оборудования являются надёжность и ожидаемый экономический эффект. Предложены методы оценки надёжности систем из многофункциональных модулей с произвольным видом компоновки оборудования, задействованного при выполнении технологических операций УФ-литографии.

Ключевые слова: многокритериальная задача, ультрафиолетовая литография, литографическое оборудование, модульное оборудование, обобщённый критерий оценки качества, надёжность.

Task of the multicriterion solution when designing of the ultra-violet lithography equipment is considered. This task is solved by the application of the quality valuation generalized criterion, including technical, technological, structural, economic and environmental local criteria by taking into account their weighting coefficients. It is shown that the preferable criteria for designing versions comparing of the considered technology and equipment are reliability and the expected economic effects. The reliability valuation methods of the systems from multifunctional modules with an arbitrary equipment layout involved in the UV-lithography technological operations discharge are proposed.

Key words: multicriterion task, UV-lithography, lithography equipment, modular equipment, generalized quality valuation criterion, reliability.

Проектирование УФ-литографического оборудования (УФЛО) связано с расчётом потенциального уровня надёжности вариантов его реализации. Построение современного УФЛО, для которого характерна многофункциональность модулей, определяет актуальность развития методов оценки надёжности, учитывающих взаимозависимость событий и потерю модулем способности выполнять свои функции.

Благодаря волновому характеру оптических процессов важнейшим преимуществом технологии формирования изображений с помощью ультрафиолетовой литографии (рис. 1 на 2-й полосе обложки) является возможность одновременного и параллельного переноса изображений, состоящих из многих миллионов элементарных фрагментов.

Рассмотрим стадии типичного процесса ультрафиолетовой литографии.

Очистка поверхности подложки и подготовка к формированию резистного рельефа. Этот процесс в англоязычной литературе получил название прайминг (priming). В современном литографическом процессе этот этап состоит из механической (в том числе и ультразвуковой) обработки, химических обработок, удаляющих органические загрязнения, плазмохимического травления тонких слоёв (если это допустимо для активных слоёв), обработкой в парах гексаметилдисилазана.

Нанесение слоя фоторезиста на поверхность подложки и его сушка. Обычно эту операцию осуществляют при помощи нанесения капли фоторезиста на быстро вращающуюся подложку, закреплённую на роторе центрифуги (рис. 2 на 2-й полосе обложки) [1]. Если литография проводится на подложках с развитой топологией, её предварительно планаризируют (выравнивают), например при помощи нанесения слоя легкоплавкого

покрытия или полимеризованного в плазме мономера [2]. Иногда используют нанесение фоторезиста из его аэрозоля. Сушка необходима для удаления остатков растворителя. Правильный выбор её режимов позволяет уменьшить дефектность слоя и улучшить воспроизводимость результатов микролитографии.

Избирательное экспонирование фоторезиста ультрафиолетовым излучением. Такую операцию можно осуществить облучением светочувствительного слоя через фотошаблон. В зависимости от способа проектирования рисунка в плоскость фоторезиста различают контактные и бесконтактные (проекторные) методы ультрафиолетовой литографии (рис. 3 на 2-й полосе обложки).

Пострадиационная термическая обработка облучённого резистного слоя. При такой обработке улучшаются функциональные характеристики резистных масок, прежде всего их контрастность при проявлении. Кроме того, правильно выбранный режим пострадиационной обработки позволяет «залечивать» дефекты фоторезистных масок за счёт релаксации механических напряжений, возникающих вследствие структурных перестроек фоторезистных слоёв во время их экспонирования.

Проявление изображения в слое резиста (например, избирательное удаление экспонированных участков – в случае позитивно работающих или позитивных резистов или избирательное удаление неэкспонированных участков – в случае негативно работающих или негативных резистов) является центральной стадией фотолитографии (рис. 4 на 3-й полосе обложки) [1]. Оно чаще всего определяет функциональные характеристики резистных масок, а также технологические параметры ультрафиолетовой микролитографии. При проявлении используется разница в устойчивости экспонированных и неэкспонированных участков слоя фоторезиста по отношению к действию проявляющего химического вещества (агента) или физического воздействия (например, нагревания).

Термическая обработка полученной резистной маски для улучшения её эксплуатационных характеристик. Такая обработка повышает прежде всего защитные свойства фоторезиста, а также его дефектность.

Модификация поверхностных слоев материала подложки (вытравливание объёмных структур, легирование материала подложки, нанесение на открытые участки подложки различных материалов и т. д.) через сформированные на её поверхности резистные маски [3].

Удаление резистной маски с поверхности подложки. Для этого используется травление маски в плазме ионизированного газа.

Современная ультрафиолетовая литография – невероятно сложный и дорогостоящий технологический процесс. На её долю приходится более половины производственных затрат при изготовлении изделий микроэлектроники [3]. Именно она чаще всего определяет возможность получения того или иного полупроводникового прибора, особенно в том случае, когда размеры элементов топологии прибора, а также толщины его активных слоёв близки к критическим, т. е. предельным для современного уровня развития технологии. Успехи ультрафиолетовой литографии во многом определяются культурой литографического производства и продуманностью конструктивных решений, но в большей степени – качеством. Именно качество материалов, оборудования и производственных модулей, а также технологического процесса в целом определяют ведущее место ультрафиолетовой литографии в современной микроэлектронике. Рассмотрим основные критерии качества технологического процесса ультрафиолетовой литографии, а также оборудования, непосредственно участвующего в его осуществлении.

Обобщённый критерий оценки качества УФЛО включает в себя технические, технологические, структурные, экономические и экологические локальные критерии. Каждый из перечисленных критериев определяется соответствующими параметрами (рис. 5 на 3-й полосе обложки).

Представим процесс потери качества оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии как некую абстрактную модель. Пусть X_1, X_2, \dots, X_k – параметры литографического оборудования, определяющие состояния, которые являются функциями времени. Принадлежность состояния X множеству состояний $G_X (X \in G_X)$ свидетельствует о том, что оборудование иммерсионной литографии отвечает критериям качества. Если значение параметров X_1, X_2, \dots, X_k больше допустимых $X_{1p}, X_{2p}, \dots, X_{kp}$, т. е. $X_1 > X_{1p}, X_2 > X_{2p}, \dots, X_k > X_{kp}$, то оборудование иммерсионной ультрафиолетовой литографии не удовлетворяет критериям качества.

Если некоторые из значений параметров X_1, X_2, \dots, X_k будут больше допустимых, а другие меньше, то литографическое оборудование частично удовлетворяет критериям качества. Для условия полного удовлетворения критериям качества $X_1 \leq X_{1p}, X_2 \leq X_{2p}, \dots, X_k \leq X_{kp}$, что соответствует тому, что множество $G_X \subset G_{Xp}$. При этом запас по качеству K_i будет определяться отношением $K_i = X_{ip}/X_i$. Качество по допустимой погрешности УФ излучения $K_1 = X_{1p}/X_1$, качество по поглощению излучения маскирующим материалом шаблона $K_2 = X_{2p}/X_2, \dots$, качество по чистоте технологического объёма $K_{26} = X_{26p}/X_{26}$. Здесь

$X_{1p}, X_{2p}, \dots, X_{26p}$ – допустимые значения погрешности источника УФ излучения, поглощения излучения маскирующим материалом шаблона, показателя фазового сдвига шаблона, монохроматических aberrаций, показателя преломления иммерсионной жидкости, числовой апертуры, глубины фокуса, разрешающей способности иммерсионной системы, технической дефектности, времени подготовки технологического процесса, равномерности нанесения иммерсионного резиста, времени сушки иммерсионного резиста, времени подачи иммерсионной жидкости, времени экспонирования, времени удаления иммерсионной жидкости, времени травления, технологической дефектности, адгезии резистивного слоя к полупроводниковой подложке, чистоты поверхности полупроводниковой пластины, шероховатости (R_a) полупроводниковой пластины, плоскостности полупроводниковой пластины, параллельности полупроводниковой пластины, стоимости единицы продукции, окупаемости иммерсионного литографического комплекса, ионизирующего эффекта дальнего ультрафиолетового излучения, чистоты технологического объёма.

X_1, X_2, \dots, X_{26} – фактические значения указанных выше величин.

Тогда обобщённый критерий оценки качества принимается в виде

$$\frac{1}{K_N} = \frac{a_1}{K_1} + \frac{a_2}{K_2} + \dots + \frac{a_{26}}{K_{26}}, \quad (1)$$

где a_1, a_2, \dots, a_{26} – весовые коэффициенты (для определения этих коэффициентов используется метод экспертных оценок),

$$\sum_{i=1}^{26} a_i = 1,$$

а в общем виде обобщённый критерий оценки качества технологии и оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии записывается как

$$K_N = \frac{1}{\sum_{i=1}^{26} \left(\frac{a_i}{K_i} \right)}. \quad (2)$$

Выбранный вариант технического решения оборудования УФЛО окончательно оценивается по критерию экономичности. Оптимальным вариантом технического решения оборудования и технологии иммерсионной литографии будет тот, который обеспечивает снижение стоимости совокупной общественной продукции [4]:

$$\sum_{j=1}^{Z_N} Q_j \cdot G_{tj} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где Z_N – число типоразмеров конечной совокупности продукции; Q_j – объём производства продукции j -го вида; G_{tj} – индивидуальная стоимость единицы продукции.

Полученные в этом направлении результаты, в основном, касаются модулей (узлов), отказ которых приводит либо к потере способности выполнения всех его функций одновременно, либо только одной функции. Предложены методы оценки надёжности систем из многофункциональных модулей с произвольным видом компоновки оборудования, задействованного при выполнении технологических операций УФ-литографии [5].

Задача формулируется следующим образом. Пусть УФЛО, выполняющее функцию $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$, состоит из m многофункциональных модулей (МФМ), каждый из которых в исходном состоянии выполняет множество функций $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. Для каждого модуля обозначим через Φ_1 совокупность УФЛО, задействованного при выполнении функции f_1 . В общем случае множества $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ могут пересекаться, что приводит к взаимозависимости событий, потере способностей модуля выполнять различные функции. По виду пересечения множеств $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ выделим следующие структуры МФМ:

$$(\exists i)(\exists j)[(i \neq j) \rightarrow \Phi_i \cap \Phi_j \neq \emptyset]; \quad (4)$$

$$(\forall i)(\forall j)[(i \neq j) \rightarrow \Phi_i \cap \Phi_j \neq \emptyset]; \quad (5)$$

$$(\forall i)(\forall j)[(i \neq j) \rightarrow \Phi_i \cap \Phi_j \neq \Omega]; \quad (6)$$

где $i, j \in N, N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$.

Структура МФМ (4) характеризуется независимостью событий потерять модулем способность выполнять различные функции; структура МФМ (5) соответствует произвольному виду пересечения множеств $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$; структура (6) является частной по отношению к (5).

Условием работоспособности системы является способность выполнения функции $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. При этом каждая функция $f_i \in F$ должна выполняться хотя бы одним МФМ, а время ожидания обслуживания запросов на выполнение функций ФОРМУЛА должно быть не больше заданного предельно допустимого значения. Надёжность системы определим по вероятности безотказной работы (ВБР) [5].

Оценку ВБР проведем на основе известного комбинаторно-вероятностного метода включения – исключения, позволяющего получить как точную, так и приближенную, с требуемой погрешностью, оценку.

Для МФМ вида (5) ВБР системы P оценивается как

$$\begin{aligned}
 P = & \sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} P(f_i) - \sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j \neq l}} P(f_i \vee f_j) + \\
 & + \sum_{\substack{i,j,l \in N \\ i \neq j \neq l}} P(f_i \vee f_j \vee f_l) - \dots + \\
 & + (-1)^d \sum_{\substack{i,j,\dots,a \in N \\ i \neq j \neq \dots \neq a}} P(f_i \vee f_j \dots \vee f_a) - + \\
 & + (-1)^n P(\bigvee_{i=1}^n f_i), \quad (7)
 \end{aligned}$$

где $P(f_i \vee f_j \dots \vee f_a)$ – вероятность того, что в одном из m МФМ может быть выполнена хотя бы одна функция из множества d функций $\{f_1, f_2, \dots, f_a\}$;
 $P(f_i \vee f_j \dots \vee f_a) = 1 - [1 - p(f_i \vee f_j \dots \vee f_a)]^m$.

Вероятность сохранения модулем способности выполнения хотя бы одной функции из множества

$$\begin{aligned}
 p = & (f_i \vee f_j \dots \vee f_a) = \sum_{i \in N} p(f_i) - \\
 & - \sum_{\substack{i,j \in N \\ i \neq j}} p(f_i \wedge f_j) + \sum_{\substack{i,j,l \in N \\ i \neq j \neq l}} p(f_i \wedge f_j \wedge f_l) - \dots + \\
 & + (-1)^d \sum_{\substack{i,j,\dots,a \in N \\ i \neq j \neq \dots \neq a}} p(f_i \wedge f_j \wedge \dots \wedge f_a), \quad (8)
 \end{aligned}$$

где $N_1 = \{i, j, \dots, a\}$, $p(f_i \wedge f_j \dots \wedge f_a)$ – вероятность исправности в модуле УФЛО, задействованного при выполнении функции $\{f_1, f_2, \dots, f_a\}$.

Значение $p(f_i \wedge f_j \dots \wedge f_a)$ определяется как вероятность исправности УФЛО $\Phi_1 \cup \Phi_2 \cup \dots \cup \Phi_a$. При экспоненциальном распределении времени до отказа

$$\begin{aligned}
 p(f_i \wedge f_j \dots \wedge f_a) = \\
 = \exp(-\vee(\Phi_1 \cup \Phi_2 \cup \dots \cup \Phi_a)t),
 \end{aligned}$$

где $\vee(\Phi_1 \cup \Phi_2 \cup \dots \cup \Phi_a)$ – суммарная интенсивность отказов УФЛО, задействованного при выполнении функций f_1, f_2, \dots, f_a ; t – время работы.

Для МФМ вида (6) ВБР системы вычислим как

$$P = \sum_{k=1}^m C_m^k p_\Omega^k (1-p_\Omega)^{m-k} \prod_{i=1}^n [1 - (1-p_i)^k], \quad (9)$$

где p_Ω – ВБР оборудования МФМ, составляющего множество Ω ; p_i – ВБР оборудования МФ, относящегося к множеству $\Phi_i \setminus \Omega$.

Если потеря модулем различных функций равновероятна ($p_i = p_j = p$), то

$$P = \sum_{k=1}^m C_m^k p_\Omega^k (1-p_\Omega)^{m-k} [1 - (1-p)^k].$$

Для МФМ вида (4) ВБР системы P вычисляется как

$$P = \prod_{i=1}^n [1 - (1-p_i)^m]. \quad (10)$$

Для МФМ вида (6) ВБР системы

$$\begin{aligned}
 P = & \sum_{k=m_0}^m C_m^k p_\Omega^k (1-p_\Omega)^{m-k} \times \\
 & \times \prod_{i=1}^n [\sum_{s=m_0}^m C_m^s p_i^s (1-p_i)^{m-s}], \quad (11)
 \end{aligned}$$

для МФМ вида (4) ВБР системы

$$P = \prod_{i=1}^n [\sum_{s=m_0}^m C_m^s p_i^s (1-p_i)^{m-s}]. \quad (12)$$

Основная проблема в решении задач оценки и выбора вариантов по совокупности показателей состоит в формулировании условий предпочтительности сравниваемых вариантов. В одних случаях для этой цели применяют понятие полезности, с помощью которого производится измерение различных свойств по единой шкале полезности. Полезности свойств объединяются, и упорядочивание вариантов производится по значениям скалярной функции полезности на множестве вариантов. В других случаях наиболее предпочтительный вариант выделяется в результате попарного сравнения вариантов. Но и в том и в другом случае суждение о предпочтительности вариантов строится на основе представления руководителя работ (в дальнейшем лицо, принимающее решение, ЛПР) о достоинствах и недостатках отдельных вариантов, о ценности присущих соответствующим вариантам свойств. Общая методология оценки и сравнения вариантов по совокупности показателей направлена на формализацию ряда

этапов процедуры принятия решений, разработку методов перехода наиболее рациональным и последовательным путём от представления руководителя о ценности свойств к заключению о предпочтительности вариантов. Рассмотрим основные аспекты методологии принятия решений.

Моделью многокритериальной задачи принятия решений в дальнейшем будем называть упорядоченную семёрку

$$G = (N, S, X, f, L, \rho, V), \quad (13)$$

где N – множество модулей УФЛО; S – множество решений (альтернатив, вариантов УФЛО); X – множество показателей; f – отображение множества вариантов в множество векторных оценок; L – множество постановок (типов) задач сравнения вариантов; ρ – система предпочтений лица, принимающего решение; V – множество возможных правил выбора решения УФЛО.

В многокритериальной задаче принятия решения качество варианта УФЛО оценивается совокупностью показателей X_1, X_2, \dots, X_m , $m \geq 2$, которые, считается, полностью характеризуют УФЛО при сравнении вариантов. К таким показателям относятся динамические, надёжностные, ресурсные, технологические и другие. Существенным при формировании набора показателей X является требование различимости уровней (интенсивности) присущих вариантам свойств, определяемых показателями. Интенсивности свойств вариантов могут изменяться дискретно или непрерывно. Для изменения степени важности свойства разрабатывается оценочная шкала показателя, представляющая собой множество оценок $\{x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^l\}$. В дальнейшем используем для обозначения шкалы тот же символ, что и для обозначения показателя X_j . Шкалы, обозначающие множества X , могут быть числовые и нечисловые (вербальные), относиться к различным типам шкал. Наименее совершенной шкалой показателей, применяемых в многокритериальных задачах, является порядковая шкала. Показатели, имеющие порядковую шкалу, называются качественными. Значение качественного показателя имеет смысл сравнивать только по отношениям «больше», «меньше», «равно» – они сохраняются при монотонных преобразованиях.

При сравнении и оценке вариантов по совокупности свойств предполагается, что лицо, принимающее решение, может сопоставлять и делать вывод по предпочтительности интенсивностей различных свойств, изменений интенсивностей свойств, сочетания интенсивностей различных свойств и т. д. на основе своих представлений о ценности свойств. Эти представления и образуют систему предпочтений ρ . Обычно предполагается, что ЛПР, высказывая суждения, действует рацио-

нально, то есть остаётся последовательным, не допускает противоречий и т. д. Формально при таком способе получения информации о предпочтениях система предпочтений описывается отношениями предпочтения на множествах векторных оценок [5].

Решающее правило (метод принятия решений) определяет принцип сравнения векторных оценок с целью установления предпочтительности одних из них по отношению к другим. Оно может быть представлено аналитическим выражением или алгоритмом. Решающее правило должно учитывать особенность используемой в задаче информации о предпочтениях ЛПР, имеющиеся ограничения и принятые допущения, тип решаемой многокритериальной задачи. Этим обусловлено большое число предлагаемых решающих правил, и одна из трудностей решения многокритериальных задач связана с выбором решающего правила, адекватно поставленной задаче. Например, выделение недоминируемых вариантов осуществляется на основе правила, задающего частичный порядок на множестве вариантов. Если решающее правило допускает упорядочение элементов множества вариантов, то процесс упорядочения автоматически определяет любое требуемое число вариантов, которые являются более предпочтительным по сравнению с другими. Если ЛПР действует рационально, то оно должно согласиться с предлагаемым решением. Иначе следует пересмотреть решающее правило или информацию о целях, показателях и оценках по показателям.

В настоящее время передовыми производителями СБИС используются литографические установки с λ равными 248 и 193 нм. В классическом случае применения проекционной оптики минимальные размеры (Critical Dimension) элементов СБИС составляют не менее 90% от λ . Попытка дальнейшего уменьшения размеров элементов приводит к их деструкции при экспонировании в результате негативного влияния явлений дифракции и интерференции. Используемые методы повышения разрешения, в частности метод иммерсии и коррекции оптического эффекта близости требует применения сложных САПР для функционального моделирования процессов литографии и травления, а также обработки больших массивов данных по технологической дефектности.

Решающее правило в задачах выбора наиболее предпочтительного варианта и полного упорядочения на множестве вариантов часто имеют вид функций, зависящих от оценок вариантов по всем показателям. С этой целью вводится новое понятие (ценность, полезность, важность), с помощью которого удаётся сформулировать решающее правило. Если ЛПР строит свои действия на основе определённых допущений, то на множестве векторных оценок Y может быть определена функция

полезности, связывающая это множество с множеством чисел. Используя методы теории полезности, информация о предпочтении ЛПР преобразуется в численную информацию о полезности свойств вариантов. Затем эту численную информацию применяют для вычисления полезностей реальных вариантов. Полученные результаты сравнения численных значений полезностей вариантов вновь преобразуются в суждения о предпочтении.

При сравнении вариантов конструктивных решений технологии и оборудования УФЛО предпочтение отдаётся тому из них, который обладает большим значением ожидаемого экономического эффекта и надёжностью.

На этапе принятия решения ещё не известны окончательные параметры нового технического решения, которое будет принято за основу при создании оборудования УФЛО. Экономическое сравнение имеет приближённый характер. Но оно ориентирует разработчика в выборе технических решений для создания оборудования УФЛО по со-

ставляющим элементам и позволяет использовать при этом функционально-стоимостной анализ.

Библиографические ссылки

1. URL: <http://www.eks.fel.mirea.ru> (дата обращения 6.11.12).
2. **Формирование плёнок плазменной полимеризацией органических и кремнийорганических мономеров** / В.Д. Вернер, С.В. Зеленцов, Д.Б. Ломоносов, В.Г. Шинкаревский // Электронная промышленность. 1988. № 7. С. 16.
3. **Зеленцов С.В., Зеленцова Н.В.** Современная фотолитография. Нижний Новгород: ННГУ, 2006. 56 с.
4. **Экономика машиностроения** / Е.М. Карлик, К.М. Великанов, В.Ф. Власов, А.П. Градов и др. [под общ. ред. Е.М. Карлика]. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1985. 392 с.
5. **Слободин М.Ю., Царёв Р.Ю.** Компьютерная поддержка многоатрибутивных методов выбора и принятия решений при проектировании корпоративных информационно-управляющих систем. СПб.: Инфо-да, 2004. 223 с.

УДК 621.002 (035)

В.Б. Великанов, д-р техн. наук, **Ю.В. Денисов**, канд. техн. наук, проф., **А.Ю. Нефедов**, **И.И. Пахомов** (ФГУП «Уральский электромеханический завод», г. Екатеринбург)

nefedov_alexandr@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

Рассмотрено решение проблемы совершенствования технологии производства миниатюрных деталей прецизионных приборов. Проанализированы различные виды технологических операций, определяющие структуру механообрабатываемого производства, и установлены основные факторы, влияющие на характер технологических процессов.

Ключевые слова: детали прецизионных приборов, конструктивные особенности деталей, маршрутная технология, операционная технология, стратегия обработки, электроэрозионная обработка, токарная обработка маложёстких деталей, круглошлифовальная обработка, сверление глубоких отверстий, удаление заусенцев.

The problem solution of the production technology improvement for precision devices diminutive details is considered. The different types of technological operations defining structure of machining production structure are analyzed and the major factors influencing on technological processes nature are established.

Key words: precision devices details, design features of details, route technology, operational technology, processing strategy, electrodischarge processing, turning of low-rigid details, circular grinding, deep hole drilling, deburring.

Технологические аспекты функционирования механообрабатываемого производства играют существенную роль в реализации эффективных процессов изготовления деталей на предприятиях приборостроения. Под технологическими аспектами понимается необходимость решения вопросов, возникающих в ходе проектирования техно-

логических процессов изготовления деталей. На характер и особенности технологических процессов влияют следующие основные факторы: объёмы производства и его серийность; конструктивная форма и размеры обрабатываемых деталей; материал деталей и его свойства; парк используемого оборудования и его возможности. Конст-

Рисунки к статье В.А. Васина, Е.Н. Ивашова, М.Ю. Корпачёва,
П.С. Костомарова, С.В. Степанчикова

**"МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УФ-ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО МОДУЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ"**

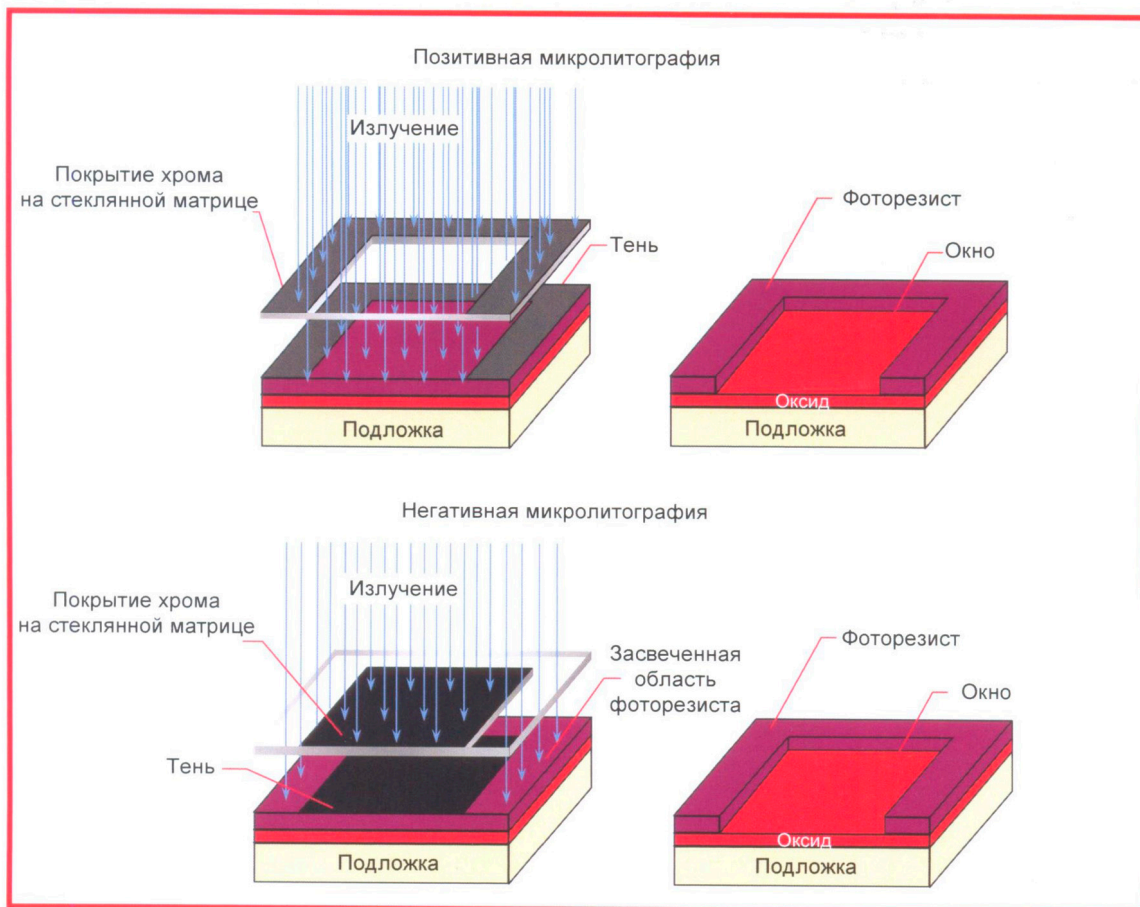


Рис. 1. Позитивная и негативная ультрафиолетовая литография

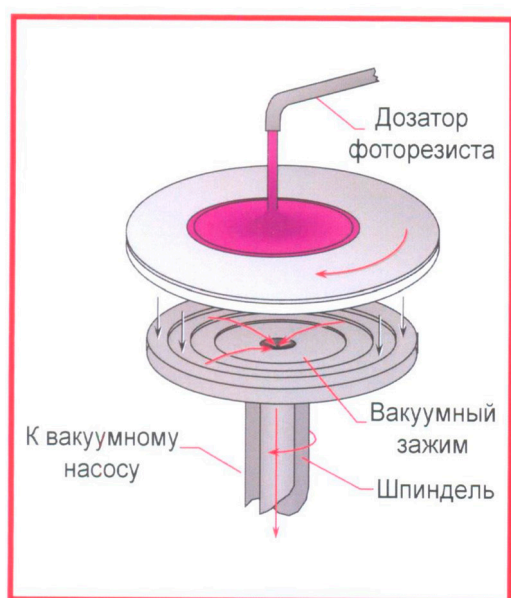


Рис. 2. Нанесение фоторезиста на поверхность подложки

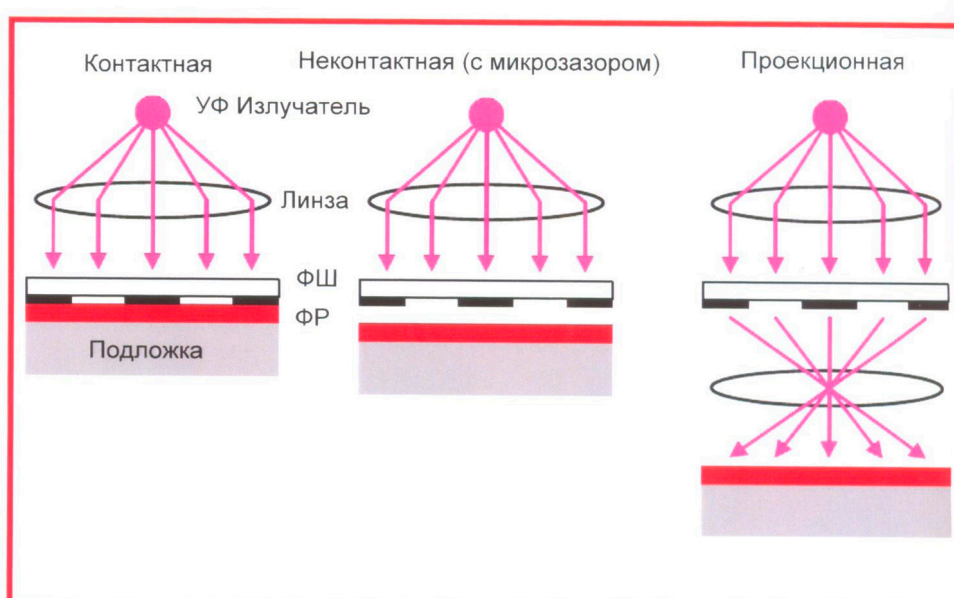


Рис. 3. Методы ультрафиолетовой литографии

Рисунки к статье В.А. Васина, Е.Н. Ивашова, М.Ю. Корпачёва,
П.С. Костомарова, С.В. Степанчикова

**"МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УФ-ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО МОДУЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ"**



Рис. 4. Проявление изображения в слое фоторезиста

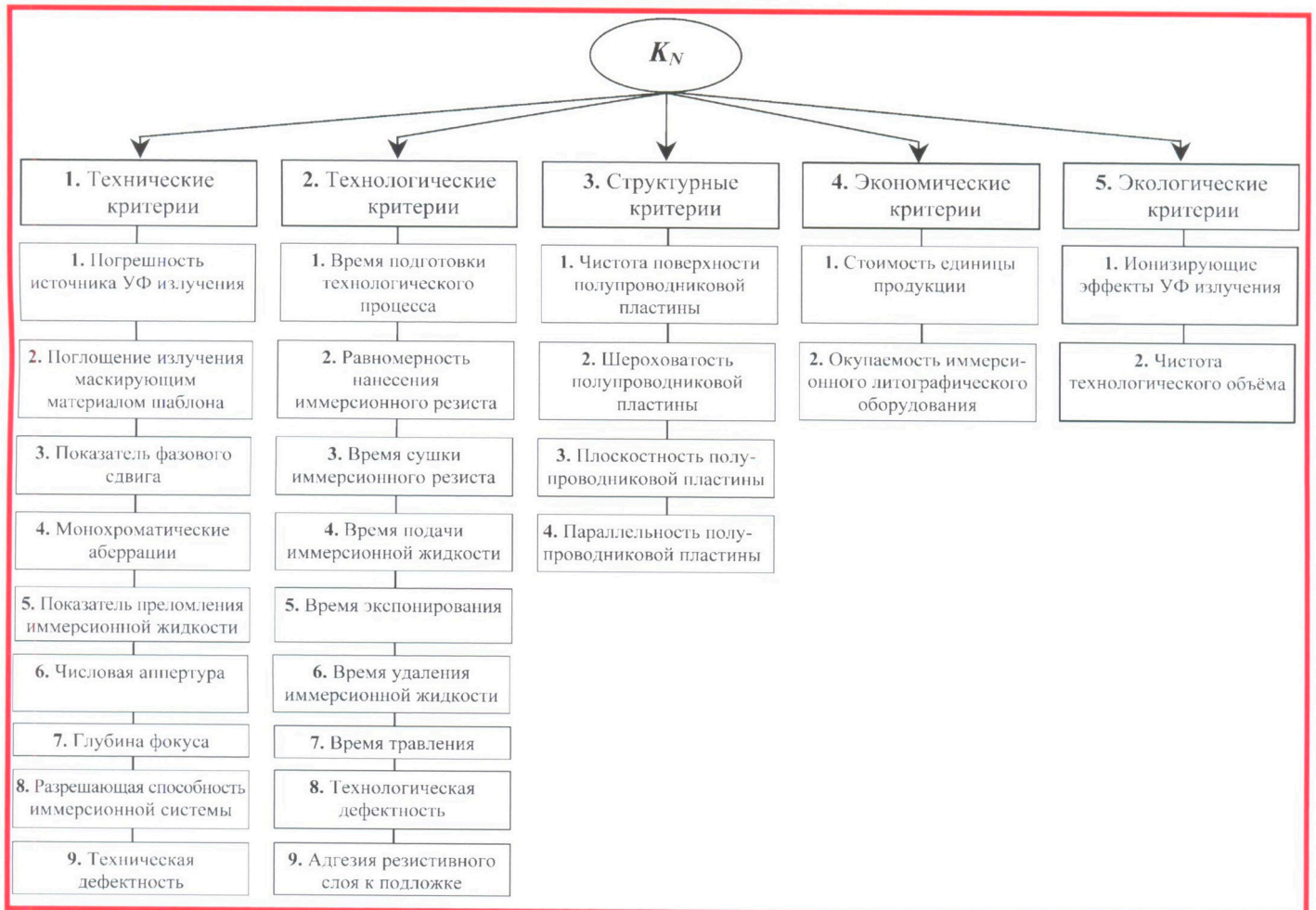


Рис. 5. Обобщенный критерий оценки качества оборудования УФЛО