

РАСЧЁТ ВЫСОКОАПЕРТУРНЫХ КОНФОКАЛЬНЫХ ДИФРАКЦИОННО-ЛИНЗОВЫХ ОБЪЕКТИВОВ

Грейсх Г.И., Ежов Е.Г., Левин И.А., Степанов С.А.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация

В работе исследованы возможности коррекции монохроматических аберраций высокоапертурных конфокальных объективов, состоящих из дифракционных линз. Потенциальные возможности этих объективов демонстрируются применительно к задачам глубокой ультрафиолетовой литографии и сравниваются с возможностями рефракционно-линзовых объективов. Показано, что сопоставимые характеристики у дифракционно-линзовых объективов достигаются при существенно меньшем количестве линз.

Ключевые слова: дифракционная линза, рефракционная линза, параксиальный расчёт, коррекция аберраций, конфокальный объектив, телецентрический ход лучей, глубокая ультрафиолетовая литография.

Введение

В настоящей работе рассматриваются объективы, предназначенные для копирования микроизображений с заданным увеличением. Наряду с требованиями высокого разрешения (соизмеримого с длиной волны используемого излучения) и ортоскопичности, к таким объективам предъявляется требование телецентрического хода главных лучей в пространствах предметов и изображений. Телецентричность является одним из необходимых условий достижения одинакового разрешения и равномерной освещённости по всему полю фотоприёмника при условии, конечно, равномерной освещённости предмета, т.е. копируемого носителя микроизображения.

Известно, что рефракционно-линзовые объективы такого типа имеют весьма сложную конструкцию. В частности, фотолитографические объективы, работающие с квазимонохроматическими источниками видимого диапазона, содержат порядка десяти линз [1], а объективы глубокой ультрафиолетовой (DUV – deep ultra-violet) литографии состоят из нескольких десятков линз [2-5]. В то же время, как показано в работах [6-9], объективы, содержащие не более трёх дифракционных линз (ДЛ), уже способны формировать монохроматическое изображение с высоким разрешением по достаточно большому полю. Вышеизложенное обуславливает целесообразность исследования возможностей копирования микроизображений с помощью дифракционно-линзовых объективов.

Параксиальный расчёт

Телецентричность хода главных лучей в пространствах предметов и изображений обеспечивается одновременным выполнением двух условий. Во-первых, объектив должен быть конфокальным, т.е. состоять из двух имеющих положительную оптическую силу частей, и при этом задний фокус передней части должен совпадать с передним фокусом задней части. Во-вторых, общий фокус должен лежать в плоскости апертурной диафрагмы.

При разработке методики параксиального расчёта конфокальных дифракционно-линзовых объективов будем считать заданными габарит системы L ,

т.е. расстояние от плоскости предмета до плоскости изображения, и линейное увеличение объектива

$$\beta = y'/y, \quad (1)$$

где $2y$ и $2y'$ – линейные поля в пространствах предметов и изображений, соответственно.

Используя аппарат матричной гауссовой оптики [10-12] и пренебрегая подложками ДЛ, гауссовы коэффициенты дифракционно-линзового объектива представим в виде

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma_j & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ q & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma_1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Здесь

$$\begin{pmatrix} a & b \\ q & p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & d_{j-1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma_{j-1} & 1 \end{pmatrix} \dots \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

J – число ДЛ объектива, d_j – расстояние между j -ой и $(j+1)$ -ой линзами, γ_j – гауссов коэффициент j -ой ДЛ, равный её оптической силе, взятой со знаком минус, т.е. $\gamma_j = -1/f_j$, где f_j – фокусное расстояние этой ДЛ [12].

Перемножив первые две матрицы, входящие в уравнение (2), получим

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ \alpha\gamma_j + q & b\gamma_j + p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \gamma_1 & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

откуда для гауссовых коэффициентов дифракционно-линзового объектива имеем следующие выражения:

$$A = a + b\gamma_1, \quad (5)$$

$$B = b, \quad (6)$$

$$C = \alpha\gamma_j + q + \gamma_1(b\gamma_j + p), \quad (7)$$

$$D = b\gamma_j + p. \quad (8)$$

Конфокальный объектив афокален, и его гауссовы коэффициенты имеют следующий вид [10]:

$$A = \beta, \quad (9)$$

$$C = 0, \quad (10)$$

$$D = 1/\beta. \quad (11)$$

Выражения (5), (7), (9) и (10) позволяют связать гауссовы коэффициенты первой и последней ДЛ с линейным увеличением, толщинами межлинзовых промежутков и гауссовыми коэффициентами остальных ДЛ объектива:

$$\gamma_1 = \frac{\beta - a}{b}, \tag{12}$$

$$\gamma_j = -\frac{q + \gamma_1 p}{a + \gamma_1 b}. \tag{13}$$

Передний и задний отрезки объектива связаны с габаритом и суммарной толщиной межлинзовых промежутков соотношением

$$s' - s = L - \sum_{j=1}^{J-1} d_j, \tag{14}$$

где, в соответствии с принятым в оптике правилом знаков, для действительных предмета и изображения $s < 0$, а $s' > 0$.

С другой стороны, отрезки s' и s связаны между собой через гауссовы коэффициенты [10]

$$s' = -\frac{B - As}{D - Cs}, \tag{15}$$

откуда, используя выражения (6), (9)-(11), получаем

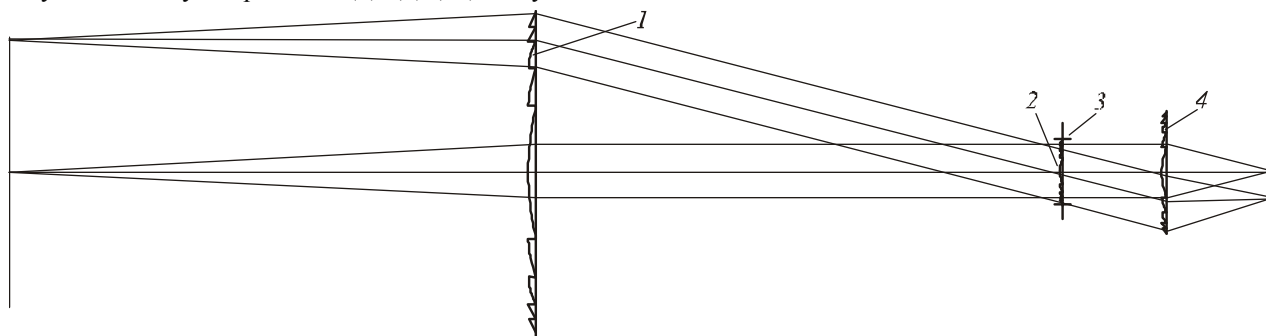


Рис. 1. Оптическая схема пропорционального объектива, состоящего из двух ДЛ (1, 4) и дифракционной асферики (2). 3 – апертурная диафрагма

В настоящей работе так же, как и в [13], ДЛ рассматриваются как бесконечно тонкие поверхности, вносящие в луч, падающий на поверхность в точку, отстоящую от оси на расстоянии ρ , фазовую добавку

$$\psi = m \sum_{i=1} A_i \rho^{2i}. \tag{18}$$

При этом фокусное расстояние ДЛ определяется коэффициентом A_1 :

$$f' = -\frac{\pi}{A_1 \lambda m}, \tag{19}$$

а коэффициенты A_i при $i=2,3, \dots$ являются коэффициентами асферических добавок. В формулах (18) и (19) $m=1$ – рабочий порядок дифракции, λ – длина волны излучения.

Отличительной особенностью пропорционально-трёхлинзового объектива, оптическая схема которого представлена на рис. 1, является то, что число одновременно устранимых aberrаций многократно превышает число коррекционных параметров. В результате он может быть свободным от всех моно-

$$s' = -\beta(b - \beta s). \tag{16}$$

Подставляя уравнение (16) в соотношение (14) для переднего отрезка объектива, запишем

$$s = -\frac{L + \beta b - \sum_{j=1}^{J-1} d_j}{1 - \beta^2}. \tag{17}$$

Коррекционные возможности конфокальных объективов-монохроматов

Оценку возможностей коррекции монохроматических aberrаций конфокальных дифракционно-линзовых объективов начнём с рассмотренного в работе [8] объектива, состоящего из трёх ДЛ, одна из которых, размещённая в плоскости апертурной диафрагмы, имеет нулевую оптическую силу, т.е. является дифракционной асферикой. Кроме того, что этот объектив является конфокальным, в нём осуществляется пропорциональный (подобный) ход лучей, что обеспечивается расположением предмета и изображения в фокальных плоскостях передней и задней ДЛ, а промежуточное изображение в пространстве между этими ДЛ формируется в бесконечности (рис. 1).

хроматических aberrаций третьего и пятого порядков, за исключением второй комы пятого порядка [8]. При этом сферическая aberrация и дисторсия отсутствуют во всех порядках aberrационного разложения. В результате числовая апертура объектива не ограничивается aberrациями и разрешение, по крайней мере, на оптической оси может быть соизмеримо с длиной волны. При этом благодаря отсутствию дисторсии изображение, формируемое объективом, остаётся всегда ортоскопическим.

Так как у рассматриваемого пропорционального дифракционно-линзового объектива в апертурной диафрагме расположена дифракционная асферика, то при параксиальном расчёте её можно не учитывать и считать объектив состоящим из двух ДЛ, разделённых промежутком толщиной d . В этом случае уравнение (3) существенно упрощается:

$$\begin{pmatrix} a & b \\ q & p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{20}$$

а соотношения (12), (13), (16) и (17) принимают вид

$$\gamma_1 = \frac{\beta - 1}{d}, \quad (21)$$

$$\gamma_2 = -\frac{\gamma_1}{1 + \gamma_1 d}, \quad (22)$$

$$s = -\frac{L + d(\beta - 1)}{1 - \beta^2}, \quad (23)$$

$$s' = -\beta(d - \beta s). \quad (24)$$

Пропорциональный ход лучей обеспечивается при $d = L/2$, откуда следует, что фокусные расстояния силовых ДЛ рассматриваемого объектива рассчитываются по формулам

$$f_1' = \frac{L}{2(1 - \beta)}, \quad (25)$$

$$f_2' = \frac{\beta L}{2(\beta - 1)}. \quad (26)$$

Исследования возможностей использования дифракционно-линзовых объективов для целей DUV-литографии производились путём сопоставления их предельно достижимых оптических характеристик с характеристиками рефракционно-линзового фотолитографического объектива ФЕНИКС-248 [14], состоящего из 29 линз и формирующего изображение на длине волны эксимерного KrF-лазера ($\bar{\lambda} = 0,2483$ мкм) с пятикратным уменьшением (т.е. при $\beta = -0,2$) и с числовой апертурой в пространстве изображений $A' = 0,65$.

При габарите системы $L = 1440$ мм объектив формирует изображение, практически не отличающееся от дифракционно-ограниченного, в пределах поля диаметром 30 мм.

Исследования, выполненные с использованием компьютерной программы оптического проектирования ZEMAX [13], показали, что в результате оптимизации, проводимой по всем конструктивным параметрам дифракционного трёхлинзового объектива, можно практически в отсутствие дисторсии и при вышеуказанных значениях увеличения аперту-

ры и габарита получить поле высококачественного монохроматического изображения диаметром порядка 8,5 мм. Здесь и далее оценка качества изображения осуществлялась по критерию Марешаля, согласно которому изображение точечного источника, формируемое оптической системой, практически не отличается от дифракционно-ограниченного, если нормированная интенсивность в дифракционном фокусе, т.е. интенсивность Штреля $I_s \geq 0,8$ [15].

Поле высококачественного монохроматического изображения, формируемое рассмотренным трёхлинзовым объективом, ограничено в основном нечётными абберациями высших порядков (и прежде всего комой), вносимыми последней короткофокусной ДЛ. Поэтому исследовалась целесообразность распределения её оптической силы между несколькими ДЛ. В результате была сконструирована пятилинзовая схема, представленная на рис. 2. Коррекция её монохроматических аббераций третьего и пятого порядков, выполнявшаяся с использованием псевдодолучевой методики, изложенной в работах [9, 12], и последующая оптимизация позволили получить конструктивные параметры (см. табл. 1, 2), обеспечивающие поле высококачественного монохроматического изображения диаметром порядка 20 мм. Учитывая, что современные технологии не гарантируют стопроцентной дифракционной эффективности, дальнейшее наращивание числа ДЛ в объективе вряд ли целесообразно.

Следующим рациональным шагом представлялся переход к ДЛ, структуры которых размещены на сферических поверхностях [16]. Эффективность такого шага демонстрируется тем, что уже в случае четырёхлинзового объектива (см. рис. 3 и табл. 3, 4) поле высококачественного монохроматического изображения удалось расширить до 24 мм и при этом дисторсия не превышает $\bar{\lambda}/10$ по всему полю. Наибольшую пространственную частоту квазипериодической микроструктуры имеет ДЛ, расположенная за апертурной диафрагмой (поз.4 на рис. 3). Минимальный период её микроструктуры соизмерим с длиной волны $\bar{\lambda}$.

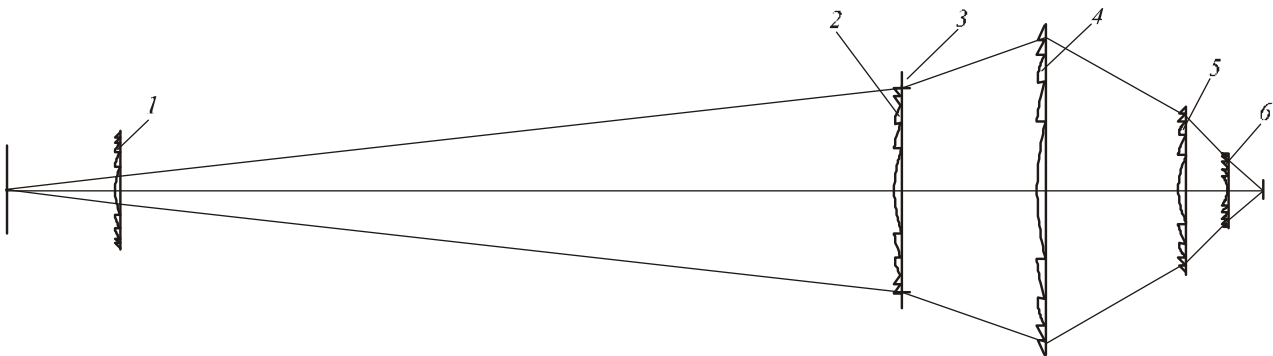


Рис. 2. Оптическая схема конфокального объектива, состоящего из пяти плоских ДЛ (1, 2, 4 – 6). 3 – апертурная диафрагма

Таблица 1. Толщины межлинзовых промежутков в конфокальном объективе, состоящем из пяти плоских ДЛ

Сопряжённые плоскости и № ДЛ	Толщина, мм	Оптическая среда
Плоскость предмета	181,1513	He
1	859,1844	He
2	182,3666	He
3	150,9246	He
4	44,55734	He
5	21,81585	He
Плоскость изображения	0,0000	

Таблица 2. Коэффициенты разложения фазовых добавок, вносимых в луч ДЛ конфокального пятилинзового объектива

№ ДЛ	1	2	3	4	5
$A_1, \text{мм}^{-2}$	-14,726099	-0,26750055	-64,832486	-33,088197	28,874498
$A_2 \cdot 10^6, \text{мм}^{-4}$	-2,3598871	526,36699	33,398051	200,03571	2343,525
$A_3 \cdot 10^{10}, \text{мм}^{-6}$	-114,19023	59,409086	-1,282895	100,4029	27950,339
$A_4 \cdot 10^{14}, \text{мм}^{-8}$	1795,7243	9,4719241	1,8835588	-558,34661	-1313763,8
$A_5 \cdot 10^{18}, \text{мм}^{-10}$	-13600,013	-1,149598	-1,5066598	1897,6788	27955787
$A_6 \cdot 10^{22}, \text{мм}^{-12}$	48047,262	-5,1501782	1,2032907	-4550,5235	-132608220
$A_7 \cdot 10^{26}, \text{мм}^{-14}$	-3851,3188	17,888113	-0,61564622	3485,0969	-3806640600
$A_8 \cdot 10^{30}, \text{мм}^{-16}$	-635803,31	-23,140408	0,2326898	7755,5394	9900051600
$A_9 \cdot 10^{34}, \text{мм}^{-18}$	2531281,1	11,979667	-0,081070036	-9677,4279	1631601400000
$A_{10} \cdot 10^{38}, \text{мм}^{-20}$	-4727234,5	0,7805208	0,0246938	-29250,694	-26889547000000
$A_{11} \cdot 10^{42}, \text{мм}^{-22}$	4469061,5	-3,0751098	-0,0047897975	67778,223	162102180000000
$A_{12} \cdot 10^{46}, \text{мм}^{-24}$	-1720869,6	0,83896487	0,00039879814	-40118,028	-317047140000000

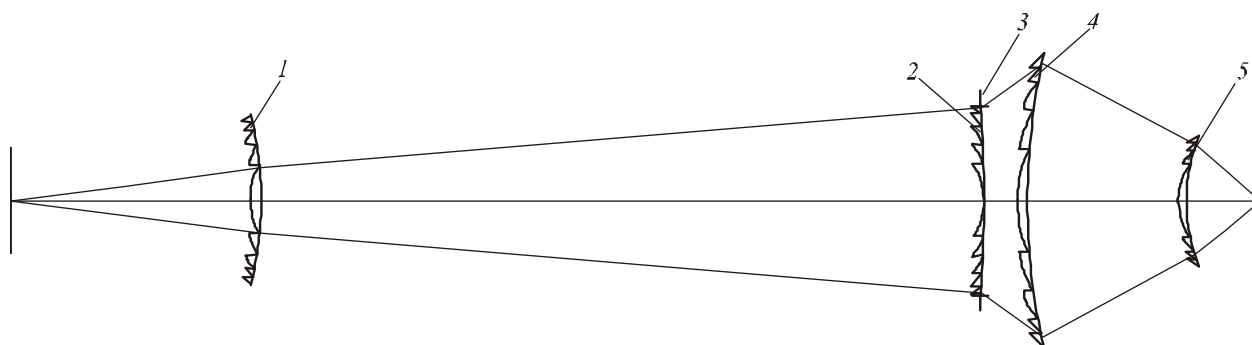


Рис. 3. Оптическая схема конфокального объектива, состоящего из четырёх ДЛ (1, 2, 4, 5), структуры которых размещены на сферических поверхностях. 3 – апертурная диафрагма

Таблица 3. Радиусы поверхностей и толщины межлинзовых промежутков конфокального объектива, состоящего из четырёх ДЛ, структуры которых размещены на сферических поверхностях

Сопряжённые плоскости и № ДЛ	Радиус, мм	Толщина, мм	Оптическая среда
Плоскость предмета	∞	289,0226	He
1	-427,0361	833,8328	He
2	-1257,563	50,09108	He
3	781,1937	183,2285	He
4	177,6755	83,82499	He
Плоскость изображения	∞	0,0000	

Таблица 4. Коэффициенты разложения фазовых добавок, вносимых в луч ДЛ конфокального четырёхлинзового объектива

A_i \ № ДЛ	1	2	3	4
$A_1, \text{мм}^{-2}$	-15,173793	47,736909	-87,731316	-51,258192
$A_2 \cdot 10^6, \text{мм}^{-4}$	-13,490748	440,57676	35,738316	219,54919
$A_3 \cdot 10^{10}, \text{мм}^{-6}$	-28,757868	-31,219811	40,845685	393,57289
$A_4 \cdot 10^{14}, \text{мм}^{-8}$	295,07161	-12,122506	-10,129143	-2311,0531
$A_5 \cdot 10^{18}, \text{мм}^{-10}$	-1605,2186	43,029778	2,5239472	62574,618
$A_6 \cdot 10^{22}, \text{мм}^{-12}$	4688,2233	-43,779299	-1,3572922	-601552,92
$A_7 \cdot 10^{26}, \text{мм}^{-14}$	-6212,4547	24,848263	0,77014165	3352912
$A_8 \cdot 10^{30}, \text{мм}^{-16}$	-2099,9853	-5,1241039	-0,25457438	-11714794
$A_9 \cdot 10^{34}, \text{мм}^{-18}$	19402,184	0,89951217	0,027196667	26115224
$A_{10} \cdot 10^{38}, \text{мм}^{-20}$	-27602,208	-3,6820576	0,0091677057	-36135891
$A_{11} \cdot 10^{42}, \text{мм}^{-22}$	17461,271	2,9482797	-0,0032651278	28321023
$A_{12} \cdot 10^{46}, \text{мм}^{-24}$	-4301,3834	-0,69528963	0,00030790426	-9616168,4

Учёт ширины полосы излучения лазера

Спектральная ширина линии излучения любого лазера, в том числе и эксимерного, конечна. Поэтому при сопряжении эксимерного лазера с дифракционно-линзовым объективом и оценке качества формируемого изображения необходимо учитывать влияние хроматизма и, прежде всего, продольного, т.е. приращения заднего отрезка, вызываемого отходом длины волны используемого излучения от расчётного значения. В этом случае допустимая спектральная ширина линии может быть оценена по формуле

$$\Delta\lambda \leq \frac{\Delta s'_{\max}}{\delta s'}, \quad (27)$$

где

$$\Delta s'_{\max} = \frac{1 - A'^2}{A'^2} \bar{\lambda} \quad (28)$$

- допустимый хроматизм, определяемый исходя из условия близости качества формируемого изображения к дифракционно-ограниченному [15],

$$\delta s' = \frac{ds'}{d\lambda} \quad (29)$$

- относительный продольный хроматизм рассчитанных объективов.

С учётом ранее выбранных значений расчётной длины волны и числовой апертуры в пространстве изображений ($\bar{\lambda} = 0,2483$ мкм и $A' = 0,65$) величина $\Delta s'_{\max} \approx 0,34$ мкм. В то же время у рассчитанных дифракционно-линзовых объективов, состоящих из пяти плоских ДЛ или четырёх ДЛ, структуры которых размещены на сферических поверхностях, относительный продольный хроматизм $\delta s' \approx 0,9$ мкм/пм. Отсюда следует, что эти объективы способны формировать изображение, близкое к дифракционно-ограниченному при использовании лазерного излу-

чения с шириной линии порядка 0,4 пм по уровню 0,5. Это ограничение на ширину спектральной линии сегодня вполне приемлемо.

Действительно, оснащение эксимерных лазеров, специально разработанных для DUV-литографии, дополнительным резонатором с дисперсионными элементами позволяет существенно сузить ширину спектральной линии [17]. В частности, промышленно выпускаемый KrF-лазер марки K2005 фирмы Lambda Physik USA, Inc. имеет ширину спектральной линии менее 0,4 пм по уровню 0,5, и при этом 95% энергии излучения заключено в спектральном интервале, не превышающем 1,25 пм [18].

Заключение

Проведённые исследования с учётом современных достижений в производстве эксимерных лазеров показывают, что применительно к задачам DUV-литографии дифракционно-линзовые объективы являются вполне конкурентоспособными, т.к. сопоставимые оптические характеристики у них могут быть достигнуты при существенно меньшем количестве линз по сравнению с рефракционно-линзовыми объективами.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Госконтракт 16.740.11.0145).

Литература

1. Вычислительная оптика: справочник / под ред. М.М. Русинова. – Л.: Машиностроение, 1984. – 423 с.
2. Ulrich, W. Trends in Optical Design of Projection Lens for UV and EUV Lithography / W. Ulrich, S. Beiersdoerfer, H.J. Mann // Proc. SPIE. - 2000. - V. 4146. - P. 13 – 24.

3. Пат. US6801364B2 США. Projection objective for microlithography / Karl-Heinz Schuster; заявитель и патентообладатель Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen, DE; опубл. 05.10.2004.
4. Пат. US7154677B2 США. Projection objective for microlithography / Karl-Heinz Schuster; заявитель и патентообладатель Carl Zeiss Stiftung, Brenz, DE; опубл. 26.12.2006.
5. Bruning, J.H. Optical lithography: 40 years and holding / J.H. Bruning // Proc. SPIE. - 2007. - V. 6520. - P. 652004-1-652004-13.
6. Бобров, С.Т. Монохроматические aberrации дифракционной двухкомпонентной оптической системы / С.Т. Бобров, Г.И. Грейсух // Оптика и спектроскопия. - 1980. - Т. 49, - Вып. 4. - С. 809-813.
7. Грейсух, Г.И. Коррекция монохроматических aberrаций третьего порядка дифракционного двухлинзового объектива / Г.И. Грейсух // Оптика и спектроскопия. - 1980. - Т. 49, - Вып. 6. - С. 1212-1215.
8. Бобров, С.Т. Оптика дифракционных элементов и систем / С.Т. Бобров, Г.И. Грейсух, Ю.Г. Туркевич. - Л.: Машиностроение, 1986. - 223 с.
9. Greisukh, G.I. Optics of diffractive and gradient-index elements and systems / G.I. Greisukh, S.T. Bobrov, S.A. Stepanov. - Bellingham: SPIE Press, 1997. - 414 p.
10. Герцбергер, М. Современная геометрическая оптика / М. Герцбергер. - М.: Иностранная литература, 1962. - 487 с.
11. Джерард, А. Введение в матричную оптику / А. Джерард, Дж. М. Бёрч. - М.: Мир, 1978. - 341 с.
12. Грейсух, Г.И. Оптика градиентных и дифракционных элементов / Г.И. Грейсух, И.М. Ефименко, С.А. Степанов. - М.: Радио и связь, 1990. - 136 с.
13. ZEMAX: software for optical system design [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.zemax.com>
14. Бельский А.Б. Перспективы развития оптических систем для нанолитографии / А.Б. Бельский, М.А. Ган, И.А. Миронов, Р.П. Сейсян // Оптический журнал. - 2009. - Т. 76, №8. - С. 59-69.
15. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф - М.: Наука, 1973. - 720 с.
16. Ежов, Е. Г. Расчёт хода псевдолучей через дифракционные структуры, выполненные на сферической поверхности / Е.Г. Ежов, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 2000. - Вып. 20. - С. 25-28.
17. Excimer Laser Technology / by ed. D. Basting and G. Marowsky. - Berlin: Springer, 2005. - 433 p.
18. NovaLine Lithography Lasers and EUV Sources [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.artisan-scientific.com/info/Lambda_K2000_Datasheet.pdf.
2. Ulrich W. Trends in Optical Design of Projection Lens for UV and EUV Lithography / W. Ulrich, S. Beiersdoerfer, H.J. Mann // Proc. SPIE. - 2000. - V. 4146. - P. 13-24.
3. Пат. US6801364B2 Projection objective for microlithography / Karl-Heinz Schuster; Assignee: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen, DE; date of patent 05.10.2004.
4. Пат. US7154677B2 Projection objective for microlithography / Karl-Heinz Schuster; Assignee: Carl Zeiss Stiftung, Brenz, DE; date of patent 26.12.2006.
5. Bruning, J.H. Optical lithography: 40 years and holding / J.H. Bruning // Proc. SPIE. 2007. V. 6520. P. 652004-1-652004-13..
6. Bobrov, S.T. Monochromatic Aberrations of Two-component Optical System / S.T. Bobrov, G.I. Greisukh, // Optika i Spektroskopiya. - 1980. - V. 49, N. 4. - P. 809-813 (in Russian)
7. Greisukh, G.I. Correction of the third order monochromatic aberrations of the two-lens diffractive objective / G.I. Greisukh, // Optika i Spektroskopiya. - 1980. - V. 49, N. 6. - P. 1212-1215 (1980) (in Russian)
8. Bobrov, S.T. Optics of diffractive elements and systems / S.T. Bobrov, G.I. Greisukh, Yu.G. Turkevich. - Leningrad, Mashinostroenie, 1986. - 223 p. - (in Russian).
9. Greisukh, G.I. Optics of diffractive and gradient-index elements and systems / G.I. Greisukh, S.T. Bobrov, S.A. Stepanov - Bellingham: SPIE Press, 1997. - 414 p.
10. Herzberger, M. Modern geometrical optics / M. Herzberger - New York - London, Interscience Publishers, Inc., 1958.
11. Gerard, A. Introduction to Matrix Methods in Optic / A. Gerard, J.M. Burch - New York, Wiley, 1975. - 340 p.
12. Greisukh, G.I. Optics of Gradient-Index and Diffractive Elements / G.I. Greisukh, I.M. Efimenko, and S.A. Stepanov - Moscow.: Radio i svjaz, 1990. - (in Russian)
13. ZEMAX: software for optical system design [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.zemax.com>
14. Belsky A.B. Prospects for the development of optical systems for nanolithography / A.B. Belsky, M.A. Gan, I.A. Mironov, and R.P. Seysyan // Journal of Optical Technology - 2009. - V. 76, N. 8. - P. 59-69.
15. Born, M. Principles of Optics, 5th ed / M. Born, E. Wolf - N.Y.: Pergamon Press, 1964.
16. Ezhov, E.G. Pseudo-ray tracing through the diffraction structures on the spherical surfaces / E.G. Ezhov, S.A. Stepanov // Computer Optics. - 2000. - Iss. 20. - P. 25-28. - (in Russian).
17. Excimer Laser Technology / by ed. D. Basting and G. Marowsky. - Berlin: Springer, 2005. - 433 p.
18. NovaLine Lithography Lasers and EUV Sources [Electronic resource]. - Access mode: http://www.artisan-scientific.com/info/Lambda_K2000_Datasheet.pdf.

References

DESIGN OF HIGH APERTURE CONFOCAL DIFFRACTIVE OBJECTIVES

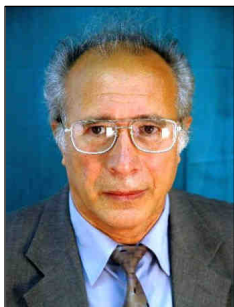
G. I. Greysukh, E. G. Ezhov, I. A. Levin, S. A. Stepanov
Penza State University of Architecture and Construction

Abstract

The possibilities of correction of monochromatic aberrations of high aperture confocal diffractive objectives are investigated. Potential possibilities of these objectives for deep ultra-violet lithography are compared to possibilities of refractive objectives. It is shown, that comparable characteristics at diffractive objectives are reached at essentially smaller quantity of lenses.

Key words: diffractive lens, refractive lens, paraxial design, correction of aberrations, confocal objective, telecentric ray tracing, deep ultra-violet lithography.

Сведения об авторах



Грейсух Григорий Исаевич, 1943 года рождения. В 1965 году окончил Пензенский политехнический институт по специальности «Радиотехника». Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук (1990 год), профессор. Работает заведующим кафедрой физики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. Г.И. Грейсух - специалист в области расчёта оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ Г.И. Грейсуха 130 статей, 3 монографии, 9 авторских свидетельств. E-mail: grey@pguas.ru.

Grigoriy Isaevitch Greysukh (b. 1943) graduated (1965) from Penza Polytechnical Institute, majoring in radio engineering. He is the deserved worker of the Russian higher school. He received his Doctor in Technical (1990) degrees from Leningrad Institute of Precision Mechanics and Optics. He is chief of the Physics Department of Penza State University of Architecture and Construction. G.I. Greysukh is EOS and D. S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of 130 scientific papers, 3 monographs, and 9 inventions.



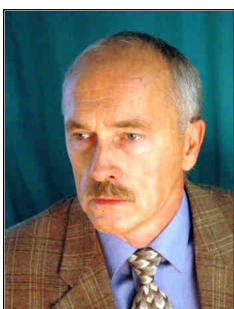
Ежов Евгений Григорьевич, 1977 года рождения. В 1999 году окончил Пензенский государственный университет по специальности «Радиотехника». Доктор физико-математических наук (2008 год), доцент. Работает профессором кафедры информационных систем и компьютерного моделирования Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Специалист в области расчёта оптических систем, математического моделирования и защиты информации. В списке научных работ Е.Г. Ежова свыше 50 статей и учебник. E-mail: grey@pguas.ru.

Eugeniy Grigorievich Ezhov (b. 1977) graduated (1981) from the Penza State University majoring in radio engineering. He received his Doctor in Physics & Maths (2008) degrees from Samara State Aerospace University. His current research interests include design of optical systems, mathematical modeling, and data security. He is co-author over 50 scientific papers and tutorial.



Левин Илья Анатольевич, 1987 года рождения. В 2009 году окончил Пензенский государственный университет по специальности «Физика». Ассистент кафедры физики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. В списке научных работ И.А. Левина 4 публикации. E-mail: grey@pguas.ru.

Ilya Anatolievich Levin (b. 1987) graduated (2009) from the Penza State University, majoring in Physics. He is assistant of the Physics Department of Penza State University of Architecture and Construction. He is co-author of 4 publications.



Степанов Сергей Алексеевич, 1951 года рождения. В 1974 году окончил Куйбышевский государственный университет (ныне - Самарский государственный университет) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (1999 г.), профессор, работает заведующим кафедрой «Автоматизированные системы управления» и профессором кафедры физики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. С.А. Степанов - специалист в области расчёта оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ С.А. Степанова 80 статей, 2 монографии, 5 авторских свидетельств. E-mail: asut@pguas.ru.

Sergei Alekseevich Stepanov (b. 1951) graduated (1974) from the Kuibyshev State University (presently, Samara State University), majoring in Physics. He received his Doctor in Physics & Maths (1999) degrees from Samara State Aerospace University. He is chief of Automated Control Systems Department and professor in the Physics Department of Penza State University of Architecture and Construction. He is a EOS and D. S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of 80 scientific papers, 2 monographs, and 5 inventions.

Поступила в редакцию 17 декабря 2010 г.