

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 17403

(13) С1

(46) 2013.08.30

(51) МПК

G 02B 17/06 (2006.01)

G 02B 21/16 (2006.01)

(54)

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

(21) Номер заявки: а 20110664

(22) 2011.05.13

(43) 2012.12.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Автор: Артюхина Нина Константиновна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 11762 С1, 2009.

ВУ 6554 U, 2010.

RU 2327194 С2, 2008.

SU 439778, 1975.

SU 637772, 1978.

UA 94303 С2, 2011.

EP 271737 А2, 1988.

JP 10274740 А, 1998.

US 7209285 В1, 2007.

(57)

Зеркальный объектив, содержащий три оптически сопряженных компонента, образующих анастигмат, в котором первый компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к предмету, второй компонент - зеркало с отрицательной оптической силой, третий компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к изображению, отличающийся тем, что профили поверхностей трех зеркал выполнены сферическими, а воздушные промежутки удовлетворяют условиям:

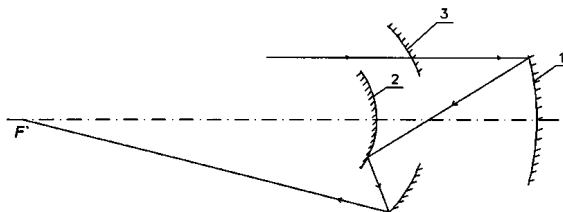
$$d_1\varphi = (r_1 - r_2),$$

$$d_2\varphi = (r_2 - r_3),$$

где d_1 , d_2 - расстояния между первым и вторым, вторым и третьим зеркалами соответственно;

φ - эквивалентная оптическая сила объектива;

r_1 , r_2 , r_3 - радиусы первого, второго и третьего зеркал соответственно.



Фиг. 1

Изобретение относится к оптическому приборостроению, а именно к созданию зеркальных и зеркально-линзовых объективов, и может быть использовано для оптических исследований в ультрафиолетовой микроскопии.

Известен зеркальный объектив [1], состоящий из трех асферических зеркал с разными вершинами первого и третьего вогнутых, второго выпуклого зеркал.

Недостатками данного объектива являются большие габариты третьего зеркала, неудобство расположения фокального узла и наличие асферических поверхностей у всех трех зеркал, что вносит конструктивные и технологические трудности.

Известен зеркальный объектив с тремя отражениями [2], содержащий первичное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала и третье вогнутое, поверхность которого нанесена на общую подложку с первичным. Зеркальный объектив не имеет промежуточного изображения, что создает трудности с устранением постороннего света.

Недостатками этого объектива являются трудности устранения постороннего света из-за мнимого промежуточного изображения и малый задний фокальный отрезок $S' = (0,1-0,5)f'$, что не позволяет создавать объективы с удобным расположением фокального узла, где располагается приемник изображения.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является зеркальный объектив [3], содержащий три оптически сопряженных компонента, создающих в совокупности анастигматическую оптическую систему, в которой первый компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к предмету, второй компонент - зеркало с отрицательной оптической силой, третий компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к изображению; все три зеркала образованы поверхностями вращения с общей осью, при этом отражающие поверхности первого и третьего зеркал - параболоиды, второго зеркала - гиперboloид. Объектив имеет увеличенный задний фокальный отрезок, что позволяет плоским четвертому и пятому зеркалам вынести изображение за габариты зеркального объектива. Дополнительные плоские зеркала служат только для излома оптической оси, не имеют оптической силы и не влияют на качество изображения.

Недостатками прототипа является ограниченная возможность развития апертуры при обеспечении качества изображения, близкого к дифракционному пределу, необходимого при оптических исследованиях в ультрафиолетовой микроскопии. Относительное отверстие зеркального объектива $D/f' = 1/20$. Кроме того, все три зеркальные поверхности в компонентах, имеющих оптическую силу, - асферические, что создает технологические трудности в изготовлении.

Задача, решаемая изобретением, заключается в увеличении апертуры при сохранении хорошего качества изображения.

Решение указанной задачи достигается тем, что в зеркальном объективе, содержащем три оптически сопряженных компонента, образующих анастигмат, в котором первый компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к предмету, второй компонент - зеркало с отрицательной оптической силой, третий компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к изображению, профили поверхностей трех зеркал выполнены сферическими, а воздушные промежутки удовлетворяют условиям:

$$d_1\varphi = (r_1 - r_2);$$

$$d_2\varphi = (r_2 - r_3),$$

где d_1 , d_2 - расстояния между первым и вторым, вторым и третьим зеркалами соответственно; φ - эквивалентная оптическая сила объектива; r_1 , r_2 , r_3 - радиусы первого, второго и третьего зеркал соответственно.

Такая композиция, состоящая из трех сферических зеркал, обеспечивающая действительное промежуточное изображение между первым и вторым зеркалами, позволяет получить отличный технический результат - увеличение апертуры не менее чем в 10 раз при сохранении хорошего качества изображения.

Сферические профили поверхностей зеркал устраняют все технологические трудности изготовления. Хорошее качество изображения (исправление сферической аберрации, комы и астигматизма) обеспечивает концентрическое расположение трех зеркал: центры кривизны зеркальных поверхностей совмещены друг с другом, что обусловлено параметрами

BY 17403 C1 2013.08.30

рическими ограничениями по формулам связи между конструктивными параметрами: радиусами r и воздушными промежутками d .

Ход светового луча при этом представляет собой последовательное отражение луча от всех зеркальных поверхностей с последующим построением изображения в задней фокальной плоскости объектива.

Данное схемное решение объектива, выполненного только из зеркальных элементов, исключает хроматические аберрации и позволяет использовать его в широком спектральном диапазоне. Увеличение апертуры системы позволяет создать светосильную систему и регистрировать слабосветящиеся объекты.

Сущность изобретения поясняется фигурами, где на фиг. 1 представлена схема зеркального объектива; на фиг. 2 - графики ЧКХ; на фиг. 3 - диаграмма изменения волнового фронта в рассчитанном варианте объектива.

Зеркальный объектив состоит из первого 1, второго 2 и третьего 3 зеркал. Зеркало 1 имеет положительную оптическую силу и обращено вогнутостью к предмету, зеркало 2 выпуклое с отрицательной оптической силой, зеркало 3 имеет положительную оптическую силу и обращено вогнутостью к изображению. Все три зеркала имеют сферические отражающие поверхности с общим центром кривизны.

Зеркальный объектив работает следующим образом.

Параллельный световой пучок лучей, идущих от бесконечно удаленного предмета, падает на зеркало 1, после отражения образует промежуточное действительное изображение. Это изображение система из двух зеркал 2 и 3 переносит с определенным масштабом в эквивалентную фокальную плоскость всего зеркального объектива.

По данной принципиальной схеме рассчитан зеркальный объектив с техническими характеристиками: фокусным расстоянием $f' = 50$ мм; относительным отверстием $D/f = 1:1,5$; угловым полем $2\omega = 3^\circ$. Его конструктивные данные (радиусы кривизны зеркал r , расстояния между зеркалами d , показатели преломления n):

r	d	n
$r_1 = -500$ мм,	$d_1 = -437,82$ мм,	1
$r_2 = -62,183$ мм,	$d_2 = 182,817$ мм.	-1
$r_3 = -245$ мм,		1
		-1

В таблице даны численные результаты расчета зеркального объектива в универсальном компьютерном пакете (РФ) Opal: парааксиальные характеристики объектива, суммы Зейделя и аберрации третьего порядка, аберрации осевого пучка: продольные и поперечные сферические аберрации.

Результаты компьютерного расчета в пакете Opal

Работа-RT		OPAL-PC		Парааксиальные характеристики		
F	F'	SF	SF'	SH	SH'	
50.00033	-50.00033	-550.00033	295.00033	-600.00067	345.00067	
Суммы и аберрации Зейделя						
sum	-.00692	.00000	.00000	-1.00000	.00000	.00000

Аберрации 3-го порядка						
-сфер. абер.	неизопл.	XT-XS	дисторсия	хром.пол.	хром.увел	
-.01922	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	
Аберрации осевого пучка						
-Отн.зр		Н ЗР	Tg'*100	Поперечные аберрации (мм)		
—коор						
1.000		16.6660	-35.355	.000701		
.866		14.4332	-30.153	.001466		
.707		11.7846	-24.255	.001316		
.500		8.3330	-16.904	.000638		
.000		.00000	.000	.000000		

BY 17403 C1 2013.08.30

На фиг. 2 представлены графики ЧКХ (частотно-контрастных характеристик). На фиг. 3 дана диаграмма изменения волнового фронта. Фиг. 2 и 3 представляют графическую интерпретацию результатов компьютерного расчета в программной среде Zemax (USA), которая соответствует дифракционному качеству изображения.

Таким образом, зеркальный объектив, содержащий три оптически сопряженных компонента, образующих анастигмат, в котором первый компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к предмету, второй компонент - зеркало с отрицательной оптической силой, третий компонент с положительной оптической силой - зеркало, обращенное вогнутостью к изображению, и, кроме того, профили поверхностей трех зеркал выполнены сферическими, а воздушные промежутки удовлетворяют условиям:

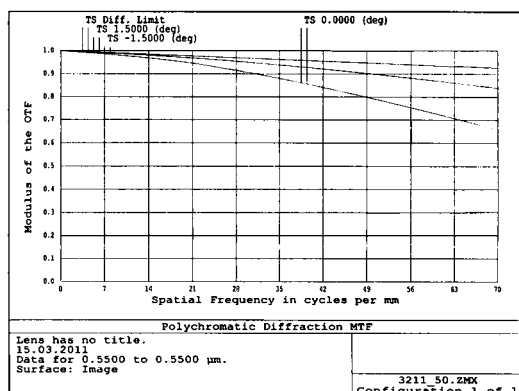
$$d_1\varphi = (r_1 - r_2);$$

$$d_2\varphi = (r_2 - r_3),$$

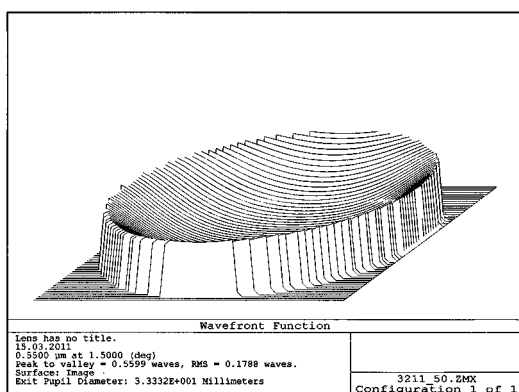
где d_1 , d_2 - расстояния между первым и вторым, вторым и третьим зеркалами соответственно; φ - эквивалентная оптическая сила объектива; r_1 , r_2 , r_3 - радиусы первого, второго и третьего зеркал соответственно.

Источники информации:

1. Korsch Dietrich. Anastigmatic three-mirror telescope. // Applied Optics. - 1977. - V. 16. - No. 8.
2. Патент RU 2010272, МПК G 02B 17/06, 1994.
3. Патент BY 11762, МПК G 02B 17/06, 2009.



Фиг. 2



Фиг. 3