

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **20990**

(13) **С1**

(46) **2017.04.30**

(51) МПК

G 02B 17/06 (2006.01)

G 02B 17/02 (2006.01)

(54)

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

(21) Номер заявки: а 20140275

(22) 2014.05.15

(43) 2015.12.30

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

(72) Авторы: Артюхина Нина Константиновна; Котов Максим Николаевич (ВУ)

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

(56) SU 1583910 A1, 1990.

ВУ 9279 U, 2013.

ВУ 4518 U, 2008.

ВУ 4111 С1, 2001.

ВУ 16709 С1, 2012.

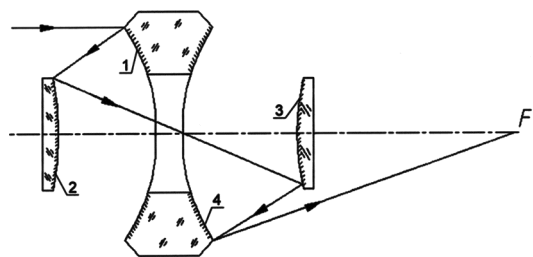
RU 2005111324 A, 2006.

EP 0452963 A2, 1991.

US 6445496 B1, 2002.

(57)

Зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые и нанесены на поверхности единой линзовидной детали, диаметр которой превышает диаметры второго и третьего выпуклых зеркал, с действительным промежуточным изображением, создаваемым между вторым и третьим зеркалами, **отличающийся** тем, что первое зеркало выполнено вогнутым эллиптическим, второе зеркало выполнено выпуклым гиперболическим, причем оптические силы зеркал удовлетворяют условиям $\varphi_1/\varphi = 1$, $\varphi_2/\varphi = 2$, где φ_1 , φ_2 - оптические силы первого и второго зеркал соответственно, φ - эквивалентная оптическая сила зеркального объектива; третье зеркало выполнено выпуклым сферическим, четвертое - вогнутым сферическим.



Фиг. 1

Изобретение относится к области оптического приборостроения, а именно к зеркальным объективам, и может быть использовано для оптических исследований в видимой, ИК и УФ областях спектра.

Известен зеркальный объектив из четырех асферических зеркал [1], в котором первое вогнутое и второе выпуклое образуют систему Кассегрена с действительным промежу-

ВУ 20990 С1 2017.04.30

точным изображением, расположенным между вторым и третьим вогнутым зеркалами. Вогнутое четвертое зеркало строит изображение в фокальной плоскости объектива, расположенной в центральной отверстии третьего зеркала.

Недостатками этого объектива являются большие поперечные габариты третьего зеркала, неудобство расположения фокального узла, а также асферическая форма высокого порядка для четырех зеркал.

Известен четырехзеркальный объектив, содержащий три асферические зеркала [2], одно из которых выпуклое, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами. Причем первое и третье зеркала могут быть объединены в единую деталь - монолит (двойное зеркало) - за счет введения в конструкцию объектива дополнительного плоского зеркала, не влияющего на качество изображения.

Недостатками этого объектива являются большой диаметр третьего зеркала, асферическая форма трех зеркал и, кроме того, неудобное расположение плоскости приемника изображения.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала [3], первое и четвертое из которых вогнутые, второе и третье выпуклые, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами. Причем первое и третье зеркала могут быть объединены в единую деталь - двояковогнутую линзу, на поверхности которой нанесены первое и четвертое зеркала, а фокальная плоскость объектива вынесена за пределы объектива, кроме того, поверхности всех зеркал объектива выполнены сферическими.

Недостатками прототипа являются:

угловое поле зрения не превышает $2\omega = 2^\circ$;

не исправлена абберация кривизны изображения, вследствие чего поверхность приемника изображения искривлена;

хорошее качество изображения только в области геометрических представлений.

Задачей предлагаемого изобретения является увеличение поля зрения не менее чем в три раза, коррекция кривизны изображения и улучшение качества изображения, а именно деформации волнового фронта.

Решение указанной задачи достигается тем, что в зеркальном объективе, содержащем четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые и нанесены на поверхности единой линзовидной детали, диаметр которой превышает диаметры второго и третьего выпуклых зеркал, с действительным промежуточным изображением, создаваемым между вторым и третьим зеркалами, первое зеркало выполнено вогнутым эллиптическим, второе зеркало выполнено выпуклым гиперболическим, причем оптические силы зеркал удовлетворяют условиям: $\varphi_1/\varphi = 1$, $\varphi_2/\varphi = 2$, где φ_1 , φ_2 - оптические силы первого и второго зеркал соответственно, φ - эквивалентная оптическая сила зеркального объектива, третье зеркало выполнено выпуклым сферическим, четвертое - вогнутым сферическим.

Такая конструкция объектива, состоящего из первого и второго асферических зеркал, третьего и четвертого сферических, имеющего действительное промежуточное изображение между вторым и третьим выпуклыми зеркалами, позволяет увеличить угловое поле зрения не менее чем в три раза, провести коррекцию кривизны изображения, расположить фокальный узел приемника изображения в удобном для исследования месте, уменьшить поперечный размер третьего зеркала и улучшить волновые характеристики качества изображения - деформацию волнового фронта.

Первое и третье зеркало могут быть объединены в единую деталь - монолит (двойное зеркало) с одной сферической поверхностью, что является технологическим достоинством. Профиль меридиональной кривой поверхности первого зеркала определен эллипсом, второго - гиперболой, третьего и четвертого - сферой. Асферические профили поверхностей первого и второго зеркал, оптические силы которых удовлетворяют условиям:

ВУ 20990 С1 2017.04.30

$\varphi_1/\varphi = 1$, $\varphi_2/\varphi = 2$, обеспечивают хорошее качество изображения: исправление сферической аберрации, комы и астигматизма на плоском поле.

Ход светового луча при этом представляет собой последовательное отражение луча от всех зеркал 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.

Сущность изобретения поясняется фигурами.

На фиг. 1 представлена принципиальная оптическая схема четырехзеркального объектива и показан ход светового луча, по которому проведена нумерация зеркал.

Зеркальный объектив состоит из первого 1, второго 2, третьего 3 и четвертого 4 зеркал, нумерация которых проводится по последовательным отражениям (ходу) луча (фиг. 1). Зеркало 1 выполнено вогнутым эллиптическим, 2 - выпуклым гиперболическим, 3 - выпуклым, 4 - вогнутым сферическим.

Зеркальный объектив работает следующим образом.

Параллельный пучок света падает на первое зеркало, после отражения от него попадает на второе зеркало, которое образует сходящийся пучок световых лучей, строящих промежуточное изображение в центральной отверстии зеркала двойного зеркала. Это изображение третье зеркало после отражения от четвертого переносит с определенным масштабом в фокальную плоскость объектива (фиг. 1), которая вынесена за пределы объектива.

На фиг. 2 представлены точечные диаграммы ТД для осевой ($D/f' = 1/1,2$) и внеосевой предметных точек ($\omega = 3^\circ$), на фиг. 3 - графики остаточных аберраций рассчитанного варианта объектива, на фиг. 4 - функция волнового фронта.

По данной принципиальной схеме рассчитан объектив с фокусным расстоянием $f' = 200$ мм, относительным отверстием $D/f' = 1/1,2$, угловым полем зрения в пространстве предметов $2\omega = 6^\circ$. Объектив имеет конструктивные параметры: радиусы кривизны зеркал r , расстояние между зеркалами d , показатели преломления n :

r , мм	d , мм	n	световой диаметр, мм
*-400	-100	1	168
** -820,72	206,95	-1	86
126,42	-86,95	1	50,8
150,94		-1	168.
		1	

Технологические параметры изготовления асферических поверхностей первого 1 и второго 2 зеркал: асферичность, градиент асферичности, радиус ближайшей сферы, приведены в таблице.

Технологические параметры асферических поверхностей

Меридиональное уравнение асферических поверхностей	Асферичность, мм	Градиент асферичности, мм	Радиус ближайшей сферы, мм
* $y^2 = -800x - 0,495299x^2$	0,015	0,001	402,5
** $y^2 = 252,96x + 0,443541x^2$	0,01	0,0015	128,5

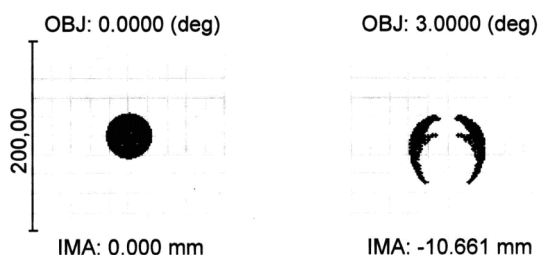
Таким образом, зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые и нанесены на поверхности единой линзовидной детали, диаметр которой превышает диаметры второго и третьего выпуклых зеркал, с действительным промежуточным изображением, создаваемым между вторым и третьим зеркалами, отличающийся тем, что первое зеркало выполнено вогнутым эллиптическим, второе зеркало выполнено выпуклым гиперболическим, причем оптические силы зеркал удовлетворяют условиям: $\varphi_1/\varphi = 1$, $\varphi_2/\varphi = 2$, где φ_1 , φ_2 - оптические силы первого и второго зеркал

ВУ 20990 С1 2017.04.30

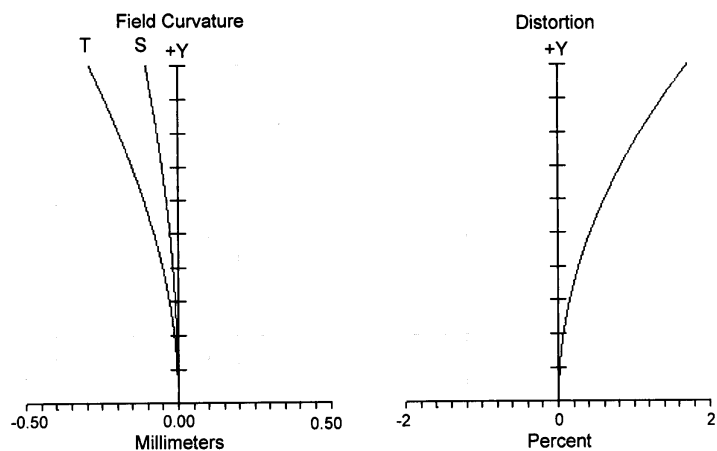
соответственно, ϕ - эквивалентная оптическая сила зеркального объектива, третье зеркало выполнено выпуклым сферическим, четвертое - вогнутым сферическим, позволяет увеличить угловое поле зрения не менее чем в три раза, провести коррекцию кривизны изображения, расположить фокальный узел приемника изображения в удобном для исследования месте и уменьшить поперечный размер третьего зеркала при сохранении хорошего качества изображения.

Источники информации:

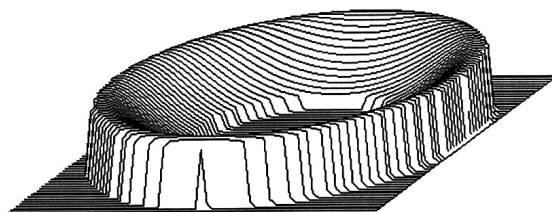
1. Chung H.B., Lee S.S. Aplanatic four mirror system //Opt. Eng. - 1985. - Vol. 24. - No. 2. - P. 317-321.
2. Патент РБ 4518, МПК G 02B 17/00, 2008.
3. А.с. СССР 1583910, МПК G 02B 17/06, 1988.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4