

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 9279

(13) U

(46) 2013.06.30

(51) МПК

G 02B 17/02 (2006.01)

(54)

## ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

(21) Номер заявки: u 20121135

(22) 2012.12.20

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

(72) Авторы: Артюхина Нина Константиновна; Богданович Дмитрий Дмитриевич (ВУ)

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

(57)

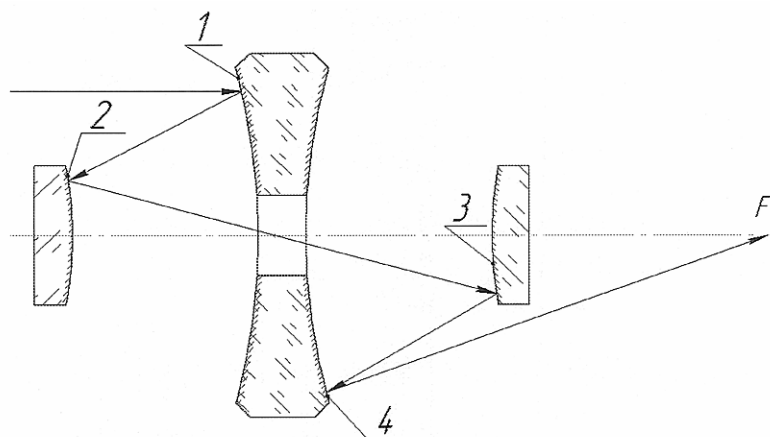
Зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые и нанесены на поверхности единой линзовидной детали, диаметр которой превышает диаметры второго и третьего выпуклых зеркал, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами,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

(56)

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. 1

Полезная модель относится к области оптического приборостроения, а именно к зеркальным объективам, и может быть использована 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 промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим вогнутым зеркалами. Вогнутое четвертое зеркало строит изображение в фокальной плоскости объектива, расположенной в центральном 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 асферических 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 предлагаемой полезной модели 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 аберрация кривизны изображения, вследствие чего поверхность приемника изображения искривлена;

хорошее качество изображения только в области геометрических представлений.

Задачей предлагаемой полезной модели является увеличение поля зрения не менее чем в три раза, коррекция кривизны изображения и улучшение качества изображения, а именно деформации волнового фронта и распределения энергии в дифракционном пятне рассеяния.

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, расположенным между вторым и третьим зеркалами, первое зеркало выполнено эллиптическим, второе зеркало - гиперболическим и, кроме того, оптические силы зеркал удовлетворяют условиям:  $\varphi_1/\varphi = 1$ ,  $\varphi_2/\varphi = 2$ , где  $\varphi$  - эквивалентная оптическая сила зеркального объектива,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  - оптические силы первого и второго зеркал соответственно.

Такая конструкция объектива, состоящего из первого и второго асферических зеркал, третьего и четвертого сферических, имеющая действительное промежуточное изображение между вторым и третьим зеркалами, позволяет увеличить угловое поле зрения не менее чем в три раза, откорректировать кривизну изображения и улучшить волновые характеристики качества изображения, а именно деформацию волнового фронта и распределение энергии в дифракционном пятне рассеяния.

Первое и третье зеркала могут быть объединены в единую деталь - монолит (двойное зеркало) с одной сферической поверхностью, что является технологическим достоинством.

вом. 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:  $\varphi_1/\varphi = 1$ ,  $\varphi_2/\varphi = 2$ , обеспечивают исправление сферической аберрации, комы и астигматизма на плоском поле и позволяют улучшить волновые характеристики качества изображения, а именно деформацию волнового фронта, распределение энергии в дифракционном пятне рассеяния, и увеличить угловое поле зрения не менее чем в три раза.

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. Увеличенное поле зрения позволяет регистрировать довольно протяженные объекты в инфракрасной области спектра.

Сущность полезной модели поясняется чертежами: на фиг. 1 представлена оптическая схема зеркального объектива и показан ход светового луча, на фиг. 2 даны графики остаточных полевых аберраций, на фиг. 3 представлены точечные диаграммы, на фиг. 4 и 5 даны волновые критерии качества изображения: на фиг. 4 - кривая деформации волнового фронта, на фиг. 5 - графики распределения энергии в дифракционном пятне рассеяния.

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

Четырехзеркальный объектив работает следующим образом.

Параллельный пучок света падает на первое зеркало 1, после отражения от него попадает на второе зеркало 2, которое образует сходящийся пучок световых лучей, строящих промежуточное изображение в центральном отверстии зеркала двойного зеркала (монолита). Это изображение третье зеркало 3 после отражения от четвертого зеркала 4 переносит с определенным масштабом в фокальную плоскость объектива (фиг. 1), которая вынесена за пределы объектива.

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	

Экранирование по площади 25 %. Для углового поля зрения  $2\omega = 6^\circ$  виньетирование 56 %, для  $2\omega = 4^\circ$  – 22 %.

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

Таблица 1

**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

Допуск на децентрировку зеркал порядка  $\pm 0,1$  мм, на разворот черкал  $\pm 1'-2,5'$ . Асферичность зеркальных поверхностей 0,01-0,015 мм, градиент асферичности 0,001-0,0014 (табл. 1).

На фиг. 2 представлены графики остаточных полевых aberrаций: дисторсии и кривизны изображения для внеосевой предметной точки ( $\omega = 3^\circ$ ), на фиг. 3 представлены точечные диаграммы (ТД) для осевой ( $D/f = 1/1,2$ ) и внеосевой ( $\omega = 3^\circ$ ) предметных точек, на фиг. 4 - функция волнового фронта 9 кривая деформации), на фиг. 5 - графики распределения энергии в дифракционном пятне рассеяния (фиг. 3-5 представляют графическую интерпретацию результатов волновых критериев в программной среде Zemax (USA)). Точечные диаграммы для осевой и внеосевой предметных точек соответствуют дифракционному качеству изображения: кривая деформации волнового фронта имеет пологий профиль, значения близки к дифракционным, откорректированы полевые aberrации (асigmatизм и кривизна изображения) для всех точек поля изображения в пределах  $2\omega = 6^\circ$ .

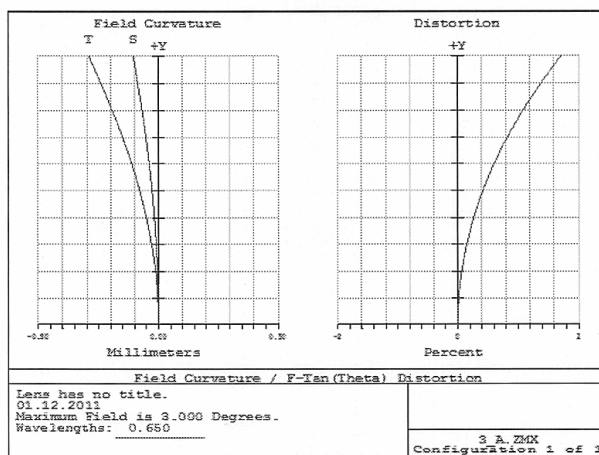
Волновые aberrации не превышают  $W = 0,8\lambda$ , ( $\lambda = 4,3$  мкм) по всему полю зрения  $2\omega = 6^\circ$ . Численные значения геометрических aberrаций: продольной и поперечной сферической  $\Delta S'$ , мм,  $\Delta Y'$ , мм, величины неизопланатизма  $\eta$ , %, составляющих меридиональной  $Z'_m$ , мм и сагиттальной  $Z'_s$ , мм кривизны для относительного отверстия  $D/f = 1/1,2$  и углового поля  $2\omega = 6^\circ$  даны в табл. 2.

Таблица 2

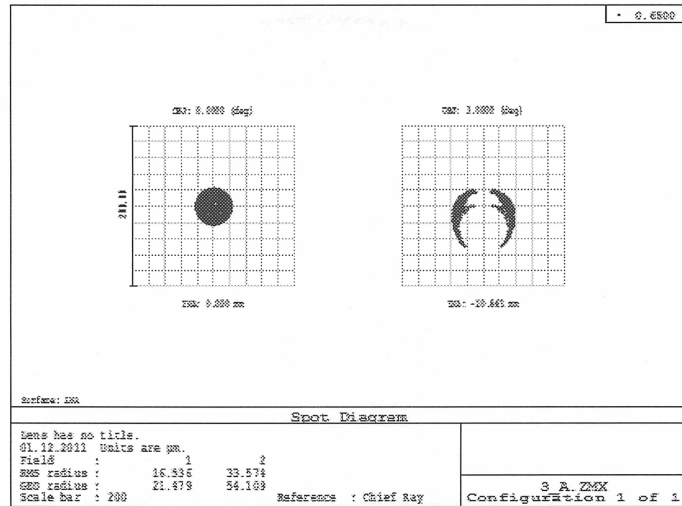
### Геометрические aberrации

Точка на оси ( $m = 84$ )			Точка вне оси ( $\omega = 3^\circ$ )		
$\Delta S'$ , мм	$\Delta Y'$ , мм	$\eta$ , %	$Z'_m$ , мм	$Z'_s$ , мм	$\Delta Y'$ , %
0,045	0,02	0,065	0,012	0,006	1,3

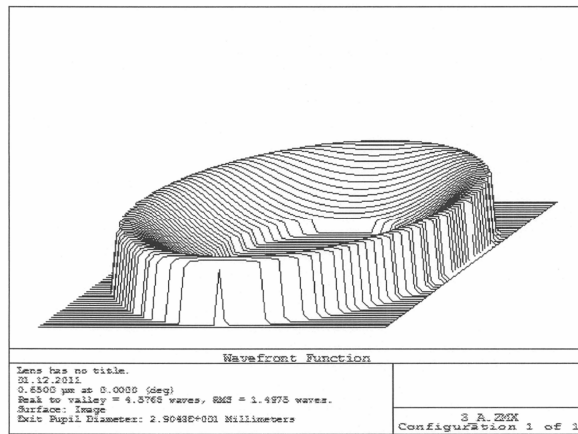
Таким образом, в зеркальном объективе, содержащем четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые и нанесены на поверхности единой линзовидной детали, диаметр которой превышает диаметры второго и третьего выпуклых зеркал, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами, первое зеркало выполнено эллиптическим, второе зеркало - гиперболическим и, кроме того, оптические силы зеркал удовлетворяют условиям:  $\phi_1/\phi = 1$ ,  $\phi_2/\phi = 2$ , где  $\phi$  - эквивалентная оптическая сила зеркального объектива,  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ , - оптические силы первого и второго зеркал соответственно, позволяет увеличить угловое поле зрения не менее чем в три раза, откорректировать кривизну изображения и улучшить волновые характеристики качества изображения, а именно деформацию волнового фронта и распределение энергии в дифракционном пятне рассеяния.



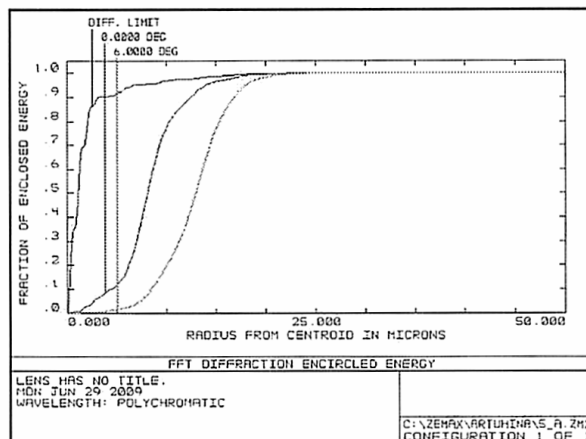
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5