

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 20856

(13) С1

(46) 2017.02.28

(51) МПК

G 02B 17/02 (2006.01)

(54)

## ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

(21) Номер заявки: а 20131486

(22) 2013.12.11

(43) 2015.08.30

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

(72) Автор: Артюхина Нина Константиновна (ВУ)

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

(56) ВУ 9279 U, 2013.

ВУ 6715 U, 2010.

ВУ 16709 С1, 2012.

RU 82876 U1, 2009.

SU 1167567 A, 1985.

US 2003/179443 A1.

JPH 04333011, 1992.

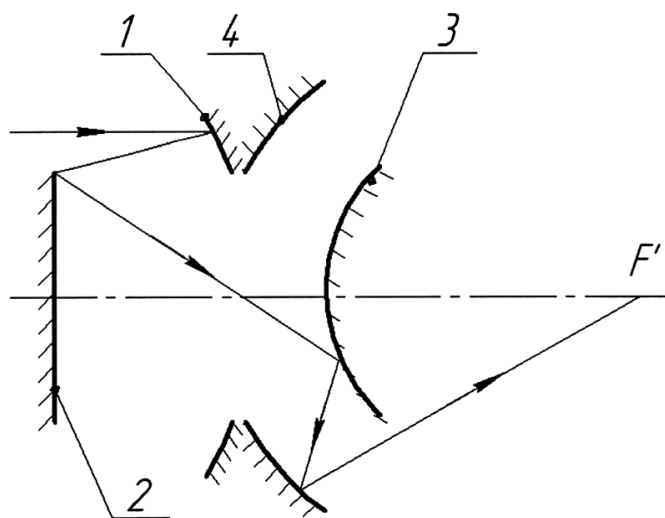
(57)

Зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые, а третье - выпуклое, с действительным промежуточным изображением, формируемым между вторым и третьим зеркалами, отличающийся тем, что первое зеркало выполнено сферическим, второе - плоским, а третье и четвертое зеркала установлены на заданном расстоянии  $d_3$  друг от друга по оптической оси, выбранном в соответствии с выражением

$$d_3 \varphi = (r_3 - r_4),$$

где  $\varphi$  - эквивалентная оптическая сила объектива;

$r_3$  и  $r_4$  - радиусы третьего и четвертого 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 четырехзеркальный объектив, содержащий три асферических зеркала [1], одно из которых выпуклое, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами. Недостатками этого объектива являются большой диаметр третьего зеркала, асферическая форма трех зеркал и, кроме того, неудобное расположение плоскости приемника изображения.

Известен зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала [2], первое и четвертое из которых вогнутые, второе и третье - выпуклые, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами. Причем зеркала могут быть объединены в единую деталь - монолит, на поверхности которого нанесены первое и четвертое зеркала, а фокальная плоскость объектива вынесена за пределы объектива, кроме того, поверхности всех зеркал объектива выполнены сферическими.

Недостатками объектива являются: небольшая величина углового поля зрения (не больше  $2\omega=2^\circ$ ), наличие aberrации кривизны изображения, вследствие чего поверхность приемника изображения искривлена.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является зеркальный объектив [3], 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, в котором первое зеркало выполнено эллиптическим, второе зеркало выполнено гиперболическим, а 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.

Недостатками прототипа являются наличие волновых aberrаций порядка  $W = 0,8\lambda$ , что не удовлетворяет дифракционному качеству изображения по критерию Релея, необходимому в микроскопии, наличие aberrации дисторсии (величина относительной дисторсии 1,3 %), не позволяющей выполнять ортоскопические исследования. Кроме того, две зеркальные поверхности в компонентах, имеющих оптическую силу - асферические, что создает технологические трудности в изготовлении.

Задача, решаемая изобретением, заключается в уменьшении волновых aberrаций и улучшении дифракционного качества изображения при сохранении хороших оптических характеристик: углового поля зрения и апертуры, исправлении aberrации дисторсии, а также устранении деформаций на зеркальных поверхностях.

Решение указанной задачи достигается тем, что в зеркальном объективе, содержащем четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые, третье - выпуклое, с действительным промежуточным изображением, формируемым между вторым и третьим зеркалами, первое зеркало выполнено сферическим, второе - плоским, а третье и четвертое зеркала установлены на заданном расстоянии  $d_3$  друг от друга по оптической оси, выбранном в соответствии с выражением

$$d_3\phi = (r_3 - r_4),$$

где  $\phi$  - эквивалентная оптическая сила объектива,  $r_3$ ,  $r_4$  - радиусы третьего и четвертого зеркал соответственно.

Такая композиция, состоящая из трех сферических зеркал и одного плоского зеркала, обеспечивающая действительное промежуточное изображение между вторым и третьим зеркалами, позволяет получить отличный технический результат - уменьшение волновых aberrаций не менее чем в 4 раза при сохранении хороших оптических характеристик: углового поля зрения и апертуры, полностью исправить дисторсию. Сферические профили поверхностей трех зеркал и одного плоского устраняют все технологические трудности

# ВУ 20856 С1 2017.02.28

изготовления. Хорошее качество изображения (исправление аберраций: сферической, комы и астигматизма) обеспечивает концентрическое расположение трех зеркал: центры кривизны зеркальных поверхностей совмещены друг с другом, что обусловлено параметрическими 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.

Сущность изобретения поясняется фигурами.

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

На фиг. 2 - графики остаточных геометрических аберраций для осевого пучка, на фиг. 3 - график аберрации дисторсии по главному лучу внеосевого пучка.

На фиг. 4 представлены точечные диаграммы ТД (дифракционных пятен рассеяния) для осевого и внеосевого пучков, на фиг. 5 - функция волнового фронта в рассчитанном варианте объектива.

Зеркальный объектив состоит из первого 1, второго 2, третьего 3 и четвертого 4 зеркал. Зеркало 1 имеет положительную оптическую силу и обращено вогнутостью к предмету, зеркало 2 - плоское, не имеющее оптической силы, зеркало 3 имеет отрицательную оптическую силу и обращено выпуклостью к предмету, зеркало 4 имеет положительную оптическую силу и обращено вогнутостью к изображению. 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 от первого 1 и плоского 2 зеркал образует промежуточное действительное изображение. Это изображение система из двух зеркал 3 и 4 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;	$d_1 = -125$ мм;	1
$r_2 = \infty$ ;	$d_2 = 312$ мм;	-1
$r_3 = 62, 18$ мм;	$d_3 = -182$ мм.	1
$r_4 = 245$ мм.		-1
		1

В таблице даны численные результаты расчета зеркального объектива в универсальном компьютерном пакете по расчету оптических систем (РФ) ППП Орал: параксиальные характеристики объектива, суммы аберрации Зейделя и волновые аберрации.

# BY 20856 C1 2017.02.28

## Результаты компьютерного расчета в пакете Opal

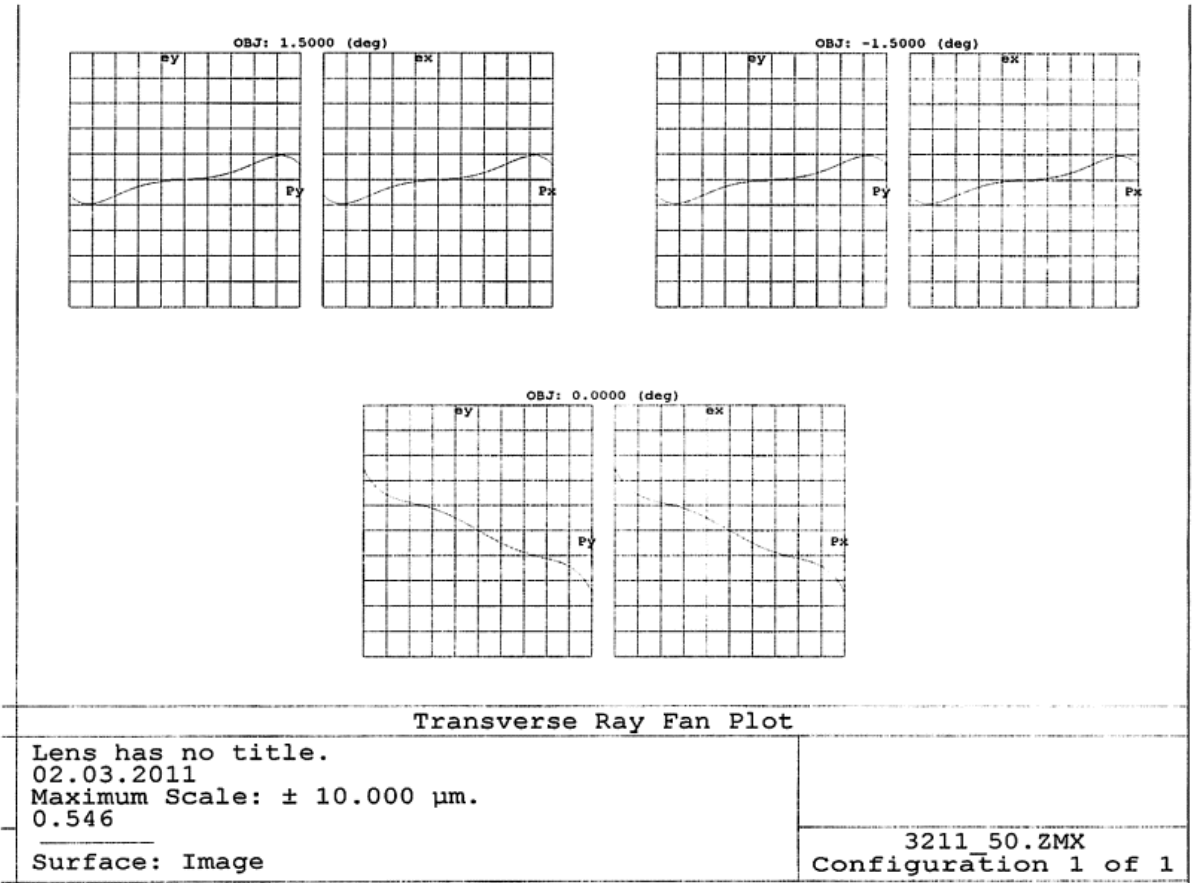
Работа-RT		OPAL-PC			Параксиальные характеристики		
ПРЕДМЕТ: Удал. размер Y = 1.30000гр.мсек S0= .000дптр от вх.зрчка мера предмета : tg							
ИЗОБРАЖ: Близ. размер Y'= .00000 SI= .0 совпадает с пл. Гаусса							
ВХ.ЗРАЧ: ND=99 SP=-500.0000 (мм) Высота на диафр.= 16.6660 (мм)							
Суммы и аберрации Зейделя							
=N	S1	S2	S3	S4	S5	S1xp	S2xp
1	-.00200	.00000	.00000	.20000	.00000	.00000	.00000
2	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
3	.58685	.00000	.00000	-1.60817	.00000	.00000	.00000
4	-.59177	.00000	.00000	.40817	.00000	.00000	.00000
sum	-.00692	.00000	.00000	-1.00000	.00000	.00000	.00000
-----							
-	Волновые аберрации		Неизопл.		Н ЗР		
-Tg'*100	(дл. волн)		(%)		(мм)		
	0		1		2		
-35.355	-.2078		.0000		16.6660		
-30.153	-.1126		.0000		14.4332		
-24.255	-.0743		.0000		11.7846		
-16.904	-.0320		.0000		8.3330		
.000	.0000		.0000		.0000		

На фиг. 2 представлены графики остаточных геометрических аберраций для осевого пучка, на фиг. 3 - график аберрации дисторсии по главному лучу внеосевого пучка (величина относительной дисторсии равна 0 %). На фиг. 4 представлены точечные диаграммы ТД (дифракционных пятен рассеяния) для осевого и внеосевого пучков, на фиг. 5 - функция волнового фронта в рассчитанном варианте объектива. Фиг. 4 и 5 представляют графическую интерпретацию результатов компьютерного расчета в программной среде Zemax (USA), которая соответствует дифракционному качеству изображения по критерию Релея.

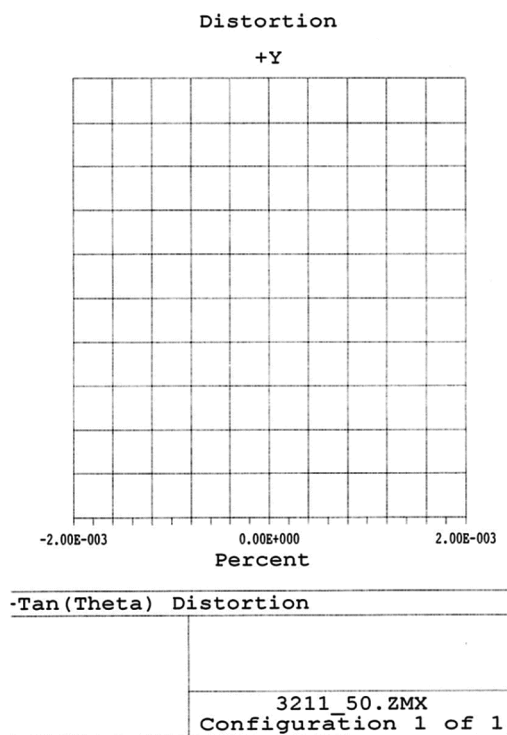
Таким образом, зеркальный объектив, содержащий четыре зеркала, первое и четвертое из которых вогнутые, третье - выпуклое, с действительным промежуточным изображением, расположенным между вторым и третьим зеркалами, первое зеркало в котором выполнено сферическим, второе - плоским, кроме того, расстояние между третьим и четвертым зеркалами удовлетворяет условию:  $d_3\phi = (r_3 - r_4)$ , где  $\phi$  - эквивалентная оптическая сила объектива,  $r_3$ ,  $r_4$  - радиусы третьего и четвертого зеркал соответственно, расстояние между которыми -  $d_3$ , позволяет исправить аберрацию дисторсии, уменьшить волновые аберрации при сохранении хороших оптических характеристик: углового поля зрения - и апертуры и использовании сферических зеркальных поверхностей.

Источники информации:

1. Патент РБ 4518, МПК G 02B 17/00, 2008.
2. А.с. СССР 1583910, МПК G 02B 17/06, 1988.
3. Патент РБ 9279, МПК G 02B 17/06, 2013.

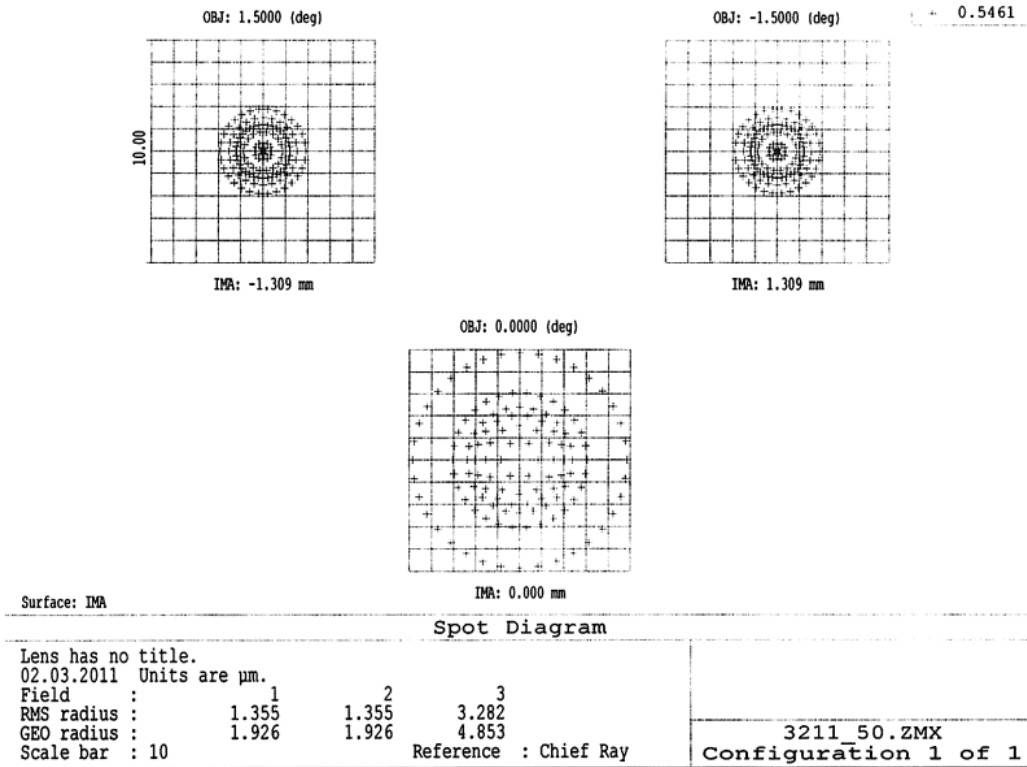


Фиг. 2

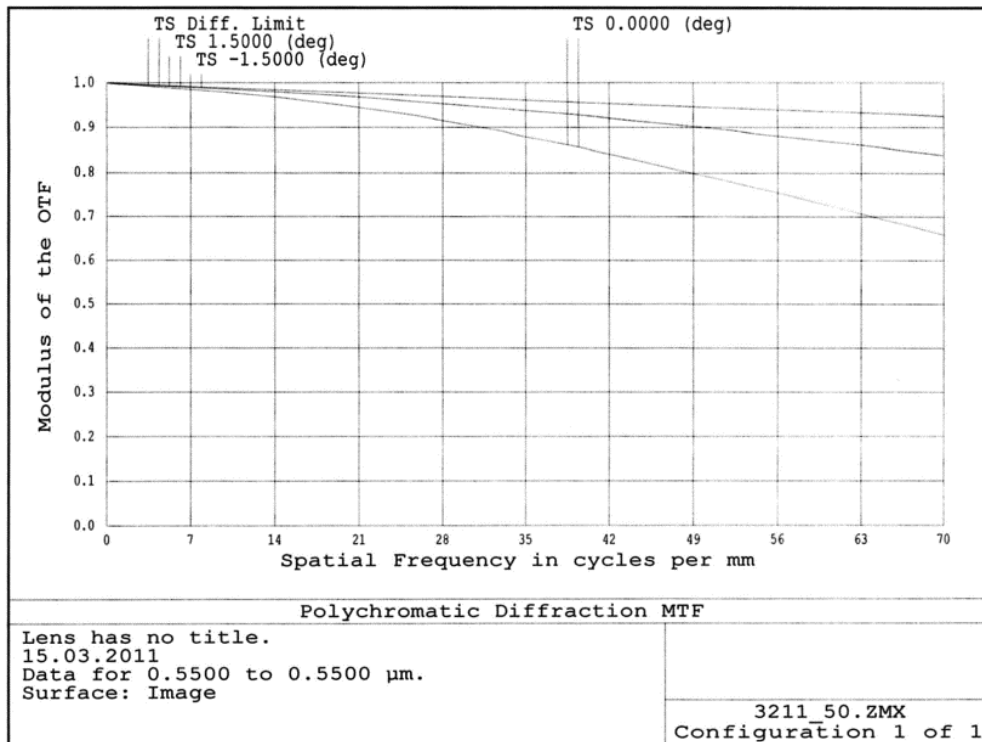


Фиг. 3

# BY 20856 C1 2017.02.28



Фиг. 4



Фиг. 5