



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02B 21/00 (2021.02); G02B 21/365 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020124990, 20.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.07.2020

Дата регистрации:
19.03.2021

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.07.2020

(45) Опубликовано: 19.03.2021 Бюл. № 8

Адрес для переписки:
152153, Ярославская обл., г. Ростов, ул.
Радищева, 6, Князевой Светлане Николаевне

(72) Автор(ы):
Медведев Александр Владимирович (RU),
Гринкевич Александр Васильевич (RU),
Соколов Дмитрий Сергеевич (RU),
Князева Светлана Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Медведев Александр Владимирович (RU),
Гринкевич Александр Васильевич (RU),
Соколов Дмитрий Сергеевич (RU),
Князева Светлана Николаевна (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2010012822 A1, 21.01.2010. DE
69822807 T2, 13.01.2005. US 5149972 A,
22.09.1992. EP 3648453 A1, 06.05.2020.

(54) Оптико-электронный микроскоп

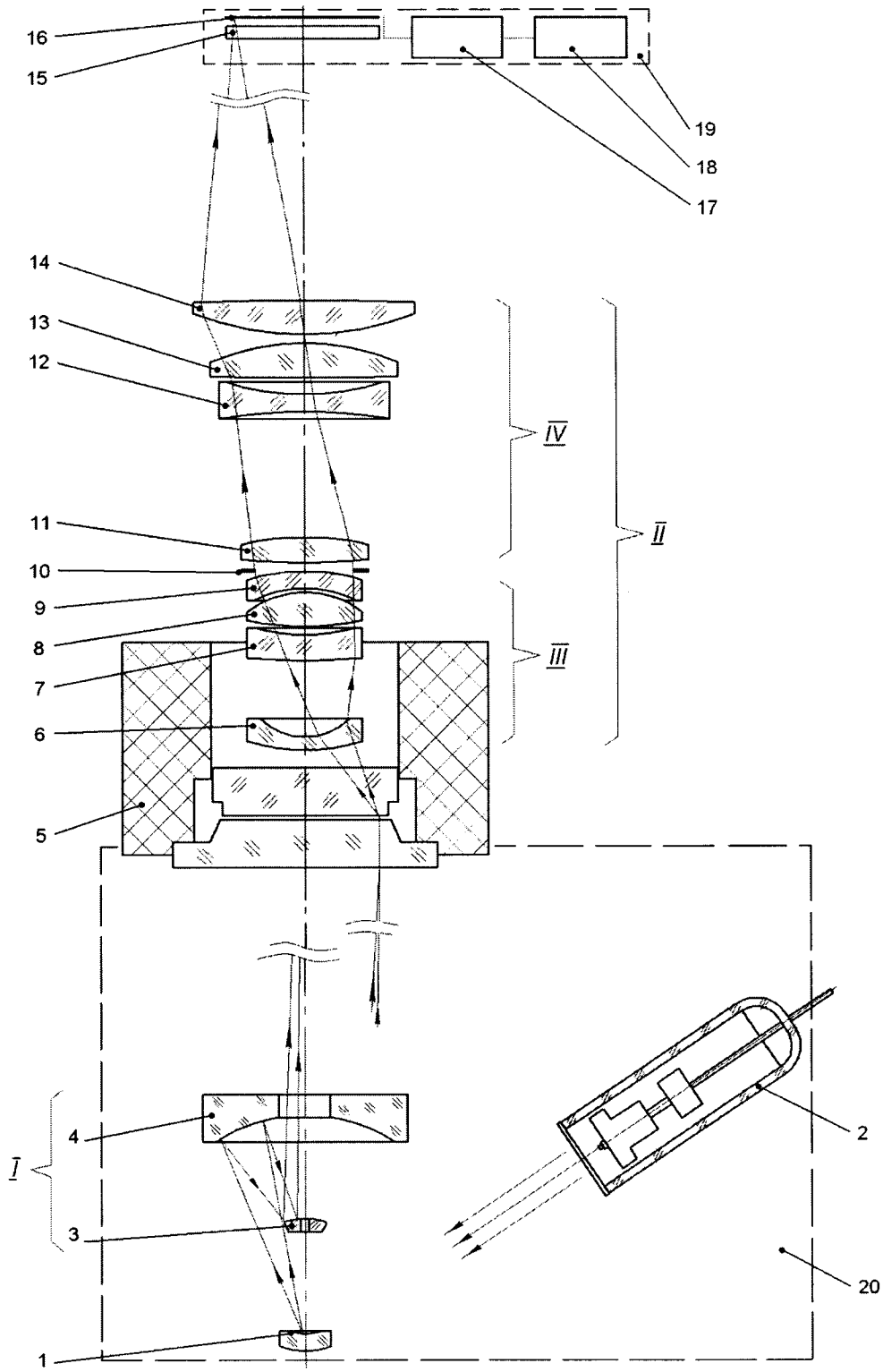
(57) Реферат:

Микроскоп содержит телевизионную систему наблюдения с матричным фотоприемником, систему подсветки, первый объектив, электронно-оптический преобразователь и второй объектив. Первый объектив выполнен из двух сферических зеркал, главного вогнутого и вторичного выпуклого, и его предметная поверхность выполнена в виде вогнутой сферической поверхности, обращенной вогнутостью к объективу, а с плоскостью изображения совмещен фотокатод электронно-оптического преобразователя. Второй объектив оптически сопряжен с экраном электронно-оптического

преобразователя и матричным фотоприемником телевизионного канала и выполнен из двух положительных компонентов. Предметная поверхность, первый объектив, электронно-оптический преобразователь и система подсветки заключены в вакуумный объем. Выполняются соотношения, указанные в формуле изобретения. Технический результат - возможность наблюдения без использования сканирующих прецизионных механизмов и обеспечение значения разрешающей способности менее 50 нм в вакуумной ультрафиолетовой области спектра на расчетной длине волны ~ 30 нм. 3 ил., 4 табл.

RU 2 745 099 C1

RU 2 745 099 C1



Оптико-электронный микроскоп.

Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G02B 21/00 (2006.01)
G02B 21/36 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02B 21/00 (2021.02); G02B 21/365 (2021.02)

(21)(22) Application: **2020124990, 20.07.2020**

(24) Effective date for property rights:
20.07.2020

Registration date:
19.03.2021

Priority:

(22) Date of filing: **20.07.2020**

(45) Date of publication: **19.03.2021 Bull. № 8**

Mail address:

**152153, Yaroslavskaya obl., g. Rostov, ul.
Radishcheva, 6, Knyazevoj Svetlane Nikolaevne**

(72) Inventor(s):

**Medvedev Aleksandr Vladimirovich (RU),
Grinkevich Aleksandr Vasilevich (RU),
Sokolov Dmitrij Sergeevich (RU),
Knyazeva Svetlana Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Medvedev Aleksandr Vladimirovich (RU),
Grinkevich Aleksandr Vasilevich (RU),
Sokolov Dmitrij Sergeevich (RU),
Knyazeva Svetlana Nikolaevna (RU)**

(54) **OPTOELECTRONIC MICROSCOPE**

(57) Abstract:

FIELD: microscopy.

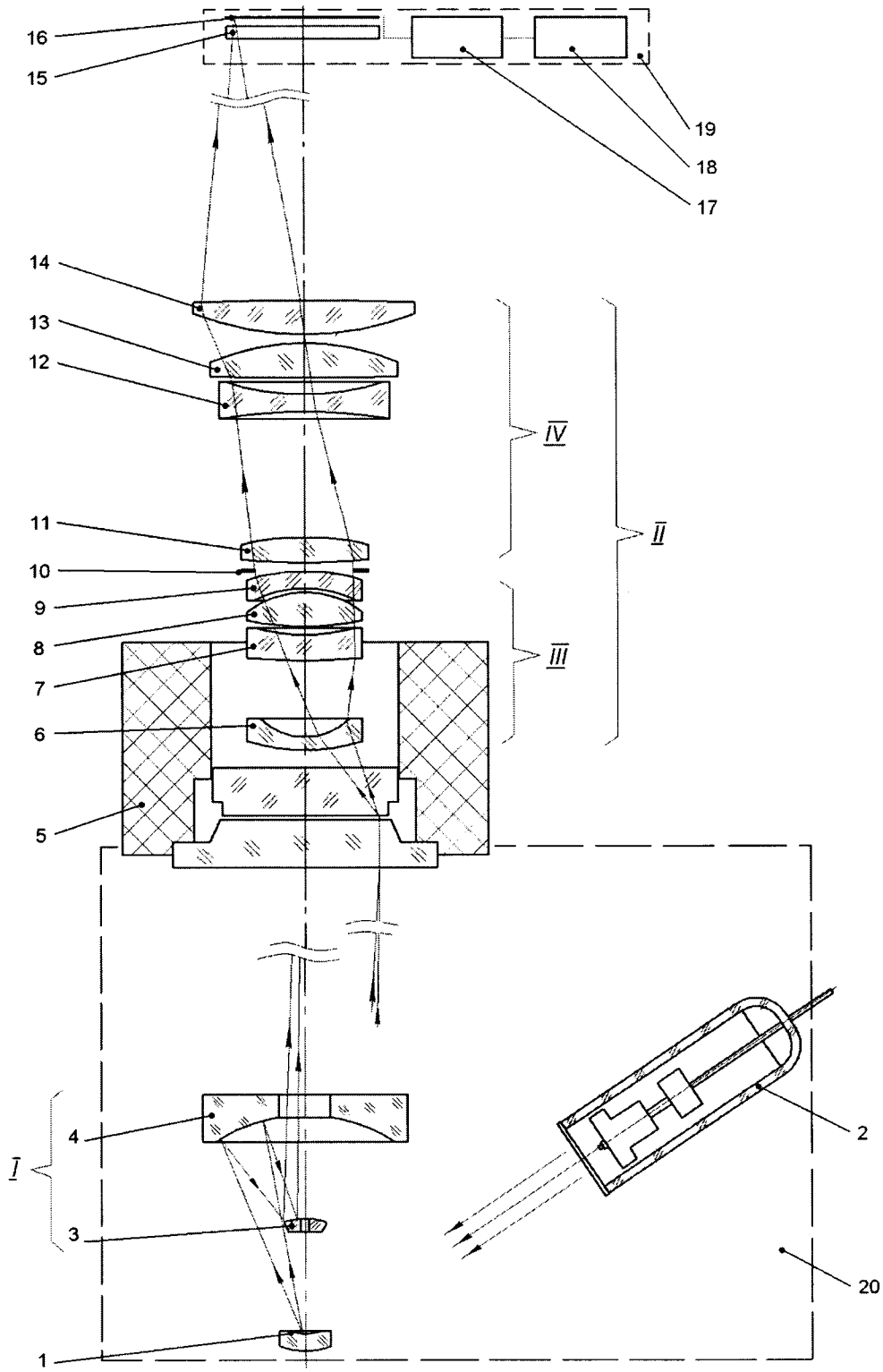
SUBSTANCE: microscope contains a television observation system with a matrix photodetector, an illumination system, a first lens, an electron-optical converter and a second lens. The first lens is made of two spherical mirrors, main one a concave and secondary a convex one, and its object surface is made in the form of a concave spherical surface facing the concavity towards the lens, and the photocathode of the image converter is aligned with the image plane. The second lens is optically coupled to the image converter

screen and the matrix photodetector of the television channel and is made of two positive components. The object surface, the first lens, the image converter and the illumination system are enclosed in a vacuum volume. The ratios specified in the claims are fulfilled. EFFECT: ability to observe without the use of scanning precision mechanisms and provide a resolution value of less than 50 nm in the vacuum ultraviolet region of the spectrum at a design wavelength of ~ 30 nm.

1 cl, 3 dwg, 4 tbl

RU 2 745 099 C1

RU 2 745 099 C1



Оптико-электронный микроскоп.

Фиг. 1

Предлагаемое изобретение относится к области оптико-электронного приборостроения и может быть применено в качестве микроскопа высокого разрешения (минимально разрешаемый линейный размер порядка длины волны), обеспечивающего возможность наблюдения препаратов с микроскопическими (в том числе вирусными) объектами в вакуумной ультрафиолетовой области спектра с разрешением менее 50 нм.

Известен ультрафиолетовый микроскоп (Авторское свидетельство №115024, СССР, 1955 г.), представляющий собой сочетание визуального ультрафиолетового микроскопа и диспергирующей спектральной системы, установленной перед изучаемым объектом, позволяющий получать в поле зрения микроскопа спектр применяемого источника света. Повышение разрешающей способности здесь достигается уменьшением рабочей длины волны.

Недостатком ультрафиолетового микроскопа является высокое значение минимальной длины волны, равное 248 нм и ограниченное интервалом длин волн 248÷689 нм, что не позволяет достичь высокой разрешающей способности менее 200 нм.

Известен монохромный микроскоп сверхвысокого разрешения (патент RU №2441291 C1, опубл. 27.01.2012 г.), содержащий в качестве фокусирующего элемента зонную пластинку, при этом микрообъект освещается монохроматическим излучением. Повышение разрешающей способности здесь достигается увеличением относительной апертуры фокусирующего элемента ($D_{ф.э.}/F_{ф.э.}$) до значения ~ 3 . Ожидается, что, при применении гелий-неонового лазера с длиной волны 632,8 нм в качестве источника монохроматического излучения и модифицированной зонной пластинки (с непрозрачной центральной областью) диаметром 30 мм с фокусным расстоянием менее 2 мм, можно достичь разрешения около 55 нм.

Недостатком монохромного микроскопа сверхвысокого разрешения является сложность изготовления модифицированной зонной пластинки с большой затемненной центральной областью, требующей использования современных методов электронной литографии.

Известен сканирующий ближнепольный оптический микроскоп (патент на полезную модель RU №106958 U1, опубл. 27.07.2011 г.), содержащий зонд с сенсором поверхности, систему позиционирования зонда над образцом вдоль оси z, сканер, перемещающий образец вдоль осей x и y, светосильный зеркальный объектив, расположенный в дальней зоне, и передающий собранное излучение по многомодовому световоду в ФЭУ, электронный блок управления микроскопом. Микроскоп размещен на вставке в криостат, работающий в диапазоне температур от 1,8 до 300 К, вставка находится непосредственно в парах криогенного газа (гелия, или азота). Повышение разрешающей способности здесь достигается до величины оптического разрешения, равной ~ 50 нм, что стало возможным благодаря обеспечению в предложенной конструкции возбуждения образца через зонд и сбору отраженного излучения через светосильный зеркальный объектив, расположенных по одну сторону от образца. Излучение видимого диапазона фокусируется на маленькое отверстие перед объектом, которое по принципу действия конфокального микроскопа и определяет его разрешение. Сверхмалая диафрагма - базовый принцип работы большинства «ближнепольных» микроскопов.

Недостатком сканирующего ближнепольного оптического микроскопа является возможность работы только в режиме сканирования, что требует довольно прецизионной механики, кроме того, значительное уменьшение светового потока, прошедшего за малое отверстие и вернувшегося обратно, существенно увеличивает

время обработки изображения.

Известен инфракрасный микроскоп (Авторское свидетельство №980043, опубл. 07.12.1982 г.), содержащий оптическую систему и приемник излучения, установленные по ходу излучения от объекта, а также источник подсветки объекта и устройство сканирования и обработки электрического сигнала, подключенное к выходу приемника излучения, кювету, установленную на предметном столе и заполненную жидкой или газообразной средой, контактирующей с исследуемой поверхностью объекта и содержащей взвесь инертных по отношению к среде и объекту частиц, оптические свойства которых отличны от оптических свойств среды, а также блок измерения уширения спектра сигнала, вход которого соединен с выходом приемника излучения, а выход - со входом устройства обработки электрического сигнала. Вместо кюветы среда со взвесью частиц может быть нанесена на микрообъект в виде капли, т.е. с использованием свободного растекания по объекту. Введение жидкой или газообразной среды со взвесью частиц дает возможность проводить измерение распределения температуры на поверхности объекта косвенным методом, обеспечивающим высокую разрешающую способность, так как при таком методе измеряется изменение скорости броуновского движения частиц, пропорциональное распределению абсолютной температуры на поверхности объекта. Измерение изменения скорости броуновского движения частиц осуществляется в блоке измерения уширения спектра сигнала, получаемого от приемника излучения, поскольку указанное изменение скорости вызывает соответствующее уширение спектра источника подсветки. Благодаря применению косвенного метода измерения температуры в предлагаемом устройстве превзойден теоретически возможный для прямых методов предел разрешения, равный длине волны излучателя, т.е. на длине волны $5 \div 10$ мкм возможно достижение пространственного разрешения ~ 2 мкм.

Недостатком инфракрасного микроскопа является высокое значение минимальной длины волны, равное 5 мкм и ограниченное интервалом длин волн $5 \div 10$ мкм, что не позволяет достичь высокой разрешающей способности менее 2 мкм.

Известен инфракрасный микроскоп (Авторское свидетельство №194356, опубл. 30.III.1967 г.), содержащий осветитель, объектив, приемник излучения, в качестве которого использован электронно-оптический преобразователь, систему для проектирования изображения и систему поляроидов. Здесь применение для конוסкопирования оптической системы, непосредственно проектирующей интерференционную картину, возникающую в выходном зрачке объектива, на фотокатод электронно-оптического преобразователя и расположение этой оптической системы и проекционных окуляров для ортоскопии на револьвере, позволяет упростить оптическую схему прибора для работы в обычном свете и при работе в инфракрасных лучах и создать максимальные удобства наблюдателю.

Недостатком инфракрасного микроскопа является разрешающая способность, определяемая возможностями обычного видимого света и наблюдением в инфракрасных лучах.

Наиболее близким по технической сущности является микроскоп (патент на полезную модель RU №126481 U1, опубл. 27.03.2013 г.), включающий телевизионную систему наблюдения с матричным фотоприемником, первый фильтр, первый объектив, оптически связанный с последовательно расположенными первым фильтром и матричным фотоприемником, систему подсветки, включающую излучающий диод, второй фильтр и второй объектив, расположенные на оптической оси микроскопа между первым фильтром и матричным фотоприемником, при этом излучающий диод оптически связан

с первым объективом посредством первого фильтра, выполненного в виде первой плоскопараллельной пластины, имеющей на одной поверхности спектроделительное оптическое покрытие с пропусканием под углом 45 градусов более или равным 0,3 в диапазоне длин волн 540-700 нм и отражением под углом 45 градусов более или равным 0,3 в диапазоне длин волн 610-640 нм, второй фильтр выполнен в виде второй плоскопараллельной пластины, имеющей пропускание вдоль нормали к ее плоскопараллельным рабочим поверхностям более или равное 0,4 в диапазоне длин волн 550-700 нм и менее 0,01 в диапазоне длин волн менее 500 нм, а излучающий диод имеет спектральный состав излучения с коротковолновой границей в пределах от 600 нм до 620 нм и длинноволновой границей в пределах от 640 нм до 670 нм. Здесь задача увеличения разрешающей способности микроскопа решается путем сужения спектрального состава оптического излучения, используемого для формирования изображения.

Недостатком микроскопа является возможность работы в диапазоне длин волн от 540 до 700 нм, дифракционный предел для которых не позволяет достичь высокой разрешающей способности менее 500 нм.

Задачей настоящего изобретения является создание оптико-электронного микроскопа, обеспечивающего возможность наблюдения микроскопических (в том числе вирусных) препаратов без использования сканирующих прецизионных механизмов при достижении значения разрешающей способности порядка 50 нм.

Технический результат, обусловленный поставленной задачей, достигается тем, что в оптико-электронном микроскопе, содержащем телевизионную систему наблюдения с матричным фотоприемником, первый объектив, систему подсветки и второй объектив, в отличие от известного, содержится электронно-оптический преобразователь, а первый объектив выполнен из двух сферических зеркал, главного вогнутого и вторичного выпуклого, причем предметная поверхность первого объектива выполнена в виде вогнутой сферической поверхности, обращенной вогнутостью к объективу, а с плоскостью изображения совмещен фотокатод электронно-оптического преобразователя, при этом второй объектив оптически сопряжен с экраном электронно-оптического преобразователя и матричным фотоприемником телевизионного канала и выполнен из двух положительных компонентов, каждый из которых содержит четыре оптических элемента, а апертурная диафрагма расположена между первым и вторым компонентами второго объектива, при этом предметная поверхность, первый объектив, электронно-оптический преобразователь и система подсветки заключены в вакуумный объем и выполняются следующие соотношения:

$$\lambda_{\text{ОБ1}} = (10 \div 50) \text{ нм} ,$$

$$V_{\text{ОБ1}} = (0,4 \div 1,0) \frac{1}{\rho_{\text{э}} \cdot N_{\text{ЭОП}}},$$

$$R_{\text{ПП}} = (0,5 \div 2,0) \cdot F_{\text{ОБ1}}$$

$$V_{\text{ОБ2}} = (1,0 \div 4,0) \frac{d_{\text{фп}}}{\rho_{\text{э}} \cdot V_{\text{ОБ1}}},$$

где $\lambda_{\text{ОБ1}}$ - расчетная длина волны для первого объектива и системы подсветки;

$V_{\text{ОБ1}}$ - линейное увеличение первого объектива;

$\rho_{\text{э}}$ - линейная разрешающая способность оптической системы первого объектива;

$N_{\text{ЭОП}}$ - разрешающая способность электронно-оптического преобразователя;

$R_{ПП}$ - радиус кривизны предметной поверхности;

$F_{ОБ1}$ - фокусное расстояние первого объектива;

$V_{ОБ2}$ - линейное увеличение второго объектива;

5 $d_{фп}$ - размер пикселя матричного фотоприемника.

Такой оптико-электронный микроскоп обеспечивает возможность наблюдения препаратов с микроскопическими (в том числе вирусными) объектами в вакуумной ультрафиолетовой области спектра с разрешением менее 50 нм без использования сканирующих прецизионных механизмов.

10 Оптическая схема оптико-электронного микроскопа приведена на фигуре 1.

Оптико-электронный микроскоп содержит предметную поверхность 1, систему подсветки 2, первый объектив I, состоящий из вторичного выпуклого сферического зеркала 3 и главного вогнутого сферического зеркала 4, электронно-оптический преобразователь (ЭОП) 5, второй объектив II, состоящий из первого компонента III, 15 состоящего из оптических элементов 6, 7, 8 и 9, апертурной диафрагмы 10 и второго компонента IV, состоящего из оптических элементов 11, 12, 13 и 14, защитное стекло 15 матричного фотоприемника 16, электронный блок 17, монитор 18 телевизионного канала 19 и вакуумный объем 20.

Изображение предмета 1 переносится в плоскость фотокатода электронно- 20 оптического преобразователя 5 с помощью первого объектива I. Конструктивные параметры возможного варианта исполнения первого объектива I оптико-электронного микроскопа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Конструктивные параметры первого объектива I.

Радиусы	Толщины	Марка стекла	Полные диаметры
$R1 = 6,053$	$d1 = 0,0$	Поверхность предмета $\varnothing 0,26$ мм	
	$d2 = 25,588721$	<i>Фокусировка» на «резкость»</i>	
$R2 = -19,498$	$d3 = 0,0$	Зеркало	$\varnothing 20,5 \times \varnothing 9,4$
	$d4 = -12,06$		
$R3 = -7,447$	$d5 = 0,0$	Зеркало	$\varnothing 4,9$
	$d6 = 393,8$		
$R4 = \text{плоскость}$	-	<i>Плоскость фотокатода ЭОП</i>	$\varnothing 17,5$
$F_{ОБ1} = 6,015$ мм	$\lambda_{ОБ1} = 30$ нм	$D_{вх} = 22,33$ мм	$A = 0,4$

Параметры возможного варианта исполнения первого объектива I оптико-электронного микроскопа следующие:

40	- линейное увеличение первого объектива I, крат	67;
	- линейное поле зрения, мм	0,26;
	- числовая апертура первого объектива I	0,4;
	- расчетная длина волны, нм	30;
	- теоретическая разрешающая способность, нм	45,75;
45	- диаметр фотокатода ЭОП, мм	17,5;
	- разрешающая способность ЭОП, штр/мм	150;
	- длина по оптической оси от предмета до фотокатода ЭОП, мм	407,3.

В качестве системы подсветки 2 возможно использование спектральной лампы

тлеющего разряда типа ЛГВМ-0,5 с наполнением смесью гелия и водорода. Разрядные лампы рекомендованы ГОСТ Р 25645.338-96 для области спектра от 10 до 200 нм. ЛГВМ-0,5 содержит окно из фтористого магния, вакуумно-плотно припаянное к стеклу, серийно выпускается Государственным оптическим институтом им. С.И. Вавилова, конструктивные параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2. Конструктивные параметры ЛГВМ-0,5.

Параметр	Значение
Мощность излучения в ВУФ диапазоне, мВт	~ 1
Мощность излучения в ВУФ диапазоне, квант/сек	~ 10 ¹⁴
Диаметр апертуры (размер зоны свечения), мм	2,5
Габаритные размеры, мм	Ø10×30
Напряжение питания, В	300÷350
Рабочий ток, mA	1÷2
Срок службы, ч	500

Для работы в области длин волн короче 105 нм в качестве варианта исполнения входного окна ЛГВМ-0,5 возможно использование тонких полимерных пленок, помещенных на мелкую сетку.

Электронно-оптический преобразователь 5 разработан предприятием ООО «МЭЛЗ ФЭУ» под наименованием «ЭОП Со», конструктивные параметры ультрафиолетового варианта исполнения электронно-оптического преобразователя «ЭОП Со» приведены в таблице 3.

Таблица 3. Конструктивные параметры «ЭОП Со».

Параметр	Значение
Спектральный диапазон чувствительности, нм	20÷350
Квантовая эффективность в диапазоне 20÷200 нм, %	≥ 5

Коэффициент преобразования	≥ 50
Цвет свечения люминофора	желто-зеленый
Разрешающая способность, штр/мм	≥ 150
Габаритные размеры, мм	Ø43,1×30,4
Напряжение питания, В	2,8
Ток потребления, mA	≤ 20
Время непрерывной работы, ч	3000

Изображение экрана электронно-оптического преобразователя 5 переносится в плоскость матричного фотоприемника 16 телевизионного канала 19 с помощью второго объектива II.

Конструктивные параметры варианта исполнения второго объектива II оптико-электронного микроскопа приведены в таблице 4.

Таблица 4. Конструктивные параметры второго объектива II.

Радиусы	Толщины	Марка стекла	Полные диаметры
R1 = плоскость	d1 = 0,0	Плоскость люминофора экрана ЭОП Ø 17,5 мм	
R2 = плоскость	d2 = 5,6	ЛКЗ	17,5
R3 = плоскость		Стекло экрана ЭОП	17,5
	d3 = 2,0		
R4 = 22,23	d4 = 1,5	БФ16	13,5
R5 = 7,345			10,5
	d5 = 9,0		
R6 = 83,95	d6 = 3,0	ТФ10	13,5
R7 = 21,88			12,0
	d7 = 1,0		
R8 = 33,88	d8 = 4,0	БФ16	13,5
R9 = -10,99			13,5
	d9 = 0,5		
R10 = -13,062	d10 = 2,0	ТФ10	12,0
R11 = -21,78			13,5
	d11 = 0,0		
R12 = плоскость	d12 = 0,0	Апертурная диафрагма Ø11,7 ^{+0,1} мм	
	d13 = 1,0		
R13 = 84,33	d14 = 3,0	ТК21	15,0
R14 = -33,04			15,0

	d15 = 15,1		
5	R15 = -59,57	d16 = 2,0	ТФ10
	R16 = 30,76		
			18,8
		d17 = 2,0	
	R17 = 776,2	d18 = 4,0	ТК21
	R18 = -28,58		
			22,0
10		d19 = 1,0	
	R19 = 35,56	d20 = 4,0	ТК21
	R20 = -304,8		
			26,0
		d21 = 46,017632	<i>Фокусировка» на «резкость»</i>
15	R21 = плоскость	d22 = 1,5	К8
	R22 = плоскость		
			30,0
		d23 = 1,0	
	R23 = плоскость	-	<i>Плоскость ф/п</i>
20	$f=18,53$ мм	$\lambda_p=587$ нм	$\Delta\lambda=486\div 656$ нм
			A=0,2

Линейное увеличение второго объектива II составляет 1,785 крата.

Общая длина оптической системы от люминофора экрана ЭОП 5 до чувствительной площадки матричного фотоприемника 16 равна ~ 109,2 мм.

В качестве матричного фотоприемника 16 применен фотоприемник в варианте формата 12 мегапикселей, имеющий обозначение CMV12000. Разработан предприятием CMOSIS и производителем полупроводниковой продукции Tower Jazz, характеризуется шагом пикселей 5,5×5,5 мкм с разрешением активной области 4096×3072 пикселей, позволяет выполнять считывание данных со скоростью 300 кадров в секунду. Производится на предприятии Fab-2.

Принцип действия оптико-электронного микроскопа заключается в следующем.

Исследуемый образец помещается на предметную поверхность 1 и освещается системой подсветки 2 излучением с длиной волны, выбранной из соотношения:

$$\lambda_{\text{ОБ1}} = (10 \div 50) \text{ нм},$$

где $\lambda_{\text{ОБ1}}$ - расчетная длина волны для первого объектива I и системы подсветки 2.

Выполнение этого соотношения позволяет обеспечить в центре поля зрения теоретически достижимую разрешающую способность менее 50 нм при соответствующей числовой апертуре первого объектива I. Зеркальные поверхности выпуклого 3 и вогнутого 4 сферических зеркал могут быть выполнены в варианте с многослойным Mo-Si покрытием на кварцевом стекле (плавленный кварц КУ-1), обработанным для ВУФ диапазона в технике электронной литографии и в вакуумной ультрафиолетовой астрономии.

Первый объектив I, состоящий из вторичного выпуклого сферического зеркала 3 и главного вогнутого сферического зеркала 4, переносит изображение образца, находящегося на предметной поверхности 1, в плоскость фотокатода электронно-оптического преобразователя 5, при этом линейное увеличение первого объектива I выбирается из соотношения:

$$V_{\text{ОБ1}} = (0,4 \div 1,0) \frac{1}{\rho_3 \cdot N_{\text{ЭОП}}},$$

где $V_{\text{ОБ1}}$ - линейное увеличение первого объектива I;

ρ_3 - линейная разрешающая способность оптической системы первого объектива I;

$N_{\text{ЭОП}}$ - разрешающая способность электронно-оптического преобразователя 5.

Выполнение этого соотношения позволяет обеспечить согласование разрешающей способности электронно-оптического преобразователя 5 с теоретически достижимой разрешающей способностью первого объектива I. Предметная поверхность 1 первого объектива I выполнена в виде вогнутой сферической поверхности, обращенной вогнутостью к объективу I, радиус кривизны которой выбирается из соотношения:

$$R_{\text{ПП}} = (0,5 \div 2,0) \cdot F_{\text{ОБ1}},$$

где $R_{\text{ПП}}$ - радиус кривизны предметной плоскости I;

$F_{\text{ОБ1}}$ - фокусное расстояние первого объектива I.

Выполнение этого соотношения позволяет обеспечить высокое качество изображения образца, находящегося на предметной поверхности 1 диаметром $\emptyset 0,26$ мм, построенное первым объективом I на фотокатоде ЭОП 5 диаметром $\emptyset 17,5$ мм, как в центре, так и по всему полю зрения. Контрастные характеристики качества изображения варианта исполнения объектива I для частоты Найквиста 150 штр/мм, определяемой разрешающей способностью $N_{\text{ЭОП}}$, близки к дифракционному пределу для всего поля зрения и показаны на фиг. 2.

Изображение экрана электронно-оптического преобразователя 5 переносится в плоскость матричного фотоприемника 16 телевизионного канала 19 с помощью второго объектива II, при этом линейное увеличение второго объектива II выбирается из соотношения:

$$V_{\text{ОБ2}} = (1,0 \div 4,0) \frac{d_{\text{фп}}}{\rho_3 \cdot V_{\text{ОБ1}}},$$

где $V_{\text{ОБ2}}$ - линейное увеличение второго объектива II;

$d_{\text{фп}}$ - размер пикселя матричного фотоприемника 16.

Выполнение этого соотношения позволяет обеспечить согласование размера пикселя матричного фотоприемника 16 телевизионного канала 19 с теоретически достижимой разрешающей способностью первого объектива I, не ухудшая качество исходного изображения.

Качество изображения второго объектива II обеспечивается его конструктивным исполнением. Объектив конструктивно выполнен из двух положительных компонентов III и IV, каждый из которых содержит четыре оптических элемента (6, 7, 8, 9 и 11, 12, 13, 14 соответственно), при этом апертурная диафрагма расположена между первым и вторым компонентами второго объектива II. Контрастные характеристики качества изображения объектива II для частоты Найквиста 91 штр/мм, определяемой размером пикселя матричного фотоприемника $d_{\text{фп}}$ (5,5 мкм), показаны на фиг. 3.

Исходная разрешающая способность микроскопа определяется параметрами первого объектива I по величине радиуса кружка Эри в пространстве предметов (формула II.37 монографии «Оптика микроскопов. Расчет и проектирование», Панов В.А., Андреев Л.Н., Ленинград, «Машиностроение», Ленинградское отделение, 1976):

$$\rho_{\text{Э}} = \frac{0,61 \cdot \lambda}{A},$$

где: λ - расчетная длина волны объектива I ($\lambda = \lambda_{\text{ОБ1}}$);

A - числовая апертура объектива I в пространстве предметов.

$$A = n \cdot \sin u,$$

где: n - показатель преломления среды в пространстве предметов;

u - передний апертурный угол объектива I.

Формула критерия Релея демонстрирует основные пути увеличения разрешающей способности микроскопов и фотолитографических систем, один из которых - уменьшение длины волны λ ($\lambda_{\text{ОБ1}}$). Исходя из расчетной длины волны $\lambda_{\text{ОБ1}} = 30$ нм и числовой апертуры объектива, равной $A = 0,4$ (см. табл. 1), получаем теоретически достижимую разрешающую способность первого объектива I, равную $\rho_{\text{Э}} \approx 45,75$ нм. Выполнение выше приведенных соотношений не ухудшает разрешающей способности первого объектива I, таким образом, полученная величина $\rho_{\text{Э}} \approx 45,75$ нм позволяет наблюдать микроскопические (в том числе вирусные) объекты с размерами 50-200 нм. Для учета особенности спектрального диапазона вакуумной ультрафиолетовой области спектра с длинами волн от 20 до 40 нм предметная поверхность 1, первый объектив I, электронно-оптический преобразователь 5 и система подсветки 2 заключены в вакуумный объем 20, так как в воздухе резко возрастает поглощение этого излучения и для работы с ним необходимо создавать вакуум на протяжении всего тракта, где распространяется это излучение.

Предлагаемый оптико-электронный микроскоп обеспечивает возможность наблюдения препаратов с микроскопическими (в том числе вирусными) объектами в вакуумной ультрафиолетовой области спектра с разрешением менее 50 нм на расчетной длине волны ~ 30 нм без использования сканирующих прецизионных механизмов.

(57) Формула изобретения

Оптико-электронный микроскоп, содержащий телевизионную систему наблюдения с матричным фотоприемником, первый объектив, систему подсветки и второй объектив, отличающийся тем, что содержит электронно-оптический преобразователь, а первый объектив выполнен из двух сферических зеркал, главного вогнутого и вторичного выпуклого, причем предметная поверхность первого объектива выполнена в виде вогнутой сферической поверхности, обращенной вогнутостью к объективу, а с плоскостью изображения совмещен фотокатод электронно-оптического преобразователя, при этом второй объектив оптически сопряжен с экраном электронно-оптического преобразователя и матричным фотоприемником телевизионного канала и выполнен из двух положительных компонентов, каждый из которых содержит четыре оптических элемента, а апертурная диафрагма расположена между первым и вторым компонентами второго объектива, при этом предметная поверхность, первый объектив, электронно-оптический преобразователь и система подсветки заключены в вакуумный объем и выполняются следующие соотношения:

$$\lambda_{\text{ОБ1}} = (20 \div 40) \text{ нм},$$

$$V_{\text{ОБ1}} = (0,4 \div 1,0) \frac{1}{\rho_{\text{э}} \cdot N_{\text{ЭОП}}},$$

$$R_{\text{ПП}} = (0,5 \div 2,0) \cdot F_{\text{ОБ1}},$$

$$V_{\text{ОБ2}} = (1,0 \div 4,0) \frac{d_{\text{фп}}}{\rho_{\text{э}} \cdot V_{\text{ОБ1}}},$$

где $\lambda_{\text{ОБ1}}$ - расчетная длина волны для первого объектива и системы подсветки;

$V_{\text{ОБ1}}$ - линейное увеличение первого объектива;

$\rho_{\text{э}}$ - линейная разрешающая способность оптической системы первого объектива;

$N_{\text{ЭОП}}$ - разрешающая способность электронно-оптического преобразователя;

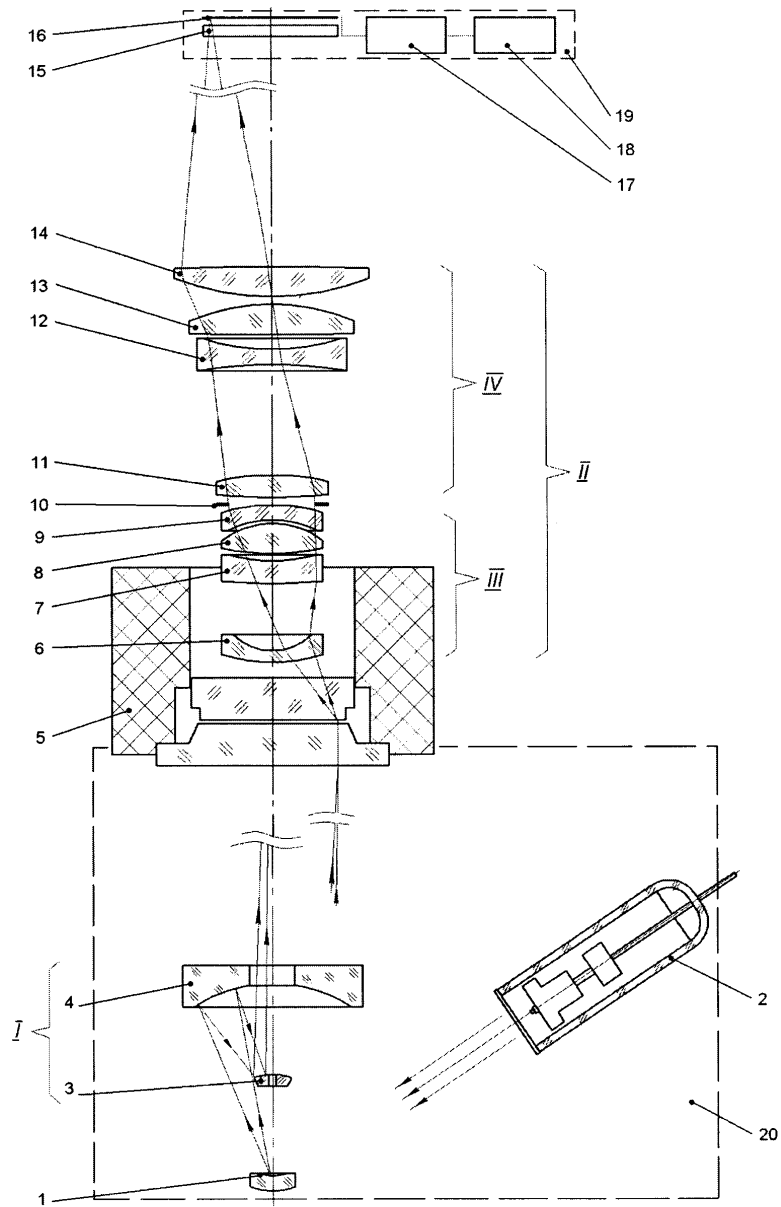
$R_{\text{ПП}}$ - радиус кривизны предметной поверхности;

$F_{\text{ОБ1}}$ - фокусное расстояние первого объектива;

$V_{\text{ОБ2}}$ - линейное увеличение второго объектива;

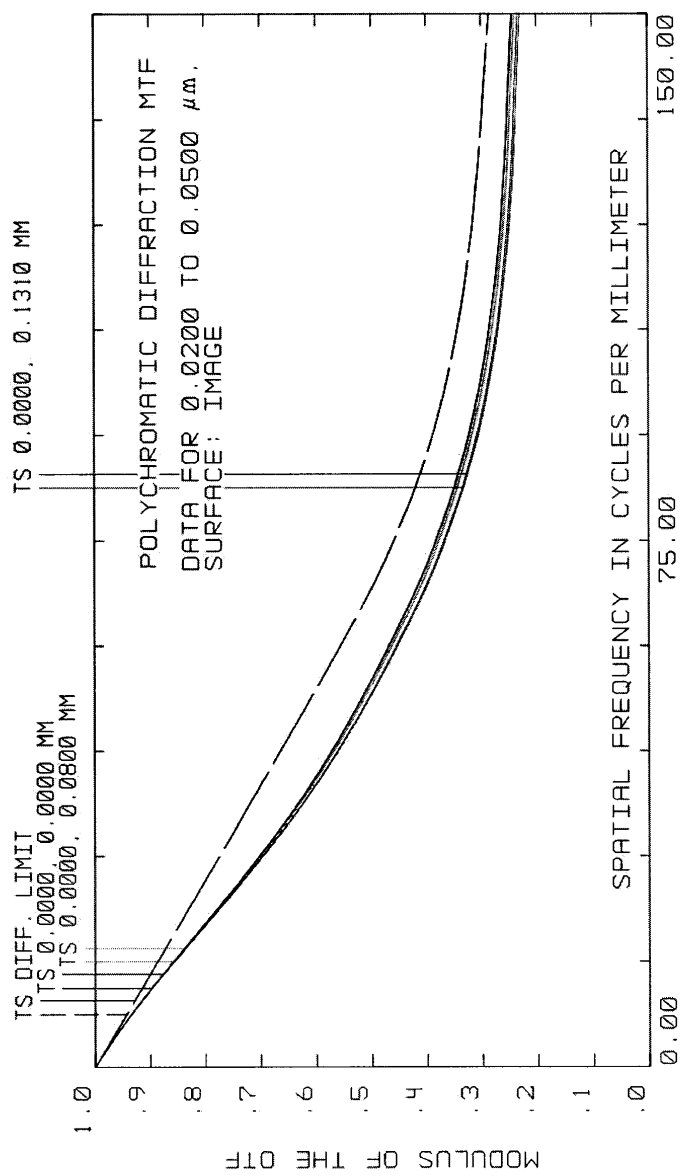
$d_{\text{фп}}$ - размер пикселя матричного фотоприемника.

1



Фиг. 1 Оптико-электронный микроскоп.

2



Фиг. 2 Контрастные характеристики объектива *L*.

