



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012126226/28, 25.06.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.06.2012

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2013 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 10.08.2014 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2018891 C1, 30.08.1994. SU 1837158 A1, 30.08.1993. US 7256869 B2, 14.08.2007. US 7324273 B2, 29.01.2008

Адрес для переписки:

119002, Москва, Смоленский б-р, 24, стр.2,
подъезд 3, ООО "Сен Мишель Групп", Е.Н.
Замирович

(72) Автор(ы):

**Агринский Николай Михайлович (RU),
Шаров Александр Александрович (RU),
Беляков Владимир Константинович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной ответственностью
"ВЕСТТРЕЙД ЛТД" (RU)**

**(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ МИКРООБЪЕКТА (ВАРИАНТЫ) И
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ (ВАРИАНТЫ)**

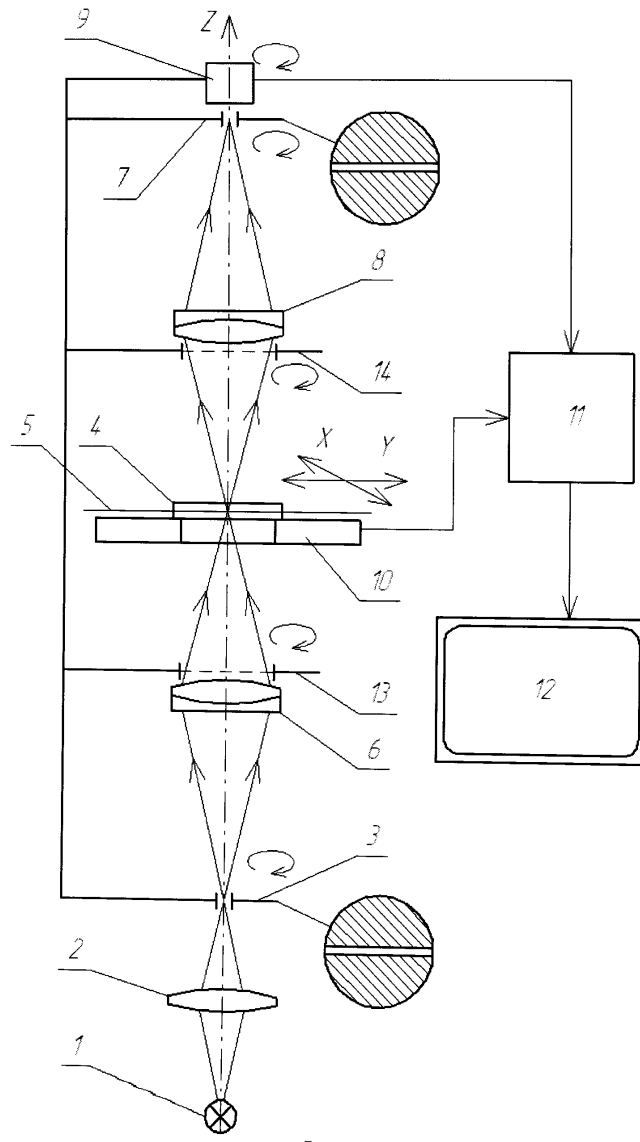
(57) Реферат:

Изобретение относится к микроскопии. Согласно способу формирования изображения микрообъекта реализуют при помощи конфокального сканирующего микроскопа. При этом в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям. Производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта в нескольких различных направлениях, одновременно регистрируя координаты

перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы. Ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования. Производят совместную электронную обработку фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта. Технический результат - улучшение детализации (повышение разрешения) изображения исследуемого микрообъекта. 4 н. и 16 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 525 152 C 2

RU 2 525 152 C 2



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G02B 21/00 (2006.01)
G01B 9/04 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2012126226/28, 25.06.2012
 (24) Effective date for property rights:
25.06.2012
 Priority:
 (22) Date of filing: 25.06.2012
 (43) Application published: 27.12.2013 Bull. № 36
 (45) Date of publication: 10.08.2014 Bull. № 22
 Mail address:
 119002, Moskva, Smolenskij b-r, 24, str.2, pod"ezd
 3, OOO "Sen Mishel' Grup", E.N. Zamirovich

(72) Inventor(s):
**Agrinskij Nikolaj Mihajlovich (RU),
 Sharov Aleksandr Aleksandrovich (RU),
 Beljakov Vladimir Konstantinovich (RU)**
 (73) Proprietor(s):
**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
 "VESTTREhJD LTD" (RU)**

(54) MICROOBJECT IMAGE FORMATION METHOD (VERSIONS) AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION (VERSIONS)

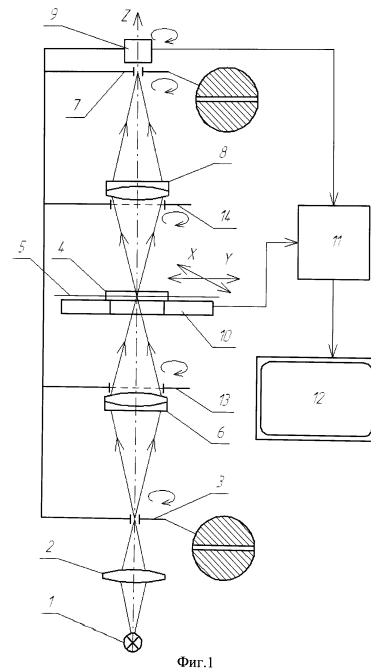
(57) Abstract:

FIELD: instrumentation.

SUBSTANCE: invention relates to microscopy. According to the method, microobject image formation is implemented with the help of a confocal scanning microscope. In the process of radiation focusing onto the survey plane and in the process of radiation focusing on the reception slot diaphragm one ensures change of the diffraction maximum sizes of each point image within the focusing plane, narrowing it in one direction relative to the other ones. One performs additional scanning of the microobject being surveyed in several different directions, simultaneously recording the coordinates of movement of the microobject being surveyed and photoelectric signals. Orientation of the direction of narrowing of the diffraction maximum and the slot diaphragms remains unchanged relative to the scanning direction. One performs consolidated electronic processing of photoelectric signals registered in the primary and the additional directions of scanning and the coordinates of movement of the microobject being surveyed that correspond to such directions.

EFFECT: improved detalisation (increased resolu-

tion) of the image of the microobject under survey.
20 cl, 4 dwg



RU 2 525 152 C2

RU 2 525 152 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Группа изобретений относится к микроскопии, а именно к способам формирования изображения микрообъектов и к устройству конфокальных сканирующих микроскопов, и может быть использовано при исследовании различных микрообъектов, в том числе

5 живых биологических структур.

Уровень техники

Известно устройство (патент США №3013467, опубликован 19.12.1961), реализующее способ формирования изображения микрообъекта, согласно которому свет через осветительную диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют свет

10 в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной диафрагмы с плоскостью исследования; фокусируют свет, прошедший через исследуемый микрообъект, на приемной диафрагме, оптически сопрягая плоскость приемной диафрагмы с плоскостью исследования, после прохождения светом приемной диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую

15 регистрацию, получая фотоэлектрический сигнал; сканируют исследуемый объект, перемещая его по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрический сигнал согласуют с координатами микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают

20 изображение исследуемого микрообъекта. Устройство согласно патенту США №3013467 включает последовательно и соосно расположенные источник света с конденсором, осветительную диафрагму, идентичные осветительный и приемный объективы сопряжения, приемную диафрагму и фотоприемник, причем объективы сопряжения расположены симметрично относительно плоскости исследования так, что плоскость

25 осветительной диафрагмы, плоскость исследования, плоскость приемной диафрагмы являются взаимно оптически сопряженными, сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство, в качестве которого в указанном патенте используется электронный осциллограф.

Известен вариант устройства (патент США №3013467, опубликован 19.12.1961), реализующего способ формирования изображения микрообъекта, согласно которому свет через осветительную диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют свет в выбранной плоскости исследования в области исследуемого

35 микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной диафрагмы с плоскостью исследования; направляют свет, отраженный или излученный исследуемым микрообъектом, на приемную диафрагму, оптически сопрягая плоскость приемной диафрагмы с плоскостью исследования, после прохождения светом приемной диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию, получая фотоэлектрический сигнал; сканируют исследуемый объект, перемещая его по двум координатам в плоскости,

40 перпендикулярной оптической оси системы; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрический сигнал согласуют с координатами микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают изображение исследуемого микрообъекта. Данный вариант устройства согласно патенту США №3013467 включает

45 последовательно расположенные источник света с конденсором, осветительную диафрагму, светоделитель, объектив сопряжения, приемную диафрагму, расположенную за светоделителем, и фотоприемник, причем объектив сопряжения и светоделитель расположены так, что плоскость осветительной диафрагмы, плоскость исследования,

плоскость приемной диафрагмы являются взаимно оптически сопряженными, при этом центры обеих диафрагм расположены на оптической оси объектива сопряжения; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство.

Основными недостатками вариантов способа и устройства согласно патенту США №3013467 являются длительное время сканирования и относительно невысокая разрешающая способность.

Известно также аналогичное устройство (Handbook of Biological Confocal Microscopy. Third Edition. Edited by James B. Pawley. Springer Science + Business Media, LLC. New York. 2000. P. 207-220), в котором сканирующая платформа выполнена трехкоординатной с возможностью дополнительного перемещения вдоль оптической оси системы, что позволяет производить «послойное» сканирование исследуемого микрообъекта и получать его трехмерное изображение.

Главными недостатком данного устройства также являются относительно низкая разрешающая способность и длительное время сканирования, которое увеличивается из-за увеличения площади сканирования.

Известен способ уменьшения размера дифракционного максимума оптической системы (патент США №7471435 В2, опубликован 30.12.2008), обеспечивающий увеличения разрешающей способности, с применением круговых аподизационных диафрагм, которые устанавливаются в плоскости апертурной диафрагмы оптической системы или в сопряженной с ней плоскости.

Недостатком применения таких аподизационных диафрагм является то, что заметного сужения дифракционного максимума можно добиться лишь при значительном снижении коэффициента пропускания системы. Другим недостатком является зависимость их эффективности от aberrаций оптической системы, прежде всего, от сферической aberrации.

Наиболее близким аналогом к заявляемому изобретению является устройство (патент РФ №2018891, опубликован 30.08.1994), реализующее способ формирования изображения микрообъекта, согласно которому свет через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют свет в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; фокусируют свет, прошедший через исследуемый микрообъект, на приемной щелевой диафрагме, оптически сопрягая плоскость приемной диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения светом приемной диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого объекта в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы, перемещая его в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования. Устройство согласно патенту РФ №2018891 включает последовательно расположенные источник света с конденсором, содержащим цилиндрический компонент, осветительную щелевую диафрагму, идентичные осветительный и приемный объективы сопряжения, приемную щелевую диафрагму и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объективы сопряжения расположены симметрично относительно плоскости исследования так, что плоскость осветительной щелевой диафрагмы, плоскость исследования, общая плоскость приемной щелевой диафрагмы

и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными а центры осветительной, приемной щелевых диафрагм, фотоприемника и оптические оси объективов сопряжения находятся на одной оси, а длинные стороны щелевых диафрагм и фотоприемника ориентированы в одном направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта. В качестве многоэлементного фотоприемника согласно патенту используют линейку фотодетекторов.

Другим наиболее близким аналогом к заявляемому изобретению является вариант устройства (патент РФ №2018891, опубликован 30.08.1994), реализующего способ формирования изображения микрообъекта, согласно которому свет через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют свет в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; направляют свет, отраженный или излученный исследуемым микрообъектом, на приемную щелевую диафрагму, оптически сопрягая плоскость приемной диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения светом приемной диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого объекта в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы, перемещая его в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования. Данный вариант устройства согласно патенту РФ №2018891 включает последовательно расположенные источник света с конденсором, содержащим цилиндрический компонент, осветительную щелевую диафрагму, светоделитель, объектив сопряжения, приемную щелевую диафрагму, расположенную за светоделителем, и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объектив сопряжения и светоделитель расположены так, что плоскость осветительной диафрагмы, плоскость исследования, общая плоскость приемной диафрагмы и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными, при этом центры обеих диафрагм и фотоприемника расположены на оптической оси объектива сопряжения, а длинные стороны щелевых диафрагм и фотоприемника ориентированы в одном направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта.

Основным недостатком вариантов способа и устройства согласно патенту РФ №2018891 является относительно невысокое разрешение, которое, кроме того, снижается в направлении, перпендикулярном направлению сканирования.

Раскрытие изобретения

Основной задачей предлагаемого изобретения является создание такого способа формирования изображения микрообъекта, который повышал бы детализацию (разрешение) формируемого изображения как в поперечном направлении, так и по глубине (трехмерное изображение), а также создание такого устройства, в котором могли бы быть наилучшим образом реализованы преимущества этого способа.

Сущность предложенного способа заключается в том, что в известном способе формирования изображения микрообъекта, при котором оптическое излучение через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект; фокусируют излучение в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; фокусируют излучение, прошедшее через исследуемый микрообъект, на приемной щелевой диафрагме, оптически сопрягая плоскость приемной

щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают изображение исследуемого микрообъекта, согласно изобретению как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям; производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта в нескольких различных направлениях, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования; а также производят совместную электронную обработку фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта.

Технический результат изобретения заключается в повышении детализации формируемого изображения прозрачных и частично прозрачных микрообъектов при относительно высоких производительности и энергетической эффективности.

Целесообразно в предложенном способе исследуемый микрообъект дополнительно перемещать в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, получая послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

Технический результат изобретения заключается в возможности получения трехмерного изображения с повышенной детализацией (разрешением) как для прозрачных, так и для частично прозрачных микрообъектов.

Целесообразно в предложенном способе регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществлять, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, причем необходимо, чтобы каждый из этих оптических путей пересекался с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели.

Технический результат изобретения заключается в повышении контраста формируемого изображения микрообъектов и в повышении разрешения в продольном направлении (по глубине микрообъекта).

Сущность другого варианта предложенного способа заключается в том, что в известном способе формирования изображения микрообъекта, при котором оптическое излучение через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют излучение в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; направляют излучение, отраженное или излученное исследуемым микрообъектом, на приемную щелевую диафрагму, оптически

сопрягая плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают изображение исследуемого микрообъекта, согласно изобретению как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям; производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта в нескольких различных направлениях, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования; а также производят совместную электронную обработку фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта.

Технический результат изобретения заключается в повышении детализации формируемого изображения непрозрачных и частично прозрачных микрообъектов при относительно высоких производительности и энергетической эффективности.

В предложенном варианте способа целесообразно дополнительно перемещать исследуемый микрообъект в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, получая послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

Технический результат изобретения заключается в возможности получения трехмерного изображения с повышенной детализацией (разрешением) как для частично прозрачных, так и для непрозрачных микрообъектов.

Целесообразно в предложенном варианте способа регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществлять, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, причем необходимо, чтобы каждый из этих оптических путей пересекался с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели.

Технический результат изобретения заключается в повышении контраста формируемого изображения микрообъектов и в повышении разрешения в продольном направлении (по глубине микрообъекта).

Указанная задача изобретения решается также тем, что в устройстве, включающем последовательно расположенные источник света с конденсором, осветительную щелевую диафрагму, идентичные осветительный и приемный объективы сопряжения, приемную щелевую диафрагму и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объективы сопряжения расположены симметрично относительно плоскости

исследования так, что плоскость осветительной щелевой диафрагмы, плоскость исследования, плоскость приемной щелевой диафрагмы и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными, центры осветительной, приемной щелевых диафрагм, фотоприемника и оптические оси объективов сопряжения находятся на одной оси, а длинные стороны щелевых диафрагм и фотоприемника ориентированы в одном направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство, согласно изобретению дополнительно установлены две одинаковые аподизационные диафрагмы, которые размещены в плоскости апертурной диафрагмы каждого из объективов сопряжения либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы, причем указанные аподизационные диафрагмы выполнены лишенными круговой симметрии, но симметричными относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объективов сопряжения; при этом осветительная щелевая диафрагма, приемная щелевая диафрагма, аподизационные диафрагмы и многоэлементный фотоприемник имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

Технический результат изобретения заключается в том, что такое устройство позволяет реализовать предложенный способ повышения детализации формируемого изображения для прозрачных микрообъектов при относительной простоте технической реализации дополнительных компонентов устройства.

Целесообразно, чтобы в предложенном варианте устройства конденсор содержал, по меньшей мере, один цилиндрический компонент, который имеет возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

Технический результат изобретения заключается в уменьшении потерь энергии излучения при освещении щелевой диафрагмы, при этом обеспечивается возможность эффективного освещения щелевой диафрагмы при ее повороте.

Целесообразно, чтобы в предложенном варианте устройства плоскость приемной щелевой диафрагмы была совмещена с плоскостью чувствительной площадки многоэлементного приемника оптически, для чего между приемной щелевой диафрагмой и многоэлементным фотоприемником должна быть установлена дополнительная оптическая система сопряжения.

Технический результат изобретения состоит в расширении номенклатуры применяемых фотоприемников, обеспечивая возможность применения высокочувствительных многоэлементных фотоприемников с большими размерами чувствительных элементов без снижения разрешающей способности.

В предложенном устройстве сканирующая платформа может иметь, по меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

Техническим результатом изобретения является обеспечение технической реализации предложенного метода получения трехмерного изображения с повышенной детализацией (разрешением).

Целесообразно, чтобы в предложенном варианте устройства сканирующая платформа имела возможность поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси.

Технический результат изобретения состоит в минимизации подвижных элементов аппаратуры, что повышает точность сканирования, а значит, и разрешающую

способность устройства.

Целесообразно, чтобы каждая аподизационная диафрагма была выполнена в виде секторного раstra из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются.

5 Техническим результатом изобретения является повышение эффективности действия аподизационной диафрагмы, что выражается в значительном сужении дифракционного максимума изображения каждой точки в направлении сканирования, улучшая детализацию получаемого изображения при относительно малых потерях энергии на диафрагме.

10 Каждая аподизационная диафрагма в устройстве может быть выполнена в виде секторного раstra из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен.

Технический результат изобретения состоит в возможности реализации способа повышения детализации формируемого трехмерного изображения прозрачного
15 микрообъекта в продольном направлении (по глубине микрообъекта), а также в повышении контраста в формируемом изображении выбранной плоскости исследования микрообъекта.

Другой вариант предлагаемого решения задачи изобретения состоит в том, что в известном устройстве, включающем последовательно расположенные источник света
20 с конденсором, осветительную щелевую диафрагму, светоделитель, объектив сопряжения, приемную щелевую диафрагму, расположенную за светоделителем, и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объектив сопряжения и светоделитель расположены так, что плоскость осветительной диафрагмы, плоскость
25 исследования, плоскость приемной диафрагмы и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными, центры осветительной, приемной щелевых диафрагм и фотоприемника расположены на оптической оси объектива сопряжения, а длинные стороны щелевых диафрагм и фотоприемника ориентированы в одном
30 направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство, согласно изобретению дополнительно установлена аподизационная диафрагма, которая размещена в плоскости апертурной
диафрагмы объектива сопряжения либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы, причем указанная аподизационная диафрагма
35 выполнена лишенной круговой симметрии, но симметричной относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объектива сопряжения; при этом осветительная щелевая диафрагма, приемная щелевая диафрагма, аподизационные диафрагмы и многоэлементный фотоприемник имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

40 Технический результат изобретения заключается в том, что такое устройство позволяет реализовать предложенный способ повышения детализации формируемого изображения для непрозрачных и частично прозрачных микрообъектов при относительной простоте технической реализации дополнительных компонентов устройства.

45 Целесообразно, чтобы в предложенном варианте устройства конденсор содержал, по меньшей мере, один цилиндрический компонент, который имеет возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

Технический результат изобретения заключается в уменьшении потерь энергии

излучения при освещении щелевой диафрагмы, при этом обеспечивается возможность эффективного освещения щелевой диафрагмы при ее повороте.

Целесообразно, чтобы в предложенном варианте устройства плоскость приемной щелевой диафрагмы была совмещена с плоскостью чувствительной площадки многоэлементного приемника оптически, для чего между приемной щелевой диафрагмой и многоэлементным фотоприемником должна быть установлена дополнительная оптическая система сопряжения.

Технический результат изобретения состоит в расширении номенклатуры применяемых фотоприемников, обеспечивая возможность применения высокочувствительных многоэлементных фотоприемников с большими размерами чувствительных элементов без снижения разрешающей способности.

В предложенном устройстве сканирующая платформа может иметь, по меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

Техническим результатом изобретения является обеспечение технической реализации предложенного метода получения трехмерного изображения с повышенной детализацией (разрешением).

Целесообразно, чтобы сканирующая платформа имела возможность поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси.

Технический результат изобретения состоит в минимизации подвижных элементов аппаратуры, что повышает точность сканирования, а значит, и разрешающую способность устройства.

Целесообразно, чтобы каждая аподизационная диафрагма была выполнена в виде секторного раstra из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности действия аподизационной диафрагмы, что выражается в значительном сужении дифракционного максимума изображения каждой точки в направлении сканирования, улучшая детализацию получаемого изображения, при относительно малых потерях энергии на диафрагме.

Каждая аподизационная диафрагма в устройстве может быть выполнена в виде секторного раstra из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен.

Технический результат изобретения состоит в возможности реализации способа повышения детализации формируемого трехмерного изображения прозрачного микрообъекта в продольном направлении (по глубине микрообъекта), а также в повышении контраста в формируемом изображении выбранной плоскости исследования микрообъекта.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 иллюстрирует вариант осуществления предложенного способа формирования изображения прозрачных и частично прозрачных микрообъектов и изображает схему соответствующего варианта устройства (микроскопа) согласно изобретению.

Фиг.2 иллюстрирует вариант осуществления предложенного способа формирования изображения непрозрачных и частично прозрачных микрообъектов и изображает схему соответствующего варианта устройства (микроскопа) согласно изобретению.

Фиг.3 изображает возможный вариант выполнения аподизационной диафрагмы.

Фиг.4 изображает фрагмент схемы возможного варианта устройства, обеспечивающий оптическое совмещение плоскости приемной диафрагмы и плоскости чувствительной площадки фотоприемника.

Осуществление изобретения

5 Пример осуществления предложенного способа формирования изображения микрообъекта поясняет фиг.1. Оптическое излучение от источника 1, в качестве которого может использоваться лампа накаливания, газоразрядная лампа, светодиод, лазер, при помощи конденсора 2 направляют через осветительную щелевую диафрагму 3 на исследуемый микрообъект 4, который, как правило, является прозрачным или частично

10 прозрачным для используемого излучения. При этом излучение фокусируют в выбранной плоскости исследования 5 в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования при помощи осветительного объектива сопряжения 6. Далее излучение, прошедшее через исследуемый микрообъект, фокусируют на приемной щелевой диафрагме 7, оптически сопрягая

15 плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования при помощи приемного объектива сопряжения 8, идентичного объективу 6 и установленному так, что объективы 6 и 8 располагаются симметрично относительно плоскости исследования так, что плоскость осветительной щелевой диафрагмы 2, плоскость исследования 5 и плоскость приемной щелевой диафрагмы 7 являются взаимно оптически сопряженными.

20 После прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы 7 осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, для чего используют многоэлементный фотоприемник 9 плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы 7. В качестве фотоприемника может быть использована матрица или линейка

25 фотодетекторов, ориентированная вдоль диафрагмы 7. Центры осветительной, приемной щелевых диафрагм, фотоприемника и оптические оси объективов сопряжения находятся на одной оси (ось Z на фиг.1), а длинные стороны щелевых диафрагм 3, 7 и фотоприемника 9 ориентированы в одном направлении. Фотоэлектрические сигналы с многоэлементного фотоприемника 9 получают в процессе сканирования исследуемого

30 микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования. Для сканирования исследуемого микрообъекта используют прецизионную сканирующую платформу 10, при помощи которой исследуемый микрообъект 4, жестко связанный с платформой 10, с высокой точностью перемещают в плоскости XY, перпендикулярной оси системы Z, которая одновременно является оптической осью. Координаты перемещения

35 исследуемого микрообъекта регистрируют в заданные моменты времени сканирования синхронно с регистрацией фотоэлектрических сигналов. Для решения этой задачи предназначено устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта, которое включает, в том числе, цифровые

40 датчики координат перемещения сканирующей платформы 10 и аналого-цифровые преобразователи сигналов многоэлементного фотоприемника 9. При помощи устройства 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство 12. Такое согласование

45 может быть осуществлено при помощи вычислительного модуля, включенного в состав устройства 11. В качестве отображающего устройства может быть использован видеомонитор с цифровым входом, на экране которого отображается пространственное распределение поля яркости исследуемого микрообъекта 4 в выбранной плоскости

исследования (изображение микрообъекта). Основной техникой результат предложенного изобретения (повышение разрешения в формируемом изображении) обеспечивается тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме

5 обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям. Изменение размеров дифракционного максимума изображения точки достигается тем, что в плоскости апертурной диафрагмы каждого из объективов сопряжения 6, 8 либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью

10 апертурной диафрагмы (входной и выходной зрачки объектива), установлены две одинаковые аподизационные диафрагмы 13 и 14, причем указанные аподизационные диафрагмы выполнены лишенными круговой симметрии, но симметричными относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объективов сопряжения. Для реализации возможности повышения детализации формируемого изображения (улучшения разрешения) ширину щели щелевых диафрагм

15 3 и 7 обеспечивают не более полученного размера дифракционного максимума изображения точки в соответствующей плоскости. Поскольку сужение дифракционного максимума, а значит, и улучшение разрешения, достигается только по одной координате, определяемой ориентацией аподизационных диафрагм, производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта 4 в нескольких различных направлениях в

20 плоскости XY, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования. Для выполнения этого условия осветительная щелевая

25 диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационные диафрагмы 13 и 14 и многоэлементный фотоприемник 9 имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства. Причем при очередном изменении направления сканирования осветительную щелевую диафрагму 3, приемную щелевую диафрагму 7, аподизационные

30 диафрагмы 13 и 14 и многоэлементный фотоприемник 9 поворачивают на тот же угол, на который повернулся вектор скорости сканирования по отношению к предыдущему направлению. Для обеспечения точности согласованного поворота всех указанных элементов (3, 7, 13, 14, 9) они могут быть жестко механически связаны между собой. По завершении сканирования исследуемого микрообъекта в каждом из выбранных направлений производят совместную электронную обработку фотоэлектрических

35 сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта. Поскольку регистрацию сигналов и координат осуществляют последовательно, то для совместной обработки после перевода в цифровую форму они должны быть сохранены в блоке памяти устройства 11. Совместная обработка в

40 простейшем случае может заключаться в суммировании фотоэлектрических сигналов, полученных при разных направлениях сканирования для точек объекта, имеющих одни и те же координаты.

Поясним подробнее основной смысл предлагаемого технического решения. Распределение энергии в изображении точечного объекта - функция рассеяния точки

45 оптической системы - определяется как квадрат модуля обратного Фурье-преобразования комплексной функции зрачка. Комплексная функция зрачка $\mathfrak{X}(\rho, \theta)$ в полярных координатах (ρ, θ) на зрачке, в свою очередь, определяется формулой:

$$\mathfrak{X}(\rho, \theta) = P(\rho, \theta) \exp[i2\pi W(\rho, \theta)],$$

где $P(\rho, \theta)$ - функция пропускания зрачка; $W(\rho, \theta)$ - функция волновых aberrаций оптической системы.

Таким образом, изменяя функцию пропускания зрачка, можно влиять на распределение энергии в изображении точки, в том числе и сужать размер центрального дифракционного максимума. В известном способе уменьшения размера дифракционного максимума оптической системы (патент США №7471435 В2, опубликован 30.12.2008), обеспечивающем увеличение разрешающей способности, применяются круговые аподизационные диафрагмы, реализующие функцию пропускания зрачка, которая в общем виде может быть представлена как:

$$P(\rho, \theta) = P(\rho).$$

Основным недостатком указанного способа является его чувствительность к осесимметричным aberrациям (прежде всего, к сферической aberrации), которые характерны для любой оптической системы и как погрешности изготовления, и как расчетные ошибки. Эти aberrации также зависят от ρ :

$$W(\rho, \theta) = W(\rho).$$

Следовательно, наличие сферической aberrации, которая не всегда известна, будет влиять на распределение энергии в изображении точки, непредсказуемо изменяя его.

Влияние осесимметричных aberrаций на работу аподизационной диафрагмы можно снизить, если выполнить ее так, чтобы функцию пропускания зрачка сделать независимой или мало зависящей от ρ :

$$P(\rho, \theta) \approx P(\theta).$$

Применение аподизационных диафрагм, обеспечивающих подобную функцию зрачка, эффективно сужает максимум дифракционного изображения точки в одном направлении, но может приводить к расширению максимума в других направлениях, что приводит к снижению разрешающей способности в этих направлениях. Этот недостаток компенсируется сканированием исследуемого образца в различных направлениях при обеспечении совпадения направления минимальной ширины дифракционного максимума с каждым новым направлением сканирования.

Описанный вариант предложенного способа формирования изображения может обеспечить формирование трехмерного изображения исследуемого микрообъекта, для чего исследуемый микрообъект дополнительно перемещают в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, и получают послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

Элементы исследуемого прозрачного микрообъекта, находящиеся вне выбранной плоскости исследования, могут создавать фоновое излучение в плоскости приемной диафрагмы. Это снижает контраст изображения и ухудшает разрешение малоконтрастных деталей исследуемого объекта, находящихся в выбранной плоскости исследования. В варианте предложенного способа регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, причем каждый из этих оптических путей пересекается с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели. Таким образом, детали исследуемого микрообъекта, находящиеся вне выбранной плоскости исследования, но попадающие в ход лучей при первой регистрации фотоэлектрического сигнала, при второй регистрации фотоэлектрического сигнала уже не попадут в ход лучей, в то время как излучение от деталей исследуемого микрообъекта, находящихся в выбранной плоскости исследования, будет

зарегистрировано дважды. При обработке этих двух фотоэлектрических сигналов (в простейшем случае - суммировании) соотношение между полезным и фоновым сигналом будет повышено.

Другой вариант осуществления предложенного способа формирования изображения микрообъекта и техническую реализацию устройства для его осуществления (микроскопа) поясняет фиг.2. Оптическое излучение от источника 1, в качестве которого может использоваться лампа накаливания, газоразрядная лампа, светодиод, лазер, при помощи конденсора 2 направляют через осветительную щелевую диафрагму 3 и светоделитель 15 на исследуемый микрообъект 4, который может быть непрозрачным для используемого излучения. При этом излучение фокусируют в выбранной плоскости исследования 5 в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования при помощи объектива сопряжения 8. Далее излучение, отраженное или излученное исследуемым микрообъектом, направляют на приемную щелевую диафрагму 7, оптически сопрягая плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования при помощи того же объектива сопряжения 8. Таким образом, плоскость осветительной щелевой диафрагмы 2, плоскость исследования 5 и плоскость приемной щелевой диафрагмы 7 являются взаимно оптически сопряженными. После прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы 7 осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, для чего используют многоэлементный фотоприемник 9, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы 7. В качестве фотоприемника может быть использована матрица или линейка фотодетекторов, ориентированная вдоль диафрагмы 7. Центры осветительной щелевой диафрагмы 2, приемной щелевой диафрагмы и фотоприемника 9 находятся на оптической оси объектива сопряжения 8 (с учетом отражения на светоделителе 15), а длинные стороны щелевых диафрагм 3, 7 и фотоприемника 9 ориентированы в одном направлении (с учетом отражения на светоделителе 15). Фотоэлектрические сигналы с многоэлементного фотоприемника 9 получают в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования. Для сканирования исследуемого микрообъекта используют прецизионную сканирующую платформу 10, при помощи которой исследуемый микрообъект 4, жестко связанный с платформой 10, с высокой точностью перемещают в плоскости XY, перпендикулярной оси системы Z, которая одновременно является оптической осью. Координаты перемещения исследуемого микрообъекта регистрируют в заданные моменты времени сканирования синхронно с регистрацией фотоэлектрических сигналов. Для решения этой задачи предназначено устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта, которое включает, в том числе, цифровые датчики координат перемещения сканирующей платформы 10 и аналого-цифровые преобразователи сигналов многоэлементного фотоприемника 9. При помощи устройства 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство 12. Такое согласование может быть осуществлено при помощи вычислительного модуля, включенного в состав устройства 11. В качестве отображающего устройства может быть использован видеомонитор с цифровым входом, на экране которого отображается пространственное распределение поля яркости исследуемого микрообъекта 4 в выбранной плоскости исследования

(изображение микрообъекта). Основным техническим результатом предложенного изобретения (повышение разрешения в формируемом изображении) обеспечивается тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям. Изменение размеров дифракционного максимума изображения точки достигается тем, что в плоскости апертурной диафрагмы каждого объектива сопряжения 8 либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы (входной и выходной зрачки объектива), установлена аподизационная диафрагма 14, причем указанная аподизационная диафрагма выполнена лишенной круговой симметрии, но симметричной относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объективов сопряжения. Для реализации возможности повышения детализации формируемого изображения (улучшения разрешения) ширину щели щелевых диафрагм 3 и 7 обеспечивают не более полученного размера дифракционного максимума изображения точки в соответствующей плоскости. Поскольку сужение дифракционного максимума, а значит, и улучшение разрешения, достигается только по одной координате, определяемой ориентацией аподизационной диафрагмы, производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта 4 в нескольких различных направлениях в плоскости XY, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования. Для выполнения этого условия осветительная щелевая диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационная диафрагма 14 и многоэлементный фотоприемник 9 имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства. Причем при очередном изменении направления сканирования осветительную щелевую диафрагму 3, приемную щелевую диафрагму 7, аподизационную диафрагму 14 и многоэлементный фотоприемник 9 поворачивают на тот же угол, на который повернулся вектор скорости сканирования по отношению к предыдущему направлению. По завершении сканирования исследуемого микрообъекта в каждом из выбранных направлений производят совместную электронную обработку фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта. Поскольку регистрацию сигналов и координат осуществляют последовательно, то для совместной обработки после перевода в цифровую форму они должны быть сохранены в блоке памяти устройства 11. Совместная обработка в простейшем случае может заключаться в суммировании фотоэлектрических сигналов, полученных при разных направлениях сканирования для точек объекта, имеющих одни и те же координаты.

Описанный вариант предложенного способа формирования изображения может обеспечить формирование трехмерного изображения исследуемого микрообъекта, для чего исследуемый микрообъект дополнительно перемещают в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, и получают послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

В варианте предложенного способа регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, причем каждый из

этих оптических путей пересекается с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели. Таким образом, детали исследуемого микрообъекта, находящиеся вне выбранной плоскости исследования, но попадающие в ход лучей при первой регистрации фотоэлектрического сигнала, при второй регистрации фотоэлектрического сигнала уже не попадут в ход лучей, в то время как излучение от деталей исследуемого микрообъекта, находящихся в выбранной плоскости исследования, будет зарегистрировано дважды. При обработке этих двух фотоэлектрических сигналов (в простейшем случае - суммировании) соотношение между полезным и фоновым сигналом будет повышено.

Вариант технической реализации устройства (микроскопа) для осуществления предложенного способа формирования изображения микрообъекта поясняет схема, изображенная на фиг.1. На схеме показаны: источник оптического излучения 1; конденсор 2; осветительная щелевая диафрагма 3; исследуемый микрообъект 4; плоскость исследования 5 в области исследуемого микрообъекта; осветительный объектив сопряжения 6; приемная щелевая диафрагма 7; приемный объектив сопряжения 8; многоэлементный фотоприемник 9; прецизионная сканирующая платформа 10; устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство 12; аподизационные диафрагмы 13 и 14.

Устройство работает следующим образом (см. фиг.1). Оптическое излучение от источника 1, в качестве которого может использоваться лампа накаливания, газоразрядная лампа, светодиод, лазер, при помощи конденсора 2 направляется через осветительную щелевую диафрагму 3 на исследуемый микрообъект 4, который, как правило, является прозрачным или частично прозрачным для используемого излучения. При этом излучение фокусируется в выбранной плоскости исследования 5, расположенной в области исследуемого микрообъекта, при помощи осветительного объектива сопряжения 6, который оптически сопрягает плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования. Далее излучение, прошедшее через исследуемый микрообъект, фокусируется на приемной щелевой диафрагме 7 при помощи приемного объектива сопряжения 8, оптически сопрягающего плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования. Объектив 8 идентичен объективу 6, причем объективы 6 и 8 располагаются симметрично относительно плоскости исследования таким образом, что плоскость осветительной щелевой диафрагмы 2, плоскость исследования 5 и плоскость приемной щелевой диафрагмы 7 являются взаимно оптически сопряженными. После прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы 7 осуществляется его фотоэлектрическая регистрация во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, для чего используется многоэлементный фотоприемник 9, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы 7. В качестве фотоприемника может быть использована матрица или линейка фотодетекторов, ориентированная вдоль диафрагмы 7. Центры осветительной, приемной щелевых диафрагм, фотоприемника и оптические оси объективов сопряжения находятся на одной оси (ось Z на фиг.1), а длинные стороны щелевых диафрагм 3, 7 и фотоприемника 9 ориентированы в одном направлении. Фотоэлектрические сигналы с многоэлементного фотоприемника 9 регистрируются в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования. Для сканирования исследуемого микрообъекта используется прецизионная сканирующая платформа 10, при помощи которой исследуемый

микрообъект 4, жестко связанный с платформой 10, с высокой точностью перемещается в плоскости XY, перпендикулярной оси системы Z, которая одновременно является оптической осью. Координаты перемещения исследуемого микрообъекта регистрируются в заданные моменты времени сканирования синхронно с регистрацией фотоэлектрических сигналов. Для решения этой задачи предназначено устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта, которое включает, в том числе, цифровые датчики координат перемещения сканирующей платформы 10 и аналого-цифровые преобразователи сигналов многоэлементного фотоприемника 9. При помощи устройства 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта фотоэлектрические сигналы согласуются с координатами перемещения микрообъекта и поступают на отображающее устройство 12. Такое согласование может быть осуществлено при помощи вычислительного модуля, включенного в состав устройства 11. В качестве отображающего устройства может быть использован видеомонитор с цифровым входом, на экране которого отображается пространственное распределение поля яркости исследуемого микрообъекта 4 в выбранной плоскости исследования (изображение микрообъекта). Основным технический результат предложенного изобретения (повышение разрешения в формируемом изображении) обеспечивается тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивается изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки (сужение его в одном направлении по отношению к другим направлениям). Изменение размеров дифракционного максимума изображения точки достигается тем, что в плоскости апертурной диафрагмы каждого из объективов сопряжения 6, 8 либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы (входной и выходной зрачки объектива), установлены две одинаковые аподизационные диафрагмы 13 и 14, причем указанные аподизационные диафрагмы выполнены лишенными круговой симметрии, но симметричными относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объективов сопряжения. Для реализации возможности повышения детализации формируемого изображения (улучшения разрешения) ширина щели щелевых диафрагм 3 и 7 выполнена не более полученного размера дифракционного максимума изображения точки в соответствующей плоскости. Поскольку сужение дифракционного максимума, а значит, и улучшение разрешения, достигается только по одной координате, определяемой ориентацией аподизационных диафрагм, необходимо дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта 4 в нескольких различных направлениях в плоскости XY, при одновременной регистрации координат перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрических сигналов, причем ориентация направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм должна оставаться неизменной относительно направления сканирования. Для выполнения этого условия осветительная щелевая диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационные диафрагмы 13 и 14 и многоэлементный фотоприемник 9 имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства. Причем при очередном изменении направления сканирования осветительная щелевая диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационные диафрагмы 13 и 14 и многоэлементный фотоприемник 9 поворачиваются на тот же угол, на который повернулся вектор скорости сканирования по отношению к предыдущему направлению. Для обеспечения точности согласованного поворота всех указанных элементов (3, 7, 13, 14, 9) они могут быть жестко механически

связанны между собой. По завершении сканирования исследуемого микрообъекта в каждом из выбранных направлений производится совместная электронная обработка фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта. Поскольку регистрация сигналов и координат осуществляется последовательно, то для совместной обработки после перевода в цифровую форму они должны быть сохранены в блоке памяти устройства 11. Совместная обработка в простейшем случае может заключаться в суммировании фотоэлектрических сигналов, полученных при разных направлениях сканирования для точек объекта, имеющих одни и те же координаты.

При освещении щелевой диафрагмы конденсором, использующим сферические линзы или зеркала, значительная часть энергии в плоскости диафрагмы экранируется. Уменьшения потерь энергии излучения при прохождении излучением осветительной щелевой диафрагмы можно добиться, если в предложенном варианте устройства в состав конденсора включить, по меньшей мере, один цилиндрический компонент. Поскольку осветительная щелевая диафрагма поворачивается в процессе работы устройства, указанный цилиндрический компонент также должен иметь возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

Для оптимальной работы предложенного варианта устройства необходимо, чтобы приемная щелевая диафрагма имела определенную ширину щели. В то же время необходимо, чтобы размер щели был согласован с размером чувствительных элементов применяемого многоэлементного фотоприемника, что в общем случае трудно осуществить из-за ограниченной номенклатуры промышленно выпускаемых многоэлементных фото детекторов. Чтобы решить эту проблему, можно механическое совмещение плоскости приемной щелевой диафрагмы и плоскости чувствительной площадки фотоприемника заменить оптическим совмещением, для чего в предложенном варианте устройства между приемной щелевой диафрагмой 7 и многоэлементным фотоприемником 9 должна быть установлена дополнительная оптическая система сопряжения 16, как это показано на фиг.4.

Для формирования трехмерного изображения исследуемого микрообъекта в предложенном устройстве сканирующая платформа должна иметь, по меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

Если сканирующую платформу выполнить с возможностью поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси, то можно изменять направление сканирования за счет изменения ориентировки объекта, таким образом, отпадает необходимость осуществлять в процессе работы поворот щелевых диафрагм, аподизационных диафрагм и фотоприемника.

Одним из наиболее эффективных вариантов реализации предложенного устройства является использование в нем аподизационных диафрагм, выполненных в виде секторного растра, состоящего из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются. Пример такой аподизационной диафрагмы показан на фиг.3, где штриховкой показаны непрозрачные секторы растра. Пример диафрагмы, показанный на фиг.3, имеет одинаковую площадь прозрачных и непрозрачных секторов, что позволяет сочетать значимое сужение дифракционного максимума в заданном направлении с достаточной энергетической эффективностью. (Дифракционный максимум в одном направлении

сужается примерно на 25% по сравнению с дифракционным максимумом системы без аподизации; при этом потери энергии составляют 50%.) Увеличение площади непрозрачных секторов за счет прозрачных позволяет добиться большего сужения дифракционного максимума при снижении энергетической эффективности и наоборот.

5 Для реализации варианта предложенного способа, при котором регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, предложен вариант устройства, в котором используют аподизационные
10 диафрагмы, каждая из которых выполнена в виде секторного раstra из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен. Учитывая ход лучей в устройстве, эти аподизационные диафрагмы должны быть развернуты одна относительно другой на 180 градусов.

Вариант технической реализации устройства (микроскопа) для осуществления
15 предложенного способа формирования изображения микрообъекта поясняет схема, изображенная на фиг.2. На схеме показаны: источник оптического излучения 1; конденсор 2; осветительная щелевая диафрагма 3; исследуемый микрообъект 4; плоскость исследования 5 в области исследуемого микрообъекта; приемная щелевая
20 диафрагма 7; объектив сопряжения 8; многоэлементный фотоприемник 9; прецизионная сканирующая платформа 10; устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство 12; аподизационная диафрагма 14; светоделитель 15.

Устройство работает следующим образом (см. фиг.2). Оптическое излучение от источника 1, в качестве которого может использоваться лампа накаливания,
25 газоразрядная лампа, светодиод, лазер, при помощи конденсора 2 направляется через осветительную щелевую диафрагму 3 и светоделитель 15 на исследуемый микрообъект 4, который может быть непрозрачным для используемого излучения. При этом излучение фокусируется в выбранной плоскости исследования 5, расположенной в области исследуемого микрообъекта, при помощи объектива сопряжения 8, который оптически
30 сопрягает плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования. Далее излучение, отраженное или излученное исследуемым микрообъектом, направляется на приемную щелевую диафрагму 7 через тот же объектив сопряжения 8, который оптически сопрягает плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью
35 исследования. Таким образом, плоскость осветительной щелевой диафрагмы 2, плоскость исследования 5 и плоскость приемной щелевой диафрагмы 7 являются взаимно оптически сопряженными. После прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы 7 осуществляется его фотоэлектрическая регистрация во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, для чего используется многоэлементный фотоприемник 9, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью
40 приемной щелевой диафрагмы 7. В качестве фотоприемника может быть использована матрица или линейка фотодетекторов, ориентированная вдоль диафрагмы 7. Центры осветительной щелевой диафрагмы 2, приемной щелевой диафрагмы и фотоприемника 9 находятся на оптической оси объектива сопряжения 8 (с учетом отражения на светоделителе 15), а длинные стороны щелевых диафрагм 3, 7 и фотоприемника 9
45 ориентированы в одном направлении (с учетом отражения на светоделителе 15). Фотоэлектрические сигналы с многоэлементного фотоприемника 9 регистрируются в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на

плоскость исследования. Для сканирования исследуемого микрообъекта используется прецизионная сканирующая платформа 10, при помощи которой исследуемый микрообъект 4, жестко связанный с платформой 10, с высокой точностью перемещается в плоскости ХУ, перпендикулярной оптической оси устройства. Координаты перемещения исследуемого микрообъекта регистрируются в заданные моменты времени сканирования синхронно с регистрацией фотоэлектрических сигналов. Для решения этой задачи предназначено устройство 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта, которое включает, в том числе, цифровые датчики координат перемещения сканирующей платформы 10 и аналого-цифровые преобразователи сигналов многоэлементного фотоприемника 9. При помощи устройства 11 регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта фотоэлектрические сигналы согласуются с координатами перемещения микрообъекта и направляются на отображающее устройство 12. Такое согласование может быть осуществлено при помощи вычислительного модуля, включенного в состав устройства 11. В качестве отображающего устройства может быть использован видеомонитор с цифровым входом, на экране которого отображается пространственное распределение поля яркости исследуемого микрообъекта 4 в выбранной плоскости исследования (изображение микрообъекта). Основным техническим результатом предложенного изобретения (повышение разрешения в формируемом изображении) обеспечивается тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивается изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки (сужение его в одном направлении по отношению к другим направлениям). Изменение размеров дифракционного максимума изображения точки достигается тем, что в плоскости апертурной диафрагмы каждого объектива сопряжения 8 либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы (входной и выходной зрачки объектива), установлена аподизационная диафрагма 14, причем указанная аподизационная диафрагма выполнена лишенной круговой симметрии, но симметричной относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объективов сопряжения. Для реализации возможности повышения детализации формируемого изображения (улучшения разрешения) ширина щели щелевых диафрагм 3 и 7 выполнена не более полученного размера дифракционного максимума изображения точки в соответствующей плоскости. Поскольку сужение дифракционного максимума, а значит, и улучшение разрешения, достигается только по одной координате, определяемой ориентацией аподизационной диафрагмы, необходимо дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта 4 в нескольких различных направлениях в плоскости ХУ, при одновременной регистрации координат перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрических сигналов. При этом ориентация направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм должна оставаться неизменной относительно направления сканирования. Для выполнения этого условия осветительная щелевая диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационная диафрагма 14 и многоэлементный фотоприемник 9 имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства. Причем при очередном изменении направления сканирования осветительная щелевая диафрагма 3, приемная щелевая диафрагма 7, аподизационная диафрагма 14 и многоэлементный фотоприемник 9 поворачиваются на тот же угол, на который повернулся вектор скорости сканирования по отношению к предыдущему направлению. По завершении сканирования исследуемого микрообъекта в каждом из

выбранных направлений, производится совместная электронная обработка фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта. Поскольку регистрация сигналов и координат осуществляется последовательно, то для совместной обработки после перевода в цифровую форму они должны быть сохранены в блоке памяти устройства 11. Совместная обработка в простейшем случае может заключаться в суммировании фотоэлектрических сигналов, полученных при разных направлениях сканирования для точек объекта, имеющих одни и те же координаты.

При освещении щелевой диафрагмы конденсором, использующим сферические линзы или зеркала, значительная часть энергии в плоскости диафрагмы экранируется. Уменьшения потерь энергии излучения при прохождении излучением осветительной щелевой диафрагмы можно добиться, если в предложенном варианте устройства в состав конденсора включить, по меньшей мере, один цилиндрический компонент. Поскольку осветительная щелевая диафрагма поворачивается в процессе работы устройства, указанный цилиндрический компонент также должен иметь возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

Для оптимальной работы предложенного варианта устройства необходимо, чтобы приемная щелевая диафрагма имела определенную ширину щели. В то же время необходимо, чтобы размер щели был согласован с размером чувствительных элементов применяемого многоэлементного фотоприемника, что в общем случае трудно осуществить из-за ограниченной номенклатуры промышленно выпускаемых многоэлементных фотодетекторов. Чтобы решить эту проблему, можно механическое совмещение плоскости приемной щелевой диафрагмы и плоскости чувствительной площадки фотоприемника заменить оптическим совмещением, для чего в предложенном варианте устройства между приемной щелевой диафрагмой 7 и многоэлементным фотоприемником 9 должна быть установлена дополнительная оптическая система сопряжения 16, как это показано на фиг.4.

Для формирования трехмерного изображения исследуемого микрообъекта в предложенном устройстве сканирующая платформа должна иметь, по меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

Если сканирующую платформу выполнить с возможностью поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси, то можно изменять направление сканирования за счет изменения ориентировки объекта, таким образом, отпадает необходимость осуществлять в процессе работы поворот щелевых диафрагм, аподизационных диафрагм и фотоприемника.

Одним из наиболее эффективных вариантов реализации предложенного устройства является использование в нем аподизационных диафрагм, выполненных в виде секторного растра, состоящего из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются. Пример такой аподизационной диафрагмы показан на фиг.3, где штриховкой показаны непрозрачные секторы растра. Пример диафрагмы, показанный на фиг.3, имеет одинаковую площадь прозрачных и непрозрачных секторов, что позволяет сочетать значимое сужение дифракционного максимума в заданном направлении с достаточной энергетической эффективностью. (Дифракционный максимум в одном направлении сужается примерно на 25% по сравнению с дифракционным максимумом системы без

аподизации; при этом потери энергии составляют 50%.) Увеличение площади непрозрачных секторов за счет прозрачных позволяет добиться большего сужения дифракционного максимума при снижении энергетической эффективности и наоборот.

Для реализации варианта предложенного способа, при котором регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, предложен вариант устройства, в котором используют аподизационные диафрагмы, каждая из которых выполнена в виде секторного растра из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен. Учитывая ход лучей в устройстве, эти аподизационные диафрагмы должны быть развернуты одна относительно другой на 180 градусов.

Формула изобретения

1. Способ формирования изображения микрообъекта, при котором оптическое излучение через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект; фокусируют излучение в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; фокусируют излучение, прошедшее через исследуемый микрообъект, на приемной щелевой диафрагме, оптически сопрягая плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают изображение исследуемого микрообъекта, отличающийся тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям; производят дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта в нескольких различных направлениях, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования; а также производят совместную электронную обработку фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что исследуемый микрообъект дополнительно перемещают в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, и получают послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

3. Способ по любому из пп.1-2, отличающийся тем, что регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз

направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим путем, причем каждый из этих оптических путей пересекается с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели.

5 4. Способ формирования изображения микрообъекта, при котором оптическое излучение через осветительную щелевую диафрагму направляют на исследуемый микрообъект, фокусируют излучение в выбранной плоскости исследования в области исследуемого микрообъекта, оптически сопрягая плоскость осветительной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; направляют излучение, отраженное или
10 излученное исследуемым микрообъектом, на приемную щелевую диафрагму, оптически сопрягая плоскость приемной щелевой диафрагмы с плоскостью исследования; после прохождения излучением приемной щелевой диафрагмы осуществляют его фотоэлектрическую регистрацию во множестве малых участков вдоль приемной щелевой диафрагмы, получая фотоэлектрические сигналы в процессе сканирования исследуемого
15 микрообъекта в плоскости исследования, в направлении, перпендикулярном длинной стороне проекции щелевых диафрагм на плоскость исследования; регистрируют координаты перемещения исследуемого микрообъекта в каждый момент времени сканирования; фотоэлектрические сигналы согласуют с координатами перемещения микрообъекта и направляют на отображающее устройство, на котором получают
20 изображение исследуемого микрообъекта, отличающийся тем, что как в процессе фокусировки излучения на плоскость исследования, так и в процессе фокусировки излучения на приемной щелевой диафрагме обеспечивают изменение размеров дифракционного максимума изображения каждой точки в плоскости фокусировки, сужая его в одном направлении по отношению к другим направлениям; производят
25 дополнительное сканирование исследуемого микрообъекта в нескольких различных направлениях, одновременно регистрируя координаты перемещения исследуемого микрообъекта и фотоэлектрические сигналы, причем ориентацию направления сужения дифракционного максимума и щелевых диафрагм оставляют неизменной относительно направления сканирования; а также производят совместную электронную обработку
30 фотоэлектрических сигналов, зарегистрированных в первичном и дополнительных направлениях сканирования, и соответствующих им координат перемещения исследуемого микрообъекта.

5 5. Способ по п.4, отличающийся тем, что исследуемый микрообъект дополнительно перемещают в направлении, перпендикулярном плоскости исследования, и получают
35 послойное изображение исследуемого микрообъекта в нескольких различных сечениях.

6. Способ по любому из пп.4-5, отличающийся тем, что регистрацию фотоэлектрических сигналов при каждом новом положении исследуемого микрообъекта в процессе сканирования осуществляют, по меньшей мере, дважды, каждый раз направляя излучение от осветительной щели до приемной щели другим оптическим
40 путем, причем каждый из этих оптических путей пересекается с другими оптическими путями только в плоскости осветительной щели, в плоскости исследования и в плоскости приемной щели.

7. Устройство в соответствии со способом по п.1, включающее последовательно расположенные источник света с конденсором, осветительную щелевую диафрагму,
45 идентичные осветительный и приемный объективы сопряжения, приемную щелевую диафрагму и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объективы сопряжения расположены симметрично относительно плоскости исследования так, что

плоскость осветительной щелевой диафрагмы, плоскость исследования, плоскость приемной щелевой диафрагмы и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными, центры осветительной, приемной щелевых диафрагм, фотоприемника и оптические оси объективов сопряжения находятся на одной оси, а
5 длинные стороны щелевых диафрагм и фотоприемника ориентированы в одном направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство, отличающееся тем, что оно дополнительно
10 включает две одинаковые аподизационные диафрагмы, которые размещены в плоскости апертурной диафрагмы каждого из объективов сопряжения либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы, причем указанные аподизационные диафрагмы выполнены лишенными круговой симметрии, но симметричными относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и
15 пересекающей оптическую ось объективов сопряжения; при этом осветительная щелевая диафрагма, приемная щелевая диафрагма, аподизационные диафрагмы и многоэлементный фотоприемник имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

8. Устройство по п.7, отличающееся тем, что конденсор содержит, по меньшей мере, один цилиндрический компонент, который имеет возможность поворота вокруг
20 оптической оси устройства.

9. Устройство по п.7, отличающееся тем, что плоскость приемной щелевой диафрагмы совмещена с плоскостью чувствительной площадки многоэлементного приемника оптически, для чего между приемной щелевой диафрагмой и многоэлементным
25 фотоприемником установлена дополнительная оптическая система сопряжения.

10. Устройство по п.7, отличающееся тем, что сканирующая платформа имеет, по
30 меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

11. Устройство по п.7, отличающееся тем, что сканирующая платформа имеет
35 возможность поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси.

12. Устройство по п.7, отличающееся тем, что каждая аподизационная диафрагма
40 выполнена в виде секторного растра из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются.

13. Устройство по п.7, отличающееся тем, что каждая аподизационная диафрагма
45 выполнена в виде секторного растра из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен.

14. Устройство в соответствии со способом по п.4, включающее последовательно
50 расположенные источник света с конденсором, осветительную щелевую диафрагму, светоделитель, объектив сопряжения, приемную щелевую диафрагму, расположенную за светоделителем, и многоэлементный фотоприемник, плоскость чувствительной площадки которого совмещена с плоскостью приемной щелевой диафрагмы, причем объектив сопряжения и светоделитель расположены так, что плоскость осветительной
55 диафрагмы, плоскость исследования, плоскость приемной диафрагмы и многоэлементного фотоприемника являются взаимно оптически сопряженными, центры осветительной, приемной щелевых диафрагм и фотоприемника расположены на оптической оси объектива сопряжения, а длинные стороны щелевых диафрагм и

фотоприемника ориентированы в одном направлении; сканирующую платформу для перемещения исследуемого микрообъекта; устройство регистрации и обработки сигналов фотоприемника и координат перемещения микрообъекта; отображающее устройство, отличающееся тем, что с целью повышения разрешающей способности микроскопа оно дополнительно включает аподизационную диафрагму, которая размещена в плоскости апертурной диафрагмы объектива сопряжения либо в одной из плоскостей, оптически сопряженных с плоскостью апертурной диафрагмы, причем указанная аподизационная диафрагма выполнена лишенной круговой симметрии, но симметричной относительно оси, расположенной в плоскости диафрагмы и пересекающей оптическую ось объектива сопряжения; при этом осветительная щелевая диафрагма, приемная щелевая диафрагма, аподизационные диафрагмы и многоэлементный фотоприемник имеют возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что конденсор содержит, по меньшей мере, один цилиндрический компонент, который имеет возможность поворота вокруг оптической оси устройства.

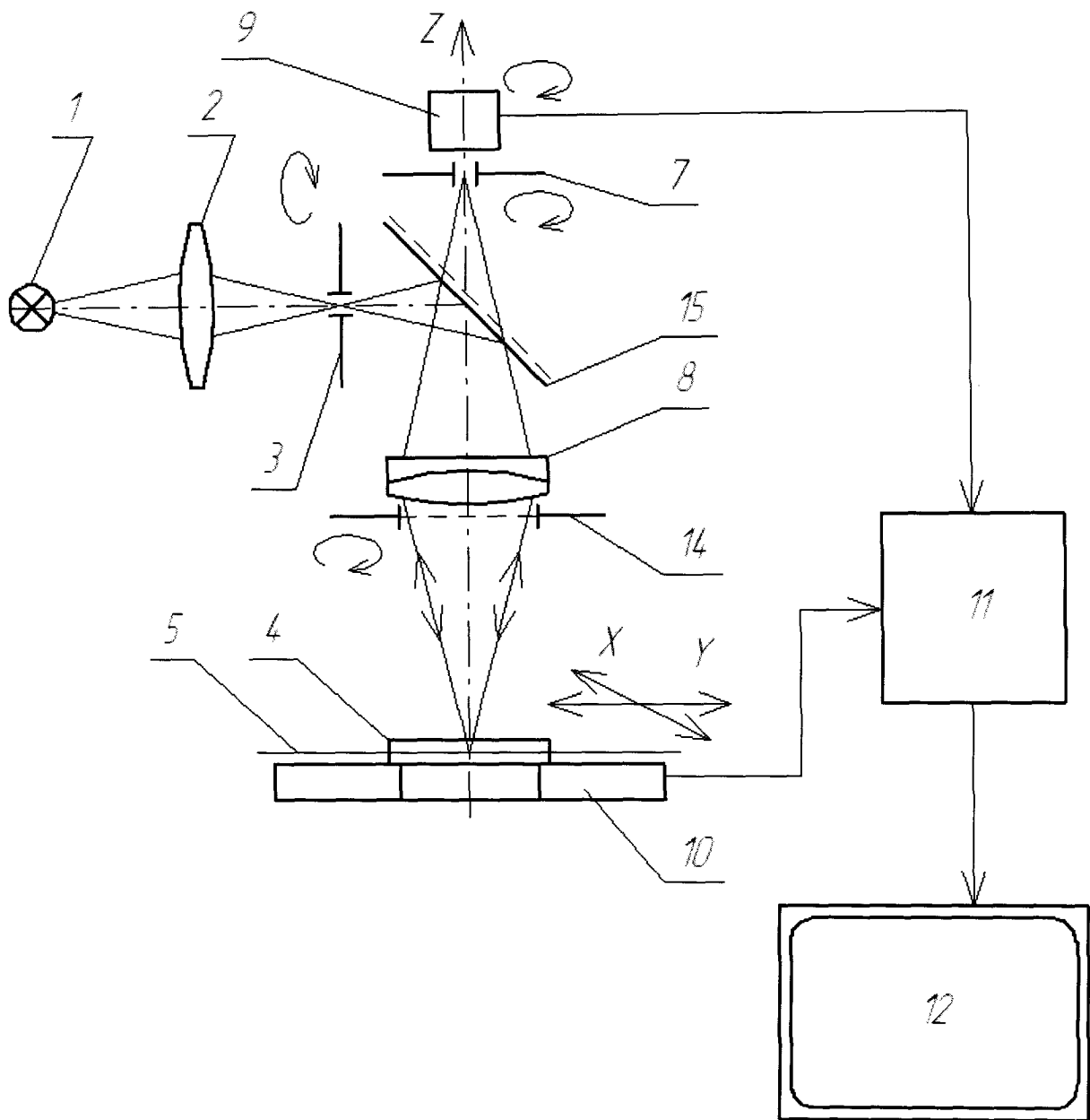
16. Устройство по п.14, отличающееся тем, что плоскость приемной щелевой диафрагмы совмещена с плоскостью чувствительной площадки многоэлементного приемника оптически, для чего между приемной щелевой диафрагмой и многоэлементным фотоприемником установлена дополнительная оптическая система сопряжения.

17. Устройство по п.14, отличающееся тем, что сканирующая платформа имеет, по меньшей мере, три степени свободы, обеспечивая возможность перемещения исследуемого микрообъекта по двум координатам в плоскости, перпендикулярной оптической оси устройства, и по третьей координате вдоль оптической оси.

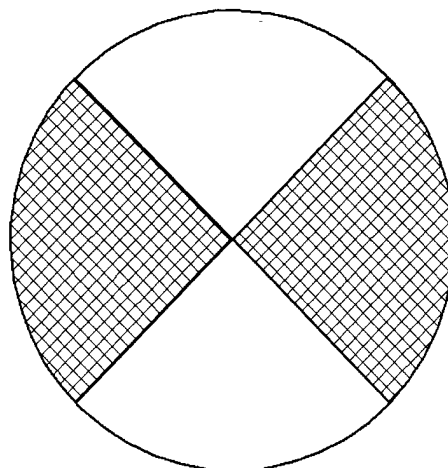
18. Устройство по п.14, отличающееся тем, что сканирующая платформа имеет возможность поворота вокруг оптической оси устройства и перемещения в направлении, перпендикулярном оптической оси.

19. Устройство по п.14, отличающееся тем, что каждая аподизационная диафрагма выполнена в виде секторного растра из четырех секторов, причем два из указанных секторов прозрачны, а два непрозрачны, и прозрачные и непрозрачные секторы чередуются.

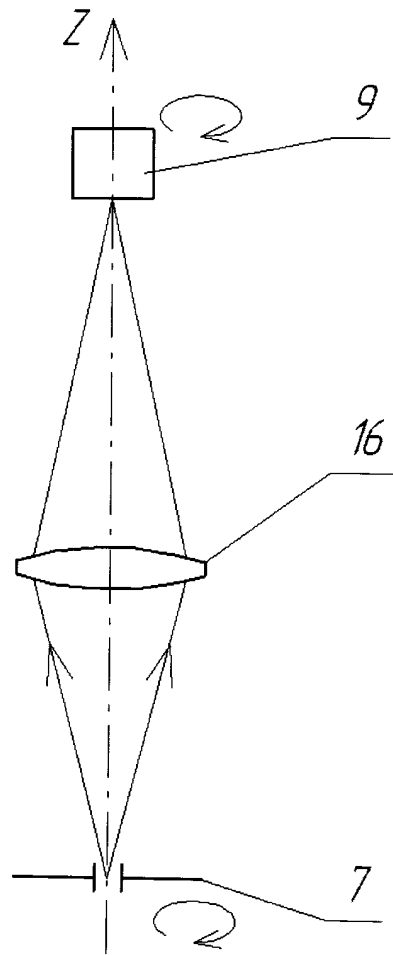
20. Устройство по п.14, отличающееся тем, что каждая аподизационная диафрагма выполнена в виде секторного растра из двух секторов, причем один из указанных секторов прозрачен, а другой непрозрачен.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4