

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035058**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.22

(51) Int. Cl. **H01J 37/153** (2006.01)

(21) Номер заявки
201600651

(22) Дата подачи заявки
2015.06.17

(54) СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА

(31) **62/027,505**

(56) **US-B1-6552340**

(32) **2014.07.22**

US-A-4180738

(33) **US**

US-A1-20070081158

(43) **2017.07.31**

US-A1-20130062520

(86) **PCT/US2015/036117**

US-A1-20040174588

(87) **WO 2016/014177 2016.01.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ИНТЕЛЛИДЖЕНТ ВАЙЕРЭС
ИМЭДЖИНГ ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
**Синторн Ида-Мария, Нордстром
Рикард, Килберг Густаф (SE)**

(74) Представитель:
Нагорных И.М., Соболев М.М. (RU)

(57) Способ автоматической коррекции астигматизма системы линз. При первых установках стигматора набора линз получаем несфокусированное первое изображение (96). Вычисляющее устройство вычисляет соответствующее первое изображение спектра Фурье (312). Вычислением первого вектора (132) и второго вектора (134) определяются распределение и направление пикселей изображения спектра Фурье (128, 130, 312). Первый вектор (132) сравнивается с вторым вектором (134). Для получения второго изображения (98) система линз изменяется от первых установок стигматора к вторым установкам стигматора. Вычисляется соответствующее изображение спектра Фурье (314). Вычислением третьего и четвертого вектора определяется распределение и направление пикселей второго изображения спектра Фурье (314). Третий вектор сравнивается с четвертым вектором. Выбирается изображение с наименьшим отношением векторов.

B1**035058****035058****B1**

Область технического применения

Данное изобретение относится к способу автоматической коррекции астигматизма, такому как астигматизм линз электронных микроскопов. Конкретнее данное изобретение включает автоматическую, основанную на изображении коррекцию астигматизма линзы объектива электронных микроскопов.

Уровень техники и сущность изобретения

Получение высококачественного изображения в электронных микроскопах требует тщательной юстировки пучка электронов и точной фокусировки для оптимального контраста изображения и мелких деталей. В прошлом были важны физические свойства и характеристики электронного микроскопа, которые ранее использовались для юстировки. Пучок электронов юстировался при помощи электромагнитных устройств. Неверно юстированный пучок электронов приводит к искажениям (ряби), размытости изображения и потере информации о мелких деталях.

Важной особенностью данного изобретения является то, что способ автоматически корректирует астигматизм линз во время процесса юстировки лишь при помощи данных изображения, не полагаясь на сложные и громоздкие особенности самого микроскопа. Способ согласно настоящему изобретению обеспечивает решение задач, изложенных выше. Конкретнее способ предназначен для автоматической коррекции астигматизма в одном направлении через ряд линз. Конечно, данное изобретение не ограничено коррекцией только в одном направлении, потому что коррекция может также быть выполнена одновременно во многих направлениях, таких как *x*- и *y*-направления. Первое изображение получают при первых установках стигматора линзы. Предпочтительно, когда изображение является недофокусированным. Основываясь на первом изображении, вычисляющее устройство вычисляет первое изображение спектра Фурье. Распределение и направление пикселей изображения спектра Фурье определяются вычислением первого вектора, соответствующего главному направлению и протяженности ярких пикселей и второму вектору, являющемуся перпендикулярным первому вектору, и соответствующей протяженности в этом направлении. Первый вектор сравнивается с вторым вектором. Для получения второго недофокусированного изображения установка линз изменяется от первых установок стигматора к вторым установкам стигматора. Основываясь на втором изображении, вычисляется второе соответствующее изображение спектра Фурье. Распределение и направление пикселей второго изображения спектра Фурье определяются вычислением третьего вектора и четвертого вектора. Третий вектор сравнивается с четвертым вектором. Если первый вектор более подобен второму вектору, чем третий вектор - четвертому вектору, первое изображение выбирают как более округлое, чем второе изображение. Если третий вектор более подобен четвертому вектору, чем первый вектор - второму вектору, тогда второе изображение выбирают как более округлое, чем первое изображение. Установки стигматора, обеспечивающие спектр Фурье с самым округлым спектром Фурье, являются теми установками, к которым стремились и которые отыскивались.

Кроме того, способ включает этап вычисления взвешенных моментов яркости округлого изображения спектра Фурье как способ измерения направления и протяженности распределения яркости.

В другом варианте воплощения первое отношение собственных векторов первого изображения спектра Фурье сравнивается с вторым отношением собственных векторов второго изображения спектра Фурье.

Выбирается изображение с самым низким отношением.

x-Установки стигматора и *y*-установки стигматора изменяются на установки стигматора, которые соответствуют изображению с самым низким отношением.

x-Установки стигматора и *y*-установки стигматора могут также изменяться одновременно.

В еще одном варианте воплощения определяются установки стигматора, которые минимизируют значение удлинения изображения спектра Фурье.

Первое и второе изображения устанавливаются при недофокусировке или перефокусировке.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - схематический вид примеров изображений, полученных с различными *x*- и *y*-установками стигматора линзы объектива;

фиг. 2 - схематический вид соответствующих спектров Фурье изображений на фиг. 1;

фиг. 3 - схематический вид изображения, наблюдаемого при недофокусировке в несколько микрометров через линзу с астигматизмом;

фиг. 4 - схематический вид записи спектра Фурье изображения на фиг. 3;

фиг. 5 - вырезанное круглое изображение вида фиг. 4;

фиг. 6 - вид фиг. 5, включающий собственные векторы взвешенных моментов яркости уровней яркости внутри круга, где длина векторов соответствует размерам собственных векторов;

фиг. 7 - такой же вид, как фиг. 4, но без недофокусировки или с очень незначительной недофокусировкой;

фиг. 8 - схематический вид потока информации этапов способа данного изобретения.

Подробное описание

Фиг. 1, 2 являются схематическими иллюстрациями 100 астигматических изображений объектов приблизительно круглой формы (см. фиг. 1) и соответствующих изображений спектров Фурье 120 (см.

фиг. 2). Не имеет значения, что показывают изображения, но изображенные на фиг. 1 объекты являются вирусоподобными частицами. Астигматизм в системе линз вызывает искажения подобные ряби и потерю деталей в изображениях, соответствующих изображениям спектра Фурье, которые становятся удлиненными в направлении, соотносящемся с направлением разъюстировки. Фиг. 1 показывает примеры изображений с астигматизмом в различных направлениях. Конкретнее, фиг. 1 показывает типовые изображения, полученные при различных х- и у-установках стигматора. Фиг. 1 демонстрирует 49 вариантов того же самого поля зрения в просвечивающем (трансмиссионном) электронном микроскопе с различными х- и у-установками стигматора.

Поскольку установки отличаются, изображения расплывчаты по-разному и имеют волнистость в различных направлениях.

Одним предметом данного изобретения является определение, какой вариант является лучшим изображением (соответствующий изображению спектра Фурье с самым округлым распределением пикселей).

Простым использованием ручных и визуальных способов, что чаще всего используются сегодня, это сделать трудно. Особенностью данного изобретения является то, что способ автоматически определяет, какое изображение - самое округлое, используя только данные изображения. Затем эта информация используется, чтобы автоматически юстировать линзы в микроскопе таким образом, что изображение становится стигматическим.

Фиг. 2 показывает соответствующие изображения спектров Фурье 120. Преобразованные изображения удлинены в направлениях, которые соотносятся с направлением разъюстировки линз, происходящей из-за установок стигматора. В целом преобразование Фурье облегчает обнаружение эффектов астигматизма изображений, таких как округлость и удлинение. 49 вариантов фиг. 1 после преобразования Фурье показаны на фиг. 2 как 49 новых вариантов (как белые удлиненные формы/фигуры). Изображение 122 в центре имеет очень незначительный астигматизм (показано как круглое изображение в спектре Фурье). Изображение в центре имеет х-установку стигматора 0 и у-установку стигматора 0. Нужно понимать, что даже если бы изображение соответствовало другим х- и у-значениям стигматора, это являлось бы решением, потому что спектр Фурье при этих установках имеет самое круглое распределение пикселей. Чем дальше от центра фиг. 2, тем больше ряби и расплывчатости присутствует в изображениях и более удлиненные распределения пикселей появляются в изображениях спектра Фурье. Таким образом, компьютер постепенно изменяет установки стигматора и определяет, является ли изображение более округлым или нет, прежде чем установки стигматора будут изменены. Как подробно описано ниже, если определено, что изображение стало круглее в результате регулирования установок стигматора в х- или у-направлении, то компьютер предпочтительно изменяет установки стигматора микроскопа в том же направлении. Если изображение не становится круглее, компьютер может остановить поиск или возможно изменить установки стигматора в обратном направлении и затем сравнить округлость.

Фиг. 3 показывает изображение 124, которое наблюдается с некоторой недофокусировкой через систему линз с астигматизмом. Как объяснено ниже, использование недофокусировки является важной особенностью способа данного изобретения, чтобы избежать создания изображения Фурье со сложными формами. Также возможно использовать перефокусировку линзы. Другой важной особенностью данного изобретения является то, что астигматизм корректируется поиском минимального удлинения (или оптимальной округлости) форм в спектрах Фурье. Одна важная цель состоит в том, чтобы таким образом выбрать х- и у-установки стигматора, которые создают самое округлое распределение пикселей в спектре Фурье, т.е. когда астигматизм отсутствует или астигматизм очень незначительный.

Коррекция астигматизма может быть выполнена по крайней мере двумя различными способами. Один способ состоит в том, чтобы минимизировать удлинение в одном направлении астигматизма за один раз в соответствии с одними установками электромагнитных линз, т.е. в одном направлении, как, например, будет исследовано изменение только х-установок стигматора перед изменением у-установок стигматора. Другим способом является вычисление направления удлинения, которое соответствует отношению х- и у-астигматизма, и, одновременно, оптимизация как х-установок, так и у-установок стигматора. Удлинение изображений в спектрах Фурье фиг. 2 измерено при помощи взвешенных моментов яркости, что также может использоваться в одномерной ситуации, т.е. настройке установок только в одном направлении. Взвешенные моменты яркости являются способом вычислить направление ярких пикселей в изображении, т.е. распределение яркости.

Ниже представлено пошаговое описание первого подхода. х-Астигматизм может быть скорректирован так.

1) Получаем изображение и вычисляем соответствующий спектр Фурье. Фиг. 3 - пример подходящего изображения 124, которое описывает вирусоподобные частицы при недофокусировке установок линзы. Фиг. 4 - изображение 126, которое показывает соответствующий спектр Фурье. Более светлая или светло-серая эллиптическая часть 128, которая простирается через центр изображения от верхнего левого к нижнему правому, указывает на астигматизм системы линз. Часть 128 была отмечена пунктирной линией, чтобы облегчить рассмотрение эллиптической части. Центр был также отмечен. Размер и длина эллиптической части частично зависят от увеличения и содержания изображения. В целом, когда светло-

серая часть является круглой или округлой, тогда установки системы линз правильны, чтобы минимизировать астигматизм.

2) Вырезаем круглое изображение 129, которое, например, имеет диаметр в половину стороны изображения. Нет необходимости использовать круглое изображение пока вычисляются взвешенные моменты яркости части изображения, которое представляет интерес. Однако предпочтительно/рекомендовано иметь одинаковое число пикселей, способствующих распределению во всех направлениях. Размер вырезанного должен соответствовать увеличению, обеспеченному линзой. Фиг. 5 иллюстрирует вырезанное изображение 129 из изображения 126, показанного на фиг. 4. Предпочтительно, чтобы круглое изображение было таким, чтобы радиус был одинаковым от центра изображения к краю, и таким, чтобы было одинаковое расстояние и количество информации во всех направлениях от центра. Более низкие частоты в центре и очень близко к центру спектра Фурье, и высокие частоты очень далеко от центра несут менее важную информацию для определения астигматизма системы линз.

3) Вычисляем распределение яркости изображения спектра Фурье, используя, например, взвешенные моменты яркости (как, например, 1 и 2 порядков) круглого изображения. Также возможно использовать подход, который предполагает сначала создание бинарного изображения спектра Фурье (извлечение эллиптической/круглой яркой формы), а затем, например, проведение основного факторного анализа для вычисления и определения распределения и основных направлений бинарной формы.

Также возможно использовать способы, которые полагаются на профили радиальной плотности. Для вычисления распределения и направления яркости изображения предпочтительно используется математический способ.

Подходящая формула для вычисления взвешенных моментов яркости

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y),$$

где x и y - положения пикселей (координаты) изображения, а $I(x, y)$ является интенсивностью (уровнем яркости) координаты изображения x, y . Порядок момента $-i+j$, таким образом, есть два момента 1 порядка $-m01$ и $m10$ и 3 момента 2 порядка $-m20$, $m02$ и $m11$.

Чем выше яркость, тем светлее становится изображение. Чем светлее пиксель изображения и чем дальше от центра, тем больше веса (значения) придаётся при вычислении взвешенных моментов яркости, использующегося для определения астигматизма. Другими словами, вес каждого пикселя основан на белизне каждого пикселя и его расстоянии до центра, где яркие пиксели дальше от центра дают больше веса. Однако отметим, что пиксели, значительно удаленные от центра (далеко за пределами яркой удлиненной формы в изображении спектра Фурье), не содержат информацию, связанную с астигматизмом.

Фиг. 6 - вид 130, который совпадает с видом 129 фиг. 5, но включает собственные векторы 132, 134 взвешенных моментов яркости уровней яркости в кругу, где длина векторов соответствует размерам собственных векторов.

Взвешенные моменты яркости могут использоваться для вычисления распределения яркости вокруг центральной точки 138. Другими словами, взвешенные моменты яркости предпочтительно используются, чтобы описать направление и растянутость части светлого цвета 128, простирающаяся в направлениях относительно центра 138. Тогда возможно определить, насколько эллиптической является часть светлого цвета 128 и насколько она некруглая. Некруглость изображения указывает на уровень астигматизма линзы, а направление изображения содержит информацию о том, как скорректировать астигматизм. Таким образом, моменты используются, чтобы определить главное направление яркости изображения, а также сколько еще распределений яркостей присутствует вдоль главного направления относительно ортогонального направления. Отношение распределения во втором направлении и распределения в главном направлении является мерой того, насколько удлиненным является распределение. Нужно понимать, что отношение - просто иллюстративный пример и могут использоваться другие параметры сравнения, такие как различия между векторами, пока цель состоит в том, чтобы определить изменение установок стигматора, которое приводит к более округлой фигуре в изображении спектра Фурье.

4) Определяем удлинение, которое соответствует отношению собственного вектора 132 и 134 из нормализованного момента ковариационной матрицы $= [m20/m00, m11/m00; m11/m00, m02/m00]$. Собственный вектор 134 показывает самое длинное удлинение (т.е. насколько длинным является распределение беловатых пикселей) и простирается вдоль направления светлой эллиптической формы. Собственный вектор 132 показывает второе по длине удлинение, которое перпендикулярно собственному вектору 134 двумерного изображения. Направление и длина собственного вектора 134 являются наиболее интересными. Когда длина собственного вектора 134 идентична или близка к собственному вектору 132, тогда установки стигматора правильно установлены для компенсации астигматизма системы линз, т.е. отношение между собственными векторами равняется 1 или близко к 1. Чем отношение дальше от 1, тем больше астигматизм линз.

5) Повторяем вышеописанные этапы 1-4 в повторяющемся алгоритме оптимизации, который определяет установки стигматора, которые минимизируют значение удлинения. Корректировки вносятся таким образом, чтобы сделать отношение максимально близким к единице.

Для у-астигматизма может быть выполнена такая же коррекция, как коррекция для х-астигматизма,

описанная выше, сохраняя х-установки стигматора при заранее определенных наилучших установках и повторяя процедуру для у-установок стигматора, как было проведено для х-установок стигматора, как описано выше. Другими словами, коррекция для у-астигматизма может быть выполнена, сохраняя х-установки стигматора при наилучших установках, как определено выше, и повторяя вышеуказанные этапы 1-5 только для у-установок стигматора. Вместо того, чтобы вручную определять, какое изображение является самым округлым среди всех изображений вдоль одного ряда в х-направлении фиг. 1, способ данного изобретения, таким образом, делает это определение автоматически, анализируя спектр Фурье для каждого изображения, определяя величину удлинения и выбирая изображение с самым маленьким удлинением, после чего для стигматоров микроскопа устанавливаются соответствующие значения. Другими словами, как только найдено самое округлое изображение в одном ряду в х-направлении, как показано на фиг. 2, и соответствующее значение х-установок стигматора установлено в микроскопе, тогда способ может определить самое округлое изображение в у-направлении в колонке самого округлого изображения, найденного в ряду в х-направлении.

Чтобы ускорить процедуру коррекции и сделать её более надежной, спектры Фурье могут быть субдискретизированы и отфильтрованы со сглаживающим фильтром (например, срединным, медианным или Гаусса) до вычисления моментов.

Одна важная особенность данного изобретения - то, что коррекция предпочтительно выполняется при относительно большой недофокусировке (или перефокусировке). Когда изображение очень близко к фокусированному или сфокусировано, эффект астигматизма в спектре Фурье не настолько легко выбрать и оценить, и эти спектры трудно использовать для коррекции астигматизма.

Из-за астигматизма различные направления сфокусированы немного по-разному при недо- или перефокусировке. Это вместе с информацией от отчетливых деталей образа производит сильные возмущающие сигналы в спектре Фурье относительно определения направления и величины астигматизма в системе линз. Другими словами, устанавливая образец так, чтобы он был не в фокусе или близко к фокусированному, недостатки астигматизма не затрагиваются так сильно другими факторами. Фиг. 7 показывает изображение 140 с таким же астигматизмом, как в примере фиг. 6, но соответствующее изображение сфокусировано. Размещая образец при недофокусировке, вопрос астигматизма сначала решается без каких-либо помех, связанных с наличием правильной фокусировки линзы. Когда изменены установки стигматора системы линз, при помощи недофокусировки легче определить, улучшается ли округлость спектра Фурье или нет. Изображение 140 ясно показывает, как трудно определить направление и степень астигматизма, потому что нет никакого явного удлинения. Кроме того, спектры Фурье также зависят от содержания изображения. Очень маловероятно, содержание может дать такую яркость в спектре Фурье, которая сделает способ неудачным с первой попытки. Решение может быть найдено повторением процедуры оптимизации в другом месте изображения образца, чтобы удостовериться, что получен такой же ответ.

Определенные этапы способа данного изобретения в процессе работы обрисованы в общих чертах на фиг. 8. При выполнении этапа 200 недофокусированное изображение 202 (как, например, первое изображение 96 фиг. 1) получается при первом значении х-установок стигматора и при первом значении у-установок стигматора. На этапе вычисления 203 соответствующее изображение спектра Фурье 204 (как, например, изображение 312 фиг. 2) вычислено вычисляющим устройством, таким как компьютер. На этапе определения 206 взвешенные моменты яркости 207 изображения 204 вычислены компьютером для определения распределения и направления пикселей изображения. На этапе сравнения 208 отношение 209 или различие между собственными векторами сравнивается компьютером, чтобы определить округлость изображения 204. На этапе установки 210 компьютер изменяет установки в микроскопе х-установки стигматора (или у-установки стигматора) 211 от первого значения до второго значения, где второе значение предпочтительно является увеличивающейся или уменьшающейся последовательностью по сравнению с первым значением, такое как движение, например, от -0.12 к -0.08, как показано на фиг. 1, так, чтобы отображалось новое изображение при втором значении х-установок стигматора. Затем вычисляется соответствующее изображение спектра Фурье. Компьютер может быть запрограммирован на продолжение изменения х-установок стигматора в том же самом направлении, пока отношения векторов улучшаются, а если отношения увеличиваются, то вместо этого х-установки стигматора изменяются в противоположном направлении. Также возможно использовать относительно большие изменения установок стигматора в начале, а затем уменьшить изменения х-установок стигматора, когда отношения улучшаются, т.е. становятся ближе к 1, или когда определено, что вероятно лучшие х-установки стигматора были пройдены. Например, если отношение постепенно уменьшается и затем начинает увеличиваться, размер изменения установок стигматора уменьшается, а направление изменяется. Предпочтительно, у-установки стигматора удерживаются при первом значении, как, например, -0.12, что соответствует первому ряду на фиг. 1-2. Фиг. 1-2 показывают предпочтительные примеры значений для х-установок и для у-установок стигматора. Значения стигматора могут отличаться от системы к системе. Также могут использоваться другие значения и интервалы. Компьютер начинает то же самое повторение и выполняет этап вычисления 203 и этап определения 206 с х-установками стигматора, установленными с вторым значением. На этапе сравнения 208 второе отношение собственного вектора при втором значе-

нии сравнивается с первым отношением собственного вектора при первом значении х-установок стигматора. Если первое отношение ближе к единице, чем второе отношение, то компьютер останавливает поиск в х-направлении. Если второе отношение ближе к единице, чем первое отношение, то компьютер на этапе установки 210 изменяет х-установки стигматора от второго значения до третьего значения, как, например, -0.04. Это повторение продолжается до четвертого, пятого и т.д. значений, пока компьютер не определит, что следующее значение х- не приводит к более округлому изображению, т.е. когда новое отношение собственных векторов не ближе к единице по сравнению с отношением векторов, связанным с предыдущим значением х-установок стигматора.

Когда найдено лучшее значение х-установок стигматора, то компьютер на этапе установки 212 изменяет у-установки стигматора 213 от первого значения, как, например, -0.12, как показано на фиг. 1, 2, к второму значению, как, например, -0.08. Компьютер делает то же самое повторение, какое было сделано для х-установок стигматора, пока не будут найдены лучшие у-установки стигматора. Однако х-установки стигматора зафиксированы в значении, определенном при первой итерации, таким образом, этап установки 210 пропущен, как иллюстрировано пунктирной линией 214 на фиг. 8.

Вместо регулировки установок стигматора только в одном направлении за раз (как, например, х-установок стигматора), также возможно отрегулировать установки стигматора в х- и в у-направлениях одновременно. Это иллюстрировано на фиг. 2, где изображение 300 может быть изображением, выбранным как начальное изображение. Тогда система исследует отношение собственного вектора не только изображения 302 (регулируя установки стигматора только в х-направлении), но также исследует отношения, являющиеся результатом установок стигматора для изображений, окружающих изображение 300, так, чтобы отношения собственных векторов изображений 304, 306, 308, 310, 312, 314 и 316 были определены. Тогда система выбирает х-установки и у-установки стигматора, которые приводят к самому низкому отношению векторов, как объяснено выше, которые, скорее всего, ближе к фокусировке по сравнению с начальным изображением 300, как показано на фиг. 2. Эти этапы повторяются, как описано в общих чертах на фиг. 8, пока самое низкое отношение не найдено, и найденное изображение демонстрирует самое круглое изображение. Это является предпочтительными х-установками и у-установками стигматора, которые должны использоваться, чтобы лучше всего компенсировать астигматизм системы линз. Как лучше всего показано на фиг. 6, размер этих двух собственных векторов 132, 134 вместе с углом α эллиптического изображения 130 может использоваться таким образом, чтобы указать, какое направление, вероятно, будет лучшим. Как обозначено ранее, также возможно просто продолжить в том же самом направлении, не вычисляя отношения во всех направлениях, пока отношения улучшаются, т.е. становятся ближе к 1. Когда отношения снова начинают увеличиваться, то компьютер может начать исследовать все направления, как описано выше.

Наряду с тем, что данное изобретение было описано в соответствии с предпочтительными компоновками и воплощениями, понятно, что определенные замены и изменения к нему могут быть сделаны, не отступая от сущности и объема следующей формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ коррекции астигматизма системы электромагнитных линз электронного микроскопа, включающий

получение первого изображения поля зрения, находящегося не в фокусе, при первых установках стигматора (96) линзы и вычисление спектра Фурье на основе первого изображения вычисляющим устройством,

получение первого изображения спектра Фурье (128, 312),

вычисление длины и направления первого вектора (134) в первом изображении спектра Фурье (128, 312), причем первый вектор (134) представляет наибольшее удлинение распределения яркости в первом изображении спектра Фурье (128, 312) и вычисление длины и направления второго вектора (132) в первом изображении спектра Фурье (128, 312), представляющего удлинение распределения яркости, перпендикулярного первому вектору (134),

сравнение длины первого вектора (134) с длиной второго вектора (132) первого изображения спектра Фурье (128, 312),

изменение первых установок стигматора (96) линзы на вторые установки стигматора (98) для получения второго изображения поля зрения, находящегося не в фокусе, второе изображение при вторых установках стигматора является изображением того же поля зрения, что и поле зрения для первого изображения при первых установках стигматора, и вычисление спектра Фурье на основе второго изображения вычисляющим устройством,

получение второго изображения спектра Фурье (314),

вычисление длины и направления третьего вектора во втором изображении спектра Фурье (314), причем третий вектор представляет наибольшее удлинение распределения яркости во втором изображении спектра Фурье (314) и вычисление длины и направления четвертого вектора во втором изображении спектра Фурье (314), представляющего удлинение распределения яркости, перпендикулярного третьему

вектору,

сравнение длины третьего вектора с длиной четвертого вектора,

когда отношение длин векторов первого изображения спектра Фурье ближе к 1, чем отношение длин векторов второго изображения спектра Фурье, выбор первых установок стигматора (96), и

когда отношение длин векторов второго изображения спектра Фурье ближе к 1, чем отношение длин векторов первого изображения спектра Фурье, выбор вторых установок стигматора (98).

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает этапы вычисления взвешенных моментов яркости первого изображения спектра Фурье и второго изображения спектра Фурье, при этом первый и второй собственные вектора нормализованного момента ковариационной матрицы для каждого изображения спектра Фурье представляют направление и протяженность распределения яркости этого изображения спектра Фурье.

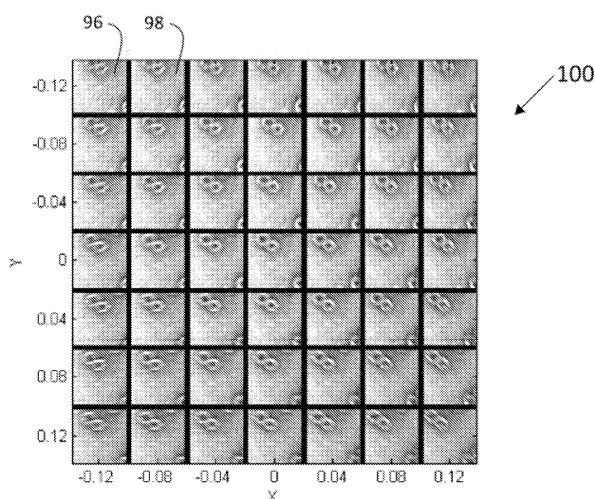
3. Способ по п.2, отличающийся тем, что способ дополнительно включает этап вычисления взвешенных моментов яркости круглого изображения (129), представляющих направление и протяженность распределения яркости первого и второго изображений спектра Фурье.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает этап изменения х-установок и у-установок стигматора.

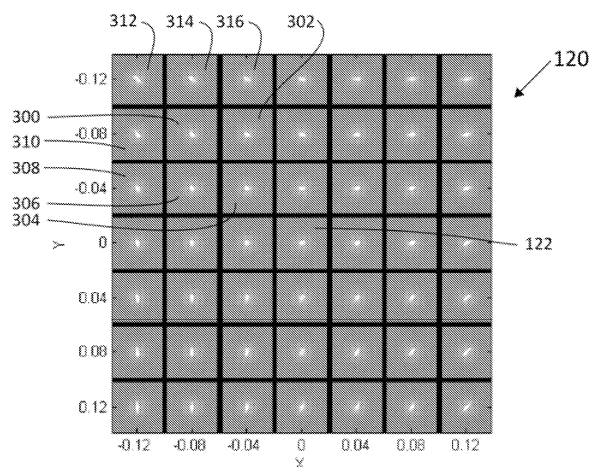
5. Способ по п.4, отличающийся тем, что способ дополнительно включает этап одновременного изменения х-установок и у-установок стигматора.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает нахождение установок стигматора, которые минимизируют значение удлинения выбранного изображения спектра Фурье (128, 312).

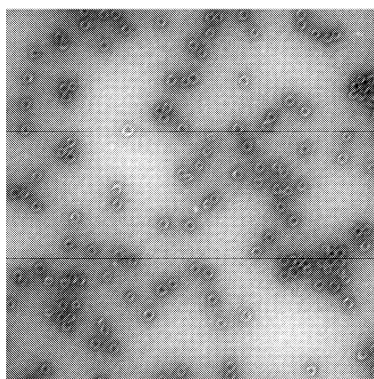
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает установку первого и второго изображений в недофокусировке.



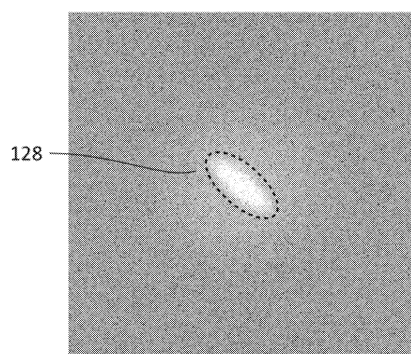
Фиг. 1



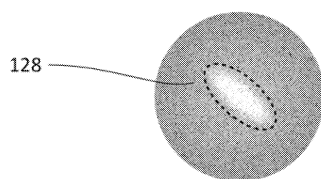
Фиг. 2



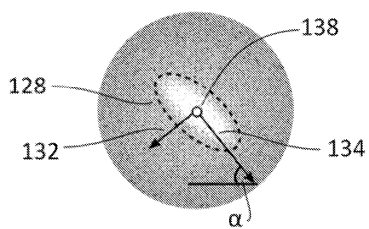
Фиг. 3



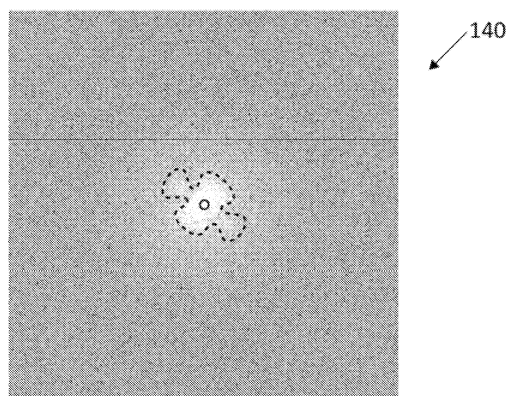
Фиг. 4



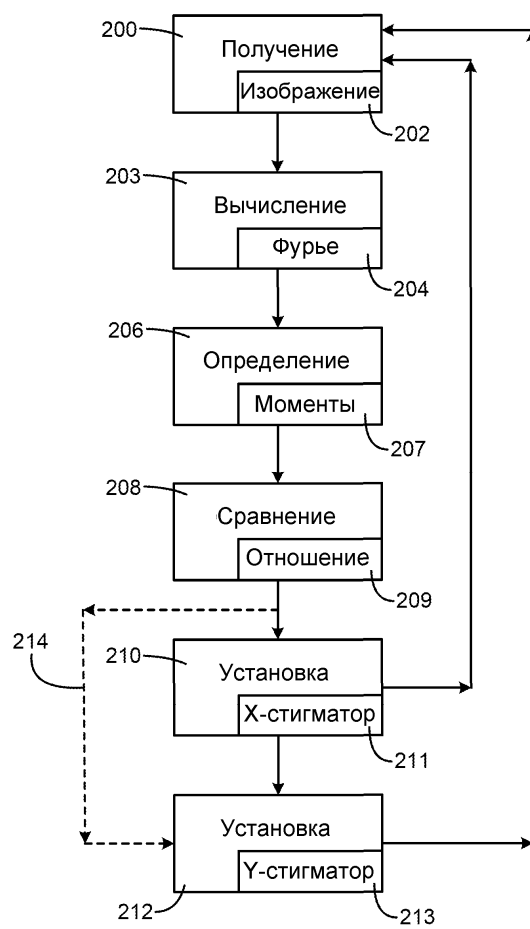
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

