



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012137875/28, 27.10.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.10.2009

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:

29.10.2008 JP 2008-278425

Номер и дата приоритета первоначальной заявки,
из которой данная заявка выделена:

2011121670 29.10.2008

(43) Дата публикации заявки: 27.03.2014 Бюл. № 9

(45) Опубликовано: 20.06.2014 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 2004058070A1, 15.07.2004. JP
2008026098A, 07.02.2008. JP 2008200360A,
04.09.2008. JP 2000088772A, 31.03.2000. SU
1673933A1, 30.08.1991. SU 1748030A1,
15.07.1992

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег. N 595

(72) Автор(ы):

ОУТИ Тидане (JP),

ИТОХ Хиденосуке (JP),

НАГАИ Кентаро (JP),

ДЕН Тору (JP)

(73) Патентообладатель(и):

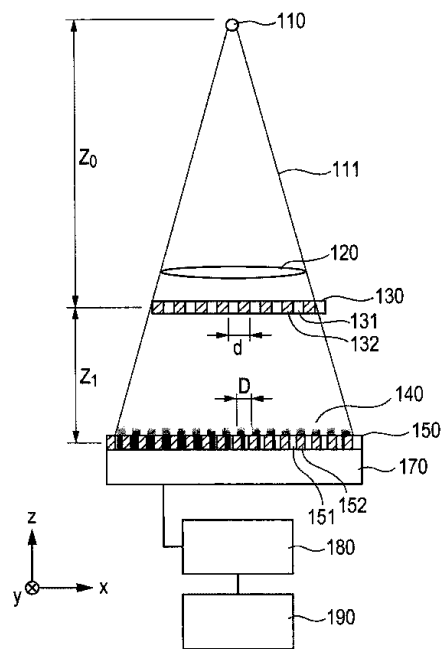
КЭНОН КАБУСИКИ КАЙСЯ (JP)

**(54) УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СПОСОБ
ФОРМИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

(57) Реферат:

Использование: для формирования рентгеновских изображений. Сущность изобретения заключается в том, что устройство формирования рентгеновских изображений согласно настоящему изобретению включает фазовую решетку 130, поглощательную решетку 150, детектор 170 и арифметический блок 180. Арифметический блок 180 выполняет этап преобразования Фурье выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности Муара, полученного детектором, и получения спектра пространственных частот. Также арифметический блок 180 выполняет этап

восстановления фазы отделения спектра, соответствующего несущей частоте, от спектра пространственных частот, полученного на этапе преобразования Фурье, выполнения обратного преобразования Фурье для отделенного спектра, и получения дифференциального фазового изображения. Технический результат: обеспечение возможности получения дифференциального фазового изображения или фазового изображения объекта посредством по меньшей мере одной операции формирования изображений. 11 з.п. ф-лы, 9 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 519 663** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

G01N 23/04 (2006.01)

A61B 6/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2012137875/28, 27.10.2009**

(24) Effective date for property rights:
27.10.2009

Priority:

(30) Convention priority:
29.10.2008 JP 2008-278425

Number and date of priority of the initial application,
from which the given application is allocated:
2011121670 29.10.2008

(43) Application published: **27.03.2014** Bull. № 9

(45) Date of publication: **20.06.2014** Bull. № 17

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.N 595**

(72) Inventor(s):

**OUTI Tidane (JP),
ITOKh Khidenosuke (JP),
NAGAI Kentaro (JP),
DEN Toru (JP)**

(73) Proprietor(s):

KEhNON KABUSIKI KAJSJa (JP)

(54) X-RAY IMAGING DEVICE AND X-RAY IMAGING METHOD

(57) Abstract:

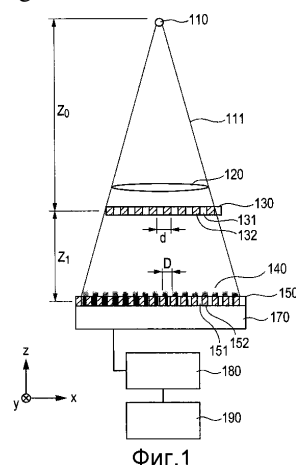
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention can be used in X-ray imaging. The X-ray imaging device according to the present invention includes a phase grating 130, an absorption grating 150, a detector 170 and an arithmetic unit 180. The arithmetic unit 180 executes a step for performing Fourier transform for Moire intensity distribution obtained by the detector and obtaining a spatial frequency spectrum. The arithmetic unit 180 also executes a phase reconstruction step for separating the spectrum corresponding to the carrier frequency from the spatial frequency spectrum obtained at the Fourier transform step, performing inverse Fourier transform for the separated spectrum and obtaining a differential phase image.

EFFECT: obtaining a differential phase image of a

phase image of an object using at least one imaging operation.

12 cl, 9 dwg



ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение относится к устройству формирования рентгеновских изображений и способу формирования рентгеновских изображений.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

5 Так как рентгеновские лучи имеют высокую проникаемость в веществах и могут выполнять формирование изображений с высоким пространственным разрешением, например, рентгеновские лучи используются для неразрушающего обследования объектов в промышленном использовании и для радиографии в медицинском
10 использовании. В этих случаях контрастное изображение формируется посредством использования разности коэффициента поглощения рентгеновских лучей для веществ или живых организмов, когда рентгеновские лучи пропускаются через вещества или живые организмы в зависимости от составных элементов или из-за разности в плотностях веществ или живых организмов. Такой способ формирования изображений называется способом контраста поглощения рентгеновских лучей. Однако легкий
15 элемент поглощает рентгеновские лучи в очень малом количестве. Сложно получить изображение живых мягких тканей, состоящих из углерода, водорода, кислорода и так далее, которые являются составными элементами живого организма или мягких материалов, способом контраста поглощения рентгеновских лучей. В противоположность этому в качестве способа для формирования четких изображений
20 даже тканей, состоящих из легких элементов, с тысяча девятьсот девяностых годов исследовались способы фазового контраста рентгеновских лучей, использующие разность фаз рентгеновских лучей.

Было разработано большое количество способов фазового контраста рентгеновских лучей. Один из таких способов может быть способом фазового контраста рентгеновских
25 лучей, использующим интерференцию Талбота в качестве способа, способного использовать традиционную рентгеновскую трубку (патентная литература 1).

Способ, использующий интерференцию Талбота, описываемый в патентной литературе 1, включает рентгеновскую трубку, которая формирует рентгеновские лучи, фазовую решетку, которая модулирует фазу рентгеновских лучей и формирует
30 распределение интенсивности интерференции, поглощательную решетку, которая преобразует распределение интенсивности интерференции в распределение интенсивности Муара, и рентгеновский детектор, который детектирует распределение интенсивности интерференции.

В способе, описываемом в патентной литературе 1, формирование изображений
35 выполняется посредством сканирования поглощательной решетки вдоль направления периода решетки. После этого сканирования муар, который должен быть обнаружен, сдвигается. Когда длина сканирования достигает одного периода поглощательной решетки, изображение муара возвращается в первоначальное состояние. Арифметическая обработка выполняется, используя по меньшей мере три изображения
40 данных изображений во время сканирования, и таким образом получается дифференциальное фазовое изображение.

Перечень цитированных источников

Патентная литература

Патентная литература 1: Патент США № 7180979

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Способ, описываемый в патентной литературе 1, получает дифференциальное фазовое изображение посредством выполнения формирования изображений для по меньшей

мере трех изображений и рассчитывает фазовое изображение из дифференциального фазового изображения.

Так как способ, описываемый в патентной литературе 1, должен выполнять формирование изображений для по меньшей мере трех изображений, если объект сдвигается во время формирования изображения, качество изображения может ухудшиться.

Также, если период времени для формирования изображения увеличивается, увеличивается доза рентгеновских лучей для объекта. Это не желательно для медицинского использования. Соответственно цель настоящего изобретения - обеспечить устройство формирования рентгеновских изображений и способ формирования рентгеновских изображений, который может получать дифференциальное фазовое изображение или фазовое изображение объекта посредством по меньшей мере одной операции формирования изображений.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Устройство формирования рентгеновских изображений согласно настоящему изобретению включает рентгеновский источник; фазовую решетку, которая пропускает рентгеновские лучи из рентгеновского источника и формирует распределение интенсивности интерференции посредством эффекта Талбота; поглотительную решетку, которая частично заслоняет распределение интенсивности интерференции, сформированное фазовой решеткой, и формирует муар; детектор, который детектирует распределение интенсивности муара, сформированного поглотительной решеткой; и арифметический блок, который получает изображение информации объекта из распределения интенсивности муара, детектированного детектором, и выводит информацию. Арифметический блок выполняет процесс, включающий этап преобразования Фурье выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара, полученного детектором, и получения спектра пространственных частот, и этап восстановления фазы отделения спектра, соответствующего несущей частоте, от спектра пространственных частот, полученного на этапе преобразования Фурье, выполнения обратного преобразования Фурье для отделенного спектра, и получения дифференциального фазового изображения.

ПОЛЕЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

С помощью настоящего изобретения может быть предоставлено устройство формирования рентгеновских изображений и способ формирования рентгеновских изображений, которые могут получать дифференциальное фазовое изображение или фазовое изображение объекта посредством по меньшей мере одной операции формирования изображений.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг. 1 - пояснительное изображение устройства формирования рентгеновских изображений согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 2 представляет пояснительные изображения двумерных фазовых решеток согласно второму и третьему вариантам осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 3 представляет пояснительные изображения двумерных фазовых решеток согласно первому и второму вариантам осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 4 иллюстрирует картину спектра распределения интенсивности интерференции.

Фиг. 5 иллюстрирует распределения интенсивности муара и картины спектра, когда используется двумерная фазовая решетка.

Фиг. 6 - пояснительное изображение блок-схемы последовательности операций способа анализа, выполняемого арифметическим блоком согласно настоящему

изобретению.

Фиг. 7 представляет пояснительные изображения распределения интенсивности муара и спектра пространственных частот согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

5 Фиг. 8 представляет пояснительные изображения распределения интенсивности муара и спектра пространственных частот согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 9 - пояснительное изображение механизма изменения масштаба согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

10 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

(Первый вариант осуществления)

Фиг.1 иллюстрирует примерную конфигурацию устройства формирования рентгеновских изображений, используя интерференцию Талбота. Процесс получения фазового изображения посредством использования устройства формирования

15 рентгеновских изображений будет описан подробно.

(Рентгеновский источник)

Рентгеновские лучи 111, формируемые рентгеновским источником 110, пропускаются через объект 120. Когда рентгеновские лучи 111 пропускаются через объект 120, фаза рентгеновских лучей 111 изменяется, и рентгеновские лучи 111 поглощаются в

20 зависимости от состава, формы и так далее объекта 120.

Рентгеновские лучи могут быть непрерывными рентгеновскими лучами или характеристическими рентгеновскими лучами. Длина волны рентгеновских лучей выбирается в диапазоне от около 0,1 до 5. Фильтр выбора длины волны и/или решетка для источника могут быть предоставлены дальше по ходу по отношению к

25 рентгеновскому источнику 110.

(Фазовая решетка)

Рентгеновские лучи 111, пропускаемые через объект 120, пропускаются через фазовую решетку 130. Затем рентгеновские лучи 111 формируют распределение интенсивности интерференции 140 посредством эффекта Талбота.

30 Фазовая решетка 130 организована ближе по ходу или дальше по ходу по отношению к объекту 120.

Фазовая решетка 130 включает участки 131 опережения по фазе и участки 132 отставания по фазе, которые формируются посредством периодического изменения толщины члена рентгеновской проницаемости. Участки 131 опережения по фазе и

35 участки 132 отставания по фазе могут быть сформированы таким образом, что фаза рентгеновских лучей, пропущенных через участки 131 опережения по фазе, отличается от фазы рентгеновских лучей, пропущенных через участки 132 отставания по фазе. Например, фаза рентгеновских лучей, пропущенных через участки 131 опережения по фазе, сдвигается вперед на π относительно фазы рентгеновских лучей, пропущенных

40 через участки 132 отставания по фазе. Величина изменения в толщине определяется длиной волны рентгеновских лучей, которая должна использоваться, и членом.

Фазовая решетка 130 типично модулирует фазу рентгеновских лучей, пропущенных через участки 131 опережения по фазе, на π или $\pi/2$ относительно фазы рентгеновских лучей, пропущенных через участки 132 отставания по фазе. Первая решетка может

45 быть названа π фазовой решеткой, а вторая решетка может быть названа $\pi/2$ фазовой решеткой. Требуется лишь, чтобы величина модуляции фазы была периодической. Например, модуляция может быть $\pi/3$ модуляцией.

Фазовая решетка 130 может иметь одномерную линейную форму. В качестве

альтернативы фазовая решетка 130 может иметь двумерную структуру в форме шахматной доски, как показано на фиг. 2(A). В качестве другой альтернативы фазовая решетка 130 может иметь структуру в форме решетки, как показано на фиг. 2(B). Со ссылкой на фиг. 2, ссылочный знак d обозначает период, 201 обозначает двумерную фазовую решетку, 210 обозначает участки опережения по фазе, а 220 обозначает участки отставания по фазе.

Форма каждого участка 210 опережения по фазе или каждого участка 220 отставания по фазе является квадратом на фиг. 2(A) и 2(B), однако их внешняя граница может быть деформирована в округлую форму в процессе производства. Даже когда форма деформируется в округлую форму, деформированный участок может быть использован в качестве фазовой решетки.

Если фазовая решетка 130 имеет одномерный период, получается информация градиента фазы только в одномерном направлении объекта 120. Напротив, если фазовая решетка 130 имеет двумерный период, может быть получена информация градиента фазы в двумерных направлениях, что является преимуществом.

Материал фазовой решетки 130 - желателен вещество, которое пропускает рентгеновские лучи. Например, материал может быть кремнием.

Распределение интенсивности интерференции, формируемое после того, как рентгеновские лучи пропускаются через фазовую решетку 130, наиболее четко проявляется в положении, в котором Z_0 является расстоянием от рентгеновского источника до фазовой решетки 130, а Z_1 является расстоянием от фазовой решетки 130 до поглотительной решетки 150, и расстояние Z_1 удовлетворяет нижеследующему выражению (1). В материалах настоящей заявки "распределение интенсивности интерференции" является периодическим распределением интенсивности, в котором отражается период решетки фазовой решетки 130.

В выражении (1) λ - длина волны рентгеновских лучей, а d - период решетки фазовой решетки 130,

$$\frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{N} \frac{\lambda}{d^2} \quad (1)$$

Значение N изменяется в зависимости от формы фазовой решетки и является действительным числом, которое может быть выражено следующим образом. Отметим, что значение n - натуральное число.

π фазовая решетка в одномерной периодической структуре: $N = n/4 - 1/8$

$\pi/2$ фазовая решетка в одномерной периодической структуре: $N = n/4 - 1/2$

π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски в двумерной периодической структуре: $N = n/4 - 1/8$

$\pi/2$ фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски в двух измерениях: $N = n/2 - 1/4$

(Поглощательная решетка)

Период распределения интенсивности интерференции типично меньше, чем размер пикселя рентгеновского детектора 170. Следовательно, распределение интенсивности интерференции не может быть детектировано в этом состоянии. Поэтому поглотительная решетка 150 используется, чтобы формировать муар с периодом, большим, чем размер пикселя рентгеновского детектора 170, так что рентгеновский детектор 170 детектирует распределение интенсивности муара. Поглотительная решетка 150 желательна предусмотрена в положении, отделенном от фазовой решетки 130 на расстояние Z_1 .

Поглощательная решетка 150 включает проникаемые участки 151 и заслоняющие свет участки 152, которые периодически располагаются и расставляются, чтобы частично заслонять яркие участки распределения 140 интенсивности интерференции, формируемые фазовой решеткой 130. Каждый пропускающий участок 151 не обязательно должен

5 иметь отверстие, проникающее через поглощательную решетку 150, так как пропускающий (проникаемый) участок 151 может частично пропускать рентгеновские лучи. Материал поглощательной решетки 150 особо не ограничивается до тех пор, пока материал имеет высокую поглощательную способность для рентгеновских лучей. Материал может быть, например, золотом.

10 Период поглощательной решетки 150 эквивалентен или незначительно отличается от периода распределения интенсивности интерференции.

Если используется поглощательная решетка с периодом, эквивалентным периоду распределения интенсивности интерференции, муар формируется посредством вращения в плоскости поглощательной решетки. Когда период распределения интенсивности

15 интерференции представлен D , а угол, определенный между ориентациями яркого и темного участков в распределении интенсивности интерференции и ориентацией поглощательной решетки, представлен θ (здесь, $\theta < 1$), период D_m муара равен D/θ .

Напротив, если используется поглощательная решетка с периодом, незначительно отличающимся от периода распределения интенсивности интерференции, муар

20 формируется без вращения в плоскости поглощательной решетки. Когда период поглощательной решетки выражается как $D_a = D + \delta$ (здесь $\delta \ll D$), период D_m муара равен D^2/δ .

В поглощательной решетке 150 пропускаемые участки 151 могут быть расположены одно- или двумерно.

25 Например, если используется π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски, показанная на фиг. 2(A), используется поглощательная решетка 300 со структурой в форме решетки, в которой проникаемые участки 351 и заслоняющие свет участки 352 расположены двумерно, как показано на фиг. 3(A). Если используется $\pi/2$ фазовая

30 решетка со структурой в форме шахматной доски, показанная на фиг. 2(A), используется поглощательная решетка 300 со структурой в форме шахматной доски, в которой проникаемые участки 351 и заслоняющие свет участки 352 расположены двумерно, как показано на фиг. 3(B).

Вышеупомянутая комбинация фазовой решетки и поглощательной решетки - просто пример, и могут быть созданы различные комбинации.

35 (Детектор)

Информация распределения интенсивности интерференции для рентгеновских лучей, пропускаемых через поглощательную решетку 140, детектируется как распределение интенсивности муара рентгеновским детектором 170. Рентгеновский детектор 170

40 является элементом, который может детектировать информацию распределения интенсивности интерференции для рентгеновских лучей. Например, может быть использован плоскопанельный детектор (FPD), способный к преобразованию в цифровые сигналы.

(Арифметический блок)

Информация о распределении интенсивности муара, детектируемого рентгеновским

45 детектором 170, анализируется арифметическим блоком 180 через метод анализа, который будет описан позже, так, чтобы получить изображение дифференциального фазового изображения или фазового изображения. Полученное дифференциальное фазовое изображение или фазовое изображение является выходным изображением,

которое должно отображаться на блоке 190 отображения. Арифметический блок 180 включает, например, центральный процессор (CPU).

Метод анализа для получения фазового изображения из информации о распределении интенсивности муара, получаемого детектором, будет описан ниже. Затем будет описан этап обработки, выполняемый арифметическим блоком.

(Метод анализа)

Когда формируется распределение интенсивности интерференции, многие лучи дифрагированного света накладываются и интерферируют друг с другом.

Следовательно, распределение интенсивности интерференции содержит основную частоту (в дальнейшем в материалах настоящей заявки указываемую ссылкой как несущая частота) и большое количество гармонических компонентов несущей частоты.

Муар имеет форму, в которой компонент несущей частоты в распределении интенсивности интерференции пространственно расширен. Когда используется одномерная фазовая решетка с линейкой, ортогональной оси x , муар может быть выражен выражением (2)

$$g(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(2\pi f_0 x + \phi(x, y)) \quad (2)$$

Напротив, когда используется двумерная фазовая решетка, компонент несущей частоты в направлении y накладывается на результат выражения (2).

В выражении (2) муар выражается суммой фонового первого члена и периодического второго члена. В материалах настоящей заявки $a(x, y)$ обозначает фон, а $b(x, y)$ обозначает амплитуду компонента несущей частоты. Также, значение f_0 обозначает несущую частоту интерференционной полосы, а $\phi(x, y)$ обозначает фазу компонента несущей частоты.

Когда $\pi/2$ фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски используется в качестве фазовой решетки 130, компонент несущей частоты формируется из-за интерференции между дифрагированным светом нулевого порядка и дифрагированным светом плюс первого порядка, и интерференции между дифрагированным светом нулевого порядка и дифрагированным светом минус первого порядка. Когда π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски используется в качестве фазовой решетки 130, компонент несущей частоты формируется из-за интерференции между дифрагированным светом плюс первого порядка и дифрагированным светом минус первого порядка.

Для дифрагированного света нулевого порядка и дифрагированного света первого порядка лучи, отделяемые друг от друга расстоянием Nd , накладываются друг на друга на фазовой решетке 130. Для дифрагированного света плюс первого порядка и дифрагированного света минус первого порядка лучи, отделяемые друг от друга расстоянием $2Nd$, накладываются друг на друга на фазовой решетке 130. То есть такая интерференция сдвигает интерференцию на величину сдвига s , соответствующую Nd , в случае $\pi/2$ фазовой решетки или сдвигает интерференцию на величину сдвига s , соответствующую $2Nd$.

Когда фазовое изображение объекта 120 в положении фазовой решетки 130 равно $W(x, y)$, фаза $\phi(x, y)$ и фазовое изображение $W(x, y)$ имеют следующую взаимосвязь:

$$\phi(x, y) = W(x+s, y) - W(x, y)$$

Значение s типично очень мало. Таким образом, получается следующее:

$$\phi(x, y) \cong s \frac{\partial}{\partial x} W(x, y) \quad (3)$$

Что касается выражения (3), обнаружено, что фаза $\phi(x, y)$ является информацией,

получаемой дифференцированием фазового изображения $W(x, y)$ объекта 120. Поэтому фазовое изображение $W(x, y)$ объекта 120 может быть получено интегрированием $\phi(x, y)$. Тем временем, фаза $\phi(x, y)$ может быть получена из выражения (2) посредством преобразования Фурье. То есть выражение (2) может быть выражено следующим

$$g(x, y) = a(x, y) + c(x, y) \exp(2\pi i f_0 x) + c^*(x, y) \exp(-2\pi i f_0 x) \quad (4)$$

В материалах настоящей заявки получается следующее:

$$c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) \exp[i\phi(x, y)] \quad (5)$$

Поэтому информация фазы $\phi(x, y)$ может быть получена извлечением компонента $c(x, y)$ или компонента $c^*(x, y)$ из интерференционной полосы.

В материалах настоящей заявки после преобразования Фурье выражение (4) будет выглядеть следующим образом:

$$G(f_x, f_y) = A(f_x, f_y) + C(f_x - f_0, f_y) + C^*(f_x + f_0, f_y) \quad (6)$$

В материалах настоящей заявки $G(f_x, f_y)$, $A(f_x, f_y)$, и $C(f_x, f_y)$ являются двумерными преобразованиями Фурье для $g(x, y)$, $a(x, y)$, и $c(x, y)$.

Фиг. 4 - картина спектра распределения интенсивности интерференции, когда используется одномерная решетка. Типично формируются три пика, как показано на фиг. 4. Центральный пик - пик, главным образом полученный из $A(f_x, f_y)$. Напротив, пики на обеих сторонах - пики несущих частот, полученные из $C(f_x, f_y)$ и $C^*(f_x, f_y)$. Эти пики формируются в положениях $\pm f_0$.

Затем извлекается область, содержащая пик, полученный из $C(f_x, f_y)$ или $C^*(f_x, f_y)$.

Например, посредством извлечения периферии пика, полученного из $A(f_x, f_y)$ и периферии пика, полученного из $C(f_x, f_y)$ или $C^*(f_x, f_y)$, отделяется пик, полученный из $C(f_x, f_y)$ или $C^*(f_x, f_y)$.

Затем отделенный пик, полученный из $C(f_x, f_y)$ или $C^*(f_x, f_y)$, сдвигается к началу

координат в пространстве частот, и выполняется обратное преобразование Фурье. Посредством обратного преобразования Фурье получается информация комплексных чисел. С информацией комплексных чисел получается фаза $\phi(x, y)$, то есть дифференциальная фазовая информация.

Фиг. 5(A) является примером распределения интенсивности муара, когда используется $\pi/2$ фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 2(A)) и поглощательная решетка со структурой в форме решетки (фиг. 3(A)) или поглощательная решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 3(B)). Ссылочный знак 510 обозначает яркие участки муара, а 520 обозначает темные участки муара. Следует отметить, что распределение интенсивности муара формируется в наклонном направлении, даже когда используется π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 2(A)) и поглощательная решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 3(B)).

Фиг. 5(B) является примером распределения интенсивности муара, когда используется π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 2(A)) и поглощательная решетка со структурой в форме решетки (фиг. 3(A)). Ссылочный знак 530 обозначает яркие участки муара, а 540 обозначает темные участки муара. В этом случае распределение интенсивности муара формируется в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Следует отметить, что распределение интенсивности муара формируется, даже когда используется фазовая решетка со структурой в форме решетки (фиг. 2(B)).

Фиг. 5(C) и 5(D) иллюстрируют спектры пространственных частот, получаемых посредством выполнения обработки для распределений интенсивности муара, показанного на фиг. 5(A) и 5(B) посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ), которое является типом преобразования Фурье. Максимальная пространственная частота, которая может быть рассчитана посредством БПФ, равна $1/(2P)$, где P является периодом пикселя рентгеновского детектора 170.

Периферии двух пиков 570 и 571 и пиков 580 и 581 соответственно, в положениях, ортогональных друг к другу, извлекаются схожим образом с одномерной конфигурацией и сдвигаются к началу координат, чтобы выполнить обратное преобразование Фурье. Извлеченные области обозначаются пунктирными линиями. Посредством обратного преобразования Фурье получается информация комплексных чисел. С помощью информации комплексных чисел получается дифференциальная фазовая информация в двух ортогональных друг другу направлениях.

В материалах настоящей заявки на фиг. 5(C) дифференциальная фазовая информация получается в направлениях при ± 45 градусах. На фиг. 5(D) дифференциальная фазовая информация получается в направлениях X и Y .

Во многих случаях дифференциальная фазовая информация, получаемая таким образом, складывается в (сворачивается в) область 2π . В частности, когда истинная фаза в любой точке на экране равна $\phi(x, y)$, а свернутая фаза равна $\phi_{\text{wrap}}(x, y)$, устанавливается следующая взаимосвязь:

$$\phi_{\text{wrap}}(x, y) = \phi(x, y) + 2\pi n(x, y) \quad (7),$$

где n - целое число, которое определяется таким образом, что $\phi_{\text{wrap}}(x, y)$ находится в области с шириной 2π , например, области от 0 до 2π или области от $-\pi$ до $+\pi$.

С помощью такой информации разворачивание фазы выполняется для $\phi(x, y)_{\text{wrap}}$, чтобы восстановить первоначальное $\phi(x, y)$.

Фазовое изображение $W(x, y)$ объекта может быть получено интегрированием восстановленного $\phi(x, y)$ выражением (8)

$$W(x, y) = \frac{1}{s} \int \phi(x, y) dx \quad (8)$$

Когда используется одномерная решетка, направление интегрирования может являться только направлением, ортогональным к направлению линейки решетки. Поэтому чтобы правильно измерить фазовое изображение $W(x, y)$, сторона рентгеновского детектора 170, параллельная направлению линейки, облучается рентгеновскими лучами, которые не пропускаются через объект 120, таким образом, что обнаруженный участок в фазовом изображении $W(x, y)$ получается заранее. Когда используется двумерная решетка, интегрирование может быть выполнено в двух направлениях. Фазовое изображение $W(x, y)$ может быть правильно измерено, даже если рентгеновский детектор 170 полностью облучается рентгеновскими лучами, пропускаемыми через объект 120.

(Этап обработки арифметическим блоком)

Относительно вышеприведенного описания на фиг. 6 будет проиллюстрирован пример последовательности операций обработки, выполняемой арифметическим блоком 180.

Сначала информация о распределении интенсивности муара получается из рентгеновского детектора 170 (S610).

Затем выполняется (S620) этап преобразования Фурье таким образом, что преобразование Фурье выполняется для информации о распределении интенсивности муара, получаемой на S610, и получается спектр пространственных частот.

Затем выполняется (S631) этап отделения вершин таким образом, что спектр, соответствующий несущей частоте (спектр, имеющий фазовую информацию) извлекается из пространства частот, полученного на S620. Сложно извлечь спектр, соответствующий несущей частоте, извлекается информация о периферийной области спектра.

Затем спектр, извлеченный на S631, сдвигается к началу координат в пространстве частот, и выполняется (S632) обратное преобразование Фурье. Соответственно может быть получена информация комплексных чисел, имеющая фазовую информацию.

Затем фаза $\phi(x, y)$, как дифференциальная фазовая информация, получается из информации комплексных чисел, полученной на S632 (S633). Следует отметить, что этапы S631, S632, и S633 могут вместе быть названы этапом (S630) восстановления фазы.

Затем, когда $\phi(x, y)$ сворачивается, выполняется разворачивание, и получается (S640) истинная $\phi(x, y)$. Этап может быть назван этапом разворачивания фазы. Если $\phi(x, y)$ не свернута, этап S640 может быть пропущен. В материалах настоящей заявки $\phi(x, y)$ является дифференциальной фазовой информацией (дифференциальным фазовым изображением).

Затем посредством интегрирования $\phi(x, y)$ получается (S650) фазовое изображение $W(x, y)$.

С помощью вышеприведенной конфигурации может быть предоставлено устройство формирования рентгеновских изображений и способ формирования рентгеновских изображений, которые могут получать фазовое изображение объекта посредством по меньшей мере одной операции формирования изображений. Дополнительно может быть предоставлена программа, которая побуждает компьютер выполнять вышеприведенные этапы.

(Второй вариант осуществления)

Устройство получения рентгеновских изображений согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения будет описано со ссылкой на фиг. 7. В этом варианте осуществления увеличивается пространственное разрешение вместо спектра пространственных частот, описанного в первом варианте осуществления и показанного на фиг. 5(C).

Фиг. 7(B) иллюстрирует спектр пространственных частот, который описывается в этом варианте осуществления. Чтобы получить такой пространственный спектр, основной период двумерного муара, получаемого из распределения интенсивности интерференции и поглотительной решетки, определяется относительно периода пикселя рентгеновского детектора, чтобы достичь следующего отношения:

$$2\sqrt{2} \text{ раз}$$

Также ориентация муара настраивается, чтобы иметь наклон 45 градусов к решетке пикселей.

Фиг. 7(A) иллюстрирует распределение интенсивности муара на рентгеновском детекторе в этом состоянии. Ссылочный знак 710 обозначает принимающую свет поверхность рентгеновского детектора, 720 обозначает яркие участки муара, d обозначает период муара, а P обозначает период пикселя рентгеновского детектора. В этом варианте осуществления используются $\pi/2$ фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 2(A)) и поглотительная решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 3(B)). Однако может использоваться другая фазовая решетка

и другая поглощательная решетка, пока распределение интенсивности муара, который должен быть сформирован, является эквивалентным.

Фиг. 7(B) - спектр пространственных частот, получаемый выполнением БПФ для распределения интенсивности муара, показанного на фиг. 7(A). Когда количество пикселей в решетке равно n для каждой из вертикальной и горизонтальной сторон, пространство спектра, получаемое посредством БПФ, является дискретными данными $n \times n$. Максимальная частота, которая может быть выражена, равна $1/(2P)$, где P является периодом пикселя рентгеновского детектора 170.

В этом варианте осуществления основной период муара равен следующему:

$$2\sqrt{2} P$$

Таким образом, абсолютное значение несущей частоты с этой частотой равно следующему:

$$1/(2\sqrt{2} P)$$

Также, так как ориентация муара имеет наклон в 45 градусов, пик 711 несущей формируется в следующем положении:

$$\text{Координаты частот } (f_x, f_y) = (\pm \frac{1}{4P}, \pm \frac{1}{4P})$$

Пик 711 несущей - это пик, соответствующий несущей частоте распределения интенсивности муара.

Два соседних пика, включаемые в четыре пика 711 несущей, извлекаются в форме квадратной области, имеющей наклон в 45 градусов, каждая квадратная область, имеющая сторону, выраженную следующим образом:

$$1/(2\sqrt{2} P)$$

После того как квадратная область извлечена, выполняется обработка, описанная в первом варианте осуществления. Соответственно фазовое изображение объекта может быть восстановлено. Если область спектра извлекается большой поверхностью, как возможно, пространственное разрешение может быть увеличено. Однако вдобавок к пику несущей частоты в пространстве спектра присутствует ненужный пик 721.

Ненужный пик 721 - пик высокочастотного компонента и компонента DC, и расположен в положении, соответствующем сумме или разности координат пиков компонентов несущей частоты.

Если область извлечения слишком большая, может быть включена область вокруг ненужного пика 721. Правильное фазовое изображение больше не предоставляется из-за эффекта ненужного пика 721. Соответственно область спектра, которая должна быть извлечена, является областью 731 извлечения, расположенной на внутренней стороне по отношению к промежуточной линии между пиком несущей частоты и ненужным пиком 721.

Пространственная частота фазового изображения, которое должно быть восстановлено в этом варианте осуществления, равна $1/2$ размера области 731 извлечения. Таким образом, как обнаружено на фиг. 7(B), максимальная частота в направлении решетки пикселей равна $1/(4P)$, а максимальная частота в направлении в 45 градусов определяется следующим образом:

$$1/(4\sqrt{2} P)$$

Чтобы выразить минимальный период на основе пикселей, который может быть восстановлен с этим значением в качестве разрешения, минимальный период является обратным максимальной частоты. Таким образом, минимальный период в направлении решетки пикселей равен 4 пикселям, а минимальный период в направлении 45 градусов

равен следующему:

$$4\sqrt{2} \text{ пикселей} \approx 5,7 \text{ пикселей}$$

По сравнению с областью извлечения на фиг. 5(С), область извлечения на фиг. 7(В) больше, чем область извлечения на фиг. 5(С), и, следовательно, пространственная частота, которая может быть восстановлена, больше. Таким образом, с помощью данного варианта осуществления пространственная частота может быть увеличена по сравнению с вышеприведенным вариантом осуществления.

(Третий вариант осуществления)

Устройство формирования рентгеновских изображений согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения будет описано со ссылкой на фиг. 8. В этом варианте осуществления увеличивается пространственное разрешение вместо спектра пространственных частот, описанного в первом варианте осуществления и показанного на фиг. 5(D). Фиг. 8(В) иллюстрирует спектр пространственных частот, который описывается в этом варианте осуществления. Чтобы получить такой пространственный спектр, основной период двумерного муара, получаемого из распределения интенсивности интерференции и поглотительной решетки, определяется как в три раза больший, чем период пикселя рентгеновского детектора, а ориентация муара выравнивается с решеткой пикселей.

Фиг. 8(А) иллюстрирует распределение интенсивности муара на рентгеновском детекторе в этом состоянии. Ссылочный знак 810 обозначает принимающую свет поверхность рентгеновского детектора, 82 обозначает яркие участки муара, d обозначает период муара, а Р обозначает период пикселя рентгеновского детектора. В этом варианте осуществления используются π фазовая решетка со структурой в форме шахматной доски (фиг. 2(А)) и поглотительная решетка со структурой в форме решетки (фиг. 3 (А)). Однако может использоваться другая фазовая решетка и другая поглотительная решетка, пока распределение интенсивности муара, который должен быть сформирован, является эквивалентным.

Фиг. 8(А) - спектр пространственных частот, получаемый выполнением БПФ для распределения интенсивности муара, показанного на фиг. 8(В). Так как основной период муара равен $3P$ в этом варианте осуществления, абсолютное значение несущей частоты равно $1/(3P)$. Таким образом, пик 811 несущей формируется в следующем положении:

$$\text{Координаты частот } (f_x, f_y) = \left(\pm \frac{1}{3P}, 0\right) \text{ или } \left(0, \pm \frac{1}{3P}\right)$$

Пик 811 несущей - это пик, соответствующий несущей частоте распределения интенсивности муара. Подобно второму варианту осуществления возникающие квадратные области, каждая имеющая сторону $1/(3P)$, извлекаются для двух соседних пиков, включаемых в четыре пика 811 несущей. После того как квадратные области извлечены, выполняется обработка, описанная в первом варианте осуществления. Соответственно фазовое изображение объекта может быть восстановлено.

Однако в данном варианте осуществления вдобавок к пику несущей частоты в пространстве спектра присутствует ненужный пик 821. Ненужный пик 821 - пик высокочастотного компонента и компонента DC и расположен в положении, соответствующем сумме или разности координат пиков компонентов несущей частоты. Соответственно область спектра, которая должна быть извлечена, является областью 831 извлечения, расположенной на внутренней стороне по отношению к промежуточной линии между пиком несущей частоты и ненужным пиком 821.

Пространственная частота фазового изображения, которое должно быть

восстановлено в этом варианте осуществления, равна $1/2$ размера области 831 извлечения. Таким образом, ссылаясь на фиг. 8(B), максимальная частота в направлении решетки пикселей равна $1/(6P)$, а максимальная частота в направлении в 45 градусов определяется следующим образом:

$$1/(3\sqrt{2} P)$$

Чтобы выразить минимальный период на основе пикселей, восстановленный с вышеприведенным значением в качестве разрешения, минимальный период является обратным максимальной частоты. Таким образом, минимальный период в направлении решетки пикселей равен 6 пикселям, а минимальный период в направлении 45 градусов равен следующему:

$$3\sqrt{2} \text{ пикселей} \approx 4,2 \text{ пикселей}$$

Поэтому пространственное разрешение в направлении 45 градусов по отношению к решетке пикселей в этом варианте осуществления лучше, чем во втором варианте осуществления.

(Четвертый вариант осуществления)

Устройство формирования рентгеновских изображений согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения будет описано со ссылкой на фиг. 9. Устройство формирования рентгеновских изображений этого варианта осуществления - это устройство формирования рентгеновских изображений согласно любому из с первого по третий вариант осуществления, включающее устройство 900 перемещения объекта. Устройство 900 перемещения объекта может передвигать объект 920 вдоль оптической оси рентгеновских лучей.

Рентгеновский детектор имеет увеличение формирования изображений для объекта 920 $L1/L2$, где $L1$ - расстояние от рентгеновского источника 910 до поглотительной решетки 940, а $L2$ - расстояние от рентгеновского источника 910 до поглотительной решетки 940.

Таким образом, по мере того как объект 920 передвигается ближе к фазовой решетке 930, $L2$ становится больше, и получение изображений может быть выполнено с низким увеличением. Напротив, по мере того как объект 920 передвигается ближе к рентгеновскому источнику 910, $L2$ становится меньше, и получение изображений может быть выполнено с высоким увеличением.

Перечень условных обозначений

110 рентгеновский источник

111 рентгеновские лучи

120 объект

130 фазовая решетка

150 поглотительная решетка

151 пропускающий участок

152 заслоняющий свет участок

170 рентгеновский детектор

180 арифметический блок

Формула изобретения

1. Устройство формирования рентгеновских изображений для формирования изображения объекта, содержащее:

фазовую решетку, которая пропускает рентгеновские лучи из источника рентгеновского излучения для формирования распределения интенсивности интерференции посредством эффекта Талбота;

поглощательную решетку, которая частично заслоняет распределение интенсивности интерференции, сформированное фазовой решеткой, для формирования муара; детектор, который обнаруживает распределение интенсивности муара, сформированного поглощательной решеткой; и

арифметический блок, который вычисляет дифференциальное фазовое изображение объекта путем выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара, обнаруженного детектором,

причем объект расположен между источником рентгеновского излучения и фазовой решеткой или фазовой решеткой и поглощательной решеткой.

2. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.1,

в котором фазовая решетка включает в себя участки опережения по фазе и участки отставания по фазе,

в котором участки опережения по фазе и участки отставания по фазе расположены двумерно,

в котором поглощательная решетка включает в себя пропускающие участки и заслоняющие участки,

в котором пропускающие участки и заслоняющие участки расположены двумерно,

в котором детектор обнаруживает муар, имеющий периоды в двух направлениях,

и

в котором арифметический блок вычисляет дифференциальное фазовое изображение в двух направлениях путем выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара.

3. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.2, в котором арифметический блок вычисляет дифференциальное фазовое изображение в двух направлениях путем выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара, полученного в результате одного обнаружения детектором.

4. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.1, в котором арифметический блок интегрирует дифференциальное фазовое изображение и получает фазовое изображение.

5. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.1, в котором арифметический блок развертывает дифференциальное фазовое изображение.

6. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.2, в котором участки опережения по фазе и участки отставания по фазе организованы в структуру в форме шахматной доски.

7. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.2, в котором фазовая решетка конфигурирована таким образом, что разность между фазой рентгеновских лучей, пропущенных через участки опережения по фазе, и фазой рентгеновских лучей, пропущенных через участки отставания по фазе, равна $\pi/2$ или π .

8. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.2,

в котором фазовая решетка, поглощательная решетка и детектор настроены таким образом, что в пространстве частот муара, полученного посредством выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара, пик формируется в положении, выраженном следующим образом:

$$\text{Координаты частот } (f_x, f_y) = (\pm \frac{1}{4P}, \pm \frac{1}{4P})$$

где P период пикселя детектора.

9. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.8,

в котором поглощательная решетка обеспечивает период муара, выраженный

следующим образом:

$$2\sqrt{2} P$$

при этом направление периода муара установлено под 45 градусов к решетке пикселей детектора, и

в котором арифметический блок осуществляет этап выполнения преобразования Фурье для результата обнаружения, извлечения двух квадратных областей из пространства частот полученного муара для отделения пика от спектра пространственных частот распределения интенсивности муара, и использования двух квадратных областей таким образом, что получается дифференциальное фазовое изображение объекта, причем каждая из квадратных областей имеет сторону, выраженную следующим образом:

$$1/(2\sqrt{2} P)$$

причем квадратные области имеют наклон в 45 градусов к направлению решетки пикселей детектора.

10. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.2,

в котором фазовая решетка, поглощательная решетка и детектор настроены таким образом, что в пространстве частот муара, полученного посредством выполнения преобразования Фурье для распределения интенсивности муара, пик формируется в положении, выраженном следующим образом:

$$\text{Координаты частот } (f_x, f_y) = (\pm \frac{1}{3P}, 0) \text{ или } (0, \pm \frac{1}{3P}),$$

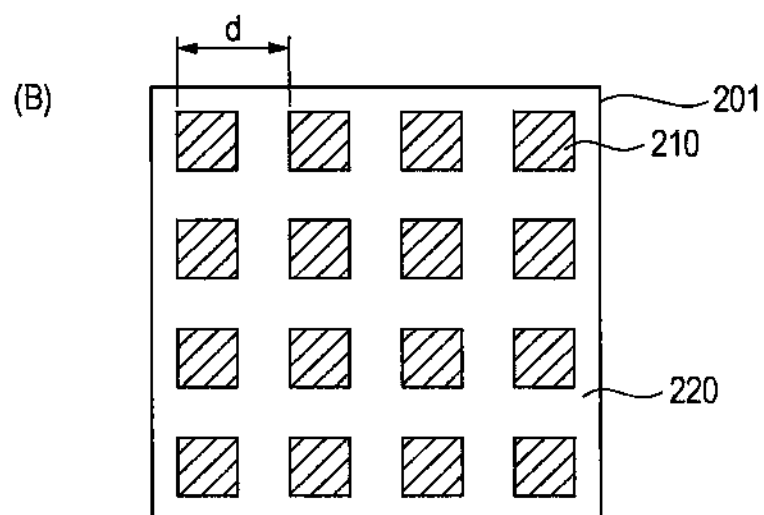
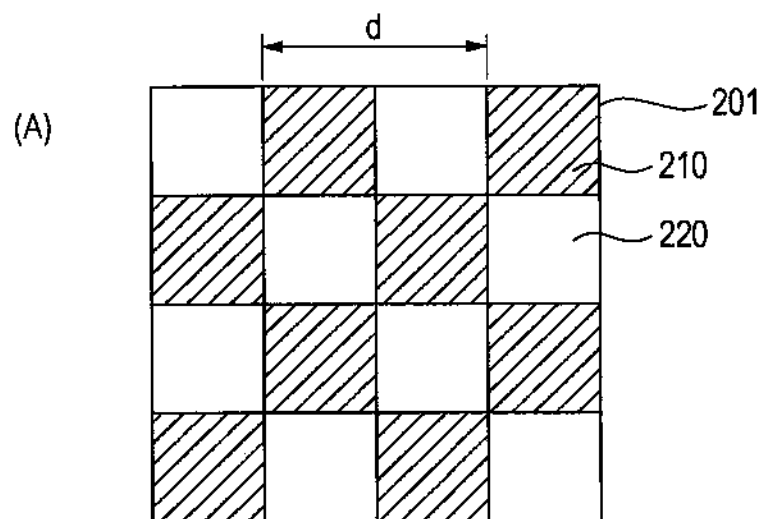
где P период пикселя детектора.

11. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.10,

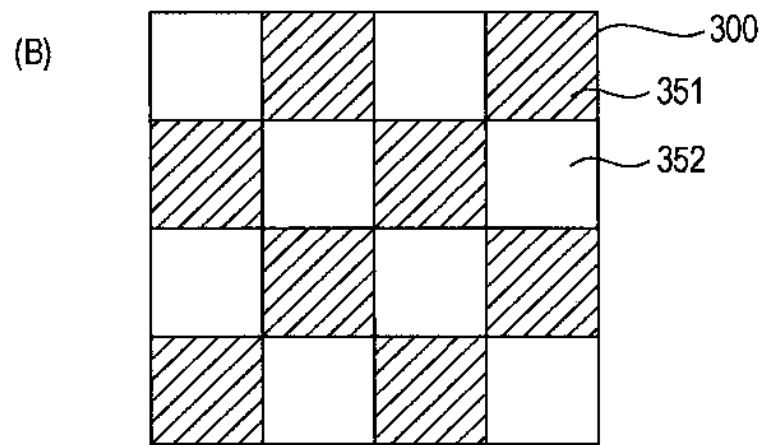
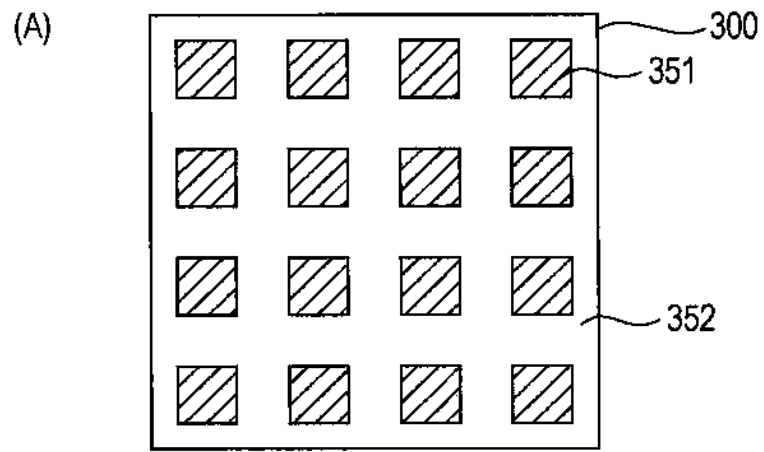
в котором поглощательная решетка выполнена таким образом, что период муара равен $3P$, а направление периода муара выровнено с решеткой пикселей детектора, и

в котором арифметический блок осуществляет этап выполнения преобразования Фурье для результата обнаружения, извлечения двух квадратных областей из пространства частот полученного муара для отделения пика от спектра пространственных частот распределения интенсивности муара и использования двух квадратных областей таким образом, что получается дифференциальное фазовое изображение объекта, причем каждая из квадратных областей возникает по отношению к направлению решетки пикселей детектора и имеет сторону $1/(3P)$.

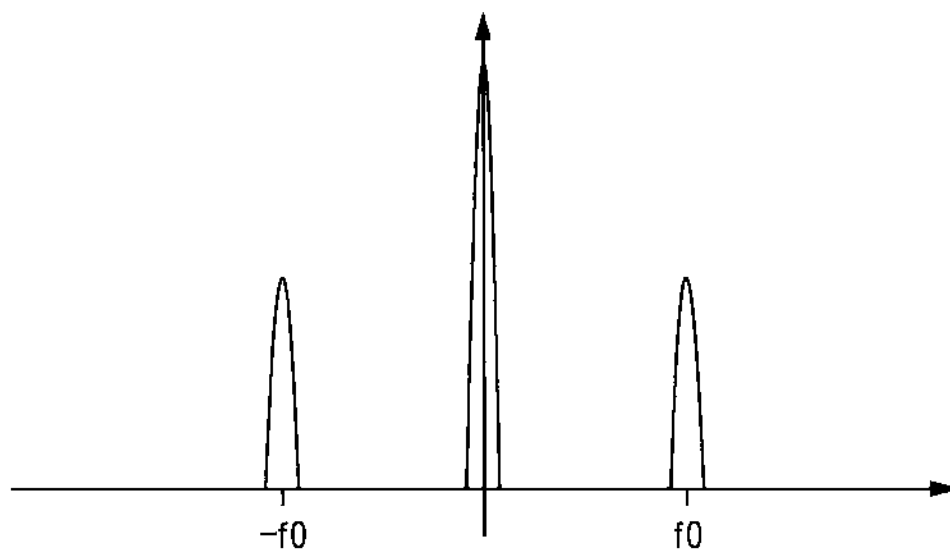
12. Устройство формирования рентгеновских изображений по п.1, дополнительно содержащее устройство перемещения объекта, которое может перемещать объект в направлении оптической оси рентгеновских лучей.



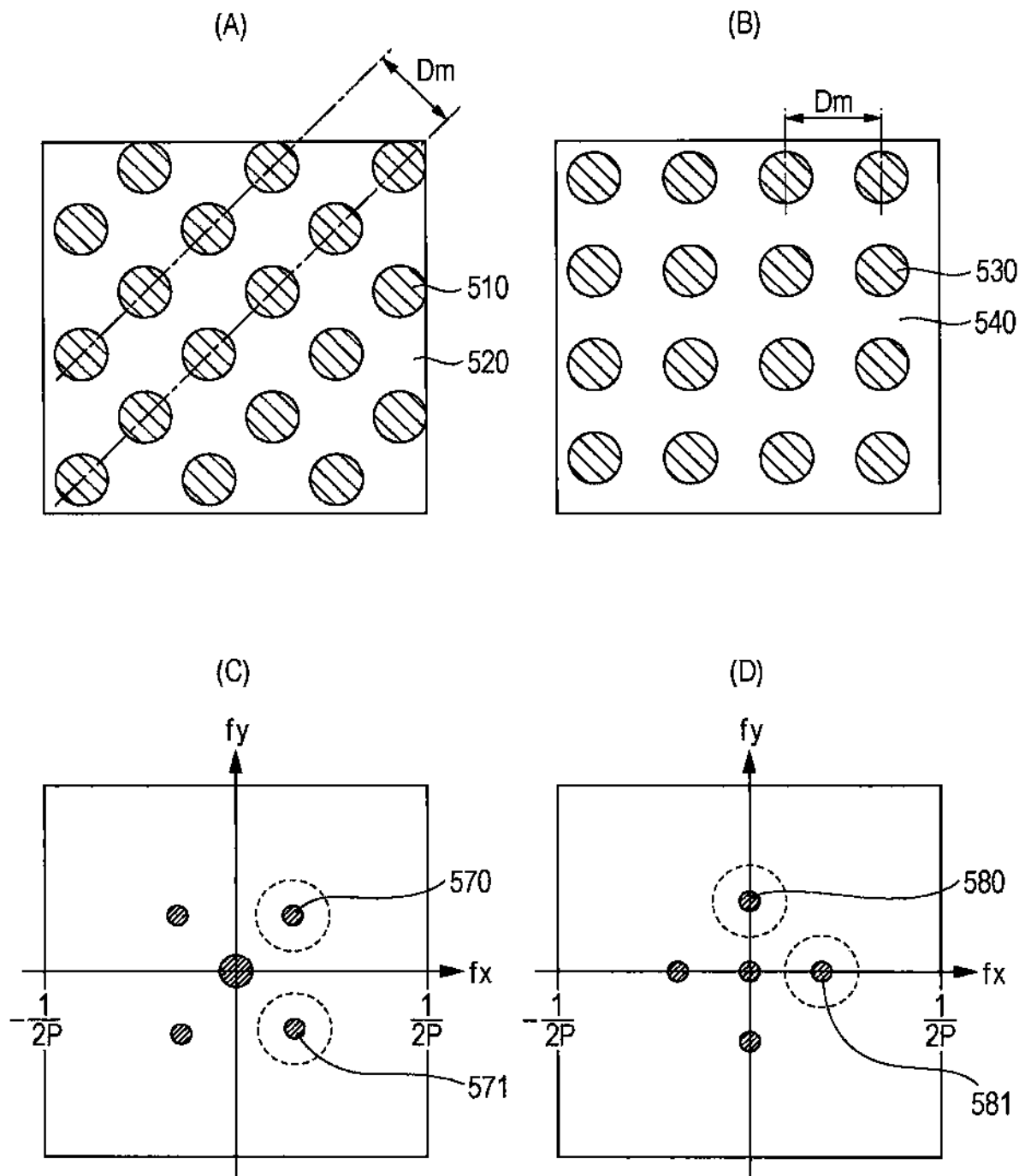
Фиг. 2



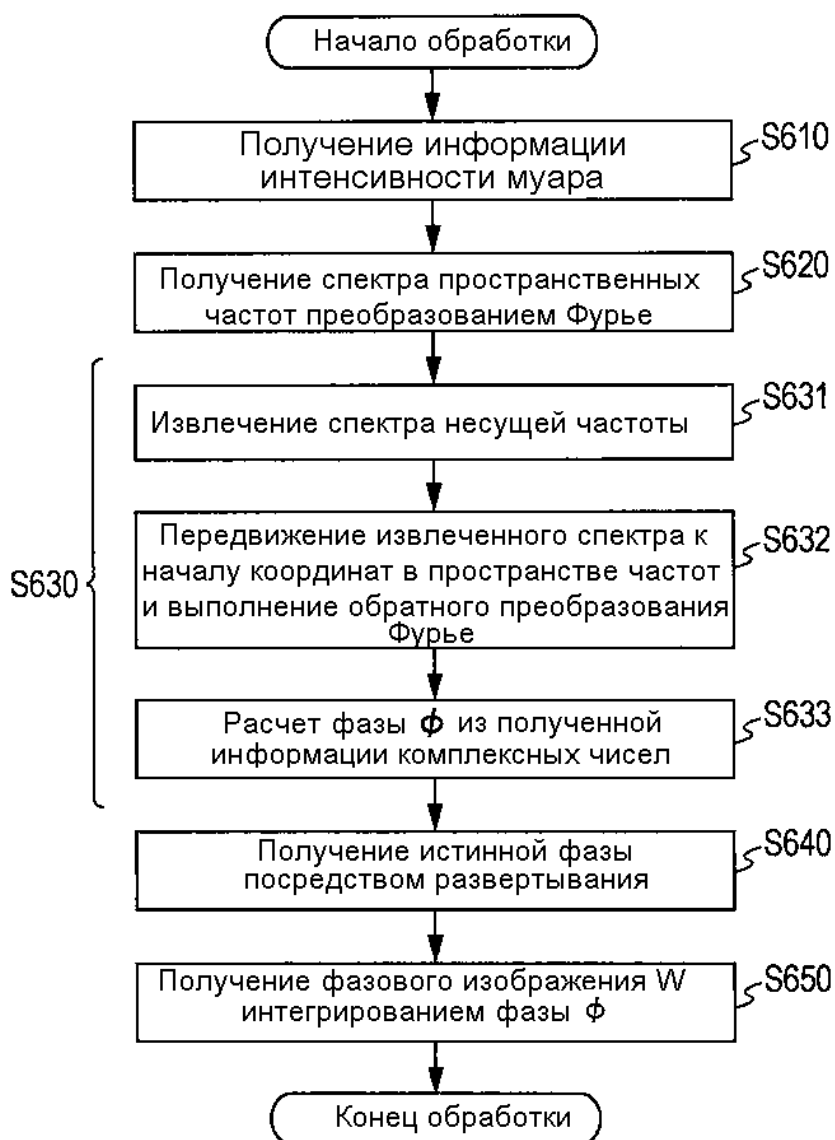
Фиг. 3



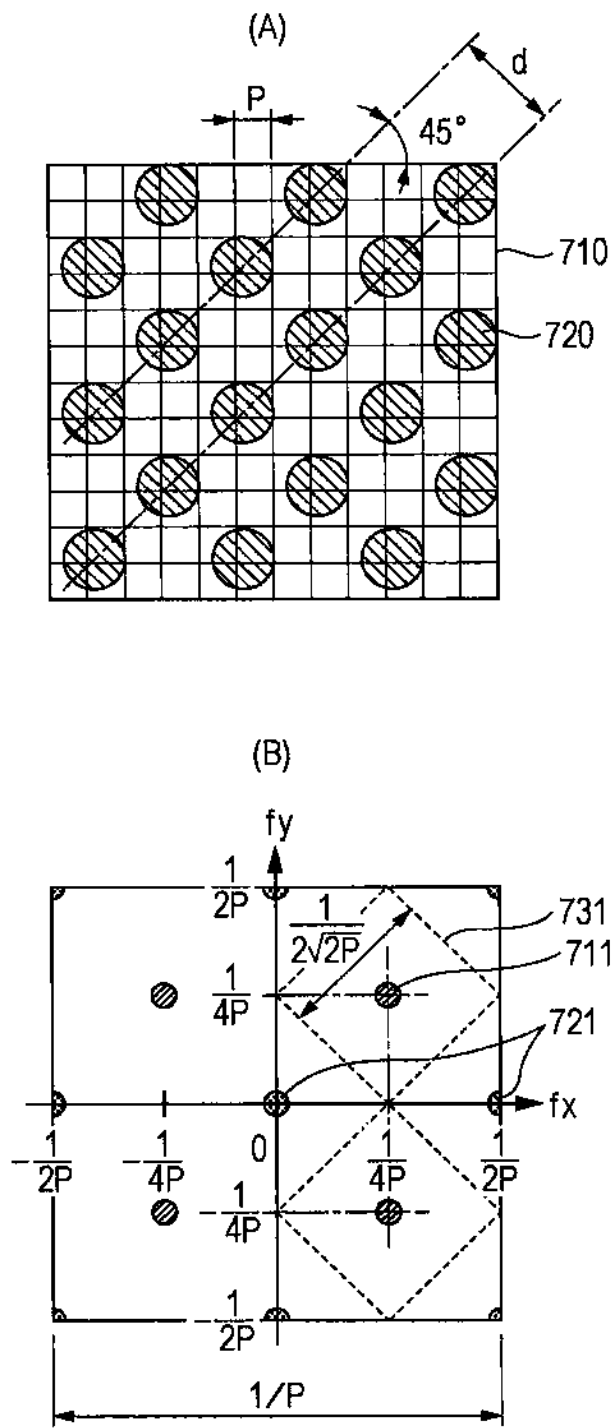
Фиг. 4



Фиг.5

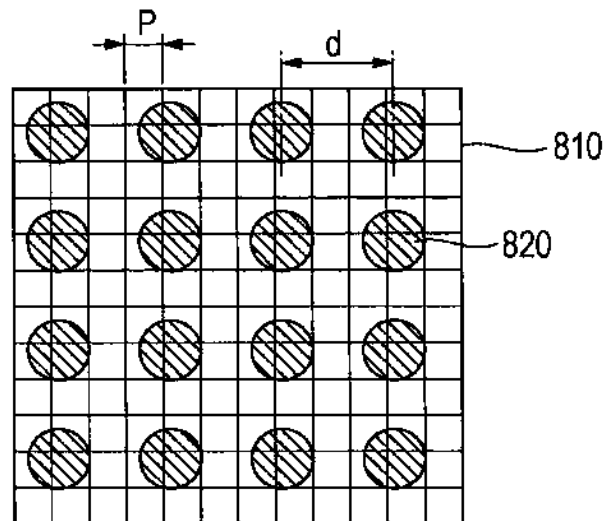


Фиг. 6

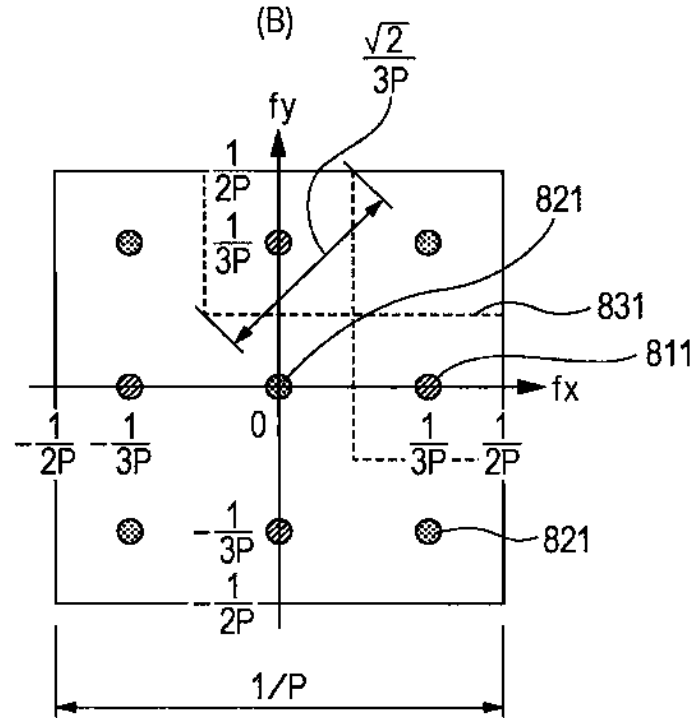


Фиг. 7

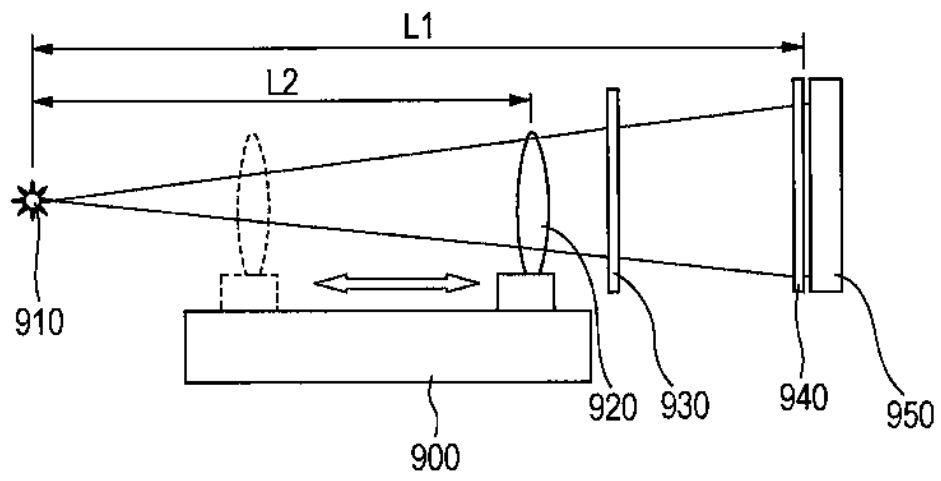
(A)



(B)



Фиг. 8



Фиг. 9