



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월29일
(11) 등록번호 10-1258927
(24) 등록일자 2013년04월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 23/04 (2006.01) A61B 6/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7011759
(22) 출원일자(국제) 2009년10월27일
심사청구일자 2011년05월26일
(85) 번역문제출일자 2011년05월24일
(65) 공개번호 10-2011-0079742
(43) 공개일자 2011년07월07일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2009/068434
(87) 국제공개번호 WO 2010/050483
국제공개일자 2010년05월06일
(30) 우선권주장
JP-P-2008-278425 2008년10월29일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2003090807 A
JP2005152500 A
JP2008026098 A

(73) 특허권자
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
(72) 발명자
오우치 치다네
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
이토 히데노스케
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
권태복

전체 청구항 수 : 총 12 항

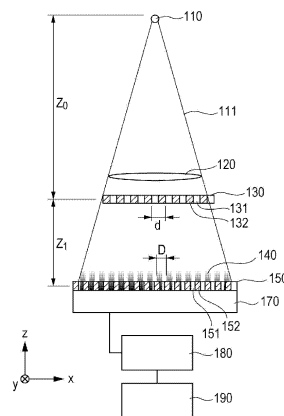
심사관 : 박재우

(54) 발명의 명칭 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법

(57) 요약

적어도 1회의 촬상으로부터, 피검체의 미분 위상상 또는 위상상을 취득할 수 있는 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법을 제공한다. 본 발명에 따른 X선 촬상장치는, 위상격자(130)와 흡수 격자(150)와 검출기(170)와 연산장치(180)를 가진다. 연산장치(180)는, 검출기에서 취득한 모아래의 강도분포를 푸리에 변환함에 의해, 공간주파수 스펙트럼을 취득하는 푸리에 변환 공정을 실행한다. 또한, 푸리에 변환 공정에 의해 얻어진 공간주파수 스펙트럼 으로부터, 캐리어 주파수에 대응한 스펙트럼을 분리하고, 역 푸리에 변환을 사용해서 미분 위상상을 취득하는 위상회복공정을 실행한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

나가이 켄타로

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2
고 캐논 가부시끼가이샤 나이

텐 도루

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2
고 캐논 가부시끼가이샤 나이

특허청구의 범위

청구항 1

피검체를 촬상하기 위한 X선 촬상장치로서,
 텔로트효과에 의한 간섭 강도분포를 형성하는 X선원으로부터의 X선을 투과시키는 위상격자;
 모아레를 생기게 하는 상기 위상격자에 의해 형성된 상기 간섭 강도분포를 부분적으로 차광하는 흡수 격자;
 상기 흡수 격자에 의해 생긴 모아레의 강도분포의 정보를 검출하는 검출기; 및
 상기 검출기에 의해 검출된 상기 모아레의 상기 강도분포의 상기 정보에 대한 푸리에 변환을 행하여서 상기 피검체의 미분 위상 상(image)의 정보를 연산하는 연산장치를 갖는, X선 촬상장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 위상격자는, 위상진행부와 위상지연부를 포함하고,
 상기 위상진행부와 위상지연부는 2차원적으로 배치되어 있고,
 상기 흡수격자는 투과부와 차광부를 포함하고,
 상기 투과부와 차광부는 2차원적으로 배치되어 있고,
 상기 검출기는, 2개의 방향으로 주기를 갖는 모아레를 검출하고,
 상기 연산장치는 상기 모아레의 상기 강도분포의 상기 정보에 대한 푸리에 변환을 행하여서 상기 2개의 방향으로 상기 미분 위상 상의 정보를 연산하는, X선 촬상장치.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 상기 연산장치는, 상기 검출기에 의한 단일 검출결과에 의해 취득한 상기 모아레의 강도분포의 상기 정보에 대한 푸리에 변환을 행하여서 상기 미분 위상 상의 상기 정보를 연산하는, X선 촬상장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 연산장치는, 상기 미분 위상 상의 정보를 적분하여 위상 상의 정보를 취득하는, X선 촬상장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
 상기 연산장치는, 상기 미분 위상 상의 상기 정보를 언랩하는(unwrap), X선 촬상장치.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 위상진행부와 상기 위상지연부는 체크 무늬 모양으로 배치되어 있는, X선 촬상장치.

청구항 7

제 2 항에 있어서,

상기 위상격자는, 상기 위상진행부를 투과한 X선과, 상기 위상지연부를 투과한 X선과의 위상차가 $\pi/2$ 또는 π 가 되도록 구성되어 있는, X선 촬상장치.

청구항 8

제 2 항에 있어서,

상기 모아래의 강도분포의 정보에 대한 푸리에 변환을 행하여 취득한 상기 모아래의 주파수 공간에 있어서, 검출기의 화소주기를 P로 했을 때에,

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

의 위치에 피크가 생기도록, 상기 위상격자, 상기 흡수 격자 및 상기 검출기가 조정되는, X선 촬상장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 흡수 격자는,

$$2\sqrt{2}P$$

의 상기 모아래의 주기를 제공하고, 상기 모아래의 주기의 방향이 상기 검출기의 화소배열에 대하여 45도로 배치되고,

상기 연산장치는, 상기 검출 결과에 대해 푸리에 변환을 행하고, 상기 모아래의 강도분포의 공간주파수 스펙트럼으로부터 상기 피크를 분리하기 위한 상기 취득한 모아래의 주파수 공간으로부터 2개의 정방형 영역을 추출하고, 상기 피검체의 상기 미분 위상상의 정보를 취득하도록 상기 2개의 정방형 영역을 사용하는 공정을 실행하고, 상기 정방형 영역 각각은, 1번이

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

이고, 상기 정방형 영역은 상기 검출기의 화소배열 방향에 대하여 45도 기울어진, X선 촬상장치.

청구항 10

제 2 항에 있어서,

상기 모아래의 강도분포의 정보에 대한 푸리에 변환을 행하여 취득한 상기 모아래의 주파수 공간에 있어서, 상기 검출기의 화소주기를 P로 했을 때에,

$$\text{주파수 좌표}(f_x, f_y) = (\pm \frac{1}{3P}, 0) \text{ 또는 } (0, \pm \frac{1}{3P})$$

의 위치에 피크가 생기도록, 상기 위상격자, 상기 흡수 격자 및 상기 검출기가 조정되는, X선 촬상장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 흡수 격자는, 상기 모아레의 주기가 3P이고 상기 모아레의 주기의 방향이 상기 검출기의 화소배열에 정렬하도록 배치되고,

상기 연산장치는, 검출결과에 대해 푸리에 변환을 행하고, 상기 모아레의 강도분포의 공간주파수 스펙트럼으로부터 상기 피크를 분리하기 위한 상기 취득한 모아레의 주파수 공간으로부터 2개의 정방형 영역을 추출하며, 상기 2개의 정방형 영역을 사용하는 공정을 실행하여, 상기 피검체의 상기 미분 위상상의 정보가 취득되고, 상기 정방형 영역 각각은 상기 검출기의 화소배열 방향에 대해 직립하고 1변이 1/(3P)인, X선 촬상장치.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 피검체를 X선의 광축방향으로 이동시키는 것이 가능한 검사물 이동 장치를 더 구비한, X선 촬상장치.

청구항 13

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, X선 촬상장치 및 X선 촬상방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] X선은 높은 물질 투과성을 갖고, 또 고공간 분해능 이미징이 가능하므로, 공업적 용도로서 물체의 비파괴 검사, 의료용도로서 린트겐 촬영 등에 이용되고 있다. 이것들은, 물체나 생체내의 구성 원소나 밀도차이에 의해 X선 투과시의 흡수의 차이를 이용해서 콘트라스트 화상을 형성하는 것이며, X선 흡수 콘트라스트법이라고 말하여진다. 그러나, 경원소에서는 X선 흡수가 대단히 작기 때문에, 생체의 구성 원소인 탄소, 수소, 산소 등으로 이루어진 생체 연조직, 혹은 소프트 머티리얼을 X선 흡수 콘트라스트법에 의해 영상화하는 것은 곤란하다.

[0003] 이에 대하여, 경원소로 구성되는 조직이라도 명료한 영상화를 가능하게 하는 방법으로서, X선의 위상차를 사용한 X선 위상 콘트라스트법의 연구가, 1990년대부터 행하여지고 있다.

[0004] 수많이 개발된 X선 위상 콘트라스트법 중에서도, 통상의 X선관을 사용하는 것이 가능한 방법으로서, 텔북간섭을 이용한 X선 위상 콘트라스트법이 있다(특허문헌 1).

[0005] 특허문헌 1에 기재된 텔북간섭을 이용한 방식은, X선을 발생하는 X선관, X선의 위상을 변조해 간섭 강도분포를 발생시키기 위한 위상격자, 및 상기 간섭 강도분포를 모아레의 강도분포로 변환하는 흡수 격자, 상기 간섭 강도분포를 검출하는 X선 검출기로 구성된다.

[0006] 특허문헌 1에 기재된 방식에서는, 흡수 격자를 격자주기 방향으로 주사함에 의해 촬상을 행한다. 이 주사에 의해, 검출되는 모아레는 이동하고, 주사량이 흡수 격자의 1주기에 달하면, 모아레 화상은 원래의 상태로 되돌아간다. 상기 주사중의 적어도 3장이상의 촬상 데이터를 사용해서 연산 처리함에 의해, 미분 위상상을 취득

한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 미국 특허 7180979호 명세서

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상기 특허문헌 1에 기재된 방법은, 적어도 3장이상의 촬상을 행하는 것에 의해 미분 위상 상(像)을 취득하고, 그 미분 위상상으로부터 위상상을 연산하는 방법이다.

[0009] 그렇지만, 특허문헌 1에 기재된 방법은 3장이상의 촬상이 필요하게 되므로, 촬상중에 피검체가 이동하면, 화질이 저하한다고 하는 문제가 있다.

[0010] 또한, 촬상시간의 장시간화는 피검체에의 X선량의 증가를 초래하여, 의료용의 용도를 고려하면 바람직하지 못하다.

[0011] 그리고, 본 발명은, 적어도 1회의 촬상으로부터, 피검체의 미분 위상상 또는 위상상을 취득할 수 있는 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법의 제공을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른 X선 촬상장치는, X선원과, 상기 X선원으로부터의 X선을 투과시킴으로써, 텅스트효과에 의한 간섭 강도분포를 형성하는 위상격자와, 상기 위상격자에 의해 형성된 간섭 강도분포의 일부를 차광함에 의해 모아레를 생기게 하는 흡수 격자와, 상기 흡수 격자에 의해 생긴 모아레의 강도분포를 검출하는 검출기와, 상기 검출기에 의해 검출된 모아레의 강도분포로부터 피검체의 정보를 화상화하고, 출력하는 연산장치를 갖고, 상기 연산장치는, 상기 검출기에서 취득한 모아레의 강도분포를 푸리에(Fourier) 변환함에 의해, 공간주파수 스펙트럼을 취득하는 푸리에 변환 공정과, 상기 푸리에 변환 공정에 의해 얻어진 공간주파수 스펙트럼으로부터, 캐리어 주파수에 대응한 스펙트럼을 분리하고, 역 푸리에 변환을 사용해서 미분 위상상을 취득하는 위상회복공정을 실행하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 의하면, 적어도 1회의 촬상으로부터, 피검체의 미분 위상상 또는 위상상을 취득할 수 있는 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 실시예1에 관련되는 X선 촬상장치를 설명하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예2 및 3에 관련되는 2차원 위상격자를 설명하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예1 및 2에 관련되는 2차원 흡수 격자를 설명하는 도면이다.

도 4는 간섭 강도분포의 스펙트럼 패턴을 나타내고 있는 도면이다.

도 5는 2차원 위상격자를 사용했을 경우의 모아레의 강도분포 및 스펙트럼 패턴을 나타내고 있는 도면이다.

도 6은 본 발명의 연산장치로 실시하는 해석 방법의 흐름도를 설명하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예2에 관련되는 모아레의 강도분포 및 공간주파수 스펙트럼을 설명하는 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예3에 관련되는 모아레의 강도분포 및 공간주파수 스펙트럼을 설명하는 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예4에 관련되는 줌(zoom) 기구를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] (실시예1)

[0016] 텔로프간섭을 사용한 X선 활상장치의 구성의 일례를 도 1에 나타낸다. X선 활상장치를 사용해서 위상상을 얻은 때까지의 공정을 구체적으로 설명한다.

[0017] (X선원)

[0018] X선원(110)으로부터 발생한 X선(111)이 피검체(120)를 투과한다. X선(111)은, 피검체(120)를 투과할 때에, 피검체(120)의 조성이나 형상등에 따른 위상의 변화 및 흡수를 보인다.

[0019] X선으로서, 연속 X선을 사용해도 특성 X선을 사용해도 된다. 또한, 파장으로서, 0.1Å 내지 5Å 정도로부터 적당하게 선택된다. 또한, X선원(110)의 뒤에, 파장선택 필터나 선원용의 격자를 적당하게 설치해도 된다.

[0020] (위상격자)

[0021] 상기 피검체(120)를 투과한 X선(111)은, 위상격자(130)를 투과하면, 텔로프효과에 의해 간섭 강도분포(140)를 형성한다.

[0022] 위상격자(130)는, 피검체(120)보다도 상류측 또는 하류측에 배치된다.

[0023] 위상격자(130)는, X선 투과부재의 두께를 주기적으로 변화시켜서 구성된 위상진행부(131)와 위상지연부(132)로 이루어진다. 위상진행부(131)와 위상지연부(132)는, 투과한 X선에 대하여 위상차가 나도록 형성되어 있으면 좋다. 예를 들면, 위상진행부(131)를 투과한 X선의 위상이 위상지연부(132)를 투과한 X선의 위상에 대하여 π 만큼 진행하도록 구성되어 있다. 두께의 변화량은, 사용하는 X선의 파장 및 부재에 의해 결정된다.

[0024] 위상격자(130)는, 위상지연부(132)를 투과한 X선의 위상에 대하여, 위상진행부(131)를 투과한 X선의 위상이 π , 또는 $\pi/2$ 변조하는 것이 일반적이다. 전자를 π 위상격자, 후자를 $\pi/2$ 위상격자라고 칭하는 경우도 있다. 다만, 위상의 변조량은, 주기적이면 좋고, 예를 들면 $\pi/3$ 변조하는 것이라도 된다.

[0025] 위상격자(130)는, 1차원의 선상형상이라도 좋고, 도 2a에 나타나 있는 바와 같은 2차원의 체크 무늬로 구성되어 있어도 된다. 또한, 도 2b에 나타나 있는 바와 같은 격자형 모양으로 구성되어 있어도 된다. 도 2에 있어서, d는 주기이며, 201은 2차원 위상격자, 210은 위상진행부, 220은 위상지연부를 나타내고 있다.

[0026] 또한, 위상진행부(210) 또는 위상지연부(220)의 형상은, 도 2a 및 도 2b에서는 정방형이지만, 제작상, 외측 가장자리가 원형 모양으로 변형하는 경우도 있다. 이렇게 원형 모양으로 변형했을 경우에도, 위상격자로서 이용하는 것이 가능하다.

[0027] 위상격자(130)가 1차원의 주기를 갖는 경우에는, 피검체(120)의 1차원방향의 위상 경사 정보밖에 취득할 수 없다. 그러나, 위상격자(130)가 2차원의 주기를 갖는 경우에는, 2차원 방향의 위상 경사정보를 취득할 수 있는 점에서 유리하다.

[0028] 또한, 위상격자(130)를 구성하는 재료는 X선을 투과하는 물질이 바람직하고, 예를 들면 실리콘 등을 사용할 수 있다.

[0029] 위상격자(130)의 투과 후에 형성된 간섭 강도분포는, X선원과 위상격자(130)와의 거리 Z_0 로 하면, 흡수 격자(150)로부터의 거리 Z_1 이 하기의 식(1)을 충족시키고 있는 위치에 가장 명료하게 드러난다. 여기에서, 「간섭 강도분포」란, 상기 위상격자(130)의 격자주기를 반영한 주기적 강도분포의 의미다.

[0030] 식(1)에 있어서, λ 는 X선의 파장, d는 위상격자(130)의 격자주기다.

[0031] [수 1]

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

[0032]

- [0033] N은 위상격자의 형태에 의해 다른 값이며, 아래와 같이 표현할 수 있는 실수다. 또한, n은 자연수다.
- [0034] 1 차원 배열 π 위상격자: $N=n/4-1/8$
- [0035] 1 차원 배열의 $\pi/2$ 위상격자: $N=n-1/2$
- [0036] 2 차원 배열의 체크 무늬 π 위상격자: $N=n/4-1/8$
- [0037] 2 차원에서 체크 무늬 $\pi/2$ 위상격자: $N=n/2-1/4$
- [0038] (흡수 격자)
- [0039] 간섭 강도분포의 주기는, 일반적으로 X선 검출기(170)의 화소 사이즈보다 작기 때문에, 그대로로는 간섭 강도분포를 검출할 수 없다. 그래서, 흡수 격자(150)를 사용함으로써, X선 검출기(170)의 화소 사이즈보다 큰 주기의 모아레를 발생시켜, 모아레의 강도분포를 X선 검출기(170)에서 검출한다. 흡수 격자(150)는, 위상격자(130)로부터 거리 Z_1 만큼 떨어진 위치에 설치하는 것이 바람직하다.
- [0040] 흡수 격자(150)는, 주기적으로 배열한 투과부(151)와 차광부(152)를 갖고, 위상격자(130)에서 형성된 간섭 강도분포(140)의 명(明)부의 일부를 차광하도록 배치된다. 또한, 투과부(151)는 X선의 일부가 투과 가능하게 구성되어 있으면 좋고, 개구가 관통하고 있을 필요는 없다. 흡수 격자(150)를 구성하는 재료는, X선을 잘 흡수하는 물질이면 좋고, 예를 들면 금을 사용할 수 있다.
- [0041] 여기에서, 흡수 격자(150)의 주기는, 간섭 강도분포와 동일, 또는 약간 다르다.
- [0042] 간섭 강도분포와 동일주기를 갖는 흡수 격자를 사용했을 경우, 흡수 격자의 면내회전에 의해 모아레가 발생한다. 간섭 강도분포의 주기를 D, 간섭 강도분포의 명암의 방위와 흡수 격자의 방위가 이루는 각을 θ (단, $\theta < 1$)라고 하면, 모아레의 주기 D_m 은, D/θ 이 된다.
- [0043] 한편, 간섭 강도분포와 약간 다른 주기를 갖는 흡수 격자를 사용했을 경우, 흡수 격자의 면내회전을 행하지 않고 모아레가 발생한다. 흡수 격자의 주기를 $D_a=D+\delta$ (단, $\delta \ll D$)라고 하면, 모아레의 주기 D_m 은, D^2/δ 이 된다.
- [0044] 흡수 격자(150)에 있어서, 투과부(151)는, 1차원적으로 배열되어 있어도 되고, 또 2차원적으로 배열되어 있어도 된다.
- [0045] 예를 들면, 도 2a에 나타낸 체크 무늬형의 위상격자이며, π 위상격자를 사용했을 경우에는, 도 3a와 같이 투과부(351)와 차광부(352)가 2차원적으로 배열되어 있는 격자형 흡수 격자(300)를 사용한다. 또한, 도 2a에 나타낸 체크 무늬형의 $\pi/2$ 위상격자를 사용했을 경우에는, 도 3b와 같이 투과부(351)와 차광부(352)가 2차원적으로 배열되어 있는 체크 무늬형의 흡수 격자(300)를 사용한다.
- [0046] 또한, 상기의 조합은 일례이며, 위상격자와 흡수 격자는 여러 가지 조합이 가능하다.
- [0047] (검출기)
- [0048] 상기 흡수 격자(140)를 투과한 X선의 간섭 강도분포의 정보는 모아레의 강도분포로서, X선 검출기(170)에 의해 검출된다. X선 검출기(170)는, X선의 간섭 강도분포의 정보를 검출할 수 있는 소자다. 예를 들면, 디지털 신호로의 변환이 가능한, FPD(Flat Panel Detector)등을 사용할 수 있다.
- [0049] (연산장치)
- [0050] 상기 X선 검출기(170)에서 검출된 모아레의 강도분포의 정보는, 후술하는 해석 방법에 의한 연산장치(180)에 의해 해석되어, 미분 위상상이나 위상상을 화상화한다. 취득된 미분 위상상이나 위상상은, 표시부(190)에 표시하기 위한 출력 화상이다. 연산장치(180)는, 예를 들면 CPU(Central Processing Unit)를 가진다.
- [0051] 이하, 검출기에서 취득되는 모아레의 강도분포 정보로부터 위상상을 취득하는 해석 방법에 관하여 설명하고, 그 후에 연산장치로 행하는 처리 공정에 관하여 설명한다.
- [0052] (해석 방법)
- [0053] 간섭 강도분포가 형성될 때는 다수의 회절광이 겹쳐서 간섭하기 때문에, 기본주파수(이후, 캐리어 주파수라고 부른다)와 수많은 그 고조파성분을 포함하고 있다. 그러나, 모아레는 간섭 강도분포의 캐리어 주파수 성분을 공간적으로 확대한 형상을 가지므로, 각선(刻線)이 x축에 직교하는 1차원의 위상격자를 사용했을 경우에

모아레는 (2)식으로 나타낼 수 있다.

[수 2]

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

또한, 2차원의 위상격자를 사용했을 경우에는, (2)식에 y방향의 캐리어 주파수성분이 중첩한 형상이 된다.

(2)식은, 모아레가, 백그라운드(background)의 제1항과, 주기성을 가진 제2항과의 합으로 나타내는 것을 보이고 있다. 여기에서, $a(x, y)$ 은 백그라운드를 표현하고, $b(x, y)$ 는 캐리어 주파수성분의 진폭을 나타낸다. 또한, f_0 는 간섭무늬의 캐리어 주파수를 나타내고, $\phi(x, y)$ 는 캐리어 주파수성분의 위상을 나타내고 있다.

캐리어 주파수성분은, 위상격자(130)로서 체크 무늬형의 $\pi/2$ 위상격자를 사용한 경우에는, 0차 회절광과 +1차 회절광의 간섭, 및 0차 회절광과 -1차 회절광의 간섭에 의해 생긴다. 또한, 위상격자(130)로서 체크 무늬형 π 위상격자를 사용한 경우에는 +1차 회절광과 -1차 회절광의 간섭에 의해 캐리어 주파수성분이 생긴다.

0차 회절광과 1차 회절광은, 위상격자(130)에서 서로 Nd 만큼 떨어진 위치에 있는 광선이 겹치고, +1차 회절광과 -1차 회절광은 위상격자(130)에서 서로 $2Nd$ 만큼 떨어진 위치에 있는 광선이 겹친다. 즉, 이것들의 간섭은 $\pi/2$ 위상격자의 경우는 시어량 s 가 Nd , π 위상격자의 경우는 시어량 s 가 $2Nd$ 의 시어링 간섭이다.

따라서, 위상격자(130)의 위치에 있어서의 피검체(120)의 위상상을 $W(x, y)$ 로 하면, 위상 $\phi(x, y)$ 와 위상 $W(x, y)$ 는 다음식의 관계가 있다.

[수 3]

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

일반적으로, s 는 미소하므로,

[수 4]

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

이 된다.

여기에서, (3)식으로부터 위상 $\phi(x, y)$ 는 피검체(120)의 위상상 $W(x, y)$ 을 미분한 정보로 되어 있는 것을 안다. 따라서, 피검체(120)의 위상상 $W(x, y)$ 은 $\phi(x, y)$ 을 적분하여 구할 수 있다.

그런데, 위상 $\phi(x, y)$ 은, (2)식으로부터 푸리에 변환법으로 구할 수 있다. 즉, (2)식은

[수 5]

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

로 써서 표현할 수 있다. 여기에서

[수 6]

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

이다.

따라서, 간섭무늬로부터 $c(x, y)$ 의 성분 또는 $c^*(x, y)$ 의 성분을 추출하는 것에 의해, 위상 $\phi(x, y)$ 의 정보를 얻는 것이 가능해진다.

[0076] 여기에서, 푸리에 변환에 의해 (4)식은

[수 7]

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

[0078]

[0079] 이 된다.

[0080] 여기에서, $G(f_x, f_y)$, $A(f_x, f_y)$, $C(f_x, f_y)$ 는, 각각 $g(x, y)$, $a(x, y)$, $C(x, y)$ 에 대한 이차원의 푸리에 변환이다.

[0081] 도 4는, 1차원 격자를 사용했을 경우의 간섭 강도분포의 스펙트럼 패턴이다. 보통, 도 4와 같이 3개의 피크가 생긴다. 중앙의 피크는, 주로 $A(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크다. 한편, 그 양편의 피크는 각각 $C(f_x, f_y)$ 와 $C^*(f_x, f_y)$ 에 유래하는 캐리어 주파수 피크이며, 이것들의 피크는 $\pm f_0$ 의 위치에 생긴다.

[0082] 다음에, $C(f_x, f_y)$ 혹은 $C^*(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크의 어떤 영역을 추출한다. 예를 들면, $A(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크와, $C(f_x, f_y)$ 혹은 $C^*(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크의 주위를 추출하는 것에 의해, $C(f_x, f_y)$ 혹은 $C^*(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크를 분리한다.

[0083] 다음에, 분리한 $C(f_x, f_y)$ 혹은 $C^*(f_x, f_y)$ 에 유래하는 피크를 주파수공간의 원점으로 이동시켜, 역 푸리에 변환을 행한다. 그리고, 역 푸리에 변환에 의해 얻어진 복소수 정보로부터 위상 $\phi(x, y)$, 즉 미분 위상정보를 얻는다.

[0084] 또한, 도 5a는, 체크 무늬의 $\pi/2$ 위상격자(도 2a)와, 격자형의 흡수 격자(도 3a), 또는, 체크 무늬의 흡수 격자(도 3b)를 사용했을 경우의 모아레의 강도분포의 예이며, 510은 모아레의 명부, 520은 모아레의 암부다. 또한, 체크 무늬의 π 위상격자(도 2a)와, 체크 무늬의 흡수 격자(도 3b)를 사용했을 경우에도, 이러한 경사 방향으로 모아레의 강도분포가 생긴다.

[0085] 또한, 도 5b는, 체크 무늬의 π 위상격자(도 2a)와, 격자형의 흡수 격자(도 3a)를 사용했을 경우의 모아레의 강도분포이며, 530은 모아레의 명부, 540은 모아레의 암부다. 이 경우, 종횡 방향으로 모아레의 강도분포가 생긴다.

[0086] 또한, 격자형의 위상격자(도 2b)를 사용하여, 상기와 같은 모아레의 강도분포를 얻을 수도 있다.

[0087] 도 5c, d는, 각각, 도 5a, b에서 나타낸 모아레의 강도분포를 푸리에 변환의 일종인 FFT(Fast Fourier Transform)처리함으로써 얻어진 공간주파수 스펙트럼이다. FFT로 산출가능한 최대 공간주파수는, X선 검출기(170)의 화소주기를 P라고 하면 $1/(2P)$ 이다.

[0088] 각각, 직교하는 위치에 있는 2개의 피크 570과 571 및 580과 581의 주위를, 상기의 1차원의 경우와 마찬가지로 추출하고, 각각 원점으로 이동시켜 역 푸리에 변환을 행한다. 파선은 추출된 영역을 보이고 있다. 그리고, 역 푸리에 변환에 의해 얻어진 복소수 정보로부터, 직교하는 2방향의 미분 위상정보를 얻는다.

[0089] 여기에서, 도 5c의 경우는, $\pm 45^\circ$ 방향의 미분 위상정보가 되고, 도 5d의 경우는 X 및 Y방향의 미분 위상정보가 된다.

[0090] 이렇게하여 얻어진 미분 위상정보는, 2π 의 영역의 사이에 접어 넣어져 있다(랩(wrap)되어 있다) 것이 많다. 즉, 어떤 화면상의 임의의 점에 있어서의 참된 위상을 $\phi(x, y)$ 로 하여 접어 넣어진 위상을 $\phi_{\text{wrap}}(x, y)$ 이라고 하면

[0091] [수 8]

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

[0092]

[0093] 의 관계가 된다. 여기에서 n 은 정수이며, $\phi_{\text{wrap}}(x, y)$ 이 어떤 2π 의 폭을 가진 영역, 예를 들면 0으로부터 2π

나 $-\pi$ 로부터 $+\pi$ 의 사이에 들어가도록 결정된다

[0094] 이들의 정보에 의해, $\phi(x, y)_{\text{wrap}}$ 의 위상접속(언랩)을 행한 원래의 $\phi(x, y)$ 로 복원한다.

[0095] 피검체의 위상상 $W(x, y)$ 은 식(8)에 의해 복원한 $\phi(x, y)$ 를 적분해서 구할 수 있다.

[0096] [수 9]

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

[0097]

[0098] 1차원 격자를 사용한 경우에는, 적분방향이 격자 각선 방향과 직교하는 방향으로만 할 수 없다. 그 때 문에, 위상상 $W(x, y)$ 를 정확하게 계측하기 위해서는, X선 검출기(170)의 상기 각선방향과 평행한 1변에 피검체(120)를 통과하지 않는 X선이 조사되도록 해서 위상상 $W(x, y)$ 이 기지의 부분을 설치할 필요가 있다.

[0099] 한편, 2차원 격자를 사용한 경우에는, 2방향의 적분을 할 수 있으므로 X선 검출기(170) 전체면에 피검체(120)를 통과한 X선이 조사되어도 정확하게 위상상 $W(x, y)$ 를 계측할 수 있다.

[0100] (연산장치에서 행하는 처리 공정)

[0101] 상기를 근거로 하여, 상기 연산장치(180)에 있어서 실행하는 처리 흐름의 일례를 도 6에 나타낸다.

[0102] 우선, 상기 X선 검출기(170)로부터 모아레의 강도분포의 정보를 취득한다(S610).

[0103] 다음에, S610에서 얻어진 모아레의 강도분포의 정보를 푸리에 변환하고, 공간주파수 스펙트럼을 취득하는 푸리에 변환 공정을 행한다(S620).

[0104] 다음에, S620에서 얻어진 주파수공간에 있어서, 캐리어 주파수에 대응한 스펙트럼(위상정보를 갖는 스펙트럼)을 추출하는 피크 분리 공정을 행한다(S631). 또한, 캐리어 주파수에 대응한 스펙트럼 자체를 추출하는 것이 어려운 경우에는, 스펙트럼의 주변영역의 정보를 추출한다.

[0105] 다음에, S631에서 추출된 스펙트럼을 주파수공간의 원점으로 이동시키고, 역 푸리에 변환을 행한다(S632). 이에 따라, 위상정보를 가진 복소수 정보를 얻을 수 있다.

[0106] 다음에, S632에서 얻어진 복소수 정보로부터 미분 위상상인 위상 $\phi(x, y)$ 을 얻는다(S633). 또한, S631, S632, S633을 위상회복공정이라고 하는 경우도 있다(S630).

[0107] 다음에, $\phi(x, y)$ 가 랩되어 있는 경우에는, 언랩 처리를 행하여, 참된 $\phi(x, y)$ 을 얻는다(S640). 이것을 위상접속 공정이라고 하는 경우도 있다. 또한, $\phi(x, y)$ 이 랩되지 않고 있는 경우에는 이 S640을 생략하는 것도 가능하다. 여기에서, $\phi(x, y)$ 는 미분 위상정보(미분 위상상)다.

[0108] 다음에, $\phi(x, y)$ 를 적분함에 의해, 위상상 $W(x, y)$ 을 취득한다(S650).

[0109] 이상과 같은 구성에 의하면, 적어도 1장의 촬상으로부터, 피검체의 위상상을 취득할 수 있는 X선 촬상 장치 및 X선 촬상방법을 제공하는 것이 가능해진다. 또한, 상기의 공정을 컴퓨터에 실행시키는 프로그램을 제공하는 것도 가능해진다.

[0110] (실시예2)

[0111] 본 발명에 의한 X선 촬상장치의 제2의 실시예를 도 7을 사용하여 설명한다. 본 실시예에서는 실시예1에서 설명한 도 5c의 공간주파수 스펙트럼보다도 공간분해능을 향상시키는 생각이 이루어진다.

[0112] 도 7b는, 본 실시예에서 설명하는 공간주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이러한 주파수 스펙트럼을 얻기 위해서는 간섭 강도분포와 흡수 격자로 생기는 2차원의 모아레의 기본주기를 X선 검출기의 화소주기의

[0113] [수 10]

$$2\sqrt{2} \text{ 배}$$

[0114]

[0115] 로 해서, 모아레의 방위를 화소배열에 대하여 45도 기울이도록 조정한다.

[0116] 도 7a는, 이러한 상태에 있어서의 X선 검출기상의 모아레의 강도분포를 보이고 있는 도면이다. 710은 X

선 검출기의 수광면, 720은 모아레의 명부, d는 모아레의 주기, P는 X선 검출기의 화소주기다. 또한, 본 실시예에서는, 체크 무늬의 $\pi/2$ 위상격자(도 2a)와, 체크 무늬의 흡수 격자(도 3b)를 사용하고 있다. 다만, 발생하는 모아레의 강도분포가 동일하면, 다른 위상격자 및 흡수 격자를 사용해도 된다.

도 7b는 도 7a의 모아레의 강도분포를 FFT처리 함으로써 얻어진 공간주파수 스펙트럼이다. 화소배열수를 중형과 함께 n이라고 하면, FFT에 의해 얻어진 스펙트럼 공간도 $n \times n$ 의 이산적인 데이터가 된다. 또한, 표현할 수 있는 최대의 주파수는, X선 검출기(170)의 화소주기를 P로 하여서 $1/(2P)$ 이다.

본 실시예에서는, 모아레의 기본주기는

[수 11]

$$2\sqrt{2}P$$

이기 때문에 그 주파수인 캐리어 주파수의 절대치는

[수 12]

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

이 된다. 또한, 모아레의 방위가 45도 기울어져 있으므로, 스펙트럼 공간상에서

[수 13]

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

의 위치에 모아레의 강도분포의 캐리어 주파수에 대응하는 피크인 캐리어 피크(711)가 생긴다.

4개의 캐리어 피크(711) 중 인접하는 2개의 피크에 대해서, 1번이

[수 14]

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

인 45도 기울어진 정방형 영역을 추출해서 실시예1에 기재된 처리를 하면 피검체의 위상상을 복원할 수 있다.

이 때, 스펙트럼 영역을 가능한 한 넓게 추출하는 것으로 공간분해능을 크게 할 수 있다. 그렇지만, 스펙트럼 공간에는 캐리어 주파수의 피크의 이외에, 캐리어 주파수성분의 피크 좌표의 합 또는 차이의 위치에 고주파성분과 DC성분의 피크인 불필요 피크(721)가 존재한다.

추출 영역을 지나치게 넓히는 것에 의해, 이것들의 불필요 피크(721) 부근의 영역까지 포함시켜버리면, 불필요 피크(721)의 영향으로 정확한 위상상이 얻어질 수 없게 된다. 따라서, 추출하는 스펙트럼 영역은, 캐리어 주파수의 피크와 불필요 피크(721)의 중간선보다 내측의 추출 영역(731)으로 한다.

본 실시예에서 복원할 수 있는 위상상의 공간주파수는, 추출 영역(731)의 크기의 1/2이다. 따라서, 도 7b를 보아서 알 수 있듯이 화소배열 방향의 최대주파수는 $1/(4P)$, 45도 방향의 최대주파수는

[수 15]

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

이다. 이것을 분해능으로서 복원할 수 있는 최소 주기를 화소단위로 표현하면, 최대주파수의 역수가 되므로 화소배열 방향으로 4화소, 45도 방향으로,

[수 16]

$$4\sqrt{2} \text{ 화소} \approx 5.7 \text{ 화소}$$

[0139]

[0140] 다. 도 5c의 추출 영역과 비교하면, 도 7b의 추출 영역쪽이, 도 5c의 추출 영역보다도 넓기 때문에, 복원할 수 있는 공간주파수가 크다. 따라서, 본 실시예에 의하면, 상기 실시예와 비교해서 공간분해능을 향상시키는 것이 가능해진다.

[0141] (실시예3)

[0142] 본 발명에 의한 X선 촬상장치의 제3의 실시예를 도 8을 사용하여 설명한다. 본 실시예도, 실시예1에서 설명한 도 5d의 공간주파수 스펙트럼보다도 공간분해능을 향상시키는 연구가 이루어진다.

[0143] 도 8b는, 본 실시예에서 설명하는 공간주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이러한 주파수 스펙트럼을 얻기 위해서는 간섭 강도분포와 흡수 격자로 생기는 2차원의 모아레의 기본주기를 X선 선 검출기의 화소주기의 3배로 해서, 모아레의 방위를 화소배열에 일치시킨다.

[0144] 도 8a는, 이러한 상태에 있어서의 X선 검출기상의 모아레의 강도분포를 보이고 있는 도면이다. 810은 X선 검출기의 수광면, 820은 모아레의 명부, d는 모아레의 주기, P는 X선 검출기의 화소주기다. 또한, 본 실시예에서는, 체크 무늬형 π 위상격자(도 2a)와, 격자형의 흡수 격자(도 3a)를 사용하고 있다. 다만, 발생하는 모아레의 강도분포가 동일하면 다른 위상격자 및 흡수 격자를 사용해도 된다.

[0145] 도 8a는 도 8b에 나타낸 모아레의 강도분포를 FFT처리 함으로써 얻어진 공간주파수 스펙트럼이다. 본 실시예에서는, 모아레의 기본주기는 3P이기 때문에, 그 캐리어 주파수의 절대치는 $1/(3P)$ 가 된다. 따라서, 스펙트럼 공간상에서

[0146] [수 17]

$$\text{주파수 좌표}(f_x, f_y) = (\pm \frac{1}{3P}, 0) \text{ 또는 } (0, \pm \frac{1}{3P})$$

[0147]

[0148] 의 모아레의 강도분포의 캐리어 주파수에 대응하는 피크인 캐리어 피크(811)가 생긴다. 실시예2와 마찬가지로 4개의 캐리어 피크(811) 중 인접하는 2개의 피크 중, 1번이 $1/(3P)$ 의 정립한 정방형영역을 추출해서 실시예1에 기재된 처리를 하면 피검체의 위상상을 복원할 수 있다.

[0149] 본 실시예에서도 스펙트럼 공간에는 캐리어 주파수의 피크의 이외에, 캐리어 주파수성분의 피크 좌표의 합 또는 차이의 위치에 고주파성분과 DC성분의 피크인 불필요 피크(821)가 존재한다. 그 때문에, 추출하는 스펙트럼 영역은, 캐리어 주파수의 피크와 불필요 피크(821)의 중간선보다 내측의 추출 영역(831)으로 하고 있다.

[0150] 본 실시예에서 복원할 수 있는 위상상의 공간주파수는, 추출 영역(831)의 크기의 1/2이다. 따라서, 도 8b로부터, 화소배열 방향의 최대주파수는 $1/(6P)$, 45도 방향의 최대주파수는

[0151] [수 18]

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

[0152]

[0153] 이다. 이것을 분해능으로서 복원할 수 있는 최소주기를 화소단위로 표현하면, 최대주파수의 역수가 되므로 화소배열 방향으로 6화소, 45도 방향으로

[0154] [수 19]

$$3\sqrt{2} \text{ 화소} \approx 4.2 \text{ 화소}$$

[0155]

[0156] 이다. 따라서, 화소배열에 대하여 45도 방향의 공간분해능에 있어서, 본 실시예는 실시예2보다도 뛰어나다.

[0157] (실시예4)

[0158] 본 발명에 의한 X선 촬상장치의 제3의 실시예를 도 9를 사용하여 설명한다. 본 실시예의 X선 촬상장치

는, 실시예1로부터 3에 기재된 X선 촬상장치에 검사물 이동 장치(900)를 장비한 것이다. 검사물 이동 장치(900)에 의해 피검체(920)를 X선의 광축방향으로 이동시킬 수 있다.

[0159] X선 검출기에 있어서의 피검체(920)의 촬상배율은, X선원(910)과 흡수 격자(940)의 거리를 $L1$, X선원(910)과 흡수 격자(940)의 거리를 $L2$ 라고 하면, $L1/L2$ 가 된다.

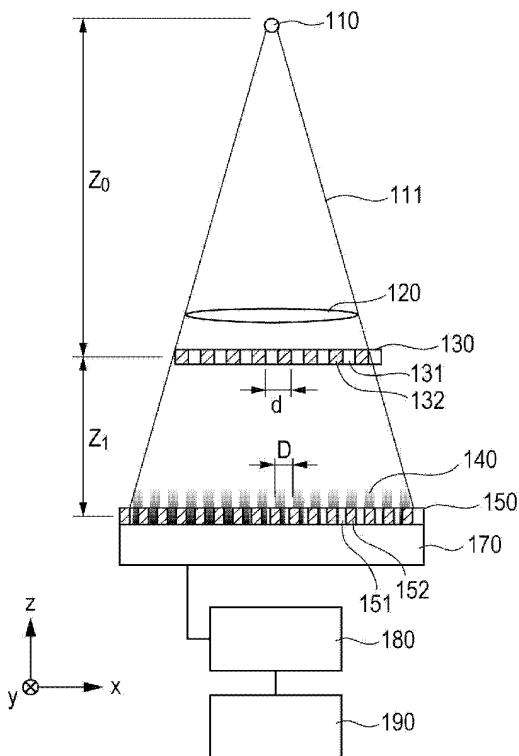
[0160] 그 때문에, 피검체(920)를 위상격자(930)에 가까이 하면 $L2$ 가 커지기 때문에 저배율로 촬상할 수 있다. 한편, X선원(910)에 가까이 하면 $L2$ 가 작아지므로 고배율로 촬상할 수 있다.

부호의 설명

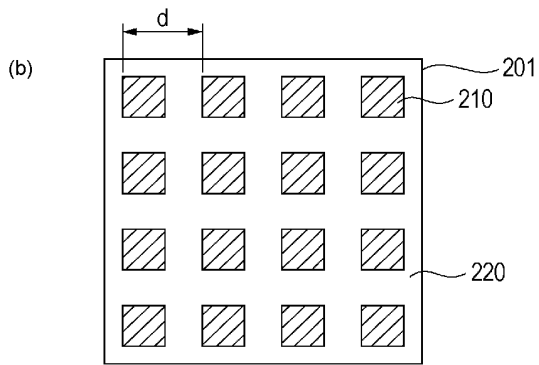
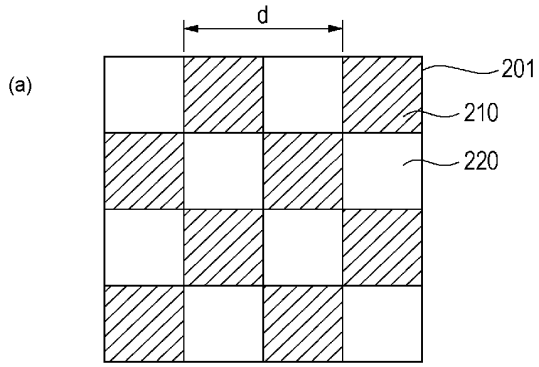
- [0161] 110: X선원
111: X선
120: 피검체
130: 위상격자
150: 흡수 격자
151: 투과부
152: 차광부
170: X선 검출기
180: 연산장치

도면

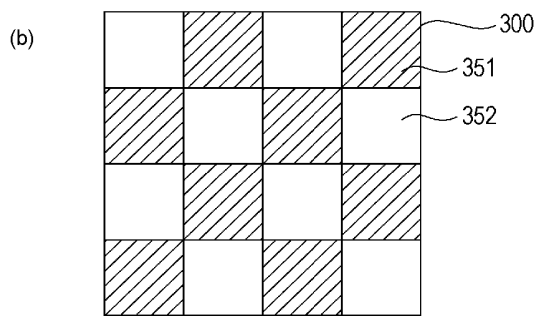
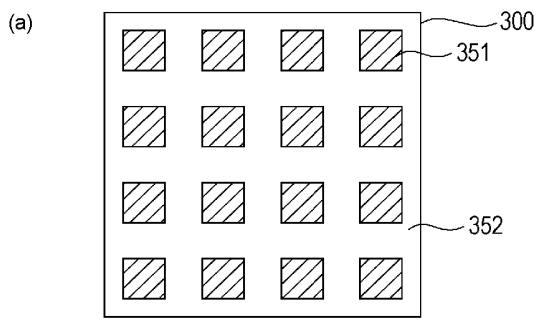
도면1



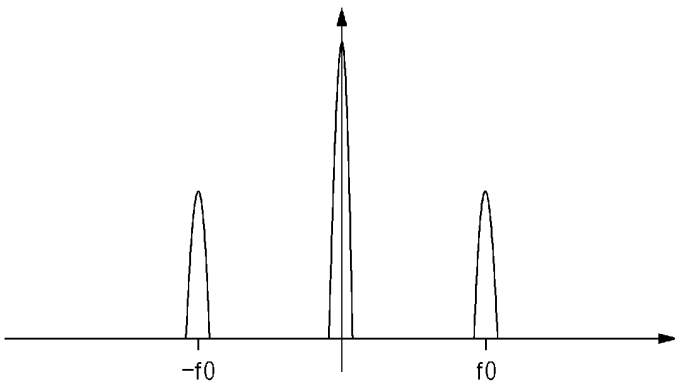
도면2



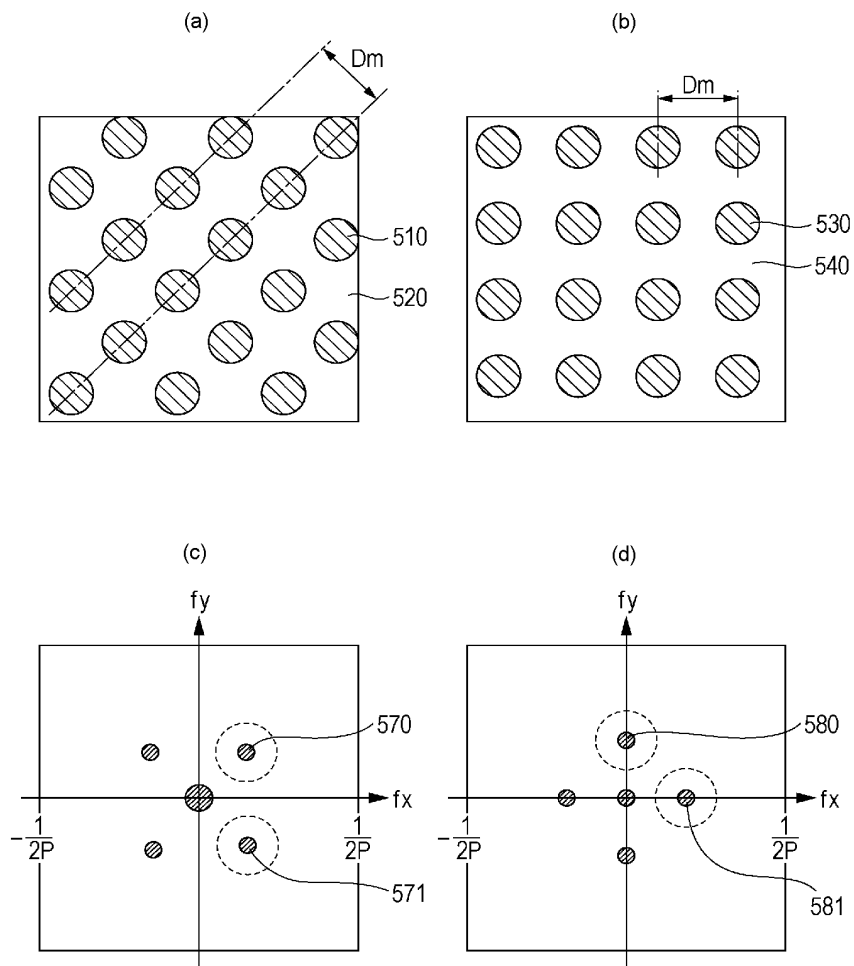
도면3



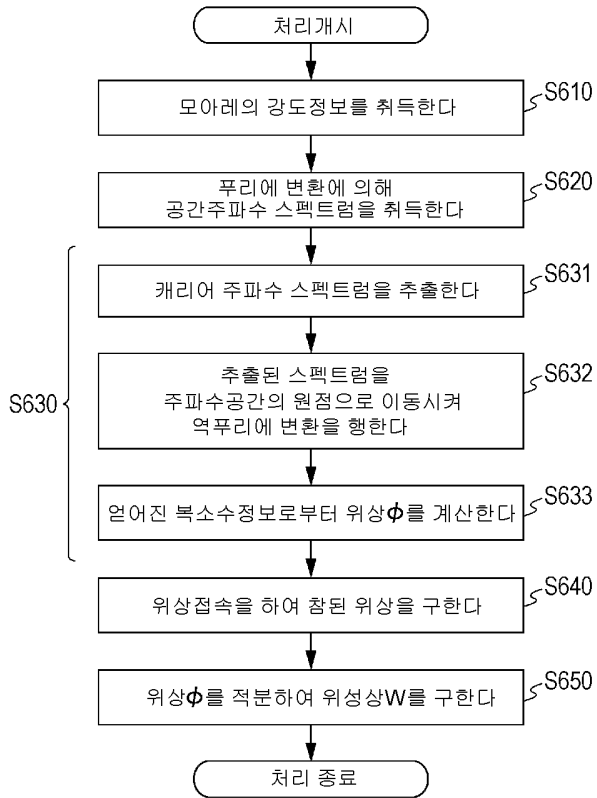
도면4



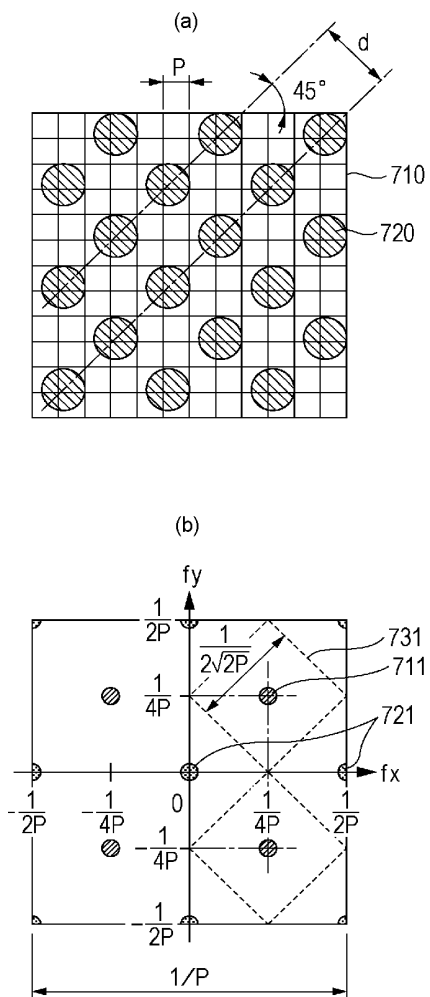
도면5



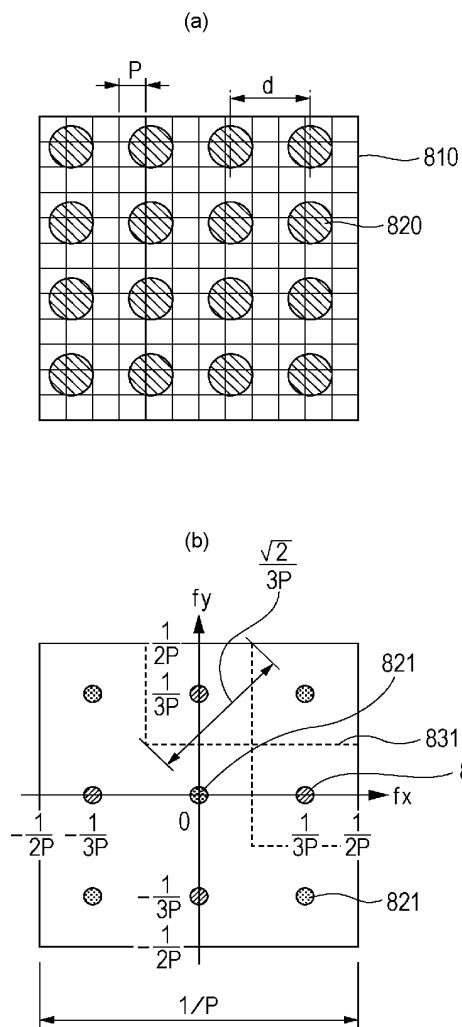
도면6



도면7



도면8



도면9

