



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월20일
(11) 등록번호 10-1331542
(24) 등록일자 2013년11월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01T 1/164 (2006.01) G01T 1/202 (2006.01)
A61B 6/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7003272
(22) 출원일자(국제) 2012년07월23일
심사청구일자 2012년02월07일
(85) 번역문제출일자 2012년02월07일
(65) 공개번호 10-2012-0045009
(43) 공개일자 2012년05월08일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2010/062972
(87) 국제공개번호 WO 2011/010750
국제공개일자 2011년01월27일
(30) 우선권주장
JP-P-2009-173452 2009년07월24일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020040073599 A
KR1020050052357 A
전체 청구항 수 : 총 17 항

(73) 특허권자
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
(72) 발명자
와타나베 마사토시
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
무카이데 타이헤이
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
권태복

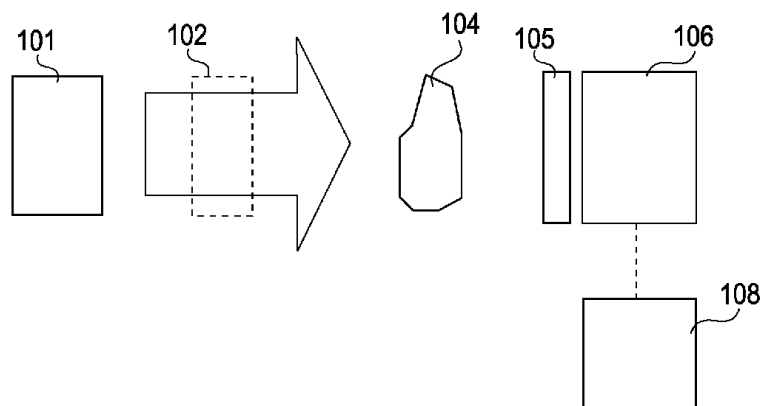
심사관 : 이현길

(54) 발명의 명칭 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법

(57) 요약

X선 촬상장치와 이 X선 촬상장치에 사용되는 X선 촬상방법을 제공한다. X선 촬상장치는, X선 발생부에 의해 발생된 X선을 공간적으로 분할하도록 구성된 분할 소자와, 제1 형광체가 복수 배열된 형광체 어레이를 구비하고, 분할된 X선이 제 1 형광체에 입사한다. 제1 형광체 각각은, X선의 입사 위치에 따라 X선에 의해 유도된 형광의 강도를 변화하도록 구성된다. X선 촬상장치는 형광체 어레이로부터 발광된 형광의 강도를 검출하도록 구성된 검출기를 더 구비한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

타카다 카즈히로

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

후쿠다 카즈노리

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

특허청구의 범위

청구항 1

피검지물에 의해 발생된 X선의 위상 변화 정보를 취득하는 X선 촬상장치로서,
X선 발생부에 의해 발생된 X선을 공간적으로 분할하도록 구성된 분할 소자와,
상기 분할된 X선이 입사하는 제1 형광체가 복수 배열된 형광체 어레이와,
상기 형광체 어레이로부터 발광한 형광의 강도를 검출하도록 구성된 검출기를 구비하고,
상기 제1 형광체 각각은, 상기 X선의 입사 위치에 따라 X선에 의해 유도된 형광의 강도가 변화하도록 구성되어 있는 X선 촬상장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 검출기에 의해 검출된 형광 발광 강도 정보를 사용하여 상기 피검지물의 미분 위상 상 및 위상 상 중에서 한가지를 연산하도록 구성된 연산부를 더 구비한 X선 촬상장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,
상기 제1 형광체 각각은, 입사하는 X선에 대해 수직한 방향을 따라 두께가 연속적으로 변화하는 X선 촬상장치.

청구항 4

제 1항에 있어서,
상기 제1 형광체 각각에 대해, 입사하는 X선에 대해 수직한 방향을 따라 단위 체적당의 형광 발광 강도가 연속적으로 변화하는 X선 촬상장치.

청구항 5

제 1항에 있어서,
상기 형광체 어레이는, 상기 제1 형광체와, 제 2 형광체를 동일 면내 방향으로 구비하고, 상기 제 2 형광체 각각은, 상기 X선의 입사 위치에 무관하게 일정한 형광 발광 강도를 갖는 X선 촬상장치.

청구항 6

제 5항에 있어서,
상기 제2 형광체 각각은, 입사하는 X선에 대해 수직한 방향으로 두께가 일정한 X선 촬상장치.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 제2 형광체 각각은, 입사하는 X선에 대해 수직한 방향으로 단위 체적당의 형광 발광 강도가 일정한 X선 촬상장치.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 형광체 어레이는, 상기 제1 형광체와, 상기 X선의 입사 위치에 따라 X선에 의해 유도된 형광 발광 강도가 변화하도록 각각 구성된 제3 형광체를 구비하고, 상기 제1 형광체와 상기 제3 형광체는 입사하는 X선의 이동 방향에 대한 형광 발광 강도의 변화량 또는 증감 경향이 다른 X선 촬상장치.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 형광체 어레이와 상기 검출기를 동기시켜 이동시키도록 구성된 이동부를 더 구비한 X선 촬상장치.

청구항 10

X선 촬상장치에 사용되는 X선 촬상방법으로서,

공간적으로 X선을 분할하는 단계와,

상기 X선의 입사 위치에 따라, 상기 X선에 의해 유도된 형광체 각각의 형광 발광 강도가 변화하는 상기 형광체가 복수 배열된 형광체 어레이를 사용하여, 피검지물에 의해 발생된 X선의 위상 변화 정보를 형광 강도 분포로부터 취득하는 단계를 포함하는 X선 촬상방법.

청구항 11

X선 촬상장치로서,

X선이 피검지물을 투과했을 때에 생기는 상기 X선의 강도 분포의 변화에 따라 상기 X선에 의해 유도된 형광의 강도를 변화시키는 형광체가 복수 배열된 형광체 어레이와,

상기 형광체 어레이에서 발광된 형광의 강도를 검출하도록 구성된 검출기를 구비한 X선 촬상장치.

청구항 12

X선 촬상장치에 사용되는 X선 촬상방법으로서,

X선이 피검지물을 투과했을 때 상기 X선의 강도 분포의 변화에 따라 상기 X선에 의해 유도된 형광의 강도가 변화하는 형광체가 복수 배열된 형광체 어레이를 사용하여, 상기 형광체 어레이로부터 발광한 형광의 강도를 검출하는 단계를 포함하는 X선 촬상방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 검출기는 복수의 화소를 갖고,

상기 제 1 형광체는, 상기 복수의 화소의 각각에서 검출되는 형광 발광 강도가 상기 X선의 입사 위치에 따라서 변화하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 X선 촬상장치.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 형광체의 최대 두께는, 상기 X선이 투과하는 두께인 것을 특징으로 하는 X선 촬상장치.

청구항 15

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 제 1 형광체는, 상기 X선의 입사 위치에 따라서 X선에 의한 형광 발광 강도가 단조 증가 또는 단조 감소하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 X선 촬상장치.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 형광체는, 상기 X선의 입사 위치에 따라서 X선에 의한 형광 발광 강도가 단조 증가 또는 단조 감소하는 것을 특징으로 하는 X선 촬상장치.

청구항 17

제 2 항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 피검지물에 의한 상기 X선의 입사 위치의 변화에 근거하여, 상기 피검지물의 미분 위상 상 또는 위상 상을 연산하는 것을 특징으로 하는 X선 촬상장치.

명세서

기술분야

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

배경기술

[0002] X선을 사용한 비파괴 검사법은 공업용으로부터 의료용까지 광범위하게 사용되고 있다. X선은 파장이 약 1pm 내지 10nm(10^{-12} 내지 10^{-8} m) 범위인 전자파이다. 파장이 짧은 X선(약 2keV보다 큼)을 "경 X선"으로 부른다, 이에 반해, 파장이 긴 X선(약 0.1keV 내지 2keV의 범위)을 "연 X선"으로 부른다.

[0003] 흡수 콘트라스트는, 예를 들면, 철강 재료 등의 내부 균열 검사나 수화물 검사 등의 시큐리티 분야의 용도로서 사용되고 있다. 이에 반해, 저밀도를 갖는 피검지물에 대해서는, X선의 흡수에 의한 콘트라스트가 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서, 이와 같은 물체에 대해서는, 피검지물에 의해 일어난 위상 변화를 검출하는 X선 위상 이미징법이 유리하다.

[0004] 각종 X선 위상 이미징법 중의 한가지는 특허문헌 1에 기재된 굴절 콘트라스트법이다. 굴절 콘트라스트법은 피검지물에 의한 X선의 위상 변화에 의해 기인한 굴절 효과를 이용한다. 이 굴절 콘트라스트법에서는, 미초점의 X선 발생원을 사용하고, 피검지물과 검출기 사이의 거리가 크게 설정된다. 이에 따라 촬상이 행해진다. 이 굴절 콘트라스트법에 따르면, 피검지물에 의해 발생된 X선의 굴절 효과를 이용하여 피검지물의 윤곽이 강조된다. 또한, 굴절 콘트라스트법은 굴절 효과를 이용하기 때문에, 다른 X선 위상 이미징법과 달리, 굴절 콘트라스트법은 싱크로트론 방사광과 같은 간접성이 높은 X선을 반드시 필요로 하지 않는다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본국 특개 2002-102215호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그렇지만, 특허문헌 1에 기재된 굴절 콘트라스트법에서는, 피검지물에 의해 발생된 굴절 효과에 있어서 X선의 굴절각이 상당히 작다. 이에 따라, 윤곽강조한 상을 얻기 위해서는, 피검지물과 검출기 사이의 거리를 충분히 크게 할 필요가 있다. 그 결과, 특허문헌 1에 기재된 방법을 채용하면, 장치의 크기가 증가한다.

[0007] 따라서, 본 발명은, 굴절 콘트라스트법의 문제점을 해결할 수 있는 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, X선 촬상장치는, X선 발생부에 의해 발생된 X선을 공간적으로 분할하도록 구성된 분할 소자와, 상기 분할된 X선이 입사하는 제1 형광체가 복수 배열된 형광체(scintillator) 어레이와, 상기 형광체 어레이로부터 발광한 형광의 강도를 검출하도록 구성된 검출기를 구비한다. 상기 제1 형광체 각각은, 상기 X선의 입사 위치에 따라 X선에 의해 유도된 형광의 강도가 변화하는 형광 발광 강도 구배를 갖도록 구성된다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따르면, 굴절 콘트라스트법의 문제점을 해결할 수 있는 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 도 1은 본 발명의 실시형태 1에 따른 X선 촬상장치의 구성예를 설명하는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시형태 1에 따른 형광체 어레이의 일부분에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시형태 2에 따른 X선 촬상장치의 구성예를 설명하는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시형태 2에 따른 형광체 어레이의 일부분에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시형태 2에 따른 연산처리의 흐름도이다.
- 도 6은 본 발명의 실시형태 3에 따른 형광체 어레이의 일부분에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 실시형태 4에 따른 컴퓨터 토모그래피(CT)를 설명하는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 실시형태 4에 따른 연산처리의 흐름도이다.
- 도 9는 본 발명의 실시형태 5에 따른 형광체 어레이의 일부분에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 실시형태 5에 따른 피검지물에 의한 흡수 효과를 나타낸 개념도이다.
- 도 11은 본 발명의 실시형태 5에 따른 연산처리의 흐름도이다.
- 도 12는 본 발명의 실시형태 6에 따른 형광체 어레이의 일부에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 13은 본 발명의 실시형태 6에 따른 연산처리의 흐름도이다.
- 도 14는 본 발명의 실시예 1에 따른 X선 촬상장치의 구성예를 설명하는 도면이다.
- 도 15는 본 발명의 실시예 2에 따른 X선 촬상장치의 구성예를 설명하는 도면이다.
- 도 16은 본 발명의 실시예 3에 따른 형광체 어레이의 일부에 대해 설명하는 도면이다.
- 도 17은 X선이 물질을 투과할 때 발생하는 X선의 굴절을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명의 실시형태에 따르면, 형광 발광 강도 구배를 갖는 형광체를 복수 배열한 형광체 어레이를 사용하여 굴절 효과에 의한 강도 분포 변화 또는 위치 변화에 관한 정보를 취득한다. 여기에서, "형광 발광 강도 구배를 갖는 형광체"라는 용어는 X선의 입사 위치에 따라 형광의 발광 강도가 연속적으로 변화하는 형광체를 말한다(제1 형광체). 이 형광체는, 연속적 또는 단계적으로 그것의 형상을 변화시킴으로써 제조될 수 있다. 이와 달리, 이와 같은 형광체는, 단위 체적당의 형광 발광 강도를 연속적 또는 단계적으로 변화시킴으로써 제조될 수도 있다. 이때, 이하에서는, "연속적"이라는 용어는 "단계적"의 개념을 포함하는 일도 있다.
- [0012] 또한, 피검지물에 의한 흡수를 고려하여 보다 정확한 위상 변화의 정보가 필요한 경우에는, 입사하는 X선이 움직이는 방향으로 형광의 발광 강도가 일정한 형광체(제2 형광체)를 사용해도 된다. 이와 같은 형광체는 실시형태 5를 참조하여 이하에서 더욱 상세히 설명한다.
- [0013] 이와 달리, 피검지물에 의한 흡수를 고려하여 보다 정확한 위상 변화 정보가 필요한 경우에는, 입사하는 X선의 이동 방향으로 형광 발광 강도의 변화 또는 형광 발광 강도의 증감 경향이 다른 형광체(제3 형광체)를 사용해도 된다. 이와 같은 형광체는 실시형태 6을 참조하여 이하에서 더욱 상세히 설명한다.
- [0014] 이하, 본 발명의 실시형태에 따른 X선 촬상장치 및 X선 촬상방법에 대해 이하에서 설명한다.
- [0015] 실시형태 1
- [0016] 실시형태 1에 따르면, X선의 위상 변화를 사용하여 상을 얻는 X선 촬상장치의 구성예에 대해 설명한다.
- [0017] 도 17은 X선이 물질을 투과했을 때 발생하는 X선의 굴절을 모식적으로 나타낸 것이다. 물질에 대한 X선의 굴절률은 1보다 약간 작은 값을 갖는다. 그 때문에, 도 17에 나타낸 것과 같은 경우에, 물질(1702)과 비어 있는 공간 사이의 경계에 있는 물질(1702)에 입사하는 X선 1706은 물질(1702)에서 떨어지는 외측을 향해 굴절한다. 이때, 물질의 경계 부분에서 굴절된 X선 1706은 물질(1702)의 외측을 진행해 온 X선 1701과 겹쳐, 검출기(1704)에서 X선의 강도가 증가한다. 한편, 입사한 X선의 연장선을 따른 굴절한 X선 부분의 강도는 감소한다. 그 결과, 도 17에 나타낸 것과 같이, 얻어지는 투과 X선 강도 분포(1703)는 강조된 물질(1702)의 윤곽을 갖는다.
- [0018] 이 경우, X선의 굴절각 θ 은 상당히 작다. 따라서, 검출기의 작은 화소 사이즈로 인해, 물질과 검출기 사이의 거리가 크게 설정되지 않으면, 윤곽 강조를 검출하는 것이 어렵다. 따라서, 상기 특허문헌 1에 기재한 굴절 콘트라스트법에서는, 윤곽 강조를 검출하기 위해 피검지물과 검출기를 그들 사이의 거리가 충분히 커지도록 배치하여, 상이 확대된다. 그 결과, 장치의 크기가 증가한다.
- [0019] 즉, 피검지물과 검출기 사이의 거리가 짧으면, 검출기(1704)의 화소(1705)의 사이즈가 투과 X선 강도 분포(1703)의 강약 패턴보다도 커진다. 이에 따라, 1 화소 내에서 강한 패턴과 약한 패턴의 강도가 상쇄되게 된다. 이에 따라, 윤곽이 강조된 상을 얻을 수 없게 된다.
- [0020] 따라서, 본 실시형태는, 피검지물과 검출기 사이의 거리를 짧게 설정한 경우에도, X선의 위상 변화 정보를 충분히 취득하기 위해, 형광 발광 강도 구배를 갖는 형광체를 사용한다.
- [0021] 도 1에 본 실시형태에 따른 X선 촬상장치의 구성예를 나타낸다.
- [0022] X선 발생원(101)에 의해 X선이 발생된다. 피검지물(104)에 의해 X선의 위상이 변화한다. 그 결과, X선이 굴절한다. 굴절한 X선은 형광체 어레이(105)에 입사한다. 입사한 X선에 의해 형광체 어레이(105)가 형광을 발생한다. 검출기(106)는 형광체 어레이(105)의 각각의 형광체로부터 발광된 형광의 강도를 검출한다. 검출기(106)에 의해 얻은 X선에 관한 정보는 모니터 등의 표시부(108)에 출력된다.
- [0023] 피검지물(104)의 예로는, 인체, 무기 재료, 및 무기/유기 복합재료를 들 수 있다. 이때, 피검지물(104)을 이동하기 위해 이동부(미도시)가 추가로 설치되어도 된다. 이 이동부에 의해 피검지물(104)을 적절히 이동할 수 있으므로, 피검지물(104)의 원하는 부분의 상을 얻을 수 있다.
- [0024] 검출기(106)로서는, 다양한 광검출기를 사용할 수 있다. 예를 들면, 자외광이나 가시광선에서는 Si를 사용한 CCD 센서나 CMOS 센서 등의 고체 촬상소자가 선택된다. 더구나, 적외광에 대해서는 InSb이나 CdHgTe 등의 화합물 반도체를 사용한 고체 촬상소자가 선택된다. 검출기(106)는 형광체 어레이(105)와 근접하도록 배치해

도 된다. 이와 달리, 검출기(106)는 형광체 어레이(105)로부터 소정의 거리만큼 이격되도록 배치해도 된다. 또한, 형광체 어레이(105)를 검출기(106) 내부에 일체화시켜도 된다.

[0025] 이때, 단색 X선을 사용하는 경우에는, X선 발생원(101)과 피검지물(104) 사이에 단색화부(102)를 배치해도 된다. 단색화부(102)로서는, 슬릿과 조합한 모노크로메이터나 X선 다층막 미러를 사용할 수 있다.

[0026] 다음에, 형광체 어레이(105)에 대해 설명한다. 도 2는 형광체 어레이(105)의 일부분의 모식도이다. 이 형광체 어레이(105)는 그 내부에 배열된 복수의 형광체(204)를 포함한다. 복수의 형광체(204) 각각은 입사하는 X선에 대해 수직 방향으로(-X 방향) 두께가 증가하고 있는 삼각 기둥 형상을 갖고 있다. 이와 같은 구조의 형광체(204)는 X선의 입사 위치에 따라 x 방향으로 형광의 발광 강도를 변화시키는 형광 발광 강도 구배를 제공한다. 이때, 형광체 어레이(105)는, 판형의 형광체를 배열된 형광체(204)로 가공함으로써 제조되어도 된다.

[0027] 도 2에는, 기준 X선 강도 분포(201)가 표시되어 있다. 기준 X선 강도 분포(201)는 피검지물(104)이 설치되지 않았을 때 형광체(204)에 입사하는 X선의 강도 분포이다. 더구나, X선 강도 분포(202)가 표시되어 있다. X선 강도 분포(202)는 피검지물(104)이 설치되어 있을 때 형광체(204)에 입사하는, 굴절에 의해 변화한 X선의 강도 분포이다.

[0028] 검출기의 1 화소에 입사하는 X선의 강도 분포에 상관없이, 적분 강도가 동일하면, 검출하는 형광 발광 강도는 같아진다. 그러나, x 방향으로 X선의 입사 위치에 따라 변화하는 형광 발광 강도를 갖는 형광체(204)를 배치하면, 피검지물(104)에 의해 발생된 X선의 굴절에 의한 X선의 강도 분포 변화를 형광 발광 강도 분포의 변화로 변환할 수 있다. 예를 들면, 도 2에 있어서, 증가된 강도를 갖는 X선 강도 분포의 부분(202)이 상부 방향으로 시프트하면, 형광의 강도는 감소한다. 한편, 증가된 강도를 갖는 X선 강도 분포의 부분(202)이 하부 방향으로 시프트하면, 형광의 강도는 증가한다. 이에 따라, 피검지물(104)이 설치되지 않은 상태에서 검출한 형광 강도와, 피검지물(104)이 설치되어 있는 상태에서 검출한 형광 강도를 비교함으로써, 미소한 굴절의 효과를 검출할 수 있다.

[0029] 이와 같은 구성을 사용하여 검출기(106)의 1 화소 내의 미소한 형광 발광 강도 분포의 변화도 검출할 수 있기 때문에, 피검지물(104)과 검출기(106) 사이의 거리를 작게 할 수 있다. 따라서, 장치의 소형화가 가능하다. 또한, 피검지물(104)과 검출기(106)의 거리를 길게 하는 구성을 채용하면, 더욱 미소한 굴절 효과에 의해 발생된 형광 발광 강도 분포의 변화를 검출할 수도 있다. 더구나, 이 수법은, 위상 변화를 검출하기 위해 X선의 굴절 효과를 이용하기 때문에, 간섭성이 높은 X선의 필요성을 없앨 수 있다.

[0030] 상기한 구성은 동일한 실효적인 형광 발광 강도를 각각 갖고, 또한 연속적으로 형상이 변화된 형광체를 참조하여 설명하였지만, 주어진 방향을 따라 X선에 의해 발생된 형광의 발광 강도가 변화하도록 하는 형광 발광 강도 구배를 갖는 모든 형광체를 사용할 수 있다. 예를 들면, 도 4에 도시된 것과 같이, 단위면적당의 형광 발광 강도 분포(동일 선량의 X선을 조사했을 때에 생기는 형광 발광 강도)가 변화하고 있는 형광체도 본 실시형태에 따른 X선 촬상장치에 사용하는 것이 가능하다. 이와 같은 형광 발광 강도 분포는, 형광체의 밀도 분포나 형광체 내부의 불순물의 밀도 분포를 변화시킴으로써 얻을 수 있다. 이때, 도 2에 나타낸 것과 같이 x 방향으로의 형광 발광 강도 분포를, "입사하는 X선에 대해 수직한 방향으로의 형광 발광 강도 분포"로 부르기도 한다.

[0031] 형광 발광 강도 구배는 반드시 도 2에 도시하는 것과 같이 연속적일 필요는 없으며, 계단형으로 변화하여도 된다. 예를 들면, 단계적으로 형광체의 형상이 변화하고 있어도 되고, 또는 단계적으로 형광체의 형광 발광 강도 분포가 변화하고 있어도 된다.

[0032] 또한, 형광체의 형광 발광 강도 구배는 복수의 방향을 가져도 된다. 예를 들면, 한 개의 형광체 내에, X 방향으로의 형광 발광 강도 구배와 Y 방향으로의 형광 발광 강도 구배가 주어지면, 2차원 방향으로의 위상 구배를 계측할 수 있다. 이와 같은 형상으로서, 예를 들면 피라미드형이나 원추형을 들 수 있다.

[0033] 이와 달리, X 방향으로의 구배를 갖는 형광체와, Y 방향으로의 구배를 갖는 형광체를 교대로 그것의 면에 배치한 형광체 어레이를 사용하여 2차원 방향으로의 위상 구배를 계측할 수 있는 것도 가능하다.

[0034] 더구나, Y 방향으로 구배를 갖는 형광체를 X 방향으로 구배를 갖는 형광체 위에 적층한 형광체 어레이를 사용해도 된다. 즉, 제1층에는 X 방향으로 구배를 갖는 형광체 어레이를 배치하고, 제2층에는 Y 방향으로 구배를 갖는 형광체를 배치해도 된다. 또한, 피검지물(104)로부터 출력된 산란 X선에 의해 상이 불명료하게 되는 것을 방지하기 위해, 형광체 어레이(105)와 검출기(106) 사이에 X선장치에 사용되는 그리드를 설치해도 된다.

- [0035] 실시형태 2(분할 소자를 구비한 구성예)
- [0036] 본 발명의 실시형태 2에서는, X선의 위상 변화로부터 위상 상을 얻는 X선 촬상장치 및 방법에 대해 설명한다. 실시형태 2는, 실시형태 2가X선을 분할하는 소자를 구비하는 점에서 실시형태 1과는 다르다.
- [0037] 도 3은 본 실시형태에 따른 X선 촬상장치를 나타낸 도면이다.
- [0038] X선 발생원(301)으로부터 발광한 X선은, 분할 소자(303)에 의해 공간적으로 분할된다. 즉, 분할 소자(303)를 통과한 X선은 X선의 다발을 형성한다. 이 분할 소자(303)는 라인 앤드 스페이스를 갖는 슬릿 어레이 형상, 또는 2차원적으로 배열된 구멍을 갖고 있어도 된다. 또한, 분할 소자(303) 내부에 형성된 슬릿은 기판을 완전히 관통할 필요는 없다. 분할 소자(303)의 재료로서는 X선의 흡수율이 높은 Pt, Au, Pb, Ta 및 W에서 선택할 수 있다. 이와 달리, 이들 재료의 합금을 사용할 수 있다.
- [0039] 분할 소자(303)에 의해 분할된 X선의 라인 앤드 스페이스의 주기는 검출기(306)의 화소 사이즈 이상이다. 즉, X선에 의해 발광한 형광의 강도를 검출하는 검출기(305)의 화소의 크기는, 분할 소자(303)에 의해 분할된 X선의 주기 이하이다.
- [0040] 분할 소자(303)에 의해 공간적으로 분할된 X선은 피검지물(304)에 의해 굴절된다. 굴절한 각각의 X선은 형광체 어레이(305)에 입사한다. 형광체 어레이(305)에 의해 X선은 형광으로 변환되고, 검출기(306)에 의해 각각의 형광 강도가 검출된다. 검출기(306)에 의해 얻은 형광 강도에 관한 정보는 연산부(307)에 의해 수직 처리가 행해지고, 그 결과가 모니터 등의 표시부(308)에 표시된다.
- [0041] 또한, 검출기(306)는 렌즈나 반사 미러 등의 광학 소자를 사용하여 형광체 어레이(305)에 접속되어 있는 것이 바람직하다. 이들 광학 소자를 형광체 어레이(305) 및 검출기(306)와 조합함으로써, 형광체 어레이(305)를 투과한 X선과 산란한 X선이 검출기에 들어가지 않도록 막을 수 있다. 이에 따라, 검출 데이터의 S/N비를 증가시킬 수 있다. 이때, 피검지물(304)의 존재에 의해 발생한 X선의 위치 변화량을 정밀하게 측정하기 위해, 형광체와 검출 소자를 파이버 플레이트를 사용하여 일체화해도 된다.
- [0042] 또한, 분할 소자(303)와, 피검지물(304)과 형광체 어레이(305)를 이동시키는 이동부 309, 310 및 311은, 예를 들어, 스텝핑 모터 등으로 형성된다. 이에 따라, 피검지물(304)은 필요에 따라 이동할 수 있다. 따라서, 피검지물(304)의 특정 개소의 상을 촬상할 수 있다. 이때, 단색화부(302), 피검지물(304), 형광체 어레이(305), 검출기(306) 및 그리드는 실시형태 1에서 사용된 것으로부터 형성할 수 있다.
- [0043] 다음에, 형광체 어레이(305)에 대해 더욱 상세히 설명한다.
- [0044] 도 4는 본 발명에 따른 형광체 어레이를 나타낸 것이다. 도 4에는, 기준 X선(401)(피검지물(304)이 설치되지 않을 때 진행하는 X선)의 광로와, 피검지물(304)에 의해 굴절한 X선(402)의 광로가 표시되어 있다. 더구나, 형광체 어레이(403), 형광체(404)와, X선에 의해 형광체(404)로부터 발광한 형광(405)이 도시되어 있다.
- [0045] 형광체(404)는, 형광체(404)를 X선으로 조사할 때 형광(405)을 발광하는 재료로 구성된다. 형광체(404)는, 도 4에 나타낸 소자 내에서 X 방향으로 연속적으로 변화하는 형광(405)의 형광 발광 강도 분포를 갖는다. 도 4의 우측 부분은, 형광체(404)가 X 방향으로 연속적인 형광 발광 강도 분포를 갖는 것을 나타내고 있다.
- [0046] 예를 들면, 상기 발광 재료로서는 NaI(Tl 도프), CsI(Tl 또는 Na 도프), LS0(Ce 도프), YAP(Ce 도프), 또는 GS0(Ce 도프)를 사용해도 된다. 형광체(404)의 형광 발광 재료의 농도를 변화시킴으로써, 구배를 갖는 형광 발광 강도 분포를 제공할 수 있다. 이와 달리, 발광에 기여하는 불순물의 양을 변화시킴으로써, 형광 발광 강도 구배를 제공할 수 있다. 이에 따라, 도 4에 나타낸 것과 같이, X선의 입사 위치에 대한 형광(405)의 형광 발광 강도(J(X))를 발생할 수 있다.
- [0047] 형광체(404)의 형광 발광 강도 구배가 기지이면, 기준 X선(401)과 X선(402)에 관련된 형광 강도들 사이의 관계를 이용하여, 굴절에 의해 일어난 X선의 위치 변화량(ΔX)을 계산할 수 있다.
- [0048] 위치 변화량(ΔX)을 계산하기 위해, 형광체(404)에 대한 X선의 입사 위치(X)와 형광 발광 강도(J(X))의 대응 관계를 표시하는 데이터 테이블을 연산부(307)나 기억부에 미리 격납해두어도 된다. 그후, 측정한 형광 강도를 사용하여 위치 변화량(ΔX)을 계산해도 된다. 이 데이터 테이블은, 피검지물(304)이 설치되지 않은 때 분할 소자(303) 혹은 형광체 어레이(305)를 주사하여 얻어진 데이터로부터 작성할 수 있다. 이것은 형광체(404)에 입사하는 X선의 위치를 변화시키는 것이다. 데이터 테이블을 작성할 때, 분할 소자(303)를 이동시키는 대신에,

분할 소자(303)의 슬릿 폭과 동등한 폭을 갖는 단 슬릿을 사용하여 형광체(404)의 각 위치에 있어서의 형광 발광 강도를 검출해도 된다.

[0049] 다음에, 본 실시형태에 따른 연산부(307)에 의해 행하는 연산처리에 사용되는 예시적인 방법에 대해 설명한다. 도 5는 연산처리의 흐름도이다.

[0050] 우선, 제1 스텝인 S100에서, 형광체 어레이(305)로부터 발광된 형광에 대한 강도 정보를 취득한다.

[0051] 다음에, 제2 스텝인 S101에서, 각 X선에 의해 발광된 형광의 강도 정보를 사용하여 기준 X선(401)에 대한 각 X선의 위치 변화량(ΔX)을 산출한다. 예를 들면, 미리 작성해 둔 형광체(404)의 각 위치에 있어서의 형광 발광 강도($J(X)$)의 데이터베이스와, 실제로 측정된 강도 정보를 참조하여, 위치 변화량(ΔX)을 계산한다.

[0052] 스텝 S102에서, 각 X선의 굴절각($\Delta \theta$)을 산출한다. 위치 변화량(ΔX)과, 피검지물(304)과 형광체 어레이(305)의 거리(Z)를 사용하여 각 X선의 굴절각($\Delta \theta$)을 다음과 같이 표현할 수 있다:

수학식 1

$$\Delta \theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X}{Z} \right) \quad (1)$$

[0053] 또한, 굴절 각도($\Delta \theta$)과 미분 위상($d\phi/dx$)의 관계는 다음과 같이 표현된다:

수학식 2

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \theta \quad (2)$$

[0055] 여기에서, λ 은 X선의 파장(연속 X선을 사용하는 경우에는 실효 파장)을 나타낸다.

[0056] 스텝 S103에서, 상기 식 (2)을 사용하여 각 X선의 미분 위상($d\phi/dx$)을 연산한다. 이에 따라, 미분 위상 정보를 취득할 수 있다.

[0057] 스텝 S104에서, 상기 얻어진 미분 위상($d\phi/dx$)을 X 방향에 대해 적분한다. 이에 따라, 위상 정보(ϕ)를 취득한다. 이때, S105의 스텝에 있어서는, 이와 같이 얻어진 미분 위상 상 및 위상 상은 표시부(308)에 표시할 수 있다.

[0058] 상기한 구성에 따르면, 미소한 X선의 위치 변화를 검출할 수 있으므로, 피검지물(304)과 검출기(306)의 거리를 짧게 할 수 있다. 즉, 특허문헌 1에 기재된 굴절 콘트라스트법을 이용하는 장치와 비교하여 장치의 소형화가 가능하다.

[0059] 또한, 분할 소자(303)를 사용함으로써, 미분 위상량과 위상량을 정량화할 수 있다. 이에 반해, 피검지물(304)과 검출기(306)의 거리를 길게 설정한 구성을 채용하면, 보다 미소한 굴절에 의해 발생한 X선 위치 변화를 측정할 수 있다. 또한, 이 방법은 위상 변화를 검출하기 위해 X선의 굴절 효과를 이용하기 때문에, 간섭성이 높은 X선의 필요성을 없앨 수 있다.

[0060] 실시형태 3

[0062] 본 발명의 실시형태 3에서는, 실시형태 2에서 사용된 것과 다른 형광체 어레이를 사용한 X선 촬상장치에 대해 설명한다. 그러나, 실시형태 3에 따르면, X선 촬상장치의 기본 구성은 도 3에 도시된 실시형태 2의 구성과 같다.

[0063] 도 6은, 도 3에 나타난 형광체 어레이(305)의 일부분을 나타낸 도면이다. 이 형광체 어레이(305)는 도 4에 도시된 형광체 어레이(403)와는 다르다.

[0064] 도 6에는, 기준 X선(601)(피검지물(304)이 설치되지 않을 때 진행하는 X선)의 광로와, 피검지물(304)에 의해 굴절한 X선(602)의 광로가 표시되어 있다. 형광체 어레이(603)는 삼각 기둥 형상을 각각 갖는 형광체(604)가 그 내부에 배열되어 구성되어 있다. 형광체(604)는, X선이 조사될 때 형광(605)을 발광하는 재료로 이루어진다.

[0065] 각각의 형광체(604)의 최대 두께는 사용하는 X선이 형광체(604)를 충분히 투과할 수 있도록 결정된 두께인 것이 바람직하다. 왜냐하면, 진행하는 X선이 형광체의 중간에서 멈추면, 입사되는 X선의 강도와 형광의 강도의 상관을 유지할 수 없으므로, 오차가 생길 가능성이 있기 때문이다. 따라서, 검출기(306)에 X선을 직접 입사하는 것을 방지하기 위해, 형광체(604)와 검출기(306)(도 3 참조) 사이에는 형광을 통과시키는 X선 차폐재를 배치하는 것이 바람직하다. 예를 들어, X선 차폐재로서는 옵티컬 파이버 플레이트를 사용할 수 있다. 이 형광체(604)는 삼각 기둥 형상을 갖기 때문에, 형광체(604)에의 X선의 입사 위치에 따라 형광 발광 강도가 변화한다. 기준 X선(601)이 형광체(604)에 입사했을 때, 형광(605)의 강도 J는 다음과 같이 표시된다:

[0066]
$$J = k \cdot I_0 (1 - \exp(-\mu_{en} l_0)) \quad (3)$$

[0067] 이때, I_0 은 분할 소자(303)에 의해 공간적으로 분할된 X선의 강도, μ_{en} 은 형광체(604)의 재료의 실효적인 선 에너지 흡수계수, l_0 은 기준 X선(601)의 형광체(604) 내부에서의 광로 길이, k는 계수를 나타낸다. 즉, 상기 식(3)은, 형광체(604)를 투과한 X선 이외의 X선이 형광으로 변환되는 것을 나타내고 있다.

[0068] 한편, X선(602)이 형광체(604)를 조사할 때, 형광체(604)의 광 강도 J'은 다음과 같이 표시된다:

[0069]
$$J' = k \cdot I_0 (1 - \exp(-\mu_{en} l)) \quad (4)$$

[0070] 이때, l은 X선(602)의 광로 길이를 나타내고 있다. 식(3) 및 식(4)과 형광체(604)의 꼭지각(α)을 사용하여 형광체 어레이(305) 위에서의 위치 변화량(ΔX)을 다음과 같이 표시할 수 있다:

수학식 3

$$\Delta X = \frac{\tan \alpha}{\mu_{en}} \ln \left[\frac{(1 - J' / k I_0)}{(1 - J / k I_0)} \right] \quad (5)$$

[0071]

[0072] 흡수의 효과를 무시할 수 없는 경우에는, X선의 위치 변화에 따라 형광의 광강도가 변화하지 않는 형광체를 사용하여 피검지물(304)을 통과할 때의 X선의 투과율을 계산할 수 있다. 예를 들면, 형광체(604)의 형상을 삼각 기둥으로부터 사각 기둥으로 변화시켜, 촬상한다. 이에 따라, X선의 투과율을 얻을 수 있다. 또한, 형광체(604)의 선 에너지 흡수계수 μ_{en} 이 기지이기 때문에, 형광 발광 강도 J의 측정을 이용하고 식(3)을 이용하여 $k I_0$ 를 계산할 수 있다. 이와 달리, 형광체 어레이(603)를 X 방향으로 주사하고, X선의 위치 변화량에 따른 형광 발광 강도를 구하고, 형광 발광 강도에 맞추어 식(3)을 피팅(fitting)함으로써, 실효적인 $k I_0$ 및 μ_{en} 을 계산할 수 있다.

[0073] 즉, 기준 X선(601)과 굴절한 X선 602의 형광 강도의 관계를 이용하여, 피검지물(304)에서의 굴절에 의해 발생한 미량의 위치 변화량을 계산할 수 있다. 또한, 본 실시형태에 따르면, 상기 실시형태 2와 마찬가지로, 형광(605)의 형광 발광 강도와, 미리 형광(605)의 형광 발광 강도(J(X))를 측정하여 작성한 데이터 테이블을 사용함으로써, X선의 위치 변화량(ΔX)을 계산할 수 있다.

- [0074] 상기한 것과 같이 얻어진 데이터를 사용하여 도 5에 나타난 플로우에 따라 연산처리를 행함으로써, 미분 위상($d\phi/dx$) 및 위상(ϕ)을 산출할 수 있다. 그후, 미분 위상 상과 위상 상을 표시부(308)에 표시할 수 있다.
- [0075] 이와 같은 구성에 의해, 미소한 X선의 위치 변화를 검출할 수 있다. 따라서, 피검지물(304)과 검출기(306)의 거리를 길게 취할 필요성이 없다. 그 결과, 장치의 소형화가 가능하다. 또한, 분할 소자(303)를 사용함으로써, 미분 위상량 및 위상량을 정량화할 수 있다. 한편, 피검지물(304)과 검출기(306)의 거리를 길게 하는 구성을 채용하면, 보다 미소한 굴절에 의한 X선의 위치 변화를 검출할 수 있다. 더구나, 이 방법은 위상 변화를 검출하기 위해 X선의 굴절 효과를 이용하기 때문에, 간섭성이 높은 X선의 필요성을 없앨 수 있다.
- [0076] 실시형태 4(컴퓨터 토모그래피)
- [0077] 본 발명의 실시형태 4에서는, 컴퓨터 토모그래피(CT)의 원리를 사용하여 3차원적인 위상 분포를 얻는 장치의 구성예에 대해 설명한다.
- [0078] 도 7은, 본 실시형태에 따른 CT 장치의 구성예를 나타낸 것이다.
- [0079] 도 7에 도시된 것과 같이, CT 장치는, X선 발생원(701), 분할 소자(703), 피검지물(704), 형광체 어레이(705), 검출기(706), 연산부(9707) 및 표시부(708)를 구비한다.
- [0080] 본 실시형태에 따른 CT 장치에서는, X선 발생원(701), 분할 소자(703), 형광체 어레이(705) 및 검출기(706) 각각이 이동부에 의해 이동가능하다. 따라서, X선 발생원(701), 분할 소자(703), 형광체 어레이(705) 및 검출기(706)는 피검지물(704)의 주변을 동기하여 이동할 수 있다.
- [0081] X선은 분할 소자(703)에 의해 공간적으로 분할된다. 분할된 X선은 피검지물(704)에 조사된다. 투과 X선은 형광체 어레이(705)에 입사한다. 형광체 어레이(705)를 사용함으로써, 분할된 X선의 피검지물(704)의 굴절에 의한 미량의 위치 변화량을 얻을 수 있다. X선은 형광체 어레이(705)에 의해 형광으로 변환된다. 형광체 어레이(705)에서 발광된 형광은 검출기(706)에 의해 검출된다. 분할 소자(703), 형광체 어레이(705) 및 검출기(706)를 피검지물(704)의 주변을 동기시켜 이동하는 동안 형광의 상이 촬상된다. 이에 따라, 피검지물(704)의 투영 데이터를 얻을 수 있다. 이와 달리, 분할 소자(703), 형광체 어레이(705)와 X선 검출기(706)를 고정되어도 되고, 피검지물(704)을 회전시켜도 된다. 이에 따라, 투영 데이터를 얻을 수 있다.
- [0082] 다음에, 본 실시형태에 따라 연산처리를 행하는 방법에 대해 설명한다. 도 8은 연산처리의 흐름도다. 우선, 스텝 S200에서, 형광체 어레이(705)로부터 형광 발광 강도 정보를 취득한다. 다음에, 스텝 S201에서, 각 X선의 기준 X선에 대한 위치 변화량(ΔX)을 산출한다. 스텝 S202에서, 위치 변화량(ΔX)과 피검지물(704)과 형광체 어레이(705)의 거리 Z를 사용하여, 각 X선의 굴절각($\Delta \theta$)을 계산한다. 다음에, 스텝 S203에서, 굴절각($\Delta \theta$)을 사용하여 각 X선의 미분 위상($d\phi/dx$)을 산출한다. 스텝 S204에서, 얻어진 각 미분 위상($d\phi/dx$)을 X 방향으로 적분한다. 이에 따라, 위상 정보(ϕ)를 얻는다. 이들 스텝 S201 내지 S204를 전체 투영 데이터 항목에 대해 반복한다. 최후에, 스텝 S205에서, 전체 투영 데이터 항목의 위상 상으로부터 컴퓨터 토모그래피에 대한 화상 재구성법(예를 들면, 필터 역투영법)을 사용하여 위상(ϕ)에 대한 단층 상을 얻는다. 이때, 스텝 S206에서는, 위상 상의 단층 화상을 표시부(708)에 표시할 수 있다.
- [0083] 이와 같은 구성에 의해, 장치의 소형화가 가능하다. 더구나, 이 장치는 X선의 굴절 효과를 이용하기 때문에, 간섭성이 높은 X선의 필요성을 없앨 수 있다. 따라서, 이 CT 장치를 이용함으로써, 비파괴적으로 피검지물의 3차원 위상 상을 얻을 수 있다.
- [0084] 실시형태 5(흡수 정보를 취득하기 위한 형광체 어레이 A)
- [0085] 본 발명의 실시형태 5에서는, X선의 흡수가 큰 피검지물에 대해 정확한 미분 위상 상 및 정확한 위상 상을 얻는 장치 및 방법에 대해 설명한다. 본 실시형태에 따르면, X선 촬상장치의 기본 구성은 도 3에 나타난 실시형태 2와 같다.
- [0086] 본 실시형태에 따르면, 형광체 어레이는, 굴절 효과에 의해 발생한 X선의 위치 변화량을 검출하기 위한 형광체(제1 형광체)와, 피검지물의 흡수 효과에 의한 투과 X선 강도를 검출하기 위한 형광체(제2 형광체)를 구비한다. 제2 형광체의 형광 발광 간도는 X선의 입사 위치에 무관하게 일정하다. 여기에서, 입사 위치에 무관하

게 거의 일정한 형광 발광 강도를 사용하여, 피검지물에 관한 흡수 정보를 취득할 수 있다. 즉, 형광 발광 강도는 엄밀하게 일정할 필요는 없다. 형광체 어레이로부터 발광한 형광의 형광 발광 강도를 검출함으로써, 흡수 상, 미분 위상 상 및 위상 상을 얻을 수 있다. 이하, 장치와 방법을 더욱 구체적으로 설명한다.

[0087]

도 9는 본 실시형태에 따른 형광체 어레이를 나타낸 것이다. 도 9에는, 기준 X선(901)(피검지물(304)이 설치되지 않을 때 진행하는 X선)의 광로와, 피검지물(304)에 의해 굴절한 X선(902)의 광로가 표시되어 있다. 더구나, 형광체 어레이(903)는, X선의 위치 변화량을 형광 발광 강도로 변환하기 위한 형광체 904 및 905를 구비한다. 형광체 904 및 905는 동일 면내에서 소정의 간격으로 배열된다. 형광체 904는 X 방향으로 연속적으로 변화하는 형광 발광 강도 분포를 갖는다. 그러나, 형광체 905는 X 방향으로 변화하지 않는 형광 발광 강도 분포를 갖는다. 형광체 904는 X선에 의해 형광(906)을 발광한다. 도 9의 우측 부분은, 형광체 904가 X 방향으로 연속적인 형광 발광 강도 분포를 갖는 것이 표시되어 있다. 따라서, 형광체 904는, 피검지물(304)에서 굴절한 X선의 위치 변화와 흡수된 X선 강도에 따른 강도를 갖는 형광을 발광한다. 이때, 일례로서, 도 9의 우측 부분의 형광체 904는 직선적인 형광 발광 강도 분포를 갖는다. 또한, 실시형태 2와 마찬가지로, 미리 형광체 904의 X선 입사 위치의 변화량(X)에 대한 형광 발광 강도 분포(J(X))를 측정해도 된다.

[0088]

또한, 도 9의 우측 부분에 나타낸 것과 같이, 형광체 905는 균일한 형광 발광 강도 분포를 갖는다. 따라서, 피검지물(304)에서 흡수된 X선의 강도에 대응하는 형광이 얻어질 수 있다. 형광 발광 강도 분포는 소자 내에서 균일할 수 있다. 그러나, 이 형광 발광 강도 분포가 형광체 904의 기준 X선 위치에서의 형광 발광 강도와 동일하도록 조정을 행하는 것이 바람직하다. 또한, 검출기(306)에 X선이 직접 입사하는 것을 방지하기 위해, 검출기(306)와 형광체 904 및 905 각각의 사이에는 형광이 통과하는 X선 차폐재를 배치하는 것이 바람직하다. X선의 기준 X선에 대한 위치 변화량과 피검지물을 투과할 때의 X선의 흡수량은, 형광체 904 및 905의 형광 발광 강도를 측정하고 비교함으로써 계산할 수 있다. 이하, 도 10에 나타낸 형광체의 X 방향과 형광 발광 강도의 개념도와, 도 11에 나타낸 연산처리의 흐름도를 참조하여 이와 같은 처리를 설명한다.

[0089]

피검지물(304)에 의해 X선이 흡수되지 않은 경우, 피검지물(304)을 투과한 X선의 강도 I는 X선이 피검지물(304)을 투과하기 전에 얻어진 강도 I_0 과 거의 같다(즉, $I \approx I_0$). 따라서, 피검지물(304)에 의한 위치 변화(ΔX)의 위치에서는, 도 10에 나타낸 A점으로 표시된 것과 같이 형광 발광 강도 J_A 가 얻어진다. 그렇지만, 피검지물(304)에 의해 X선이 흡수되는 경우, 피검지물(304)을 투과후의 X선의 강도 I는 강도 I_0 보다 작다(즉, $I < I_0$). 따라서, 형광 발광 강도 J_C 가 도 10에 나타낸 C점으로 표시한 것과 같이 얻어진다. 이 경우, 미리 얻은 형광 발광 강도 분포 J(X)를 사용하면, 위치 변화 $\Delta X'$ 이 얻어진다. 즉, 잘못된 정보가 얻어진다. 따라서, 균일한 형광 발광 강도 분포를 갖는 인접한 형광체의 정보($J_1=J(0)$)를 사용한다. 피검지물이 설치되어 있지 않을 때 도 10에 도시된 B점에서 얻어진 형광 발광 강도 J_B 를 미리 측정하면, 흡수가 일어날 때 형광 발광 강도의 차이 $\Delta J(=J_B-J_D)$ 를 계산할 수 있다. 형광 발광 강도 $J_A=J_C+\Delta J$ 이기 때문에, J(X)을 사용하여 올바른 ΔX 를 구할 수 있다. 이때, 형광 발광 강도 차이 ΔJ 는 피검지물(304)에 의해 흡수된 X 선의 양과 동일하다.

[0090]

다음에, 연산처리를 행하는 방법을 도 11에 도시된 흐름도를 참조하여 설명한다. 우선, 스텝 S300에서, 미리 피검지물이 설치되지 않은 상태에서, 형광 발광 강도 분포를 갖는 형광체의 형광 발광 강도 분포 J(X)과, 형광 발광 강도 분포를 갖지 않는 형광체의 형광 발광 강도 J_B 를 취득한다. 다음에, 스텝 S301에서, 피검지물을 측정하여, 형광 발광 강도 분포를 갖는 형광체의 형광 발광 강도 J_C 과, 형광 발광 강도 분포를 갖지 않는 형광체의 형광 발광 강도 J_D 를 취득한다. 다음에, 스텝 S302에서, 피검지물에 의해 흡수된 흡수량인 형광 발광 강도 차이 $\Delta J(=J_B-J_C)$ 을 계산한다. 스텝 S303에서, 피검지물에 의해 흡수된 흡수량을 사용하여 보정된 형광 발광 강도 $J_A(=J_C+\Delta J)$ 을 계산한다. 최후에, 스텝 S304에서, 형광 발광 강도 분포를 갖는 형광체의 형광 발광 강도 분포 J(X)과 스텝 S303에서 구한 J_A 를 사용하여, ΔX 를 계산한다.

[0091]

따라서, 형광체 904 및 905의 형광 발광 강도를 사용하여 X선(902)의 조사 위치 변화(ΔX)와 흡수량(형광 발광 강도 차이 ΔJ)을 얻는다. 그후, 피검지물(304)에 의해 발생한 미량의 굴절 변화량을 구할 수 있다.

[0092]

이때, 연산방법은 전술한 방법에 한정되지 않는다. 예를 들면, 형광체 905를 이용하여 얻은 형광 발광 강도로부터 흡수 정보를 취득하고, 그후, 이 흡수 정보를 이용하여 위치 변화량을 산출해도 된다.

[0093]

이때, 상기 형광체 904 및 905의 영역들에서의 형광 강도의 정보를 얻는 경우, X 방향의 공간 분해능이

1/2만큼 줄어든다. 따라서, 상기 측정 이외에, 형광체 어레이(305)를 X 방향으로 이동부 311을 사용하여 이동시킴으로써, 공간 분해능을 개선할 수 있다. 이와 달리, 피검지물(304)을 X 방향으로 이동부 310을 사용하여 이동시킴으로써, 공간 분해능을 개선할 수도 있다. 상기한 구성에서는, 형광체 904 및 905를 사용함으로써, X선의 흡수의 효과 및 굴절의 효과를 독립된 정보 항목으로서 얻을 수 있다.

[0094] 상기한 방법으로 얻어진 데이터를 도 5에 나타난 흐름도에 따라 연산처리를 행함으로써, 미분 위상($d\phi/dx$) 및 위상(ϕ)을 산출하고, 이에 따라, 흡수 상, 미분 위상 상 및 위상 상을 표시부(308)에 표시할 수 있다. 이때, 흡수 상, 미분 위상 상 및 위상 상은 동시에 화면 위에 표시해도 되고, 또한 각각 표시해도 된다.

[0095] 본 실시형태의 설명은, 형광 발광 재료의 밀도 분포 또는 도펀트 양의 분포를 조정한 경우를 참조하여 행하였다. 그러나, 이하의 실시예 3에서 설명한 것과 같이, 굴절된 X 선의 위치 변화량을 측정하기 위한 형광체의 형상을 예를 들면 삼각 기둥 형상으로 하고, 흡수율(투과율)을 측정하기 위한 형광체의 형상을 사각 기둥 형상으로 해도 된다. 즉, 입사하는 X선에 대해 수직 방향으로 두께가 일정한 형광체를 형성해도 된다.

[0096] 실시형태 6(흡수 정보를 취득하기 위한 형광체 어레이 B)

[0097] 실시형태 6에서는, 실시형태 5와 마찬가지로, X선의 흡수가 큰 피검지물이라도, 정확한 미분 위상 상 및 정확한 위상 상을 얻을 수 있는 장치 및 방법에 대해 설명한다. 본 실시형태에 따르면, X선 촬상장치의 기본 구성은 도 3에서 예시한 제 2 실시예와 같다.

[0098] 본 실시형태에 따른 형광체 어레이는, 입사하는 X선의 이동 방향에 대한 형광 발광 강도의 변화량 또는 형광체의 증감 경향이 인접하는 형광체와 다른 것을 특징으로 한다. 예를 들어, X선의 입사 위치가 변화한 경우, 제1 형광체의 형광 발광 강도가 증가하는 한편, 제2 형광체의 형광 발광 강도가 감소하도록 형광체 어레이가 구성되어 있다. 이와 같은 형광체를 사용함으로써, 흡수 정보와 위상 정보를 독립적으로 얻을 수 있다. 그 후, 얻어진 흡수 정보를 이용함으로써, 보다 고정밀도의 미분 위상 상이나 위상 상을 얻을 수 있다. 형광체 어레이를 이하에서 더욱 상세히 설명한다.

[0099] 도 12는 본 실시형태에 따른 형광체 어레이를 나타낸 것이다. 기준 X선 1201 및 1205(피검지물(304)이 설치되지 않은 경우의 기준 X선)의 광로, 피검지물(304)에서 굴절한 X선 1202 및 1206의 광로, 형광체 어레이(1203)와, 형광체 어레이(1203)에 주기적으로 배열된 형광체 1204 및 1207이 도시되어 있다. 형광체 1204 및 1207 각각은 삼각 기둥 형상을 갖는다. X선에 의해 형광체 1204 및 1207로부터 형광(1208)이 발광한다.

[0100] 도 12의 우측 부분에 모식적으로 도시한 것과 같이, 형광체 1204 및 1207은 X선의 입사 방향으로 대해 수직 방향인 X 방향으로 형광 발광 강도의 구배를 갖는다.

[0101] 형광체 1204 및 1207 중에서, 광로가 더 긴 쪽이 형광을 발광한다. 그리고, 형광체 1204 및 1207의 형광 발광 강도 분포의 변화의 경향은 서로 역방향으로 되어 있다. 이때, 검출기(306)와 형광체 1204 및 1207 각각의 사이에 형광을 통과하는 X선 차폐재를 삽입해도 된다.

[0102] 형광체 1204에 있어서의 굴절한 X선의 위치 변화량을 ΔX_1 , 형광체 1204의 형광 발광 강도를 J'_1 으로, 형광체 1207에 있어서의 굴절한 X선의 위치 변화량을 ΔX_2 , 형광체 1207의 형광 발광 강도를 J'_2 로 한다. 이 경우, 인접하는 형광체의 형광 발광 강도 분포($J(X)$)는 대칭이기 때문에, 형광 발광 강도에 대한 X선의 위치 변화량은 다음과 같은 관계를 갖는다:

[0103]
$$\Delta X_1 = -\Delta X_2 \quad (6)$$

[0104] 또한, J'_1 및 J'_2 은 식 (4)에 피검지물(304)의 투과율 A를 사용하여 표현할 수 있다:

[0105]
$$J' = k \cdot I_0 A (1 - \exp(-\mu_{en} l)) \quad (7)$$

[0106] 또한, 위치 변화량 ΔX 는 식 (7)을 사용하여 다음과 같이 표시할 수 있다:

수학식 4

$$\Delta X = \frac{\tan \alpha}{\mu_{en}} \ln \left[\left(1 - J' / kI_0 A \right) / \left(1 - J / kI_0 \right) \right] \quad (8)$$

[0107]

[0108] 식 (8)의 ΔX_1 및 ΔX_2 에 J'_1 및 J'_2 를 대입하고 식 (6)을 이용하여, A를 다음과 같이 계산할 수 있다:

수학식 5

$$A = \frac{\left[n(J'_1 + J'_2) + \sqrt{n^2(J'_1 + J'_2)^2 - 4(2nJ - J^2) * J'_1 * J'_2} \right]}{2(2nJ - J^2)} \quad (9)$$

[0109]

[0110] 이때, n은 kI_0 이다.

[0111] 여기에서, 형광체의 선 에너지 흡수계수 μ_{en} 이 기지이기 때문에, n(즉 kI_0)은 기준 X선에 있어서의 형광 발광 강도 J를 측정함으로써 계산할 수 있다. 이와 달리, 형광체 어레이(1203)를 X 방향으로 주사하고, X선의 위치 변화량에 따른 형광 발광 강도를 구하여, 식 (3)을 형광 발광 강도에 피팅함으로써, 실험적인 kI_0 및 μ_{en} 을 계산할 수 있다.

[0112] 따라서, 기준 X선 1201이 형광체에 입사할 때 얻어지는 형광 강도 J, 형광체 1204에 의해 생긴 형광 발광 강도 J'_1 , 형광체 1207에 의해 생긴 형광 발광 강도 J'_2 및 kI_0 을 사용하여, 투과율 A를 계산할 수 있다.

[0113] 또한, 사전에 결정된 α 및 μ_{en} 과 측정에 의해 얻어진 kI_0 , A, J' 및 J를 식 (8)에 대입함으로써, 위치 변화량(ΔX)을 계산할 수 있다.

[0114] 형광체 1204와 1207은 형광 발광 강도 분포가 대칭인 경우를 참조하여 본 실시형태를 설명하였지만, 형광 발광 강도 분포가 반드시 대칭일 필요는 없다. 식 (6)에 의해 나타난 것과 같이, 2개의 형광체의 형광 발광 강도 구배의 관계가 기지이면, X선 투과율 및 위치 변화량을 계산할 수 있다. 즉, X선의 이동 방향으로 형광 발광 강도가 다른 인접하는 형광체들을 사용할 수 있다. 이와 같은 수법에 따르면, 2개의 형광체로부터 투과율을 산출한 후에, 위치 변화량을 얻는다. 따라서, X선을 충분히 흡수하는 피검지물에 대해서도 고정밀도의 미분 위상 상 또는 위상 상을 얻을 수 있다.

[0115] 다음에, 연산처리를 도 13에 나타난 흐름도를 참조하여 설명한다. 우선, 스텝 S400에서, 형광체 어레이의 형광 발광 강도 데이터 J' 를 취득한다. 다음에, 스텝 S401에서, 스텝 S400에서 얻어진 인접하는 형광체의 형광 발광 강도 J'_1 과 J'_2 와, 미리 피검지물이 설치되지 않을 때 얻어진 kI_0 을 사용하여, 투과율 A를 계산한다. 다음에, 스텝 S402에서, 스텝 S400에서 얻어진 J' 과, 스텝 S401에서 얻어진 투과율 A와, 미리 피검지물이 설치되지 않을 때 얻어진 μ_{en} , kI_0 , J와 α 를 식 (8)에 대입함으로써, 위치 변화량(ΔX)을 계산한다. 스텝 S403에서, 위치 변화량(ΔX)과, 피검지물과 형광체 어레이의 거리(Z)를 식 (1)에 대입하여, 각 X선의 굴절각($\Delta \theta$)을 계산한다. 다음에, 스텝 S404에서, 스텝 S403에서 산출된 $\Delta \theta$ 을 식 (2)에 대입하여, 각 X선의 미분 위상($d\phi/dx$)을 구한다. 다음에, 스텝 S405에서, 스텝 S404에서 산출된 미분 위상($d\phi/dx$)을 X 방향에 대해 적분함으로써, 위상 정보(ϕ)를 계산한다. 이때, 스텝 S406에서, 이와 같이 얻어진 흡수 상, 미분 위상 상 및 위상 상을 표시부(308)에 적절히 표시할 수 있다.

[0116] 이때, 형광체 1204 및 1207의 형광 강도에 대한 정보를 얻는 경우, X 방향의 공간 분해능이 1/2만큼 줄어든다. 따라서, 상기 측정 이외에, 형광체 어레이(1203)를 도 3에 나타난 이동부 311을 사용하여 X 방향으로 이동시킴으로써, 공간 분해능을 개선할 수 있다. 이와 달리, 피검지물(304)을 X 방향으로 이동부 310을 사용하

여 이동시킴으로써, 공간 분해능을 개선할 수도 있다.

- [0117] 이상과 같이, 형광체 1204 및 1207을 사용함으로써, X선의 흡수의 효과 및 굴절의 효과를 독립적으로 얻을 수 있다. 또한, 검출기 306의 화소 사이즈 이하의 X선의 위치 변화량도 검출할 수 있다. 따라서, 피검지물과 검출기 사이의 거리를 줄일 수 있으므로, 장치의 소형화를 달성할 수 있다.
- [0118] 이하, 실시예를 참조하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 그러나, 본 발명은 실시예에 한정되는 것은 아니다. 굴절에 의한 X선의 위치 변화를 형광으로 변환하는 것이 가능한 모든 형광체 어레이, 형광체의 형상과, 형광체의 형광 발광 강도를 채용할 수 있다.
- [0119] 실시예
- [0120] 이하, 본 발명의 실시예에 대해 설명한다
- [0121] 실시예 1
- [0122] 다음에, 본 발명에 따른 실시예 1의 X선 촬영장치의 구성예에 대해 설명한다. 본 실시예는 상기 실시형태 2에 대응하는 것이다.
- [0123] 도 14에, 본 실시예의 구성예를 나타낸 것이다. 도 14에 있어서, X선 발생원(1401), 모노크로메이터(1402), 분할 소자(1403), 피검지물(1404), 형광체 어레이(1405), 검출기(1406), 연산부(1407) 및 표시부(1408)가 도시되어 있다. 이때, 분할 소자(1403), 피검지물(1404) 및 형광체 어레이(1405)는 이동부 1409, 1410 및 1411에 의해 각각 이동이 가능하다. 이동부 1409, 1410 및 1411은 스텝핑 모터를 구비한다.
- [0124] X선 발생부로서는, X선 발생원(1401)으로 나타낸 Mo 타겟의 회전 음극형의 X선 발생장치를 사용한다. X선의 단색화부로서는 고배향성 열분해 흑연(Highly oriented Pyrolytic Graphite: HOPG) 모노크로메이터(1402)를 사용한다. 이 모노크로메이터(1402)는 Mo의 특성 X선을 추출한다. 모노크로메이터(1402)에 의해 단색화된 X선은 X선 발생원(1401)으로부터 약 100cm 떨어진 위치에 배치된 분할 소자(1403)에 의해 공간적으로 분할된다.
- [0125] 분할 소자(1403)는, W으로 제조되고 두께 100 μ m를 갖는다. 분할 소자(1403)는, 그 내부에 슬릿 폭 40 μ m을 각각 갖는 슬릿이 배열된다. 슬릿 주기는 형광체 어레이(1405) 상에서 150 μ m이다. 이때, W 대신에 Au, Pb, Ta, Pt의 재료를 사용한다.
- [0126] 분할 소자(1403)에 의해 분할된 X선을 피검지물(1404)에 조사한다. X선은 피검지물(1404)을 투과하고, 피검지물(1404)로부터 50cm 떨어진 위치에 배치된 형광체 어레이(1405)에 입사한다.
- [0127] 형광체 어레이(1405)는, 꼭지각 약 80°를 갖는 삼각 기둥 형상을 각각 갖는 CsI(Tl 도프) 형광체가 배열한 구조를 갖는다. X 방향의 주기는 150 μ m이다. 이 형광체 어레이(1405)와, 화소 사이즈 25 μ m를 갖는 CCD를 사용한 검출기(1406)를 옅티컬 파이버 플레이트에 의해 접합하였다. 이 형광체 어레이(1405)와 검출기(1406)를 일체화한 디바이스는 형광 발광 강도를 검출한다.
- [0128] 분할 소자(1403)에 의해 분할된 X선은 삼각 기둥의 주기 방향으로의 중심에 입사한다. 이때, 본 실시예에서는, 분할 소자(1403)에서 분할된 X선 한개에 대해, 삼각 기둥의 주기 방향으로 6 화소의 형광 발광 강도값을 합계하였다. 이 합계를 1개의 형광체에 대한 형광 발광 강도로 정의하였다.
- [0129] 연산부(1407)를 사용하여, 검출 강도와 위치 변화량(ΔX)의 관계를 포함하는 데이터 테이블로부터 위치 변화량(X_d)을 얻는다. 그후, 식 (2)을 사용하여 굴절각($\Delta \theta$)을 산출한다. 굴절각($\Delta \theta$)과 식 (3)을 사용하여 미분 위상량을 산출한다. 그후, 얻어진 미분 위상량을 적분함으로써 위상 분포 상을 구한다. 연산부(1407)에 의해 얻어진 미분 위상 상 또는 위상 상은 PC 모니터로서 역할을 하는 표시부(1408)에 표시된다.
- [0130] 실시예 2
- [0131] 다음에, 본 발명에 따른 실시예 2의 X선 촬영장치의 구성예에 대해 설명한다. 본 실시예는 상기 실시형태 1에 대응하는 것이다.
- [0132] 도 15에, 본 실시예의 구성예를 나타내었다. 도 15에는, X선 발생원(1501), 피검지물(1504), 형광체 어

레이(1505), X선 검출기(1506) 및 표시부(1508)가 도시되어 있다.

- [0133] 본 실시예에 있어서, X선 발생부로서는, X선 발생원(1501)으로 나타낸 Mo 타겟의 회전 음극형의 X선 발생장치를 사용한다. X선 발생원(1501)에 의해 발생한 X선은 X선 발생원(1501)으로부터 100cm 떨어진 위치에 배치한 피검지물(1504)에 조사한다. X선은 피검지물(1504)을 투과하고, 피검지물(1504)로부터 65cm 떨어진 위치에 배치된 형광체 어레이(1505)에 입사한다.
- [0134] 형광체 어레이(1505)는, 꼭지각 약 80° 의 삼각 기둥 형상을 각각 갖는 CsI(Tl 도프)의 형광체를 배열한 구조를 갖는다. X 방향의 주기는 $150\mu\text{m}$ 이다. 이 형광체 어레이(1505)와 화소 사이즈 $25\mu\text{m}$ 의 CCD를 사용한 검출기(1506)는 옵티컬 파이버 플레이트를 사용하여 접합된다. 이 형광체 어레이(1505)와 검출기(1506)를 일체화한 디바이스는 형광 발광 강도를 검출한다. 피검지물(1504)이 설치되지 않을 때 촬영한 상으로 수적처리에 의해 구한 상은 PC 모니터로서 기능하는 표시부(1508)에 표시된다.
- [0135] 실시예 3
- [0136] 본 발명에 따른 실시예 3의 X선 촬영장치의 구성예에 대해 설명한다. 본 실시예는 상기 실시형태 5에 대응하는 것이다.
- [0137] 본 실시형태의 기본적인 구성은, 도 14에 도시된 실시예 1과 유사하다. 그러나, 형광체 어레이(1405) 및 연산부(1407)의 구성이 실시예 1과 다르다.
- [0138] 즉, 실시예 3의 형광체 어레이(1405)는, 옵티컬 파이버 플레이트 위에 형성한 CsI(Tl 도프)를 가공하여, 도 16에 나타낸 것과 같이, 삼각 기둥의 형상을 갖는 로드와 사각 기둥의 형상을 갖는 로드를 그 내부에 교대로 배열하여 제조한다. 삼각 기둥의 형상을 갖는 형광체(1604)와 사각 기둥의 형상을 갖는 형광체(1605)의 주기는 $150\mu\text{m}$ 이다. 형광체(1604)의 삼각 기둥의 꼭지각은 약 80° 이다. 삼각 기둥의 최대 두께는 약 $13\mu\text{m}$ 이다. 이 형광체 1604 및 1605가 위에 형성된 옵티컬 파이버 플레이트와, 화소 사이즈 $25\mu\text{m}$ 를 갖는 CCD를 포함하는 검출기(1406)를 일체화한다. 이 형광체 어레이(1405)와 검출기(1406)를 일체화한 디바이스는 형광 발광 강도를 검출한다.
- [0139] 분할 소자(1403)에 의해 분할된 X선은 대응하는 형광체의 주기 방향의 중심에 입사하게 된다.
- [0140] 형광체 어레이(1405)의 직후에 배치된 검출기로서 역할을 하는 검출기(1406)는, X선에 의해 유도된 형광의 강도를 검출한다. 이때, 본 실시예에서는, 분할 소자(1403)에서 분할된 X선 한개에 대해, 삼각 기둥의 주기 방향으로 6개의 화소의 형광 발광 강도값을 합계한다. 이 합계를 1개의 형광체의 형광 발광 강도로 정의한다. 그후, 형광체 어레이(1405)를 삼각 기둥 및 사각 기둥의 주기 방향으로 이동부 1411을 사용하여 $150\mu\text{m}$ 만큼 움직인다. 그후, 동일하게 측정을 행한다. 이 2회의 측정에 의해, 피검지물(704)을 투과한 X선에 의해 유도된 삼각 기둥 및 사각 기둥을 갖는 형광체의 형광 발광 강도가 얻어질 수 있다.
- [0141] 연산부(1407)를 사용하여, 미리 측정된 삼각 기둥에 대한 형광 발광 강도($J(X)$)와 위치 변화량(ΔX)에 관한 데이터베이스로부터 흡수량(ΔJ)과 위치 변화량(ΔX)을 얻는다. 그후, 이 위치 변화량(ΔX)과 식 (2)을 사용하여 굴절각($\Delta \theta$)을 산출한다. 굴절각($\Delta \theta$)과 식 (3)을 사용하여 미분 위상량을 산출한다. 그후, 얻어진 미분 위상량을 적분함으로써 위상 상을 구한다.
- [0142] 연산부(1407)에 의해 얻어진 X선 흡수상, X선 미분 위상 상 및 X선 위상 상은 필요에 따라 PC 모니터로서 기능하는 표시부(1408)에 표시된다.
- [0143] 실시예 4
- [0144] 다음에, 본 발명에 따른 실시예 4의 X선 촬영장치의 구성예에 대해 설명한다. 본 실시예는 상기한 실시형태 6에 대응하는 것이다.
- [0145] 본 실시예의 기본적인 구성은, 도 14에 나타낸 실시예 1 및 실시예 3과 유사하다. 그러나, 형광체 어레이(1405) 및 연산부(1407)의 구성은 실시예 1 및 실시예 3과 다르다.
- [0146] 도 12에 나타낸 것과 같이, 실시예 4의 형광체 어레이(1405)는, 옵티컬 파이버 플레이트 위에 형성한 CsI(Tl 도프)를 가공하여, 삼각 기둥의 형상과 이에 인접하는 로드의 구배와 역의 구배를 각각 갖는 로드들이

교대로 배열하도록 형성한다. 형광체 1204 및 형광체 1207의 주기는 $150\mu\text{m}$ 이다. 삼각 기둥의 꼭지각은 약 80° 이다. 이 형광체 1204 및 1207을 형성한 옵티컬 파이버 플레이트와, 화소 사이즈 $25\mu\text{m}$ 를 갖는 CCD를 구비한 검출기(1406)를 일체화하였다. 이 형광체 어레이(1405)와 검출기(1406)를 일체화한 디바이스가 형광 발광 강도를 검출한다. 분할 소자(1403)에 의해 분할된 X선은 대응하는 형광체의 주기 방향의 중심에 입사하게 된다. 형광체 어레이(1405)의 직후에 배치한 검출기로서 역할을 하는 검출기(1406)는, X선에 의해 유도된 형광의 강도를 검출한다. 이때, 본 실시예에서는, 분할 소자(1403)에서 분할된 X선 한개에 대해, 각 형광체의 주기 방향의 6개의 화소의 형광 발광 강도값을 합계한다. 이 합계를 1개의 형광체의 형광 발광 강도로 정의한다.

[0147] 그후, 형광체 어레이(1405)를 삼각 기둥의 주기 방향으로 이동부 1411을 사용하여 $150\mu\text{m}$ (1주기) 만큼 움직인다. 그후, 동일하게 측정을 행한다. 이 2회의 측정을 통해, 피검지물(1404)을 투과한 각 X선에 의해 유도된 형광체의 형광 발광 강도를 얻을 수 있다.

[0148] 연산부(1407)를 사용하여, 삼각 기둥의 형상을 갖는 형광체의 형광 발광 강도와, 피검지물(1404)이 설치되지 않은 상태에서 얻어진 측정 데이터(J(X))로부터, 위치 변화량(ΔX)과 투과율 A를 산출한다. 그후, 식 (2)을 사용하여 굴절각($\Delta \theta$)을 산출한다. 그후, 굴절각($\Delta \theta$)과 식 (3)을 사용하여 미분 위상량을 산출한다. 얻어진 미분 위상량을 적분함으로써 위상 상을 구한다.

[0149] 연산부(1407)에 의해 얻어진 X선 흡수 상, X선 미분 위상 상 및 X선 위상 상은 필요에 따라 PC 모니터로서 기능하는 표시부(1408)에 표시된다.

[0150] 예시적인 실시예들을 참조하여 본 발명을 설명하였지만, 본 발명이 이러한 실시예에 한정되지 않는다는 것은 자명하다. 이하의 청구범위의 보호범위는 가장 넓게 해석되어 모든 변형, 동등물 구조 및 기능을 포괄하여야 한다.

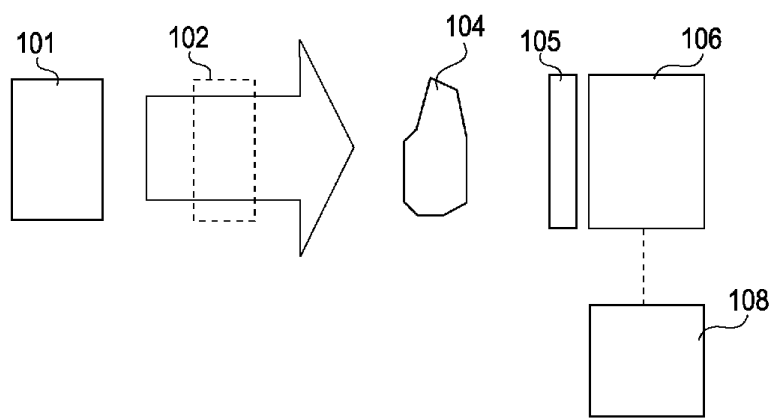
[0151] 본 출원은 2009년 7월 24일자 출원된 일본 특허출원 2009-173452의 우선권을 주장하며, 이 출원의 전체 내용을 참조를 위해 본 출원에 원용한다.

부호의 설명

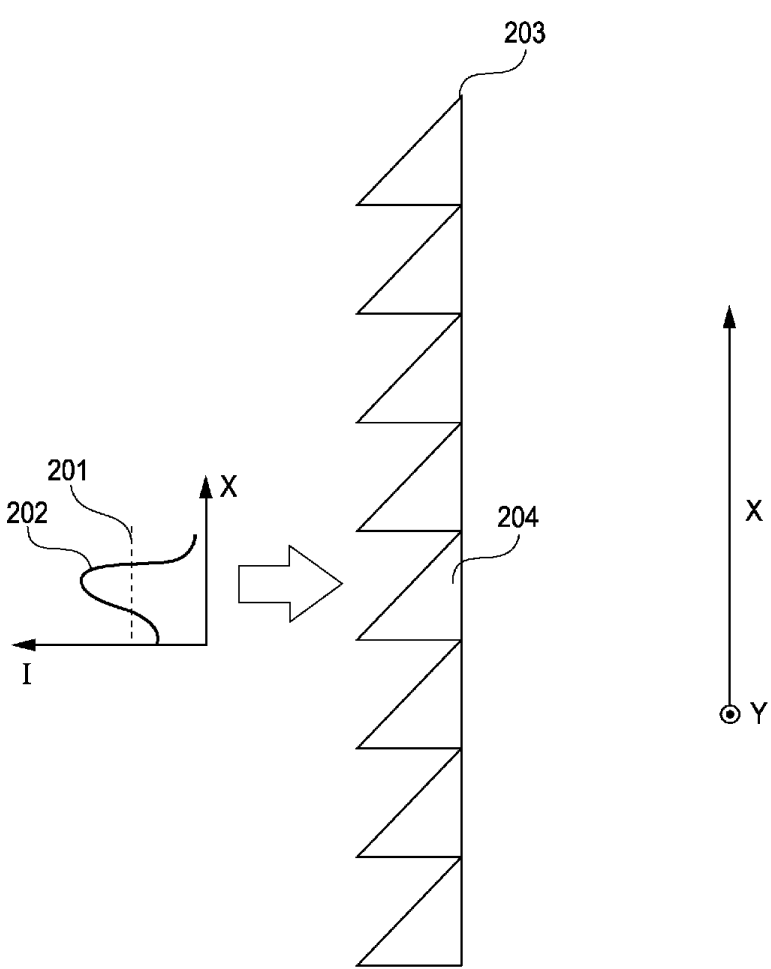
- [0152]
- 301 X선 발생원
 - 302 단색화부
 - 303 분할 소자
 - 304 피검지물
 - 305 형광체 어레이
 - 306 검출기
 - 307 연산부
 - 308 표시부
 - 309 이동부
 - 310 이동부
 - 311 이동부

도면

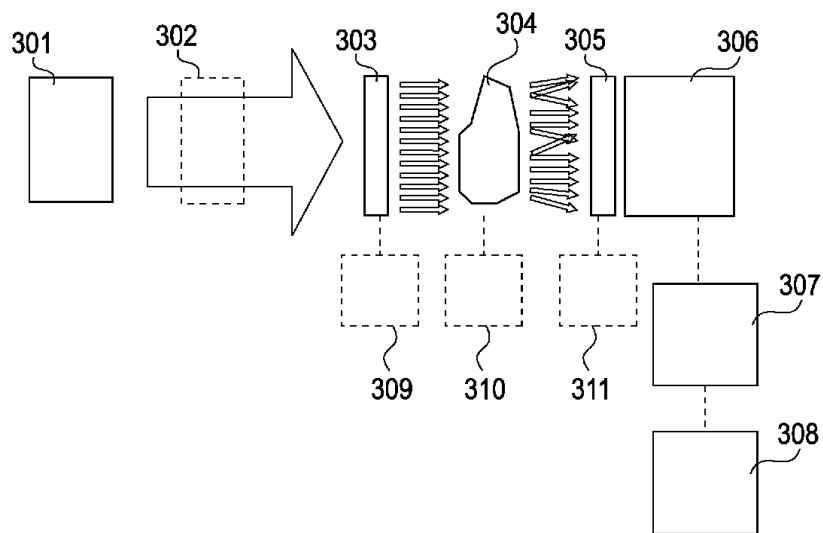
도면1



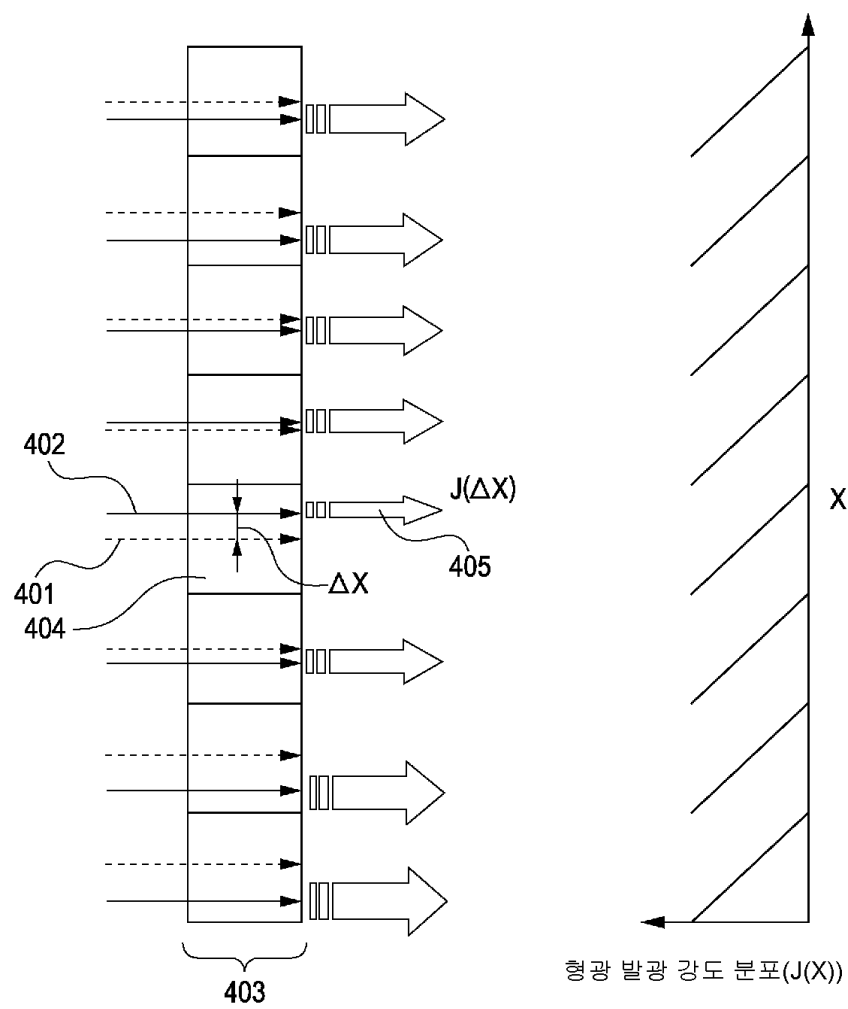
도면2



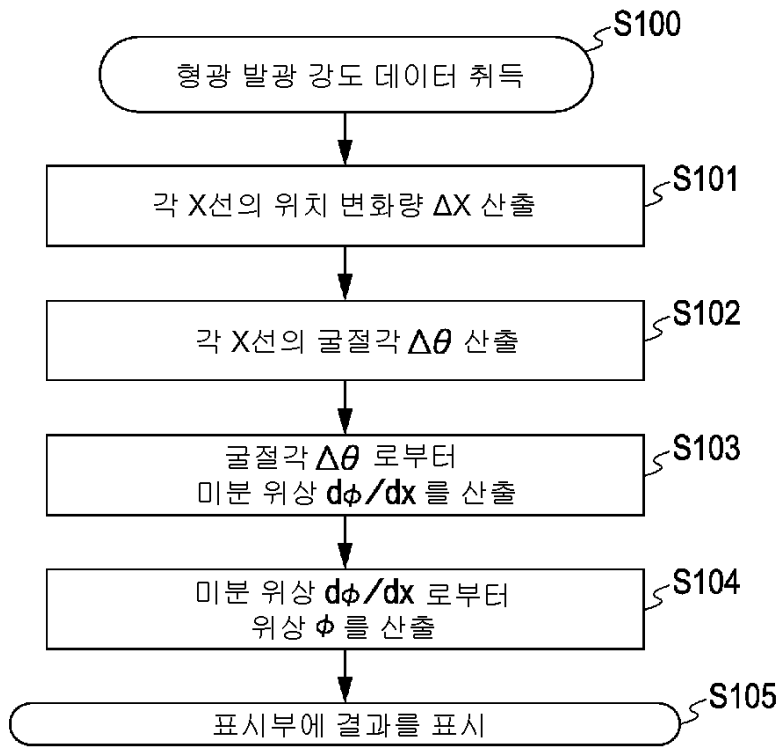
도면3



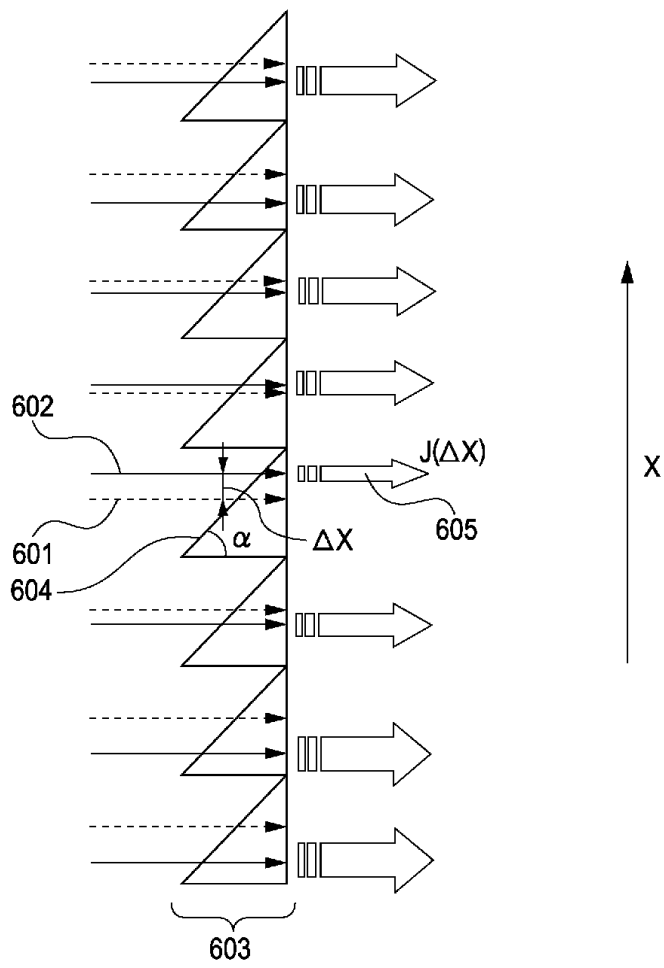
도면4



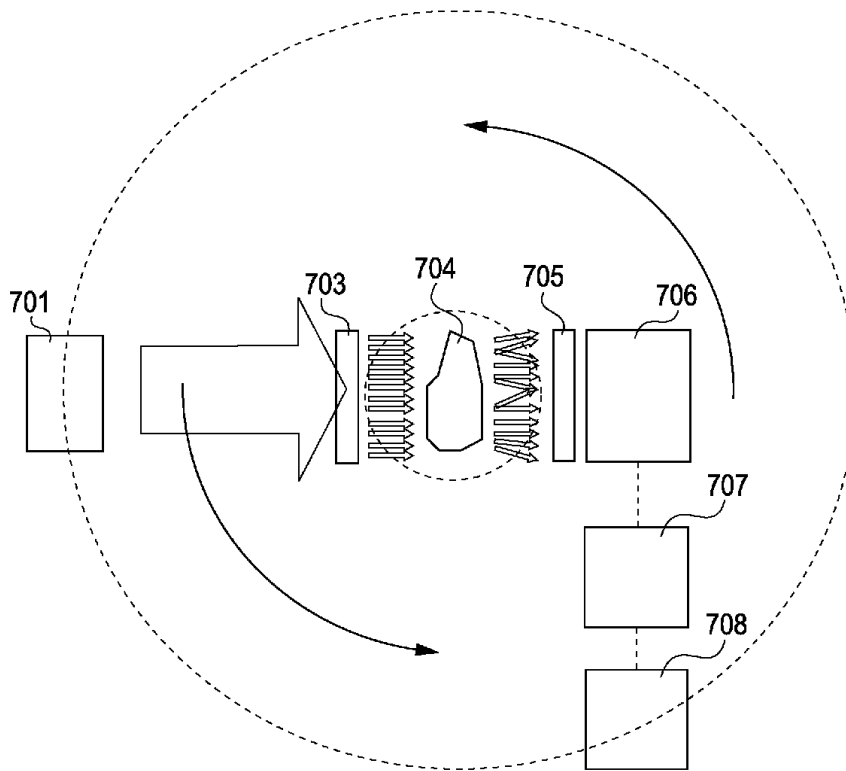
도면5



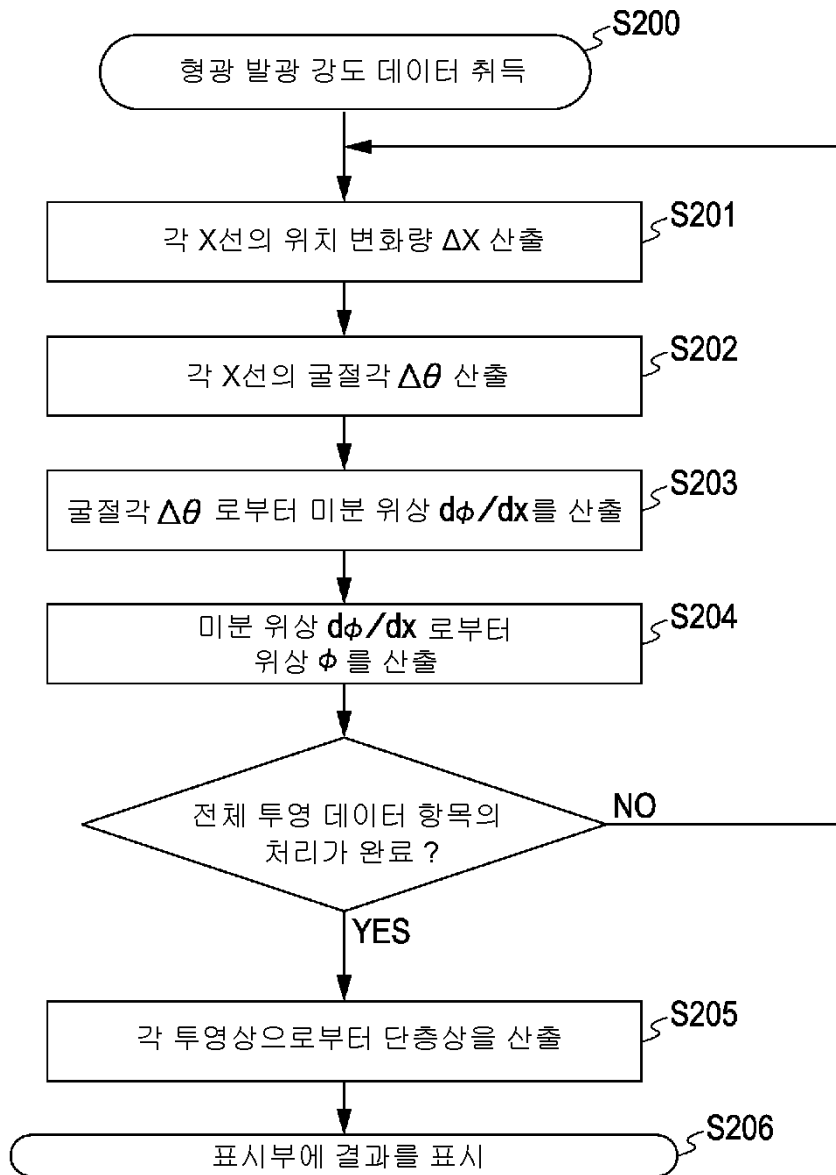
도면6



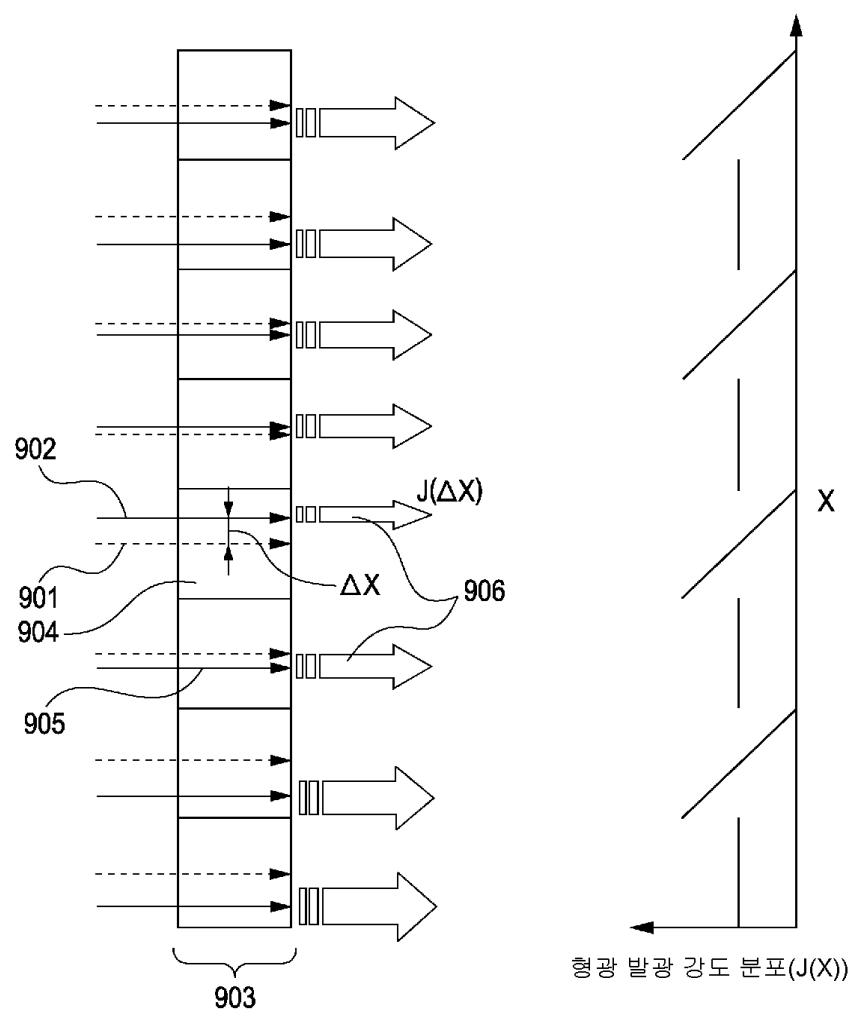
도면7



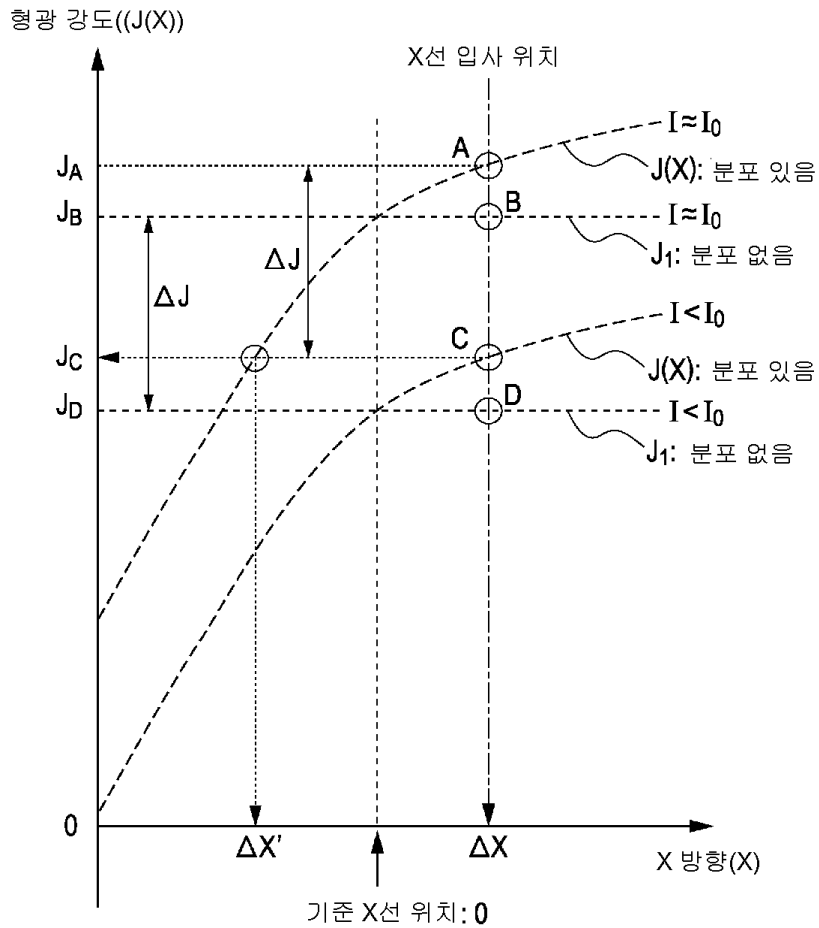
도면8



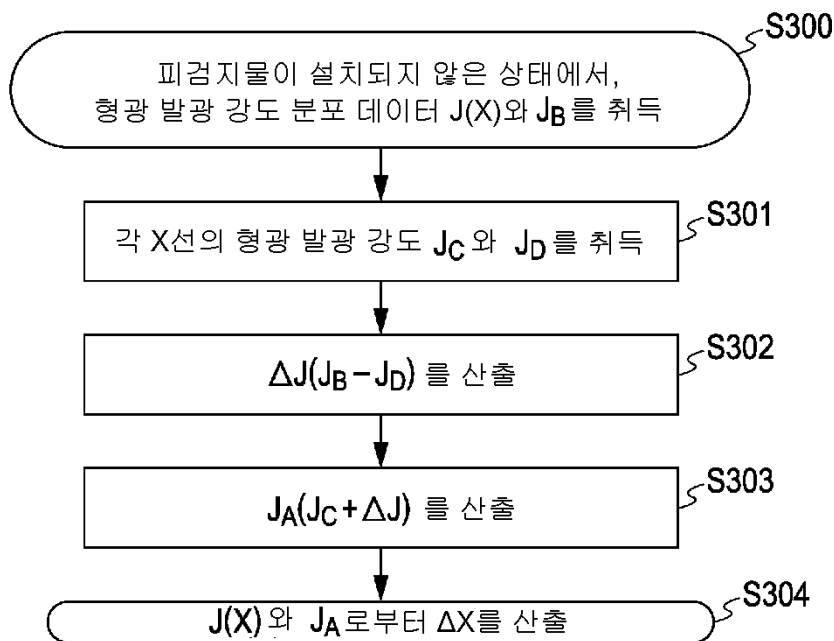
도면9



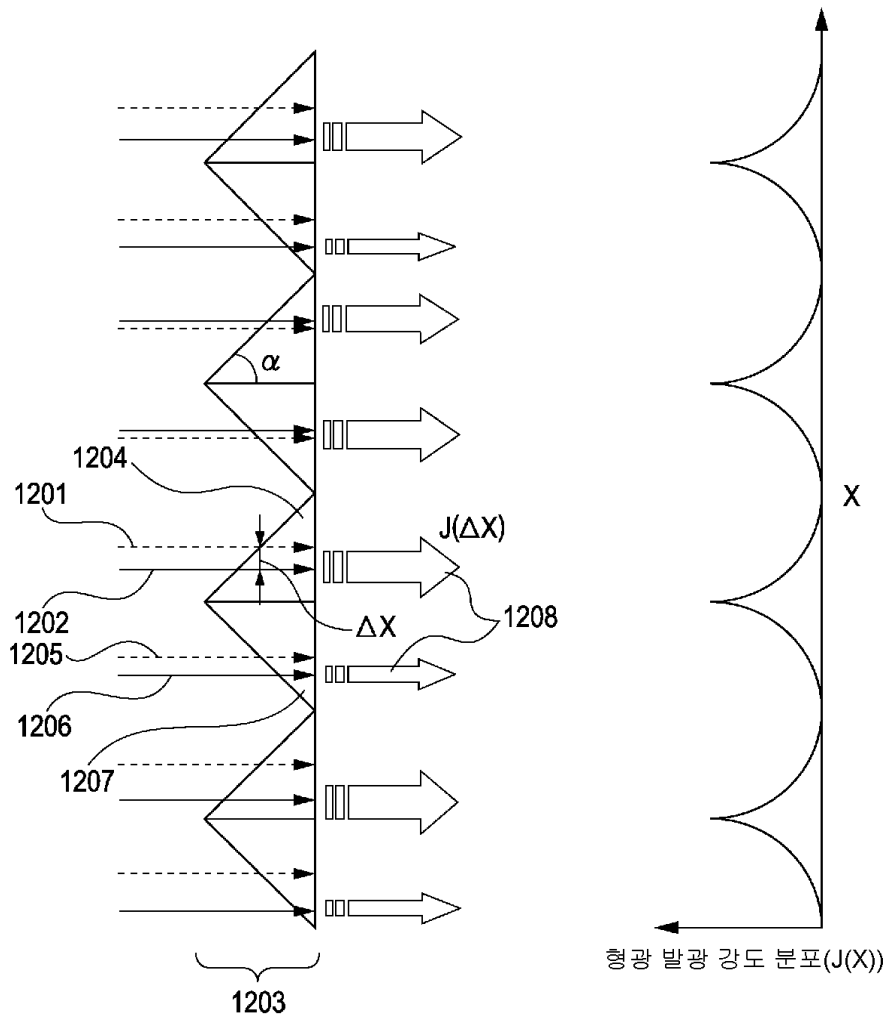
도면10



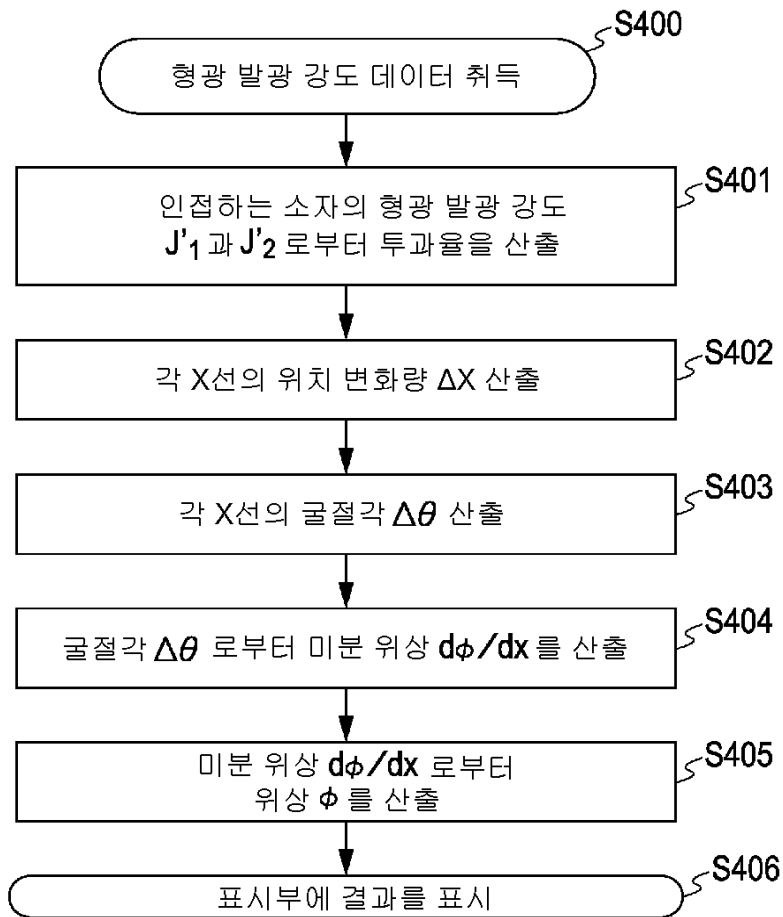
도면11



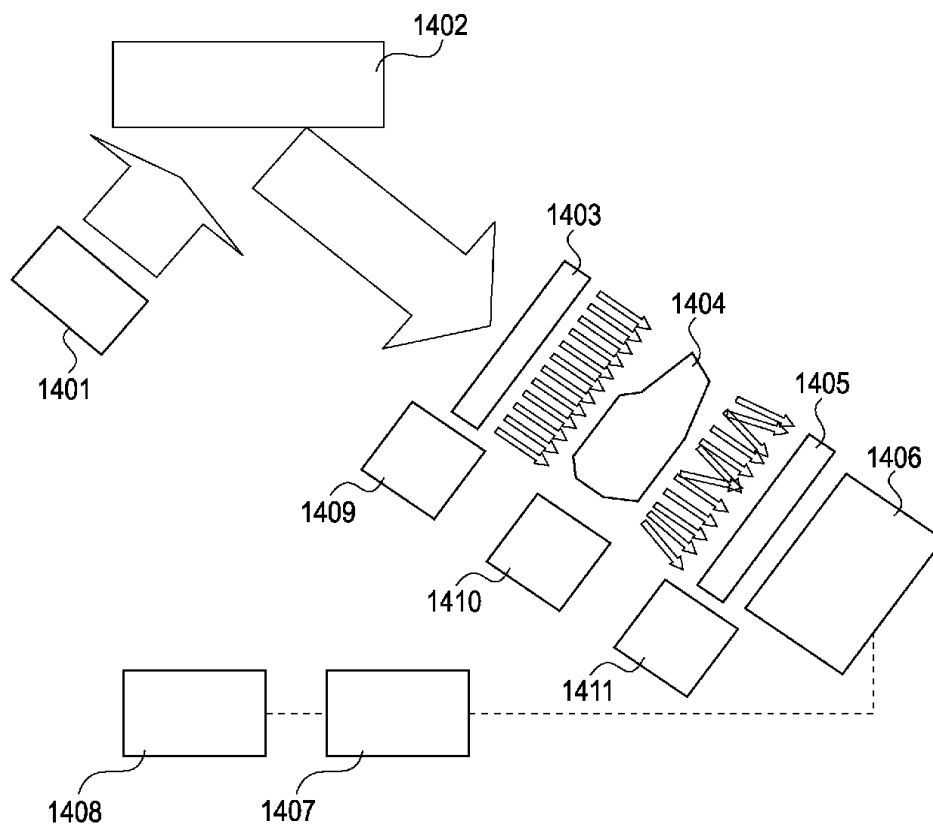
도면12



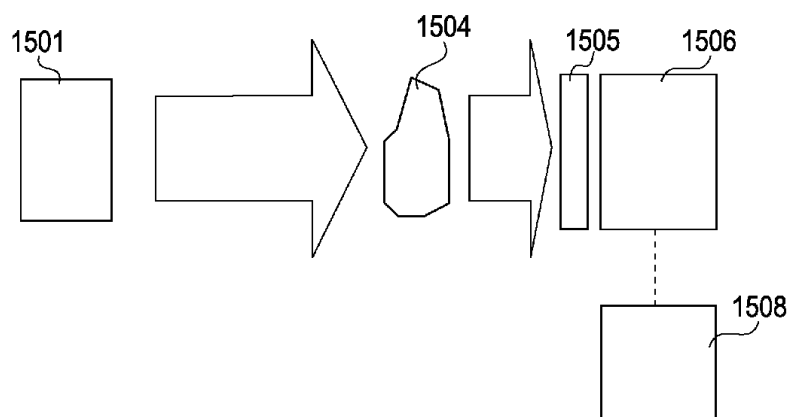
도면13



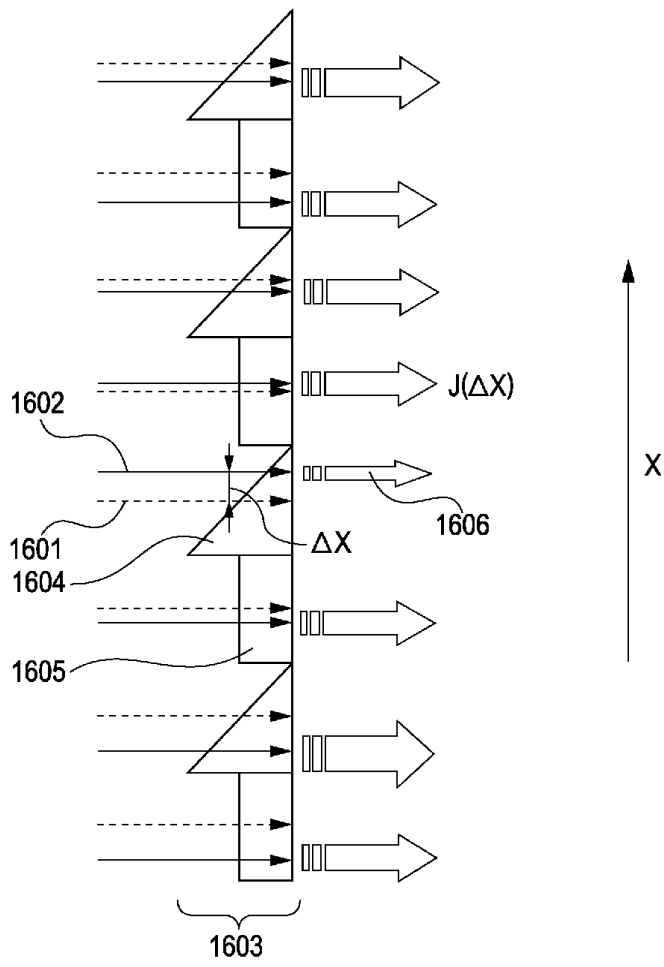
도면14



도면15



도면16



도면17

