



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월29일
(11) 등록번호 10-1912907
(24) 등록일자 2018년10월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 23/207 (2018.01)

(21) 출원번호 10-2013-0035372

(22) 출원일자 2013년04월01일

심사청구일자 2017년04월25일

(65) 공개번호 10-2013-0112001

(43) 공개일자 2013년10월11일

(30) 우선권주장

JP-P-2012-083680 2012년04월02일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP04174349 A

JP2001021507 A*

JP2002310950 A

JP2005512050 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

가부시키가이샤 리가쿠

일본 도쿄도 아키히마시 마츠바라쵸 3쵸메 9-12

(72) 발명자

오모테 가즈히코

일본 도쿄도 아키히마시 마츠바라쵸 3쵸메 9-12

가부시키가이샤 리가쿠나이

우에지 요시노리

일본 도쿄도 아키히마시 마츠바라쵸 3쵸메 9-12

가부시키가이샤 리가쿠나이

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

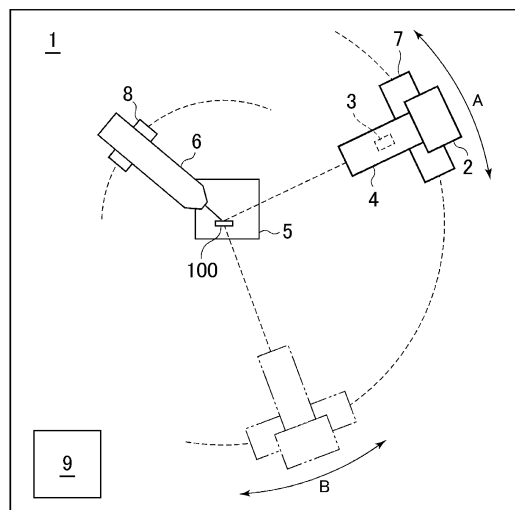
심사관 : 최종운

(54) 발명의 명칭 X선 토포그래피 장치

(57) 요약

시료에 입사시키는 원하는 특성 X선을 X선원이 방사하는 X선으로부터 분리시킴과 동시에, 시료에 입사하여 회절에 기여하는 그 원하는 특성 X선의 조사 범위를 넓게 할 수 있는 X선 토포그래피 장치의 제공. 소정의 특성 X선을 포함하는 X선을 미소 초점으로부터 방사하는 X선원; 상기 소정의 특성 X선에 대응하는 경사 격자면 간격의 다층막 미러를 포함함과 동시에, 그 다층막 미러가 반사하는 X선을 시료에 입사시키는 광학계; 상기 시료로부터 발생하는 회절 X선을 검출하는 X선 검출기;를 구비하는 X선 토포그래피 장치로서, 상기 다층막 미러는 단면이 포물선이 되는 만곡 반사면을 가지고, 상기 만곡 반사면의 초점에 상기 X선원의 상기 미소 초점이 배치된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

마츠오 류지

일본 도쿄도 아키히마시 마츠바라쵸 3쵸메 9-12 가
부시키가이샤 리가쿠나이

기쿠치 테츠오

일본 도쿄도 아키히마시 마츠바라쵸 3쵸메 9-12 가
부시키가이샤 리가쿠나이

명세서

청구범위

청구항 1

소정의 특성 X선을 포함하는 X선원 미소 초점으로부터 방사하는 X선원;

상기 소정의 특성 X선에 대응하며, 상기 미소 초점으로부터 멀어질수록 격자 간격이 커지는 경사 격자면 간격의 다층막 미러를 포함함과 동시에, 그 다층막 미러가 반사하는 X선을 시료에 입사시키는 광학계;

상기 시료로부터 발생하는 회절 X선을 검출하는 X선 검출기;를 구비하는 X선 토포그래피 장치로서,

상기 다층막 미러는 단면이 포물선이 되는 복수의 만곡 반사면을 가지고, 상기 복수의 만곡 반사면은 공통의 초점을 가지며, 상기 공통의 초점에 상기 X선원의 상기 미소 초점이 배치되는 것에 의해 상기 소정의 특성 X선의 부채꼴 빔이 형성되는 것을 특징으로 하는, X선 토포그래피 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 X선원 및 상기 광학계가 배치됨과 동시에 상기 시료에 대해 회전 이동을 하는 회전 구동계를 더 구비하고, 상기 회전 구동계는 투과 측정을 하기 위한 투과 배치와 반사 측정을 하기 위한 반사 배치 중 어느 하나를 선택하여 상기 X선원 및 상기 광학계를 이동시키고, 또 선택되는 배치에 있어서 상기 X선이 상기 시료에 대해 원하는 회절 조건을 만족시키도록 상기 X선원 및 상기 광학계를 이동시키는 것을 특징으로 하는, X선 토포그래피 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 광학계는, 상기 다층막 미러와 상기 시료의 사이에 배치됨과 동시에 상기 소정의 특성 X선의 파장에 대응하는 단결정 모노크로미터를 더 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 토포그래피 장치.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 다층막 미러의 표면 정밀도는 10arcsec 이하인 것을 특징으로 하는, X선 토포그래피 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 X선 토포그래피 장치에 관한 것으로, 특히 다층막 미러를 이용하는 X선 토포그래피 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] X선 토포그래피 장치는, 통상의 광학적 수단으로는 보기가 어려운 단결정 중의 전위나 석출 등의 여러 가지 결정 결함을 X선 회절상으로서 관찰하는 장치이다. 면 간격(d)을 갖는 격자면이 입사 X선의 파장(λ)에 대해 브래그 조건 $2d \cdot \sin\theta_n = n\lambda$ 을 만족시키도록 시료 결정이 배치될 때에 회절 현상이 발생한다. 이 입사 X선의 조사 범위에 상기 결정 결함이 존재하고 있으면, 그 결정 결함 부분과 그 이외의 부분의 사이에서 X선 회절상의 강도에 차이가 생기고, 이를 검출기가 검출함으로써 얻어지는 X선 회절상이 X선 토포그래프 상(像)이다.

[0003] X선 토포그래피 장치에는 랑의 방법(Lang's method), 베르그-바렛법(Berg-Barrett method), 2결정법 등이 이용된다. 랑의 방법은 투과 배치로 촬영하고 결정 내부의 결함 분포를 조사하는 방법으로, 현재 가장 널리 이용되고 있다. 베르그-바렛법은 반사 배치로 촬영함으로써 결정 표면의 결정 관찰을 조사하는 방법이다. 또한, 2결정

법은 X선원이 출사하는 X선을 제1 결정으로 회절시킴으로써 단색·평행화한 X선 빔을 제2 결정인 시료 결정에 입사시키는 방법이다. 종래의 X선 토포그래피 장치에서는 X선원을 점 X선원으로 간주할 수 있는 미소 초점의 X선원을 이용하고, X선원과 시료의 사이에 슬릿을 배치함으로써 시료에 입사하는 X선의 발산각을 제한하여 거의 평행한 X선으로 하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0004] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본실공소49-44151호 공보
(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 일본실공소50-24232호 공보
(특허문헌 0003) 특허문헌 3: 일본특개 2008-82939호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 슬릿을 이용함으로써 시료에 입사하는 X선을 거의 평행한 X선으로 할 수 있지만, 거의 평행한 X선으로 간주할 수 있을 정도로 X선의 발산각을 제한하기 위해 슬릿 폭을 소정의 폭으로 좁게 할 필요가 있고, 시료에 입사하는 입사 X선의 조사 범위는 한정되어 버린다. 또한, X선원과 슬릿의 사이에 소정의 거리를 둘 필요가 있고, 입사 X선의 휘도도 저하되어 버린다.
- [0006] X선원에 있어서 대음극으로 이용하는 타겟(금속)에 특유의 연속 X선 및 특성 X선이 발생한다. 예를 들면, 원하는 특성 X선을 입사 X선에 이용하여 회절 현상을 발생시키고자 하는 경우에, 다른 X선이 시료에 입사하여 회절 현상이 발생하는 것은 보다 정확한 X선 토포그래프 상을 촬영하기 위해서는 바람직하지 않다. 입사 X선에 연속 X선의 성분이 포함되는 경우에는, 연속 X선의 라우에 회절에 의한 백그라운드의 영향을 촬영되는 X선 토포그래프 상이 받게 되기 때문이다. 또한, 약간 파장이 다른, 다른 특성 X선이 시료에 입사하면, 그 다른 특성 X선에 의한 X선 회절상이 촬영되는 X선 토포그래프 상에 포함되어 버린다. 종래의 랑의 방법을 이용하는 경우는, 원하는 특성 X선(예를 들면, $K\alpha 1$)을 다른 특성 X선(예를 들면, $K\alpha 2$)과 분리하기 위해 시료의 근방에 세로로 긴 형상의 슬릿을 배치하여 다른 특성 X선으로부터의 회절상이 비치지 않도록 해야 한다.
- [0007] 종래 원하는 특성 X선을 다른 특성 X선과 분리하는 여러 가지 기술이 이용되고 있다. 일본실공소49-44151호 공보(이하, 특허문헌 1) 및 일본실공소50-24232호 공보(이하, 특허문헌 2)에는, 만곡 분광 결정을 이용한 랑의 방법 X선 회절 카메라가 개시되어 있다. 특허문헌 1 및 특허문헌 2에서는, X선원으로부터 발생하는 X선의 일부가 만곡 분광 결정에 입사하여 만곡 분광 결정에 의해 초점을 연결하도록 수렴됨으로써 원하는 특성 X선을 다른 X선과 분리하고 있다.
- [0008] 특허문헌 1에서는, 특성 X선($K\alpha 1$)이 초점을 연결하는 위치에 제1 슬릿(슬릿(3))이 설치되고, 특성 X선($K\alpha 1$)은 제1 슬릿을 통과하여 시료에 입사한다. 이에 대해, 약간 파장이 다른 특성 X선($K\alpha 2$)은 제1 슬릿 측방이 되는 장소에 초점을 연결하므로, 특성 X선($K\alpha 2$)은 제1 슬릿에 블록되고 시료로는 진행하지 않는다. 또한, 더 파장이 다른, 다른 X선은 만곡 분광 결정에 흡수되거나 산란되므로 시료로는 진행하지 않는다. 이와 같이 하여 특성 X선($K\alpha 1$)은 다른 X선으로부터 분리되는데, 특성 X선($K\alpha 1$)은 제1 슬릿을 통과한 후 해당 초점으로부터 발산하여 퍼지고 있다. 시료 앞에 제2 슬릿(슬릿(5))이 배치되고, 제2 슬릿에 의해 특성 X선($K\alpha 1$)의 발산각을 소정의 범위로 제한하고 있다. 여기서, 거의 평행한 X선일 필요는 없고, 발산각을 소정의 범위로 하도록 제2 슬릿의 슬릿 폭을 넓게 할 수 있으며, 시료에 입사하는 입사 X선의 조사 범위를 넓게 할 수 있다. 해당 X선 회절 카메라는 시료에 입사하는 특성 X선($K\alpha 1$)이 소정의 범위의 발산각을 가짐으로써, 시료가 다소 만곡되어 있는 경우에서도 전면의 촬영을 행할 수 있다. 그러나, 이러한 방법에 따라 X선을 단색화하면 입사하는 특성 X선($K\alpha 1$)이 발산하고 있음으로써, 입사하는 특성 X선($K\alpha 1$)의 일부만이 회절에 기여하게 되고, X선 감광판상에서의 X선의 휘도는 매우 약해져 버려 측정 시간의 증대를 발생시키는 문제가 있다.
- [0009] 특허문헌 2에서는, 특성 X선($K\alpha 1$)이 초점을 연결하는 위치에 시료를 배치하고, 시료 앞에 제1 슬릿(슬릿(6))이 설치되어 있다. 특허문헌 1과 같이, 제1 슬릿에 의해 특성 X선($K\alpha 1$)을 다른 X선으로부터 분리하고 있다. X선 감광판(7) 앞에 제2 슬릿(슬릿(8))을 설치함으로써, 화상 품질이 보다 높은 X선 토포그래프 상을 촬영할 수 있

다. 그러나, 해당 X선 회절 카메라는 특성 X선($K\alpha 1$)이 초점을 연결하는 위치에 시료를 배치하고 있으므로, 입사하는 X선의 조사 범위가 한정되어 버리는 문제가 생긴다. 해당 X선 회절 카메라는 시료 내부를 초점 위치로서 입사하는 특성 X선($K\alpha 1$)이 해당 초점에 수렴하고 있음으로써, 시료가 다소 만곡되어 있는 경우에서도 전면의 촬영을 행할 수 있다. 그러나, 이 경우도 특허문헌 1의 경우와 같이 X선 감광판상에서의 X선의 휘도가 매우 약해져 버리는 문제가 있다.

[0010] 특허문헌 1 또는 특허문헌 2에 관한 랑의 방법 X선 회절 카메라에서는, 만곡 분광 결정에 따라 X선을 초점에 한번 수렴하고 있으므로 시료에 입사하는 X선의 조사 범위를 넓게 취하고, 또한 그 범위에서 동시에 회절을 발생시키기 위한 조건을 만족시키기는 어렵다. 또한, 특허문헌 1 또는 특허문헌 2에 관한 기술에서는 시료 앞에 슬릿을 설치하고 있으므로, 이러한 기술은 베르그-바렛법에는 적용할 수 없거나 적용하는 데는 큰 제한이 있다.

[0011] 일본특개 2008-82939호 공보(이하, 특허문헌 3이라고 함)에는, 2결정법 X선 토폴그래피 장치의 개량 기술이 개시되어 있다. 제1 결정(1)과 제2 결정(2)을 안정성이 뛰어난 정반(3)상에 배치하고, X선원(5)을 슬릿(6)과 함께 이동 가능한 주사대(7)에 배치하여, 정반(3)과 주사대(7)의 사이에 기계적 절연 처리를 실시함으로써 안정적인 주사를 가능하게 하고 있다. 해당 X선 토폴그래피 장치에 있어서, 제1 결정과 X선원의 사이에는 슬릿이 배치되어 있고, 제1 결정에 입사하는 X선의 발산각을 제한하고 있다. 슬릿(6)을 이용함으로써 제1 결정(1)에 입사하는 X선의 휘도가 저하되어 버린다. 슬릿의 투과 후에 제1 결정(1)에 의해 단색화·평행화되어 있으므로, 시료인 제2 결정(2)에 입사하는 입사 X선의 휘도는 더욱 저하된 것이 된다. 또한, 슬릿(6)은 거의 평행한 X선으로 간주할 수 있을 정도로 X선의 발산각을 제한하기 위해 설치되어 있고, X선원(5)으로부터 소정의 거리로 이격하여 배치해야 함에도 불구하고 X선원(5)과 슬릿(6)을 주사대(7)에 배치할 필요가 있어, 장치의 규모 확대와 설계 자유도의 제한을 초래하게 된다.

[0012] 본 발명은 이러한 과제를 감안하여 이루어진 것으로, 시료에 입사시키는 원하는 특성 X선을 X선원이 방사하는 X선으로부터 분리시킴과 동시에, 시료에 입사하여 회절에 기여하는 그 원하는 특성 X선의 조사 범위를 넓게 할 수 있는 X선 토폴그래피 장치의 제공을 본 발명의 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] (1) 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명에 관한 X선 토폴그래피 장치는 소정의 특성 X선을 포함하는 X선을 미소 초점으로부터 방사하는 X선원; 상기 소정의 특성 X선에 대응하는 경사 격자면 간격의 다층막 미러를 포함함과 동시에, 그 다층막 미러가 반사하는 X선을 시료에 입사시키는 광학계; 상기 시료로부터 발생하는 회절 X선을 검출하는 X선 검출기;를 구비하는 X선 토폴그래피 장치로서, 상기 다층막 미러는 단면이 포물선이 되는 만곡 반사면을 가지고, 상기 만곡 반사면의 초점에 상기 X선원의 상기 미소 초점이 배치되는 것을 특징으로 한다.

[0014] (2) 상기 (1)에 기재된 X선 토폴그래피 장치로서, 상기 X선원 및 상기 광학계가 배치됨과 동시에 상기 시료에 대해 회전이동을 하는 회전 구동계를 더 구비하고, 상기 회전 구동계는 투과 측정을 하기 위한 투과 배치와 반사 측정을 하기 위한 반사 배치 중 어느 하나를 선택하여 상기 X선원 및 상기 광학계를 이동시키고, 또 선택되는 배치에 있어서 상기 X선이 상기 시료에 대해 원하는 회절 조건을 만족시키도록 상기 X선원 및 상기 광학계를 이동시켜도 된다.

[0015] (3) 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 X선 토폴그래피 장치로서, 상기 광학계는 상기 다층막 미러와 상기 시료의 사이에 배치됨과 동시에, 상기 소정의 특성 X선의 파장에 대응하는 단결정 모노크로미터를 더 구비하고 있어도 된다.

[0016] (4) 상기 (1) 내지 (3)에 기재된 X선 토폴그래피 장치로서, 상기 다층막 미러의 표면 정밀도는 10arcsec 이하이 어도 된다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 의해, 시료에 입사시키는 원하는 특성 X선을 X선원이 발생하는 X선으로부터 분리시킴과 동시에, 시료에 입사하여 회절에 기여하는 그 원하는 특성 X선의 조사 범위를 넓게 할 수 있는 X선 토폴그래피 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 실시형태에 관한 X선 토폴그래피 장치의 구조를 도시한 모식도이다.

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 실시형태에 관한 다층막 미러의 구조를 도시한 모식도이다.

도 3은 본 발명의 실시형태에 관한 다층막 미러의 구조를 도시한 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 본 발명의 실시형태를 도면에 기초하여 상세하게 설명한다. 단, 이하에 도시한 도면은 어디까지나 해당 실시형태의 실시예를 설명하는 것으로서, 도면에 도시한 축척과 실시예에 기재된 축척은 반드시 일치하는 것은 아니다.
- [0020] 도 1은 본 발명의 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)의 구조를 도시한 모식도이다. 해당 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)는 소정의 특성 X선을 포함하는 X선을 방사하는 X선원(2)과, 다층막 미러(3)를 포함함과 동시에 다층막 미러(3)가 반사하는 X선을 시료(100)에 입사시키는 광학계(4)와, 시료(100)를 지지하는 시료대(5)와, 시료(100)로부터 발생하는 회절 X선을 검출하는 X선 검출기(6)와, X선원(2) 및 광학계(4)가 배치됨과 동시에 시료(100)에 대해 각도 이동하는 제1 회전 구동계(7)와, X선 검출기(6)가 배치됨과 동시에 시료(100)에 대해 각도 이동하는 제2 회전 구동계(8)와, X선 토포그래프 측정을 제어함과 동시에 측정 데이터의 해석을 행하는 제어 해석부(9)를 구비하고 있다. 또, 시료(100)란 단결정 시료이다.
- [0021] 해당 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)의 특징은, X선원(2)이 점 X선원으로 간주할 수 있는 미소 초점의 X선원이며, X선원(2)이 방사하는 X선을 다층막 미러(3)가 단색화·평행화하는 것에 있다. 다층막 미러(3)에 의해 단색화·평행화된 X선을 시료에 입사시키는 것이 실현되며, 기하학적인 슬릿을 이용하지 않고 원하는 특성 X선에 의한 X선 회절상(토포그래프 상)을 촬영하는 것이 가능하게 된다.
- [0022] 이하, 해당 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)의 구성에 대해 설명한다.
- [0023] X선원(2)은 Cu(구리) 또는 Mo(몰리브덴) 등의 금속을 타깃으로서 이용하고 있다. 필라멘트로부터 방출되는 전자를 타깃에 충돌시키고, 전자가 타깃에 충돌하는 영역으로부터 모든 방향으로 X선이 방사된다. X선원(2)이 방사하는 X선에 타깃에 이용하는 금속 특유의 특성 X선(예를 들면, CuK α 1 또는 MoK α 1)이 포함된다. 필라멘트의 형상에 의해 해당 영역의 형상이 결정되는데, 해당 영역은 미소 초점이고, 미소 초점이 충분히 작음으로써 실질적으로 X선원(2)을 점 X선원으로 간주할 수 있다. 여기서, X선원(2)은 타깃에 Cu를 이용하는 경우도 타깃에 Mo를 이용하는 경우도 미소 초점은 직경 0.07mm의 원형상이다. 미소 초점은 이 크기에 한정되는 것은 아니고, 소정의 X선 토포그래프 상의 해상도를 얻을 수 있는 정도로 작으면 되고, 예를 들면 미소 초점의 크기는 (세로방향 및 가로방향으로) 0.3mm 이하이면 이용 가능하다. 또, 미소 초점의 크기는 바람직하게는 0.2mm 이하, 더 바람직하게는 0.1mm 이하이다. 또한, X선원(2)의 타깃에 Cu 또는 Mo를 이용하고 있지만, 타깃에 이용하는 금속은 이에 한정되는 것은 아니고, 시료가 되는 결정에 따라 적용하면 되고, 예를 들면 Cr(크롬), Rh(로듐), Ag(은) 등이어도 된다.
- [0024] 도 2a 및 도 2b는 해당 실시형태에 관한 다층막 미러(3)의 구조를 도시한 모식도이다. 도 2a는 다층막 미러(3)의 단면도이다. 다층막 미러(3)는 Si(실리콘)로 이루어지는 기판(21)의 표면에 다층막(22)이 적층된 것이다. 다층막(22)이 만곡 반사면이 되어 있고, 만곡 반사면의 단면은 포물선이다. 만곡 반사면은 해당 단면의 면 내에서 회절이 생기므로, 해당 단면을 포함하는 면이 회절면이 되어 있다. 만곡 반사면은 해당 회절면에 수직인 방향(도면의 앞에서 안쪽으로 관통하는 방향)으로는 해당 포물선의 형상을 유지하여 늘어나는 곡면이다. 이러한 형상을 포물면이라고 불러도 된다. 만곡 반사면은 초점(P)을 갖고 있으며, 초점(P)에 X선원(2)의 미소 초점을 배치하면, 다층막 미러(3)가 반사하는 X선은 회절면 내에서 평행한 X선이 되고, 이를 가리켜 평행화라고 부른다. 여기서는 예를 들면 1~3mm폭의 평행한 X선이 되어 있다. 또, 여기서는 평행한 X선으로 하고 있지만, 실제로는 X선 토포그래프 상에 원하는 해상도를 얻을 수 있는 정도로 발산(수렴)이 억제되어 있으면 된다. 여기서, 평행도는 0.5mrad가 되어 있지만, 2mrad 이하가 바람직하고, 1mrad 이하가 더 바람직하다. 도 2b는 다층막 미러(3)의 다층막(22)의 단면을 도시한 모식도이다. 다층막(22)에서는, 증원소층(23)과 경원소층(24)이 교대로 반복되어 적층되어 있다. 여기서, 증원소층(23)은 텅스텐(W)으로 형성되고, 경원소층(24)은 Si로 형성되어 있지만, 이에 한정되는 것은 아니고, 원하는 특성 X선에 따라 적용하면 되고, 예를 들면 증원소층(23) 및 경원소층(24)이 Fe(철) 및 C(탄소), Ni(니켈) 및 C, W 및 B $_4$ C(탄화 붕소), Mo 및 Si 등의 조합으로부터 선택해도 된다.
- [0025] 인접하는 2쌍의 층의 간격을 다층 간격(d)이라고 한다. 다층 간격(d)이란, 예를 들면 인접하는 2층의 증원소층(23)의 상표면 각각과의 사이의 거리이다. 다층막(22)에 있어서, 입사측에서 반사측으로 진행함에 따라, 즉 도 2b에 도시된 단면의 좌측에서 우측으로 걸쳐(도면의 가로방향으로) 다층 간격(d)은 서서히 변화하고 있다. 다층

막(22)의 다층 간격(d)은 도면에 도시된 단면의 좌단에서는 d1이고 우단에서는 d2이며, 다층 간격(d)은 도면의 좌측에서 우측으로 걸쳐 커지고 있고, d2는 d1보다 크다($d1 < d2$). X선 회절의 관점에서 말하면, 다층 간격(d)은 결정의 격자면 간격에 상당하고, 다층 간격(d)이 장소에 따라 변화하는 다층막은 「경사 격자면 간격」의 다층 막이라고 불린다. 다층막(22)의 각 위치에서의 다층 간격(d)은 만곡 반사면의 형상과 반사시키는 X선의 파장에 따라 결정된다. 즉, 다층막(22)은 특성 X선의 파장에 대응하는 격자면 간격을 갖고 있으며, 다층막(22)은 만곡 반사면에 따라 도면의 가로방향으로 격자면 간격이 경사지어 변화하고 있다. 이상적으로는 각각의 중원소층(23)의 상표면의 단면이 초점(P)을 초점으로 하는 포물선이 되어 있는 것이 바람직하다. 다층막(22)이 해당 경사 격자면 간격을 가짐으로써, 해당 특성 X선을 포함하는 X선이 다층막 미러(3)에 입사하는 경우, 해당 특성 X선은 선택적으로 반사되지만, 다른 X선의 대부분이 다층막 미러(3)에 흡수된다. 이를 가리켜 단색화라고 부른다. 따라서, 도 2a의 평행한 X선의 전방에 시료를 배치하면, 시료에 입사하는 X선은 거의 해당 특성 X선뿐이고, 다른 X선의 강도는 매우 감소되어 있다.

[0026] 또, 해당 실시형태에서는, 다층막 미러(3)의 만곡 반사면은 회절면에 수직인 방향으로 해당 포물선의 형상이 유지되어 있다고 하였지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 회절면에 수직인 방향으로도 해당 포물선의 형상이 변화하여 늘어나는 곡면이어도 된다. 특히, 다층막 미러(3)의 만곡 반사면이 포물선의 회전체의 측면의 일부인 경우, 다층막 미러(3)에서 반사되는 X선은 도 2a에 도시된 단면에 수직인 방향에 대해서도 평행화가 실현된다. 이 경우, X선원(2) 및 광학계(3)와 시료(100)의 거리는 높은 자유도로 설정할 수 있고, 보다 높은 위치 분해능을 갖는 토포그래피 장치가 실현된다.

[0027] 도 3은 해당 실시형태에 관한 다층막 미러(3)의 구조를 도시한 모식도로서, 도 2a를 입체적으로 나타내고 있고, X선원(2)과 다층막 미러(3)가 모식적으로 나타나 있다. X선원(2)이 방사하는 X선이 다층막 미러(3)에 입사한다. 다층막 미러(3)에서 반사되는 X선은 상술한 바와 같이 원하는 특성 X선뿐이며 단색화되어 있다. 그리고, 도 2a에 도시된 단면 내(회절면 내)에서는 다층막 미러(3)에 의해 평행한 X선이 되어 있고 평행화되어 있다. 단면(회절면)에 직교하는 방향(도 3의 y방향)으로는 X선원(2)으로부터 방사되는 X선의 발산을 수반하여 그대로 발산 X선이 되어 있다. 즉, 다층막 미러(3)에서 반사되는 X선은 회절면 내에서는 평행하게 회절면에 직교하는 방향(y방향)에서는 발산하고 있고, 이를 부채꼴 빔이라고 부르기로 한다. 원하는 특성 X선의 부채꼴 빔이 시료(100)에 입사한다. 따라서, 슬릿을 이용하는 종래기술과 달리 기하학적인 슬릿을 사용하지 않고 원하는 특성 X선을 넓은 면적에 걸쳐 시료(100)에 입사시키는 것이 실현되고 있다. 또, 도 3에는 시료(100)의 조사 영역(IX)이 모식적으로 나타나 있다. 시료(100)의 조사 영역(IX)의 x방향의 길이를 조사 영역(IX)에 입사하는 부채꼴 빔의 폭이라고 하고, 조사 영역(IX)의 y방향의 길이를 부채꼴 빔의 높이라고 부르기로 한다.

[0028] 도 1에 도시된 시료대(5)는 시료(100)를 지지하고 있음과 동시에 이동 기구를 구비하고 있고, 시료(100)를 이동 시킴으로써 입사하는 X선의 조사 위치를 조정할 수 있다. 여기서, 이동 기구란 예를 들면 XY방향의 평면 이동 및 회전 이동이 가능한 스테이지로서, 시료(100)를 원하는 방향으로 이동시킴으로써 시료(100)를 주사하면서 시료(100)의 측정 영역 전체의 X선 토포그래프 상을 촬영하는 것이 가능하게 된다. 여기서, 시료대(5)는 투과용(량의 방법)과 반사용(2결정법·베르그-바렛법) 모두에 대응하고 있고, 후술하는 바와 같이 X선원(2) 및 X선 검출기(6)의 배치에 따라 투과용 또는 반사용 중 어느 하나를 선택하여 X선 토포그래프 상을 촬영하는 것이 가능하다.

[0029] 다층막 미러(3)로부터 출사되는 X선은 어느 정도의 단색화가 되어 있지만, 대부분의 경우, 파장차가 얼마 안 되는 특성 X선, 예를 들면 $K\alpha 1$ 선과 $K\alpha 2$ 선을 동시에 포함하고 있다. 그러나, 출사되는 X선의 평행화가 충분히 이루어져 있고(예를 들면, 1mrad 이하), 단결정인 시료(100)에 의해 원하는 특성 X선(예를 들면, $K\alpha 1$ 선)만이 회절 조건을 만족시키고, 이에 따른 선명한 토포그래프 상을 얻을 수 있도록 시료(100)에 대한 입사하는 X선의 각도를 조정한다. 제1 회전 구동계(7)가 회전 이동함으로써, 광학계(4)로부터 시료(100)에 입사하는 X선의 각도가 조정된다.

[0030] 도 1에 도시된 X선 검출기(6)는 예를 들면 2차원 CCD 카메라로서, X선 토포그래프 상을 검출(촬영)할 수 있다. X선 검출기(6)는 2차원 CCD 카메라에 한정되는 것은 아니고, X선 토포그래프 상을 촬영할 수 있는 검출기이면 되고, 예를 들면 X선 필름이나 이미징 플레이트 등이어도 된다.

[0031] 도 1에 도시된 제1 회전 구동계(7)에서는, 다층막 미러(3)의 만곡 반사면의 초점에 X선원(2)의 미소 초점이 배치되어 있고, 광학계(4)가 다층막 미러(3)에서 반사된 X선이 시료(100)에 조사되도록 조정되어 있다. 제1 회전 구동계(7)는 시료(100)에 대해 회전 이동함으로써, 투과용 또는 반사용 중 어떤 X선 토포그래프의 촬영에 적합한 각도 배치로 X선원(2) 및 광학계(4)를 이동시킬 수 있고, 또한 측정의 목적에 따라 시료(100)에 조사되는 X

선이 시료(100)에 대해 원하는 회절 조건을 만족시키도록 X선원(2) 및 광학계(4)의 각도 배치를 주사 또는 이동시킬 수 있다. 즉, 제1 회전 구동계(7)는 투과 측정하기 위한 투과 배치와 반사 측정하기 위한 반사 배치 중 어느 하나를 선택하여 X선원(2) 및 광학계(4)를 이동시킬 수 있다. 또, 도 1에는 반사용 측정에 적합한 배치가 범위 A로서, 투과용 측정에 적합한 배치가 범위 B로서 나타나 있다.

[0032] 도 1에 도시된 제2 회전 구동계(8)에서는 X선 검출기(6)가 배치되고, 시료(100)로부터 발생하는 회절 X선의 검출에 적합한 위치가 되도록 조정되어 있다. 제2 회전 구동계(8)는 시료(100)에 대해 회전 이동할 수 있고, 측정의 목적에 따라 X선 검출기(6)의 각도 배치를 주사 또는 이동시킬 수 있다.

[0033] 도 1에 도시된 제어 해석부(9)는, X선 토포그래프 측정의 제어와 동시에 얻어진 측정 데이터의 해석을 행한다. X선 토포그래프 측정에 있어서, 제어 해석부(9)는 제1 회전 구동계(7) 및 제2 회전 구동계(8)를 이동시키고, X선원(2)에 소정의 X선을 방사하도록 제어하며, 시료(100)의 측정 영역 전체를 주사하기 위해 측정 중에 시료대(5)를 차례로 이동시키고, X선 검출기(6)에 시료(100)로부터 발생하는 회절 X선을 검출시키며, X선 검출기(6)로부터 측정 데이터를 취득하여 기억한다. X선 토포그래프의 데이터 해석에 있어서, 제어 해석부(9)는 기억되는 측정 데이터를 합성함으로써 시료(100)의 측정 영역 전체의 X선 토포그래프 상을 생성한다.

[0034] 본 발명에 관한 X선 토포그래피 장치에서는, 기하학적 슬릿을 이용하지 않고 시료에 입사하는 입사 X선에 원하는 특성 X선(단색 X선)의 부채꼴 빔(평행화된 X선)을 이용하는 것이 실현되어 있다. 입사 X선이 부채꼴 빔임으로써, 다층막 미러와 시료의 사이의 거리에 따르지 않고 부채꼴 빔의 폭(도 3의 x방향의 길이)은 거의 일정하게 유지된다. 따라서, 다층막 미러의 길이(도 2a에 도시된 단면의 좌단으로부터 우단의 길이)를 길게 함으로써, 부채꼴 빔의 폭을 크게 할 수 있고 시료(100)에 입사하는 입사 X선의 조사 범위의 폭을 크게 할 수 있다. 또한, 부채꼴 빔은 높이 방향(회절면에 직교하는 방향)으로는 발산하고 있고 다층막 미러와 시료의 사이의 거리를 크게 함으로써, 부채꼴 빔의 높이(도 3의 y방향의 길이)는 보다 크게 할 수 있고 시료에 입사하는 입사 X선의 조사 범위의 높이를 크게 할 수 있다. 따라서, 종래와 비교하여 한번에 촬영하는 X선 토포그래프 상의 범위를 넓게 할 수 있고 시료의 측정 범위 전체의 측정 시간을 단축할 수 있다. 또, 다층막 미러와 시료의 사이의 거리를 크게 하면, 이에 따라 시료에 입사하는 입사 X선의 휘도가 저하되므로, X선원의 출력을 감안하여 입사 X선에 원하는 휘도를 확보하면서 입사 X선의 조사 범위를 크게 할 수 있도록 다층막 미러와 시료의 거리를 정하면 된다.

[0035] 또한, 다층막 미러를 이용하여 단색화·평행화함으로써, 시료에 입사하는 입사 X선은 특성 X선($K\alpha$)(예를 들면, $CuK\alpha$ 또는 $MoK\alpha$)을 다른 X선으로부터 분리하여 단색화할 뿐만 아니라, 시료(100)에 의한 회절에 의해 특성 X선($K\alpha 1$)과 특성 X선($K\alpha 2$)이 충분히 분리되는 데에 충분한 정도로 평행도를 가지고 있다(발산이 억제되어 있다). 예를 들면, 해당 실시예에서 이용하고 있는 다층막 미러(3)로부터의 X선의 평행도는 0.5mrad이다. 다층막 미러에 의한 단색화·평행화에 의해, 해당 X선 토포그래피 장치(1)에서 촬영되는 X선 토포그래프 상은 예를 들면 특성 X선($K\alpha 1$)에 의한 번짐이 없는 X선 토포그래프 상이 되어 있다. 또, 해당 X선 토포그래프 상은 종래의 랑의 방법과 비교하여 시료에 입사하는 입사 X선에 포함되는 연속 X선의 성분이 충분히 감소되어 있으므로, 연속 X선의 라우에 회절에 의한 백그라운드의 영향을 거의 받지 않는 X선 토포그래프 상을 얻는 것이 가능하다.

[0036] 종래의 X선 토포그래피 장치에서는 기하학적인 슬릿을 이용할 필요가 있고, 장치 설계의 자유도는 슬릿의 배치에 의해 한정되어 있다. 이에 대해, 본 발명에 관한 X선 토포그래피 장치(1)에서는 기하학적인 슬릿을 이용하지 않고 장치 설계의 자유도는 높아지고 있다. 예를 들면, 도 1에 도시된 바와 같이, 해당 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)에서는 제1 회전 구동계(7)가 X선원(2) 및 광학계(4)를 투과용 또는 반사용 배치로 이동시킬 수 있다. 또, 제1 회전 구동계(7)가 상기 X선이 상기 시료에 대해 원하는 회절 조건을 만족시키도록 상기 X선원 및 상기 광학계를 이동시킬 수 있다. 종래의 랑의 방법 X선 토포그래피 장치에서는 시료의 근방에 슬릿이 배치되어 있고, X선원의 이동과 함께 이들 슬릿 등의 광학 부품을 이동시키는 것은 매우 어려워 본 발명은 현저한 효과를 얻는다.

[0037] 본 발명에 관한 X선 토포그래피 장치에 이용되는 다층막 미러는 표면 정밀도가 높은 것이 바람직하다. 해당 실시형태에 관한 다층막 미러(3)에 있어서, 표면 정밀도(Figure Error)가 4초(arcsec)($=4/3600$ 도)이고, 표면 정밀도가 10초 이하의 다층막 미러가 바람직하며, 표면 정밀도가 5초 이하이면 더 바람직하다. 여기서, 표면 정밀도란 다층막 미러의 이상적인 표면에 대해 실제 표면은 경사지어 있고 경사가 가장 큰(급준) 부분의 경사각(δ)으로 정의된다. 다층막 미러의 표면 정밀도가 나쁘면 측정되는 X선 토포그래프 상에 다층막 미러의 불완전함이 중첩되고, X선 토포그래프 상이 나타내는 결함상이 시료의 격자 결함에 기인하는지 다층막 미러의 표면에 기인하는지 구별을 하는 것은 어려워진다. 이에 대해, 표면 정밀도가 높은 다층막 미러를 이용함으로써 보다 정확한 X선 토포그래프 상을 얻을 수 있다.

[0038] 또한, 해당 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치(1)의 광학계(4)는 단결정 모노크로미터를 더 구비해도 된다. 단결정 모노크로미터는 도 1에 도시된 다층막 미러(3)로부터 광학계(4)의 출사단 측에 배치된다. 즉, 단결정 모노크로미터는 다층막 미러(3)와 시료(100)의 사이에 배치된다. 소정의 특성 X선의 파장에 대응하는 단결정 모노크로미터를 배치함(2결정법)으로써, 시료(100)에 입사하는 X선의 평행도를 더욱 높이는 것이 가능하게 된다. 특히, 보다 높은 왜감도(歪感度)를 갖는 X선 토포그래프 상을 촬영할 필요가 있는 경우에 적합하다.

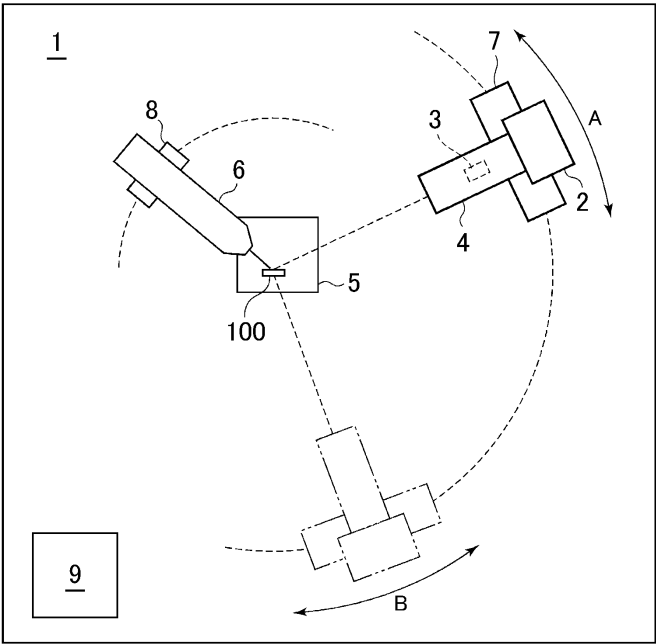
[0039] 이상, 본 발명의 실시형태에 관한 X선 토포그래피 장치에 대해 설명하였다. 본 발명은 상기 실시형태에 한정되는 것은 아니고, 미소 초점으로부터 X선을 방사하는 X선원과 다층막 미러를 이용하여 시료에 입사하는 입사 X선을 부채꼴 빔으로 함으로써, X선이 조사되는 영역에서의 시료의 실공간 매핑을 가능하게 하는 X선 토포그래피 장치에 널리 적용할 수 있다.

부호의 설명

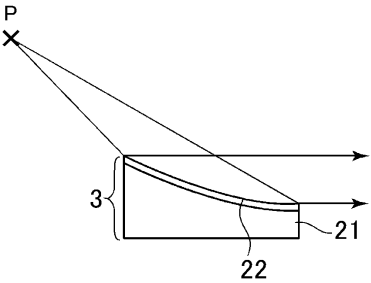
- [0040]
- 1: X선 토포그래피 장치
 - 2: X선원
 - 3: 다층막 미러
 - 4: 광학계
 - 5: 시료대
 - 6: X선 검출기
 - 7: 제1 회전 구동계
 - 8: 제2 회전 구동계
 - 9: 제어 해석부
 - 21: 기관
 - 22: 다층막
 - 23: 중원소층
 - 24: 경원소층

도면

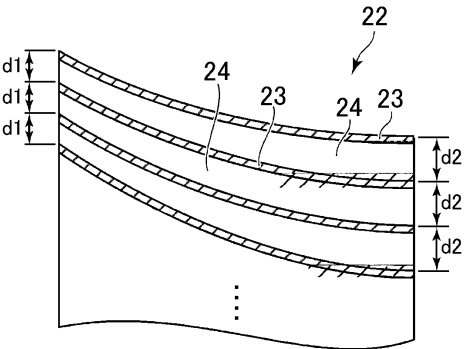
도면1



도면2a



도면2b



도면3

