(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월07일
(11) 등록번호 10-2714936
(24) 등록일자 2024년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 35/08 (2006.01) *H01J 35/14* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 35/08 (2021.08)
H01J 35/14 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2020-7018445
(22) 출원일자(국제) 2018년11월30일
심사청구일자 2021년10월06일
(85) 번역문제출일자 2020년06월25일
(65) 공개번호 10-2020-0090885
(43) 공개일자 2020년07월29일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2018/083138
(87) 국제공개번호 WO 2019/106145
국제공개일자 2019년06월06일
(30) 우선권주장
17204949.6 2017년12월01일
유럽특허청(EPO)(EP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2006527469 A*
US5052034 A
KR1020130135265 A*
US05052034 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
엑실룸 에이비
스웨덴 에스이-164 40 시스타 얀 스텐벡스 토리 17
(72) 발명자
한손 뵈른
스웨덴 에스이-164 40 시스타 얀 스텐벡스 토리 17
타크만 페르
스웨덴 에스이-164 40 시스타 얀 스텐벡스 토리 17
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
유미특허법인

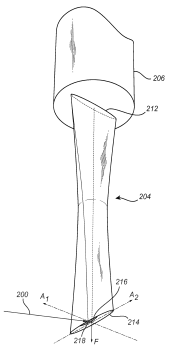
전체 청구항 수 : 총 14 항 심사관 : 김기한

(54) 발명의 명칭 **엑스레이 방사선 생성을 위한 엑스레이 소스 및 방법**

(57) 요 약

본 발명 개념은 엑스레이 소스에 관한 것으로, 유동축을 따라 이동하는 액체 타깃을 제공하도록 구성된 액체 타깃 소스; 전자빔을 제공하도록 구성된 전자 소스; 및 유동축에 대하여 비 원형 단면을 포함하도록 액체 타깃을 형성하도록 구성된 액체 타깃 셰이퍼 - 비 원형 단면은 제1 축을 따르는 제1 폭 및 제2 축을 따르는 제2 폭을 가지며, 제1 폭은 제2 폭보다 짧고, 액체 타깃은 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분을 포함함 -를 포함하고, 엑스레이 소스는 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 충격 부분 내에서 액체 타깃과 상호작용하도록 전자빔을 충격 부분을 향해 지향시키도록 구성된다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H01J 2235/082 (2013.01)
(72) 발명자
왕 율리
스웨덴 에스이-164 40 시스타 얀 스텐벡스 토리 17
다나카 시호
스웨덴 에스이-164 40 시스타 얀 스텐벡스 토리 17

명 세 서

청구범위

청구항 1

엑스레이 소스(X-ray source)로서,

유동축을 따라 이동하는, 자유롭게 전파하는 액체 제트로 형성된 액체 타깃(104)을 제공하도록 구성된 액체 타깃 소스(106);

전자빔(100)을 제공하도록 구성된 전자 소스(102); 및

상기 유동축에 대하여 비 원형 단면(non-circular cross section)을 포함하도록 상기 액체 타깃을 형성하도록 구성된 액체 타깃 셰이퍼(shaper) - 상기 비 원형 단면은 제1 축을 따르는 제1 폭(322) 및 제2 축을 따르는 제2 폭(320)을 가지며, 상기 제1 폭은 상기 제2 폭보다 짧고, 상기 액체 타깃은 상기 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분(316)을 포함함 -

을 포함하며,

상기 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 상기 충격 부분 내에서 상기 액체 타깃과 상호작용하도록 상기 엑스레이 소스가 상기 충격 부분(316)을 향해 상기 전자빔(100)을 지향시키도록 구성되고,

상기 엑스레이 소스는

상기 충격 부분 내에서 상기 전자빔이 상기 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키도록 구성된 제1 장치, 및

제2 장치

를 더 포함하고,

상기 제2 장치는

상기 액체 타깃과 상기 액체 타깃에 의해 적어도 부분적으로 가려지도록 배치된 센서 영역의 가려지지 않은 부분 사이에서 상기 전자빔을 스캐닝하고,

상기 센서 영역으로부터의 신호에 기초하여 상기 액체 타깃의 폭을 결정하고,

상기 결정된 폭에 기초하여, 상기 전자빔과 상기 충격 부분의 표면 사이의 입사각을 조정하도록 구성된,

엑스레이 소스.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 장치는 상기 액체 타깃에 관하여 전자빔을 이동시키도록 구성된 전자 광학 장치인,

엑스레이 소스.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 장치는 상기 충격 부분(316) 내에서 상기 전자빔(100)이 상기 액체 타깃(104)과 상호작용하는 위치를 이동시키기 위해 상기 액체 타깃 셰이퍼와 협력하도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 장치는 상기 유동축 주위로 상기 타깃 셰이퍼를 회전시키도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 장치는 상기 유동축에 직교하는 방향으로 상기 타깃 셰이퍼를 이동시키도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 제1 장치는 상기 유동축에 관하여 상기 타깃 셰이퍼를 기울이도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 액체 타깃 셰이퍼는 상기 비 원형 단면을 포함하도록 상기 액체 타깃을 형성하기 위해 비 원형 개구를 갖는 노즐(212)을 포함하는,

엑스레이 소스.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 장치는 전자빔(100)에 관하여 상기 충격 부분(316)의 위치 및/또는 방향(orientation)을 조정하기 위해 상기 유동축을 따라 상기 노즐(212)을 이동시키도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 액체 타깃 셰이퍼는 상기 비 원형 단면을 포함하도록 상기 액체 타깃(104)을 형성하기 위한 자기장을 생성하도록 구성된 자기장 생성기(103)를 포함하는,

엑스레이 소스.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 자기장 생성기(103)는 상기 전자빔에 관하여 상기 충격 부분(316)의 위치 및/또는 방향을 조정하기 위해 상기 자기장을 조정하도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 11

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자 소스(102)는 상기 충격 부분(316) 내에서 상기 액체 타깃(104)과 상호작용하는 복수의 전자빔을 생성하도록 구성되는,

엑스레이 소스.

청구항 12

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 액체 타깃(104)은 금속인,

엑스레이 소스.

청구항 13

엑스레이 방사선을 생성하는 방법으로서,

전자빔을 제공하는 단계(726);

유동축을 따라 이동하는, 자유롭게 전파하는 액체 제트로 형성된 액체 타깃을 제공하는 단계(724) - 상기 액체 타깃은 상기 유동축에 대하여 비 원형 단면을 포함하고, 상기 비 원형 단면은 제1 축을 따르는 제1 폭 및 제2 축을 따르는 제2 폭을 가지며, 상기 제1 폭은 상기 제2 폭보다 짧고, 상기 액체 타깃은 상기 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분을 포함함 -;

상기 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 상기 충격 부분 내에서 상기 액체 타깃과 상호작용하도록 상기 전자빔을 상기 충격 부분으로 향하도록 지향시키는 단계(730); 및

상기 충격 부분 내에서, 상기 전자빔이 상기 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키는 단계

를 포함하고,

상기 방법은

상기 액체 타깃과 상기 액체 타깃에 의해 적어도 부분적으로 가려지도록 배치된 센서 영역의 가려지지 않은 부분 사이에서 상기 전자빔을 스캐닝하는 단계(732);

상기 센서 영역으로부터의 신호에 기초하여 상기 액체 타깃의 폭을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 폭에 기초하여, 상기 전자빔과 상기 충격 부분의 표면 사이의 입사각을 조정하는 단계

를 더 포함하는 엑스레이 방사선을 생성하는 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 결정된 폭에 기초하여,

상기 유동축 주위로 상기 충격 부분을 회전시키는 것; 및

상기 전자빔이 상기 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키는 것

중 적어도 하나를 수행하는 단계를 더 포함하는 엑스레이 방사선을 생성하는 방법.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 명세서에 기술된 본 발명의 개념은 일반적으로 전자 충격 엑스레이 소스(X-ray source) 및 이러한 엑스레이

소스에서 사용하기 위한 액체 타깃에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 액체 타깃을 조사하여 엑스레이를 생성하는 시스템은 출원인의 국제 출원 PCT/EP2012/061352 및 PCT/EP2009/000481에 기재되어 있다. 이들 시스템에서, 고압 캐소드를 포함하는 전자총은 액체 제트(liquid jet)에 충돌하는 전자빔을 생성하는 데 이용된다. 타깃은 바람직하게는 진공 챔버 내부에 제공된 인듐, 주석, 갈륨 납 또는 비스무트와 같은 낮은 융점을 갖는 액체 금속으로 형성된다. 액체 제트를 제공하기 위한 수단은 히터 및/또는 냉각기, 가압 수단(기계식 펌프 또는 화학적 불활성 추진체 가스의 소스와 같음), 제트의 단부에서 액체를 수집하기 위한 노즐 및 리셉터클(receptacle)을 포함할 수 있다. 전자빔과 액체 제트 사이의 상호작용에 의해 생성되는 엑스레이 방사선은 진공 챔버를 주변 대기로부터 분리시키는 윈도우를 통해 진공 챔버를 떠날 수 있다.

[0003] 그러나, 여전히 향상된 엑스레이 소스가 필요하다.

발명의 내용

[0004] 본 발명 개념의 목적은 향상된 엑스레이 소스를 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명 개념의 제1 측면에 따르면, 엑스레이 소스는, 유동축(flow axis)을 따라 이동하는 액체 타깃을 제공하도록 구성된 액체 타깃 소스; 전자빔을 제공하도록 구성된 전자 소스; 및 유동축에 대하여 비 원형 단면(non-circular cross section)을 포함하도록 액체 타깃을 형성하도록 구성된 액체 타깃 셰이퍼(shaper) - 비 원형 단면은 제1 축을 따르는 제1 폭 및 제2 축을 따르는 제2 폭을 가지며, 제1 폭은 제2 폭보다 짧고, 액체 타깃은 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분을 포함함 -을 포함하도록 제공되며, 엑스레이 소스는 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 충격 부분 내에서 액체 타깃과 상호작용하도록 충격 부분을 향해 전자빔을 지향시키도록 구성되고, 엑스레이 소스는 충격 부분 내에서 전자빔이 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키도록 구성된 장치를 더 포함한다.

[0006] 본 발명 개념은 비 원형 단면을 갖는 액체 타깃을 제공함으로써, 예를 들어 액체 타깃의 유량을 증가시키지 않고도 전자빔에 대한 더 넓은 충격 표면이 달성될 수 있다는 인식에 기초한다. 더 넓거나 덜 구부러진 충격 표면은 또한 다수의 전자빔이 바람직하게는 유동축에 수직인 방향을 따라 액체 타깃에 동시에 충격을 가할 수 있게 하고, 실질적으로 엑스레이 스팟(spot)의 초점을 손상시키지 않으면서 더 크거나 더 넓은 전자빔 스팟이 사용될 수 있게 한다. 이러한 충격 표면은 또한 타원형 또는 심지어 선 형상인 전자빔 스팟과 함께 사용될 수 있음을 이해할 것이다.

[0007] 또한, 비 원형 단면을 갖는 액체 타깃은 유사한 폭 및 유량을 갖는 원형 단면을 갖는 대응하는 액체 타깃에 비해 향상된 열 특성을 제공할 수 있다. 특히, 액체 타깃의 단면을 정의하는 축 중 하나를 따라 폭을 감소시킴으로써, 액체 타깃의 속도가 증가될 수 있고, 따라서 액체 타깃의 열 특성을 향상시킬 수 있다. 즉, 액체 타깃을 열적으로 로딩하는 능력은 액체 타깃의 속도에 따라 변한다. 폭을 증가시키면서 속도를 유지한다는 것은 질량 흐름을 증가시키는 것을 의미하며, 이는 펌프 시스템에 대한 요구사항을 더 어렵게 할 수 있다.

[0008] 엑스레이 방사선이 엑스레이 소스를 빠져 나갈 수 있는 전자 소스 및/또는 엑스레이 윈도우의 위치에 관하여 충격 부분의 위치를 조정할 수 있는 것이 또한 바람직하다. 바람직하게는, 충격 부분 및 전자 소스는 전자빔이 액체 타깃의 가장 큰 표면 부분, 즉 가장 작은 곡률을 갖는 액체 타깃의 부분에 충돌할 수 있도록 정렬될 수 있다. 또한, 전자빔이 충돌하는 더 큰 표면을 제공하기 위해 충격 부분에서 타깃의 폭을 증가시키는 것이 바람직할 수 있다.

[0009] 또한, 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 입사각은 예를 들어 생성된 엑스레이 방사선의 공간 분포에 중요할 수 있다는 것이 인식되었다. 특히, 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 입사각 및/또는 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 위치는 전자빔의 방향에 대해 단면의 제1 축을 회전시킴으로써 선택적으로 조정될 수 있거나 또는 그 반대도 가능하며, 그리고/또는 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 위치를 조정함으로써 선택적으로 조정될 수 있다.

[0010] 본 출원의 문맥에서, 용어 "폭"은 액체 타깃의 좌우 직경 또는 범위를 지칭할 수 있다. 특히, 제1 폭은 제1 축을 따르는 비 원형 단면의 가장 큰 폭일 수 있고, 제2 폭은 제2 축을 따르는 비 원형 단면의 가장 큰 폭일 수 있다. 제1 및 제2 축은 서로 직교할 수 있고, 유동축과 교차할 수 있다. 제2 폭은 100 ㎛, 예컨대 10 ㎛ 내지 1000 ㎛, 예컨대 100 ㎛ 내지 500 ㎛, 예컨대 150 ㎛ 내지 250 ㎛일 수 있다. 제2 폭과 제1 폭 사이의 비율은

일부 예에서 적어도 1.1과 같이, 적어도 1.5와 같이, 적어도 2와 같이, 적어도 5와 같이 적어도 1.05일 수 있다.

[0011] 용어 '액체 타깃'은, 본 출원의 상황에서, 예를 들어 노즐을 통과하고 엑스레이를 생성하기 위한 시스템을 통해 전파되도록 강제되는 액체의 스트림 또는 흐름을 지칭할 수 있다. 액체 타깃이 일반적으로 본질적으로 연속적인 액체의 흐름 또는 스트림으로 형성될 수 있지만, 액체 타깃은 추가로 또는 다르게는 복수의 액 적(droplet)을 포함하거나 심지어 액적으로 형성될 수 있음을 이해할 것이다. 특히, 액적은 전자빔과 상호작용할 때 생성될 수 있다. 액적의 그룹 또는 클러스터의 이러한 예는 또한 용어 '액체 타깃'에 의해 포함될 수 있다.

[0012] 액체 타깃은 비 원형 단면을 가질 수 있으며, 이는 타원형(oval), 타원형(elliptic) 또는 다른 긴 형상에 적합할 수 있다. 단면을 더 길게함으로써, 충격 부분에서의 표면의 곡률이 감소될 수 있다. 결국, 곡률은 충격 부분의 표면이 평평한 2차원 표면과 근사될 수 있도록 충분히 낮을 수 있다. 타깃과 같은 것이 또한 '플랫 제트(flat jet)'로도 지칭될 수 있다. 다르게 말하면, 충격 부분의 위치는 평평한 표면과 가장 유사한 액체 타깃의 일부로서 선택될 수 있다. 액체 커튼은 이러한 제트의 극단적인 예이며, 전자빔에 대한 충격 부분으로서 사용될 수 있는 실질적으로 평평한 표면을 나타낸다.

[0013] 액체 타깃은 적어도 충격 영역의 위치에서 주변 환경에 관하여 자유롭게 전파되는 액체 제트로 형성될 수 있다. 따라서, 액체 제트의 재료는 엑스레이 소스의 챔버 내의 환경에 노출될 수 있다.

[0014] 전형적으로, 액체 타깃 재료는 바람직하게는 비교적 낮은 융점을 갖는 금속이다. 이러한 금속의 예로 인듐, 갈륨, 주석, 납, 비스무트 및 이들의 합금을 포함한다.

[0015] 이하의 개시에서 더 설명되는 바와 같이, 전자빔의 전자빔 스팟은 원형 또는 긴 형상을 가질 수 있다. 일부 예에서, 긴 형상은 또한 선 형상 또는 선 초점으로서 실현될 수 있다. 선 초점의 경우, 종횡비, 즉 초점 폭 대 초점 높이 사이의 비율이 정의될 수 있다. 원형 단면을 갖는 액체 타깃상에서 달성될 수 있는 종횡비의 전형적인 값은 4이다. 비 원형 단면을 갖는 액체 타깃은 더 큰 종횡비, 예를 들어 적어도 6을 가능하게 할 수 있다. 전자빔 스팟의 형상은 생성된 엑스레이 방사선의 바람직한 플럭스 및/또는 밝기에 따라 선택될 수 있다.

[0016] 이하의 개시 내용을 충분히 이해하기 위해, 충분히 큰 웨버 수(Weber number)에 대해, 비 원형 개구를 갖는 노즐로부터 나오는 액체 타깃에 대해 축 스위칭이라고 하는 현상이 관찰될 수 있다. 축 스위칭은 예를 들어 타원형 같은 비 원형의 액체에 대한 단면이 장축과 단축이 액체 타깃의 유동 방향을 따라 주기적으로 위치를 스위칭하는 방식으로 진화한다. 액체 타깃 속도가 증가함에 따라 스위칭의 파장이 증가한다. 또한, 축 스위칭은 점성(viscosity)에 의해 감쇠되는데, 이는 점성이 증가함에 따라 축 스위칭의 진폭이 0에 근접함을 의미한다.

[0017] 결과적으로, 충격 부분은 유동축을 따라 연장될 수 있음이 이해되어야 한다. 또한, 충격 부분은 비 원형 단면의 섹터 내의 부분으로서 설명될 수 있다. 이 부분은 예를 들어 120도 이하와 같이, 90도 이하와 같이, 60도 이하와 같이, 180도 이하의 각도를 갖는 스팬 섹터(span sector)일 수 있으며, 바람직하게는 제1 축 주위에 중심을 둘 수 있다.

[0018] 엑스레이 소스는 전자빔을 충격 부분 내의 특정 영역을 향해 지향시키도록 추가로 구성될 수 있다. 이러한 영역은 또한 상호작용 영역으로 지칭될 수 있다. 따라서, 충격 부분은 제1 축에 의해 교차되는 표면 부분 또는 부피와 같은 부분으로 이해될 수 있는 반면, 상호작용 영역은 전자빔에 의해 타격되더 엑스레이 방사선이 생성될 수 있는 충격 부분의 특정 부분 또는 영역으로 이해될 수 있다. 상호작용 영역은 비 원형 단면의 중심, 즉 유동축을 향한 거리로 연장되는 부피일 수 있다. 마찬가지로, 충격 부분은 부피일 수 있고, 비 원형 단면의 중심, 즉 유동축을 향한 거리로 연장될 수 있다.

[0019] 본 개시로부터 용이하게 이해되는 바와 같이, 이 장치는 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 위치, 또는 다시 말해서 상호작용 영역의 위치를 조정하도록 구성될 수 있다. 이는 전자빔 스팟의 전체 크기가 액체 타깃과 상호작용하도록 허용되고, 특히 전자빔 스팟이 충격 부분 내에서 액체 타깃과 상호작용하도록 허용되기 위해 필요할 수 있다.

[0020] 이 장치는 예를 들어 액체 타깃에 관하여 전자빔을 이동시키기 위한 전자 광학 장치를 포함할 수 있다. 다르게는, 또는 추가로, 이 장치는 전자빔이 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키거나 조정하기 위해 액체 타깃 셰이퍼와 협력하도록 구성될 수 있다. 일 예에서, 이 장치는 액체 타깃 셰이퍼에 결합되고 액체 타깃의 위치 또는 방향이 조정될 수 있는 방식으로 타깃 셰이퍼를 이동시키도록 배치된 모터 또는 액추에이터를 포함할 수 있다. 이 장치는 예를 들어 액체 타깃 셰이퍼를 유동축 주위에서 회전시키도록 구성될 수 있으며, 이에 따라 전자 소스에 관하여 충격 부분의 방향 및/또는 위치가 변경될 수 있도록 유동축 주위에서의 충격 부분의 대응하는 회전

이 발생할 수 있다. 다른 예에서, 이 장치는 액체 타깃 셰이퍼를 유동축 및/또는 전자빔의 궤적에 직교하는 방향으로 이동시키고 그리고/또는 액체 타깃 셰이퍼를 유동축에 관하여 기울어지도록 구성될 수 있다.

[0021] 일 예에서, 이 장치는 비 원형 단면을 포함하도록 액체 타깃을 형성하기 위해 자기장을 생성하도록 구성된 자기장 생성기를 제어하도록 구성될 수 있다. 자기장 생성기는 이하에서 보다 상세하게 설명될 것이다.

[0022] 상기 개시는 전자빔과 액체 타깃 사이의 상대 위치를 조정하기 위해 장치가 어떻게 이용될 수 있는지의 몇 가지 예를 제공한다. 상호작용 영역 및/또는 충격 부분을 이동시키면 전자빔의 입사각이 조정될 수 있다. 이러한 수정의 목적은 관찰 방향을 따라 또는 샘플 위치에서 전체 엑스레이 플럭스를 증가시키거나, 또는 엑스레이 소스의 밝기를 증가시키거나, 또는 엑스레이 시스템의 다른 부분(예를 들어, 광학)을 구비한 엑스레이 소스의 위치를 정렬시키기 위한 것일 수 있다. 일 예에서, 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치의 조정은 측정된 엑스레이 출력에 기초한다.

[0023] 전자빔은 0도보다 클 수 있는 입사각으로 충격 부분과 상호작용할 수 있다. 입사각은 비 원형 단면의 법선에 대한 입사각으로 정의될 수 있다.

[0024] 0도보다 큰 입사각에서 충격 부분과 상호작용하는 전자빔을 갖는 이점은 액체 타깃에서 적은 엑스레이가 흡수될 수 있다는 것이다. 특히, 더 많은 엑스레이는 전자빔의 방향에 실질적으로 수직인 각도로 위치된 엑스레이 윈도우를 통해 전달될 수 있다. 결과적으로, 본 장치는 증가된 총 엑스레이 플럭스 및/또는 증가된 엑스레이 밝기를 제공할 수 있다.

[0025] 이하에서는, 다른 것 중에서, 전자빔이 액체 타깃에 충돌하는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치의 조정을 제공하기 위해 엑스레이 소스의 가능한 수정을 따를 것이다. 다음 단락으로부터 이해되는 바와 같이, 수정은 액체 타깃, 전자빔, 또는 이 둘의 조합에 관한 것일 수 있다.

[0026] 전자 소스는 전자빔이 타깃에 충돌하는 전자빔의 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축을 중심으로 회전하도록 구성될 수 있다.

[0027] 액체 타깃 셰이퍼는 비 원형 단면을 포함하도록 액체 타깃을 형성하기 위해 비 원형 개구를 갖는 노즐을 포함할 수 있다. 개구는 예를 들어 타원형, 직사각형, 정사각형, 육각형, 타원형, 스타디움 및 둥근 모서리를 갖는 직사각형을 포함하는 그룹으로부터 선택된 형상을 가질 수 있다.

[0028] 일부 실시예에 따른 엑스레이 소스는 전자빔이 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 변경하기 위해 전자빔에 관해 액체 타깃을 이동시키도록 구성될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 이동은 예를 들어 액체 제트의 유동축에 직교하는 방향 및/또는 전자빔의 전파 방향에 직교하는 방향으로 실현될 수 있어서, 상호작용 영역의 위치의 측면 천이가 발생한다. 상호작용 영역의 이동 또는 위치 천이는 예를 들어 액체 타깃 소스에 의해 달성될 수 있다.

[0029] 일 예에서, 액체 타깃 소스의 노즐은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축을 따라 이동되도록 구성될 수 있다.

[0030] 일 예에서, 노즐은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축을 중심으로 회전하도록 구성될 수 있다.

[0031] 일 예에서, 액체 타깃 소스는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축에 수직인 방향으로 이동되도록 구성될 수 있다.

[0032] 액체 타깃 셰이퍼는 비 원형 단면을 포함하도록 액체 타깃을 형성하기 위해 자기장을 생성하도록 구성된 자기장 생성기를 포함할 수 있다. 자기장은 유동축에 실질적으로 수직일 수 있다. 자기장의 크기는 유동축 방향으로 불균일할 수 있어서, 액체 타깃이 유동축을 따라 이동할 때 필드 구배(field gradient)를 경험할 수 있다. 다시 말해서, 자기장은 자기장 구배를 포함할 수 있다. 액체 타깃을 형성하기 위한 메커니즘은 액체 타깃 내에서 유도된 와류에 기초할 수 있으며, 따라서 전기 전도성일 수 있다. 자기장은 교번 자기장일 수 있다.

[0033] 예는 유동축을 따라 지향되는 자기장의 시변 컴포넌트를 포함할 수 있다. 이러한 필드 컴포넌트는 액체 타깃에 가속을 부여하여 기화 또는 유사한 문제가 발생하기 전에 액체 타깃에 적용될 수 있는 열 부하를 증가시킬 수 있다.

[0034] 자기장 구배의 적용에 의해 액체 타깃 반경의 최대 상대 변화는

[0035] $$\frac{\Delta r}{a} = \beta \sin(\alpha z^*) \int_{-\infty}^{z^*} \frac{\cos(\alpha t)}{\cosh^2(\varepsilon_m t)} dt - \beta \cos(\alpha z^*) \int_{-\infty}^{z^*} \frac{\sin(\alpha t)}{\cosh^2(\varepsilon_m t)} dt$$

[0036] 와 같이 씌여질 수 있다.

[0037] 여기서, $\alpha = \sqrt{6/We}$ 이고, $\beta = \varepsilon_m N_a / 8\alpha$ 이며, $N_a = \sigma_e B_0^2 a / \rho v_0$ 이고, $\varepsilon_m = a / L_m$ 이며,

[0038] $$We = \frac{\rho v_0^2 a}{\sigma}$$ 이다.

[0039] 상기에서 정의된 바와 같이 N_a 는 스튜어트 수(Stuart number)라고 하고, We는 웨버 수(Weber number)이며, a는 노즐 반경이고, B_0 는 자기장의 크기이며, L_m 은 자기장 구배의 길이 스케일이고, σ_e는 액체 타깃의 전기 전도도이다.

[0040] 일 예에서, 액체 타깃은 액체 갈륨으로 이루어지고, 다음의 값이 상기 수학식으로 입력된다.

[0041] ρ = 6100 kg/m^3,

[0042] σ = 0.7 N/m,

[0043] a = 100 μm,

[0044] v = 100 m/s,

[0045] σ_e = 4 MS/m,

[0046] B_0 = 1.7 T,

[0047] L_m = 1 mm이며,

[0048] 이는 액체 타깃 반경의 최대 변화를 조금의 퍼센트로 줄 수 있다.

[0049] 타원형 노즐의 경우와 유사하게, 액체 타깃의 형상은 유동축을 따라 진동할 수 있다. 위에서 사용된 값은 약 250개의 노즐 반경, 즉 25 mm의 파장을 제공한다. 액체 타깃의 출구 속도가 1000 m/s로 증가하면(즉, 웨버 수가 100배 증가하면) 진폭은 거의 동일하지만 파장은 10배 증가된다. 크기가 스튜어트 수, 즉 자기장의 제곱에 따라 스케일링되기 때문에, 상대 반경 변화의 크기를 증가시키는 하나의 방법은 자기장을 증가시키는 것일 수 있다. 효과를 높이는 다른 방법은 웨버 수를 증가시키는 것일 수 있다. 이는 표면 장력을 줄임으로써 스튜어트 수에 영향을 주지 않고 수행될 수 있다. 이것은 또한 온도를 증가시킴으로써 달성될 수 있다. 예로서, 자기장을 4 T로 증가시킴으로써, 효과의 크기는 반경의 상대적 변화에서 약 10%이다. 참고로, 노즐 직경을 증가시킴에 따라 크기도 또한 증가할 수 있다. 그러나, 이것은, 질량 유동이 유지된다면 직경을 증가시키는 것만으로 속도가 느려질 수 있기 때문에, 위에서 논의된 바와 같이 비생산적일 수 있다. 속도가 느리면 액체 타깃에 허용되는 열 부하가 낮아질 수 있다.

[0050] 자기장 생성기는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 자기장을 조정하도록 구성될 수 있다.

[0051] 자기장은 불균일할 수 있다. 특히, 자기장 생성기는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 불균일 자기장의 방향을 조정하도록 구성될 수 있다.

[0052] 일 예에서, 자기장 생성기는 상호작용 영역의 위치가 전자빔에 관해 이동되도록 액체 타깃을 이동시키는 자기장을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0053] 액체 타깃 소스는 제1 및 제2 폭을 조정하기 위해 액체 타깃의 조정 가능한 유량을 제공하도록 구성될 수 있다.

[0054] 액체 타깃은 금속일 수 있다.

[0055] 엑스레이 소스는 전자빔의 방향에 대해 충격 영역을 회전시키도록 구성될 수 있다. 다시 말해서, 엑스레이 소

스는 전자빔의 방향에 대해 비 원형 단면의 제1 축을 회전시키도록 구성될 수 있다.

[0056] 상술한 바와 같은 노즐 및 자기장 생성기는 모두 본 발명 개념에 따라 엑스레이 소스에 존재할 수 있음을 이해해야 한다.

[0057] 본 발명 개념의 제2 측면에 따르면, 엑스레이 방사선을 생성하는 방법이 제공된다. 이 방법은 전자빔을 제공하는 단계; 유동축을 따라 이동하는 액체 타깃을 제공하는 단계 – 액체 타깃은 유동축에 대하여 비 원형 단면을 포함하고, 비 원형 단면은 제1 축을 따르는 제1 폭 및 제2 축을 따르는 제2 폭을 가지며, 제1 폭은 제2 폭보다 짧고, 액체 타깃은 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분을 포함함 –; 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 충격 부분 내에서 액체 타깃과 상호작용하도록 충격 부분을 향해 전자빔을 지향시키는 단계를 포함한다.

[0058] 이 방법은 전자 빔이 액체 타깃과 상호작용하는 위치, 즉 상호작용 영역을 이동시키기 위해 유동축을 따라 그리고/또는 유동축에 직각인 방향으로 전자빔을 이동시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0059] 이 방법은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축을 중심으로 전자 소스를 회전시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0060] 이 방법은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축을 따라 노즐을 이동시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0061] 이 방법은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 유동축 주위로 노즐을 회전시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0062] 액체 타깃을 제공하는 단계는 액체 타깃의 비 원형 단면을 형성하기 위한 자기장을 제공하는 단계를 포함할 수 있다.

[0063] 이 방법은 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 자기장을 조정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0064] 이 방법은 제1 및 제2 폭을 조정하기 위해 액체 타깃의 유량을 조정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0065] 이 방법은 전자빔의 방향에 대해 충격 영역을 회전시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0066] 이 방법은 예를 들어 전자빔의 폭을 결정하기 위해 액체 타깃과 센서 영역의 가려지지 않은 부분, 바람직하게는 충격 부분 사이에서 전자빔을 스캐닝하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제1 측면에 따라 엑스레이 소스의 일부를 형성할 수 있는 센서 영역은 전자 소스로부터 보여지는 바와 같이 액체 타깃 뒤에 배치될 수 있어서, 액체 타깃이 센서 영역을 적어도 부분적으로 가릴 수 있다. 이러한 장치는 전자빔이 액체 타깃 내로 그리고/또는 외부로 스캔될 수 있고 센서 영역의 가려지지 않은 부분(들)에 충돌할 수 있게 한다. 그 후, 센서로부터의 출력 신호는 액체 타깃의 폭을, 바람직하게는 스캐닝 방향 또는 유동축에 수직인 방향에서 결정하기 위해 분석될 수 있다.

[0067] 액체 타깃의 결정된 폭은 액체 타깃 소스, 액체 타깃 제이퍼 및/또는 전자빔의 작동을 위한 피드백 또는 조정 파라미터로서 사용될 수 있다. 이러한 피드백 또는 조정의 목적은 바람직하게는 충격 부분에서 액체 타깃의 폭을 제어하는 것일 수 있다. 따라서, 그 폭은 액체 타깃의 유량을 조정함으로써, 유동축을 중심으로 충격 부분을 회전시킴으로써, 전자빔이 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시킴으로써, 그리고/또는 전자빔과 충격 부분의 표면 사이의 입사각을 조정함으로써 변경될 수 있다.

[0068] 일 예에서, 제2 측면에 따른 방법은 예를 들어 엑스레이 플럭스 및/또는 엑스레이 밝기와 같은 엑스레이 출력의 측정을 포함할 수 있다. 그 측정은 생성된 엑스레이 방사선을 특성화하거나 정량화하기 위한 센서 수단에 의해 수행될 수 있다. 상기한 피드백 메커니즘과 유사하게, 측정된 엑스레이 출력은 원하는 출력, 예를 들어 플럭스 또는 밝기를 달성하기 위해 전자빔과 액체 타깃 사이의 상호작용을 제어하는 데 사용될 수 있다. 상호작용은 예를 들어 유동축을 중심으로 충격 부분을 회전시키거나, 전자빔이 액체 타깃과 상호작용하는 위치를 이동시키거나, 또는 전자빔과 충격 부분의 표면 사이의 입사각을 조정함으로써 제어될 수 있다.

[0069] 상기한 측면 중 제1 측면과 관련하여 설명된 특징은 또한 상기한 측면 중 다른 측면에 통합될 수도 있고, 그 특징의 장점은 그 특징이 포함된 모든 측면에 적용될 수 있다.

[0070] 본 발명 개념의 다른 목적, 특징 및 이점은 도면으로부터는 물론 첨부된 청구 범위로부터, 다음의 상세한 설명으로부터 나타날 것이다.

[0071] 일반적으로, 청구 범위에 사용된 모든 용어는 본 명세서에서 달리 명확하게 정의되지 않는 한, 기술 분야에서의 일반적인 의미에 따라 해석되어야 한다. 또한, 본 명세서에서 용어 "제1", "제2" 및 "제3" 등의 사용은 임의의 순서, 수량 또는 중요도를 나타내지 않으며, 하나의 요소를 다른 요소와 구별하기 위해 사용된다. "하나의(a/an/the) [요소, 장치, 컴포넌트, 수단, 단계 등]"에 대한 모든 언급은 달리 명시되지 않는 한 상기한 요소, 장치, 컴포넌트, 수단, 단계 등의 적어도 하나의 인스턴스를 지칭하는 것으로 공개적으로 해석되어야 한다. 본 명세서에서 개시된 임의의 방법의 단계는 명시적으로 언급되지 않는 한 개시된 순서대로 수행될 필요는 없다.

도면의 간단한 설명

[0072] 본 발명 개념의 추가적인 목적, 특징 및 이점뿐만 아니라, 상기의 목적은 첨부된 도면을 참조하여 본 발명 개념의 다른 실시예의 하기 예시적이고 비 제한적인 상세한 설명을 통해 더 잘 이해될 것이다.

도 1a는 엑스레이 소스를 개략적으로 도시한다.

도 1b는 자기장 생성기를 구비한 엑스레이 소스를 개략적으로 도시한다.

도 2는 액체 타깃의 사시도를 개략적으로 도시한다.

도 3은 액체 타깃의 비 원형 단면을 개략적으로 도시한다.

도 4a 내지 4b는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 전자 소스의 이동을 개략적으로 도시한다.

도 4c는 복수의 전자빔에 의해 충돌되는 액체 타깃의 비 원형 단면을 개략적으로 도시한다.

도 4d는 긴 단면을 갖는 전자빔을 개략적으로 도시한다.

도 5a 내지 5b는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 액체 타깃의 형상을 개략적으로 도시한다.

도 6a 내지 6b는 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조정하기 위해 전자빔의 이동을 개략적으로 도시한다.

도 7은 엑스레이 방사선을 생성하는 방법의 흐름도이다.

도면은 반드시 축척대로 도시된 것은 아니며, 일반적으로 본 발명 개념을 설명하기 위해 필요한 부분만을 도시하며, 다른 부분은 생략되거나 단순히 제안될 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0073] 이하, 도 1a를 참조하여 본 발명 개념에 따른 엑스레이 소스가 설명될 것이다. 전자빔(100)은 예를 들어 고압 캐소드를 포함하는 전자총과 같은 전자 소스(102)로부터 생성되고, 액체 타깃(104)은 액체 타깃 소스(106)로부터 제공된다. 전자빔(100)은 전자빔(100)이 액체 타깃(104)과 상호작용하여 엑스레이 방사선(108)이 생성되도록 액체 타깃(104)의 충격 부분을 향해 지향된다. 액체 타깃(104)은 바람직하게는 액체 타깃(104)을 생성하기 위해, 압력을 적어도 10 bar까지, 바람직하게는 적어도 50 bar까지 상승시키도록 구성된 고압 펌프와 같은 펌프(110)에 의해 액체 타깃 소스(106)로 수집되어 회수된다.

[0074] 액체 타깃(104), 즉 애노드(anode)는 예를 들어 액체 금속 또는 액체 합금과 같은 유체가 액체 타깃(104)을 형성하기 위해 방출될 수 있는 노즐을 포함하는 액체 타깃 소스(106)에 의해 형성될 수 있다. 다수의 액체 타깃 및/또는 다수의 전자빔을 포함하는 엑스레이 소스가 본 발명 개념의 범위 내에서 가능하다는 것이 이해되어야 한다.

[0075] 여전히 도 1a를 참조하면, 엑스레이 소스는 전자빔(100)과 액체 타깃(104)의 상호작용으로부터 생성된 엑스레이 방사선이 전송될 수 있도록 구성된 엑스레이 윈도우(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 엑스레이 윈도우는 전자빔의 이동 방향에 실질적으로 직각으로 위치될 수 있다.

[0076] 이제 도 1b를 참조하면, 자기장 생성기(103)는 액체 타깃 소스(106) 및 액체 타깃(104)과 관련하여 도시된다. 자기장 생성기(103) 및 액체 타깃(104)은 도 1a와 관련하여 논의된 엑스레이 소스와 같이 유사하게 구성될 수 있는 엑스레이 소스에 포함될 수 있다. 자기장 생성기(103)는 유동축을 따라 추가로 연장될 수 있고, 도시된 자기장 생성기(103)의 배치는 여러 상이한 구성 중 단지 하나의 예일 뿐이라는 것이 이해되어야 한다. 본 예에서, 자기장 생성기(103)는 액체 타깃(104)의 단면을 수정하거나 형성하기 위한 자기장을 생성시키기 위한 복수

의 수단을 포함할 수 있다. 이러한 수단의 예로는 예를 들어 그 형상에 영향을 주기 위해 액체 타깃(104)의 경로의 다른 측면에 배치될 수 있는 전자석을 포함할 수 있다.

[0077] 이제 도 2를 참조하면, 유동축(F)을 따라 이동하는 액체 타깃(204)의 예가 도시되어 있다. 액체 타깃은 액체 타깃 소스(206)에 의해 생성된다. 엑스레이 소스는 액체 타깃 세이퍼(shaper), 예를 들어 비 원형 단면(214)을 포함하도록 액체 타깃(206)을 형성하기 위해 비 원형 개구를 갖는 노즐(212)을 포함한다. 도시된 예에서, 노즐(212)은 타원형 개구를 갖는다. 비 원형 단면(214)은 제1 축(A_1)을 따라 직경으로도 지칭되는 제1 폭 및 제2 축(A_2)을 따라 직경으로 지칭되는 제2 폭을 가지며, 여기서 제1 직경은 제2 직경보다 짧다. 액체 타깃(204)은 제1 축(A_1)에 의해 교차되는 충격 부분(216)을 포함한다. 여기서, 충격 부분(216)은 제1 축(A_1)을 중심으로 균일한 영역으로 도시되어 있다. 그러나, 충격 부분(216)은 임의의 형상을 가질 수 있음이 이해되어야 한다. 또한, 충격 부분(216)이 유동축(F)을 따라 연장될 수 있지만, 여기서는 충격 부분(216)이 비 원형 단면으로만 도시되어 있음에 유의해야 한다.

[0078] 전자빔(200)은 전자빔(200)이 액체 타깃(206)과 상호작용하여 엑스레이 방사선이 생성되도록 충격 부분(216)을 향하여 지향된다. 특히, 전자빔(200)은 충격 영역(216) 내에 위치한 상호작용 영역(218)으로 지향된다. 상호작용 영역은 전자빔에 의해 타격될 때 엑스레이가 생성되는 영역으로 정의될 수 있다.

[0079] 액체 타깃(204)의 특성에 따라, 본 개시에서 앞서 논의된 바와 같이, 축 스위칭이 관찰될 수 있다. 도 2에서, 제1 및 제2 축 스위치가 유동축(F)을 따라 배치된다는 것을 알 수 있다. 액체 타깃(204)의 축, 즉 제1 축(A_1) 및 제2 축(A_2)은 유동축(F)을 따라 액체 타깃의 속도에 비례하는 파장으로 유동축(F)을 따라 장소를 여러 번 스위칭할 수 있다. 특히, 축 스위칭의 파장은 선형 속도 의존성에 대응하는 웨버 수(Weber number)의 제곱근에 비례한다. 특정 파라미터 조합의 경우 하나의 축 스위칭 이벤트만 발생하는 상황이 관찰될 수 있다. 예를 들어, 긴 노즐에서 방출된 액체 타깃은 90도 회전한 후 관찰 가능한 거리를 넘지 않고 계속된다.

[0080] 이제, 도 3을 참조하면, 비 원형 단면(314)이 상세하게 도시되어 있다. 비 원형 단면(314)은 도 1 및 2와 관련하여 위에서 논의된 것과 유사한 엑스레이 소스의 액체 타깃의 일부를 형성할 수 있다. 상호작용 영역(318)이 반드시 이 도면에서 축척되도록 도시된 것은 아니라는 점에 유의해야 한다. 비 원형 단면(314)은 제1 축(A_1)을 따르는 제1 직경(322) 및 제2 축(A_2)을 따르는 제2 직경(320)을 포함하며, 여기서 제1 직경(322)은 제2 직경(320)보다 짧다. 알 수 있는 바와 같이 충격 부분(316)은 제1 축(A_1)과 교차하고 있다. 여기서 전자빔(200)은 0도 보다 큰 입사각(Θ)에서 액체 타깃과 상호작용한다.

[0081] 이제, 도 4a를 참조하면, 전자빔(400)은 입사각(Θ_1)에서 액체 타깃(404)과 상호작용하는 것으로 도시되어 있다. 상호작용 영역(418)은 충격 부분(416) 내에 위치된다. 상호작용 영역(418)의 입사각 및/또는 위치를 조정하기 위해, 전자빔(400)을 제공하는 전자 소스(도시되지 않음)는 유동축에 대해 회전될 수 있다. 도 4b에 도시된 바와 같이, 이러한 회전은 전자빔(400)이 입사각(Θ_2)에서 액체 타깃(404)과 상호작용하게 하고, 상호작용 영역(418)의 위치는 또한 충격 부분(416) 내에서 변경될 수 있다.

[0082] 이제, 도 4c를 참조하면, 제1 및 제2 전자빔(400, 401)은 액체 타깃(404)과 상호작용하는 것으로 도시되어 있다. 각각의 제1 및 제2 상호작용 영역(418, 419)이 도시되어 있다. 제1 및 제2 상호작용 영역(418, 419)은 충격 부분(416) 내에 배치된다. 제1 상호작용 영역(418)에서 생성된 엑스레이 방사선(408)은 제1 전자빔(400)의 방향에 실질적으로 직교하도록 위치된 제1 엑스레이 윈도우(421)를 통해 전송된다. 제2 상호작용 영역(419)에서 생성된 엑스레이 방사선(409)은 제2 전자빔(401)의 방향에 실질적으로 직교하도록 위치된 제2 엑스레이 윈도우(423)를 통해 전송된다. 알 수 있는 바와 같이, 엑스레이 방사선은 바람직하게 엑스레이 방사선이 생성된 상호작용 영역에 대해 비 원형 단면의 제1 축으로부터 멀어지는 방향으로 위치된 엑스레이 윈도우를 통해 전송될 수 있다. 이는 액체 타깃에서의 흡수로 인한 엑스레이 방사선의 감쇠를 피하기 위한 것이다.

[0083] 이제, 4d를 참조하면, 긴 단면을 갖는 전자빔(400)이 도시되어 있다. 따라서, 충격 부분(416) 내에 위치한 상호작용 영역(418)은 도시된 단면에서 보여지는 바와 같이 긴 형상 또는 선 형상을 가정할 수 있다. 긴 단면을 갖는 전자빔(400)을 이용하는 경우, 본 발명 개념에 따라 향상된 초점 속성을 획득하기 위해, 충격 부분을 향하게 전자빔(400)을 지향시키는 것이 유리할 수 있다. 또한, 상호작용 영역(418)에서 생성된 엑스레이 방사선은 제1 축의 한쪽 또는 양쪽에 위치한 엑스레이 윈도우를 통해 전송될 수 있다.

[0084] 이제, 도 5a를 참조하면, 전자빔(500)은 입사각(Θ_1)에서 액체 타깃(504)과 상호작용하는 것으로 도시되어 있다. 상호작용 영역(518)은 충격 부분(516) 내에 위치된다. 입사각 및/또는 상호작용 영역(518)의 위치를 조정하기 위해, 액체 타깃(504)은 유동 축을 중심으로 회전될 수 있다. 이것은 예를 들어 유동축을 중심으로 노즐을 회전시킴으로써 그리고/또는 비 원형 단면을 포함하도록 액체 타깃(504)을 형상화하도록 배치된 자기장을 조정함으로써 수행될 수 있다. 도 5b에 도시된 바와 같이, 유동축 주위의 액체 타깃(504)의 회전은 전자빔(500)이 입사각(Θ_2)에서 액체 타깃(504)과 상호작용하게 하고, 상호작용 영역(518)의 위치가 또한 충격 부분(516) 내에서 변경될 수 있다.

[0085] 이제 도 6a를 참조하면, 전자빔(600)은 입사각(Θ_1)에서 액체 타깃(604)과 상호작용하는 것으로 도시되어 있다. 여기서, Θ_1은 실질적으로 0이다. 상호작용 영역(618)은 충격 부분(616) 내에 위치된다. 입사각 및/또는 상호작용 영역(616)의 위치를 조정하기 위해, 전자빔(600)은 유동축을 따라 그리고/또는 유동축에 수직 방향으로 이동될 수 있다. 도시된 예는 유동축에 수직인 방향으로 전자빔(600)의 이동을 도시한다. 유동축을 따라 그리고/또는 유동축에 수직인 방향으로 전자빔(600)의 이동은 전자빔(600)을 이동시키도록 구성된 전자 광학 장치(도시되지 않음)을 가짐으로써 달성될 수 있다. 용어 "이동한다"는 전자빔을 집속하고, 그리고/또는 전자빔을 편향한다는 것을 포함하는 것으로 해석되어야 한다. 도 6b에 도시된 바와 같이, 상기한 바와 같이 전자빔(600)을 이동시키면 전자빔(600)이 입사각(Θ_2)에서 액체 타깃(604)과 상호작용할 수 있고, 상호작용 영역(618)의 위치가 또한 충격 부분(616) 내에서 변경될 수 있다.

[0086] 또한, 도시되지는 않았지만, 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치를 조절하기 위해, 액체 타깃 세이퍼의 노즐을 유동축을 따라 이동시키고 그리고/또는 자기장 생성기에 의해 생성된 자기장을 조절하는 것이 가능할 수 있다. 입사각 및/또는 상호작용 영역의 위치의 결과적인 조정은 도 4a 내지 6b와 관련하여 위에서 개시된 것과 유사하다.

[0087] 또한, 도 4a 내지 6b와 관련하여 상기 개시된 조정의 임의의 조합이 본 발명의 범위 내에서 가능하다는 것이 이해되어야 한다.

[0088] 적절한 센서 수단 및 제어기(도시되지 않음)를 제공함으로써, 도 4a 내지 6b와 관련하여 상기 개시된 조정이 원하는 성능을 달성하기 위해 수행될 수 있다. 일 예는 초당 엑스레이 광자의 개수에 의해 측정될 때 샘플 위치에서 증가된 엑스레이 플럭스(flux)를 제공하는 것이다. 다른 예는 증가된 엑스레이 밝기, 즉 시간당 광자의 개수, 면적 및 고체 각도를 제공하는 것이다. 밝기를 측정하기 위해, 엑스레이 방사선 강도의 공간 분포를 등록할 수 있는 검출기가 필요할 수 있다. 조정은 적절한 제어 알고리즘, 예를 들어 PID 제어기에 의해 제어될 수 있다.

[0089] 도 4c와 관련하여 전술한 바와 같이, 엑스레이 소스는 하나 이상의 전자빔을 포함할 수 있으므로, 하나 이상의 상호작용 영역을 제공할 수 있다. 이것의 일 예는 이중 포트 소스, 즉 2개의 실질적으로 평행한 전자빔에 실질적으로 수직하는 반대 방향으로 2개의 엑스레이 윈도우가 존재할 때이다. 이러한 장치를 가지고, 2개의 스팟은 원하는 성능을 달성하기 위해 개별적으로 조정될 수 있다. 다른 예는 간섭계 애플리케이션, 예를 들어 탤벗-라우 간섭계(Talbot-Lau interferometry)에 대해 동일한 방향으로 방사하는 다수의 엑스레이 소스를 제공하는 것이다. 이러한 상황에서, 액체 타깃과 상호작용하는 유동축에 실질적으로 수직으로 분포된 다수의 스팟을 갖는 폭에 걸쳐 열 부하(thermal load)가 분포될 수 있기 때문에 넓은 타깃이 바람직할 수 있음을 알 수 있다. 대신에, 스팟이 유동축을 따라 배치된 경우, 다운스트림 상호작용 영역이 또한 업스트림 상호작용 영역의 열 부하에 노출되기 때문에 허용된 열부하가 적을 것이다.

[0090] 이하, 도 7을 참조하여 본 발명 개념에 따른 엑스레이 방사선을 생성하는 방법이 설명될 것이다. 명확성과 단순함을 위해, 이 방법은 '단계'로 설명될 것이다. 단계는 반드시 시간적으로 구분되거나 또는 서로 분리되는 프로세스일 필요는 없으며, 하나 이상의 '단계'가 동시에 병렬 형태로 수행될 수 있다.

[0091] 단계 724에서, 유동축을 따라 이동하는 액체 타깃이 제공된다. 단계 726에서, 전자빔이 제공된다. 단계 728에서, 액체 타깃은 유동축에 대하여 비 원형 단면을 포함하도록 성형되며, 여기서 비 원형 단면은 제2 직경보다 짧은 제1 직경을 포함하고, 액체 타깃은 제1 축에 의해 교차되는 충격 부분을 포함한다. 단계 730에서 전자빔이 엑스레이 방사선을 생성하기 위해 충격 부분 내의 액체 타깃과 상호작용하도록 전자빔이 충격 부분을 향하여 지향된다.

[0092] 이 방법은 전자빔이 상호작용하기 위해 더 넓은 충격 부분을 제공하도록 충격 부분을 조정하는 단계를 더 포함

할 수 있다. 액체 타깃의 폭은 액체 타깃을 가로 지르는 전자빔을 스캐닝(732)하고 전자빔 방향으로 액체 타깃의 다운스트림에 위치한 e-덤프(dump)(도시되지 않음)에 흡수된 전류를 측정함으로써 측정될 수 있다. 원하는 값으로 폭을 제어하는 단계(734)가 더 포함될 수 있다.

[0093] 다르게는 또는 추가적으로, 이 방법은 예를 들어 엑스레이 플럭스 또는 엑스레이 밝기와 같은 엑스레이 출력을 측정하는 단계(736), 및 측정된 엑스레이 출력에 기초하여 엑스레이 방사선의 생성을 제어하는 단계(738)를 포함할 수 있다.

[0094] 당업자는 결코 전술한 예시 실시예로 제한되지 않는다. 반대로, 첨부된 청구 범위의 범위 내에서 많은 수정 및 변형이 가능하다. 특히, 하나 이상의 액체 타깃을 포함하는 엑스레이 소스 및 시스템이 본 발명의 개념의 범위 내에서 생각될 수 있다. 또한, 여기에서 기술된 유형의 엑스레이 소스는 유리하게는 의학적 진단, 비파괴 시험, 리소그래피, 결정 분석(crystal analysis), 현미경, 물질 과학, 현미경 표면 물리학, 엑스레이 회절에 의한 단백질 구조 결정, 엑스레이 광 분광법(X-ray photo spectroscopy, XPS), CD-SAXS(critical dimension small angle X-ray scattering) 및 엑스레이 형광(X-ray fluorescence, XRF)에 의해 예시되는 특정 응용에 맞춘 엑스레이 광학 및/또는 검출기와 조합될 수 있으나, 이것으로만 제한되는 것은 아니다. 또한, 개시된 예시에 대한 변형은 도면, 개시 내용 및 첨부된 청구 범위의 연구로부터 청구된 발명을 실시할 때 당업자에 의해 이해되고 영향을 받을 수 있다. 특정 측정이 서로 다른 종속 청구 범위에서 인용된다는 사실은 이러한 측정의 조합이 유리하게 사용될 수 없다는 것을 지시하지는 않는다.

부호의 설명

[0095] 100 전자빔

102 전자 소스

103 자기장 생성기

104 액체 타깃

106 액체 타깃 소스

108 엑스레이 방사선

110 펌프

200 전자빔

204 액체 타깃

206 액체 타깃 소스

212 노즐

214 비 원형 단면

216 충격 부분

218 상호작용 영역

300 전자빔

314 액체 타깃

316 충격 부분

318 상호작용 영역

320 제2 폭

322 제1 폭

400 제1 전자빔

401 제2 전자빔

404 액체 타깃

408 엑스레이 방사선

409 엑스레이 방사선

416 충격 부분

418 제1 상호작용 영역

419 제2 상호작용 영역

421 제1 엑스레이 윈도우

423 제2 엑스레이 윈도우

500 전자빔

504 액체 타깃

516 충격 부분

518 상호작용 영역

600 전자빔

604 액체 타깃

616 충격 부분

618 상호작용 영역

724 액체 타깃을 제공하는 단계

726 전자빔을 제공하는 단계

728 액체 타깃을 형성하는 단계

730 전자빔을 지향하는 단계

732 전자빔을 스캔하는 단계

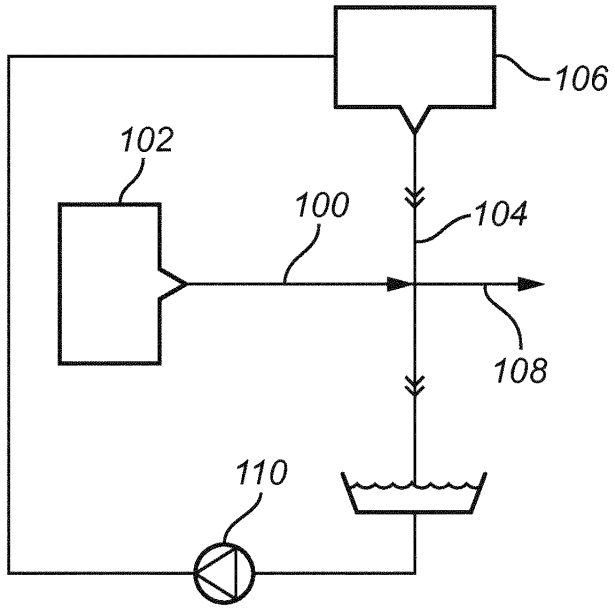
734 폭을 제어하는 단계

736 엑스레이 출력을 측정하는 단계

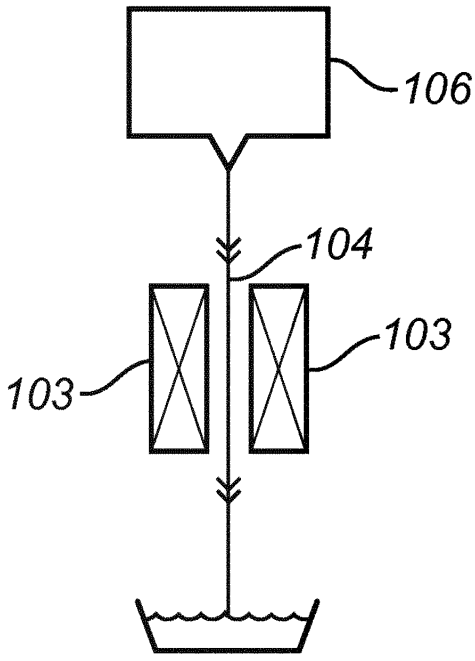
738 엑스레이 출력을 제어하는 단계

도면

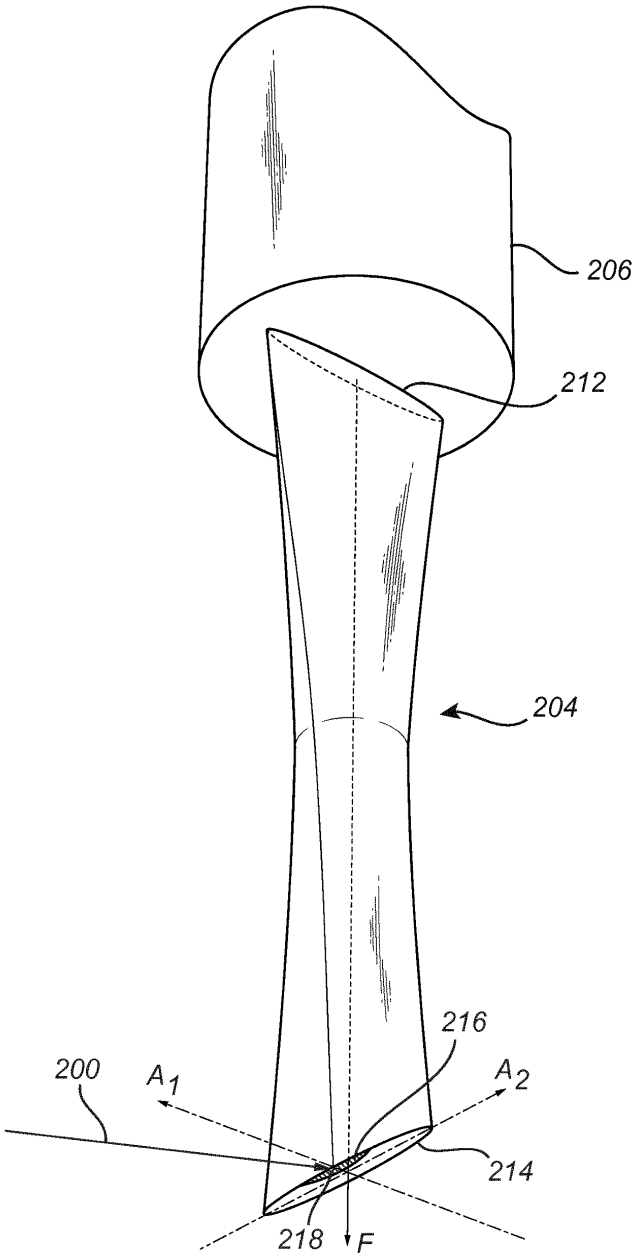
도면1a



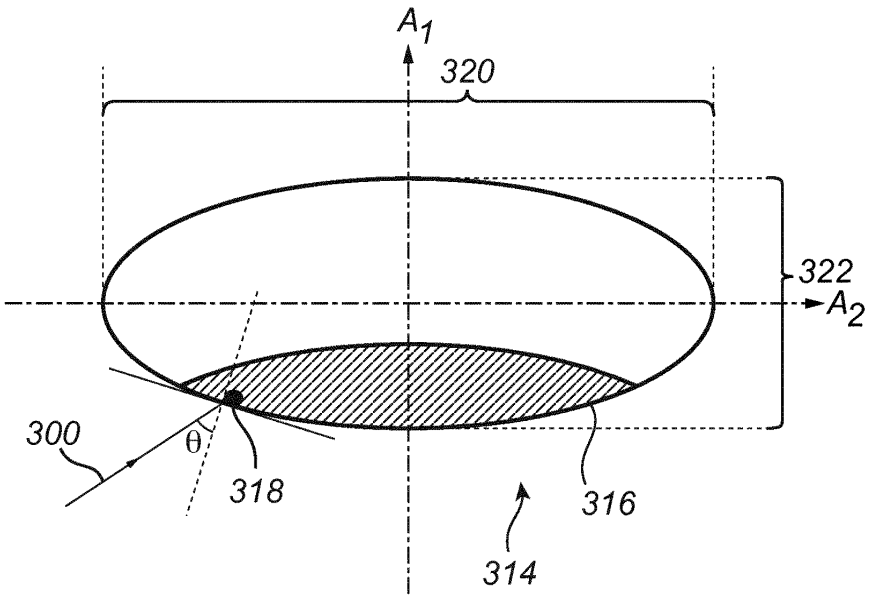
도면1b



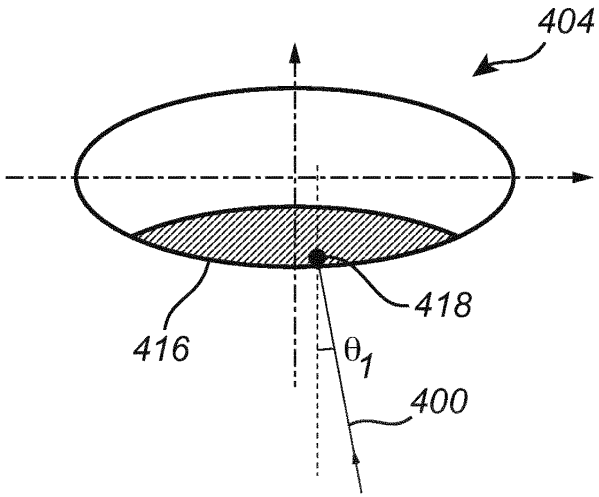
도면2



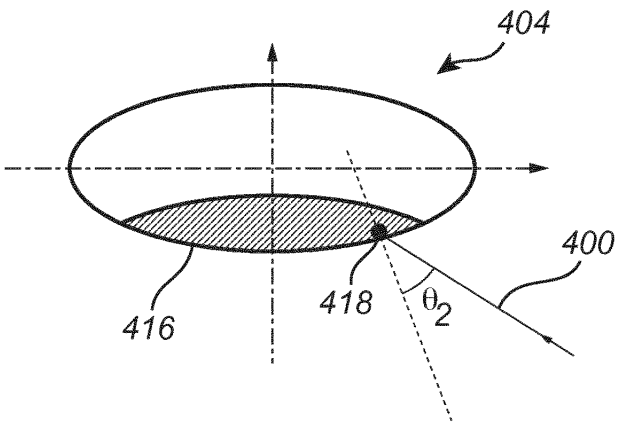
도면3



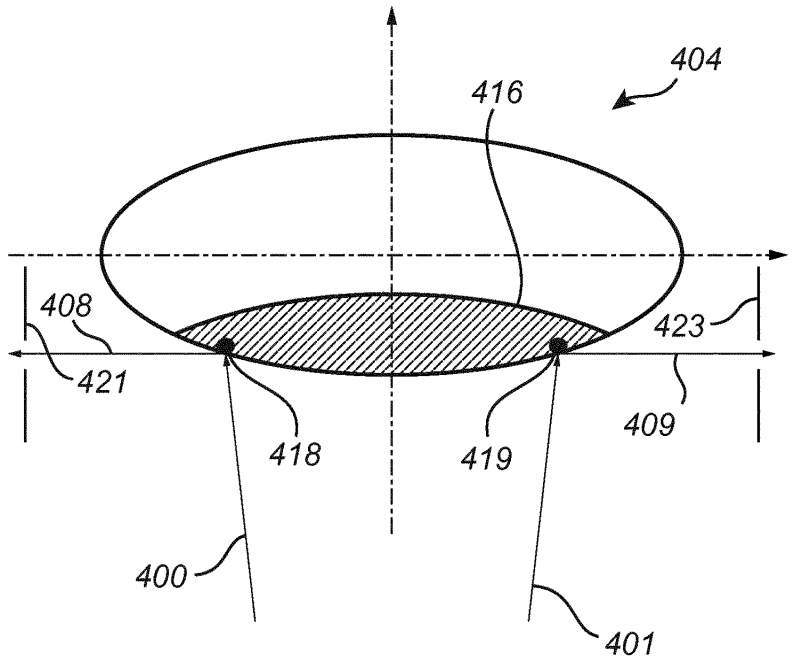
도면4a



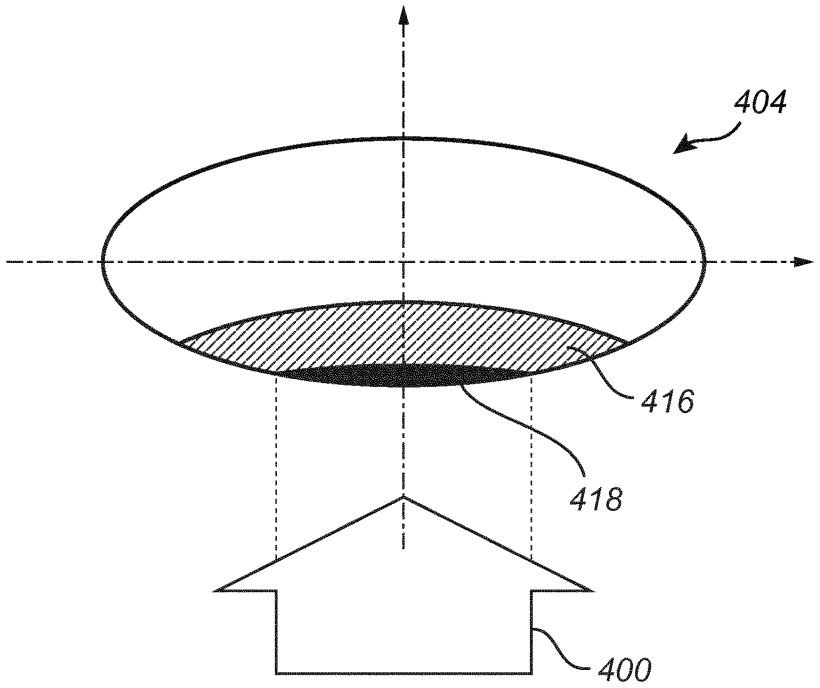
도면4b



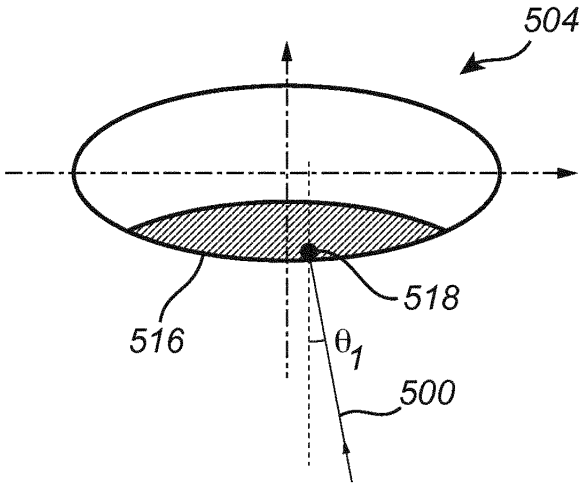
도면4c



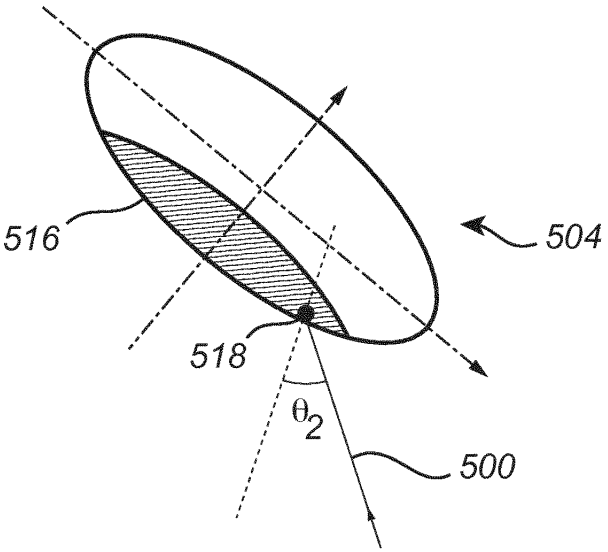
도면4d



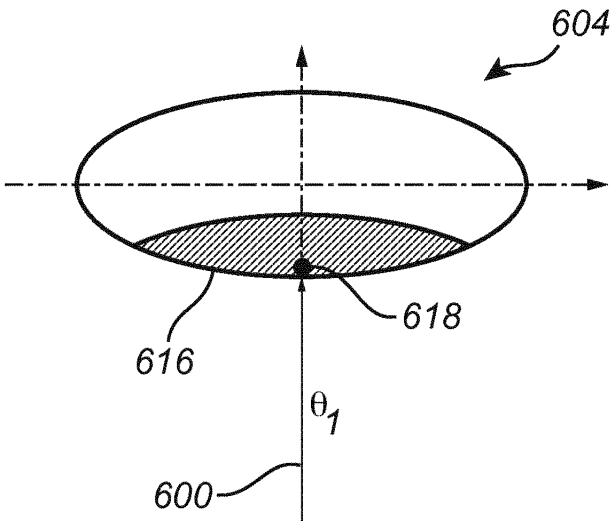
도면5a



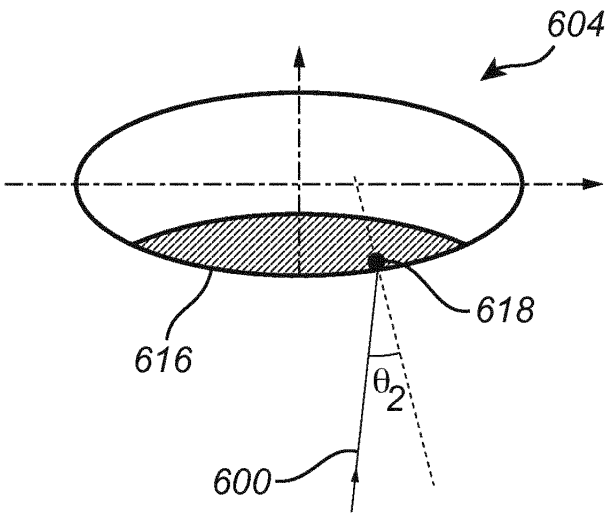
도면5b



도면6a



도면6b



도면7

