



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0063732
(43) 공개일자 2014년05월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 1/32 (2006.01) G01N 1/44 (2006.01)
H01J 37/305 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7007883
- (22) 출원일자(국제) 2012년08월09일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2014년03월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2012/065569
- (87) 국제공개번호 WO 2013/026707
국제공개일자 2013년02월28일
- (30) 우선권주장
10 2011 111 190.9 2011년08월25일 독일(DE)

- (71) 출원인
프라운호퍼 게젤샤프트 쥘리 퍼르테롱 데어 안겐
반텐 포르슈 에. 베.
독일 80686 뮌헨 한자슈트라쎄 27 체
- (72) 발명자
오슈, 토마스
독일 06120 할레, 윌터-홀즈-스트라쎄 1
- (74) 대리인
특허법인세림

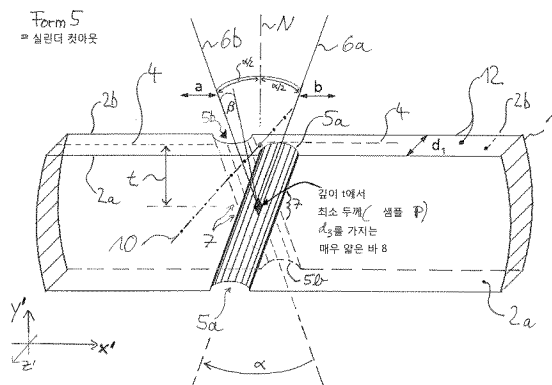
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 미세구조체 진단용 샘플의 제조 방법 및 제조 장치

(57) 요약

본 발명은 미세 구조체 진단, 특히 투과 전자 현미경(transmission electron microscopy; TEM), 주사 전자 현미경 또는 X-레이 흡수 분광기(X-ray absorption spectroscopy)용 샘플을 제조하는 방법에 관한 것이며, 서로 반대측에 위치한 두 표면(2a, 2b)를 따라 평평한, 바람직하게 평행 평면 디스크(plane-parallel disc; 1)에 고에너지 빔(energy-rich beam, 3)이 조사되어서, 빔(3)이 물질을 제거한 결과, 바람직하게 중앙 디스크면(4)에 평행하게 연장된 함몰부(5a, 5b)가 각각 상기 두 표면(2a, 2b)에 형성되고, 중앙 디스크면의 양측으로 연장된 두 개의 함몰부가 형성되어서, 중앙 디스크면 위의 종축을 투사하여 볼 때 함몰부의 종축은 바람직하게 > 0°, 바람직하게 > 10°, 바람직하게 > 20°, 바람직하게 > 30°의 미리 결정된 각도로 교차하며, 두 개의 함몰부의 교차 영역에서, 바람직하게 미리 정의된 최소 두께(샘플 P)를 가지는 매우 얇은 바 8를 형성한다. 또한 본 발명은 대응적으로 형성된 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

미세 구조체 진단, 특히 투과 전자 현미경(transmission electron microscopy; TEM), 주사 전자 현미경 또는 X-레이 흡수 분광기(X-ray absorption spectroscopy)용 샘플(P)의 제조 방법으로서,

서로 반대측에 위치한 두 표면(2a, 2b)를 따라 평평한, 바람직하게 평행 평면 디스크(plane-parallel disc; 1)에 고에너지 빔(energy-rich beam, 3)이 조사되어서, 빔(3)이 물질을 제거한 결과, 바람직하게 중앙 디스크면(4)에 평행하게 연장된 함몰부(5a, 5b)가 각각 상기 두 표면(2a, 2b)에 형성되고,

중앙 디스크면(4)의 양쪽에서 연장하는 상기 함몰부(5a, 5b)가 형성되어서, 상기 중앙 디스크면(4)의 위에서 종축(6a, 6b)에서 투사하여 볼 때, 상기 함몰부의 종축(6a, 6b)이 $(\alpha) \geq 10^\circ$, 바람직하게 $\geq 20^\circ$, 바람직하게 $\geq 30^\circ$ 의 미리 정의된 각도로 교차하고, 상기 두 개의 함몰부(5a, 5b)의 교차 영역(7)에서, 상기 중앙 디스크면(4)에서 본, 미리 정의된 최소 두께 d_3 의 바람직하게 전자 빔-투명 물질부(8)가 상기 함몰부(5a, 5b) 사이에 상기 샘플(P)로서 남아있는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 두 개의 함몰부(5a, 5b)가 형성된 후 상기 함몰부(5a, 5b) 및 상기 함몰부(5a, 5b) 사이의 상기 교차 영역(7)에 남아 있는 물질부(8)가 이온 빔 에칭(I)에 의해, 중앙 디스크면(4)에서 수직으로 볼 때, 미리 정의된 최소 두께 d_3 에서 d_{3+1} 로 더 감소되며, $d_{3+1} < d_3$ 이고,

상기 이온 빔 에칭(I)이 바람직하게 하나, 여러 또는 모든 다음의 특징에 따라 수행되며,

- 상기 중앙 디스크면(4)에 관하여 상기 함몰부(5a, 5b)에서 비스듬한 입사각으로
- 광역 빔 이온 소스(broad beam ion source, 13) 또는 집속 이온 빔 및/또는 이온 마이크로빔 장치(ion microbeam unit)(FIB "집속 이온 빔(focused ion beam)") 중 하나를, 및/또는

두 개의 이온 소스, 바람직하게 두 개의 광역 빔 이온 소스에 의하여, 형성된 상기 함몰부(5a, 5b)를 따라 바라볼 때 상기 함몰부(5a, 5b)의 양 방향에서 조사되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 3

제 1항 또는 2항에 있어서,

상기 함몰부(5a, 5b)를 형성하는 동안, 조사 방향(E)에 대하여 바라볼 때, 상기 고에너지 빔(3), 특히 집속 레이저 빔은 워블링 이동(PT)으로 설정되고, 상기 함몰부(5a, 5b)의 종축(6a, 6b)을 따라 바라볼 때, 바람직하게 원형 부분 또는 타원형 홀 부분의 형상으로 일정한 단면을 가지는 상기 함몰부(5a, 5b)를 형성하기 위하여 고에너지 빔(3), 특히 집속 레이저 빔은 회전(R)하도록 설정되며,

나선형 드릴링 또는 나선형 드릴 헤드(9) 또는 트래패닝 렌즈 시스템(trepanning lens system)을 이용하여 바람직하게 수행되는 나선형 드릴 절단에 의해 상기 함몰부(5a, 5b)가 형성되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 4

제 1항 내지 3항 중 어느 한 항, 바람직하게 제 3항에 있어서,

상기 함몰부(5a, 5b)를 형성하는 동안 디스크(1)가 상기 중앙 디스크면(4)에 수직인 축에 대하여 회전식 및/또는 피벗팅 이동(β)하도록 설정되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 5

제 1항 내지 4항 중 어느 한 항, 바람직하게 제 3항 또는 제 4항에 있어서,

상기 디스크(1)의 기준점에 대하여, 바람직하게 상기 디스크의 단부측 협면(12)에 배치된 기준점(reference point)에 대하여 상기 고에너지 빔(3)의 초점이 미리 결정된 간격, 바람직하게 0의 간격으로 조정되고, 및/또는

상기 함몰부(5a, 5b)가 형성되기 전 및/또는 형성되는 동안 상기 디스크(1)가 회전축, 바람직하게 유센트릭 회전 축(eucentric axis of rotation, 10)에 위치하고, 및/또는

상기 함몰부(5a, 5b)의 형성 전 및/또는 형성 동안 5-축 위치 결정 메카니즘(5-axis positioning mechanism, 11) 또는 4-축 위치 결정 메카니즘, 바람직하게 회전축(축 r) 및 선형 축(축 l)을 가지는 3-축 변위 테이블(three-axis displacement table; 축 x, y, z)에 의하여 상기 디스크가 위치하는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 6

제 1항 내지 5항 중 어느 한 항에 있어서,

각각 상기 디스크(1)의 상기 두 표면(2a, 2b)을 따라 조사(irradiation, 3)하여 상기 두 표면(2a, 2b)에 복수의 함몰부(5a-1, 5a-2, ..., 5b-1, 5b-2, ...)가 형성되며,

바람직하게 각각의 상기 두 표면(2a, 2b)으로 상기 함몰부가 서로에 각각 평행하게 연장된 상기 함몰부의 종축(6a-1, 6a-2, ..., 6b-1, 6b-2, ...)에 따라 형성되어서, 한 표면(2a)의 함몰부(5a-1, 5a-2, ...) 및 다른 표면의 함몰부(5b-1, 5b-2, ...)는 각각 미리 형성된 각도로 교차하며, 따라서 바람직하게 미리 정의된 최소 두께 d3의 전자 빔-투명 물질부(electron beam-transparent material portions, 8a, 8b, ...)로 남아 있도록 복수의 교차 영역(7a, 7b, ...)이 생성되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 7

제 1항 내지 6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 중앙 디스크면(4)에 수직인 방향에서 바라볼 때, 상기 디스크(1)의 적어도 하나의 상기 표면(2a)의 상기 함몰부(5a-1, 5a-2, ...)는 관련 표면(2a)에서 다른 깊이로 형성되며, 형성된 깊이는 바람직하게 함몰부에서 함몰부까지 선형으로(y) 증가하거나 감소하는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 8

제 1항 내지 7항 중 어느 한 항에 있어서,

잔여 물질부(8, 8a, 8b, ...)가 상기 디스크(1)의 상기 단부측 협면(12)로부터 미리 정의된 간격/간격들(t)로 생성되도록 상기 함몰부(5a-1, 5a-2, ..., 5b-1, 5b-2, ...)가 형성되며, 및/또는

상기 함몰부((5a-1, 5a-2, ..., 5b-1, 5b-2, ...)는 상기 디스크(1)의 상기 단부측 협면(12)의 수직면(N)에 대하여 각도 $/2$ 와 $/2 > 0^\circ$, 바람직하게 $/2 \geq 10^\circ$, 바람직하게 $/2 \geq 15^\circ$ 로 형성되며, 및/또는

복수의, 바람직하게 모든 함몰부(5a, 5b, 5a-1, ..., 5b-1, ...)는 상기 중앙 디스크면(4)에 평행하게 연장된 상기 모든 함몰부의 종축(6a, 6b, 6a-1, ..., 6b-1, ...)을 따라서 형성되며, 및/또는

상기 함몰부(5a, 5b, 5a-1, ..., 5b-1, ...)는 실린더형 부분 또는 타원형 부분의 형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 9

제 1항 내지 8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 남아있는, 바람직하게 상기 전자 빔-투명 물질부(8, 8a, 8b, ...)의 미리 정의된 최소 두께 d3는 0.3~10 μ m, 바람직하게 0.5~5 μ m이며, 및/또는

상기 중앙 디스크면(4)에 평행하게 바라볼 때, 상기 함몰부(5a, 5b)의 최대 단면 연장부(q)는 50~500 μ m, 바람직하게 100~200 μ m이며, 및/또는

상기 중앙 디스크면(4)에 수직으로 바라볼 때, 상기 함몰부(5a, 5b)의 최대 형성 깊이는 20~100 μ m, 바람직하게 40~50 μ m인 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 10

제 1항 내지 9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고에너지 빔(3)은 집속되며 및/또는 레이저 빔, 특히 피코초 레이저(picosecond laser, 14) 또는 펨토초 레이저(femtosecond laser)에 의하여 생성된 레이저 빔은 반응 이온 에칭 빔(reactive ion etching beam) 또는 플라즈마 빔(plasma beam)인 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 11

제 1항 내지 10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 디스크(1)는 1~5mm, 바람직하게 3mm의 평균 연장부, 직경 및/또는 에지 길이를 가지며, 평균 두께 d1는 50~200, 바람직하게 100 μ m이고 및/또는 상기 평균 연장부, 상기 직경 및/또는 상기 에지 길이는 상기 평균 두께 d1의 적어도 15배, 바람직하게 적어도 25배이며,

상기 디스크(1)는 기계적 분쇄(mechanical grinding), 소우잉(sawing), 레이저 침식(laser erosion) 또는 플라즈마 스파크 침식(plasma spark erosion)에 의해 생성되는 것을 특징으로 하는, 샘플(P)의 제조 방법.

청구항 12

제 1항 내지 11항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하도록 형성된 장치로서,

바람직하게 피코초 레이저(14) 또는 펨토초 레이저를 포함하고, 및/또는 바람직하게 나선형 드릴 헤드(helical drill head, 9) 또는 트래패닝 헤드(trepanning head)를 포함하는 고에너지 빔(3)을 생성하는 빔-생성 장치 (beam-producing unit, 15), 및

바람직하게 상기 고에너지 빔(3)에 디스크(1)의 위치를 결정하는 5-축 위치 결정 메카니즘(11)을 포함하는 샘플 홀더(sample holder)를 포함하는, 장치.

청구항 13

제 2항을 참조하여 제 1항 내지 12항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하도록 형성된, 제 12항에 따른 장치에 있어서,

상기 장치는 바람직하게 이온 빔 에칭(ion beam etching, I)을 수행하기 위한, 적어도 하나의 광역 빔 이온 소스(13) 또는 이온 마이크로빔 장치를 포함하는 이온 빔 에칭 장치를 가지는 것을 특징으로 하는, 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 미세 구조체-진단 검사법(미세 진단법)용 샘플, 특히 예를 들어 (이후에 약자 TEM으로 불리는)투과 전자 현미경(transmission electron microscopy)용 라멜라(lamellar) 샘플 또는 주사 전자 현미경(scanning electron microscopy) 또는 X-레이 흡수 분광기(X-ray absorption spectroscopy)용 샘플의 제조 방법 및 제조 장치에 관한 것이다. 따라서, 본 발명에 따른 방법 또는 본 발명에 따른 장치는 특히 미세 구조체 진단법에 적합하며, 여기에서 (최종 샘플용)표본을 얇게 하여, 본 방법에 내재된 여기 볼륨(excitation volume) 또는 신호 볼륨(signal volume)은 감소될 수 있어서, 국부 해상도(local resolution)는 증가될 수 있다. 그 후, 본 발명은 투과 전자 현미경용 샘플의 제조법을 참고하여 더 자세히 기술된다. 그러나 방법 및 장치는 다른 미세구조체 진단법용 샘플의 제조를 위해 유사하게 이용될 수 있다.

배경 기술

[0002] 수차 보정된 투과 전자 현미경(aberration-corrected transmission electron microscopes)의 개선은 전자-투명 표본 또는 샘플의 저손상 및 시간 효율적 제조법의 문제를 점점 더 상승시킨다. 여기에서 개선 요구는 빠르게 수행될 수 있는 기본적인 방법이며, 이로부터 미세 또는 나노구조적 세부 사항을 제조할 수 있으며 충분히 큰 부분의 미세 구조부를 얻을 수 있다.

- [0003] 전자-투명 샘플을 제조하는 다른 방법은 최신 기술부터 이미 알려져있다. 따라서, 전해질로 분사는 금속으로 알려져있다. 취성 재료(Brittle materials)는 가루화될 수 있다. 소위 "트리포드 분쇄(tripod grinding)"의 경우, 웨지의 순수 기계적 박판은 세라믹 물질, 반도체 또는 유리로 이루어진다. 초박절편법(ultramicrotomy), 초박형 부분 기술의 경우, 표본은 복잡한 방법으로 최종적으로 경화된 액체 플라스틱 물질에 내장된다. 다이아몬드 절단기로, 부분은 복자반 방식으로 내장된 샘플로부터 제조될 수 있다. 이로 인하여 초박절편법은 주로 연질 물질, 유리 또는 세라믹에 이용된다.
- [0004] 최근, 수차 보정된 투과 전자 현미경이 개선되었고, 수차 보정된 투과 전자 현미경은 하나의 옴스트롬(Angstrom) 및 아래쪽의 해상도를 허용한다. 이는 높은 해상도를 가지는 샘플 영역에서 볼 수 있다. 따라서, 요구 조건은 물질로부터 제조를 위하여 증가되며, 전자 빔-투명 샘플 영역(또는 샘플)은 정의된 깊이에서 정확하다. 최근, 수차 보정된 TEM은 상대적으로 낮은 예를 들어 60또는 80keV의 전자 에너지로 옴스트롬 범위에서 도트 해상 능력(dot resolution capacity)을 허용한다(해상 능력은 파장을 증가시켜, 즉 전자의 에너지를 감소시켜 감소된다). 충돌 전자 에너지에 관하여 민감한 물질은 TEM에 의하여 약간의 파괴 없이 또는 약간의 파괴로만 점점 더 검사될 수 있다(전자 에너지가 높으면, 특히 낮은 핵 전하 수를 가지는 물질의 경우에 발생하는 손상 또는 파괴가 크다). 그러나, 전자가 전자 빔이 투명한, 예를 들어 60 또는 80 keV와 같이 상대적으로 낮은 에너지를 가지도록, 검사되는 샘플은 오직 약 10~100나노미터의 두께를 가져야한다.
- [0005] 그러나, 이러한 박판 샘플의 제조법은 최신 기술에 따라 매우 복잡하다; 예를 들어 이러한 샘플 두께로부터 제조를 위하여 적어도 4~5시간에서 하루가 필요한 방법이 알려져있으며, 이 경우에 100 μ m 두께의 평행 평면 디스크가 약 20~15 μ m의 초박형 포인트(thinnest point)에서 트로프 분쇄 공정(trough grinding process)에 의하여 박판화되기 전, 처음에 예를 들어 3mm 지름을 가지는 박판 디스크(thin disc)는 기계적 평행 평면 분쇄를 통하여 형성되며, 예를 들어 100 μ m의 두께를 가진다. 일반적으로 딩플링(dimpling)에 의한 추가 박판화는 더이상 기계적으로 안정하지 않다. 따라서, 일반적으로 예를 들어 평각의 입사각을 가지는 불활성 기체 기반(예를 들어 아르곤 가스를 가지는) 이온빔 에칭에 의해 이루어지는 추가 박판화 단계가 필요하다(예를 들어, A. Strecker, PRAKT. METALLOGR. -PR.M. 30: 482 ff., 1993에 도시).
- [0006] 최신 기술로부터 알려진 추가 방법은 이온 마이크로빔 장치(ion microbeam unit)에서 집속 이온빔(FIB "focused ion beam")을 가지는 샘플의 제조법이다. 처음 추가 이온 컬럼을 가지는 주사 전자 현미경에서, 얇고 선형의 백금 보호층은 물질이 이후에 상기 보호층의 바로 옆의 측면에서 이온 빔에 의하여 에칭되기 전 일부 제조되는 샘플부 위로 정확히 적용된다. FIB법으로, 50~100nm의 두께를 가지는 얇은 샘플은 이로부터 매우 정확히 제조될 수 있다. 그러나, 방법이 샘플을 제조하기 위해 약 한나절에서 하루를 필요로하며, 제조되는 영역(백금 보호층 아래에 위치하는)에서 샘플 라멜라의 특정 주입이 이온 빔에 의해 이루어지며, 라멜라의 최대 크기가 약 20 μ m x 5 μ m이며, 샘플이 볼륨 물질(volume material)로 깊지 않고 표면에 가까이 제조될 수 있다.

발명의 내용

- [0007] 최신 기술로부터 더 최근의 개선은 레이저가 가이드된 분리(DE 10 2008 052 006 A1) 및 레이저 드릴링의 이용 또는 경사부(sloping) 또는 수직 절단 에지(perpendicular cut edges)를 가지는 타원형 홀(oblong holes)을 제조하는 소위(레이저) 나선형 드릴 절단(DE 10 2008 000 306 A1)을 포함한다.
- [0008] 최신 기술로부터 시작하여, 본 발명의 목적은 TEM 샘플, 특히 라멜라 샘플이 최신 기술에 관하여 상당히 감소되는 시간 요건으로 검사되는 다수의 매우 다양한 물질로 신뢰성 있게 제조될 수 있는 방법을 이용가능하게 하는 것이다. 본 발명의 추가 목적은 큰 물질 깊이(약 100 μ m)의 제조에 있다.
- [0009] 본 목적은 청구항 제 1항에 따른 방법 및 청구항 12항에 따라 대응적으로 형성된 장치에 의해 수행된다. 본 방법 및 장치의 바람직한 실시예는 각각 종속항으로부터 추론될 수 있다.
- [0010] 본 발명은 이 후에 일반적으로 실시예를 참조하여 기술된다.
- [0011] 서로 결합하여 생성된 각각의 특징은 본 발명의 범위 내에서 실시예에 나타난 결합에서 서로 정확히 생성될 필요가 없다. 특히, 각각 하나의 장치의 나타난 구성요소 및/또는 각각 하나의 방법의 기술된 단계는 생략될 수 있다(또는 단계는 가능한 다른 순서로 수행될 수 있다). 특히, 실시예에 각각 나타난 본 발명의 모든 각각의 특징 또는 단계는 최신 기술에 대하여 개선 그 자체를 나타내며, 따라서 본 발명에 기여한다.
- [0012] 본 발명은 개시점으로서 나선 드릴 절단(DE 10 2008 000 306 A1)의 개념을 가진다. 나선 드릴 절단에 대한 추가 검사는 높은 기계적 부하의 결과로 독립된, 가공되지 않은(샘플-) 랩이 발생하는 것을 나타낸다. 가능한 얇게

가공되지 않은 웨브 두께로 감소된 기계적 안정성 때문에, 기계적 위치는 기계적 품질을 더 손상시키는 압축 공기로 더이상 블로잉되지 않는다. 따라서, 나선 드릴 절단은 20 μ m보다 작은 두께를 가지는 라멜라 샘플을 제공하기 위해 매우 제한된 방식(또는 모든)으로만 적합하다.

- [0013] 따라서, 본 발명은 샘플의 본 발명에 따른 제조를 위하여 예를 들어 10 2008 000 306 A1(및 가능한 본 개시의 도 1에 기술된 장치)에 기술된, 나선 드릴링 또는 나선 드릴 절단의 기초 기술을 적용할 수 있다. 대안적으로, DE 2007 014 933 A1에 기술된 트리패닝(trepanning) 기술은 예를 들어 본 발명에 따라 이용될 수 있다.
- [0014] TEM 샘플의 제조를 위한 본 발명에 따른 방법의 경우, 처음 (예를 들어, 나선 드릴 절단에 의해 기계적으로 예비 박판화된 또는 제조된)편평한, 바람직하게 평행 평면 디스크는 고에너지 빔(즉, 예를 들어 레이저 빔)으로 각각 반대쪽에 배치된 표면을 따라 양측으로 조사되어서, 디스크로부터 빔 야기 물질 제거의 결과로 함몰부(depression)는 박판 디스크의 두 개의 반대쪽에 배치된 표면에 각각 형성된다. 바람직하게 두 개의 형성된 함몰부는 바람직하게 중앙 디스크면에 평행하게 연장된다. 일반적으로, 두 개의 함몰부는 연속하여 형성되며, 즉 처음에 함몰부는 디스크가 반대쪽에 배치된 측으로 제 2 함몰부의 구조를 위하여 공간적으로(또는 빔 소스가 대응적으로 이동되는) 대응하여 전환되고 및/또는 회전되기 전 디스크 표면에서 구조화된다.
- [0015] 본 발명에 따라, 두 개의 함몰부는 디스크의 표면의 양 측에 형성되어서(즉 중앙 디스크면의 양측으로 연장되어), 종축은 0° 보다 큰 미리 형성된 각도로 교차하며, 두 개의 형성된 함몰부의 교차 영역에서 미리 형성된 최소 두께의 물질부는 상기 함몰부 사이에서 샘플로서 유지된다. 바람직하게, 미리 형성된 각도는 10° 이상, 바람직하게 20° 이상, 바람직하게 30° 이상의 값을 가진다. 최소 두께는 중앙 디스크면에 수직으로 측정된다.
- [0016] 일반적으로 중앙 디스크면은 디스크의 두 반대측에 배치된 표면에 평행하게 연장되고 이 중심에서 연장되는 평면을 나타낸다(적어도 평행 평면 디스크의 경우). 그러나, 예를 들어 두 표면 사이에서 연장되거나 두 표면 사이의 중심에서 정확히 연장되지 않은 디스크면은 중앙 디스크면(또는 두 표면에 대하여 약간 기울어져 디스크의 내부에서 연장된 표면)으로서 이용될 필요가 없다.
- [0017] 즉 제거되지 않은 잔여물의 최소 두께는 두개의 함몰부의 교차 영역에서 물질부는 최소 두께(예를 들어, 0.5~1 마이크로미터)를 가질 수 있으며 함몰부의 배열이 교차하는 이미 기술된 양면의 결과로서 때문에 TEM용 샘플로 적합한 물질부를 형성하며, 전체 구조(특히 디스크의 양면 중 하나에서 하나의 함몰부만의 단일측 형성에 관련된)는 대체로 비틀림 강도(이후에 도시)로 얻어진다. 그러나, 이전에 기술된대로 가공된 물질부가 전자 빔-투명 샘플로서 추가 박판화 단계(추가 에칭 단계, 이후에 도시)후에만 이용될 수 있는 것이 가능하다(일반적으로 본 발명에 따른 방법의 바람직한 추가 단계로 수행된다). 이는 특히, 샘플이 예를 들어 60~80keV, 가능하면 20keV만의 매우 낮은 에너지의 전자로 조사되는 경우이다.
- [0018] 본 발명에 따른 방법의 제 1 바람직한 변형에서, 동일한 교차 영역에서 두 개의 함몰부의 형성 후 및 두 개의 함몰부 사이에 남아있는 물질부는 위에 기술된대로 생성된 두께(또는 물질부의 생성된 최소 두께의)로부터 시작하여 추가 이온 빔 에칭(ion beam etching)에 의해 물질부의 두께로 더 감소될 수 있다. 따라서, 감소된 최소 두께로 위에 기술된 최소 두께의 추가 박판화가 이루어진다.
- [0019] 이로 인하여, 이온 빔 에칭은 함몰부의 종축에 대하여 보여지는 함몰부의 비스듬한 입사각으로 이루어질 수 있다. 광역 빔 이온 소스(broad beam ion source)가 이용될 수 있다. 또한, 광역 빔 이온 소스는 그러나 집속 이온 빔 및/또는 마이크로빔 장치로 작용될 수 있고 즉, FIB의 경우와 완전히 비슷한 단계를 수행할 수 있다. 또한, 형성된 함몰부를 따라 보여지는, 함몰부로 이온 소스 조사가 양 방향에서 이루어질 수 있는 추가 이온 에칭 단계에서 두 개의 이온 소스(예를 들어, 두 개의 광역 빔 이온 소스)를 이용할 수 있다. 이러한 하나의 광역 빔 소스 또는 두 개의 광역 빔 이온 소스로 에칭 단계는 예를 들어 US 5,472,566 또는 "이온 폴리싱 시스템(Ion Polishing System; PIPS), Model 691" Gatan Inc., 5933, Coronado Lane, Pleasanton, CA 94588, USA, 2001에 기술된대로 수행될 수 있으며, 따라서 기본적으로 기술의 숙련자에게 알려져 있다.
- [0020] (중앙 디스크면에 대하여 및 종축을 따라 비스듬한 입사각, 예를 들어 10° 미만, 바람직하게 약 3~5°의 평각에서의 입사각에 의해 이해된다.)
- [0021] 본 발명의 더 바람직한 실시예에서, 함몰부(특히 집속 레이저 빔의 형상으로)를 형성하기 위해 이용되는 고에너지 빔은 (예를 들어, 트리패닝 렌즈 시스템(trepanning lens system) 또는 나선 드릴링 렌즈 시스템에 의하여; 일반적으로 그러나 모든 빔 유도(beam guidance)가 이용될 수 있고, 빔 유도로 실린더형 또는 다원형 홀 형상의 함몰부가 정확히 구조화될 수 있다)조사 방향에 대하여 보여지는, 함몰부의 형성 동안 워블링 이동(wobbling

movement)에서 설정된다. 따라서, 종축을 따라 보여지는 함몰부는 (바람직하게 원형 부분 또는 타원형 홀 부분의 형상을 형성하는) 일정한 단면으로 형성될 수 있다. 따라서, 워블링 이동(반드시 필요하지 않은)뿐 아니라 그 자체에 대하여 회전하여 고에너지 빔을 설정할 수 있다. 이러한 집속 레이저 빔(및 본 발명의 범위 내에서 이용될 수 있는, 이러한 목적을 위하여 이용된 장치)의 유도 절차는 예를 들어 DE 10 2008 000 306 A1로부터 이미 언급된대로 기술의 숙련자에게 알려져 있다.

[0022] 유도 절차의 대안적으로 또는 바람직하게 유도 절차와 결합하여, 함몰부의 형성 동안 가공되는 디스크를 이동시킬 수 있다: 이동은 디스크면에 수직인 축에 대하여 회전식 및/또는 피봇팅 이동하여 설정될 수 있고, 바람직하게 최대 이동 각도는 소수의 각도이다. 따라서, 교차 영역의 평활성을 손상시키는 "커튼(curtaining)" 효과, 즉 바람직하지 않은 음영(shading)은 감소된다.

[0023] 바람직하게 함몰부를 형성하기 위하여 디스크는 바람직하게 회전의 유센트릭 축(eucentric axis)을 나타내는 회전 축에 배치된다. 이러한 위치 결정(또는 일반적으로 완전히 함몰부를 형성하기 전 또는 형성하는 동안 디스크의 위치 결정은 5-축 위치 결정 메카니즘을 이용하여 수행될 수 있다. 이러한 위치 결정 메카니즘의 이용의 추가 목적은 침투 위치 및 교차 각의 특정 선택에 의해 미리정의된 깊이를 지정하는 것이다. 이러한 목적을 위하여, 추가 회전 축 및 추가 선형 축(linear axis)을 가지는 3-축 이동 테이블(displacement table)이 이용될 수 있다. 이러한 5-축 위치 결정 메카니즘은 예를 들어 US 2003/0223111 A1로부터 기술의 숙련자에게 알려져 있다. 5-축 위치 결정 메카니즘의 대안으로, 예를 들어 3개의 선형 축 및 회전 축을 가지는 4-축 각도계(goniometer)와 같은 4-축 위치 결정 메카니즘이 이용될 수 있다: 이러한 목적을 위하여, (디스크로 빔의 침투 위치에 대한) 고에너지 빔의 집속 위치는 디스크 위치 및/또는 디스크 높이 위의 적합한 배열 또는 레이저 간격 측정법에 의하여 측정되어야 한다.

[0024] 더 바람직한 실시예(이미 기술된 실시예와 결합하여 생성될 수 있는)에서, 복수의 함몰부는 각각 디스크의 두 표면을 따라 조사 동안 이러한 표면에 형성된다. 바람직하게 각각 두개의 표면으로 함몰부가 서로에 각각 평행하게 연장되는 종축으로 형성되도록 형성된다. 한 표면의 함몰부 및 다른 표면의 함몰부는 위에 기술된 미리 정의된 각도에서 각각 다수의 회수로 교차하여서 위에 기술된대로 복수의 교차 영역이 잔여물, 바람직하게 미리 정의된 최소 두께의 전자 빔-투명 물질부로 생성된다. 따라서, 생성된 물질부는 위에 기술된대로 추가 이온 빔 예칭에 의해 더 박판화될 수 있다.

[0025] 바람직하게, 중앙 디스크면에 수직인 방향에서 보여지는, 디스크의 두 표면 중 적어도 하나의 함몰부는 예를 들어 남아있는 잔류 두께가 더 평가될 수 있도록(즉 전자 빔 투명성이 더 측정될 수 있도록) 하기 위하여 관련 표면에 다른 깊이로 형성된다. 이로 인하여, 형성 깊이는 함몰부에서 함몰부로 선형으로 증가할 수 있거나 감소될 수 있다. 또한 깊이의 비 선형 변형이 가능하다(예를 들어, 동일한 형성 깊이를 가지는 복수의 다른 함몰부로부터 다른 형성 깊이를 가지는 함몰부).

[0026] 바람직하게, 잔여 물질부가 미리 정의된 간격 또는 디스크의 단부축의 좁은 면(즉, 예지)로부터 미리 정의된 간격에서 생성되도록 함몰부가 형성된다. 함몰부는 표준의 디스크의 단부축 좁은 면으로 0° 보다 큰 각도, 바람직하게 10° 이상의 각도, 바람직하게 15° 이상의 각도로 형성될 수 있다. 특히 바람직하게, 각각의 함몰부는 중앙 디스크면에 평행하게 연장된 종축으로 형성된다.(따라서 함몰부는 평행 평면 디스크의 경우 두 개의 디스크 표면에 병렬로 연장되는 것이 바람직하다). 이수에 다시 자세히 나타내는 대로, 함몰부는 실린더형 부분 또는 타원형 홀 부분의 형상으로 형상화될 수 있다.

[0027] 바람직하게, 교차 영역에서 생성된 물질부가 0.3~10 μ m, 바람직하게 0.5~5 μ m의 미리 정의된 최소 두께를 가지도록 함몰부가 형성된다. 함몰부의 최대 단면 연장(종축에 수직 및 일반적으로 중앙 디스크면에 평행하게 관찰된)은 50~500 μ m, 바람직하게 100~200 μ m이다. 중앙 디스크면에 수직인 함몰부의 최대 형성 깊이는 바람직하게 20~100 μ m, 특히 바람직하게 40~50 μ m이다.

[0028] 고에너지 빔은 집속 빔일 수 있다. 이로 인하여, 고에너지 빔은 특히 예를 들어 섬유 레이저(fibre laser)에 의하여 생성된 레이저 빔을 나타낸다. 본 발명에 따라, 일반적으로 피코초 레이저(picosecond lasers) 또는 펨토초 레이저(femtosecond lasers)는 이용되어야 하며, 나노초 레이저의 이용(nanosecond laser)이 가능하다. 레이저에 의한 함몰부를 생성하는 대안으로, 고율 플라즈마 이온 소스(high-rate plasma ion source)(예를 들어 고율 플라즈마 FIB 이온 소스)의 대응적으로 집속 이온 예칭 빔 또는 집속 플라즈마 빔이 이용될 수 있다.

[0029] 본 발명에 따라, 열 유도 영역을 방지하기 위하여, 바람직하게 (피코초 범위 또는 펨토초 범위의 펄스 간격을 가지는)극초단 펄스 레이저(ultrashort pulse lasers)가 이용된다. 사실상, 일반적으로 나노초 펄스를 가지는

레이저의 이용이 가능하며, 나노초 펄스를 가지는 레이저의 이용은 일반적으로 피코초 레이저 또는 펨토초 레이저에 관하여 충분히 증가하는 함몰부 깊이로 함몰부의 레이저 기반 형성 동안 생성된 손상 깊이에 대하여 샘플 구조를 손상시키는 단점을 가진다.

- [0030] 함몰부의 본 발명에 따른 형성을 위해 이용된 디스크는 매우 다양한 물질(예를 들어 반도체 물질 또는 돌과 같이 자연적으로 발생하는 물질)로 이루어질 수 있으며 복합 물질로서 존재할 수 있고 1~5mm, 바람직하게 3mm의 평균 연장부(average extension), 평균 직경 또는 평균 예지 길이를 가진다. 이로 인하여, 원형의 디스크는 직사각형 또는 정사각형의 디스크를 가능하게 한다. 디스크의 평균 두께는 바람직하게 50~200 μm , 바람직하게 100 μm 이다. 바람직하게, 위에 기술된 평균 연장부, 평균 직경 또는 평균 예지 길이는 디스크의 평균 두께의 적어도 5배, 바람직하게 적어도 25배이다. 디스크는 예를 들어 기계적 분쇄 또는 소잉(sawing), 레이저 침식 또는 플라즈마 스파크 침식(plasma spark erosion)에 의해 생성될 수 있다.
- [0031] 이후에 더 자세히 기술되는대로, 본 발명에 따른 위에 기술된 방법 중 하나를 수행하도록 형성된 본 발명에 따른 장치는 고에너지 빔 또는 디스크가 가공용 고에너지 빔에 배치될 수 있는 샘플 홀더(sample holder)를 생성하는 빔 생성 장치(beam-producing unit)을 가진다. 바람직하게, 빔 발생 장치는 피코초 레이저 또는 펨토초 레이저를 포함하며, 빔 생성 장치의 빔 경로는 빔의 위치 결정을 위한 나선 드릴 헤드(helical drill head)의 뒤에 있을 수 있다. 샘플 홀더는 바람직하게 5-축 위치 결정 메카니즘으로 형성되거나 그 중 하나를 포함한다. 또한, 바람직하게 적어도 하나의 광역 빔 이온 소스(정의에 따라, 100 μm 이상의 빔 직경을 가지는 소스) 또는 이온 마이크로 빔 장치(정의에 따라, 몇 nm에서 몇 μm 의 빔 직경을 가지는 소스)는 함몰부를 형성하도록 고에너지 빔으로 디스크를 가공 후, 발생된 물질부를 다시 박판화하기 위하여, 이온 빔 예칭 장치로 제공된다. 예를 들어, 이온 소스는 1.5~6keV의 가속 전압으로 작동될 수 있다. 그러나 < 1keV의 값(예를 들어 50~800eV)이 바람직하다.
- [0032] 최신 기술로부터 알려진 방법 또는 장치에 대하여, TEM 샘플의 타겟 제조를 위한 본 발명에 따른 미세 가공 방법은 특히 다음의 이점을 가진다:
- [0033] · 샘플의 타겟 제조는 몇 마이크로 미터 또는 그 아래의 정밀도로 수행될 수 있다. 샘플의 타겟 제조는 일반적으로 지금까지 이용된 기계적 방법(FIB 컷의 나노미터 정밀도와 대등하지 않은) 보다 대체로 우수하다. 이미 기술된대로, 기술된 빔-박판화법은 이후의 FIB 공정의 예비 단계로 이용될 수 있다. 빔 미세 가공의 결과로서, 특히 레이저로, 집속 이온 빔으로(주로 몇 $\mu\text{m}^3/\text{s}$ 가 이루어질 수 있는 표준 FIB로, 주로 $2 \times 10^3 \mu\text{m}^3/\text{s}$ 가 이루어질 수 있는 고율 플라즈마 FIB로) 이루어질 수 없는 고율 물질 제거의 이점이 야기된다($10^6 \mu\text{m}^3/\text{s}$). 또한, 타겟 제조 깊이 t(이후에 도시)의 선택 가능성의 결과로서, 더 큰 물질 깊이를 이용할 수 있다.
- [0034] · 타원형 홀(이후에 도시)(다른 형성 깊이를 가지는 함몰부의 형성)이 형성될 때 가능한 비 선형 궤도의 교차 유도에 의하여, 평가될 수 있는 남아있는 잔류 두께(예를 들어 육안 관찰에 의해)에 의하여 표시 영역을 제공할 수 있으며, 따라서 전자 투명성이 측정될 수 있다. 이러한 목적을 위하여, 예를 들어 R. Salzer et al.(Proceedings of Microscopy and Microanalysis, 2009, Cambridge University Press, NY, USA (2009) 340 to 341)의 REM 투명법이 이용될 수 있다(잔여 물질부의 두께에서 추가 감소를 위한 이온 빔 예칭 단계를 수행할 때).
- [0035] · 예를 들어, DE 10 2008 000 306 A1에 기술된대로, 본 발명은 샘플 및 매우 작은 영역(즉 교차 영역에서 남아 있는 물질부에 대응하는 각도에서 교차하는 노치(notches)에 의해 형성된)의 안정화에 기여하는 불륨 불질의 실질적으로 두꺼운 웹(약 100 μm 의 두께)가 매우 얇은 이점을 가진다. 노치 또는 함몰부는 필요한 가공 시간에서 발생하는 단점 없이 낮은 레이저 파워(laser power)로 생성될 수 있다. 동시에, 손상(이후에 도시)은 최소로 감소된다. 이러한 방식으로 생성된 구조는 이상적으로 함몰부를 따라 가능한 다음의 이온 광역 빔 예칭 단계의 예비 단계로 적합하며, 약 10분의 예칭 시간(몇시간 대신)은 얇은 노치 교차 영역(즉, 최소 두께를 가지는 물질부의)의 달성 가능한 낮은 잔류 두께 때문에 예상될 수 있다.
- [0036] · 추가 이점은 예를 들어 복합 물질에서 인터페이스(interface)가 깊이 t에 대하여 정확히 교차 영역 또는 노치 중첩 영역(notch overlapping region)으로 측정될 수 있으며, 따라서 물질 내부 깊이 숨겨진 구조를 이용할 수 있다(예를 들어 복합 후면 박판화법(complex rear-thinning methods)이 본 발명의 결과로서 불필요한 공동 기술의 분야에서 논점의 경우).
- [0037] · 또한, 방법은 특히 몇 마이크로미터의 정밀도로 제조될 수 있는 FIB 기술에 의해 접근하기 어려운 벌크 물질(예를 들어 큰 깊이에서)의 영역에 의한 의미있는 보완 FIB 기술일 수 있다. 또한, 충분히 더 의미있는 공동 분

석은 복수의 노치 중첩 영역 또는 물질부를 생성하여 수행될 수 있다.

[0038] · 본 발명은 이온 빔 에칭(예를 들어 다이아몬드 와이어 소잉(diamond wire sawing), 기계적 분쇄 및 폴리싱(polishing), 초음파 코어 절단(ultrasonic core cutting) 및 트로프 분쇄(trough grinding)와 같은) 이전의 모든 단조로운 공정을 불필요하게 만드는 이점을 가진다. 본 발명에 따른 방법은 대체하는 방법 보다 충분히 더 정확하고 충분히 더 시간을 절약(예를 들어 4~8시간 대신 몇 분)한다.

[0039] · 본 발명은 피코초 레이저 및 나선 드릴 헤드를 포함하는 테이블 장치의 범위 내에서 생성될 수 있고, 테이블 장치는 불충분하게 더 비싸지만 가능한 대체되는 위에 언급된 기기의 합계 보다 더 저렴하고 및 높은 운전 비용 없이 설치된다. 본 발명에 따른 장치는 금속에 연관된 다이아몬드 분쇄 디스크 또는 초음파 코어 절단용 보론 카바이드 파워(boron carbide power), 소잉용 다이아몬드 와이어 또는 트로프 분쇄용 다이아몬드 서스펜션과 같은 소모품을 필요로하지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0040] 본 발명은 실시예를 참조하여 이후에 기술된다.

도 1은 레이저 미세 가공(3mm 직경의 약 100 μ m 두께의 디스크부)을 위한 평행 평면 개시 형상의 도식도이다.

도 2는 도 1에 나타난 디스크의 전면부 및 후면부에 각각 형성된 함몰부의 형상 구조이며, 0.5 μ m에서 몇 마이크로미터 두께의 영역(물질부)은 두 개의 함몰부의 중첩 영역(교차 영역)에서 생성된다.

도 3은 비-실린더형이 아닌 타원형 홈-형상의 함몰부를 가지는 경우, 도 2에 대응하는 형상 구조이다.

도 4는 도 1-3에 나타난 구조가 형성될 수 있는 본 발명에 따른 장치이다.

도 5는 피코초 레이저와 결합하여 나선 드릴 헤드로 실리콘 웨이퍼에서 형성되는 절단 에지를 통한 단면도이다.

도 6은 각각 몇 마이크로미터의 두께의 물질부가 남아있는 중첩 영역에서 복수의 전면 및 후면 노치의 형상 구조이다.

도 7은 복수의 전면 및 후면 함몰부의 구조이며, 전면 및 후면 함몰부의 중첩 영역 또는 교차 영역은 다른 가공 깊이의 결과로(각도 γ 의 함수로서) 다른 두께를 가진다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 도 1은 본 발명에 따른 방법의 시작 기준으로서 100 μ m의 두께 d_1 으로 평행 평면 방식(plane-parallel manner)으로만 박판화된 디스크(disc, 1)를 나타낸다. 디스크는 기계적 분쇄, 레이저 침식 또는 플라즈마 스파크 침식 또는 최신 기술로부터 알려진 다른 가공 기술에 의해 생성되며, 3mm의 디스크 직경 때문에 표준 TEM 홀더에서 수용될 수 있도록 제조된다. 3mm의 직경으로 디스크(1) 크기의 절단은 함몰부의 본 발명에 따른 형성을 위하여 이용되는 레이저 미세 가공 시스템(laser micromachining system)으로 매우 쉽게 수행될 수 있다(참조. 예를 들어 DE 10 2008 000 306 A1 또는 도 4). 뷰어(viewer)를 향하여 배향된 디스크 표면은 여기에서 2a로 설계되며, 뷰어로부터 떨어져 배향된 디스크의 푸면은 참조 번호 2b로 나타낸다. 이후에 더 자세히 기술되는대로, 두 표면에서 함몰부는 안으로 구조화된다. 우수한 예에 대하여, 디스크(1)는 주로 직경에 따른 부분으로 나타내며, 디스크(1)의 단부측 협면(end-side narrow face)은 직경에 따른 부분에 대응하며 여기에서 참조 번호 12로 나타낸 상부에 배치된다. 본 발명에 따른 순서의 이후의 형상 설명은 디스크(1)로부터 나타난 부분이 실제 샘플로 처리되는 것처럼 단순한 설명으로 수행된다(즉, 단부측 협면(1)는 실제로 존재한다). 바람직하게 완전한 원형 디스크의 형상으로 형성되는 가공되는 실제 박판화된 디스크는 대응적으로 (단부측 협면으로서 원의 에지의 대응하는 선택으로) 가공화될 수 있다.

[0042] TEM으로 비교가능한 개시 구조의 형상으로, 디스크(1)는 이후에 기술되는대로 추가 가공에 적합하다(및 방법의 종결 후 TEM으로 직접 삽입될 수 있다). 작은 샘플 크기에 대하여 및/또는 전체적으로 원형의 디스크가 아닌 샘플에 대하여(예를 들어 도 1에 나타난 부분의 형상으로), 적합하게 수용된 샘플을 수용하는 수단이 이용되어야 하며 또는 표본은 적합한 직경의 완전한 원형 디스크에 내장되어야 한다.

[0043] 도 2는 양 측으로 집속 레이저 빔(3)(참조. 도 4)으로 조사에 의해 각각 하나의 함몰부(5)로 제공되며, 조사는 디스크(1)의 중앙 디스크면(4)에 평행하게 레이저 빔으로 이루어진다. 중앙 디스크면(4)은 디스크(1)의 두 표면(2a, 2b)사이의 및 두 표면에 평행하게 중앙에서 연장된 평면으로 형성된다. 디스크부(1)의 단부측 협면(12)은

두 표면(2a, 2b) 및 중앙 디스크면(4)에 수직으로 연장된다. 고정된 방식으로 디스크(1)에 연관된 데카르트의 좌표계(Cartesian coordinate system)는 3개의 공간 좌표 x' , y' 및 z' 에 의해 특징화된다.

- [0044] 도 2에 나타낸대로, 조사는 처음에 표면(2a)으로 종축 방향(6a)에 수직이며 단면의 원형 세그먼트 형상인 함몰부(5a)가 형성되도록 (즉, 디스크면(4)에 평행인)뷰어를 향하여 배향된 디스크(1)의 표면(2a)을 따라 레이저 빔(3)(도 2에 미도시, 도 4 참조)으로 수행된다. 함몰부는 $\Delta t=47.5\mu\text{m}$ 의 최대 깊이(표면에 대하여 또는 디스크면(4)에 수직 방향에서 또는 z' 방향에서 보여지는)로 형성된다. 더 나타낸 도면으로, 함몰부의 종축(6a)이 중앙 디스크면(4)에 평행하게 배치되며 15° 의 각도/2에 의해 단부측 협면(12)의 수직면 N에 대하여 경사지도록 형성된다.
- [0045] 전체적으로 유사하게, 제 2 함몰부(5b)는 전면부(2a)의 반대쪽에 배치된 후면부(2b)에 형성된다. 이러한 목적을 위하여, 디스크(1)는 제 1 함몰부(5a)(참조. 도 4에 나타낸 위치 결정 메카니즘(11))의 형성 후 각도에 의해 대응적으로 회전된다. 또한, 후면부에 형성된 함몰부(6b)는 중앙 디스크면(4)에 수직인 방향으로 $\Delta t=47.5\mu\text{m}$ 의 최대 깊이를 가진다. 제 2 함몰부(5b)(또는 함몰부의 종축(6b))은 사실상 각도 = 30° 로 제 1 함몰부(5a) 또는 제 1 함몰부(5a)의 종축(6a)에 대하여 회전되는 디스크면(4)에 평행하게 연장된다(즉, 제 2 함몰부(5b)는 함몰부(5b)의 종축(6b)에 대하여 종축(6a)의 반대 방향으로 수직면 N에 대하여 기울어진 수직면 N의 /2의 각도로 구조화된다).
- [0046] 위에 기술된 순서에 의하여, 매우 얇은 웹(8)이 전자 빔-투명 샘플 P로서 이온 빔 에칭(또는 추가 박판화 단계 없이 TEM에서 적합하게 높은 전압의 경우에 대하여 추가 박판화 절단 후 웹(8)이 이용될 수 있는 두 개의 형성된 함몰부가 교차하는 교차 영역(7)의 수직 방향 N(여기에서: $t\sim 300\mu\text{m}$)에서 디스크부(1)의 연장부의 절반에 대응하는 t의 깊이에서 생성된다(수직 방향 N에서 보여지는). 위에 기술된 형상부 때문에, 두 함몰부(5a, 5b) 사이의 교차 영역에 남아 있고 중앙 디스크면(4)에 대하여 미러-대칭적으로 형성된 웹 또는 물질부(8)는 $d_3 = d_1 - 2 \times \Delta t = 100\mu\text{m} - 2 \times 47.5\mu\text{m} = 5\mu\text{m}$ ($\Delta t = z'$ 방향에서 두 함몰부(5a, 5b)의 최대 형성 깊이)의 최소 두께 d_3 (중앙 디스크면(4)에 수직인 방향 또는 z' 방향에서 보여지는)를 가진다.
- [0047] 형성된 두 개의 함몰부(5a, 5b)의 주요 방향(6a, 6b)은 평행하게 연장되지 않으나 각도 = 30° (30° 보다 크거나 작게 선택될 수 있는)를 포함한다. 두 개의 함몰부(5a, 5b)의 중첩 영역 또는 교차 영역(7)에서, 매우 얇은 물질부(8)는 여기에서 $5\mu\text{m}$ 의 최대 잔류 두께로 생성된다(그러나, 본 발명에 따른 도 4를 참조하여 이용되는 장치에서 적합한 빔 유도 및 위치 결정 정밀도로 $0.5\text{-}2\mu\text{m}$ 의 작은 잔여 두께 d_3 를 달성할 수 있다).
- [0048] 이미 기술된대로, 얇은 물질부(8)는 충분히 높은 TEM 에너지에 대하여 전자 빔-투명성을 가지거나 낮은 TEM 에너지에 대하여 전자빔 투명성이 이루어질 수 있도록 이후에 기술되는 추가 이온 빔 에칭 I에 의해 물질부의 두께로 더 감소될 수 있다.
- [0049] 함몰부의 교차하는(7) 구조의 결과로서, 전체 구조는 비틀림 강도(torsional rigidity)를 얻어서, 두 개의 함몰부(5)의 중첩 영역(7)에서 작은 물질 잔류 두께 d_3 가 형성될 수 있다. 함몰부(5a, 5b)의 제조는 바람직하게 초단파 펄스 레이저(ultrashort pulse laser, 14)로 이루어지며, 빔은 나선 드릴 헤드(9)(참조. 도 4) 또는 트래프닝 렌즈 시스템을 이용하여 제조되어서 완벽하게 실린더형 홀(나타낸대로, 대개 하나의 원형 세그먼트 부분은 디스크(1)의 물질의 밖으로 구조화된다)은 예를 들어 100 또는 $250\mu\text{m}$ 의 홀 직경으로 드릴링될 수 있다. 대응적으로, 타원형 홀의 형성이 가능하다(도 3). 초단파 펄스 레이저(14)의 이용은 이용된 파장에 대한 디스크(1)의 가공된 물질의 투명성을 고려하지 않고 작동의 쉽게 달성가능한 다광자 흡수(multiphoton absorption) 때문에 가능성을 제공한다. 그러나, 나노초 범위에서 펄스로 짧은 펄스 레이저를 이용할 수 있으나, 더 연장된 열 유도 영역(측면 2a, 2b에 의한, 몇 마이크로미터) 때문에 표면의 미세구조가 변형되는 것을 수용해야 한다.
- [0050] 또한, 도 2에 나타낸대로, 함몰부의 형성은 회전부(10)의 축으로 디스크(1)(참조. 도 4)의 장착 후에만 수행된다. 함몰부의 형성은 디스크(1)에 대하여 보여지는 빔(3)이 미리 정의된 위치로 집속된 디스크(1)에 들어가도록 위치 결정 메카니즘(11)으로 간격(x, y, z)(도 4에 도시)에서 디스크(1)의 위치 및 방향을 조정할 수 있는 목적을 제공한다. 디스크의 위치는 특히 단부면(12), 그러나 또한 단부면(12)의 아래, 즉 디스크(1)의 내부에 (예를 들어 $10\mu\text{m}$ 의 정밀도로)배치될 수 있다. 정확한 간격 측정의 기준으로, 필요한 경우 재집속(refocusing)이 수행될 수 있다. 회전부(10)의 축은 z' 방향에서 연장되고 상부 단부면(12)을 통하여 연장된 축으로, 단순한 설명으로 추정될 수 있다. 이로 인하여, 축(10)은 수직면 N을 교차하며, 즉 깊이 방향 t 또는 y' 방향에서 보여지는, 두 개의 종축(6a, 6b) 사이의 각 이등분선(angle bisector)이 교차 영역(7) 또는 가공된 물질부(8)의 중심 위에 정확히 배치된다. 여기에서 축(10)은 예를 들어 유센트릭 축(eucentric ax)으로 선택된다.

- [0051] 웹(8)의 양측면("a" 및 "b"로 도 2에 설계된)으로 교차점 및 가공 위치의 각도의 선택의 결과로서, 가공 방향에서 중첩 영역(7) 및 가공 후 남아있는 물질부(8)는 바람직한 깊이 t로 배치될 수 있다. 그 결과, 양 은폐형 구조(예를 들어 복합 웨이퍼의 인터페이스와 같은)는 개방될 수 있으며 표면 근처의 영역이 특히 가공된다. 다른 제거율의 복합물의 제조를 위하여, 낮은 제거율을 가지는 물질의 방향에서의 제조가 바람직하다.
- [0052] 회전부(10)의 유센트릭 축으로만 위치 결정의 결과로, 가능성은 회전식 및/또는 피벗팅 이동하여 함몰부(5)를 형성하는 동안 디스크(1)의 추가 설정으로 레이저 가공에 의해 소위 "커튼" 효과(즉 함몰부 표면의 바람직하지 않은 인터페이스 기복 또는 다른 인공물)만을 감소시켜 존재한다. 디스크(1)의 추가 피벗팅 및/또는 회전 이동을 위한 진동 β 의 일반적인 각도는 $\pm 5\sim 10^\circ$ 이다. 입사 레이저 빔(laser beam, 3)에 대한 디스크(1)의 정확한 위치결정을 위하여, 정확한 5-축 시스템이 바람직하며, 가공 위치의 위치 결정 및 가공 깊이 t의 설정은 시스템(도 4)의 축 x, y 및 z 및 회전부(10)의 유센트릭 축(도 4를 참조하여 회전축 및 공동으로 이동된 추가 선형 축)으로 수행될 수 있으며, 디스크(1)의 추가 피벗팅 및/또는 회전의 경우, 진동은 가능한 정확히 두 개의 함몰부(5a, 5b)의 교차점(7) 주위에서 각도 β 로 발생된다.
- [0053] 나타낸 방법의 바람직한 구체예에서, 교차하는 함몰부(5a, 5b)는 구조적 손상(제거 동안 리코일 압력(recoil pressure)때문에 결함 형성)이 효율적으로 방지되는 낮은 레이저 영향(laser fluence)으로 구조화된다. 예를 들어, 33 또는 $100\ \mu\text{J}$ 의 펄스 에너지가 이용될 수 있다. 그러나 낮은 레이저 파워의 경우, 함몰부(5a, 5b)의 남아있는 벽에서 표면에 가까운 약 $0.1\ \mu\text{m}$ 의 두꺼운 영역이 손상되기 때문에, 바람직하게 예비 단계로서 표현된 미세 가공 후, 이후의 추가 이온 빔 에칭 단계가 함몰부(5a, 5b)로 비스듬한 입사각으로 이루어진다.
- [0054] 위에 기술된 레이저 기반의 미세 가공의 결과로, 평면(4), 매우 연장된 박판화된 영역(8)(약 $100 \times 100\ \mu\text{m}^2$ 또는 $50 \times 50\ \mu\text{m}^2$)에 평행으로 보여지는 함몰부 폭(참조, 도 3)의 선택에 따라 야기된다. 평면(4)의 함몰부의 최대 단면 연장의 선택(가능한 다른 방식으로 웹(8)의 양측 또는 양 표면(2a, 2b)으로 수행될 수 있는)은 각각 제조되는 물질(1)로 최적화되는 크기이다.
- [0055] 기술된 방식에서, 물질부(8)의 물질 잔여 두께 d3는 우수한 기계적 부하가 이루어지는 웹(8) 없이 $5\ \mu\text{m}$ 또는 그 이하의 범위로 생성될 수 있다. 추가 실시예에 나타낸 도 3으로(동일한 참조번호는 도 2에서 동일한 특성을 나타낸다; 도 3의 하부는 수직면 N의 방향으로 평면도를 나타낸다), (평면부(4)에 별렬 및 함몰부의 종축 방향에 수직으로 보여지는)도 2와 비교하여 증가된 최대 단면을 가지는 타원형 홀에 대하여 함몰부(5a, 5b)로서 형성될 수 있다. 도 2에 나타낸 경우와 비교하여, 물질부(8)의 연장부 또는 영역이 디스크면(4)에서 크다는 이점을 가진다. 타원형 홀은 예를 들어 함몰부(5)의 형성 동안 디스크(1)가 x 방향으로 레이저 빔의 집속을 유지하는 동안 이동되는 사실의 결과로 쉽게 형성될 수 있다(참조, 도 4).
- [0056] 도 4는 도 1-3에 기술된 구조화가 수행될 수 있는 본 발명에 따른 장치의 예를 나타낸다. 또한, 동일한 참조 번호는 도 1-3과 비교하여 본 발명의 동일한 특징을 나타낸다. 데카르트의 공간 좌표계 x, y 및 z는 디스크(1)(디스크의 좌표계 x', y', z'으로)가 나타낸 샘플 홀더(이후에 기술된 위치 결정 메카니즘(11)을 포함하는)에 의하여 배치될 수 있고 배향될 수 있는 세계 좌표계(world coordinate system)를 나타낸다.
- [0057] 장치는 처음에 DE 10 2008 000 306 A1과 유사하게 형성된 빔 생성 장치(15)를 포함하거나 빔 생성 장치의 경우에 다른 나선 드릴 또는 트래패닝 헤드로 피코초 레이저(14)로 생성된 레이저 빔은 적합한 프리즘(prism, 30)으로 미러(mirror, 33) 및 빔-상쇄판(beam-offsetting plate, 32)을 통하여 가이드된다. 미러(33), 빔-상쇄판(32) 및 프리즘(30)은 나선 드릴 헤드(9)의 필수 구성 요소를 형성한다. 나선 드릴 헤드(9)로부터 형성되고 함몰부를 형성하여 제공된 레이저 빔(3)의 주요 빔 방향은 E로 특징화되고 자체의 워블링 이동 PT 및 회전 R에서 조사 방향 E에 대하여 보여지는, 나타낸 나선 드릴 헤드(9) 때문에 설정될 수 있다. 그러나 자체의 회전은 절대적으로 필요하지 않다. 따라서, 정확히 실린더형 또는 타원형상의 함몰부(5)를 형성하기 위해 레이저 빔(3)(함몰부에 고정적인 디스크(1)의 경우)을 가능하게 한다.
- [0058] 빔(3)에서 또는 빔(3)에 대하여 디스크(1)의 위치 결정 및 배향은 유센트릭 5-축 각도계의 형상으로 나타낸 샘플 홀더의 5-축 위치 결정 메카니즘(11)에 의해 이루어진다. 5-축 위치 결정 메카니즘(11)은 실질적으로 3개의 공간 방향 x, y 및 z에서 자유롭게 이동가능하며 참조 번호 20으로 나타낸 3-축 이동 테이블 유닛을 포함한다. 이동 테이블 유닛(20)으로, 회전 이동을 가능하게 하는 장치(21)은 고정되며, 회전 장치(22)에 의하여 회전 장치(22)의 홀더(24)에 고정된 디스크(1)는 나타낸 평면도 x, y(즉, z방향에서)에 수직으로 연장된 회전축 r에 대하여 회전할 수 있다. 회전축 r은 나타낸 위치 결정 메카니즘(11)의 4번째 축을 나타낸다. 또한, 회전 장치(22)는 스피들 구동기(spindle drive)로 형성된 선형축 장치(23)를 가지며, 회전 장치(22)로 오일러의 균형의 중

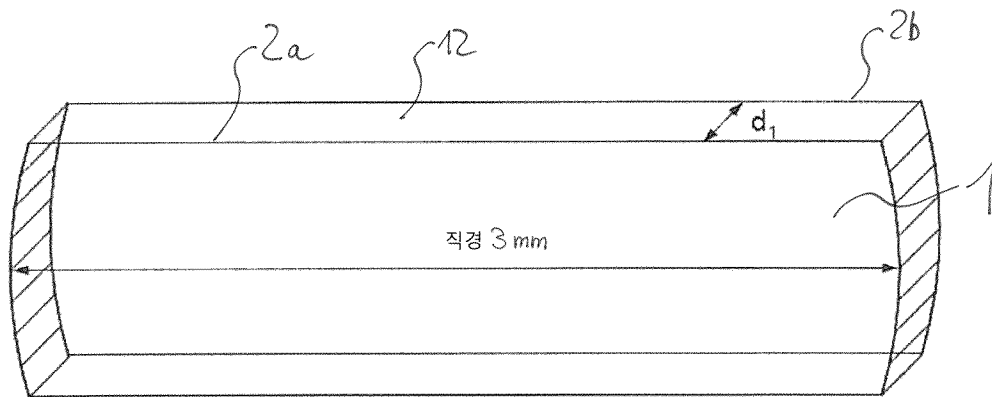
심 쪽으로 또는 회전축 r (나타낸 위치 결정 메카니즘(11)의 평행 방향 또는 5축)쪽을 향하는 평행 이동 (translation movement)이 생성될 수 있다. 나선 드릴 헤드(9)를 통하여 빔(3)의 집속 위치의 조정은 5-축 위치 결정 메카니즘(11)에 의해 디스크(1)의 이동과 동기화되어 이루어져서, 위에 기술된 빔(3)의 집속 침투는 바람직하게 단부측 예지면(12)에 배치된 디스크(1)의 참고점에서 이루어진다.

- [0059] 도 4의 오른쪽에 나타낸대로, 본 발명(단일 장치로 단순하게 나타냄; 사실상 장치는 일반적으로 서로로부터 분리된 레이저 빔 장치(15) 및 이온 빔 장치(!1)을 포함한다)에 따라 나타낸 장치는 함몰부(5)의 형성의 종결 후 교차 영역(7)에서 생성된 얇은 웹(8)의 추가 박편화가 수행될 수 있는 광역 빔 이온 소스(broad beam ion source, 13)를 포함한다. 이러한 목적으로, 디스크(1)는 처음에 레이저 빔(3)(여기에서: x방향으로)의 조사 범위의 밖으로 옆을 향하여 위치 결정 메카니즘(11)의 3-축 위치 결정 테이블로 이동된다. 디스크(1)가 이온 소스(13)(나타낸 위치 16')의 조사 범위에서 적합한 위치로 레이저 가공 위치(16) 밖으로 이동하자마자, 이온 빔 예칭 I이 시작된다. 이온 빔 예칭의 시작은 위에 기술된대로 수행될 수 있다.
- [0060] 대안적으로, 본 발명에 따른 장치는 이온 소스(13) 및 나선 드릴 헤드(9)가 하나 및 동일한 가공 영역 쪽으로 배향되도록 생성될 수 있고, 디스크(1)는 레이저 가공 단계 및 이온 가공 단계 사이에서 이동될 필요가 없다.
- [0061] 도 5에서 E는 레이저 빔(3)의 조사 방향을 다시 나타내며, 레이저 가공 후 추가적으로 수행되는 이온 빔 예칭 단계 I의 이점을 설명한다: 피코초 레이저 가공의 결과로 생성될 수 있는 가공된 구조(1) 내부 물질로 약 1-2 μ m의 폭으로 연장된 구조적 영역이 손상되는 것을 과학 기술 논문에 기술한다(참조. Y. N. Picard, S. M. Yalisove, Appl. Phys. Lett. 92 (2008), 014102). 그러나, 일반적으로 예를 들어 실리콘과 같은 벌크 물질의 경우(도 5에 나타냄), 낮고 벽에 가까운 영역으로 제한되며 가공된 구조(1)의 내부로 최대 100nm 연장된, 피코초 레이저(14)와 결합하여 나선 드릴 헤드(9)로 가공 동안 구조적 손상만 발생한다. 일반적으로, 표면에 가깝고 100nm 미만으로 연장된 이러한 손상은 예를 들어 무정형이 되는 것에 관련되며, 모든 가능성에 있어서 배출측으로부터 발생하는 제거 플라즈마(ablation plasma)로 표면의 상호 작용에 기여할 수 있다. 또한, 도 5에 나타낸 경우, 제거된 생성물(아마 SiO₂)의 약 200nm의 두꺼운 층은 실제 절단 예치로 검출될 수 있다. 아래에 가려진 층은 최대 100nm 두께의 층이며, 이 층에서 실리콘 기관으로 구조적 손상은 배제될 수 없다.
- [0062] 따라서, TEM 동안 레이저 가공 때문에 인공물을 방지하기 위하여 구조화된 샘플 또는 대응하는 물질부(8)의 검사 전 100-200nm 두께 미만인 층 부분을 제거하기 위해 적합할 수 있다. 이러한 목적을 위하여, 추가적인 이온 빔 예칭 단계 I_{dp} 의해 감소된 최소 두께 d₃₊₁로 남아있는 물질부(8)의 두께 d₃의 추가 박편화가 이용될 수 있다. 추가 이온 빔 예칭 I 없이, 가능한 손상된, 흐린 물질부(8)의 이미지는 TEM에 존재할 것이다.
- [0063] 도 6은 복수의 함몰부가 도 2 및 3에 나타낸 경우와 전체적으로 동일하게 디스크(1)의 각각의 두 표면(2a, 2b)에서 본 발명에 따라 구조화되는 추가 실시예를 나타낸다.
- [0064] 도 6의 왼쪽에 나타낸대로, 나타낸 경우에서 함몰부는 디스크(1)의 전면(2a)으로 구조화되며, 각각의 종축(6a-1, 6a-2)에 대하여 각각 복수의 함몰부(5a-1, 5a-2, ...)는 각각 서로 평행하며 중앙 디스크면(4)에 평행이다.
- [0065] 또한, 함몰부는 디스크(1)의 후면(2b)으로 구조화되며, 종축(6b-1)으로 연장된 복수의 각각의 함몰부(5b-1)는 서로에 평행하며 평면(4)에 평행이다. 전면(2a)의 함몰부의 구조화는 약 30° 로 미리 정의된 각도로 도 2에 나타낸 경우에 대응하여 후면(2b)에 대하여 이루어진다.
- [0066] 따라서, 다수의 교차 영역(7a, 7b)이 생성되며, 교차 영역에서 전면 및 후면의 각각의 함몰부가 각도로 교차하고 각각의 전자-투명성(가능한 추가 이온 빔 박편화 후에서만) 물질부(8a, 8b, ...)가 남아있다. 이로 인하여, 도 6은 단면에서 실린더형 부분 형상인 함몰부(5)의 형성부의 왼쪽에 나타내며, 도 6은 타원형 홀의 형성부의 오른쪽에 나타낸다. 왼쪽의 도 6과 비교하여, 형성된 함몰부(5)의 최대 단면 q의 오른쪽의 도 6에서 종축 방향(6)에 수직인 방향 및 평면(4)에서 증가된다. 최대 단면 q의 적합한 선택에 의하여, 중앙 디스크면(4)의 물질부(8)의 영역은 바람직하게 조정될 수 있다.
- [0067] 전면(2a)에서 함몰부(5a) 및 후면(2b)에서 함몰부(5b)의 최대 형성 깊이 Δt 는 도 2의 $\Delta t = (d_1 - d_3)/2$ 에 나타낸 경우에 있다(평면(4)에 수직으로 보여지는).
- [0068] 따라서, 도 6은 각각의 노치가 디스크(1)의 전면 및 후면에 형성될 수 있고 멘더링 궤적(meandering trajectories)의 형상으로 다수의 함몰부가 다수의 대응하는 박편화된 영역(8)이 각각의 중첩 영역(7)에서 생성될 수 있도록 몇 마이크로미터 두께 d₃인 것을 나타낸다.

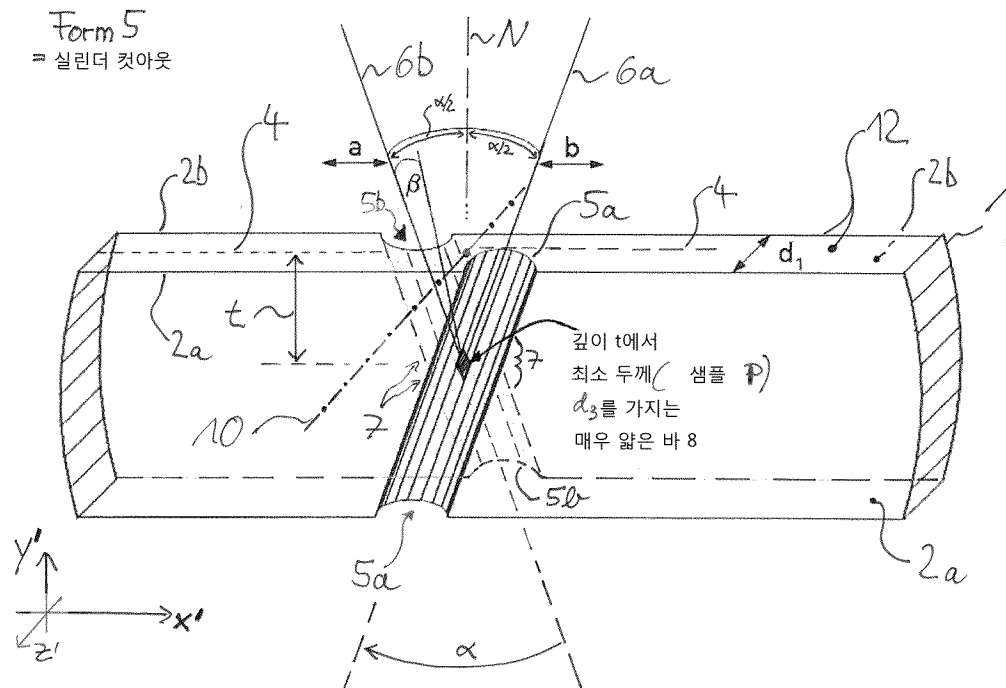
- [0069] 전면 및 후면(도 2의 상부에 배치된 협면(12) 및 반대쪽에 배치된 하측)으로부터 평각(예를 들어 $4\sim 10^\circ$)에서 레이저(도 4에 미도시된)에 의해 생성된 물질부(8)의 추가 이온 빔 박판화, 바람직하게 두 개의 이온 소스에 이용되며, 그 후 형성된 함몰부(5)는 바람직하게 박판화되고, 예를 들어 무정형이 되는 영역은 제거되거나 전자 빔 투명성은 낮은 전자 에너지로 형성된다. 바람직하게 두 개의 이온 소스는 함몰부를 따라 매우 제한된 각도 범위(최대 함몰부 폭 q 의 함수로서) 내에서만 즉 재증착을 방지하기 위하여 종축 방향(6)에서 조사된다. 노치형 함몰부의 배열은 박판화 공정을 고려할 수 있으며 일반적으로 0.5mm 절반 값 직경의 이온 빔의 해제된 어택(unblocked attack)을 제공한다.
- [0070] 마지막으로 도 7은 도 6과 같이 레이저 기반의 구조화의 본 발명에 따라 대응하는 절차를 나타내는 추가 실시예를 나타내서, 이후에 차이점만이 기술된다.
- [0071] 후면(2b)의 함몰부(5b)는 도 6에 나타난 경우와 같이 도 7에 형성되며, 다른 최대 형성 깊이 Δt (평면(4)에 수직으로 보여지는)에서 전면(2a)의 함몰부(5a)의 형성이(각각의 전면(2a) 함몰부(5a)의 형성 사이 위치 결정 메카니즘(11)에 의하여 디스크(1)의 적합한 이동에 의해) 이루어진다.
- [0072] 디스크(1)은 평면(4)에 대하여 보여지는, 예를 들어 2° 의 작은 각도 γ 로 위치 결정 메카니즘에 의해 이동된다. 전면(2a)의 함몰부에서 함몰부까지, 함몰부(5a-1, 5a-2 및 5a-3)의 최대 형성 깊이 Δt 는 감소된다. 대응적으로, 대응적으로 구조화된 물질부(8a, ...)의 최소 두께 d_3 는 증가한다(증가하는 최소 두께 d_3 는 참조 번호 d_{3-1} , d_{3-2} , d_{3-3} 에 의해 특정화된다).
- [0073] 각도 γ 의 함수로서 물질부(8)의 다른 두께로의 가공화는 이후의 이온 빔 에칭 I에서 샘플(8)의 감소된 최소 타겟 두께가 이루어질 때 이용자에 의한 시각적 관찰에 의하여 더 쉽게 설정될 수 있다.
- [0074] 마지막으로, 도 5의 왼쪽에서 검출 가능한 손상을 피하기 위하여 본 발명에 따라, 레이저 가공 전 레이저 형성 측 및 레이저 배출측 때문에, 희생층(sacrificial layer)(예를 들어 백금과 같은 전도성 물질로 형성된)이 제거 플라즈마 때문에 구조적 영향으로부터 표본의 영역을 보호하기 위하여 가공 동안 레이저 쪽으로 전환되거나 각 레이저로부터 떨어져 전환되는 디스크(1)의 표면으로 본 발명에 따라 적용될 수 있다.

도면

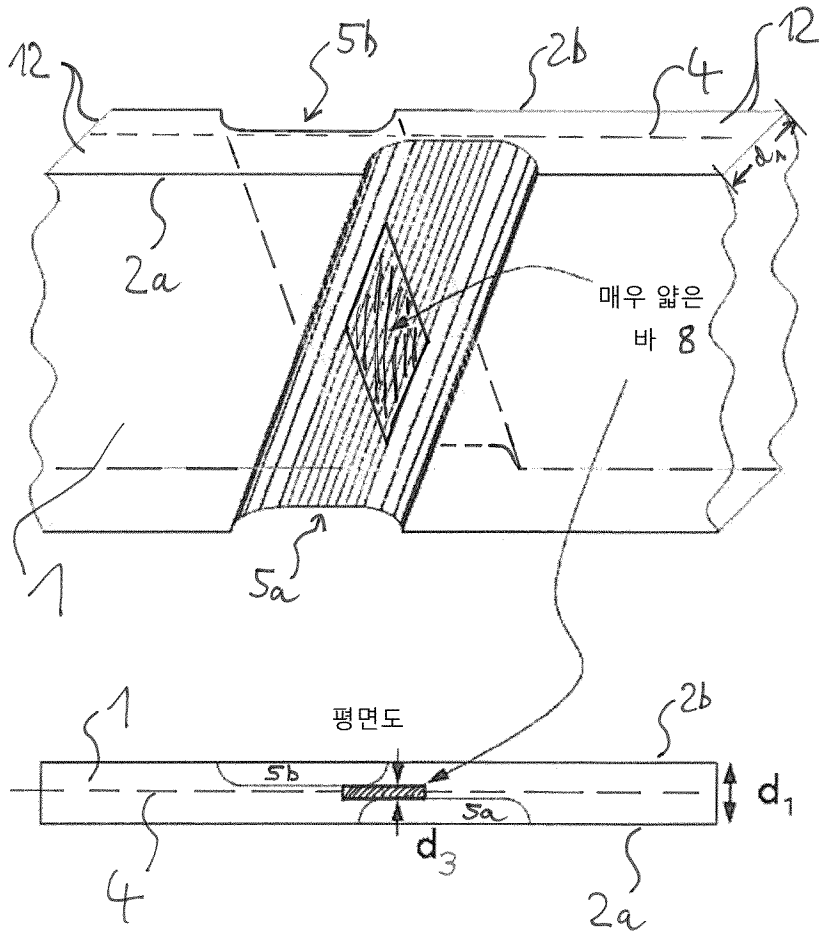
도면1



도면2

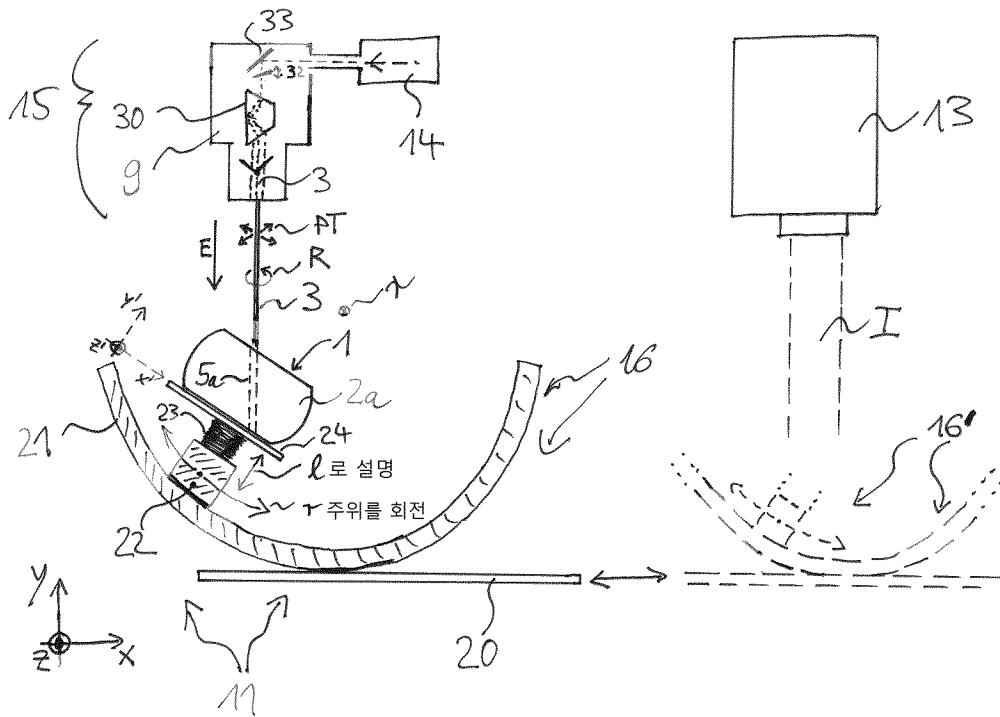


도면3

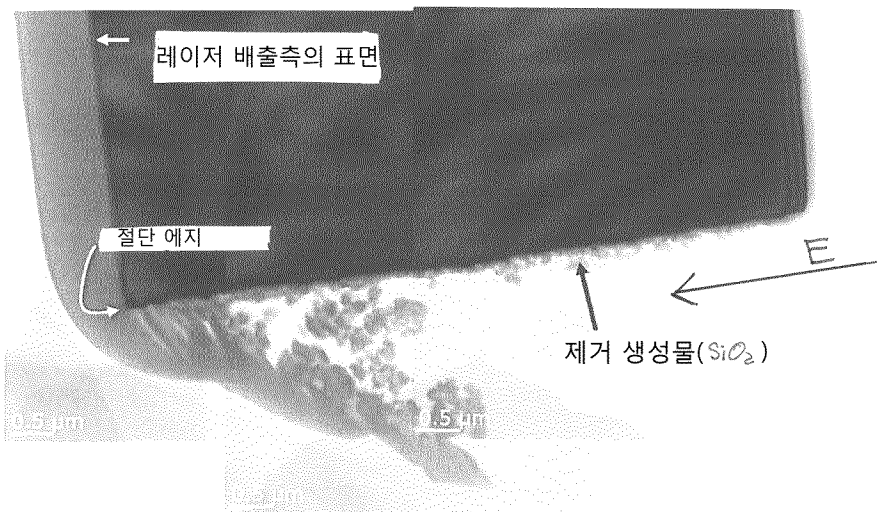


Form 5 = 연장된 홀 컷아웃

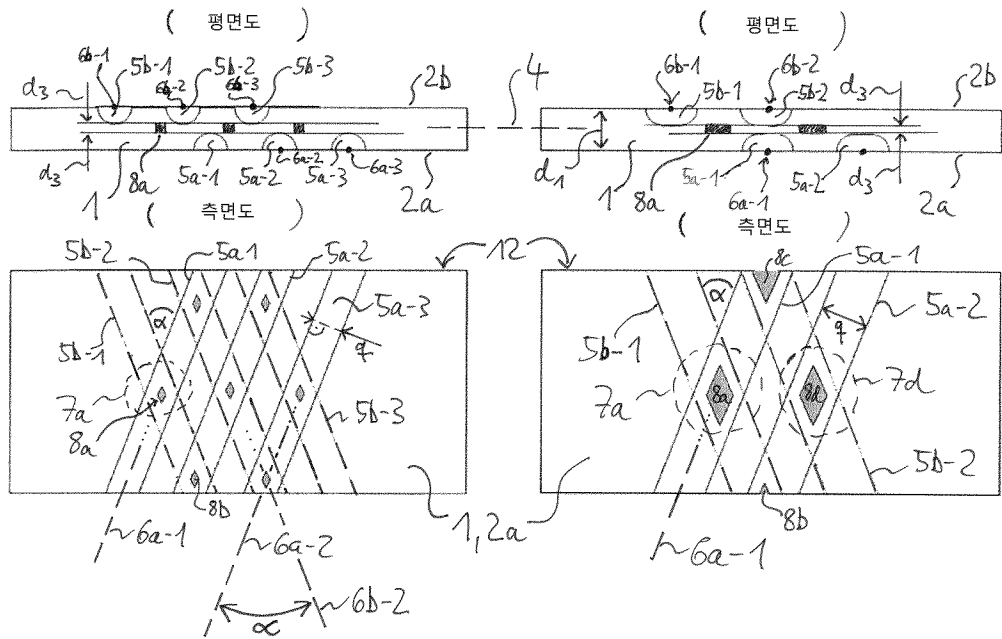
도면4



도면5



도면6



도면7

