



등록특허 10-2217082



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년02월19일
(11) 등록번호 10-2217082
(24) 등록일자 2021년02월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03B 33/02 (2006.01) *B23K 26/38* (2014.01)
C03B 33/04 (2006.01) *C03B 33/08* (2006.01)
C03B 33/09 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C03B 33/0222 (2013.01)
B23K 26/38 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7030256
- (22) 출원일자(국제) 2014년03월18일
심사청구일자 2019년03월13일
- (85) 번역문제출일자 2015년10월20일
- (65) 공개번호 10-2016-0020406
- (43) 공개일자 2016년02월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/055364
- (87) 국제공개번호 WO 2014/147048
국제공개일자 2014년09월25일
- (30) 우선권주장
13160420.9 2013년03월21일
유럽특허청(EPO)(EP)

(56) 선행기술조사문현

JP2010017990 A*

(뒷면에 계속)

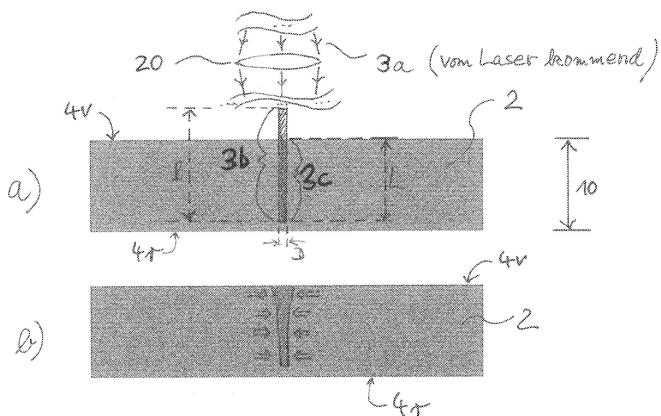
전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 이영화

(54) 발명의 명칭 평면 기판으로부터 윤곽을 레이저로 컷팅하는 디바이스 및 방법

(57) 요약

본 발명은 평면 기판에서 윤곽을 만들어 내고 상기 기판으로부터 상기 윤곽을 분리시키기 위한, 특히 평면 기판에서 내부 윤곽을 만들어 내고, 상기 기판으로부터 상기 내부 윤곽을 제거하기 위한 방법에 관한 것이며, 이때 윤곽 라인을 따라 기판 상에 안내되는 레이저 빔에 의한 윤곽 정의 단계에서는, 상기 윤곽이 만들어지게 되고,
(뒷면에 계속)

대 표 도

대량의 내부 손상의 개별적인 준들은 기판 재료에서 만들어지는 것을 특징으로 하며, 그리고 균열 정의 단계에서, 상기 윤곽 라인으로부터 볼 시에 각도 $\alpha > 0^\circ$ 로 인도되고 분리될 윤곽으로 인도되는 복수의 균열 라인 부분들을 따라, 상기 기판 상에 안내된 레이저 빔에 의하여, 대량의 내부 손상의 개별적인 준들 각각은 상기 기판 재료에서 만들어지고, 재료 제거 라인을 따라 기판 상에서 안내된 재료-제거 레이저 빔에 의한 균열 정의 단계 이후에, 그리고 윤곽 정의 단계 이후에 구현된 재료 제거 단계를 포함하고, 이때 재료 제거 라인은 상기 윤곽 라인을 따라 연장되지만, 상기 윤곽 라인으로부터 공간에서 연장되고 또한 분리될 윤곽에서 연장되고, 나아가 바람직하게 균열 라인 부분들을 컷팅하고, 기판 재료는 전체 기판 두께 상에 제거된다.

(52) CPC특허분류

C03B 33/04 (2013.01)*C03B 33/082* (2013.01)*C03B 33/091* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020020031573 A

KR1020090107417 A

KR1020110120862 A

KR1020120000073 A

US20040002199 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

평면 기판 (2)에서 윤곽 (1)을 만들어 내고 상기 기판 (2)으로부터 상기 윤곽 (1)을 분리시키기 위한 방법에 있어서,

윤곽 정의 단계 (a) - 상기 단계 (a)에서는, 만들어질 윤곽 (1)의 특징을 정하는 윤곽 라인 (5)을 따라 상기 기판 (2) 상에서 레이저 빔 (3)이 안내되고, 내부 손상 (internal damage)의 복수의 개별적인 존들 (5-1, 5-2, ...)이 기판 재료에서 만들어짐;

재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c) - 상기 단계 (c)는 상기 윤곽 정의 단계 (a) 이후에, 상기 기판 (2) 상에서 안내되고, 그리고/또는 상기 기판 (2) 상으로 복사되는 레이저 빔에 의해 실행되고, 상기 기판 재료가 상기 기판 (2)으로부터 제거되고, 그리고/또는 상기 기판 재료가 재료 제거에 의해 그리고/또는 소성 변형에 의해 상기 기판 (2)으로부터 분리됨; 및

균열 정의 단계 (b) - 상기 단계 (b)는 상기 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c) 이전에 그리고 상기 윤곽 정의 단계 (a) 이후에 실행되고, 상기 윤곽 라인 (5)의 접선에 대해 각도 $\alpha > 0^\circ$ 로 인도되고 분리될 윤곽 (1)으로 인도되는 복수의 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)을 따라, 상기 기판 (2) 상에 안내된 레이저 빔 (3)에 의하여, 내부 손상의 복수의 개별적인 존들 (6-1, 6-2, ...) 각각이 상기 기판 재료에서 만들어짐;을 포함하는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 윤곽 정의 단계 (a) 이후에 실행된 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c)는 재료 제거 단계를 포함하고, 상기 재료 제거 단계에서, 상기 윤곽 라인 (5)을 따라 연장되지만, 상기 윤곽 라인으로부터 공간 (8)에서 연장되는 제거 라인 (9)을 따라, 그리고 또한 분리될 윤곽 (1)에서, 상기 기판 (2) 상에 안내되는 재료-제거 레이저 빔 (7)에 의하여, 상기 기판 재료는 전체 기판 두께 (10)에 걸쳐 제거되며,

상기 재료 제거 단계는 처리 가스를 이용한 가스 노즐의 사용에 의해 도움을 받는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 윤곽 정의 단계 (a) 이후에 실행된 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c)는 재료 변형 단계를 포함하고, 상기 재료 변형 단계에서는 분리될 윤곽 (1) 상에 안내되고 그리고/또는 분리될 윤곽 (1) 상으로 복사되며 그리고 기판 재료의 소성 (plastic) 변형을 발생시키는 레이저 빔에 의하여, 분리될 윤곽 (1)의 기판 재료가 열적으로 변형되어, 상기 기판 (2)으로부터 제거되고 그리고/또는 상기 기판 (2)으로부터 분리되고,

상기 재료 변형 단계는 처리 가스를 이용한 가스 노즐의 사용에 의해 도움을 받는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 제거 라인 (9)은 상기 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)을 가로질러 있는는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c) 이전에, 그리고 상기 윤곽 정의 단계 (a)와 상기 균열 정의 단계 (b) 사이에서 실행된 응력-완화 단계 (d)에서, 분리될 윤곽 (1)에서 연장되고 윤곽 라인 (5)의 코스에 가까운 적어도 하나의 응력-완화 라인 부분 (11)을 따라, 상기 기판 (2) 상에 안내된 레이저 빔 (3)에 의하여, 내부 손

상의 복수의 개별적인 존들 (11-1, 11-2, ...) 각각은 상기 기판 재료에서 만들어지는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 기판 (2)으로부터 상기 윤곽 (1)을 완전하게 분리시키기 위해서, 상기 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c) 이후에 실행되는 후처리 단계에서, 상기 기판 (2)에 여전하게 연결될 수 있는 윤곽 (1)의 잔류들 (1r)은 이러한 윤곽 잔류들 (1r) 및/또는 기판 (2)의 열 처리에 의해, 윤곽 라인 (5), 열 라인 부분들 (6a, 6b, ...) 및/또는 응력-완화 라인 부분 (11) 상에서 적어도 부분적으로 기판 (2)으로부터 분리되고,

그리고/또는

그러한 윤곽 잔류들 (1r)은 윤곽 잔류들 (1r) 및/또는 기판 (2)의 초음파 처리에 의해 상기 기판 (2)으로부터 분리되고,

및/또는

그러한 윤곽 잔류들 (1r)은 기계적인 힘들을 가함으로써, 기판 평면에 대해 수직으로 이동가능한 스템프에 의해, 상기 윤곽 잔류들 (1r)을 향하여 상기 기판 (2)으로부터 분리되는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

내부 손상의 존들 (5-1, 5-2, ..., 6-1, 6-2, ..., 11-1, 11-2, ...)은 삭마 없이, 그리고 기판 재료의 용융 없이 만들어지는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

내부 손상의 존들 (5-1, 5-2, ..., 6-1, 6-2, ..., 11-1, 11-2, ...) 중 적어도 일부는 각각의 존의 위치에서 상기 기판 재료의 내부로의 레이저 빔 (3)의 점 초점에 의해 만들어지게 되고,

그리고/또는

내부 손상의 존들 (5-1, 5-2, ..., 6-1, 6-2, ..., 11-1, 11-2, ...) 중 적어도 일부는, 레이저 빔 (3)의 빔 방향에서 볼 시에, 레이저 빔 초점 라인 (3b)의 연장 부분 (3c)을 따라 기판 재료에서 만들어지는 유도 흡수에 의해 만들어지고, 상기 흡수에 의하여, 이러한 연장 부분 (3c)을 따라 유도된 균열 형성은 상기 기판 재료에 영향을 받는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 9

청구항 4에 있어서,

V-형 균열 라인 (6V)은 상기 윤곽 라인 (5)으로부터 동일한 각도 $\alpha > 0^\circ$ 로 윤곽 라인 (5) 상의 동일한 위치로부터 인도되지만, 윤곽 라인 (5)을 따라 볼 시에, 분리될 윤곽 (1)으로 서로 반대 방향으로 인도되는 2 개의 균열 라인 부분들 (6a, 6b)을 따라, 내부 손상의 복수의 개별적인 존들 (6-1, 6-2, ...) 각각을 기판 재료에서 만들어 냄으로써, 상기 균열 정의 단계 (b)에서 만들어지고,

윤곽 라인 (5)을 따라 볼 시에 복수의 그러한 V-형 균열 라인들 (6V-1, 6V-2, ...)은 공간에서 서로 만들어지고,

및/또는

각도 α 는 20° 내지 40° 인, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 10

청구항 5에 있어서,

응력-완화 나선형 (11S)은, 내부 윤곽 (1)의 외부 에지에 대해 제거될 이러한 내부 윤곽 (1)의 중심으로부터 볼 시에, 제거될 내부 윤곽 (1)의 폐쇄된 윤곽 라인 (5)에 나선형으로 다가가는 응력-완화 라인 부분 (11)을 따른,

만들어지는 내부 손상의 복수의 개별적인 존들 (11-1, 11-2, ...)에 의해 응력-완화 단계 (d)에서 만들어지는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

윤곽 정의 단계 (a), 균열 정의 단계 (b) 및/또는 응력-완화 단계 (d)에서, 동일한 빔 속성들의 레이저 빔들 (3)은 기판 (2) 상에서 안내되고, 그리고/또는 이러한 레이저 빔들 (3)은 동일한 레이저 (12)에 의해 만들어지고, 동일한 빔-형성 렌즈 시스템 (20)에 의해 기판 (2) 상으로 복사되고,

및/또는

이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어 내는 레이저 (12)의 파장 (λ)은, 기판 재료가 이러한 파장에 대해 투명하거나, 기본적으로 투명하도록 선택되고, 후자에 의해 이해되는 바와 같이, 기판 재료에서, 빔 방향을 따라 영향을 받는 레이저 빔의 세기 감소는 가시 파장 범위에서 투명한 기판 (2)으로서의 유리- 또는 결정체 요소에 대해, 침투 깊이 (밀리미터)당 10% 미만이고, 1,064 nm의 파장 (λ)을 가진 Nd:YAG 레이저 (12)는 이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어 내기 위해 사용되고,

및/또는

기판 (2)의 조사된 표면 상에 부딪힐 시에, 이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나의 평균 직경 (δ), 즉 스팟 직경 (δ)은 $0.5 \mu\text{m}$ 내지 $5 \mu\text{m}$ 이고,

및/또는

이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어내는 레이저 (12)의 펄스 기간 (τ)은, 기판 재료와의 상호 작용 시간 내에서, 기판 재료 내의 열 확산이 무시할 수 있도록 선택되고, 이러한 목적을 위해서, τ , δ 및 기판 재료의 열 확산 상수 (β)는 $\tau \ll \delta^2/\beta$ 에 따라 조정되고, 그리고/또는 τ 는 10 ns 미만이 되도록 선택되고,

및/또는

이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어 내는 레이저 (12)의 펄스 반복 주파수는 10 kHz 내지 1,000 kHz이고,

및/또는

이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어 내는 레이저 (12)는 단일 펄스 레이저로서, 또는 버스트 (burst) 펄스 레이저로서 동작되고,

및/또는

이러한 레이저 빔들 (3) 중 적어도 하나를 만들어 내는 레이저 (12)의 빔 출력 측면에서 직접 측정된 평균 레이저 파워는 10 와트 내지 100 와트인, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 12

청구항 2에 있어서,

재료 제거 단계에서, 가시 파장 범위에서 투명한 기판 (2)으로서의 유리- 또는 결정체 요소에 대해서,

1,064 nm의 파장 (λ)을 가진 Nd:YAG 레이저 (14)는 재료-제거 레이저 빔 (7)을 만들어 내기 위해 사용되고,

및/또는

기판 (2)의 조사된 표면 상에 부딪힐 시에, 재료-제거 레이저 빔 (7)의 평균 직경, 즉 스팟 직경은 $5 \mu\text{m}$ 내지 $200 \mu\text{m}$ 이고,

및/또는

재료-제거 레이저 빔 (7)을 만들어 내는 레이저 (14)의 펄스 반복 주파수는 0.1 kHz 내지 200 kHz이고,

및/또는

재료-제거 레이저 빔 (7)을 만들어 내는 레이저 (14)는 단일 펄스 레이저로서, 또는 버스트 임펄스 레이저로서 동작되고,

및/또는

재료-제거 레이저 빔 (7)을 만들어 내는 레이저 (14)의 빔 출력 측면에서 직접 측정된 평균 레이저 파워는 10 와트 내지 200 와트인, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 13

청구항 2에 있어서,

상기 재료 제거 단계는:

재료-제거 레이저 빔 (7)의 파장은, 기판 재료가 이에 대하여 투명하거나, 기본적으로 투명하도록 선택되는 것, 상기 재료-제거 레이저 빔 (7)은 상기 기판 (2)을 통하여 기판 후방-측면 (4r) 상에 위치된 초점 (15)으로 초점화되고, 상기 기판 후방-측면은 빔 입사 측면 기판 표면 (기판 전방-측면 (4v))으로부터 배향되는 것, 및 상기 재료-제거 레이저 복사 (7)는 전체 기판 두께 (10)에 걸친 기판 재료를 제거하기 위하여, 상기 기판 전방-측면 (4v)을 향하여 상기 기판 후방-측면 (4r)으로부터 초점 (15)의 연속적인 변위로, 제거 라인 (9)을 따라 여러 번 안내되는 것으로 구현되는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 재료 제거 단계를 시작하기 전에:

우선, 상기 기판 (2)은 마운팅 (16)에 의해 장착되고, 그 결과 상기 기판 후방-측면 (4r)과 상기 마운팅 (16) 사이에서 분리될 윤곽 (1)의 영역에서, 가스-밀봉 캐비티 (17)가 형성되며, 그리고

그 다음에, 상기 기판 (2)의 장착 후에, 상기 캐비티 (17)에 위치되도록, 상기 기판 (2)의 장착 전에 위치한 침전 재료 (18)가 레이저 빔 (3, 7)에 의해 기화되고, 상기 레이저 빔은 상기 캐비티 (17)에 초점화되고, 상기 침전 재료 (18)에도 초점화되는 것이 실행되는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 15

청구항 1에 있어서,

상기 윤곽 (1)은 평면 유리 요소에서, 또는 기판 (2)으로서 평면 결정체 요소에서 만들어지며, 그리고 상기 평면 유리 요소 또는 상기 평면 결정체 요소로부터 분리되는, 윤곽 생성 및 분리 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 평면 기판으로부터 (특히: 유리 기판 또는 결정체 기판으로부터) 윤곽 (contour)을 레이저로 컷팅하는 디바이스 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

DE 10 2011 00768 A1는, 레이저의 도움으로, 반도체 웨이퍼들, 유리 요소들 및 다른 기판들이 재료에 의해 크게 흡수되는 레이저의 파장으로, 다양한 부분들로 분할될 수 있는 방법을 기술한다. 그 결과, 기판을 복수의 부분들로 최종적으로 분할되는 재료 제거가 일어난다. 그러나, 이러한 방법은 다수의 재료들의 경우에, 예를 들면, 삭마 동안 입자 형성으로 인한 불순물들, 또는 원치 않는 미세균열들 또는 용융 에지들을 가진 컷팅된 에지들(그 결과 재료의 두께에 걸쳐 균일하게 되지 않은 컷 갭 (cut gap)이 만들어짐) 등에 단점을 가진다. 추가 재료가 기화 또는 액화되어야 하기 때문에, 고 평균 레이저 파워가 제공되어야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003]

그러므로, 이러한 기술로부터 시작하여, 본 발명의 목적은, 평면 기판들, 특히 취성 재료들로 구성된 평면 기판들이 가능한 직선형 컷팅 에지들로, 그리고 높은 처리 속도로, 에지들에서 최소의 균열 형성으로 가공될 수 있는 방법 (및 추가로 이에 대응하는 디바이스)을 사용함으로써, 윤곽들이 이러한 기판들로부터 가공될 수 있도록 (그리고 최종적으로 분리될 수 있음), 윤곽들의 분리 후에 기판에 잔류한 기판 평면에서 연장되는 원치 않는 균열들, 벗겨짐 (flaking) 또는 다른 파열들의 결과물 없이, 가공될 수 있는 것에 있다. 이로써, 본 발명의 목적은 기판으로부터의 정확하고, 깨끗한 윤곽의 분리, 특히, 기판으로부터의 깨끗하고, 정밀한 내부 윤곽들의 제거에 있다.

[0004]

추가로, 이하에서 상세하게 기술된 바와 같이, 동작은, 기판 재료가 기본적으로 투명한 파장에서, 펄스발생 레이저로 일반적으로 본 발명에 따라서 일어난다. 그러나, 근본적으로, 지속파 레이저의 추가 사용은, 타측 것 뒤에 있는 일측 것에 위치한 내부 손상 (internal damage)의 존들을 만들어 내기 위해, 레이저 빔이 (예컨대, 광 조절기 (optical modulator)에 의해) 기판 표면 상에서 안내되는 동안 다시 고속으로 온 및 오프 스위칭될 수 있는 경우에, 가능하다 (이하 참조).

과제의 해결 수단

[0005]

본 발명에 따른 목적은 청구항 1에 따른 방법에 의해, 그리고 추가로 청구항 16에 따른 디바이스에 의해 달성될 수 있고, 이때 이점을 가진 변화들은 종속 청구항에서 기술된다.

[0006]

이하에서, 본 발명이 일반적으로 먼저 기술되고, 그 후에 실시예들에 대해 기술된다. 그렇게 함으로써, 실시 예들의 권리 범위 내에서 만들어진 본 발명에 따른 특징들은 본 발명의 권리 범위 내에서 제시된 결합물들에서 정확하게 만들어질 필요가 없고, 오히려, 개별적인 특징들 역시 생략되거나, 서로 다른 방식으로 다른 특징들과 조합될 수 있다. 특히, 서로 다른 실시예들의 추가 특징들은 서로 조합될 수 있거나, 또는 제시된 특징들 중 개별적인 특징들 역시 생략될 수 있다.

[0007]

본 발명에 따른 방법의 기본 특징들은 청구항 1에 기술된다. 그렇게 함으로써, 윤곽은 기판의 부분적인 표면의 형태로 기판 평면에서 2 차원 표면으로서 이해된다. 이러한 부분적인 표면에 대응하는 기판의 부분들은 기판으로부터 제거되는 것으로 의도되고, 기판의 잔류 부분들은 이하 처리들에서 추가로 처리되는 것으로 의도된다. 다시 말하면: 기판으로부터 분리되는 윤곽은 파괴될 수도 있는 원치 않는 표면을 형성하고, 잔류 기판 부분들은 내부 손상 없이 윤곽의 분리 처리를 견뎌 내기 위해, 그리고 또한 윤곽 라인에 따라 가능한 이상적인 컷팅 에지들을 가지는 것으로 의도된다. 이는 본 발명에 따라서 달성된다. 그렇게 함으로써 이하에서, 이해되는 바와 같이, 기판, 윤곽의 분리 이전에 여전하게 미가공된 기판과 잔류 기판 둘 다는 윤곽의 분리 이후에 남아 있게 된다. 각각의 정황으로부터 기술분야의 통상의 기술자는 의도된 것을 인지한다.

[0008]

본 발명에 따라서, 윤곽 정의 단계는, 구현 이후에, 윤곽의 윤곽 코스가 기판 재료로 새겨질 수 있지만, 그러나 윤곽은 기판에 여전하게 연결되어 기판으로부터의 윤곽의 완전한 분리가 여전하게 이루어지지 않는다: 기판으로부터의 원치 않는 윤곽의 단계적인 완전한 분리는 윤곽 정의 단계, 옵션의 균열 정의 단계, 옵션의 응력-완화 단계 및 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계에 의해 영향을 받고, 옵션의 후처리 단계에 의해 여전하게 제공되어 요구된다 (즉, 윤곽 잔류들이 단계들 (a) 내지 (d)를 구현한 이후에 재료에 내재성 응력들 (intrinsic stresses)에 의해 이미 독립적으로 떨어져 나가지 않은 경우). 또한, 옵션의 균열 정의 단계 (청구항 4와 비교)에서, 그리고 옵션의 응력-완화 단계에서, 내부 손상의 개별적인 존들의 도입은 또한, 결과적으로 만들어진 부분적인 기판 부분들의 완전한 분리가 여전하게 이루어지지 않는 것을 초래한다.

[0009]

옵션의 균열 정의 단계의 구현은 바람직하게 윤곽 정의 단계의 종료 이후에 영향을 받지만, 그러나, 이는 반드

시 필요치 않다: 이로써, 예를 들면, 윤곽 라인의 부분적인 부분들은 또한, 균열 라인 부분들을 만들어 내기 위한 균열 정의 단계가 구현되기 이전에, 그리고 이와 동일하게 종료 이후에, 내부 손상의 존들을 도입함으로써, 우선적으로 만들어질 수 있으며, 그리고 윤곽 정의 단계의 잔류 윤곽 라인 부분들은 기판 재료로 도입된다.

[0010] 이해하는 바와 같이, 이 단계에서, 균열 라인 부분은 각도 $\alpha > 0^\circ$ 로 윤곽 라인으로부터 인도되고, 언급된 (가능한 연속적으로 윤곽 라인을 향함) 균열 라인 부분이 윤곽 라인으로부터 인도되는 위치에서의 윤곽 라인에 대한 국부적인 접선과, 윤곽 라인을 향해 배향된 균열 라인 부분의 말단에서 국부적인 접선 사이의 각도 α 는 0° 보다 크다.

[0011] 본 발명에 따라서, 단계 (a), (b) 및 (d)에서 (즉, 윤곽 정의 단계에서, 균열 정의 단계에서 그리고 응력-완화 단계에서 - 이하에서 이러한 단어들 (a) 내지 (d)는 본 발명에 따른 단계들에 대해 대안적으로 사용됨) 레이저 조사는 기판 평면에 대해 수직을 이를 필요는 없으며, 즉, 내부 손상의 개별적인 존들은 기판 평면에 대해 수직으로 연장될 필요가 없다 (그리고 기판 평면에 대해 수직인 전체 기판 두께를 확실하게 통과할 필요도 없다). 레이저 조사는 기판 범선에 대해 각도 $> 0^\circ$ (예를 들면, 0° 내지 20°)로도 이루어질 수 있다 (내부 손상의 존들의 도입에 경사짐).

[0012] 이해하는 바와 같이, 본 발명의 권리 범위 내에서 바람직하게 가공되는 (즉 도입 및 제거되는) 내부 윤곽들은, 수학적인 관점으로부터, 일관성 있는 2 차원 공간 (기판 평면)의 양 또는 기판 내의 해당 부분적인 부분들을 간단하게 한다. 그렇게 함으로써, 그로부터 제거되는 내부 윤곽들은 대부분 임의의 형상들을 가질 수 있다. 특히, 원형 형상들, 타원형 형상들, 핀-쿠션 형상들, 오블론 (oblong) 형상들 (원형 코너들을 가짐) 등은 해당 형상 윤곽 라인을 따라 기판 표면 상에서 이동되는 레이저 빔에 의해 내부 윤곽들에 대해 가능하다. 그렇게 함으로써, 바람직하게, 기판은 국제 좌표계 내에서 고정 방식으로 배치되며, 그리고 레이저 빔은 적합한 빔-안내 광 유닛에 의해 기판 표면 상에서 이동된다 (예를 들면, F-세타 렌즈에 이어 갈바노 스캐너를 가질 수 있음). 대안적으로, 또한 국제 좌표계에 대해 고정적인 빔-안내 렌즈 시스템이 가능하고, 이때 상기 기판은 빔-안내 렌즈 시스템에 대해, 그리고 레이저 빔에 대해 국제 좌표계에서 이동되는 것을 필요로 한다.

[0013] 기판 평면에 대해 수직을 이룬 기판의 연장, 즉 기판 전방-측면과 기판 후방-측면 사이의 기판 두께가 이하에서 이해된다. 그렇게 함으로써, 기판 전방-측면은 복사된 레이저 광을 향하여 배향된 기판의 표면이다.

[0014] 본 발명에 따른 방법의 우선적으로 바람직하게 달성된 특징들 (제거 라인의 도입을 위한 재료 제거)은 청구항 2로부터 추정될 수 있다.

[0015] 이러한 재료 제거는 분리되는 내부 윤곽들의 크고 작은 반경들에 대해 특허나 적용될 수 있으며, 그리고 보다 작은 윤곽들에 대해, 예컨대 직경 $< 2.5 \text{ mm}$ 인 원형 섹션들 등에 대해, 그리고 오블론 홀들에 대해 특허나 적용하다.

[0016] 재료 제거에 대해서, 기판 (초점에 의해 달성됨) 상에 충돌될 시에, 대략 0.05 mm 내지 0.5 mm 의 범위의 빔 직경을 가진 CO_2 레이저가 사용될 수 있다. CO_2 레이저는 연속적으로 펄스가 발생되거나 가해질 수 있다. 바람직하게, $100 \mu\text{s}$ 내지 $4,000 \mu\text{s}$ 의 범위의 펄스는 0.1 kHz 내지 100 kHz 의 펄스 트레인 주파수로 사용된다. 특히나 바람직하게, 펄스 기간은 0.1 kHz 내지 3 kHz 펄스 트레인 주파수 (train frequency)로 $300 \mu\text{s}$ 내지 $4,000 \mu\text{s}$ 의 범위 내에 있다. 레이저 파워는 10 내지 200 W 의 범위에 있을 수 있지만, 그러나 바람직하게, 10 내지 100 W 의 범위에 있을 수 있다.

[0017] 레이저 빔의 이동 경로는 윤곽 라인을 따르되, 이로부터의 공간에서, 그리고 분리될 윤곽에서, 예를 들면, 나아가 타깃 윤곽에 대칭적인 (평행) 궤도 상에서 윤곽 라인을 따른다 (예를 들면 제거되는 원형 윤곽 (홀 섹션)과 함께, 원형 이동). 이동 경로는 한번 또는 다수의 반복으로 실행될 수 있다.

[0018] 작은 초점 직경 및 높은 레이저 파워로 인해, 기판 재료는 주로 용융된다 (재료 제거). 상한 마이크로초의 레이저 펄스와 함께, 전체 기판 재료 두께 (예컨대 0.7 mm)는 이로써 한 펄스를 통해 완전하게 가열될 수 있다.

[0019] 재료 제거 단계는 처리 가스 (예컨대, CDA)로 가스 노즐의 사용에 의해 도움을 받을 수 있다. 예를 들면 2 mm 의 노즐 직경, 및 1.5 내지 4 바의 가스 압력을 이용하여, 재료 제거는 작은 윤곽 및 반경에 대해 심지어 특허나 양호하게 만들어질 수 있다. 가스 유동에 의하여, 레이저에 의해 용융된 재료는 빔 방향으로 방출된다.

[0020] 상술된 파라미터들을 이용하여, 예를 들면, 또한 강화 유리들 (DOL $40 \mu\text{m}$)은 손상 균열 형성 결과 없이 재료 제거를 위해 공급될 수 있다.

- [0021] 제거 윤곽 (제거 라인)은 윤곽 라인 (타깃 윤곽 컷팅)으로부터 충분하게 제거되어야 한다 (타깃 윤곽 컷팅) (일반적으로, 기판 재료에 따라서, 여기에서 공간은 대략 0.1 내지 0.3 mm이면 충분함): 예를 들면, 제거되어야 하는 2 mm 직경의 원형 유리 디스크와 함께, 윤곽 라인으로부터의 제거 라인의 최소 공간은 0.1 mm이어야 한다 (많아야 1.8 mm의 변형 직경 또는 원형 제거 라인의 직경). 1.5 mm의 유리 시트 직경의 경우에서, 변형 직경은 많아야 1.3 mm이어야 한다. 1.0 mm의 유리 디스크 직경의 경우에서, 변형 직경은 많아야 0.8 mm이어야 한다.
- [0022] 보다 상세하게 이하에서 기술되는 균열 라인 부분들 (예컨대, V-컷팅)은 윤곽의 완전한 분리에 대해 도움을 줄 수 있다.
- [0023] 청구항 3의 이점인 특징들에 따라서, 청구항 2에 따른 재료 제거 대신에 또는 그와 더불어, 분리되는 윤곽의 재료 부분들의 제거 역시 열 변형에 의해 가능하다.
- [0024] 즉, 기판 재료를 제거하지 않는 방식으로 기판 재료의 추출을 위한 CO₂ 레이저 또는 그의 레이저 범은, 기판 재료에서 전적으로 열 변형 방식으로 사용될 수 있다 (특히, 분리될 윤곽) (이는, 분리될 상당한 크기의 윤곽들의 경우에서, 예컨대 직경 ≥ 2.5 mm, 바람직하게 ≥ 5 – 10 mm이고 분리될 원형 섹션들의 경우에서, 바람직하게 영향을 받는다).
- [0025] 상기와 같은 재료 변형 단계를 가진 절차는 다음과 같을 수 있다:
- [0026] 기판의 CO₂ 레이저 조사에 의하여, 예컨대, 윤곽 라인을 따르지만, 그러나 이로부터의 공간에서, 그리고 또한 분리될 윤곽에서 (예를 들면, 분리될 윤곽의 중심에서 원형 또는 나선형을 따라) 레이저 범의 이동에 의하여, 분리될 윤곽의 적어도 부분들은 가열되고, 그 결과 결과물은 분리될 윤곽의 적어도 부분들의 소성 변형이다. 기판 재료 상에 부딪히는 CO₂ 레이저 스팟의 직경은 넓은 범위: 0.1 mm 내지 10 mm를 커버할 수 있다. 0.2 mm 내지 3 mm의 직경이 바람직하다. CO₂ 레이저는 펄스 발생으로 그리고 연속적으로 모두 동작될 수 있다. 바람직하게, 그러나, 6 μs 내지 4,000 μs의 범위의 펄스는 0.1 kHz 내지 100 kHz의 범위에서, 펄스 트레イン 주파수로 사용된다. 레이저 파워는 10 내지 300 W의 범위에 있을 수 있고, 바람직하게 10 내지 50 W의 범위에 있을 수 있다.
- [0027] 레이저의 이동 경로는 바람직하게 분리될 윤곽 (타깃 윤곽)에 대해 대칭을 이룬 궤도 (예컨대 평행하지만, 공간이 있음)이다 (예를 들면, 분리될 내부 윤곽으로서 홀 섹션의 경우에서, 원형 이동). 그러나, 나선형 이동은 또한 상기와 같은 내부 윤곽 (예컨대 유리 디스크)이 열가소성 변형에 유리한 영향을 미칠 수 있다. 소정의 경우에서, 레이저 범이 예를 들면 분리될 윤곽의 중심에서 간단하게 몇 초 내지 0.5 초의 정의된 시간 간격 동안 고정적으로 있고, 가열하고, 이로써 분리될 윤곽을 변형시키는 경우에 유리한 것으로 입증될 수 있다. 이동 경로는 분리될 윤곽의 열가소성 변형에 유리한 영향을 미칠 수 있는 한번 또는 다수의 반복으로 커버될 수 있다.
- [0028] 중심에서의 소성 변형은, 중심에서, 그리고 중심을 향하여 조사 영역에서 기판 재료 (예컨대 유리 재료)의 열 유도 유동으로 인한, 분리될 윤곽 (예컨대 유리 디스크)의 수축을 일으킨다. 예를 들면, 분리될 윤곽으로서 원형 디스크의 경우에서, 이는 다음과 같이 침조될 수 있다:
- 변형은 일반적으로, 지구 중심 방향으로 레이저로부터 중력의 결과로 벌지 (bulge)를 형성한다. 이러한 벌지는 가능하다면 방울 형상을 사용할 수 있다. 표면 지형은 볼록 렌즈의 것과 비교될 수 있다.
- [0029] 특정 레이저 조건 하에서, 벌지는 또한 레이저를 향해 형성된다. 이때, 표면 지형은 양볼록 렌즈 (biconvex lens)의 것이다.
- [0030] 특정 레이저 조건 하에서, 덴트 (오목형)는 일 측면 상에 형성되며, 그리고 반대 표면 상에는 벌지가 형성된다.
- [0031] ● 병행적으로 그리고 동시에 가스 노즐을 통한 처리 가스의 유동이 조사 표면에 거쳐 가는 경우, 벌지 및/또는 덴트의 형성은 매우 정확하게 제어될 수 있다. 그 결과, 심지어 매우 작은 반경 (< 2.5 mm 내지 1.2 mm)을 가진 윤곽들은 제거에 대해 도입될 수 있다. 예를 들면, 2 mm의 노즐 직경 및 1.5 내지 -3 bar의 범위의 가스 압력의 경우에서, 상대적으로 작은 윤곽들은 특히나 손쉽게 제거될 수 있다.
- [0032] 기술된 열가소성 변형 변화가 공동으로 가지는 것은, 분리될 윤곽의 기판 재료가 흐르며 (예컨대, 제거될 내부 윤곽이 동일한 것의 중심을 향해 흐르는 경우), 그리고 결과적으로 잔류한 기판 재료에 대한 캡이 형성된다는

것이다 (예컨대, 제거될 내부 윤곽의 외부 위치된 재료). 상기와 같은 캡은 대략 10 μm 내지 50 μm 의 치수를 가질 수 있다.

[0034] 짧은 열 완화 시간 (분리될 윤곽의 냉각 및 수축) 이후에, 분리될 윤곽은 형성 캡으로 인해 순전히 떨어져 나간다.

[0035] 재료 변형 단계의 경우에서, 이로써, 어떠한 기판 재료도 제거되지 않고, 어떠한 제거 제품들도 만들어지지 않는다.

[0036] CO_2 -유도 열가소성 변형 또는 레이저에 의해 조사된 영역들은 이미 도입된 윤곽 라인 (윤곽 컷팅)으로부터 충분하게 제거되어야 한다 (일반적으로 기판 재료에 따라 충분한 대략 1 내지 3 mm의 공간): 예를 들면 제거될 10 mm 직경의 유리 디스크를 이용하여, 이러한 유리 디스크 (변형 직경)에서의 중심 방향으로의 조사된 영역은 많아야 8 mm의 직경을 가져야 한다. 5 mm의 유리 디스크 직경의 경우에서, 이러한 영역은 많아야 3.4 mm이어야 한다. 2.5 mm의 유리 디스크 직경의 경우에서, 이러한 영역은 많아야 1.5 mm이어야 한다.

[0037] 이미 도입된 윤곽 라인 (타깃 윤곽 컷팅)은 기판에 남아있는 잔류물의 주위 재료에 대하여 충분한 단열을 형성하고, 그 결과, 적합한 열가소성 변형 직경과 함께, 컷팅된 에지에, 또는 칩핑 (chipping) 또는 기생 균열 형성의 형태로 주위 재료에 어떠한 불리한 열 효과도 영향을 받지 않을 수 있다.

[0038] 이하의 실시예들에서, 재료 제거 단계로서, 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계는 보다 상세하게 제시되지 않은 재료-제거 레이저 빔에 의해 영향을 받는다.

[0039] 추가로, 바람직하게 만들어진 특징들은 청구항 4 내지 6으로부터 추정될 수 있다.

[0040] 청구항 6에 따른 초음파 처리는 다음과 같이 영향을 받을 수 있다: 1 kHz 내지 50 kHz (특히 바람직하게: 5 kHz - 40 kHz)의 주파수 범위. 그렇게 함으로써, 컷팅 윤곽의 내부에서의 (즉 분리될 윤곽에서의) 표면은 바람직하게 초음파 액추에이터에 접촉된다. 그렇게 함으로써, 접촉 표면은 분리될 내부 윤곽의 치수 및 형상에 대응할 수 있다. 접촉은 전체 표면 상에서 또는 링으로서 구현될 수 있다. 특정 실시예에서, 분리될 윤곽 외부에 위치한 기판 영역들은 초음파로 처리될 수 있다 (또한, 분리될 윤곽의 동시에 초음파 처리 및 상기와 같은 남아 있는 기판 영역들은 가능함).

[0041] 그러나, 해당 후처리 단계는, 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계의 코스에서 또는 그 이후에서 잔류 기판 (윤곽 잔류들의 자가-제거)으로부터 그 자체로 분리되는 원치 않는 윤곽 잔류들에 대해 충분한 기판 재료로 도입된 내부 응력을, 단계 (b)에 (그리고 가능하다면 구현된 옵션의 단계 (d)에) 도입되는 내부 손상의 존들이 이미 가지고 있기 때문에, 전혀 빈번하게 요구되지 않는다.

[0042] 추가로 이점이 있는 달성가능한 방법 특징들은 청구항 7 및 청구항 8로부터 추정될 수 있다.

[0043] 그렇게 함으로써, 이미 기술된 이점의 특징들 및 또한 이하에서 기술된 이점의 특징들 모두는 본 발명의 권리 범위 내에서 각각 개별적으로 또는 또한 서로 조합하여 만들어질 수 있다.

[0044] 그렇게 함으로써, 청구항 8에 기술된 점 초점은 US 6,992,026 B2에 또는 WO 2012/006736 A2에 기술된 바와 같이, 구현될 수 있다.

[0045] 그러나, 본 발명에 따라서, 청구항 8에 기술된 레이저 빔 초점 라인에 의하여 (즉, 재료의 두께 방향으로 연장 부분을 따라 기판 재료에서의 유도 흡수에 의하여), 윤곽 라인, 균열-라인 부분들, 및 가능하다면 또한 응력-완화 라인 부분들을 따라 내부 손상의 개별적인 존들을 도입시키는 것은 특허나 바람직하다.

[0046] 이러한 바람직한 단계 (a), (b) 및 (d)의 실시예는 이제 이하에서 상세하게 기술된다.

[0047] 그렇게 함으로써, 우선 기본적인 바와 같이, 조사 레이저의 파장은 가공될 기판과 협력하여 선택되고, 그 결과 기판 재료는 기본적으로 이러한 레이저 파장에 대해 투명하다 (청구항 11 역시 참조).

[0048] 단계 (a), (b) 및 (d)에 대한 방법은, 이러한 목적에 적합한 레이저 렌즈 시스템 (이하에서, 또한 대안적으로 빔-안내 광 유닛 또는 광 장치라 함)에 의하여 레이저 펄스당 레이저 초점 라인 (초점과는 달리)을 만들어낸다. 초점 라인은 기판의 재료와 레이저 사이의 상호작용의 존을 결정한다. 초점 라인이 분리될 재료로 들어가는 경우, 레이저 파라미터들은, 재료와의 상호작용이 일어나고 초점 라인을 따라 균열 존을 만들어 내도록 선택될 수 있다. 본원에서, 중요한 레이저 파라미터들은 레이저의 파장, 레이저의 펄스 기간, 레이저의 펄스 에너지 및 가능하다면 또한 레이저의 편광이다.

- [0049] 단계 (a), (b) 및 (d)에서, 재료와의 레이저 광의 상호작용에 있어서, 바람직하게 다음과 같아야 한다:
- [0050] 1) 레이저의 광장 1은, 재료가 이러한 광장에서 기본적으로 투명하도록 바람직하게 선택된다 (예를 들면, 구체적으로: 흡수 $\ll \text{mm}$ 재료 깊이당 10% $\Rightarrow \gamma \ll 1/\text{cm}$; γ : Lambert-Beer 흡수 계수).
- [0051] 2) 레이저의 펄스 기간은, 상호작용 시간 내에서, 상호작용 존으로부터 어떠한 실질적인 열 이송 (열 확산)이 일어나지 않을 수 있도록 바람직하게 선택된다 (예를 들면 구체적으로: $\tau \ll d^2/a$, d : 초점 직경, τ : 레이저 펄스 기간, a : 재료의 열 확산 상수).
- [0052] 3) 레이저의 펄스 에너지는, 상호작용 존에서, 즉 초점 라인에서, 세기가 초점 라인을 따라 재료의 국부적인 가열을 일으키고, 그 다음에 재료로 도입된 열 응력의 결과로 초점 라인을 따라 균열 형성을 일으키는 유도 흡수를 만들어 내도록 바람직하게 선택된다.
- [0053] 4) 레이저의 편광은 유도 흡수 동안 재료 내에 상호작용의 유형 및 표면 (반사율)에 대한 상호작용 모두에 영향을 미친다. 유도 흡수는, 열 끌어내기 (thermal excitation) 이후에, 또는 다광자 흡수 및 내부 광이온화를 통하여, 또는 직접적인 필드 이온화 (field ionisation) (광의 필드 강도는 전자 결합을 직접적으로 파손시킴)를 통하여, 유도된 자유 전하 캐리어 (통상적으로 전자)를 통하여 일어날 수 있다. 전하 캐리어의 생성 유형은 예를 들면 소위 Keldysh 파라미터 (기준)를 통해 평가될 수 있고, 이때 상기 파라미터는 그러나 본 발명에 따른 방법의 적용에서 제기능을 하지 못한다. 특별한 경우 (예컨대, 이중-굴절 재료)에서, 레이저 광의 추가 흡수/전송이 편광에 의존하고, 나아가 상기 편광이 각각의 재료의 분리를 위한 사용자에 의해, 예컨대 간단하게 체험적인 방식으로, 적합한 렌즈 시스템들 (위상 판들, phase plates)을 통해 유리하게 선택되어야 하는 것이 단지 중요할 수 있다. 그러므로, 기판 재료가 광학적으로 등방성이지는 않지만, 예를 들면, 이중-굴절인 경우, 또한, 재료 내의 레이저 광의 전파가 편광에 의해 영향을 받는다. 그러므로, 편광 및 편광 벡터의 배향은, 원한다면, 하나의 초점 라인뿐만 아니라 2 개의 초점 라인도 형성되도록 선택될 수 있다 (일반적이고 이상적인 빔들 (extraordinary beams)). 이는, 광학적으로 등방성의 재료들의 경우에 중요하지 않다.
- [0054] 5) 더욱이, 세기는 펄스 기간, 펄스 에너지 및 초점 라인 직경을 통해 선택되어야 하고, 그 결과 삭마 또는 융융뿐만 아니라 고체 몸체의 구조 내의 균열 형성에도 영향을 미친다. 이러한 요건은 통상적인 재료들, 예를 들면, 유리 또는 투명한 결정체들에 대해, 서브-나노초 범위, 특히 예컨대 10 내지 100 ps의 펄스 기간을 가진 펄스형 레이저들로 가장 손쉽게 이행될 수 있다. 상기의 스케일 길이는 대략 일 마이크로미터 (0.5 to 5.0 마이크로미터), 예를 들면 유리 등의 형편없는 열 전도체에 대한 열 전도는 서브-마이크로초로 작동하면서, 결정체들 및 반도체들 등의 우수한 열 전도체들에 대해서, 열 전도는 줄곧 나노초로부터 시행된다.
- [0055] 내부 손상의 존들을 형성하는 기본적인 처리, 즉, 기판 표면에 대해 수직으로 연장되는 재료 내의 균열 형성은 재료의 구조적인 강도를 초과하는 기계적인 응력이다 (MPa 압축 강도). 기계적인 응력은 레이저 에너지로 인해, 고속이고, 불균질한 열 (열 유도 응력)에 의해 본원에서 달성된다. 제공된 단계 (a), (b) 및 (d)에서 균열 형성은 기판의 표면 상의 코스 시작의, 초점 라인 (이하 참조)에 대해 기판의 대응 위치인데, 이는 변형이 거기에서 가장 크기 때문이다. 이는 표면 상의 절반-공간 (half-space)에서, 힘을 흡수할 수 있는 재료가 없기 때문이다. 이러한 논의는 강화되거나 미리 응력화된 (prestressed) 층의 두께가 초점 라인을 따라 갑작스럽게 가열된 재료의 직경에 대해 커지는 한, 강화되거나 미리 응력화된 표면들을 가진 재료들을 위해 적용된다 (이에 대해 이하에서 기술되기도 한 도 1 역시 참조).
- [0056] 상호작용 유형은 플루언스 (fluence) (cm^2 당 출의 에너지 밀도) 및 선택된 초점 라인 직경과 함께 레이저 펄스 기간을 통해 조정될 수 있고, 그 결과 우선적으로 표면 상에 또는 체적에서 어떠한 용융도 일어나지 않고, 둘째로 어떠한 삭마도 표면 상의 입자 형성에 일어나지 않는다.
- [0057] 이하에서, 원하는 분리 표면의 윤곽 라인의 생성 (기판 표면 상의 윤곽 라인을 따른 레이저 빔과 기판 사이의 상대 이동), 즉 단계 (a)가 기술된다. 이는 (b) 및 (d)에 적용된다.
- [0058] 재료와의 상호작용은 초점 라인을 따른, 재료 내의 개별적이고, 연속적인 (기판 표면에 대해 수직한 방향으로 볼 시에) 균열 존을 레이저 펄스당 만들어 낸다. 재료의 완전한 분리를 위해, 레이저 펄스당 이러한 균열 존들의 시퀀스는 원하는 분리 라인을 따라 서로 가까이 위치되어, 원하는 균열 표면/윤곽을 형성하기 위한 균열의 측 방향 연결은 재료에서 만들어진다. 이를 위해, 레이저는 특정 트레인 주파수에서 펄스를 발생시킨다. 스팟 크기 및 공간은, 레이저 스팟들의 라인을 따른 표면 상에서, 원하는, 직접적인 균열 형성이 시작되도록 선택된다. 원하는 분리 표면을 따른 개별적인 균열 존들의 공간은 레이저 펄스 간의 기간 내에서 재료에 대한 초

점 라인의 이동으로부터 만들어진다. 이하에서 기술되기도 한 도 4 역시 이에 대해 참조한다.

[0059] 재료에서 원하는 윤곽 라인 또는 분리 표면을 만들어 내기 위해, 펠스형 레이저 광은 고정 재료 상의 기판 평면에 평행하게 (그리고 가능하다면 또한 그에 수직을 이뤄) 이동 가능한 광 장치로 이동될 수 있거나, 또는 재료 그 자체는 이동 가능한 수신 수단으로 고정 광 장치를 지나 이동되고, 그 결과 원하는 분리 라인은 형성된다. 수직으로 할지, 표면 법선에 대해 각도 $> 0^\circ$ 로 할지에 대하여, 재료의 표면에 대한 초점 라인의 배향은 고정되도록 선택될 수 있거나, 또는 회전 가능한 광 일반 (normal) 장치 (이하에서 간단하게 렌즈 시스템이라고도 함)를 통해, 그리고/또는 원하는 윤곽 라인 또는 분리 표면 또는 -라인을 따라, 레이저의 회전 가능한 빔 경로를 통해 변화될 수 있다.

[0060] 전체적으로, 원하는 분리 라인을 형성하는 초점 라인은 재료를 통해 최대 5 개의 별개의 이동 가능한 축들에서 안내될 수 있다: 초점 라인의 침투 점을 재료에 고정시키는 2 개의 공간 축들 (x , y), 침투 점으로부터 초점 라인의 배향을 재료에 고정시키는 2 개의 각도 축들 (세타, 파이), 및 초점 라인이 표면 상의 침투 점으로부터 재료로 얼마나 깊게 연장된지를 고정시키는 추가 공간 축 (z' , x , y 에 대해 반드시 수직일 필요는 없음). 데카르트 좌표계 (x , y , z)의 기하학적인 구조에 대해, 예를 들면 이하에서 기술된 도 3a 역시 참조한다. 기판 표면 상의 레이저 빔의 수직 입사의 경우에서, $z = z'$ 가 적용된다.

[0061] 만들어진 윤곽 라인을 따른 재료의 최종 분리 (윤곽의 분리)는 재료의 고유 응력에 의해, 또는 도입된 힘에 의해, 예컨대 기계적으로 (인장력) 또는 열적으로 (불균일한 가열/냉각) 영향을 받는다. 단계 (a), (b) 및 (d)에서, 어떠한 재료도 제거되지 않았기 때문에, 재료에 어떠한 연속적인 갭도 일반적으로 처음에 없지만, 단지 서로 그 자체로 맞물리고, 가능하다면 또한 브릿지들 (bridges)에 의해 연결된, 크게 붕괴된 과손 표면 (미세균열들)이 있다. 후처리 단계에서 이하에서 도입된 힘의 결과로, 잔류 브릿지들은 측 방향 (기판 평면과 평행하게 영향을 받음) 균열 성장을 통해 분리되며, 그리고 상호 맞물림이 중단되고, 그 결과 재료는 분리 표면을 따라 분리될 수 있다.

[0062] (a), (b) 및 (d)에 사용될 수 있는 레이저 빔 초점 라인은 간단하게 이전에서, 그리고 이하에서 레이저 빔의 초점 라인으로도 언급된다. (a), (b) 및 (d)에서, 기판은 기판으로부터의 윤곽의 분리를 위해, 윤곽 라인, 균열 라인 부분들 및 응력-완화 라인 부분 (들)을 가진 균열 형성 (기판 평면에 대해 수직으로 연장된 초점 라인을 따른 유도 흡수)에 의해 준비된다. 바람직하게 기판 평면에 대해 수직을 이룬 균열 형성을 기판 또는 기판의 내부 (길이 방향의 균열 형성)에 영향을 미친다. 이미 기술된 바와 같이, 일반적으로 대량의 개별 레이저 빔 초점 라인들은 기판 표면 상의 일 라인 (예컨대 윤곽 라인)을 따라 기판으로 도입되어야 하고, 그 결과 기판의 개별적인 부분들은 서로 분리될 수 있다. 이러한 목적을 위해서, 기판은 레이저 빔에 대해, 또는 광 장치에 대해 기판 평면과 평행하게 이동될 수 있거나, 또는 이와 반대로 광 장치는 고정 방식으로 배치된 기판에 대해 기판 평면과 평행하게 이동될 수 있다.

[0063] 단계 (a), (b) 및 (d)의 유도 흡수는, 기판 구조 내의 균열 형성이 기판 재료의 용융 없이, 그리고 삭마 없이, 영향을 미치도록, 바람직하게 만들어진다. 이는 이하에서 예시 범위에서도 설명되는, 이미 기술된 레이저 파라미터들, 그리고 또한 광 장치의 특징들 및 파라미터들을 조정함으로써 일어난다. 그렇게 함으로써, 레이저 초점 라인의 연장 (1) 및/또는 기판 재료 내의 (기판 내부의) 유도 흡수의 부분의 연장 각각은, 빔 길이 방향으로 볼 시에, 0.1 mm, 바람직하게 0.3 mm 내지 10 mm일 수 있다. 기판 층 두께는 바람직하게 30 내지 3,000 μm 이고, 특히 바람직하게 100 내지 1,000 μm 이다. 레이저 빔 초점 라인의 이러한 연장 (1) 및 기판 층 두께 (d)의 비율 $1/d$ 는 바람직하게 10 내지 0.5, 특히나 바람직하게 5 내지 2이다. 빔 길이 방향으로 볼 시에, 기판 재료 내의 유도 흡수의 부분의 연장 (1) 및 재료 내의, 즉 기판의 내부의 유도 흡수의 부분의 평균 연장 (D)의 비율 L/D 는, 빔 길이 방향에 대해 횡 방향으로 볼 시에, 바람직하게, 5 내지 5,000, 특히나 바람직하게 50 내지 5,000이다. 레이저 빔 초점 라인의 평균 직경 (δ) (스팟 직경)은 바람직하게 0.5 μm 내지 5 μm , 특히나 바람직하게 1 μm 내지 3 μm (예컨대, 2 μm)이다. 레이저의 펠스 기간은, 기판 재료와의 상호작용 시간 내에서, 이러한 재료 내의 열 확산이 무시할 정도가 되도록 (바람직하게 어떠한 열 확산도 영향받지 않음) 선택되어야 한다. 레이저의 펠스 기간이 τ 으로 특징이 지어지는 경우, 바람직하게 τ , δ 및 기판의 재료의 열 확산 상수 (β)에 대해 $\tau \ll \delta^2/\beta$ 이 적용된다. 이는, τ 이 1% 미만, 바람직하게 δ^2/β 의 1% 미만인 것을 의미한다. 예를 들면, 10 ps (또는 심지어 그 미만)에서의 펠스 기간 (τ)은 10 내지 100 ps일 수 있거나, 또는 심지어 100 ps를 초과할 수 있다. 레이저의 펠스 반복 주파수는 바람직하게 10 내지 1,000 kHz이고, 바람직하게 100 kHz이다. 그렇게 함으로써, 레이저는 단일 펠스 레이저로서 또는 버스트 펠스 레이저로서 동작될 수 있다. 평균 레이저 파워 (레이저의 빔 출력 측면 상에서 측정됨)는 단계 (a), (b) 및 (d)에 대하여, 바람

직하게 10 와트 내지 100 와트, 바람직하게 30 와트 내지 50 와트이다.

[0064] 단계 (a), (b) 및 (d)에서, 이로써, 레이저 빔은 라인을 따라 기판 표면에 대해 이동되고, 이때 상기 라인을 따라 대량의 내부 손상의 개별적인 존들은 기판에 도입된다 (또한, 각각의 라인을 따른 기판 내부의 유도 흡수의 연장 부분들이라고도 칭함). 내부 손상의 바로 인접한 존들의 중심, 즉 서로 직접적으로 만들어진 존들의 중심의 평균 공간 (a) (유도 흡수의 부분들) 및 레이저 빔 초점 라인 (스팟 직경)의 평균 직경 (δ)의 비율 a/δ 은 바람직하게 0.5 내지 3.0이고, 바람직하게 1.0 내지 2.0이다 (이에 대하여 도 4 역시 참조).

[0065] 기판으로부터의 윤곽의 최종 분리는 단계 (a) 내지 (d) 이후에 의해 (가능하다면 또한 이러한 단계들 중 하나의 구현 동안에 이미) 일어날 수 있고, 기계적인 힘은 (예를 들면, 기계적인 스탬프에 의해) 기판 상에 가해지고, 그리고/또는 열 응력은 기판을 불균일하게 다시 가열 및 냉각시키기 위해, (예를 들면, CO_2 레이저에 의해) 기판에 도입된다. 그 결과, 유도 흡수의 바로 인접한 연장 부분들 사이에, 또는 내부 손상의 바로 인접한 존들 사이에, 복수의 부분들로 기판을 나누기 위한, 즉, 윤곽을 분리시키는, 균열 형성이 일어날 수 있다. 그렇게 함으로써, 이러한 균열 형성은 (기판 깊이 방향으로, 또는 단계 (a), (b) 및 (d)로 유도된 깊이 균열 형성과는 달리), 횡 방향 균열 형성으로서, 즉 기판 평면 내의 횡 방향 균열 형성 (윤곽 라인의 코스에 대응되며, 이때 상기 윤곽 라인을 따라 윤곽은 기판으로부터 분리됨)으로서, 이해되어야 한다.

[0066] 그렇게 함으로써, 단계 (a), (b) 및 (d)의 이러한 바람직한 절차의 경우에서, 레이저 펄스당 (또는 버스트 펄스당) 레이저 빔 초점 라인 (연장되지 않거나 단지 매우 국부적인 초점이 단지 아님)이 만들어지는 것이 기본적이다. 이러한 목적을 위해서, 이하에서 상세하게 또한 제시된 레이저 렌즈 시스템들이 사용된다. 이로써, 초점 라인은 레이저와 기판 간의 상호작용의 존을 결정한다. 초점 라인이 분리될 기판 재료로 적어도 부분적으로 들어가는 경우 (깊이 방향으로 볼 시에), 레이저 파라미터들은, 전체 초점 라인을 따라 (또는, 기판으로 들어간 레이저 빔 초점 라인의 전체 연장 부분을 따라), 균열 존을 만들어내는, 재료와의 상호작용이 일어나도록 선택될 수 있다. 선택가능한 레이저 파라미터들은 예를 들면, 레이저의 파장, 레이저의 펄스 기간, 레이저의 펄스 에너지 및 가능하다면 또한 레이저의 편광이다.

[0067] 단계 (a), (b) 및 (d)에서 윤곽 분리의 이러한 준비의 결과로, 본 발명에 따라서 매우 얇은 유리 기판들 (두께 $< 300 \mu\text{m}$, $< 100 \mu\text{m}$ 또는 심지어 $< 50 \mu\text{m}$ 를 가진 유리 기판들)로 구성된 윤곽들을 분리시키는 것을 가능케 한다. 이는, 윤곽의 분리 이후에 남은 기판 (잔류물들) 상의 에지들, 손상, 균열들, 벗겨짐 등 없이 영향을 받고, 그 결과 복잡한 후처리들은 본 발명에 따라서 필요로 하지 않는다. 그렇게 함으로써, 라인들을 따른 내부 손상의 존들은 고속으로 ($> 1 \text{ m/s}$) 도입될 수 있다.

[0068] 더욱이, 본 발명에 따른 방법의 바람직하게 달성가능한 특징들은 청구항 9 및 10에 기술된다. 그렇게 함으로써, 이해되는 바와 같이, 매우 일반적으로 (기판 평면으로 볼 시에) 나선형 (청구항 10), 그 자체 내로, 거의 임의의 형상으로 다수 번 감기고 일 지점에서 (내부 윤곽의 중심에서) 구조가 시작된 평면 선형 구조 (감긴 수 증가)가 내부 윤곽의 외부 에지에 점점 다가가고, 이로써, 후자와 가깝게 위치한다 (그러므로, 본 발명에 따른 나선형은 좁은 의미로 수학적인 나선형에 제한되지 않음).

[0069] 청구항 11은 본 발명의 추가로 이점인 특징을 기술한다. 그렇게 함으로써, 임의의 특징들은 서로 조합하여 만들어질 수 있다. 청구항 11에 기술된 레이저 속성은 재료 제거 단계에서, 재료-제거 레이저 빔의 생성 및 빔 안내와 마찬가지로 적용된다 (차이점이 없는 것으로 언급됨). 그러나, 바람직하게 만들어지는 재료 제거 단계에서 특정 레이저 파라미터들에 대해서는 청구항 12를 참고한다.

[0070] 대응되게 맞춰진 렌즈 구성에 의한 (이러한 유형의 레이저에 의한 내부 손상의 대량의 존들의 생성과 비교) 재료-제거 레이저로서, 청구항 11 및 12에 언급된 레이저 유형을 사용하는 것이 가능하다: 어떠한 초점 라인 렌즈 시스템도 사용되지 않지만, 그러나 대신에 예컨대 100 mm 초점 거리 (바람직하게, 70 mm 내지 150 mm의 범위)를 가진 "일반적인 (normal)" 렌즈가 사용된다. F-세타-렌즈가 셋업된 갈바노 스캐너가 바람직하다.

[0071] 추가로 가능한 레이저들은: 532 nm/515 nm 파장을 가진 Nd:YAG 레이저이다. 그러나, 또한 가스 노즐과 함께 9 내지 11 μm 파장을 가진 CO_2 레이저가 매우 적합하다.

[0072] 한편으로는 단계 (a)와, 다른 한편으로는 단계 (들) (b) 및/또는 (d) 사이에서, 예컨대, 내부 손상의 인접한 존들 사이의 공간을 변화시키는 것이 바람직한 것으로 입증될 수 있다. 특히 단계 (들) (b) 및/또는 (d)의 이러한 공간을 증가시킴은 단계 (a)와 비교하여 이점을 가지는데, 이는 바람직한 균열 형성, 나아가 내부 윤곽의 내부 영역 내의 손상이 일어나기 때문이다.

- [0073] 예를 들면, 파라미터들은 다음과 같을 수 있다:
- [0074] ● 강화 유리 (0.7 mm; DOL 40 μm)에 있어서: 베스트 2 펄스; 200 kHz 반복율; 3.5 μm 펄스 공간; 25 W 레이저 파워; 개구수 렌즈 시스템 0.1; 초점 라인 길이 1.8 mm.
- [0075] ● 비강화 유리 (2.8 mm)에 있어서: 베스트 5 펄스, 100 kHz 반복율; 5 μm 펄스 공간, 50 W 레이저 파워; 개구수 렌즈 시스템 0.08; 초점 라인 길이 2.8 mm.
- [0076] 재료 제거 단계를 구현하는 바람직한 절차들은 청구항 13 및 14에 기술된다. 그렇게 함으로써, 예를 들면, 두께 0.7 mm의 유리 기판에 대한 제거 라인의 20-번 경로는 기판 재료의 전체 두께에 걸쳐 기판 재료에 제거 라인을 컷팅하기 위해 영향을 받는다.
- [0077] 청구항 14에 따른 절차에서, 본 발명에서 언급된 모든 레이저들의 빔은 CO₂ 레이저를 제외하고, 레이저 빔들로서 사용될 수 있다. 특히, 532 nm의 레이저 파장이 사용될 수 있다. POM (Polyoxymethylene)은 침전 재료로서 사용될 수 있다.
- [0078] 기판의 장착은 예를 들면 캐비티로서 움푹한 곳을 가진 클램핑 디바이스의 도움으로 확보될 수 있다. 가스-밀봉 캐비티 내의 증기 압력에 의하여, 분리 라인에 의해 분리된 기판 부분의 배출, 및 가능하다면 심지어 기판에 여전하게 연결된 윤곽의 여전히 남아있는 잔류물들의 그 이후 배출이 가능하다.
- [0079] 청구항 15는 본 발명에 따른 방법으로 가공될 수 있는 재료들을 바람직하게 기술한다.
- [0080] 본 발명에 따른 방법을 구현시킬 수 있는, 본 발명에 따른 디바이스들은 청구항 16 내지 18에 기술된다. 단계 (a), (b) 및 (d)에서의 레이저 빔 및 재료 제거 단계를 위한 재료-제거 레이저 빔 모두를 발생시킬 수 있는, 청구항 18에 따른 레이저는 예를 들면 50 W 피코초 레이저이다.
- [0081] 본 발명에 따라서, 윤곽의 최종 분리에 있어, 대량의 내부 손상의 존들의 도입 이후에 기판 재료에 수분을 공급하는 것이 바람직할 수 있다. 모세관력 (capillary forces)의 결과로, 물은 손상 존들로 떨어지며, 그리고 응력이 균열을 최종적으로 형성시키는데 도움을 주는 유리 구조 내의 접합이 개방되는 연결에 의한 응력을 유도할 수 있다 (레이저에 의해 일어남). 이로써, 컷팅된 윤곽들 (내부 및 외부 윤곽)의 물의 제어 공급은 가능하고, 부딪힘은 레이저 가공 동안 또는 그 이후에 일어날 수 있다. 습윤성 기류를 만들어 내는 디바이스 내의 증발기의 사용 및/또는 습윤성 기판 장착 또는 수용 수단의 사용이 가능하다. 물 저장부는 도입될 윤곽 라인의 영역에 제공될 수 있다.
- [0082] 평면 기판에서 또는 상기 평면 기판으로부터 윤곽을 만들어 내고 분리시키는 본 발명은 기술 분야로부터 알려진 윤곽 컷팅 방법에 대해 특허나 다음의 이점을 가진다:
- [0083] ● 한편으로는 내부 손상의 존들의 도입 (단계 (a), (b) 및 가능하다면 또한 (d)), 다른 한편으로는 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계 (c)를 조합시킴으로써, 매우 높은 분리 품질은 윤곽들에 대해 달성될 수 있다: 특히나, 어떠한 파손도 일어나지 않고, 윤곽 제거 이후에, 기판 상의 컷팅된 에지들은 매우 낮은 거칠기, 그리고 또한 고정밀성을 가진다.
- [0084] ● 대부분 임의의 방식으로 형상화된 내부 윤곽들 (원형 내부 윤곽들, 오블론 홀-형상 내부 윤곽들 또는 임의의 자유 형태 표면들)은 본 발명에 따라서 매우 정밀하게 분리될 수 있다. 그렇게 함으로써, 내부 윤곽의 구조들의 고 선명도 (resolution)가 가능하다.
- [0085] ● 내부 윤곽 외부의 응력 균열들의 형성 (즉, 잔류 기판에서)이 방지된다.
- [0086] ● 본 방법은 내부 윤곽들뿐만 아니라, 외부 윤곽들을 분리시키기에 적합하고, 이때 상기 외부 윤곽들은 잔류 기판 상의 만들어진 외부 에지들의 품질이 매우 우수한 매우 작은 반경 또는 코너를 가진다. 특히, 언더컷팅 (예컨대, 디보테일 (dovetail)-형상의 외부 윤곽들)을 가진 외부 윤곽들이 만들어질 수 있고, 품질이 높게 분리될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0087] 이하에서, 본 발명은 실시예들을 참조하여 기술된다. 재료 제거 단계로서 본원에서 구현된 재료 제거- 및/또는 재료 변형 단계는 여기에서 (c)로 간략하게 지칭된다. 도면에서:
- 도 1: 초점 라인의 본 발명에 따른 위치 선정의 원리, 즉, 단계 (a), (b) 및 (d)에서 초점 라인을 따른 유도 흡

수에 기반하여, 레이저 광장에 투명한 기판 재료의 가공의 원리

도 2: 단계 (a), (b) 및 (d)에 대한 본 발명에 따라 사용될 수 있는 광 장치.

도 3a 및 3b: 단계 (a), (b) 및 (d)에 대한 본 발명에 따라 사용될 수 있는 추가 광 장치.

도 4: 단계 (a)에 따라 가공된 유리 디스크의 기판 표면의 현미경 이미지 (기판 평면을 평면으로 볼).

도 5a 내지 5d: 본 발명에 따른 기판으로부터 원형 내부 윤곽의 제거를 인도하는 단계 (a) 내지 (d).

도 6: 응력-완화 나선이 응력-완화 라인 부분으로 만들어지는 본 발명에 따른 단계 (d)의 예시.

도 7: 기판으로부터의 외부 윤곽의 본 발명에 따른 분리의 예시.

도 8: 원형 내부 윤곽을 제거하는 서로 다른 컷팅 안내의 예시.

도 9: 재료 제거 단계를 구현하는 예시.

도 10: 윤곽들을 만들어내고 분리시키는, 본 발명에 따른 디바이스의 스케치.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0088]

도 1은 단계 (a), (b) 및 (d)의 기본 절차의 아웃라인을 보여준다. 본원에서 미도시인 레이저 (12) (도 10)에 의해 방출되고, 광 장치 (20)의 빔 입력 측면에 대해 참조 번호 3a로 표기된 레이저 빔 (3)은 본 발명의 광 장치 (20) 상에 조사된다. 광 장치 (20)는 복사된 레이저 빔으로부터, 빔 방향 (초점 라인 길이 (1))을 따라 정의된 연장 영역에 걸친 빔 출력 측면 상에서, 연장된 레이저 빔 초점 라인 (3b)을 형성한다. 레이저 복사 (3)의 레이저 빔 초점 라인 (3b)으로 적어도 부분적으로 덮어지는, 가공될 평면 기판 (2)은 광 장치 뒤에서 빔 경로에 위치된다. 참조 번호 4v는 광 장치 (20) 또는 레이저를 향하여 배향된 평면 기판의 표면을 표기하고, 참조 번호 4r은 그와 일반적으로 평행하고, 그로부터 공간을 두고 있는 기판 (2)의 후방-측면 표면을 표기한다. 기판 두께 (표면들 4v 및 4r)과 수직하고, 즉 기판 평면에 대해 측정됨)는 본원에서 참조 번호 10으로 표기된다.

[0089]

도 1a에 도시된 바와 같이, 기판 (2)은 본원에서 빔 길이 방향 축에 대해, 나아가 광 장치 (20) 뒤에서 상기 광 장치에 의해 공간을 두고 만들어진 초점 라인 (3b)에 대해 수직을 이루어 배향되며 (기판은 도면 평면에 대해 수직을 이룸), 그리고 빔 방향을 따라 볼 시에, 초점 라인 (3b)에 대해 위치되고, 그 결과 초점 라인 (3b)은 빔 방향으로 볼 시에, 기판의 표면 (4v) 앞에서 시작하여, 기판의 표면 (4r)의 앞에서 종료되는, 즉, 여전하게 기판 내부에 있게 된다. 이로써, 연장된 레이저 빔 초점 라인 (3b)은 기판 (2)과의 레이저 빔 초점 라인 (3b)의 중복 영역, 즉, 초점 라인 (3b)에 의해 덮어지게 되는 기판의 재료에서의 연장 부분 (3c)에서 (길이 (1)의 일부분 상의, 즉 길이 (1)의 라인 초점을 통한 레이저 빔 (3)의 초점에 의해 확보되는 레이저 빔 초점 라인 (3b)을 따른 적합한 레이저 세기로) 만들어지고, 이때 빔 길이 방향을 따라 볼 시에, 상기 연장 부분을 따라가 보면, 기판의 재료에서의 유도 흡수 (induced absorption)가 만들어지고, 이는 상기 부분 (3c)을 따라서 기판의 재료의 균열 형성을 유도한다. 이로 인해, 균열 형성은 국부적으로 영향을 받을 뿐만 아니라, 유도 흡수의 연장 부분 (3c)의 전체 길이에 걸쳐 영향을 받는다 (즉, 내부 손상 존 (zone)). 이러한 부분 (3c)의 길이 (즉, 궁극적으로 기판 (2)과의 레이저 빔 초점 라인 (3b)의 중복 길이)는 참조 번호 L로 본원에서 제공된다. 유도 흡수의 (균열 형성을 받는 기판 (2)의 재료의 영역들의) 부분의 평균 직경 또는 평균 연장을 참조 번호 D로 본원에서 표기된다. 이러한 평균 연장 (D)은 레이저 빔 초점 라인 (3b)의 평균 직경 (δ)으로 기본적으로 본원에 대응한다.

[0090]

이로써, 도 1a에 도시된 바와 같이, 레이저 빔 (3)의 광장 (λ)에 대해 투명한 기판 재료는 초점 라인 (3b)을 따른 유도 흡수에 의해 본 발명에 따라 가열된다. 도 3b에서 도시된 바와 같이, 가열된 재료는 궁극적으로 확장되고, 그 결과 대응하는 유도 응력을 본 발명에 따라 미세균열 형성을 일으키고, 이때 상기 응력을 표면 (4v) 상에서 가장 크다.

[0091]

이하에서, 초점 라인 (3b)을 만들어 내기 위해 사용될 수 있는 구체적인 광 장치들 (20), 및 또한 이러한 광 장치들이 사용될 수 있는 구체적인 광 구성 (도 10)이 기술된다. 이로 인해 모든 장치들 또는 구성들은 상술된 것들에 기반하고, 그 결과 각각의 동일 참조 번호들은 그들의 기능과 동일하거나 대응되는 구성요소들 또는 특징들을 위해 사용된다. 그러므로, 이하에서는 단지 각각의 차이점들만 기술된다.

[0092]

궁극적으로 분리를 일으키는 분리 표면이 본 발명 (파괴 강도, 기하학적인 정밀성, 거칠기 및 후처리 요건들 회

피에 대해서)에 따라 고 품질이거나 고품질이어야 하기 때문에, 예를 들면 기판의 표면 상의 윤곽 라인 (5)을 따라 위치되는 개별적인 초점 라인들 (5-1, 5-2, …)은 이하의 광 장치들 (광 장치는 또한 이하에서 대안적으로 레이저 렌즈 시스템으로 칭하기도 함)로 기술된 바와 같이 만들어진다. 그렇게 함으로써, 거칠기는 특히 초점 라인의 스팟 크기로부터 또는 스팟 직경으로부터 특허나 만들어지게 된다. 레이저 (12)의 주어진 광장 (λ) (기판 (2) 재료와 상호작용)으로, 예를 들면 $0.5 \mu\text{m}$ 내지 $2 \mu\text{m}$ 의 저 스팟 크기를 달성할 수 있기 위하여, 일반적인 특정 요건들은 레이저 렌즈 시스템 (20)의 개구수에 대해 위치된다. 이러한 요건들은 이하에 기술된 레이저 렌즈 시스템들 (20)에 의해 수행된다.

[0093] 원하는 개구수를 달성하기 위하여, 렌즈 시스템은 한편으로는 Abbe의 공식 식 ($N.A. = n \sin (\text{세타})$), n : 가공될 유리의 굴절률, 세타: 개구 각도 절반; 및 세타 = $\arctan (D/2f)$; D : 개구, f : 초점 거리)에 따라서, 주어진 초점 거리에서 필요한 개구를 가져야 한다. 다른 한편으로는, 레이저 빔은 필요한 개구까지 렌즈 시스템을 조명하여야 하고, 이때 상기 개구는 레이저와 초점 렌즈 시스템 사이의 확장 망원경들을 이용하여 빔 확장에 의해 통상적으로 영향을 받는다.

[0094] 그렇게 함으로써, 스팟 크기는 초점 라인을 따른 균일한 상호작용을 위해 너무 크게 변화되지 않아야 한다. 이는, 예를 들면 (이하의 실시예 참조), 빔에 의한 좁은 환형 영역에서만 조명되는 초점 렌즈 시스템, 그 다음 개구, 나아가 백분율로 단지 약간의 코스 변화의 개구수에 의해 확보될 수 있다.

[0095] 도 2에 따라서 (레이저 복사 (12)의 레이저 빔 번들에서 중앙 빔의 레벨로 기판 평면에 대해 수직으로 컷팅; 본원에서 또한, 레이저 빔 (3)의 복사는 기판 평면에 대해 수직으로 영향을 받고, 그 결과 유도 흡수 (3a)의 초점 라인 (3b) 또는 연장 부분은 기판 법선에 평행함), 레이저 (3)에 의해 방출된 레이저 복사 (3a)는, 사용된 레이저 복사에 대해 완전하게 불투명한 원형 다이아프램 (diaphragm) (20a) 상에서 우선적으로 지향된다. 그렇게 함으로써, 다이아프램 (20a)은 빔 길이 방향 축에 대해 수직으로 배향되며, 도시된 빔 번들 (3a)의 중앙 빔 상의 중심에 위치한다. 다이아프램 (20a)의 직경은, 빔 번들 (3a) 또는 중앙 빔의 중심에 근접하게 위치된 빔 번들 (본원에서 3aZ로 표기됨)이 다이아프램 상에 부딪히고, 상기 다이아프램에 의해 완전하게 흡수되도록 선택된다. 빔 번들 (3a)의 외부 원주 영역에 위치한 빔들 (3aR로 본원에서 표기된 에지 빔들)만은 빔 직경에 비해 감소된 다이아프램 크기를 기반으로 하여 흡수되지 않지만, 그러나 오히려 다이아프램 (20a) 측면을 통과하며, 그리고 구면 형상 (spherically ground)의 양면 볼록 렌즈 (20b)로서 본원에서 구성된 광 장치 (20)의 초점 광 요소의 에지 영역들 상에 부딪힌다.

[0096] 중앙 빔 상의 중심에 위치한 렌즈 (20b)는 일반적인 (normally) 구면 형상 렌즈의 형태를 한 비-교정된 양면 볼록 초점 렌즈로서 본원에서 계획적으로 구성된다. 다시 말하면, 상기와 같은 렌즈의 구면 수차 (spherical aberration)는 계획적으로 사용될 수 있다. 그의 대안으로서, 이상적으로 교정된 시스템들로부터 벗어나고, 이상적인 초점을 사실상 가지지는 않지만, 오히려 정의된 길이의 나타난 (pronounced) 길이 방향의 연장 초점 라인을 형성하는 비구면 렌즈들 또는 다중 렌즈들이 사용될 수 있다 (즉, 임의의 개별적인 초점을 더 이상 사실적으로 가지지 않는 렌즈 또는 시스템). 이로써, 렌즈의 존들은 초점 라인 (3b)을 따라 렌즈의 중심으로부터 공간의 함수로서 정확하게 초점을 맞춘다. 빔 방향에 대해 횡 방향으로의 다이아프램 (20a) 직경은 본원에서 빔 번들의 직경 ($1/e$ 로의 감소까지의 연장에 의해 정의된 빔 번들 직경)의 대략 90%이고, 광 장치 (20)의 렌즈의 직경의 대략 75%이다. 본 발명에 따라서, 비-수차-교정 구면 렌즈 (20)의 초점 라인 (3b)이 사용되고, 중앙의 빔 번들 아래에서 멈춤으로써 만들어진다. 섹션은 중앙 빔을 통하여 평면에서 나타나고, 완벽한 3 차원 번들은, 나타난 빔들이 초점 라인 (3b) 주위에서 회전하는 경우에 만들어진다.

[0097] 본 발명에 따라 사용될 수 있는 개선된 광 장치 (20)가 액시콘 (axicon) 및 초점 렌즈 둘 다를 포함하는 경우에 상기 장치는 만들어지게 된다.

[0098] 도 3a는 그러한 광 장치 (20)를 도시하고, 이때 상기 광 장치에서, 빔 방향을 따라 레이저 (12)의 빔 경로에서 볼 시에, 연장된 레이저 빔 초점 라인 (3b)을 형성하기 위해 형상화된 비-구면 자유 표면을 갖춘 제 1 광 요소가 우선적으로 위치된다. 도시된 경우에서, 이러한 제 1 광 요소는, 빔 방향에 대해 수직으로 위치되고 레이저 빔 (3) 상에 중심에 위치한, 5° 원뿔 각도를 이룬 액시콘 (20c)이다. 액시콘 또는 원뿔 프리즘은, 광축을 따른 라인 상에서 점 소스를 형성하는 (또는 심지어 환형적으로 레이저 빔을 변형시키는) 특정 원뿔꼴 형상 렌즈 (conically ground lens)이다. 그러한 액시콘의 구성은 기본적으로 기술 분야의 통상의 기술자에게 알려져 있다; 본원에서 원뿔 각도는 예를 들면 10° 이다. 그렇게 함으로써, 액시콘의 원뿔 첨단은 빔 방향과 반대 방향으로 향한다. 액시콘 (20c)으로부터의 공간 (z_1)에서의 빔 방향에서, 제 2 초점 광 요소, 본원에서 평면 볼록 렌즈 (20b) (액시콘을 향하여 나타난 곡률)가 위치한다. 대략 300 mm에서 공간 (z_1)이 본원에서 선택되고,

그 결과 액시콘 (20c)에 의해 형성된 레이저 복사는 렌즈 (20d)의 외부 위치 영역들 상에 환형적으로 부딪힌다. 렌즈 (20d)는 렌즈 (20d)로부터 본원에서 1.5 mm의 정의된 길이의 초점 라인 (3b)까지의 본원에서 대략 20 mm의 공간 (z2)에서, 환형적으로 부딪히는 복사를 빔 출력-측면 상에 초점을 맞춘다. 렌즈 (20d)의 유효 초점 거리는 본원에서 25 mm이다. 액시콘 (20c)으로 인한 레이저 빔의 환형 변화는 본원에서 참조 번호 SR로 제공된다.

[0099] 도 3b는 도 3a에 따른 기판 (2)의 재료에서 초점 라인 (3b) 또는 유도 흡수 (3c)의 구성을 상세하게 도시한다. 2 개의 요소들 (20c, 20d)의 광 속성들 및 또한 상기 요소들의 위치는 본원에서 초점 라인 (3b)의 연장 (1)이 빔 방향으로 기판 (2)의 두께 (10)에 정확하게 대응되도록 영향을 받는다. 대응되게, 빔 방향을 따른 기판 (2)을 정확하게 위치시키는 것은 기판 (2)의 2 개의 표면들 (4v 및 4r) 사이에서 정확하게 초점 라인 (3b)을 위치시키기 위해, 도 3b에 도시된 바와 같이, 적절하게 (in order) 필요하다.

[0100] 이로써, 본 발명에 따르면, 초점 라인이 레이저 렌즈 시스템의 특정 공간에서 형성되는 경우, 그리고 레이저 복사의 큰 부분이 초점 라인의 원하는 말단 까지 초점이 맞춰지는 경우에 이점을 가진다. 이는, 기술된 바와 같이, 원하는 존 상에서만 환형적으로 조명되는 주요 초점 요소 (20d) (렌즈)에 의해 달성될 수 있고, 그 결과 한편으로는 원하는 개구수, 나아가 원하는 스팟 크기가 만들어지지만, 그러나, 다른 한편으로는 스팟의 중심에서 매우 짧은 거리로 이격된 분산 원의 원하는 초점 라인 (3b) 뒤에서 세기를 순실하는데, 이는 기본적인 환형 스팟이 형성되기 때문이다. 이로써, 본 발명의 의미에서, 균열 형성은 기판의 원하는 깊이에서 짧은 거리로 내부에서 멈춰진다. 액시콘 (20c) 및 초점 라인 (20d)의 조합은 이러한 요건을 이행한다. 이로 인해, 액시콘 (20c)은 2 가지 방식으로 작동한다: 액시콘 (20c)에 의하여, 보통 원형의 레이저 스팟은 초점 렌즈 (20d)를 향하여 환형적으로 전송되며, 액시콘 (20c)의 비구면은, 렌즈의 초점 평면 내의 초점 대신에, 초점 평면 외의 초점 라인이 형성된다는 효과를 얻는다. 초점 라인 (3b)의 길이 (1)는 액시콘 상의 빔 직경을 통해 조정될 수 있다. 초점 라인을 따른 개구수는 공간 (z1), 액시콘-렌즈를 통해, 그리고 액시콘의 원뿔 각도를 통해 차례대로 조정될 수 있다. 이로써, 이러한 방식으로, 전체 레이저 에너지는 초점 라인에서 집광될 수 있다.

[0101] 본 발명의 의미에서, (내부 손상 존 내의) 균열 형성이 기판의 출구 측면으로부터 이격되어, 멈춰져야 하고, 그 후에, 환형 조명은, 한편으로는 레이저 파워가 레이저 광의 큰 부분이 초점 라인의 원하는 길이에서 집광 상태를 이루기 때문에 가능한 우수하게 사용되고, 다른 한편으로는 다른 광 기능들에 의해 조정된 원하는 수차와 함께 환형 조명 존에 의하여, 초점 라인을 따른 균일한 스팟 크기, 나아가, 본 발명에 따라서 초점 라인을 따른 균일한 분리 처리가 달성될 수 있다는 장점을 여전하게 연이어 가진다.

[0102] 도 3a에 도시된 평면 볼록 렌즈 대신에, 초점 메니스커스 렌즈 (focusing meniscus lens) 또는 또 다른 보다 고도의 교정 초점 렌즈 (비구면, 다중 렌즈들)이 사용될 수도 있다.

[0103] 다른 착색 (colouration) (특히 철 함량이 낮음)이 없는 봉규산염- 또는 소다 석회 유리들 (2)은 광학적으로 대략 350 nm 내지 대략 2.5 μm에서 투명하다. 유리들은 일반적으로 형편없는 열 전도체들이고, 이러한 이유로, 몇 나노초의 레이저 펄스 기간은 초점 라인 (3b) 외부로의 어떠한 실질적인 열 확산도 실제로 허용하지 않는다. 그럼에도 불구하고, 심지어 보다 짧은 레이저 펄스 기간은 이점을 가질 수 있는데, 이는 서브-나노초- 또는 피코초 펄스로, 원하는 유도 흡수가 비-선형 효과 (실질적으로 보다 높은 세기)를 통해 보다 손쉽게 달성될 수 있기 때문이다.

[0104] 본 발명에 따른 평면 유리들의 분리에 대해서, 예를 들면 다음의 파라미터들을 가진, 상업적으로 이용가능한 피코초 레이저 (12)는 적합하다: 1,064 nm 파장, 10 ps의 펄스 기간, 100 kHz의 펄스 반복 주파수, 최대 50 W의 평균 파워 (레이저 바로 뒤에서 측정). 레이저 빔은 대략 2 mm의 빔 직경 (피크 세기의 13%, 즉, 가우시안 빔 변들의 $1/e^2$ 직경에서 측정)을 우선적으로 가지고, 빔 품질은 적어도 $M^2 < 1.2$ (DIN/ISO 11146에 따라 결정)이다. 빔 확장 렌즈 시스템 (Kepler에 따른 상업적으로 이용가능한 빔 망원경)을 이용하여, 빔 직경은 10 팩터에 의해 대략 20 - 22 mm으로 증가될 수 있다. 소위 9 mm 직경의 환형 다이아프램 (20a)을 이용하여, 빔 변들의 내부 부분은 콜라지게 되고 (stopped down), 그 결과 환형 빔은 형성된다. 이러한 환형 빔을 이용하여, 예컨대 28 mm 초점 거리를 가진 평면 볼록 렌즈 (20b) (반경이 13 mm인 석영 유리)는 조명된다. 렌즈 (20b)의 강한 (원하는) 구면 수차에 의해, 본 발명에 따른 초점 라인은 만들어진다.

[0105] 초점 라인의 이론적인 직경 (δ)은 빔 축을 따라 변화되고, 이러한 이유로, 기판 두께 (10)가 본원에서 대략 1 mm 미만 (디스플레이 유리들에 대한 통상적인 두께가 0.5 mm 내지 0.7 mm임)인 경우, 균일한 균열 표면의 생성에 대한 이점을 가진다. 대략 2 μm의 스팟 크기 및 5 μm의 스팟 간의 공간을 이용하여, 0.5 m/sec의 속도가 만들어지고, 이로 인해, 초점 라인은 윤곽 라인 (5)을 따라 기판 (2) 상에서 안내될 수 있다 (도 4 비교). 기

판 상의 25 W 평균 파워 (초점 라인 (7)을 따라 측정)를 이용하여, 100 kHz의 펄스 트레인 주파수, 250 μ J의 펄스 에너지 (2 내지 5 서브-펄스의 구조화된 펄스 (단지 20 ns의 공간에서 개별적인 펄스의 고속 트레인 (rapid train), 소위 버스트 펄스)에 영향을 받을 수도 있음)가 얻어진다.

[0106] 강화되지 않은 유리들은 기본적으로 내부 응력을 가지지 않고, 이러한 이유로 여전하게 서로 맞물리고 분리되지 않은 브릿지들 (bridges)에 의해 연결된 파열 준은 우선적으로, 외부 영향 없이 상기 부분들을 함께 여전하게 유지시킨다. 그러나, 열 응력이 도입되는 경우, 윤곽 (1)은 최종적으로 기판 (2)으로부터 외부 힘의 추가 도입 없이, 완전하게 분리된다. 이러한 목적을 위해, 최대 250 W 평균 파워를 가진 CO₂ 레이저는 대략 1 mm의 스팟 크기로 초점이 맞춰지고, 이러한 스팟은 윤곽 라인 (5), 균열 라인들 (6) 및 가능하다면, 또한 응력-완화 라인 (11) (도 5a 내지 5d 비교)에 걸쳐 최대 0.5 m/s로 안내된다. 도입된 레이저 에너지 (라인의 cm당 5 J)로 인한 국부적인 열 응력은 윤곽 (1)을 완전하게 분리시킨다.

[0107] 보다 두꺼운 유리의 분리를 위해, 처리를 위한 임계 세기 (유도 흡수 및 열 충격에 의한 파열 준의 형성)는 보다 긴 초점 라인 (1)을 통해 물론 달성되어야 한다. 이로써, 보다 높게 요구된 펄스 에너지들이 따르고 보다 높은 평균 파워가 따른다. 상술된 렌즈 시스템 구성 및 기판 상의 39 W의 최대 이용가능한 레이저 파워 (렌즈 시스템으로 인해 손실 이후)를 이용하여, 대략 3 mm 두께의 유리 분리가 달성된다. 한편으로는, 그렇게 함으로써, 환형 다이아프램 (20a)은 제거되며, 그리고 다른 한편으로는, 기판에 대한 렌즈 (20b) 공간은 교정되고 (공칭 초점 공간 (nominal focal spacing)은 일 방향으로 증가됨), 그 결과 보다 긴 초점 라인이 기판에서 만들어진다.

[0108] 이하에, 강화 유리가 분리되는 추가 실시예가 제시된다.

[0109] 소듐 함량 유리들은 액체 포타슘 염욕들 (salt baths)에 담금으로써 소듐이 유리 표면 상의 포타슘으로 교환됨으로써 강화된다. 이는 표면들 상의 5 – 50 μ m 두께의 층에 상당한 내부 응력 (압축 응력)을 일으키고, 이는 결과적으로 보다 높은 안정성을 이끌어 낸다.

[0110] 근본적으로, 강화 유리들의 분리 동안 처리 파라미터들은 비교할만한 치수 및 조성물의 비강화된 유리들의 것과 유사하다. 그러나, 강화 유리는 내부 응력의 결과로, 그리고 실제로, 레이저 조사로 의도된 파손 표면 (5)을 따르지 않지만 재료 내로 따라 영향을 받는 원치 않는 균열 성장의 결과로, 아주 용이하게 산산이 부서질 수 있다. 이러한 이유로, 특정 강화 유리의 연속적인 분리에 대한 파라미터 영역 (field)은 보다 엄중하게 규정된다. 특히, 평균 레이저 파워 및 연관된 컷팅 속도는 실제로 강화 층의 두께 함수로 매우 정확하게 유지되어야 한다. 40 μ m의 두께 강화 층 및 0.7 mm의 총 두께를 가진 유리에 있어서, 상술된 구성, 예를 들면 다음의 파라미터들의 결과가 있다: 100 kHz 펄스 트레인 주파수에서의 1 m/s의 컷팅 속도, 나아가, 10 μ m의 스팟 공간, 이때 평균 파워는 14 W이다. 게다가, 상기와 같은 유리들에 대한 단계 시퀀스 (a) 내지 (c) (바람직하게, (d)를 가짐)는, 원하는 균열들 및 잔류 기판 (2) 내의 파괴를 방지하기 위해, 특히나 중요하다.

[0111] 매우 얇은 강화 유리들 (< 100 μ m)은 단련 (tempered) 재료로 대부분 구성되고, 즉, 즉 전방- 및 후방-측면 각각은 예를 들면 30 μ m 소듐이 고갈되고, 나아가 강화되며, 내부에서 단지 40 μ m이 비강화된다. 이러한 재료는, 표면들 중 하나가 손상되는 경우, 매우 손쉽게 완전하게 산산이 부서진다. 상기와 같은 강화 유리 막들은 지금까지 기술 분야에서 가공되지 않았지만, 제시된 방법으로 가공된다.

[0112] 본 발명의 방법에 따른 이러한 재료의 분리는 a) 초점 라인의 직경이 매우 작고, 예컨대 1 μ m 미만인 경우, b) 스팟 간의 공간이 낮고, 예컨대 1 내지 2 μ m인 경우, 및 c) 분리 속도가 충분히 높고 그 결과 균열 성장이 레이저 처리 앞에서 진행될 수 없는 경우 (고 레이저 펄스 반복 주파수, 예컨대 0.2 내지 0.5 m/s에서의 200 kHz), 성공적이다.

[0113] 도 4는 단계 (a)에 따른 본 발명에 따라 가공된 유리 디스크의 표면의 현미경 이미지를 도시한다. 참조 번호들 (5-1, 5-2, ...)로 본원에서 제공된 윤곽 라인 (5)을 따라 (제시 표면에 대해 수직을 이룬 기판의 깊이로) 유도 흡수 (3c)의 개별적인 초점 라인들 또는 연장 부분들은 라인 (5)을 따라 연결되고, 이때 상기 라인을 따라 레이저 빔은 본 발명에 따른 추가 단계들을 통해 영향을 받는 기판 부분들의 분리를 위해 균열 형성에 의해 분리 표면을 형성하기 위해, 기판의 표면 (4v) 상에 안내된다. 유도 흡수의 대량의 개별적인 연장 부분들 (5-1, 5-2, ...)을 손쉽게 볼 수 있고, 레이저의 펄스 반복 주파수는 제시된 경우에서, 표면 (4v) 상에서 레이저 빔을 이동시키는 공급 속도로 조정되고 (coordinated), 그 결과 바로 인접한 부분들 (5-1, 5-2, ...)의 평균 공간 (a) 및 레이저 빔 초점 라인의 평균 직경 (δ)의 a/δ 비는 대략 2.0이다.

[0114] 도 5a – 5d는 예를 들면, 기판 평면의 평면도에서, 0.7 mm 두께의 유리 기판 (2)의 본 발명에 따른 가공을 도시

한다.

[0115] 도 5a에서 도시된 바와 같이, 윤곽 정의 단계 (a)에서, 1,064 μm 의 과장 람다를 가진 Nd:YAG 레이저의 레이저 빔 (3) (레이저 (12)는 여기에서 미도시)은 기판 평면 상에서 수직으로 복사되며, 그리고 만들어지게 되는 윤곽 (1)을 특징으로 하는 윤곽 라인 (5)을 따라 안내된다. 만들어지게 되는 윤곽 (1)은 여기에서 원형 내부 윤곽이며, 상기 원형 내부 윤곽은 기판 (2)으로부터 제거되는 것으로 의도된다. 이로써, 가공 목적은 기판 (2)에서 정확한 원형 홀의 생성이다. 원형 내부 윤곽 (1) 또는 동일한 기판 재료는 방법 단계 (a) 내지 (d) 동안 파괴될 수 있는데, 이는 잔류 기판 부분들 (2)이 원하는 생산 제품을 나타내기 때문이다.

[0116] 도 5a에서 도시된 바와 같이, 윤곽 라인 (5)을 따른 레이저 빔 (3)에 의한 레이저 (12)의 펄스 동작으로 인해, 내부 손상의 대량의 개별적인 존들 (5-1, 5-2, ...)은 기판 재료 (빔 방향으로 볼 시에 레이저에 의해 만들어진 레이저 빔 초점 라인의 연장된 일 부분을 따른 유도 흡수의 부분들)에서 만들어진다. 그렇게 함으로써, 내부 손상의 개별적인 존들은 도 4에 대해 기술된 바와 같이 만들어진다 (이는 또한 이하에 기술되기도 한 단계 (d) 및 (b)에 적용됨).

[0117] 내부 손상 (5-1, 5-2, ...)의 상기와 같은 존들이 전체 원형 원주 (5)에 걸쳐 만들어진 이후에, 분리될 내부 윤곽 (1)에 대응하는 파손 라인은 실제로, 기판에서 만들어지지만, 그러나, 이미 기술된 바와 같이, 내부 윤곽 (1)의 재료는 잔류 기판 부분 (2)의 재료로부터 여전히 완전하게 분리되지 않는다. 추가 단계 (b) 내지 (d)는 이제 기판 (2)으로부터 내부 윤곽 (1)의 재료를 완전하게 분리시키는 기능을 하고, 그 결과 잔류 기판 재료에서 임의의 손상 (예를 들면, 균열들, 플레이킹 (flaking) 등)은 방지된다.

[0118] 이를 달성하기 위하여, 단계 (a) 다음에 응력-완화 단계 (d)에 우선적으로 도입되고 - 도 5b와 비교 (도 5a에 이미 기술된 특징들이 동일 참조 번호들로 제공됨; 이때 이는 또한 이하의 도 5c 및 5d에 적용됨), 윤곽 라인 (5) (여기에서 후자로부터의 일정한 공간에 의해) 윤곽 라인 (5)의 코스에 가까운 응력-완화 라인 부분 (11)은 윤곽 라인 (5) 내에서, 그리고 후자로부터의 공간에서, 즉 내부 윤곽 (1)의 재료에서 동심으로 도입된다. 그렇게 함으로써, 유사한 원형인 응력-완화 라인 부분 (11)의 도입은 여기에서 윤곽 라인 (5)에 대해 동일한 레이저 파라미터들로 레이저 (12)에 의해 영향을 받고, 그 결과 완전한 원형 원주의 부분 (11)을 따라, 대량의 내부 손상의 개별적인 존들 (11-1, 11-2, ...) 각각은 기판 재료에서 만들어진다. 이러한 존들의 도입은 또한 도 4에 대해 기술된 바와 같이 영향을 받는다.

[0119] 이러한 단계 (d)는 응력 감소를 만들어 내기 위한 기능을 하고, 즉, 윤곽 라인의 도입 동안 도입된 기판 재료에서의 잠재 응력들은 작은 윤곽 반경 및 높은 단면 유리의 경우에서 전체 기판의 찢어짐을 일으킬 수 있다. 이는 단계 (d)의 추가 컷팅에 의해 방지될 수 있고, 그러나 상기 단계 (d)는 절대적으로 필요한 것은 아니다. 이러한 단계는 나선형 형상을 가질 수 있지만, 그러나 윤곽 라인에 가까운 "원형-내-원형 (circle-within-circle)"으로 구성될 수도 있다. 이러한 컷팅의 목적은 가능한 한 적은 재료를 이후에 남기기 위해, 그리고 자가-분리 (self-detachment)를 촉진시킬 수 있기 위해, 또는 촉진시키기 위해, 타깃 윤곽에 대해 응력-완화 라인 부분 (11)의 공간을 최소화시켜야 한다. 예를 들면, 윤곽 라인 (5)에 대한 응력-완화 라인 부분 (11)의 최대 근사치에 대한 값들은 여기에서 대략 20 μm 내지 50 μm 이다.

[0120] 도 5c는 응력-완화 단계 (d) 이후에 본 발명에 따라 구현된 균열 정의 단계 (b)를 도시한다. 이러한 단계에서, 레이저 (12)의 레이저 빔 (3)은 단계 (a) 및 (d)와 마찬가지로 기판 표면 또는 내부 윤곽 표면 상에서 안내되고, 그 결과 여기에서 또한, 내부 손상의 대량의 개별적인 존들 (6-1, 6-2, ...)은 도 4에 도시된 바와 같이, 내부 윤곽 (1)으로 새겨지는 구조들 (6)을 따라, 도입된다.

[0121] 도 5는 도시된 바와 같이, 추가로, 윤곽 라인 (5) 상의 위치에서 시작되는 복수의 선형 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...) 각각이 만들어지게 되어, 여기에서 25°의 각도 (a)로 윤곽 라인 (5)으로부터 인도되고, 분리될 윤곽 (1)으로 인도된다. 그렇게 함으로써, 정확히 2 개의 균열 라인 부분들 (예를 들면, 균열 라인 부분들 (6a 및 6b) 각각은 윤곽 라인 (5) 상의 동일한 위치에서 시작되며, 그리고 각도 (a)로, 반대로 위치한 방향들 각각으로 내부 윤곽 (1)을 향하여 연장되며, 이들이 이전에 도입된 응력-완화 라인 부분 (11)을 컷팅할 때까지 연장된다. 여기에서, 각도 (a)는 기본적으로 반대 방향들로 이 위치로부터 내부 윤곽 (1)의 재료 (예를 들면, 부분들 (6a 및 6b) 또는 또한 부분들 (6c 및 6d))로 인도된 2 개의 균열 라인 부분들이 시작되는 위치에서 윤곽 라인 (5)에 대한 접선과, 이 위치 (또는 균열 라인 부분 그 자체 - 이는 접선과 일치하기 때문임)에서 각각의 균열 라인 부분에 대한 접선 사이의 각도이다.

[0122] 상술된 방식으로, 윤곽 라인 (5) 상의 동일한 위치에서 시작되는 2 개의 균열 라인 부분들 각각을 정확하게 구

성하는 복수의 V-형 균열 라인들 (6V)이 윤곽 라인 (5)의 전체 원주를 따라 만들어지게 되고, 상기 윤곽 라인과 응력-완화 라인 부분 (11) 사이에 위치한 내부 윤곽 (1)의 표면 부분들 상의 윤곽 라인 (5)으로부터 인도되어, 응력-완화 라인 부분 (11)을 컷팅하며, 그리고 응력-완화 라인 부분 (11) 내에 위치한 내부 윤곽 (1)의 영역으로 인도된다. 그렇게 함으로써, 동일한 V-형 균열 라인 (6V)의 양쪽 레그들 (legs)은 이러한 접선을 향한 법선에 대해 대칭적으로 볼 시에, 즉, 내부 윤곽 (1)으로의 법선의 양쪽 측면들 상에서 볼 시에, 각각의 균열 라인의 첨단의 위치에서 윤곽 라인 (5)에 대한 접선을 따라 인도된다. 예를 들면 $\alpha = 10^\circ$ 의 보다 작은 각도들 (α) 또는 심지어 예를 들면 $\alpha = 35^\circ$ 의 보다 큰 각도는 원형 원주의 라인들 (5 및 11)에 따라 가능하며, 그리고 또한 이러한 2 개의 원형 라인들의 공간을 따라 서로 가능하다.

[0123] 그렇게 함으로써, 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)은, 이것이 바람직할지라도, 명확하게 필요치 않고, 윤곽 라인 (5) 상의 한 위치에서 즉각적으로 시작되고, 그러나 오히려 내부 윤곽 재료 (1) 내에 위치한 위치에서 윤곽 라인 (5)으로부터의 공간에서도 다소 시작될 수 있으며, 그리고 응력-완화 라인 부분 (11)을 넘어 동일한 것 내에 위치한 재료 부분으로 안내될 수 있다 (이때 한편으로는, 윤곽 라인 (5)을 가진 각각의 균열 라인 부분의 가상적인 연속 컷팅 라인과, 다른 한편으로는 윤곽 라인 (5)에 대한 접선 사이의 각도 (α)가 계산된다).

[0124] 상술된 방식으로, 바람직하게 5 개 내지 10 개의 V-형 균열 라인들이 원형 원주의 라인들 (5, 11)을 따라 만들어진다.

[0125] 그렇게 함으로써, 균열 라인들 (6V) 또는 상기 균열 라인들의 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)은 바람직하게 위치 및 배향되고, 그 결과 부착 작동은 재료-제거 레이저 단계 (c) 동안 그리고/또는 그 이후에 개선된다. 재료-제거 레이저 단계 (c) 이후에 잔류한 재료 링 (ring)은 특별하게 세그먼트화되고, 그 결과 원형 링의 개별 세그먼트들은 보다 손쉽게 분리될 수 있다. 재료-제거 레이저 단계 (c) 이후의 부분적인 세그먼트들이 가능한 한 그 자체로 내부를 향하여 가압되도록, V 컷팅으로의 내부 직접 응력을 만드는 것이 시도된다. 그러나, 이러한 V 컷팅은 절대적으로 필요한 것은 아닌데, 이는 본 발명에 따른 방법이 이러한 것들 없이도 기능을 할 수 있기 때문이다.

[0126] 이로써, 2 개의 구조들 (5 및 11) (여기에서: 2 개의 레그들 중 하나와 동일한 V-형 균열 라인 간의 대략적인 삼각형 부분들) 간의 원형 링 부분의 재료에 V-형 균열 라인들로 새겨지는 링 재료 부분들 중 일부가 인접한 링 재료 부분들과 서로 맞물림 없이, 내부 윤곽 (1)의 중심을 향해 이동할 수 있는 것 (이들이 이미 존들 (6-1, 6-2, ...)에 의해 사전에 완전하게 분리되는 경우)이 필수적이다.

[0127] 도 5d는 균열 정의 단계 (b) 이후에 재료 제거 단계 (c)를 최종적으로 도시한다 (도 5d에서, 단계 (b)에 도입된 V-형 균열 라인들 중 단지 3 개만 명료성의 이유로 제시됨).

[0128] 단계 (c)에서, 본원에서 도시되지 않은 레이저 (14)에 의해 만들어진 재료-제거 레이저 빔 (7)은 기판 표면을 향하여 지향된다. 도 4에 대해 기술된 바와 같이, 단계들 (a), (b), (d)에서 내부 손상의 대량의 존들의 도입과 비교하여, 재료-제거 레이저 빔 (7)의 파라미터들은 다음과 같이 레이저 빔 (3)과는 다르다: 수반된 재료 제거를 가진 점 초점 (point focus) 또는 점 손상이 적용된다. 파장: 300 nm 내지 11,000 nm; 특히나 적합한 532 nm 또는 10,600 nm. 펄스 기간: 10 ps, 20 ns 또한 심지어 3,000 μ s.

[0129] 도 5d에 도시된 바와 같이, 응력-완화 라인 부분 (11) 내의 레이저 빔 (7)을 이용하여, 본원에서 유사하게 환형적으로 확장되고 윤곽 원형 (5) 또는 응력-완화 라인 원형 (11) (단지 여기에서 섹션들로 도시됨)의 전체 원주를 따라 확장된 제거 라인 (9)은 내부 윤곽 (1)의 재료에 새겨진다. (내부 윤곽 (1)의 중심을 향하여 볼 시에) 방사 방향으로, 응력-완화 라인 (11)으로부터의 제거 라인 (9)의 공간은 여기에서 외부 방향으로 위치된 윤곽 라인 (5)으로부터의 응력-완화 라인 (11)의 공간의 대략 25%이다. 이로써, 윤곽 라인 (5)으로부터의 제거 라인 (9)의 공간 (8)은 윤곽 라인 (5)으로부터의 응력-완화 라인 (11)의 공간의 1.25 배이다. 그렇게 함으로써, 제거 라인 (9)은 도입되고, 그 결과 이는 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)의 내부 방향으로 위치한 말단들을 여전하게 컷팅한다 (내부 윤곽 (1)의 중심으로부터 볼 시에).

[0130] 윤곽 라인 (5) 또는 응력-완화 라인 (11)의 전체 원주를 따라 제거 라인을 도입한 후에, 내부 윤곽 (1)의 중심에서 제거 라인 (9) 내부에 위치한 재료 부분들은 기판 (2)으로부터 분리되는데, 이는 제거 라인 (9)을 따라, 기판 재료가 전체 기판 두께 (10) 상에서 제거되기 때문이다 (도 9 비교). 이로써, 단지 제거 라인 (9)과 윤곽 라인 (5) 간의 위치된 링 부분들에는 분리될 나머지 내부 윤곽 재료 (1)가 있다.

[0131] 한편으로는 제거 라인 (9)에서의 예지와, 다른 한편으로는, 윤곽 라인 (5) 사에서, 대략적으로 삼각형 링 부분들은 각각의 V-형 균열 라인 (참조 번호 1' 참조)의 2 개의 레그들 사이에서 만들어지고, 이때 상기 삼각형 링

부분들은 실제로 인접한 링 부분들의 재료와 함께 여전하게 서로 맞물리고 (그리고 여기에서 여전하게 분리될 윤곽은 남아 있는 것으로 특징이 지어지고, 참조 번호 1r을 가지고), 그러나 남아있는 기판 (2)의 재료를 손상 시킬 수 있는 도입 응력 없이 내부를 향하여 제거될 수 있다.

[0132] 본원에서 도시되지 않은 후처리 단계 (단계 (a) 내지 (d) 이후에 구현됨)에서, 잔류한 원치 않는 윤곽 잔류들 (1r) (응력-완화 부분들 (1') 또한 포함함)은 기판 평면에 대해 수직으로 이동가능한 기계적인 스템프에 의해 잔류 기판 (2)으로부터 분리된다.

[0133] 도 6은 분리될 도 5a의 내부 윤곽 (1)의 기판 재료에 응력-완화 라인 부분 (11)을 도입시키는 대안 형태를 도시 한다. 단일 원주의 원형 응력-완화 라인 부분 (11) 대신에, 윤곽 라인 (5)의 코스에 가까운 응력-완화 나선형 (11S) 또한 외부 방향으로 방사상으로 볼 시에, 그 자체 내에 감기는 내부 윤곽 (1)의 중심으로부터 안내되며, 그리고 대략 3.5 번의 선회는 여기에서 분리될 내부 윤곽 (2)의 재료에 새겨질 수 있다.

[0134] 도 7에서 도시된 바와 같이, 본 발명은 폐쇄된 내부 윤곽들 (1)을 기판 (2)으로부터 분리할 뿐만 아니라, 복합적으로 형상화된 외부 윤곽들 (1)을 분리하기 위해 사용될 수 있고, 이들의 형상 (예를 들면, 도 7에서 윤곽 라인 (5)의 들어맞는 형상 부분 비교)은, 기판 (2)의 외부 윤곽 (1)이 잔류 기판 재료 (2)에 응력 균열을 도입시킴 없이, 기술 분야에서 알려진 방법으로 만들어질 수 없도록 한다. 한편으로는 윤곽 라인 (5)과 다른 한편으로는 제거 라인 (9) 간에 위치한 V-형 균열 라인들 (6V-1, 6V-2, ...)의 2 개의 반대 방향으로 위치한 레그들의 각도 (a)는 여기에서 10° 이다. 도 7에서, 동일하거나 대응하는 특징들은 도 5a 내지 5b에서와 같이, 동일한 참조 번호들을 지정한다. 기판 평면에 대해 수직인 기판 두께는 참조 번호 10으로 특징이 지어진다. 기판 표면은 입사 레이저 복사 (3, 7)를 향하여 배향되고, 참조 번호 4v (기판 전방-측면)를 가지며, 반대에 위치한 기판 표면 (기판 후방-측면)은 참조 번호 4r을 가진다.

[0135] 이로써, 도 7에 도시된 바와 같이, 윤곽 라인 (5)의 코스에 가까운 응력-완화 라인 부분 (11)의 도입은 절대적으로 필요하지 않다.

[0136] 이로써, 본 발명은 특히 언더 컷들 (undercuts)로 윤곽들을 분리시키기 위해서도 사용될 수 있다.

[0137] 도 8은, 윤곽 라인 (5)의 코스를 따라 달라지고, 윤곽 라인 (5)에서 기본적으로 각각 시작되어 분리될 윤곽 (1) 재료에 인도되는 균열 라인 부분들 (6a, 6b, ...)이 만들어질 수 있는 방법의 서로 다른 여러 개의 가능성들을 도시한다: 도 8a는 V-형 표준 균열 라인들을 도시한다 (도 5c 또한 참조). 도 8b는, 인접한 V-형 균열 라인들 각각이 서로를 향해 배향된 레그들에서 교차하는 윤곽 라인 코스 (5)를 따른 V-형 다수의 균열 라인들을 도시한다. 도 8c는 V-형 균열 라인의 단지 하나의 레그의 도입으로 인한 개방된 균열 라인들 각각을 도시한다.

[0138] 도 9는, 제거 라인 (9)이 도입된 이후에, 기판 (2)으로부터 또는 윤곽 잔류들 (1r)로부터 완전하게 분리되는 (윤곽 잔류들 (1r)의 부분들 역시 여전하게 기판 (2)에 바람직하지 않게 고정될 수 있음), 분리될 내부 방향으로 위치된 내부 윤곽 (1)의 재료 부분이 추가적인 침전 (precipitation) 재료 (18) (여기에서: 폴리옥시메틸렌)을 이용하여, 어떻게 배출되는지를 도시한다. 동일한 참조 번호들은 다시 도 9 (및 또한 도 10)에서 지정되고, 본 발명의 특징들은 이러한 참조 번호들로 이미 기술된다.

[0139] 도 9에 도시된 바와 같이, 레이저 빔 (3)에 비해 높은 재료-제거 레이저 빔 (7)의 빔 파워는 (제 2, 도 10 비교) 빔-안내 광 유닛 (21)을 통해 기판 (2) 상에 연결된다. 기판 (2)은 클램핑 (clamping) 디바이스 (16) (예컨대, 소위 청크 (chuck))에 장착되고, 그 결과 분리될 내부 윤곽 (1) 아래의 영역에서, 가스-밀봉 캐비티 (17)는 기판 후방-측면 (4r) 상에 구성된다.

[0140] ("상 (Above)"은 본원에서, 입사 레이저 빔을 향하여 배향된 기판 전방-측면 (4v)이다). 이러한 캐비티 (17)로, 침전 재료 (18)는 미리 도입되고, 이제, 광 유닛 (21)에 의해 기판 (2)을 통해 캐비티 (17)로 레이저 빔 (7)을 초점화함으로써 조명된 재료 제거 단계 (c)의 시작에서 기화된다 (도 9a). 레이저 빔으로 야기된 기화의 결과로, 기화된 침전 재료는 기판 후방-측면 (4r)의 일 부분 상에 침전되고, 이때 상기 기판 후방-측면의 일부분은 캐비티 (17)에 위치하고, 분리될 내부 윤곽 (1)에 대응하는 기판 후방-측면 (4r)의 적어도 하나의 표면 상에, 기판 재료로의 레이저 빔 (7)의 연결을 개선시키는 연결 층 (18')을 형성한다 (도 9b). 후방-측면 표면 (4r) 상의 침전을 위한 재료 (18)의 기화는 대략 몇 초 동안 구현된다. 기판 (2)의 재료가 레이저 복사 (λ)에 대해 투명하지만, 층 (18')의 재료는 λ 에 대해 불투명하기 때문에, 기판 재료로의 빔 (7)의 연결은 이로써 개선된다.

[0141] 이하에, 레이저 복사 (7)는 기판을 통하여 후방-측면 표면 (4r) 상에 광 유닛 (21)에 의해 초점화된다 (15) (도 9b 비교). 제거 라인 (9)을 특징짓는 기하학적인 구조에 대응하여, 레이저 복사 (7)의 초점 (15)은, 전체 기

판 두께 (10) 상에서 볼 시에, 제거 라인 (9)을 따라 기판 재료를 연속적으로 제거하거나, 도입된 고 레이저 에너지의 결과로서 그것을 기화시키기 위해, 기판 전방-측면 (4v)을 향하여 기판 후방-측면 (4r)으로부터 연속적으로 라인 (9)을 따라 빔 (7)의 다수의 경로에 의해 안내된다. 후방-측면 (4r)으로부터 전방-측면 (4v)으로 증가하는 방식으로 이동하는 초점 (15)을 이용하여, 제거 라인 (9)의 윤곽을 따라 안내된 다수의 (예컨대 15번) 경로들 이후에, 제거 라인 (9) (단지 표현을 간단하게 하기 위하여 한 번만 도시하고, 캐비티 (17) 상의 중심에 위치함) 내부에 위치한 내부 윤곽 (1)의 재료가 최종적으로 캐비티 (17)에 우세한 중기 압력에 의해 상부 방향으로 분리 및 방출된다. 캐비티 (17) 내의 충분히 높은 중기 압력으로, 원치 않는 윤곽 잔류들 (1r)의 분리는 또한 이것에 의하여 도움을 받을 수 있다 (도 5d 비교).

[0142] 도 10은 본 발명에 따른 방법을 구현하기 위해, 본 발명에 따른 디바이스를 도시하고, 상기 디바이스에는 공통 레이저 헤드에 구성된 빔 생성- 및 빔-형성 장치 (19)가 제공된다. 유닛 (19)은 2 개의 레이저들 (12 - 레이저 세기가 낮은 내부 손상의 개별적인 존들을 만들어 내는 레이저 빔 (3)의 생성하기 위한 것, 및 14 - 보다 높은 세기의 재료-제거 레이저 빔 (7)을 생성하기 위한 것)을 포함하며, 그리고 빔 편향용 F-세타 렌즈 다음에 연결된 갈바노 스캐너 (galvanometer scanner) 각각을 가진 2 개의 빔-안내 광 유닛들 (20 및 21) (상기와 같은 광 유닛들의 구성은 기술 분야의 통상의 기술자에게 알려짐)을 더 포함한다. 이로써, 유닛 (20)의 갈바노 스캐너 및 F-세타 렌즈를 통해 초점화된 레이저 (12)의 레이저 복사 (3)는 기판 (2)의 표면을 향하여 안내되며, 그리고 윤곽 라인 (5)을 만들어 내기 위해, 갈바노 스캐너에 의해 적합하게 편향된다. 대응하여, 유닛 (21)의 갈바노 스캐너 및 F-세타 렌즈를 통해 초점화된 레이저 (14)의 레이저 복사 (7)는 기판 (2)의 표면 상에 이미징되며, 그리고 유닛 (21)의 갈바노 스캐너에 의해 제거 라인 (9)을 만들어 내기 위해 편향된다.

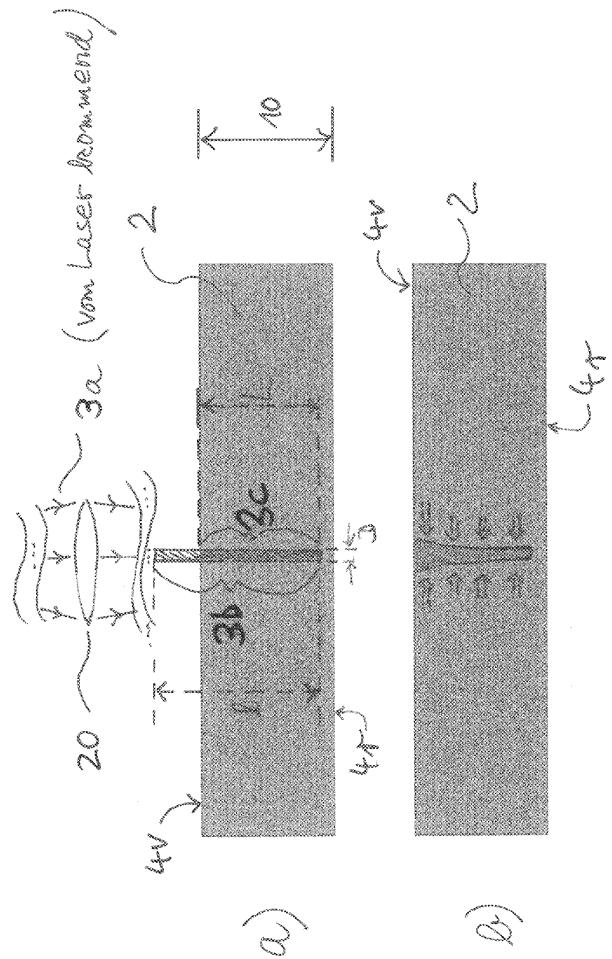
[0143] 대안으로, 또한 고정 렌즈 시스템들은 이동 렌즈 시스템들을 사용하는 대신에 사용될 수 있다 (그 후 기판은 이동된다).

[0144] 적합한 메모리들, 프로그램들 등을 가진 PC (22)의 형태로 본원에서 구성된 중앙 제어 유닛은 양방향성 데이터- 및 제어 라인 (23)을 통해 유닛 (19)에 의해 빔 생성, 빔 초점 및 빔 편향을 제어한다.

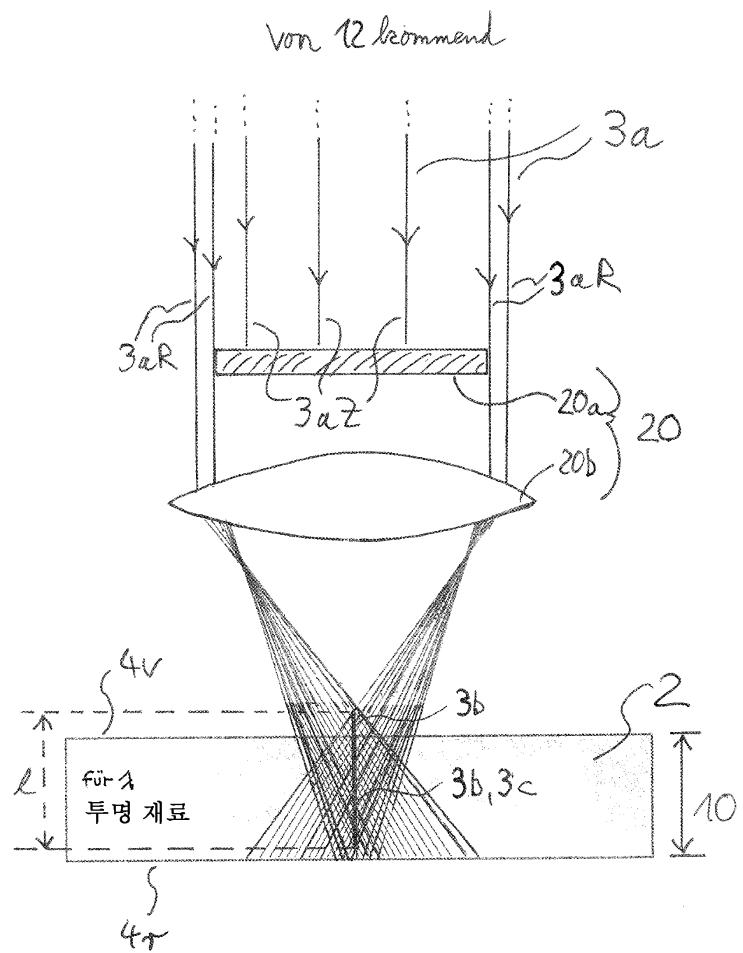
[0145] 2 개의 서로 다른 레이저 빔들 (3 및 7)을 만들어 내는 빔-안내 렌즈 시스템들 (20 및 21)의 차이는 다음과 같다: 레이저 빔 (7)은 예컨대 점 초점을 형성하는 교정된 F-세타 렌즈를 갖는 빔 (3)에 비해 표면을 향하여 안내된다. 빔 (7)을 위한 렌즈의 초점 거리는 빔 (3)의 것보다 현저하게 크고, 예컨대 40 mm에 비해 120 mm이다.

도면

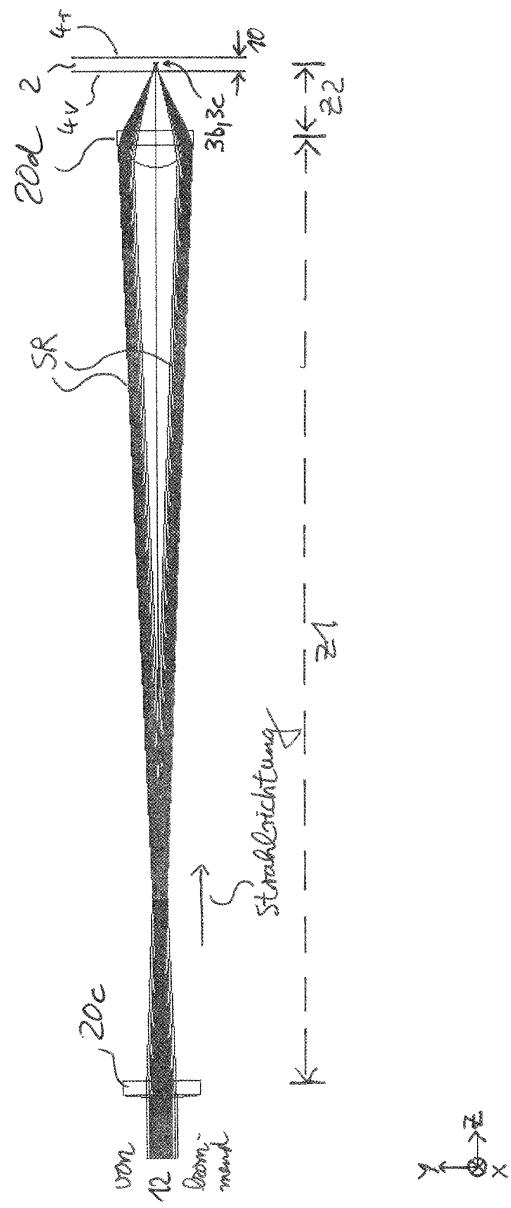
도면1



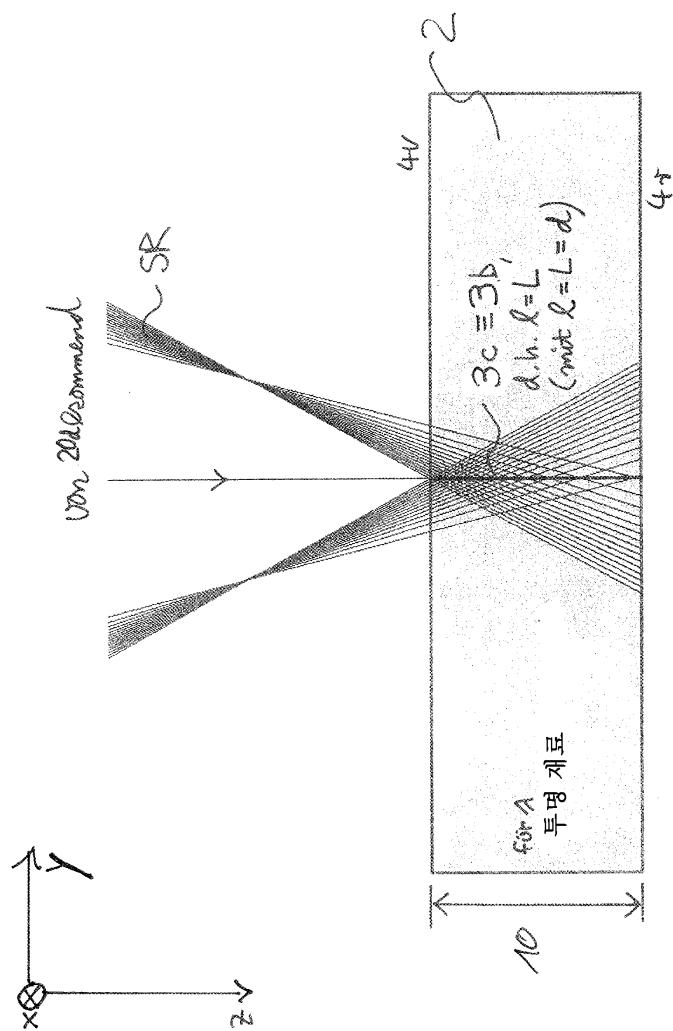
도면2



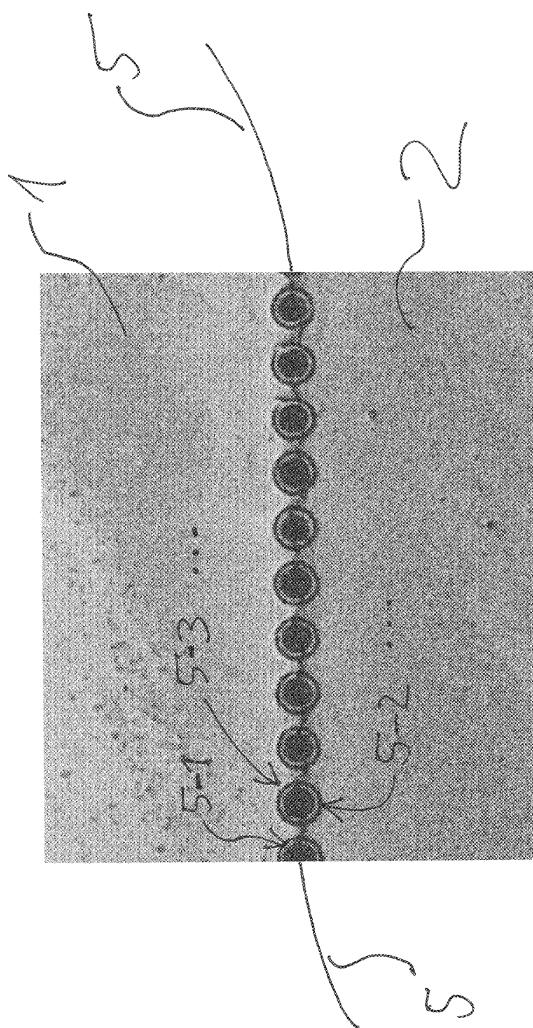
도면 3a



도면 3b

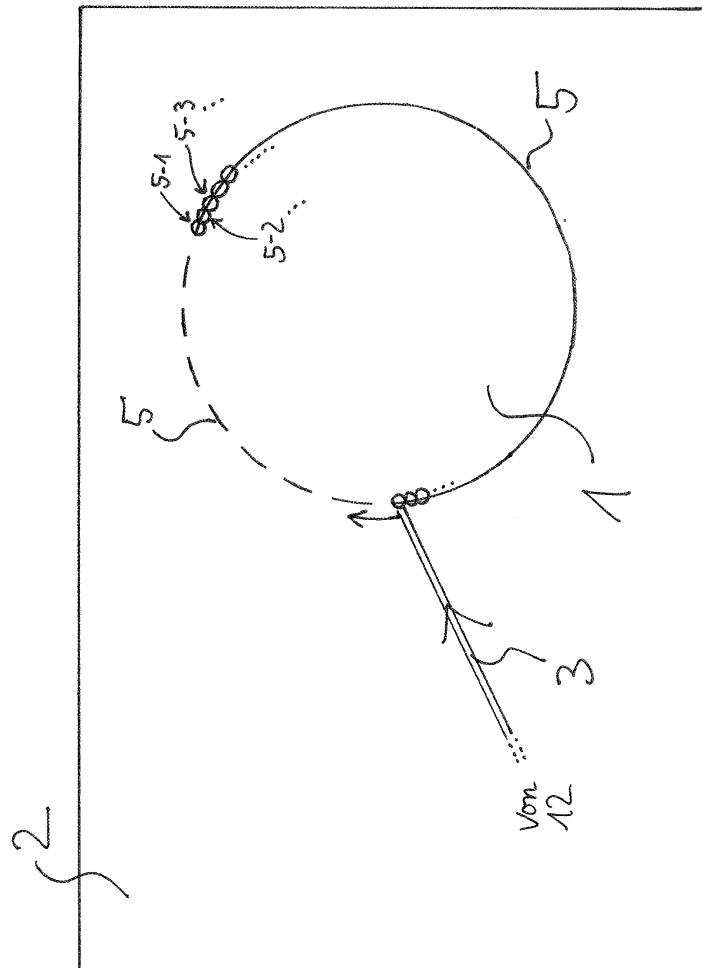


도면4



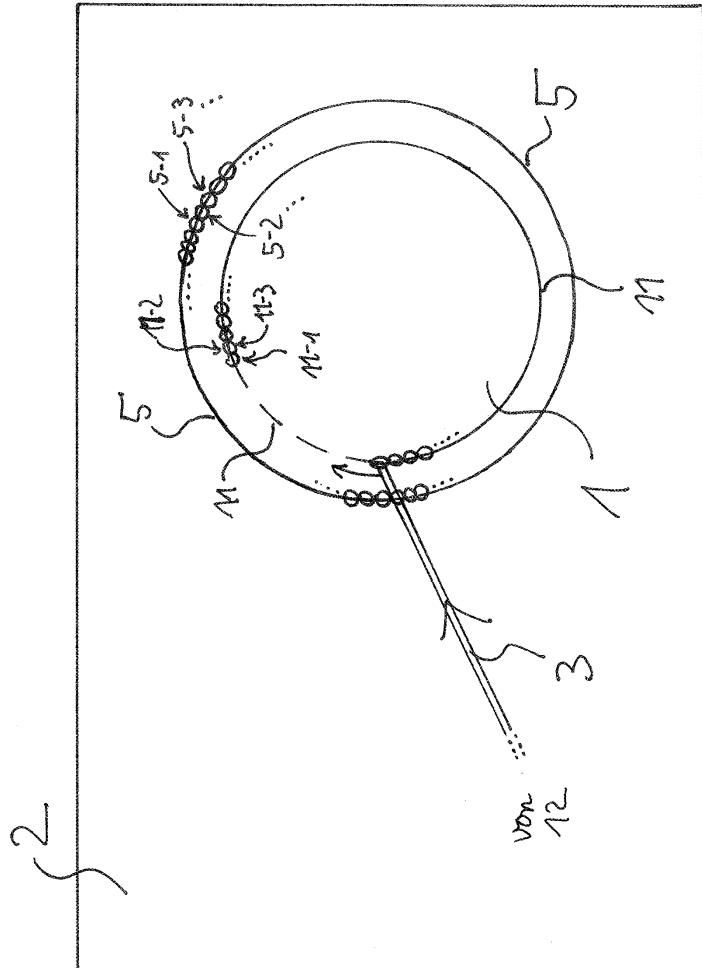
도면 5a

Schritt (α)



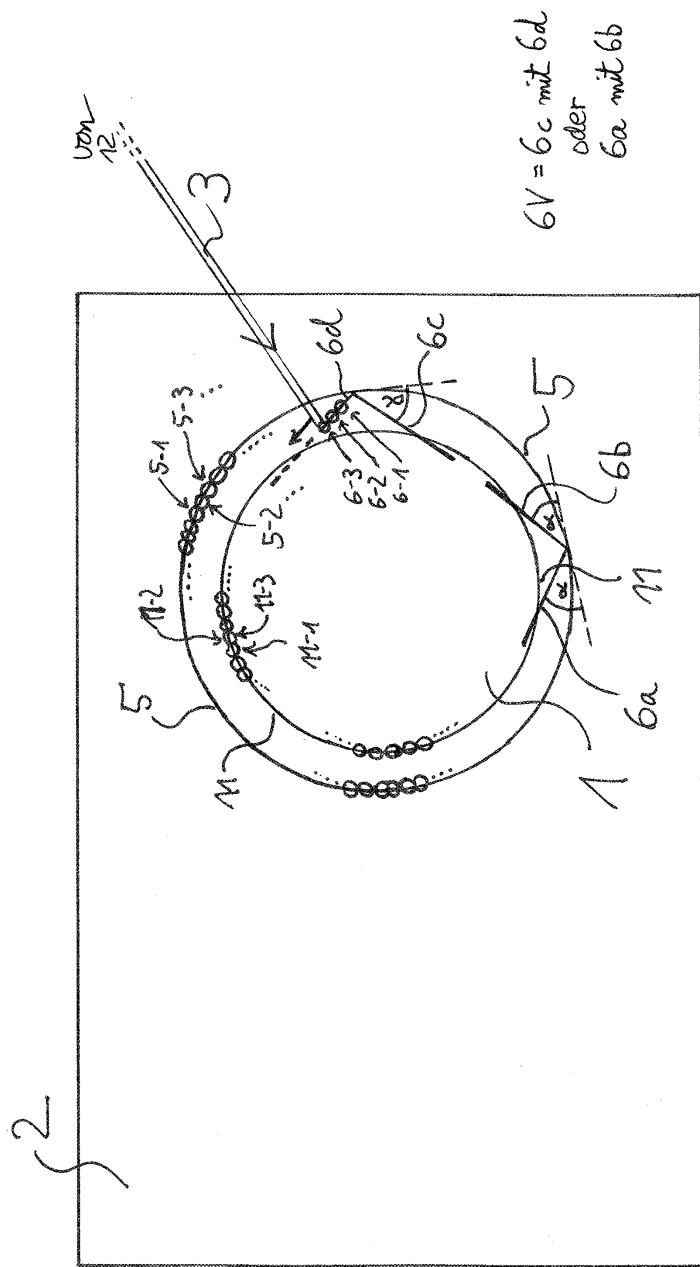
도면 5b

Schritt (d)



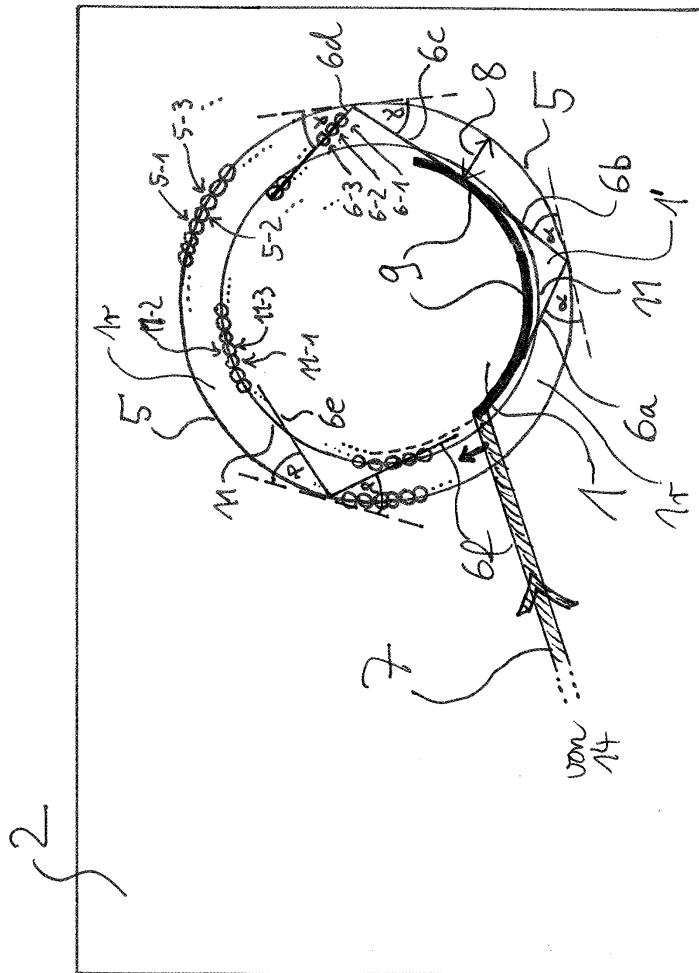
도면 5c

Schritt (b)



도면5d

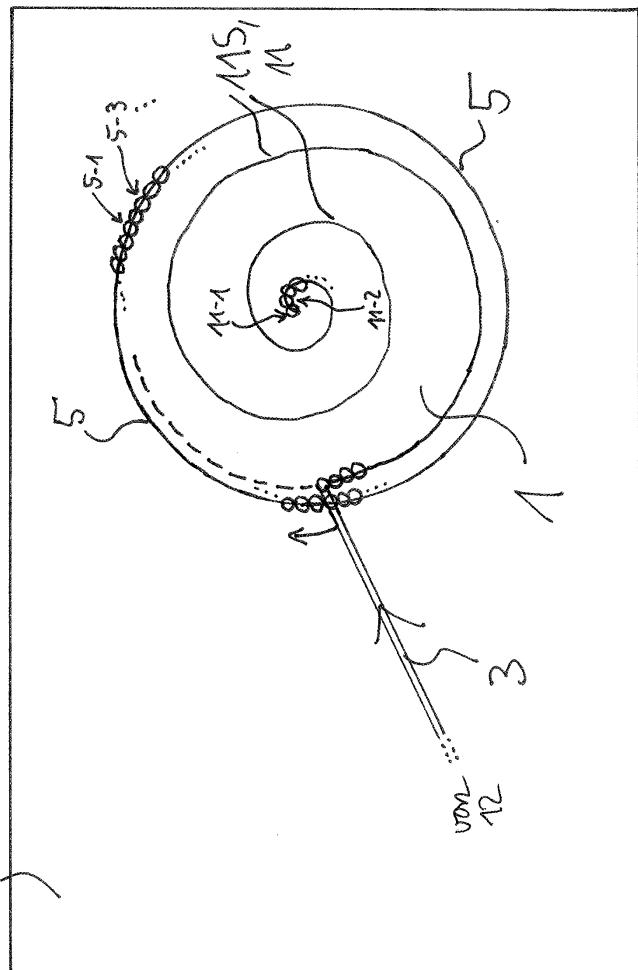
Schritt (c)



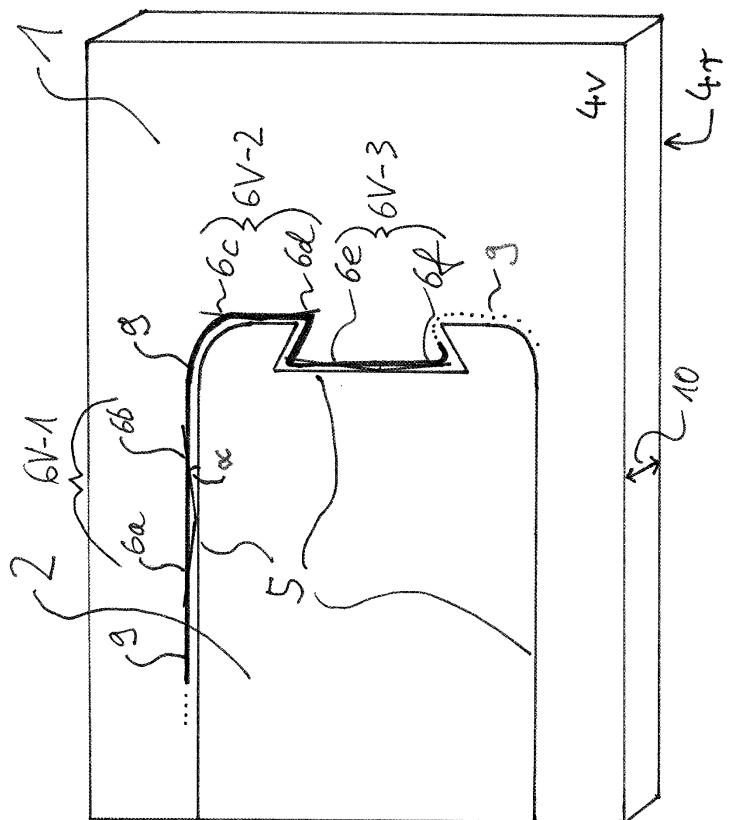
도면6

Schritt (d)

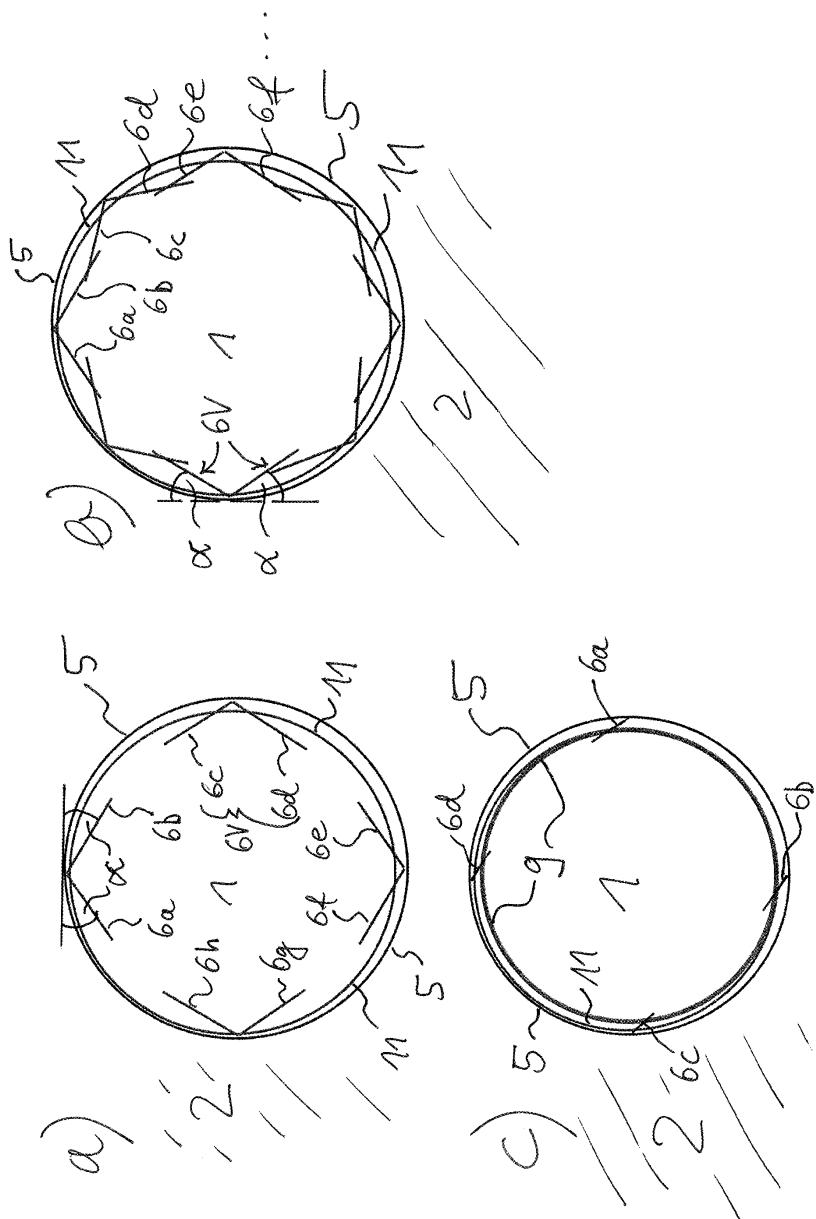
{2



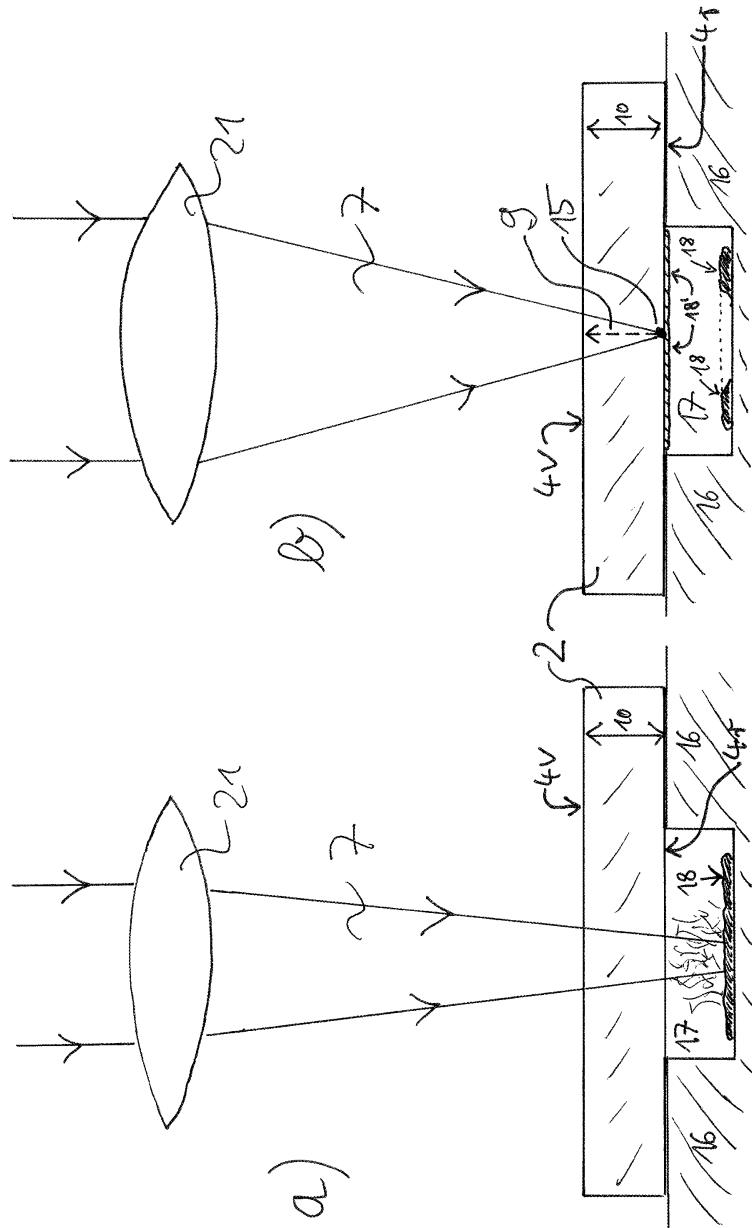
도면7



도면 8



도면9



도면10

