



등록특허 10-2230762



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월23일
(11) 등록번호 10-2230762
(24) 등록일자 2021년03월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/04 (2014.01) *B23K 26/00* (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01) *B23K 26/0622* (2014.01)
B23K 26/067 (2006.01) *B23K 26/073* (2006.01)
B23K 26/40 (2014.01) *C03B 33/02* (2006.01)
C03B 33/09 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B23K 26/04 (2013.01)
B23K 26/0006 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7022064
- (22) 출원일자(국제) 2014년01월14일
심사청구일자 2018년12월26일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월13일
- (65) 공개번호 10-2016-0010396
- (43) 공개일자 2016년01월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2014/000035
- (87) 국제공개번호 WO 2014/111794
국제공개일자 2014년07월24일

- (30) 우선권주장
61/752,489 2013년01월15일 미국(US)
13151296 2013년01월15일 유럽특허청(EPO)(EP)

(56) 선행기술조사문헌

JP2006130691 A*
KR1020100120297 A*

JP2005288503 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 38 항

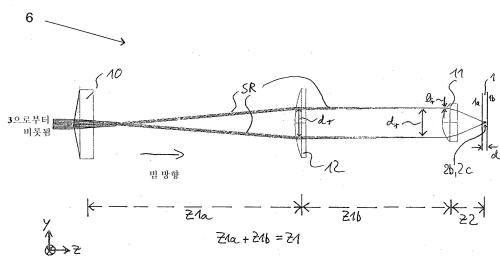
심사관 : 우귀애

(54) 발명의 명칭 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법 및 디바이스

(57) 요약

기판을 다수의 부분들로 분리시키기 위해 (기판을 가공하는 레이저의 레이저 빔이 기판 상에 지향됨), 시트형 기판을 레이저로 기반하여 가공하는 방법은, 레이저의 광선들의 경로에 위치한 광 장치를 이용하여, 빔 방향을 따라 볼 시에, 뻗어나간 레이저 빔 초점 라인이 레이저 빔 (광 장치상으로 지향됨)으로부터 광 장치의 빔 출력 측 (뒷면에 계속)

대 표 도



면 상에 형성된 것을 특징으로 하며, 이때 상기 기판은 레이저 빔 초점 라인에 대해 위치되고, 그 결과 유도 흡수는 빔 방향으로 불 시에, 레이저 빔 초점 라인의 뺀음부를 따라 기판 내부에서 기판 물질에 만들어짐으로써, 물질 변형은 이러한 뺀음부를 따라 기판 물질에서 일어난다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/0613 (2013.01)

B23K 26/0624 (2015.10)

B23K 26/0648 (2013.01)

B23K 26/0676 (2013.01)

B23K 26/0738 (2013.01)

B23K 26/40 (2013.01)

B23K 26/53 (2018.08)

C03B 33/0222 (2013.01)

C03B 33/091 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법에 있어서,

빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 펄스발생 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점을 맞추는 단계 - 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이 및 0.5 μm 내지 5 μm의 범위의 평균 스팟 직경 (δ)을 가짐 -; 및

상기 레이저 빔 초점 라인을, 상기 시트형 기판들에 대한 물질의 표면에 대한 입사 각도로, 상기 물질에 지향시키는 단계 - 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에 유도 흡수 (induced absorption)를 발생시키고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 냄 -;을 포함하며,

상기 레이저 빔은 복수의 펄스들을 포함하는 버스트 펄스를 발생시키고,

상기 레이저 빔의 펄스 기간 (τ)은, 상기 펄스 기간 (τ), 상기 평균 스팟 직경 (δ) 및 상기 물질의 열 확산 상수 (a)가 $\tau \ll \delta^2/a$ 에 따라 설정되도록 선택되며, 상기 펄스 기간 (τ)은 10 ns 미만인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 방법은, 상기 물질 및 상기 레이저 빔을 서로에 대해 이동시킴으로써, 상기 물질 내에서 복수의 물질 변형들이 만들어지도록 하는 단계를 더 포함하며,

상기 물질 변형들은, 상기 물질이 적어도 2 개의 부분들로 분리되도록, 이격되는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 레이저 빔은 상기 물질에서 측정된 평균 레이저 에너지를 400 μJ 미만으로 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 레이저 빔은 상기 물질에서 측정된 평균 레이저 에너지를 250 μJ 미만으로 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 레이저 빔은 10 피코초보다 크고 100 피코초보다 작은 범위에 속하는 펄스 기간을 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 레이저 범의 펄스 반복 빈도는 10 kHz 내지 1000 kHz의 범위에 속하는, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 펄스 반복 빈도는 10 kHz 내지 100 kHz의 범위에 속하는, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 물질은 유리인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 11

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 물질은 사파이어인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 12

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 물질은 반도체 웨이퍼인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 13

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 물질 변형은 균열 형성인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 14

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 레이저 범 초점 라인의 입사 각도는 상기 물질의 표면에 대해 법선에 대해 45도 이하인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 15

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 레이저 범 초점 라인의 입사 각도는 상기 물질의 표면에 대해 수직인, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 레이저 범 초점 라인은 상기 물질 내에 전체적으로 포함되며, 그리고 상기 레이저 범 초점 라인은 상기 물질의 표면으로 뻗어나가지 않은, 레이저 범 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 물질 변형은 상기 물질 내에서, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 적어도 하나로 뻗어나가는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 18

청구항 15에 있어서,

상기 물질 변형은, 상기 물질의 전체 두께에 걸쳐, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 하나로부터 상기 2 개의 마주하는 표면들 중 다른 하나까지, 상기 물질 내에서 뻗어나가는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 19

청구항 15에 있어서,

각각의 레이저 펄스에 대해, 상기 물질 변형은, 상기 물질의 전체 두께에 걸쳐, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 하나로부터 상기 2 개의 마주하는 표면들 중 다른 하나까지, 상기 물질 내에서 뻗어나가는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 20

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 펄스발생 레이저 빔은 선택된 파장을 가짐으로써, 상기 물질은 상기 파장에 실질적으로 투명한, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 21

청구항 20에 있어서,

상기 파장은 $1.8 \mu\text{m}$ 미만인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 방법.

청구항 22

삭제

청구항 23

레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템에 있어서,

펄스발생 레이저; 및

상기 레이저의 빔 경로에 위치한 광 조립체 - 상기 광 조립체는 빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 상기 광 조립체의 빔 발생 측면 상에서 상기 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인으로 변형시키도록 구성됨 -;을 포함하며,

상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm 의 범위의 길이 및 $0.5 \mu\text{m}$ 내지 $5 \mu\text{m}$ 의 범위의 평균 스팟 직경 (δ)을 가지고,

상기 광 조립체는 상기 레이저 빔 초점 라인을 발생시키도록 구성된 구면 수차를 가진 초점 광 소자를 포함하며,

상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 시트형 기판들에 대한 물질 내에서 유도 흡수를 발생시키는데 적합하고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 내며,

상기 레이저 빔은 복수의 펄스들을 포함하는 버스트 펄스를 발생시키고,

상기 레이저 빔의 펄스 기간 (τ)은, 상기 펄스 기간 (τ), 상기 평균 스팟 직경 (δ) 및 상기 물질의 열 확산 상수 (α)가 $\tau \ll \delta^2 / \alpha$ 에 따라 설정되도록 선택되며, 상기 펄스 기간 (τ)은 10 ns 미만인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 24

청구항 23에 있어서,

상기 레이저 빔은 상기 물질에서 측정된 평균 레이저 에너지를 $400 \mu\text{J}$ 미만으로 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 25

청구항 24에 있어서,

상기 레이저 빔은 상기 물질에서 측정된 평균 레이저 에너지를 $250 \mu\text{J}$ 미만으로 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 26

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저 빔은 10 피코초보다 크고 100 피코초보다 작은 범위에 속하는 펄스 기간을 가지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 27

삭제

청구항 28

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저 빔의 펄스 반복 빈도는 10 kHz 내지 1000 kHz의 범위에 속하는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 29

청구항 28에 있어서,

상기 펄스 반복 빈도는 10 kHz 내지 100 kHz의 범위에 속하는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 30

삭제

청구항 31

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 조립체는 상기 초점 광 소자 앞에 상기 레이저의 빔 경로에 위치된 환형 개구를 포함하고,

상기 환형 개구는 상기 레이저 빔의 중앙에서 하나 이상의 광선들을 차단시키도록 구성되고, 그 결과 상기 중앙의 외부에 주변 광선들만이 상기 초점 광 소자 상에 입사함으로써, 상기 빔 방향을 따라 볼 시에 단일 레이저 빔 초점 라인만이 상기 펄스발생 레이저 빔의 각각의 펄스에 대해 만들어지는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 32

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 초점 광 소자는 구형으로 절단된 볼록 렌즈인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 33

청구항 32에 있어서,

상기 초점 광 소자는 비-구형 자유 표면을 가진 원뿔형 프리즘인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 34

청구항 33에 있어서,

상기 원뿔형 프리즘은 액시콘인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 35

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 조립체는 제 2 광 소자를 더 포함하며, 상기 초점 광 소자 및 상기 제 2 광 소자는, 상기 레이저 빔 초점 라인이 상기 제 2 광 소자로부터 떨어진 거리에서 상기 제 2 광 소자의 빔 발생 측면 상에서 발생되도록, 위치 및 정렬되는, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 36

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨尔斯발생 레이저 빔은 선택된 파장을 가짐으로써, 상기 물질은 상기 파장에 실질적으로 투명한, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 37

청구항 36에 있어서,

상기 파장은 $1.8 \mu\text{m}$ 미만인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 38

삭제

청구항 39

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물질은 유리인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 40

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물질은 사파이어인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 41

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물질은 반도체 웨이퍼인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 42

청구항 23 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물질 변형은 균열 형성인, 레이저 빔 초점 라인을 사용하여 시트형 기판들을 레이저 기반으로 가공하는 시스템.

청구항 43

적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 있어서,

상기 표면은 상기 표면을 따라 상기 유리 물품의 물질에 대한 복수의 물질 변형들을 가지고,

각각의 물질 변형은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가지며, 그리고 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위의 평균 직경을 가지고,

상기 물질 변형은 펄스발생 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점을 맞춰 만들어지고, 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이 및 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위의 평균 스팟 직경 (δ)을 가지고, 상기 레이저 빔은 복수의 펄스들을 포함하는 버스트 펄스를 발생시키고,

상기 레이저 빔의 펄스 기간 (τ)은, 상기 펄스 기간 (τ), 상기 평균 스팟 직경 (δ) 및 상기 물질의 열 확산 상수 (a)가 $\tau \ll \delta^2/a$ 에 따라 설정되도록 선택되며, 상기 펄스 기간 (τ)은 10 ns 미만인, 유리 물품.

청구항 44

적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 있어서,

상기 표면은 상기 표면을 따라 상기 유리 물품의 물질에 대한 복수의 물질 변형들을 가지고,

각각의 물질 변형은 바로 이웃하는 물질 변형들의 평균 거리 (a) 및 상기 물질 변형들이 생성된 레이저 빔 초점 라인의 평균 스팟 직경 (δ)의 비율 $V3 = a/\delta$ 을 가지고, 상기 비율은 2.0이고,

상기 물질 변형은 펄스발생 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점을 맞춰 만들어지고, 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이 및 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위의 평균 스팟 직경 (δ)을 가지고, 상기 레이저 빔은 복수의 펄스들을 포함하는 버스트 펄스를 발생시키고,

상기 레이저 빔의 펄스 기간 (τ)은, 상기 펄스 기간 (τ), 상기 평균 스팟 직경 (δ) 및 상기 물질의 열 확산 상수 (a)가 $\tau \ll \delta^2/a$ 에 따라 설정되도록 선택되며, 상기 펄스 기간 (τ)은 10 ns 미만인, 유리 물품.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 35 U.S.C. § 119 하에, 2013년 1월 15일에 출원된 미국 가출원 제61/752,489호, 35 U.S.C. § 119 또는 365 하에, 2013년 1월 15일에 출원된 유럽 출원 제EP 13 151 296호에 대한 우선권 주장 출원이며, 상기 출원의 내용은 전체적으로 참조로서 본원에 병합된다.

[0003] 본원은, 일반적으로, 시트형 기판들 (sheet-like substrates)을 바람직하게 레이저 기반으로 가공하는 방법 및 해당 디바이스에 관한 것이며, 그리고 예를 들면 반도체 웨이퍼들, 유리 소자들, … (특히 깨지기 쉬운 물질들) 등의 시트형 기판들을 다수의 부분들로 분리 (개별적으로 웨이퍼들 또는 유리 소자들 분리)시키는 방법들 및 디바이스들의 사용에 관한 것이다. 이하에서 보다 상세하게 추가적으로 기술된 바와 같이, 이러한 경우에 작업은, 물질이 실질적으로 투명한 파장을 가진 레이저들, 일반적으로 펄스발생 레이저들을 사용하여 수행된다.

배경 기술

[0004] 레이저에 의해 상기와 같은 물질들을 분리하는 디바이스들 및 방법들은 이미 종래 기술로부터 알려져 있다. 한편으로는 (예를 들면 DE 10 2011 000 768 A1), 파장 또는 파워로 인해, 물질에 강하게 흡수되거나, 또는 첫 번째 상호 작용이 물질을 강하게 흡수하도록 한 후에 (예를 들면, 전하 캐리어들의 발생으로 가열; 유도 흡수), 물질을 삭마할 수 있는 레이저들을 사용하는 것이 가능하다. 이러한 방법은 다수의 물질들의 경우에 단점을 가진다: 예를 들면, 삭마될 시에 입자 형성으로 인한 불순물 발생; 절단된 에지들은 열 입력으로 인해 마이크로 균열들을 가질 수 있음; 절단된 에지들은 용융된 에지를 가질 수 있음; 절단 캡은 물질 두께에 걸쳐 균일하지 않음 (서로 다른 깊이로 서로 다른 폭을 가짐; 예를 들면 쇄기 형상의 절단 노치). 물질이 기화되거나 액화되어야 하기 때문에, 높은 평균 레이저 파워가 제공되어야 한다.

- [0005] 다른 한편으로는, 특별하게 유도된 레이저-유도 균열 형성을 기반으로 하여 기능하는 깨지기 쉬운 물질들을 절단하는 공지된 레이저 방법들이 존재한다. 예를 들면, 표면 상의 트레이스 (trace)가 레이저에 의해 먼저 강하게 가열되고, 그 바로 이후에 이러한 트레이스는 빠르게 냉각되고 (예를 들면, 워터 제트 (water jet)에 의함), 이로 인해 열 응력들이 균열 형성 (물질을 절단하기 위해, 물질의 두께를 통해 전파될 수 있음 (기계적 응력))을 일으키도록 달성되는 Jenoptik의 방법이 있다.
- [0006] 물질이 대부분 투명한 과장에서 레이저가 사용되어, 초점이 물질 내부에 만들어질 수 있는 방법들 역시 있다. 레이저 세기는, 조사된 기판의 물질에서 내부 손상이 이러한 내부 초점에 일어나도록 강해야 한다.
- [0007] 마지막에 언급된 방법들은, 유도 균열 형성이 특정 깊이에서 한 지점의 형태를 하여 일어나거나 또는 표면 상에서 일어나고, 이로써, 물질의 전체 두께가 추가적인, 기계적이고 그리고/또는 열적인 유도 균열 전파에 의해 단지 절단된다는 단점을 가진다. 균열들이 평탄하지 않게 퍼지는 경향이 있기 때문에, 분리 표면은 일반적으로 매우 거칠고, 자주 재작업을 하여야 한다. 게다가, 동일한 공정이 서로 다른 깊이들에서 적용되도록 많은 시간이 소모된다. 이는 결과적으로 해당하는 많은 일로 인해, 공정 속도를 느리게 한다.
- [0008] 본원에서 인용된 임의의 참조가 종래 기술을 구성하는 승인 사항은 이루어져 있지 않다. 출원인은 임의의 인용 문헌들의 정확성 및 적합성에 대해 도전하기 위한 권리를 명확히 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 그러므로, 본 발명의 목적은 시트형 기판들, 특히 깨지기 쉬운 물질들이 가공될 수 있는, 특히 현저한 입자 형성 없이, 현저한 용융 에지들 없이 (상기 에지에서 최소의 균열 형성을 가짐), 현저한 절단 갭들 (cutting gaps) 없이 (다시 말해 손실 없이), 가능하다면 가장 일직선으로 절단된 에지들로, 그리고 높은 공정 속도로 완전하게 절단될 수 있는 방법 (및 해당 디바이스)를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본원의 일 실시예는 빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 펄스발생 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점을 맞추는 단계 (상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가짐), 및 상기 레이저 빔 초점 라인을, 물질의 표면에 대한 입사 각도로, 상기 물질에 지향시키는 단계 (상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에 유도 흡수 (induced absorption)를 발생시키고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 냄)를 포함하는 방법에 관한 것이다.
- [0011] 본원의 추가 실시예는 펄스발생 레이저 및 상기 레이저의 빔 경로에 위치한 광 조립체를 포함하는 시스템에 관한 것이며, 이때 상기 광 조립체는 빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 상기 광 조립체의 빔 발생 측면 (beam emergence side) 상에서 상기 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인으로 변형시키도록 구성되고, 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가지고, 상기 광 조립체는 상기 레이저 빔 초점 라인을 발생시킬 때 구성된 구면 수차 (spherical aberration)를 가진 초점 광 소자를 포함하며, 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에서 유도 흡수를 발생시키는데 적합하고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 낸다.
- [0012] 본원의 또 다른 실시예는 적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 관한 것이며, 이때 상기 표면은 상기 표면을 따라 복수의 물질 변형들을 가지고, 각각의 물질 변형은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가지고, 그리고 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위의 평균 직경을 가진다. 본원의 여전히 또 다른 실시예는 적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 관한 것이며, 상기 표면은 상기 표면을 따라 복수의 물질 변형들을 가지고, 각각의 물질 변형은 바로 이웃하는 물질 변형들의 평균 거리 (a) 및 상기 물질 변형들이 생성된 레이저 빔 초점 라인의 평균 직경 (δ)의 비율 $V3 = a/\delta$ 을 가지고, 상기 비율은 대략 2.0이다.

- [0013] 추가 특징들 및 이점들은 다음의 상세한 설명에서 설명될 것이며, 다음의 설명은 기술 분야의 통상의 기술자에게 있어 부분적으로 손쉽게 명확해지거나, 또는 첨부된 도면뿐만 아니라, 기재된 설명 및 청구항에 기술된 바와 같이, 실시예들을 실시함으로써 인지될 것이다.

- [0014] 이해할 수 있는 바와 같이, 상술된 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 둘 다는 단지 예시일뿐이며, 청구항의 특성 및 특징을 이해시키기 위한 개요 또는 틀을 제공하는 것으로 의도된다.

[0015]

첨부된 도면들은 추가 이해를 제공하기 위해 포함되고, 이러한 명세서의 일부에 병합되고 상기 일부를 구성한다. 도면은 다양한 실시예들의 원리 및 동작을 설명하기 위해 제공하는 기술 내용과 함께, 하나 이상의 실시예(들)을 예시한다.

도면의 간단한 설명

[0016]

도 1은 열 확산 상수 (α), 물질 내의 선형 크기 (본원에서 d 로 명시된 스케일 길이), 및 예를 들면 다양한 물질들에 대한 레이저 펄스 기간 등의 시간 구간 (τ) 간의 관계를 도시한다.

도 2는, 초점 라인을 따른 유도 흡수에 기반하여, 초점 라인의 위치 선정의 원리, 다시 말해, 레이저 파장에 투명한 물질의 가공을 도시한다.

도 3a은 본원에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있는 제 1 광 장치를 도시한다.

도 3b는 기판에 대한 레이저 빔 초점 라인의 서로 다른 위치 선정에 의해, 기판을 가공하는, 가능한 한 다양한 방식들을 도시한다.

도 4는 본원에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있는 제 2 광 장치를 도시한다.

도 5a 및 5b는 본원에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있는 제 3 광 장치를 도시한다.

도 6은 본원에서 기술된 실시예들에 사용될 수 있는 제 4 광 장치를 도시한다.

도 7은 도 3a로부터의 사용가능한 제 1 광 장치의 예시에서 방법을 수행하는 설정을 도시한다 (이러한 광 장치 대신에, 도 7에 도시된 광 장치 (6)가 이러한 장치들 중 하나와 교체된다는 점에서, 도 4, 5 및 6에 도시된 추가 광 장치들 역시 도시된 장치의 권리 범위 내에서 사용될 수 있음).

도 8은 상세하게 초점 라인의 생성을 도시한다.

도 9는 본원에서 기술된 바와 같이, 가공된 유리 시트의 표면 (기판 평면의 평면도)의 마이크로그래프를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017]

다양한 실시예들은 다음 예시에 의해 더욱 명확해질 것이다.

[0018]

본원의 일 실시예는 빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 펄스발생 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점을 맞추는 단계 (상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가짐), 및 상기 레이저 빔 초점 라인을, 물질의 표면에 대한 입사 각도로, 상기 물질에 지향시키는 단계 (상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에 유도 흡수를 발생시키고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 냄)를 포함하는 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, 상기 물질 및 상기 레이저 빔을 서로에 대해 이동시킴으로써, 상기 물질 내에서 복수의 물질 변형들이 만들어지도록 하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 물질 변형들은, 상기 물질이 적어도 2 개의 부분들로 분리되도록, 이격된다. 상기 레이저 빔은 상기 물질에서 측정된 평균 레이저 에너지를 약 400 μJ 미만, 예를 들면 약 250 μJ 미만으로 가질 수 있다. 펄스 기간 (pulse duration)은 약 10 피코초보다 크고 약 100 피코초보다 작은 범위, 또는 10 피코초 미만의 범위에 속 한다. 펄스 반복 빈도 (pulse repetition frequency)는 10 kHz 내지 1000 kHz의 범위에, 예를 들면, 10 kHz 내지 100 kHz의 범위에, 또는 10 kHz 미만의 범위에 속할 수 있다. 상기 물질은 유리, 사파이어, 반도체 웨이퍼 등일 수 있다. 물질 변형은 균열 형성일 수 있다. 상기 레이저 빔 초점 라인의 입사 각도는 상기 물질의 표면에 대한 법선에 대해 45도 이하일 있고, 예를 들면 상기 물질의 표면에 대해 수직일 수 있다. 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에 전체적으로 포함될 수 있으며, 그리고 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질의 표면으로 뻗어나가지 않는다. 상기 물질 변형은 상기 물질 내에서, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 하나로 뻗어나갈 수 있고, 예를 들면, 상기 물질의 전체 두께에 걸쳐, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 하나로부터 상기 2 개의 마주하는 표면들 중 다른 하나까지, 상기 물질 내에서 뻗어나갈 수 있다. 특히, 각각의 레이저 펄스에 대해, 상기 물질 변형은, 상기 물질의 전체 두께에 걸쳐, 상기 물질의 2 개의 마주하는 표면들 중 하나로부터 상기 2 개의 마주하는 표면들 중 다른 하나까지, 상기 물질 내에서 뻗어나갈 수 있다. 펄스발생 레이저 빔은 선택된 파장을 가짐으로써, 상기 물질은 상기 파장에 실질적으로 투명할 수 있다. 상기 파장은 약 1.8 μm 미만일 수 있다. 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.5 μm 내지 5 μm 의 범위의 평균 스팟 직경을 가질 수 있다.

[0019]

본원의 추가 실시예는 펠스발생 레이저 및 상기 레이저의 빔 경로에 위치한 광 조립체를 포함하는 시스템에 관한 것이며, 이때 상기 광 조립체는 빔 전파 방향을 따라 볼 시에, 상기 광 조립체의 빔 발생 측면 상에서 상기 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인으로 변형시키도록 구성되고, 상기 레이저 빔 초점 라인은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가지고, 상기 광 조립체는 상기 레이저 빔 초점 라인을 발생시키도록 구성된 구면 수차를 가진 초점 광 소자를 포함하며, 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 물질 내에서 유도 흡수를 발생시키는데 적합하고, 상기 유도 흡수는 상기 물질 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라 물질 변형을 만들어 낸다. 상기 시스템에 대한 상기 레이저 에너지, 펠스 기간, 펠스 반복 빈도, 파장, 초점 라인 직경, 물질, 및 물질 변형은 상기 방법에 대해 상술된 것과 같을 수 있다. 상기 광 조립체는 상기 초점 광 소자 앞에 상기 레이저의 빔 경로에 위치된 환형 개구를 포함할 수 있고, 상기 환형 개구는 상기 레이저 빔의 중앙에서 하나 이상의 광선들을 차단시키도록 구성되고, 그 결과 상기 중앙의 외부에 주변 광선들만이 상기 초점 광 소자 상에 입사함으로써, 상기 빔 방향을 따라 볼 시에 단일 레이저 빔 초점 라인만이 상기 펠스발생 레이저 빔의 각각의 펠스에 대해 만들어진다. 상기 초점 광 소자는 구형으로 절단된 볼록 렌즈, 예를 들면, 액시콘(axicon) 등의 비-구형 자유 표면을 가진 원뿔형 프리즘일 수 있다. 상기 광 조립체는 제 2 광 소자를 더 포함할 수 있으며, 상기 2 개의 광 소자들은, 상기 레이저 빔 초점 라인이 상기 제 2 광 소자로부터 떨어진 거리에서 상기 제 2 광 소자의 빔 발생 측면 상에서 발생되도록, 위치 및 정렬된다.

[0020]

본원의 또 다른 실시예는 적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 관한 것이며, 이때 상기 표면은 상기 표면을 따라 복수의 물질 변형들을 가지고, 각각의 물질 변형은 0.1 mm 내지 100 mm의 범위의 길이를 가지고, 그리고 0.5 μm 내지 5 μm의 범위의 평균 직경을 가진다. 본원의 여전히 또 다른 실시예는 적어도 하나의 표면을 포함하는 유리 물품에 관한 것이며, 상기 표면은 상기 표면을 따라 복수의 물질 변형들을 가지고, 각각의 물질 변형은 바로 이웃하는 물질 변형들의 평균 거리 (a) 및 상기 물질 변형들이 생성된 레이저 빔 초점 라인의 평균 직경 (δ)의 비율 $V3 = a/\delta$ 을 가지고, 상기 비율은 대략 2.0이다.

[0021]

본원은 우선적으로 이하에서 일반적으로 기술되고, 그 후에, 여러 개의 대표 실시예들에 기반하여 상세하게 기술된다. 개별적인 대표 실시예들에서 서로 간의 조합에 도시된 특징들은 모두 실현될 필요는 없다. 특히, 개별적인 특징들은 또한 생략될 수 있거나, 또는 동일한 대표 실시예 또는 다른 대표 실시예들의 도시된 다른 특징들과 일부 다른 방식으로 결합될 수 있다. 본래의 하나의 대표 실시예의 개별적인 특징들이 종래 기술의 이점을 가진 개량을 나타내는 것 역시 가능하다.

[0022]

기판을 개별적인 부분들로 분리하는 메커니즘은 우선 이하에서 기술된다.

[0023]

분리 방법은 적합한 레이저 광학기 (이하에서, 광 장치라고도 언급함)에 의해 레이저 초점 라인 (초점과는 별개의 것임)을 각각의 레이저 펠스에 대해 만들어 낸다. 상기 초점 라인은 기판의 물질과 레이저 사이의 상호 작용의 존 (zone)을 결정한다. 초점 라인이 분리될 물질에 있는 경우, 레이저 파라미터들은, 초점 라인을 따라 균열 존을 만들어 내는 물질과의 상호 작용이 일어나도록 선택될 수 있다. 본원에서 중요한 레이저 파라미터들은 레이저의 파장, 레이저의 펠스 기간, 레이저의 펠스 에너지, 및 가능하다면 추가로 레이저의 편광이다.

[0024]

다음의 것은 물질과의 레이저 광의 상호 작용을 위해 바람직하게 제공되어야 한다:

[0025]

1) 레이저의 파장 (1)은 바람직하게 선택되고, 그 결과 물질은 실질적으로 이러한 파장에 투명하다 (특별하게 예를 들면: 물질 깊이의 mm당 흡수 $\ll 10\% \Rightarrow \chi \ll 1/cm$; χ : Lambert-Beer 흡수 계수).

[0026]

2) 레이저의 펠스 기간은, 상호 작용의 존 외부로의 현저한 열 이동 (열 확산)이 상호 작용의 시간 내에서 일어날 수 있도록 바람직하게 선택된다 (특별하게, 예를 들면: $\tau \ll d^2/a$, d : 초점 직경, τ : 레이저 펠스 기간, a : 물질의 열 확산 상수).

[0027]

3) 레이저의 펠스 에너지는, 상호 작용의 존, 다시 말해 초점 라인에서의 세기가 초점 라인을 따라 물질의 국부적인 가열이 일어나도록 하는 유도 흡수를 만들어내고, 이는 결과적으로 물질 내로 도입되는 열 응력의 결과로서, 초점 라인을 따라 균열 형성을 일으키도록, 바람직하게 선택된다.

[0028]

4) 레이저의 편광은 표면 (반사율)에서의 상호 작용 및 유도 흡수에서의 물질 내의 상호 작용의 타입 둘 다에 영향을 준다. 유도 흡수는, 열 자극 (thermal excitation) 이후에 유도된 자유 전하 캐리어들 (통상적으로, 전자들)에 의해, 또는 다광자의 흡수 및 내부 광이온화에 의해, 또는 직접적인 전계 이온화 (direct field ionization) (광의 전계 강도가 전자 결합을 직접적으로 파괴함)에 의해 일어날 수 있다. 전하 캐리어들의 발생 타입은 예를 들면 소위 Keldysh 파라미터 방식으로 평가될 수 있지만, 상기 파라미터 방식은 적용 방법에 대해서는 어떠한 역할도 하지 못한다. 소정의 물질들 (예를 들면, 복굴절 물질들)의 경우에, 레이저 광의 추가

적인 흡수/전달이 편광에 의존하고, 결과적으로 적합한 광학기들 (위상판들) (phase plates)에 의한 편광이 예를 들면, 발견적인 방식 (heuristic way)으로 간단하게 각각의 물질을 분리시기에 도움이 되도록 사용자에 의해 선택되어야 한다는 점이 매우 중요할 수 있다. 그러므로, 물질이 광학적으로 등방성이 아니라 예를 들면 복굴절을 가진 경우, 물질에서의 레이저 광의 전파는 또한 편광에 의해 영향을 받게 된다. 이로써, 편광 및 상기 편광 벡터의 배향은, 원한다면, 2 개 (일반적이고 기이한 광선들)가 아니라, 단지 하나의 초점 라인이 형성되도록 선택될 수 있다. 광학적으로 등방성의 물질들의 경우에서, 이는 어떠한 역할도 하지 못한다.

[0029] 5) 더욱이, 세기는 펄스 기간, 펄스 에너지 및 초점 라인 직경에 기반하여 선택되어야 하고, 그 결과 바람직하게 현저한 삭마 또는 현저한 용융이 아니라, 바람직하게, 고체의 마이크로구조체에 단지 균열 형성이 있다. 유리 또는 투명한 결정체들 등의 통상적인 물질들에 대해서, 이러한 요건은 서브-나노초 범위에서의 펄스발생 레이저들로, 다시 말해 특히 예를 들면, 10 내지 100 ps의 펄스 기간들로, 매우 손쉽게 만족될 수 있다. 이에 대해서, 도 1을 역시 참조한다: 예를 들면 유리를 등의 형편없는 열 전도체들에 있어, 대략 일 마이크로미터 (0.5 내지 5.0 마이크로미터, 이미지 중앙 비교)의 스케일 길이에 걸쳐, 열 전도는 서브-마이크로초 범위에서 작동하는 반면 (2 개의 라인들 사이의 범위 참조), 우수한 열 전도체들, 예를 들면, 결정체들 및 반도체들에 있어서, 열전도는 나노초 내에서 이미 유효하다.

[0030] 물질 내의 균열 형성 발생, 및 기판 평면에 대해 수직으로 뻗어나가도록 하는 기본적인 공정은 물질의 구조 강도 (압축 강도, MPa)를 초과하는 기계적 응력이다. 기계적 응력은 레이저 에너지에 의해 고속이고 불균등질의 열 (열적으로 유도된 응력)로 의해 본원에서 달성된다. 초점 라인 (이하 참조)에 대해 기판의 적당한 위치 설정을 예상해 보면, 균열 형성은 물론 기판 표면에서 시작되는데, 이는 그곳이 변형이 가장 크기 때문이다. 이에 대한 이유는, 표면 상의 반-공간 (half-space)에는 힘을 흡수할 수 있는 물질이 없기 때문이다. 이러한 주장은 또한, 경화되거나 단단하게 된 층의 두께가 초점 라인을 따라 갑작스럽게 가열된 물질의 직경과 비교하여 큰 한, 경화되거나 단단하게 된 표면들을 가진 물질들에 적용될 수 있다. 이에 대해서는 또한 2를 참조하고, 이하에서 더 기술된다.

[0031] 상호 작용의 타입은 플루엔스 (fluence) (cm^2 당 Joules의 에너지 밀도) 및 선택된 초점 라인 직경을 가진 레이저 펄스 기간 방식으로 설정될 수 있고, 그 결과 바람직하게 1.) 현저한 용융이 표면에서 또는 체적에서 일어나지 않으며, 그리고 2.) 입자 형성을 가진 현저한 삭마는 표면에서 일어나지 않는다. 실질적으로 투명한 물질들에서, 여러 타입의 유도 흡수가 알려져 있다:

[0032] a) (미량의 물질의 불순물들에 의해, 또는 레이저 가공 전의 온도로 열적으로 사전에 자극된 전하 캐리어들에 의해) 예를 들면 낮은 잔여 흡수에 기반하여, 밴드 갭이 낮은 반도체들 및 아이솔레이터들에서, 레이저 펄스 기간의 제 1 부분 내에 고속 가열은 추가적인 전하 캐리어들의 열적 자극을 만들고, 이는 결국 흡수가 증가하게 되며, 결과적으로 초점 라인에 레이저 흡수의 증가가 누적될 것이다.

[0033] b) 아이솔레이터들에서, 광 세기가 충분하게 높은 경우, 광 흡수는 물질의 원자들과의 비선형적인-광 상호 작용에 기반하여 이온화를 일으키며, 결국 자유 전하 캐리어들의 발생을 일으키며, 결과적으로, 레이저 광의 선형 흡수를 증가시킨다.

[0034] 원하는 분리 표면의 기하학적인 생성 (기판 표면 상의 일 라인을 따라 레이저 범과 기판 사이의 상대 이동)은 이하에서 기술된다.

[0035] 물질과의 상호 작용은, 각각의 레이저 펄스에 대해, 초점 라인을 따라 물질에서의 개별적이고, 연속적인 (기판 표면에 대해 수직 방향으로 볼 시) 균열 존을 만들어낸다. 물질의 완전한 절단을 위해, 각각의 레이저 펄스에 대해 일련의 이러한 균열 존들은 원하는 분리 라인을 따라 함께 근접하게 설정되어, 균열들의 측 방향 연결이 물질에서 원하는 균열 표면/윤곽을 만들어낸다. 이를 위해, 레이저는 특정 반복율로 펄스가 발생된다. 스팟 크기 및 공간은, 원하는 유도 균열 형성이 레이저 스팟들의 라인을 따라 표면에서 일어나도록 선택된다. 원하는 분리 표면을 따른 개별적인 균열 존들의 공간은 레이저 펄스 간의 시구간 내에서 물질에 대해 초점 라인의 이동으로부터 얻어진다. 이에 대해서, 도 9를 참조하며, 이하에서 더 기술된다.

[0036] 원하는 분리 표면을 물질에서 만들어 내기 위해, 펄스발생 레이저 광은 기판 평면에 평행하여 (가능하다면 기판 평면에 대해 수직으로도) 이동가능한 광 장치에 의해 고정 물질 상에서 이동될 수 있거나, 또는 물질 그 자체가 이동가능한 홀더와 함께 고정 광 장치를 지나도록 이동되어, 원하는 분리 라인이 형성된다. 표면에 대해 수직 이든, 또는 $90^\circ - \beta$ 의 각도이든, 물질 표면에 대한 초점 라인의 배향은 고정된 값으로 선택될 수 있거나, 피봇 가능한 광 장치 (이하에서 간단하게 광학기들로도 언급됨) 및/또는 원하는 분리 라인을 따른 레이저의 피봇 가능

한 뼘 경로에 의해 변화될 수 있다.

[0037] 전적으로, 원하는 분리 라인을 형성하기 위해, 초점 라인은 최대 5 개의 별개의 이동가능한 축들에서 물질을 통과할 수 있으며, 상기 5 개의 축들은: 초점 라인의 침투 점을 물질에 고정시키는 2 개의 공간 축들 (x , y), 초점 라인의 배향을 침투 점으로부터 물질에 고정시키는 2 개의 각도 축들 (세타, 파이), 및 표면에서 초점 라인이 침투 점으로부터 물질에 얼마나 깊이 도달했는지를 고정시키는 추가 공간 축 (z' , 반드시 x , y 와 직각일 필요는 없음)이다. 테카르트 좌표계 (x , y , z)에서 기하학적인 구조를 위해, 예를 들면, 이하에서 기술된 도 5a 및 6도 참조한다. 기판 표면 상의 레이저 뼘이 수직 입사한 경우 ($\beta = 0^\circ$)라면, $z=z'$ 이다.

[0038] 광학기들 및 레이저 파라미터들에 의해 나타난 일반적인 제한들이 본원에 있다: 세타 및 파이의 각도 배향은, 물질에서 레이저 광의 굴절이 허용되는 크기 (물질에서 전반사의 각도 미만)에서만 일어날 수 있으며, 그리고 레이저 초점 라인의 침투 깊이는 이용 가능한 레이저 펄스 에너지 및 이에 따라 선택된 레이저 광학기 (이용 가능한 레이저 펄스 에너지로 균열 존을 만들어 낼 수 있는 초점 라인의 길이만을 형성함)에 의해 제한된다.

[0039] 5 개의 축들 모두에서 초점 라인들을 이동시키는 한가지 가능한 구성은, 예를 들면 구동 축 테이블 상에 물질을 좌표들 (x , y)에서 이동시키면서, 갈보스캐너 (galvosscanner) 및 비-텔레센트릭 (non-telecentric) F-세타 렌즈에 의해, 초점 라인이 좌표들 (x' , y')에서 렌즈 중앙에 대해 렌즈의 필드에서 이동되고, 각도들 (세타, 파이)로 기울여지는 것을 포함할 수 있다. 좌표들 (x 및 x' , 및 y 및 y')은, 초점 라인이 물질 표면의 부딪힘의 원하는 지점에 지향되도록 계산될 수 있다. 갈보스캐너 및 F-세타 렌즈는 또한, 축 테이블의 x , y 평면에 대해 직각이고 물질에 대해 수직으로 초점 라인의 위치 (물질에서 초점 라인의 깊이)를 결정하는 z 축 상에 고정된다.

[0040] 기판을 다수의 부분들로 분리시키는 마지막 단계는 이하에서 기술된다 (분리 또는 개별적인 분리).

[0041] 만들어진 균열 표면/윤곽을 따른 물질의 분리는 물질의 내부 응력에 의해, 또는 도입된 힘들, 예를 들면, 기계적 (인장)이거나 열적 (고르지 않은 가열/냉각)인 힘들에 의해 일어난다. 바람직하게, 현저한 양의 물질이 삭마되지 않기 때문에, 일반적으로 물질에서 연속적인 갭은 처음에 존재하지 않지만, 매우 방해되는 균열 표면적 (マイクロ균열) (그 자체 내에서 메시화 (meshed)되고, 특정 상황에서는 여전하게 가교들에 의해 연결됨) 만이 존재한다. 차후에 도입되는 힘들은, 물질이 분리 표면을 따라 분리될 수 있도록, 남아있는 가교들을 분리시키고 즉 방향 균열 성장 (기판 평면에 평행하여 일어남)에 의해 메시화를 극복하는 효과를 가진다.

[0042] 방법 및 디바이스의 추가적인 실시예들은 이하에서 기술된다.

[0043] 일 실시예에서, 기판을 다수의 부분들로 분리시키기 위해, 바람직하게 시트형 기판 (1), 특히 웨이퍼 또는 유리 소자를 레이저 기반으로 가공하는 방법 (기판 (1)을 가공하는 레이저 (3)의 레이저 뼘 (2a, 2b)이 상기 기판 상에 지향됨)은, 레이저 (3)의 광선들의 경로에 위치된 광 장치 (6)를 이용하여, 뼘 방향을 따라 볼 시에, 뻗어나간 레이저 뼘 초점 라인 (2b)은 레이저 뼘 (2a) (빔 출력 측면 상으로 지향됨)으로부터 광 장치 (6)의 빔 출력 측면 상에 형성되며, 상기 기판 (1)은 레이저 뼘 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 유도 흡수는 레이저 뼘 초점 라인 (2b)의 뼘 방향을 따라 볼 시에, 뻗음부 (2c)를 따라 기판 (1)의 물질에서 만들어지게 되고, 이때 유도 균열 형성이 이러한 뻗음부 (2c)를 따라 기판의 물질에서 일어나는 효과가 얻어지는 것을 특징으로 한다.

[0044] 일부 실시예들에서, 기판 (1)은 레이저 뼘 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부 (2c)는 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 하나 (1a)로부터 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 다른 하나 (1b)까지 뻗어나가고, 다시 말해 기판 (1)의 전체 층 두께 (d)에 걸쳐 뻗어나가거나, 또는 기판 (1)은 레이저 뼘 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부 (2c)는 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 하나 (1a)로부터 뻗어나가지만, 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 다른 하나 (1b)까지는 뻗어나가지 않고, 다시 말해 기판 (1)의 전체 층 두께 (d)에 걸쳐 뻗어나가지 않고, 이러한 층 두께의, 바람직하게 80% 내지 98%에 걸쳐, 바람직하게 85 내지 95%에 걸쳐, 특히나 바람직하게 90%에 걸쳐 뻗어나간다.

[0045] 소정의 실시예들에서, 기판 (1)은 레이저 뼘 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부 (2c)는 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 하나 (1a)로부터 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 다른 하나 (1b)까지 뻗어나가고, 다시 말해 기판 (1)의 전체 층 두께 (d)에 걸쳐 뻗어나가거나, 또는 기판 (1)은 레이저 뼘 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부 (2c)는 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 하나 (1a)로부터 뻗어나가지만, 2 개의 마주하는 기판 표면들 중 다른 하나 (1b)까지는 뻗어나가지 않고, 다시 말해 기판 (1)의 전체 층 두께 (d)에 걸쳐 뻗어나가지 않고, 이러한 층 두께의, 바람직하게 80% 내지 98%에 걸쳐, 바람직하게 85 내지 95%에 걸쳐, 특히나 바람직하게 90%에 걸쳐 뻗어나간다.

[0046] 일부 실시예들에서, 유도 흡수는 만들어지게 되고, 그 결과 균열 형성은 기판 (1) 물질의 삭마 (ablation) 없이, 그리고 용융 없이, 기판 (1)의 마이크로구조체에서 일어난다.

- [0047] 소정의 실시예들에서, 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 크기 (1) 및/또는 부분 (2c)의 크기는, 빔의 길이 방향으로 각각 볼 시에, 0.1 mm 내지 100 mm, 바람직하게 0.3 mm 내지 10 mm이고, 그리고/또는 2 개의 마주하는 기판 표면들 (1a, 1b)에 대해 수직으로 측정된 기판 (1)의 총 두께 (d)는 30 μm 내지 3000 μm , 바람직하게 100 μm 내지 1000 μm 이고, 그리고/또는 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 이러한 크기 (1) 및 기판 (1)의 이러한 총 두께 (d)의 비율 $V1=l/d$ 은 10 내지 0.5, 바람직하게 5 내지 2이며, 그리고/또는 빔의 길이 방향으로 볼 시에, 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 부분 (2c)의 크기 (L), 및 빔의 길이 방향에 대해 횡 방향으로 볼 시에, 물질에서의, 다시 말해 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 부분 (2c)의 평균 크기 (D)의 비율 $V2=L/D$ 은 5 내지 5000이고, 바람직하게 50 내지 500이다.
- [0048] 일부 실시예들에서, 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 평균 직경 (δ), 다시 말해, 스팟 직경은 0.5 μm 내지 5 μm , 바람직하게 1 μm 내지 3 μm , 바람직하게 2 μm 이고, 그리고/또는 레이저 (3)의 펄스 기간 (τ)은, 기판 (1)의 물질과 상호 작용의 시간 내에서, 이러한 물질에서의 열 확산은 무시될 수 있고, 바람직하게 어떠한 열 확산도 일어나지 않도록 선택되며, 바람직하게, τ , δ 및 기판 (1)의 물질의 열 확산 상수 (a)는 $\tau \ll \delta^2/a$ 에 따라 설정되고, 그리고/또는 바람직하게 τ 는 10 ns 미만으로, 바람직하게 100 ps 미만으로 선택되고, 그리고/또는 레이저 (3)의 펄스 반복율은 10 kHz 내지 1000 kHz, 바람직하게 100 kHz이고, 그리고/또는 레이저 (3)는 단일-펄스 레이저 또는 버스트-펄스 (burst-pulse) 레이저로서 동작되고, 그리고/또는 레이저 (3) 빔의 출력 측면 상에 직접 측정된 평균 레이저 파워는 10 와트 내지 100 와트이고, 바람직하게 30 와트 내지 50 와트이다.
- [0049] 소정의 실시예들에서, 레이저 (3)의 파장 (λ)은, 기판 (1)의 물질이 이러한 파장에 대해 투명하도록 또는 실질적으로 투명하도록 선택되고, 후자는 침투 깊이의 밀리미터당 기판 (1)의 물질에서의 빔 방향을 따라 일어나는 레이저 빔 세기의 감소가 10% 이하인 것을 의미하는 것으로 이해하여야 하고, 이때 레이저는 특히 기판 (1)으로서 가시 파장 범위에 투명한 유리들 또는 결정체들에 대해, 바람직하게 1064 nm의 파장 (λ)을 가진 Nd:YAG 레이저, 또는 1030 nm의 파장 (λ)을 가진 Y:YAG 레이저, 또는 특히 적외선 파장 범위에 투명한 반도체 기판들 (1)에 대해, 바람직하게 1.5 μm 내지 1.8 μm 의 파장 (λ)을 가진 Er:YAG 레이저이다.
- [0050] 일부 실시예들에서, 레이저 빔 (2a, 2b)은 기판 (1) 상으로 수직으로 지향되고, 그러므로 기판 (1)은 레이저 빔 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 뻗음부 (2c)를 따라 유도 흡수가 기판 평면에 대해 수직으로 일어나거나, 또는 레이저 빔 (2a, 2b)이 기판 (1) 평면에 대해 수직으로 0° 보다 큰 각도 (β)로 기판 (1) 상으로 지향되고, 그러므로 기판 (1)은 레이저 빔 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 뻗음부 (2c)를 따른 유도 흡수는 기판 평면에 대해 각도 ($90^\circ - \beta$)로 일어나고, 바람직하게 $\beta \leq 45^\circ$, 바람직하게 $\beta \leq 30^\circ$ 이다.
- [0051] 소정의 실시예들에서, 레이저 빔 (2a, 2b)은 라인 (5)을 따라 기판 (1)의 표면 (1a, 1b)에 대해 이동되고, 상기 라인을 따라 기판은 다수의 부분들을 얻기 위해 절단되고, 기판 (1) 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부들 (2c)의 다수부 (2c-1, 2c-2, ...)는 이러한 라인 (5)을 따라 만들어지게 되고, 바람직하게 유도 흡수의 바로 인접한 뻗음부들 (2c), 다시 말해 바로 잇따라 만들어지는 부분들의 평균 공간 (a), 및 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 평균 직경 (δ), 다시 말해 스팟 직경의 비율 $V3=a/\delta$ 은 0.5 내지 3.0, 바람직하게 1.0 내지 2.0이다.
- [0052] 일부 실시예들에서, 기판 (1)의 내부에서의 유도 흡수의 뻗음부들 (2c)의 다수부 (2c-1, 2c-2, ...)가 만들어지는 동안 및/또는 그 후에, 기계적인 힘들은 기판 (1) 상에 가해지며, 그리고/또는 열 응력들은 기판 (1)으로 들어가고, 특히 기판은 고르지 않게 가열되고 다시 냉각됨으로써, 유도 흡수의 바로 인접한 (2c-1, 2c-2) 뻗음부들 (2c) 사이에서 다수의 부분들 각각으로 기판을 분리시키는 균열 형성을 불러오고, 열 응력들은 바람직하게 라인 (5)을 따라 CO₂ 레이저로 기판 (1)을 조사하여 들어올 수 있다.
- [0053] 일부 실시예들에서, 기판을 다수의 부분들로 분리시키기 위해, 바람직하게 시트형 기판 (1)을 레이저 기반으로 가공하는 디바이스 (기판 (1)을 가공하는 레이저 (3)의 레이저 빔 (2a, 2b)이 상기 기판 상에 지향될 수 있음)는 레이저 (3)의 광선들의 경로에 위치된 광 장치 (6)에 의해 특징이 지어지고, 상기 광 장치를 이용하여, 뻗어진 레이저 빔 초점 라인 (2b)은, 빔 방향을 따라 볼 시에, 레이저 빔 (2a) (빔 출력 측면 상으로 지향됨)으로부터 광 장치 (6)의 빔 출력 측면 상에 형성될 수 있고, 기판 (1)은 레이저 빔 초점 라인 (2b)에 대해 위치될 수 있거나, 위치되고, 그 결과 유도 흡수는 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 빔 방향을 따라 볼 시에, 뻗음부 (2c)를 따라 기판 (1)의 물질에서 일어나고, 이때 유도 균열 형성이 이러한 뻗음부 (2c)를 따라 기판의 물질에서 불러오는 효과가 얻어진다.

- [0054] 소정의 실시예들에서, 광 장치 (6)는 구면 수차를 가진 초점 광 소자, 바람직하게 구면으로 형성된 볼록 렌즈 (7), 바람직하게 레이저 (3)의 광선들의 경로에서 이러한 초점 광 소자 (7) 앞에 위치한 광 장치 (6)의 다이아프램 (diaphragm) (8), 바람직하게 환형 다이아프램을 포함하고, 다이아프램 상에 부딪히는 레이저 빔 (2a)의 중심에 위치한 광선들 (2aZ)의 번들 (bundle)은 차단될 수 있는 효과가 있어, 그 결과 이러한 중심 외부에 위치한 주변 광선들 (2aR) 만이 이러한 초점 광 소자 상에 부딪히게 된다.
- [0055] 일부 실시예들에서, 광 장치 (6)는, 빔 방향으로 볼 시에, 정의된 뾰음 (1), 다시 말해 정의된 길이를 가진 레이저 빔 초점 라인 (2b)을 형성하기 위해 형상화된 비-구형 자유 표면을 가진 광 소자를 포함하고, 비-구형 자유 표면을 가진 광 소자는 바람직하게 원뿔 프리즘 또는 액시콘 (9)이다.
- [0056] 소정의 실시예들에서, 광 장치 (6)는, 뾰어나간 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 형성을 위해 형상화된 비-구형 자유 표면을 가진 제 1 광 소자, 바람직하게 원뿔 프리즘 또는 액시콘 (10)을, 레이저 (3)의 광선들의 경로에서 우선적으로 포함하며, 그리고 이러한 제 1 광 소자의 빔 출력 측면 상에서 그리고 상기 빔 출력 측면으로부터 떨어진 거리 (z1)에서 제 2 초점 광 소자, 특히 볼록 렌즈 (11)를 포함하며, 이러한 2 개의 광 소자들은 바람직하게 위치 및 정렬되고, 그 결과 제 1 광 소자는 상기 제 1 광 소자 상에 부딪히는 레이저 복사를 환형으로 (SR) 제 2 광 소자 상에 투영시킴으로써, 뾰어진 레이저 빔 초점 라인 (2b)은 제 2 광 소자로부터 떨어진 거리 (z2)에서 제 2 광 소자의 빔 출력 측면 상에서 만들어진다.
- [0057] 일부 실시예들에서, 특히 평면-볼록 시준 렌즈 (plano-convex collimation lens) (12)인 제 3 초점 광 소자는 레이저 (3)의 광선들의 경로에서 제 1 광 소자와 제 2 광 소자 사이에 위치되고, 제 3 광 소자는, 제 1 광 소자에 의해 환형으로 (SR) 형성된 레이저 복사가 평균 링 직경 (dr)이 정의된 제 3 광 소자 상으로 갈 수 있도록, 바람직하게 위치 및 정렬되며, 그리고 이러한 제 3 광 소자는 이러한 링 직경 (dr)을 환형으로 가지고 정의된 링 폭 (br)을 가진 레이저 복사를 제 2 광 소자 상에 투영시킨다.
- [0058] 상술된 방법들 또는 디바이스들은 유리의 기판들, 특히 석영, 봉규산염 (borosilicate), 사파이어 or 소다 석회 유리, 나트륨-함량 유리, 경화 유리 또는 비경화 유리의 기판들, 결정체 Al_2O_3 의 기판들, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (opal)의 기판들, 또는 반도체 물질, 특히 Si, GaAs, GaN의 기판들을 분리시키기 위해, 단일의- 또는 다수의 층 기판들, 특히 유리-유리 조성물들, 유리-막 조성물들, 유리-막-유리 조성물들 또는 유리-공기-유리 조성물들 분리시키기 위해, 코팅된 기판들, 특히 금속-코팅 사파이어 웨이퍼들, 금속 또는 금속-산화물 층들이 구비된 실리콘 웨이퍼들, 또는 ITO 또는 AlZnO로 코팅된 기판들을 분리시키기 위해, 그리고/또는 단일- 또는 다수의 층 기판을 완전하게 절단하거나, 다수의 층 기판의 층들 모두는 아니지만, 하나 이상으로 절단하기 위해 사용될 수 있다.
- [0059] 상술된 광 장치에 의해 만들어진 레이저 빔 초점 라인은 또한 대안적으로 레이저 빔의 초점 라인으로 간단하게 위 아래에서 언급될 수 있다. 기판은 기판의 평면에서 볼 시에, 균열 형성 (기판의 평면에 대해 수직으로 뾰어나가도록 이루어진 초점 라인을 따른 유도 흡수)에 의해 다수의 부분분들로 분리되거나 또는 개별적으로 분리될 수 있다. 균열 형성은 결과적으로 기판의 평면에 대해 수직으로 기판 내로 일어나거나, 기판의 내부 내로 일어난다 (길이 방향의 균열 형성). 이미 기술된 바와 같이, 일반적으로 다수의 개별적인 레이저 빔 초점 라인들은 기판 표면 상의 라인을 따라 기판 내로 들어가게 되어, 기판의 개별적인 부분들은 서로 분리될 수 있다. 이를 위해, 기판은 레이저 빔에 대해 또는 광 장치에 대해 기판의 평면과 평행하게 이동하도록 이루어질 수 있거나, 또는 그 반대로 광 장치는 고정된 배치 기판에 대해 기판의 평면에 대해 평행하게 이동될 수 있다.
- [0060] 방법 또는 디바이스의 종속 청구항 중 적어도 하나의 특징은 추가적으로 바람직하게 실현된다. 이에 대해, 수많은 종속 청구항의 특징들은 또한 임의의 원하는 조합으로 실현될 수 있다.
- [0061] 하나의 특정 양태에서, 기판의 내부에서 유도 흡수의 뾰음부는 기판의 표면으로부터 기판의 정의된 깊이까지 (또는 심지어 그 이상으로) 뾰어나간다. 이러한 경우에서, 유도 흡수의 뾰음부는 일 측 표면으로부터 타 측 표면까지 기판의 전체 깊이를 포함할 수 있다. 기판의 내부에서 단지 유도 흡수의 길이 방향의 뾰음부들을 만드는 것 (기판의 표면들을 포함함 없이) 역시 가능하다.
- [0062] 바람직하게 실현될 수 있는 추가적인 특징들은 이하에서 더 기술된 도 3b에서 볼 수 있다. 유도 흡수의 뾰음부 (다시 말해, 예를 들면, 기판의 평면에 대해 수직으로 들어간 균열 길이)는 유도 흡수의 뾰음부를 따라 기판의 내부에서의 한 지점으로부터 기판의 뒷 표면까지, 또는 예를 들면 기판의 앞 표면들로부터 기판의 내부에서의 한 지점까지, 결과적으로 모두 뾰어나갈 수 있다. 층 두께 (d)는 이러한 경우에 시트형 기판의 2 개의 마주하는 기판 표면들에 대해 수직으로 각각 측정된다 (레이저 복사가 기판 표면 수직에 대해 0° 보다 큰 각도 (β) ($(\beta) > 0^\circ$)로 비스듬하게 지향되는 경우에도, 다시 말해 비스듬한 입사의 경우에도).

[0063] 본원에서 사용되는 바와 같이, 각 경우에서 언급했던 범위 제한은 명시된 상한값 및 하한값을 포함한다.

[0064] 유도 흡수는, 이미 기술된 레이저 파라미터들 (예시들의 권리 범위 내에서 이하에서 역시 설명됨), 광 장치의 파라미터들, 및 디바이스의 개별적인 소자들의 장치의 기하학적인 파라미터들의 셋팅에 의해 바람직하게 만들어진다. 특히, 파라미터들의 특징들의 임의의 원하는 조합은 본원에서 가능하다. 예를 들어, $\tau \ll \delta^2/a$ 이 본원에서 의미하는 바와 같이, τ 는 δ^2/a 의 1% 미만이고, 바람직하게, 1% 미만이다. 예를 들면, 펄스 기간 (τ)은 10 ps (또는 그렇지 않으면 그 미만), 10 내지 100 ps, 또는 그렇지 않으면 100 ps 초과일 수 있다. Si 기판들을 분리하기 위해, 바람직하게, 1.5 내지 1.8 μm 의 파장을 가진 Er:YAG 레이저가 사용된다. 반도체 기판들에 있어서, 일반적으로 광자 에너지가 반도체의 밴드 갭 (band gap) 미만이 되도록 선택된 파장을 가진 레이저가 사용되는 것이 바람직하다.

[0065] 기판 상에 레이저 빔을 지향시키는 바람직한 복사 방향들 (그 후, 또한 기판 평면에 대해 레이저 빔 초점 라인의 배향을 정의함)은 기판 (1) 상에 수직으로 레이저 빔 (2a, 2b)을 지향시키는 것 (그러므로 기판 (1)은 레이저 빔 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 뾰족부 (2c)를 따른 유도 흡수는 기판의 평면에 대해 수직으로 일어남), 또는 기판 (1) 평면 수직에 대해 0° 보다 큰 각도 (β)로 레이저 빔 (2a, 2b)을 기판 (1) 상에 지향시키는 것 (그러므로, 기판 (1)은 레이저 빔 초점 라인 (2b)에 대해 위치하고, 그 결과 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 뾰족부 (2c)를 따른 유도 흡수는 기판 평면에 대해 각도 ($90^\circ - \beta$), 바람직하게 $\beta \leq 45^\circ$, 바람직하게 $\beta \leq 30^\circ$ 로 일어남)을 포함한다.

[0066] 기판의 다수의 부분들로 기판을 최종적으로 분리하거나 또는 개별적으로 분리하기에 필요할 수도 있는 추가 방법 단계들은 이하에서 기술된다. 이미 언급된 바와 같이, 기판이 광 장치 (레이저와 함께)에 대해 이동되거나, 또는 광 장치 (레이저와 함께)는 기판에 대해 이동된다. 균열 형성은 (상술된 유도 균열 형성과 달리) 이 경우에 횡 방향 균열, 다시 말해 기판 평면에 위치한 방향 (기판이 분리되어야 하는 라인의 경로에 대응함)에서 측 방향 균열 형성을 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0067] 레이저 빔 초점 라인을 만들고 위치시키는 광 장치의 특히나 다양하고 가능한 구성적인 형태들을 기술한 디바이스의 추가 개량점들은 이하에서 기술된다. 이에 대해서, 다음의 대표적인 실시예들 및 도 3a, 4, 5a, 5b, 6, 7 및 8이 또한 참조된다. 볼록 렌즈는 특히 평면-볼록 렌즈일 수 있다.

[0068] 본 발명에 따른 주요 사용 (다른 것 역시 이하에서 기술됨)은 상술된 바와 같다.

[0069] 종래 기술로부터 공지된 방법들 및 디바이스들에 비해 일련의 현저한 이점들은 이하에서 기술된다.

[0070] 우선, 본 발명에 따라서, 절단 형성은 현저한 입자 형성 없이, 현저한 용융 에지를 없이 (상기 에지에서 최소의 균열 형성을 가짐), 현저한 절단 갭 없이 (결과적으로, 기판 물질의 손실 없이), 직선으로 절단된 에지들을 가지면서 일어난다. 절단 형성은 이러한 경우에서 수직으로 (기판 평면에 대해 볼 수 있음)으로 설정될 수 있거나, 기판 수직에 대해 사용자가 원하는 각도 (β)로 설정될 수 있다.

[0071] 특히, 평균 레이저 파워가 매우 높을 필요는 없지만, 그러나 그럼에도 불구하고, 비교적 높은 분리 속도가 달성될 수 있다. 이에 대하여 기본적인 바와 같이, 각각의 레이저 펄스 (또한 각각의 버스트 펄스)에 대해, 레이저 빔 초점 라인이 만들어진다 (크기를 가지지 않거나 단지 매우 국부적인 크기의 초점이 아님). 이하에 더 상세하게 나타난 레이저 광학기는 이러한 목적을 위해 사용된다. 이로써, 초점 라인은 레이저와 기판 사이의 상호 작용의 존 (zone)을 결정한다. (깊이 방향으로 볼 시에) 초점 라인이 분리될 기판 물질 내에 적어도 일부로서 속한 경우, 레이저 파라미터들은, 전체 초점 라인을 따른 (또는 기판 내에 속한 레이저 빔 초점 라인의 전체 뾰족부를 따른) 균열 존을 만들어내는 물질과 상호 작용이 일어나도록 선택될 수 있다. 선택 가능한 레이저 파라미터들은 예를 들면, 레이저의 파장, 레이저의 펄스 기간, 레이저의 펄스 에너지, 및 또한 가능한 한 레이저의 편광이다.

[0072] 상기 방법이 예를 들면, 기계적인 스코어링 및 파괴에 비교하여 가지는 추가적인 이점들은 입자 형성이 없을 뿐만 아니라 (또는 적어도 최소일 뿐만 아니라), 기계적인 스코어링 라인과는 달리, 높은 종횡비 (폭 대 깊이)가 달성될 수 있다는 것이다. 기계적인 스코어링 및 파괴의 경우에, 물질 내로의 파괴 라인이 큰 비제어가능한 균열 성장의 방식으로 만들어지지만, 본 발명에 따라서, 기판 수직에 대해 매우 정밀하게 설정가능한 각도 (β)로의 분리가 일어난다. 결과적으로, 본 발명에 따라서, 절단 방향의 방향 의존성은 없으며, 그리고 비스듬한 절단들은 손쉽게 가능해진다.

[0073] 또한, 기판 물질의 표면 상으로의 또는 기판 물질의 내부로의 레이저의 점 초점에 의한 점 (초점) 결합들을 만

들고, 물질의 서로 다른 깊이들에서 상기와 같은 점 초점들을 설정한 후에, 차후적으로 파괴하는 것과 비교하여, 본원에 기술된 실시예들은 특히 절단의 매우 높은 종횡비가 달성될 수 있는 이점을 특허나 가진다.

방향의 균열 형성이 거의 없기 때문에 일어날 수 있는 상기와 같은 공지된 방법들의 문제점들은, 특히 보다 두꺼운 기판들의 경우에서, 결과적으로 방지된다. 가공 속도는 또한 특히, 보다 두꺼운 기판들의 경우에 (기판의 평면에 정의된 위치에서 기판의 서로 다른 깊이들로, 기판의 상부 측면으로부터 밑면까지, 다수의 손상 점들을 설정하기에 필요한 경우에) 배수로 증가된다.

[0074] 표면에서의 삐마, 표면에서의 플래시 (flash) 형성들 및 입자 형성들은 방지된다 (특히, 기판의 표면으로부터 뻗어진 유도 흡수 및 균열 형성이 기판 내부로 나아갈 수 있도록, 기판에 대한 초점 라인의 위치가 설정되는 경우의 입자 형성들). 이러한 경우에, 제 1 (원하는) 손상은 결과적으로 표면에서 직접 일어나며, 그리고 유도 흡수에 의하여 기판의 깊이로 균열 형성 존을 따라 정의된 방식으로 계속된다.

[0075] 다양한 물질들, 특히 유리 시트들, 사파이어 시트들, 반도체 웨이퍼들 등이 가공될 수 있다. 이에 대해서, 해당 물질들 및 라미네이트들 (다수의 개별적인 기판 층들의 스택들)의 개별적인 층들 모두가 가공될 수 있다. 초점 라인은 이러한 경우에 층들 스택의 내부에서도, 단지 정의된 층이 분리되도록 위치 및 정렬될 수 있다. 다양한 샌드위치 구조체들의 스택들의 층은 가공될 수 있다: 유리-공기-유리 조성물들, 유리-막-유리 조성물들, 유리-유리 조성물들. 결과적으로, 스택 내에서도 개별적인 층들의 선택적인 절단은 중간 층들 (예를 들면, 막들 또는 접착 막)이 절단되기 때문에 가능하다.

[0076] 이미 코팅된 물질들 (예를 들면 AR 코팅, TCO 코팅) 또는 일 측면 상에 불투명하게 인쇄된 기판들은 또한 가공 및 분리될 수 있다.

[0077] 자유형 절단들은, 기판에서의 균열 형성에 의해 기하학적인 구조가 제한됨 없이 가능하다. 결과적으로, 사실상 임의의 원하는 자유형 절단들은 투명한 매체들 내로 도입될 수 있다 (절단 방향은 방향에 의존하지 않음). 결과적으로, 비스듬한 절단들은 예를 들면, 직각에 기반하여, $\beta = 30^\circ$ 또는 $\beta = 45^\circ$ 까지의 각도들을 가진 조정 각도들로 기판 내로 도입될 수 있다.

[0078] 절단은 임의의 절단 캡 없이 사실상 가능하다: 단지 물질 손상이 1 내지 $10 \mu\text{m}$ 의 범위 크기로 일반적으로 만들어진다. 특히, 이로 인하여 물질 또는 표면적에 대한 절단 손실은 발생되지 않는다. 이는, 반도체 웨이퍼들이 절단될 시에 특히나 이점을 가지는데, 이는 절단 캡 손실들이 활동적으로 사용가능한 웨이퍼 표면적을 감소시키기 때문이다. 결과적으로 본원에서 기술된 초점 라인 절단 방법은 증가된 표면적 수율을 만들어낸다. 물질 손실의 없음은 또한, 보석들 (예를 들면, 다이아몬드)을 절단할 시에 특히 이점을 가진다; 본원에 기술된 사용 구역이 바람직하게 시트형 기판들의 절단 또는 분리인 것이지만, 비-시트형 기판들 또는 가공물들 또한 가공될 수 있다.

[0079] 본원에서 기술된 방법은 또한 특히 생산 공정들의 인-라인 동작에서 사용될 수 있다. 이는 롤 간의 (roll-to-roll) 방법에 의해 진행되는 생산 공정들의 경우에 특히나 바람직하게 일어난다.

[0080] 단일-펄스 레이저들은 버스트 펄스들을 발생시키는 레이저들에도 사용될 수 있다. 원칙적으로, 지속파 (continuous-wave) 동작 시 레이저들의 사용 역시 생각해볼 수 있다.

[0081] 적용의 다음 특정 구역들이 예시 방식으로 나타난다:

[0082] 1. 사파이어 웨이퍼의 완전하거나 부분적인 절단의 가능성을 가진 사파이어 LED들의 분리. 이러한 경우에, 금속 층은 마찬가지로, 본원에서 기술된 방법에 의해 동시에 절단될 수 있고, 이로써 단일 단계로 나아간다.

[0083] 2. 반도체 웨이퍼들의 개별적인 분리는 테이프의 손상 없이 가능하다. 이를 위해, 초점 라인은 기판 물질의 내부로 부분적으로 단지 취해지고, 그 결과, 이는 표면에서 시작되고, 테이핑된 (taped) 막 (레이저로부터 대면 한 기판의 뒷 표면 상에 위치) 이전에 정지된다: 예를 들면, 약 10%의 물질은 분리되지 않는다. 결과적으로, 막은, 초점 라인이 상기 막 앞에 "정지"되기 때문에 온전한 상태로 남아 있게 된다. 반도체 웨이퍼는 그 후에, 기계적인 힘들 (또는 열 힘들, 다음 예의 CO₂ 레이저 참조)에 의해 잔류한 10% 상에서 차후에 분리될 수 있다

[0084] 3. 코팅된 물질들의 절단: 본원의 예시들은 브래그 반사기들 (Bragg reflector) (DBR) 또는 금속-코팅 사파이어 웨이퍼들이다. 활성 금속 또는 금속-산화물 층이 이미 적용되는, 공정화된 실리콘 웨이퍼들은 또한 본 발명에 따라 절단될 수 있다. 다른 예시들은 ITO 또는 AlZnO의 가공이고, 상기 ITO 또는 AlZnO에 의해 예를 들면 터치스크린들 또는 스마트 창들을 만들어내기에 필요한 기판들이 코팅된다. 많이 뻗어진 초점 라인 (그의

직경에 비해) 때문에, 초점 라인의 부분은 금속 층 (또는 또 다른 층)을 제거할 수 있는 반면, 초점 라인의 나머지는 투명 물질 내로 관통하고, 상기 투명 물질을 절단한다. 이는 또한, 해당 코팅 기판들이 한-단계 공정으로 분리될 수 있는, 다시 말해, 코팅 기판이 한 동작으로 분리될 수 있는 공정으로 분리될 수 있는 이점을 특허나 가진다.

[0085] 4. 매우 얇은 물질들 (예를 들면, 300 μm 미만, 100 μm 미만 또는 심지어 50 μm 미만의 두께들을 가진 유리 기판들)의 절단은 특허나 이점을 가진다. 이러한 물질들은 종래의 기계적인 방법들에 의해 매우 힘들게 단지 가공될 수 있다. 실제, 기계적인 방법들, 예지들, 손상, 균열들 또는 스팔링 (spalling)의 경우에서, 기판들이 사용할 수 없거나, 또는 힘든 재작업 동작들이 필요하게 된다. 이와 달리, 얇은 물질들의 경우에, 본원에 기술된 절단들은 예지 손상 및 균열들을 방지하는 이점을 특허나 제공하고, 그 결과 매우 높은 절단 속도 (> 1 m/s), 높은 수율 및 단일 단계로의 공정 수행의 재작업은 필요 없게 된다.

[0086] 5. 본원에서 기술된 방법은 또한, 박막 유리들의 생산에 특허나 사용될 수 있으며, 이때 상기 박막 유리들은 상기 막의 예지들을 트리밍 (trimming)하기 위해, 연속적인 진행 유리-풀링 (pulling) 공정에 의해 만들어진다.

[0087] 도 2는 본 발명에 따른 가공 방법의 기본적인 절차를 개략적으로 도시한다. 레이저 (3)에 의해 방출된 레이저 빔 (2)은 본원에서 도시되지 않으며 (도 7 참조), 그리고 참조 번호 2a에 의해 광 장치 (6)의 빔 입력 측면 상에 명시되고, 광 장치 (6) (다음 대표 실시예들 참조) 상으로 지향된다. 광 장치 (6)는 빔 출력 측면 상의 방출 (radiated-in) 레이저 빔으로부터, 빔 방향에 따른 크기의 정의된 범위 (초점 라인 길이 (1))에 걸쳐 뻗어나간 레이저 빔 초점 라인 (2b)을 형성한다. 가공될 기판 (1), 여기에서 시트형 기판 (1)은, 광선들의 경로에서의 광 장치 이후에, 레이저 복사 (2)의 레이저 빔 초점 라인 (2b)과 일치하는 적어도 일부 이후에 위치된다. 참조 번호 1a는 광 장치 (6) 또는 레이저를 대면하는 시트형 기판의 표면을 명시하고, 참조 번호 1b는 상기 제 1 표면으로부터 거리를 두고 떨어진, 그리고 상기 제 1 표면과 일반적으로 평행을 이룬, 기판 (1)의 뒷 표면 (1b)을 명시한다. 기판 두께 (표면들 1a 및 1b에 대해 수직 방향으로, 다시 말해, 기판 평면에 대해 측정됨)는 참조 번호 d에 의해 여기에서 명시된다.

[0088] 도 2a에 도시된 바와 같이, 여기에서 기판 (1)은 빔의 길이 방향 축, 결과적으로, 광 장치의 하류 공간에서, 광 장치 (6)에 의해 만들어진 초점 라인 (2b)과 수직으로 정렬되며 (기판은 도면의 평면에 대해 수직을 이룸), 그리고 빔의 방향을 따라 볼 시에, 초점 라인 (2b)에 대해 위치되고, 그 결과 빔의 방향을 참조할 시에, 초점 라인 (2b)은 기판의 표면 (1a) 앞에서 시작되고, 기판의 표면 (1b) 앞에 종결되고, 다시 말해 기판 내에 여전히 위치한다. 결과적으로 (길이 (1)의 일부 상에서 레이저 빔 (2)의 초점에 의해, 다시 말해 길이 (1)의 라인 초점에 의해 확보되는 레이저 빔 초점 라인 (2b)을 따른 적합한 레이저 세기를 이용하여), 뻗어나간 레이저 빔 초점 라인 (2b)은 기판 (1)과의 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 일치 영역에서 만들어지고, 다시 말해, 초점 라인 (2b)에 의해 걸쳐 지나간 기판 물질인 뻗음부 (2c)에서 만들어지고, 빔의 길이 방향을 따라 볼 시에, 뻗음부 (2c)를 따라 유도 흡수가 기판 물질에서 만들어지고, 상기 뻗음부는 상기 뻗음부 (2c)를 따라 기판 물질에서 균열 형성을 유도한다. 균열 형성은 이러한 경우에서 국부적으로 일어날 뿐만 아니라, 유도 흡수의 뻗음부 (2c)의 전체 길이에 걸쳐 일어난다. 이러한 부분 (2c)의 길이 (다시 말해, 궁극적으로, 기판 (1)과의 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 일치 길이)는 여기에서 참조 번호 L로 제공된다. 평균 직경 또는 평균 크기의 유도 흡수 부분 (또는 균일 형성을 겪는 기판 (1) 물질에서의 영역들)은 여기에서 참조 번호 D로 명시된다. 이러한 평균 크기 D는 여기에서 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 평균 직경 (δ)에 실질적으로 대응한다.

[0089] 결과적으로, 도 2a에 도시된 바와 같이, 레이저 빔 (2)의 파장 (λ)에 투명한 기판 물질은 초점 라인 (2b)을 따라 유도 흡수에 의해 가열된다. 도 2b는 가열된 물질이 어떻게 궁극적으로 팽창되어, 해당 유도 응력 (상기 응력은 표면 (1a)에서 가장 큼)이 마이크로균열 형성을 이루는지를 개략적으로 도시한다.

[0090] 초점 라인 (2b)을 만들기 위해 사용되고, 실제 광 설정 역시 만들기 위해 사용될 수 있는 실제 광 장치들 (6) (도 7) (이러한 광 장치들에서 사용될 수 있음)은 이하에서 기술된다. 여기에서 모든 장치들 및 설정들은 상기에서 주어진 설명에 기반하고, 그 결과 동일 참조 번호들은 동일하거나, 그들의 기능에 대응하는 구성요소들 또는 특징들을 위해 각 경우에서 사용된다. 그러므로, 단지 차이점만 이하에서 각각 기술된다.

[0091] 분리를 궁극적으로 일으키는 분리 표면이 (파괴 강도, 기하학적인 정밀성, 거칠기 및 재-작업 요건들의 방지에 대해) 높은 품질을 가지거나 가지는 것으로 의도되기 때문에, 기판 표면 상의 분리 라인 (5)을 따라 위치된 개별적인 초점 라인들은 다음의 광 장치들 (상기 광 장치는 이하에서 레이저 광학기로도 대안적으로 언급됨)로 기술된 바와 같이 만들어져야 한다. 거칠기는 본원에서 특히 초점 라인의 스팟 크기 또는 스팟 직경으로부터 얻어진다. 작은 스팟 크기, 예를 들면 0.5 μm 내지 2 μm 를 달성할 수 있기 위해, 레이저 (3)의 주어진 파장

(λ) (기판 (1) 물질과의 상호 작용)과 함께, 일반적으로 소정의 요건들은 레이저 광학기 (6)의 개구수 (numerical aperture)에 부과되어야 한다. 이러한 요건들은 이하에서 기술된 레이저 광학기 (6)에 의해 만족된다.

[0092] 원하는 개구수를 달성하기 위해, 한편으로는 광학기들은 Abbe에 의해 주어진 공식 ($N.A. = n \sin(\theta)$), n : 가공될 유리의 굴절률, θ : 개구각 (angular 개구) 절반; 및 $\theta = \arctan(D/2f)$; D : 개구, f : 초점 길이)에 따라서 주어진 초점 길이에서 필요한 개구를 가져야만 한다. 다른 한편으로는, 레이저 빔은 필요한 개구까지 광학기들을 비추어야 하고, 이때 상기 필요한 개구는 레이저와 초점 광학기들 사이의 확장 텔레스코프들 (expansion telescopes)에 의해 빔 확장에 의해 통상적으로 달성된다.

[0093] 스팟 크기는 동시에 초점 라인을 따라 균일한 상호 작용을 위해, 너무 많이 변화되지 않아야 한다. 이는 좁은 환형 영역에서 단지 비추어지는 초점 광학기들에 의해 예를 들면 (이하의 대표 실시예 참조) 확보될 수 있고, 그렇게 하면, 빔 개구, 결과적으로 개구수는 소량의 백분율만큼 단지 변화될 수 있다.

[0094] 도 3a에 따라서 (레이저 복사 (2)의 레이저 광선들 번들의 중앙 광선의 높이에서 기판 평면에 대해 수직인 섹션; 여기에서, 레이저 빔 (2)의 너무 많은 방출은 기판의 평면에 대해 수직으로 일어나고, 즉, 각도 (β)는 0° 이고, 그 결과 초점 라인 (2b) 또는 유도 흡수 (2c)의 뺀음부는 기판 수직에 대해 평행을 이룸), 레이저 (3)에 의해 방출된 레이저 복사 (2a)는 원형 다이아프램 (8) 상에 처음에 지향되고, 이때 상기 원형 다이아프램은 사용된 레이저 복사에 대해 완전하게 불투명하다. 다이아프램 (8)은 이 경우에, 빔의 길이 방향 축에 대해 수직으로 배향되고, 도시된 광선들 번들 (2a)의 중앙 광선 상에서 중앙에 위치된다. 다이아프램 (8)의 직경은, 광선들 번들 (2a)의 중앙에 근접하게 위치한 광선들 번들 또는 중앙 광선 (여기서 2aZ로 명시)이 다이아프램 상에 부딪히고, 상기 다이아프램에 의해 완전하게 흡수되도록, 선택된다. 광선들 번들 (2a)의 외부 주변 영역에 위치한 광선들만 (여기에서 2aR로 명시된 주변 광선들)은, 빔 직경과 비교하여 다이아프램 크기가 감소하기 때문에, 흡수되지 않지만, 다이아프램 (8)에 의해 측 방향으로 통과하며, 그리고 광 장치 (6)의 초점 광 소자의 주변 영역들 상에 부딪히고, 이때 상기 초점 광 소자는 구형으로 양면이 볼록한 양면 볼록 렌즈 (7)로 본원에서 형성된다.

[0095] 중앙 광선 상에 중앙에 위치한 렌즈 (7)는, 통상적으로 구면으로 형성된 렌즈의 형태를 한, 비-교정 (non-corrected) 양면 볼록 초점 렌즈로서 본원에서 의도적으로 형성된다. 다시 말해, 상기와 같은 렌즈의 구면 수차는 의도적으로 활용된다. 이에 대한 대안으로서, 이상적으로 교정된 시스템들로부터 벗어난 비구면 렌즈들 또는 다중 렌즈 시스템들은 특별하게 이상적인 초점을 형성할 뿐만 아니라, 정의된 길이의 명확한 장형 (elongated) 초점 라인도 사용될 수 있다 (다시 말해, 단일 초점을 더 이상 특별하게 가지지 않는 렌즈들 또는 시스템들). 결과적으로, 렌즈의 준들은 특별하게 초점 라인 (2b)을 따라 렌즈의 중앙으로부터 떨어진 거리에 의존하여 초점이 맞춰진다. 여기에서, 빔 방향에 대해 횡 방향으로의 다이아프램 (8)의 직경은 광선들 번들 (광선들 번들의 직경은 최대 1/e으로 감소되는 범위에 의해 정의됨)의 직경의 대략 90%이며, 그리고 광 장치 (6)의 렌즈의 직경의 약 75%이다. 결과적으로, 중간에서 광선들 번들을 차단함으로써, 만들어지는 비-수차 (수차)-교정 구면 렌즈 (7)의 초점 라인 (2b)은 본원에서 사용된다. 중앙 광선을 통한 평면의 섹션이 나타난다; 완전한 3 차원 번들은, 나타난 광선들이 초점 라인 (2b) 주위로 회전할 시에 얻어진다.

[0096] 이러한 초점 라인의 단점은, 조건들 (레이저의 스팟 크기, 세기)이 초점 라인을 따라, 결과적으로, 물질에서의 원하는 깊이를 따라 변화되어, 결과적으로, 원하는 타입의 상호 작용 (현저한 용융, 유도 흡수, 열 가소성 변형, 최대 균열 형성이 없음)이 초점 라인의 부분 내에서 단지 가능하게 설정될 수 있다는 점이다. 이는 정반대로 의미하는 바와 같이, 방출 레이저 광의 단지 가능한 부분은 원하는 방식으로 흡수된다. 결과적으로, 한편으로는 방법의 효율 (원하는 분리 속도에 대해 필요한 평균 레이저 파워)은 손상되지만, 다른 한편으로는 일부 환경 하에서, 레이저 광은 원치 않는 보다 깊게 위치한 위치들 (기판, 또는 기판 훌더에 고정된 부분들 또는 층들)로 전달되며, 그리고 원치 않는 방식 (열, 확산, 흡수, 원치 않는 변형)으로 상호 작용한다.

[0097] 도 3b에서 도시된 바와 같이 (도 3a에서 광 장치뿐만 아니라, 원칙적으로 사용될 수 있는 다른 광 장치들 (6) 모두에 대해), 레이저 빔 초점 라인 (2b)은 기판 (1)에 대해 광 장치 (6)의 적합한 위치 및/또는 정렬에 의해 그리고 광 장치 (6)의 파라미터들의 적합한 선택에 의해 다양하게 위치될 수 있다: 도 3b로부터 제 1 라인이 개략적으로 도시되었기 때문에, 초점 라인 (2b)의 길이 (1)는 기판 두께 (d)를 초과하도록 설정될 수 있다 (여기에서 2의 팩터 (factor)까지). 결과적으로, 기판 (1)이 초점 라인 (2b)에 대해 중앙에 위치되는 경우, 빔의 길이 방향에서 볼 시에, 유도 흡수 (2c)의 뺀음부는 전체 기판 두께 (d)에 걸쳐 만들어지게 된다.

[0098] 도 3b에서 제 2 라인에 도시된 경우에서, 기판 (d)의 크기에 대략적으로 대응하는 길이 (1)의 초점 라인 (2b)이

만들어진다. 기판 (1)이 라인 (2)에 위치되고, 그 결과 라인 (2b)은, 다시 말해 기판 외부 앞의 점에서 시작될 수 있기 때문에, 유도 흡수 (2c)의 뺀음부의 길이 (1) (본원에서, 기판 표면으로부터 기판의 정의된 깊이까지 뺀어나가지만 뒷 표면 (1b) 까지는 뺀어나가지 않음)는 본원에서 초점 라인 (2b)의 길이 (1)보다 짧다. 도 3b의 제 3 라인은, 빔 방향을 따라 볼 시에, 기판 (1)이 초점 라인 (2b)의 시작 전에 부분적으로 위치됨으로써, 본원에서 $1 > L$ 이 라인 2b의 길이 (1)에 대해 크게 적용되는 경우 ($L =$ 기판 (1)의 유도 흡수 (2c)의 부분의 크기)를 도시한다. 초점 라인은 결과적으로 기판 내부에서 시작되며, 그리고 뒷 표면 (1b)을 넘어 기판 외부로 뺀어나간다. 도 3b의 제 4 라인은, 만들어진 초점 라인 길이 (1)가 기판 두께 (d)보다 짧음으로써, 조사 방향으로 볼 시에 초점 라인에 대해 기판의 중앙 위치에서, 초점 라인이 본원에서 표면 (1a)에 근접한 기판 내부에서 시작하여, 표면 (1b)에 근접한 기판 내부에서 종결되는 경우 ($1 = 0.75 \cdot d$)를 최종적으로 도시한다.

[0099] 표면들 (1a, 1b) 중 적어도 하나가 초점 라인에 의해 지나가고; 유도 흡수 (2c)의 부분이 결과적으로 적어도 하나의 표면에서 시작되도록, 초점 라인 위치 선정을 실현시키는 것이 본원에서 특히나 이점이 있을 수 있다. 이러한 방식으로, 가상으로 이상적인 절단들은 표면에서, 삭마, 플래시 및 입자 형성을 방지함으로써 달성될 수 있다.

[0100] 도 4는 사용될 수 있는 추가 광 장치 (6)를 도시한다. 기본적인 설정은 도 3a에 도시된 것에 따르기 때문에, 단지 이하에서 차이점만을 기술한다. 도시된 광 장치는 형상화된 비-구형 자유 표면을 가진 광학기들을 사용하는 발상에 기반하고, 그 결과 정의된 길이 (1)의 초점 라인은 초점 라인 (2b)의 형성을 위해 형성된다. 이를 위해, 비구면 렌즈들은 광 장치 (6)의 광 소자들로 사용될 수 있다. 예를 들면, 도 4에서, 액시콘으로도 자주 언급되는 소위 원뿔 프리즘(이)가 사용된다. 액시콘은, 광 축을 따라 라인 상의 점원 (point source)을 형성하는 (또는 환형으로 레이저 빔을 변형시킴), 특별하게 원뿔형으로 형성된 렌즈이다. 상기와 같은 액시콘의 설정은 원칙적으로 기술 분야의 통상의 기술자에게 공지된 것이다. 본원에서, 원뿔 각도는 예를 들면 10° 이다. 본원에서 참조 번호 9로 명시된 액시콘은 조사 방향과 반대로 형성된 원뿔 첨단과 정렬을 이루고 빔의 중앙 상에서 중앙에 위치한다. 액시콘 (9)의 초점 라인 (2b)이 이미 동일한 곳 내에서 시작되었기 때문에, 기판 (1) (본원에서 주요 광선의 축과 수직으로 배치됨)은 액시콘 (9) 바로 뒤에 광선들의 경로에 위치될 수 있다. 도 4에서 도시된 바와 같이, 액시콘의 광 속성을 때문에, 빔 방향을 따른 기판 (1)의 변위는 또한 초점 라인 (2b)의 영역을 떠남 없이도 가능하다. 기판 (1)의 물질에서의 유도 흡수 (2c)의 뺀음부는 결과적으로 전체 기판 깊이 (d)에 걸쳐 뺀어나간다.

[0101] 그러나, 도시된 설정은 다음의 제한들을 가진다: 액시콘 (9)의 초점 라인이 상기 렌즈 내에서 이미 시작하고 있기 때문에 (렌즈와 물질 사이의 유한한 작업 거리를 가짐), 레이저 에너지의 중요한 부분은 물질에 위치한 초점 라인 (2b)의 부분 (2c) 내로 초점이 맞추어지지 않는다. 더욱이, 액시콘 (9)의 이용 가능한 굴절률 및 원뿔 각도들을 이용하여, 초점 라인 (2b)의 길이 (1)는 빔 직경에 관련되고, 이러한 이유로, 상대적으로 얇은 물질들 (몇 밀리미터들)의 경우에, 초점 라인은 전적으로 길게 길어지며, 그 결과 레이저 에너지는 특별하게 물질 내로 초점을 맞출 수 없다.

[0102] 이러한 이유로, 개선된 광 장치 (6)는, 상기 광 장치가 액시콘 및 초점 렌즈 둘 다를 포함하는 경우에 얻어진다. 도 5a는 빔 방향을 따라 볼 시에, 레이저 (3)의 광선들의 경로 상에 위치한 상기와 같은 광 장치 (6), 뺀어나간 레이저 빔 초점 라인 (2b)의 형성을 위해 형상화된, 비-구형 자유 표면을 가진 제 1 광 소자를 우선적으로 도시한다. 도시된 경우에서, 이러한 제 1 광 소자는 빔 방향에 수직으로 위치되고 레이저 빔 (3) 상에 중앙에 위치된 5° 의 원뿔 각도를 가진 액시콘 (10)이다. 이러한 경우에서 액시콘의 원뿔 첨단은 빔 방향과 반대를 향한다. 빔의 방향으로 액시콘 (10)으로부터 떨어진 거리 (z_1)에 위치한 것은 제 2 초점 광 소자이고, 여기서 평면-볼록 렌즈 (11) (액시콘을 향한 볼록함)이다. 거리 (z_1)는 본원에서 약 300 mm로 선택되고, 그 결과 액시콘 (10)에 의해 형성된 레이저 복사는 렌즈 (11)의 외부 영역들 상에 환형 방식으로 부딪힌다. 렌즈 (11)는, 렌즈 (11)로부터 떨어진 거리 (z_2), 본원에서 약 20 mm 떨어진 거리에서, 빔 출력 측면 상의 환형으로 부딪히는 복사를 정의된 길이, 본원에서 1.5 mm의 초점 라인 (2b) 상으로 초점을 맞춘다. 본원에서, 렌즈 (11)의 유효 초점 길이는 25 mm이다. 액시콘 (10)에 의한 레이저 빔의 환형 변형은 참조 번호 SR로 본원에서 제공된다.

[0103] 도 5b는 도 5a에 따라서 기판 (1)의 물질에서 초점 라인 (2b) 및 유도 흡수 (2c)의 형성을 상세하게 도시된다. 본원에서 2 개의 소자들 (10, 11)의 광 속성을 및 동일한 위치 선정은, 빔 방향으로 초점 라인 (2b)의 뺀음 (1)이 기판 (1)의 두께 (d)와 정확하게 일치하도록 한다. 이에 따라서, 빔 방향을 따른 기판 (1)의 정확한 위치 선정은 도 5b에 도시된 바와 같이, 기판 (1)의 2 개의 표면들 (1a 및 1b) 사이에서 정확하게 초점 라인 (2)

b)을 위치시키는데 필요하다.

[0104] 결과적으로, 초점 라인이 레이저 광학기로부터 떨어진 소정의 거리에서 형성되는 경우, 레이저 복사의 큰 부분은 초점 라인의 원하는 말단까지 초점을 맞추는 이점을 가진다. 기술된 바와 같이, 이는, 원하는 존 상에 단지 환형으로 비추어진 주요 초점 소자 (11) (렌즈)에 의해 달성될 수 있어서, 한편으로는 원하는 개구수가 실현되고, 결과적으로 원하는 스팟 크기도 실현되지만, 그러나 다른 한편으로는, 원하는 초점 라인 뒤에, 원형의 적어도 확산은 스팟의 중간에서 매우 짧은 거리 뒤에 세기를 줄이는데, 이는 실질적으로 환형 스팟이 형성되기 때문이다. 결과적으로, 균열 형성은 기판의 원하는 깊이에서 짧은 거리 내에 멈춰지게 된다. 액시콘 (10) 및 초점 렌즈 (11)의 결합은 이러한 요건을 만족시킨다. 본원에서, 액시콘 (10)은 2 개의 방식으로 작동하다: 일 반적으로 원형 레이저 스팟은 초점 렌즈 (11) 상으로 환형으로 액시콘 (10)에 의해 전송되며, 그리고 액시콘 (10)의 비구면계수는 렌즈의 초점 평면 내의 초점 대신에, 초점 평면 외부에서 초점 라인을 형성한다는 효과를 가진다. 초점 라인 (2b)의 길이 (1)는 액시콘 상의 빔 직경에 의해 설정될 수 있다. 결국 초점 라인을 따른 개구수는 액시콘과 렌즈 사이의 거리 (z1)에 의해, 그리고 액시콘의 원뿔 각도에 의해 설정될 수 있다. 이러한 방식으로, 전체 레이저 에너지는 결과적으로 초점 라인에 집중될 수 있다.

[0105] 균열 형성이 기판의 출구 측면 앞에서 멈추는 것으로 의도된 경우, 환형 조명은 여전하게, 한편으로는 레이저 광의 큰 부분이 초점 라인의 원하는 길이에 집중된 상태를 이루기 때문에, 레이저 파워가 가장 가능한 방식으로 사용되고, 다른 한편으로는 다른 광 기능들에 의해 설정된 원하는 수차와 함께, 환형으로 조명된 존으로 인해, 초점 라인을 따른 균일한 스팟 크기가 달성될 수 있고, 결과적으로 초점 라인을 따른 균일한 분리 공정이 달성될 수 있는 이점을 가진다.

[0106] 도 5a에 도시된 평면-볼록 렌즈 대신에, 초점 메니스커스 렌즈 (focusing meniscus lens) 또는 교정이 보다 높은 일부 다른 초점 렌즈 (비구면 렌즈, 다중 렌즈 시스템) 역시 사용될 수 있다.

[0107] 액시콘 및 렌즈의 도 5a에 도시된 결합으로 매우 짧은 초점 라인들 (2b)을 만들기 위해서, 액시콘 상의 레이저 빔 입사의 매우 작은 빔 직경들은 선택되어야 한다. 이는 액시콘의 첨단 상의 빔의 중앙이 매우 정확해야되고, 그러므로 그 결과 레이저의 방향 변동에 매우 민감하다 (빔 추이 안정성)는 현실적인 단점을 가진다. 더욱이, 좁게 시준된 레이저 빔은 발산이 강하고, 즉, 광선들 번들을 광의 회절 때문에 짧은 거리 상에서 다시 산란된다.

[0108] 둘 다는 추가 렌즈인 시준 렌즈 (collimation lens) (12) (도 6)를 삽입함으로써 방지될 수 있다: 이러한 추가적인 능동 렌즈 (12)는 초점 렌즈 (11)의 환형 조명이 매우 좁게 설정되도록 한다. 시준 렌즈 (12)의 초점 길이 (f')는, 액시콘으로부터 시준 렌즈 (12) 까지의 거리 (z1a) (f' 가 됨)가 있을 시에, 원하는 링 직경 (dr)이 얻어지도록, 선택된다. 링의 원하는 폭 (br)은 거리 (z1b) (시준 렌즈 (12) 내지 초점 렌즈 (11))에 의해 선택될 수 있다. 순수하게 기학적인 구조 상으로, 이때 짧은 초점 라인은 환형 조명의 작은 폭으로부터 따라간다. 결국, 거리 (f')에서 최소가 되는 것이 달성된다.

[0109] 도 6에 도시된 광 장치 (6)는 결과적으로 도 5a에 도시된 것을 기반으로 하여, 단지 차이점들을 이하에서 기술한다. 게다가, 여기서 마찬가지로 평면-볼록 렌즈 (빔 방향과 반대를 향한 볼록함을 가짐)로 형성된 시준 렌즈 (12)는, 여기에서, 한편으로는 액시콘 (10) (여기서 빔 방향과 반대로 향한 원뿔 첨단으로 배치됨)과 다른 한편으로는 평면-볼록 렌즈 (11) 사이의 광선들의 경로 내로 중앙으로 들어오게 된다. 액시콘 (10)으로부터의 시준 렌즈 (12)의 거리는 본원에서 z1a로 명시되고, 시준 렌즈 (12)로부터의 초점 렌즈 (11)의 거리는 z1b로 명시되며, 그리고 초점 렌즈 (11)로부터 만들어진 초점 라인 (2b)의 거리는 z2로 명시된다 (빔 방향으로 각 경우에 참조). 도 6에 도시된 바와 같이, 액시콘에 의해 형성되고, 시준 렌즈 (12) 상에 발산 방식으로 입사되며, 링 직경 (dr)을 가진 환형 복사 (SR)는 거리 (z1b)를 따라 적어도 대략 일정한 상태로 남아 있는 링 직경 (dr)을 가지며, 그리고 초점 렌즈 (11)의 위치에서 원하는 링 폭 (br)으로 설정된다. 도시된 경우에서, 매우 짧은 초점 라인 (2b)이 만들어지는 것으로 의도되고, 그 결과 렌즈 (12)의 위치에서의 약 4 mm의 링 폭 (br)은 상기 렌즈의 초점 속성들에 의해, 렌즈 (11)의 위치에서 약 0.5 mm로 감소된다 (링 직경 (dr)은 본원에서 예를 들면 22 mm 임).

[0110] 나타난 예시에서, 2 mm의 레이저로부터 통상적인 빔 직경, $f = 25 \text{ mm}$ 초점 길이의 초점 렌즈 (11), 및 $f' = 150 \text{ mm}$ 초점 길이의 시준 렌즈를 이용하여, 0.5 mm 미만의 초점 라인 (1)의 길이가 달성될 수 있다. 더욱이, $Z1a = Z1b = 140 \text{ mm}$ 및 $Z2 = 15 \text{ mm}$ 이다.

[0111] 도 7에 따른 설정으로, 도 3a에 따른 광 장치로 비경화 유리를 절단하는 예시는 이하에서 주어진다 (도 3a에 도

시된 광 장치 (6) 대신에, 도시된 다이아프램-렌즈 결합 (8, 7)이 대응되게 대체된다는 점에서, 상술된 다른 광 장치들 (6) 역시도 7에 따른 설정으로 사용될 수 있다).

[0112] 다른 착색들 없는 봉규산염 또는 소다 석회 유리들 (1) (특히, 철 함량이 적음)은 약 350 nm로부터 약 2.5 μm 까지 광학적으로 투명하다. 유리들은 일반적으로 열 전도체들이 형편없고, 이러한 이유로, 몇 나노초의 레이저 펄스 기간에서도 초점 라인 (2b)의 현저한 열 확산을 허용하지 않는다. 그럼에도 불구하고, 짧은 레이저 펄스 기간도 이점이 있는데, 이는, 서브-나노초 또는 피코초 펄스를 이용하여, 원하는 유도 흡수가 비-선형 효과 (세기가 매우 강함)에 의해 보다 손쉽게 달성될 수 있기 때문이다.

[0113] 예를 들면, 적당하게 평평한 유리들을 절단하는 것은, 다음의 파라미터들을 가진, 상업적으로 이용 가능한 피코초 레이저 (3)이다: 파장 1064 nm, 10 피코초의 펄스 기간, 100 kHz의 펄스 반복율, 최대 50 W의 평균 파워 (레이저 바로 뒤에서 측정). 레이저 빔은 처음에 약 2 mm의 빔 직경 (파크 세기의 13%, 즉 가우시안 광선들 번들의 $1/e^2$ 직경에서 측정)을 가지고, 빔 품질은 적어도 $M^2 < 1.2$ (DIN/ISO 11146에 따라 결정)이다. 빔 확장 광학기들 (22) (상업적으로 이용 가능한 케플러 빔 텔레스코프)을 이용하여, 빔 직경은 10의 팩터로 약 20~22 mm 으로 증가된다 (21, 23, 24 및 25는 빔-편향 미러들임). 직경이 9 mm인 소위 환형 다이아프램 (8)를 이용하여, 광선들 번들의 내부 부분은 컷 오프되고, 그 결과 환형 빔이 형성된다. 이러한 환형 빔을 이용하여, 28 mm 초점 길이 (13 mm의 반경을 가진 석영 유리)를 가진 평면-볼록 렌즈 (7)는 예를 들면 조명된다. 렌즈 (7)의 강한 (원하는) 구면 수차는 초점 라인을 만들어내는 효과를 가진다. 이에 대해서, 도 7뿐만 아니라, 렌즈 (7)에 의해 주변 광선들로부터 초점 라인 (2b)의 생성을 개략적으로 도시한 도 8도 참조해보자.

[0114] 초점 라인의 이론적인 직경 (8)은 빔의 축을 따라 변화되며, 그러므로, 본원에서 기판 두께 (d)가 약 1 mm보다 작은 경우에 (디스플레이 유리들에 대한 통상적인 두께들은 0.5 mm 내지 0.7 mm 임), 균등질의 균열 표면을 만드는 이점을 가진다. 약 2 μm의 스팟 크기 및 5 μm의 스팟 간의 공간은, 초점 라인이 0.5 m/sec의 기판 (1) 상에서 5를 지나칠 수 있는 속도를 제공한다 (도 9 참조). 25 W의 기판 상의 평균 파워 (초점 렌즈 (7) 뒤에서 측정)를 이용하여, 100 kHz의 펄스 반복율은, 2 내지 5 서브-펄스들의 구조화된 펄스 (버스트 펄스로서 공지된, 단지 20 ns의 간격으로의 일련의 고속 단일 펄스들)에서도 일어날 수 있는 250 μJ의 펄스 에너지를 제공한다.

[0115] 비경화 유리들은 실질적으로 내부 응력들이 없고, 이러한 이유로, 이는 임의의 외부 작용의 방해 존 없이, 분리되지 않는 가교들에 의해 여전하게 서로 이어지고 연결되어 처음에는 여기에 부분들을 함께 여전하게 유지시킨다. 그러나, 열 응력이 도입되는 경우, 기판은, 레이저 처리된 파손 표면 (5)을 따라 외부에서 도입되는 임의의 추가적인 힘없이 완전하게 분리된다. 이를 위해, 최대 250 W 까지의 평균 파워를 가진 CO₂ 레이저는 약 1 mm의 스팟 크기 상으로 초점이 맞추어지며, 그리고 이러한 스팟은 최대 0.5 m/s으로 분리 라인 (5)에 걸쳐 지나간다. 도입된 레이저 에너지 (분리 라인 (5)의 cm당 5 J)로 인한 국부적인 열 응력은 가공물 (1)을 완전하게 분리시킨다.

[0116] 보다 두꺼운 유리들을 분리하기 위해, 공정을 위한 임계 세기 (열 충격에 의한 방해 존 형성 및 유도 흡수)는 보다 긴 초점 라인 (1)에 걸쳐 물론 도달하여야 한다. 보다 높은 필요한 펄스 에너지들 및 보다 높은 평균 파워는 결과적으로 다음을 출력한다. 상술된 광학기들 설정 및 기판 상의 39 W의 이용 가능한 최대 레이저 파워 (광학기들을 통해 손실이 있을 후)를 이용하여, 약 3 mm 두께의 유리의 절단은 성공적으로 달성된다. 이러한 경우에, 한편으로는 환형 다이아프램 (8)이 제거되며, 그리고 다른 한편으로는 기판으로부터 렌즈 (7)의 거리는 교정되고 (공칭 초점 거리의 방향으로 증가됨), 그 결과 보다 긴 초점 라인이 기판에서 만들어진다.

[0117] 경화 유리를 절단하는 추가적인 대표 실시예는 이하에서 나타난다 (마찬가지로 도 3a 및 7에서 도시된 디바이스를 가짐).

[0118] 나트륨이 액체 포타슘염의 베스들 (baths)에 잠김으로써 유리 표면에서 포타슘과 교환된다는 점에서, 나트륨-함유 유리들은 경화된다. 이는 표면들에서 5-50 μm 두께의 충에 상당한 내부 응력 (압축 응력)을 일으키고, 결과적으로 보다 큰 안정성을 만들어낸다.

[0119] 원칙적으로, 경화 유리들을 절단할 시에, 공정 파라미터들은 비교할만한 치수 및 조성물의 비경화 유리들에 대한 것과 유사하다. 그러나, 경화 유리는 내부 응력으로 인해, 특별하게 원치 않는 균열 성장으로 인해, 매우 손쉽게 파손될 수 있고, 이는 레이저로 처리되어 의도된 파손 표면 (5)을 따라 일어나지는 않지만 물질에서 일어난다. 그러므로, 특정 경화 유리의 성공적인 절단을 위해 보다 좁은 파라미터 필드가 있다. 특히, 평균

레이저 파워 및 연관된 절단 속도는 특별하게 경화 층의 두께에 의존하여, 매우 정밀하게 유지되어야 한다. 40 μm 두께의 경화 층 및 0.7 mm의 총 두께를 가진 유리에 있어서, 다음 파라미터들은 상술된 설정의 경우에서 예를 들면 얻어진다: 14 W의 평균 파워를 이용하여, 100 kHz의 펄스 반복율로 1 m/s의 절단 속도, 및 10 μm 의 스팟 공간.

[0120] 경화 유리들의 내부 응력은 파손 준 (5)이 약간의 시간 (몇 초) 후에 완전하게 형성되고, 기판이 원하는 부분들로 분리되는 효과를 가진다.

[0121] 매우 얇은 경화 유리들 (< 100 μm)은 대부분 강화 물질로 구성되고, 즉, 앞 측면 및 뒷 측면에는 이들의 나트륨 함량이 줄어들고, 각각의 경우에 예를 들면 30 μm 로 결과적으로 경화되고, 단지 40 μm 의 내부에서는 경화되지 않는다. 이러한 물질은, 표면들 중 하나가 손상되는 경우, 매우 손쉽고 완전하게 파손된다. 상기와 같은 경화 유리 막들이 가공되는 것이 종래 기술에서는 지금까지 불가능했다.

[0122] 본원에서 기술된 방법에 의해 이러한 물질의 절단은 다음과 같은 경우에 성공적으로 달성된다: a) 초점 라인의 직경이 매우 작은, 예를 들면 1 μm 미만인 경우, b) 스팟 간의 공간이 작은, 예를 들면, 1 내지 2 μm 인 경우, 및 c) 균열 성장이 레이저 공정보다 빠르게 않도록 하기에, 분리 속도가 충분히 높은 경우 (0.2 내지 0.5 m/s에서 예를 들면 200 kHz의 높은 레이저 펄스 반복율).

[0123] 사파이어 유리 및 결정체 사파이어를 절단하기 위한 추가적인 대표 실시예 (도 3a 및 7에 기술된 디바이스와 유사)가 이하에서 나타난다.

[0124] 사파이어 결정체들 및 사파이어 유리들은 광학적으로 유사하지만 (투명성 및 굴절률), 기계적으로 및 열적으로는 매우 다른 행동을 하는 유리들이다. 예를 들어, 사파이어는 우수한 열 전도체이고, 극도의 기계적인 부하를 견뎌낼 수 있으며, 그리고 매우 강하고, 내스크래치성을 가진다. 그럼에도 불구하고, 상술된 레이저 및 광학기들 설정을 이용하여, 얇은 (0.3 mm 내지 0.6 mm) 사파이어 결정체들 및 유리들이 절단될 수 있다. 큰 기계적인 안정성 때문에, 분리될 부분들 사이의 남아있는 가교들이 최소로 유지되는 것이 특히나 중요한데, 이는 그렇지 않으면, 매우 강한 힘들이 궁극적인 분리에 필요하기 때문이다. 방해 준은 기판의 입구 표면 (1a)으로부터 출구 표면 (1b)까지 가능한 한 완전하게 형성되어야 한다. 보다 두꺼운 유리들의 경우에와 같이, 이는 보다 높은 펄스 에너지로 달성될 수 있으며, 그리고 결과적으로 보다 높은 평균 레이저 파워로 달성될 수 있다. 더욱이, 결정체 사파이어는 복굴절을 가진다. 절단 표면은 광 축에 대해 수직으로 위치하여야 한다 (소위 C-절단). 두께가 0.45 mm의 결정체 사파이어 웨이퍼를 절단하기 위해서, 다음의 파라미터들이 사용될 수 있다: 100 kHz의 펄스 반복율에서 30 W의 평균 레이저 파워, 2 μm 의 스팟 크기, 및 언급된 펄스 반복율로 0.5 m/s의 절단 속도에 대응하는 5 μm 의 스팟 공간. 유리의 경우에서와 같이, 완전한 분리는 예를 들면 CO₂ 레이저 스팟으로 수행되도록, 절단 라인 (5)의 차후의 가열을 필요로 할 수 있고, 그 결과, 열 응력은 방해 준이 균열 성장을 통과하도록 하여, 완전하고 연속적이고, 비-연결된 분리 표면을 형성하기 위해 사용된다.

[0125] 도 9는 본원에서 기술된 바와 같이 가공된 유리 시트의 표면의 마이크로그래프를 최종적으로 도시한다. (나타난 표면에 대해 수직인 기판 깊이 내로) 참조 번호들 (2c-1, 2c-2 ...)로 본원에서 제공된 개별적인 초점 라인들 또는 유도 흡수 (2c)의 뺨음부들은 라인 (5)을 따라 함께 연결되고, 이때 상기 라인 (5)을 따라 레이저 범은, 기판의 부분들이 분리되는 분리 표면을 형성하기 위해, 균열 형성에 의해 기판의 표면 (4) 상에 지나간다. 유도 흡수의 개별적인 다수개의 뺨음부들은 잘 볼 수 있으며, 이 경우에, 바로 인접한 부분들 (2c-1, 2, 2c-2 ...)의 평균 공간 (a) 및 레이저 범 초점 라인의 평균 직경 (δ)의 비율 $V3 = a/\delta$ 이 대략 2.0이 되도록, 표면 (4)에 걸쳐 레이저 범을 이동시키는 전진율을 매칭시키기 위한 레이저의 펄스 반복율이 기재되었다.

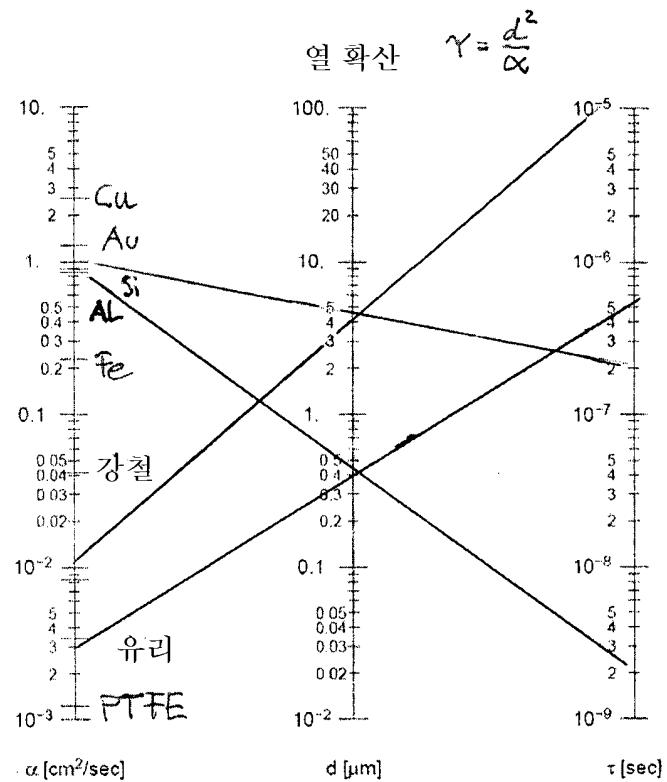
[0126] 명확하게 다른 언급이 없는 이상, 본원에서 설명된 방법은, 그의 단계들이 특정 순서로 수행될 필요가 있는 것으로 해석되어서는 아니된다. 이에 따라서, 방법 청구항은 실제로 그의 단계들에 의해 순서대로 연이어지도록 되지 않거나, 상기 단계들이 특정 순서에 제한되도록 하는 청구항 또는 설명에서 특별하게 언급되지 않으므로, 임의의 특정 순서로 추론하여서도 아니된다.

[0127] 본원에서 인용된 모든 특히, 공개된 출원 및 참조들의 교시는 전체적으로 참조로서 병합된다.

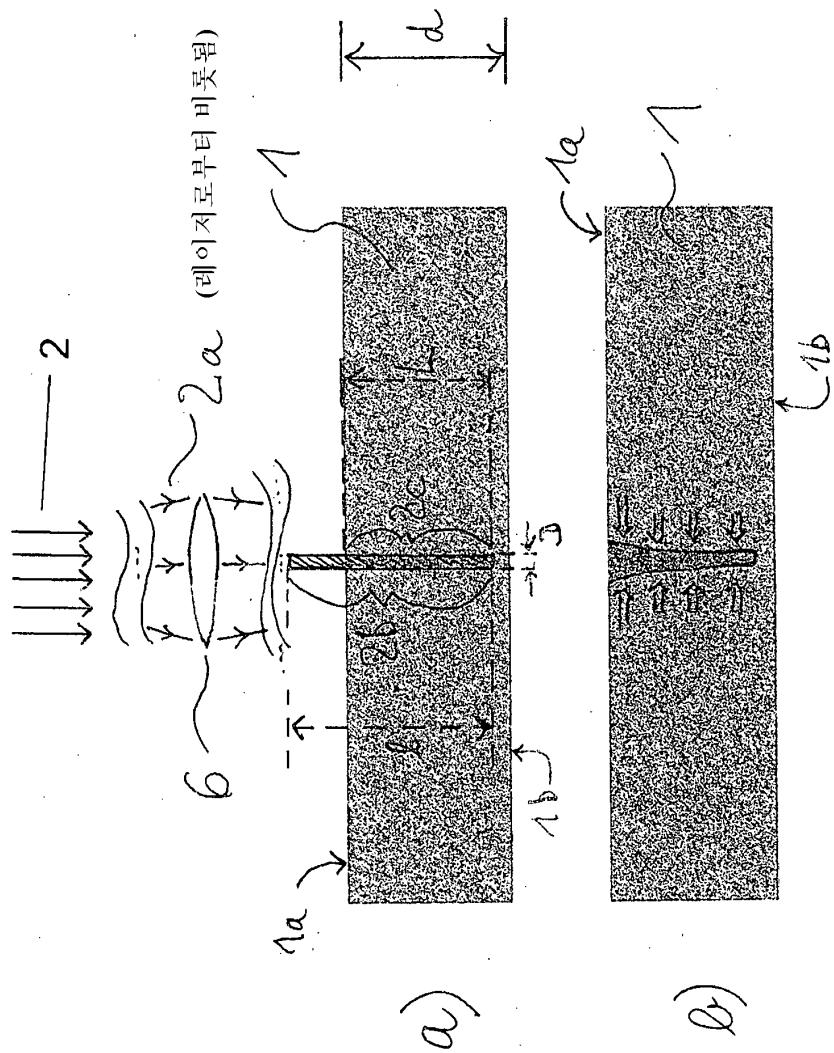
[0128] 기술 분야의 통상의 기술자에게 명백한 바와 같이, 다양한 변형들 및 변화들이 본 발명의 기술 사상 또는 권리 범위로부터 벗어남 없이 구현될 수 있다. 본 발명의 기술 사상 및 물질을 병합하는 개시된 실시예들의 변형 결합, 서브-결합 및 변화들이 기술 분야의 통상의 기술자에게 일어날 수 있기 때문에, 본 발명은 첨부된 청구항 및 이들의 권리 범위 내에 모든 것을 포함하도록 이해되어야 한다.

도면

도면1

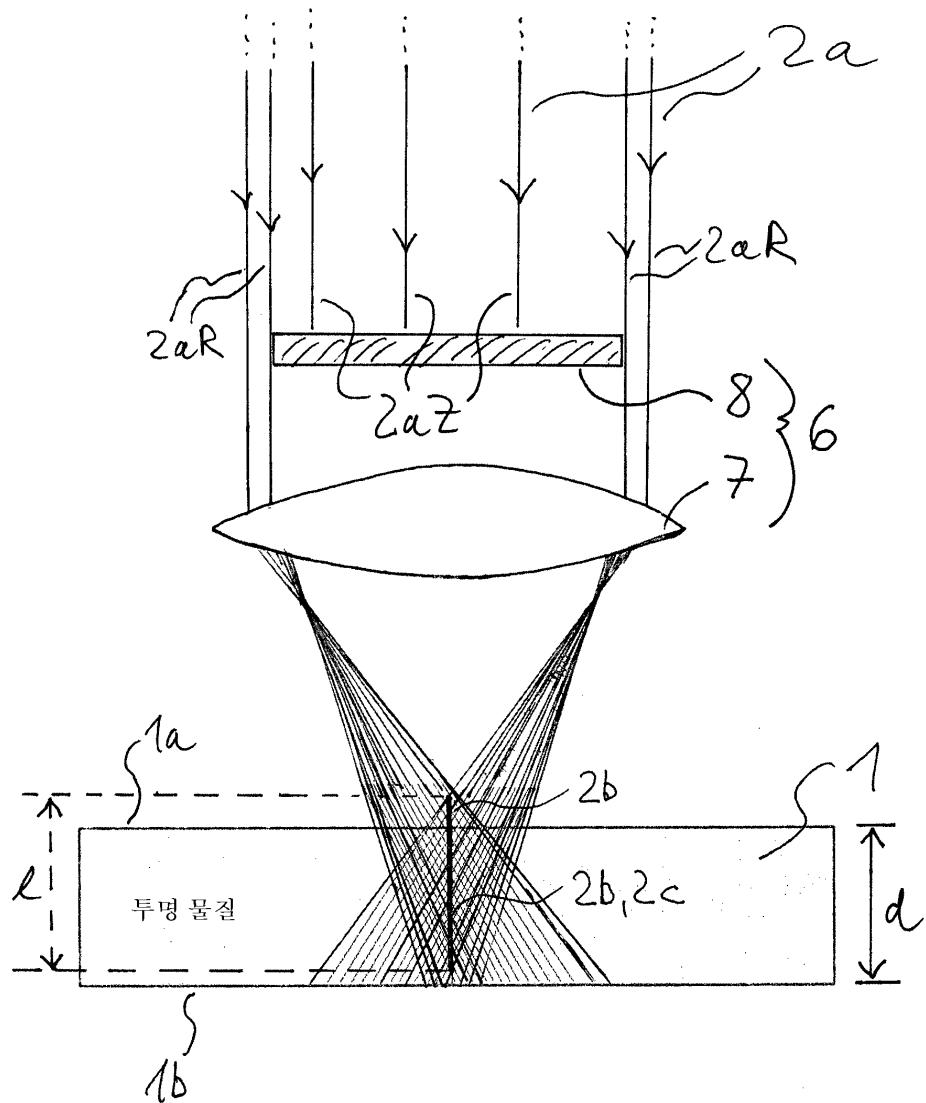


도면2

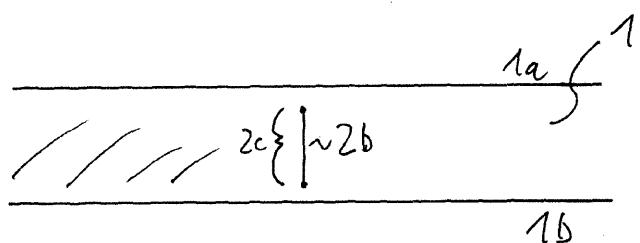
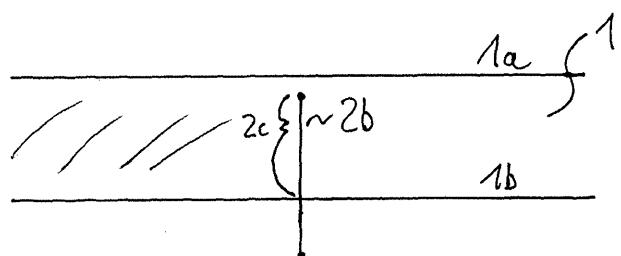
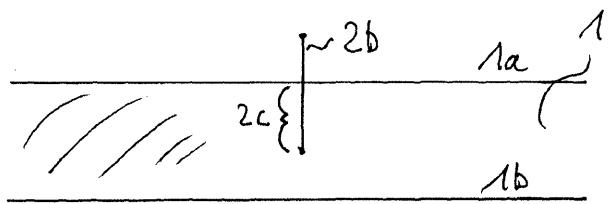
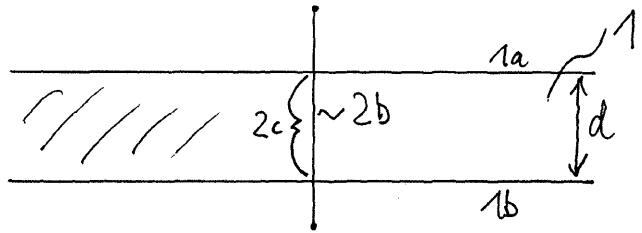


도면 3a

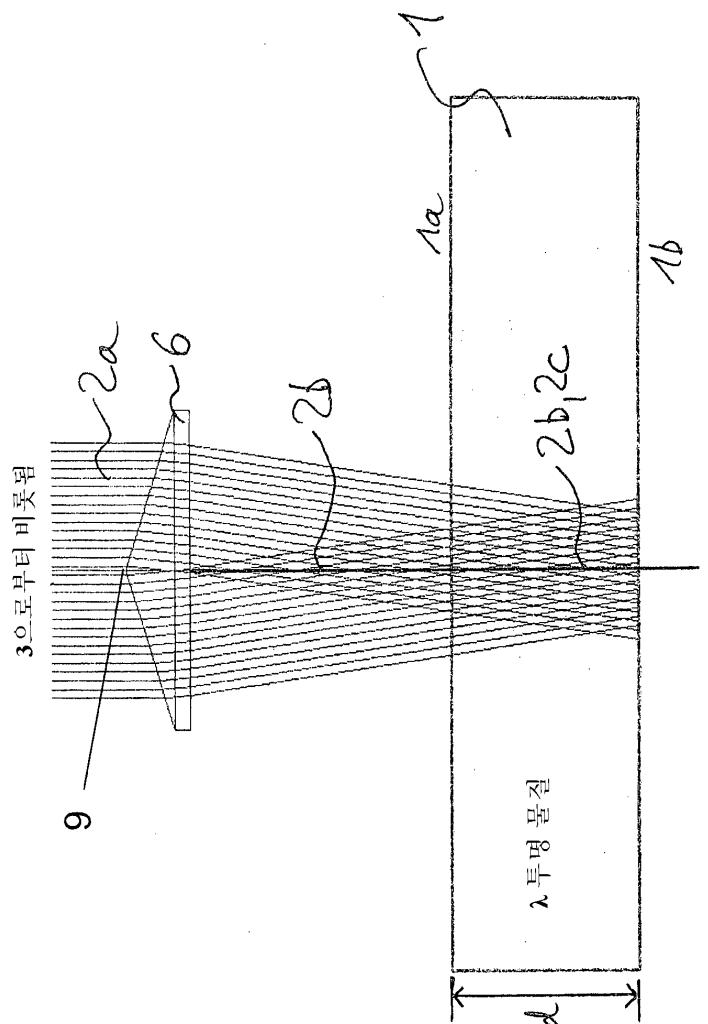
3으로부터 비롯됨



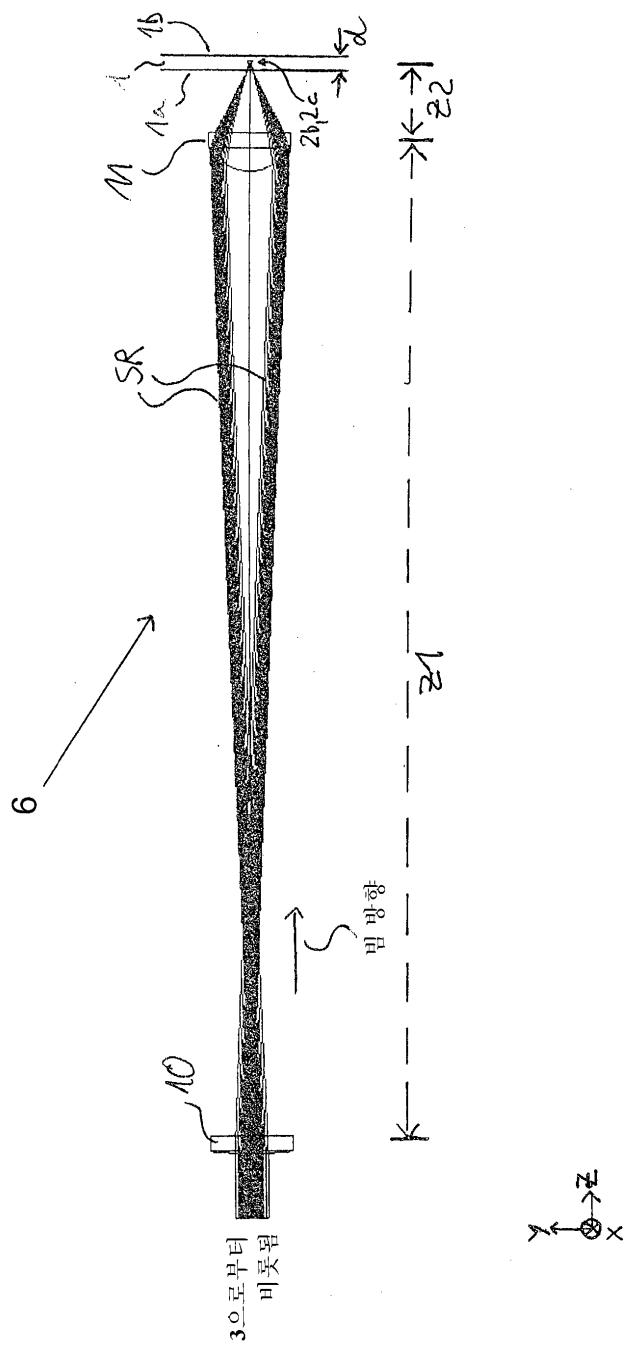
도면3b



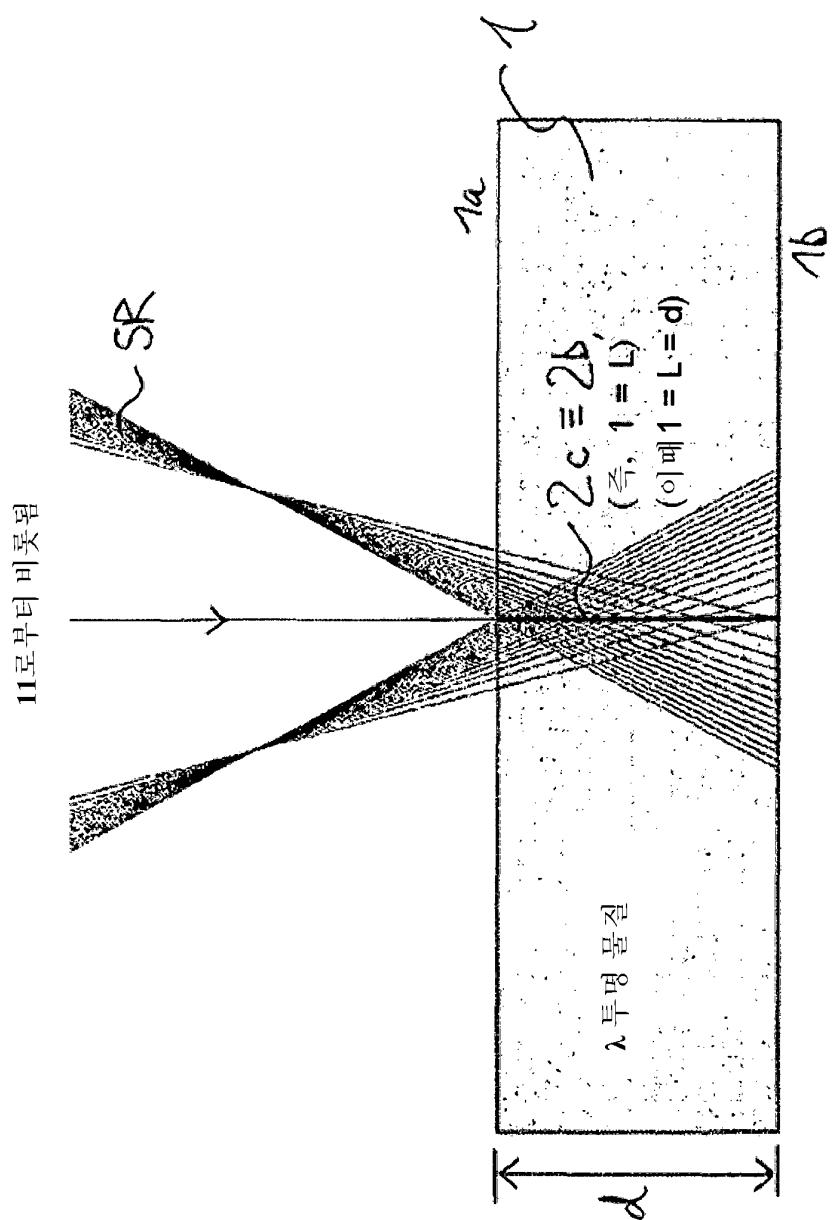
도면4



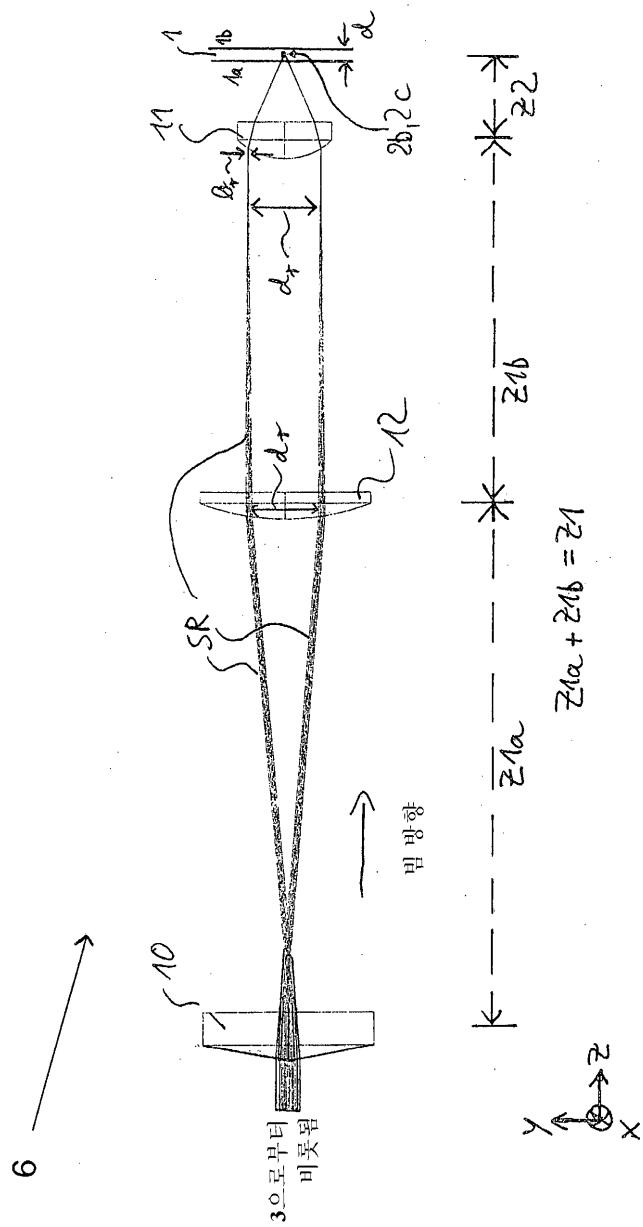
도면5a



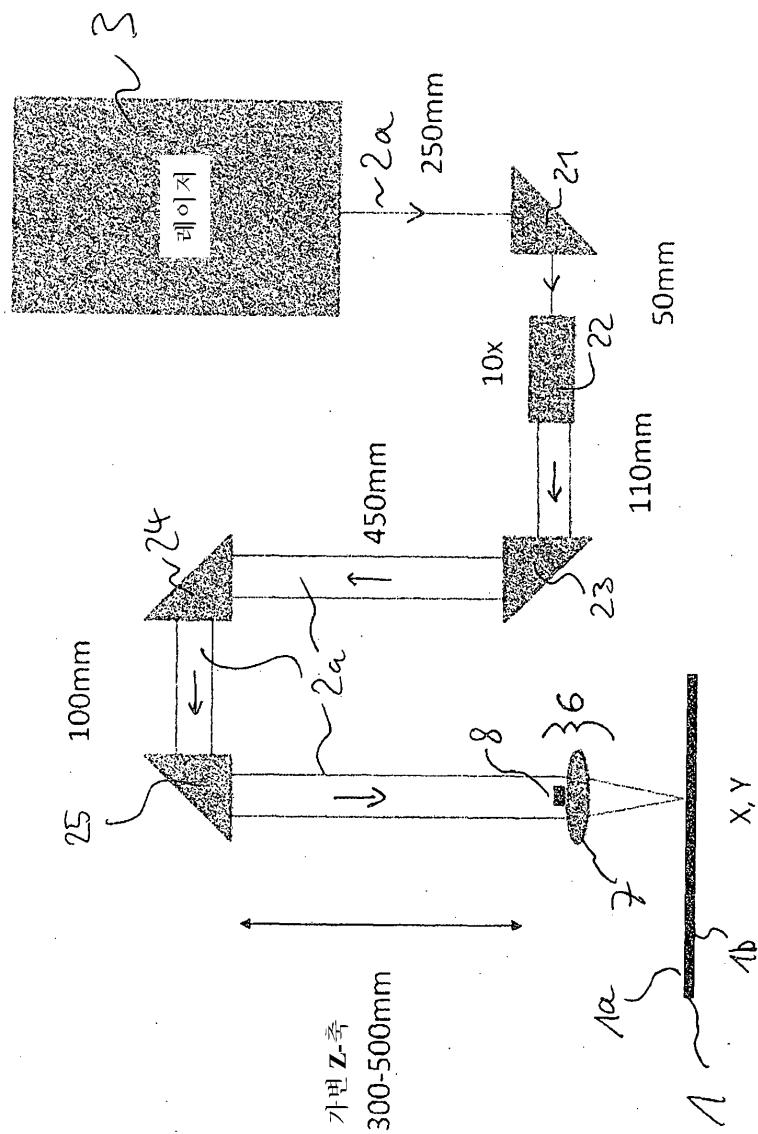
도면 5b



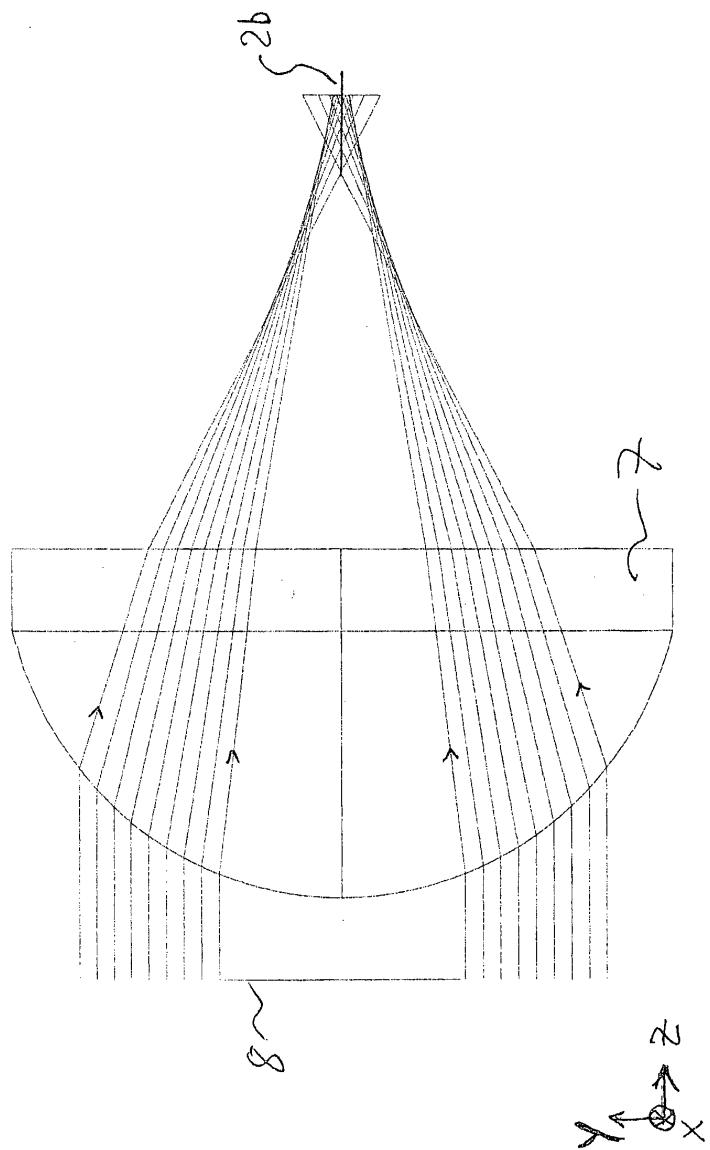
도면6



도면7



도면8



도면9



$$\sqrt{3} = 2.0$$