



등록특허 10-2292611



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월24일  
(11) 등록번호 10-2292611  
(24) 등록일자 2021년08월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*B23K 26/38* (2014.01) *B23K 26/00* (2014.01)  
*B23K 26/06* (2014.01) *B23K 26/0622* (2014.01)  
*B23K 26/073* (2006.01) *B32B 17/06* (2006.01)  
*C03B 33/02* (2006.01) *B23K 103/00* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*B23K 26/38* (2013.01)  
*B23K 26/0006* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7019249
- (22) 출원일자(국제) 2014년12월16일  
심사청구일자 2019년12월13일
- (85) 번역문제출일자 2016년07월15일
- (65) 공개번호 10-2016-0098467
- (43) 공개일자 2016년08월18일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2014/070432
- (87) 국제공개번호 WO 2015/095090  
국제공개일자 2015년06월25일
- (30) 우선권주장  
61/917,082 2013년12월17일 미국(US)  
(뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문현  
JP2013536081 A

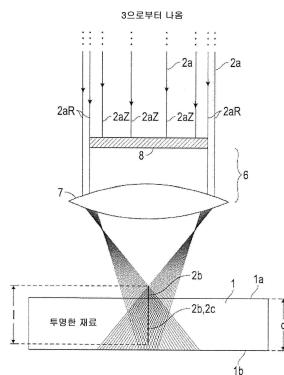
- (73) 특허권자  
코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트  
플라자
- (72) 발명자  
마르자노비, 사샤  
미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 크놀브룩 레  
인 웨스트 7  
피에취, 가렛 앤드류  
미국, 뉴욕 14830, 코닝, 호른비 로드 4226  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
청운특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 임성수

(54) 발명의 명칭 사파이어 기판을 레이저로써 레이저 절단하는 방법 및 일련의 결합을 갖는 엣지가 형성된 사  
파이어를 포함한 물품**(57) 요약**

분리된 부분을 형성하기 위해 재료를 레이저 처리하는 하는 방법이 개시된다. 이러한 방법은 재료로 나아가게 되는 빔 전파 방향을 따라 보았을 경우, 필스 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점맞추는 단계; 및 복수의 구멍 상의 상기 재료의 말단 엣지로부터 상기 재료의 근단 엣지까지 초점이탈된 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 레이저를 나아가게 하는 단계;를 포함하고, 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 재료 내에서 유도된 흡수를 발생시키고, 상기 유도된 흡수는 상기 재료 내의 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라서 구멍이나 홈 라인을 만든다.

**대 표 도 - 도3a**

(52) CPC특허분류

*B23K 26/0613* (2013.01)

*B23K 26/0624* (2015.10)

*B23K 26/0738* (2013.01)

*B23K 26/53* (2018.08)

*B23K 26/55* (2018.08)

*B32B 17/06* (2021.01)

*C03B 33/0222* (2013.01)

*B23K 2103/50* (2018.08)

*Y02P 40/57* (2020.08)

(72) 발명자

**추다, 세르기오**

미국, 뉴욕 14845, 호스헤드스, 바링톤 알디. 10

**와그너, 로버트 스테펜**

미국, 뉴욕 14830, 코닝, 다이크 로드 4557

---

(30) 우선권주장

62/022,890 2014년07월10일 미국(US)

14/529,976 2014년10월31일 미국(US)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

재료의 레이저 절단 방법으로서,

- (i) 레이저 빔 초점 라인에 펜스 레이저 빔을 초점맞추는 단계;
- (ii) 상기 레이저 빔 초점 라인을 상기 재료에 나아가게 하는 단계로서, 상기 레이저 빔 초점 라인은 상기 재료 내에 유도된 흡수를 발생시키고, 상기 유도된 흡수는 상기 재료 내에서 상기 레이저 빔 초점 라인을 따라서 결합 라인을 만드는 상기 재료에 나아가게 하는 단계;
- (iii) 복수의 상기 결합 라인을 포함한 홈 라인을 형성하기 위해 (i) 및 (ii) 단계를 반복적으로 실행하는 단계; 및
- (iv) 상기 홈 라인 상에 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계;를 포함하는, 재료의 레이저 절단 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 재료는 사파이어인, 재료의 레이저 절단 방법.

#### 청구항 3

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 펜스 레이저 빔의 펜스 지속시간은 1 피코초 이상 100 피코초 이하인, 재료의 레이저 절단 방법.

#### 청구항 4

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 펜스 레이저 빔은 파장을 갖고 상기 재료는 상기 파장에 실질적으로 투명한, 재료의 레이저 절단 방법.

#### 청구항 5

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 레이저 빔 초점 라인의 평균 스팟 직경은  $0.1 \mu\text{m}$  내지  $5 \mu\text{m}$ 인, 재료의 레이저 절단 방법.

#### 청구항 6

사파이어를 포함한 물품으로서,

상기 물품은 일련의 결합 라인을 갖는 엣지를 포함하고, 상기 엣지에서 각각의 결합 라인은 적어도  $250 \mu\text{m}$  뻗어 있고, 상기 결합 라인의 직경은  $5 \mu\text{m}$  이하이고, 상기 엣지는 표면 거칠기  $\text{Ra} < 0.5 \mu\text{m}$ 를 갖고, 그리고 유리 엣지의 표면 아래 손상은  $< 100 \mu\text{m}$ 인, 사파이어를 포함한 물품.

#### 청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 엣지의 상기 표면 아래 손상은  $< 75 \mu\text{m}$ 인, 사파이어를 포함한 물품.

#### 청구항 8

청구항 6 또는 7에 있어서,

상기 결합 라인은 상기 물품의 총 두께부를 통해 뻗어있는, 사파이어를 포함한 물품.

**청구항 9**

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 재료는 사파이어 레이어가 부착된 유리 기판을 포함하는, 재료의 레이저 절단 방법.

**청구항 10**

청구항 6 또는 7에 있어서,

상기 물품은 사파이어 레이어가 부착된 유리 기판을 포함하는, 사파이어를 포함한 물품.

**청구항 11**

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 결합 라인 사이의 거리는  $0.5 \mu\text{m}$  이상이며  $15 \mu\text{m}$  이하인, 재료의 레이저 절단 방법.

**청구항 12**

청구항 6 또는 7에 있어서,

상기 결합 라인 사이의 거리는  $0.5 \mu\text{m}$  이상이며  $15 \mu\text{m}$  이하인, 사파이어를 포함한 물품.

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**청구항 17**

삭제

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

삭제

**청구항 20**

삭제

**청구항 21**

삭제

**청구항 22**

삭제

**청구항 23**

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 출원은 2013년 12월 17일에 출원된 미국 가출원번호 제61/917,082호와, 2014년 07월 10일에 출원된 미국 가출원번호 제62/022,890호와, 그리고 2014년 10월 31일에 출원된 미국 특허출원 번호 제14/529,976호를 우선권 주장하고 있으며, 이들 특허문헌의 내용은 참조를 위해 본 명세서에 모두 통합되어 있다.

[0002] 본 출원은 사파이어 기판을 레이저로써 레이저 절단하는 방법 및 일련의 결함을 갖는 엣지가 형성된 사파이어를 포함한 물품에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 재료의 레이저 처리 분야에 절단, 드릴링, 밀링, 용접, 용융 등을 포함한 폭넓게 다양한 적용예와 상이한 타입의 재료가 포함된다. 이들 적용 중에서, 특별한 관심을 받는 것 중 하나는 사파이어로부터 임의의 형상부를 분리하는 것과 같은, 상이한 타입의 기판 재료의 절단 부분이나 또는 분리 부분이다. 사파이어는 우수한 강도와 경도, 큰 내스크래치 특성을 갖고, 그리고 또한 150 nm 내지 5500 nm의 광 파장에 매우 투명하다.

[0004] 사파이어는 전기적 특성, 기계적 특성, 열적 특성 및 광학 특성의 그 우수하고 특별한 조합에 따라 결정되는 여러 적용예에 사용된다. 이들 적용예는 과학 기기, 고 내구성 윈도우, 바코드 스캐너, 손목시계 크리스탈 및 무브먼트 베어링(movement bearing), 그리고 특별한 목적의 고체-상태 전자제품(이들 대부분은 집적된 회로임)의 절연 기판으로 사용되는 매우 얇은 전자 웨이퍼에서와 같은 적외선 광학 소자를 포함한다. 사파이어는 또한 GaN(gallium nitride) 기반의 장치의 발전(growth)을 위해 비-전도성 기판과 같은 반도체 산업에 사용된다. 특히, 사파이어는 전기 전도성이 낮지만, 그러나 열 전도성은 비교적 크다. 따라서, 사파이어는 우수한 전기 절연을 제공하는 한편으로, 동시에 모든 작동하는 집적 회로에서 발생되는 많은 열을 전도하는데 돋는다. 더욱 최근에, 가전 제품(consumer electronics products)에서 스마트폰 카메라 윈도우, 스크린 커버 및 터치 적용을 위한 대안적인 재료로서 제공되고 있다.

[0005] 사파이어가 매우 단단하기 때문에, 이러한 기판 재료로부터 부분을 만드는데 있어 주된 도전 중 한 도전은 절단 처리이다. 전형적으로, 절단은 기판에 패턴을 스크라이브처리 하도록 다이아몬드-팁 날을 사용하여 먼저 달성

될 수 있다. 이로부터, 스크라이브처리된 프로파일은 부분을 완전하게 분리하도록 추적된 프로파일을 따라서 그리고 기판에 크랙을 전파하는 기계적 힘의 영향을 받거나, 또는 스크라이브처리는 기판을 절단하는 원형 다이아몬드 날의 제 2 패스에 의해 뒤따른다. 다이아몬드 날은 작지만 유한한 폭을 갖고 그리고 분리 처리는 다이아몬드 날의 폭을 차지하기 위해 분리될 2개 부분 사이의 "스트리트(street)"(전형적으로 약 40  $\mu\text{m}$  보다 더 큼)를 남겨둔다. 기판으로부터 분리된 부분의 엣지의 품질을 유지하기 위하여 그리고 또한 상기 기판의 큰 고장(catastrophic) 및 제어되지 않은 크랙킹을 피하기 위하여, 다이아몬드 텁 날은 분리 처리를 연장시키는, 저 속도에서 반드시 작동되어야 한다. 또한, 마모 때문에, 날에서의 다이아몬드 텁이 마모되고 웨이퍼 당 하나의 날만큼 종종 반드시 교체되어야 하며, 이는 제조 처리를 느리게 하고 비용을 증대시킨다. 결국에는, 기계적 스크라이브 처리는 크랙을 야기시키고, 이는 기판을 손상시킬 수 있으며 수율을 감소시킬 수 있다(전형적인 수율은 약 70% 임).

[0006] 사파이어 절단 및 처리와 관련된 다른 한 도전은 분리된 부분의 형상과 관련된다. 사파이어의 크리스탈라인 특성에 기인하여, 분열 및 분리는 우선적으로 크리스탈 평면 중 한 평면과 정렬된 직선형 라인에서 발생한다. 그러나, 이러한 동일한 특징부는 더욱 복잡한 형상을 갖는 사파이어 부분의 절단 및 분리를 어렵게 한다. 예를 들면, 원형 형상에 대한 크리스탈 정렬 및 유도된 응력에 따라, 정사각형 기판으로부터 원형 형상을 분리할 때, 크랙 전파는 의도된 원형 경로로부터 벗어날 수 있고 대신에 구조적 크리스탈 평면 중 한 평면을 따르는 최소 저항 경로를 따라서 발생할 수 있다.

[0007] 처리 개발 및 비용 관점으로부터, 사파이어 기판의 절단 및 분리를 향상시킬 많은 기회가 있다. 사파이어의 분리에 대한 보다 빠르고, 보다 청결하고, 보다 저렴하고, 보다 반복가능하고 그리고 보다 신뢰가능한 방법에 대해 관심이 크다(오늘날 시장에서 현재 실시되는 것보다). 여러 대안적인 기술 중에서, 레이저 분리는 상이한 접근법을 사용하여 시도되고 있고 실험되고 있다. 기술은: 1) 요구되는 부분(또는 부분)과 그 주변 기판 매트릭스의 경계부 사이에서 재료의 실제 제거; 2) 2차 파단 단계가 이어지는 요구되는 형상 프로파일의 주변부에 따른 크랙킹 시발점을 재료에서 성장시키고 축약화시키는 대부분의 재료 내에서 결합의 생성; 및 3) 열 응력 분리에 의한 초기 크랙의 전파;처럼 다양하다. 이를 레이저 절단 처리는 경쟁 기술(기계적 스크라이빙과 파단, 고 압력 워터 제트 및 초음파 밀링, 등)에 비해 정밀성, 우수한 엣지 마감처리 그리고 저 잔류 응력과 같은 잠재적인 경제적 그리고 기술적 장점을 입증하였다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 그럼에도 불구하고 임의의 형상의 사파이어의 절단 및 분리를 위한 향상된 처리에 대한 요구가 지속적으로 있다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본 명세서에 개시된 실시예는 사파이어 및 다른 기판 재료로부터 임의의 형상을 절단 및 분리하기 위한 레이저 처리에 관한 것이다. 개발된 레이저 방법은 열 응력의 요구되는 프로파일에 의한 기판으로부터의 부분의 수동 분리나 또는 완전한 레이저 분리를 위해 조정될 수 있다(tailor). 본 방법은 기판으로부터 분리되도록 요구되는 부분의 형상과 일치하는, 기판에서의 흠(fault) 라인을 만들기 위한 초단파 펄스 레이저의 사용을 포함한다. 흠 라인은 다른 방향으로의 잘못된 크랙 전파 및 손상을 피하면서, 요구되는 형상을 갖는 부분의 분리를 용이하게 하는 우선적인 크랙 전파의 경로를 형성한다. 초단파 레이저 펄스는 기판과 부분의 완전하게 자동화된 분리에 영향을 미치는 다른 열 응력 발생원이나 또는  $\text{CO}_2$  레이저에 의해 선택적으로 뒤따를 수 있다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 분리된 부분을 형성하기 위한 재료의 레이저 절단 방법은 펄스 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점맞추는 단계, 재료 내에서 상기 재료 내의 레이저 빔 초점 라인을 따라 결합 라인이나 구멍을 만드는 유도된 흡수를 발생시키는 레이저 빔 초점 라인을 재료로 나아가게 하는 단계, 레이저로써 재료에 복수의 결합 라인을 형성하기 위해, 서로와 관련하여 재료나 레이저 빔을 병진이동시키는 단계, 및 복수의 구멍 또는 결합 라인 상에 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계를 포함한다. 레이저 빔 초점 라인은 빔 전파 방향을 따라서 정위될 수 있다. 재료는 사파이어일 수 있다.

[0011] 펄스 레이저 빔의 펄스 지속시간은 약 1 피코초 초과 약 100 피코초 미만일 수 있거나, 또는 약 5 피코초 초과 약 20 피코초 미만일 수 있다. 펄스 레이저 빔의 반복률은 1 kHz 내지 2 MHz, 또는 10 kHz 내지 650 kHz이다. 펄스 레이저 빔은 재료의  $\text{mm}$  두께 당 40  $\mu\text{J}$ 보다 큰, 재료에서 측정된 평균 레이저 파워를 가질 수 있다. 펄스

는 적어도 2개 펄스의 버스트에 만들어질 수 있다. 버스트 내의 펄스는 1 nsec 내지 50 nsec, 또는 10 nsec 내지 30 nsec, 또는 15 nsec 내지 25 nsec의 지속기간 만큼 분리될 수 있다. 다수의 버스트는 재료에 적용될 수 있고, 여기서 각각의 버스트는 2개 이상 펄스를 포함하고 그리고 버스트 반복 주파수는 약 1 kHz 내지 약 2000 kHz에 속한다.

[0012] 펄스 레이저 빔은, 재료가 파장에서 실질적으로 투명하도록, 선택된 이러한 파장을 가질 수 있다. 레이저 빔 초점 라인은 약 0.1 mm 내지 약 100 mm, 또는 약 0.1 mm 내지 약 10 mm의 길이를 가질 수 있다. 레이저 빔 초점 라인은 약 0.1  $\mu\text{m}$  내지 약 5  $\mu\text{m}$ 의 평균 스팟 직경을 가질 수 있다.

[0013] 본 방법은 재료로부터 부분을 분리하기 위하여, 재료의 근단 옛지로부터 부분의 접선 옛지까지, 또는 재료의 말단 옛지로부터 부분의 접선 옛지까지 IR 레이저를 나아가게 하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계는 또한 CO<sub>2</sub> 레이저 빔을 나아가게 하는 단계를 포함할 수 있다. IR 레이저 빔은 약 2 mm 내지 약 20 mm의 스팟 크기로 초점이탈(defocus)될 수 있다. IR 레이저 빔은 재료의 말단 옛지로부터 재료의 근단 옛지로 나아가게 될 수 있다.

[0014] 물품은 일련의 결합 라인을 갖는 옛지를 포함하고, 여기서 각각의 결합 라인은 적어도 250  $\mu\text{m}$  뻗어있고, 상기 결합 라인은 5  $\mu\text{m}$  보다 작은 직경을 갖고, 상기 옛지는 표면 거칠기 Ra < 0.5  $\mu\text{m}$ 를 갖고, 그리고 유리 옛지의 표면 아래(subsurface) 손상은 < 100  $\mu\text{m}$ 이다. 유리 옛지의 표면 아래 손상은 또한 < 75  $\mu\text{m}$ 일 수 있다. 결합 라인은 물품의 총 두께를 통해 뻗어있을 수 있다. 결합 라인 사이의 거리는 0.5  $\mu\text{m}$  초과이고 약 15  $\mu\text{m}$ 이하일 수 있다, 그리고 물품의 두께는 1.5 mm 보다 작을 수 있다. 물품은 사파이어를 포함할 수 있다. 물품은 또한 원형 디스크일 수 있거나 또는 사파이어 레이어가 부착된 유리 기판을 포함할 수 있다. 유리 기판의 두께는 100 미크론 내지 1 mm일 수 있고, 그리고 사파이어 레이어의 두께는 1 미크론 내지 600 미크론일 수 있다.

[0015] 또 다른 한 실시예에 있어서, 재료의 레이저 절단 방법은: (i) 레이저 빔 초점 라인에 펄스 레이저 빔을 초점맞추는 단계; (ii) 재료 내에서 상기 재료 내의 레이저 빔 초점 라인을 따라 결합 라인을 만드는 유도된 흡수를 발생시키는 레이저 빔 초점 라인을 상기 재료에 나아가게 하는 단계; (iii) 복수의 상기 결합 라인을 포함하는, 상기 재료 내의 흠 라인을 형성하도록 상기 (i) 및 (ii)를 반복적으로 실행하는 단계; 및 (iv) 상기 흠 라인 상에 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계;를 포함한다. 흠 라인은 선형이거나, 만곡형이거나 또는 원형일 수 있다. IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계는 흠 라인을 따라서 재료를 파쇄할 수 있다.

[0016] 이들 실시예는 감소된 레이저 파워, 감소된 표면 아래 결합, 항상된 처리 청결, 복잡한 프로파일과 상이한 크기의 형상의 생성, 및 처리 단계의 제거로써 절단된 부분의 완전한 분리를 포함하는 많은 장점을 갖는다.

[0017] 본 발명은 재료의 레이저 절단 방법에 관한 것이며,

[0018] 상기 재료의 레이저 절단 방법은:

[0019] 펄스 레이저 빔을 레이저 빔 초점 라인에 초점맞추는 단계;

[0020] 상기 재료 내의 레이저 빔 초점 라인을 따라서 결합 라인을 만드는 유도된 흡수를 상기 재료 내에 생성하는 레이저 빔 초점 라인을 상기 재료에 나아가게 하는 단계;

[0021] 상기 레이저로써 상기 재료에 복수의 결합 라인을 형성하기 위해, 서로와 관련하여 상기 레이저 빔이나 재료를 병진이동시키는 단계; 및

[0022] 복수의 결합 라인 상에 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계;를 포함한다.

[0023] 본 발명은 물품에 관한 것이며,

[0024] 상기 물품은 사파이어로 이루어지고, 상기 물품 일련의 결합 라인을 갖는 옛지를 포함하며, 이 경우 각각의 결합 라인은 적어도 250  $\mu\text{m}$  뻗어있고, 상기 결합 라인의 직경은 5  $\mu\text{m}$ 보다 작고, 상기 옛지는 표면 거칠기 Ra < 0.5  $\mu\text{m}$ 를 갖고, 그리고 상기 옛지의 표면 아래 손상은 < 100  $\mu\text{m}$ 이다.

[0025] 본 발명은 재료의 레이저 절단 방법에 관한 것이며,

[0026] 상기 재료의 레이저 절단 방법은:

[0027] (i) 레이저 빔 초점 라인에 펄스 레이저 빔을 초점맞추는 단계;

[0028] (ii) 상기 재료 내의 레이저 빔 초점 라인을 따라서 결합 라인을 만드는 유도된 흡수를 상기 재료 내에 생성하

는 레이저 빔 초점 라인을 상기 재료에 나아가게 하는 단계;

[0029] (iii) 복수의 상기 결합 라인을 포함하는, 상기 재료 내의 흄 라인을 형성하도록 상기 (i) 및 (ii)를 반복적으로 실행하는 단계; 및

[0030] (iv) 상기 흄 라인 상에 IR 레이저 빔을 나아가게 하는 단계;를 포함한다.

[0031] 상기 기재된 사항은 첨부된 도면에 설명된 바와 같은 예시적인 실시예의 더욱 특별한 기재가 뒤따르며, 상기 도면에서 동일한 부재번호는 동일한 부품을 지시하도록 사용되었다. 도면은 축척에 맞춰 도시되지 않았으며 단지 실시예를 설명하기 위한 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0032] 도 1a - 도 1c는 다음과 같다: 도 1a는 샘플을 통해 흄 라인을 만드는 레이저를 나타낸 도면이고; 도 1b는 분리 이후의 결합 라인을 갖는 옛지의 도면이고; 도 1c는 분리된 옛지의 사진이다.

도 2a 및 도 2b는 레이저 빔 초점 라인의 위치결정을, 즉, 초점 라인을 따라서 유도된 흡수에 기인한 레이저 파장에 투명한 재료의 처리를 나타낸 도면이다.

도 3a는 레이저 드릴링을 위한 광학 조립체의 도면이다.

도 3b-1 - 도 3b-4는 상기 기판과 관련하여 레이저 빔 초점 라인을 상이하게 위치결정시킴으로써 상기 기판을 처리하는 다양한 가능성을 나타낸 도면이다.

도 4는 레이저 드릴링을 위한 제 2 광학 조립체의 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 레이저 드릴링을 위한 제 3 광학 조립체의 도면이다.

도 6은 레이저 드릴링을 위한 제 4 광학 조립체의 개략적인 도면이다.

도 7a - 도 7c는 재료의 레이저 처리를 위한 상이한 특성(regime)을 나타낸 도면이다. 도 7a는 초점맞춰지지 않은 레이저 빔을 나타내고 있고; 도 7b는 구형 렌즈에 의한 집중된 레이저 빔을 나타내고 있고; 도 7c는 악시 콘 또는 회절 Fresnel 렌즈에 의한 집중된 레이저 빔을 나타내고 있다.

도 8a는 피코초 레이저에 대한 시간의 함수로서 레이저 방사를 나타내고 있다. 각각의 방사는 하나 이상의 서브-펄스를 포함할 수 있는 펄스 "버스트"에 의해 특징지워진다. 펄스 지속시간에 대응하는 시간, 펄스 사이의 분리, 그리고 버스트 사이의 분리가 나타내어져 있다.

도 8b는 0.55 mm 두께의 사파이어 기판의 직선형 절단 스트립의 옛지 이미지를 나타낸 사진이다.

도 9는 0.55 mm 두께의 샘플과 분리된 사파이어 버튼을 나타낸 사진이다. 여러 버튼이 수동으로 분리되었고, 일부는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하여 부분적으로 분리되었고 다른 일부는 CO<sub>2</sub> 레이저로써 완전하게 분리되었다.

도 10a 및 도 10b는 피코초 레이저로써 만들어진 원 및 방출 라인(도 10a)과, 최초 플레이트로부터 버튼을 방출하기 위한 다음 CO<sub>2</sub> 레이저 추적(도 10b)을 포함한, 흄 라인 천공 시퀀스의 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 예시적인 실시예가 아래 기재되어 있다.

[0034] 개시된 실시예는 사파이어를 포함한 임의의 형상의 기판의 정밀한 절단 및 분리를 위한 레이저 처리를 제공한다. 사파이어-포함 기판은 순수한 사파이어이거나, 하나 이상의 다른 재료와의 사파이어 합성물이거나, 사파이어 블렌드(blend)이거나, 사파이어-코팅된 재료이거나, 사파이어가 통합된 재료일 수 있다. 일 실시예에 있어서, 사파이어-포함 기판은 사파이어 레이어가 부착되거나, 접합되거나, 라미네이트되거나, 또는 코팅된 유리이다. 사파이어에 대해 말하자면, 본 명세서에 기재된 사파이어 기판은 전반적으로 사파이어-포함 기판까지 확장되도록 고려된다. 처리는 무시가능한 부스러기, 최소 결합 및 부분 강도를 보전하기 위한 옛지에 대한 저표면 아래 손상을 갖는 제어가능한 방식으로 부분을 분리한다. 레이저 절단 방법은 선택된 레이저 파장에 투명한 재료에 매우 적당하다. 재료는 바람직하게는 선택된 레이저 파장에 실질적으로 투명할 수 있다(즉, 재료 깊이의  $\mu\text{m}$  당 약 10 %보다 작고, 더욱 바람직하게는 약 1 %보다 작은 흡수). 본 방법의 설명은 양 면에서 0.55 mm 두께의 시트의 연마된 C-축선 절단 사파이어를 사용하여 행해지고 있다.

- [0035] 기본적인 처리 단계는 분리된 부분의 요구되는 형상을 묘사하는 흄 라인을 만들도록 초단파 레이저 펄스를 사용하는 것이다. 흄 라인은 크랙 전파와 이에 따른 기판 매트릭스로부터의 형상부의 분리 및 탈착을 위한 최소 저항 경로를 만든다. 레이저 분리 방법은 최초 기판의 사파이어 형상의 수동 분리, 부분 분리 또는 전체 분리가 가능하도록 구성되고 조정될 수 있다.
- [0036] 아래 기재된 레이저 방법에 따라, 단 하나의 패스로서, 레이저는 표면 아래 손상 및 부스러기가 극히 발생하지 않고도( $< 75 \mu\text{m}$ , 종종  $< 50 \mu\text{m}$ ), 기판 또는 재료를 통해 상당하게 제어된 완전한 라인 천공을 생성하도록 사용될 수 있다. 이는 다수의 패스가 유리 두께를 완전하게 천공하는데 종종 필요한, 재료를 제거하는(ablate) 스팟-초점맞춰진 레이저의 전형적인 사용과 반대이며, 많은 양의 부스러기가 삽마 처리로부터 형성되고, 그리고 더 넓은 표면 아래 손상( $> 100 \mu\text{m}$ ) 및 엣지 칩핑(chipping)이 발생한다.
- [0037] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 표면 아래 손상은 본 발명에 따라 레이저 처리되는 기판 또는 재료로부터 분리된 부분의 주변 표면에서의 최대 크기의 구조적 불안전부(예를 들면, 길이, 폭, 직경)를 의미한다. 구조적 불안전부가 주변 표면으로부터 뻗어있기 때문에, 표면 아래 손상은 또한 본 발명에 따른 레이저 처리로부터 손상이 발생하는 주변 표면으로부터의 최대 깊이로 여겨질 수 있다. 분리된 부분의 주변 표면은 분리된 부분의 엣지나 엣지 표면으로 본 명세서에서 언급될 수 있다. 구조적 불안전부는 크랙이나 보이드(void)일 수 있고, 기판 또는 재료로부터 분리된 부분의 파괴 또는 파쇄를 촉발시키는 기계적 취약 지점을 나타낼 수 있다. 표면 아래 손상 크기를 최소화함으로써, 본 방법은 분리된 부분의 기계적 강도와 구조적 합치성을 형상시킨다. 표면 아래 손상은 대략  $100 \mu\text{m}$ 이하의 깊이, 또는  $75 \mu\text{m}$ 이하의 깊이, 또는  $60 \mu\text{m}$ 이하의 깊이, 또는  $50 \mu\text{m}$ 이하의 깊이로 한정될 수 있고, 그리고 절단은 단지 적은 부스러기만을 발생시킬 수 있다.
- [0038] 따라서, 하나 이상의 고 에너지 펄스나 고 에너지 펄스의 하나 이상의 버스트를 사용하는 투명한 재료에 미세한(즉,  $< 0.5 \mu\text{m}$  및  $> 100 \text{ nm}$ 의 직경) 세장형 결합 라인(또한, 천공 또는 손상 트랙으로 본 명세서에서 언급됨)을 만들 수 있다. 천공은 레이저에 의해 개질된 기판 재료의 구역을 나타낸다. 레이저-유도된 개질은 기판 재료의 구조를 붕괴하고 기계적 취약부의 위치를 이룬다. 구조적 붕괴는 압착, 용융, 재료의 이탈(dislodging), 재 배열, 및 결합 분열을 포함한다. 천공은 기판 재료의 내부로 뻗어있고 그리고 레이저의 단면 형상(일반적으로 원형)과 일치하는 단면 형상을 갖는다. 천공의 평균 직경은  $0.1 \mu\text{m}$  내지  $50 \mu\text{m}$ , 또는  $1 \mu\text{m}$  내지  $20 \mu\text{m}$ , 또는  $2 \mu\text{m}$  내지  $10 \mu\text{m}$ , 또는  $0.1 \mu\text{m}$  내지  $5 \mu\text{m}$ 일 수 있다. 여러 실시예에 있어서, 천공은 "관통 구멍"이고, 기판 재료의 상부로부터 바닥부로 뻗어있는 구멍이나 개방 채널이다. 여러 실시예에 있어서, 천공은 연속 개방 채널이 아닐 수 있고 그리고 레이저에 의해 기판 재료로부터 이탈된 고체 재료의 섹션을 포함할 수 있다. 이탈된 재료는 천공에 의해 형성된 공간을 차단하거나 부분적으로 차단한다. 하나 이상의 개방 채널(차단되지 않은 구역)은 이탈된 재료의 섹션 사이에서 분산될 수 있다. 개방 채널의 직경은  $< 1000 \text{ nm}$ 이거나,  $< 500 \text{ nm}$ 이거나,  $< 400 \text{ nm}$ 이거나,  $< 300 \text{ nm}$ 이거나,  $10 \text{ nm}$  내지  $750 \text{ nm}$ 이거나, 또는  $100 \text{ nm}$  내지  $500 \text{ nm}$ 일 수 있다. 본 명세서에 개시된 실시예에서의 구멍을 둘러싸는 재료의 지장을 받거나 또는 개질된 영역(예를 들면, 압착되거나, 용융되거나, 또는 그렇지 않으면 변경됨)은, 바람직하게는  $< 50 \mu\text{m}$  (예를 들면,  $< 10 \mu\text{m}$ )의 직경을 갖는다.
- [0039] 개별 천공은 예를 들면, 수백 kilohertz의 속도로 만들어질 수 있다(예를 들면, 초당 수십만 천공). 따라서, 레이저 발생원과 재료 사이의 상대 운동으로써, 이들 천공은 서로 인접하여 배치될 수 있다(필요에 따라 서브-미크론 내지 수 미크론 변하는 공간). 이러한 공간 분리(피치)는 절단을 용이하게 하기 위해 선택된다.
- [0040] 제 1 단계에 있어서, 사파이어 기판이나, 또는 사파이어 레이어가 위치한 유리 기판은 기판의 두께를 통해서나 유리의 두께를 통해 그리고 상기 기판 상에 위치된 사파이어 레이어를 통해 관통하는 큰 종횡비 라인 초점에 집중된(condensed) 초단파 펄스 레이저 빔으로써 조사된다. 유리 기판은 상기 유리 기판 상에 부착된 사파이어 레이어를 구비한 경우, 상기 유리 기판 두께는  $100 \mu\text{m}$  내지  $1 \text{ mm}$ 일 수 있고, 그리고 예를 들면, 사파이어 두께 범위는 얇은 코팅으로부터 보다 두꺼운  $600 \mu\text{m}$  레이어까지이며, 그리고  $600 \mu\text{m}$  보다 더 큰 사파이어 레이어의 두께는 과도하게 깨지게 되도록 예상될 수 있다. 초단파 펄스 레이저 빔을 사용하여 만들어진 고 에너지 밀도의 이러한 볼륨 내에, 재료는 비선형 효과를 통해 개질된다. 비선형 효과는 레이저 빔으로부터 기판으로 에너지를 전달하는 메카니즘을 제공하여, 수직 결합 라인을 형성할 수 있다. 이러한 고 광학 강도 비선형 흡수없이 촉발(trigger)되지 않는다는 것을 아는 것은 중요하다. 비선형 효과를 위한 강도 문턱값 아래로, 재료는 레이저 복사에 투명하고 그리고 그 최초 상태를 유지한다. 요구되는 라인이나 경로 상에 레이저를 스캐닝함으로써, 협폭의 흄 라인(복수의 수직 결합 라인으로 형성된 수 미크론 폭)은 기판으로부터 분리될 부분의 형상 또는 주변부를 형성하게 만들어진다.
- [0041] 고 강도 레이저 빔에 의해 유도된 비선형 효과는 투명한 재료에서의 MPA(multi-photon absorption)를 포함한다.

MPA는 보다 작은 에너지 상태(통상적으로 기저 상태)로부터 보다 큰 에너지 상태(여기된 상태)로 재료를 여기시 키도록, 동일하거나 상이한 주파수의 다수의(2개 이상) 광자의 동시 흡수이다. 여기된 상태는 여기된 전자 상태 또는 이온화된 상태일 수 있다. 재료의 보다 큰 에너지 상태와 보다 작은 에너지 상태 사이의 에너지 차이가 2개 이상 광자의 에너지의 합과 동일하다. MPA는 비선형 처리이고, 이는 즉 일반적으로 선형 흡수보다 십 몇몇 정도 더 약하다는 것이다. MPA는, 상기 MPA의 강도가 광 강도의 보다 큰 파워 또는 자승에 따라 결정 된다는 점에서 선형 흡수와 상이하며, 따라서 비선형 광학 처리를 하게 된다. 보통의 광 강도에서, MPA는 무시 가능하다. 광 강도(에너지 밀도)가 극히 크다면, 레이저 발생원(특히, 펄스 레이저 발생원)의 초점 구역에서와 같이, MPA는 주목할만하게 되고 광원의 에너지 밀도가 충분하게 큰 구역 내에서의 재료의 측정가능한 효과를 야기한다. 초점 구역 내에서, 에너지 밀도가 이온화를 초래하도록 충분히 클 수 있다.

[0042] 원자 레벨에서, 개별 원자의 이온화는 별개의 에너지 요구조건을 갖는다. 유리에 통상적으로 사용된 여러 원소 (예를 들면, Si, Na, K)가 비교적 적은 이온화 에너지(~5 eV)를 갖는다. MPA의 현상없이, 약 248 nm의 파장은 ~5 eV에서 선형 이온화를 만들도록 요구될 수 있다. MPA로써, ~5 eV 만큼 에너지 분리된 상태 사이의 이온화 또는 여기는 248 nm보다 더 긴 파장으로써 달성될 수 있다. 예를 들면, 532 nm의 파장을 갖는 광자는 ~2.33 eV 의 에너지를 가지며, 이로서 파장 532 nm를 갖는 2개의 광자는 예를 들면, 2개-광자 흡수(TPA)에서 ~4.66 eV 만큼 에너지 분리된 상태 사이의 전이(transition)를 유도할 수 있다. 따라서, 원자 및 결합(bond)은 재료의 구역에서 선택적으로 여기되거나 이온화될 수 있으며, 상기 구역에서 레이저 빔의 에너지 밀도가 예를 들면, 요구되는 여기 에너지의 절반을 갖는 레이저 파장의 비선형 TPA를 유도하도록 충분히 크다.

[0043] MPA는 인접한 원자나 결합으로부터의 여기된 원자나 결합의 국부 재구성 및 분리를 초래할 수 있다. 결합 또는 구조에서의 최종 개질은 MPA가 발생하는 재료의 구역으로부터의 물질의 제거 및 비-열적 삭마를 초래할 수 있다. 이러한 물질의 제거는 기계적 또는 열 응력이 가해질 때, 재료를 기계적으로 취약하게 하고 크랙 또는 파쇄에 더욱 민감하게 되는 구조적 결함(예를 들면, 결함 라인, 손상 라인, 즉 "천공")을 만든다. 천공의 배치를 제어함으로써, 크랙이 발생하는 경로나 윤곽은 정밀하게 형성될 수 있고 그리고 재료의 정밀한 마이크로기계 가공이 달성될 수 있다. 일련의 천공에 의해 형성된 윤곽은 흄 라인으로 여겨질 수 있고 그리고 재료에서의 구조적 취약부의 구역에 대응한다. 일 실시예에 있어서, 마이크로기계가공은 레이저에 의해 처리된 재료로부터의 부분의 분리를 포함하며, 이 경우 상기 부분은 레이저에 의해 유도된 MPA 효과를 통해 형성된 천공의 폐쇄된 윤곽에 의해 결정된 주변부나 정밀하게 형성된 형상을 갖는다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 폐쇄된 윤곽이라는 용어는 레이저 라인에 의해 형성된 천공 경로를 의미하며, 여기서 상기 경로가 여러 위치에서 그 자체로 교차한다. 내부 윤곽은 형성된 경로이며 이 경우 최종 형상이 재료의 외측 부분에 의해 완전하게 둘러싸인다.

[0044] 수직 결함을 갖는 흄 라인이 일단 만들어진다면, 분리는: 1) 흄 라인에서 또는 상기 흄 라인 주변에서의 수동 또는 기계적 응력; 응력 또는 압력이 함께 여전히 접합되어 있는 영역을 파단하여 분리하도록 흄 라인의 양 면을 당기는 장력을 만들 수 있음; 2) 전체 자가-분리나 일부 분리를 유도하고 수직 결함 라인이 장력을 받도록 흄 라인 주변에 응력 구획부를 만드는 열원을 사용하는 것;을 통해 발생할 수 있다. 상기 두 경우에 있어서, 분리는 레이저 스캔 속도, 레이저 파워, 렌즈의 매개변수, 펄스 폭, 반복률 등과 같은 처리 매개변수에 따라 결정된다.

[0045] 본 출원은 분리된 부분의 엣지에 대한 최소 손상 및 무시가능한 부스러기로써, 제어가능한 방식으로 임의의 형상의 사파이어나 다른 기판의 정밀한 절단 및 분리를 위한 레이저 방법 및 기기를 제공한다. 분리된 부분의 엣지에 대한 손상은 종래 기술 절단 처리의 공통 특징이고 상기 분리된 부분의 취약부를 야기한다. 본 방법은 분리된 부분의 강도를 보전하도록 엣지 손상을 피한다.

[0046] 개발된 레이저 방법은 파워(저 레이저 강도)의 선형 특성(regime)에서의 레이저 파장에 대한 기판 재료의 투명도에 따른다. 투명도는 초점맞춰진 레이저 빔에 의해 형성된 고 강도의 구역으로부터의 표면 아래 손상 뿐만 아니라 기판의 표면에 대한 손상을 감소시키거나 방지한다. 이러한 처리의 한 특징은 초단파 펄스 레이저에 의해 만들어진 결함 라인(또한 천공 또는 손상 트랙으로 본 명세서에서 언급됨)의 큰 종횡비이다. 기판 재료의 상부 표면으로부터 바닥 표면까지 뻗어있는 결함 라인을 생성할 수 있다. 결함 라인은 하나의 펄스나 또는 펄스의 하나의 버스트에 의해 만들어질 수 있고 그리고 필요하다면, 부가적인 펄스나 또는 버스트는 영향을 받은 영역(예를 들면, 깊이 및 폭)의 연장부를 증대시키도록 사용될 수 있다.

[0047] 도 1a - 도 1c에 도시된 바와 같이, 사파이어를 분리 및 절단하는 방법은 초단파 펄스 레이저(140)로써 기판 재료(130)에서의 복수의 수직 결함 라인(120)으로 형성된 흄 라인(110)을 만드는 것에 필연적으로 기초한다. 재료(130)를 처리하기 위해 선택된 레이저 매개변수 및 재료 특성(흡수, CTE, 응력, 조성, 등)에 따라, 흄 라인

(110)만의 단독 생성은 자가-분리를 유도하는데 충분할 수 있다. 이러한 경우에 있어서, 인장력/굽힘력, 가열, 또는 CO<sub>2</sub> 레이저와 같은 2차 분리 처리가 필요하지 않다.

[0048] 여러 경우에 있어서, 만들어진 흄 라인은 부분을 동시에 분리하는데 충분하지 않고 2차 단계가 필요할 수 있다. 이러한 단계가 요구되어 진다면, 제 2 레이저는 예를 들면, 부분을 분리하는 열 응력을 만드는데 사용될 수 있다. 사파이어의 경우에 있어서, 분리는, 흄 라인이 생성된 이후에, 기계적 힘을 가함으로써, 또는 기판으로부터 부분을 분리하는 열 응력과 힘을 만드는 열원(예를 들면, 적외선 레이저, 예를 들면 CO<sub>2</sub> 레이저)을 사용함으로써, 달성될 수 있다. 다른 한 선택은 CO<sub>2</sub> 레이저 만이 분리를 개시하고 이후 수동으로 분리를 마무리하는 것이다. 선택적인 CO<sub>2</sub> 레이저 분리는 예를 들면, 10.6 μm에서 방사하는 초점이탈된 cw 레이저와 그 듀티 사이클(duty cycle)을 제어함으로써 조정된 파워로써, 달성된다. 초점 변경(즉, 초점맞춰진 스팟 크기를 포함하고 상기 스팟 크기에 이르는 초점이탈 정도)이 스팟 크기를 변경시킴으로써 유도된 열 응력을 변경하도록 사용된다. 초점이탈된 레이저 범은 레이저 파장의 대략적인 크기의 최소 회절-제한된 스팟 크기보다 더 큰 스팟 크기를 만드는 이들 레이저 범을 포함한다. 예를 들면, 약 7 mm, 2 mm 및 20 mm의 초점이탈된 스팟 크기는 예를 들면, CO<sub>2</sub> 레이저에 대해 사용될 수 있으며, 이 회절-제한된 스팟 크기는 주어진 10.6 μm의 방사 파장보다 상당히 더 작다. 흄 라인(110)의 방향에 따른 인접한 결합 라인(120) 사이의 거리는 예를 들면, 0.25 μm 내지 50 μm, 또는 0.50 μm 내지 약 20 μm, 또는 0.50 μm 내지 약 15 μm, 또는 0.50 μm 내지 10 μm, 또는 0.50 μm 내지 3.0 μm, 또는 3.0 μm 내지 10 μm일 수 있다.

[0049] 결합 라인을 만들기 위한 여러 방법이 존재한다. 라인 초점을 형성하는 광학 방법은 도넛 형상의 레이저 범과 구형 렌즈, 악시콘(axicon) 렌즈, 회절 소자, 또는 고 강도의 선형 구역을 형성하는 다른 방법을 사용하여, 다수의 형태를 취할 수 있다. 레이저(피코초, 펨토초, 등) 및 파장(IR, 녹색, UV, 등)의 타입은 또한, 충분한 광학 강도가 비선형 광학 효과를 통해 기판 재료(예를 들면, 사파이어나 사파이어가 배치된 유리)가 고장(breakdown)나도록 초점 구역에 도달하는 한, 변할 수 있다. 사파이어 레이저는 예를 들면, 유리 기판 상에 접합될 수 있다. 유리 기판은 예를 들면, Corning의 Eagle X6®와 같은 고-성능 유리나, 또는 소다-라임 유리와 같은 저렴한 유리를 포함한다.

[0050] 본 출원에 있어서, 초단파 펄스 레이저가 일정하고, 제어가능하고 반복가능한 방식으로 큰 종횡비의 수직 결합 라인을 만들도록 사용된다. 이러한 수직 결합 라인의 발생을 가능하게 하는 광학 셋업의 상세한 사항은 아래에 그리고 2013년 01월 15일에 출원된 미국 특허출원번호 제61/752,489호에 기재되어 있고, 상기 특허문현의 내용은 참조를 위해 본 명세서 모두 통합되어 있다. 이러한 개념의 본질은 초단파(피코초 또는 펨토초 지속기간) Bessel 범을 사용하여 큰 종횡비의, 테이퍼없는 마이크로채널의 구역을 만들도록 광학 렌즈 조립체에서 악시콘 렌즈 소자를 사용하는 것이다. 달리 말하자면, 악시콘은 기판 재료에서 큰 종횡비(긴 길이 및 작은 직경), 및 원통형 형상의 고 강도 구역으로 레이저 범을 집중한다. 집중된 레이저 범으로써 만들어진 고 강도에 기인하여, 기판 재료 및 레이저의 전자기장의 비선형 상호작용이 발생하고 그리고 레이저 에너지가 기판에 전달되어 흄 라인의 구성성분이 되는 결합의 형성에 영향을 미친다. 그러나, 레이저 에너지 강도가 크지 않는 재료의 영역(예를 들면, 기판 표면, 중앙 수렴 라인을 둘러싸는 기판의 볼륨)에서, 상기 재료는 레이저에 대해 투명하고 상기 레이저로부터 상기 재료로 에너지를 전달하기 위한 메카니즘이 없다는 것을 아는 것은 중요하다. 이 결과, 레이저 강도가 비선형 문턱값 아래일 때, 기판에 아무것도 발생하지 않는다.

[0051] 도 2a 및 도 2b를 다시 살펴보면, 재료를 레이저 드릴링 하는 방법은 범 전과 방향을 따라서 보았을 때, 레이저 범 초점 라인(2b)에 펄스 레이저 범(2)을 초점맞추는 단계를 포함한다. 레이저 범 초점 라인(2b)은 여러 방식, 예를 들면, Bessel 범, Airy 범, Weber 범 및 Mathieu 범(즉, 비-회절 범)으로 만들어질 수 있으며, 이들 범의 장(field) 프로파일은 Gaussian 작용보다 횡단 방향(즉, 전과 방향)으로 더욱 느리게 감소(decay)하는 특별한 작용에 의해 전형적으로 주어진다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 레이저(3)(도시 생략)는 레이저 범(2)을 방사하고, 이 레이저 범은 광학 조립체(6) 상에 입사되는, 부분(2a)을 갖는다. 광학 조립체(6)는 범 방향(초점 라인의 길이(1))에 따른 형성된 확장 범위 상의 아웃풋 측에서 레이저 범 초점 라인(2b)으로 입사 레이저 범을 회개한다(turn). 평면 기판(1)은 레이저 범(2)의 레이저 범 초점 라인(2b)을 적어도 부분적으로 겹치도록 범 경로에 위치된다. 부재번호 1a는 레이저 또는 광학 조립체(6)와 마주한 평면 기판의 표면을 각각 지시하고 있고, 그리고 부재번호 1b는 기판(1)의 반대 표면을 지시하고 있다. 기판 또는 재료 두께(평면(1a 및 1b)에, 즉, 기판 평면에 수직으로 측정된 본 실시예에 있어서)는 부재번호 d로 나타내어진다.

[0052] 도 2a가 나타내는 바와 같이, 기판(1)(또는 사파이어 기판 재료가 적층된 유리)은 길이방향 범 축선에 실질적으

로 수직하여 그리고 이에 따라서 광학 조립체(6)에 의해 만들어진 동일한 초점 라인(2b) 뒤에 정렬된다(상기 기판은 도면의 지면에 수직함). 빔 방향을 따라서 보았을 경우, 기판은, 초점 라인(2b)이 기판의 표면(1a) 이전에 시작하고 기판의 표면(1b) 이전에 정지하는 방식으로, 즉 초점 라인(2b)이 여전히 상기 기판 내에서 종결하고 표면(1b)을 넘어 뻗어있지 않은 방식으로, 초점 라인(2b)과 관련하여 위치된다. 기판(1)과 레이저 빔 초점 라인(2b)의 겹치는 영역에 있어서, 즉 상기 초점 라인(2b)에 의해 커버된 기판 재료에 있어서, 레이저 빔 초점 라인(2b)은 (길이방향 빔 방향을 따라 정렬된) 섹션(2c)을 생성시키고(레이저 빔 초점 라인(2b)에 따른 적당한 레이저 강도를 추정하면, 상기 강도는 길이(1)의 한 섹션에서, 즉 길이(1)의 라인 초점에서 레이저 빔(2)을 초점맞춤으로써 보장됨), 상기 섹션을 따라서 유도된 흡수가 기판 재료에 생성된다. 유도된 흡수는 섹션(2c)을 따라 기판 재료에 결합 라인 형성부를 유도한다. 결합 라인의 형성부는 국부적일 뿐만 아니라, 유도된 흡수의 총 길이의 섹션(2c) 상에 뻗어있다. 섹션(2c)의 길이(기판(1)과 레이저 빔 초점 라인(2b)의 겹치는 길이에 대응)는 부재번호 L로 지시된다. 유도된 흡수(2c)의 섹션의 평균 직경이나 정도(또는 결합 라인이 형성되는 기판(1)의 재료에서의 섹션)가 부재번호 D로 지시된다. 이러한 평균 정도(D)는 기본적으로 레이저 빔 초점 라인(2b)의 평균 직경(8)에, 즉, 약 0.1  $\mu\text{m}$  내지 약 5  $\mu\text{m}$  의 평균 스팟 직경에 대응한다.

[0053] 도 2a가 나타내는 바와 같이, (레이저 빔(2)의 파장( $\lambda$ )에 투명한) 기판 재료는 초점 라인(2b) 내 레이저 빔의 고 강도와 관련된 비선형 효과(예를 들면, 2개의 광자 흡수, 다-광자 흡수)로부터 발생하는 초점 라인(2b)에 따른 유도된 흡수에 기인하여 가열된다. 도 2b는 대응하는 유도된 장력이 마이크로-크랙 형성을 유도하고, 이 장력이 표면(1a)에서 최고이도록, 종국에는 가열된 기판 재료가 팽창한다는 것을 나타내고 있다.

[0054] 대표적인 광학 조립체(6) 뿐만 대표적인 광학 셋업이 아래 기재되어 있으며, 상기 광학 조립체는 초점 라인(2b)을 생성하도록 적용될 수 있고, 상기 광학 셋업에 이들 광학 조립체가 적용될 수 있다. 모든 조립체 또는 셋업이 상기 기재된 사항에 기초하여, 동일한 부재번호가 동일한 구성요소나 특징부에 대해 사용되며 상기 동일한 구성요소나 특징부는 그 작동에 있어 서로 동일하다. 따라서, 차이점 만이 아래 기재되어 있다.

[0055] 분리된 부분의 표면을 따라서 분리가 발생하는 상기 분리된 표면의 고 품질을 보장하기 위하여(파단 강도, 기하학적 정밀도, 거칠기 및 재-기계가공 요건의 불필요(avoid)와 관련하여), 분리 라인을 따라 기판 표면 상에 위치된 개별 초점 라인은 아래 기재된 광학 조립체를 사용하여 생성될 수 있다(이후, 상기 광학 조립체가 또한 대안적으로 레이저 광학으로 지시됨). 분리된 표면(분리된 부분의 주변 표면)의 거칠기가 초점 라인의 스팟 직경 또는 스팟 크기에 의해 주로 결정된다. 표면의 거칠기는 예를 들면, ASME B46.1 표준에 의해 정의된 Ra 표면 거칠기 매개변수에 의해 특징지워질 수 있다. ASME B46.1에 기재된 바와 같이, Ra는 평가 길이 내에 기록된, 평균 라인으로부터의 표면 프로파일 높이 편차의 절대 값의 산술 평균이다. 대안적인 용어로서, Ra는 평균과 관련된 표면의 개별 특징(피크 및 벨리)의 한 세트의 절대 높이 편차의 평균이다.

[0056] 레이저(3)의 주어진 파장( $\lambda$ )의 경우에 예를 들면, 0.5  $\mu\text{m}$  내지 2  $\mu\text{m}$ 의 작은 스팟 크기를 달성하기 위하여(기판(1)의 재료와의 상호작용), 특정 요구조건은 레이저 광학(6)의 개구수에 통상적으로 반드시 부여되어야 한다. 이들 요구조건은 아래 기재된 레이저 광학(6)에 의해 충족된다. 요구되는 개구수를 달성하기 위하여, 광학은 한편으로, 알려진 Abb<sup>o</sup> 공식( $N.A. = n \sin (\theta)$ ), n: 처리될 재료의 굴절률, theta: 개구 각도 절반; 및  $\theta = \arctan (D_L/2f)$ ;  $D_L$ : 개구 직경, f: 초점 길이)에 따라, 주어진 초점 길이에 대해 요구되는 개구를 반드시 배치해야 한다. 다른 한편으로, 레이저 빔은 요구되는 개구에 이르기까지 광학을 반드시 조명하여야 하며, 이는 레이저와 초점맞춤 광학 사이의 와이드닝 텔레스코프(widening telescope)를 사용하여 빔 와이드닝에 의해 전형적으로 달성된다.

[0057] 스팟 크기는 초점 라인에 따른 일정한 상호작용 목적으로 매우 확실하게(strongly) 변할 수 없다. 이는 예를 들면, 초점맞춤 광학을 작은, 원형 영역에만 조명함으로써 보장될 수 있어(아래 실시예 참조), 빔 개방부와 이에 따른 개구수의 퍼센티지가 단지 약간 변한다.

[0058] 도 3a에 따르면(레이저 복사(2)의 레이저 빔 다발에서의 중앙 빔의 레벨로 기판 평면에 수직한 섹션; 여기서, 또한, 레이저 빔(2)은 (광학 조립체(6)에 진입하기 전) 기판 평면에 수직으로 입사되며, 즉 입사 각도( $\Theta$ )가 0° 이므로, 유도된 흡수의 섹션(2c)이나 초점 라인(2b)이 기판 법선에 평행함), 레이저(3)에 의해 방사된 레이저 복사(2a)는 사용된 레이저 복사에 대해 완전하게 불투명한 원형 개구(8)에 먼저 나아가게 된다. 개구(8)의 길이방향 빔 축선에 수직으로 정위되고 그리고 묘사된 빔 다발(2a)의 중앙 빔에 중심맞춰진다. 개구(8)의 직경은, 중앙 빔 또는 빔 다발(2a)의 중앙 근처의 빔 다발(본 명세서에서 2aZ으로 지시됨)이 개구를 가격하고 이로써 완전하게 흡수되는 방식으로, 선택된다. 빔 다발(2a)의 외측 주변 범위에서의 빔(본 명세서에서 2aR로 지시된 주변 광선) 만이 빔 직경에 비해 감소된 개구 크기에 기인하여 흡수되지 않지만, 개구(8)를 측방향으로

통과하고 그리고 본 실시예에 있어서, 구형으로 절단된, 양면볼록 렌즈(7)로 설계된 광학 조립체(6)의 초점맞춤 광학 소자의 주변 영역을 가격한다.

[0059] 렌즈(7)는 중앙 빔에 중심맞춰지고 그리고 공통의, 구형으로 절단된 렌즈의 형태로 교정되지 않은, 양면볼록 초점맞춤 렌즈로 설계된다. 이러한 렌즈의 구형 수차가 유리할 수 있다. 대안으로서, 이상적인 초점이 아닌, 형성된 길이의 명확한, 세장형 초점 라인을 형성하는 이상적으로 수정된 시스템으로부터 벗어나는 비구면 또는 다른-렌즈 시스템이 또한 사용될 수 있다(즉, 하나의 초점을 갖지 않는 렌즈 또는 시스템). 따라서, 렌즈의 구획부는 렌즈 중앙으로부터의 거리의 영향을 받아, 초점 라인(2b)을 따라 초점맞춘다. 빔 방향을 가로지른 개구(8)의 직경은 빔 다발의 직경의 대략적으로 90 %이고(피크 강도의  $1/e^2$ 로 감소하도록 빔 강도에 대해 요구되는 거리로서 정의됨) 그리고 광학 조립체(6)의 렌즈(7)의 직경의 대략적으로 75 %이다. 중앙에서 빔 다발을 차단함으로써 발생된 비-수차-교정된 구형 렌즈(7)의 초점 라인(2b)이 이에 따라 사용된다. 도 3a는 중앙 빔을 통한 한 평면에서의 섹션을 나타내고 있고, 그리고 완전한 3-차원 다발은, 묘사된 빔이 초점 라인(2b) 주위에서 회전될 때, 보여질 수 있다.

[0060] 도 3a에 도시된 시스템과 렌즈(7)에 의해 형성된 이러한 타입의 초점 라인의 하나의 잠재적인 단점은 조건(스팟 크기, 레이저 강도)이 초점 라인을 따라서(그리고 재료에서의 요구되는 깊이를 따라서) 변할 수 있다는 것이고 이에 따라 요구되는 타입의 상호작용(용융, 유도된 흡수, 크랙 형성에 이르는 소성 변형 없음)이 가능한 초점 라인의 선택된 부분에서만 발생할 수 있다는 것이다. 이는 결국 입사 레이저 광의 한 부분 만이 가능한 요구되는 방식으로 기판 재료에 의해 흡수된다는 것을 의미한다. 이처럼, 처리 효율(요구되는 분리 속도에 대해 요구되는 평균 레이저 파워)은 악화될 수 있고, 그리고 레이저 광은 또한 요구되지 않는 구역(기판이나 기판 유지 고정부에 부착된 부분 또는 레이어)으로 전송될 수 있으며, 그리고 바람직하지 못한 방식으로 이들과 상호작용한다(예를 들면, 가열, 확산, 흡수, 원치않는 개질).

[0061] 도 3b-1 내지 도 3b-4는 (도 3a에서의 광학 조립체 뿐만 아니라, 임의의 다른 적용가능한 광학 조립체(6)에 대해) 레이저 빔 초점 라인(2b)의 위치가 광학 조립체(6)의 매개변수를 적당하게 선택함으로써 뿐만 아니라 기판(1)과 관련하여 광학 조립체(6)를 적당하게 위치결정 및/또는 정렬시킴으로써 제어될 수 있다는 것을 나타내고 있다. 도 3b-1에 나타내어진 바와 같이, 초점 라인(2b)의 길이(1)는 기판 두께(d)를 초과하는 방식(이 경우 인자 2 만큼)으로 조정될 수 있다. 기판(1)이 (길이방향 빔 방향으로 보았을 경우) 초점 라인(2b)에 중앙으로 배치된다면, 유도된 흡수(2c)의 섹션이 전체 기판 두께 상에 생성된다. 레이저 빔 초점 라인(2b)은 예를 들면, 약 0.1 mm 내지 약 100 mm, 또는 약 0.1 mm 내지 약 10 mm, 또는 약 0.1 mm 내지 약 1 mm의 길이(1)를 가질 수 있다. 다양한 실시예는 예를 들면, 약 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.7 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm 또는 5 mm의 길이(1)를 갖도록 구성될 수 있다.

[0062] 도 3b-2에 도시된 경우에 있어서, 길이(1)의 초점 라인(2b)은 기판 두께(d)에 다소간 대응하여 만들어진다. 기판(1)은, 라인(2b)이 기판 외측의 한 지점에서 시작하는 방식으로 라인(2b)에 대해 위치되기 때문에, 유도된 흡수(2c)의 섹션의 길이(1)(이 경우 기판 표면으로부터 형성된 기판 깊이까지(그러나 반대 표면(1b)까지는 아님) 뻗어있음)가 초점 라인(2b)의 길이(1)보다 더 작다. 도 3b-3는 (빔 방향을 따라서 본) 기판(1)이 초점 라인(2b)의 시작점 상에 위치되고 이에 따라, 도 3b-2에서와 같이, 라인(2b)의 길이(1)가 기판(1)에서의 유도된 흡수(2c)의 섹션의 길이(1)보다 더 긴 경우를 나타내고 있다. 따라서, 초점 라인은 기판 내에서 시작하고 반대(면) 표면(1b)을 넘어 뻗어있다. 도 3b-4는 - 입사 방향에서 본 초점 라인과 관련한 기판의 중앙 위치결정의 경우에 - 초점 라인이 기판 내의 표면(1a) 근처에서 시작하고 기판 내 표면(1b) 근처에서 끝나도록(예를 들면,  $l = 0.75 \cdot d$ ), 초점 라인 길이(1)가 기판 두께(d)보다 더 작은 경우를 나타내고 있다.

[0063] 유도된 흡수(2c)의 섹션이 기판의 하나의 표면 상에서 적어도 개시하도록, 표면(1a, 1b) 중 적어도 하나의 표면이 초점 라인에 의해 커버되는 방식으로 초점 라인(2b)이 위치되는 것이 특히 유리하다. 이처럼, 삭마, 페더링(feathering) 및 표면에서의 입자분포(particulation)를 피하면서 사실상 이상적인 절단을 달성할 수 있다.

[0064] 도 4는 다른 한 적용가능한 광학 조립체(6)를 나타내고 있다. 기본적인 구성이 도 3a에 나타내어진 구성을 따르므로, 단지 차이점만이 아래 기재되어 있다. 묘사된 광학 조립체는 형성된 길이(1)의 초점 라인이 형성되는 방식으로 형성된 초점 라인(2b)을 생성하기 위하여, 비구형 자유 표면을 갖는 광학의 사용에 기초한다. 이를 위해, 비구면은 광학 조립체(6)의 광학 소자로서 사용될 수 있다. 도 4에 있어서, 예를 들면, 또한 종종 악시콘으로 언급된 소위 원추형 프리즘이 사용된다. 악시콘은 광학 축선을 따라 라인 상에 스팟 형성원을 형성하는(또는 링으로 레이저 빔을 변환하는) 특별한, 원추형으로 절단된 렌즈이다. 이러한 악시콘의 레이아웃은 일반적으로 당업자에게 알려져 있으며; 본 실시예에서 콘 각도는  $10^\circ$ 이다. 본 명세서에서 부재번호 9로 지시된 악

시콘의 정점은 입사 방향 쪽으로 나아가게 되고 빔 중앙에 중심맞춰진다. 악시콘(9)에 의해 만들어진 초점 라인(2b)이 그 내부 내에서 시작하기 때문에, 기판(1)(이 경우 메인 빔 축선에 수직으로 정렬됨)은 악시콘(9) 바로 뒤의 빔 경로에 위치될 수 있다. 도 4에 나타내어진 바와 같이, 또한 초점 라인(2b)의 범위 내에서 유지되면서 악시콘의 광학 특성에 기인하여 빔 방향을 따라 기판(1)이 이동(shift)될 수 있다. 기판(1)의 재료에서의 유도된 흡수(2c)의 색션은 따라서 총 기판 깊이(d)를 넘어 뻗어있다.

[0065] 그러나, 묘사된 레이아웃은 아래 기재된 바와 같은 제한을 받게 됨: 악시콘(9)에 의해 형성된 초점 라인(2b)의 구역이 악시콘(9) 내에서 시작하기 때문에, 악시콘(9)과 기판 재료 사이에 분리가 존재하는 상황에서, 재료 내에 위치된, 초점 라인(2b)의 유도된 흡수(2c)의 색션으로 상당한 부분의 레이저 에너지가 초점맞춰지지 않는다. 더욱이, 초점 라인(2b)의 길이(1)는 악시콘(9)의 콘 각도와 굴절률을 통한 빔 직경과 관련된다. 이는, 비교적 얇은 재료의 경우에(수 밀리미터), 총 초점 라인이 기판 두께보다 상당히 더 길어, 많은 레이저 에너지가 상기 재료에 초점맞춰지지 않는다는 효과를 갖기 때문이다.

[0066] 이러한 이유 때문에, 악시콘과 초점맞춤 렌즈 모두를 포함하는 광학 조립체(6)를 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 도 5a는 이와 같은 광학 조립체(6)를 나타내고 있으며, 상기 광학 조립체에서, 레이저 빔 초점 라인(2b)을 형성하도록 설계된 비구형 자유 표면을 갖는 제 1 광학 소자(빔 방향을 바로 보았을 경우)는 레이저(3)의 빔 경로에 위치된다. 도 5a에 도시된 경우에 있어서, 이러한 제 1 광학 소자는 빔 방향에 수직으로 위치결정되고 레이저 빔(3)에 중심맞춰진,  $5^{\circ}$ 의 콘 각도를 갖는 악시콘(10)이다. 악시콘의 정점이 빔 방향 쪽으로 정위된다. 제 2, 초점맞춤 광학 소자, 이 경우 평면-볼록 렌즈(11)(악시콘 쪽으로 정위된 렌즈의 곡률)는 악시콘(10)으로부터 거리(Z1)로 빔 방향에 위치된다. 이러한 경우에 있어 대략적으로 300 mm인 거리(Z1)는, 악시콘(10)에 의해 형성된 레이저 복사가 렌즈(11)의 외측 반경방향 부분에 원형으로 입사되는 방식으로, 선택된다. 렌즈(11)는 형성된 길이(이 경우 1.5 mm)의 초점 라인(2b)에서, 거리(Z2)(이 경우 렌즈(11)로부터 대략적으로 20 mm)에서의 아웃풋 측에서, 원형 복사를 초점맞춘다. 렌즈(11)의 유효 초점 길이는 본 실시예에서 25 mm이다. 악시콘(10)에 의한 레이저 빔의 원형 변환이 부재번호 SR로 지시된다.

[0067] 도 5b는 도 5a에 따른 기판(1)의 재료에 유도된 흡수(2c)나 초점 라인(2b)의 형성을 상세하게 나타낸 도면이다. 양 소자(10, 11)의 광학 특성 뿐만 아니라 이들 소자의 위치결정은, 빔 방향에서의 초점 라인(2b)의 길이(1)가 기판(1)의 두께(d)와 정확하게 동일한 방식으로, 선택된다. 결론적으로, 빔 방향에 따른 기판(1)의 정확한 위치결정은 도 5b에 도시된 바와 같이, 기판(1)의 2개의 표면(1a 및 1b) 사이에 초점 라인(2b)을 정확하게 위치시키도록 요구된다.

[0068] 따라서, 초점 라인이 레이저 광학으로부터 특정 거리로 형성된다면, 그리고 보다 많은 부분의 레이저 복사가 초점 라인의 요구되는 단부에 이르기까지 초점맞춰진다면 유리하다. 기재된 바와 같이, 이는, 한편으로, 요구되는 개구 수와 이에 따른 요구되는 스팟 크기를 실현하도록 사용되지만, 그러나, 다른 한편으로, 기본적으로 원형 스팟이 형성되는 것처럼, 원의 발산이 스팟의 중심의 매우 짧은 거리를 넘어, 요구되는 초점 라인(2b) 이후의 강도를 감소시키는, 주로 초점맞춤 소자(11)(렌즈)를 단지 원형으로(환형으로) 특별한 외측 반경방향구역을 조명함으로써 달성될 수 있다. 이처럼, 결합 라인의 형성은 요구되는 기판 깊이에서 짧은 길이 이내로 정지된다. 악시콘(10) 및 초점맞춤 렌즈(11)의 조합은 이러한 요구조건을 만족한다. 악시콘은 2개의 상이한 방식으로 작용한다: 악시콘(10)에 기인하여, 통상적으로 라운드형 레이저 스팟이 링의 형태로 초점맞춤 렌즈(11)에 보내지고, 그리고 악시콘(10)의 비구면 계수는 초점 평면에서의 초점 대신에 렌즈의 초점 평면을 넘어 초점 라인이 형성된다는 효과를 갖는다. 초점 라인(2b)의 길이(1)는 악시콘에서 빔 직경을 통해 조정될 수 있다. 다른 한편으로, 초점 라인에 따른 개구수가 거리(Z1)(악시콘-렌즈 분리)를 통해 그리고 상기 악시콘의 콘 각도를 통해 조정될 수 있다. 이처럼, 모든 레이저 에너지가 초점 라인에 집중될 수 있다.

[0069] 결합 라인 형성이 기판의 뒤쪽 면(back side)에 연속 형성되도록 제안된다면, 원형(환형) 조명은, (1) 레이저 광이 초점 라인의 요구되는 길이에 집중 유지된다다는 점에서 레이저 파워가 최적으로 사용되고, 그리고 (2) 다른 광학 작용에 의해 설정된 요구되는 수차와 관련하여 원형으로 조명된 구획부에 기인하여, 상기 초점 라인에 따라 일정한 스팟 크기(그리고 이에 따라 초점 라인에 따라 일정한 분리 처리)가 달성될 수 있다는 장점을 여전히 갖는다.

[0070] 도 5a에 도시된 평면-볼록 렌즈 대신에, 또한 초점맞춤 요철 렌즈나 또는 다른 한 보다 크게 교정된 초점맞춤 렌즈(비구면, 다중-렌즈 시스템)가 사용될 수 있다.

[0071] 도 5a에 도시된 렌즈와 악시콘의 조합을 사용하여 매우 짧은 초점 라인(2b)을 생성하기 위해, 상기 악시콘에 입사되는 레이저 빔의 매우 작은 빔 직경이 선택될 필요가 있을 수 있다. 이는 악시콘의 정점에 빔을 중심맞추는

것이 반드시 매우 정밀해야 하고 그리고 결과치가 레이저의 방향 변화(빔 드리프트(drift) 안정성)에 매우 민감하다는 실제 단점을 갖는다. 더욱이, 타이트하게 조준된 레이저 빔이 매우 분기하여, 즉, 광 굴절에 기인하여, 빔 다발은 짧은 거리 상에서 흐려지게 된다.

[0072] 도 6에 도시된 바와 같이, 이들 효과는 다른 한 렌즈를, 조준 렌즈(12)를 광학 조립체(6)에 포함시킴으로써 피해질 수 있다. 부가적인 정(positive) 렌즈(12)는 초점맞춤 렌즈(11)의 원형 조명을 매우 타이트하게 조정하도록 사용된다. 조준 렌즈(12)의 초점 길이( $f'$ )는, 요구되는 원 직경(dr)이  $f'$ 와 동일한, 악시콘으로부터 조준 렌즈(12)까지의 거리( $Z_{1a}$ )로부터 초래되는 방식으로, 선택된다. 링의 요구되는 폭(br)이 (조준 렌즈(12)로부터 초점맞춤 렌즈(11)까지) 거리( $Z_{1b}$ )를 통해 조정될 수 있다. 완전한 기하학적 구조의 사안으로서, 원형 조명의 작은 폭이 짧은 초점 라인을 유도한다. 최소치가 거리( $f'$ )에서 달성될 수 있다.

[0073] 도 6에 도시된 광학 조립체(6)는 따라서 도 5a에 도시된 광학 조립체에 기초하므로, 단지 차이점만이 아래 기재되어 있다. 또한 본 발명에서 평면-볼록 렌즈(빔 방향 쪽으로 곡률을 가짐)로 설계된 조준 렌즈(12)는 한 측에서 악시콘(10)(빔 방향 쪽으로 정점을 가짐)과 다른 한 측에서 평면-볼록 렌즈(11) 사이의 빔 경로에서 부가적으로 중앙에 배치된다. 악시콘(10)으로부터의 조준 렌즈(12)의 거리는  $Z_{1a}$ 로 지시되고, 상기 조준 렌즈(12)로부터의 초점맞춤 렌즈(11)의 거리는  $Z_{1b}$ 로 지시되고, 그리고 초점맞춤 렌즈(11)로부터 초점 라인(2b)의 거리는  $Z_2$ (빔 방향에서 항상 봄)로 지시된다. 도 6에 도시된 바와 같이, 조준 렌즈(12)상의 원 직경(dr) 하에서 그리고 분기하게 입사되는, 악시콘(10)에 의해 형성된 원형 복사(SR)가 초점맞춤 렌즈(11)에서 적어도 대략적으로 일정한 원 직경(dr)에 대해 거리( $Z_{1b}$ )에 따라 요구되는 원 폭(br)으로 조정된다. 도시된 경우에 있어서, 매우 짧은 초점 라인(2b)은, 렌즈(12)에서 대략적으로 4 mm의 원 폭(br)이 렌즈(12)의 초점맞춤 특성에 기인하여 렌즈(11)에서 대략적으로 0.5 mm로 감소되게, 만들어지도록 의도된다(원 직경(dr)이 본 예에서 22 mm임).

[0074] 설명된 실시예에 있어서, 2 mm의 전형적인 레이저 빔 직경, 초점 길이( $f = 25 \text{ mm}$ )를 갖는 초점맞춤 렌즈(11), 초점 길이( $(f') = 150 \text{ mm}$ )를 갖는 조준 렌즈를 사용하고, 그리고 거리( $Z_{1a} = Z_{1b} = 140 \text{ mm}$  그리고  $Z_2 = 15 \text{ mm}$ )를 선택하여 0.5 mm 보다 작은 초점 라인(1)의 길이가 달성될 수 있다.

[0075] 도 7a - 도 7c는 상이한 레이저 강도 특성에서의 레이저-물질(laser-matter) 상호작용을 나타낸 도면이다. 도 7a에 도시된 제 1 경우에 있어서, 초점맞춰지지 않은 레이저 빔(710)은 투명한 기판(720)을 통해 상기 기판에 대한 임의의 개질을 유도하지 않으면서 나아간다. 이러한 특별한 경우에 있어서, 레이저 에너지 밀도(또는 빔에 의해 조명된 단위 영역 당 레이저 에너지)가 비선형 효과를 유도하는데 필요한 문턱값 아래이기 때문에 비선형 효과는 존재하지 않는다. 에너지 밀도가 크면 클수록, 전자기장의 강도가 크게 된다. 따라서, 도 7b에 도시된 바와 같이, 레이저 빔이 보다 작은 스팟 크기로 구형 렌즈(730)에 의해 초점맞춰질 때, 도 7b에 도시된 바와 같이, 조명된 영역은 감소되고 에너지 밀도는 증가되어, 조건이 만족되는 볼륨에서만 흡 라인이 형성될 수 있도록 재료를 개질하는 비선형 효과를 촉발한다. 이처럼, 초점맞춰진 레이저의 빔 웨이스트(beam waist)가 기판의 표면에 위치된다면, 상기 표면의 개질이 발생할 것이다. 이와 달리, 초점맞춰진 레이저의 빔 웨이스트가 기판의 표면 아래에 위치된다면, 에너지 밀도가 비선형 광학 효과의 문턱값 아래에 있을 때 표면에 아무것도 발생하지 않는다. 그러나, 대부분의 기판(720)에 위치된 초점(740)에서, 레이저 강도는 다-광자 비-선형 효과를 촉발시키는데 충분히 크며, 이에 따라 재료에 손상을 유도한다. 결국에는, 악시콘의 경우에 도 7c에 도시된 바와 같이, 악시콘 렌즈(750) 또는 대안적으로 Fresnel 악시콘의 회절 패턴은 Bessel-형상 강도 분포(고 강도 실린더(760))를 생성하는 간섭을 만들고 그리고 단지 볼륨이 재료(720)를 개질하고 비선형 흡수를 만드는데 아주 충분한 강도이다.

[0076] 레이저 및 광학 시스템

[0077] 사파이어를 절단하기 위한 목적으로서, 한 공정이 개발되었고 기판에 결합 라인을 만들도록 라인-초점 빔 형성 광학과 조합하여 1064 nm 피코초 레이저를 사용한다. 두께가 0.55 mm인 사파이어 기판은 광학에 의해 만들어진 초점 라인의 구역 내에 존재하도록, 위치되었다. 약 1mm 길이의 초점 라인, 그리고 재료에서 측정된 200 kHz (펄스 모드에서 약 120  $\mu\text{J}/\text{펄스}$  또는 베스트 모드에서 약 120  $\mu\text{J}/\text{베스트}$ )의 반복률에서 약 24 W 이상의 아웃풋 파워를 만드는 피코초 레이저로써, 초점 라인 구역에서의 광학 강도가 사파이어 또는 사파이어-포함하는 기판 재료에서의 비-선형 흡수를 만드는데 용이하게 충분히 클 수 있다. 사파이어 기판 내에서 손상되거나, 제거되거나(ablated), 기화되거나, 또는 그렇지 않으면 개질된 재료의 구역이 고 강도의 구역을 대략적으로 따라 만들어졌다.

[0078] 초단파(대략 수십 피코초 또는 이보다 짧은 펄스 지속시간) 레이저가 펄스 모드 또는 베스트 모드에서 작동될 수 있다. 펄스 모드에 있어서, 일련의 공칭으로 동일한 하나의 펄스가 레이저로부터 방사되고 그리고 기판으로

나아가게 된다. 펄스 모드에 있어서, 레이저의 반복률은 펄스 사이의 시간의 간격을 조정함으로써 결정된다. 버스트 모드에 있어서, 펄스의 버스트는 레이저로부터 방사되고, 여기서 각각의 버스트는 (동일하거나 상이한 진폭의) 2개 이상의 펄스를 포함한다. 버스트 모드에 있어서, 버스트 내의 펄스는 (버스트에 대한 펄스 반복률을 형성하는) 제 1 시간 인터벌 만큼 분리되고 그리고 상기 버스트는 (버스트 반복률을 형성하는) 제 2 시간 인터벌 만큼 분리되며, 여기서 상기 제 2 시간 인터벌은 전형적으로 상기 제 1 시간 인터벌보다 상당히 더 길다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이(펄스 모드 또는 버스트 모드 상황에서의 여부), 시간 인터벌은 (예를 들면, 리딩 엣지-대-리딩 엣지, 피크-대-피크, 또는 트레일링 엣지-대-트레일링 엣지) 버스트 또는 펄스의 대응하는 부분 사이의 시간 차이를 의미한다. 펄스 및 버스트 반복률은 레이저 설계에 의해 제어되고 그리고 전형적으로 레이저의 작동 상태를 조정함으로써 한계치 내에서 조정될 수 있다. 전형적인 펄스 및 버스트 반복률은 kHz 내지 MHz 범위에 속한다. 레이저 펄스 지속시간(펄스 모드에서 또는 버스트 모드에서 버스트 내 펄스에 대해)은  $10^{-10}$  이하, 또는  $10^{-11}$  이하일 수 있거나, 또는  $10^{-12}$  이하일 수 있거나, 또는  $10^{-13}$  이하일 수 있다. 본 명세서에 기재된 예시적인 실시예에 있어서, 레이저 펄스 지속시간은  $10^{-15}$  보다 더 크다.

[0079]

더욱 특정하면, 본 명세서에 기재된 선택된 실시예에 따른, 도 8a에 도시된 바와 같이, 피코초 레이저는, 때때로 또한 "버스트 펄스(burst pulse)"라 명명되는, 펄스(500A)의 "버스트"(500)를 만든다. 버스트는 펄스의 방사가 일정하고 안정적인 스트림이 아닌 차라리 펄스의 타이트한 클러스터에서 존재하는 한 타입의 레이저 작동이다. 각각의 "버스트"(500)는 100 psec에 이르는(예를 들면, 0.1 psec, 5 psec, 10 psec, 15 psec, 18 psec, 20 psec, 22 psec, 25 psec, 30 psec, 50 psec, 75 psec, 또는 이들의 사이) 매우 짧은 지속기간( $T_d$ )의 다중 펄스(500A)(예를 들면, 2 펄스, 3 펄스, 4 펄스, 5 펄스, 10, 15, 20, 또는 이보다 큼)를 포함할 수 있다. 펄스 지속시간은 일반적으로 약 1 psec 내지 약 1000 psec, 또는 약 1 psec 내지 약 100 psec, 또는 약 2 psec 내지 약 50 psec, 또는 약 5 psec 내지 약 20 psec이다. 하나의 버스트(500) 내에서의 이들 개별 펄스(500A)는 또한 "서브-펄스"로 명명될 수 있으며, 이는 간단하게 상기 서브-펄스가 펄스의 하나의 버스트 내에서 발생할 수 있다는 사실을 나타낸다. 버스트 내에서의 각각의 레이저 펄스(500A)의 강도 또는 에너지가 상기 버스트 내에서의 다른 펄스의 강도 또는 에너지와 동일하지 않을 수 있고, 그리고 버스트(500) 내에서의 다중 펄스의 강도 분포가 레이저 설계에 의해 좌우되는 시간에서의 지수 감소(exponential decay)를 따를 수 있다. 바람직하게는, 본 명세서에 기재된 예시적인 실시예의 버스트(500) 내의 각각의 펄스(500A)는 1 nsec 내지 50 nsec(예를 들면 10 nsec - 50 nsec, 또는 10 nsec - 40 nsec, 또는 10 nsec - 30 nsec)로부터의 지속기간( $T_p$ ) 만큼 버스트에서의 다음 펄스로부터의 시간에서 분리되며, 종종 상기 시간은 레이저 공동 설계에 의해 좌우된다. 주어진 레이저에 대해, 버스트(500) 내에서의 각각의 펄스(펄스-대-펄스 분리) 사이의 시간 분리( $T_p$ )는 비교적 일정하다( $\pm 10\%$ ). 예를 들면, 여러 실시예에 있어서, 각각의 펄스는 다음 펄스로부터의 시간에서 대략적으로 20 nsec(50 MHz 펄스 반복 주파수) 만큼 분리된다. 예를 들면, 약 20 nsec의 펄스-대-펄스 분리( $T_p$ )를 만드는 레이저에 대해, 버스트 내에서의 펄스-대-펄스 분리( $T_p$ )는 대략  $\pm 10\%$  이내로 유지되거나 또는 대략  $\pm 2$  nsec이다. 각각의 "버스트" 사이의 시간(즉, 버스트 사이의 시간 분리( $T_b$ ))은 상당히 더 길 것이다(예를 들면,  $0.25 \leq T_b \leq 1000$  마이크로초, 예를 들면 1 마이크로초 - 10 마이크로초, 또는 3 마이크로초 - 8 마이크로초). 예를 들면, 본 명세서에 기재된 레이저의 여러 예시적인 실시예에 있어서, 약 200 kHz의 주파수 또는 레이저 반복률에 대해 대략 5 마이크로초이다. 레이저 반복률은 또한 본 명세서에서 버스트 반복 주파수 또는 버스트 반복률을 의미하고, 그리고 한 버스트에서의 제 1 펄스와 다음 버스트에서의 제 1 펄스까지의 시간으로서 정의된다. 다른 실시예에 있어서, 버스트 반복 주파수의 범위는 약 1 kHz 내지 약 4 MHz, 또는 약 1 kHz 내지 약 2 MHz, 또는 약 1 kHz 내지 약 650 kHz, 또는 약 10 kHz 내지 약 650 kHz이다. 각각의 버스트에서의 제 1 펄스 내지 다음 버스트에서의 제 1 펄스의 시간( $T_b$ )은 0.25 마이크로초(4 MHz 버스트 반복률) 내지 1000 마이크로초(1 kHz 버스트 반복률), 예를 들면 0.5 마이크로초(2 MHz 버스트 반복률) 내지 40 마이크로초(25 kHz 버스트 반복률), 또는 2 마이크로초(500 kHz 버스트 반복률) 내지 20 마이크로초(50 kHz 버스트 반복률)일 수 있다. 정확한 타이밍, 펄스 지속시간, 및 반복률은 레이저 설계 및 사용자-제어 가능한 작동 매개변수에 따라 변할 수 있다. 고 강도의 짧은 펄스( $T_d < 20$  psec이고 바람직하게는  $T_d \leq 15$  psec)가 잘 작동하는 것으로 나타났다.

[0080]

재료를 개질하는데 요구되는 에너지는 버스트 에너지(버스트에 포함된 에너지(각각의 버스트(500)가 일련의 펄스(500A)를 포함함))로써, 또는 하나의 레이저 펄스 내에 포함된 에너지(짧은 펄스가 버스트를 포함할 수 있음)로써 기술될 수 있다. 이를 경우에 대해, 버스트 당(절단될 재료의 밀리미터 당) 에너지는  $10 \mu J - 2500 \mu J$ , 또는  $20 \mu J - 1500 \mu J$ , 또는  $25 \mu J - 750 \mu J$ , 또는  $40 \mu J - 2500 \mu J$ , 또는  $100 \mu J - 1500 \mu J$ , 또

는  $200 \mu\text{J} - 1250 \mu\text{J}$ , 또는  $250 \mu\text{J} - 1500 \mu\text{J}$ , 또는  $250 \mu\text{J} - 750 \mu\text{J}$ 일 수 있다. 베스트 내에서의 개별 펄스의 에너지는 보다 작을 것이고, 정확한 개별 레이저 펄스 에너지는 도 8a에 도시된 바와 같이 시간과의 레이저 펄스의 감소율(decay rate)(예를 들면, 지수 감소 비율) 및 베스트(500) 내의 펄스(500A)의 수에 따라 결정될 것이다. 예를 들면, 일정한 에너지/베스트에 대해, 펄스 베스트가 10개의 개별 레이저 펄스(500A)를 포함한다면, 이후 각각의 개별 레이저 펄스(500A)는 동일한 베스트 펄스(500)가 단지 2개의 개별 레이저 펄스를 가지는 경우보다 에너지를 보다 덜 포함할 것이다.

[0081]

이러한 펄스 베스트를 만들 수 있는 레이저의 사용은 투명한 재료, 예를 들면, 유리를 절단하거나 개질하는데 유리하다. 하나의-펄스 레이저에 의한 시간 이격된 하나의 펄스의 사용과 달리, 베스트(500) 내의 펄스의 빠른 순서(sequence)가 끝나 레이저 에너지를 퍼지게 하는 베스트 펄스 순서가 사용되면, 하나의-펄스 레이저로써 가능한 것보다 재료와의 보다 긴 기간의 고 강도 상호작용의 이용(access)이 가능하게 된다. 하나의-펄스가 시간 확장될 수 있는 동안, 에너지의 보존은 상기 시간 확장됨에 따라, 펄스 내에서의 강도가 펄스 폭을 넘는 대략적으로 강도만큼 반드시 강하되어야 한다는 것을 나타낸다. 이에 따라 10 psec 하나의 펄스가 10 nsec 펄스로 확대된다면, 강도는 대략적으로 1000 배(three orders of magnitude) 만큼 떨어진다. 이러한 감소는, 비-선형 흡수가 더 이상 상당하지 않고 광-재료 상호작용이 절단할 수 있는데 더 이상 충분히 강하지 않은 지점까지 광학 강도를 감소시킬 수 있다. 이와 달리, 베스트 펄스 레이저로써, 베스트(500) 내에서의 각각의 펄스 또는 서브-펄스(500A) 동안의 강도는 매우 크게 유지될 수 있으며 - 예를 들면, 대략적으로 10 nsec의 분리( $T_p$ ) 만큼 시간 분리된 펄스 지속시간( $T_d$ ) 10 psec를 갖는 3개의 펄스(500A)는 여전히 각각의 펄스 내의 강도가 하나의 10 psec 펄스의 강도보다 대략적으로 3배 더 크게 할 수 있는 한편으로, 레이저가 기간, 즉 1000 배 보다 더 긴 기간 내내 재료와 상호작용할 수 있게 된다. 따라서, 베스트 내에서의 다중 펄스(500A)의 이러한 조정은 현재 존재하는 플라즈마 기둥(plume)과의 보다 크거나 보다 작은 광 상호작용, 초기 레이저 펄스나 사전 레이저 펄스에 의해 사전-여기된 원자 및 분자와 보다 크거나 보다 작은 광-재료 상호작용, 그리고 결합 라인(천공)의 제어된 성장을 촉발시킬 수 있는 재료 내에서의 보다 크거나 보다 작은 가열 효과를 용이하게 할 수 있는 방식으로, 레이저-재료 상호작용의 기간의 조정을 가능하게 한다. 재료를 개질하는데 요구되는 에너지의 양은 기판과 상호작용하도록 사용된 라인 초점의 길이와 기판 재료 조성에 따라 결정될 것이다. 상호작용 구역이 길면 길수록, 보다 많은 에너지가 퍼져 나가게 되고, 그리고 보다 큰 베스트 에너지가 요구될 것이다.

[0082]

결합 라인 또는 구멍은, 펄스의 하나의 베스트가 필연적으로 유리 상에 동일한 위치를 가격할 때, 재료에 형성된다. 즉, 하나의 베스트 내에서의 다중 레이저 펄스가 유리의 하나의 결합 라인이나 또는 구멍 위치를 만들 수 있다. 물론, 유리가 (예를 들면, 일정하게 이동하는 스테이지에 의해) 병진이동된다면 또는 범위 유리와 관련하여 이동된다면, 베스트 내의 개별 펄스가 유리 상의 동일한 공간 위치에 정확하게 위치하지 않을 수 있다. 그러나, 펄스는 서로  $1 \mu\text{m}$  내에 잘 위치하며-즉, 기본적으로 동일한 위치에서 유리를 가격한다. 예를 들면, 펄스는 간격(sp)에서 유리를 가격할 수 있으며, 여기서 서로  $0 < sp \leq 500 \text{ nm}$ 이다. 예를 들면, 유리 위치가 20 펄스의 베스트로써 가격될 때, 베스트 내의 개별 펄스가 서로  $250 \text{ nm}$  내에서 유리를 가격한다. 따라서, 여러 실시예에서  $1 \text{ nm} < sp < 250 \text{ nm}$ 이다. 여러 실시예에서  $1 \text{ nm} < sp < 100 \text{ nm}$ 이다.

[0083]

천공 형성:

[0084]

기판이 (예를 들면, 이온 교환된 유리와) 충분한 응력을 갖는다면, 이후 부분은 레이저 처리에 의해 추적된 흠라인을 따라서 자연발생적으로 분리될 것이다. 그러나, 기판에 내재하는 많은 응력이 없다면, 이후 피코초 레이저는 기판에 결합 라인을 간단하게 형성할 것이다. 이들 결합 라인은 내부 치수(직경) 약  $0.5 \mu\text{m} - 1.5 \mu\text{m}$ 의 내부 치수(직경)을 갖는 구멍의 형태를 취할 수 있다.

[0085]

구멍 또는 결합 라인이 재료의 총 두께를 천공할 수 있거나 천공할 수 없고, 그리고 상기 재료의 깊이를 통한 연속의 개방부일 수 있거나 일 수 없다. 도 8b는  $550 \mu\text{m}$  두께의 사파이어 기판의 조각의 총 두께를 뺀어있는 일례의 결합 라인을 나타내고 있다. 결합 라인이 쪼개진 엣지의 측을 통해 보여진다. 재료를 통한 결합 라인이 필연적으로 관통 구멍이 아니며 - 구멍을 메우는 재료의 구역일 수 있지만, 그러나 이 구역은 일반적으로 대략 미크론의 작은 크기를 가질 것이다. 부분의 분리가 발생할 때, 파쇄는 결합 라인을 따라서 발생하여 결합 라인으로부터 유도된 특정부를 갖는 표면을 구비한 주변 표면(엣지)을 갖는 부분을 제공한다는 것을 알기 바란다. 분리 이전에, 결합 라인은 일반적으로 형상이 원통형이다. 부분의 분리시, 결합 라인은 파쇄하고 상기 결합 라인의 나머지는 분리된 부분의 주변 표면의 윤곽에서 명확하다. 이상적인 모델에 있어서, 결합 라인은 분리 시 절반 정도 쪼개져, 분리된 부분의 주변 표면이 절반-실린더에 대응하는 톱니형상부(serration)를 포함한다. 실제로, 분리는 이상적인 모델로부터 벗어날 수 있고 주변 표면의 톱니형상부는 최초 결합 라인의 형상의

임의의 일부일 수 있다. 분리된 표면의 특징부는 그 존재의 근원을 지시하는 결함 라인을 의미할 것이다.

[0086] 도 9는 6 mm 내지 10 mm의 직경을 갖는 동일한 기판으로부터 절결된 작은 원형 디스크의 실시예를 나타내고 있다. 여러 디스크가 기계적으로 분리되고, 일부는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용해 분리되었고 일부는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용해 분리되었으며 기판으로부터 기계적으로 방출된다.

[0087] 상기 기재된 바와 같이, 또한 재료의 스택된 시트가 천공될 수 있다. 이러한 경우에 있어서, 초점 라인 길이는 스택 높이보다 더 길 필요가 있다.

[0088] 구멍(천공, 결함 라인) 사이의 측방향 간격(피치)은, 기판이 초점맞춰진 레이저 빔 아래 병진이동됨에 따라, 레이저의 펄스 속도(rate)에 의해 결정된다. 단 하나의 피코초 레이저 펄스 또는 버스트가 전체 구멍을 형성하는데 통상적으로 필요하지만, 그러나 다중 펄스 또는 버스트가 필요에 따라 사용될 수 있다. 상이한 피치로 구멍을 형성하기 위하여, 레이저는 보다 길거나 보다 짧은 인터벌에서 작동(fire)하도록 촉발될 수 있다. 절단 작동을 위해, 레이저 촉발은 일반적으로 빔 아래 기판의 스테이지 구동식 이동과 동기화되고, 이에 따라 레이저 펄스가 매 1 μm, 또는 매 5 μm 처럼 고정된 인터벌에서 촉발된다. 인접한 천공 사이의 정확한 간격이 천공된 구멍으로부터 천공된 구멍까지 크랙 전파를 용이하게 하는 재료 특성에 의해, 기판에서의 주어진 응력 레벨에 의해 결정된다. 그러나, 기판 절단과 달리, 또한 재료를 단지 천공하는 동일한 방법이 사용될 수 있다. 본 명세서에 기재된 방법에 있어서, 구멍은 보다 큰 간격(예를 들면, 7 μm 피치 또는 이보다 더 큼) 만큼 분리될 수 있다.

[0089] 레이저 파워 및 렌즈 초점 길이(초점 라인 길이와 이에 따른 파워 밀도를 결정함)는 기판의 완전한 천공과, 저 표면 및 표면 아래 손상을 보장하는데 특히 중요한 매개변수이다.

[0090] 일반적으로, 이용가능한 레이저 파워가 크면 클수록, 상기 기재된 처리로써 재료가 더욱 신속하게 절단될 수 있다. 본 명세서에 개시된 처리는 0.25 m/sec 이상의 절단 속도에서 유리를 절단할 수 있다. 절단 속도(또는 절단하는 속도)는 레이저 빔이 기판 재료(예를 들면, 유리)의 표면과 관련하여 이동하면서 다수의 결함 라인이나 구멍을 만드는 속도이다. 예를 들면 400 mm/sec, 500 mm/sec, 750 mm/sec, 1 m/sec, 1.2 m/sec, 1.5 m/sec, 2 m/sec, 또는 심지어 3.4 m/sec 내지 4 m/sec와 같은 고 절단 속도는 제조 자본 투자를 최소화하고 설비 사용율을 최적화하도록 종종 요구되어 진다. 레이저 파워는 레이저의 버스트 반복 주파수(율)로써 배가된 버스트 에너지와 동일하다. 일반적으로, 고 절단 속도로 유리 재료를 절단하기 위하여, 결함 라인은 전형적으로 여러 실시예에 있어서, 1 μm - 25 μm 만큼 전형적으로 이격된다. 간격은 바람직하게는 3 μm 이상 - 예를 들면, 3 μm - 12 μm 이거나, 또는 예를 들면, 5 μm - 10 μm이다.

[0091] 예를 들면, 300 mm/sec의 선형 절단 속도를 달성하기 위하여, 3 μm 구멍 피치는 적어도 100 kHz 버스트 반복률로써 펄스 버스트 레이저에 대응한다. 600 mm/sec 절단 속도에 대해, 3 μm 피치가 적어도 200 kHz 버스트 반복률로써 버스트-펄스 레이저에 대응한다. 200 kHz에서 적어도 40 μJ/버스트를 만들고, 600 mm/s 절단 속도로 절단하는 펄스 버스트 레이저는 적어도 8 Watt의 레이저 파워를 가질 필요가 있다. 보다 빠른 절단 속도는 이에 따라 보다 큰 레이저 파워를 필요로 한다.

[0092] 예를 들면, 3 μm 피치 및 40 μJ/버스트에서의 0.4 m/sec 절단 속도는 적어도 5 W 레이저를 요구할 수 있고, 3 μm 피치 및 40 μJ/버스트에서의 0.5 m/sec 절단 속도는 적어도 6 W 레이저를 요구할 수 있다. 따라서, 바람직하게는, 펄스 버스트 ps 레이저의 레이저 파워는 6 W 이상이고, 더욱 바람직하게는 적어도 8 W 이상이며, 심지어 더욱 바람직하게는 적어도 10 W 이상이다. 예를 들면, 4 μm 피치(결함 라인 간격, 또는 손상 트랙 간격) 및 100 μJ/버스트에서 0.4 m/sec 절단 속도를 달성하기 위하여, 적어도 10 W 레이저가 요구될 수 있고, 그리고 4 μm 피치 및 100 μJ/버스트에서 0.5 m/sec 절단 속도를 달성하기 위하여, 적어도 12 W 레이저가 요구될 수 있다. 예를 들면, 3 μm 피치 및 40 μJ/버스트에서 1 m/sec의 절단 속도를 달성하기 위하여, 적어도 13 W 레이저가 요구될 수 있다. 또한, 예를 들면, 4 μm 피치 및 400 μJ/버스트에서의 1 m/sec 절단 속도가 적어도 100 W 레이저를 요구할 수 있다.

[0093] 결함 라인(손상 트랙) 사이의 최적의 피치 및 정확한 버스트 에너지가 재료에 따라 결정되고 경험적으로 결정될 수 있다. 그러나, 보다 가까운 피치에서 손상 트랙을 만드는 것이나 레이저 펄스 에너지를 상승시키는 것은 기판 재료가 항상 잘 분리되게 하거나 향상된 옛지 품질을 갖게 하는 조건이 아니라는 것을 알 수 있을 것이다. (예를 들면 < 0.1 미크론, 또는 여러 예시적인 실시예에서 < 1 μm, 또는 다른 실시예에서 < 2 μm) 결함 라인(손상 트랙) 사이의 매우 작은 피치는 다음 결함 라인(손상 트랙) 부근의 형성을 때때로 방지할 수 있고, 그리고 종종 천공된 윤곽 주위에서의 재료의 분리를 방지할 수 있다. 유리 내에서의 원치않는 마이크로 크랙의 증가는

또한 퍼치가 매우 작다면 초래될 수 있다. 매우 긴(예를 들면  $> 50 \mu\text{m}$ , 그리고 여러 유리에서  $> 25 \mu\text{m}$  또는 심지어  $> 20 \mu\text{m}$ ) 퍼치는 "제어되지 않는 미소크랙"을 초래할 수 있으며 - 즉, 이 경우 의도된 윤곽을 따라 결합라인으로부터 결합 라인까지 전파하는 대신에, 미소크랙은 상이한 경로를 따라서 전파되고, 유리가 의도된 윤곽과 멀어지게 상이한(바람직하지 못한) 방향으로의 크랙을 야기한다. 이는 잔여 미소크랙이 유리를 취약하게 하는 결합부를 이루기 때문에, 분리된 부분의 강도를 궁극적으로 더 낮출 수 있다. 매우 큰 결합 라인을 형성하기 위한 버스트 에너지(예를 들면,  $> 2500 \mu\text{J}/\text{버스트}$ , 그리고 여러 실시예에 있어서  $> 500 \mu\text{J}/\text{버스트}$ )는 유리의 분리를 방지할 수 있는 사전에 형성된 결합 라인의 "힐링(healing)" 또는 재-용융을 야기시킬 수 있다. 이에 따라, 버스트 에너지가  $< 2500 \mu\text{J}/\text{버스트}$ , 예를 들면,  $\leq 500 \mu\text{J}/\text{버스트}$ 인 것이 바람직하다. 또한, 매우 큰 버스트 에너지를 사용하는 것은 극히 큰 미소크랙의 형성을 야기시킬 수 있고 그리고 분리 이후에 부분의 옛지 강도를 감소시킬 수 있는 구조적 불안전부를 만들 수 있다. 매우 작은(예를 들면  $< 40 \mu\text{J}/\text{버스트}$ ) 버스트 에너지는 유리 내에서의 결합 라인의 주목할만한 형성을 초래하지 않을 수 있고, 그리고 이에 따라 특히 큰 분리력을 필요로 할 수 있거나 또는 천공된 윤곽에 따른 완전한 분리 불능을 초래할 수 있다.

[0094]

이러한 처리에 의해 가능하게 된 전형적인 예시적인 절단 속도(율)는, 예를 들면,  $0.25 \text{ m/sec}$  이상이다. 여러 실시예에 있어서, 절단 속도는 적어도  $300 \text{ mm/sec}$ 이다. 여러 실시예에 있어서, 절단 속도는 적어도  $400 \text{ mm/sec}$  이거나, 예를 들면,  $500 \text{ mm/sec}$  내지  $2000 \text{ mm/sec}$ 이나, 또는 이보다 더 빠르다. 여러 실시예에 있어서, 피코초(ps) 레이저는  $0.5 \mu\text{m}$  내지  $13 \mu\text{m}$ , 예를 들면  $0.5 \mu\text{m}$  내지  $3 \mu\text{m}$  사이의 주기성으로써 결합 라인을 만들도록 펄스 버스트를 사용한다. 여러 실시예에 있어서, 펄스 레이저는  $10 \text{ W} - 100 \text{ W}$ 의 레이저 파워를 갖고 그리고 재료 및/또는 레이저 빔은 적어도  $0.25 \text{ m/sec}$ 의 속도로; 예를 들면,  $0.25 \text{ m/sec}$  내지  $0.35 \text{ m/sec}$ 의 속도로, 또는  $0.4 \text{ m/sec}$  내지  $5 \text{ m/sec}$ 의 속도로 서로에 대해 병진이동된다. 바람직하게는, 펄스 레이저 빔의 각각의 펄스 버스트는 피가공물의  $\text{mm}$  두께 당 버스트 당  $40 \mu\text{J}$  보다 더 큰 피가공물에서 측정된 평균 레이저 에너지를 갖는다. 바람직하게는, 펄스 레이저 빔의 각각의 펄스 버스트는 피가공물의  $\text{mm}$  두께 당 버스트 당  $2500 \mu\text{J}$  보다 작은, 그리고 바람직하게는 피가공물의  $\text{mm}$  두께 당 버스트 당 약  $2000 \mu\text{J}$  보다 작은, 그리고 여러 실시예에 있어서 피가공물의  $\text{mm}$  두께 당 버스트 당  $1500 \mu\text{J}$  보다 작은; 예를 들면, 피가공물의  $\text{mm}$  두께 당 버스트 당  $500 \mu\text{J}$  보다 크지 않은, 보다 큰 피가공물에서 측정된 평균 레이저 에너지를 갖는다.

[0095]

본 출원인은 상당히 더 큰(5 배 내지 10 배나 이보다 더 큰) 볼륨 펄스 에너지 밀도( $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ )가 저 또는 무 알칼리 함량을 갖는 알카라인 토류 보로알루미노실리케이트를 천공하는데 요구된다는 것을 알았다. 이는, 예를 들면, 바람직하게는 버스트 당 적어도 2 펄스를 갖는 펄스 버스트 레이저를 사용함으로써 그리고 약  $0.05 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$  이상, 예를 들면, 적어도  $0.1 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ , 예를 들면  $0.1 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3 - 0.5 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 의 알카라인 토류 보로알루미노실리케이트 유리(무 또는 저 알칼리를 가짐) 내에서의 볼륨 에너지 밀도를 제공함으로서, 달성될 수 있다.

[0096]

이에 따라, 레이저가 버스트 당 적어도 2 펄스를 갖는 펄스 버스트를 만드는 것이 바람직하다. 예를 들면, 여러 실시예에 있어서, 펄스 레이저는  $10 \text{ W} - 150 \text{ W}$ (예를 들면,  $10 \text{ W} - 100 \text{ W}$ )의 파워를 갖고, 버스트 당 적어도 2 펄스(예를 들면, 버스트 당 2 펄스 - 25 펄스)를 갖는 펄스 버스트를 만든다. 여러 실시예에 있어서, 펄스 레이저는  $25 \text{ W} - 60 \text{ W}$ 의 파워를 갖고, 버스트 당 적어도 2 펄스 - 25 펄스를 갖는 펄스 버스트를 만들며, 그리고 레이저 버스트에 의해 만들어진 인접한 결합 라인 사이의 거리 또는 주기성이  $2 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ 이다. 여러 실시예에 있어서, 펄스 레이저는  $10 \text{ W} - 100 \text{ W}$ 의 파워를 갖고, 버스트 당 적어도 2 펄스를 갖는 펄스 버스트를 만들며, 그리고 피가공물 및 레이저 빔이 적어도  $0.25 \text{ m/sec}$ 의 속도에서 서로에 대해 병진이동된다. 여러 실시예에 있어서, 피가공물 및/또는 레이저 빔은 적어도  $0.4 \text{ m/sec}$ 의 속도에서 서로에 대해 병진이동된다.

[0097]

예를 들면,  $0.7 \text{ mm}$  두께의 이온교환되지 않은 Corning 코드 2319 또는 코드 2320 Gorilla<sup>®</sup> 유리를 절단하기 위하여,  $3 \mu\text{m} - 7 \mu\text{m}$ 의 퍼치가 약  $150 - 250 \mu\text{J}/\text{버스트}$ 의 펄스 버스트 에너지 및 2 - 15 범위의 버스트 펄스 수로써, 그리고 바람직하게는  $3 \mu\text{m} - 5 \mu\text{m}$ 의 퍼치 및 2 - 5의 버스트 펄스 수(버스트 당 펄스의 수)로써 잘 작동할 수 있다는 것이 관찰되었다.

[0098]

$1 \text{ m/sec}$  절단 속도에서, Eagle XG<sup>®</sup> 유리의 절단은 전형적으로  $15 \text{ W} - 84 \text{ W}$ 의 레이저 파워의 사용을 요구하며, 종종  $30 \text{ W} - 45 \text{ W}$ 이 충분하다. 일반적으로, 다양한 유리 및 다른 투명한 재료를 가로질러, 본 출원인은  $10 \text{ W}$  내지  $100 \text{ W}$ 의 레이저 파워가  $0.2 \text{ m/sec} - 1 \text{ m/sec}$ 의 절단 속도를 달성하는데 바람직하며,  $25 \text{ W} - 60 \text{ W}$ 의 레이저 파워가 많은 유리에 대해 충분하다(또는 최적이다)는 것을 발견하였다.  $0.4 \text{ m/sec}$  내지  $5 \text{ m/sec}$ 의 절단 속도를 위해, 레이저 파워는 바람직하게는  $10 \text{ W} - 150 \text{ W}$ 일 수 있고, 버스트 에너지는  $40 \mu\text{J}/\text{버스트} - 750 \mu\text{J}/\text{버스트}$ 이고, (즉 절단된 재료에 따라) 펄스 당 버스트는 2 버스트/펄스 - 25 버스트/펄스이고, 그리고 결합 라인 분리

(피치)는  $3 \mu\text{m}$  내지  $15 \mu\text{m}$  또는  $3 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ 이다. 피코초 펄스 버스트 레이저의 사용은 버스트 당 요구되는 수의 펄스와 고 파워를 발생시키기 때문에 이들 절단 속도에 대해 바람직할 수 있다. 따라서, 여러 예시적인 실시예에 따라, 펄스 레이저는  $10 \text{ W} - 100 \text{ W}$ 의 파워, 예를 들면  $25 \text{ W}$  내지  $60 \text{ W}$ 의 파워를 만들고, 그리고 펄스 버스트 적어도 버스트 당 2 펄스 - 25 펄스를 만들고 그리고 결합 라인 사이의 거리가  $2 \mu\text{m} - 15 \mu\text{m}$ 이고; 그리고 레이저 빔 및/또는 피가공률은 적어도  $0.25 \text{ m/sec}$ 의 속도로, 여러 실시예에 있어서, 적어도  $0.4 \text{ m/sec}$ 의 속도로, 예를 들면  $0.5 \text{ m/sec}$  내지  $5 \text{ m/sec}$ 의 속도로, 또는 이보다 더 빠른 속도로 서로에 대해 병진이동된다.

[0099] 플레이트의 절단 및 분리 형상

[0100] 도 9에 도시된 바와 같이, 상이한 조건은 사파이어 기판으로부터 사파이어 부분의 분리를 가능하게 한다고 알려졌다. 제 1 방법은 관통 구멍을 만들고 요구되는 형상(이 경우  $6 \text{ mm}$  내지  $10 \text{ mm}$ 의 직경을 갖는 원)에 이어서 흡 라인을 형성하도록 단지 피코초 레이저 만을 사용하는 것이다. 이러한 단계 이후에, 기계적 분리는 브레이킹 플라이어(breaking plier)를 사용하거나, 부분을 수동으로 구부림으로써, 또는 흡 라인을 따라서 분리를 개시해 전파시키는 장력을 만드는 임의의 방법으로써 달성될 수 있다.  $550 \mu\text{m}$  두께의 사파이어에 관통 구멍을 만들고 플레이트로부터 디스크를 기계적으로 분리하기 위해, 우수한 결과가 다음 광학 및 레이저 매개변수에 대해 발견되었다:

[0101] · 악시콘 렌즈에 대한 인풋 빔 직경  $\sim 2 \text{ mm}$

[0102] · 악시콘 각도 =  $10$  도

[0103] · 초기 조준 렌즈 초점 길이 =  $125 \text{ mm}$

[0104] · 최종 대물 렌즈 초점 길이 =  $30 \text{ mm}$

[0105] · 입사 빔 수렴 각도(Beta) =  $12.75$  도

[0106] ·  $Z = 0.75 \text{ mm}$ 이도록 설정된 초점(부분의 상부 표면 상에서 대략적으로  $200 \mu\text{m}$ )

[0107] · 레이저 파워  $\sim 24 \text{ Watt}$  ( $60\%$ 의 풀 파워)

[0108] · 레이저의 버스트 반복률 =  $200 \text{ kHz}$

[0109] · 버스트당 에너지 =  $120 \mu\text{J}$  ( $24 \text{ W}/200 \text{ kHz}$ )

[0110] · 4 펄스/버스트

[0111] · 하나의 패스

[0112] 제 2 방법은 주변 기판 매트릭스로부터 부분을 완전하게 분리하기 위하여, 초점이탈된  $\text{CO}_2$  레이저가 추적 요구되는 윤곽을 마감처리한 이후에, 피코초 레이저를 따르는 초점이탈된  $\text{CO}_2$  레이저를 사용하는 것이다. 초점이탈된  $\text{CO}_2$  레이저에 의해 유도된 열 응력은 요구되는 윤곽에 따라 분리를 개시하고 전파하는데 충분하여, 패널로부터 기판을 방출한다. 이러한 경우에 대해, 최상의 결과가 아래 기재된 광학 및 레이저 매개변수에 대해 발견되었다:

[0113] · 피코초 레이저:

[0114] · 악시콘 렌즈에 대한 인풋 빔 직경  $\sim 2 \text{ mm}$

[0115] · 악시콘 각도 =  $10$  도

[0116] · 초기 조준 렌즈 초점 길이 =  $125 \text{ mm}$

[0117] · 최종 대물 렌즈 초점 길이 =  $30 \text{ mm}$

[0118] · 입사 빔 수렴 각도(Beta) =  $12.75$  도

[0119] ·  $Z = 0.75 \text{ mm}$ 이도록 설정된 초점(부분의 상부 표면 상에서 대략적으로  $200 \mu\text{m}$ )

[0120] · 레이저 파워  $\sim 24 \text{ Watt}$  ( $60\%$ 의 총 파워)

[0121] · 레이저의 버스트 반복률 =  $200 \text{ kHz}$ .

[0122] · 버스트당 에너지 =  $120 \mu\text{J}$  ( $24 \text{ W}/200 \text{ kHz}$ ) 4 펄스/버스트

- [0123]     • 10 mm 직경에 대한 단일 패스 및 6 mm 직경에 대한 이중 패스
- [0124]     • CO<sub>2</sub> 레이저:
- 레이저 병진이동 속도: 250 mm/s
  - 레이저 파워 = 200 W
  - 펄스 지속시간 45 μs (95% 듀티 사이클)
  - 레이저 변조 주파수 20 kHz
  - (유리의 입사 표면과 관련하여) 레이저 범 초점이탈은 20 mm임
  - 10 mm 직경에 대한 단일 패스 및 6 mm 직경에 대한 이중 패스
- [0131]     결국에는 분석된 최종 조건은 상기 기재된 2개 방법을 혼합하는 것이며, 이 경우 초점이탈된 CO<sub>2</sub> 레이저는 주변 기판 매트릭스로부터 부분을 부분적으로 분리하기 위하여, 요구되는 윤곽 추적을 마무리한 이후에 피코초 레이저를 따른다. CO<sub>2</sub> 레이저에 의해 유도된 열 응력은 요구되는 윤곽을 따라서 분리를 개시하고 부분적으로 전파시키는데 충분하지만, 그러나 이를 주변 기판 매트릭스로부터 방출하는데 충분하지는 않다. 때때로, 처리 편리성이나 효율이 이후 단계까지 부분의 방출을 지연시키는데 바람직하다. 이러한 경우에 대해, 최상의 결과가 추구되는 분리 정도에 따라, 보다 빠른 병진이동 속도 및 CO<sub>2</sub> 레이저 범의 보다 작은 CO<sub>2</sub> 레이저 파워 또는 보다 큰 초점이탈(약 25 mm보다 큼) 중 어느 하나와, 상기 기재된 동일한 피코초 레이저 조건에 대해 발견되었다.
- [0132]     도 10a 및 도 10b는 각각 버튼을 방출하도록 CO<sub>2</sub> 레이저에 노출되고 피코초 레이저에 의해 추적된 예시적인 천공을 나타내고 있다. CO<sub>2</sub> 레이저는 초점이탈된 CO<sub>2</sub> 레이저일 수 있고 그리고 기판의 원위(또는 근위) 옛지로부터 상기 기판의 근위(또는 원위) 옛지까지 횡단될 수 있다. 초점이탈된 CO<sub>2</sub> 레이저에 의해 추적된 경로와 방출라인의 도입은 아래 기재된 바와 같은 쟁점을 피하도록, 주의깊게 계획되어야 하는 것을 아는 것은 중요하다:
- [0133]     일치하는 시작/정지 위치 회피. 일반적으로, 이동하는 스테이지의 느린 가속/감속은 크랙을 늦추거나 심지어 부분을 산산조각 내는 점(punctual) 응력 발생원을 만드는데 충분할 수 있다.
- [0134]     추적된 윤곽부 상의 임의의 스팟에서의 초점이탈된 CO<sub>2</sub> 레이저를 정지 또는 "파킹(parking)" - 가장 통상적으로 이는 사파이어 표면을 만들 것이고 및/또는 마이크로-크랙을 생성할 것이다. CO<sub>2</sub> 레이저의 경로는 방출될 윤곽 외측에서 개시 및 종료하도록 계획될 수 있다.
- [0135]     방출 라인은 주변 및 지지 기판 매트릭스의 이론 붕괴없이 분리될 수 있도록 계획될 수 있다.
- [0136]     상기 기재된 절단 처리는 향상된 레이저 처리 특성과 비용 절감 및 이에 따라 보다 작은 제조 비용으로 병진이 동할 수 있는 아래 기재된 바와 같은 장점을 제공한다. 현 실시예에 있어서, 절단 처리는 다음을 제공한다:
- [0137]     감소된 레이저 파워로써 절단된 부분의 완전한 분리: 사파이어는 청결하고 제어된 방식으로 완전하게 분리될 수 있거나 절단될 수 있다.
- [0138]     감소된 표면 아래 손상: 레이저와 재료 사이의 초단파 펄스 상호작용에 기인하여, 열적 상호작용이 거의 없고 이에 따라서 표면 아래 구역에서 그리고 표면에서 바람직하지 못한 응력 및 마이크로-크랙을 초래할 수 있는 최소 열 영향을 받는 구획부가 거의 없다. 더욱이, 레이저 범을 사파이어 또는 다른 기판 재료에 집중하는 광학은 부분의 표면 상에서 전형적으로 2 미크론 내지 5 미크론의 직경을 갖는 결함 라인을 만든다. 분리 이후에, 표면 아래 손상은 약 75 μm보다 작은, 주변 표면으로부터의 거리로 제한된다. 이는, 강도가 결함의 수, 그리고 크기 및 깊이에 의한 통계적인 분포에 의해 좌우됨에 따라, 부분의 옛지 강도에 큰 손상을 갖는다. 이를 수가 많으면 많을수록, 부분의 옛지가 더 취약하게 될 것이다.
- [0139]     처리 청결(Process cleanliness): 본 명세서에 기재된 방법은 청결하고 제어된 방식으로 사파이어의 분리 및/또는 절단을 가능하게 한다. 종래의 제거 또는 열적 레이저 처리가 여러 보다 작은 조각으로의 기판의 파쇄 및 마이크로-크랙을 유도하는 열 영향을 받는 구획부를 촉발시키는 경향이 있기 때문에, 상기 종래의 제거 또는 열적 레이저 처리를 사용하는 것은 상당한 도전이다. 개시된 방법의 재료와의 유도된 상호작용 및 레이저 펄스의 특징은 이들 모든 쟁점을 피할 수 있는데, 그 이유는 이들이 매우 짧은 기간에 발생하고 그리고 레이저 복사에

대한 기판 재료의 투명도가 유도된 열 효과를 최소화하기 때문이다. 결합 라인이 기판 내에서 만들어지기 때문에, 절단 단계 동안의 부스러기 및 입자상 물질의 존재는 시각적으로 제거된다. 만들어진 결합 라인으로부터 초래되는 임의의 입자가 존재한다면, 이를 입자는 부분이 분리될 때까지 잘 포함된다.

[0140] 복잡한 프로파일 절단 및 상이한 크기의 형상

[0141] 본 레이저 처리 방법은 유리, 사파이어, 및 다른 경쟁 기술에서 제한적인 많은 형태 및 형상에 따라 다른 기판의 절단/분리를 가능하게 한다. 타이트한 반경은 본 방법에 의해 (약 5 mm보다 작게) 절단될 수 있어, 만곡된 엣지를 가능하게 한다. 5 mm 내지 10 mm의 직경의 원은 다른 레이저 기술로는 불가능하거나 도전인, 보다 큰 사파이어 기판의 성공적인 절단을 가능하게 한다. 또한, 결합 라인이 확실하게 임의의 크랙 전파의 위치를 제어하기 때문에, 이러한 방법은 절단부의 공간 위치를 우수하게 제어하고, 그리고 수 백 미크론 만큼 작은 특징부 및 구조부의 분리 및 절단을 가능하게 한다.

[0142] 처리 단계의 제거

[0143] 들어오는 기판(예를 들면, 유리 패널 또는 사파이어 조각)으로부터 최종 크기 및 형상으로 부분(예를 들면, 유리 플레이트 또는 임의로 형성된 사파이어 부분)을 제조하는 처리는 여러 경우에서 기판을 절단하는 단계, 크기로 절단하는 단계, 마감처리 단계 및 엣지 형성 단계, 부분을 그 목표 두께 아래로 박막화하는 단계, 폴리싱 단계, 및 심지어 화학적 강화단계를 포함한 수개의 단계를 포함한다. 임의의 이들 단계의 제거는 처리 시간 및 자본 비용에 의해 제조 단가를 향상시킬 것이다. 현 방법은 예를 들면, 아래 기재된 사항에 의해 단계의 수를 감소시킬 수 있다:

- 감소된 부스러기 및 엣지 결합 발생 - 세정 및 건조 스테이션의 잠재적인 제거;

- 샘플을 그 최종 크기, 형상 및 두께로 직접적으로 절단 - 마감처리 라인의 필요성 제거.

[0146] 절단 스택

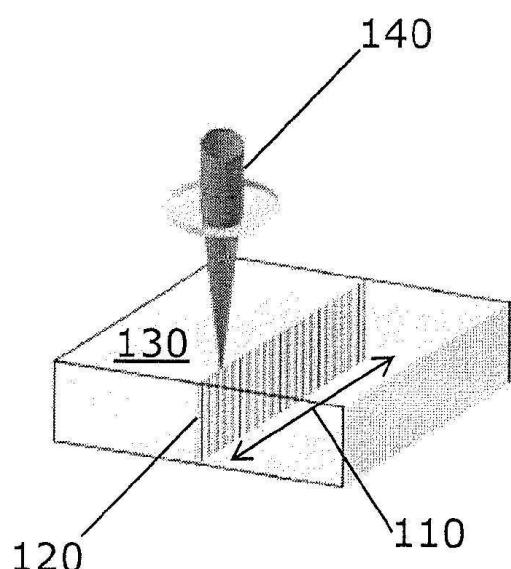
[0147] 처리는 또한 스택된 유리 패널 상의 수직 결합으로써 이들 라인을 만들 수 있다. 스택의 높이가 제한되지만, 그러나 다수의 스택된 플레이트를 동시에 처리함으로써 생산성을 증대시킬 수 있다. 레이저 파장에 투명한 재료가 요구되면, 이는 본 발명에서 사용된 레이저 파장(1064 nm)에서 사파이어에 해당하는 경우이다.

[0148] 모든 특허, 공개된 특허문헌 및 본 명세서에서 인용된 참조의 관련 기술은 그 내용의 참조를 위해 본 명세서에 모두 통합되어 있다.

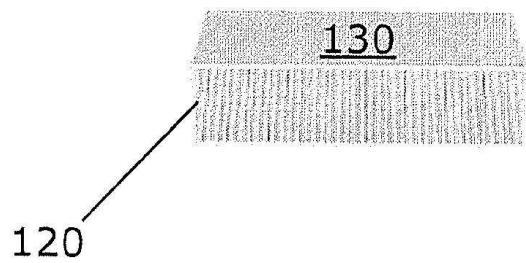
[0149] 예시적인 실시예가 본 명세서에 기재되어 있는 한편으로, 당업자라면, 첨부된 청구범위의 범주 내에서 여러 변경 및 수정이 가능하다는 것을 알 수 있을 것이다.

## 도면

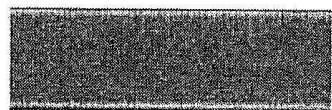
### 도면 1a



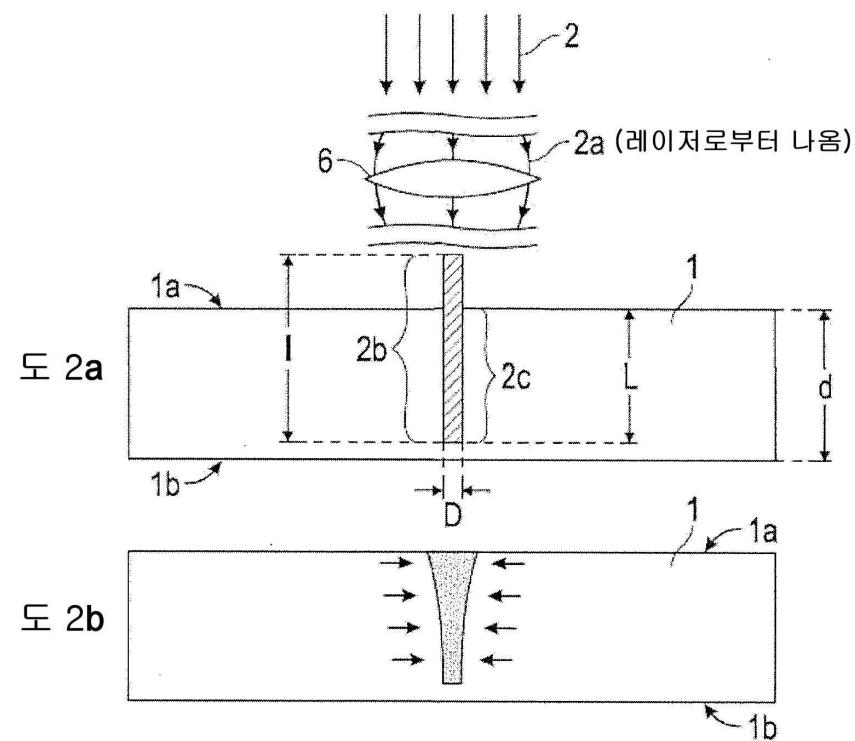
도면1b



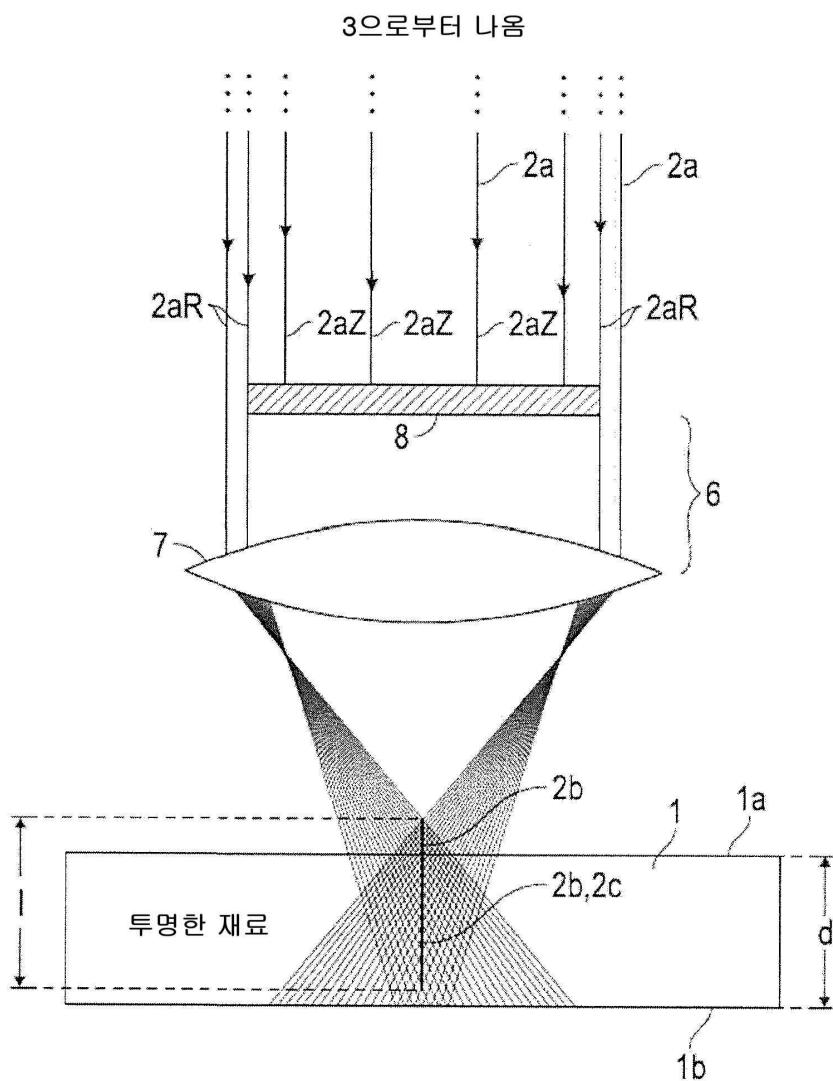
도면1c



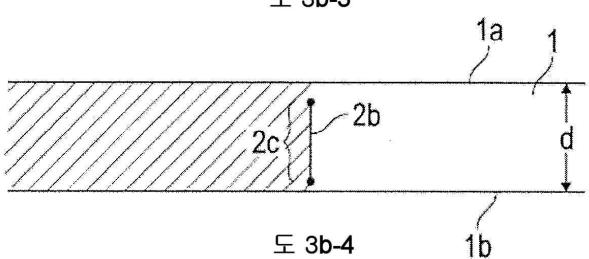
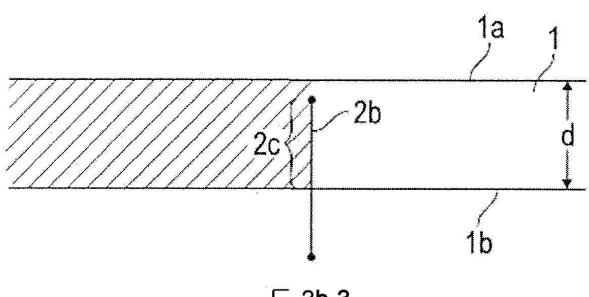
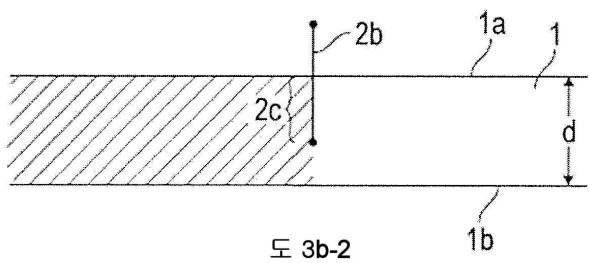
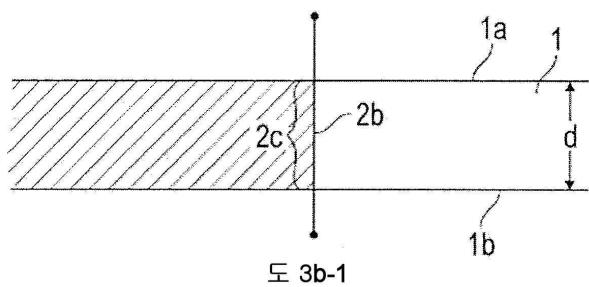
도면2



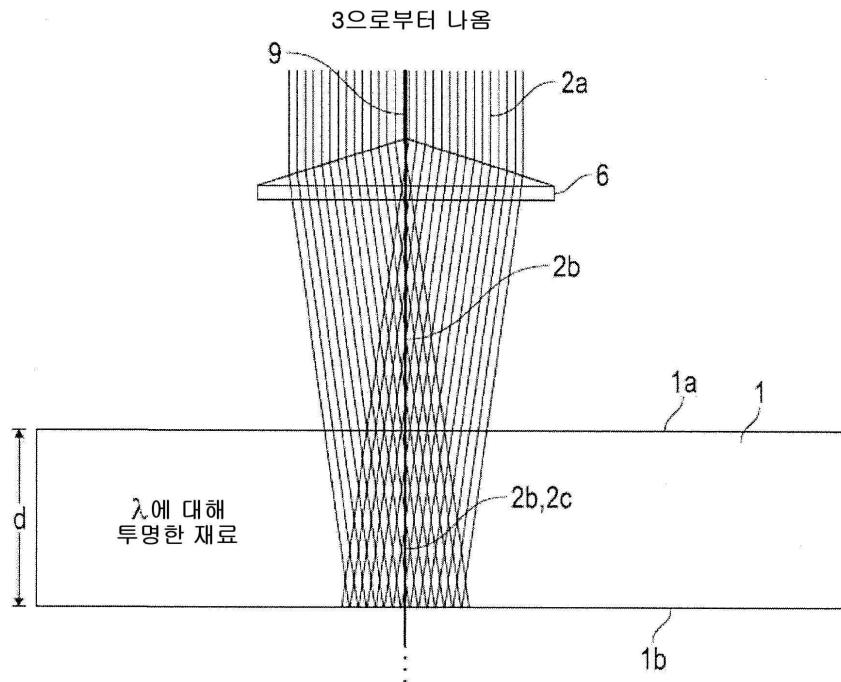
### 도면3a



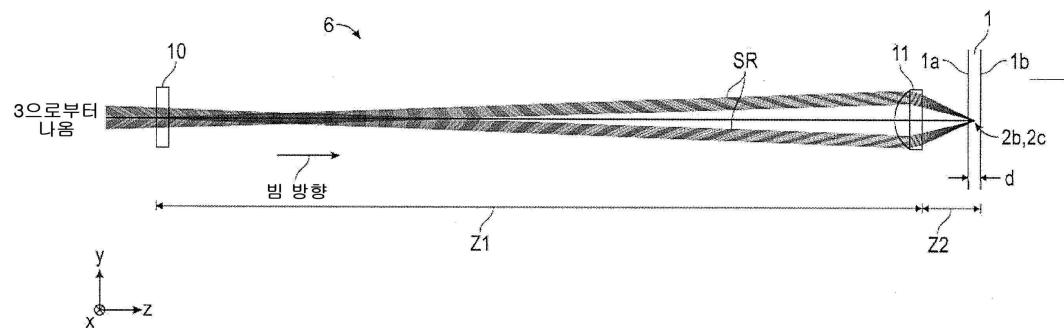
## 도면3b



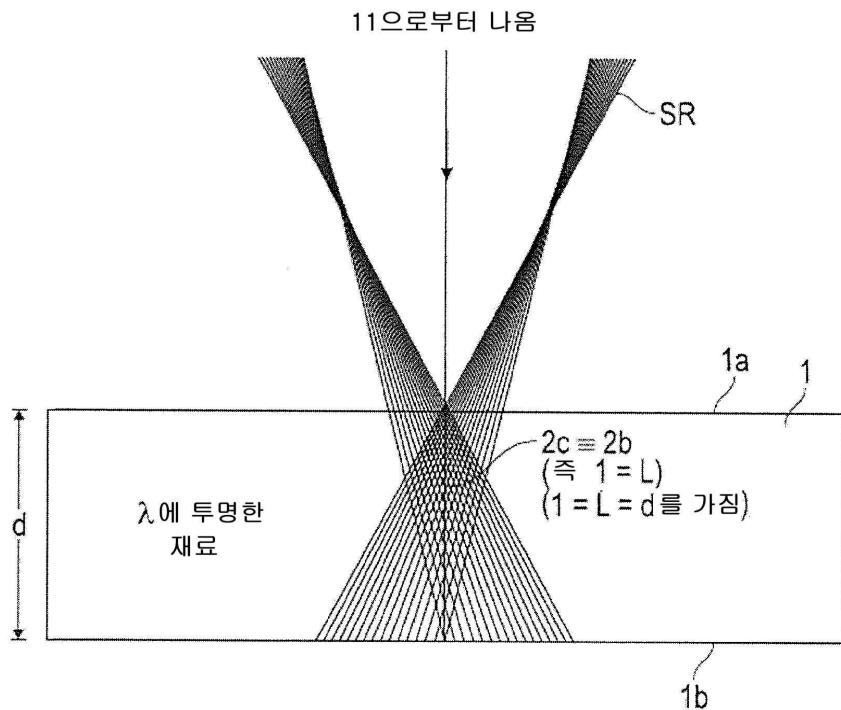
**도면4**



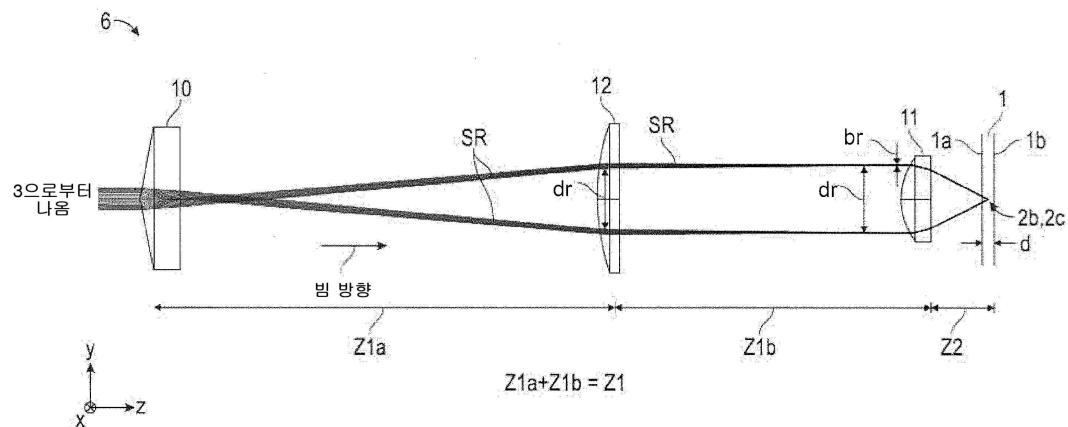
**도면5a**



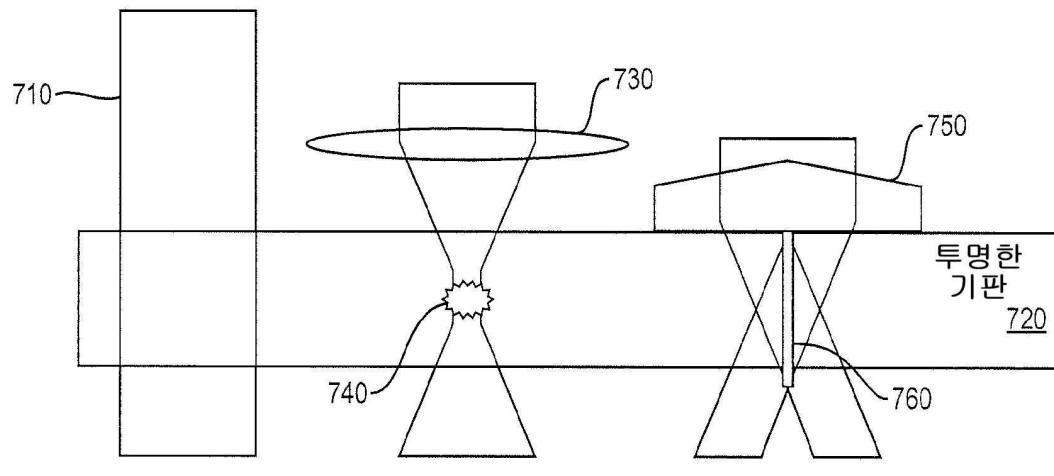
## 도면5b



## 도면6



도면7

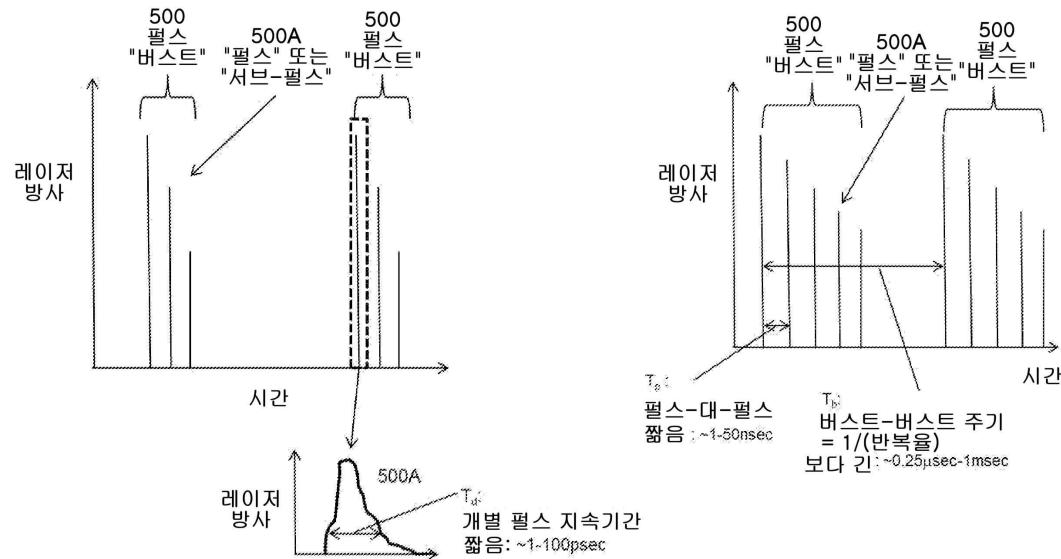


도 7a

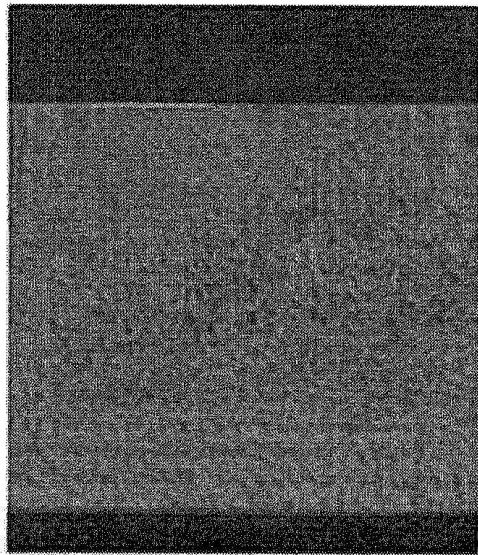
도 7b

도 7c

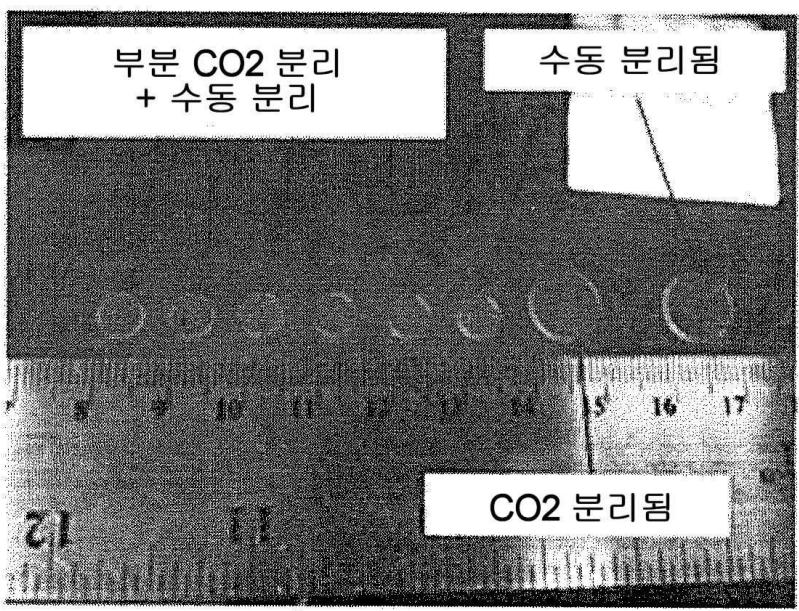
### 도면8a



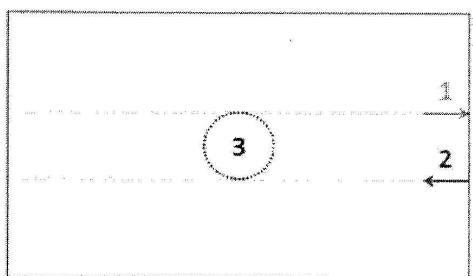
도면8b



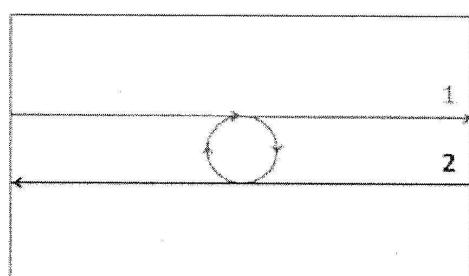
도면9



도면10



도 10a



도 10b