



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월20일  
(11) 등록번호 10-2445217  
(24) 등록일자 2022년09월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03B 33/02 (2006.01) B23K 26/00 (2014.01)  
B23K 26/57 (2014.01) B23K 26/70 (2014.01)  
C03B 33/08 (2006.01) C03B 33/09 (2006.01)  
C03B 33/10 (2006.01) B23K 103/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C03B 33/0222 (2013.01)  
B23K 26/0006 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-7003404  
(22) 출원일자(국제) 2015년07월08일  
심사청구일자 2020년07월06일  
(85) 번역문제출일자 2017년02월07일  
(65) 공개번호 10-2017-0031164  
(43) 공개일자 2017년03월20일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/039468  
(87) 국제공개번호 WO 2016/007572  
국제공개일자 2016년01월14일  
(30) 우선권주장  
62/021,917 2014년07월08일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2000225485 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트  
플라자  
(72) 발명자  
그룬드무엘러, 리차드  
독일, 87663 렌젠방, 아우서렌젠방 12  
헤른버거, 프란크 파비안  
독일, 81675 뮌헨, 트로저스트라세 60  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
청운특허법인

전체 청구항 수 : 총 20 항

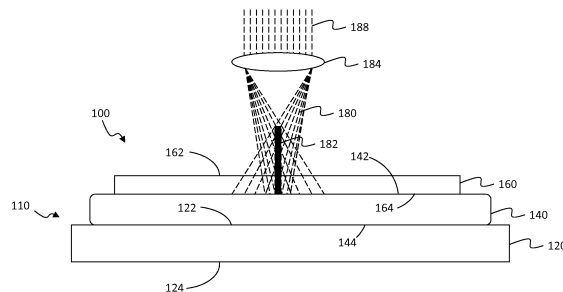
심사관 : 이영화

(54) 발명의 명칭 **재료를 레이저 가공하는 방법 및 장치**

(57) 요약

투명 재료를 레이저 가공하는 방법이 개시된다. 상기 방법은 상기 투명 재료를 캐리어 상에 위치시키는 단계 및 상기 투명 재료를 통해 레이저 빔을 전송하는 단계를 포함할 수 있고, 이 경우에 상기 레이저 빔은 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 측면 상에 입사될 수 있다. 상기 투명 재료는 상기 레이저 빔에 실질적으로 투명할 수 있고, 상기 캐리어는 지지 베이스 및 레이저 붕괴 요소를 포함할 수 있다. 상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가질 수 없도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 붕괴시킬 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*B23K 26/57* (2018.08)

*B23K 26/706* (2015.10)

*C03B 33/082* (2013.01)

*C03B 33/091* (2013.01)

*C03B 33/102* (2013.01)

*B23K 2103/54* (2018.08)

*B23K 2103/56* (2018.08)

(72) 발명자

**크레인, 미가엘**

독일, 82205 길칭, 쉬어제남츠베그 8

**스파에스, 프로리안**

독일, 82279 에칭, 란게커스트라세 20

(56) 선행기술조사문헌

JP2014117707 A\*

KR1020130075651 A\*

JP2014104484 A

US20070111480 A1

EP02133170 A1

US20130189806 A1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

투명 재료를 레이저 가공하는 방법에 있어서,

상기 투명 재료를 캐리어 상에 위치시키는 단계; 및

상기 투명 재료를 통해 레이저 빔을 전송하는 단계 - 상기 레이저 빔은 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 측면 상에 입사됨-;

를 포함하며,

이때:

상기 투명 재료는 상기 레이저 빔에 투명하고;

상기 캐리어는 지지 베이스 및 레이저 붕괴 요소를 포함하고, 상기 지지 베이스와 상기 레이저 붕괴 요소 사이에는 재료의 제 1 층이 배치되고, 상기 레이저 붕괴 요소는 상기 지지 베이스의 전체 표면 위에 배치되며, 그리고 상기 레이저 붕괴 요소는 0.5 mm 내지 3 mm의 두께를 가지며; 그리고

상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가지지 않도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키는, 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 젖빛 유리 (frosted glass)를 포함하는, 방법.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 캐리어의 적어도 일 부분은 상기 레이저 빔에 대해 불투명한, 방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔에 의해 손상되지 않는, 방법.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 투명 재료는 유리인, 방법.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 투명 재료 상에 입사되는 레이저 빔으로 상기 투명 재료를 천공하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 빔은 1 피코초 내지 100 피코초의 펄스 지속기간을 가지는, 방법.

#### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 빔은 1kHz 내지 2 MHz의 펄스 버스트 반복율을 가지며, 그리고 각각의 펄스 버스트는 적어도 2 개의 펄스들을 가지는, 방법.

#### 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 상기 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키는 거친 표면을 포함하는, 방법.

#### 청구항 10

청구항 9에 있어서,

(i) 상기 거친 표면의 평균 거칠기 (Ra)는 0.5 미크론 이상이며;

(ii) 상기 거친 표면은 상기 투명 재료에 가장 가까운 레이저 붕괴 요소의 표면임; 상기 (i)와 (ii) 중 적어도 하나인, 방법.

#### 청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는: (i) 평평한 시트이고; (ii) 반투명임; 상기 (i)와 (ii) 중 적어도 하나인, 방법.

#### 청구항 12

레이저 가공을 하는 다층 스택에 있어서,

지지 베이스 및 레이저 붕괴 요소를 포함한 캐리어 - 상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 지지 베이스와 상기 레이저 붕괴 요소 사이에 배치된 재료의 제 1 층의 상부 상에 위치되고, 상기 레이저 붕괴 요소는 상기 지지 베이스의 전체 표면 위에 배치되며, 그리고 상기 레이저 붕괴 요소는 0.5 mm 내지 3 mm의 두께를 가짐 -; 및

상기 캐리어 상에 위치한 투명 재료 - 상기 투명 재료는 평평한 상부 표면 및 평평한 하부 표면을 포함하고, 상기 투명 재료는 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 표면 상에 입사하는 레이저 빔에 대해 투명함 -; 를 포함하며,

이때:

상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가지지 않도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키는, 다층 스택.

#### 청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 상기 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키는 거친 표면을 포함하는, 다층 스택.

#### 청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 거친 표면의 평균 거칠기 (Ra)는 0.5 미크론 이상인, 다층 스택.

#### 청구항 15

캐리어 상에 위치한 투명 재료를 레이저 가공할 시에 상기 캐리어를 보호하는 방법에 있어서,

상기 캐리어의 상부 상에 상기 투명 재료를 위치시키는 단계 - 상기 캐리어는 지지 베이스를 포함함 -;

상기 투명 재료를 통해 레이저 빔을 전송하는 단계 - 상기 레이저 빔은 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 표면 상에 입사되고, 상기 레이저 빔은 상기 캐리어를 손상시키기에 충분한 강도를 가진 초점 영역을 포함함 -; 및

상기 지지 베이스와 상기 투명 재료 사이에 레이저 붕괴 요소를 위치시키는 단계 - 상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래의 임의의 지점에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가지지 않도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키며, 상기 지지 베이스와 상기 레이저 붕괴 요소 사이에는 재료의 제 1 층이 배치되고, 상기 레이저 붕괴 요소는 상기 지지 베이스의 전 체 표면 위에 배치되며, 그리고 상기 레이저 붕괴 요소는 0.5 mm 내지 3 mm의 두께를 가짐 -;

를 포함하는, 방법.

#### 청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 상기 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시키는 거친 표면, 또는 젖빛 유리를 포함하는, 방법.

#### 청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 레이저 붕괴 요소는 거친 표면을 포함하고, 상기 거친 표면의 평균 거칠기 (Ra)는 0.5 미크론 이상인, 방법.

#### 청구항 18

청구항 1에 있어서,

상기 레이저 빔은 펄스 레이저에 의해 만들어지며,

상기 펄스 레이저는 10 W-150 W의 레이저 파워를 가지고, 적어도 펄스 버스트당 2 개의 펄스들을 갖는 펄스 버스트들을 만들어내는, 방법.

#### 청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 펄스 레이저는 10 W-100 W의 레이저 파워를 가지고, 적어도 펄스 버스트당 적어도 2 - 25 개의 펄스들을 갖는 펄스 버스트들을 만들어내는, 방법.

#### 청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 펄스 레이저는 25 W-60 W의 레이저 파워를 가지고, 적어도 버스트당 2 - 25 개의 펄스들을 갖는 펄스 버스트들을 만들어내며, 그리고 결함 라인들 간의 주기성은 2-20 미크론인, 방법.

#### 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

청구항 31

삭제

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001]

관련 출원들

[0002]

본 출원은 2014 년 7월 8일 자로 출원된 미국 가출원 제62/021917호의 우선권 주장 출원이다. 상기 출원의 전체 내용은 본원에 참조로 병합된다.

[0003]

본 명세서에서는 일반적으로 재료의 제조에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 재료의 레이저 가공 (laser processing)에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0004]

최근, 디바이스의 크기, 중량 및 재료 비용을 절감하려는 고객의 요구로 인해 터치 스크린, 태블릿, 스마트폰 및 TV에 대한 평면 패널 디스플레이에서 상당한 기술적 성장이 이루어지고 있다. 산업용 레이저는 이러한 재료의 고정밀 절단이 필요한 응용 분야들에서 중요한 도구가 되고 있다. 그러나 고강도 레이저가 재료의 레이저 가공에 사용되는 부품을 손상시킬 수 있기 때문에, 레이저 가공이 어려울 수 있다.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

[0005]

이에 따라서, 재료를 레이저 가공하기 위한 대안적인 방법 및 장치가 필요하다.

## 과제의 해결 수단

[0006]

본원에서 기술된 실시예들은 재료를 레이저 가공하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 일 실시예에 따라서, 투명 재료는 레이저 가공될 수 있다. 상기 방법은 상기 투명 재료를 캐리어 상에 위치시키는 단계 및 상기 투명 재료를 통해 레이저 빔을 전송하는 단계를 포함할 수 있고, 이 경우에 상기 레이저 빔은 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 측면 상에 입사될 수 있다. 상기 투명 재료는 상기 레이저 빔에 실질적으로 투명할 수 있고, 상기 캐리어는 지지 베이스 및 레이저 붕괴 요소를 포함할 수 있다. 상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가질 수 없도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 붕괴시킬 수 있다.

- [0007] 또 다른 실시예에서, 레이저 가공을 하는 다층 스택은 지지 베이스 및 레이저 붕괴 요소를 포함한 캐리어, 및 상기 캐리어 상에 위치한 투명 재료를 포함할 수 있다. 상기 레이저 붕괴 요소는 상기 지지 베이스의 상부 상에 위치될 수 있다. 상기 투명 재료는 실질적으로 평평한 상부 표면 및 실질적으로 평평한 하부 표면을 포함할 수 있고, 상기 투명 재료는 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 표면 상에 입사하는 레이저 빔에 대해 실질적으로 투명할 수 있다. 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가질 수 없도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시킬 수 있다.
- [0008] 여전히 또 다른 실시예에서, 캐리어는 상기 캐리어 상에 위치한 투명 재료가 레이저 가공될 시에 보호될 수 있다. 방법은 상기 캐리어의 상부 상에 상기 투명 재료를 위치시키는 단계, 상기 투명 재료를 통해 레이저 빔을 전송하는 단계, 및 상기 지지 베이스와 상기 투명 재료 사이에 레이저 붕괴 요소를 위치시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 캐리어는 지지 베이스를 포함할 수 있다. 상기 레이저 빔은 상기 캐리어 반대쪽에 있는 상기 투명 재료의 표면 상에 입사될 수 있고, 상기 레이저 빔은 상기 캐리어를 손상시키기에 충분한 강도를 가진 초점 영역을 포함할 수 있다. 상기 레이저 붕괴 요소는, 상기 레이저 빔이 상기 레이저 붕괴 요소 아래의 임의의 지점에서 상기 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가질 수 없도록, 상기 투명 재료를 통해 전송된 레이저 빔을 광학적으로 붕괴시킬 수 있다.
- [0009] 본 명세서에 설명된 실시예의 부가적인 특징 및 이점은 이하의 상세한 설명에서 설명될 것이고, 일부는 그 설명으로부터 기술분야의 통상의 기술자에게 명백할 것이거나, 다음의 상세한 설명, 청구 범위, 및 첨부 도면을 포함하여, 본 명세서에 기술된 실시예를 실시함으로써 인식될 것이다.
- [0010] 상술한 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 모두는 다양한 실시예를 설명하고 청구된 주제의 본질 및 특성을 이해하기 위한 개요 또는 틀을 제공하는 것으로 이해되어야 한다. 첨부된 도면은 다양한 실시예에 대한 이해를 돕기 위해 포함되며, 본 명세서에 포함되어 본 명세서의 일부를 구성한다. 도면은 본 명세서에 설명된 다양한 실시예를 도시하고 설명과 함께 청구된 주제의 원리 및 동작을 설명하는 역할을 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 명세서에 도시되고 설명된 하나 이상의 실시예에 따른, 레이저 가공을 받는 다층 스택 (multilayered stack)의 단면도를 개략적으로 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이제, 레이저 가공 재료의 장치 및 방법의 실시예에 대해 상세히 설명하며, 그 예는 첨부 도면에 도시된다. 가능할 때마다, 동일한 도면 부호는 동일하거나 유사한 부품을 나타내기 위해 도면 전체에 걸쳐 사용될 것이다. 레이저 가공을 위한 다층 스택의 일 실시예가 도 1에 개략적으로 도시된다. 일반적으로, 레이저 가공은 본 명세서에서 때때로 "투명 재료"로 지칭되는, 레이저에 투명한 재료를 천공할 수 있으며, 천공은 상기 천공에서 투명 재료를 절단하도록 하거나 또는 절단에 기여할 수 있다. 다층 스택은 일반적으로 투명 재료의 상부 표면 상에 입사하는 레이저 빔에 의해 천공되거나, 그렇지 않으면 기계적으로 변형될 수 있는 투명 재료를 포함한다. 투명 재료는, 캐리어의 적어도 일 부분이 레이저 빔에 대해 불투명한 경우, 캐리어 상에 위치된다. 캐리어는 일반적으로 지지 베이스 (support base), 및 상기 지지 베이스와 상기 투명 재료 사이에 위치한 레이저 붕괴 요소 (laser disruption element)를 포함한다. 지지 베이스는 투명 재료를 지지하며, 그리고 레이저 가공될 투명 재료를 이송하는데 이용될 수 있다. 일 실시예에서, 지지 베이스 재료는 레이저 빔에 대해 불투명할 수 있으며, 레이저 빔의 포커싱된 영역과 같이 캐리어를 손상시키기에 충분히 큰 강도를 가진 레이저 빔의 일 부분에 의해 접촉되는 경우, 손상될 수 있다. 그러나, 투명 재료와 지지 베이스 사이에 위치한 레이저 붕괴 요소는 레이저 빔이 지지 베이스에 접촉할 수 있기 전에, 투명 재료를 빠져나가는 레이저 빔을 붕괴 및 확산시킬 수 있고, 그 결과 레이저 붕괴 요소에 의해 레이저 빔의 광학 붕괴 시에, 레이저 빔은 레이저 붕괴 요소 아래에서 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도를 가지지 않는다. 그러한 바와 같이, 레이저 붕괴 요소는 지지 베이스를 손상시키기에 충분한 강도로 레이저 빔의 일 부분과의 접촉과 연관된 손상으로부터 지지 베이스를 보호하기 위한 차폐부로서 작용할 수 있다. 투명한 재료를 레이저 가공하는데 사용하기 위한 방법 및 장치의 다양한 실시예들은 첨부된 청구 범위에 대한 특정 언급과 함께 본 명세서에서 기술될 것이다.
- [0013] 도 1을 참조하면, 다층 스택 (100)이 개략적으로 도시된다. 일반적으로, 다층 스택 (100)은 투명 재료 (160) 및 캐리어 (110)를 포함하고, 이때 상기 캐리어는 레이저 붕괴 요소 (140) 및 지지 베이스 (120)를 포함한다. 본 명세서에 기술된 실시예에서, 투명 재료 (160)는 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 상에 위치되고, 이때 상기

레이저 붕괴 요소는 지지 베이스 (120)의 상부 상에 위치된다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 다른 위치의 위 또는 상부의 위치에 대한 기준은 상부 또는 최상부 위치가 레이저 빔 (180)이 처음 입사되는 다층 스택 (100)의 표면인 것으로 가정한다. 예를 들어, 도 1에서, 소스 레이저 (188)에 가장 가까운 투명 재료 (160)의 표면은 상부 표면 (162)이고, 투명 재료 (160) 아래로의 레이저 방해 요소 (140)의 설치된 레이저 빔 (180)이 레이저 붕괴 요소 (140)와 상호 작용하기 전에 투명 재료 (160)를 횡단함을 의미한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 소스 레이저 (188)는 투명 재료 (160)에 입사하는 초점 라인 (focal line) (182)과 같은, 레이저 빔 (180)의 포커싱된 영역을 형성하는 광학 요소 (184)를 통해 전송된다.

[0014] 투명 재료 (160)는 단독으로 또는 다른 제조 단계들과 함께 투명 재료 (160)를 절단하는데 이용될 수 있는 레이저 빔 (180)으로 레이저 가공될 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 레이저 가공은 절단, 천공, 삭마 (ablating)하거나, 그렇지 않으면 레이저 빔 (180)으로 재료의 기계적 무결성을 변경하는 것을 지칭한다. 일반적으로, 레이저 빔 (180)은 투명 재료 (160)의 기계적 무결성 (mechanical integrity)을 변경하기 위해 투명 재료 (160)의 특정 영역에서 소정의 강도를 가져야 한다. 상기와 같이, 디포커싱된 또는 붕괴된 레이저 빔은 선택된 영역에서 재료에 기계적으로 영향을 미치기에 충분한 강도를 가질 수 없는 반면, 포커싱된 레이저 빔은 레이저 가공된 재료의 영역을 절단, 천공 또는 삭마하기에 충분한 강도를 가질 수 있다. 그러나, 포커싱된 초점 라인 (182)을 갖는 레이저 빔과 같은 레이저 빔의 포커싱된 영역은 초점 라인 (182)에 의해 직접 접촉된 지지 베이스 (120)를 손상시킬 뿐만 아니라, 투명 재료 (160)를 천공하기에 충분한 강도를 가질 수 있다. 레이저 빔 (180)의 초점 라인 (182)은 소스 레이저 (188)의 경로를 광학적으로 변경할 수 있는 광학 조립체 (184)에 의해 만들어질 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 레이저 빔들의 정황에서, "강도"는 "에너지 밀도"로 지칭될 수 있고, 두 용어들은 서로 바꿔 사용될 수 있다. 레이저 빔 (180)은 파장을 가지며, 본원에서 사용되는 바와 같이, "투명"한 재료는 레이저의 파장의 전자기 복사 (electromagnetic radiation)에 대해 실질적으로 투명하고, 그 결과 투명 재료 (160)에 의한 흡수는 레이저의 파장에서 재료 깊이 mm당 약 10 % 미만, 약 5 % 미만, 또는 심지어 약 1 % 미만이다. "전자기 복사"는 본 명세서에서 "광"으로 지칭될 수 있고, 두 용어들은 서로 바꿔 사용할 수 있고, 가시 스펙트럼의 내부 및 외부 둘 다 전자기 복사에 대응될 수 있다.

[0015] 지지 베이스 (120)는 일반적으로 레이저 빔 (180)에 의해 레이저 가공된 투명 재료 (160)를 지지할 수 있는 임의의 구조체이다. 지지 베이스 (120)는 투명 재료 (160)에 대한 운반 트레이로서 작용할 수 있으며, 그리고 평평한 투명 재료 (160)와 상호 작용하기 위한 실질적으로 평평한 상부 표면 (122), 및 지지 베이스 (120)가 위치될 수 있는 실질적으로 평평한 작업 테이블과 상호 작용하기 위한 실질적으로 평평한 하부 표면 (124)을 가질 수 있다. 지지 베이스 (120)는 레이저 가공 동안 안정성을 위해 테이블 또는 다른 작업 공간 상에 위치될 수 있다. 일 실시예에서, 지지 베이스 (120)는 알루미늄을 포함할 수 있다. 예를 들어, 지지 베이스 (120)는 약 50 % 초과, 약 70 % 초과, 약 90 % 초과, 약 95 % 초과, 또는 심지어 약 99 % 초과,의 알루미늄을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 지지 베이스 (120)는 3A Composites International AG로부터 상업적으로 구입 가능한 ALUCORE®와 같은 허니콤 알루미늄 구조체를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 지지 베이스 (120)는 폴리옥시메틸렌 (polyoxymethylene)을 포함할 수 있다. 지지 베이스 (120)의 재료들과 같은 불투명한 재료들은 초점 라인 (182)에 의해 접촉되는 경우, 지지 베이스 (120)가 손상되어 레이저 가공된 투명 재료 (160)의 오염을 초래할 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 지지 베이스 (120)에 대한 손상은 지지 베이스 (120)의 상부 표면 (122)의 기계적 무결성에서 스크래칭, 삭마, 절단, 슬래싱, 마모, 스코어링 또는 다른 붕괴를 제한함 없이 포함한다.

[0016] 일 실시예에서, 지지 베이스 (120)는 레이저 가공 동안 테이블 또는 다른 워크스테이션 상에 위치될 수 있다. 테이블 또는 워크스테이션은 테이블 또는 워크스테이션의 표면 상에 흡입을 생성시키는 진공 시스템을 가질 수 있다. 예를 들어, 테이블 또는 워크스테이션은 그 표면에 진공 홀들을 가질 수 있고, 지지 베이스 (120) 및 레이저 붕괴 요소 (140)는 진공이 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 상에 위치된 흡입 및 고정 재료들을 생성할 수 있는 해당 홀들을 가질 수 있다. 예를 들어, 투명 재료 (160)는, 붕괴 요소 (140), 지지 베이스 (120) 및 워크스테이션에서의 관통 홀들 (through holes)을 침투하는 진공 흡입에 의해 붕괴 요소 (140)에 고정될 수 있다. 지지 베이스 (120) 및 레이저 붕괴 요소 (140)는 스크류들, 체결구들, 핀들, 또는 다른 적합한 수단과 같은 기계적으로 서로 고정될 수 있다. 그러한 바와 같이, 투명 재료 (160)는 레이저 붕괴 요소 (140) 상에 놓일 수 있고 레이저 가공되는 동안 진공 시스템에 의해 고정될 수 있다.

[0017] 투명 재료 (160)는 레이저 빔 (180)의 전자기 복사에 대해 실질적으로 투명한 임의의 재료일 수 있다. 예를 들어, 투명 재료 (160)는 제한함 없이 유리, 사파이어, 실리콘, 실리콘-카바이드, 석영, 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 질화



알루미늄 (AlN), 지르코니아 (ZrO<sub>2</sub>), 질화-갈륨 (gallium-Nitride), 갈륨-비소 (gallium-arsenide, GaAs), 갈륨-인화물 (gallium-phosphide, GaP), 갈륨-안티몬 (gallium-antimonide, GaSb), 인듐-인화물 (indium-arsenide, InAs), 인화-인듐 (indium-phosphide, InP), 인듐-안티몬화물 (indium-antimonide, InSb), 카드뮴-황화물 (cadmium-sulphide, CdS), 카드뮴-셀레 나이드 (cadmium-selenide, CdSe), 카드뮴-텔루라이드 (cadmium-telluride, CdTe), 황화-아연 (zinc-sulfide, ZnS), 아연-셀렌화물 (zinc-selenide, ZnSe), 아연-텔루라이드 (zinc-telluride, ZnTe) 게르마늄 (germanium, Ge), 리튬-니오베이트 (lithium-niobate, LiNbO<sub>3</sub>), 리튬-탄탈 레이트 (lithium-tantalate, LiTaO<sub>3</sub>) 또는 이들의 조합들일 수 있다. 투명 재료 (160)는 전자 디바이스에 대한 커버 유리에 적합할 수 있는 바와 같이, 실질적으로 평평한 상부 표면 (162) 및 실질적으로 평평한 하부 표면 (164)을 가질 수 있다. 상부 표면 (162) 및/또는 하부 표면 (164)은 폴리싱될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 투명 재료 (160)는 반도체 제조용 웨이퍼 재료일 수 있다. 유리가 투명 재료 (160)로서 이용되는 경우, 유리는 일반적으로 시트로서 형성하기에 적합한 임의의 유리일 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리는 이온-교환성 알루미늄실리케이트 (aluminosilicate) 유리일 수 있다. 상기와 같은 이온-교환성 알루미늄실리케이트 유리의 예들은 Gorilla Glass® 및 Gorilla Glass II® (코닝 사로부터 상업적으로 구입 가능함)을 포함하지만 이에 제한되지 않는다. 상기와 같은 유리는 특히, 레이저 가공 후에, 예를 들어 핸드-헬드 소비자 전자 디바이스들을 위한 커버 유리와 같은 많은 용도에 매우 적합할 수 있다.

[0018] 레이저 빔 (180)은 초점 라인 (182)에서 투명 재료 (160)를 드릴링, 절단, 분리, 천공, 또는 그렇지 않으면 가공하기 위해 투명 재료 (160)에 작은 (미크론 및 보다 작은) "홀들"을 생성하도록 동작될 수 있다. 보다 구체적으로, 1064 nm, 532 nm, 355 nm 또는 266 nm와 같은 파장을 갖는 초단파 (즉, 10<sup>-10</sup> 내지 10<sup>-15</sup> 초) 펄스 레이저 빔 (180)은 초점 라인 (182)으로서 투명 재료 (160)의 표면 또는 상기 투명 재료 내의 표면에서 포커싱 영역에서의 결합을 생성하는데 필요한 임계치 이상인 에너지 밀도로 포커싱된다. 레이저 빔 (180)은 약 1kHz 내지 2MHz 범위의 반복율을 가질 수 있거나, 또는 또 다른 실시예에서 약 10kHz 내지 약 650kHz 범위의 반복율을 가질 수 있다. 공정을 반복함으로써, 미리 결정된 경로를 따라 정렬된 일련의 레이저-유도 결합들이 투명 재료 (160)에서 생성될 수 있다. 레이저-유도 특징부들을 서로 가깝게 이격시킴으로써, 투명 재료 (160) 내의 기계적 약화의 제어된 영역은 생성될 수 있고, 투명 재료 (160)는 일련의 레이저-유도 결합들 (초점 라인 (182)에 근접한 투명 재료 (160)의 영역으로서 도 1에 도시됨)에 의해 정의된 경로를 따라 정확하게 파단되거나 분리될 수 있다 (기계적으로 또는 열적으로). 초단파 레이저 펄스(들)에 이어 선택적으로 투명 재료 (160)의 완전 자동화된 분리에 영향을 미치기 위해 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 레이저 또는 열 응력의 다른 소스가 뒤따를 수 있다. 레이저 가공에 적용될 수 있는 대표적인 레이저 빔 (180) 특성들은 명칭이 "METHOD AND DEVICE FOR THE LASER-BASED MACHINING OF SHEET-LIKE SUBSTRATES"인 미국 특허 출원 제61917092호에 상세하게 기술되고, 상기 특허 출원의 교시는 전반적으로 본 명세서에 참조로 포함된다.

[0019] 레이저 빔 (180)의 파장은 레이저 가공될 (레이저에 의해 드릴링되거나, 절단되거나, 삭마되거나, 손상되거나 또는 다른 방식으로 변형될) 재료가 레이저의 파장에 대해 투명하도록 선택될 수 있다. 레이저 소스의 선택은 또한 투명 재료 (160)에서 다중 광자 흡수 (multi-photon absorption, MPA)를 유도하는 능력에 의존할 수 있다. MPA는 저 에너지 상태 (일반적으로 그라운드 상태)로부터 고 에너지 상태 (여기 상태)로 재료를 여기시키기 위해 동일하거나 서로 다른 주파수들의 다중 광자들의 동시적 흡수이다. 여기 상태는 여기된 전자 상태 또는 이온화 상태일 수 있다. 재료의 고 에너지 상태와 저 에너지 상태 사이의 에너지 차이들은 두 광자들의 에너지들의 합과 같다. MPA는 선형 흡수보다 몇 배가 약한 (orders of magnitude weaker) 3 차 (third-order) 비선형 공정이다. 이는 흡수 강도가 광 강도의 제곱에 의존하여 비선형 광학 공정을 만든다는 점에서 선형 흡수와는 다르다. 일반적인 강도에서 MPA는 무시할 정도이다. 광 강도 (에너지 밀도)가 예를 들면 레이저 빔 (180) (특히 펄스 레이저 소스)의 초점 라인 (182)의 영역에서와 같이 매우 높은 경우, MPA는 상당히 되어, 레이저 빔 (180)의 에너지 밀도가 충분히 높은 영역 (즉, 초점 라인 (182)) 내에서 재료의 측정 가능한 효과를 유도한다. 초점 라인 (182)의 영역 내에서, 에너지 밀도는 이온화를 초래하기에 충분히 높을 수 있다.

[0020] 원자 수준에서, 개별 원자들의 이온화는 개별 에너지 요건들을 가진다. 유리 (예컨대, Si, Na, K)에 일반적으로 사용된 여러 원소들은 약 5 eV와 같은 상대적으로 낮은 이온화 에너지를 가진다. MPA의 현상이 없다면, 약 5 eV에서 선형 이온화를 생성하기 위해 약 248 nm의 레이저 파장이 필요할 것이다. MPA를 사용하면, 약 5 eV의 에너지로 분리된 상태들 사이의 이온화 또는 여기는 248 nm보다 긴 파장으로 달성될 수 있다. 예를 들어, 예를 들어, 532 nm의 파장을 갖는 광자들은 약 2.33 eV의 에너지를 가지므로, 532 nm의 파장을 갖는 두 개의 광자들은 2-광자 흡수 (two-photon absorption, TPA)에서 약 4.66 eV의 에너지로 분리된 상태들 사이의 전이를

유도할 수 있다.

[0021]

이로써, 원자들 및 결합들은, 요구되는 여기 에너지의 절반을 갖는 레이저 파장의 비선형 TPA를 레이저 빔 (180)의 에너지 밀도가 유도하기에 충분히 높은 투명 재료 (160)의 영역들에서, 선택적으로 여기 또는 이온화될 수 있다. MPA는 인접한 원자들 또는 결합들로부터 여기된 원자들 또는 결합들의 국부 재구성 및 분리를 초래할 수 있다. 결합 또는 구성의 결과적인 변형은 비-열적 삭마 및 MPA가 발생하는 재료의 영역으로부터 부재의 제거를 초래할 수 있다. 이러한 부재의 제거는, 투명 재료 (160)를 기계적으로 약화시키고 기계적 또는 열 응력의 적용시 균열 또는 파손에 보다 취약하게 만드는 구조적 결함 (예를 들어, 결함 라인 또는 "천공")을 생성한다. 천공들의 설치를 제어함으로써, 균열이 발생하는 윤곽 또는 경로가 정확하게 정의될 수 있고 재료의 정밀한 미세 가공 (micromachining)이 달성될 수 있다. 일련의 천공들에 의해 정의된 윤곽은 폴트 라인 (fault line)으로 간주될 수 있으며, 그리고 투명 재료 (160)의 구조적 취약 영역에 대응한다. 일 실시예에서, 레이저 가공은 레이저 빔 (180)에 의해 가공된 투명 재료 (60)로부터 일부의 분리를 포함하고, 이 경우에, 상기 일부는 레이저에 의해 유도된 MPA 효과들을 통해 형성된 천공들의 폐쇄 윤곽에 의해 결정된 정확하게 정의된 형상 또는 주변을 가진다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 폐쇄 윤곽이라는 용어는 레이저 라인에 의해 형성된 천공 경로를 지칭하며, 상기 경로는 일부 위치에서 그 자체와 교차한다. 내부 윤곽은, 최종 형상이 재료의 외부 부분으로 완전히 둘러싸인, 형성된 경로이다.

[0022]

일부 실시예들에 따라서, 천공들은 유리 조성물 범위의 물체를 완전히 천공하도록 초점 라인을 생성시키는 광학 기기들과 조합된 초단파 펄스 레이저의 사용을 통해 달성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 펄스는 단일 펄스들이고 (즉, 레이저는 펄스 버스트들 (함께 그룹화된 가깝게 이격된 단일 펄스들)보다는 오히려 동일하게 분리된 단일 펄스들을 제공함), 이때 개별적인 펄스들의 펄스 지속기간 (pulse duration)은 약 1 피코초 초과 내지 약 100 피코초 미만의 범위 내이고, 예를 들면, 약 5 피코초보다 크고 약 20 피코초보다 작은 범위 내이며, 그리고 개별적인 펄스들의 반복율은 약 1 kHz 내지 4 MHz 범위 내일 수 있고, 예를 들면, 약 10 kHz 내지 650 kHz의 범위 내일 수 있다. 천공들은 또한 시간상 서로 가깝게 이격된 고 에너지 단기 지속기간 펄스들 (high energy short duration pulses)의 단일 "버스트 (burst)"로 달성될 수 있다. 그러한 펄스들은, 약 1 nsec 내지 약 50 nsec, 예를 들어, 10 내지 30 nsec의 범위 내에 있는, 예를 들면 약 20 nsec의 버스트 내의 개별적인 펄스들 사이의 지속기간만큼 분리된 2 개의 펄스들 또는 그 초과 (예를 들어, 3 개의 펄스들, 4 개의 펄스들, 5 개의 펄스들, 10 개의 펄스들, 15 개의 펄스들, 20 개의 펄스들, 또는 그 초과 등)의 버스트들로 만들어질 수 있고, 버스트 반복 주파수는 약 1 kHz 내지 약 200 kHz의 범위 내일 수 있다 (버스트 생성 또는 펄스 버스트들을 만들어 내는 것은 펄스의 방출이 균일하고 안정된 스트림으로 되어 있기보다는 오히려 밀집된 클러스트들의 펄스들에 가까운 레이저 동작의 유형이다). 펄스 버스트 레이저 빔은 재료가 이러한 파장에서 실질적으로 투명하도록 선택된 파장을 가질 수 있다. 레이저 펄스 지속기간은  $10^{-10}$  s 이하, 또는  $10^{-11}$  s 이하, 또는  $10^{-12}$  s 이하, 또는  $10^{-13}$  s 이하일 수 있다. 예를 들어, 레이저 펄스 지속기간은 약 1 피코초 내지 약 100 피코초일 수 있거나, 또 다른 실시예에서 약 5 피코초 내지 약 20 피코초일 수 있다. 이들 "버스트들"은 고 반복율들 (예컨대, kHz 또는 MHz)로 반복될 수 있다. 재료에서 측정된 버스트당 평균 레이저 파워 (버스트 펄스들이 이용되는 경우)는 재료 mm 두께당 40 마이크로줄 초과일 수 있고, 예를 들어 40 마이크로줄/mm 내지 2500 마이크로줄/mm, 또는 500 내지 2250 마이크로줄/mm일 수 있다. 예를 들어, 0.1 mm-0.2 mm 두께의 유리를 사용하는 일 실시예에서, 유리를 절단 및 분리하기 위해 200  $\mu$ J 펄스 버스트들 (1000-2000  $\mu$ J/mm의 예시적인 범위를 제공함)이 사용될 수 있다. 예를 들어, 예시적인 0.5-0.7mm 두께의 유리인 경우, 유리를 절단 및 분리하기 위해 400-700  $\mu$ J 펄스 버스트들 (570  $\mu$ J/mm (400  $\mu$ J/0.7 mm) 내지 1400  $\mu$ J/mm (700  $\mu$ J/0.5mm)의 예시적인 범위에 대응함)이 사용될 수 있다. 천공들은 레이저 및/또는 기관 또는 스택의 운동의 제어를 통해 레이저에 대한 기관 또는 스택의 속도를 제어함으로써 이격되고 정확하게 위치될 수 있다. 일 실시예에서, 단일 통과에서, 레이저는 재료를 통해 고도로 제어된 전체 라인 천공을 생성하는데 사용될 수 있고, 이때 매우 적은 (약 75 m 미만, 또는 심지어 약 50 m 미만) 표면 아래의 손상 및 잔해 발생이 일어난다. 이는 재료를 삭마하기 위해 스팟-포커싱 레이저 (spot-focused laser)의 통상적인 사용과는 대조적인데, 이 경우에는, 유리 두께를 완전하게 천공하기 위해 다수의 통과들이 종종 필요하고, 대량의 잔해가 삭마 공정으로부터 형성되고, 보다 광범위한 표면 아래의 손상 (약 100 m 미만) 및 에지 칩핑(chipping)이 일어난다. 이들 천공들, 결합 영역들, 손상 트랙들 또는 결함 라인들은 일반적으로 1 내지 25 미크론으로 이격된다 (예를 들어, 3-12 미크론, 또는 5-20 미크론). 일부 실시예들에 따라, 펄스 레이저는 10 W-150 W의 레이저 출력을 가지고, 적어도 펄스 버스트당 2 펄스로 펄스 버스트들을 만들어낸다. 일부 실시예들에 따라서, 펄스 레이저는 10 W-100 W의 레이저 파워를 가지며, 그리고 적어도 펄스 버스트당 2-25 펄스로 펄스 버스트들을 만들어 낸다. 일부 실시예들에 따라서, 펄스 레이저

는 25 W-60 W의 레이저 파워를 가지며, 적어도 버스트당 2-25 펄스를 갖는 펄스 버스트들을 만들어 내고, 결합 라인들 사이의 주기성은 2-20 마이크로 또는 2 내지 15 마이크로, 또는 2-10 마이크로이다. 펄스 버스트 레이저 빔은, 재료가 이러한 파장에서 실질적으로 투명하도록 선택된 파장을 가질 수 있다. 일부 실시예들에 따라서, 펄스들은 10 피코초 미만의 펄스 지속기간을 가진다. 일부 실시예들에 따라서, 펄스 레이저는 10 kHz 내지 1000 kHz의 펄스 반복 주파수를 가진다.

[0023] 이로써, 단일적이고 높은 에너지 버스트 펄스를 사용하여, 투명 재료 (160)에서 미세하고 (즉, 직경에서 약 1  $\mu$ m 미만, 0.5 nm 미만 (예를 들어  $\leq 400$  nm 또는  $\leq 300$  nm) 또는 심지어 약 100nm 미만 (예컨대, 50 nm-100 nm)) 길게 형성된 "홀" (또한 천공 또는 결합 라인이라고도 함)을 생성하는 것이 가능하다. 이들 개별적인 천공들은 수백 킬로헤르츠의 속도로 생성될 수 있다 (예를 들어, 초당 수십만 개의 천공들). 이로써, 소스와 재료 사이의 상대 운동에 의해, 이들 천공들은 서로 인접하게 위치될 수 있다 (원한다면, 일 마이크로 미만에서 수 마이크로까지 공간적으로 분리됨). 이러한 공간적 분리는 절단을 용이하게 하기 위해 선택된다. 일부 실시예들에서, 결합 라인은, 투명 재료 (160)의 상부에서 하부로 연장되는 홀 또는 개구 채널인 "관통 홀"이다. 더욱이, 결합 라인의 내부 직경은 예를 들어 레이저 빔 초점 라인의 스팟 직경만큼 클 수 있다. 레이저 빔 초점 라인은 약 0.1 마이크로 내지 약 5 마이크로, 예를 들어 1.5 내지 3.5 마이크로 범위 내의 평균 스팟 직경을 가질 수 있다.

[0024] 초점 라인 (182)을 형성하기 위해, 소스 레이저 (188)는 광학 조립체 (184)를 통해 전송될 수 있다. 광학 조립체들이 적용될 수 있는 적합한 광학 조립체들은 명칭이 "STACKED TRANSPARENT MATERIAL CUTTING WITH ULTRAFAST LASER BEAM OPTICS, DISRUPTIVE LAYERS AND OTHER LAYERS"인 미국 특허 출원 제61917092호에 상세히 기술되고, 상기 미국 특허의 교시는 전반적으로 참조로 본원에 병합된다. 예를 들어, 소스 레이저 (188)의 빔 경로에 위치한 광학 조립체 (184)는, 빔 전파 방향을 따라서 소스 레이저 (188)를 초점 라인 (182)으로 변환시키도록 구성되고, 이때 레이저 빔 초점 라인 (182)은 0.1 mm 내지 100 mm, 예를 들어 0.1 내지 10 mm 범위 내의 길이를 가진다. 레이저 빔 초점 라인은 약 0.1 mm 내지 약 10 mm, 또는 약 0.5 mm 내지 약 5 mm의 범위 내의, 예를 들면 약 1 mm, 약 2 mm, 약 3 mm, 약 4 mm, 약 5 mm, 약 6 mm, 약 7 mm, 약 8 mm, 또는 약 9 mm의 길이, 또는 약 0.1 mm 내지 약 1 mm의 범위 내의 길이, 및 약 0.1 마이크로 내지 약 5 마이크로 범위의 평균 스팟 직경을 가질 수 있다. 홀들 또는 결합 라인들 각각은 0.1 마이크로 내지 10 마이크로, 예를 들어 0.25 내지 5 마이크로 (예컨대, 0.2-0.75 마이크로)의 직경을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 구형 또는 디스크 형상의 광학 조립체 (184)는 소스 레이저 (188)를 포커싱하고 정의된 길이의 초점 라인 (182)을 형성하는데 이용될 수 있다.

[0025] 본 명세서에 기술된 그러한 피코초 레이저의 통상적인 동작이 펄스들 (500A)의 "버스트" (500)를 생성함을 주목한다. 각각의 "버스트" (또한 "펄스 버스트" (500)라고도 본 명세서에 지칭됨)는 매우 짧은 지속기간의, 다수의 개별적인 펄스들 (500A) (예를 들면, 적어도 2 개의 펄스들, 적어도 3 개의 펄스들, 적어도 4 개의 펄스들, 적어도 5 개의 펄스들, 적어도 10 개의 펄스들, 적어도 15 개의 펄스들, 적어도 20 개의 펄스들, 또는 그 초과)을 포함한다. 즉, 펄스 버스트는 펄스들의 "포켓"이고, 버스트들은 각각의 버스트 내에서 개별적인 펄스들의 분리보다 긴 지속기간만큼 서로 분리된다. 펄스들 (500A)은 최대 100 psec (예를 들어, 0.1 psec, 5 psec, 10 psec, 15 psec, 18 psec, 20 psec, 22 psec, 25 psec, 30 psec, 50 psec, 75 psec, 또는 그들 사이의)의 펄스 지속기간  $T_d$ 을 가진다. 버스트 내의 각각의 개별적인 펄스 (500A)의 에너지 또는 강도는 버스트 내의 다른 펄스들의 것과 동일하지 않을 수 있으며, 그리고 버스트 (500) 내의 다수의 펄스들의 강도 분포는 종종 레이저 설계에 의해 관리되는 시간 지수함수형 붕괴 (exponential decay in time)를 따른다. 바람직하게, 본 명세서에 기술된 예시적인 실시예들의 버스트 (500) 내의 각각의 펄스 (500A)는 1 nsec 내지 50 nsec (예컨대 10-50 nsec, 또는 10-30 nsec, 이때 시간은 종종 레이저 캐비티 설계에 의해 관리됨)의 지속기간  $T_p$  만큼 버스트의 후속 펄스로부터 시간에 따라 분리된다. 주어진 레이저에 대해, 버스트 (500) 내의 인접한 펄스들 간의 시간 분리  $T_p$  (펄스 대 펄스 분리)는 상대적으로 균일하다 ( $\pm 10$  %). 예를 들어, 일부 실시예들에서, 버스트 내의 각각의 펄스는 후속 펄스로부터 대략 20 nsec (50 MHz) 만큼 시간상 분리된다. 예를 들어, 약 20 nsec의 펄스 분리  $T_p$ 를 만들어 내는 레이저의 경우, 버스트 내의 펄스 대 펄스 분리  $T_p$ 는 약  $\pm 10$  % 또는 약  $\pm 2$  nsec 내에서 유지된다. 펄스들의 각각의 "버스트" 간의 시간 (즉, 버스트들 간의 시간 분리  $T$ )은 매우 길어질 것이다 (예컨대,  $0.25 < T < 1000$  마이크로초, 예를 들어 1-10 마이크로초, 또는 3-8 마이크로초). 본 명세서에 설명된 레이저의 예시적인 실시예들 중 일부에서, 시간 분리  $T_b$ 는 버스트 반복율 또는 주파수가 약 200kHz 인 레이저에 대해 약 5 마이크로초이다. 레이저 버스트 반복율은 한 버스트의 제 1 펄스 내지 후속 버스트의

제 1 펄스 사이의 시간  $T_b$ 에 관한 것이다 (레이저 버스트 반복율 =  $1/T_b$ ). 일부 실시예들에서, 레이저 버스트 반복 주파수는 약 1 kHz 내지 약 4 MHz의 범위 내일 수 있다. 보다 바람직하게, 레이저 버스트 반복율들은 예를 들어, 약 10 kHz 내지 650 kHz의 범위 내일 수 있다. 각각의 버스트의 제 1 펄스 내지 후속 버스트의 제 1 펄스 사이의 시간  $T_b$ 는 0.25 마이크로초 (4 MHz 버스트 반복율) 내지 1000 마이크로초 (1 kHz 버스트 반복율), 예를 들어 0.5 마이크로초 (2 MHz 버스트 반복율) 내지 40 마이크로초 (25 kHz 버스트 반복율), 또는 2 마이크로초 (500 kHz 버스트 반복율) 내지 20 마이크로초 (50 kHz 버스트 반복율)일 수 있다. 정확한 타이밍들, 펄스 지속시간들 및 버스트 반복율들은 레이저 설계에 따라 다를 수 있지만, 고 강도의 짧은 펄스들 ( $T_d < 20$  psec, 바람직하게는  $T_d \leq 15$  psec)이 특히나 양호하게 작동하는 것으로 나타났다.

[0026] 재료 (예컨대, 유리)를 변형시키거나 천공하는데 필요한 에너지는 버스트 에너지 - 버스트 (각각의 버스트 (500)는 일련의 펄스들 (500A)을 포함함) 내에 포함된 에너지에 관해서, 또는 단일 레이저 펄스 (버스트를 많이 포함할 수 있음) 내에 포함된 에너지에 관해서, 기술될 수 있다. 이들 응용들에 있어서, 버스트당 에너지는 25-750  $\mu$ J, 보다 바람직하게는 50-500  $\mu$ J 또는 50-250  $\mu$ J일 수 있다. 일부 실시예들에서, 버스트당 에너지는 100-250  $\mu$ J이다. 펄스 버스트 내의 개별 펄스의 에너지는 적은 개별적인 레이저 펄스 에너지는 펄스 버스트 (500) 내의 개별적인 펄스의 에너지는 적을 것이며, 그리고 정확한 개별적인 레이저 펄스 에너지는 펄스 버스트 (500) 내의 펄스들 (500A)의 개수 및 레이저의 붕괴율 (예컨대, 지수함수형 붕괴율)에 의존할 것이다. 예를 들어, 일정한 에너지/버스트의 경우, 펄스 버스트가 10 개의 개별적인 레이저 펄스들 (500A)을 포함하는 경우, 각각의 개별적인 레이저 펄스 (500A)는 동일한 펄스 버스트 (500)가 단지 2 개의 개별적인 레이저 펄스들을 가진 경우보다 적은 에너지를 포함할 것이다.

[0027] 본 명세서의 일부 실시예들에서 기술된 바와 같이, 얇은 유리들의 레이저 "삭마" 절단은 삭마 영역에 또는 그 부근에서의 균열 생성의 비 최소화 또는 방지 및 임의적인 형상의 자유 형태 절단들을 수행하는 능력을 포함하는 이점들을 가진다. 심지어 응력이 중앙에 가해질 시에도, 평면 패널 디스플레이들이 에지로부터 파손될 확연한 경향을 가지기 때문에, 평면 패널 디스플레이들에 대한 유리 기판들에서 에지 균열 및 잔여 에지 응력을 피하는 것이 바람직하다. 본 명세서에 기술된 방법에서 맞춤형 빔 전달과 결합된 초고속 레이저들의 높은 피크 파워는, 본 방법이 유해한 열 효과 없이 절단하는 "냉각" 삭마 기술이기 때문에, 이러한 문제점들을 피할 수 있다. 본 방법에 따른 초고속 레이저들에 의한 레이저 절단은 본질적으로 유리에 어떠한 잔류 응력도 만들어 내지 않는다. 그러나, 임의의 유형의 레이저가 본 명세서에 기술된 레이저 가공 방법들 및 장치들에 이용될 수 있음을 이해하여야 한다.

[0028] 도 1을 계속 참조하면, 레이저 붕괴 요소 (140)는 지지 베이스 (120)의 상부 상에, 그리고 지지 베이스 (120)와 투명 재료 (160) 사이에 위치된다. 하나의 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 실질적으로 평평한 상부 표면 (142) 및 하부 표면 (144)을 갖는 실질적으로 평평한 시트일 수 있으며, 이때 상기 상부 표면 및 하부 표면 각각은 지지 베이스 (120)의 상부 표면 (122) 및 투명 재료 (160)의 하부 표면 (164)의 평평한 표면에 대응한다. 일반적으로, 레이저 붕괴 요소 (140)는 투명 재료 (160)를 통해 전송된 레이저 빔 (180)을 광학적으로 붕괴시키고, 그 결과 레이저 빔 (180)은 레이저 붕괴 요소 (140) 아래에서 지지 베이스 (120)에 손상을 주기에 충분한 강도 (즉, 초점 라인 (182)에서)를 가지지 않는다. 예를 들어, 광학 붕괴는 반사, 흡수, 산란, 디포커싱 또는 그렇지 않으면 레이저 빔 (180)과의 간섭을 포함할 수 있다. 붕괴 요소 (140)는 입사 레이저 빔 (180)을 반사, 흡수, 산란, 디포커싱 또는 그렇지 않으면 간섭하여, 레이저 빔 (180)이 지지 베이스 (120)와 같은 다층 스택 (100)의 하부 층들을 손상시키거나 그렇지 않으면 변형시키는 것을 억제 또는 방지하도록 할 수 있다.

[0029] 일 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저 가공되는 투명 재료 (160) 바로 아래에 위치된다. 상기와 같은 구성은 도 1에 도시되고, 이 경우에 빔 붕괴 요소 (140)는, 본원에서 기술된 레이저 가공이 일어날 투명 재료 (160) 바로 아래에 위치한 실질적으로 평평한 시트이다. 일부 실시예들에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 지지 베이스 (120)와 직접적으로 접촉되어 위치될 수 있지만, 다른 실시예들에서 재료의 또 다른 층이 지지 베이스 (120)와 레이저 붕괴 요소 (140) 사이에 배치될 수 있다. 일 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 그의 상부 표면 (142)으로부터 그의 하부 표면 (144)까지 측정된 바와 같은 약 0.5 mm 내지 약 3 mm의 두께를 가질 수 있다. 레이저 붕괴 요소 (140)의 에지들은 예리한 모서리들이 실질적으로 없는 경사진 모서리들을 갖는 둥근 형상을 가질 수 있다.

[0030] 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저 가공에 의해 절단되는 투명 재료 (160)와는 서로 다른 광학 속성들을 가진다. 예를 들어, 빔 붕괴 요소 (140)는 디포커싱 요소, 산란 요소, 반투명 요소 또는 반사 요소를 포함할 수 있다.



디포커싱 요소는 레이저 빔 광 (180)이 디포커싱 요소 위 또는 아래에서 레이저 빔 초점 라인 (182)을 형성하는 것을 방지하는 재료를 포함한 계면 또는 층이다. 디포커싱 요소는 레이저 빔 (180)의 파면을 산란시키거나 교란시키는 굴절률 불균일성을 갖는 재료 또는 계면을 포함할 수 있다. 레이저 붕괴 요소가 반투명 요소인 실시예들에서, 반투명 요소는, 광이 통과하지만, 레이저 빔 (180)을 단지 산란 또는 감쇠시킨 이후에, 레이저 빔 (180)과는 반대쪽의 반투명 요소의 측면 상의 다층 스택 (100)의 부분들에서 레이저 빔 초점 라인 (182)의 형성을 방지하기에 충분하게 에너지 밀도를 낮추는 것을 허용하는 재료의 계면 또는 층이다.

[0031] 도 1에 도시된 바와 같이, 레이저 빔 (180)은 투명 재료 (160) 내를 통과하여 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 표면 (142)과 접촉할 수 있다. 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저 빔 (180)을 붕괴시킬 수 있고, 그 결과 레이저 빔 (180)의 강도는 상기 레이저 빔이 지지 베이스 (120)에 도달하기 전에, 감소된다. 보다 구체적으로는, 붕괴 요소 (140)의 반사율, 흡수율, 디포커싱, 감쇠 및/또는 산란이 레이저 복사에 장벽 또는 장애물을 생성시키는데 이용될 수 있다. 붕괴 요소 (140)에 의한 레이저 빔 (180)의 흡수, 반사 산란, 감쇠, 디포커싱 등이 완료될 필요는 없다. 레이저 빔 (180) 상의 붕괴 요소 (140)의 효과는 초점 라인 (182)의 에너지 밀도 또는 강도를 지지 베이스 (120)의 절단, 삭마, 천공 등에 필요한 임계치 아래의 레벨로 감소시키기에 충분할 수 있다. 일 실시예에서, 붕괴 요소 (140)는 지지 베이스 (120)를 손상시키는데 필요한 임계치 아래의 레벨로 초점 라인 (182)의 에너지 밀도 또는 강도를 감소시킨다. 레이저 붕괴 요소 (140)는 층 또는 계면일 수 있으며, 그리고 레이저 빔 (180)을 흡수, 반사, 또는 산란시키도록 구성될 수 있고, 이 경우에, 흡수, 반사, 또는 산란은 지지 베이스 (120) (또는 다른 하부 층)에 전달된 레이저 빔 (180)의 에너지 밀도 또는 강도를, 지지 베이스 (120) 또는 다른 하부 층들에 손상을 야기하는데 필요한 것 아래의 레벨로 감소시키는데 충분하다.

[0032] 일 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 표면 (142)에서 레이저 빔 (180)을 광학적으로 붕괴시킬 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 그의 상부 층 (142) 상의 필름, 또는 표면이 변형된 상부 표면 (142)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 붕괴 요소 (140)는, 입사 광을 산란시키기 위해 실질적으로 거칠어지도록 변형된 거친 상부 표면 (142) (투명 재료 (160)에 가장 가까운 표면)을 포함할 수 있다. 추가로, 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 표면 (142)이 레이저 빔 (180)을 간섭하도록 작용하는 경우, 레이저 붕괴 층의 벌크 재료는 투명 기판과 실질적으로 동일한 재료일 수 있는데, 이는 어떠한 초점 라인 (182)도 레이저 붕괴 요소 (140)의 상부 표면 (142) 아래에 형성되지 않기 때문이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 투명 재료 (160)는 유리일 수 있고, 붕괴 요소 (140)는 유리일 수 있다. 더욱이, 레이저 파장에 투명한 벌크 재료를 가진 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저를 전송하고, 붕괴 요소 (140)의 벌크 재료 표면 전체에 걸쳐 강도를 실질적으로 분산시킬 수 있다. 그러한 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 투명 재료 (160)를 통해 전송된 레이저 빔 (180)에 의해 손상되지 않는다.

[0033] 일 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 예를 들어, 젖빛 (frosted) 유리의 시트 등의 젖빛 유리를 포함할 수 있다. 때때로 아이스 (iced) 유리라 칭하는 젖빛 유리는 실질적으로 반투명일 수 있다. 상대적으로 거친 상부 표면 (142)은 입사 레이저 빔 (180)을 산란시키는 반투명 요소로서 작용할 수 있다. 젖빛 유리는 화학적으로 에칭되거나, 샌드 블라스팅되거나, 또는 그렇지 않으면 입사광을 방해하도록 작용하는 반투명 외관을 갖도록 제조될 수 있다. 그러나, 일 실시예에서, 젖빛 유리는 레이저 가공 동안 그의 상부 표면 (142)에 놓여있는 투명 재료 (160)를 손상시키지 않도록 실질적으로 매끄러울 수 있다. 예를 들어, 샌드 블라스팅된 젖빛 유리는, 투명 재료 (160)가 레이저 붕괴 요소 (140) 상에 위치될 시에 스크래칭에 의해 레이저 가공 투명 재료 (160)를 손상시키기에 충분하게 거칠 수 있다. 그러나, 화학적으로 에칭된 유리는 적합한 광학 특성들을 제공하면서, 여전히 투명 재료 (160)를 손상시키지 않고 충분히 매끄러울 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 투명 재료 (160)에 대한 손상은 인간의 눈에 의해 검출될 수 있는 손상, 예를 들면, 스크래치, 절단 또는 다른 마모를 의미한다.

[0034] 일 실시예에서, 상부 표면 (142)의 평균 거칠기 ( $R_a$ )는 약 0.5 미크론 이상, 약 0.8 미크론 이상, 약 1.0 미크론 이상, 약 1.5 미크론 이상, 또는 심지어 약 2.0 미크론 이상일 수 있다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이,  $R_a$ 는 국부적인 표면 높이와 평균 표면 높이 사이의 차이의 산술 평균으로서 정의되며, 다음 식으로 기술될 수 있다:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

[0035]

[0036] 여기서  $Y_i$ 는 평균 표면 높이에 대한 국부적인 표면 높이이다. 다른 실시예들에서,  $R_a$ 는 약 0.5 미크론 내지 약 2.0 미크론, 약 0.5 미크론 내지 약 1.5 미크론, 또는 약 0.5 미크론 내지 약 1.0 미크론일 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 젯빛 유리는 Clarksburg, WV의 EuropTec USA로부터 상업적으로 구입 가능한 EagleEtch® 산 에칭 유리일 수 있다.

[0037] 또 다른 실시예에서, 레이저 붕괴 요소 (140)는 레이저 빔 (180)을 붕괴시키고 지지 베이스 (120)와 같은 하부 층들을 실질적으로 보호하기 위해 작용을 하는 표면 필름 층을 포함할 수 있다. 광학적으로 파괴하는 필름 층은 열 증발, 물리적 기상 증착 및/또는 스퍼터링에 의해 증착될 수 있고, 이 경우에 상기 두께는 사용된 레이저의 파장의 함수일 수 있다. 얇은 필름들은  $MgF_2$ ,  $CaF_2$ , 폴리 (메틸 메타크릴레이트), PMMI, 폴리카보네이트, 스티렌-아크릴로니트릴 공중합체 (styrene-acrylonitrile copolymers), 폴리스티렌, 환상 올레핀 중합체 (cyclic olefin polymer), 환상 올레핀 공중합체 및 이들의 조합물을 포함할 수 있지만, 이들로 제한되지는 않는다.

[0038] 기술분야의 통상의 기술자라면, 청구된 주제의 기술 사상 및 권리 범위를 벗어나지 않으면서 본 명세서에 기술된 실시예들에 대해 다양한 수정 및 변형이 이루어질 수 있음을 명백히 알 수 있을 것이다. 이로써, 본 명세서는, 그러한 수정 및 변형이 첨부된 특허 청구범위 및 그 등가물의 권리 범위 내에 있을 경우에, 본 명세서에 기술된 다양한 실시예의 변형 및 수정을 포괄하는 것으로 의도된다.

## 도면

### 도면1

