



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0100332
(43) 공개일자 2016년08월23일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03B 23/023 (2006.01) B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/382 (2014.01) C03B 23/02 (2006.01)
C03B 23/035 (2006.01) C03B 33/02 (2006.01)
B23K 103/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C03B 23/023 (2013.01)
B23K 26/0087 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7018781
(22) 출원일자(국제) 2014년12월17일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2016년07월12일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/070724
(87) 국제공개번호 WO 2015/095264
국제공개일자 2015년06월25일
(30) 우선권주장
61/917,127 2013년12월17일 미국(US)
(뒷면에 계속)
- (71) 출원인
코닝 인코포레이티드
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트
플라자
(72) 발명자
니버, 알버트 로스
미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 엘에이씨 레
인 4
츠다, 서지오
미국, 뉴욕 14845, 호스헤드스, 배링턴 로드 10
(74) 대리인
청운특허법인

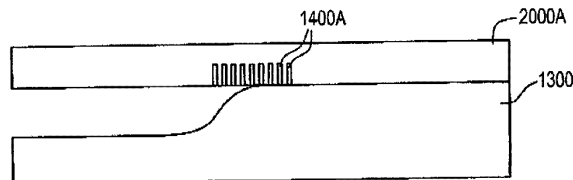
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 3-D 유리 성형

(57) 요약

비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법으로서, 상기 방법은 (i) 레이저에 의해 윤곽선을 따라 유리 블랭크를 천공하여 유리 블랭크에 다수의 천공을 형성하는 단계; 및 (ii) 비평탄부를 갖춘 유리 물품을 성형하기 위해, 유리가 구부러지도록 천공들을 포함하는 적어도 한 영역을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.

대표도 - 도3a



(52) CPC특허분류

B23K 26/382 (2015.10)

C03B 23/02 (2013.01)

C03B 23/0357 (2013.01)

C03B 33/0222 (2013.01)

B23K 2203/56 (2015.10)

Y02P 40/57 (2015.11)

(30) 우선권주장

14/154,525 2014년01월14일 미국(US)

62/024,581 2014년07월15일 미국(US)

62/024,724 2014년07월15일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법으로서, 상기 방법은:

- (i) 레이저에 의해 윤곽선을 따라 유리 블랭크를 천공하여 유리 블랭크에 다수의 천공을 형성하는 단계; 및
- (ii) 비평탄부를 갖춘 유리 물품을 성형하기 위해, 유리가 구부러지도록 천공들을 포함하는 적어도 한 영역을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 2

비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법으로서, 상기 방법은:

- (i) 레이저에 의해 윤곽선을 따라 유리 블랭크를 천공하여 유리 블랭크에 다수의 천공을 형성하는 단계 - 상기 천공들은 직경이 $5\ \mu\text{m}$ 보다 작고, 상기 직경보다 적어도 20배 긴 길이를 가짐; 및
- (ii) 비평탄부를 형성하기 위해 천공들을 포함하는 적어도 한 영역을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 2에 있어서,

천공들은 직경이 $2\ \mu\text{m}$ 보다 작고, 상기 직경보다 적어도 50배 긴 길이를 갖는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 4

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

천공들은 직경이 $2\ \mu\text{m}$ 보다 작고, 적어도 $200\ \mu\text{m}$ 길이를 갖는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 5

청구항 1 내지 4 중 어느 한 항에 있어서,

천공들을 포함하는 적어도 한 영역은 mm^2 당 적어도 10개 천공을 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 5 중 어느 한 항에 있어서,

천공들을 포함하는 적어도 한 영역은 mm^2 당 적어도 50개 천공을 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 7

청구항 1 내지 6 중 어느 한 항에 있어서,

천공하는 단계는 레이저 라인 포커스에 의해 수행하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 8

청구항 1 내지 7 중 어느 한 항에 있어서,

굽히는 단계는 천공들을 구비한 유리 블랭크를 가열하는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 9

청구항 1 내지 8 중 어느 한 항에 있어서,

굽히는 단계는 유리 블랭크의 적어도 천공된 영역에 진공을 인가하는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 10

청구항 1 내지 9 중 어느 한 항에 있어서,
유리 블랭크는 0.1 mm 내지 5 mm 두께인, 유리 물품 제조 방법.

청구항 11

청구항 1 내지 10 중 어느 한 항에 있어서,
굽히는 단계는 1 mm 내지 10 mm의 굴곡 반경으로 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 12

청구항 1 내지 11 중 어느 한 항에 있어서,
굽히는 단계는 5 mm 또는 그보다 작은 굴곡 반경으로 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 13

청구항 1 내지 12 중 어느 한 항에 있어서,
굽히는 단계는 2 mm 또는 그보다 작은 굴곡 반경으로 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 14

청구항 1 내지 13 중 어느 한 항에 있어서,
레이저는 펄스 레이저이고, 상기 레이저는 10 W-100 W의 레이저 파워를 갖고 버스트당 적어도 2 펄스의 펄스 버스트를 생성하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 15

청구항 1 내지 14 중 어느 한 항에 있어서,
펄스 버스트는 버스트당 2-25 펄스를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,
펄스 레이저는 25 W-60 W의 레이저 파워를 갖고, 버스트당 적어도 2-25 펄스의 펄스 버스트를 생성하며, 결합 라인들간 거리는 7-100 μ 인, 유리 물품 제조 방법.

청구항 17

청구항 2에 있어서,
천공하는 단계는 천공을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스를 형성하는 레이저를 포함하고, 각각의 천공은 유리의 구조를 변경하기에 충분한 강도의 레이저 빔에 의해 형성되고, 적어도 한 영역은 mm^2 당 적어도 10개의 천공을 가지며,

상기 방법은:

- (A) 적어도 하나의 유리 블랭크의 생성을 위한 적어도 하나의 천공된 분리 윤곽선을 생성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 유리 블랭크들에 대응하는 다수의 영역을 갖는 유리 시트를 천공하는 단계; 및
- (B) 천공된 분리 윤곽선을 따라 유리 시트로부터 적어도 하나의 유리 블랭크를 분리함으로써, 적어도 하나의 단일화된 유리 블랭크를 생성하는 단계를 더 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 18

청구항 1에 있어서,

유리 물품을 굽히는 단계는:

(A) 천공들을 포함하는 적어도 한 영역이 높이, 두께, 또는 기울기가 변하는 몰드의 영역에 걸쳐 위치되도록, 몰드 상에 단일화된 유리 블랭크를 배치하는 단계;

(B) 상기 몰드에 걸쳐 상기 천공들을 포함하는 적어도 한 영역을 따라 유리 블랭크를 굽힘으로써, 상기 유리 블랭크를 적어도 하나의 비평탄부를 갖는 유리 물품으로 성형하는 단계를 포함하는, 비평탄부를 갖춘 유리 물품 제조 방법.

청구항 19

비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법으로서, 상기 방법은:

(i) 다수의 유리 블랭크의 생성을 위한 다수의 천공된 분리 윤곽선을 생성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 유리 시트를 천공하는 단계;

(ii) 다수의 굽힘 영역 천공들을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 다른 윤곽선을 따라 유리 시트를 천공하는 단계;

(iv) 천공된 분리 윤곽선을 유리 시트로부터 유리 블랭크들을 서로 분리함으로써, 각각 굽힘 영역 천공들을 포함하는 다수의 단일화된 유리 블랭크를 생성하는 단계; 및

(v) 몰드 상에 단일화된 유리 블랭크를 배치하고, 유리가 구부러지도록 굽힘 영역 천공들을 포함하는 영역들을 따라 단일화된 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

펄스 레이저는 10 W-100 W의 레이저 파워를 갖고, 작업편 및 레이저 빔 관계는 적어도 0.4 m/sec의 비율로 서로에 대해 이동하는, 유리 물품 제조 방법.

청구항 21

청구항 1 또는 2의 방법에 의해 준비된 유리 물품.

청구항 22

곡면 또는 적어도 비평탄면을 포함하는 유리 물품으로서,

상기 유리 물품은 상기 곡면 또는 적어도 하나의 비평탄면 내로 적어도 200 μ 확장하는 다수의 결함 라인을 갖고, 상기 결함 라인 각각은 약 5 μ 또는 그보다 작은 직경을 갖는, 유리 물품.

청구항 23

청구항 22에 있어서,

인접한 결함 라인들의 간격은 7 μ 와 50 μ 사이인, 유리 물품.

청구항 24

청구항 21 내지 23 중 어느 한 항에 있어서,

예지는 약 100 μ 또는 그보다 작은 깊이까지 표면 아래 손상을 갖는, 유리 물품.

청구항 25

청구항 21 내지 24 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 물품은 약 10 μ 와 약 5 mm 사이의 두께를 갖는, 유리 물품.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 출원은 다음과 같은 출원의 이점을 청구한다: 2014년 1월 14일 출원된 미국 출원 제14/154,525호, 2014년 7월 15일 출원된 미국 가출원 제62/024,724호, 2014년 7월 15일 출원된 미국 가출원 제62/024,581호, 및 "PROCESSING 3D SHAPED TRANSPARENT BRITTLE SUBSTRATE"을 명칭으로 하여 2013년 12월 17일 출원된 미국 출원 제61/917,127호. 상기 특허 문헌들의 내용은 참조를 위해 본원에 모두 포함된다.
- [0002] 본 개시는 통상 유리 시트의 3D(3차원) 성형에 관한 것으로, 특히 레이저 유도 천공(perforation)을 이용하여 유리 시트를 성형하거나 굽히는 것에 관한 것이다. 3D 형태는 비평탄 형태이고, 여기서 그러한 유리 형태의 표면 상의 적어도 한 영역은 예컨대 굽혀진 형태 또는 물결 형태와 같이 평평하지 않다.

배경 기술

- [0003] 새로운 제품들이 이들에 통합된 일부 3차원(3D) 유리 부품의 형태와 함께 정기적으로 발표되어 출시되고 있다. 몇몇 예들은 유연하거나 또는 곡면 형태의 곡면 LCD TV 스크린, 곡면 스마트-폰 및 착용가능 기기(예컨대, 손목용 폰, 시계)를 포함한다. 이러한 타입의 장치들에서 디자인이 다른 요소는 전통적인 평평한 유리 커버 플레이트에서 3차원 곡면의 다른 스타일로 가고 있는 후면 커버이다. 이러한 혁신은 내스크래치성 및 내충격성이 반드시 요구되는 유리로 이루어진 이러한 3D 부품의 제조 공정에 새로운 도전을 야기시키고 있다.
- [0004] 10 mm보다 큰 굴곡 반경을 갖는 3D(즉, 평탄하지 않은) 유리 시트 또는 물품이 제조될 수 있으나, 사용된 그러한 공정은 비교적 느리다. 이는 작은 굴곡 반경의 부품을 갖는 3D 접시형 유리 시트를 형성하기 위한 도전을 더 야기시키고 있다. 이를 위해 현재는, 유리가 매우 높은 온도로 가열된 후 굽혀지는데, 양호한 굽힘 반경, 예컨대 2 mm 코너 반경(corner radius)을 달성하기 위한 그러한 온도는 지나치게 높아 표면 결함을 야기한다. 이러한 표면 결함은 유리에서의 크랙 전파에 기여하고, 그러한 크랙 전파는 표면 결함 위치에서 시작된다. 예컨대 기존의 열성형을 이용하여 몰딩된 유리 부품은 그러한 유리 재료에 비틀림을 가질 수 있다. 그와 같은 부품은 많은 모바일 장치의 사용에 부적절하다. 이는 또한 많은 몰딩된 유리 부품이 쓸모없게 되어 몰딩 공정의 생산성을 저하시킨다.
- [0005] 본원에 인용된 소정의 참고문헌이 선행기술을 구성하는 것으로 인정하지 않는다. 출원인은 소정 인용문헌들의 정확성 및 적절성에 이의를 제기할 권리를 유보하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 비평탄부를 갖는 유리 물품을 제조하는 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 개시의 적어도 일 실시예는 비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은:
- [0008] (i) 레이저에 의해 윤곽선(contour)을 따라 유리 블랭크(glass blank)를 천공하여 유리 블랭크에 다수의 천공을 형성하는 단계; 및
- [0009] (ii) 유리가 구부러지도록, 3차원 형태를 형성하기 위해 천공들을 포함하는 영역들을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.
- [0010] 본 개시의 일 실시예는 비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은:
- [0011] (i) 레이저에 의해 윤곽선을 따라 유리 블랭크를 천공하여 유리 블랭크에 다수의 천공을 형성하는 단계 - 상기 천공들은 직경이 5 μm 보다 작고, 상기 직경보다 적어도 20배 긴 길이를 가짐; 및
- [0012] (ii) 유리가 구부러지도록, 3차원 형태를 형성하기 위해 천공들을 포함하는 영역들을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.
- [0013] 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 상기 굽히는 단계는 천공들을 구비한 유리 블랭크를 가열하고 그리고/또 유리 블랭크의 적어도 천공된 영역들에 진공을 인가하는 단계를 포함한다.

- [0014] 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 상기 천공들은 직경이 2 μm 보다 작고, 몇몇 실시예들에서 1.5 μm 보다 작으며, 상기 직경보다 적어도 50배 긴 길이를 갖는다. 예컨대, 상기 천공 길이는 적어도 200 μm 길이(예컨대, 200 μm 내지 1.2 mm)가 될 것이다.
- [0015] 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 천공된 영역들은 mm^2 당 적어도 10개 천공, 예컨대 mm^2 당 적어도 20개, 적어도 30개, 적어도 40개, 적어도 50개 또는 적어도 100개 천공을 포함한다.
- [0016] 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 천공하는 단계는 레이저 라인 포커스에 의해 수행하고 유리는 0.1 mm 내지 5 mm 두께이다.
- [0017] 몇몇 실시예들에 따르면, 굽히는 단계는 5 mm 또는 그 이하(예컨대, 2 mm 또는 그 이하)로 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.
- [0018] 일 예시의 유리 시트 제조 방법은:
- [0019] (i) 적어도 하나의 유리 블랭크의 생성을 위한 적어도 하나의 천공된 분리 윤곽선을 생성하도록 레이저 라인 포커스에 의해 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0020] (ii) 굽힘 영역 천공들을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 다른 윤곽선을 따라 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0021] (iv) 천공된 분리 윤곽선을 따라 유리 시트로부터 적어도 하나의 유리 블랭크를 분리함으로써, 적어도 하나의 단일화된 유리 블랭크를 생성하는 단계; 및
- [0022] (v) 굽힘 영역 천공들을 포함하는 영역들을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.
- [0023] 본 개시의 일 실시예는 비평탄부를 갖춘 적어도 하나의 유리 물품을 제조하는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은:
- [0024] (i) 적어도 하나의 유리 블랭크의 생성을 위한 적어도 하나의 천공된 분리 윤곽선을 생성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0025] (ii) 굽힘 영역 천공들을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 다른 윤곽선을 따라 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0026] (iv) 천공된 분리 윤곽선을 따라 유리 시트로부터 적어도 하나의 유리 블랭크를 분리함으로써, 적어도 하나의 단일화된 유리 블랭크를 생성하는 단계; 및
- [0027] (v) 굽힘 영역 천공들을 포함하는 영역들을 따라 유리 블랭크를 굽히는 단계를 포함한다.
- [0028] 본 개시의 일 실시예는 비평탄부를 갖춘 유리 물품을 제조하는 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은:
- [0029] (i) 다수의 유리 블랭크의 생성을 위한 다수의 천공된 분리 윤곽선을 생성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0030] (ii) 다수의 굽힘 영역 천공을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 다른 윤곽선을 따라 유리 시트를 천공하는 단계;
- [0031] (iii) 천공된 분리 윤곽선을 따라 유리 시트로부터 상기 유리 블랭크들을 서로 분리함으로써, 각각 굽힘 영역 천공들을 포함하는 다수의 단일화된 유리 블랭크를 생성하는 단계; 및
- [0032] (iv) 단일화된 유리 블랭크들을 배치하고 유리가 구부러지도록 굽힘 영역 천공들을 포함하는 영역들을 따라 유리 블랭크들을 굽히는 단계를 포함한다.
- [0033] 몇몇 실시예들에 따르면, 유리 물품은 곡면 또는 적어도 하나의 비평탄면을 포함하고, 상기 곡면 또는 상기 적어도 하나의 비평탄면 내로 적어도 200 μ 확장하는 다수의 결함 라인(defect line) 또는 천공을 갖추고, 상기 결함 라인들 또는 천공들은 각각 약 5 μ 또는 그보다 작은 직경을 갖는다. 몇몇 실시예들에 따르면, 인접한 결함 라인들 또는 천공들간 거리는 7 μ 와 50 μ 사이이다. 몇몇 실시예들에 따르면, 유리 물품은 약 100 μ 또는 그보다 작은 깊이까지 표면 아래 손상을 갖는다. 몇몇 실시예에 따르면, 상기 유리 물품은 약 10 μ 와 약 5 mm 사이의 두께(예컨대, 200 μ 내지 2mm)를 갖는다.
- [0034] 추가의 특징 및 장점들은 이하의 상세한 설명에 기술되며, 부분적으로는 통상의 기술자가 그러한 설명으로부터

용이하게 알 수 있거나 또는 기재된 설명 및 그 청구항들 뿐만 아니라 수반된 도면들에 기술된 실시예들을 실시함으로써 인식할 수 있을 것이다.

[0035] 상기한 일반적인 설명 및 이하의 상세한 설명 모두는 단지 예시일 뿐이며, 청구항들의 성질 및 특성을 이해하기 위한 개요 또는 기초를 제공하기 위한 것이다.

[0036] 수반되는 도면들은 좀더 잘 이해할 수 있게 하기 위해 제공되며, 명세서에 포함되어 그 일부를 구성한다. 도면들은 하나 또는 그 이상의 실시예(들)를 기술하며, 그러한 설명과 함께 다양한 실시예들의 원리 및 동작을 설명하기 위해 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0037] 상기한 설명은 유사한 참조부들이 다른 관점을 통해 동일한 부분과 연관된 수반되는 도면들에 기술한 바와 같은 예시의 실시예들의 이하의 특정 설명으로부터 명확해질 것이다. 그러한 도면들은 반드시 일정 크기로 정해져 필요는 없으며, 대신 기술된 실시예들에 따라 배치된다.

도 1은 일 실시예에 따른 각각 단일의 유리 물품에 대응하는 다수의 선(pre)-절단 또는 선-처리된 영역(20)들을 포함하는 큰 유리 시트(10)를 나타내고;

도 2는 굽힘 영역 천공들을 포함하는 단일화된 유리 블랭크의 실시예를 나타내고;

도 3a 및 3b는 성형체 상에 위치된 천공/단일화된 유리 블랭크 실시예의 2개의 도면을 나타내며;

도 4a 및 4b는 단일화된 그리고 천공/단일화된 유리 블랭크로부터 형성된 굽혀진 유리 물품의 2개의 도면을 나타낸다.

도 5a-5c는 변경된 유리의 동일하게 간격된 결합 라인들을 갖는 결손 라인을 나타낸다. 도 5a는 샘플에 걸쳐 결손 라인을 생성하는 레이저를 나타낸다. 도 5b는 분리 후 결합 라인들을 갖는 에지를 나타낸다. 도 5c는 분리된 에지의 사진이다.

도 6a 및 6b는 레이저 빔 초점 라인의 위치맞춤, 즉 초점 라인에 따른 유도 흡수로 인해 레이저 파장에 투명한 재료의 처리를 나타낸다.

도 7a는 일 실시예에 따른 레이저 처리를 위한 광학 어셈블리를 나타낸다.

도 7b의 (B-1)~(B-4)는 기관에 대한 레이저 빔 초점 라인을 다르게 위치맞춤으로써 기관을 처리하기 위한 다양한 가능성을 나타낸다.

도 8은 레이저 처리를 위한 광학 어셈블리의 제2실시예를 나타낸다.

도 9a 및 9b는 레이저 처리를 위한 광학 어셈블리의 제3실시예를 나타낸다.

도 10은 레이저 처리를 위한 광학 어셈블리의 제4실시예를 나타낸다.

도 11의 (A)-(C)는 재료들의 레이저 처리를 위한 각기 다른 레이저 강도 체계를 나타낸다. 도 11의 (A)는 비포커스 레이저 빔을 나타내고, 도 11의 (B)는 구면 렌즈에 의해 모아진 레이저 빔을 나타내고, 도 11의 (C)는 액시콘(axicon) 또는 회절형 프레즈넬(Fresnel) 렌즈에 의해 모아진 레이저 빔을 나타낸다.

도 12a-12b는 피코초(picosecond) 레이저에 대한 시간의 함수로서 레이저 방출을 나타낸다. 각각의 방출은 하나 또는 그 이상의 서브-펄스(sub-pulse)를 포함하는 펄스 "버스트(burst)"로 특성화된다. 펄스 지속 기간에 대응하는 시간, 펄스들간 분리, 및 버스트들간 분리가 기술된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 예시 실시예들에 대한 설명은 다음과 같다.

[0039] 3D 표면을 갖는 커버 유리들은 예컨대 셀 폰과 같은 휴대용 제품들을 위해 개발되고 있다. 그러나, 박막의 LCD 유리로부터 3D 부품을 형성하는 것은, 예컨대 굴곡 반경이 작은 것일 수록 더 어려워진다. 10 mm의 굴곡 반경은, 예컨대 박막의 LCD 유리로 달성하는 것은 비교적 쉽다. 그러나, 10 mm 이하, 예컨대 5 mm나 1 또는 2 mm와 같은 보다 작은 굽힘 반경을 갖는 3D 접시형 부품은, 상당히 작은(예컨대, 2 mm) 코너 반경을 달성하기 위해 표면 결함을 야기시키는 기존의 방법에서는 통상 그러한 유리가 너무 뜨겁기 때문에, 기존의 방법으로 생성하는 것은 너무 어렵다. 심지어 유리를 그와 같은 기밀한 몰드의 형태로 하기 위해서는 진공 및 압력이 요구

될 수 있다. 더욱이, 제품 크기 및 볼륨을 확대하기 위해, 큰 형성된 박막의 유리 시트는 통상 효율적인 비용으로 사용되어야 하고, 부품 어레이에 걸친 엄격한 코너 반경의 제공이 훨씬 더 필요할 수 있다. 본원에 개시된 실시 방법들은 도 1 내지 4b와 연관지어 더 기술한 바와 같이 작은 굴곡 반경을 갖는 3D 표면을 갖는 유리 부품의 생산을 촉진할 수 있다.

[0040] 본 출원은 특히 강화되거나 강화되지 않은 유리와 관련된 임의 형태의 성형된 3D 박막 투명 취성(brittle) 기판의 정밀한 성형을 위한 공정들을 제공한다. 일 실시예에 있어서, 그러한 유리는 Gorilla[®] 유리(코닝사로부터 이용가능한)이다. 또한 실시예의 방법들은 후-공정의 마무리 단계가 필요없는 최종 크기로 3D 표면을 갖는 부품, 하나 또는 그 이상의 3D 부품을 절단 및 추출하게 한다. 그러한 방법은 강화되거나(예컨대, 화학적으로 이온-교환된) 또는 강화되지 않은(원료 그대로의 유리) 3D 부품에 적용될 수 있다.

[0041] 작업편, 부품 또는 물품들은 예컨대 곡면을 갖는 폰 또는 자동차 유리를 위한 유리 커버를 포함할 수 있다. 그러한 발전된 방법들은 선택된 레이저 파장에 거의 투명한(즉, 약 50%보다 작고, 10%보다 작은 흡수성, 예컨대 재료 깊이 mm당 약 1%보다 작은 흡수성) 재료에 아주 적합하다.

[0042] 그 기본 원리는 예컨대 본원에 참조를 위해 포함되는 "PROCESSING 3D SHAPED TRANSPARENT BRITTLE SUBSTRATE"를 명칭으로 하여 2013년 12월 17일 출원된 계류중인 특허출원 제61/917,127호에 기술된 시스템 및 공정을 통해 결함을 생성하기 위해 레이저 초점 라인을 이용하여 유리에 구멍들을 천공하는 것이다. 레이저는 박막의 유리 시트에 구멍 또는 가늘고 긴 손상 영역들(결함 라인들)의 생성을 위한 초점 라인을 생성하고, 이에 따라 천공된 영역들을 형성한다. 유리는 효과적으로 복잡한 형태들의 성형이 가능한 천공된 영역들, 및/또는 뜨거운 성형 조건 하에 구부러진 영역들이 약해진다. 통상의 성형 공정이 주어진 동작 파라미터로서 기존의 유리 두께를 이용하므로, 본원에 기술한 바와 같은 유리 시트의 천공은 좀더 용이한 형태화 또는 성형화에 아주 적합한 3D 표면을 생성한다. 천공된 영역들의 사용과 연관된 성형은 엄격한 굽힘 반경 및 다른 요구된 특성의 세부 항목과 같은 뜨거운 성형 제품 세부 항목의 향상을 효과적으로 제공한다. 또한 이러한 접근방식은 진공 성형 기술에 따른 매우 세세한 성형의 세부 항목을 달성하기 위해 큰 어레이의 박막 유리 시트의 형성을 가능하게 한다. 또한 천공된 영역들을 갖는 유리 시트 또는 블랭크들의 성형은 다른 방법들에 의해서도 달성될 수 있다. 예컨대, 약 500℃와 약 650℃ 사이의 온도에서, 유리의 점성은 원하는 형태로 휨-굽힘을 허용하는 플라스틱 상을 생성한다. 그러한 특정 온도는 유리 조성에 좌우된다. 그러한 천공된 유리는 플라스틱 상으로 가열되고 원하는 형태로 그 자신의 중량에 의해 가열된 몰드 표면으로 휘게한 후, 점차 냉각(예컨대, 약 150℃ 또는 200℃로)하는데, 그 지점에서 유리는 가열된 영역 밖으로 이동되어, 실온으로 냉각될 수 있다.

[0043] 몇몇 실시예들에 따르면, 큰 미리 형성된 절단된 유리 시트(1000)는 천공(1200A 또는 1400A)들을 생성하기 위해 스텝 1000A에서 천공된다. 특히, 그 유리는 레이저 빔 아래에 배치되고, 본원에 기술한 바와 같은 결함 라인들은 원하는 라인 또는 윤곽선을 따라 레이저를 트레이스(trace)함으로써(즉, 레이저 초점 라인을 이동시키으로써) 유리 상에 생성된다. 다음에, 천공된 유리 시트(1000)는, 예컨대 3D 형태를 형성하는 가열 몰딩 또는 진공 성형에 의해 원하는 형태로 천공 영역들 또는 라인들(예컨대, 천공(1400A)들을 갖는 영역들)을 따라 굽혀(즉, 굴곡)진다. 그러한 굴곡 반경은 비교적 크거나 작을 수 있는데, 즉 1 mm 내지 20 mm이고, 몇몇 실시예들에서는 1 mm 내지 10 mm이거나, 또는 5 mm보다 크지 않은데, 예컨대 1 mm 내지 5 mm, 또는 2 mm 또는 그 이하가 될 수 있다. 몇몇 실시예들에 따르면, 유리는 3 mm보다 작은 두께, 예컨대 2 mm이다. 몇몇 실시예들에 따르면, 굽힘 유리는 유리 시트 자체의 두께보다 큰 두께의 굴곡(본원에서 휨 또는 굽힘이라고도 칭하는)을 포함한다. 몇몇 실시예들에 따르면, 그러한 굽힘 유리는 3 mm보다 작은, 예컨대 2 mm보다 작은 또는 1 mm보다 작은 두께를 갖는다. 몇몇 실시예들에 있어서, 굽혀질(또는 굽혀지는) 영역들에 위치한 천공들간 예시의 피치(분리)는 5-50 μm 사이, 또는 7과 50 μm 사이이다(즉, 어떤것은 분리를 방지하고 상당한 표면 결함의 형성 없이 단지 굽힘 가능성만을 돕기 위해 약한 지점으로 작용하도록 절단 피치보다 더 넓다). 본원에 기술한 예시의 실시예들에 따르면, 이들 천공들은 직경이 2 μm 또는 그보다 작고 상기 직경보다 적어도 20배 긴 길이를 가지며, 유리의 적어도 몇몇 영역들은 mm^2 당 적어도 10개의 천공을 갖는다.

[0044] 몇몇 실시예들에 따르면, 상기 천공들은 직경이 2 μm 보다 작고(예컨대, 직경이 1.5 μm 보다 작고), 상기 직경보다 적어도 50배 긴 길이를 갖는다. 예컨대, 천공(1400A)들은 적어도 200 μm 의 길이를 갖는다. 몇몇 실시예들에 따르면, 천공된 적어도 일부의 영역들은 mm^2 당 적어도 25개의 천공을 포함한다. 몇몇 실시예들에 따르면, 천공된 적어도 일부의 영역들은 mm^2 당 적어도 50개의 천공을 포함한다. 몇몇 실시예들에 따르면, 천공들은 레이저 라인 포커스를 형성하는 레이저 빔에 의해 형성된다. 몇몇 실시예들에 따르면, 천공들은 베셀

빔(Bessel beam)에 의해 형성된다. 몇몇 실시예들에 따르면, 레이저는 펄스 레이저이고 10 W-10 W(예컨대, 25 W-60 W)의 레이저 파워를 가지며, 그러한 레이저는 버스트당 적어도 2-25 펄스의 펄스 버스트(또는 "버스트 펄스"라고도 부름)를 생성하고, 천공들(결합 라인들)간 거리는 7-100 μ (예컨대, 10-50 μ , 또는 15-50 μ)이다.

[0045] 몇몇 실시예들에 따르면, 3D 유리 물품을 형성하는 방법은 다음의 단계들을 포함한다:

[0046] (i) 유리 시트(1000)를 형성하는 단계;

[0047] (ii) 유리 블랭크(2000A)들의 생성을 위한 천공(1200A)들을 생성하기 위해 레이저 초점 라인에 의해 라인들 또는 천공된 윤곽선(1200; 도 1b 참조)들을 따라 유리 시트(10)를 천공하는 단계;

[0048] (iii) 천공(1400A)들을 형성하기 위해 레이저 라인 포커스에 의해 윤곽선(1400; 도 2 참조)을 따라 유리 시트(1000)를 천공하는 단계. 천공(1400A)들은 굽힘 지점이 될 위치에 위치되고, 유리 내에 가변 깊이로 배치될 것이다. 고밀도 천공 영역들은 코너에 또는 그 근처에 위치되거나, 또는 샤프(sharp)한 굴곡 반경을 필요로 하거나 윤곽선(들) 또는 높이가 변경되는 다른 영역들에 위치될 수 있다;

[0049] (iv) 유리 부품을 단일화(또는 분리)하는 단계 - 즉, 서로로부터 및/또는 유리 시트(1000)의 다른 영역(들)으로부터 유리 블랭크(20A)들을 분리한다. 이는 천공된 분리 윤곽선(1200)들을 따라 응력을 인가함으로써 행해질 수 있다. 이러한 응력은 예컨대 열적 응력 또는 기계적 응력(압력 또는 진공 풀(vacuum pull))이 될 것이다. 열적 응력은 예컨대 천공된 분리 윤곽선(1200)들을 따라 CO₂ 레이저로부터의 광에 의해 유리 시트(10)를 가열함으로써 생성될 것이다;

[0050] (v) 유리 블랭크(2000A)가 굽혀질 또는 구부러진 영역들에 걸쳐 천공(14A)들이 위치되도록 몰드(1300) 상에 단일화된 유리 블랭크(200A)(들)를 배치하는 단계(예컨대, 도 3 참조);

[0051] (vi) 유리 블랭크(2000A)(들)에 3D(굴곡진) 윤곽선을 형성하거나, 또는 예컨대 유리의 가열에 의해, 및/또는 기존의 진공 형성 기술에 의해 3D 폼으로 오리지널 평탄 유리 블랭크(2000A)를 형성하는 단계. 그러한 유리 천공(1400A)들은 기존의 만들어진 3D 유리 물품들보다 굽혀진 영역들에 있어 크랙 형성에 대한 양호한 내성을 갖는 형태를 효과적으로 제공하는, 상당한 표면 결함을 생성하지 않고, 비교적 쉽게 정밀한 3D 성형을 허용한다.

[0052] 도 1은 작은 굴곡 반경을 갖는 유리 부품의 몰딩을 용이하게 하기 위해 실시예의 방법에 따른 레이저 천공된 프리폼 시트(preform sheet)를 나타낸다. 특히, 도 1은 프리폼 시트, 이 경우 각각이 단일의 유리 물품(2000A)에 대응하는 선-절단 또는 선-처리된 영역(부품; 2000)들에 대응하는 다수의 부품들을 포함하는 큰 유리 시트(1000)의 상면도를 나타낸다. 시트(1000)는 작은 굴곡 반경을 갖는 유리 부품들의 몰딩을 용이하게 하기 위해 실시예의 방법들에 따라 레이저 천공된다(결합 라인들이 생성된다). 특히, 릴리즈 라인(12; release line)은 개별 부품(2000A)으로 개별 부품 프리폼(2000)의 단일화를 용이하게 하기 위해 상기 기술된 방법들에 따라 레이저 천공된다. 도 1의 예시의 실시예에 있어서, 유리 시트(1000)는 천공(1200A)들에 의해 둘러싸인 12개의 영역(200)들을 포함한다. 부품 아웃라인(1200B) 또한 3D 곡면들을 갖기 위해 유리 부품(20)들의 몰딩 전, 또는 후에 단일화된 프리폼들로부터 이후의 부품들의 제거를 용이하게 하기 위해 레이저 천공된다. 몇몇 실시예들에 있어서, 몰딩은 본래의 전체 프리폼 시트(1000)에서 일어난다.

[0053] 도 2는 도 1에 나타난 시트로부터 분리된 하나의 단일화된 프리폼을 나타낸다. 특히, 도 2는 굽힘 영역 천공(1400A)들을 포함하는 단일화된 유리 블랭크(2000A)를 나타낸다. 또한 도 2에는, 도 3a 내지 도 4b의 코너 단면과 연관지어 이후 더 기술한 바와 같이, 작은 굴곡 반경을 갖는 코너들의 몰딩을 용이하게 하기 위해 다수회 레이저 천공된 코너(1400B)들이 나타나 있다. 도 2에는, 도 4a 및 4b의 측면도와 연관지어 이후 더 기술한 바와 같이, 유리 부품(2000A)의 표면 상에 다른 3D 굴곡의 몰딩을 용이하게 하는 다른 레이저 천공들은 나타내지 않았다.

[0054] 도 3a-3b는 레이저 천공을 가능하게 하는 반경을 갖는 3D 표면을 각각 형성하기 전 및 후의 도 2의 단일화된 프리폼의 측면도이다. 도 3a는 그러한 단일화된 프리폼(부품 2000A)의 부품의 표면에 제공될 3D 굴곡을 규정하는 3D 곡면을 갖는 몰드(1300)를 나타낸다. 그러한 프리폼(2000A)은 표면 결함이 적거나 없으면서 프리폼(2000A)의 굽힘을 용이하게 하는 레이저 천공(14000A)을 포함한다. 도 3b는 몰딩 이후의 동일한 몰드(1300) 및 프리폼(20A)을 나타내며, 이는 천공(1400A)이 유리에 굽힘 응력을 두드러지게 한다는 것을 알 수 있게 한다. 그와 같은 레이저 천공은 몰딩을 완전하게 하기 위해 프리폼에 대한 진공 또는 압력 인가의 필요성을 감소시키거나 없앨 수 있다.

[0055] 도 3a-b는 레이저 천공(결합 라인)을 가능하게 하는 반경을 갖는 3D 표면을 형성하기 전 및 후의 도 2의 단일화

된 프리폼의 측단면도이다.

- [0056] 특히, 도 3a 및 3b는 성형체(1300)에 걸쳐 위치된 천공/단일화된 유리 블랭크(2000A)의 2개의 도면을 나타낸다. 천공(1400A)들은 유리 블랭크(2000A)가 굽혀지는 영역들에 걸쳐 위치된다. 고밀도의 천공(1400A)들을 포함하는 유리 영역들은 높이와 기울기가 변경되는 몰드의 영역들 근처에 위치된다는 것을 염두해 두자. 이들의 보다 높은 밀도의 천공된 영역들은 예컨대 물품 코너들에 대응되지만, 최종 유리 물품의 다른 형태에 대응될 수 있다.
- [0057] 도 4a 및 4b는 다수의 레이저 천공들(결함 라인들)을 가능하게 하는 작은 코너 반경을 갖는 표면을 형성하기 전과 후의 도 2의 단일화된 프리폼의 코너 단면도이다. 특히, 도 4a 및 4b는 성형체(1300)에 걸쳐 위치된 단일화된 그리고 천공/단일화된 유리 블랭크(2000A)로부터 형성된 굽혀진 유리 물품의 2개의 도면을 나타낸다. 그러한 천공/단일화된 유리 블랭크(2000A)는 조밀하게 천공된 영역들에 의해 몰드(1300)에 걸쳐 굽혀지며, 그러한 조밀하게 천공된 영역들은 천공(1400A)들을 포함하고 대응하는 높이 및/또는 기울기의 변경에 따라 몰드의 영역들에 걸쳐 직접 위치된다. 특히, 도 4a 및 4b는 다수의 레이저 천공(1400A)들을 가능하게 하는 작은 코너 반경을 갖는 표면을 각각 형성하기 전과 후의 도 2의 단일화된 프리폼의 코너 단면도이다. 도 4a-4b에 나타낸 바와 같이, 특히 5 mm나 2 mm 또는 그보다 작은 표면 굴곡 반경은 예컨대 다수의 천공들을 가능하게 할 수 있다. 다수 또는 보다 높은-밀도의 천공들은 응력 완화를 제공하고, 몰딩 동안 진공 또는 압력 인가의 필요성을 없애며, 표면 결함을 감소시킨다.
- [0058] 적어도 몇몇 실시예들에 따르면, 본원에 기술된 방법(들)에 의해 형성된 유리 물품은 곡면 또는 적어도 하나의 비평탄면을 포함하며, 그러한 유리 물품은 상기 곡면 또는 상기 적어도 하나의 비평탄면 내로 적어도 200 μ (예컨대, 250 μ 또는 그 이상) 확장하는 다수의 결함 라인 또는 천공을 갖추고, 상기 결함 라인 각각은 약 5 μ 또는 그보다 작은 직경을 갖는다. 몇몇 실시예들에 따르면, 인접한 결함 라인들의 간격은 7 μ 와 50 μ 사이이다. 몇몇 실시예들에 따르면, 상기 결함 라인 주변의 유리는 약 100 μ 또는 그보다 작은 깊이까지 표면 아래 손상을 갖는다. 몇몇 실시예들에 따르면 유리 물품은 약 10 μ 와 약 5 mm 사이의 두께를 갖는다.
- [0059] 이하 기술된 몇몇 실시예들에 따르면, 레이저는 극히 작은(<75 μ m, 종종 <50 μ m) 표면 아래 손상 및 파편 생성에 의해 재료에 걸쳐 고도로 제어된(예컨대, 단일의 통과로) 최대한의 또는 일부의 천공을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 서브-표면 손상은 100 μ m 또는 그보다 작은 깊이, 또는 75 μ m 또는 그보다 작은 깊이, 또는 60 μ m 또는 그보다 작은 깊이, 또는 50 μ m 또는 그보다 작은 깊이의 정도로 제한되며, 그러한 절단은 단지 낮은 파편을 생성할 것이다. 이러한 방법은 재료를 박리(ablate)하기 위한 스폿-포커스 레이저의 통상적인 사용에 대조되는 재료 천공(예컨대, 유리 천공)에 사용될 수 있으며, 여기서 다수의 통과가 종종 유리 두께를 완전히 천공하기 위해 필요하고, 많은 양의 파편이 박리 공정으로부터 형성되고, 광범위한 서브-표면 손상(>100 μ m) 및 에지 칩핑(chipping)이 발생한다.
- [0060] 따라서, 본원에 기술된 발명에 따라, 하나 또는 그 이상의 높은 에너지 펄스 또는 하나 또는 그 이상의 높은 에너지 펄스의 버스트를 이용하여 투명한 재료에 극미(즉, <2 μ m 및 >100 μ m의 직경, 그리고 몇몇 실시예에서 <0.5 μ m 및 >100 μ m 직경)의 가늘고 긴 결함 라인(본원에서 천공, 구멍, 또는 손상 트랙(track))들을 생성할 수 있다. 그러한 결함 라인, 또는 천공, 또는 결손 라인들은 레이저에 의해 변경된 기관 재료의 영역들을 나타낸다. 레이저-유도 변경은 기계적으로 약한 구성 사이트(site) 및 기관 재료의 구조를 붕괴시킨다. 구조적 붕괴는 압축(compaction), 용융, 재료의 제거, 재배열, 및 접합 분리(bond scission)를 포함한다. 상기 천공들은 기관 재료의 내부로 확장하고 레이저의 단면 형태(일반적으로 원형)와 일치하는 단면 형태를 갖는다. 그러한 천공들의 평균 직경은 0.1 μ m 내지 50 μ m의 범위, 또는 1 μ m 내지 20 μ m의 범위, 또는 2 μ m 내지 10 μ m의 범위, 또는 0.1 μ m 내지 5 μ m의 범위가 될 것이다. 몇몇 실시예들에서, 상기 천공은 기관 재료의 상부에서 하부까지 확장하는 구멍 또는 개방 채널인 "관통 구멍"이다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 천공은 연속의 개방 채널이 아니고 레이저에 의해 그 기관 재료로부터 제거된 고체 재료의 섹션(section)을 포함할 수 있다. 그러한 제거된 재료는 천공에 의해 제거된 공간을 막거나 또는 부분적으로 막는다. 하나 또는 그 이상의 채널(막지 않은 영역)은 제거된 재료의 섹션을 사이로 분산될 것이다. 상기 개방 채널의 직경은 <1000 nm, 또는 <500 nm, 또는 <400 nm, 또는 <300 nm 또는 10 nm 내지 750 nm의 범위, 또는 100 nm 내지 500 nm의 범위가 될 것이다. 본원에 기술된 실시예들에서의 그러한 구멍들을 둘러싸는 재료의 붕괴되거나 변경된 영역은(예컨대, 압축된, 용융된, 또는 그렇지 않으면 변경된) 바람직하게 <50 μ m(예컨대, <10 μ m)의 직경을 갖는다.
- [0061] 그러한 개별 천공들은 수백 kHz의 비율로 생성될 수 있다(예컨대, 초당 수십만개의 천공). 따라서, 레이저 소스와 재료간 상대적 이동에 따라, 이들 천공은 원하는 바와 같이 서브-마이크론(sub-micron)에서 수 μ (micron)

또는 심지어 수십 μ 까지 변하는 공간 분리에 의해 서로 인접하여 배치될 수 있다. 결손 라인들의 방향을 따라 인접한 결함 라인들간 거리는 예컨대 0.25 μm 내지 50 μm 의 범위, 또는 0.50 μm 내지 약 20 μm 의 범위, 또는 0.50 μm 내지 약 15 μm 의 범위, 또는 0.50 μm 내지 10 μm 의 범위, 또는 0.50 μm 내지 3.0 μm 의 범위, 또는 3.0 μm 내지 10 μm 의 범위가 될 것이다. 그러한 공간 분리는 천공된 윤곽선들을 따라 유리의 약화, 또는 절단을 용이하게 하기 위해 선택된다.

[0062] 선형 강도 체계에서의 기관 재료의 투명도 외에, 또한 레이저 소스의 선택은 투명한 재료에서의 다광자 흡수(MPA)를 유도하기 위한 능력으로 예상된다. MPA는 저에너지 상태(보통 기저 상태)에서 고에너지 상태(여기 상태)로 재료를 여기시키기 위해 동일한 또는 다른 주파수의 다광자의 동시 흡수이다. 상기 여기 상태는 여기된 전자 상태 또는 이온화 상태가 될 것이다. 재료의 고에너지 상태 및 저에너지 상태간 에너지 차이는 2개 또는 그 이상의 광자 에너지의 총합과 동일하다. MPA는 일반적으로 선형 흡수보다 약한 정도의 크기이다. 이는 MPA의 강도가 제곱 파워 또는 더 높은 파워의 광 강도에 좌우되므로, 비선형 광학 공정을 필요하게 하는 선형 흡수와는 다르다. 통상의 광 강도에서, MPA는 무시할 수 있다. 만약 광 강도(에너지 밀도)가 레이저 소스(특히 펄스 레이저 소스)의 포커스 영역에서와 같이 극히 높으면, MPA는 상당한 정도이고 광원의 에너지 밀도가 충분히 높은 영역 내의 재료에서 상당한 효과를 제공한다. 초점 영역 내에서, 그러한 에너지 밀도는 이온화를 제공할 정도로 충분히 높을 것이다.

[0063] 원자 레벨에서, 개별 원자의 이온화는 불연속 에너지를 필요로 한다. 통상 유리에 사용된 몇몇 요소(예컨대, Si, Na, K)는 비교적 낮은 이온화 에너지(~5 eV)를 갖는다. MPA의 현상이 없는 경우, 약 248 nm의 파장은 ~5 eV에서 선형 이온화를 생성해야 할 것이다. MPA가 있는 경우, ~5 eV 정도의 에너지로 분리된 상태들간 이온화 또는 여기화는 248 nm보다 긴 파장에 의해 달성될 수 있다. 예컨대, 532 nm의 파장을 갖는 광자는 ~2.33 eV의 에너지를 가지므로, 532 nm의 파장을 갖는 2개의 광자는 예컨대 2-광자 흡수(TPA)에서 ~4.66 eV 정도의 에너지로 분리된 상태들간 변이를 유도할 수 있다. 따라서, 원자 및 본드(bond)들은 레이저 빔의 에너지 밀도가 예컨대 요구된 여기 에너지의 절반을 갖는 레이저 파장의 비선형 TPA를 유도하기에 충분히 높은 재료의 영역들에서 선택적으로 여기 또는 이온화될 수 있다.

[0064] MPA는 인접한 원자 또는 본드들로부터 여기된 원자 또는 본드의 로컬 재구성 및 분리를 제공할 수 있다. 그러한 결함 또는 구성에 있어서의 결과의 변경은 MPA가 발생하는 재료의 영역으로부터 물질의 비-열적 박리 및 제거를 제공할 수 있다. 이러한 물질의 제거는 기계적 또는 열적 응력의 인가에 따라 재료를 기계적으로 약화시켜 그 재료가 좀더 쉽게 크랙되거나 또는 부서지게 하는 구조적 결함(상기 본원에서 칭하는 결함 라인, 손상 라인, 또는 천공)을 생성한다. 천공들의 배치를 제어함으로써, 크랙이 발생하는 윤곽선 또는 경로가 정확하게 규정될 수 있고, 재료의 정확한 미세 기계가공이 달성될 수 있다. 일련의 천공들에 의해 규정된 그러한 윤곽선은 결손 라인과 관련되고 재료의 구조적으로 취약한 영역에 대응한다. 그러한 결손 라인은 재료로부터 부품을 굽히거나, 또는 그 재료로부터 그 부품의 분리를 위한 바람직한 윤곽선을 규정하고, 그러한 분리된 부품의 형태를 제어한다. 일 실시예에 있어서, 미세 기계가공은 레이저에 의해 처리된 재료로부터 부품의 분리를 포함하며, 여기서 그 부품은 정확하게 규정된 형태 또는 레이저에 의해 유도된 MPA 효과를 통해 형성된 천공들의 폐쇄 윤곽선을 규정하는 결손 라인에 의해 결정된 둘레 경계를 갖는다. 일 실시예에 있어서, 레이저에 의해 처리된 유리 천공 부품들은 타이트(tight)한 반경(예컨대, 1 mm 내지 5 mm)으로 굽혀지고, 여기서 그 부품은 규정된 형태 또는 레이저에 의해 유도된 MPA 효과를 통해 형성된 천공들의 폐쇄 윤곽선을 규정하는 결손 라인에 의해 결정된 둘레 경계를 갖는다. 본원에 사용된 바와 같이, 그러한 용어 폐쇄 윤곽선은 레이저 라인에 의해 형성된 천공 경로와 관련되고, 여기서 그 경로는 몇몇 위치에서 자신과 교차한다. 내부 윤곽선은 결과의 형태가 재료의 바깥 부분에 의해 완전히 둘러싸인 형성된 경로이다.

[0065] 바람직한 레이저는 초단파 펄스 레이저(100 피코초 또는 그보다 짧은 정도의 펄스 지속 기간)이고, 펄스 모드 또는 버스트 모드에서 동작될 수 있다. 펄스 모드에서, 일련의 명목상 동일한 단일의 펄스들이 레이저로부터 방출되어 작업편으로 지향된다. 펄스 모드에서, 레이저의 그러한 반복 비율은 펄스들간 시간의 간격에 의해 결정된다. 버스트 모드에서, 펄스들의 버스트들은 레이저로부터 방출되고, 여기서 각각의 버스트는 2개 또는 그 이상의 펄스(동일하거나 또는 다른 크기의)들을 포함한다. 버스트 모드에서, 버스트 내의 펄스들은 제1시간 간격(버스트의 펄스 반복 비율을 규정하는)에 의해 분리되고, 상기 버스트들은 제2시간 간격(버스트 반복 비율을 규정하는)에 의해 규정되며, 여기서 상기 제2시간 간격은 통상 제1시간 간격보다 훨씬 더 길다. 본원에 사용된 바와 같이(펄스 모드 또는 버스트 모드와 관련되는지), 시간 간격은 펄스 또는 버스트의 대응하는 부품들간 시간차(선행 에지-대-선행 에지, 피크-대-피크, 또는 후행 에지-대-후행 에지)와 관련된다. 펄스 및 버스트 반복 비율은 레이저의 디자인에 의해 제어되고, 통상 레이저의 동작 조건들을 조절함으로써 제한 범위 내

에서 조절될 수 있다. 통상적인 펄스 및 버스트 반복 비율은 kHz 내지 MHz 범위가 된다.

- [0066] 레이저 펄스 지속 기간(펄스 모드에서 또는 버스트 모드에서 버스트 내의 펄스들에 대한)은 10^{-10} 또는 그 이하, 또는 10^{-11} 또는 그 이하, 또는 10^{-12} 또는 그 이하, 또는 10^{-13} 또는 그 이하가 될 것이다. 본원에 기술된 예시의 실시예들에 있어서, 레이저 펄스 지속 기간은 10^{-15} 보다 크다.
- [0067] 실시 공정들의 일 형태는 초단파 펄스 레이저에 의해 생성된 결합 라인들의 높은 종횡비(aspect ratio)이다. 그러한 높은 종횡비는 기관 재료의 상부 표면에서 하부 표면으로 확장하는 결합 라인의 생성을 허용한다. 본 방법은 또한 기관 재료 내에 제어된 깊이로 확장하는 결합 라인들의 형성을 허용한다. 그러한 결합 라인은 단일의 펄스 또는 단일의 펄스 버스트에 의해 생성될 수 있고, 원할 경우 추가의 펄스 또는 버스트들이 영향 받은 영역의 범위(예컨대, 깊이 및 폭)를 증가시키기 위해 사용될 수 있다.
- [0068] 그러한 라인 포커스의 생성은 가우시안 레이저 빔을 액시콘 렌즈로 보냄으로써 수행되며, 이 경우 가우스-베셀 빔으로 알려진 빔 프로파일이 생성된다. 그와 같은 빔은 가우시안 빔보다 훨씬 더 느리게 회절한다(예컨대, 수십 μ 또는 그 이하로 대향된 바와 같은 수백 μ 또는 mm의 범위에 대한 단일의 μ 스폿 크기를 유지한다). 따라서, 재료와의 강한 상호작용의 길이 또는 포커스의 깊이는 가우시안 빔만을 사용할 때보다 훨씬 더 클 것이다. 에어리 빔(Airy beam)과 같은 다른 폼 또는 느리게 회절하거나 또는 회절하지 않는 빔들 또한 사용될 수 있다.
- [0069] 도 5a-5c에 나타난 바와 같이, 유리 시트(들)를 천공하기 위한 방법의 예시의 실시예는 초단파 펄스 레이저 빔(140)에 의해 기관 재료(130; 유리 시트 1000)에 다수의 수직 결합 라인들(120; 예컨대 천공(1200A)들에 대응하는)로 형성된 결손 라인 또는 예시의 윤곽선(예컨대 1200)의 생성에 기초가 된다.
- [0070] 도 5b는 다수의 수직 결합 라인(120)에 의해 규정된 윤곽선 또는 결손 라인(110)을 따라 작업편을 분리한 후의 작업편의 예시를 나타낸다. 그러한 결합 라인들을 생성하는 유도 흡수는 1μ 보다 작은(예컨대, 0.11μ 또는 그보다 작은) 평균 입자 직경을 갖는 입자를 그러한 분리된 예시 또는 표면 상에 생성할 수 있으며, 그 결과 매우 청정한 공정을 제공한다. 도 5c는 이하 더 기술되고 도 5a에 기술된 레이저 공정들을 이용하여 보다 큰 유리 시트로부터 분리된 예시의 부품(예컨대, 단일화된 유리 블랭크 2000A)의 예시를 나타내는 사진이다.
- [0071] 유리 시트에 생성된 그러한 결손 라인들은 서로 다를 수 있고, 예컨대 그 결합 라인들(120; 또는 구멍들)은 어느 하나가 유리를 분리하기를 원하고 그 유리가 굽혀질 때 그 영역에서 더 떨어지게 하는 윤곽선들에 더 가깝게 간격될 수 있으나, 여기서 어느 하나는 자발적인 분리를 피하기를 원한다. 결합 라인 또는 천공들간 정확한 피치(pitch) 또는 분리는 유리 조성에 의해 결정되나, 통상 본원에 기술된 범위, 예컨대 약 $1 \mu\text{m}$ 내지 약 $25 \mu\text{m}$ 내가 될 것이다.
- [0072] 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 굽혀질 또는 구부러진 영역들은 mm^2 당 10개 또는 그 이상의 구멍들(천공들) 또는 결합 라인들, 예컨대 mm^2 당 10-100개의 구멍, 결합 라인, 또는 천공들(1400A)을 갖는다. 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 굽혀질 영역들은 적어도 10개, 바람직하게 구부러질 또는 굽혀진 영역(들)에 20개 또는 그 이상의 구멍 또는 결합 라인들, 예컨대 영역당 25개 또는 그 이상(예컨대, 25-500개의 구멍, 결손 라인, 또는 천공들, 또는 50-100개, 또는 50-200개의 구멍, 결손 라인, 또는 천공들)의 구멍, 결합 라인, 또는 천공들(1400A)을 갖는다. 그러한 많은 수의 구멍들은 굽힘을 용이하게 한다. 예컨대, 굽혀져야 하는 유리 조각의 작은 코너는 20-50개, 또는 그 이상의 구멍 또는 천공들을 포함한다. 그러한 구멍 또는 천공들의 수는 굽혀질 또는 구부러진 유리 영역의 크기에 좌우될 것이다. 몇몇 예시의 실시예들에서, 그 천공 또는 구멍들은 7 내지 100 μ 로 분리되고(즉, 그 피치는 7-100 μ , 예컨대 15 내지 100 μ , 25 내지 100 μ , 또는 25 내지 50 μ 가 된다), 그 구멍, 결손 라인, 또는 천공들(1400A)은 직경이 5μ 보다 작고, 몇몇 실시예들에서 직경이 3μ 또는 그보다 작으며, 몇몇 실시예들에서 직경이 2μ 또는 그보다 작다(예컨대, $0.2 \mu\text{m}$, $0.3 \mu\text{m}$, $0.4 \mu\text{m}$, $0.5 \mu\text{m}$, $0.6 \mu\text{m}$, $0.7 \mu\text{m}$, $0.8 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$, $1.2 \mu\text{m}$, $1.5 \mu\text{m}$, 또는 그 사이). 몇몇 예시의 실시예들에서, 이들 영역에서 그러한 천공의 수는 예컨대 mm^2 영역당 10 내지 50개 또는 10 내지 30개가 될 것이다. 바람직한 그러한 결손 라인 또는 천공들은 펄스 버스트 레이저(또는 "버스트 펄스 레이저"라고도 부르는)에 의해 생성된 레이저 빔에 의해 형성되고, 여기서 그러한 레이저 파워는 10 W 내지 100 W(예컨대, 25 W 내지 60 W)이고 버스트들은 적어도 2 펄스(예컨대, 2-25 펄스)를 포함한다.
- [0073] 일부의 경우, 그러한 생성된 결손 라인은 기관 재료로부터 부품을 자발적으로 분리하기에 충분하지 않으며, 유

리의 분리를 위한(즉, 큰 시트로부터 부품들의 단일화를 위한) 2차 단계가 필요하다. 예컨대, 원할 경우, 서로로부터 유리 부품들을 분리하기 위해 열적 응력을 생성하기 위한 제2레이저가 사용될 수 있다. 예컨대, 뉴욕 코닝의 코닝사에 의해 생산된 0.55 mm 두께의 Gorilla® 2319 유리의 경우, 유리 분리는 예컨대 기계적인 힘의 인가에 의해 또는 열적 응력을 생성하여 결손 라인을 따라 기판 재료로부터 부품의 분리를 제공하기 위해 열원(예컨대, 적외선 레이저, 예컨대 CO₂ 레이저)을 이용함으로써, 결함 라인의 생성 후 달성될 수 있다. 또 다른 옵션은 분리를 시작하기 위해 적외선 레이저를 사용하고, 다음에 수동으로 유리 부품 분리를 마무리하는 것이다. 그러한 옵션의 적외선 레이저 분리는 10.6 μ m로 방출되는 포커스된 연속파(cw) 및 그 듀티 사이클(duty cycle)을 제어함으로써 조절된 파워에 의해 달성될 수 있다. 포커스 변경(즉, 포커스된 스폿 크기를 포함하고 디포커싱(defocusing)에 이르기까지의 범위)은 스폿 크기를 변경함으로써 유도된 열적 응력을 변경하는데 사용된다. 디포커스 레이저 빔은 그러한 레이저 파장 크기에 따라 최소의 회절-제한 스폿 크기보다 큰 스폿 크기를 생성하는 이들 레이저 빔을 포함한다. 예컨대, 2 mm 내지 20 mm, 또는 2 mm 내지 12 mm, 또는 약 7 mm, 또는 약 2 mm 그리고 또는 20 mm의 디포커스 스폿 크기($1/e^2$ 직경)는 예컨대 회절-제한 스폿 크기가 주어진 10.6 μ m의 방출 파장보다 훨씬 작은 CO₂ 레이저에 사용될 수 있다.

[0074] 상기한 결함 라인을 생성하기 위한 몇 가지 방법이 있다. 초점 라인 또는 라인 포커스를 형성하는 광학 방법은 도넛형 레이저 빔과 구면 렌즈, 액시콘 렌즈, 회절형 요소, 또는 고강도의 선형 영역을 형성하기 위한 다른 방법들을 이용한 다수의 품을 취할 수 있다. 비선형 광학 효과(예컨대, 비선형 흡수, 다광자 흡수)를 통해 기판 재료의 브레이크다운을 야기하도록 포커스의 영역에 기판 또는 작업편 재료의 브레이크다운을 생성하기 위해 충분한 광 강도에 도달되는 한, 레이저 타입(피코초, 펨토초(femtosecond) 등) 및 파장(IR, 녹, UV 등) 또한 변경될 수 있다.

[0075] 본 출원에 있어서, 초단파 펄스 레이저는 일정하게 제어 및 반복가능한 방식으로 높은 종횡비의 수직 결함 라인을 생성하는데 사용된다. 이러한 수직 결함 라인의 생성을 가능하게 하는 광학 구성의 상세한 설명은 이하 기술되고 본원에 전체적으로 기술한 것과 같이 참조를 위해 모든 내용이 본원에 포함되는 2014년 1월 14일 출원된 미국출원 제14/154,525호에 기술된다. 이러한 개념의 본질은 초단파(피코초 또는 펨토초 기간) 베셀 빔을 이용하여 높은 종횡비의 테이퍼 없는 마이크로 채널의 영역을 생성하기 위해 광학 렌즈 어셈블리에 액시콘 렌즈 요소를 사용하는 것이다. 즉, 그러한 액시콘 렌즈는 기판 재료에서의 높은 종횡비(길이가 길고 직경이 작은) 및 원통형 형태의 높은 강도 영역에 레이저 빔을 모은다. 모아진 레이저 빔에 의해 생성된 그러한 높은 강도로 인해, 기판 재료 및 레이저의 전자계의 비선형 상호작용이 발생하고 레이저 에너지는 결손 라인의 구성이 되는 결함의 형성에 영향을 주도록 기판으로 전달된다. 그러나, 레이저 에너지 강도가 높지 않은 기판의 영역(예컨대, 기판 표면, 중심 수렴 라인을 둘러싸는 기판의 볼륨)에서, 그 기판은 레이저에 투명하고 레이저에서 기판으로 에너지를 전달하기 위한 메카니즘이 없다는 것을 아는 것이 중요하다. 결과적으로, 레이저 강도가 비선형 임계치 이하일 때 기판에 아무런 일이 일어나지 않는다.

[0076] 도 6a 및 6b로 되돌아 가서, 재료를 레이저 처리하는 방법은 빔 전파 방향을 따라 본 레이저 빔 초점 라인(2b)으로 펄스 레이저 빔(2)을 포커싱하는 단계를 포함한다. 레이저 빔 초점 라인(2b)은 여러 방식에 의해, 예컨대 펄드 프로파일(field profile)이 가우시안 함수보다 횡단 방향(즉, 전파의 방향)으로 더 느리게 감쇠하는 통상 특정 함수로 주어진 베셀 빔, 에어리 빔, 웨버(Beber beam) 빔 및 매튜(Mathieu) 빔(즉, 비회절형 빔)들에 의해 생성될 수 있다. 도 7a에 나타낸 바와 같이, 레이저(3; 나타내지 않음)는 광학 어셈블리(6)에 입사하는 부분(2a)을 갖는 레이저 빔(2)을 방출한다. 그러한 광학 어셈블리(6)는 상기 입사의 레이저 빔을 빔 방향을 따라 규정된 확장 범위에 걸친 출력측의 레이저 빔 초점 라인(2b)으로 턴(turn)시킨다. 평평한 기판(1; 처리될 재료)은 레이저 빔(2)의 레이저 빔 초점 라인(2b)을 적어도 부분적으로 오버랩(overlap)하도록 빔 경로에 위치한다. 참조부호 1a는 광학 어셈블리(6) 또는 레이저를 각각 대면하는 평평한 기판의 표면을 나타내고, 참조부호 1b는 기판(1)의 반대(원격의) 표면을 나타낸다. 기판 두께(평면 1a 및 1b에, 즉 기판 평면에 수직으로 측정된)는 d로 나타냈다.

[0077] 도 6a에 나타낸 바와 같이, 기판 1(예컨대, 유리 시트 1000)은 종방향 빔 축에 거의 수직으로 정렬되어 광학 어셈블리(6; 기판이 도면의 평면에 수직인)에 의해 생성된 동일한 초점 라인(2b) 배후로 정렬된다. 빔 빔향을 따라 보았을 때, 기판은 초점 라인(2b)이 기판의 표면 1a 앞에서 시작되고 그 기판의 표면 1b 앞에서 멈추도록, 즉 초점 라인(2b)이 기판 내에서 종료되고 표면 1b를 넘어 확장하지 않도록 그 초점 라인(2b)에 대해 위치한다. 기판(1)과 레이저 빔 초점 라인(2b)의 오버랩 영역에서, 즉 초점 라인(2b)에 의해 커버된 기판 재료에서, 레이저 빔 초점 라인(2b)이 생성되며(레이저 빔 초점 라인 2b를 따라 적절한 레이저 강도를 추정, 상기 강도는 길

이 1의 섹션 상에 레이저 빔 2의 포커싱(즉, 길이 1의 라인 포커스)에 의해 보장됨), 그 레이저 빔 초점 라인은 유도된 비선형 흡수가 기관 재료에서 발생되는 섹션 2c(중방향 빔 방향을 따라 정렬된)를 규정한다. 그러한 유도 흡수는 섹션 2c를 따라 기관 재료에 결합 라인 형성을 유도한다. 그러한 결합 라인의 형성은 국소적으로 확장할 뿐만 아니라, 유도 흡수의 섹션(2c)의 전체 길이에 걸쳐 확장한다. 섹션(2c)의 길이(기관(1)과 레이저 빔 초점 라인(2b)의 오버랩핑의 길이에 대응하는)는 참조부호 L로 나타냈다. 그러한 유도 흡수의 섹션 2c(또는 결합 라인들이 형성되는 기관(1) 재료에서의 섹션)의 평균 직경 또는 평균 치수(범위(예컨대, 길이 또는 다른 상대적인 선형 치수))는 참조부호 D로 나타냈다. 그러한 평균 치수(D)는 기본적으로 레이저 빔 초점 라인(2b)의 평균 직경(δ), 즉 약 0.1μ 와 약 5μ 사이 범위의 평균 스폿 직경에 대응한다.

[0078] 도 6a에 나타낸 바와 같이, 기관 재료(레이저 빔(2)의 파장(λ)에 투명한)는 그러한 초점 라인(2b)을 따라 유도 흡수에 의해 국소적으로 가열된다. 이러한 파장은 예컨대 1064, 532, 355 또는 266 nm(nanometer)가 될 것이다. 그러한 유도 흡수는 초점 라인(2b) 내에 높은 강도의 레이저 빔과 연관된 비선형 효과(예컨대, 2-광자 흡수, 다광자 흡수)로부터 야기된다. 도 6b는 대응적으로 유도된 응력이 결합 라인 형성을 이끌도록 궁극적으로 그러한 가열된 기관 재료가 확장하는 것을 나타내며, 상기 응력은 표면(1a)에서 최고가 되고, 필요한 경우 원하는 양의 마이크로-크랙이 분리를 위해 필요하다.

[0079] 초점 라인(2b)을 생성하기 위해 적용될 수 있는 대표적인 광학 어셈블리(6)들 뿐만 아니라, 이들 어셈블리가 적용될 수 있는 대표적인 광학 구성이 이하 기술된다. 모든 어셈블리 또는 구성들은 기능이 같은 동일한 요소 또는 형태들에 동일한 참조부호가 사용되도록 상기 설명을 기초로 한다. 따라서, 이하 차이만을 기술한다.

[0080] 천공 또는 분리가 일어나는 분리된 부품 표면의 높은 품질(깨짐 강도, 정밀한 형태, 거칠기 및 재가공 요건의 회피)을 보장하기 위해, 천공, 분리 또는 이탈의 라인(결손 라인)을 따라 기관 표면 상에 위치된 개별 초점 라인들은 이하 기술된 광학 어셈블리를 이용하여 생성될 것이다(이후, 그 광학 어셈블리는 선택적으로 레이저 옵틱(optic)이라고도 부른다). 분리의 경우, 분리된 표면(또는 절단 에지)의 거칠기는 초기에 초점 라인의 스폿 크기 또는 스폿 직경으로부터 결정된다. 절단(분리된) 표면의 거칠기가 특정될 수 있다. 예컨대, ASME B46.1 표준에 의해 규정된 Ra 표면 거칠기로 특정된다. ASME B46.1에 기술한 바와 같이, Ra는 평가 길이 내에 기록된 평균 라인으로부터 표면 프로파일 높이 편차의 절대값의 산술적 평균이다. 대안의 용어에 있어, Ra는 평균에 대한 표면의 개별 형태(피크 및 밸리)의 세트의 절대 높이 편차의 평균이다.

[0081] 예컨대 기관(1)의 재료와 상호작용하는 레이저(3)의 주어진 파장(λ)에 대한 0.5μ 내지 2μ 의 작은 스폿 크기를 달성하기 위해, 통상 소정의 요건은 레이저 옵틱(6)들의 개구수로 주어져야 한다. 이들 요건은 이하 기술된 레이저 옵틱(6)들에 의해 충족된다. 요구된 개구수를 달성하기 위해, 한편으로, 그러한 옵틱들은 공지된 아베(Abbe) 공식($N.A. = n \sin(\theta)$, n : 처리될 재료 또는 작업편의 굴절률, θ : $1/2$ 의 개구 각도; 및 $\theta = \arctan(D_L/2f)$; D_L : 개구 직경, f : 초점 길이)에 따라, 주어진 초점 길이에 대한 원하는 개구를 배치해야 한다. 다른 한편으로, 레이저 빔은 레이저와 포커싱 옵틱들간 확장형 텔레스코프(telescope)를 이용하여 확장되는 빔에 의해 통상 달성되는 요구된 개구까지 옵틱을 조명해야 한다.

[0082] 스폿 크기는 초점 라인을 따라 균일한 상호작용의 목적을 위해 심하게 변하지 않을 것이다. 이는 예컨대 빔 개방 및 이에 따른 개구수의 퍼센테이지만이 약간 변하도록 작은 원형의 영역에만 포커싱 옵틱을 조명함으로써 보장될 수 있다(이하의 실시예 참조).

[0083] 도 7a(레이저 방사선(2)의 레이저 빔 군에서 중심 빔의 레벨로 기관 평면에 수직인 섹션; 여기서 레이저 빔(2)은 기관 평면(광학 어셈블리로 들어가기 전)에 수직으로 입사되는데, 즉 입사각(θ)은 초점 라인(2b) 또는 유도 흡수의 섹션(2c)이 기관 법선에 평행하도록 0° 임)에 따르면, 레이저(3)에 의해 방출된 레이저 방사선(2a)은 제일먼저 사용된 레이저 방사선에 완전히 불투명한 원형의 개구(8; aperture) 상으로 지향된다. 그 개구(8)는 중방향 빔 축에 수직으로 지향되고 나타낸 빔 군(2a)의 중심 빔에 중심을 둔다. 그러한 개구(8)의 직경은 중심 빔(여기서 2aZ로 나타낸) 또는 빔 군(2a)의 중심 근처의 빔 군들이 개구를 히팅(hitting)하도록 선택되고 그에 의해 완전히 흡수된다. 빔 군(2a)의 바깥 둘레 경계 범위의 빔(가장자리 방사선, 여기서 2aR로 나타낸)들만이 빔 직경과 비교하여 감소된 개구 크기로 인해 흡수되지 않지만, 개구(8) 측면으로 통과하여, 본 실시예에서 구형으로 절단된 양면 볼록 렌즈(7)로 나타낸 바와 같은 상기 광학 어셈블리(6)의 포커싱 옵틱 요소의 가장자리 영역을 히팅한다.

[0084] 도 7a에 나타낸 바와 같이, 그러한 레이저 빔 초점 라인(2b)은 레이저 빔에 대한 단지 하나의 초점이 아니라, 오히려 레이저 빔의 각기 다른 방사선들에 대한 일련의 초점들이다. 그러한 일련의 초점들은 레이저 빔 초점 라인(2b)의 길이와 같이 도 7a에 나타낸 규정된 길이의 가늘고 긴 초점 라인을 형성한다. 렌즈(7)는 중심 빔

에 중심을 두고, 공통의 구형으로 절단된 렌즈 형태로 비교정(non-corrected)의 양면 볼록 포커싱 렌즈로 디자인된다. 그와 같은 렌즈의 구면 수차는 장점이 될 것이다. 대안으로서, 이상적인 초점을 형성하는 것이 아니라 규정된 길이의 뚜렷한 가늘고 긴 초점 라인을 형성하는 이상적으로 교정된 시스템들로부터 편향되는 비구면 또는 멀티 렌즈가 사용될 수도 있다(즉, 단일의 초점을 갖지 않는 렌즈 또는 시스템들). 따라서 초점 라인(2b)에 따른 렌즈 포커싱의 영역들은 렌즈 중심으로부터 떨어진다. 빔 방향을 가로지르는 개구(8)의 직경은 빔 군의 직경의 약 90%이고(피크 강도의 $1/e^2$ 으로 감소시키기 위한 빔의 강도에 요구된 거리에 의해 규정된), 광학 어셈블리(6)의 렌즈(7) 직경의 약 75%이다. 따라서 중심의 빔 군을 차단함으로써 생성된 비-수차-교정 구면 렌즈(7)의 초점 라인(2b)이 사용된다. 도 7a는 중심 빔에 걸친 한 평면에서의 섹션을 나타내고, 완전한 3차원 군은 나타난 빔들이 초점 라인(2b) 주위를 회전할 때 볼 수 있다.

[0085] 도 7a에 나타난 렌즈(7) 및 시스템에 의해 형성된 초점 라인 타입의 하나의 잠재적인 단점은 조건들(스폿 크기, 레이저 강도)이 초점 라인을 따라(그리고 이에 따라 재료에서의 원하는 깊이를 따라) 변하고, 이에 따라 원하는 타입의 상호작용(용융, 유도 흡수, 크랙 형성까지 열적-플라스틱 변형 없는)이 초점 라인의 선택된 부분에서만 일어날 수 있다는 것이다. 이는 결국 입사 레이저 광의 일부만이 원하는 방식으로 기관 재료(예컨대, 유리 시트 1000)에 의해 흡수된다는 것을 의미한다. 이렇게 하여, 공정의 효율성(요구된 분리 속도를 위한 요구된 평균 레이저 파워)이 저해되고, 또 레이저 광이 원하지 않는 영역(예컨대, 기관 유지 고착물(fixture) 또는 기관에 부착되는 부품 또는 층들)으로 전달되어 원하지 않는 형태(예컨대, 가열, 확산 흡수, 원하지 않는 변경)로 그들과 상호작용할 것이다.

[0086] 도 7b의 (B-1~4)는 레이저 빔 초점 라인(2b)의 위치가 기관(1)에 대해 광학 어셈블리(6)를 적절하게 위치맞추고 그리고/또 정렬할 뿐만 아니라 광학 어셈블리(6)의 파라미터를 적절하게 선택함으로써 제어될 수 있는 것을 나타낸다(도 7a의 광학 어셈블리 뿐만 아니라 소정의 다른 적용가능한 광학 어셈블리(6)). 도 7b의 (B-1)에 나타난 바와 같이, 초점 라인(2b)의 길이(1)는 기관 두께 d(여기서 인자 2에 의한)를 초과하는 형태로 조절될 수 있다. 만약 기관(1; 예컨대, 유리 시트 1000)이 초점 라인(2b) 중심에 배치(종방향 빔 방향으로 본)되면, 유도 흡수의 섹션(2c)은 전체 기관 두께에 걸쳐 생성된다. 레이저 빔 초점 라인(2b)은 예컨대 약 0.01 mm와 약 100 mm 사이의 범위, 약 0.1 mm와 약 10 mm 사이의 범위, 또는 약 0.1 mm와 1 mm 사이의 범위에서의 길이(1)를 가질 수 있다. 다양한 실시예들은 예컨대 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.

[0087] 도 7b의 (B-2)에 나타난 경우에 있어서, 대략 기관 두께(d)에 대응하는 길이(1)의 초점 라인(2b)이 생성된다. 라인(2b)이 기관 바깥쪽 지점에서 시작하는 형태로 기관(1)이 라인(2b)에 대해 위치되므로, 유도 흡수의 섹션(2c)의 길이(L; 여기서 기관 표면에서 규정된 기관 깊이로 확장하나, 반대(원격의) 표면(1b)까지는 아닌)는 초점 라인(2b)의 길이(1)보다 작다. 도 7b의 (B-3)은 라인(2b)의 길이(1)가 기관(1)의 유도 흡수의 섹션(2c)의 길이(L)보다 크도록 기관(1)이 초점 라인(2b)의 시작점 상에 위치되는 경우를 나타낸다(빔 방향에 수직인 방향을 따라 본). 따라서 그러한 초점 라인은 기관 내에서 시작되어 반대 표면(1b)을 넘어 확장된다. 도 7b의 (B-4)는, 입사 방향으로 본 초점 라인에 대한 기관의 중심 위치맞춤의 경우, 그러한 초점 라인이 기관 내의 표면(1a) 근처에서 시작되어 기관 내의 표면(1b) 근처에서 종료되도록 기관 두께(d)보다 초점 라인 길이(1)가 작은 것을 나타낸다(예컨대, $1 = 0.75 \cdot d$).

[0088] 특히, 유도 흡수의 섹션(2c)이 기관의 적어도 한 표면에서 시작되도록, 표면(1a, 1b)들의 적어도 하나가 초점 라인에 의해 커버되는 형태로 초점 라인(2b)을 위치시키는데 효과적이다. 이렇게 하여, 표면에서의 박리, 페더링(feathering) 및 미립자를 피하면서 사실상 이상적인 절단을 달성할 수 있다.

[0089] 도 8은 또 다른 적용가능한 광학 어셈블리(6)를 나타낸다. 그 기본 구성은 도 7a에 나타난 것을 따르며, 이하 차이점만을 기술한다. 그러한 나타난 광학 어셈블리는 규정된 길이(1)의 초점 라인이 형성되는 방식으로 성형된 초점 라인(2b)을 생성하기 위해 비구면 자유면을 갖는 옅턱의 사용에 기초한다. 이러한 목적을 위해, 비구면이 광학 어셈블리(6)의 옅턱 요소로 사용될 수 있다. 도 8에서, 예컨대 종종 액시콘이라고도 부르는 소위 원뿔형 프리즘이 사용된다. 액시콘은 광학 축을 따라 라인 상에 스폿 소스를 형성하는(또는 레이저 빔을 링으로 변환하는) 원뿔형으로 절단된 렌즈이다. 그와 같은 액시콘의 배치는 통상의 기술자에게 공지되어 있다(예로서 원뿔각은 10° 이다). 여기서 참조부호 9로 나타난 액시콘의 정점은 입사 방향 쪽으로 지향되고 빔 중심에 중심이 위치한다. 액시콘(9)에 의해 생성된 초점 라인(2b)은 그 내부에서 시작되므로, 기관(1; 여기서 메인 빔 축에 수직으로 정렬된)은 액시콘(9) 바로 뒤 빔 경로에 위치될 수 있다. 도 8에 나타난 바와 같이, 초점 라인(2b)의 범위 내에 유지하면서, 액시콘의 광학 특성에 의해 빔 방향을 따라 기관(1)을 이동시킬 수도 있

다. 따라서, 기관(1) 재료에서의 유도 흡수의 섹션(2c)은 전체 기관 깊이(d)에 걸쳐 확장한다.

[0090] 그러나, 그러한 나타난 배치는 다음의 제한이 따른다. 액시콘(9)에 의해 형성된 초점 라인(2b)의 영역이 액시콘(9) 내에서 시작되므로, 레이저 에너지의 상단 부분이, 액시콘(9)과 기관 재료 또는 작업편간 분리된 상황에서, 그 재료 내에 위치한 초점 라인(2b)의 유도 흡수의 섹션(2c)으로 포커스되지 않는다. 더욱이, 초점 라인(2b)의 길이(1)는 액시콘(9)의 원뿔각 및 굴절률에 따른 빔 직경과 관련된다. 이는 비교적 얇은 재료(수 mm)의 경우, 그 총 초점 라인이 기관 두께보다 훨씬 더 길며, 이는 많은 레이저 에너지가 재료에 포커스되지 않는 결과를 야기한다.

[0091] 이러한 이유 때문에, 액시콘 및 포커싱 렌즈 모두를 포함하는 광학 어셈블리(6)를 사용하는 것이 바람직할 것이다. 도 9a는 레이저 빔 초점 라인(2b)을 형성하도록 디자인된 비구면 자유면을 갖는 제1광학 요소가 레이저 빔(3) 경로에 위치한 그와 같은 광학 어셈블리(6)를 나타낸다. 도 9a에 나타난 경우에 있어서, 이러한 제1광학 요소는 5°의 원뿔각을 갖는 액시콘(10)이며, 빔 방향에 수직으로 위치되고 레이저 빔(3)이 중심에 위치한다. 상기 액시콘의 정점은 빔 방향 쪽으로 지향된다. 제2의 포커싱 광학 요소, 여기서 평면-볼록 렌즈(11; 굴곡이 액시콘 쪽으로 지향된)는 상기 액시콘(10)으로부터 거리 Z1에 빔 방향으로 위치한다. 이 경우 약 300 mm인 거리(Z1)는 액시콘(10)에 의해 형성된 레이저 방사선이 렌즈(11)의 바깥쪽 방사선부로 원형으로 입사하도록 선택된다. 렌즈(11)는, 이 경우 1.5 mm의 규정된 길이의 초점 라인(2b) 상에, 이 경우 렌즈(11)로부터 약 20 mm인 거리(Z2)의 출력측에 원형의 방사선을 포커스한다. 본 실시예에서 렌즈(11)의 효과적인 초점 길이는 25 mm이다. 액시콘(10)에 의한 레이저 빔의 원형의 변환은 참조부호 SR로 나타냈다.

[0092] 도 9b는 상세한 도 9a에 따른 기관(1) 재료에서의 유도 흡수의 섹션(2c) 또는 초점 라인(2b)의 형성을 나타낸다. 양 요소(10, 11)들의 광학 특성 뿐만 아니라 그들의 위치맞춤은 빔 방향에서의 초점 라인(2b)의 길이(1)가 기관(12)의 두께(d)와 정확하게 동일해지는 형태로 선택된다. 따라서, 빔 방향에 따른 기관(1)의 정확한 위치맞춤은, 도 9b에 나타난 바와 같이, 기관(1)의 2개의 표면 1a와 1b 사이에 정확하게 초점 라인(2b)을 위치시키기 위해 필요하다.

[0093] 따라서, 이는 만약 초점 라인이 레이저 옵틱으로부터 소정 거리에 형성되면, 그리고 레이저 방사선의 큰 부분이 그 초점 라인의 원하는 말단까지 포커스될 경우 효과적이다. 기술한 바와 같이, 이것은, 한편으로는 요구된 개구수 및 이에 따른 요구된 스폿 크기를 실현하기 위해 제공되지만, 다른 한편으로는 기본적인 원형의 스폿으로서, 그러한 스폿의 중심에서 매우 짧은 거리에 걸쳐 요구된 초점 라인(2b)이 형성된 후 원형의 확산이 강도를 감소시키는 특정 바깥쪽 방사선 영역에 걸쳐 원형으로(환형으로)만 최초 포커싱 요소(11; 렌즈)를 조명함으로써 달성될 수 있다. 이렇게 하여, 그러한 결합 라인 형성은 요구된 기관 깊이로 짧은 거리 내에서 멈춘다. 액시콘(10) 및 포커싱 렌즈(11)의 조합은 이러한 요건을 충족시킨다. 액시콘은 2개의 다른 방식으로 작용한다. 즉, 그러한 액시콘(10)으로 인해, 통상 둥근 레이저 스폿은 링 형태로 포커싱 렌즈(11)로 보내지고, 액시콘(10)의 비구면성은 초점 라인이 초점 평면의 초점 대신 렌즈의 초점 평면 넘어 형성되는 효과를 갖는다. 초점 라인(2b)의 길이(1)는 액시콘 상에 빔 직경을 통해 조절될 수 있다. 한편으로, 그러한 초점 라인에 따른 개구수는 거리 Z1(액시콘-렌즈 분리)을 통해 그리고 액시콘의 원뿔각을 통해 달성될 수 있다. 이렇게 하여, 그러한 전체 레이저 에너지는 그 초점 라인으로 집중될 수 있다.

[0094] 결합 라인 형성을 기관의 후면측으로 계속하기를 의도한 경우, 그러한 원형(환형)은, 여전히 (1) 대부분의 레이저 광이 초점 라인의 요구된 길이에 집중되어 유지된다는 의미에서 최적으로 사용되며, (2) 또 다른 광학 함수에 의해 설정된 원하는 수차와 관련된 원형으로 조명된 영역으로 인해, 초점 라인을 따라 균일한 스폿 크기를 달성하고, 따라서 초점 라인을 따라 기관으로부터 부품의 균일한 분리를 달성하는 장점을 갖는다.

[0095] 도 9a에 나타난 평면-볼록 렌즈 대신, 포커싱 메니스커스(meniscus) 렌즈 또는 또 다른 보다 높은 교정된 포커싱 렌즈(비구면, 멀티 렌즈 시스템)를 사용할 수도 있다.

[0096] 도 9a에 나타난 액시콘 및 렌즈의 조합을 이용하여 매우 짧은 초점 라인(2b)을 생성하기 위해서는, 액시콘 상에 입사하는 레이저 빔의 매우 작은 빔 직경을 선택해야 한다. 이는 액시콘의 정점 상에 빔의 집중은 매우 정확해야 하는데, 이는 레이저의 방향 변경(빔 흐름의 안정성)에 매우 민감하다는 실질적인 단점을 갖는다. 더욱이, 타이트(tight)하게 시준된 레이저 빔은 심하게 발산되는데, 즉 광 편향으로 인해 빔 군이 짧은 거리 동안 회피해진다.

[0097] 도 10에 나타난 바와 같이, 광학 어셈블리(6)에 또 다른 렌즈인 시준 렌즈(12)를 포함함으로써 그러한 영향들을 피할 수 있다. 그러한 추가의 정렌즈(12; positive lens)는 매우 타이트하게 포커싱 렌즈(11)의 원형 조명을

조절하기 위해 제공된다. 시준 렌즈(12)의 초점 길이(f')는 원하는 원형의 직경(dr)이 액시콘부터 시준 렌즈까지의 거리($Z1a$)에 의해 기인되는 것과 같은 방식으로 선택되며, 그 거리는 f' 와 동일하다. 링의 원하는 폭(br)은 거리($Z1b$; 시준 렌즈(12)에서 포커싱 렌즈(11)까지)를 통해 조절될 수 있다. 단순한 형태의 물체로서, 원형 조명의 그러한 작은 폭은 짧은 초점 라인을 이끈다. 최소는 거리(f')에서 달성될 수 있다.

[0098] 따라서, 도 10에 나타난 광학 어셈블리(6)는 도 9a에 나타난 것을 기초로 하며, 이하 차이점만을 이하 기술한다. 여기서 평면-볼록 렌즈(빔 방향 쪽으로 굴곡이 있는)로도 디자인된 시준 렌즈(12)가 추가로 한쪽 상의 액시콘(10; 빔 방향 쪽으로 정점을 갖는)과 다른쪽 상의 평면-볼록 렌즈(11) 사이의 빔 경로에 중심 배치된다. 액시콘(10)에서 시준 렌즈(12)까지의 거리는 $Z1a$ 로 나타냈고, 시준 렌즈(12)에서 포커싱 렌즈(11)까지의 거리는 $Z1b$ 로 나타냈으며, 포커싱 렌즈(11)에서 초점 라인(2b)까지의 거리는 $Z2$ 로 나타냈다(항상 빔 방향으로 본). 도 10에 나타난 바와 같이, 분기적으로 입사하고 시준 렌즈(12)의 원형 직경(dr) 이하의 액시콘(10)에 의해 형성된 원형의 방사선(SR)은 포커싱 렌즈(11)에서의 적어도 거의 일정한 원형 직경(dr)에 대한 거리($Z1b$)를 따라 요구된 원형 폭(br)으로 조절된다. 그러한 나타난 경우에 있어서, 매우 짧은 초점 라인(2b)은 렌즈(12)의 포커싱 특성으로 인해 렌즈(12)에서의 약 4 mm의 원형 폭(br)이 렌즈(11)에서 약 0.5 mm로 감소되도록 생성되어야 한다(예에서 원형 직경 dr 은 22 mm이다).

[0099] 그러한 나타난 예에서, 2 mm의 통상의 레이저 빔 직경, 초점 길이 $f = 25$ mm를 갖는 포커싱 렌즈(11), 초점 길이 $f' = 150$ mm를 갖는 시준 렌즈, 및 선택의 거리 $Z1a = Z1b = 140$ mm 및 $Z2 = 15$ mm를 이용하여 0.5 mm보다 작은 초점 라인(1)의 길이를 달성할 수 있다.

[0100] 도 11의 (A)-(C)는 각기 다른 레이저 강도 체계에서 레이저-물체의 상호작용을 나타낸다. 도 11의 (A)에 나타난 첫번째의 경우, 비포커스 레이저 빔(710)은 어떠한 변경도 유도하지 않고 투명 기관(720)을 통하여 지나간다. 이러한 특정한 경우, 레이저 에너지 밀도(또는 빔에 의해 조명된 단위면적당 레이저 에너지)는 비선형 효과를 유도하는데 필요한 임계치 이하이기 때문에 그러한 비선형 효과가 나타나지 않는다. 에너지 밀도가 높을 수록, 전자기장의 세기도 높아진다. 따라서, 도 11의 (B)에 나타난 바와 같이, 레이저 빔이 보다 작은 스폿 크기로 구면 렌즈(730)에 의해 포커스될 때, 조명 영역은 감소하고 에너지 밀도는 증가하여, 조건이 만족되는 볼륨에서만 결손 라인의 형성을 허용하도록 재료를 변경하는 비선형 효과를 유발한다. 이렇게 하여, 만약 그 포커스된 레이저의 빔 웨이스트(waist)가 기관의 표면 상에 위치되면, 그 표면의 변경이 발생한다. 반대로, 그 포커스된 레이저의 빔 웨이스트가 기관의 표면 아래에 위치되면, 에너지 밀도가 비선형 광학 효과의 임계치 이하일 때 그 표면에서 아무일도 일어나지 않는다. 그러나, 기관(720)의 대부분에 위치한 포커스(740)에서, 레이저 강도는 다광자 비선형 효과를 야기하기에 충분히 높고, 이에 따라 재료에 손상을 야기한다.

[0101] 마지막으로, 도 11의 (C)에 나타난 바와 같은 액시콘의 경우, 액시콘 렌즈(750), 또는 대안으로 프레즈넬 액시콘의 회절 패턴은 베셀형(Bessel-shaped) 강도 분포(높은 강도의 원통형 760)를 생성하고 그러한 볼륨에서만 재료(720)에 대한 비선형 흡수 및 변경을 생성하기에 충분한 높이의 강도이다. 베셀형 강도 분포가 재료에 대한 비선형 흡수 및 변경을 생성하기에 충분히 높은 원통형(760)의 직경 또한 앞서 본원에 기술한 바와 같이 레이저 빔 초점 라인의 스폿 직경이다. 베셀 빔의 스폿 직경(D)은 $D = (2.4048\lambda)/(2\pi B)$ 로 표현될 수 있으며, 여기서 λ 는 레이저 빔 파장이고, B 는 액시콘 각도의 함수이다. 산출된 또는 측정된 스폿 직경은 평균화될 수 있으며, 본원에 기술된 실시예에서의 평균 스폿 직경은 예컨대 약 0.1 μ 와 약 5 μ 사이의 범위가 될 수 있다.

[0102] 레이저 및 광학 시스템:

[0103] 대표적인 예로서 3D 성형된 Gorilla[®] 유리 부품 또는 다른 작업편으로부터 부품들을 절단 및 추출하는 목적을 위해, 일 실시예는 Gorilla[®] 유리 기관에 손상의 라인들(본원에서 결함 라인들, 손상 트랙들, 또는 결손 라인들이라고도 부르는)을 생성하기 위해 1064 nm 피코초 펄스 레이저를 이용한다.

[0104] 본원에 기술된 선택된 실시예들에 따른 도 12a 및 12b에 나타난 바와 같이, 피코초 레이저는 종종 "펄스 버스트"라고도 부르는 펄스(500A)들의 "버스트"(500)를 생성한다. 버스팅(bursting)은 펄스의 방출이 일정하면서 안정된 흐름에 있지 않고 오히려 펄스 군이 조밀한 곳에서의 레이저의 동작 타입이다. 각각의 "버스트"(500)는 100 psc(예컨대, 0.1 psec, 5 psec, 10 psec, 15 psec, 18psec, 20 psec, 22 psec, 25 psec, 30 psec, 50 psec, 75 psec, 또는 그들 사이)까지 매우 짧은 지속 기간(T_d)의 다수의 펄스(500A; 2 펄스, 3 펄스, 4 펄스, 5 펄스, 10 펄스, 15 펄스, 20 펄스, 또는 그 이상)들을 포함한다. 일반적으로 그러한 펄스 지속 기간은 약 1 psec 내지 약 1000 psec의 범위, 또는 약 1 psec 내지 약 100 psec의 범위, 또는 약 2 psec 내지 약 50 psec의 범위, 또는 약 5 psec 내지 약 20 psec의 범위이다. 단일의 버스트(500) 내의 이들 개별 펄스

(500A)들은 또한 단순히 단일의 펄스 버스트 내에서 발생한다는 사실을 나타내는 "서브-펄스"라고도 칭할 수 있다. 상기 버스트 내의 각각의 레이저 펄스(500A)의 에너지 또는 강도는 그 버스트 내의 다른 펄스들의 강도와 동일하지 않으며, 버스트(500) 내의 다수의 펄스의 강도 분포는 레이저 디자인에 의해 결정된 시간에 따른 잠재적인 감쇠를 따를 것이다. 바람직하게, 본원에 기술된 예시의 실시예들의 버스트(500) 내의 각각의 펄스(500A)는, 종종 레이저 캐비티(laser cavity) 디자인에 의해 결정된 시간에 따라, 1 nsec 내지 50 nsec의 지속 기간 T_p (예컨대, 10-50 nsec, 또는 10-40 nsec, 또는 10-30 nsec)에 의해 버스트에서 그 다음의 펄스로부터 시간에 맞춰 분리된다. 주어진 레이저에 대해, 버스트(500) 내의 각 펄스들간 시간 분리 T_p (펄스-대-펄스 분리)는 비교적 균일하다($\pm 10\%$). 예컨대, 몇몇 실시예들에서, 각각의 펄스는 대략 20 nsec에 의해 그 다음의 펄스로부터 시간에 맞춰 분리된다(50 MHz 펄스 반복 주파수). 예컨대, 약 20 nsec의 펄스-대-펄스 분리(T_p)를 생성하는 레이저의 경우, 버스트 내의 그러한 펄스-대-펄스 분리(T_p)는 약 $\pm 10\%$ 내에서 유지되거나, 약 ± 2 nsec이다. 각 "버스트"간 시간(즉, 버스트들간 시간 분리 T_b)은 훨씬 더 길어질 것이다(예컨대, $0.25 \leq T_b \leq 1000$ 마이크로초, 예컨대 1-10 마이크로초, 또는 3-8 마이크로초). 예컨대, 본원에 기술된 레이저의 예시의 몇몇 실시예에서는 약 200 kHz의 레이저 반복 비율 또는 주파수에 대해 약 5 마이크로초이다. 그러한 레이저 반복 비율은 본원에서 버스트 반복 주파수 또는 버스트 반복 비율이라고도 부르며, 어느 한 버스트에서의 제1펄스와 그 다음 버스트에서의 제1펄스간 시간으로서 규정된다. 다른 실시예들에서, 그러한 버스트 반복 주파수는 약 1 kHz와 약 4 MHz 사이의 범위, 또는 약 1 kHz와 약 2 MHz 사이의 범위, 또는 약 1 kHz와 약 650 kHz 사이의 범위, 또는 약 10 kHz와 약 650 kHz 사이의 범위이다. 각 버스트에서의 제1펄스와 그 다음 버스트에서의 제1펄스간 시간(T_b)은 0.25 마이크로초(4MHz 버스트 반복 비율) 내지 1000 마이크로초(1 kHz 버스트 반복 비율), 예컨대 0.5 마이크로초(2 MHz 버스트 반복 비율) 내지 40 마이크로초(25 kHz 버스트 반복 비율), 또는 2 마이크로초(500 kHz 버스트 반복 비율) 내지 20 마이크로초(50 kHz 버스트 반복 비율)가 될 것이다. 그러한 정확한 타이밍, 펄스 지속 기간, 및 반복 비율들은 레이저 디자인 및 사용자-제어가능 동작 파라미터들에 따라 변경될 수 있다. 높은 강도의 짧은 펄스($T_d < 20$ psec 및 바람직하게 $T_d \leq 15$ psec)는 양호한 동작을 보여준다.

[0105] 재료를 변경하기 위해 요구된 에너지는 버스트 내에 포함된 버스트 에너지와 연관지어(각 버스트(500)는 일련의 펄스(500A)들을 포함), 또는 단일의 레이저 펄스 내에 포함된 에너지와 연관지어(다수는 버스트를 포함) 기술될 수 있다. 이들 적용에 있어서, 버스트당 에너지(절단될 재료의 mm당)는 10-2500 μJ , 또는 20-1500 μJ , 또는 25-750 J, 또는 40-2500 μJ , 또는 100-1500 μJ , 또는 200-1250 μJ , 또는 250-1500 μJ , 또는 250-750 μJ 이 될 수 있다. 그러한 버스트 내의 개별 펄스의 에너지는 작을 수 있고, 그러한 정확한 개별 레이저 펄스 에너지는 도 12a 및 12b에 나타난 바와 같은 시간과 레이저 펄스의 감쇠의 비율(예컨대, 지수적 감쇠 비율) 및 버스트(500) 내의 펄스(500A)의 수에 좌우될 것이다. 예컨대, 일정한 에너지/버스트에 있어서, 만약 펄스 버스트가 10개의 개별 레이저 펄스(500A)를 포함하면, 각각의 개별 레이저 펄스(500A)는 동일한 펄스 버스트(500)가 단지 2개의 개별 레이저 펄스를 포함하는 경우보다 작은 에너지를 포함할 것이다.

[0106] 그와 같은 펄스 버스트들을 생성할 수 있는 레이저의 사용은 투명한 재료, 예컨대 유리(예컨대, 유리 시트 1000)를 절단, 천공, 또는 변경하는데 유효하다. 단일-펄스 레이저의 반복 비율에 의해 시간에 맞춰 간격된 단일의 펄스의 사용과 반대로, 버스트(500) 내에 펄스들의 빠른 시퀀스를 통해 레이저 에너지를 확산시키는 펄스 버스트 시퀀스의 사용은 단일-펄스 레이저에 의해 가능한 것보다 재료와의 높은 강도 상호작용을 보다 큰 기간까지 허용한다. 단일-펄스가 시간에 맞춰 확장될 수 있지만, 에너지의 보존은, 이것이 행해짐에 따라, 펄스 내에 강도가 펄스 폭에 따라 대략 하나 정도 저하된다는 것을 보여준다. 따라서, 만약 10 psec 단일 펄스가 10 nsec 펄스로 확장되면, 크기는 대략 3 정도 크기로 저하된다. 그와 같은 감소는 비선형 흡수가 더 이상 많지 않고 광-재료간 상호작용이 더 이상 절단을 허용할 정도로 충분히 강하지 않은 지점에 대해 광 강도를 감소시킬 수 있다. 반대로, 펄스 버스트 레이저의 경우, 버스트(500) 내에 각각의 펄스 또는 서브-펄스(500A) 중의 강도는 매우 높게 유지할 수 있는데, 예를 들어 약 10 nsec의 분리(T_p)에 의해 시간에 맞춰 간격된 펄스 지속 기간(T_d) 10 psec에 따른 3개의 펄스(500A)는 여전히 각각의 펄스 내의 강도를 단일의 10 psec 펄스의 강도보다 약 3배 더 높게 할 수 있고, 한편 레이저는 3 정도 더 큰 크기의 기간 동안 재료와 상호작용을 허용한다. 따라서 버스트 내의 다수의 펄스(500A)의 이러한 조절은 이미 존재하는 플라스마 플룸(plasma plume)과 더 크거나 작은 광의 상호작용, 초기 또는 이전 레이저 펄스에 의해 이미-여기된 원자 및 분자들과 더 크거나 작은 광-재료의 상호작용, 및 결합 라인들(천공들)의 제어된 성장을 촉진시킬 수 있는 재료 내의 더 크거나 작은 가열 효과를 촉진할 수 있는 형태로 레이저-재료간 상호작용의 기간의 조작을 허용한다. 재료를 변경하는데 요구된 버스트 에너지의 양은 기관과 상호작용하기 위해 사용된 라인 포커스의 길이 및 기관 재료 조성에 좌우될

것이다. 상호작용 영역이 길수록, 더 많은 에너지가 확산되고, 보다 높은 버스트 에너지가 요구될 것이다.

[0107] 결함 라인, 천공, 또는 구멍은 단일의 펄스 버스트가 본질적으로 유리 상의 동일한 위치를 스트라이크(strike)할 때 재료에 형성된다. 즉, 단일의 버스트 내의 다수의 레이저 펄스는 유리에 단일의 결함 라인, 천공, 또는 구멍 자리를 생성할 수 있다. 물론, 유리가 이동(예컨대 스테이지를 끊임없이 이동함으로써)하거나, 또는 빔이 유리에 대해 이동하면, 버스트 내의 개별 펄스들은 유리 상의 동일한 공간 위치에 정확하게 있을 수 없다. 그러나, 그것들은 서로 1 μm 내에 적절하게 잘 있는데, 즉 그것들은 본질적으로 동일한 위치에서 유리를 스트라이크한다. 예컨대, 간격 sp로 유리를 스트라이크하며, 여기서 서로간 $0 < \text{sp} \leq 500 \text{ nm}$ 이다. 예컨대, 유리 위치가 20 펄스의 버스트로 히팅되면, 버스트 내의 개별 펄스들은 서로 250 nm 내에서 유리를 스트라이크한다. 따라서, 몇몇 실시예들에서는 $1 \text{ nm} < \text{sp} < 250 \text{ nm}$ 이다. 몇몇 실시예들에서는 $1 \text{ nm} < \text{sp} < 100 \text{ nm}$ 이다.

[0108] 일 실시예에 있어서, 0.55 mm 두께를 갖는 코닝 유리 코드 2319 Gorilla[®] 유리 기관(1000)은 광학 시스템에 의해 생성된 초점 라인의 영역 내에 있도록 위치한다. 길이가 약 1 mm의 초점 라인, 및 200 kHz의 주파수 또는 버스트 반복 비율로 약 40 W 또는 그보다 큰 출력 파워(재료에서 측정된 약 200 마이크로줄(microJoule)/버스트)를 생성하는 피코초 레이저에 따라, 초점 라인 영역에서의 광 강도(에너지 강도)는 기관 재료에서 비선형 흡수를 생성하도록 쉽게 충분히 높아질 수 있다. 기관 내에서 손상, 박리, 증발, 그렇지 않으면 변경된 재료의 영역은 거의 높은 강도의 선형 영역을 뒤따르는 유리에 생성된다.

[0109] 구멍, 천공 또는 손상 트랙 형성:

[0110] 이들 손상 트랙은 보통 0.2 μ 내지 2 μ 의 범위, 예컨대 0.5-1.5 μ 의 내부 치수(예컨대, 직경)를 갖는 구멍 또는 천공들의 형태를 취한다. 바람직하게, 그러한 구멍 또는 천공들은 치수가 매우 작다(1 μ 또는 그보다 작음). 그러한 결함 라인, 구멍, 또는 천공들은 재료의 전체 두께를 천공하거나 하지 않으며, 그 재료의 깊이 전체에 걸쳐 연속 개구가 되거나 되지 않을 수 있다. 도 5c는 700 μ 의 두꺼운 Gorilla[®] 유리 기관(또는 유리 시트 1000)의 작업편의 전체 두께를 천공하는 그와 같은 트랙 또는 결함 라인들의 예를 나타낸다. 그러한 천공 또는 손상 트랙들은 쪼개진 에지의 측면에 걸쳐 관찰된다. 그러한 재료에 걸친 손상 트랙들은 반드시 관통 구멍일 필요는 없다. 거기에는 종종 구멍들을 막지만, 통상 예컨대 μ 정도 크기의 작은 유리의 영역들이 있다.

[0111] 결함 라인들간 측면 간격(피치)은 기관이 포커스된 레이저 빔 아래로 이동됨에 따라 그 레이저의 펄스 비율에 의해 결정된다. 보통 단일의 피코초 레이저 펄스 또는 버스트만이 전체 구멍을 형성하는데 필요하나, 필요에 따라 다수의 펄스 또는 버스트가 사용될 수 있다. 각기 다른 피치 또는 결함 라인 분리로 구멍 또는 천공들을 형성하기 위해, 레이저가 좀더 길거나 짧은 간격으로 발사하도록 작동될 수 있다.

[0112] 절단 동작 동안, 통상 그러한 레이저 작동은 빔 아래 기관의 스테이지 구동 동작에 따라 동기화되고, 이에 따라 레이저 펄스가 고정 간격으로, 예컨대 1 μ 마다, 3 μ 마다, 또는 5 μ 마다 유발된다. 절단 또는 분리에 있어서, 인접한 결함 라인들간 그러한 정확한 간격은 기관에 주어진 응력 레벨에 따라 천공된 구멍에 걸쳐 크랙 전파를 촉진하는 재료 특성들에 의해 결정된다.

[0113] 그러나, 기관을 절단하는 것과 달리, 또한 단지 재료(예컨대, 구부러지거나 또는 굽혀져야 하는 유리의 영역에 대해)를 천공만 하기 위해 동일한 방법을 사용할 수도 있다. 이러한 경우, 구멍들(또는 손상 트랙, 또는 천공들)은 좀더 큰 간격(예컨대, 7 μ 피치, 8 μ 피치, 10 μ 피치, 25 μ 피치, 30 피치, 50 피치 또는 그보다 큰 피치)으로 분리될 것이다. 사용된 유리(예컨대, 강화되지 않은 유리)에 따라, 그러한 천공들에 대한 피치는 7 μ 보다 작거나 또는 심지어 5 μ 보다 작을 수 있다.

[0114] 레이저 파워 및 렌즈 초점 길이(초점 라인 길이 및 이에 따른 파워 강도를 결정하는)는 특히 유리의 완전 관통 및 낮은 표면 및 서브-표면 손상을 보장하기 위한 중요한 파라미터들이다.

[0115] 일반적으로, 이용가능한 레이저 파워가 높을수록, 상기 공정에 따른 재료의 천공 또는 절단이 더 빠를 수 있다. 본원에 개시된 공정(들)은 0.25 m/sec, 또는 그보다 더 빠른 천공 또는 절단 속도로 유리를 천공 또는 절단할 수 있다. 천공 속도 또는 절단 속도(또는 깎아 내는 속도)는 레이저 빔이 다수의 결함 라인 또는 구멍들을 생성하면서 기관 재료(예컨대, 유리)의 표면에 대해 이동하는 속도이다. 예컨대, 350 mm/sec, 400 mm/sec, 500 mm/sec, 750 mm/sec, 1 m/sec, 1.2 m/sec, 1.5 m/sec, 또는 2 m/sec, 또는 심지어 3.4 m/sec 내지 4 m/sec와 같은 높은 속도는 종종 제조를 위한 자본 투자를 최소화하기 위해 그리고 장비 이용율을 최적화하기 위해 요구된다. 그러한 레이저 파워는 레이저의 버스트 반복 주파수(비율)를 곱한 버스트 에너지와 동일하다. 일반적

으로, 고속으로 유리 재료를 천공 또는 절단하기 위해, 그러한 결함 라인들은 통상 1-25 μm 로 떨어져 간격되는데, 몇몇 실시예들에서 그러한 간격은 바람직하게 3 μm 또는 그보다 크고, 예컨대 3-12 μm , 또는 예컨대 5-10 μm 이다.

[0116] 예컨대, 300 mm/sec의 선형 천공 또는 절단 속도를 달성하기 위해, 3 μm 구멍 피치는 적어도 100 kHz 버스트 반복 비율을 갖는 펄스 버스트 레이저에 대응한다. 600 mm/sec 천공 또는 절단 속도의 경우, 3 μm 피치는 적어도 200 kHz 버스트 반복 비율의 펄스 버스트 레이저에 대응한다. 200 kHz에서 적어도 40 μJ /버스트를 생성하고, 600 mm/s 절단 속도로 천공 및/또는 절단하는 펄스 버스트 레이저는 적어도 8 Watt의 레이저 파워를 가져야 한다. 따라서 보다 높은 천공 속도 또는 보다 높은 절단 속도는 보다 높은 레이저 파워를 필요로 한다.

[0117] 예컨대, 3 μm 피치 및 40 μJ /버스트에서의 0.4 m/sec 천공 또는 절단 속도는 적어도 5 W 레이저를 필요로 할 것이다. 유사하게, 3 μm 피치 및 40 μJ /버스트에서의 0.5 m/sec 천공 또는 절단 속도는 적어도 6 W 레이저를 필요로 할 것이다. 따라서, 바람직하게 펄스 버스트 피코초 레이저의 레이저 파워는 6 W 또는 그보다 높고, 보다 바람직하게 적어도 8 W 또는 그보다 높으며, 보다 더 바람직하게 적어도 10 W 또는 그보다 더 높다. 예컨대, 4 μm 피치(결함 라인 간격, 또는 손상 트랙 간격) 및 100 μJ /버스트로 0.4 m/sec 천공 또는 절단 속도를 달성하기 위해, 적어도 10 W 레이저를 필요로 하며, 4 μm 피치 및 100 μJ /버스트에서 0.5 m/sec 천공/절단 속도를 달성하기 위해, 적어도 12 W 레이저를 필요로 한다. 예컨대, 3 μm 피치 및 40 μJ /버스트에서 1m/sec의 천공/절단 속도를 달성하기 위해, 적어도 13 W 레이저를 필요로 한다. 또한, 예컨대 4 μm 피치 및 400 μJ /버스트에서의 1m/sec 천공/절단 속도는 적어도 100 W 레이저를 필요로 할 것이다.

[0118] 결함 라인들(손상 트랙들)간 최적의 피치 및 정확한 버스트 에너지는 재료에 좌우되고 실험적으로 결정될 수 있다. 그러나, 절단 또는 유리 분리의 경우, 레이저 펄스 에너지를 높이거나 좀더 가까운 피치로 손상 트랙들을 형성하는 것은 항상 양호한 기관 재료 분리 또는 향상된 에지 품질을 만드는 조건이 아니라는 것을 알아야 한다. 결함 라인들(손상 트랙들)간 너무 작은 피치(예컨대 $<0.1 \mu\text{m}$, 또는 몇몇 예시의 실시예들에서 $<1 \mu\text{m}$, 또는 다른 실시예들에서 $<2 \mu\text{m}$)는 때때로 가까운 다음 결함 라인들의 형성을 방해하고, 종종 천공된 윤곽선 주위의 재료의 분리를 방해할 수 있다. 또한 유리 내에 원하지 않는 미소 크랙의 증가는 피치가 너무 작을 경우 발생할 수 있다. 너무 긴 피치(예컨대, $>50 \mu\text{m}$, 및 몇몇 유리에서 $>25 \mu\text{m}$ 또는 심지어 $>20 \mu\text{m}$)는 "제어불가능한 미소 크랙"을 야기한다. 즉, 의도된 윤곽선을 따라 결함 라인에 걸쳐 전파하는 대신, 그러한 미소 크랙은 다른 경로를 따라 전파하여, 의도된 윤곽선으로부터 먼 다른(원하지 않는) 방향으로 유리를 크랙한다. 이는 궁극적으로 그러한 잔류 미소 크랙이 유리를 약화시키는 결함을 구성하므로 분리된 부품의 강도를 저하시킬 것이다. 너무 높은 결함 라인들을 형성하기 위한 버스트 에너지(예컨대, $>2500 \mu\text{J}$ /버스트, 및 몇몇 실시예들에서 $>500 \mu\text{J}$ /버스트)는 앞서 형성된 결함 라인들의 "회복" 또는 "재용융"을 야기하여, 유리의 분리를 방해할 수 있다. 따라서, 버스트 에너지가 $<2500 \mu\text{J}$ /버스트, 예컨대 $\leq 500 \mu\text{J}$ /버스트인 것이 바람직하다. 또한, 너무 높은 버스트 에너지를 사용하는 것은 극히 큰 미소 크랙의 형성을 야기하여, 분리 후 부품의 에지 강도를 감소시킬 수 있는 구조적 불완전성을 초래할 수 있다. 너무 낮은 버스트 에너지(예컨대, $<40 \mu\text{J}$ /버스트)는 유리 내에 결함 라인을 충분히 형성하지 못해, 극히 높은 분리력을 필요로 하거나 또는 천공된 윤곽선에 따른 분리를 불가능하게 할 수 있다.

[0119] 이러한 공정들에 의해 가능한 통상의 예시의 천공 속도 또는 절단 비율(속도)은 예컨대 0.25 m/sec 및 그보다 높다. 몇몇 실시예들에서, 그러한 천공 속도 또는 절단 비율은 적어도 300 mm/sec이다. 몇몇 실시예들에서, 절단 비율은 적어도 400 mm/sec, 예컨대 500 mm/sec 내지 2000 mm/sec, 또는 그보다 높다. 몇몇 실시예들에서, 피코초(ps) 레이저는 0.5 μm 와 13 μm 사이, 예컨대 0.5와 3 μm 사이의 주기로 결함 라인들을 생성하기 위해 펄스 버스트를 이용한다. 몇몇 실시예들에서, 펄스 레이저는 10 W-100 W의 레이저 파워를 갖고, 재료(예컨대, 유리 시트 1000) 및/또는 레이저 빔은 적어도 0.25 m/sec의 비율로, 예컨대 0.25 m/sec 내지 0.35 m/sec, 또는 0.4 m/sec 내지 5 m/sec의 비율로 서로에 대해 이동한다. 바람직하게, 펄스 레이저 빔의 각각의 펄스 버스트는 작업편의 mm 두께마다 버스트당 40 μJ 보다 큰 작업편(예컨대, 유리 시트 1000과 같은)에서 측정된 평균 레이저 에너지를 갖는다. 바람직하게, 펄스 레이저 빔의 각각의 펄스 버스트는 작업편의 두께마다 버스트당 2500 μJ 보다 작은, 바람직하게 작업편의 두께마다 버스트당 약 2000 μJ 보다 작은, 그리고 몇몇 실시예들에서 작업편의 두께마다 버스트당 1500 μJ 보다 작은, 예컨대 작업편의 두께마다 버스트당 500 μJ 보다 크지 않은 작업편에서 측정된 평균 레이저 에너지를 갖는다.

[0120] 훨씬 더 높은(5 내지 10배 더 높은) 볼륨의 펄스 에너지 밀도($\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$)가 알칼리 성분이 없거나 낮은 알칼리 토류 보로알루미늄노실리케이트(alkaline earth borosilicate) 유리를 천공하는데 필요하다는 것을

알아냈다. 이는 예컨대 바람직하게 버스트당 적어도 2 펄스를 갖는 펄스 버스트 레이저를 이용함으로써, 그리고 약 $0.05 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 또는 그보다 높은, 예컨대 적어도 $0.1 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$, 예컨대 $0.1\text{--}0.5 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 의 알칼리 토류 보로알루미노실리케이트 유리(알칼리가 없거나 낮은) 내에 볼륨의 에너지 강도를 제공함으로써 달성될 수 있다.

[0121] 따라서, 레이저는 버스트당 적어도 2 펄스를 갖는 펄스 버스트를 생성하는 것이 바람직하다. 예컨대, 몇몇 실시예들에 있어서, 펄스 레이저는 10 W-150 W(예컨대, 10 W-100 W)의 파워를 가지며, 버스트당 적어도 2 펄스(예컨대, 버스트당 2-25 펄스)의 펄스 버스트를 생성한다. 몇몇 실시예들에서, 그러한 펄스 레이저는 25 W-60 W의 파워를 갖고, 버스트당 적어도 2-25 펄스의 펄스 버스트를 생성하며, 레이저 버스트들에 의해 생성된 인접한 결합 라인들간 주기 또는 거리는 2-10 μm 이다. 몇몇 실시예들에 있어서, 펄스 레이저는 10 W-100 W의 파워를 갖고, 버스트당 적어도 2 펄스의 펄스 버스트를 생성하며, 작업편 및 레이저 빔은 적어도 0.25 m/sec의 비율로 서로에 대해 이동한다. 몇몇 실시예들에 있어서, 그러한 작업편 및/또는 레이저 빔은 적어도 0.4 m/sec의 비율로 서로에 대해 이동한다.

[0122] 예컨대, 0.7 mm 두께의 비이온 교환의 코닝 코드 2319 또는 코드 2320 Gorilla[®] 유리의 경우, 약 150-250 μJ /버스트의 펄스 버스트 에너지, 및 2-15 범위의 버스트 펄스 수와 함께 3-7 μm 의 피치에서 잘 수행되고, 바람직하게 3-5 μm 의 피치 및 2-5의 버스트 펄스 수(버스트당 펄스 수)에서 수행이 잘된다는 것을 관찰했다.

[0123] 1 m/sec 천공 속도(또는 절단 속도)에서, Eagle XG[®] 유리 또는 2320 Gorilla[®] 유리는 통상 15- 84 W의 레이저 파워의 이용을 필요로 하며, 종종 30-45 W이 레이저 파워이면 충분하다. 일반적으로, 다양한 유리 및 다른 투명한 재료에 걸쳐, 10 W와 100W간 레이저 파워가 0.2-1 m/sec로부터 천공 및/또는 절단 속도를 달성하기 위해 바람직하며, 많은 유리의 경우 25-60 W의 레이저 파워이면 충분하다. 0.4 m/sec 내지 5 m/sec의 천공 및/또는 절단 속도에 있어서, 레이저 파워는 10 W-150 W, 버스트 에너지는 40-750 μJ /버스트, 펄스당 2-25 버스트(절단되는 재료에 좌우), 결합 라인 분리(피치)는 3 내지 15 μm , 또는 3-10 μm 가 바람직하다. 피코초 펄스 버스트 레이저의 사용은 요구된 버스트당 펄스 수 및 높은 파워를 생성하기 때문에 이러한 절단 속도를 위해 바람직할 것이다. 따라서, 몇몇 예시의 실시예들에 따르면, 그러한 펄스 레이저는 10 W-100 W의 파워, 예컨대 25 W 내지 60 W의 파워를 생성하고, 버스트당 적어도 2-25 펄스의 펄스 버스트를 생성하며, 결합 라인들간 거리는 2-15 μm 이고, 레이저 빔 및/또는 작업편은 적어도 0.25 m/sec의 비율, 몇몇 실시예들에서 적어도 0.4 m/sec의 비율, 예컨대 0.5 m/sec 내지 5 m/sec의 비율 또는 그보다 빠른 비율로 서로에 대해 이동한다.

[0124] 본원에 기술된 몇몇 실시예들에 따른 레이저 천공, 또는 결합(구멍) 형성은 강화 또는 비강화 유리 모두에서 수행된다.

[0125] 상기 기술된 예시를 위해 사용된 레이저 조건 및 재료 천공 속도는 참조를 위해 이하 요약되었다. 예컨대, 몇몇 실시예들에서, 유리 매트릭스(glass matrix)로부터 단일화된 부품을 분리하기 위해, 릴리스 라인에 힘이 수동으로 인가된다. 그 힘은 천공 라인들(결합 라인들)에서 깨짐을 야기하고 결손 라인을 따라 크랙이 전파되어 사실상 그 유리 매트릭스로부터 그러한 형태를 분리한다.

[0126] 액시콘 렌즈에 대한 입력 빔 직경 ~2 mm

[0127] 액시콘 각도 = 10°

[0128] 초기 시준 렌즈 초점 길이 = 125 mm

[0129] 최종 대물 렌즈 초점 길이 = 40 mm

[0130] 입사 빔 수렴각 = 12.75°

[0131] 각각 트레이싱하는 200 μ 씩 변화는 0과 10 mm 사이의 포커스 세트.

[0132] 전체 파워의 75%의 레이저 파워(~30 Watt)

[0133] 레이저의 펄스 반복 비율 = 200 kHz.

[0134] 3 펄스/버스트

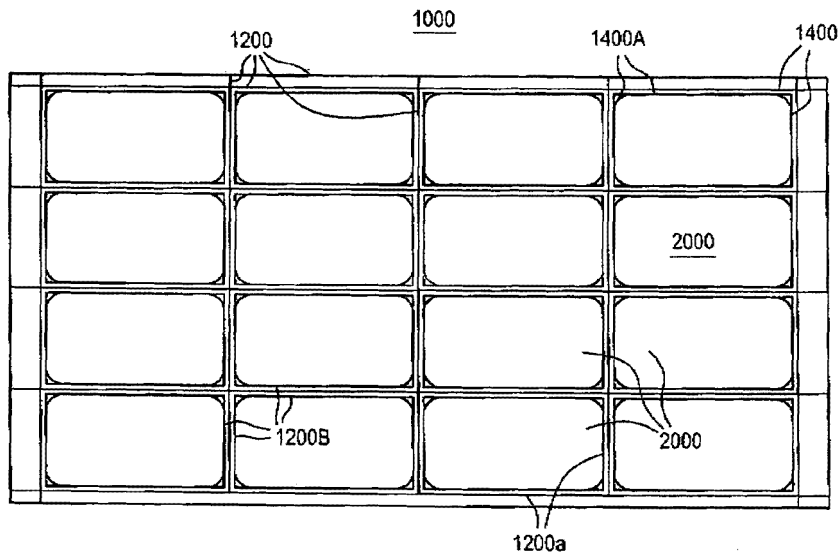
[0135] 피치 = 6 μ

[0136] 동일한 트레이스의 다수 통과

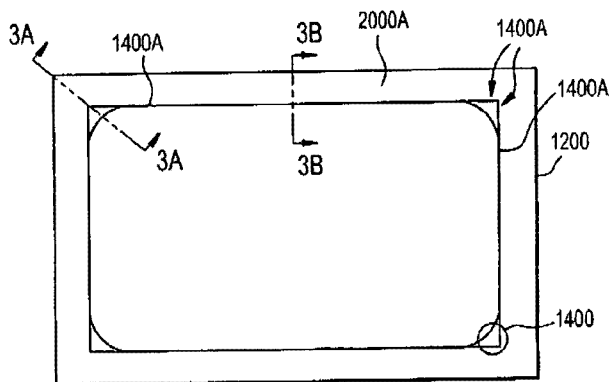
- [0137] 동작 스테이지 속도 = 12 m/min = 200 mm/s
- [0138] 상기 앞서 바로 기술한 공정에 대한 대안으로서, 부품들의 방출(부품 분리/단일화를 위해)을 돕기 위해 디포커스형 CO₂ 레이저를 이용하는 또 다른 실시예가 예시된다. 그러한 디포커스형 CO₂ 레이저는 둘러싸는 기판 매트릭스로부터 부품의 분리를 야기하기 위해 원하는 윤곽선(결손 라인)을 트레이스함에 따라 피코초 레이저를 뒤따른다. 상기 디포커스형 CO₂ 레이저에 의해 유도된 열적 응력은 결손 라인에 의해 규정된 원하는 윤곽선을 따라 부품의 분리를 야기하는 크랙을 시작 및 전파함으로써, 기판 패널로부터 성형된 부품을 방출한다. 이러한 경우, 최상의 결과는 이하의 옵틱 및 레이저 파라미터를 통해 이루어진다:
- [0139] 피코초 레이저
- [0140] 액시콘 렌즈에 대한 입력 빔 직경 ~2 mm
- [0141] 액시콘 각도 = 10°
- [0142] 초기 시준 렌즈 초점 길이 = 125 mm
- [0143] 최종 대물 렌즈 초점 길이 = 40 mm
- [0144] 입사 빔 수렴각 = 12.75°
- [0145] 각각 트레이싱하는 200 μ씩 변하는 0과 10 mm 사이의 포커스 세트.
- [0146] 전체 파워의 75%의 레이저 파워(~30 Watt)
- [0147] 레이저의 펄스 반복 비율 = 200 kHz.
- [0148] 3 펄스/버스트
- [0149] 피치 = 6 μ
- [0150] 동일한 트레이스의 다수 레이저 초점 라인 통과
- [0151] 동작 스테이지 속도 = 12 m/min = 200 mm/s
- [0152] CO₂ 레이저
- [0153] 레이저 이동 속도: 130 mm/s
- [0154] 레이저 파워 = 100%
- [0155] 펄스 지속 기간 13 마이크로초(95% 듀티 사이클)
- [0156] 레이저 변조 주파수 20 kHz
- [0157] 레이저 빔 디포커스 21 mm
- [0158] 단일 통과
- [0159] 달리 명확히 언급하지 않는 한, 본원에 규정된 소정의 방법은 그 단계들이 특정 순서로 수행되는 것을 필요로 하는 것으로 구성된다는 것을 의도하지는 않는다. 따라서, 방법 청구항이 사실상 그 단계들이 이어지는 순서를 열거하지 않거나 아니면 그 단계들이 특정 순서로 한정되는 청구항 또는 상세한 설명에 특별히 언급하지 않는 곳에서는, 소정의 특정 순서가 고려되는 것으로 의도하지는 않는다.
- [0160] 통상의 기술자라면 발명의 사상 또는 범주를 벗어나지 않고 다양한 변경 및 변형이 이루어질 수 있다는 것을 명확히 알 수 있을 것이다. 발명의 사상 및 요지를 포함하는 개시된 실시예들의 변경 조합, 서브-조합 및 변형들을 통상의 기술자들이 고려할 수 있으므로, 그러한 발명은 수반된 청구항 및 그 등가물들의 범주 내에 모두 포함하는 것으로 해석될 수 있다.

도면

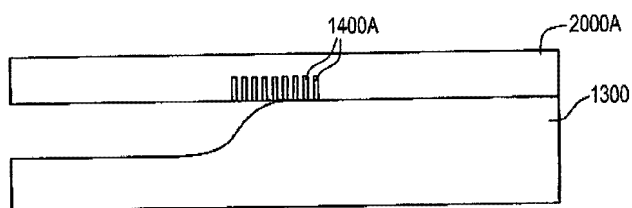
도면1



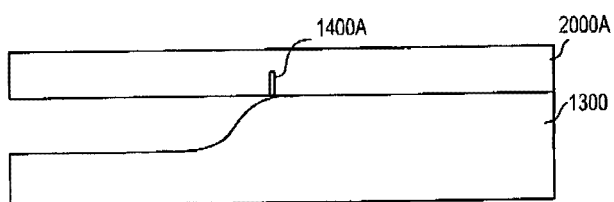
도면2



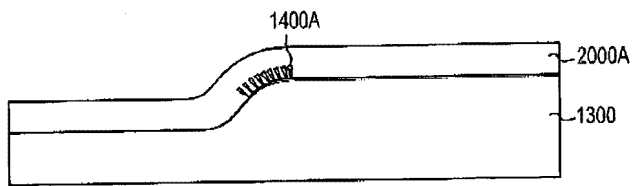
도면3a



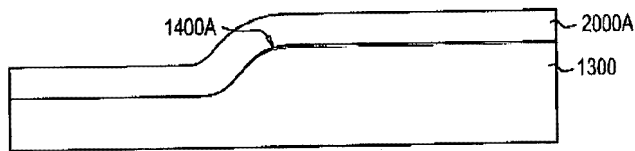
도면3b



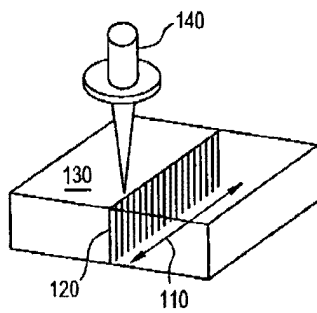
도면4a



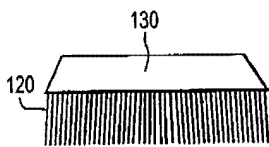
도면4b



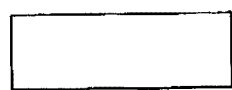
도면5a



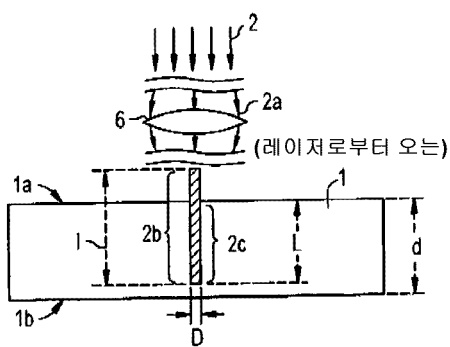
도면5b



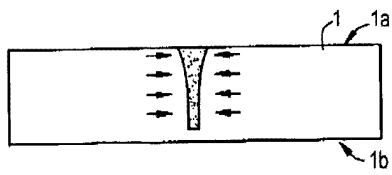
도면5c



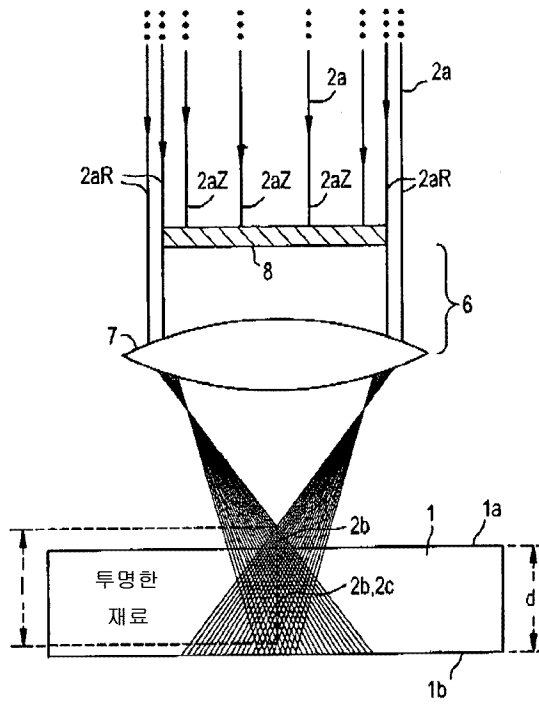
도면6a



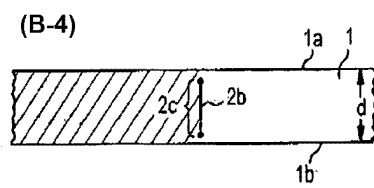
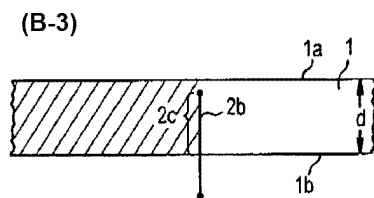
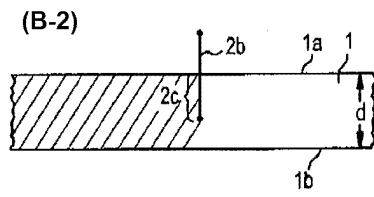
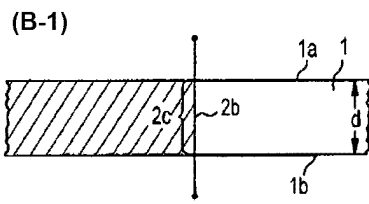
도면6b



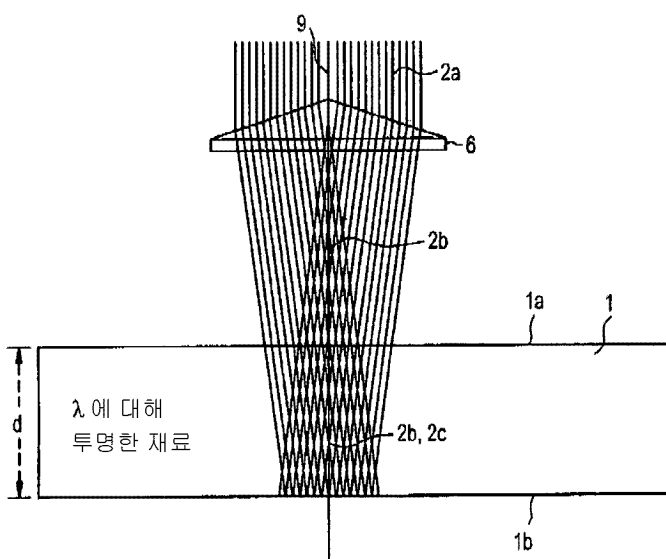
도면7a



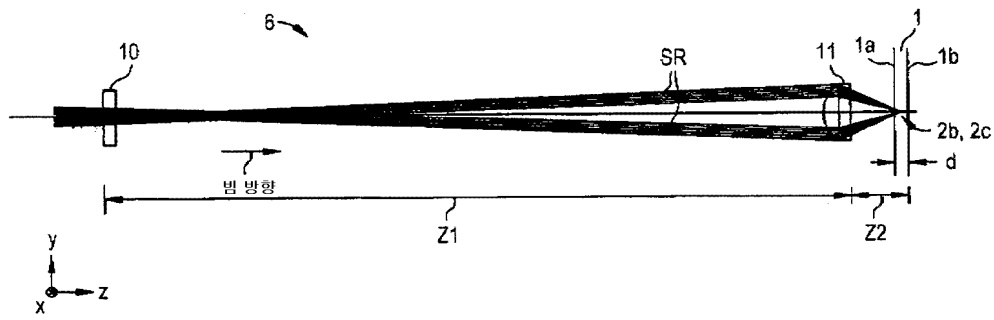
도면7b



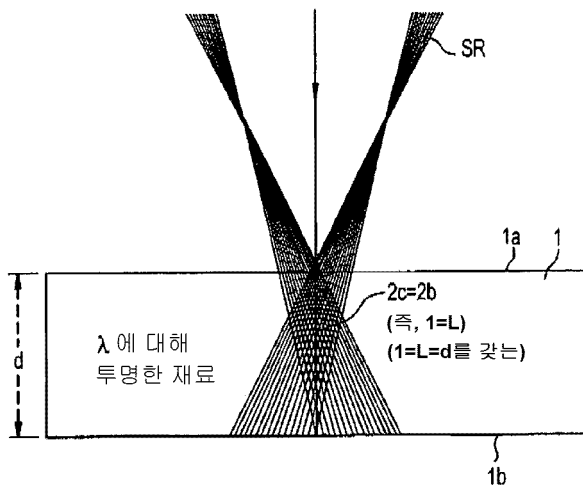
도면8



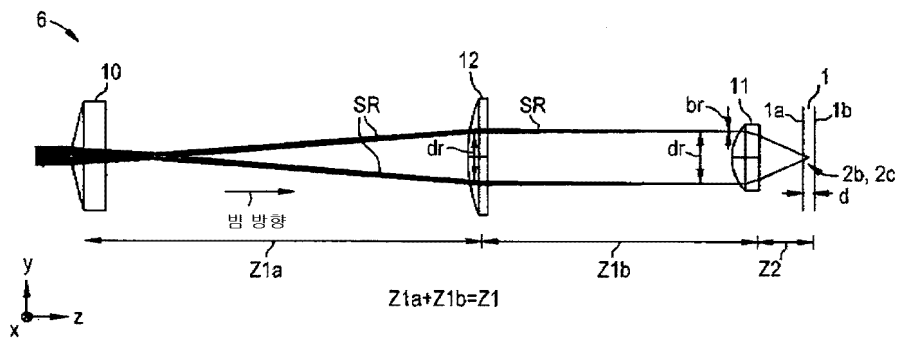
도면9a



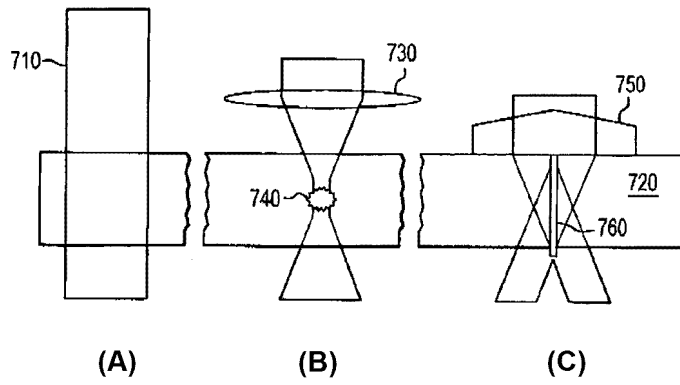
도면9b



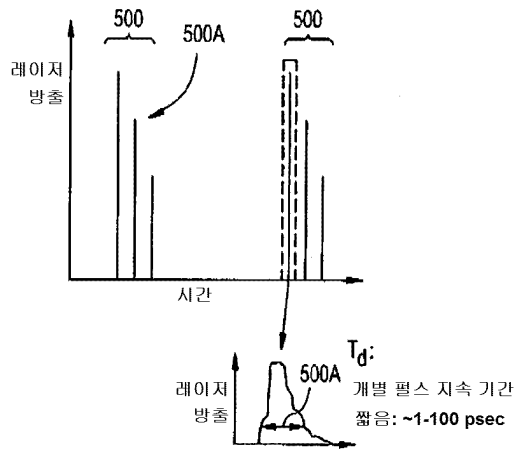
도면10



도면11



도면12a



도면12b

