



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월07일  
(11) 등록번호 10-2405144  
(24) 등록일자 2022년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03B 33/02 (2006.01) B23K 26/53 (2014.01)  
C03B 33/09 (2006.01) B23K 103/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C03B 33/0222 (2013.01)  
B23K 26/53 (2018.08)  
(21) 출원번호 10-2018-7035443  
(22) 출원일자(국제) 2017년05월04일  
심사청구일자 2020년03월18일  
(85) 번역문제출일자 2018년12월06일  
(65) 공개번호 10-2019-0004345  
(43) 공개일자 2019년01월11일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/031030  
(87) 국제공개번호 WO 2017/192835  
국제공개일자 2017년11월09일  
(30) 우선권주장  
62/332,618 2016년05월06일 미국(US)  
62/350,978 2016년06월16일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
US20150136743 A1\*  
(뒷면에 계속)  
전체 청구항 수 : 총 9 항

(73) 특허권자  
코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트  
플라자  
(72) 발명자  
보우든 브래들리 프레드릭  
미국 뉴욕 14830 코닝 제임스 스트리트 4  
귀 샤오궈  
미국 뉴욕 14870 페인티드 포스트 오버브룩 로드  
66  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
리앤목특허법인


심사관 : 이영화

(54) 발명의 명칭 투명 기관들로부터의 윤곽 형상들의 레이저 절단 및 제거

(57) 요약

얇은 기관들, 특히 유리 기관들에서 내부 윤곽 형상들을 절단하고, 분리하고, 제거하는 방법. 상기 방법은 상기 기관에 결합 라인들을 형성하기 위해 초단 펄스 레이저의 사용을 수반하며, 이는 상기 내부 윤곽에 의해 정의된 부분의 격리를 촉진하기 위해 제2 레이저 빔의 사용이 뒤따른다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

*C03B 33/04* (2013.01)

*C03B 33/091* (2013.01)

*B23K 2103/54* (2018.08)

*Y02P 40/57* (2020.08)

(72) 발명자

**하케르트 토마스**

독일 82110 게르메링 레르헨쉬트라쎄 21

**피에히 개럿 앤드류**

미국 뉴욕 14830 코닝 혼비로드 4226

**월런드 크리스토퍼 알렌**

미국 뉴욕 14870 페인티드 포스트 오버브룩 로드  
21

(56) 선행기술조사문헌

US20140027951 A1

US20150165560 A1

US20150166394 A1

US20120211923 A1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관으로부터 물품을 절단하는 방법으로서,

레이저 빔 포컬 라인으로 펄스드 레이저 빔을 포커싱하는 단계;

레이저 필라멘테이션 없이 제1 소정의 경로를 따른 제1 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계로서, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 상기 기관 내에 결함 라인을 생성하는 상기 기관 내의 유도된 흡수를 발생시키고, 상기 제1 소정의 경로는 폐경로인 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계;

상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 완전히 통해 연장되는 쪼개짐(cleave)을 형성하도록 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 결함 라인을 통해 크랙을 전파시키기 위하여 상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계로서, 이로써 상기 기관으로부터 내부 플러그를 완전히 격리시키는 상기 기관을 가열하는 단계; 및

상기 내부 플러그의 적어도 일부가 상기 기관의 연화 온도 이상인 온도로 가열되도록 상기 격리 후에 상기 내부 플러그를 가열하는 단계; 및

상기 기관으로부터 상기 플러그를 제거하기 위해 상기 가열하는 단계 후에 상기 내부 플러그가 냉각되도록 허용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 소정의 경로와 교차하지 않는 제2 소정의 경로를 따른 제2 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계를 더 포함하고,

상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제2 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 기관 내의 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따른 결함 라인을 생성하는 상기 기관 내의 유도된 흡수를 발생시키는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제2 복수의 위치들의 각각의 결함 라인을 통해 크랙을 전파시키기 위하여 상기 제2 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

#### 청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 제1 소정의 경로는 원형 경로이고, 상기 제2 소정의 경로는 상기 제1 소정의 원형 경로와 동심인 원형 경로인 것을 특징으로 하는 절단 방법.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계는 상기 제1 소정의 경로 상으로 제2 레이저 빔을 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 플러그의 가열 동안 상기 플러그는 변형되는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

**청구항 7**

청구항 1에 있어서,

상기 플러그를 가열하는 단계는 상기 플러그의 중심 영역만을 가열하는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

**청구항 8**

청구항 1에 있어서,

상기 내부 플러그는 상기 내부 플러그의 외부적인 기계적인 힘의 인가 없이 냉각 시 상기 기관으로부터 떨어지는 것을 특징으로 하는 절단 방법.

**청구항 9**

청구항 1 내지 청구항 8 중 어느 하나에 따른 상기 방법에 의해 제조된 유리 물품.

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**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

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

**청구항 38**

삭제

**청구항 39**

삭제

**청구항 40**

삭제

**청구항 41**

삭제

**청구항 42**

삭제

**청구항 43**

삭제

**청구항 44**

삭제

**청구항 45**

삭제

**청구항 46**

삭제

**청구항 47**

삭제

**청구항 48**

삭제

**청구항 49**

삭제

**청구항 50**

삭제

**청구항 51**

삭제

**청구항 52**

삭제

**청구항 53**

삭제

**청구항 54**

삭제

**청구항 55**

삭제

**청구항 56**

삭제

**청구항 57**

삭제

**청구항 58**

삭제

**청구항 59**

삭제

**청구항 60**

삭제

**청구항 61**

삭제

**청구항 62**

삭제

**청구항 63**

삭제

**청구항 64**

삭제

**청구항 65**

삭제

**청구항 66**

삭제

**청구항 67**

삭제

**청구항 68**

삭제

**청구항 69**

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 개시는 개괄적으로 투명한 기관들을 절단하기 위한 장치 및 방법들, 및 보다 구체적으로 유리 시트로부터 내부 부분들을 절단하고 제거하기 위한 장치 및 방법들에 관한 것이다.

[0002] **관련 출원의 상호 참조**

[0003] 본 출원은 2016년 6월 16일 출원된 미국 가출원 제62/350,978호 및 2016년 5월 6일 출원된 미국 가출원 제 62/332,618호의 35 U.S.C. § 119 하의 우선권의 이익을 주장하며, 그 내용은 보증되며 아래 상세히 제시되는 것처럼 그 전문이 참조에 의해 본 명세서에 결합된다.

**배경 기술**

[0004] 투명한 물질들, 예컨대 유리의 얇은 기관들로부터의 물질들의 절단은 소정의 윤곽을 따라 기관 물질을 용삭하는 포커싱된 레이저 빔들에 의해 달성될 수 있으며, 상기 윤곽에 의해 정의되는 부분이 외부 기관 조각에 더이상 붙어있지 않을 때까지 물질의 층을 차례대로 제거하기 위해 다중 통과들이 사용될 수 있다. 이러한 용삭 공정들과 관련된 문제는 물질을 층마다 제거하기 위해 상기 레이저 빔의 많은 통과들을 필요로한다는 것, 물질의 주표면들을 오염시킬 수 있는 상당한 파편들을 발생시킨다는 것, 및 표면 오염뿐만 아니라 물질의 분리된 엣지 표면들을 따라 상당한 서브 표면 손상을 발생시킬 수 있다는 것이다. 이 손상은 제거하기 위해 대규모의 그라인딩 또는 폴리싱을 요구할 수 있으며, 이는 제조 공정의 복잡성을 추가하고 제조 비용을 증가시킨다. 이러한 손상은 또한 결함이 없는 엣지들을 및 표면들을 요구하는 물질들, 예를 들어, 하드 디스크 드라이브(HDD)를 위한 유리 플래터들, 디지털 인코더들, 디스플레이 장치들, 예를 들어 디스플레이 패널들 또는 디스플레이 커버 유리 등의 제조를 위한 공정들에 특히 해로울 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 발명이 해결하려는 과제는 기술한 문제점들을 해결하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 본 명세서에 기술된 실시예들은 유리, 유리 세라믹, 세라믹, 또는 사파이어와 같은 선택된 광물들을 포함하는

얇은 투명한 기관들(예를 들어, 약 10 밀리미터 이하, 예를 들어 약 0.01 밀리미터 내지 약 10 밀리미터 범위, 약 0.05 밀리미터 내지 약 5 밀리미터 범위, 약 0.05 밀리미터 내지 약 1 밀리미터 범위, 또는 약 0.05 밀리미터 내지 약 0.7 밀리미터 범위)로부터 물품들을 절단하는 비용삭(non-ablative) 공정과 관련된다.

- [0007] 상기 절단은 상기 기관에 충분한 세기의 레이저 빔을 지향시킴으로써 가공되는 물질 내에 비선형적인 흡수를 유도하는 단계에 기초하며, 상기 기관은 더 적은 세기에서 상기 레이저 빔에 실질적으로 투명할 수 있다. 바람직하게, 상기 레이저 빔은 펄스드 레이저 빔이다. 상기 절단은 포커스 라인을 따라 손상을 생성하고, 이로써 결합 라인을 생성하는 상기 투명한 기관 내에 선형 포커스 라인을 생성하는 단계를 포함한다. 커 효과(Kerr effect)의 결과로서 자기-포커싱(self-focusing)에 의존하는 레이저 필라멘테이션 공정과 달리, 본 명세서에 기술된 실시예들에서, 상기 레이저 및 관련된 광학기들은 상기 기관의 존재에 의존하지 않는 라인 포커스를 생성한다. 본 개시에 따른 방법들은, 레이저 필라멘테이션 없이, 바람직하게 상기 기관의 전체 두께를 통해, 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 상기 기관 내에 결합을 생성하는 상기 라인 포커스를 따라 상기 기관 내에 유도된 흡수를 발생시킨다. 결과적인 결합은 포켓들 또는 보이드들을 함유할 수 있으나, 전형적으로는 상기 기관의 전체 두께를 통해 가로막는 것 없이 연장되는 쓰루 홀은 아니다.
- [0008] 따라서, 기관으로부터 물품을 절단하는 방법이 개시되며, 상기 방법은 상기 기관의 주표면에 실질적으로 수직하게 연장되는 레이저 빔 포컬 라인으로 펄스드 레이저 빔을 포커싱하는 단계; 제1 소정의 경로를 따라 제1 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계; 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 결합 라인을 통해 크랙을 전파시켜 상기 기관으로부터 내부 플러그를 격리시키기 위해 상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계; 및 상기 기관으로부터 상기 플러그를 제거하기 위해 상기 격리시키는 단계 후에 상기 내부 플러그를 가열하는 단계를 포함하며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 상기 기관 내에 결합 라인을 생성하는 상기 기관 내에 유도된 흡수를 발생시키고, 상기 제1 소정의 경로는 폐경로이다. 상기 기관은 상기 펄스드 레이저 빔의 파장에서 투명하다. 상기 제1 소정의 경로는, 예를 들어, 원형 경로일 수 있다. 상기 기관은 유리, 유리 세라믹, 세라믹 또는 사파이어를 포함할 수 있다.
- [0009] 일부 실시예들에서, 상기 결합 라인은 상기 기관의 전체 두께를 통해 연장된다.
- [0010] 일부 실시예들에서, 복수의 기관들은 스택된 예를 들어 두 기관, 세 기관들, 또는 그 이상의 기관들일 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장되고, 이로써 상기 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장되는 결합 라인을 형성한다.
- [0011] 상기 방법은 상기 제1 소정의 경로와 교차하지 않는 제2 소정의 경로를 따라 제2 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계를 더 포함할 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제2 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 기관 내의 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 결합 라인을 생성하는 상기 기관 내의 유도된 흡수를 발생시킨다.
- [0012] 상기 방법은 상기 제2 복수의 위치들의 각각의 결합 라인을 통해 크랙을 전파시키기 위해 상기 제2 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 제2 소정의 경로는 예를 들어 상기 제1 소정의 원형 경로와 동심인 원형 경로일 수 있다. 상기 제1 소정의 경로와 상기 제2 소정의 경로가 그들 사이의 고리(annulus)를 정의하도록 상기 제2 소정의 경로의 반경은 상기 제1 소정의 경로의 반경보다 클 수 있다.
- [0013] 상기 방법은 제3 소정의 경로를 따라 제3 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제3 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 기관 내에 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 결합 라인을 생성시키는 상기 기관 내의 유도된 흡수를 발생시키며, 상기 제3 소정의 경로는 상기 기관의 엣지로부터 상기 제2 소정의 경로로 연장된다.
- [0014] 상기 방법은 상기 제2 복수의 위치들의 각각의 결합 라인을 통해 크랙을 전파하기 위해 상기 제3 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계는 상기 제1 소정의 경로 상으로 제2 레이저 빔, 예를 들어 디포커싱된 레이저 빔을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제2 레이저 빔은 연속파 레이저 빔일 수 있다. 상기 제2 레이저 빔은 CO<sub>2</sub> 레이저 빔 또는 CO 레이저 빔, 예를 들어 연속파 CO<sub>2</sub> 레이저 또는 연속파 CO 레이저일 수 있다.
- [0015] 상기 격리시키는 단계 후에 상기 플러그를 가열하는 단계는 제3 레이저 빔, 적외선 LED, 적외선 램프, 및 전기 저항 히터로 구성된 그룹으로부터 선택된 열원으로 상기 플러그를 가열하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제3

레이저 빔은 상기 제2 레이저 빔과 동일한 레이저로부터 생성될 수 있다. 상기 열원은 상기 플러그의 중심 영역만을 가열할 수 있다.

- [0016] 상기 제3 레이저 빔은 상기 제1 소정의 경로로부터 이격된 복수의 폐경로들을 따라 상기 플러그 상을 이동할 수 있다. 상기 플러그는 상기 플러그의 가열 동안 변형될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 플러그는 상기 플러그를 가열하는 단계 중 또는 후에 외적으로 가해진 힘의 인가 없이 상기 기관으로부터 떨어질 수 있다.
- [0017] 상기 플러그의 적어도 일부는 상기 기관의 연화 온도 이상의 온도로 가열될 수 있다.
- [0018] 상기 방법은 지지 기관의 제1 주표면 상에 상기 기관을 위치시키는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 지지 기관의 상기 제1 주표면은 상기 플러그 아래 위치한 리세스를 포함한다.
- [0019] 상기 기관은 상기 기관의 이동을 방지하기 위해 상기 지지 기관 상에 고정될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 지지 기관은 상기 지지 기관의 제1 주표면으로부터 상기 지지 기관의 제2 주표면까지 연장되는 복수의 통로들을 포함할 수 있고, 상기 고정하는 단계는 상기 복수의 통로들에 진공을 인가하는 단계를 포함한다.
- [0020] 상기 리세스는 상기 리세스로부터 상기 지지 기관의 제2 주표면까지 연장되는 통로를 더 포함할 수 있고, 상기 방법은 진공이 인가될 수 있는 상기 리세스의 바닥으로부터 상기 제2 주표면까지 연장되는 통로를 통해 상기 리세스 내에 압력을 감소시키는 단계를 더 포함한다. 상기 리세스의 깊이는 상기 플러그의 두께보다 클 수 있다.
- [0021] 상기 방법은 상기 플러그의 가열 후에 상기 내부 플러그를 냉각시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 내부 플러그는 상기 내부 플러그에 외부의 기계적인 힘의 인가 없이 냉각시 상기 기관으로부터 떨어진다.
- [0022] 또다른 실시예에서, 전술한 양상들 중 어느 하나에 의해 제조된 유리 물품이 기술된다.
- [0023] 또다른 실시예에서, 기관으로부터 물품을 절단하는 방법이 개시되며, 이 방법은 상기 기관의 주표면에 실질적으로 수직하게 연장되는 레이저 빔 포컬 라인으로 펄스드 레이저 빔을 포커싱하는 단계; 제1 소정의 경로를 따라 제1 복수의 위치들에서 상기 기관 내로 상기 레이저 빔 포컬 라인을 지향시키는 단계, 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 결합 라인을 통해 크랙을 전파시키고 이로써 상기 기관으로부터 내부 플러그를 격리시키기 위해 상기 제1 소정의 경로를 따라 상기 기관을 가열하는 단계, 및 상기 기관으로부터 상기 플러그를 제거하기 위해 상기 격리시키는 단계 후에 상기 내부 플러그를 냉각시키는 단계를 포함하고, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 제1 복수의 위치들의 각각의 위치에서 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 상기 기관 내에 결합 라인을 생성하는 상기 기관 내의 유도된 흡수를 발생시키고, 상기 제1 소정의 경로는 폐경로이다.
- [0024] 일부 실시예들에서, 복수의 기관들은 스택된 예를 들어 두 기관들, 세 기관들 또는 그 이상의 기관들일 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 예를 들어 상기 스택의 전체 두께를 통해 상기 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장되고, 이로써 기관들의 상기 스택의 각각의 기관을 통해 연장되는 결합 라인을 형성한다.
- [0025] 상기 방법은 상기 냉각 전에 상기 플러그를 가열하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 플러그를 가열하는 단계는 상기 플러그의 중심 영역에 제2 레이저 빔을 지향시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제2 레이저 빔은 예를 들어 CO<sub>2</sub> 레이저 빔 또는 CO 레이저 빔일 수 있다.
- [0027] 상기 플러그를 가열하는 단계는 상기 기관의 연화 온도 이상의 온도로 상기 플러그의 적어도 일부를 가열하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0028] 일부 실시예들에서, 상기 플러그를 냉각시키는 단계는 상기 플러그에 대하여 냉각 유체, 예를 들어 액체 질소를 지향시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0029] 일부 실시예들에서, 상기 플러그를 가열하는 단계는 상기 기관 전체를 가열하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0030] 또다른 실시예에서, 유리 물품이 기술된다. 상기 유리 물품은 제1 주표면; 상기 제1 주표면에 대향하는 제2 주표면; 원형 내부 둘레; 상기 내부 둘레와 동심인 원형 외부 둘레; 상기 제1 및 제2 주표면들 사이에 연장되고, 약 1 밀리미터 이하인 두께; 상기 제1 및 제2 주표면들 사이의 상기 내부 둘레 주위로 연장되는 제1 엷지 표면, 및 상기 제1 및 제2 주표면들 사이의 상기 외부 둘레 주위로 연장되는 제2 엷지 표면;을 포함하고, 상기 내부 둘레와 상기 외부 둘레는 그들 사이의 고리를 정의하고, 상기 제1 또는 제2 엷지 표면들 중 적어도 하나는 상기 제1 및 제2 주표면들 사이에 수직으로 연장되는 복수의 결합 라인들을 포함하고, 각각의 결합 라인의 직경은 약 5 마이크로미터 이하이다. 상기 제1 및 제2 주표면들은 어떠한 코팅도 포함하지 않을 수 있다. 상기 제1 및 제2

주표면들은 그라인딩 및 폴리싱되지 않을 수 있다. 상기 제1 및 제2 엣지 표면들은 그라인딩 및 폴리싱되지 않을 수 있다.

- [0031] 또다른 실시예에서, 유리 물품이 개시되며, 상기 유리 물품은 제1 주표면; 상기 제1 주표면과 대향하는 제2 주표면; 원형 내부 둘레; 상기 내부 둘레와 동심인 원형 외부 둘레; 제1 및 제2 주표면들 사이에 연장되고 약 1 밀리미터 이하인 두께; 상기 제1 및 제2 주표면 사이의 상기 내부 둘레 주위로 연장되는 그라인딩 및 폴리싱되지 않은 제1 엣지 표면, 및 상기 제1 및 제2 주표면들 사이의 상기 외부 둘레 주위로 연장되는 그라인딩 및 폴리싱되지 않은 제2 엣지 표면;을 포함하고, 상기 내부 둘레와 상기 외부 둘레는 그들 사이의 고리를 정의하고, 상기 제1 또는 제2 엣지 표면들 중 적어도 하나의 표면 거칠기  $R_a$ 는 약 0.5 마이크로미터 이하이다.
- [0032] 상기 제1 또는 제2 엣지 표면들 중 적어도 하나는 상기 제1 및 제2 주표면들 사이에 수직하게 연장되는 복수의 결합 라인들을 포함할 수 있고, 각각의 결합 라인의 직경은 약 5 마이크로미터 이하이다.
- [0033] 상기 제1 또는 제2 엣지 표면들 중 하나를 따른 서브 표면 손상의 깊이는 약 75 마이크로미터 이하, 예를 들어 약 25 마이크로미터 이하일 수 있다. 상기 유리 물품의 휨은 약 50 마이크로미터 이하, 예를 들어, 약 15 마이크로미터 이하일 수 있다.
- [0034] 상기 유리 물품의 어닐링 점은 약 700°C 이상, 예를 들어 약 800°C 이상일 수 있다.
- [0035] 30분 동안의 600°C의 온도에서의 노출 후에 23°C의 온도에서의 냉각 시 상기 유리 물품의 수축(compaction)은 약 35ppm 이하, 예를 들어 약 20ppm 이하일 수 있다.
- [0036] 상기 유리 물품은 약 5MPa 이하의 내부 잔류 응력을 포함할 수 있다.
- [0037] 일부 실시예들에서, 상기 유리 물품은 화학적으로 강화된 유리, 예를 들어 이온 교환된 유리일 수 있다.
- [0038] 상기 제1 또는 제2 주표면들 중 하나의 평균 거칠기( $R_a$ )는 약 1 나노미터 이하, 예를 들어 약 0.5 나노미터 이하일 수 있다.
- [0039] 상기 유리 물품은 약 0.5 질량% 이하  $SnO_2$ , 예를 들어 약 0.15 질량% 이하  $SnO_2$ 를 포함할 수 있다.
- [0040] 상기 복수의 결합 라인들의 인접한 결합 라인들 사이의 거리는 약 7 마이크로미터 이하, 예를 들어 약 5 마이크로미터 이하, 예를 들어 약 3 마이크로미터 이하, 예를 들어 약 1 마이크로미터 이하일 수 있다.
- [0041] 상기 유리 물품은 0.1% 이하의 알칼리 금속 산화물을 포함할 수 있다.
- [0042] 일부 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 주표면들은 그라인딩 및 폴리싱되지 않을 수 있다. 상기 제1 및 제2 주표면들은 어떠한 코팅도 포함하지 않을 수 있다.
- [0043] 일부 실시예들에서, 상기 원형 외부 둘레의 직경은 소정의 공칭 원형 외부 직경의 +/- 15 마이크로미터 내, 예를 들어 상기 소정의 공칭 원형 외부 직경의 +/- 10 마이크로미터 내이다.
- [0044] 일부 실시예들에서, 상기 원형 내부 둘레의 직경은 소정의 공칭 원형 내부 직경의 +/- 25 마이크로미터 내, 예를 들어 상기 소정의 공칭 원형 내부 직경의 +/- 10 마이크로미터 내이다.
- [0045] 일부 실시예들에서, 상기 내부 원형 둘레의 중심 및 상기 외부 원형 둘레의 중심은 약 10 마이크로미터 이내, 예를 들어 약 5 마이크로미터 이내로 서로 떨어져 있다.
- [0046] 또다른 실시예에서, 투명한 유리 기관으로부터 유리 물품을 절단하는 방법이 기술되며, 상기 방법은 제1 폐경로를 따라 제1 복수의 결합들을 형성하는 단계, 상기 제1 복수의 결합들의 각각의 결합을 통해 크랙을 전파시킴으로써 상기 기관으로부터 플러그를 격리시키는 단계; 상기 격리 단계 후에 상기 플러그를 가열시키는 단계;를 포함하고, 상기 제1 복수의 결합들은 제1 주표면으로부터 대향하는 주표면까지 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직하게 상기 유리 기관 내로 연장되고, 상기 플러그는 외부 힘의 인가 없이 상기 가열의 중단 후에 상기 기관으로부터 떨어진다.
- [0047] 상기 방법은 상기 제1 폐경로와 동심인 제2 폐경로를 따라 제2 복수의 결합들을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 제2 복수의 결합들은 상기 제1 주표면으로부터 상기 대향하는 주표면까지 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직하게 상기 유리 기관 내로 연장되며, 상기 제2 폐경로의 반경은 상기 제1 폐경로의 반경보다 크다.
- [0048] 상기 방법은 상기 유리 기관의 엣지로부터 상기 제2 폐경로까지의 제3 경로를 따라 제3 복수의 결합들을 형성하

는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 제3 복수의 결함들은 상기 제1 주표면으로부터 상기 대향하는 주표면까지 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직하게 상기 유리 기판 내로 연장된다.

- [0049] 일부 실시예들에서, 복수의 기판들은 스택된 예를 들어 두 기판, 세 기판들, 또는 그 이상의 기판들일 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 기판들의 스택의 각각의 기판을 통해 연장되고, 이로써 상기 기판들의 스택의 각각의 기판을 통해 연장되는 결함 라인을 형성한다.
- [0050] 상기 방법은 상기 제2 폐경로를 따라 상기 유리 기판을 가열함으로써 상기 제2 폐경로를 따라 크랙을 드라이브하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 방법은 상기 제3 경로를 따라 상기 유리 기판을 가열함으로써 상기 제3 경로를 따라 크랙을 드라이브하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0052] 또다른 실시예에서, 유리 기판으로부터 유리 물품을 절단하는 방법이 개시되며, 상기 방법은 제1 폐경로를 따라 제1 복수의 결함들을 형성하는 단계; 상기 제1 복수의 결함 라인들의 각각의 결함 라인을 통해 크랙을 전파시킴으로써 상기 기판으로부터 플러그를 격리시키는 단계; 상기 격리 단계 후에 상기 플러그를 가열하는 단계;를 포함하고, 상기 제1 복수의 결함들은 제1 주표면으로부터 대향하는 제2 주표면까지 상기 유리 기판 내로 연장되고, 상기 복수의 결함 라인들은 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직하고, 상기 플러그는 상기 가열의 중단 후에 상기 기판으로부터 떨어진다.
- [0053] 일부 실시예들에서, 복수의 기판들은 스택된 예를 들어 두 기판, 세 기판들, 또는 그 이상의 기판들일 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 기판들의 스택의 각각의 기판을 통해 연장되고, 이로써 상기 기판들의 스택의 각각의 기판을 통해 연장되는 결함 라인을 형성한다.
- [0054] 상기 방법은 상기 유리 기판을 지지 기판 상에 위치시키는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 지지 기판은 상기 제1 폐경로 아래 위치한 리세스를 포함하고, 상기 리세스의 반경은 상기 제1 폐경로의 반경보다 크다.
- [0055] 상기 방법은 상기 가열 중 또는 후에 상기 리세스에 진공을 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0056] 일부 실시예들에서, 상기 형성 단계는 펄스드 제1 레이저 빔을 레이저 빔 포컬 라인으로 포커싱하는 단계를 포함하고, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 유리 기판의 상기 제1 및 제2 주표면 사이에서 상기 유리 기판의 두께 전체를 통해 실질적으로 수직하게 연장되고, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 상기 레이저 빔 포컬 라인을 따라 상기 기판 내에 결함을 생성하는 상기 기판 내의 유도된 흡수를 발생시킨다.
- [0057] 일부 실시예들에서, 크랙을 전파시키는 단계는 제2 레이저로 상기 제1 폐경로를 따라 또는 그에 인접하게 상기 유리 기판을 가열하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제2 레이저는 예를 들어 CO<sub>2</sub> 또는 CO 레이저일 수 있다.
- [0058] 또다른 실시예에서, 유리 물품이 기술되며, 상기 유리 물품은 제1 주표면, 상기 제1 주표면에 대향하며 실질적으로 평행한 제2 주표면, 및 상기 제1 및 제2 주표면들 사이의 두께를 포함하는 유리 시트; 제1 복수의 원형 폴트(fault) 라인들; 포함하고, 상기 제1 복수의 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 상기 유리 시트의 상기 두께를 통해 연장되고, 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직한 복수의 결함 라인들을 포함하고, 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인의 상기 복수의 결함 라인들은 약 2 마이크로미터 내지 약 20 마이크로미터 범위 내의 거리에 의해 이격되고, 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 중심을 포함하고, 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인의 중심은 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 인접한 원형 폴트 라인으로부터 떨어진다.
- [0059] 상기 유리 시트는 제2 복수의 원형 폴트 라인들을 더 포함할 수 있고, 상기 제2 복수의 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 상기 유리 시트의 상기 두께를 통해 연장되고 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직한 복수의 결함 라인들을 포함하고, 상기 제2 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인의 상기 결함 라인들은 약 2 마이크로미터 내지 약 20 마이크로미터 범위 내의 거리로 이격되고, 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 상기 제2 복수의 원형 폴트 라인들의 원형 폴트 라인에 의해 둘러싸인다.
- [0060] 일부 실시예들에서, 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 내부 폴트 라인이고, 상기 제2 복수의 폴트 라인들의 각각의 원형 폴트 라인은 외부 폴트 라인이고, 상기 제2 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 외부 폴트 라인은 상기 제1 복수의 원형 폴트 라인들의 각각의 내부 폴트 라인과 동심이다.
- [0061] 상기 유리 시트는 길이(L) 및 길이(L)에 수직한 폭(W)을 포함하고, 각각의 외부 폴트 라인은 반경 r의 디스크를 정의하고, 일부 실시예들에서  $((L \cdot W) - n\pi r^2) / (L \cdot W)$ 는 0.66 초과이고, n은 상기 유리 시트 상에 정의된 디스크

들의 총 수를 나타낸다. 일부 실시예들에서,  $L \cdot W$ 는  $671,600 \text{ mm}^2$ 보다 크고,  $n$ 은 70 이상이다.

- [0062] 상기 유리 시트의 상기 두께는 약 50 마이크로미터 내지 약 3 밀리미터 범위, 예를 들어 약 0.6 밀리미터 내지 약 0.7 밀리미터 범위일 수 있다.
- [0063] 일부 실시예들에서, 상기 유리 시트의 상기 제1 및 제2 주표면들은 그라인딩 및 폴리싱되지 않을 수 있다.
- [0064] 또다른 실시예에서, 유리 기관으로부터 유리 물품을 절단하는 방법이 개시되며, 상기 방법은 제1 폐경로를 따라 제1 복수의 결합 라인들을 형성하는 단계; 상기 제1 복수의 결합들의 각각의 결합을 통해 크랙을 전파시킴으로써 상기 기관으로부터 플러그를 격리시키는 단계; 및  $D_{\text{initial}} > \sqrt{D_{\text{final}}^2 + P_{\text{thickness}}^2}$ 를 만족하도록 상기 플러그 및/또는 상기 유리 기관의 온도를 변화시키는 단계; 포함하고, 상기 제1 복수의 결합 라인들은 제1 주표면으로부터 대향하는 제2 주표면까지 상기 유리 기관 내로 연장되고, 상기 복수의 결합 라인들은 상기 제1 및 제2 주표면들에 수직하고, 상기 플러그는 제1 외부 둘레 내에 정의된 제1 주표면, 제2 외부 둘레 내에 정의된 제2 주표면, 및 상기 제1 및 제2 주표면들 사이에 연장되는 두께  $P_{\text{thickness}}$ , 및 상기 제1 및 제2 주표면들 사이에 연장되는 엷지 표면을 포함하고, 상기 엷지 표면과 상기 제1 주표면의 교차 라인은 제1 엷지를 정의하고, 상기 엷지 표면과 상기 제2 주표면의 교차 라인은 제2 엷지를 정의하고,  $D_{\text{initial}}$ 은 상기 플러그의 초기 직경을 나타내고,  $D_{\text{final}}$ 은 상기 온도를 변화시키는 단계 후에 상기 플러그의 최종 두께를 나타낸다.
- [0065] 일부 실시예들에서, 복수의 기관들은 스택된, 예를 들어 두 기관들, 세 기관들 또는 그이상의 기관들일 수 있으며, 상기 복수의 결합 라인들은 상기 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장된다.
- [0066] 일부 실시예들에서, 상기 온도를 변화시키는 단계는 상기 기관 전체를 가열하고, 이후 냉각제로 상기 플러그를 냉각시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0067] 일부 실시예들에서, 상기 온도를 변화시키는 단계는 냉각제로 상기 플러그를 냉각시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0068] 본 명세서에 개시된 실시예들의 추가적인 특징들 및 이점들이 뒤따르는 상세한 설명에 제시될 것이며, 부분적으로는 그 설명으로부터 당업계의 통상의 기술자에게 쉽게 명백하거나 또는 청구항들 및 첨부된 도면들이 뒤따르는 상세한 설명을 포함하는 본 명세서에 기술된 실시예들을 실시함으로써 인식될 것이다.
- [0069] 전문한 개괄적인 설명 및 다음의 상세한 설명은 모두 본 개시의 본질 및 특성을 이해하기 위한 개요 또는 틀을 제공하도록 의도된 실시예들을 나타낸다는 것이 이해될 것이다. 첨부된 도면들은 추가적인 이해를 제공하기 위해 포함되며, 본 명세서에 결합되어 그 일부를 구성한다. 도면들은 본 개시의 다양한 실시예들을 나타내며, 설명과 함께 원리들과 작동들을 설명하는 역할을 한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0070] 전문한 내용들은 첨부된 도면들에 도시된 바와 같은 본 명세서에 포함된 예시적인 실시예들에 대한 다음의 보다 상세한 설명으로부터 명백할 것이며, 도면들에서 동일한 참조 기호들은 상이한 도면들에 걸쳐 동일한 부분들을 참조한다. 도면들은 반드시 축척이 맞을 필요가 없고, 대신 본 개시의 실시예들을 예시하는 것이 강조된다.
  - 도 1은 시작 부모 기관으로부터 절단되는 외부 및 내부 윤곽들을 모두 포함하는 물품의 도시이며, 상기 외부 윤곽은 상기 물품을 둘러싸며, 상기 내부 윤곽은 상기 물품으로부터 제거되는 플러그를 둘러싼다.
  - 도 2는 기관 내에 포컬 라인을 생성하기 위한 예시적인 광학 배치를 나타내는 개략도이다.
  - 도 3은 유리 기관 내에 형성된 결합 라인의 평면도를 나타내는 주사 전자 현미경 이미지이며, 초기 홀 및 분출물(ejecta)이 명백한 상기 홀 주위의 테두리를 도시한다.
  - 도 4는 유리 기관 내에 형성된 몇개의 결합 라인들을 나타내는 유리 기관의 단면도인 주사 전자 현미경 이미지이다.
  - 도 5는 기관 지지체 상에 위치한 기관의 개략도이며, 여기서 하나 이상의 레이저들이 결합 라인들, 및 이후의 폴트 라인들을 상기 유리 기관 내에 생성하기 위해 사용된다.
  - 도 6은 상기 기관으로부터 제거되는 복수의 부분들을 정의하는 복수의 폴트 라인들을 포함하는 기관의 평면도이다.

도 7은 경로를 따라 형성된 복수의 결합 라인들을 나타내는 기관의 상면도이다.

도 8은 상기 기관으로부터 제거되는 부분 내로 연장되는 크랙을 나타내는 개략도이다.

도 9a 내지 도 9d는 폴트 라인을 따른 분리가 발생하는 순서로부터 기인하는 상이한 시나리오들의 개략도들이다.

도 10은 폴트 라인을 따라 크랙을 드라이브하는데 사용되는 레이저를 나타내는 단면도이다.

도 11은 지지 기관 상에 위치된 도 8의 상기 유리 기관의 단면도이며, 상기 유리 기관 내에 형성된 상기 플러그들의 일부는 상기 플러그의 연화 온도 이상의 온도로 가열된다.

도 12는 지지 기관 상에 위치된 도 11의 상기 유리 기관의 단면도이며, 상기 지지 기관 내의 리세스를 통해 상기 격리된 플러그들에 진공이 인가됨으로써 상기 플러그들 위의 공기 압력이 상기 유리 기관으로부터 상기 플러그들을 드라이브하게 한다.

도 13은 기관 상에 보다 조밀하게 패키징된 부분들의 배열을 도시한다.(예를 들어, 육각 밀집 패키징);

도 14a는 고리가 생성되는 기관의 원래 힘의 힘을 나타내는 그래프이다.

도 14b는 도 14a의 상기 기관으로부터 생성된 상기 고리의 힘을 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0071] 본 명세서에 개시되는 것은 예를 들어 얇은 투명한 물질과 같은 취성 물질의 얇은 기관으로부터 하나 이상의 물품들을 절단 및 제거하는 공정이다. 상기 물질은 예를 들어 투명한 유리 물질, 투명한 유리 세라믹 물질 또는 투명한 세라믹 물질일 수 있다. 상기 공정은 특히 투명한 유리의 얇은 기관들로부터 내부 윤곽 형상들을 절단 및 제거하는데 유용하다. 상기 방법은 상기 기관 내의 포커스 라인을 따라 상기 기관 내에 결합들을 형성하기 위해 초단 펄스드 레이저 빔 및 동반하는 광학 기기들을 사용한다. 상기 포커스 라인, 및 결과적인 결합 라인은 상기 기관의 두께 전체를 통해 연장될 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 상기 포커스 라인 및 결과적인 결합 라인은 상기 기관의 상기 두께의 오직 일부를 통해 연장될 수 있다. 복수의 결합 라인들은 소정의 경로를 따라 형성될 수 있으며, 이로써 폴트(fault) 라인을 형성한다. 상기 소정의 경로가 제거되는 부분을 둘러싸도록 상기 소정의 경로는 폐경로일 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 상기 소정의 경로는 폐경로가 아닐 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 폴트 라인의 형성은 레이저 빔, 예를 들어 CO<sub>2</sub> 레이저 빔의 사용이 뒤따를 수 있으며, 이는 상기 폴트 라인을 따라 상기 기관을 가열함으로써 상기 폴트 라인을 따라 상기 부분의 완전한 분리(격리)를 촉진하도록 상기 경로를 따라 이동된다. 아래 기술된 레이저 공정은 낮은 서브 표면 손상(약 75 마이크로미터 미만으로 연장됨), 및 우수한 표면 평균 거칠기(또는 깎여진 옛지 표면의 평균 표면 거칠기(R<sub>a</sub>)는 약 0.5 마이크로미터 이하)를 가지며, 다양한 유리들 내의 완전한 바디 절단을 발생시킬 수 있다. 평균 표면 거칠기는 성형 프로파일 또는 영역의 상대적인 거칠기의 정량적인 계산이며, 단일한 수치 파라미터(R<sub>a</sub>)로 표현된다. 평균 표면 거칠기는 예를 들어 광학 프로파일로미터(예를 들어 백색광 또는 레이저 간섭계), 또는 접촉식 방법들(전형적으로 다이아몬드 스타일러스를 사용함)를 사용하여 측정될 수 있다. 적합한 장치들은 예를 들어 Zygo® 및 Nikon으로부터 입수 가능하다.

[0072] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 서브 표면 손상(sub-surface damage, SSD)는 상기 기관의 절단 옛지에 수직인 크랙들 또는 "체크들"의 범위로 정의된다. 일부 실시예들에서, 기관 종류에 따라, 상기 기관의 분리는 상기 펄스드 레이저의 단일한 통과로 달성될 수 있다. 상기 기관 내로 연장되는 이들 크랙들의 거리의 크기는 이후 옛지 결합들을 제거하고 옛지 강도를 향상시키기 위한 그라인딩 및 폴리싱 작업으로부터 필요할 수 있는 물질 제거의 양을 결정할 수 있다. SSD는 예를 들어 존재할 수 있는 임의의 크랙들로부터 광 산란을 관찰하기 위해 컨포컬 현미경 또는 형광 다이를 사용하여 측정될 수 있으며, 상기 기관의 바디 및/또는 주어진 절단 옛지 상의 물품 내로 연장되는 크랙들의 최대 거리를 결정한다. 대안적으로, 노출된 옛지는 컨포컬 현미경을 사용하여 옛지를 관찰하면서 반복적으로 폴리싱될 수 있다. 물질이 폴리싱되면서, 눈에 띄는 크랙들의 양이 감소한다. 결국, 모든 결합들이 사라질때, 제거된 물질의 깊이는 서브 표면 손상으로 보고된다.

[0073] 다음의 설명이 유리 기관들, 예를 들어 유리 시트들에 대하여 나타내지나, 본 개시의 실시예들은 다양한 투명한 물질들, 예를 들어 유리, 유리 세라믹, 세라믹 또는 선택된 광물질(예를 들어 사파이어)에 적용 가능하다는 것이 인식되어야 할 것이다.

- [0074] 범위들은 "약" 하나의 특정 값으로부터 및/또는 "약" 다른 특정값 값으로 본 명세서에 표현될 수 있다. 이러한 범위가 표현되었을 때, 다른 실시예는 상기 하나의 특정한 값 내지 상기 다른 특정한 값을 포함한다. 유사하게, 값들이 선행사 "약"의 사용으로써 근사치들로 표현된 경우, 상기 특정한 값은 다른 실시예를 형성한다는 것이 이해될 것이다. 각각의 범위들의 끝점들은 상기 다른 끝점과 관련하여서도 상기 다른 끝점과는 독립적으로도 중요하다라는 것이 더 이해될 것이다.
- [0075] 본 명세서에 사용될 수 있는 바와 같이 방향적인 용어들-예를 들어 위, 아래, 우, 좌, 전, 후, 상, 하-는 오직 도시된 도면들을 참조하여 만들어지며, 절대적인 방향을 암시하도록 의도되지 않는다.
- [0076] 달리 명시적으로 언급되지 않는한, 본 명세서에 제시된 어떠한 방법도 단계들이 특정한 순서로 수행되어야 하는 것을 필요로하는 것으로 해석되거나 어떠한 장치든지 특정한 방향이 요구되는 것으로 의도되지 않는다. 따라서, 방법 청구항이 실제로 그 단계들이 따라야할 순서를 언급하지 않거나 임의의 장치 청구항이 각각의 구성 부품들에 대한 순서 또는 방향을 실제로 언급하지 않는 경우, 또는 단계들이 특정한 순서에 제한된다고 청구항들 또는 설명에 달리 특정하게 언급되거나 장치의 구성 부품에 대한 특정한 순서 또는 방향이 언급되지 않는 경우, 어떠한 관점에서든 순서 또는 방향이 암시되는 것으로 의도되지 않는다. 이는 단계들의 배열과 관련된 로직의 문제들, 작동 흐름, 구성 부품들의 순서, 또는 구성 부품들의 방향, 문법적 구성 또는 구두법으로부터 유도된 보통의 의미, 및 본 명세서에 기술된 실시예들의 수 또는 종류를 포함하는 해석을 위한 임의의 가능한 비명시적 기반에 대하여 성립한다.
- [0077] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수형 "a", "an" 및 "the"는 문맥이 명백히 달리 지시하지 않는한 복수의 지시대상을 포함한다. 따라서, 예를 들어, 구성 부품에 대한 참조는 문맥이 분명히 달리 지시하지 않는한 둘 이상의 이러한 구성 부품들을 가지는 양상들을 포함한다.
- [0078] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 투명한은 결합 라인들을 생성하기 위해 사용된 입사 레이저 빔이 선형 흡수 영역에서 상기 기관 내의 전파된 거리의 밀리미터 당 입사 에너지의 10% 미만을 잃는다는 것을 의미한다.
- [0079] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 결합이라는 용어는 마이크로크랙들을 포함하는 크랙 및 기관의 분자 구조에 대한 다른 결합 파괴 손상을 나타낸다. 결합들은 기계적인 손상, 예컨대 상기 기관의 기계적 물체에의 접촉을 포함할 수 있거나 또는 상기 손상은 예컨대 레이저 빔과 같은 전자기장과 상기 물질의 상호작용의 결과일 수 있다.
- [0080] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 결합 라인은 선형 결합(하나의 긴 결합 또는 라인으로 배열된 일련의 결합들)을 나타내며, 이는 전형적으로, 배타적이지는 않으나, 상기 기관의 두께 방향으로 연장된다(상기 기관의 주표면들에 수직하게).
- [0081] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 윤곽 또는 경로는 상기 기관 상의 가상의 2차원 형상을 나타낸다. 따라서, 경로 자체는 가상의 형상이나, 상기 경로는 예를 들어 폴트 라인 또는 크랙으로 근사될 수 있다. 폐경로는 연속적인 고리를 형성하는 경로이며, 상기 루프는 내부 영역을 둘러싸고 경계를 이룬다. 경로는 예를 들어 상기 기관의 상기 표면 상에 입사하는 레이저 빔이 따를 수 있다.
- [0082] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 폴트 라인은 경로를 따라 위치한 일련의 가깝게 이격된 결합 라인들을 나타낸다. 유사하게, 릴리즈(release) 라인은 전형적으로 상기 기관의 옛지로부터 내부 형상을 정의하는 폴트 라인까지, 또는 내부 형상들을 정의하는 두 폴트 라인들 사이에서 연장되는 폴트 라인이다. 따라서, 릴리즈 라인들은 폴트 라인들이지만, 본 명세서에 사용된 바와 같이 폴트 라인이라는 용어는 상기 유리 기관의 내부의 형상(상기 기관의 옛지와 교차하지 않음)을 기술하는데 사용될 것인 반면, 릴리즈 라인은 상기 기관의 옛지로부터 내부 폴트 라인까지, 또는 하나의 내부 폴트 라인으로부터 또다른 내부 폴트 라인까지 연장되는 폴트 라인들을 나타낼 것이다.
- [0083] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 분리라는 용어는 두개의 대향하는 표면들을 형성하는 물질 내의 파괴(예를 들어 손상), 예컨대 크랙 또는 다른 결합(충청적으로 쪼개짐)을 나타낸다. 분리는, 상기 기관의 다른 인접한 부분으로부터 쪼개짐에 의해 경계지어진 상기 기관의 일부의 완벽한 격리를 야기하지 않는 쪼개짐으로 해석되어야 한다. 반면, 격리는 소정의 경로를 따른 상기 기관을 통해 완전히 연장되는 쪼개짐을 나타내며, 이는 상기 제1 부분에 인접한 상기 기관의 또다른 부분으로부터의 쪼개짐에 의해 경계지어지는 상기 기관의 제1 부분의 완벽한 격리를 야기하여, 상기 제1 부분이 인접한 부분에 대하여 독립적으로 이동가능하다. 격리를 야기하는 쪼개짐은, 예를 들어, 기관 내에 폐경로(즉, 폐 윤곽) 전체 주위로 연장될 수 있으며, 상기 기관의 두께를 통해 완전히 더 연장된다. 이러한 쪼개짐은 상기 폐경로의 외부 물질의 부분으로부터 완전히 격리된 상기 물질의 내부 부분을 정의

하여, 상기 내부 부분은 주위의 외부 부분과 독립적으로 이동 가능하다. 그러나, 격리는 폐경로에 대한 쪼개짐을 필요로하지 않는다는 것에 주의해야 한다.

[0084] 본 명세서에 기술된 실시예들은 격리 및 제거 공정들에 의해 물품을 손상시키지 않으면서 하기 공정들에 의해 생성된 고품질 엷지를 노출시키는 절단, 격리, 및 제거 공정들을 사용하여 투명한 물질들을 특정한 소정의 윤곽 형상들을 가지는 하나 이상의 물품들로 절단하는 방법과 관련된다. 도 1은 부모 유리 기관(10)을 도시한다. 또한 보여지는 것은 제1, 내부, 소정의 경로(12) 및 제2, 외부(내부 경로(12)에 대하여), 소정의 경로(14)이며, 제1 및 제2 경로들은 폐경로들을 나타낸다. 도시된 실시예에서, 제1 및 제2 경로들(12, 14)은 원형 경로들이며, 제2 경로(14)는 제1 경로(12)와 동심이나, 추가적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 경로들은 원형일 필요가 없다. 도 1의 실시예에 따르면, 제1 경로(12)는 제1 반경( $r_1$ )을 포함하는 제1 디스크, 이하 플러그(16)를 정의하고, 제2 경로(14)는 제2 반경( $r_2$ )을 포함하는 제2 디스크(18)를 정의한다. 제1 경로(12) 및 제2 경로(14)는 그들 사이의 고리(annulus)(20)를 정의한다. 즉, 얻어지는 물품인 고리(20)는 기관(10)의 주위 물질로부터 제거된 제2 디스크(18)이며, 플러그(16)가 제2 디스크(18)로부터 제거된다. 따라서, 고리(20)는 기관(10)의 주위 부분으로부터 자유로워져야하며, 플러그(16)는 제2 디스크(18)의 주위 물질로부터 제거되어야한다. 기관(10)으로부터 고리(20)의 릴리즈(제거)는 제2 경로(14) 주위로의 절단 및 상기 고리를 제거하기 위한 공정을 쉽게만드는 경로들(22)을 따른 추가적인 절단들(릴리즈 라인들)을 사용하여 달성될 수 있다. 그러나, 기관(10)의 내부 부분들, 예컨대 플러그(16)의 경우, 이러한 절단들이 본 실시예에서 관심의 대상이 되는 상업적 부분인 주위의 고리를 손상시키므로 그러한 절단들이 만들어질 수 없다. 또한, 본 명세서에 기술된 공정들은 기본적으로 0 커프(kerf)를 가지는 절단을 생성한다. 따라서, 플러그(16)가 주위의 물질로부터 격리되어 이로써 독립적으로 이동 가능하나, 상기 플러그는 상기 고리 내에 잡혀있는 채로 유지된다. 상기 플러그는 상기 고리로부터 힘을 받을 수 있으나, 상기 고리에 손상이 일어날 가능성이 높다.

[0085] 본 개시는 안에 그 다음의 원형 홀을 생성하기 위해 제2 디스크(18)로부터의 플러그(16)의 제거 및 상기 유리 기관으로부터의 고리(20)의 제거 모두를 상세히 기술하나, 본 명세서에 기술된 방법들은 규칙적인 기하 형상들, 예컨대 원형, 삼각형, 직사각형 또는 슬롯 형상을 제한 없이 포함하는 다양한 임의의 형상들의 물품들을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 상기 기관으로부터 제거된 물품들은 둥근 코너들을 가질 수 있거나, 코너들은 날카로운 피쳐들(예를 들어, 비스듬하게 교차하는 엷지들)일 수 있다.

[0086] 유리 기관 내에 내부 폐쇄 절단을 형성하고 예를 들어 메모리 디스크 기관 내의 중심 스핀들 홀과 같은 개구를 형성하기 위해 상기 결과적인 내부 부분을 제거하는 것과 관련된 문제점은 비록 적합한 조밀하게 이격된 결합 라인들이 단힌 소정의 경로를 따라 생성되어 폴트 라인을 형성하고, 크랙이 상기 결합 라인들과 교차하는 경로 둘레로 전파하여 주위 물질로부터 상기 내부 부분을 격리시키더라도, 상기 절단 공정은 기본적으로 제로-커프 공정이다. 즉, 상기 공정에 의해 생성되는 전형적인 결합 라인은 직경이 약 1 마이크로미터이고, 결합 라인들 사이의 개재 크랙에서의 표면-표면 분리는 기본적으로 0이다. 따라서, 상기 내부 부분이 이동될 수 있더라도, 제거가 시도되는 경우 상기 주위 물질의 엷지에 걸릴 수 있고, 상기 부분, 상기 주위 물질, 또는 둘다의 칩핑(chipping)을 야기할 수 있다. 따라서, 고리(20)를 형성하기 위해 제2 디스크(18)로부터 플러그(16)를 제거할때, 상기 플러그의 제거는 상기 고리를 손상시킬 수 있다. 분리 및 제거 공정을 자동화하는 도전적인 측면은 상기 주위 물질에 손상을 입히지 않고 상기 격리된 내부 부분이 상기 주위 물질로부터 떨어지도록 허용하는 단계들을 포함시키는 것이다. 디스크(18)와 관련하여, 이는 상기 제2 디스크의 중심으로부터 제거되는 상기 플러그 및 상기 고리 부분 자체에 대하여 사실이다. 즉, 디스크(18)로부터 플러그(16)를 제거할때 및 상기 주표면 기관 물질로부터 고리(20)를 제거할때 고리(20)에 대한 손상이 회피되어야 한다. 절단되는 물질이 높은 내부 응력을 나타내고 예를 들어 Gorilla® 유리와 같은 화학적으로 강화된 유리 기관에 크랙들을 형성하기 쉬운지 여부 또는 상기 물질이 낮은 응력인지에 무관하게(예를 들어 디스플레이 패널을 형성하기에 적합한 유리 기관, 예컨대 Eagle XG® 유리, 코닝 Lotus™, Lotus™ XT, 및/또는 Lotus™ NXT 유리) 문제는 존재한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 높은 응력 유리는 (상기 유리의 두께 방향으로) 약 24 메가파스칼(MPa) 이상인 중심 장력을 가지는 유리이다. 낮은 응력 유리는 전형적으로 약 24 MPa 미만의 중심 장력을 가진다. Gorilla® 유리, Eagle XG® 유리, 코닝 Lotus™, Lotus™ XT, 및/또는 Lotus™ NXT 유리가 본 명세서에서 구체적으로 언급되었으나, 예시적인 공정들 및 방법들은 다른 유리들, 예컨대 알칼리 토금속 боро-알루미노실리케이트 유리들(저알칼리 또는 무알칼리), 알루미노실리케이트 유리들, 알칼리 토금속 함유 유리들 등에 적용 가능하므로, 본 명세서에 첨부된 청구항들은 여기에 제한되지 않아야한다.

[0087] 앞에 기술된 바와 같이, 본 개시는 개괄적으로 유리 기관의 부분들을 절단 및 제거하기 위한 방법 및 장치에 지향된다. 그러나, 특정 실시예들에서, 본 개시는 무시할만한 파편 및 물품의 세기를 보존하는 절단 엷지들에 대

한 최소한의 손상으로 제어가능한 방식으로의 유리 기관들로부터의 임의의 형상의 물품들의 정밀 절단, 격리, 및 제거를 위한 레이저 방법 및 장치에 지향된다. 결과적인 물품은 오직 최소한의 엿지 마무리(그라인딩 및/또는 폴리싱)만을 요구하거나 엿지 마무리를 필요로하지 않을 수 있으며, 특정 실시예들에서, 상기 물품의 주표면들의 최소한의 마무리를 수반하거나 마무리를 수반하지 않을 수 있다. 상기 방법은 깨끗한 초기의 표면 품질의 유지를 가능하게 하는 낮은 레이저 빔 세기에서 상기 결합 라인들을 형성하는데 사용되는 레이저의 과장에서 기관 물질 투명도 및 선형 광학 흡수 및 상기 레이저 포커스 라인을 따르는 높은 레이저 빔 세기에 의해 유도되는 비선형적 흡수에 의존한다. 이 공정의 주요 조력자는 상기 초단 펄스 레이저 빔에 의해 형성된 상기 결합의 높은 종횡 비이며, 이는 절단되는 물질의 주표면들 사이에 연장되는 결합 라인의 생성을 가능하게 한다. 원칙적으로, 이 결합 라인은 단일한 레이저 펄스에 의해 생성될 수 있다. 그러나, 가능하면, 영향을 받은 영역의 크기(예를 들어, 깊이 및 폭)를 증가시키기 위해 추가적인 펄스들이 사용될 수 있다.

[0088] 레이저 빔 종방향 축을 따라(즉 빔 전파의 방향으로) 포컬 라인을 생성하는 짧은 펄스 피코초 레이저 및 동반하는 광학 기기들을 사용하여, 기관 상에 소정의 경로, 또는 윤곽을 따라 조밀하게 이격된 간격들로 일련의 결합 라인들이 형성될 수 있으며, 상기 결합 라인들은 상기 기관, 예를 들어 유리 시트의 두께의 적어도 일부를 통해 연장된다. 결합 라인들은 전형적으로 직경이 수 마이크로미터 미만이다. 경로를 따르는 일련의 결합 라인들은 폴트 라인으로 지칭되며, 상기 일련의 결합 라인들은 상기 기관 내에 존재하는 응력으로 인하여 자체 생성되거나 상기 기관의 다른 부분으로부터 상기 기관의 일부를 격리시키기 위한 이후의 열원, 예를 들어 제2 레이저 빔에 의해 노출에 의해 유도된 응력으로 인한 일련의 결합 라인-결합 라인 크랙들에 의해 결합될 수 있다.

[0089] 라인 포커스를 형성하는 광학적 방법은 다수의 형태들을 취할 수 있으며, 예를 들어, 도넛 형상 레이저 빔들 및 구형 렌즈들, 엑시콘 렌즈들, 회절 구성 요소들, 또는 높은 세기의 선형 영역을 형성하는 다른 방법들을 사용한다. 상기 유리 물질의 파괴를 형성하기 충분한 광학 세기들이 도달하는 레이저의 종류(피코초, 펨토초 등) 및 파장(IR, 녹색, UV 등) 또한 변형될 수 있다. 상기 레이저 파장은 전형적으로 상기 기관(예를 들어, 유리 시트)가 상기 방식에 매우 투명하도록 선택된다. 유리의 경우, 1064 나노미터 광이 흔히 선호되는 파장이며, 예컨대 이득 물질(gain medium)으로서 Nd:YVO4를 사용하는 것들과 같은 높은 세기의 펄스 레이저들이 이용 가능하다. 상기 레이저 펄스가 이들 광학 기기들을 통과할 때, 광학 에너지는 상기 기관의 두께 전체를 통해 연장될 수 있는 높은 세기의 선형 영역 내로 형성된다. 보다 일반적으로, 선택된 파장은 약 2 마이크로미터 내지 약 11 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 10.6 마이크로미터, 5.32 마이크로미터, 3.55 마이크로미터, 또는 2.66 마이크로미터일 수 있으나, 물질에 따라 다른 파장들이 적합할 수 있다.

[0090] 일부 실시예들에서, 개별적인 펄스들의 펄스 시간은 약 0.1 피코초 내지 약 100피코초 범위, 예컨대 약 5 피코초 내지 약 20 피코초 범위일 수 있으며, 개별적인 펄스들의 반복 속도는 약 1kHz 내지 약 4MHz 범위, 예컨대 약 10kHz 내지 약 650kHz 범위일 수 있다. 주파수가 증가함에 따라, 상기 공정이 동작할 수 있는 속도가 증가한다. 그러나, 주파수가 증가함에 따라, 펄스당 에너지가 감소한다.

[0091] 상기 레이저는 상기 유리 기관을 관통하는 결합 라인들을 형성한다. 결합 라인은 마이크로크랙킹을 포함할 수 있으나, 예를 들어 직경이 대략 1 마이크로미터인 내부 개구들 또는 보이드들을 또한 포함할 수 있다. 이들 결합 라인들은 일반적으로 약 1 내지 약 20마이크로미터, 예를 들어 약 0.5 내지 약 15 마이크로미터 범위, 약 0.5 마이크로미터 내지 약 3 마이크로미터, 또는 약 3 마이크로미터 내지 약 10 마이크로미터 이격된다. 예를 들어, 일부 실시예들에서 인접한 결합 라인들 사이의 주기성은 0.5 마이크로미터 내지 1.0 마이크로미터 사이일 수 있다. 상기 결합 라인들은 예를 들어 상기 유리 기관의 두께 전체를 통해 연장될 수 있으며, 전형적으로 상기 기관의 (평평한) 주표면들에 수직하나, 추가적인 실시예들에서, 상기 결합 라인들은 상기 기관 두께의 오직 일부를 통해 연장될 수 있다. 또한, 일부 실시예들에서 예를 들어 고리(20)에 모따기된(chamfered) 엿지들을 원하는 경우, 상기 결합 라인들은 상기 기관의 주표면에 대하여 비스듬하게 생성될 수 있다.

[0092] 진술한 개별적인 펄스 반복 속도들에서의 단일한 펄스 작동에 더하여, 상기 펄스들은 약 10나노초 내지 약 50 나노초 범위, 약 10나노초 내지 약 30 나노초, 예를 들어 약 20나노초인 펄스 버스트 내의 상기 각각의 펄스들 사이의 시간에 의해 분리된 둘 이상의 펄스들(예를 들어, 3 펄스들, 4 펄스들, 5 펄스들, 10 펄스들, 15 펄스들, 20 펄스들 또는 그 이상)의 버스트로 생성될 수 있으며, 버스트 반복 주파수는 약 1킬로헤르츠 내지 약 4MHz일 수 있다. 주어진 레이저에 대하여, 버스트 내의 인접한 펄스들 사이의 시간 분리( $T_p$ )(펄스-펄스 분리)는 비교적 일정하다(예를 들어,  $\pm 10\%$ ). 예를 들어, 약 20 나노초의 펄스 분리  $T_p$ 를 생성하는 레이저의 경우, 버스트 내의 상기 펄스-펄스 분리( $T_p$ )는 약  $\pm 10\%$ , 또는 약  $\pm 2$  나노초 이내로 유지될 수 있다. 펄스들의 각각의 "버스트" 사이의 시간(즉, 버스트들 사이의 시간 분리( $T_b$ ))는 훨씬 더 길 것이다 (예를 들어,  $0.25 \leq T_b \leq 1000$  마

이크로초, 예를 들어 약 1 마이크로초 내지 약 10 마이크로초 범위, 또는 약 3 마이크로초 내지 약 8 마이크로초 범위). 예시적인 실시예들에서, 약 200kHz의 펄스 버스트 반복 속도 또는 주파수를 가지는 레이저에 대하여 상기 시간 분리( $T_b$ )는 약 5 마이크로초일 수 있다. 상기 레이저 버스트 반복 속도는 버스트 내의 첫번째 펄스로부터 이후의 버스트 내의 첫번째 펄스까지 사이의 시간( $T_b$ )과 관련된다 (레이저 버스트 반복 속도= $1/T_b$ ).

[0093] 일부 실시예들에서, 상기 레이저 버스트 반복 주파수는 약 1kHz 내지 약 650kHz 범위일 수 있다. 예를 들어, 상기 레이저 버스트 반복 속도들은 예를 들어 약 1kHz 내지 약 300kHz 범위일 수 있다. 각각의 버스트 내의 첫번째 펄스와 이후의 버스트 내의 첫번째 펄스 사이의 시간( $T_b$ )은 약 0.25 마이크로초(4MHz 버스트 반복 속도) 내지 약 1000 마이크로초(1kHz 버스트 반복 속도), 예를 들어 약 0.5 마이크로초(2MHz 버스트 반복 속도) 내지 약 40 마이크로초(25kHz 버스트 반복 속도) 범위, 또는 약 2 마이크로초(500kHz 버스트 반복 속도) 내지 약 20 마이크로초(50kHz 버스트 반복 속도) 범위일 수 있다. 개별적인 펄스들은 100 피코초 이하인(예를 들어, 0.1 피코초, 5 피코초, 10 피코초, 15 피코초, 18 피코초, 20 피코초, 22 피코초, 25 피코초, 30 피코초, 50 피코초, 75 피코초, 그 사이의 모든 범위들 및 하위 범위들 포함) 펄스 시간( $T_d$ )를 가질 수 있다. 버스트 내의 각각의 개별적인 펄스의 에너지 또는 세기는 버스트 내의 다른 펄스들의 그것과 동일하지 않을 수 있으며, 버스트 내의 다수의 펄스들의 세기 분포는 일부 실시예들에서 레이저 설계에 의해 지배되는 시간에 따른 지수적 감쇠를 따를 수 있으나, 다른 실시예들에서 감쇠는 눈에 띄지않을 수 있다. 정확한 타이밍, 펄스 시간, 및 버스트 반복 속도는 레이저 설계에 따라 다를 수 있으나, 높은 세기의 짧은 펄스들( $T_d < 20$  피코초 및 바람직하게  $T_d \leq 15$  피코초)이 특히 잘 작동하는 것으로 나타났다.

[0094] 기관 물질에서 측정된 버스트 당 평균 레이저 에너지는 물질의 두께 밀리미터 당 40 마이크로줄 초과, 예를 들어 약 40 마이크로줄/mm 내지 약 2500 마이크로줄/mm, 예를 들어 약 200 마이크로줄/mm 내지 약 800 마이크로줄/mm일 수 있다. 다시 말하면, 버스트 당 에너지는 전형적으로 약 25 마이크로줄 내지 약 750 마이크로줄 범위, 예를 들어 약 50 마이크로줄 내지 약 500 마이크로줄 범위, 또는 약 50 마이크로줄 내지 약 250 마이크로줄 범위이며, 그 사이의 모든 범위들 및 하위 범위들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 버스트 당 에너지는 약 100 마이크로줄 내지 약 250 마이크로줄 범위일 수 있다. 예를 들어, 약 0.5 밀리미터 내지 약 0.7 밀리미터 범위 두께의 코닝 2320 비이온 교환 유리의 경우, 200 마이크로줄 펄스 버스트가 상기 유리를 절단하고 분리하는데 사용될 수 있으며, 이는 약 285 마이크로줄/mm 내지 약 400 마이크로줄/mm 의 예시적인 범위를 준다. 상기 기관과 상기 레이저 빔 사이의 상대적인 움직임은 임의의 원하는 부분 또는 부분들(예를 들어, 플러그)의 형상의 윤곽을 형성하는 일련의 결합 라인들을 포함하는 폴트 라인을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0095] 알칼리 토금속 보로-알루미늄노실리케이트 유리들(저 알칼리 또는 무알칼리)의 경우, 특히, 약 0.005 마이크로줄/마이크로미터<sup>3</sup> 이상 내의 부피 에너지 밀도는 결합 라인이 형성되는 것을 보장할 수 있다. 그러나, 이러한 에너지 밀도들은 상기 유리에 오직 최소한의 손상만을 발생시키기 위해 약 0.100 마이크로줄/마이크로미터<sup>3</sup> 아래로, 예를 들어 약 0.005 마이크로줄/마이크로미터<sup>3</sup> 내지 약 0.100마이크로줄/마이크로미터<sup>3</sup> 범위로 유지되어야 한다.

[0096] 상기 펄스 버스트 내의 개별적인 펄스의 에너지는 전술한 것 미만일 것이며, 정확한 개별적인 레이저 펄스 에너지는 상기 펄스 버스트 내의 펄스들의 수 및 존재 한다면, 상기 레이저 펄스들의 시간에 따른 감쇠 속도(예를 들어, 지수 감쇠 속도)에 위존할 것이다. 예를 들어, 버스트당 일정한 에너지의 경우, 펄스 버스트가 10개의 개별적인 레이저 펄스들을 포함하는 경우, 동일한 펄스 버스트가 오직 2개의 개별적인 레이저 펄스들 가지는 경우보다 각각의 개별적인 레이저 펄스는 더 적은 에너지를 포함할 것이다.

[0097] 이러한 펄스 버스트들을 발생시키는 것이 가능한 레이저의 사용은 투명한 물질들, 예를 들어 유리를 절단하거나 수정하는데 유리하다. 단일 펄스 레이저의 반복 속도에 의해 시간 상으로 이격된 단일 펄스들의 사용과 달리, 버스트 내의 펄스들의 빠른 시퀀스로 레이저 에너지를 분산시키는 펄스 버스트 시퀀스의 사용은 단일 펄스 레이저들보다 가능한 것보다 상기 기관 물질과의 높은 세기의 상호작용의 더 큰 시간 스케일에 접근하는 것을 허용한다. 단일 펄스는 시간에 걸쳐 넓혀질 수 있으나, 상기 펄스 내의 세기는 대략 상기 펄스 폭 분의 1로 떨어진다. 따라서, 10 피코초 단일 펄스가 10나노초 펄스로 넓혀지는 경우, 세기는 대략 3자리수가 떨어진다. 이러한 감소는 광학 세기를 비선형적인 흡수가 더이상 중요하지 않고 광-물질 상호작용이 절단을 허용하기에 더이상 충분히 강하지 않은 지점까지 감소시킬 수 있다. 반면, 펄스 버스트 레이저의 경우, 버스트 내의 각각의 펄스 동안 세기는 매우 높게 유지될 수 있다 - 예를 들어 대략 10 나노초로 시간 상에서 이격된 3개의 10 피코초 펄스들은 여전히 단일한 10 피코초 펄스의 그것보다 대략 3배 더 높은 각각의 펄스 내의 세기를 허용한다. 따라서, 상기

레이저는 3자리수 더 긴 시간 스케일에 걸쳐 상기 기관과 상호작용할 수 있다. 버스트 내의 다수의 펄스들의 조절은 미리 존재하는 플라즈마 플룸과의 더 많은 또는 더 적은 광 상호작용, 초기 또는 이전의 레이저 펄스에 의해 미리 여기된 원자들 및 분자들과의 더 많은 또는 더 적은 광-물질 상호작용, 및 마이크로 크랙들의 제어된 성장을 촉진시킬 수 있는 물질 내에서의 더 많거나 더 적은 가열 효과들을 가능하게 할 수 있는 방식으로 레이저-재료 상호작용의 시간 스케일의 조절을 허용한다. 물질을 수정하기 위해 요구되는 버스트 에너지의 양은 기관 물질 조성 및 상기 기관과 상호작용하는데 사용되는 라인 포커스의 특성에 의존할 것이다. 상호작용 영역이 더 길수록, 더 많은 에너지가 분산되며, 더 높은 버스트 에너지가 요구될 것이다. 결함 라인은 펄스들의 단일한 버스트가 기본적으로 상기 기관 상의 동일한 위치에 입사될 때 형성된다. 즉, 단일한 버스트 내의 다수의 레이저 펄스들은 상기 기관 내의 단일한 결함 라인에 대응한다. 물론, 상기 기관이 움직여지거나(예를 들어, 일정하게 스테이지를 움직임으로써), 또는 상기 빔이 상기 기관에 대하여 움직여지므로, 상기 버스트 내의 개별적인 펄스들은 상기 기관 상의 정확히 동일한 위치에 있을 수 없다. 그러나, 개별적인 펄스들은 서로의 1 마이크로미터 내에 있다. 즉, 그들은 기본적으로 동일한 위치에서 상기 기관에 입사한다. 예를 들어, 개별적인 펄스들은 서로로부터 간격(sp)으로 상기 기관에 입사할 수 있으며,  $0 < sp \leq 500$  나노미터이다. 예를 들어, 기관 위치가 20 펄스들의 버스트로 부딪칠 경우, 상기 버스트 내의 개별적인 펄스들은 서로의 250nm 내에서 상기 기관에 입사한다. 따라서, 일부 실시예들에서, 상기 간격(sp)은 약 1 나노미터 내지 약 250 나노미터 범위, 예를 들어 약 1 나노미터 내지 약 100 나노미터 범위일 수 있다.

[0098] 일부 실시예들에서, 초단(예를 들어 10 피코초) 버스트 펄스 레이저는 지속적인, 제어가능하고 반복가능한 방식으로 높은 중횡비의 결함 라인을 생성하는데 사용될 수 있다. 적합한 결함 라인들을 생성하는데 사용될 수 있는 예시적인 광학 셋업의 상세한 내용은 아래 및 2013년 1월 15일 출원된 미국 출원 제61/752,489에 기술되며, 그 전문이 참조에 의해 본 명세서에 결합된다. 이 개념의 본질은 초단(피코초 또는 펨토초 시간) 베셀 빔들을 사용하여 높은 중횡비의 테이퍼 없는 결함 라인들의 영역을 생성하기 위해 광학 렌즈 어셈블리 내의 엑시콘 렌즈 구성 요소를 사용하는 것이다. 다시 말하면, 상기 엑시콘 및 다른 관련된 광학 구성 부품들은 상기 레이저 빔을 일반적으로 실린더 형상이고 높은 중횡비(긴 길이 및 작은 직경)의 영역으로 응집한다. 상기 응집된 레이저 빔 내에 생성된 높은 세기로 인하여, 레이저 자기장과 기관 물질의 비선형적 상호작용이 일어나며, 레이저 에너지가 기관으로 전달된다. 그러나, 레이저 에너지 세기가 충분히 높지 않은 영역들(예를 들어, 유리 표면, 중심 수렴 라인 주위의 유리 부피)에서, 이들 위치들에서의 레이저 세기는 선형 및 비선형 임계값 아래이므로 기관에 아무것도 일어나지 않는다.

[0099] 도 2에 도시된 바와 같이, 레이저(미도시)는 광학 어셈블리(32)의 빔 입사 측에서 레이저 빔(30)을 방출한다. 광학 어셈블리(32)는 레이저 빔(30)을 레이저 빔 축을 따라 정의된 거리에 걸쳐 광학 어셈블리(32)의 출력 측 상의 연장된 레이저 빔 포컬 라인(34)으로 변환한다. 당업계의 통상의 기술자는 포컬 라인(34)의 길이의 변화는 예를 들어 공기 전파와 기관 내의 전파 사이의 굴절률의 변화로 인해 발생할 수 있다는 것을 인식할 것이다. 기관(10)은 상기 광학 어셈블리(32) 후의 빔 경로에 위치되며, 적어도 부분적으로 상기 레이저 빔 포컬 라인(34)과 중첩된다. 광학 어셈블리(32)는 예를 들어 엑시콘(axicon)(36), 콜리메이팅 렌즈(collimating lense)(37) 및 포커싱 렌즈(38)를 포함할 수 있다. 참조 번호 40은 광학 어셈블리(32)를 향하는 상기 기관의 주표면을 나타내는 반면, 참조 번호 42는 주표면(40)과 평행한 기관(10)의 대향하는 주표면을 지칭한다. 기관 두께(표면들(40 및 42)에 수직하게 측정됨)는 d로 라벨링되었다.

[0100] 광학 어셈블리(32)는 통상적인 가우시안 레이저 빔보다 훨씬 덜 빨리 회절 또는 분산되는 빔인 의사-비회절(quasi-non-diffracting) 빔으로 지칭되는 것을 형성한다. 이들 광학 기기들은 통상적인 가우시안 빔보다 쉽게 100X 또는 심지어 1000X 더 긴 길이에 걸쳐 타이트한 포커스를 유지할 수 있는 비회절 빔의 하나의 형태인 가우스-베셀 빔으로 지칭되는 것을 생성하기 위해 가장 자주 사용된다.

[0101] 기관(10)과 레이저 빔 포컬 라인(34)의 중첩 영역에서, 레이저 빔 포컬 라인(34)은 기관 물질 내에 결함 라인을 생성하는 기관 물질 내의 유도된 흡수(비선형 흡수)를 발생시킨다 (레이저 빔 포컬 라인(34)을 따르는 적합한 레이저 세기를 가정할 때). 결함 형성은 포컬 라인의 영역에 국부적일뿐만 아니라, 기관(10) 내의 포컬 라인의 길이 전체에 걸쳐 일어난다. 레이저 빔 포컬 라인(34)의 평균 직경은 예를 들어 약 0.1 마이크로미터 내지 약 5 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 0.1 마이크로미터 내지 약 4 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 0.1 마이크로미터 내지 약 3 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 0.1 마이크로미터 내지 약 2 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 0.1 마이크로미터 내지 약 1 마이크로미터 범위일 수 있으나, 포컬 영역은 밀리미터 길이로 연장된다 (약 0.5 내지 약 10 밀리미터 범위).

[0102] 전술한 내용이 보여주듯이, 레이저 빔(30)의 파장( $\lambda$ )에서 투명한 기관 물질이 포컬 라인(34)을 따른 유도된 비

선형적 흡수로 인해 가열되어 결함 라인을 형성한다. 위에 기술된 공정은 수직 줄무늬(striation)로 구성된 매우 특징적인 옛지들을 가지는 조각을 형성한다. 각각의 줄무늬는 단일 레이저 펄스 또는 레이저 펄스들의 단일 버스트의 특징이며, 결함 라인의 일부를 나타낸다. 결함 라인들과 같이, 이들 줄(stria)은 대략 1 내지 50 마이크로미터 마다, 예를 들어 1 내지 20 마이크로미터 마다, 예를 들어, 약 5 내지 약 15 마이크로미터 범위로 주기적으로 이격될 수 있다. 줄은 포커스드 레이저 에너지에 의한 기관 물질의 수정을 나타내며, 이는 레이저 빔 축에 평행한 긴 선형의 손상 트랙(결함 라인)을 야기한다. 그 영역 내의 기관 물질은 치밀화되거나 화학적으로 변형될 수 있다. 결함 라인을 일반적으로 기관 내로 방사상으로 대략 5 내지 10 마이크로미터, 또는 일부 경우 25 마이크로미터까지 연장될 수 있는 그로부터 나오는 크랙들을 포함하며, 크랙의 크기는 물질 내에 퇴적된 레이저 에너지의 양에 비례한다. 결함 라인은 개방 영역들을 가질 수 있으나, 일반적으로 기관의 두께를 관통하는 연속적인 홀은 아니다. 결함 라인의 상단 및 하단에는 개방된 홀이 종종 있다. 홀의 개방된 영역은 전형적으로 1 마이크로미터 미만의 직경을 가지나, 일부 조건들하에서 크게, 예컨대 5 마이크로미터 이하 직경으로 만들어질 수 있다. 홀은 종종 그를 둘러싸는 분출되고 용융된 물질들의 상승된 영역 또는 "크레이터 고리"를 가지며, 이는 전형적으로 약 3 마이크로미터 내지 약 8 마이크로미터 범위의 직경을 나타낸다. 도 3은 유리 기관의 표면 상에서 보여진 전형적인 결함 라인의 주사 전자 현미경 이미지이며, 고리 및 분출물을 보여준다. 도 4는 단면에서 보여진 유리 기관의 주사 전자 현미경이며, 그 길이의 적어도 일부를 따르는 결함 라인을 보여준다.

[0103] 부분의 옛지들을 정의하기 위한 결함 라인들의 사용은 결과적인 물품에 높은 치수 품질을 제공한다. 물품을 격리시키는 크랙들이 결함 라인들에 의해 가이드되므로, 단펄스 레이저 빔의 공간 정밀도 및 정확도는 크랙이 전파하는 방향을 결정하고, 고리 형상의 예에서, 마이크로미터 수준의 정확도, 예를 들어 25 마이크로미터 미만, 예컨대 약 15 마이크로미터 미만, 및 전형적으로 약 +/-5 마이크로미터로의 내부 및 외부 반경을 야기하나, 분명히 허용 오차내이다. 이는 이러한 반경 주위로 크랙을 가이드할 수 없는 기계적 공정과 대조된다. 이는 또한 다른 레이저 공정들, 예컨대 CO<sub>2</sub> 레이저 빔으로부터 형성된 핫 스팟으로 가이드함으로써 크랙이 열적으로 전파되나, 기관 내에 형성된 미리 정의된 결함들에 의해 가이드되지 않는 CO<sub>2</sub> 레이저 절단과 대조된다. 가이드 결함의 결핍은 크랙 방향(crack wander)를 야기할 수 있으며, 이는 그러한 타이트한(마이크로 수준) 정확도가 달성될 수 없다는 것을 의미한다. 다른 레이저 공정, 예컨대 기관의 상단에 트렌치 또는 크랙을 형성하기 위한 가우시안 포커스드 UV 또는 가시 레이저 용삭 또한, 그들이 유리의 하나의 포면에서만 크랙을 제어하는 경향이 있으므로, 불량한 치수 제어를 겪는다.

[0104] 표면 줄에도 불구하고, 기관의 분리로부터 야기되는 크랙들은 고품질이어야 한다 (파괴 강도, 기하학적 정밀도, 거칠기, 및 재가공 필요의 회피와 관련하여). 표면 거칠기는 특히 포컬 라인(34)의 스팟 크기 또는 스팟 직경으로부터 야기된다. 레이저의 주어진 파장( $\lambda$ )의 경우 작은 스팟 크기, 예를 들어 0.5 마이크로미터 내지 2 마이크로미터를 달성하기 위하여, 특정 요구 사항들이 보통 입력 빔 직경 및 광학 어셈블리(32)의 개구수에 부과된다.

[0105] 요구되는 개구수를 달성하기 위하여, 상기 광학 어셈블리는 한편으로는 알려진 아베 공식( $N.A.=n \sin(\theta)$ , 여기서  $n$ 은 유리의 굴절률을 나타내고,  $\theta$ 는 개구 반각을 나타내고,  $\theta = \arctan(D/2f)$ ; 여기서  $D$ 는 개구 직경을 나타내고,  $f$ 는 포컬 길이를 나타낸다)에 따라 주어진 포컬 길이에 대하여 요구되는 개구를 가져야한다. 다른 한편으로, 상기 레이저 빔은 최대 요구되는 개구수까지 상기 광학 어셈블리를 비추어야하며, 이는 전형적으로 예를 들어 상기 레이저와 상기 포커싱 광학 기기들 사이의 와이드닝 텔레스코프들을 사용하여 빔 와이드닝에 의해 달성된다.

[0106] 스팟 크기는 상기 포컬 라인을 따르는 균일한 상호작용의 목적을 위하여 너무 크게 변화하지 않아야한다. 이는, 예를 들어, 상기 포커싱 광학 기기들을 오직 작은 원형 영역을 비추게하여 빔 오프닝 및 따라서 개구수의 퍼센트가 오직 근소하게 변화하도록함으로써 보장될 수 있다. 이들 요구를 만족하고 포컬 라인(34)을 발생시키는 데 적용될 수 있는 적합한 광학 어셈블리들(32)은 코닝 레이저 테크놀로지로부터 입수 가능한 레이저 가공 장치 CLT 45G를 포함한다.

[0107] 포컬 라인(34)은 포컬 라인(34)이 기관(10) 내에 전체적으로 놓이며, 오직 하나의 주표면만과 교차하거나, 또는 기관의 두 주표면들과 교차하도록 생성되고 배치될 수 있다는 것에 주의해야 한다. 상기 기관의 깊이의 오직 일부만이 손상되도록 충분히 상기 광학 기기들의 포커스 위치를 조절하는 것이 가능하다. 이러한 경우, 상기 줄무늬는 상기 기관의 상단으로부터 상기 기관의 중간 어디까지, 또는 상기 기관의 바닥으로부터 상기 기관의 내부 어디까지 연장될 수 있다. 포컬 라인(34)이 전체적으로 상기 기관의 벌크 내에 있을 수 있는 경우, 표면 입계치는 벌크 입계치와 상이하여, 따라서 통상적으로 입구 및 출구 홀들은 여전히 입사 빔에 의해 기관 내에 형성되

며, 이무 손상이 없는 영역, 이후 결함 라인이 존재한다는 것이 인식되어야 한다. 즉, 초점 라인(34)이 상기 기관 내에 전체적으로 놓인다고 하더라도, 표면 손상은 여전히 존재할 수 있다. 이들 경우들에서 상기 기관으로부터 상기 부분을 분리하는 것이 여전히 가능하나, 크랙 방향 또는 분리 윤곽의 완전한 제어는 타협된다. 관심 부분을 격리시키고 옛지 강도의 변동을 최소화하는 능력을 향상시키므로, 최선의 결과는 두 주표면들(40, 42)로 연장되는 포컬 라인(34)으로 달성될 수 있다. 따라서, 페더링(feathering) 및 상기 기관의 표면들에서의 큰 입자 생성을 회피하면서 거의 이상적인 절단을 달성하는 것이 가능하다.

[0108] 물질 성질들(광 흡수, 열 팽창 계수(CTE), 응력, 조성 등) 및 선택된 기관 물질을 가공하기 위해 선택된 레이저 파라미터들에 따라 폴트 라인의 생성만으로도 분리, 및 일부 경우들에서 상기 물품의 격리를 유도하기 충분할 수 있다. 자기-분리 및/또는 자기-격리는 외부 기계적 힘의 추가 없이 자발적인 이벤트로 발생할 수 있다. 이는 상당한(즉, 약 24MPa 이상) 내부 또는 중심 장력(CT)을 가지는 대부분의 강화된 유리들(절단 전에 이온 교환을 이미 거친 것들)의 경우에 해당한다. 이 경우, 이차적인 공정들, 예컨대 기계적으로 인가된 장력(예를 들어, 굽힘) 힘들 또는 가열(예를 들어 레이저 빔으로의)이 격리(펠러그 제거는 아니더라도)를 촉진하기 위해 일반적으로 필요하지 않다.

[0109] 전술한 내용에도 불구하고, 일부 경우들에서, 미리 존재하는 응력들 또는 폴트 라인의 생성 동안 형성된 응력들은 내부 부분을 자동적으로 격리시키기에 충분하지 않을 수 있다. 격리를 유도하기 위한 폴트 라인 형성 자체의 불충분은 종종 불충분한 잔류 응력을 가지는 비강화된 유리들, 예컨대 Eagle XG®, Lotus™ XT, 및/또는 Lotus™ NXT 같은 디스플레이-유형 유리 또는 임의의 이온 교환 단계 전에 절단된 이온교환가능한 유리들의 경우에 해당한다. 따라서, 격리를 촉진하기 위해 이차적인 공정 단계가 필요할 수 있다. 예를 들어, 폴트 라인의 생성 후에, 기계적 힘의 인가에 의해 또는 상기 부분들을 격리시키기 위해 용삭 없이, 상기 경로를 따라 기관을 국부적으로 가열하고 충분한 열 응력을 생성하기 위해 적외선 레이저 빔(예를 들어, CO<sub>2</sub> 또는 CO 레이저 빔)으로 상기 폴트 라인의 형성 동안 따른 이전의 경로를 다시 추적함으로써 격리는 달성될 수 있다. 즉, 상기 폴트 라인을 따라 하나 이상의 풀-바디 크랙들을 형성하는 것은 상기 내부 부분을 격리한다. 다른 옵션은 예를 들어 소정의 경로를 오직 부분적으로만 횡단함으로써 레이저가 오직 분리를 시작하게 하는 것이며, 격리는 예를 들어 굽힘에 의해 또는 다른 힘의 인가에 의해 수동적으로 수행된다. 선택적인 레이저 분리는 약 9 마이크로미터 내지 약 11 마이크로미터 범위, 예를 들어 10.6 마이크로미터의 파장을 방출하고 레이저 듀티 사이클을 제어함으로써 조절된 전력을 가지는 디포커싱된 연속파 CO<sub>2</sub> 레이저로 수행될 수 있으나, 추가적인 실시예들에서 다른 파장들 및 레이저 매체들이 사용될 수 있다(예를 들어, CO 레이저) 포커스 변화(즉, 디포커싱의 정도)는 기관의 표면 상의 레이저 빔의 스팟 크기를 변화시킴으로써 유도된 열 응력을 변화시키는데 사용될 수 있으며, 여기서 스팟 크기는 피크 세기의  $1/e^2$ 로 정의된다. 폴트 라인의 생성 후에, 레이저 유도된 분리 및 격리는 일반적으로 약 40와트 내지 400와트 범위의 기관 표면에서의 전력, 약 2 밀리미터 내지 약 12 밀리미터 범위의 스팟 크기, 및 약 50 밀리미터/초 내지 약 3000 밀리미터/초 범위, 예를 들어 약 80 밀리미터/초 내지 약 500 밀리미터/초의 폴트 라인을 따른 레이저 빔의 이동 속도를 사용하여 달성될 수 있다. 스팟 크기가 너무 작으면(즉, 1 밀리미터 미만), 또는 레이저 전력이 너무 높으면(약 400와트 초과), 또는 주사 속도가 너무 느리면(약 1 밀리미터/초 미만), 기관은 과가열될 수 있으며, 용삭, 용융 또는 열적으로 발생된 크랙들을 생성하며, 이는 분리된 부분의 옛지 세기를 감소시킬 수 있으므로 바람직하지 않다. 바람직하게 효율적이고 신뢰성 있는 부분 분리를 유도하기 위하여 레이저 빔 주사 속도는 약 50 밀리미터/초 초과이다. 그러나, 레이저에 의해 형성된 스팟 크기가 너무 크거나(약 20 밀리미터 초과), 또는 레이저 전력이 너무 낮거나(약 10와트 미만, 또는 일부 경우 약 30 와트 미만), 또는 주사 속도가 너무 높은(약 500 밀리미터/초 초과) 경우, 불충분한 가열이 일어날 수 있으며, 이는 신뢰성 있는 부분 분리를 유도하기에 너무 낮은 열 응력을 야기할 수 있다.

[0110] 일부 실시예들에서, 200와트의 전력에서 작동하는 CO<sub>2</sub> 레이저가 대략 6 밀리미터의 유리 표면에서의 스팟 직경 및 약 250 밀리미터/초의 주사 속도와 함께 상술된 피코초 레이저로 수정된 0.7 밀리미터 두께의 코닝 Eagle XG® 유리에 대하여 부분 분리를 유도하기 위해 사용될 수 있다. 더 두꺼운 기관은 더 얇은 기관보다 분리하기 위해 단위 시간 당 더 많은 레이저 열 에너지를 요구할 수 있거나, 더 낮은 CTE를 가지는 기관은 더 낮은 CTE 기관보다 분리하기 위해 더 많은 CO<sub>2</sub> 레이저 열 에너지를 요구할 수 있다. 폴트 라인을 따르는 분리는 레이저 스팟이 주어진 위치를 통과하기 전 또는 후에 매우 신속하게(예를 들어 약 1 초 내에), 예를 들어 100밀리초 내, 50 밀리초 내, 또는 심지어 25 밀리초 내에 발생할 수 있다.

[0111] 그러나, 상기 기관이 폴트 라인의 형성 후에 자기-분리 또는 자기-격리를 시작하기에 충분한 내부 응력을 가지는 경우에도, 부분의 기하학적 형상은 그 부분이 주위의 기관 물질로부터 쉽게 제거되는 것을 방지할 수 있다.

이는 특히 제거되는 그 부분이 다른 부분의 내부 부분, 예를 들어 플러그(16)인 경우 그러하다. 따라서, 플러그는 플러그와 주위 기관 물질 사이의 충분한 간격(갭)의 결핍으로 인해 제자리에 남아있을 수 있다. 크랙들은 플러그를 격리시키는 결합 라인들 사이로 전파될 수 있으나, 주위 물질에 손상 없이 플러그가 부모 기관 물질로부터 제거되도록 허용하는 플러그와 주위의 기관 물질 사이의 공간이 없다. 릴리즈 라인들은 오직 관심의 대상의 주위 부분을 파괴시킬 것이다.

[0112] 이제 도 5 및 도 6을 참조하면, 방법은 유리 기관(10)으로부터 물품을 절단 및 제거하기 위하여 방법이 이제 설명될 것이나, 상기 방법은 다른 기관 물질들에도 적용가능하다는 것이 이해되어야 한다. 상기 방법은 부모 유리 기관(10)을 평평한 지지 기관(100) 상에 위치시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 유리 기관 두께(d)는 약 50 마이크로미터 내지 약 3 밀리미터 범위, 예를 들어 약 100 마이크로미터 내지 약 2 밀리미터 범위, 예를 들어 약 300 마이크로미터 내지 약 1 밀리미터 범위일 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 유리 기관은 약 0.5 밀리미터 내지 약 0.7 밀리미터 범위의 두께를 가질 수 있다. 바람직하게, 유리 기관(10)은 퓨전-형성된 유리 기관이며, 제1 및 제2 주표면들(40, 42)은 유리 기관 내에 결합 라인들을 형성하기 전에 그라인딩 또는 폴리싱되지 않았으나, 추가적인 실시예들에서 상기 유리 기관은 그라인딩 및/또는 폴리싱된 제1 및 제2 주표면들을 포함할 수 있고, 추가적인 실시예들에서, 상기 유리 기관(10)은 플로트 및 슬롯 성형 공정들을 제한없이 포함하는 다른 성형 공정들에 의해 형성될 수 있다. 상기 퓨전 공정에 의해 형성된 유리 기관의 두 표면들은 전형적으로 높은 온도에서 기계적 핸들링 표면들과 접촉하지 않는다. 이는 표면 오염물 또는 다른 결합들을 제거하기 위한 폴리싱에 대한 필요 없이 깨끗한 초기의 표면들을 가지는 유리의 대형 시트들을 형성하는 능력을 야기한다. 퓨전 형성된 유리 기관들의 표면들은 폴리싱 마크들 및 유리 엿지들 근처에서 Sn의 농도를 가지지 않는다. 퓨전 형성된 시트들의 표면 거칠기는 전형적으로 1 나노미터 미만 Ra, 그러나 종종 약 0.5 나노미터 미만 Ra이다.

[0113] 반면, 통상적인 플로트 공정을 사용하여 만들어진 유리는 성형 공정동안 용융된 주석(Sn)에 노출된 일층을 가진다. 플로트 유리 공정은 종종 퓨전 드로우 공정보다 더 낮은 비용으로 유리를 생성할 수 있으나, 많은 단점들을 가진다. 주석의 존재는 유리 시트 내에 오염물 또는 화학적 특징을 생성한다. 또한, 플로트 공정은 퓨전 드로우 공정만큼 매끄러운 유리를 만들지 않는다. 이는 최종 거칠기 조건을 만족하고 Sn 오염물 자체를 제거하기 위해 Sn 층이 폴리싱되어야 한다는 것을 의미한다. 적어도 위의 이유들로, 퓨전 성형된 유리 시트들을 사용하는 것이 선호된다.

[0114] 실시예들에서, 유리 기관(10)은 약 0°C 내지 약 300°C의 온도 범위에 걸쳐  $30 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  내지 약  $40 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  범위, 예를 들어 약  $30 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  내지 약  $40 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  범위, 예를 들어 약  $30 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  내지 약  $36 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  범위이며, 그 사이의 모든 범위들 및 하위 범위들을 포함하는 열 팽창 계수를 포함할 수 있다. 상기 유리 기관의 어닐링 점은 약 700°C 이상, 예를 들어 약 800°C 이상일 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유리 기관의 어닐링 점은 약 700°C 내지 약 820°C 범위, 예를 들어 약 710°C 내지 약 730°C 범위이나, 다른 실시예들에서 상기 유리 기관의 어닐링 점은 약 800°C 내지 약 810°C 범위일 수 있다. 어닐링 점은 예를 들어 ASTM C336(섬유 인장) 또는 ASTM C598(빔 굽힘)을 사용하여 측정될 수 있다. 실시예들에서, 상기 유리 기관은 600°C의 온도에서 30분동안을 거치고 상온(23°C)으로 냉각되도록 허용된 후에 약 35ppm 이하 예를 들어 약 20ppm 미만의 압축을 포함한다. 압축은 기관 상에 기준 마킹을 놓고, 상기 기관이 열적 사이클을 거치게한 후, 기준 마킹들 사이의 상대적인 위치 변화 또는 수축을 측정함으로써 측정될 수 있다.

[0115] 실시예들에서, 임의의 그라인딩 또는 폴리싱 전의 유리 기관(주표면들)의 평균 표면 거칠기(Ra)는 약 0.5nm 이하이다. 유리 기관은 약 0.5 중량%(wt%) 이하, 예를 들어 약 0.3 wt% 이하, 예를 들어 약 0.2 wt% 이하의 양으로 산화물 기반의 주석(SnO<sub>2</sub>)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유리 기관은 약 0.15 wt% 미만의 SnO<sub>2</sub>를 포함할 수 있으나, 추가적인 실시예들에서 상기 유리 기관은 기본적으로 SnO<sub>2</sub>를 포함하지 않을 수 있다. 상기 유리 기관은 일부 실시예들에서 약 25 그램/cm<sup>3</sup> 이상의 밀도 및 약 75GPa 내지 약 90Pa 범위, 예를 들어 80GPa 내지 약 85GPa 범위, 예를 들어 약 82GPa 내지 약 84GPa 범위이며, 그 사이의 모든 범위들 및 하위 범위들을 포함하는 영률을 포함할 수 있다. 유리 밀도는 계산 디지털 밀도 미터를 사용하여 측정될 수 있다. 영률은 ASTM E111, 예를 들어 E111-04(2010)을 사용하여 측정될 수 있다. 상기 유리 기관은 약 900°C 내지 약 1100°C 범위, 예를 들어 약 950°C 내지 약 1050°C 범위, 예를 들어 약 970°C 내지 약 1050°C 범위, 예를 들어 약 1025°C 내지 약 1050°C 범위, 예를 들어 약 1040°C 내지 약 1050°C 범위의 연화 온도를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유리 기관은 약 1040°C 내지 약 1050°C 범위이며, 그 사이의 모든 범위들 및 하위 범위들을 포함하는 연화 온도를 가질 수 있다. 상기 연화 온도는 예를 들어 ASTM C338을 사용하여 측정될 수 있다.

[0116] 알칼리 금속들은 시간에 걸쳐 및 고온 노출 시 이동하여 예컨대 하드 디스크의 자성 층들과 같은 시스템 내의 다른 층들의 화학적 오염 및 포이즈닝을 야기하므로 상기 유리는 바람직하게 알칼리 금속 산화물들을 포함하지 않는다. 예를 들어, 일부 실시예들에서 상기 유리는 알칼리 금속 산화물을 포함하지 않는 알루미늄보로실리케이트 유리이다. 본 명세서에 사용된 바와 같이 알칼리 금속 산화물을 포함하지 않는다는 것은 약 0.1 wt% 이하의 알칼리 금속 산화물을 의미한다. 상기 유리는 바람직하게 실질적으로  $As_2O_3$ 를 포함하지 않으며, "실질적으로  $As_2O_3$ 를 포함하지 않는다"는 표현은 불순물로서 원재료 등으로부터 기인하는 것을 제외한  $As_2O_3$ 가 포함되지 않고, 유리 조성물 내의  $As_2O_3$ 의 함량은 질량으로 0.1% 이하(바람직하게 50ppm 이하)인 것을 의미한다. 상기 유리는 바람직하게  $Sb_2O_3$ 를 실질적으로 포함하지 않으며, " $Sb_2O_3$ 를 실질적으로 포함하지 않는다"는 표현은 불순물로서 원재료들 등으로부터 기인하는 것을 제외하고  $Sb_2O_3$ 가 포함되지 않고, 유리 조성물 내의  $Sb_2O_3$ 의 함량이 질량으로 0.1% 이하(바람직하게 50ppm 이하)인 것을 의미한다.

[0117] 지지 기관(100)은 제1 주표면(106) 및 제2 주표면(108)을 포함하며, 유리 기관(10)의 제2 주표면(104)은 지지 기관(100)의 제1 주표면(106) 상에 위치된다. 지지 기관(100)은 오직 명확성을 위하여 도 5, 도 10, 도 11, 및 도 12에서 유리 기관(10)으로부터 분리된 것으로 보여진다- 실제로 상기 유리 기관은 상기 지지 기관의 바로 위 상에 위치될 수 있다. 부모 유리 기관(10)이 지지 기관(100) 상에 위치되고, 상기 부모 유리 기관(10) 상에 위치된 소정의 내부 윤곽들의 위치가 각각의 리세스들 상에 위치되도록 지지 기관(100)은 표면(106) 내의 하나 이상의 리세스들(110)을 포함할 수 있다. 즉, 리세스(110)는 내부 포트 라인이 형성될 부모 유리 기관(10) 상의 각각의 위치 아래에 위치될 수 있다. 각각의 리세스(110)는 여러 목적들을 가질 수 있다. 첫째, 상기 리세스(110)는 이후의 가공 동안 가열되는 상기 유리 기관(10)의 부분들 사이의 갭을 제공할 수 있다. 일부 실시예들에서, 지지 기관(100)은 유리 기관에 대한 손상(marring) 및 손상을 막기 위해 적합한 폴리머 물질을 포함할 수 있다. 상기 폴리머 물질은 낮은 용융 온도를 포함할 수 있으며, 따라서 열에 의해 쉽게 손상된다. 대안적으로, 상기 폴리머가 가열에 의해 영향을 받지 않도록 상기 폴리머 물질은 높은 용융 온도를 포함할 수 있다.

[0118] 둘째, 리세스들(110)은 플러그가 유리 기관으로부터 릴리즈됨에 따라 내부 포트 라인에 의해 정의되는 플러그(16)를 잡을 수 있는 영역을 제공한다. 또한, 각각의 리세스(110)는 선택적으로 리세스의 바닥 또는 하단으로부터 지지 기관의 반대 표면, 예를 들어 표면(108)까지 연장되는 통로(112)를 포함할 수 있다. 통로(112)는 진공 소스(미도시)와 유체 상통할 수 있어, 유리 기관(10)으로부터 플러그의 제거를 돕기 위해 진공이 리세스에 인가될 수 있다. 또한, 지지 기관(100)은 리세스(110) 밖에 위치한 추가적인 통로들(114)을 포함할 수 있다. 추가적인 통로들(114)은 또한 진공 소스(미도시)와 유체 상통하도록 배치될 수 있으며, 이는 진공이, 추가적인 통로들(114)에 인가될 때, 지지 기관(100)에 유리 기관(10)의 위치를 확보하거나 고정하는 것을 돕는다. 진공은 유리 기관(10)이 지지 기관(100)으로부터 제거될 때 중단될 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, 유리 기관(10)은 다른 고정 방법들, 예를 들어, 그리고 제한 없이, 클램핑 또는 테이핑, 또는 당업계에 알려진 임의의 다른 적합한 고정 방법에 의해 지지 기관(100)에 고정될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 지지 기관(100)은 정전 기적으로 제자리에 유지될 수 있다.

[0119] 상기 방법은 이상에 설명된 방법 또는 방법들을 사용하여 의도된 유리 물품(예를 들어, 고리(20))을 위한 포트 라인들을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 상기 유리 기관의 두께(d)를 통해 연장되는 포커스 라인을 생성함으로써 펄스드 레이저 빔이 소정의 경로를 따라 결함 라인들의 연속물을 생성하는데 사용된다. 예를 들어, 도 5를 참조하면, 펄스드 레이저 빔(118)을 발생시키는 레이저(116)가 소정의 경로들을 따르는 결함 라인들(120)의 연속물을 형성하여 도 6에 점선들로 표현된 복수의 포트 라인들을 형성하는데 사용될 수 있다. 결함 라인들(120)은 이전에 기술된 바와 같이 약 1 마이크로미터 내지 약 20 마이크로미터 범위의 거리p만큼 서로 이격될 수 있다(도 7 참조). 상기 포트 라인들은 소정의 경로와 일치한다.

[0120] 도 5 및 도 6에 도시된 실시예에서, 포트 라인들은 제1, 내부 경로(12)(도 1 참조)와 일치하는, 제1 반경을 포함하는 제1, 내부 원형 포트 라인(122), 및 제2, 외부 경로(14)(도 1 참조)와 일치하고 내부 포트 라인(122)과 동심이고 상기 제1 반경보다 큰 제2 반경을 더 포함하는 제2, 외부 원형 포트 라인(124)을 포함하고, 상기 내부 및 외부 포트 라인들은 그들 사이의 고리(20)에 근접한다. 실시예들에서, 상기 제1 반경은 약 33 밀리미터 내지 약 34 밀리미터 범위일 수 있고, 상기 제2 반경은 약 9 밀리미터 내지 약 11 밀리미터 범위일 수 있다. 다른 실시예들에서, 상기 제1 반경은 약 47 밀리미터 내지 48 밀리미터 범위일 수 있고 상기 제2 반경은 약 12 밀리미터 내지 약 13 밀리미터 범위일 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 상기 제1 및 제2 반경은 위에 언급된 거리들보다 크거나 작을 수 있다.

[0121] 상기 복수의 폴트 라인들은 릴리즈 라인들(126)을 더 포함할 수 있다. 릴리즈 라인들(126)은 상기 부모 유리 기관(10)으로부터 고리(20)의 제거를 용이하게 한다. 예를 들어, 일부 릴리즈 라인들은 유리 기관(10)의 엷지들(128a-128d)로부터 외부 폴트 라인들(122)까지 연장될 수 있다. 일부 실시예들에서, 내부 및 외부 폴트 라인들(122, 124)은 릴리즈 라인들(126)의 생성 전에 먼저 생성된다. 도 6에 도시된 실시예에서, 릴리즈 라인들(126)은 대략 90도로 외부 폴트 라인들(124)에 접근하나, 추가적인 실시예들에서, 릴리즈 라인들(126)은 다른 각도들로 외부 폴트 라인들(124)에 접근할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 개별적인 릴리즈 라인이 대략 외부 폴트 라인에 접하도록 릴리즈 라인들(126)은 얇은 각도로 외부 폴트 라인들(124)에 접근할 수 있다. 릴리즈 라인이 외부 폴트 라인에 대략 수직적으로 접근하는 경우, 상기 외부 폴트 라인(124)은 상기 접근하는 릴리즈 라인을 형성하기 전에 형성되어야 한다.

[0122] 폴트 라인들을 생성하는 순서가 중요할 수 있는 이유를 설명하기 위해, 다음의 예들을 고려해보자. 레이저가 다른 결함 라인의 가까운 근처에 결함 라인을 생성하려고 시도할 때 상호작용이 존재한다. 레이저 빔의 라인 포커스 내의 에너지는 유리 기관의 두께를 통해 전부 포커싱되어야 한다. 그러나, 인접한 결함 라인이 존재하는 경우(전형적으로 수백 마이크로미터 내에), 이 결함 라인은 라인 포커스를 형성하는 광선의 콘의 일부를 가로막을 것이며, 상기 결함 라인은 유리 내 깊은 곳에서 포커싱되어 새로운 결함 라인을 형성하였을 레이저 에너지의 부분을 산란시키거나 흐리게할 것이다(상호작용의 정도는 가로막힌 광선들의 콘의 입체각에 의존한다). 이는 유리 기관의 두께를 통한 불완전한 결함 라인을 야기할 수 있으며, 일부 경우 결함 라인의 형성을 막을 수 있다. 유리 부분들이 분리될 때, 불완전한 결함 라인, 또는 결함 라인의 부재는 크랙 방향을 야기할 수 있다. 전형적으로 이 방향은 "새도잉"으로 지칭되며, 기존의 결함 라인들의 근처에서 뿐만아니라 유리 기관의 엷지들 근처에서 일어날 수 있다. 새도잉 효과가 중요한 정확한 근처는 많은 것들, 예컨대 광학 기기의 개구수, 유리 기관의 두께, 사용된 레이저 에너지, 유리 조성 등에 의존한다. 따라서, 새도잉 효과가 원하는 물품을 위한 잘 정의된 폴트 라인들을 생성하는 능력에 영향을 주지 않도록 원하는 물품을 위한 폴트 라인들(예를 들어, 내부 및 외부 폴트 라인들(122, 124))을 먼저 완성하는 것이 바람직하다.

[0123] 폴트 라인들(122, 124) 및 릴리즈 라인들(126)이 형성되면, 내부 부분의 격리를 얻기 위하여 인접한 결함 라인에 폴트 라인을 따라 각각의 결함 라인을 연결시키는 교차하는 크랙을 생성하는 것이 필요할 수 있다. 이는 전형적으로 스스로 시작된 크랙 형성을 위한 불충분한 잔류 응력이 존재하는 낮은 잔류 응력 유리 기관들, 예를 들어 비강화된 유리 기관들, 예컨대 비-이온 교환된 또는 비-열적으로 템퍼링된 유리 기관들의 경우이다. 따라서, 열원, 예를 들어 적외선 열원, 예컨대 적외선 레이저(예를 들어, CO<sub>2</sub> 또는 CO 레이저)가 인접한 결함 라인들 사이에 크랙을 전파시키는데 사용될 수 있다. 전술한 내부 및 외부 폴트 라인들(122, 124)과 관련하여, 상기 열원은 유리 기관 내로 결함 라인들 사이에 크랙을 드라이브하기에 충분한 열 응력을 유도하기 위해 상기 폴트 라인들 상으로 이동될 수 있다. 예를 들어, 레이저 빔이 폴트 라인을 따라 입사되도록 CO<sub>2</sub> 레이저로부터의 레이저 빔은 특정한 폴트 라인을 형성하기 위해 사용되었던 동일한 경로를 따라 이동될 수 있으나, 다른 실시예들에서, 다른 레이저 종류가 사용될 수 있다. 폴트 라인을 따른 레이저 가열은 유리 기관을 정지상태로 유지하고 레이저 빔을 이동시킴으로써, 또는 레이저 빔을 정지 상태로 유지하고 유리 기관을 움직임으로써, 또는 유리 기관과 레이저 빔을 함께 움직임으로써 유리 기관과 레이저 빔 사이의 상대적인 움직임을 발생시킴으로써 수행될 수 있다. 예를 들어, 레이저는 적어도 2차원(예를 들어, 유리 기관(10)의 평면과 평행한 평면)으로 이동이 가능한 갠트리 상에 위치될 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 상기 갠트리는 또한 3차원으로, 즉 유리 기관의 주표면들에 수직하게 레이저의 이동이 가능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 가열될 많은 폴트 라인들이 있을 경우 다수의 레이저들이 폴트 라인들을 가열하기 위해 사용될 수 있으며, 이로써 공정 시간을 감소시킨다. 일부 실시예들에서, 단일한 레이저가 사용될 수 있으며, 그 단일한 레이저로부터의 레이저 빔은 레이저 빔을 복수의 개별적으로 제어가능한 레이저 빔들로 나누는 빔 스플릿팅 헤드로 지향된다. 레이저 빔을 스플릿하는 것은 공정 시간을 감소시킬 수 있으나, 각각의 개별적인 레이저 빔으로의 전력을 감소시킬 수 있으며, 이는 상기 단일한 레이저 소스로부터 더 큰 출력을 요구한다. 또 다른 실시예들에서, 유리 기관에 열적으로 충격을 가하고 교차하는 크랙들을 형성하기 위하여 유리 기관(10)은 가열된 오븐 내에 놓일 수 있다. 이는 또한 공정 시간을 감소시킬 수 있으나, 특히 대형 유리 기관들에 대하여 취급에 더 큰 어려움을 도입할 수 있다.

[0124] 그러나, 폴트 라인들 및 릴리즈 라인들의 형성에서와 마찬가지로, 폴트 라인들 및 릴리즈 라인들을 통해 크랙을 드라이브하는 (즉, 분리) 순서가 고려되어야 한다는 것에 주의해야 한다.

[0125] 크랙들이 드라이브되는 순서가 중요할 수 있는 이유를 설명하기 위하여, 이 두번째 예를 고려한다. 크랙들이 먼저 상기 릴리즈 라인들 내로 드라이브된 경우, 크랙이 인접한 폴트 라인 바로 옆의 상기 릴리즈 라인의 엷지에

도달하면, 상기 크랙을 중단할 것이 없다. 따라서 상기 크랙은 부분 내로 계속 전파할 수 있어, 결합 부분을 야기한다.

[0126] 도 8은 점선들로 도시된 제1, 내부 폴트 라인(122)과 제2, 외부 폴트 라인(124) 사이에 정의된 고리(20)를 포함하는 유리 기관(10)을 보여준다. 제1 폴트 라인(122) 및 제2 폴트 라인(124)은 인접한 결합 라인들 사이의 폴트 라인들을 따라 연장되는 크랙에 의해 통합되지 않았다. 도 7은 4개의 릴리즈 라인들(126a 내지 126d)을 더 도시하며, 크랙은 적합한 열원, 예를 들어 적외선 레이저 빔을 사용하여 폴트 라인(126a)을 따라 드라이브 되었다. 따라서, 릴리즈 라인(126a)은 실선으로 보여진다. 화살표(128)에 의해 표시된 바와 같이, 크랙이 릴리즈 라인(126a)을 따라 전파함에 따라, 크랙은 제2 폴트 라인(124)과 마주친다. 제2 폴트 라인(124)에 크랙이 아직 존재하지 않으므로, 릴리즈 라인(126a)을 따라 전파하는 상기 크랙은 제2 폴트 라인(124)을 넘어 연장되기에 자유로우며, 크랙 부분(130)에 의해 표시된 바와 같이 공정 중 원하는 부분(즉, 고리(20)) 내로 크랙을 형성한다. 이는 예를 들어 원하는 부분 엣지로부터 더 멀리 상기 릴리즈 라인들을 끝냄으로써 완화될 수 있다. 그러나, 적절한 거리는 예컨대 유리 조성, 두께, 레이저 전력, 속도, 습도 등과 같은 요소들에 의존한다. 따라서, 상기 릴리즈 라인을 따라 크랙들을 드라이브 하기 전에 상기 원하는 부분을 정의하는 상기 폴트 라인들을 따라 통합되는 크랙들을 형성하는 것이 바람직하다. 이 경우, 이는 릴리즈 라인(126a)을 따라 크랙을 드라이브하기 전에 제2 폴트 라인(124) 주위로 크랙을 드라이브하는 것을 의미한다.

[0127] 전문한 논의가 릴리즈 라인들과 폴트 라인들 사이의 수직(또는 거의 수직인) 교차를 주로 다루었으나, 언급된 바와 같이, 릴리즈 라인들은 폴트 라인들에 접하여 접근할 수 있다. 예를 들어, 폴트 라인(124)의 일부, 이 경우 원형 폴트 라인의 일부, 및 상기 폴트 라인과 중첩되는 접하는 릴리즈 라인(126)을 도시하는 도 9a 내지 도 9d를 참조하라. 릴리즈 라인(126)을 따라 전파하는 상기 크랙(실선(132)에 의해 표시된 바와 같이)이 상기 폴트 라인에 접근함에 따라, 새도잉이 일어날 수 있다는 것이 먼저 주목되어야 한다. 또한, 도 9a에 도시된 바와 같이, 크랙 전파(분리)가 상기 폴트 라인을 따르는 분리 전에 릴리즈 라인에서 시작하는 경우, 상기 전파되는 크랙은 화살표(134)에 의해 표시된 바와 같이 상기 릴리즈 라인으로부터 상기 폴트 라인으로 점프할 수 있고, 폴트 라인(124) 둘레로 계속될 수 있다(실선(136)에 의해 표시된 바와 같이). 반면, 도 7b에 도시된 바와 같이, 분리가 상기 릴리즈 라인 전에 상기 폴트 라인 상에서 수행된 경우, 그 반대로 일어날 수 있으며, 전파되는 크랙이 화살표(140)에 의해 표시된 바와 같이 상기 폴트 라인으로부터 상기 릴리즈 라인으로 점프한다. 유리의 상기 부착된 "도그 이어(dog ear)"(142)는 전형적으로 작고 예를 들어 그라인딩에 의해 제거될 수 있으나, 필요할 수 있는 더 많은 그라인딩이 수행될 필요가 있을 수 있으며, 추가적인 검사가 요구될 수 있다. 유사하게, 상기 크랙은 도 7c에 도시된 바와 같이 상기 폴트 라인으로부터 상기 릴리즈 라인으로 점프할 수 있으며, 상기 부분의 불완전한 분리를 야기한다. 접하는 릴리즈 라인들과 관련된 문제들은 예를 들어 도 7d에 도시된 바와 같이 릴리즈 라인들이 상기 폴트 라인에 도달하기 전에 종료되어 릴리즈 라인(126)의 종료된 단부와 상기 폴트 라인(124) 사이에 갭(G)이 존재하는 경우, 완화될 수 있다. 도 7d의 실시예에서, 분리는 전파되는 크랙이 릴리즈 라인(126) 중 하나로 점프하는 위험 없이 폴트 라인(124)을 따라 수행될 수 있다. 폴트 라인(124)을 따른 분리가 완성된 경우, 상기 릴리즈 라인(126)을 따르는 분리가 수행될 수 있다.

[0128] 상기 폴트 라인들에 관한 것보다 릴리즈 라인들에 관한 결합 라인들을 형성할 때 상이한 레이저 조건들이 사용될 수 있다는 것이 더 주목되어야 한다. 예를 들어, 원하는 부분의 엣지들을 정의하는 상기 폴트 라인들을 위한 것보다 엣지 품질에 더 적은 관심을 가지므로, 보다 "공격적인" 레이저 조건들(예를 들어, 더 큰 펄스 에너지)가 상기 릴리즈 라인들을 위하여 사용될 수 있다.

[0129] 도 10은 지지 기관(100) 상에 위치된 유리 기관(10)의 단면도이며, 플러그(16)를 보여준다. 도 10에 보여진 뷰에서, 예컨대 본 명세서에 기술된 방법들에 따라 그러나 이에 제한되지 않게 결합 라인들이 생성되었다. 보여지는 바와 같이, 상기 플러그들(16)은 리세스들(110) 상에 위치된다.

[0130] 결합 라인들의 형성에 의해 생성된 응력이 자기-개시된 분리를 통해 상기 주위 기관으로부터 상기 플러그들(16)을 격리하기에 부족한 경우, 도 10에 도시된 선택적인 단계가 수행될 수 있다. 열원, 예를 들어 레이저 빔(146)을 발생시키는 적외선 레이저(144)(예를 들어, CO<sub>2</sub> 또는 CO 레이저)가 분리를 촉진하기 위해 상기 결합 라인들의 형성 동안 생성된 상기 폴트 라인들 및 릴리즈 라인들 상으로 레이저 빔을 이동시키는데 사용된다. 즉, 크랙을 상기 폴트 라인들 및 릴리즈 라인들을 따라 드라이브 함으로써.

[0131] 일부 실시예들에서, 복수의 레이저들은 생산 시간을 감소시키기 위해 사용될 수 있다. 이 선택적인 단계는 예를 들어 기관(10)이 자기-격리를 촉진하기 위해 필요한 중심 장력이 부족한 경우 필요할 수 있다. 폴트 라인의 가열은 유리 기관의 용삭, 용융 또는 기화가 일어나지 않도록 선택된 조건들 하에서 수행되어야 한다는 것이 강조

되어야 한다. 이를 위하여, 레이저 빔(146)은 위에 상세히 설명된 바와 같이 유리 기관의 과열을 막기 위해 디포커싱될 수 있다.

[0132] 자기-격리(높은 중심 장력 기관들의 경우), 또는 플트 및 릴리즈 라인들의 가열을 통한 유도된 격리에 의하여 분리 및/또는 격리가 달성되면, 후속적인 단계에서, 플러그들(16)이 가열될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서 레이저 빔(152)을 생성하는 레이저(150), 예를 들어 CO<sub>2</sub> 레이저(도 11에 도시된 바와 같이)가 사용될 수 있다. 선택적으로, 상기 레이저는 이전의 선택적인 분리 단계에 사용된 레이저, 즉 레이저(146)과 동일할 수 있다. 본 실시예에 따라, 각각의 플러그의 오직 일부만이 상기 플러그 물질(예를 들어, 유리)의 연화 온도 이상의 온도로 가열되도록 플러그들(16)은 가열된다. 많은 가열 기술들이 사용될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 레이저 빔(152)은 상기 플러그의 중심에 지향되고, 상기 플러그의 중심부만을 예를 들어 상기 플러그의 연화 온도 이상의 온도로 가열한다. 다른 실시예에서, 레이저 빔(152)은 상기 플러그를 정의하는 소정의 경로(12)와 실질적으로 동일한 형상이나 그 경로로부터 이격된 경로를 따라 상기 플러 상으로 이동될 수 있다. 예를 들어, 소정의 경로(12)가 원형 경로인 경우, 레이저 빔(152)은 경로(12)로부터 이격되고 그 내부인 원형 경로를 따라 이동될 수 있다. 상기 레이저 빔은 상기 경로를 따라 오직 한번 이동될 수 있거나, 다른 실시예들에서 상기 레이저 빔은 상기 경로 상으로 복수회 이동될 수 있다. 일부 실시예들에서, 레이저 빔(144)은 복수의 경로들, 예를 들어 상이한 직경의 복수의 원형 경로들, 서로 이격된 복수의 경로들에 걸쳐 이동될 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 레이저 빔(152)은 제1 경로(12)로부터 이격되고 그 내부인 나선형 경로를 따라 플러그들(16) 상으로 이동될 수 있다. 플트 라인을 가열하기 위해 플트 라인 상으로 바로 또는 그에 인접하게 이동시킴으로써 CO<sub>2</sub> 레이저가 사용되는 경우와 달리, 본 경우에서 상기 플러그의 가열은 상기 플러그를 정의하는 소정의 윤곽으로부터 비교적 멀리에서 수행되어야 한다는 것이 주목되어야 한다. 또한, 상기 플러그의 과열을 막기 위해 상기 레이저 빔이 디포커싱된 레이저 빔일 수 있는 이전과 달리 이 상황에서는 과열이 바람직하다.

[0133] 상기 레이저 빔의 이동은 예를 들어 갈보미터(galvometer)로 이루어질 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 고리형상의 레이저 빔을 생성하기 위해 엑시콘이 사용될 수 있으며, 이로써 일부 실시예들에서 상기 레이저 빔을 이동시킬 필요를 회피한다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 빔은 상기 유리 기관과 평행한 평면 내에서 적어도 2차원 이동이 가능한 캔트리 상에 설치될 수 있다. 추가적인 실시예들에서, 상기 캔트리는 3차원 이동이 가능할 수 있으며 상기 유리 기관의 평면에 수직인 움직임을 포함한다. 다른 실시예들에서, 상대적인 움직임은 상기 기관을 움직이고 상기 레이저 어셈블리를 고정시킴으로써 제공될 수 있다.

[0134] 이론에 구속되려는 의도 없이, 플러그(16)의 가열은 예를 들어 그 자신의 무게 하에서 상기 플러그의 슬럼프(slumping)에 의해 상기 플러그의 변형을 생성한다고 생각된다. 따라서, 플러그들(16)의 가열이 완성되면, 상기 플러그들은 상기 유리 기관으로부터 상기 플러그들이 떨어지도록 충분한 시간 동안 냉각되도록 허용된다. 적합한 냉각 시간들은 전형적으로 약 10초 내지 40 초 범위, 예를 들어 약 20초 내지 약 40초 범위, 예를 들어 약 25초 내지 약 35초 범위이다. 상기 플러그들의 약간의 슬럼프를 야기하는 상기 플러그들의 가열 및 냉각이 상기 플러그들(18)을 수축시키고, 이로써 상기 플러그들과 주위의 유리 기관 사이에 충분한 갭을 생성하여 상기 플러그들의 제거를 용이하게 한다고 믿어진다. 이러한 경우, 가열 및 이후의 냉각 후의 상기 플러그의 상면(가열되는 상기 플러그의 표면, 예를 들어, 상기 가열 레이저 빔이 조사되는 표면)에서 상기 플러그의 직경이 가열 전의 상기 상면의 직경보다 작다. 또한, 상기 가열 및 이후의 냉각 후의 상기 하면(가열된 표면 반대편)의 직경은 유사하게 가열 전의 하면의 직경보다 작다. 두 직경들(상 및 하) 사이의 차이는 규모 중 하나이다. 본 실시예에서, 상기 상면 및 상기 하면의 직경들은 동일하거나, 실질적으로(측정 정밀도 내에서) 동일하다. 그러나, 상기 플러그 중심 영역의 가열 및 이후의 냉각 후에, 상기 플러그의 상면의 직경은 상기 플러그의 하면의 직경보다 작다. 비대칭적인 응력을 및 불균일한 형상을 방지하기 위해 가열 및 냉각 둘다는 균일해야 하므로, 상기 플러그들의 강제된(능동적인) 냉각은 가열 후에 사용될 수 있으나, 일반적으로 불필요하며 일부 경우들에서 불균일한 냉각을 생성할 수 있다. 즉, 칩핑(chipping)을 야기할 수 있는 상기 플러그와 상기 주위의 기관 사이에 접촉을 방지하기 위해 상기 플러그 주위에 일정한 갭을 생성하는 것이 바람직하다. 실제로, 대부분의 경우들에서, 수동적으로 냉각 후에, 상기 플러그들이 전형적으로 가해지는 추가적인 힘에 대한 필요 없이 그들 자신의 무게를 통해 상기 기관으로부터 떨어지는 것이 발견되었다.

[0135] 도 12에 도시된 선택적인 단계에서, 원하는 경우, 화살표들(160)에 의해 표시된 바와 같이 진공이 통로들(104)에 인가될 수 있으며, 이는 리세스들(110) 내의 압력을 감소시킨다. 그 결과, 화살표들(162)에 의해 표시되는 상기 플러그(16) 상의 공기 압력이 유리 기관(10)으로부터 및 리세스들(102) 내로 플러그들(16)의 추출을 돕는데 사용될 수 있다. 대안적으로, 예를 들어 푸쉬 로드(push rod) 또는 파이프에 의해 기계적인 힘이 상기 플러

그들(16)에 대하여 가해질 수 있다.

[0136] 유리 기관들(10)로부터의 플러그들(16)의 제거 이후, 고리(20)가 제거될 수 있도록 릴리즈 라인(126)에 의해 연결된 주위 (스크랩) 조각들을 포함하는 기관(10)의 다른 부분들이 제거될 수 있다.

[0137] 본 명세서에 설명된 공정들은 단일한 기관으로부터 예를 들어 다수의 고리들과 같은 다수의 물품들을 빠르게 생산하는데 사용될 수 있다. 물품들은 물질 활용을 최대화하기 위해 상기 기관 상에서 가깝게 위치될 수 있다. 예를 들어, 도 13은 유리 기관(10)의 활용을 최대화하기 위해 어떻게 육각 밀집 패키징이 사용될 수 있는지 도시한다. 일부 실시예들에서, 기관들은 스택될 수 있으며, 하나 가 다른 것 상에 위치될 수 있는 다수의 기관은, 상기 포컬 라인이 충분히 길게 만들어지는 경우, 스택된 기관들 내에 동시에 생성된 결함 라인들을 가질 수 있다. 그러나, 다수의 기관들 내에 동시에 결함 라인들을 형성하는 것은, 비 응력하의 단일한 기관들에서와 같이 크랙 전파를 촉진하기 위해 여전히 결함 라인 레이저가 뒤따르는 경로들을 따른 가열을 요구할 수 있다. 따라서, 다수의 기관들은 후속적인 가열 단계를 수행하기 위해 스택된 기관들을 단일한 기관들로 분리하는 추가적인 단계를 포함할 수 있다.

[0138] 다른 실시예들에서, 플러그(16)를 제거하는 다른 방법들이 사용될 수 있다. 보다 일반적으로, 상기 플러그(16)의 외부 직경과 상기 고리(20)의 내부 직경 사이의 갭은 다음의 식에 따라 증가되어야 한다.

$$D_{\text{initial}} > \text{sqrt}(D_{\text{final}}^2 + P_{\text{thickness}}^2) \quad (1)$$

[0140]  $D_{\text{initial}}$ 은 플러그(16)의 초기 직경을 나타내고,  $D_{\text{final}}$ 은 상기 플러그의 최종 직경을 나타내고,  $P_{\text{thickness}}$ 는 상기 플러그의 두께이다(이는 상기 유리 기관의 두께(Th)와 동일해야 한다). 달리 말하면, 상기 플러그의 상부 엣지로부터 상기 플러그의 하부 엣지까지의 대각선(대각선은 상기 플러그의 직경과 동일한 평면 내, 상기 평면은 상기 플러그의 주표면들에 수직하고, 상기 플러그의 직경은 동일한 평면 내에 놓인다)의 최대 길이가 상기 플러그의 초기 직경보다 작은 경우, 상기 플러그는 유리 기관으로부터 떨어져야 한다. 예를 들어, 25 밀리미터의 초기 직경  $D_{\text{initial}}$  및 0.7 밀리미터의 두께  $P_{\text{thickness}}$ 를 가지는 플러그에 대하여, 요구되는 상기 플러그의 수축은 392ppm 초과이다. 이전에 기술된 바와 같이 상기 플러그를 왜곡시키는 것에 더하여, 상기 플러그의 최종 직경 또는 주위의 유리(예를 들어, 고리(20))의 내부 직경을 감소시키는 다른 방법들. 이러한 방법들은 상기 플러그의 능동적인 냉각을 포함할 수 있다. 이 경우, 상기 플러그의 중심 부분을 가열하고, 이후 냉각시키거나, 플러그가 수동적으로 냉각되게 허용하는 것보다, 상기 플러그는 플러그에 예를 들어 액체 질소 또는 유사한 유체의 스프레이 또는 스트림을 지향시킴으로써 능동적으로 및 신속하게 냉각될 수 있으며, 이로써 상기 플러그가 수축하고 상기 플러그가 주위 물질에 손상을 주지 않고 제거될 수 있게 하는 상기 플러그와 상기 주위 물질 사이에 충분히 큰 갭을 형성하게 한다. 다른 실시예들에서, 전체 유리 기관은 고립된 부분들을 포함하고, 예를 들어 오븐 내에서 가열될 수 있으며, 그 이후 상기 플러그는 냉각될 수 있다. 예를 들어, 상기 유리 기관은 적합하게 높은 온도, 예를 들어 약 3.5ppm의 CTE에 기초하여 약 112°C로 가열될 수 있으며, 그 이후 상기 플러그는 다시 액체 질소 또는 다른 충분히 차가운 유체의 사용에 의해 약 0°C의 온도로 냉각될 수 있다.

[0141] 본 명세서에 기술된 방법들은 향상된 레이저 가공 성능들 및 비용 절약 및 따라서 더 낮은 제조 비용으로 번역될 수 있는 다음의 이익들을 제공한다. 본 명세서에 기술된 절단 공정은 절단되는 내부 윤곽들의 완전한 분리(격리)를 제공한다. 본 명세서에 기술된 방법들은 상기 유리 부분이 화학적 강화를 거치기 전 또는 후에 퓨전 드로우 공정 또는 다른 유리 성형 공정들에 의해 생성된 이온 교환 가능 유리(예컨대, Gorilla® 유리, 코닝 유리 코드들 2318, 2319, 2320 등) 내에 깨끗하고 제어된 방식으로 부모 기관으로부터 플러그들을 완전히 제거할 수 있다. 본 명세서에 기술된 방법들은 또한 감소된 서브 표면 결함들 및 우수한 엣지 품질을 제공한다. 레이저와 물질 사이의 매우 짧은 펄스 상호작용으로 인하여, 열적 상호작용이 거의 없으며, 따라서 원하지 않는 응력 및 상기 포트 라인 밖의 마이크로 크래킹을 야기할 수 있는 최소한의 열 영향 구역이 있다. 또한, 상기 레이저 빔을 상기 유리 내로 응집시키는 광학 기기는 부분의 표면 상에 직경이 전형적으로 약 2 마이크로미터 내지 약 5 마이크로미터 범위인 결함 라인들을 생성한다. 결함 라인들은 주기적으로 이격될 수 있으며, 간격은 약 1 마이크로미터 내지 약 50 마이크로미터 범위, 예를 들어 약 1 마이크로미터 내지 약 20 마이크로미터 범위, 예컨대 약 5 마이크로미터 내지 약 15 마이크로미터 범위일 수 있다. 부분들의 제거 후에, 서브 표면 손상은 통상적으로 약 75 마이크로미터 미만이며, 원하는 경우 약 25 마이크로미터 미만으로 조절될 수 있다. 분리된 표면(또는 절단 엣지)의 거칠기는 상기 포컬 라인의 스팟 크기 또는 스팟 직경을 통해 제어될 수 있다. 예를 들어 약 0.1 내지 약 1 마이크로미터 범위, 또는 약 0.25 내지 약 1 마이크로미터 범위일 수 있는, 분리된(절단된) 엣지 표면의 거칠기는, 예를 들어 Ra 표면 거칠기 통계(포컬 라인의 스팟 직경으로부터 야기되는 범프들의 높이를 포

합하는 샘플링된 표면의 높이들의 절대 값들의 산술 평균)에 의해 특징지어질 수 있다. 이 공정에 의해 발생된 표면 거칠기는 종종 약 0.5 마이크로미터 (Ra) 미만이며, 0.1 마이크로미터(R) 만큼 낮을 수 있으나, 엿지 표면 거칠기 및 엿지 강도는 예상치 못하게도 오직 약하게 상관된다는 것이 발견되었다. 또한, 기계적 마무리 공정들 예컨대 그라인딩 및 폴리싱이 이후 상기 엿지 형상을 수정하는데 사용되는 경우, 더 적은 서브 표면 손상을 가지는 부분들의 경우 요구되는 물질 제거의 양은 더 낮을 것이다. 이는 마무리 단계들을 감소시키거나 제거하고 부분 비용을 낮춘다. 본 명세서에 기술된 플러그 릴리즈 공정은 이 라인 포커스 피코초 레이저 절단 공정에 의해 생성된 고품질 엿지의 충분한 이점을 취하며, 내부 유리 물질의 제거가 상기 폴트 라인을 따라 깨끗하게 유리를 릴리즈하고 용삭 손상, 마이크로-크랙킹, 또는 원하는 부분 엿지에 대한 다른 결함들을 거의 또는 전혀 생성하지 않는 방식으로 수행된다.

[0142] 주어진 경로를 따라 물질을 순수하게 용삭하기 위해 포커싱된 레이저를 사용하는 공정들과 달리, 본 명세서에 개시된 공정들은 단일한 통과로 폴트 라인을 생성할 수 있다. 상기 폴트 라인은 수반된 스테이지들의 가속 성능들에 따라 약 50 밀리미터/초 내지 약 3000 밀리미터/초의 범위의 속도에서 본 명세서에 기술된 피코초 레이저 공정들에 의해 생성될 수 있다. 이는 물질이 "충별로" 제거되고 많은 통과들 또는 레이저 빔의 위치당 긴 체류 시간을 요구하는 용삭 드릴링 방법들과는 대조적이다.

[0143] 본 명세서에 기술된 방법들은 유리 또는 다른 투명한 취성의 물질들을 깨끗하고 제어된 방식으로 절단 및 분리할 수 있다. 마이크로 크랙들 및 더 작은 다수의 조각들로의 유리의 파쇄(fragmentation)를 유도하는 열의 영향을 받은 구역들을 촉발하므로, 통상적인 용삭 또는 열 레이저 공정들을 사용하는 것은 매우 어렵다. 결함 생성은 매우 짧은 시간 스케일에서 일어나며 결함 라인들을 형성하는데 사용되는 레이저 빔에 대한 물질 투명도는 유도된 열 효과들을 최소화하므로, 레이저 펄스들의 특징 및 개시된 방법들의 물질과의 유도된 상호작용은 이들 문제들을 회피한다. 결함 라인이 상기 기관 내에 형성되므로, 상기 절단 단계 동안 파편 및 부착된 입자들의 존재는 실질적으로 제거된다. 생성된 결함 라인으로부터 야기되는 임의의 파이클들이 존재하는 경우, 그들은 상기 부분이 분리될때까지 잘 포함된다.

[0144] 본 명세서에 기술된 방법들은 많은 형태들 및 형상들을 따르는 유리 및 다른 기관들의 절단 및 분리를 가능하게 하며, 이는 다른 경쟁 기술들에서 제한 사항일 수 있다. 작은 반경(예를 들어, 약 2 밀리미터 미만)이 절단될 수 있으며, 이는 작은 홀들 및 슬롯들(예컨대 휴대폰 응용들에서 스피커들 및/또는 마이크들을 위하여 요구되는 것과 같은)의 생성을 가능하게 한다.

[0145] 일부 실시예들에서, 복수의 기관들, 예를 들어 두 기관들, 세 기관들 또는 그 이상의 기관들은 스택될 수 있으며, 상기 레이저 빔 포컬 라인은 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장되고, 이로써 기관들의 스택의 각각의 기관을 통해 연장되는 복수의 결함 라인들을 형성한다.

[0146] 들어오는 유리 패널들로부터 최종 크기 및 형상으로 유리 판들을 제조하기 위한 공정들은 패널을 절단하는 단계, 크기로 절단하는 단계, 마무리 및 엿지 성형, 상기 부분을 그 목표 두께로 얇아지게하는 단계, 폴리싱, 및 심지어 일부 경우들에서 화학적으로 강화시키는 단계를 포함하는 여러 단계들을 수반할 수 있다. 이들 단계들 중 임의의 것의 제거는 공정 시간 및 자본 비용의 측면에서 제조 비용을 향상시킬 것이다. 본 명세서에 기술된 방법들은 예를 들어 파편 및 엿지 결함 발생 감소시킴으로써, 세척 및 건조 스테이션들의 잠재적인 제거로써, 및 샘플을 그 최종 크기, 형상 및 두께로 바로 절단함으로써, 마무리 라인들에 대한 필요를 제거함으로써 다수의 단계들을 감소시킬 수 있다.

[0147] 따라서, 일부 실시예들에 따르면, 유리 물품은 상기 유리 시트의 표면에 수직하게 적어도 250 마이크로미터 연장되는 복수의 결함 라인들(또는 그들의 부분들)을 가지는 적어도 하나의 내부 윤곽을 가지며, 상기 결함 라인들 각각은 약 5 마이크로미터 이하의 직경을 가진다. 일부 실시예들에서, 유리 물품은 기관의 전체 두께를 연장되는 결함 라인들을 포함한다. 결함 라인들 사이 거리는 예를 들어 약 7 마이크로미터 이하일 수 있다. 일부 실시예들에서, 내부 윤곽 엿지에 의해 정의되는 내부 윤곽의 가장 작은 치수 또는 폭은 약 5 밀리미터 미만, 예를 들어 폭(또는 직경)이 0.1 밀리미터 내지 3 밀리미터, 예를 들어 약 0.5 밀리미터 내지 약 2 밀리미터 범위일 수 있으나, 추가적인 실시예들에서, 내부 윤곽 엿지는 더 큰 치수, 예컨대 직경 범위로 약 10 밀리미터 내지 약 100 밀리미터, 예를 들어 약 20 밀리미터 내지 약 50 밀리미터 범위를 가질 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 상기 유리 물품은 포스트-이온 교환된 유리를 포함한다. 일부 실시예들에 따르면, 상기 결함 라인들은 상기 적어도 하나의 내부 윤곽 엿지의 전체 두께를 연장된다. 적어도 일부 실시예들에 따르면, 상기 적어도 하나의 엿지 표면은 기관(10)으로부터 부분의 제거 후에 약 0.5 마이크로미터 미만의 Ra 표면 거칠기를 가진다. 적어도 일부 실시예들에 따르면, 상기 적어도 하나의 엿지는 약 75 마이크로미터 이하 깊이 내의 서브 표면 손상을 가

진다.

- [0148] 전술한 공정은 일관된 엿지를 얻는다. 이는 타이트한 분포로, 4-pt 굽힘 테스트에 의해 측정된 엿지 강도를 야기한다. 코닝 Eagle XG®와 같은 비화학적으로 강화된 유리의 경우, 결과적인 엿지 강도는 통상적으로 약 15MPa 미만의 표준 편차와 함께 약 90MPa보다 큰 평균 값을 가질 수 있다. 또한, 상기 결합 라인들은 일반적으로 기관의 전체 바디를 통해 대칭적으로 만들어지므로, 상기 강도 테스트 동안 상기 부분의 상면 또는 하면이 장력 하에 놓이는지 여부에 무관하게 엿지 강도는 일반적으로 동일(10% 내)에 가까울 것이다. 하나의 주표면으로부터 반대편 주표면으로의(굽힘의 방향에 따라) 강도 분포 사이의 차이는 평균 강도 분포의 10% 미만이다. 엿지 표면들은 상기 내부 및 외부 엿지 표면들의 둘레 전체를 따라 폭으로 500 마이크로미터의 영역을 검사함으로써 측정된 측방향 치수가 약 50 마이크로미터보다 큰 크기를 가지는 칩핑을 나타내지 않았다.
- [0149] 전술한 공정에 의해 생성된 물품들은 도 14에 의해 보여질 수 있는 바와 같이 낮은 힘을 나타낸다. 도 14는 퓨전 드로우된 유리 기관에 걸친 상이한 측방향 위치들에서 취해진 95 밀리미터 외부 직경 고리(26mm 내부 직경)의 휨(편평도) 데이터를 보여준다. 상기 고리는 고리로 레이저 절단 전에 편평도가 측정된 기관의 100x100 밀리미터 부분들로부터 절단되었다 (도 14a). 고리로 레이저 절단 후, 각각의 디스크의 편평도가 다시 측정되었다 (도 14b). 도 14b의 데이터는 퓨전 드로우 시트에서 원래의 공간적 위치의 함수로서 각각의 최종 고리의 편평도를 나타낸다. 이들 데이터는 상기 레이저-절단된 고리가 약 15 마이크로미터 이하의 편평도를 유지했다는 것을 표시한다. 원래의 편평도와 비교는 또한 각각의 고리의 편평도가 100x100 밀리미터 절단 사각형의 편평도와 잘 일치한다는 것을 표시한다. 본 명세서에 개시된 방법들에 의해 생성된 물품들은 약 10 마이크로미터 이하의 총 두께 변동(최대 및 최소 두께 사이의 차이)을 가질 수 있다. 편평도(휨)은 Nikon®로부터 입수 가능한 NEXIV VMR 2030 좌표 측정 시스템을 사용하고 Digital Surf에 의한 MountainsMap® 분석 소프트웨어를 사용하여 측정되었다.
- [0150] 전술한 공정들에 의해 생성된 물품들은 약 5MPa 이하의 내부 잔류 응력, 일부 실시예들에서 약 0.5MPa 이하의 잔류 응력을 포함할 수 있다.
- [0151] 본 명세서에 개시된 방법들에 의해 생성된 고리는 약 15 마이크로미터 이하, 예를 들어 약 0 마이크로미터 내지 약 12 마이크로미터 범위, 약 0 마이크로미터 내지 약 10 마이크로미터 범위, 약 0 마이크로미터 내지 약 5 마이크로미터 범위, 및 일부 실시예들에서 약 2 마이크로미터 내지 약 6 마이크로미터 범위 동심도(상기 고리의 내부 및 외부 둘레의 중심 사이의 거리로 측정됨)를 가질 수 있다. 상기 고리의 외부 직경들은 공칭 직경의 +/- 12 마이크로미터 내일 수 있다. 동심도는 Nikon®으로부터 입수 가능한 NEXIV VMR 3020 좌표 측정 시스템을 사용하고 Digital Surf에 의한 MountainsMap® 분석 소프트웨어를 사용하여 측정되었다.
- [0152] 상기 물품이 하드 드라이브 장치를 위한 플래터인 경우, 예를 들어, 상기 물품은 추가적인 가공을 거칠 수 있다. 예를 들어, 상기 물품의 엿지 표면들은 드라이브 제조사의 사양으로 그라인딩 및/또는 폴리싱될 수 있다. 상기 고리의 엿지들은 추가적으로 비스듬히 잘릴 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 기관의 주표면들(40, 42)은 그라인딩 및/또는 폴리싱될 수 있다. 이러한 경우, 주위 기관으로부터 물품의 제거 후에 총 약 0.1mm 미만의 유리가 유리 물품의 주표면들로부터 제거될 필요가 있다. 추가적으로, 고리는 하드 드라이브 플래터의 경우 관습적인 바와 같이 코팅될 수 있다. 예를 들어, 상기 고리는 자기 매체의 코팅으로 코팅될 수 있다.
- [0153] 일부 실시예들에서 상기 유리 기관을 이온 교환하는 것이 바람직할 수 있다. 그러한 경우, 상기 이온 교환 공정은 상기 절단 공정 전에 수행되는 것이 바람직하다.
- [0154] 예(Example)
- [0155] 0.7mm 두께의 코닝 Lotus NXT 유리 기관이 폴리머 지지 기관 상에 위치되었으며, 상기 지지 기관은 복수의 리세스들을 포함하며, 각각의 리세스는 30 밀리미터 직경 및 2 밀리미터 깊이를 가진다. 상기 기관은 상기 폴리머 기관 내의 일련의 쓰루 홀들에 의해 제자리에 홀딩되었으며 진공이 상기 쓰루 홀들에 인가되었다. 29와트에서 작동하고, 약 9 피코초의 펄스 폭, 100kHz의 펄스 주파수를 가지고 버스트 당 5 펄스들로 버스트 모드로 작동하는 코히어런트 하이퍼레피드 피코초 레이저를 사용하여 복수의 결합들이 복수의 제1 원형 경로들 및 상기 제1 폐 경로들과 동심인 복수의 제2 원형 경로들을 따라 형성되었다. 라인 포커스 직경은 대략 2 마이크로미터 (FWHM) 였으며, 길이는 1.2 밀리미터 였다. 제1 및 제2 폐 경로들 각각을 따라 4 마이크로미터 이격된 결합 라인들을 생성하기 위해 상기 레이저는 12 미터/분의 속도로 이동되었다. 상기 제1 폐경로의 반경은 25 밀리미터 였고 상기 제2 폐경로의 반경은 95 밀리미터 였다. 상기 제1 및 제2 폐경로들은 복수의 고리를 정의했다. 상기 복수의 제1 폐경로는 복수의 플러그들의 정의했다.

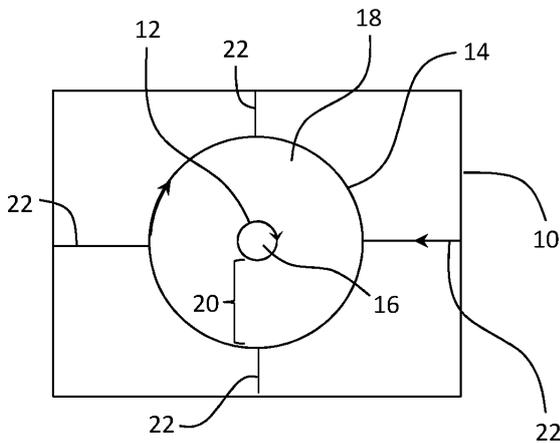
[0156] 상기 결합 형성 단계의 완료 후에, 상기 제1 및 제2 폐경로들은 170 와트에서 작동하는, 유리 표면에서 7 밀리미터 빔 직경으로 디포커싱된, 200 와트 Synrad CW 레이저를 사용하여 추적되었으며, 상기 레이저 빔은 크랙으로 각각의 상기 제1 및 제2 경로들을 따라 결합 라인들을 결합하기 위해 약 12 미터/분으로 이동되었으며, 이로써 상기유리 기판으로부터 상기 고리 및 상기 제2 원형 경로들에 의해 정의된 디스크로부터 상기 플러그들을 격리한다.

[0157] 상기 플러그들은 200와트에서 작동하는 동일한 Synrad CW CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하여 이후 가열되었고 유리 표면에 서 디포커싱된 6밀리미터 직경 레이저 빔을 생성하기 위해 조절되었다. 이 레이저 빔은 대략 4초 내에 10 밀리미터 직경 원을 4회 추적하였다. 상기 플러그들은 수동적으로(능동 냉각 없이) 냉각되도록 허용되었으며, 상기 플러그들은 냉각의 시작(가열의 중단) 약 25초 후 내에 상기 유리 디스크들로부터 떨어졌다.

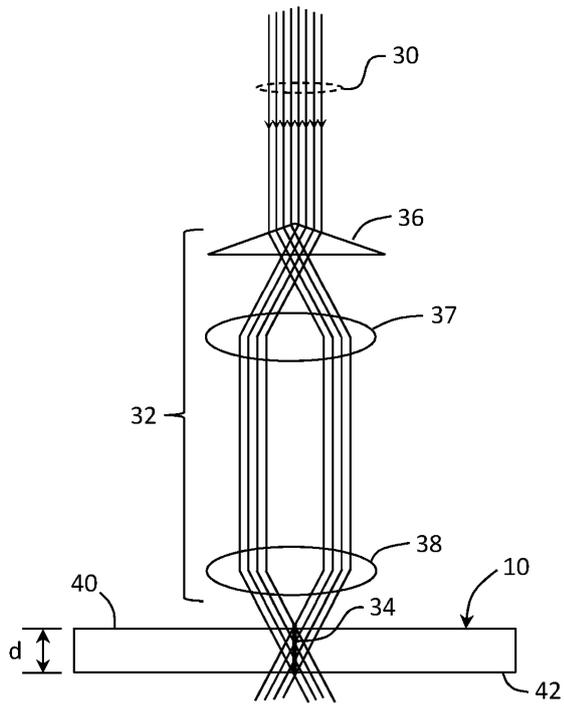
[0158] 예시적인 실시예들이 본 명세서에 개시되었으나, 첨부된 청구항들에 의해 포함되는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않으면서, 형태 및 상세 사항들의 다양한 변화들이 만들어질 수 있다는 것이 당업계의 통상의 기술자에 의해 이해될 것이다.

**도면**

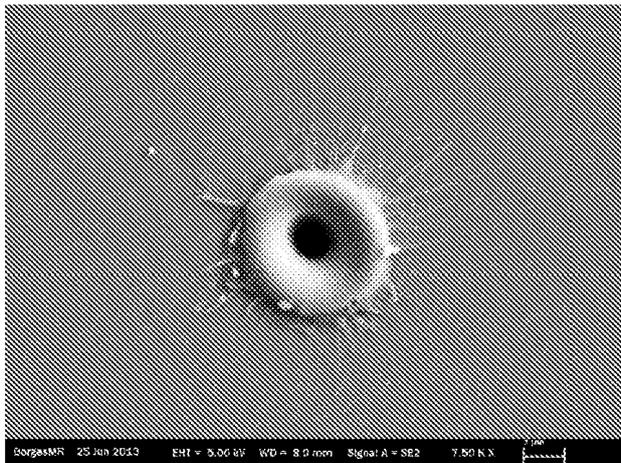
**도면1**



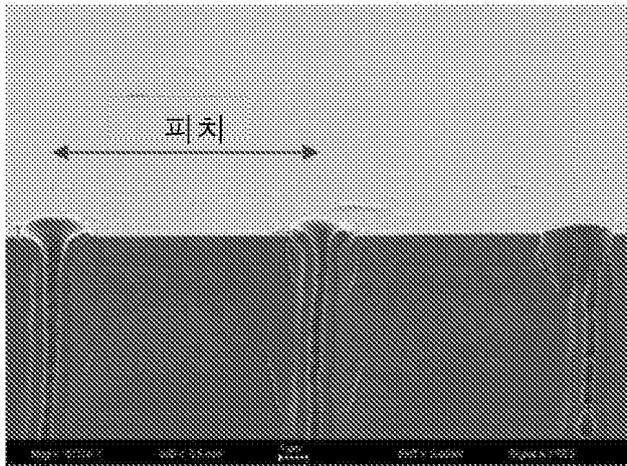
도면2



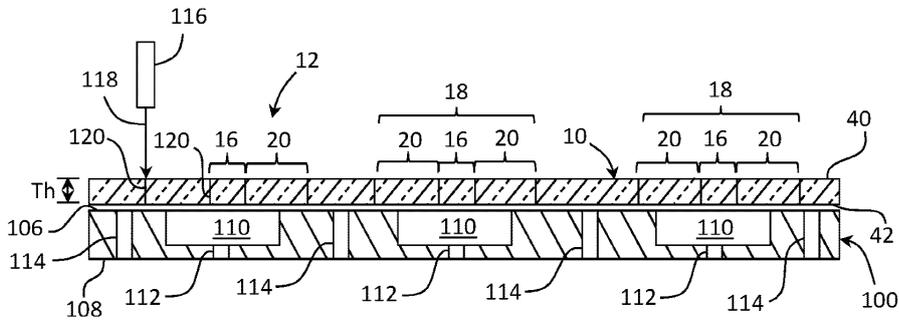
도면3



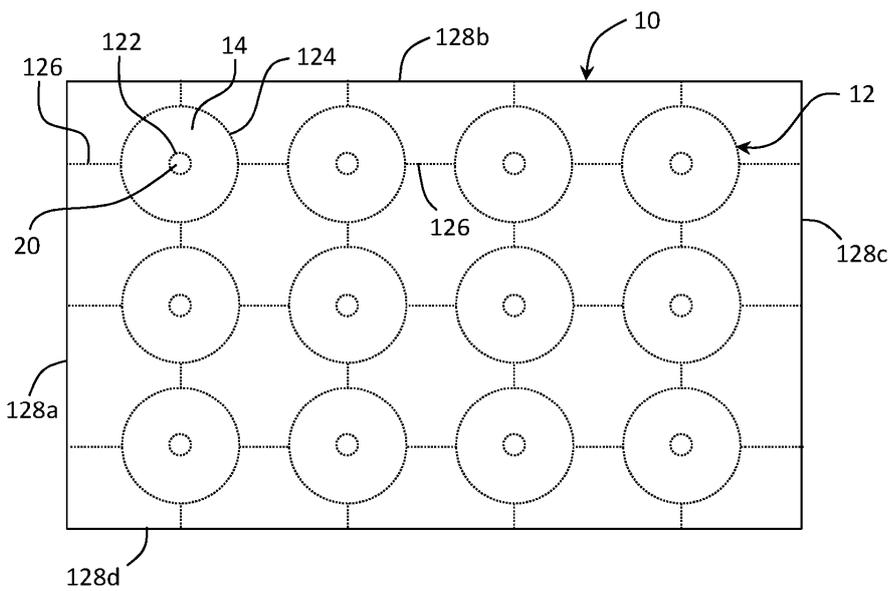
도면4



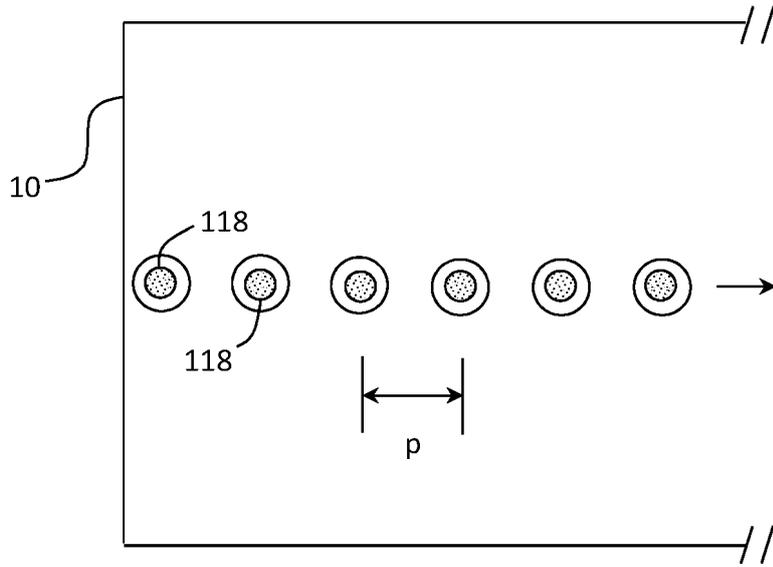
도면5



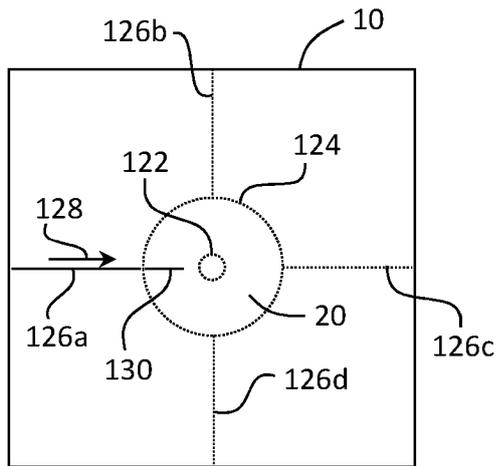
도면6



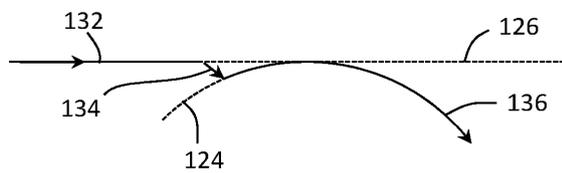
도면7



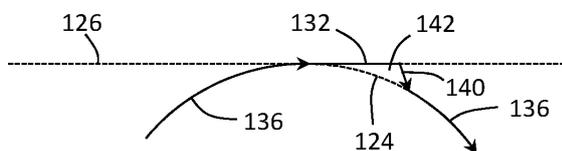
도면8



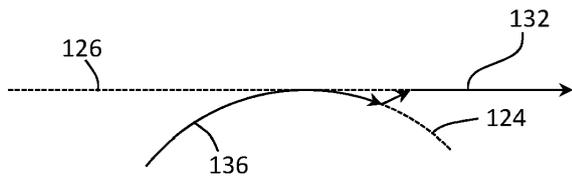
도면9a



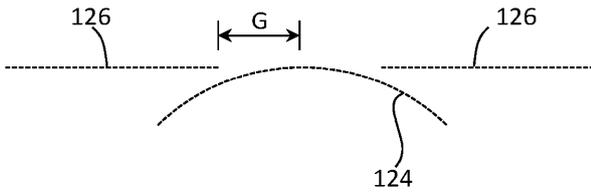
도면9b



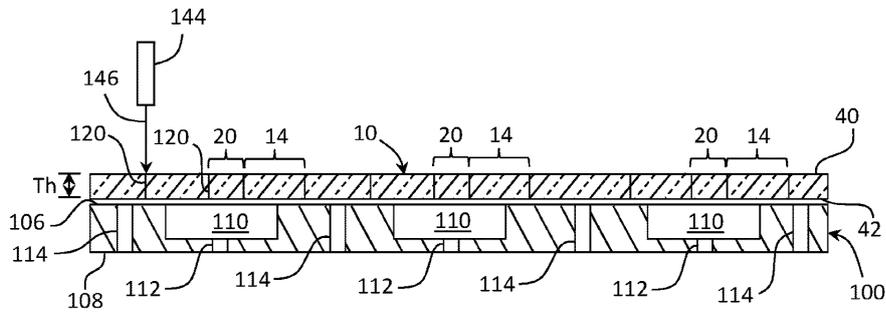
도면9c



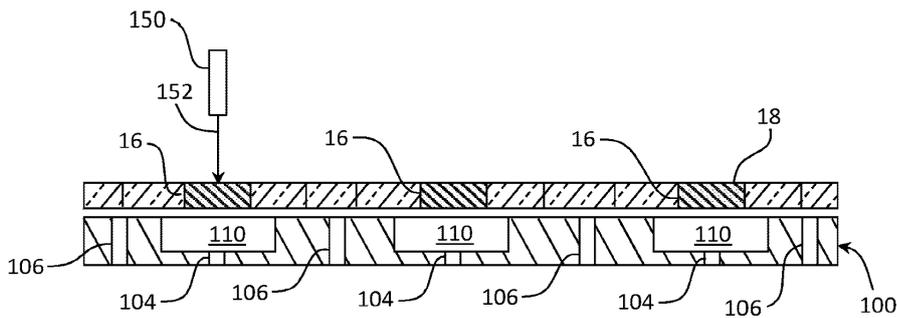
도면9d



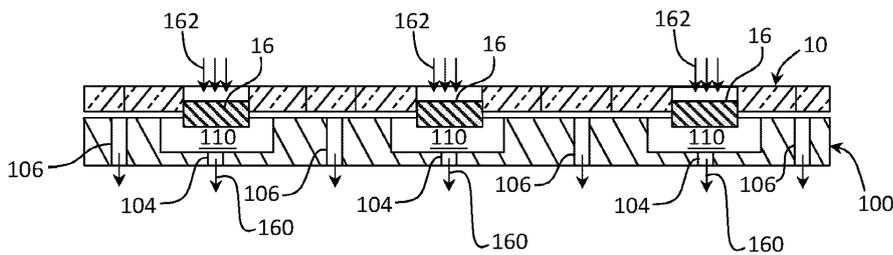
도면10



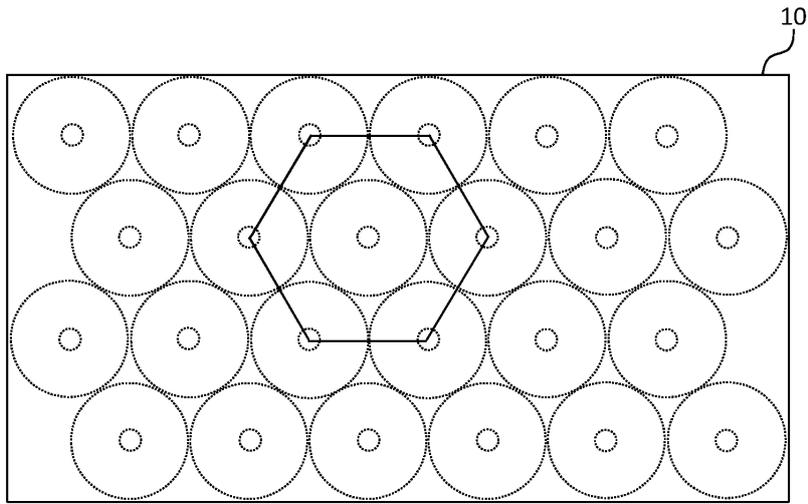
도면11



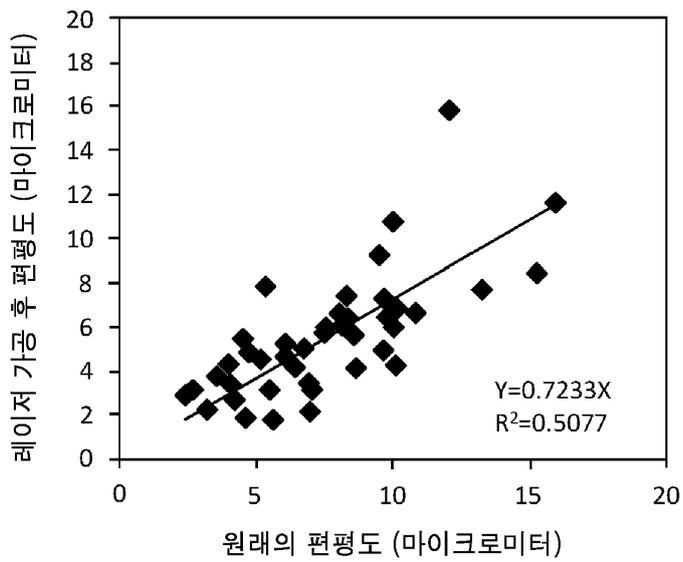
도면12



도면13



도면14a



도면14b

