



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월15일
(11) 등록번호 10-2420833
(24) 등록일자 2022년07월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B23K 26/38 (2014.01) B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/0622 (2014.01)
B23K 26/066 (2014.01) B23K 26/073 (2006.01)
B23K 26/08 (2014.01) B23K 26/402 (2014.01)
B23K 26/53 (2014.01) C03B 33/02 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B23K 26/38 (2013.01)
B23K 26/0006 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-7016889

(22) 출원일자(국제) 2017년11월13일

심사청구일자 2020년11월06일

(85) 번역문제출일자 2019년06월12일

(65) 공개번호 10-2019-0086703

(43) 공개일자 2019년07월23일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/061386

(87) 국제공개번호 WO 2018/093732

국제공개일자 2018년05월24일

(30) 우선권주장

15/352,385 2016년11월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020160010397 A*

KR1020110112282 A*

JP2015119076 A*

KR1020150016177 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

코히어런트, 인크.

미국 95054 캘리포니아주 산타 클라라 패트릭 헨리 드라이브 5100

(72) 발명자

그린버그 마이클 알.

미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 패트릭 헨리 드라이브 5100 코히어런트, 인크. 특허부 내

가우디오지 데이비드 엠.

미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 패트릭 헨리 드라이브 5100 코히어런트, 인크. 특허부 내

데일리 요헨

미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 패트릭 헨리 드라이브 5100 코히어런트, 인크. 특허부 내

(74) 대리인

특허법인와이에스장

전체 청구항 수 : 총 50 항

심사관 : 임성수

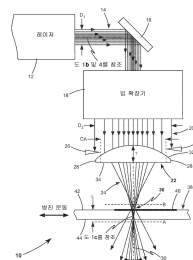
(54) 발명의 명칭 비구면 초점 수단 및 빔 확장기로 취성 재료를 절단하는 레이저 장치

(57) 요약

취성 재료를 절단하는 장치는 비구면 초점 렌즈(22)와 결합되는 빔 확장기(18), 어퍼처(CA) 및 펄스 레이저 방사선의 빔(14)을 생성하는 레이저 소스(12)를 포함한다. 비구면 렌즈(22) 및 어퍼처(CA)는 비구면 초점 렌즈(22)의 광축을 따라 균일한 강도 분포를 갖는 가늘고 긴 초점 내로 펄스 레이저 방사선의 빔(24)을 형성한다. 상기 가늘

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1a



고 긴 초점은 취성 재료로 제조된 워크피스(38)의 전체 두께를 통과해 연장된다. 워크피스(38)는 절단 선을 따라 광축을 트레이스하면서 절단된다. 펄스 레이저 방사선의 각 펄스 또는 버스트는 워크피스(38)의 전체 두께를 통과해 연장된 결함을 생성한다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/0624 (2015.10)

B23K 26/0648 (2013.01)

B23K 26/066 (2015.10)

B23K 26/0738 (2013.01)

B23K 26/083 (2013.01)

B23K 26/402 (2013.01)

B23K 26/53 (2018.08)

C03B 33/0222 (2013.01)

G02B 27/0955 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

입사면(entrance surface) 및 출사면(exit surface)을 갖는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치에 있어서,
펄스 레이저 방사선의 시준 빔을 전달하는 레이저 소스로서, 상기 펄스 레이저 방사선은 20 피코초 미만의 펄스 지속기간을 갖고, 상기 시준 빔은 제1 직경을 갖는 상기 레이저 소스;

광축 및 클리어(clear) 어퍼처를 갖는 비구면 초점 렌즈;

상기 레이저 소스 및 상기 비구면 초점 렌즈 사이에 위치하는 어포컬(afocal) 빔 확장기로서, 상기 어포컬 빔 확장기는 상기 제1 직경으로부터 제2 직경으로 상기 시준 빔을 확장시키도록 배열되고, 상기 제2 직경은 상기 비구면 초점 렌즈의 상기 클리어 어퍼처보다 더 커서 확장된 상기 시준 빔의 일부만이 상기 클리어 어퍼처 내부에 있고 상기 클리어 어퍼처를 채우도록 하는 상기 어포컬 빔 확장기;

를 포함하고,

상기 비구면 초점 렌즈는 상기 클리어 어퍼처 내부에 상기 펄스 레이저 방사선의 빔의 일부분을 포커싱하고, 상기 포커싱은 상기 클리어 어퍼처의 에지에서 회절과 조합하여 상기 광축과 동축인 가늘고 긴(elongated) 초점을 형성하고, 상기 가늘고 긴 초점은 상기 광축을 따라 거의 균일한 강도 분포를 가지고; 및

상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면과 상기 출사면 사이의 상기 취성 재료와 중첩되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처 내부의 상기 확장된 시준 빔의 부분은 85% 내지 95% 사이인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처 내부의 상기 확장된 시준 빔의 부분은 90%인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 거의 균일한 강도 분포는 복수의 피크를 포함하고, 피크 강도들은 평균 피크 강도로부터 20% 미만만큼 변하는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 5

제1 항에 있어서, 거의 균일한 강도 분포를 갖는 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면으로부터 상기 출사면까지 연장되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 6

제1 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈의 설계는 상기 가늘고 긴 초점에 전달되는 상기 펄스 레이저 방사선의 펄스 에너지를 최대화하고, 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면으로부터 상기 출사면으로 연장되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 7

제1 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 상기 어포컬 빔 확장기와 상기 비구면 초점 렌즈 사이에 위치된 별개의 어퍼처에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 8

제1 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 상기 비구면 초점 렌즈의 에지에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 9

제1 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 볼록한 비구면 표면 및 대향 평면을 갖는 평철 형상(plano-convex) 렌즈인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 10

제9 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 상기 확장된 시준 빔이 상기 볼록한 비구면 표면에 입사하도록 배향되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 11

제9 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 상기 확장된 시준 빔이 상기 평면에 입사되도록 배향되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 12

제1 항에 있어서, 상기 취성 재료는 상기 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 상기 빔을 인가하면서 절단 선을 따라 상기 광축을 트레이싱하면서 병진 이동되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 13

제1 항에 있어서, 상기 펄스 레이저 방사선의 시준 빔은 횡단 가우시안 강도 분포를 갖는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 14

제1 항에 있어서, 상기 펄스 레이저 방사선의 빔은 각각의 버스트가 복수의 개별 펄스를 포함하는 일련의 버스트를 포함하는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 15

제14 항에 있어서, 각각의 버스트는 2 내지 10개의 개별 펄스를 포함하는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 16

제15 항에 있어서, 각각의 버스트는 5개의 개별 펄스를 포함하는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 17

제14 항에 있어서, 상기 펄스 반복률은 40메가헤르츠 내지 50메가헤르츠 사이인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 18

제14 항에 있어서, 상기 버스트 주파수는 50킬로헤르츠 내지 1메가헤르츠 사이인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 19

제18 항에 있어서, 상기 버스트 주파수는 100킬로헤르츠 내지 400킬로헤르츠 사이인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 20

제1 항에 있어서, 상기 취성 재료는 유리로 제조되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 21

제20 항에 있어서, 상기 취성 재료는 화학적으로 강화된 유리로 제조되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 22

입사면 및 출사면을 갖는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치에 있어서,

20 피코초 미만의 펄스 지속 기간을 갖는 펄스 레이저 방사선의 시준 빔을 전달하는 레이저 소스;

광축 및 클리어 어퍼처를 갖는 비구면 초점 렌즈;

상기 레이저 소스와 상기 비구면 초점 렌즈 사이의 상기 펄스 레이저 방사선의 시준 빔 내에 위치되고, 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 시준 빔을 펄스 레이저 방사선의 확장된 빔으로 형성하는 빔 확장 엘리먼트로서, 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 확장된 빔은 상기 비구면 초점 렌즈의 상기 클리어 어퍼처를 오버필링하여 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 확장된 빔의 일부만이 상기 클리어 어퍼처 내부에 있고, 상기 클리어 어퍼처를 채우도록 하는 상기 빔 확장 엘리먼트;

를 포함하고,

상기 클리어 어퍼처 내부의 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 확장된 빔의 일부를 상기 클리어 어퍼처의 클리어 에지에서 회절과 조합하여 상기 비구면 초점 렌즈에 의해 포커싱하는 것은 상기 광축을 따라서 거의 균일한 강도 분포를 가지는 가늘고 긴 초점을 갖는 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 형성하고;

상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면과 상기 출사면 사이의 상기 취성 재료와 중첩되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 23

제22 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 볼록 비구면 표면 및 대향 평면을 갖는 평철 형상 렌즈인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 24

제22 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 구면 초점 렌즈 및 비구면 위상 판을 포함하는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 25

제24 항에 있어서, 상기 비구면 위상 판은 회절 광학 엘리먼트인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 26

제22 항에 있어서, 상기 빔 확장 엘리먼트는 어포컬 빔 확장기인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 27

제22 항에 있어서, 상기 빔 확장 엘리먼트는 네거티브 렌즈인 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 28

제22 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 상기 빔 확장 엘리먼트와 상기 비구면 초점 렌즈 사이의 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 확장된 빔 내에 위치된 별개의 어퍼처에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 29

제22 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 상기 비구면 초점 렌즈의 에지에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 30

제22 항에 있어서, 거의 균일한 강도 분포를 갖는 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면으로부터 상기 출사면까지 연장되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 31

제22 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈의 설계는 상기 가늘고 긴 초점으로 전달된 상기 펄스 레이저 방사선의 펄스 에너지를 최대화하고, 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면으로부터 상기 출사면으로 연장되는 것을 특징으로 하는 취성 재료를 절단하는 레이저 장치.

청구항 32

절단 선을 따라 취성 재료로 만들어진 워크피스를 절단하는 방법에 있어서,

레이저 방사선의 빔을 전달하는 단계로서, 상기 레이저 방사선은 펄싱되고 20 피코 초 미만의 펄스 지속 시간을 갖는 상기 레이저 방사선의 빔을 전달하는 단계;

레이저 방사선의 확장된 빔의 일부만이 클리어 어퍼처 내부에 있고 상기 클리어 어퍼처를 채우고 비구면 초점 렌즈를 통해 투과되도록, 상기 비구면 초점 렌즈의 상기 클리어 어퍼처를 오버필링 하기 위해 상기 레이저 방사선의 빔을 확장하는 단계;

상기 클리어 어퍼처의 에지에서 상기 레이저 방사선의 빔을 회절시키는 것과 조합하여 상기 레이저 방사선의 투과된 빔을 포커싱함으로써 가늘고 긴 초점을 갖는 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 형성하는 단계로서, 상기 가늘고 긴 초점은 상기 비구면 초점 렌즈의 광축을 따라 거의 균일한 강도 분포를 갖는 상기 빔을 형성하는 단계;

상기 가늘고 긴 초점이 입사면과 출사면 사이에서 상기 워크피스와 중첩되고 상기 광축이 상기 절단 선을 가로지르도록 상기 워크피스를 위치시키는 단계; 및

상기 절단 선을 따라 상기 광축을 트레이싱하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 33

제32 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처 내부의 상기 레이저 방사선의 확장된 빔의 부분은 85% 내지 95% 사이인 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 34

제32 항에 있어서, 상기 거의 균일한 강도 분포는 복수의 피크를 포함하고, 피크 강도들은 평균 피크 강도로부터 20% 미만으로 변하는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 35

제32 항에 있어서, 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면으로부터 상기 출사면까지 연장되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 36

제32 항에 있어서, 상기 레이저 방사선의 전달된 빔은 펄스 에너지를 가지며, 상기 비구면 초점 렌즈의 설계는 상기 가늘고 긴 초점 내의 펄스 에너지의 일부를 최대화하는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 37

제32 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 레이저 방사선의 확장빔에 위치되는 별개의 어퍼처에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 38

제32 항에 있어서, 상기 클리어 어퍼처는 상기 비구면 초점 렌즈의 에지에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 39

제32 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 볼록한 비구면 표면 및 대향 평면을 갖는 평철 형상 렌즈인 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 40

제39 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 상기 레이저 방사선의 확장된 빔이 상기 볼록한 비구면 표면상에 입사하도록 배향되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 41

제39 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 상기 레이저 방사선의 확장된 빔이 상기 평면상에 입사하도록 배향되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 42

제32 항에 있어서, 상기 비구면 초점 렌즈는 구면 초점 렌즈 및 비구면 위상 판을 포함하는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 43

제42 항에 있어서, 상기 비구면 위상 판은 회절 광학 엘리먼트인 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 44

제32 항에 있어서, 상기 레이저 방사선의 빔은 어포컬 빔 확장기에 의해 확장되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 45

제32 항에 있어서, 상기 레이저 방사선의 빔은 네거티브 렌즈에 의해 확장되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 46

제32 항에 있어서, 상기 광축은 상기 워크피스를 병진 이동시킴으로써 절단 선을 따라 트레이싱되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 47

제32 항에 있어서, 상기 레이저 방사선의 전달된 빔은 각각의 버스트가 복수의 개별 펄스를 구비하는 펄스의 버스트를 포함하는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 48

제32 항에 있어서, 상기 취성 재료는 유리인 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 49

제48 항에 있어서, 상기 유리는 화학적으로 강화된 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 50

제32 항에 있어서, 연장된 결함은 상기 가늘고 긴 초점 내의 상기 레이저 방사선에 의해 상기 워크피스에서 생

성되는 것을 특징으로 하는 워크피스를 절단하는 방법.

청구항 51

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 투명한 취성 재료의 레이저 가공에 관한 것이다. 본 발명은 특히, 약 20 피코초 이하의 펄스 지속 기간을 갖는 초단(ultra-short) 펄스 레이저 방사선의 빔을 사용하여 유리 워크피스를 절단하여, 가늘고 긴 초점으로 형성하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 레이저 가공은 유리, 사파이어와 같은 취성(brittle) 재료를 포함하는 다양한 범위의 재료를 절단, 드릴링, 마킹 및 스크라이빙하는 것에 점차적으로 사용되고 있다. 종래의 기계 가공은 가공된 재료가 스트레스를 받을 때 전파될 수 있는 미세 균열(micro crack)과 같은 원하지 않는 결함을 생성하여, 가공된 재료를 열화시키고 약화시킨다. 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 사용하는 취성 재료의 레이저 가공은 고품질의 에지와 벽을 갖는 정확한 절단 및 구멍을 생성하는 반면 원하지 않는 결함의 형성을 최소화한다. 산업적 진전은 취성 재료의 증가하는 범위의 레이저 가공을 필요로 하는 동시에 처리 속도와 정밀도를 향상을 요구한다.

[0003] 투명한 취성 재료는 레이저 방사선의 비선형 흡수를 통해 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔과 상호 작용한다. 펄스 레이저 방사선은 일련의 개별 펄스 또는 펄스의 급격한 버스트를 포함할 수 있다. 개별 펄스 또는 펄스의 버스트 각각은 빔의 초점에서 투명한 취성 재료 내의 결함을 생성한다. 결함 어레이는 워크피스 내의 절단 경로를 따라 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 병진 운동시킴으로써 생성되어, 재료를 약화시킨다. 얇은 워크피스는 자발적으로 분리될 수 있지만, 두꺼운 워크피스는 응력을 가하는 추가 단계에서 분리될 수 있다. 이러한 방법 중 하나는 절단 경로를 따라 재료에 의해 흡수된 과장을 갖는 레이저 빔을 적용하여 가열을 통해 기계적 응력을 유발하는 것이다.

[0004] 최근에는 화학적으로 강화된 유리가 개발되어 가전제품의 디스플레이 스크린용 커버 유리로 광범위하게 사용된다. 화학적 강화는 이온 교환 프로세스에 의해 달성된다. 규산염 판유리는 칼륨 이온(K^+)을 포함하는 염 용액에 담겨진다. 더 큰 칼륨 이온은 유리 표면 근처에 위치된 더 작은 나트륨 이온(Na^+)을 대체하여 유리의 표면층 내에서 압축을 일으킨다. 이러한 표면층들 사이에서, 유리의 내부는 인장되어 표면 압축을 보상한다. 높은 표면층 압축은 화학적으로 강화된 유리를 매우 단단하게 만들고(모스 스케일 약 6.5) 금힘과 기계적 충격에 강하게 한다. 사파이어(모스 스케일 9)는 일부 장치에 사용되는 대체 하드 커버 유리 재료이다.

[0005] 가전제품용 커버 유리는 일반적으로 약 300 마이크로미터(μm) 내지 1.1 밀리미터(mm) 사이의 두께를 갖는다. 잘 포커싱된 펄스 레이저 방사선은 일반적으로 수십 마이크로미터 깊이로 확장되는 결함을 생성한다. 워크피스의 전체 두께를 절단할 때는 초점 깊이를 변화시키면서 포커싱된 레이저 방사선을 다수 회 절단 경로를 따라 스캔할 필요가 있다.

[0006] 긴 초점을 생성하는 다양한 수단을 사용하는 상업용 레이저 가공 프로세스가 개발되어, 절단 경로를 따라 필요한 스캔 횟수를 줄이고 레이저 절단 장치의 생산성을 높였다. "베셀 빔"은 포커싱 엘리먼트로서 액시콘(axicon) 또는 등가의 위상 마스크를 사용하여 가우스 횡단 모드를 갖는 빔으로부터 생성된다. 액시콘은 광축에 대해 회전 대칭인 원추 프리즘이다. 위상 마스크는 회절 광학 엘리먼트(DOE)의 일종이며, 일반적으로 제조하기에 다소 비싸다. 실제로, 추가적인 망원경은 종종 베셀 빔을 축소화하고(de-magnify) 액시콘 또는 DOE의 불완전한 제조로 인한 심각한 강도 변조를 제거하는 것이 요구된다. 베셀 빔을 사용하여 생성된 결함에는 위성 구조(satellite structure)가 있을 수 있고, 이로 인해 열화한 품질의 절단 에지를 가져올 수 있다.

[0007] 긴 초점을 생성하는 또 다른 방법은 자가 안내 "필라멘트"를 만드는 것이다. 재료에서 높은 강도를 갖는 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔은 굴절률의 비선형 컴포넌트로 인해 더 포커싱된다. 비선형 포커싱과 강도 사이의 긍정적인 피드백은 플라즈마를 생성한다. 플라즈마 내의 더 낮은 굴절률은 디포커싱을 야기한다. 포커싱과 디포커싱 간의 균형은 필라멘트 내에서 플라즈마 상태를 유지한다. 필라멘트의 전파는 포커싱 엘리먼트의 광축을 따라 재료 내에 보이드를 생성한다. 필라멘트 레이저 가공은 높은 펄스 에너지, 현재의 생성한 초단 펄스 레이저

소스의 실질적인 한계에 근접하고, 모든 빔 파라미터의 정밀한 제어를 필요로 한다. 재료 특성(정상적인 재료 비균질성과 같은)과 빔 파라미터(샷-투-샷 노이즈 및 레이저-대-레이저 빔 품질과 같은)의 상대적으로 작은 차이로 인해 필라멘트 레이저 절단 프로세스에서 제어가 손실될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 더 낮은 펄스 에너지를 사용하는 절단 경로를 따라 단일 패스에서 강화 유리 또는 사파이어를 절단하는 효율적인 레이저 절단 방법이 필요하다. 바람직하게는, 이 방법은 재료 특성 및 빔 파라미터의 변화에 대해 결정적이고 민감하지 않아야 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 입사면(entrance surface) 및 출사면(exit surface)을 갖는 취성 재료를 절단하는 것에 관한 것이다. 본 발명에 따른 레이저 장치는 펄스 레이저 방사선의 시준(collimated) 빔을 전달하는 레이저 소스를 포함한다. 펄스 레이저 방사선은 약 20 피코초 미만의 펄스 지속 기간을 가지며 시준 빔은 제1 직경을 갖는다. 광축 및 클리어(clear) 어퍼처를 갖는 비구면 초점 렌즈가 제공된다. 어포컬(afocal) 빔 확장기가 제공되며, 레이저 소스와 비구면 초점 렌즈 사이에 위치한다. 어포컬 빔 확장기는 시준 빔을 제1 직경에서 제2 직경으로 확장시키도록 배열된다. 제2 직경은 상기 비구면 초점 렌즈의 클리어 어퍼처보다 커서, 확장된 시준 빔의 일부만이 상기 클리어 어퍼처 내부에 있도록 한다. 상기 비구면 초점 렌즈는 상기 클리어 어퍼처 내부의 펄스 레이저 방사선의 일부를 포커싱한다. 포커싱된 빔은 상기 광축과 동축인 가늘고 긴(elongated) 초점을 갖는다. 상기 가늘고 긴 초점은 상기 광축을 따라 거의 균일한 강도 분포를 가진다. 상기 가늘고 긴 초점은 상기 입사면과 출사면 사이의 취성 재료와 겹쳐진다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 명세서에 통합되고 명세서의 일부를 구성하는 첨부 도면은 본 발명의 바람직한 실시 예를 개략적으로 도시하고, 상기 전체적인 설명 및 하기에 주어진 바람직한 실시 예의 상세한 설명과 함께, 본 발명의 원리를 설명하는 기능을 한다.

도 1a는 취성 재료로 만들어진 워크피스에 연장된 결함을 생성하는 것에 대한 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 하나의 바람직한 실시 예를 개략적으로 도시하며, 상기 장치는 펄스 레이저 방사선의 빔을 전달하는 레이저 소스, 어포컬 빔 확장기 및 균일한 강도 분포를 가지는 가늘고 긴 초점을 형성하는 비구면 초점 렌즈를 포함한다.

도 1b는 도 1a의 펄스 레이저 방사선의 빔에서의 횡단 가우시안 강도 분포를 개략적으로 도시한다.

도 1c는 도 1a의 가늘고 긴 초점에서의 균일한 강도 분포를 개략적으로 도시한다.

도 2는 도 1a의 실시 예와 유사하게, 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 다른 바람직한 실시 예를 개략적으로 도시하지만, 그러나 어포컬 빔 확장기는 네거티브 렌즈로 대체된다.

도 3은 도 1a의 실시 예와 유사하게 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 또 다른 바람직한 실시 예를 개략적으로 도시하지만, 비구면 초점 렌즈는 구면 초점 렌즈 및 비구면 위상 판을 포함한다.

도 4는 도 1a의 레이저 방사선의 빔에서의 펄스를 개략적으로 예시하는 타이밍도이다.

도 5는 본 발명에 따른 비구면 초점 렌즈의 비구면 표면 및 상용 구면 렌즈의 구면 표면의 단면 형상을 개략적으로 도시한 그래프로서, 상기 표면들의 꼭지점들이 원점에 위치하고, 표면들이 광축으로부터 반지름 방향의 변위의 함수로서 새그(sag)에 의해 예시된다.

도 6a는 도 2의 실시 예와 유사한 종래의 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프로서, 하지만 본 발명의 비구면 초점 렌즈 대신에 구면 평철 형상(planar-convex) 볼록 초점 렌즈를 가지며, 구면 평철 형상 초점 렌즈는 +35mm의 특정 초점 거리를 갖는다.

도 6b는 도 1a의 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이고, 비구면 초점 렌즈는 +25mm의 공칭 초점 거리를 갖고 펄스 레이저 방사선의 빔이 비구면 초점 렌즈의 클리

어 어퍼처를 언더필링(underfilling)한다.

도 6c는 도 6b와 동일한 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이지만, 펄스 레이저 방사선의 빔은 비구면 초점 렌즈의 클리어 어퍼처를 오버필링(overfilling)한다.

도 7a는 도 1a의 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프로서, 비구면 초점 렌즈의 클리어 어퍼처 외부의 레이저 방사선의 빔에서 펄스 에너지의 약 5%를 갖는다.

도 7b는 도 7a와 동일한 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이지만, 비구면 초점 렌즈의 클리어 어퍼처 외부의 레이저 방사선의 빔에서의 펄스 에너지의 약 10%를 갖는다.

도 7c는 도 7a와 동일한 레이저 절단 장치의 광축을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이지만, 비구면 초점 렌즈의 클리어 어퍼처 외부의 레이저 방사선의 빔에서의 펄스 에너지의 약 15%를 갖는다..

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 도면을 참조하면, 유사한 컴포넌트는 동일한 참조 번호로 표시된다. 도 1a는 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 하나의 바람직한 실시 예(10)를 개략적으로 도시한다. 장치(10)는 빔 직경 " D_1 "을 갖는 펄스 레이저 방사선(14)의 시준 빔을 전달하는 레이저 소스(12)를 포함한다. 시준 빔(14)은 시준 빔(14)을 차단하고 시준되고 더 큰 빔 직경 " D_2 "를 갖는 펄스 레이저 방사선(20)의 확장된 빔을 형성하도록 배열된 어포컬 빔 확장기(18)로 선택적인 터닝미러(16)에 의해 지향된다. 어포컬 빔 확장기는 광학 설계 분야에서 널리 공지된 빔 확장 엘리먼트이고, 그 설명은 본 발명의 원리를 이해하는데 필수적인 것은 아니다.
- [0012] 비구면 초점 렌즈(22)는 확장된 시준 빔(20)을 차단하고 펄스 레이저 방사선(24)의 포커싱된 빔을 형성하도록 배열된다. 빔 직경(D_2)은 비구면 초점 렌즈(22)의 클리어 어퍼처 " CA "($D_2 > CA$)를 오버필링하도록 선택된다. 확장된 시준 빔(20)의 일부분만이 클리어 어퍼처(CA) 내부에 있다. 그 부분은 비구면 초점 렌즈(22)를 통해 전달되어 포커싱된 빔(24)으로 형성된다. 확장된 시준 빔(20)의 주변 광선을 포함하는 더 작은 보상 부분은 비구면 초점 렌즈(22)에 의해 포커싱되지 않는다. 비구면 초점 렌즈(22)의 클리어 어퍼처(CA)는 어포컬 빔 확장기(18)와 비구면 초점 렌즈(22) 사이에 위치하며, 도시된 바와 같이 주변 광선을 물리적으로 차단하는 별개의 어퍼처(26)에 의해 정의된다. 대안적으로, 클리어 어퍼처(CA)는 비구면 초점 렌즈(22)의 에지(28)에 의해 정의될 수 있고, 비구면 초점 렌즈(22)의 광학 에지 또는 그 물리적 에지일 수 있다.
- [0013] 비구면 초점 렌즈(22)는 광축(30), 비구면 표면(32) 및 대향 표면(34)을 갖는다. 비구면 표면(32)은 하기에서 상세하게 설명되는 볼록 비구면 형상을 갖는다. 표면(34)은 편평하거나 구형 또는 비구면인 볼록한 형상을 가질 수 있다. 비구면 초점 렌즈(22)는 바람직하게는 편평한 표면(34)을 가지는 평철 형상(plano-convex)의 렌즈일 수 있다. 비구면 초점 렌즈(22)는 비구면 표면(32) 상에 입사하는 확장된 시준 빔(20)을 가지면서 도시된 바와 같이 배향될 수 있거나, 표면(34) 상에 입사한 확장된 시준 빔(200)을 가지면서 배향될 수 있다. 바람직한 평철 형상 비구면 초점 렌즈(22)에 대해, 편평한 표면(34) 상에 입사하는 확장된 시준 빔(20)을 갖는 배향은 비구면 초점 렌즈의 초점 특성이 렌즈의 정확한 두께 " T "에 대해 민감하지 않다는 이점을 가진다.
- [0014] 포커싱된 빔(24)은 광축(30)을 따라 가늘고 긴 초점(36)으로 수렴한다. 광축(30)에 근접한 비구면 초점 렌즈(22)로부터 나오는 근축 광선(paraxial ray)은 광축(30)에 수직인 평면 " A "로 수렴한다. 비구면 초점 렌즈(22)에 대한 "공칭 초점 거리"는 비구면 초점 렌즈(22)와 평면 A 사이의 거리로서 정의된다. 비구면 초점 렌즈(22)로부터 에지(28)에 근접하여 나오는 광선은 평면 A 보다 비구면 초점 렌즈에 더 가까운 평면 " B "에 수렴한다. 가늘고 긴 초점(36)은 평면(A 및 B) 사이에서 연장한다. 가늘고 긴 초점(36)은 평면(A 및 B) 사이에서 광축을 따라 균일한 강도 분포를 가지며, 이는 이하에서 상세히 설명된다.
- [0015] 취성 재료로 만들어진 워크피스(38)는 광축(30)이 굽은 선으로 도면에 도시된 절단 선(40)을 가로지르도록 위치된다. 포커싱된 빔(24)은 입사면(42)을 통해 워크피스(38)로 들어가고 대향 출사면(44)을 통해 워크피스(38)를 빠져나간다. 워크피스(38)는 가늘고 긴 초점(36)이 입사면(42)과 출사면(44) 사이의 워크피스(38)에 겹치도록 위치된다. 워크피스(38)에서의 "공칭 초점 깊이"는 입사면(42)과 평면(A) 사이의 거리로서 정의된다. 워크피스(38)는 도시된 바와 같이 평면(A 및 B) 사이에 위치한 양 표면(42 및 44)을 가지면서 가늘고 긴 초점(36) 내에 완전히 위치될 수 있다. 대안적으로, 워크피스(38)는 본 발명의 취지 및 범위를 벗어나지 않고 가늘고 긴 초점

(36) 내에 부분적으로 위치할 수 있다. 절단은 펄스 레이저 방사선(24)의 포커싱된 빔을 인가하면서 절단 선(40)을 따라 광축(30)을 트레이스하면서 도식된 바와 같이 워크피스(38)를 병진 운동시킴으로써 달성된다. 절단 선(40)은 애플리케이션에 의해 요구되는 바와 같이 직선 또는 곡선일 수 있다.

[0016] 도 1b는 시준 빔(14)에 대한 단면 강도 분포를 개략적으로 도식한다. 도 1b는 시준 빔(14)의 중심으로부터의 반지름 방향의 변위의 함수로서 레이저 방사선의 강도의 그래프이다. 많은 레이저 소스에서의 광학적 공진기는 가우시안 함수에 의해 기술된 최저-차수 횡단 모드를 갖는다. 이러한 횡단 가우시안 강도 분포는 도면에 도식되어

있으며, 빔의 중심에서 최대 강도의 세기의 $13.5\% \left(\frac{1}{e^2}\right)$ 에 해당하는 빔 반경 " ω "를 갖는다. 빔 직경(D_1)은 여기서 설명의 편의상 시준 빔(14)의 파워의 99%를 포함하는 직경 3.03ω 으로 정의된다. 유사하게, 빔 직경(D_2)은 확장된 시준 빔(20)에서 파워의 99%를 포함한다.

[0017] 도 1c는 광축(30)을 따라 포커싱된 빔(24)에 대한 균일한 강도 분포를 개략적으로 도식한다. 가늘고 긴 초점(36)은 도면에서 평면(A 및 B) 사이에 거의 일정한 강도를 갖는다. 실제로, 본 발명에 의해 형성된 강도 분포는 이하에서 논의되는 바와 같이 "거의 균일"하다.

[0018] 도 2는 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 또 다른 바람직한 실시 예(50)를 개략적으로 도식한다. 장치(50)는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)와 유사하지만, 그러나, 어포컬 빔 확장기(18)는 빔 확장 엘리먼트로서 네거티브 렌즈(52)로 대체된다. 네거티브 렌즈(52)는 시준 빔(14)을 차단하고, 비구면 초점 렌즈(22)의 클리어 어퍼처(CA)를 발산 및 오버 필링하는 펄스 레이저 방사선(54)의 확장된 빔을 형성한다. 도 2는 비구면 초점 렌즈(22)의 에지(28)에 의해 한정된 어퍼처(CA)의 예를 도식한다. 비구면 초점 렌즈(22)는 확장된 발산 빔(54)을 차단하고 포커싱된 빔(24)을 형성하도록 배열된다. 도면은 가늘고 긴 초점(36) 내에 부분적으로 위치된 워크피스(38)의 예를 도식한다. 이 예에서, 공칭 초점 깊이(L)는 워크피스(38)의 두께보다 작다.

[0019] 도 3은 본 발명에 따른 레이저 절단 장치의 또 다른 바람직한 실시 예(60)를 개략적으로 도식한다. 장치(60)는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)와 유사하지만, 비구면 초점 렌즈(22)는 비구면 초점 렌즈(66)를 함께 형성하는 구면 초점 렌즈(62) 및 비구면 위상 판(64)으로 대체된다. 구면 초점 렌즈(62)는 구면 표면(68) 및 대향 표면(34)을 갖는다. 구면 표면(68)은 볼록한 구형 형상을 가진다. 구면 초점 렌즈(62) 및 비구면 위상 판(64)은 가늘고 긴 초점(36)을 갖는 포커싱된 빔(24)을 공동으로 형성한다. 도면은 가늘고 긴 초점(36) 내에 부분적으로 위치된 워크피스(38)의 또 다른 예를 도식한다. 이 예에서, 공칭 초점 깊이(L)는 워크피스(38)의 두께보다 더 크다.

[0020] 비구면 위상 판(64)은 바람직하게는 구면 초점 렌즈(62)로부터 전파하는 포커싱된 빔의 파면을 수정하여 광축(30)을 따라 가늘고 긴 초점(36)을 형성하는 회절 광학 엘리먼트(DOE)이다. 비구면 위상 판(64)은 구면 초점 렌즈(62)의 특정 설계와 매칭하도록 커스터마이징된다. 레이저 절단 장치(60)는 구면 초점 렌즈(62)가 상용 광학 공급자로부터 얻어진 표준 평철 형상 렌즈일 수 있다는 이점을 갖는다.

[0021] DOE는 예를 들어 뉴욕 로체스터의 RPC Photonics Inc.로부터 상업적으로 이용 가능하다. 프로그램 가능한 파면 변조를 갖는 능동형 DOE("공간 광 변조기"로도 알려짐)는 예를 들어 독일 베를린의 HoloEye로부터 상업적으로 이용 가능하다. 비구면 위상 판(64)에 능동형 DOE를 사용함으로써, 장치(60)는 임의의 광학 엘리먼트를 교체하지 않으면서 상이한 재료로 제조되거나 상이한 두께를 갖는 워크피스를 레이저 절단할 수 있다. 필요한 경우, 어퍼처는 클리어 어퍼처(CA)를 제한하기 위해 비구면 위상 판(64)의 설계에 통합될 수 있다.

[0022] 도 4는 도 1a의 펄스 레이저 방사선(14)의 시준 빔에서의 초단(ultra-short) 펄스의 버스트를 개략적으로 예시하는 타이밍도이다. "초단" 펄스는 본 명세서에서 약 20 피코초(ps) 미만의 펄스 지속 시간 " δ_T "을 갖는 것으로 정의된다. 일반적으로 펄스 지속 시간이 짧을수록 더 우수한 에지 품질을 가지는 절단 워크피스가 생성된다. 예를 들어, 수백 펨토초의 δ_T 를 가진 펄스를 사용하여 형성된 에지는 수십 피코초의 δ_T 를 가진 펄스를 사용하여 형성된 에지보다 낮은 표면 거칠기를 갖는다.

[0023] 버스트 내의 개별 펄스는 시간 간격 " T_p "에 의해 분리되고 연속 버스트는 하나의 버스트의 제1 펄스와 다음 버스트의 제1 펄스 사이의 간격인 시간 간격 " T_b "에 의해 분리된다. 이 시간 간격은 각각 펄스 반복률 및 버스트 주파수에 해당한다. 워크피스의 버스트 주파수 및 병진 운동 속도는 절단 선을 따라 결함 간격을 결정한다. 특정 두께를 갖는 특정 재료로 만들어진 워크피스에 대해, 최상의 에지 품질을 얻기 위한 최적의 결함 간격이 있다.

[0024] 바람직하게는, 버스트 당 2 내지 10 펄스가 있고, 가장 바람직하게는 버스트 당 5 펄스가 있다. 바람직하게는, 펄스 반복률은 약 10 메가헤르츠(MHz)보다 크다. 가장 바람직하게는, 펄스 반복률은 약 40MHz와 약 50MHz 사이이다. 바람직하게는, 버스트 주파수는 약 50kHz(킬로헤르츠)와 약 1MHz 사이이다. 가장 바람직하게는, 버스트 주파수는 약 100kHz와 약 400kHz 사이이다.

[0025] 도 1의 레이저 절단 장치(10), 도 2의 레이저 절단 장치(50), 및 도 3의 레이저 절단 장치(60)에서 사용하기에 적합한 레이저 소스(12)는 캘리포니아 산타 클라라의 Coherent Inc.로부터 입수 가능한 HyperRapid™ 50 HE 레이저 시스템이다. 이 레이저 시스템은 마스터 발진기 파워 증폭기(MOPA) 아키텍처를 사용하여 200kHz까지의 버스트 주파수에서 200 마이크로 주울(μJ) 이상의 에너지를 갖는 초단 펄스의 버스트를 전달하고, 이는 40 와트(W) 이상의 최대 액세스 가능한 평균 파워에 해당한다. 버스트 당 최대 10개의 펄스가 약 50MHz의 펄스 반복률로 생성된다. 펄스 레이저 방사선의 출력 빔은 10ps의 전형적인 펄스 지속 시간과 약 1064 나노미터(nm)의 파장을 갖는다. HyperRapid™ 50 HE 레이저 시스템에는 프로세스 서터로 사용할 수 있는 음향 광학 변조기(AOM)가 포함되어 있다. 레이저 시스템은 AOM이 열려있는 동안 지속적인 일련의 버스트를 제공한다.

[0026] 도 5는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)에 사용하기 위한 비구면 초점 렌즈(22)의 예시적인 비구면 표면(32)을 개략적으로 도시한다. 표면(34)은 편평하다. 예시적인 비구면 표면(32)(실선)의 정확한 형상은 광축(30)으로부터의 반지름 방향의 변위의 함수로서 광축(30)에 평행한 변위(광학 기술에서 "새그"로 알려져 있음)에 의해 단면으로 도시된다. 비교를 위해, 도 5는 비구면 표면(32)에 가까운 새그를 갖는 상업용 구면 평철 형상 렌즈의 구면 표면(70)(점선)의 정확한 형상을 포함한다. 상업용 구면 평철 형상 렌즈는 뉴저지 뉴턴의 Thorlabs의 파트 번호 LA1027이다. Thorlab 렌즈(LA1027)는 +35 밀리미터(mm)의 특정한 초점 거리를 가진다. 각 표면의 꼭지점(72)은 도면의 원점에 위치된다. 비구면 표면(32) 및 구면 표면(70)의 정확한 형상을 계산하기 위한 수학적 식은 하기에 제시된다.

[0027] 도 6a는 통상적인 레이저 절단 장치의 초점 근처에서 광축(30)을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이다. 전형적인 레이저 절단 장치는 도 2의 레이저 절단 장치(50)와 유사하지만, 비구면 표면(32)을 갖는 비구면 초점 렌즈(22) 대신에 구면 볼록 표면을 갖는 구면 평철 형상 초점 렌즈를 갖는다. 이 계산은 도 5에 도시된 구면 표면(70)을 갖는 Thorlab 렌즈(LA1027)를 사용한다. 네거티브 렌즈(52)는 Thorlabs의 파트 번호(LC1120)이며, 이는 -100mm의 특정 초점 거리를 가진다. 예시적인 워크피스(38)에 대한 입사면(42) 및 출사면(44)의 위치는 도 6a에서 수직 점선으로 표시된다. 예시적인 워크피스(38)는 1.51의 굴절률 및 1.1 mm의 두께를 갖는다. Gorilla™ 유리(뉴욕 코닝의 Corning Inc.에서 공급하는 화학적으로 강화된 유리)와 BK7 유리(일반적으로 판매되는 상업 유리)는 모두 굴절률이 약 1.51이다.

[0028] Thorlabs 렌즈(LA1027)에 의해 포커싱된 빔 상에 부여된 구면 수차는 가늘고 긴 초점을 생성하며, 이는 도 6a에 광축을 따라 확장된 범위에 걸쳐 34mm 미만 내지 약 37mm 범위로 분포된 강도로서 나타난다. 구면 수차가 없으면, 강도 분포는 대신에 약 36.6mm를 중심으로 한 단일 피크가 된다. 예시적인 워크피스의 전체 두께가 레이저 방사선의 펄스 빔에 노출되더라도, 펄스 에너지의 대부분이 예시적인 워크피스의 외부로 전달되며, 이는 비효율적이다.

[0029] 도 6b는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)의 가늘고 긴 초점(36) 부근의 광축(30)을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 도시하는 그래프이다. 단순한 비구면 초점 렌즈(22)는 확장된 시준 빔(20) 내의 광선들에 대해 광축(30)으로부터 반지름 방향의 변위 " r "에 선형적으로 의존하는 초점 길이 " $f(r)$ "를 가진다:

수학적 식 1

$$f(r) = f(o) - \Delta f \cdot r$$

[0030]

[0031] 여기서 " $f(0)$ "는 공칭 초점 거리이고 " Δf "는 상수이다. 도 6b에 도시된 강도 분포를 생성하는 단순한 비구면 초점 렌즈는 공칭 초점 거리 $f(0)$ 가 25mm이고, 상수 Δf 가 0.16이고, 클리어 어퍼처(CA)가 50mm이다. 확장된 시준 빔(20)은 25mm의 가우시안 빔 직경 2ω 를 갖는다. 도 6b에 도시된 초점은 도 6a에 도시된 가늘고 긴 초점보다 광축을 따라서 더 작은 범위에 걸쳐 가늘고 길게 되지만, 이는 펄스 에너지의 훨씬 더 높은 부분을 워크피

스에 전달할 수 있게 한다. 도 6b는 본 발명의 비구면 초점 렌즈(22)의 이점을 나타낸다.

[0032] 도 6c는 도 6b의 것을 연산하는 데에 이용되는 단순한 비구면 초점 렌즈(22)를 포함하지만 25mm의 더 작은 클리어 어퍼처(CA)를 가지는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)에서 광축(30)을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이다. 더 작은 클리어 어퍼처가 워크피스(38)에 도달하는 펄스 에너지의 13.5%를 차단하지만, 어퍼처(26)의 에지에서의 회절은 도 6b와 비교하여 광축(30)을 따라 더 균일한 강도 분포를 형성한다. 도 6c의 가늘고 긴 초점은 약 23.2mm의 변위에서 약 24.8mm의 변위까지 연장되면서 도 6b에 도시된 가늘고 긴 초점보다 더 잘 정의된다. 도 6c는 본 발명의 비구면 초점 렌즈(22)와 조합된 어퍼처(26)의 이점을 나타낸다.

[0033] 도 7a는 도 5에 도시된 예시적인 비구면 표면(32)을 갖는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)의 가늘고 긴 초점(36) 부근의 광축(30)을 따른 변위의 함수로서 계산된 강도를 개략적으로 예시하는 그래프이다. 확장된 시준 빔(20)은 25mm의 가우시안 빔 직경(2 ω)을 갖고, 어퍼처(26)는 30.6mm의 직경을 갖는다. 어퍼처(26)는 확장된 시준 빔(20)의 펄스 에너지의 약 5%가 예시적인 워크피스(38)에 도달하는 것을 방지하고, 이는 1.51의 굴절률 및 1.1mm의 두께를 갖는다.

[0034] 도 5에 도시된 예시적인 비구면 표면(32)은 손실을 최소화하면서 예시적인 워크피스에 펄스 에너지를 전달하는 예시적인 워크피스 내에 가늘고 긴 초점을 형성하도록 설계된다. 도 7a에서, 거의 모든 레이저 방사선은 약 24.1mm의 변위와 약 25.2mm의 변위 사이에서 가늘고 긴 초점으로 전달되어, 예시적인 워크피스의 전체 두께를 노출시킨다. 예시적인 비구면 표면(32)을 갖는 비구면 초점 렌즈(22)는 편평한 표면(34) 상에 입사하는 확장된 시준 빔(20) 및 예시적인 비구면 표면(32)으로부터 나오는 포커싱된 빔(24)을 가지면서 지향하도록 설계된다. 비구면 초점 렌즈(22)는 1.064 μ m의 파장을 갖는 방사선에 대해서 1.51의 굴절률을 가지는 BK7 유리로 만들어진다.

[0035] 또한, 도 7a, 도 7b 및 도 7c는 예시적인 비구면 표면(32)을 가지며, 어퍼처(26)가 각각 30.6mm, 25.0mm 및 24.3mm의 직경을 갖는 도 1a의 레이저 절단 장치(10)에서 광축(30)을 따른 강도를 도시한다. 어퍼처(26)는 각각 펄스 에너지의 약 5%, 약 10% 및 약 15%가 예시적인 워크피스(38)에 도달하는 것을 방지한다. 도 7a는 출사면(44) 근처에 위치한 최대 강도 피크를 갖는다. 도 7b는 거의 균일한 강도 분포를 갖는다. 도 7c는 입사면(42)에 위치한 최대 강도 피크를 갖는다. 도 7a, 도 7b 및 도 7c는 특정 워크피스(38)의 절단을 최적화하기 위해 가늘고 긴 초점(36)의 강도 분포가 어떻게 조정될 수 있는지를 도시한다. 클리어 어퍼처(CA) 내부에 있는 확장된 시준 빔(20)의 부분은 바람직하게는 약 85% 내지 약 95% 사이에 있고, 가장 바람직하게는 약 90%이다.

[0036] 도 7a, 7b, 및 도 7c에 도시된 계산된 강도 분포 각각은 전체적으로 균일한 강도 분포에 부과된 복수의 피크를 갖는다. 이러한 고주파수 피크 또는 강도의 변조는 포커싱된 빔(24) 내의 간섭성 레이저 방사선의 광학 간섭에 의해 야기된다. 가늘고 긴 초점(36)을 따라서 있는 계산된 강도의 피크는 본 발명을 사용하는 워크피스에서 생성된 연장된 결합에서 관찰되는 변조에 거의 대응한다. 유사하게, 계산된 강도의 계곡은 연장된 결합의 불연속성에 대응하는 경우도 있다.

[0037] 강도 분포에서 피크에 노출된 재료는 낮은 강도로 노출된 재료보다 낮은 펄스 에너지에서 제어된 결합 형성 및 원하지 않는 결합 형성에 대한 임계 값을 초과한다. 그러므로 취성 재료를 처리할 때 피크 강도를 고려하는 것이 유용하다. 여기에서, "균일한 강도 분포"란, 광학 간섭에 의한 고주파수 피크를 고려하지 않고, 평균 강도(mean intensity)로부터 약 20% 미만으로 변하는 전체 형상을 갖는 강도 분포를 가리킨다. "거의 균일한 강도 분포"는 본원에서 평균 피크 강도로부터 약 20% 미만으로 변하는 피크 강도를 갖는 강도 분포로서 정의된다.

[0038] 이제, 도 5를 참조하면, 비구면 표면(32)의 정확한 형상은 비구면 파라미터 " β " 및 반경 파라미터 "R"의 세트에 의해 정의된다. 비구면 표면(32)상의 각 점은 새그를 갖는다 :

수학식 2

$$z(r) = \frac{r^2}{R \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2} \right)} + \beta_1 \cdot r + \beta_2 \cdot r^2 + \beta_3 \cdot r^3 + \beta_4 \cdot r^4 + \beta_5 \cdot r^5 + \beta_6 \cdot r^6 + \beta_7 \cdot r^7 + \beta_8 \cdot r^8$$

[0039]

[0040] 밀리미터 단위의 예시적인 비구면 표면(32)의 정확한 새그는: $R = 22.6\text{mm}$, $\beta_1 = 3.838 \times 10^{-4}$, $\beta_2 = -6.330 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$, $\beta_3 = 8.990 \times 10^{-5} \text{mm}^{-2}$, $\beta_4 = 4.500 \times 10^{-5} \text{mm}^{-3}$, $\beta_5 = 1.424 \times 10^{-6} \text{mm}^{-4}$, $\beta_6 = -4.250 \times 10^{-7} \text{mm}^{-5}$, β_7

$= 2.200 \times 10^{-8} \text{ mm}^{-6}$, 및 $\beta_8 = -4.650 \times 10^{-10} \text{ mm}^{-7}$ 이다. mm 단위의 구면 표면(70)의 정확한 새그는 다음과 같다:

수학식 3

$$z(r) = \frac{r^2}{R \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2} \right)}$$

[0041]

[0042]

여기서 R은 -18.05mm이다. 구면 표면에 대해, R은 표면의 물리적 반경에 해당한다.

[0043]

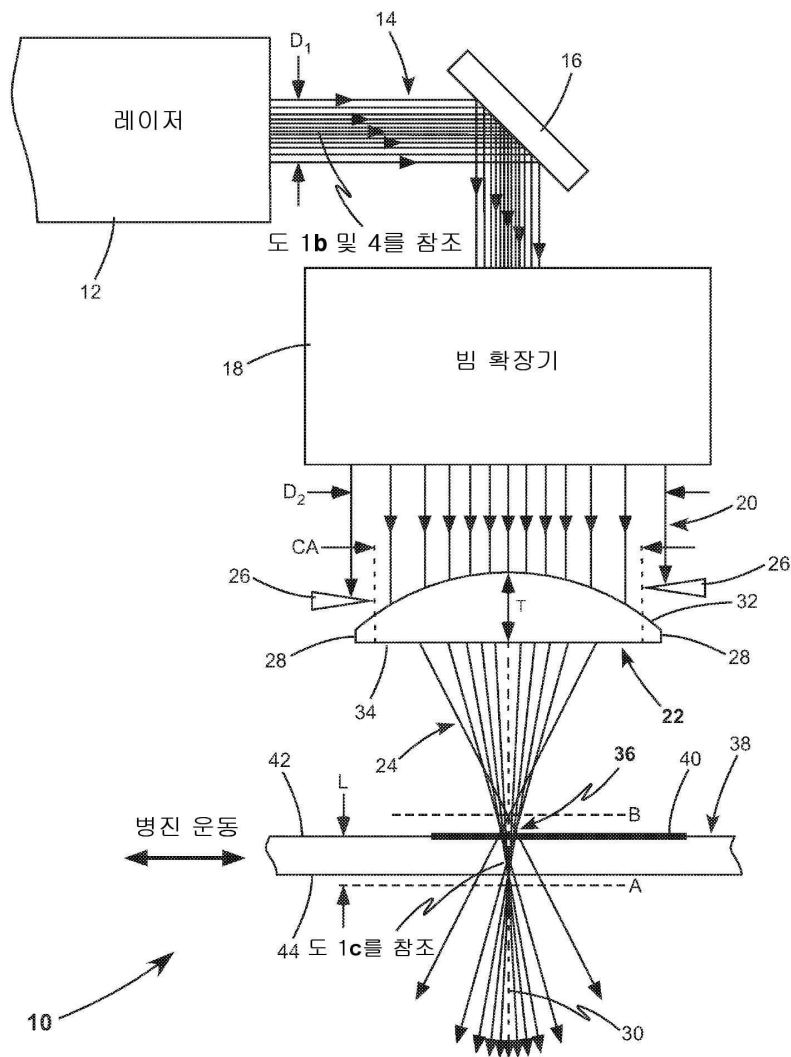
요약하면, 펄스 레이저 방사선의 빔은 취성 재료를 절단하기 위한 균일한 강도 분포를 갖는 가늘고 긴 초점을 형성하도록 포커싱된다. 상술한 실시 예는 비구면 초점 렌즈 및 어퍼처를 사용하여 횡단 가우시안 강도 분포를 갖는 펄스 레이저 방사선의 빔으로부터 가늘고 긴 초점을 형성한다. 광학 설계는 취성 재료의 전체 두께를 통과해 레이저 방사선을 효율적으로 포커싱하도록 최적화되어, 절단 선을 따라 단일 패스에서 취성 재료를 절단할 수 있는 연장된 결함을 생성할 수 있다. 연장된 결함을 만들기 위한 레이저 방사선의 제어되고 효율적인 전달은 강화 유리와 같은 단단한 취성 재료로 만들어진 워크피스를 절단하는 데 필요한 펄스 에너지와 시간을 감소시킨다. 본 발명은 각각의 연장된 결함을 생성하기 위해 자가 안내 필라멘트를 만드는 것에 의존하지 않는다. 따라서, 본 발명은 펄스 레이저 방사선 소스의 빔 속성에 상대적으로 둔감하다.

[0044]

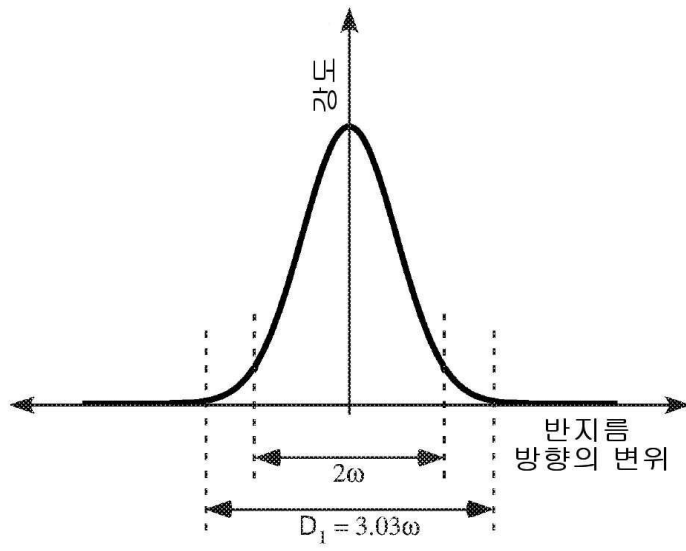
본 발명은 바람직한 실시 예 및 다른 실시 예와 관련하여 위에서 설명되었다. 그러나 본 발명은 여기에 기술되고 묘사된 실시 예들에 한정되지 않는다. 오히려, 본 발명은 여기에 첨부된 청구 범위에 의해서만 한정된다.

도면

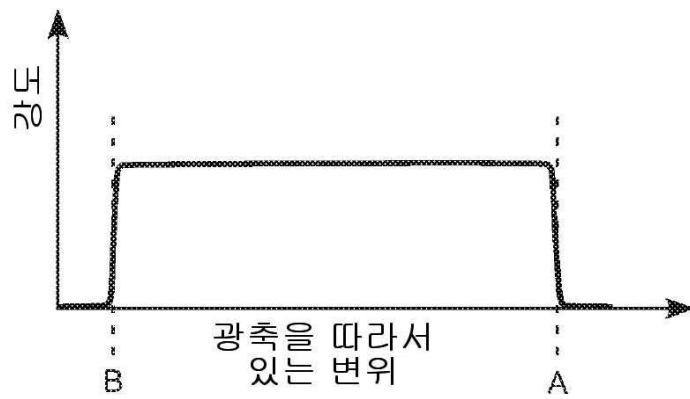
도면1a



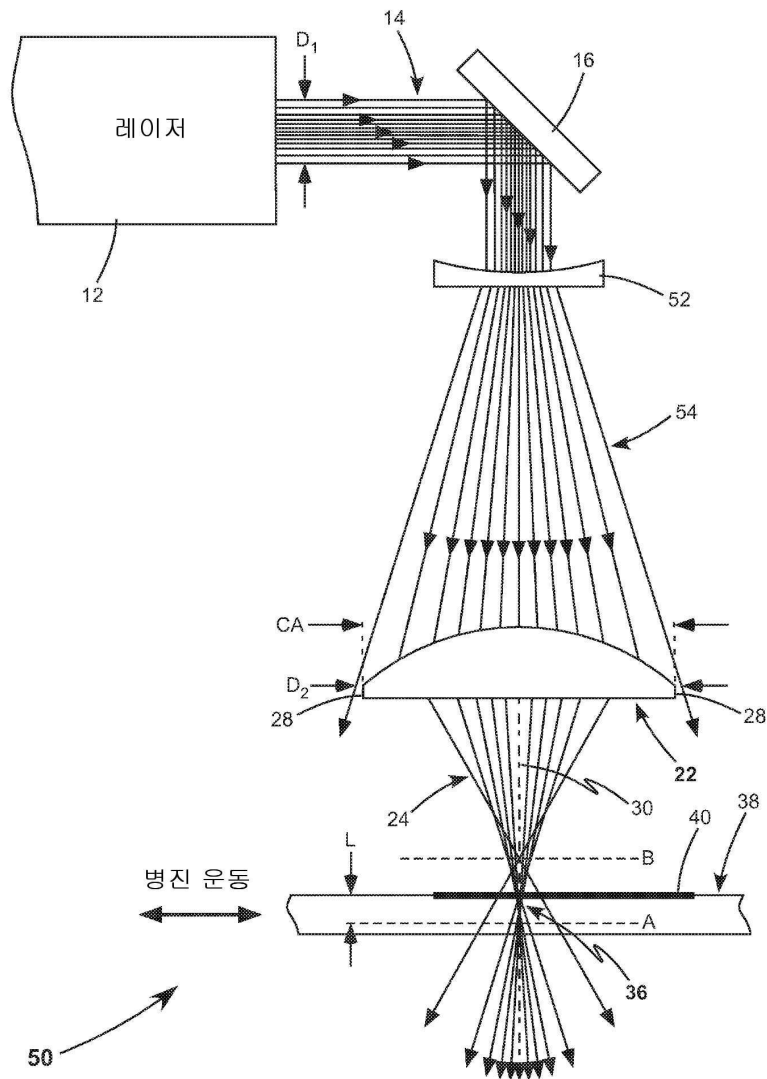
도면1b



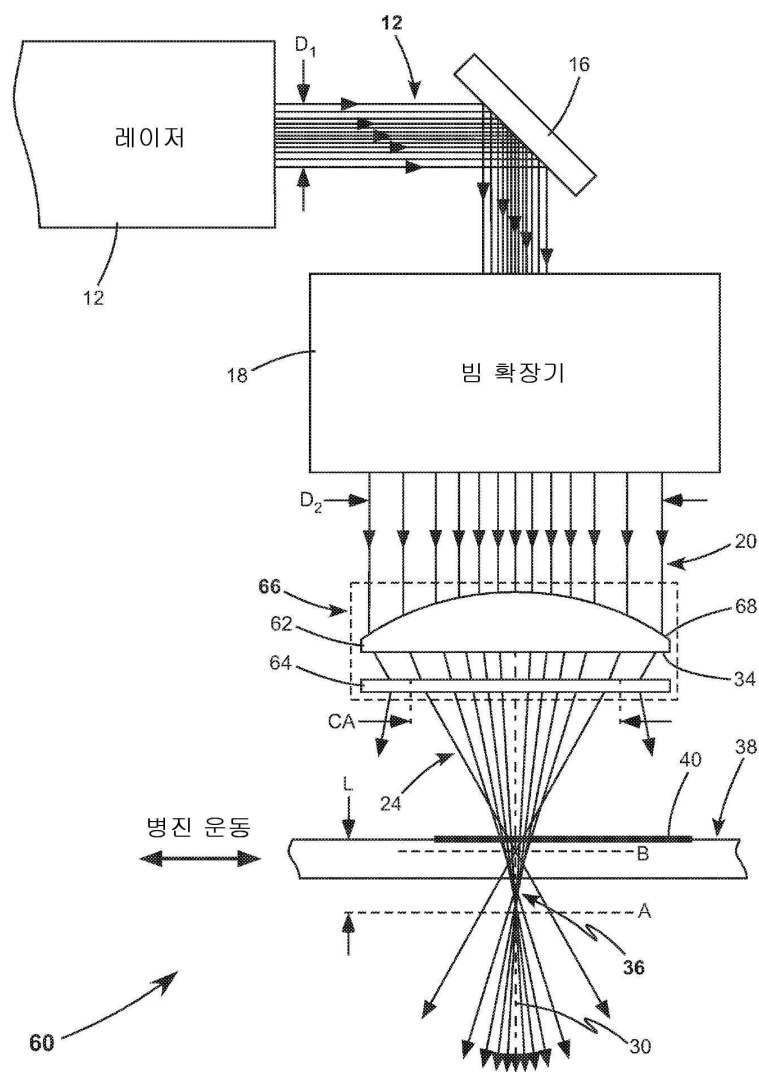
도면1c



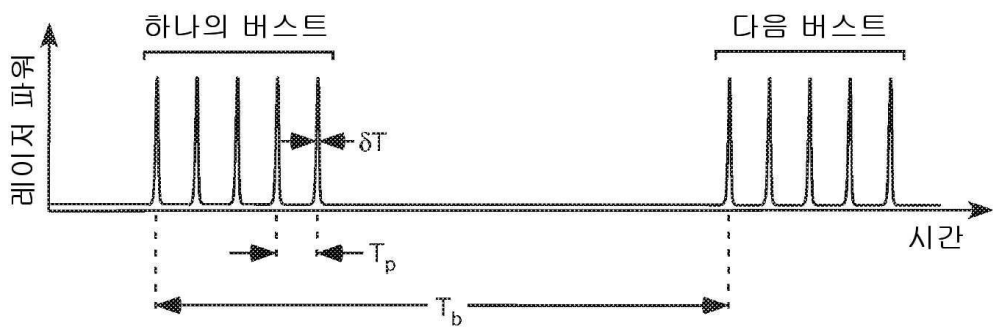
도면2



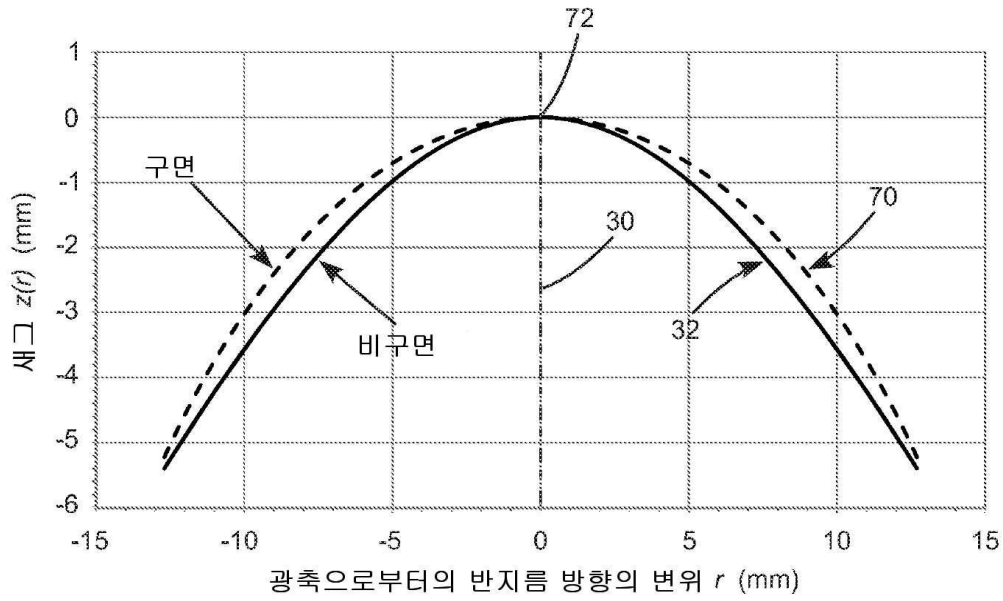
도면3



도면4

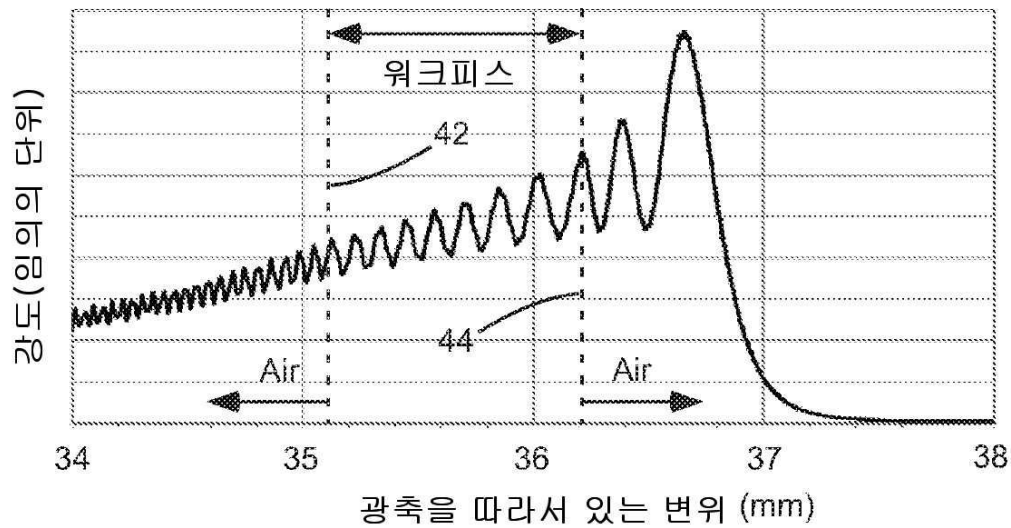


도면5

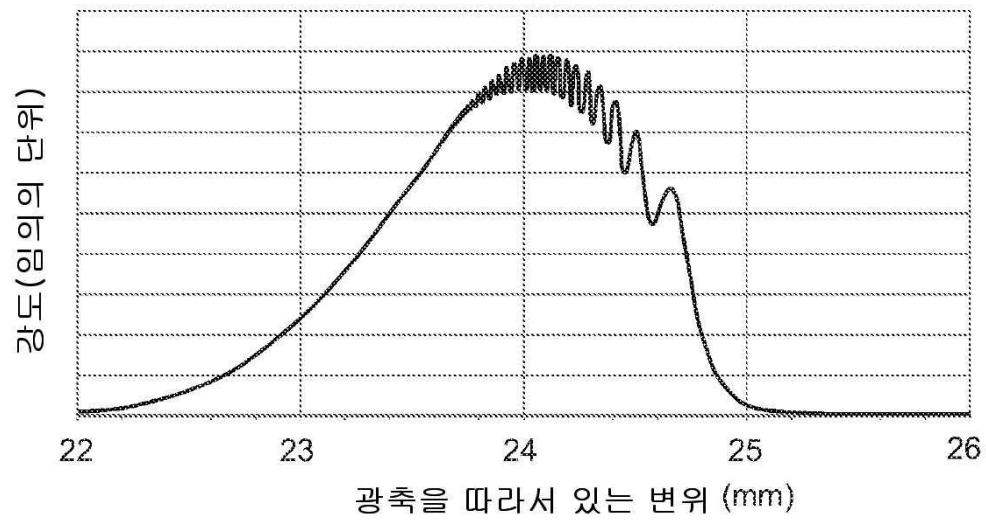


도면6a

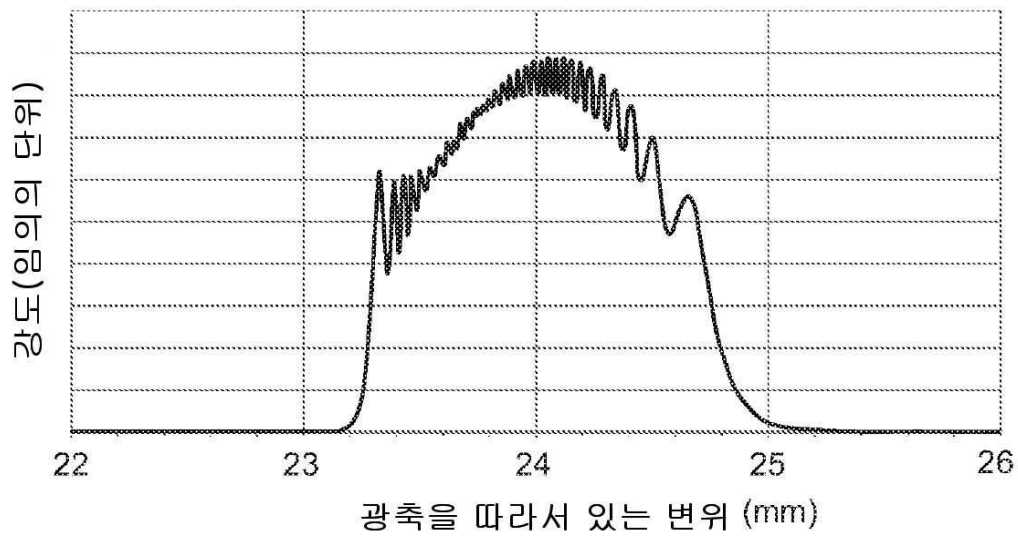
(종래기술)



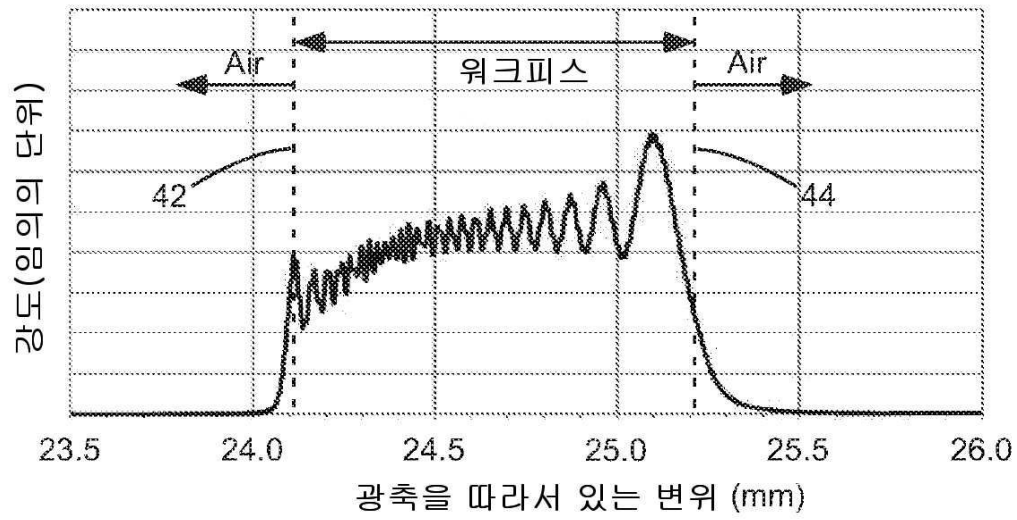
도면6b



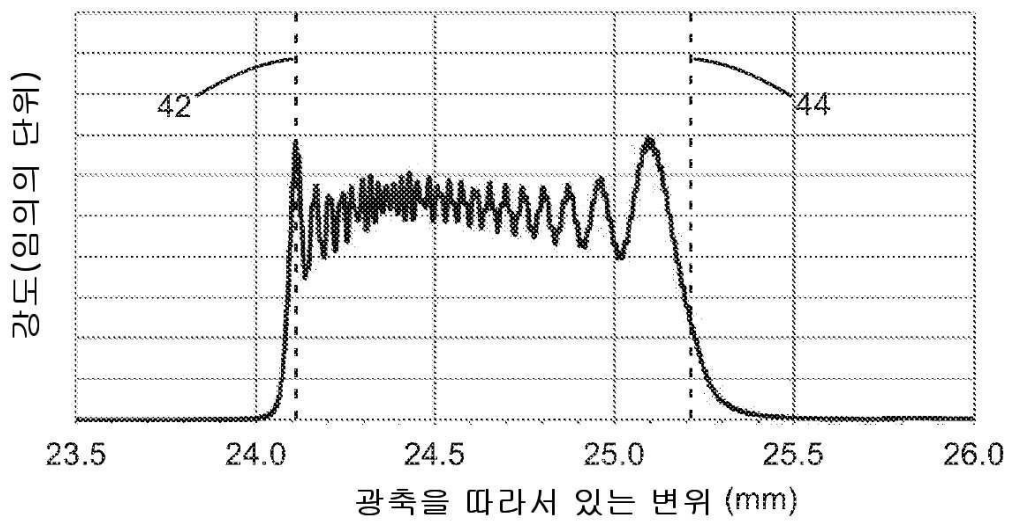
도면6c



도면7a



도면7b



도면7c

