



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0056597  
(43) 공개일자 2015년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*B23K 26/36* (2014.01) *B23K 26/00* (2014.01)

(52) CPC특허분류  
*B23K 26/367* (2013.01)  
*B23K 26/0039* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-7009304

(22) 출원일자(국제) 2013년09월23일  
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2015년04월10일

(86) 국제출원번호 PCT/US2013/061162

(87) 국제공개번호 WO 2014/047549  
국제공개일자 2014년03월27일

(30) 우선권주장  
61/704,038 2012년09월21일 미국(US)  
(뒷면에 계속)

(71) 출원인  
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드  
미국, 오리건 97229, 포트랜드, 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900

(72) 발명자  
창 하이빈  
미국, 오리건 97229, 포틀랜드, 엔더블유 그래프 스트리트 15536  
산 광  
미국, 캘리포니아 95214, 산 조세, 위릭 애비뉴 14505  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
문경진, 안문환

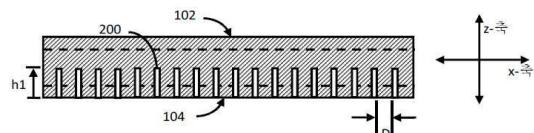
전체 청구항 수 : 총 34 항

(54) 발명의 명칭 작업물을 분리하는 방법 및 장치 및 이에 의해 제조된 물품

### (57) 요 약

본 발명은 공통 기관으로부터 작업물을 분리하는 방법이다. 본 방법은 상기 작업물을 제공하는 단계, 빔 소스에서, 상기 작업물의 일부를 변경하도록 구성된 레이저 펄스 빔을 생성하는 단계, 상기 작업물의 특성에 기초하여 변경된 구역을 형성하는 깊이를 결정하는 단계, 및 상기 작업물 내 복수의 구역을 변경하여 복수의 변경된 구역을 형성하는 단계를 포함한다. 상기 복수의 구역을 변경하는 단계는 상기 레이저 펄스 빔을 상기 빔 소스의 출력으로부터 상기 작업물로 지향시키는 단계, 상기 레이저 펄스 빔을 작업물로 지향시키면서 상기 작업물과 상기 빔 소스의 출력 사이에 상대적인 움직임을 야기하는 단계, 및 일반적으로 상기 결정된 깊이로 상기 변경된 구역을 형성하는 것에 대응하는 수의 펄스를 생성할 때 상기 빔의 펄스 특성을 변경하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류  
**B23K 26/0063** (2013.01)

(72) 발명자  
**레코우 매튜**  
미국, 캘리포니아 95060, 산타 크루즈, 리 스트리트 357  
**창 민**  
미국, 캘리포니아 94539, 프레몬트, 체멀트 컴본 46925  
**지멘슨 글렌**  
미국, 오리건 97225, 포틀랜드, 에스더블유 78번 애비뉴 3925  
**수 켄**  
미국, 오리건 97229, 포틀랜드, 엔더블유 클리크 플레이스 4145  
**브룩카이저 제임스**  
미국, 오리건 97213, 포틀랜드, 앤이 와스코 스트리트 6221  
**프랑켈 조세프**  
미국, 오리건 97006, 포틀랜드, 엔더블유 캠브레이 스트리트 17937  
**다윈 마이클**  
미국, 오리건 97225, 포틀랜드, 에스더블유 버치우드 로드 8455  
**런델 잭**  
미국, 오리건 97106, 뱅크스, 엔더블유 그린 마운틴 로드 20275  
**파이서 매튜**  
미국, 캘리포니아 94538, 프레몬트, 가디노아 드라이브 #347 39149

---

(30) 우선권주장

61/735,489	2012년12월10일	미국(US)
61/766,274	2013년02월19일	미국(US)
61/866,736	2013년08월16일	미국(US)
14/032,829	2013년09월20일	미국(US)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

공통 기관으로부터 작업물을 분리하는 방법으로서,

제1 표면, 상기 제1 표면과 대향하는 제2 표면, 및 상기 제1 표면과 상기 제2 표면 사이에 내부를 구비하는 상기 작업물을 제공하는 단계;

빔 소스에서, 상기 작업물의 일부를 변경하도록 구성된 레이저 펄스 빔을 생성하는 단계;

상기 작업물의 특성에 기초하여 변경된 구역을 형성하는 깊이를 결정하는 단계; 및

상기 작업물 내 복수의 구역을 변경하여 상기 제2 표면으로부터 상기 작업물의 상기 내부로 각각 연장되는 복수의 변경된 구역을 형성하는 단계를 포함하되, 상기 복수의 구역을 변경하는 단계는,

상기 빔 소스의 출력으로부터 상기 작업물로 상기 레이저 펄스 빔을 지향시켜 상기 빔 내 레이저 펄스들이 상기 제1 표면을 통해 상기 작업물 내부로 가서 상기 제2 표면 쪽으로 지나가는 단계;

상기 레이저 펄스 빔을 작업물로 지향시키면서 상기 작업물과 상기 빔 소스의 출력 사이에 상대적인 움직임을 야기하는 단계; 및

일반적으로 상기 변경된 구역을 상기 결정된 깊이로 형성하는 것에 대응하는 수의 펄스를 생성할 때 상기 빔의 펄스의 특성을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 레이저 빔의 특성에 기초하여 변경된 구역을 형성하는 깊이를 결정하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 반복 속도를 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 강도를 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 플루언스(fluence)를 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 공간적인 스팟 형상을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 스팟의 사이즈를 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 광축을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 펄스의 지속시간을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

### 청구항 10

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 시간 펄스(temporal pulse)의 형상을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

### 청구항 11

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 파장을 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

### 청구항 12

제1항에 있어서, 상기 펄스의 특성을 변경하는 단계는 스팟의 사이즈를 변경하는 단계를 포함하는 것인 방법.

### 청구항 13

제1항에 있어서, 상기 빔 내 적어도 하나의 레이저 펄스는 자외선 스펙트럼의 파장을 지니는 광을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 14

제1항에 있어서, 빔 소스에서, 레이저 펄스의 적어도 2개의 연속적인 버스트(burst)로 시간적으로 제공된 레이저 펄스 빔을 생성하는 단계를 더 포함하되, 공통 버스트 내 연속적인 펄스들 사이의 시간 기간은 연속적인 버스트들 사이의 시간 기간보다 더 적은 것인 방법.

### 청구항 15

제1항에 있어서, 상기 빔 내 적어도 하나의 레이저 펄스가 비원형 형상을 지니는 스팟으로 상기 제1 표면에 도달하는 단계를 더 포함하는 방법.

### 청구항 16

제1항에 있어서, 상기 작업물은 강화 유리 작업물을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 17

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스는 UV 범위 또는 더 긴 범위의 파장을 지니는 광을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 18

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스는 녹색 범위의 파장을 지니는 광을 포함하는 것인 방법.

### 청구항 19

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스의 버스트들 중 적어도 하나의 버스트 내 레이저 펄스는 90kHz를 초과하는 펄스 반복 속도에서 상기 작업물로 지향되는 것인 방법.

### 청구항 20

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스의 버스트들 중 적어도 하나의 버스트 내 레이저 펄스는 120kHz 미만의 펄스 반복 속도에서 상기 작업물로 지향된 것인 방법.

### 청구항 21

제1항에 있어서, 레이저 펄스의 하나의 버스트의 하나의 시작부와 레이저 펄스의 연속적으로 생성된 버스트의 시작부 사이의 시간 기간은 50μs를 초과하는 것인 방법.

### 청구항 22

제1항에 있어서, 레이저 펄스의 하나의 버스트의 하나의 시작부와 레이저 펄스의 연속적으로 생성된 버스트의 시작부 사이의 시간 기간은 500μs 미만인 것인 방법.

### 청구항 23

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스 빔은 10%를 초과하는 듀티 사이클을 구비하는 것인 방법.

### 청구항 24

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스 빔은 50% 미만의 듀티 사이클을 구비하는 것인 방법.

### 청구항 25

제1항에 있어서, 경로를 따라 인접한 변경된 구역들 사이의 거리는  $100\mu\text{m}$ 을 초과하는 것인 방법.

### 청구항 26

제1항에 있어서, 경로를 따라 인접한 변경된 구역들 사이의 거리는  $300\mu\text{m}$  미만인 것인 방법.

### 청구항 27

제1항에 있어서, 상기 변경된 구역들 중 적어도 하나는 상기 작업물의 표면으로부터 상기 작업물 안으로 상기 작업물의 두께의 30%를 초과하는 거리만큼 연장되는 것인 방법.

### 청구항 28

제1항에 있어서, 상기 변경된 구역들 중 적어도 하나는 상기 작업물의 표면으로부터 상기 작업물 안으로 상기 작업물의 두께의 60% 미만의 거리만큼 연장되는 것인 방법.

### 청구항 29

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스들 중 적어도 하나는 18ns를 초과하는 펄스 지속시간을 지니는 것인 방법.

### 청구항 30

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스들 중 적어도 하나는 20ns 미만의 펄스 지속시간을 지니는 것인 방법.

### 청구항 31

제1항에 있어서, 상기 변경된 구역은 경사 각도를 포함하고, 상기 경사 각도는 약  $30^\circ$  미만인 것인 방법.

### 청구항 32

제31항에 있어서, 상기 경사 각도는 약  $10^\circ$  미만인 것인 방법.

### 청구항 33

제31항에 있어서, 상기 경사 각도는 약  $1^\circ$  미만인 것인 방법.

### 청구항 34

공통 기관으로부터 작업물을 분리하는 장치로서,

제1 표면, 상기 제1 표면과 대향하는 제2 표면, 및 상기 제1 표면과 상기 제2 표면 사이에 내부를 구비하는 상기 작업물을 처리하는 척(chuck);

빔 위치지정기;

상기 작업물 내 복수의 구역을 변경하여 상기 제2 표면으로부터 상기 작업물의 상기 내부로 각각 연장되는 복수의 변경된 구역을 형성하도록 구성된 레이저 펄스 빔을 생성하는 빔 소스를 포함하되, 상기 복수의 구역을 변경하는 동작은,

상기 빔 소스의 출력으로부터 상기 작업물로 레이저 펄스 빔을 지향시켜, 상기 빔 내 레이저 펄스들이 상기 제1 표면을 통과하여 상기 작업물의 내부를 지나 상기 제2 표면 쪽으로 지나가는 동작;

상기 레이저 펄스 빔을 작업물로 지향시키면서 상기 작업물과 상기 빔 소스의 출력 사이에 상대적인 움직임을

야기하는 동작; 및

일반적으로 상기 변경된 구역을 미리 결정된 깊이로 형성하는 것에 대응하는 수의 펄스를 생성할 때 상기 빔의 펄스의 특성을 변경하는 동작을 포함하는 것인 장치.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

##### [0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

본 출원은 미국 정식출원이다. 본 출원은 2013년 8월 16일에 출원된 미국 가출원 제61/866,736호, 2013년 2월 19일에 출원된 미국 가출원 제61/766,274호, 2012년 12월 10일에 출원된 미국 가출원 제61/735,489호 및 2012년 9월 21일에 출원된 미국 가출원 제61/704,038호의 이익을 청구하며, 이들 문헌의 전체 내용은 모든 목적을 위하여 본 명세서에 병합된다.

본 발명의 실시예는 일반적으로 유리, 웨이퍼, 기판 등의 시트와 같은 작업물들을 분리하는 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

얇은 유리 기판을 포함하는 하드 광학 물질(hard optic material)은, 화학적으로-강화된 것인든, 열적으로-강화된 것인든 또는 강화되지 않은 것인든 상관없이, 소비자 전자제품 및 다른 산업에 널리 사용되고 있다. 예를 들어, 화학적으로-강화된 및 열적으로-강화 유리 기판은 LCD 및 LED 디스플레이, 및 모바일 전화에 포함된 터치 응용, 텔레비전과 컴퓨터 모니터와 같은 디스플레이 디바이스, 및 여러 다른 전자 디바이스의 커버 기판으로 사용되고 있다. 이러한 소비자 전자제품 디바이스를 제조하는 것과 연관된 비용을 감소시키기 위해, 대형 또는 공통 기판이 하드 광학 물질 제조사로부터 물질 사용자로 운반(transported)되고 나서 사용자는 기계적인 금 굿는 훨(mechanical scoring wheel) 또는 레이저와 같은 디바이스를 사용하여 공통 기판으로부터 개별 기판을 성글레이션(singulate)한다.

그러나, 공통 유리 기판으로부터 개별 유리 기판을 성글레이션하는 것은, 특히 공통 유리 기판이 화학적으로 강화되거나 또는 열적으로 강화 유리로 형성된 경우 곤란할 수 있다. 예를 들어, 중심 인장 구역에 저장된 탄성 에너지와 압축 응력의 크기는 화학적으로 강화되거나 또는 열적으로 강화 유리를 절단하거나 마무리하는 것을 곤란하게 할 수 있다. 높은 표면 압축과 깊은 압축 층이 전통적인 스크라이브-앤팠-벤딩 공정(scribe-and-bend processes)에서와 같이 유리 기판을 기계적으로 스크라이브하는 것을 곤란하게 한다. 나아가, 중심 인장 구역에 저장된 탄성 에너지가 충분히 높은 경우, 표면 압축 층이 관통된 때 유리는 폭발하는 방식으로 깨질 수 있다. 다른 경우에, 탄성 에너지가 방출되면 분리 경로를 벗어나 깨질 수 있다. 유사하게, 강옥(corundum), 세라믹, 반도체, 금속 또는 금속 합금 및 유리-세라믹과 같은 전자 디스플레이를 위한 커버 물질로 사용하도록 구성된 다른 하드 광학 물질을 분리하거나 성글레이션하는 것이 곤란하다. 따라서, 강화 유리 기판을 포함하는 하드 광학 물질을 분리하는 신뢰성 있는 방법이 요구된다.

### 도면의 간단한 설명

도 1a는 본 명세서에서 예시적으로 설명된 하나 이상의 실시예에 따라, 분리 경로의 일 실시예를 따라 분리될 수 있는 작업물을 도시한 평면도;

도 1b는 분리 경로를 따라 분리될 수 있는 작업물의 일 실시예를 도시하는 도 1a에 도시된 라인 IB-IB을 따라 취한 단면도;

도 2는 복수의 변경된 구역(modified region)들이 분리 경로를 따라 형성된 후에 도 1b에 도시된 작업물의 단면도;

도 3a, 도 4a 및 도 5a는 레이저 펄스들이 작업물에 도달하여 도 2에 도시된 변경된 구역을 형성하도록 지향될 수 있는 펄스 타이밍을 도시한 펄스 타이밍도;

도 3b, 도 4b 및 도 5b는 레이저 펄스들이 도 3a, 도 4a 및 도 5a에 각각 도시된 펄스 타이밍에 따라 작업물에

도달한 결과 변경된 구역을 형성하는 여러 단계를 개략적으로 도시하는 확대된 단면도;

도 6은 본 명세서에 예시적으로 설명된 하나 이상의 실시예에 따라 작업물이 분리될 수 있는 분리 경로의 다른 실시예를 도시한 평면도;

도 7은 도 2에 대해 예시적으로 설명된 것과 같은 변경된 구역을 형성하도록 동작될 수 있는 일 실시예에 따른 빔 소스(beam source)를 포함하는 작업물 처리 장치를 개략적으로 도시한 도면;

도 8 내지 도 11은 도 7에 도시된 작업물 처리 장치에 병합될 수 있는 빔 소스의 다른 실시예를 개략적으로 도시한 도면;

도 12는 작업물 처리 장치로 작업물을 처리하는 방법의 일 실시예를 설명하는 흐름도;

도 13a는 도 12에 대해 예시적으로 설명된 방법과 사용하기 위한 작업물 캐리어의 일 실시예를 개략적으로 도시한 평면도;

도 13b는 작업물 캐리어의 일 실시예를 개략적으로 도시한 도 13a에 도시된 라인 XIIIIB- XIIIIB을 따라 취한 단면도;

도 14a는 도 12에 대해 예시적으로 설명된 방법과 사용하기 위한 작업물 처리 장치의 일 실시예를 개략적으로 도시한 평면도;

도 14b는 작업물 처리 장치의 일 실시예를 개략적으로 도시하는 도 14a에 도시된 라인 XIVB- XIVB를 따라 취한 단면도;

도 15는 도 14a 및 도 14b에 도시된 것과 같은 작업물 처리 장치에 사용되는 이송 시스템(transfer system)의 일 실시예를 개략적으로 도시한 평면도;

도 16은 작업물 처리 장치로부터 도 15에 도시된 이송 시스템의 일 실시예로 작업물을 이송하는 방법의 일 실시예를 개략적으로 도시한 측면도;

도 17은 도 15에 도시된 이송 시스템의 다른 실시예로부터 버퍼 스테이션으로 작업물을 이송하는 방법의 일 실시예를 개략적으로 도시한 측면도;

도 18은 빔의 빔 웨이스트(beam waist)가 작업물 변경 공정(workpiece modification process) 동안 z-축을 따라 적절히 위치되는 것을 보장하는 공정을 설명하는 흐름도.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 예시적인 실시예들이 첨부 도면을 참조하여 이하에서 설명된다. 많은 상이한 형태와 실시예들이 본 발명의 사상과 개시 내용을 벗어남이 없이 가능하므로 본 발명은 본 명세서에 개시된 예시적인 실시예로 제한되는 것으로 해석되어서는 안된다. 오히려, 이들 예시적인 실시예는 본 발명이 충분하고 실시가능하며, 본 발명의 범위를 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자에 전달하기 위해 제공된 것이다.

[0008] 도면에서, 부품들의 사이즈와 상대적인 사이즈는 명료화를 위해 과장되었을 수 있다. 본 명세서에 사용된 용어는 특정 예시적인 실시예를 단지 설명하기 위한 것일 뿐 본 발명을 제한하려고 의도된 것이 전혀 아니다. "전방" 및 "후방"과 "후미", "좌측" 및 "우측", "상부" 및 "하부", "상위" 및 "하위" 등과 같은 여러 배향에 관한 용어는 본 명세서에서 편의상 사용된 것일 뿐, 임의의 설명된 구조물이 사용될 수 있는 환경에 대해 설명된 것이 절대적이거나 고정된 배향으로 제한하려고 의도된 것이 전혀 아니다.

[0009] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수 형태 "일"과 "상기"는 문맥이 달리 지시하지 않는 한, 복수의 형태를 포함하는 것으로 의도된 것이다. 나아가 "포함하고" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는 본 명세서에 사용될 때, 언급된 특징, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 부품이 존재하는 것을 나타내는 것일 뿐, 하나 이상의 다른 특징, 정수, 단계, 동작, 요소, 부품 및/또는 이들의 그룹이 존재하거나 추가되는 것을 배제하는 것이 아닌 것으로 이해된다. 달리 지시되지 않는 한, 언급된 값의 범위는 범위의 상한과 하한뿐만 아니라 이들 사이에 있는 임의의 서브 범위를 모두 포함한다.

[0010] 보다 상세히 설명된 바와 같이, 본 명세서에서 예시적으로 설명된 일부 실시예는 일반적으로 작업물 내 복수의 구역(예를 들어, 하나 이상의 물질 또는 물질층을 포함하는 시트, 판, 기판 등으로 제공된 구역)을 변경하여 작업물 내 복수의 변경된 구역을 형성하는 방법을 특징으로 할 수 있다. 변경된 구역은 작업물 내에 형성된 하나

이상의 크랙(crack), 금(fracture), 공극(void), 조밀해진 구역 등을 포함하거나 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일반적으로, 작업물은 제1 표면, 상기 제1 표면과 대향하는 제2 표면, 및 상기 제1 표면과 상기 제2 표면 사이에 내부를 구비하는 것을 특징으로 할 수 있고, 이 변경된 구역들은 분리 경로를 따라 작업물 내에 배열된다. 보다 상세히 설명된 바와 같이, 변경 구역들이 레이저 펄스의 빔을 작업물로 지향시켜, 빔 내 레이저 펄스들이 제1 표면에서 작업물에 입사하고 나서 작업물의 내부로 가서 제2 표면 쪽으로 진행하는 것을 수반하는 작업물 변경 공정에 따라 작업물 내에 형성된다. 작업물 변경 공정은 제2 표면으로부터 제1 표면으로 연장되고, 제2 표면으로부터 내부로 연장되고 제1 표면으로부터 이격된 위치에서 종료하는 변경된 구역을 형성하거나, 내부에서 연장되지만 제1 표면과 제2 표면으로부터 이격되어 있는 내부에서 연장되는 변경된 구역을 형성하거나 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 하나 이상의 변경된 구역을 형성하도록 수행될 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 작업물은 (예를 들어, 내부 여러 위치에서 작업물의 조성에 의하여, 형성된 공정 등에 의하여 또는 이들의 조합에 의하여) 내부에서 응력을 받을 수 있다. 이러한 실시예에서, 하나 이상의 응력 필드(stress field)가 변경된 구역들을 형성할 때 작업물 내부에 생성되어 일반적으로 변경된 구역들을 둘러싸고 분리 경로를 따라 연장될 수 있다. 변경된 구역들이 작업물을 따라 연장되는 높이, 작업물 내 내부 응력 등과 같은 팩터에 따라, 하나 이상의 응력 필드는 작업물의 내부를 따라 하나 이상의 크랙을 형성하거나 및/또는 전파하여 (예를 들어, 제1 표면과 제2 표면 사이에 완전히 연장되어) 분리 경로를 따라 작업물을 자발적으로 분리하기에 충분할 수 있다. 작업물이 분리 경로를 따라 자발적으로 분리하는 시간은 일반적으로 예를 들어, 변경된 구역들이 형성되기 전에 작업물 내 내부 응력의 크기, 분리 경로를 따라 형성된 변경된 구역의 수, 분리 경로를 따라 인접한 변경된 구역들 사이의 거리, 변경된 구역들이 작업물 안으로 연장되는 높이 등 또는 이들의 조합에 대응할 수 있다.

[0012] 또 다른 실시예에서, 작업물(예를 들어, 내부에서 응력을 받는 작업물 또는 내부 응력이 없거나 무시 가능한 작업물)은 변경된 구역들을 형성한 후 (예를 들어, 작업물을 가열하는 것에 의해, 작업물을 냉각시키는 것에 의해, 작업물을 벤딩하는 것에 의해, 작업물에 기계적으로 영향을 미치는 것에 의해, 변경된 구역보다 작업물 안으로 더 연장되게 작업물 내에 벤트, 그루브 또는 크랙을 형성하는 것 등에 의해 또는 이들의 조합에 의해) 유리하게 응력을 받아서, 전술한 하나 이상의 응력 필드를 생성하여 작업물의 내부를 따라 하나 이상의 크랙을 형성하거나 및/또는 전파하고 (예를 들어, 제1 표면과 제2 표면 사이에 완전히 연장되어) 분리 경로를 따라 작업물을 분리할 수 있다.

[0013] 일반적으로, 작업물은 사파이어를 포함하는 강옥, 세라믹, 반도체, 금속 또는 금속 합금, 유리, 유리-세라믹 등과 같은 물질 또는 이들의 조합으로 형성될 수 있다. 작업물이 형성될 수 있는 예시적인 세라믹 물질은 알루미나, 베릴리아(beryllia), 지르코니아 등 또는 이들의 조합을 포함한다. 작업물이 형성될 수 있는 예시적인 반도체 물질은 원소 또는 화합물 반도체(예를 들어, 실리콘, 게르마늄, 실리콘-게르마늄, 실리콘 카바이드 등 또는 이들의 조합), 반도체 산화물 등 또는 이들의 조합을 포함한다. 작업물이 형성될 수 있는 예시적인 금속과 금속 합금은 알루미늄, 인듐, 티타늄, 아연, 스테인레스 스틸 등, 이들의 합금, 이들의 산화물, 이들의 질화물 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 작업물이 형성될 수 있는 예시적인 유리는 소다석회 유리, 봉규산 유리, 알루미노실리케이트 유리, 알루미노보로실리케이트 유리, 나트륨-알루미노실리케이트 유리, 칼슘-알루미노실리케이트 유리, 포스페이트 유리, 플루오라이드(fluoride) 유리, 칼코게나이드(chalcogenide) 유리, 별크 금속성(bulk metallic) 유리 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 유리로 형성될 때, 작업물은 화학적으로-강화된, 열적으로 강화된 등이거나 또는 이들의 조합일 수 있고 또는 강화되지 않을 수 있다.

[0014] 작업물 변경 공정을 받을 수 있는 작업물과 이렇게 형성된 변경된 구역의 예시적인 실시예는 이제 도 1a, 도 1b 및 도 2를 참조하여 설명된다.

[0015] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 작업물(100)은 제1 표면(102), 이 제1 표면(102)과 대향하는 제2 표면(104), 이 제1 표면(102)과 제2 표면(104) 사이에 있는 내부(106), 및 작업물(100)의 주변 주위에 (예를 들어, 제1 표면(102)으로부터 제2 표면(104)으로) 연장되는 에지 표면을 구비할 수 있다. 일 실시예에서, (예를 들어, x-축을 따라 측정했을 때) 작업물(100)의 측방향 크기는 300mm 내지 1500mm (또는 그 부근) 범위일 수 있고 (예를 들어, y-축을 따라 측정했을 때) 작업물(100)의 측방향 크기는 400mm 내지 1800mm (또는 그 부근) 범위일 수 있다. 그러나, 작업물(100)의 측방향 크기는 적절하거나 또는 유리한 것으로 변경될 수 있는 것으로 이해된다. 도시된 실시예에서, 상기 제1 표면(102)과 상기 제2 표면(104)은 실질적으로 평평하고 서로 평행하다. 따라서, 제1 표면(102)과 제2 표면(104)으로부터의 거리는 작업물(100)의 두께(t)를 한정할 수 있다. 일 실시예에서, 작업물(100)의 두께는 200μm 내지 10mm 범위(예를 들어, 1mm 미만, 0.7mm 미만, 0.5mm 미만, 0.4mm 미만 또는 그 부근)이다. 그러나, 또 다른 실시예에서, 작업물(100)의 두께는 200μm 미만이거나 또는 10mm 초과할 수 있다. 또

다른 실시예에서, 제1 표면(102)과 제2 표면(104)은 실질적으로 평평하지 않을 수 있고, 서로 평행하지 않을 수 있고 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0016] 도시된 실시예에서, 작업물(100)은 제1 표면(102)으로부터 내부(106)로 연장되는 제1 압축 구역(108), 제2 표면(104)으로부터 내부(106)로 연장되는 제2 압축 구역(110), 및 이 제1 압축 구역(108)과 제2 압축 구역(110) 사이에 연장되는 중심 인장 구역(112)을 구비하는 화학적으로 강화 유리로 형성된 내부에 응력이 있는 작업물이다. 제1 압축 구역(108)과 제2 압축 구역(110) 사이에 위치된 작업물(100) 부분은 압축 상태에 있는 반면, 중심 인장 구역(112) 내 작업물(100) 부분은 인장 상태에 있다. 제1 압축 구역(108)의 두께(및, 마찬가지로, 제2 압축 구역(110)의 두께)는 "층 깊이" 또는 "DOL(depth of layer)"로 알려져 있다. 일반적으로, 제1 표면(102)과 제2 표면(104) 각각에서 표면 압축은 69 MPa 내지 1GPa 범위(예를 들어, 100 MPa 초과, 300 MPa 초과, 500 MPa 초과, 700 MPa 초과, 900 MPa 초과 또는 그 부근)일 수 있다. 그러나, 다른 실시예에서, 제1 표면(102) 또는 제2 표면(104) 중 어느 것에서 표면 압축은 69 MPa 미만이거나 또는 1GPa 초과일 수 있다. 일반적으로, DOL은 20 $\mu\text{m}$  내지 100 $\mu\text{m}$  범위일 수 있다. 그러나, 다른 실시예에서, DOL은 20 $\mu\text{m}$  미만이거나 또는 100 $\mu\text{m}$  초과일 수 있다. 인장 구역 내 시트의 최대 인장 응력은 다음 수식으로 결정될 수 있다:

$$CT = \frac{CS \times DOL}{t - 2 \times DOL}$$

[0017] 여기서 CS는 제1 표면(102)과 제2 표면(104)에서 전술한 표면 압축력이고, t는 작업물(100)의 (밀리미터,  $\text{mm}$ 로 표현된) 두께이며, DOL은 압축 구역(들)의 ( $\text{mm}$ 로 표현된) 층 깊이이고, CT는 작업물(100) 내 (MPa로 표현된) 최대 중심 인장력이다.

[0019] 아래에서 보다 상세히 설명된 바와 같이, 전술한 작업물 변경 공정은 빔 소스를 동작시켜, 레이저 헤드로부터 레이저 펄스 빔을 작업물(100)로 지향시키는 것(예를 들어, 빔 내 레이저 펄스들이 제1 표면(102)에서 작업물(100)에 입사하고 나서 작업물의 내부(106)로 가서 제2 표면(104)을 향해 진행하는 것)에 의해 수행된다. 빔이 작업물(100)로 지향되는 동안, 작업물(100)과 빔 사이의 상대적인 움직임이 (예를 들어, 빔에 대해 작업물(100)을 이동시키는 것에 의해, 작업물(100)에 대해 빔을 이동시키는 것에 의해 또는 이들의 조합에 의해) 야기되어 레이저 펄스 빔이 분리 경로(114)를 따라 제1 표면(102)을 따라 (예를 들어, A점과 B점 사이에) 적어도 한번 병진이동된다. 분리 경로(114)는 직선으로 도시되어 있으나, 분리 경로(114)의 적어도 일부는 굴곡될 수 있는 것으로 이해된다. 일 실시예에서, 레이저 펄스 빔은 적어도 한번 분리 경로(114)와 동일 직선 상에 있도록 병진이동될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 레이저 펄스 빔은 분리 경로(114)의 (이와 평행한) 일측이나 양측으로부터 적어도 한번 오프셋되도록 병진이동될 수 있다. 일반적으로, 빔은 200  $\text{mm}/\text{s}$  내지 1000  $\text{mm}/\text{s}$  범위의 스캔 속도로 제1 표면(102)(예를 들어, A점으로부터 B점으로)을 따라 병진이동될 수 있다. 물론, 스캔 속도는 200  $\text{mm}/\text{s}$  미만일 수 있다. 나아가, 예를 들어, 분리 경로(114)의 형상, 작업물(100)이 이동될 수 있는 최대 (또는 가장 빠른 적절한) 속도, 레이저 빔 소스의 레이저 헤드가 이동될 수 있는 최대 (또는 가장 빠른 적절한) 속도, 레이저 빔 소스 내에 존재하는 빔 위치지정기가 동작될 수 있는 최대 주파수 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 팩터에 따라, 스캔 속도는 1000  $\text{mm}/\text{s}$ 를 초과할 수 있다.

[0020] 도 2를 참조하면, 작업물 변경 공정을 수행할 때, 변경된 구역(200)과 같은 복수의 변경된 구역이 작업물(100) 내에 형성된다. 예시적으로 도시된 바와 같이, 각 변경된 구역(200)은 제2 표면(104)으로부터 내부로 DOL을 초과하는 높이(h1)만큼 연장된다. 따라서, 각 변경된 구역(200)은 제2 압축 구역(110)을 따라 연장되고 중심 인장 구역(112) 내에서 종료한다. 일반적으로, h1은 작업물(100)의 두께(t)의 30% 내지 60% 범위일 수 있다. 도 2는 동일한 (또는 적어도 실질적으로 동일한) 높이(h1)로 연장되는 것으로 각 변경된 구역(200)을 도시하고 있으나, 작업물 변경 공정의 파라미터들은 적어도 하나의 변경된 구역(200)이 내부(106)로 다른 변경된 구역(200)과는 상이한 높이만큼 연장되도록 변경되거나 제어될 수 있는 것으로 이해된다. 도 2는 중심 인장 구역(112) 내에서 종료하는 것으로 각 변경된 구역(200)을 도시하고 있으나, 작업물 변경 공정의 파라미터들이 적어도 하나의 변경된 구역(200)이 제2 압축 구역(110) 또는 제1 압축 구역(108) 내에서 종료하도록 변경되거나 제어될 수 있는 것으로 이해된다.

[0021] 예시적으로 도시된 바와 같이, 각 변경된 구역(200)은 (예를 들어, x- 및 y-축 중 하나 또는 둘 모두에 대해) 제2 표면(104)으로부터, 직선 라인을 따라 (또는 적어도 실질적으로 직선 라인을 따라) (예를 들어, z-축을 따라) 작업물(100) 안으로 직교 방향으로 (또는 적어도 실질적으로 직교 방향으로) 연장된다. 그러나, 또 다른 실시예에서, 작업물 변경 공정은 변경된 구역(200)들 중 적어도 하나가 제2 표면(104)으로부터 직선 라인을 따라

(또는 적어도 실질적으로 직선 라인을 따라) 작업물(100) 안으로 실질적으로 비-직교 방향으로 연장되도록 수행될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 작업물 변경 공정은 변경된 구역(200)들 중 적어도 하나가 제2 표면으로부터 작업물(100) 안으로 굴곡되거나, 벤딩되거나 또는 다른 비-직선 라인을 따라 연장되도록 수행될 수 있다. 나아가, 변경된 구역(200)이 작업물(100)의 내부(106)로 연장되어 평행한 (또는 서로 적어도 실질적으로 평행한) 것으로 도시되어 있으나, 작업물 변경 공정은 변경된 구역(200)들 중 적어도 2개가 작업물(100)의 내부(106)로 연장되어 서로에 대해 실질적으로 경사지도록 (또는 서로에 대해 심지어 직교하거나 또는 적어도 실질적으로 직교하도록) 수행될 수 있다.

[0022] 예시적으로 도시된 바와 같이, 각 변경된 구역(200)은 (제2 표면(104)을 따라 측정했을 때)  $100\mu\text{m}$  내지  $300\mu\text{m}$  범위의 거리(D)만큼 인접한 변경된 구역으로부터 이격된다. 예를 들어, 전술한 스캔 속도, 레이저 범 소스 내에 존재하는 범 위치지정기가 동작될 수 있는 최대 주파수, 변경된 구역들이 내부(106)로 연장되는 높이(h1), 작업물(100)의 내부(106) 내에서 변경된 구역(200)의 배향 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 팩터에 따라, 거리(D)는  $100\mu\text{m}$  미만이거나 또는  $300\mu\text{m}$  초과일 수 있다. 인접한 변경된 구역(200)들 사이의 거리가 분리 경로(114)를 따라 상수(또는 적어도 실질적으로 상수)인 것으로 도시되어 있으나, 작업물 변경 공정은 분리 경로(114)를 따라 인접한 변경된 구역(200)들 사이의 거리를 변경하도록 수행될 수 있는 것으로 이해된다.

[0023] 작업물 변경 공정의 예시적인 실시예가 이제 도 3a, 도 3b, 도 4a, 도 4b, 도 5a 및 도 5b를 참조하여 설명된다.

[0024] 일반적으로 도 3a, 도 3b, 도 4a, 도 4b, 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 범 소스(미도시)는 작업물(100)의 일부를 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열(disrupt) 등)하도록 구성된 레이저 펄스 범을 생성하도록 동작될 수 있다. 일반적으로, 범 내 레이저 펄스는 작업물(100)에 대해 적어도 적절히 투명하거나 또는 유리하게 투명한 파장을 지녀 범이 (예를 들어, 도 3b에 도시된 바와 같이 광축(300)을 따라) 제1 표면(102)으로 지향되고 나서 작업물(100)의 내부(106)로 가서 제2 표면(104)을 통과할 수 있다. 도시된 실시예에서, 광축(300)은 광축(300)이 작업물(100)의 제1 표면(102)과 직교하도록 (또는 적어도 실질적으로 직교하도록) 작업물(100)에 대해 배향된다. 예를 들어, 광축(300)은 z-축과 평행하고 (또는 적어도 실질적으로 평행하고), 제1 표면(102)은 x 및 y 축에 의해 한정된 평면 내에 놓여 (또는 적어도 실질적으로 놓여) 있을 수 있다. 다른 실시예에서, 보다 상세히 설명된 바와 같이, 광축(300)은 제1 표면(102)에 대해 실질적으로 경사질 수 있다. 일 실시예에서, 범 내 레이저 펄스는 자외선 스펙트럼의 파장을 (예를 들어, 355 nm 또는 그 부근) 또는 가시적인 스펙트럼(예를 들어, 532 nm 또는 그 부근을 포함하는 녹색 스펙트럼)의 파장을 지닐 수 있다. 범은 제2 표면(104)에 위치되거나 또는 제2 표면(104) 부근에 위치된 범 웨이스트(beam waist: BW)를 구비하는 공간 강도 분배(spatial intensity distribution)(302)(이는 "범 프로파일(beam profile)"이라고도 지칭됨)를 갖는 범을 생성하도록 포커싱(focus)될 수 있다. 도 3b, 도 4b 및 도 5b는 범 웨이스트(BW)가 작업물(100)의 외부 위치 제2 표면(104) 부근에 있는 실시예를 도시하고 있으나, (BW)는 작업물(100)의 내부(106) 내 위치 제2 표면(104) 부근에 있을 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 범 웨이스트(BW)는 범 웨이스트(BW)가  $3\text{mm}$  미만(예를 들어,  $1.5\text{mm}$  미만,  $1\text{mm}$  미만,  $0.5\text{mm}$  미만,  $0.1\text{mm}$  미만,  $0.05\text{mm}$  미만 등)의 거리만큼 제2 표면으로부터 이격될 때 제2 표면(104) "부근"에 있다. 범은  $18\text{ns}$  내지  $20\text{ns}$  범위의 펄스 지속시간,  $2\text{W}$  내지  $10\text{W}$  범위의 피크 펄스 파워를 구비하는 레이저 펄스를 포함할 수 있고,  $90\text{kHz}$  내지  $120\text{kHz}$  범위의 펄스 반복 속도(pulse repetition rate)를 구비할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 펄스 지속시간, 피크 펄스 파워 및 펄스 반복 속도와 같은 특성은 전술한 범위를 넘거나 전술한 범위 미만인 것으로 변경될 수 있는 것으로 이해된다.

[0025] 예시적으로 전술한 것으로 구성된 바와 같이 범의 광축(300)을 따라 지향된 레이저 펄스의 강도 및/또는 플루언스(fluence)는 일반적으로 레이저 펄스가 범의 범 웨이스트(BW)에 접근할 때 증가하고 범 웨이스트(BW)에서 최대값에 도달한다. 따라서, 레이저 펄스 내 전자기 복사선은 범 웨이스트(BW)에 또는 이 부근에 존재하는 작업물(100)의 물질에서는 비선형적으로 흡수(예를 들어, 디-광자 흡수, 애벌란치(avalanche) 흡수 등 또는 이들의 조합)될 수 있는 반면, 레이저 펄스 내 전자기 복사선은 범 웨이스트(BW)로부터 더 멀리 있는 작업물(100)의 물질에서는 거의 흡수되지 않거나 전혀 흡수되지 않는다. 따라서, 작업물에 미리 존재하는 결함이 없는 경우, 범 내 레이저 펄스는 범 웨이스트(BW)에 또는 이 부근에 위치된 작업물(100)의 일부를 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열 등)할 수 있다. 그러나, 심지어 광축(300)을 따라 범 웨이스트(BW)의 위치가 유지되는 경우 범 웨이스트(BW)로부터 너무 멀리 있어 변경될 수 없을 수 있는 작업물의 추가적인 부분이라도 추가적인 레이저 펄스들을 작업물(100)로 지향시키면 변경될 수 있다.

[0026] 따라서 변경된 구역(200)을 형성하기 위해, 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 레이저 펄스(304)와 같은 제1 레이저 펄스는 시간(T1)에 작업물(100)로 지향된다. 제1 레이저 펄스(304)는 작업물(100)에서 비선형적으로 흡수되어

제2 표면(104)에서 작업물(100)의 초기 분열된 부분(306)을 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열 등)시킬 만큼 충분한 강도 및/또는 플루언스를 신속히 달성하는 빔 웨이스트(BW)에 접근할 때까지 작업물(100)을 통해 광축(300)을 따라 거의 흡수 없이 또는 전혀 흡수 없이 전달된다. 이후, 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 레이저 펄스(400)와 같은 후속적인 레이저 펄스는 작업물(100)로 지향될 수 있는 반면, 빔과 작업물(100) 사이의 상대적인 움직임은 (예를 들어, 화살표(402)(작업물 움직임 방향 화살표)로 지시된 방향을 따라 작업물(100)을 이동시키는 것에 의해, 화살표(404)(빔 움직임 방향 화살표)로 지시된 방향을 따라 빔을 스캔하는 것에 의해 또는 이들의 조합에 의해) 야기된다. 펄스(304, 400 및 500)의 펄스 에너지는 균일한 것으로 예시되어 있으나, 이것은 단지 편의를 위한 것이다. 후속적인 레이저 펄스(400)는 이전에-지향된 레이저 펄스에 의해 변경된 작업물(100) 부분에 근접하여, 작업물(100)을 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열 등)하기에는 충분치 않을 수 있는 강도 및/또는 플루언스가 작업물(100)의 이전에 변경된 부분과 인접한 작업물(100) 부분을 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열 등)할 만큼 충분할 때까지 거의 흡수 없이 또는 전혀 흡수 없이 작업물(100)을 통해 광축(300)을 따라 순차적으로 전달된다. 따라서, 빔과 작업물(100)이 이들 사이에 상대적인 움직임을 받는 동안, 후속해서-지향된 레이저 펄스가 작업물(100)로 지향되어 작업물(100)의 이전에 변경된 부분을 조명함으로써, 작업물(100)의 추가적인 부분을 변경(예를 들어, 크랙, 식각, 용융, 분열 등)할 수 있다.

[0027] 작업물(100)의 이전에 변경된 부분을 조명하는 공정은 후속적인 분열된 부분(406)을 포함하는 변경된 구역(200)과 같은 변경된 구역이 제2 표면(104)으로부터 내부(106)로 적절하거나 유리한 높이(예를 들어, 전술한 높이(h1))만큼 연장되도록 형성될 때까지 계속될 수 있다. 적절하거나 유리한 높이는 전술한 파괴(shattering)와 같은 불리한 효과를 야기하지 않고 공통 기판으로부터 작업물(100)의 분리를 정확하고 신뢰성 있게 제어하는 역할을 할 수 있다. 적절하거나 유리한 높이는 공통 기판의 여러 특성의 함수일 수 있다. 이들은 기판의 물질의 기본 조성, 처리된 방식, 예를 들어, 경도, 그 두께, 및 분리시에 온도를 포함한다. 빔과 작업물(100)이 이들 사이에 상대적인 움직임을 받는 동안 작업물(100) 내 변경된 구역(200)의 형성을 종료하기 위해, 빔 또는 펄스의 하나 이상의 특성이 변화된 특성(502)의 펄스를 형성하도록 변경될 수 있다. 예를 들어, 작업물(100)에 대한 광축(300)의 배향이 (예를 들어, 빔 위치지정기 또는 빔 위치지정기의 시스템으로서 음향 광학(acousto-optic: AO) 변조기(AOM), AO 반사기(AOD), 전기 광학(electro-optic: EO) 변조기(EOM), EO 반사기(EOD), 고속 조향 미러, 갈바노 미러(galvanometric mirror) 등 또는 이들의 조합을 사용하여) 변경됨으로써 작업물(100) 내 이전에 변경된 부분은 후속해서-지향된 레이저 펄스로 조명되지는 않는다(또는 후속해서-지향된 레이저 펄스의 일부분만으로 조명되거나, 또는 이전에 변경된 부분과 인접한 작업물(100) 부분을 변경하기에 불충분한 강도 및/또는 플루언스를 구비하는 후속해서-지향된 레이저 펄스 등으로 조명되거나 또는 이들의 조합으로 조명된다). 또 다른 예에서, 빔의 시간 특성(예를 들어, 펄스 반복 속도, 펄스 지속시간, 시간적 형상 등 또는 이들의 조합)이 변화됨으로써 작업물(100) 내 이전에 변경된 부분이 후속해서-지향된 레이저 펄스로 조명되지 않는다. 나아가, 작업물(100) 내 변경된 부분의 사이즈, 형상 및 배향이 일반적으로 지향된 레이저 펄스로 작업물(100)에 조명된 스팟의 사이즈, 형상 및 배향에 대응하는 것으로 발견되었다. 따라서, 또 다른 예에서, 빔의 공간 특성(예를 들어, 레이저 펄스 스팟의 형상, 레이저 펄스 스팟의 사이즈, 분리 경로 등에 대한 레이저 펄스 스팟의 배향 또는 이들의 조합)이 변화됨으로써 작업물(100) 내 이전에 변경된 부분이 후속해서-지향된 레이저 펄스로 조명되지 않을 수 있다(또는 후속해서-지향된 레이저 펄스의 일부분만으로 조명되거나, 또는 이전에 변경된 부분과 인접한 작업물(100) 부분을 변경하기에는 충분치 않은 강도 및/또는 플루언스를 구비하는 후속해서-지향된 레이저 펄스 등으로 조명되거나 또는 이들의 조합으로 조명된다).

[0028] 도 5a 및 도 5b에 도시된 실시예에서, 전술한 변경된 구역(200)을 형성하는 것은 레이저 펄스의 적어도 후속하는(follow-on) 버스트(burst)(500)를 생성하도록 빔의 펄스 반복 속도를 인터럽트(interrupt)하거나 변화시키는 것에 의해 종료되고, 여기서 초기 버스트(304)와 후속적인 펄스(400)를 포함하는 제1 펄스 버스트와 이에 후속하는 버스트(500) 사이의 시간 기간은 연속적인 버스트(500)들 사이의 시간 기간 미만이다. 일 실시예에서, 연속적인 버스트(500)들 사이의 시간 기간은 10ns 내지 1 ms 범위(예를 들어, 50 $\mu$ s 내지 500 $\mu$ s 범위)이거나 또는 그 부근이다. 일 실시예에서, 변경 기간 동안 둑티 사이클은 0% 내지 100% 범위(예를 들어, 10% 내지 50% 범위, 또는 작업물(100) 등의 스캔 속도에 따라 더 많거나 더 적은 범위)일 수 있다.

[0029] 레이저 펄스의 하나 이상의 또는 모든 버스트(500)는 임의의 적절하거나 또는 유리한 방법 또는 방법들의 조합으로 생성될 수 있다. 예를 들어, 레이저 펄스의 버스트(500)는 버스트 모드에서 동작할 수 있는 레이저에 의해 직접 생성될 수 있다. 또 다른 예에서, 레이저 펄스의 버스트(500)는 상수 펄스 반복 속도에서 레이저 펄스의 예비 빔을 제일 먼저 생성하고 나서 (예를 들어, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), AO 반사기(AOD), 전기 광학(EO) 변조기(EOM), EO 반사기(EOD), 고속 셔터, 레이저 트리거 등 또는 이들의 조합을 사용하여) 레이저 펄스의 예비

빔을 변경하는 것에 의해 생성될 수 있다.

[0030] 도 5a는 각 버스트(500)가 5개의 레이저 펄스로 구성된 실시예를 도시하고 있으나, 임의의 버스트(500)는 작업물(100)의 물질, 레이저 펄스 내 광의 파장, 펄스 지속시간, 피크 펄스 파워(peak pulse power), 변경된 구역이 작업물(100) 내로 연장되는 높이 등 또는 이들의 조합과 같은 팩터에 따라 2개 내지 100개 이상의 레이저 펄스(예를 들어, 3개 내지 7개의 레이저 펄스) 범위 내 임의의 개수의 레이저 펄스를 포함할 수 있는 것으로 이해된다. 버스트(500)는 단일 레이저 펄스를 더 포함할 수 있는 것으로 이해된다. 도 5a는 버스트 내 각 레이저 펄스가 동일한 펄스 지속시간, 피크 펄스 파워 및 시간 펄스 에너지 프로파일(temporal pulse energy profile)을 구비하는 실시예를 도시하고 있으나, 동일한 버스트 내 상이한 레이저 펄스들이 상이한 펄스 지속시간, 피크 펄스 파워, 시간 펄스 에너지 프로파일 등 또는 이들의 조합을 구비할 수 있는 것으로 이해된다.

[0031] 도 5b에 예시적으로 도시된 실시예에서, 변경된 구역(200)은 제2 표면(104)으로부터 비-직교 방향으로 연장되고, 작업물(100)이 스캔되는 방향(예를 들어, 화살표(402)로 지시된 방향)으로 바이어스(biased)된다. 그러나 빔과 작업물(100) 사이의 상대적인 움직임의 주어진 속도에서, 변경된 구역(200)과 같은 변경된 구역의 경사 각도( $\theta$ )는 빔 내 레이저 펄스의 파장에 따라 변화될 수 있는 것으로 발견되었다. 예를 들어, 가시광의 녹색 스펙트럼의 파장을 지니는 레이저 펄스는 자외선 스펙트럼의 파장을 지니는 레이저 펄스에 의해 생성된 변경 구역의 것을 초과하는 경사 각도( $\theta$ )에서 제2 표면(104)으로부터 연장되는 변경 구역을 생성하는 경향이 있다. 특히, 자외선 스펙트럼의 파장을 지니는 레이저 펄스는 거의 또는 실질적으로 0도인 경사 각도( $\theta$ )에서 제2 표면(104)으로부터 연장되는 변경 구역을 생성하는 경향이 있다. 빔 내 레이저 펄스의 파장에 상관없이, 작업물(100)에 대한 광축(300)의 배향은 빔과 작업물(100) 사이에 상대적인 움직임 동안 조절됨으로써 (예를 들어, 각 변경된 구역(200)이 적어도 실질적으로 0도인 경사 각도( $\theta$ )에서 제2 표면(104)으로부터 연장되는 것을 보장하기 위해) 각 변경된 구역(200)의 경사 각도( $\theta$ )를 제어할 수 있다. 변경된 구역(200)의 경사 각도( $\theta$ )를 감소시키는 것에 의해, 분리 경로(114)를 따라 인접한 변경된 구역(200)들 사이에 거리는 감소될 수 있고, 이에 따라 증가된 개수의 변경된 구역(200)이 분리 경로(114)를 따라 형성될 수 있어서, 분리 경로(114)를 따라 작업물(100)을 적절히 또는 유리하게 분리할 수 있다. 도 5b에서 볼 수 있는 바와 같이 경사 각도( $\theta$ )는 적어도 약 30° 일 수 있다. 물질에 따라 최적의 경사 각도( $\theta$ )는 0°에서 약 1° 씩 증분하여 약 30° 일 수 있다.

[0032] 전술한 바와 같이, 작업물(100) 내 변경된 부분의 사이즈, 형상 및 배향은 일반적으로 지향된 레이저 펄스에 의해 작업물(100)에 조명된 스팟의 사이즈, 형상 및 배향에 대응하는 것으로 발견되었다. 따라서, 일 실시예에서, 빔의 공간 특성(예를 들어, 레이저 펄스 스팟의 형상, 레이저 펄스 스팟의 사이즈, 분리 경로에 대한 레이저 펄스 스팟의 배향 등 또는 이들의 조합)은 분리 경로(114)를 따라 작업물(100)을 적절히 또는 유리하게 분리하도록 선택될 수 있다. 일 실시예에서, 작업물(100)로 지향된 레이저 펄스는 형상의 제1 축(또는 주축)을 따라 상대적으로 큰 크기 및 형상의 제2 축(또는 부축)을 따라 상대적으로 작은 크기를 구비하는 것을 특징으로 하는 비원형 형상(예를 들어, 타원 형상, 직사각형 형상 등)을 구비하는 스팟에서 작업물(100)(예를 들어, 제1 표면(102))에 도달할 수 있다. 스팟의 배향은 비원형 형상의 제1 축(또는 주축)이 분리 경로(114)와 정렬되도록 (예를 들어, 분리 경로와 평행하거나 또는 적어도 실질적으로 평행하도록) 선택되거나, 조절되거나, 변화되거나 또는 다른 방식으로 제어될 수 있다. 비원형 형상을 지니는 레이저 펄스 스팟을 형성하기 위해, 전술한 빔 소스는 레이저에 의해 생성된 레이저 펄스를 성형하도록 구성된 빔 성형기(beam shaper)(또한 본 명세서에서 "성형기"라고도 지칭됨)를 포함할 수 있다. 사용될 수 있는 예시적인 성형기는 내부에 형성된 슬릿을 구비하는 빔 절단기(beam cropper), 프리즘 쌍, 레이저 펄스를 쳐프(chirp)하도록 구성된 AOD 또는 AOM 시스템 등 또는 이들의 조합을 포함한다. 레이저 펄스 스팟의 배향을 조절하기 위해, 전술한 빔 소스는 레이저에 의해 생성된 레이저 펄스를 회전시키도록 구성된 빔 회전자(또한 본 명세서에서 "회전자"라고도 지칭됨), 이 레이저에 의해 생성된 레이저 펄스를 회전시키는 광학기기, 성형기 등 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 회전자는 서로에 대해 90도로 배향된 2개의 배향들 사이에 레이저 펄스 스팟을 회전시키도록 구성된 도브 프리즘(dove prism)을 포함할 수 있다.

[0033] 예를 들어, 도 6을 참조하면, 레이저 펄스는 분리 경로(600)를 따라 제1 위치에서 작업물(100)의 제1 표면(102)에 도달하여 비원형 형상(예를 들어, 타원 형상)을 구비하는 레이저 펄스 스팟(602)을 한정할 수 있다. 스팟(602)은 스팟(602)의 주축이 제1 위치에서 분리 경로(600)와 평행하도록 정렬되도록 배향될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 스팟의 배향은 분리 경로(600)를 따라 상이한 위치에서의 형상의 차이에 대응하도록 조절될 수 있다. 예를 들어, 레이저 펄스는 분리 경로(600)를 따라 제2 위치에서 작업물(100)의 제1 표면(102)에 도달하여 스팟(602)과는 (제1 표면(102)에 대해) 상이한 배향을 구비하는 비원형 형상(예를 들어, 타원 형상)을 구비하는 레이저 펄스 스팟(604)을 한정할 수 있다. 그러나, 스팟(602)과 같이, 스팟(604)의 주축은 제2 위치에서 분리

경로(600)와 평행하도록 정렬될 수 있다. 일 실시예에서, 주축을 따른 스팟(602)(또는 604)의 크기는 부축을 따른 스팟(602)(또는 604)의 크기보다 (예를 들어, 적어도 2배) 더 클 수 있다.

[0034] 상기 작업물 변경 공정의 여러 실시예를 예시적으로 설명하였으나, 예시적으로 전술한 것과 같은 변경된 구역을 형성하도록 동작될 수 있는 빔 소스를 포함하는 작업물 처리 장치의 일부 예시적인 실시예가 이제 도 7 내지 도 11을 참조하여 설명된다.

[0035] 도 7을 참조하면, 작업물 처리 장치(700)는 레이저 펄스의 전술한 빔을 생성하도록 구성된 빔 소스(702) 및 지지부(704)를 포함할 수 있다.

[0036] 도시된 실시예에서, 빔 소스(702)는 레이저 광 펄스를 생성하도록 구성된 레이저, 이 레이저에 의해 생성된 레이저 광을 (예를 들어, 팽창, 시준, 필터링 등을 수행하도록 구성된) 광학기기, 예시적으로 전술한 성형기, 고주파 위치지정기(high-frequency positioner)(예를 들어, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), AO 반사기(AOD), 전기 광학(EO) 변조기(EOM), EO 반사기(EOD) 등 또는 이들의 조합), 및 레이저 펄스 빔을 레이저 헤드(706)로 릴레이(relay)하도록 구성된 임의의 다른 빔 덤프(beam dump) 부품 또는 릴레이 부품을 포함할 수 있다. 레이저 헤드(706)는 미리, 예시적으로 전술한 회전자, 저주파 위치지정기(low-frequency positioner)(예를 들어, 하나 이상의 갈바노 미리) 및 스캔 렌즈(708)를 포함할 수 있다. 일반적으로, 고주파 위치지정기와 저주파 위치지정기들이 작업물(100)에 대한 광축(300)의 배향을 조절하도록 동작될 수 있다. 레이저 헤드(706)는 작업물(100)에 대해 이동가능하여 작업물(100)에 대한 광축(300)의 위치를 (예를 들어, 전술한 x 축을 따라 선형으로, 전술한 y 축을 따라 선형으로, 등 또는 이들의 조합) 조절할 수 있다.

[0037] 지지부(704)는 작업물(100)을 지지하고 작업물(100)을 (예를 들어, 전술한 x-축을 따라 선형으로, 전술한 y-축을 따라 선형으로, 전술한 z-축 주위로 회전가능하게 등 또는 이들의 조합으로) 이동시키도록 구성될 수 있다. 지지부(704)는 작업물(100)을 지지하도록 구성된 척(chuck)(예를 들어, 진공 척, 정전 척 등)을 포함할 수 있고, 또는 작업물(100)을 지지하도록 구성된 캐리어(800)를 포함할 수 있고 이 캐리어는 척과 같은 구조물에 장착되거나 이 구조물로부터 장착 해제될 수 있다.

[0038] 미도시되었으나, 작업물 처리 장치(700)는 빔 소스(702)와 지지부(704) 중 하나 또는 둘 모두에 연결된 제어기를 더 포함하여 이들의 동작을 조정하고 예시적으로 전술한 작업물 변경 공정을 수행할 수 있다. 상기한 바에도 불구하고, 빔 소스(702)는 도 8 내지 도 11에 도시된 바와 같이 임의의 다른 적절하거나 유리한 구성으로 제공될 수 있는 것으로 이해된다.

[0039] 도 12를 참조하면, 캐리어(800)를 사용하는 작업물(100)을 로딩하는(load) 것은 작업물(100)을 캐리어(800)로 로딩하는 단계, 캐리어(800)를 작업물 처리 시스템(802)으로 로딩하는 단계, 작업물 처리 장치(700)로 작업물(100)을 처리하는 단계, 작업물(100)을 베퍼 스테이션(804)으로 이송하는 단계, 처리된 작업물(100)을 언로딩(unload)하는 단계를 수반한다.

[0040] 도 13a 및 도 13b를 참조하면, 캐리어(800)는 실질적으로 직사각형이고 유체 채널(806)과 진공 유지 채널(808)을 포함한다. 유체 채널(806)은 BW가 유체 채널(806)에 위치되고 캐리어(800)에는 위치되지 않도록 분리 경로에 대응하도록 위치된다. 유체 채널(806)은 공기, 질소 기체, 물 등을 포함할 수 있다. 이것은 BW가 캐리어(800)를 손상시킬 수 없이 작업물(100) 위에서 동작할 수 있게 한다. 진공 유지 채널(808)은 척(816) 내 진공 홀(vacuum hole)과 연통하여 작업물(100)을 캐리어(800)에 훌딩시킨다.

[0041] 도 14a 및 도 14b를 참조하면, 베이스(804) 위에는 지지 척(816)을 지지하는 지지 레일(810), 및 이 척(816)을 통해 연장하고 척(816)에 대해 캐리어(800)를 상승시키거나 하강시키는 리프트 핀(818)이 놓여 있다. 척(816)은 캐리어 위 척 결합부(coupling)(814)에 놓인다. 캐리어(800)는 척(816) 위에 놓여 있다. 이 배열은 척(816)과 캐리어(800)가 y 축으로 이동하게 하여 작업물(100)이 y 축으로 이동하게 한다. 척(816)과 캐리어(800) 주위와 위에는 x 축으로 이동하기 위해 레이저 헤드(706)를 지지하는 갠트리(gantry)(812)가 존재한다. 척(816)을 조정하고 갠트리(812) 위에서 레이저 헤드(706)를 이동시키는 것을 통해, 실질적으로 모든 작업물(100)이 광축(300)에 의해 어드레스가능하다.

[0042] 도 15 내지 도 17을 참조하면, 작업물(100)을 로딩하고 오프 로딩(off load)하는 것이 설명된다. 캐리어(800)의 움직임의 이하 상세한 설명은 캐리어(800) 위에 존재하는 작업물(100)을 포함한다. 오프 로딩을 위해, 캐리어(800)는 이송 로봇(820)에 최대한 가까이 작업물 처리 장치(802) 위 위치로 병진이동된다. 리프트 핀(818)은 캐리어(800)를 들어올린다. 수평 작동체(822)는 이후 캐리어(800)와 접촉하고 이 캐리어를 당겨 이송 로봇(820) 위에 센터링시킨다. 수평 작동체(822)는 처리된 작업물(100)을 구비하는 캐리어(800)를 작업물 처리 장치(802)

로부터 벼파 스테이션(804)으로 이동시키고 여기서 (분리 경로(114/600)를 따라 분리된) 작업물(100)의 성글레 이션된 단편이 캐리어(800)로부터 제거될 수 있다. 프레임(824)은 캐리어(800)를 수직으로 이동시켜 이 캐리어를 벼파 스테이션(804)의 선반(shelf)(826)과 정렬시킨다. 수평 작동체(822)는 캐리어(800)를 벼파 스테이션(804) 내 슬롯으로 더 병진이동시킨다. 로딩하는 것은 역순으로 수행된다.

[0043]

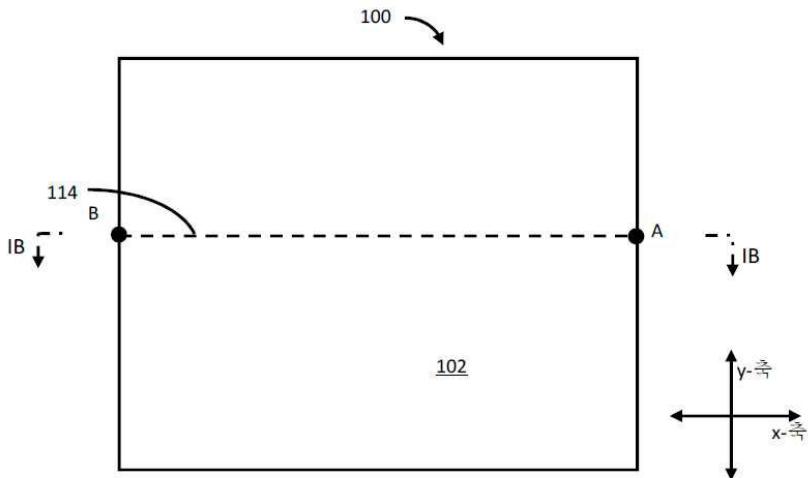
도 18을 참조하면, 작업물(100)이 일단 캐리어(800) 위에 놓이고 이들 모두가 작업물 처리 장치(802) 위 제 위치에 로딩되면, BW가 처리되는 특정 작업물(100)에 대해 적절히 놓이는 것을 보장하기 위해 전처리 단계가 수행된다. 캐리어(800)와 레이저 헤드(706)는 이동되어 제2 표면(104)의 z-높이를 조사한다. 이후 처리를 위해 특정 위치에서 z-높이가 결정된다. 특정 위치에서 z-높이 데이터는 특정 위치에 가장 가까운 위치에 대해 결정된 기준 z-높이 데이터와 비교된다. 마지막으로, 특정 위치에서 처리된 z-높이 데이터가 미리 결정된 임계값을 초과하여 기준 z-높이 데이터와 상이한 경우, 렌즈(708) 위치는 광축(300)을 따라 조절되어, 빔 웨이스트는 특정 위치에서 작업물(100)에 대해 z-축을 따라 올바른 위치에 있게 된다.

[0044]

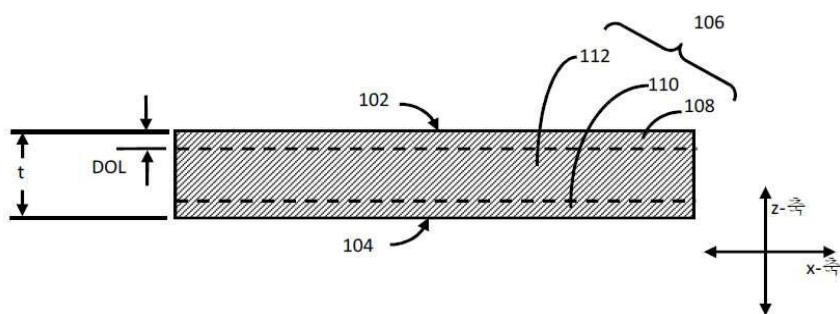
상기한 바는 본 발명의 예시적인 실시예를 예시하는 것일 뿐 본 발명을 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다. 몇몇 예시적인 실시예들이 설명되었으나, 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 신규한 개시 내용과 장점을 벗어남이 없이 많은 변형이 가능하다는 것을 용이하게 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 모든 이러한 변형은 이하 청구범위에 한정된 본 발명의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다.

## 도면

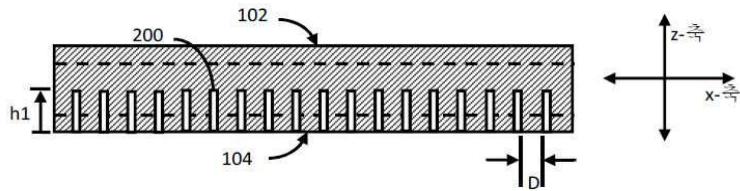
### 도면1a



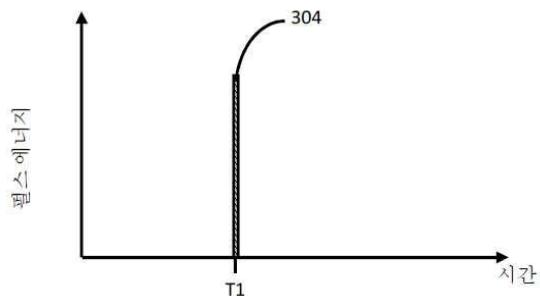
### 도면1b



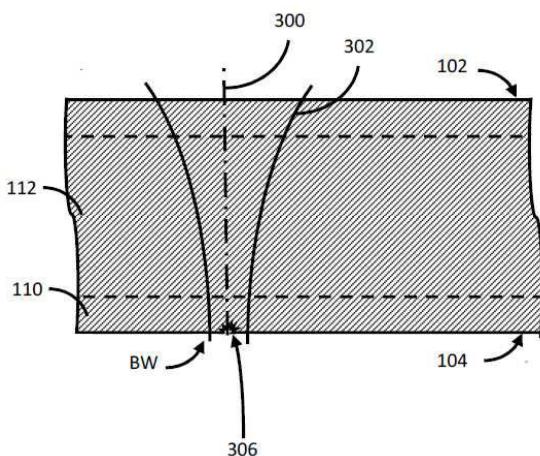
도면2



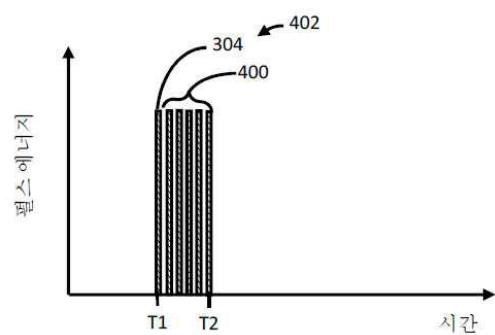
도면3a



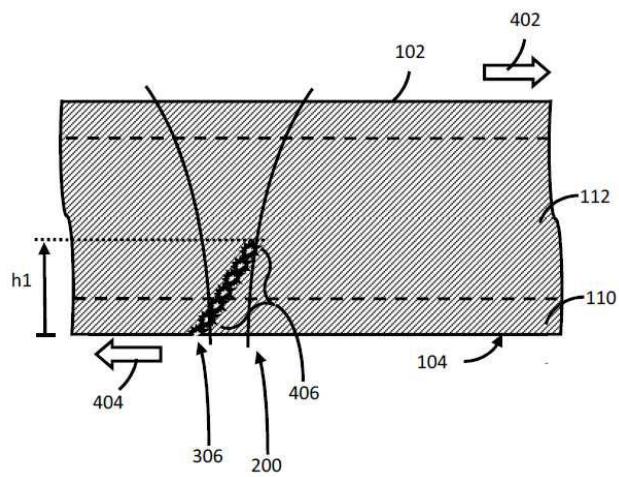
도면3b



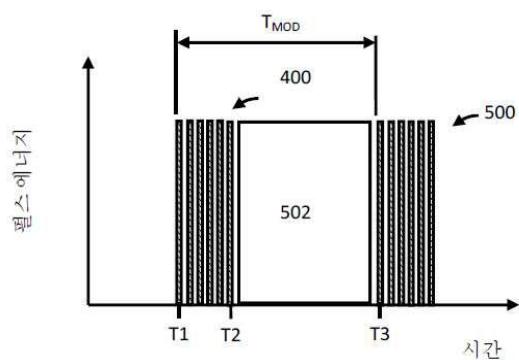
도면4a



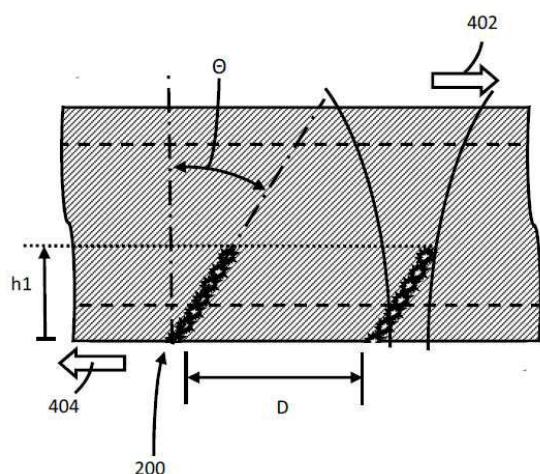
도면4b



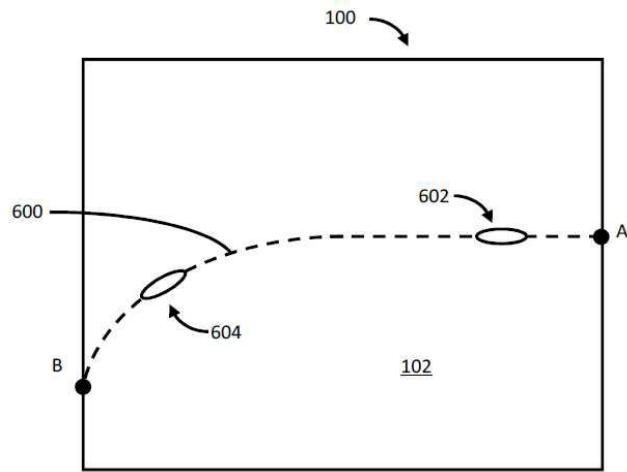
도면5a



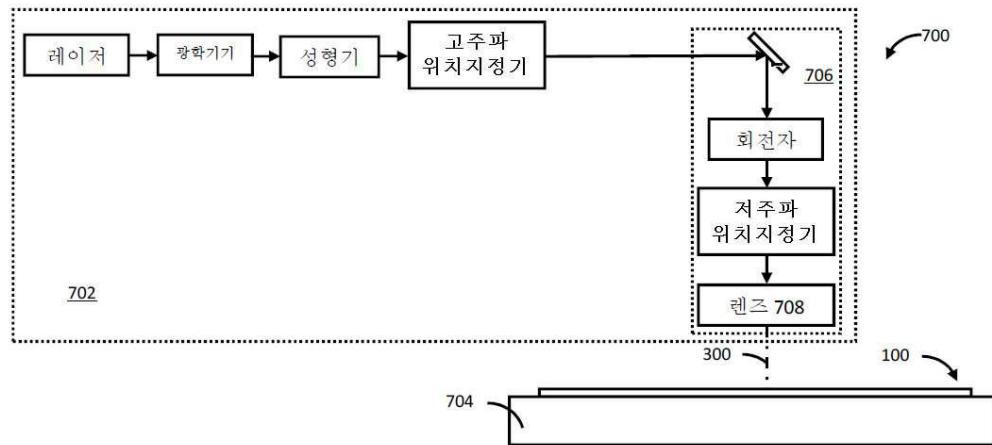
도면5b



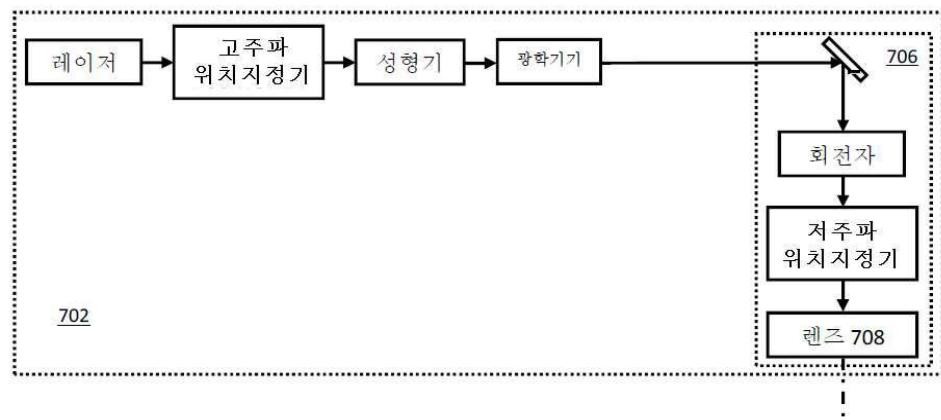
## 도면6



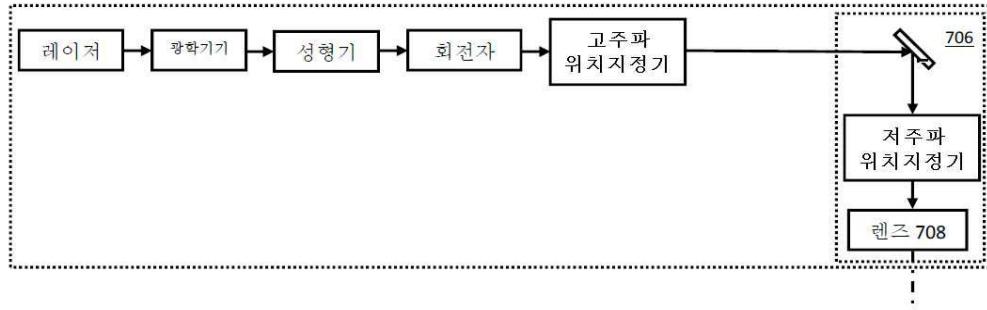
## 도면7



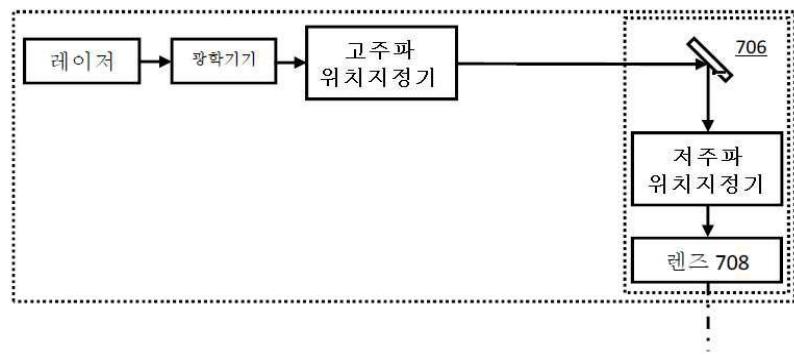
## 도면8



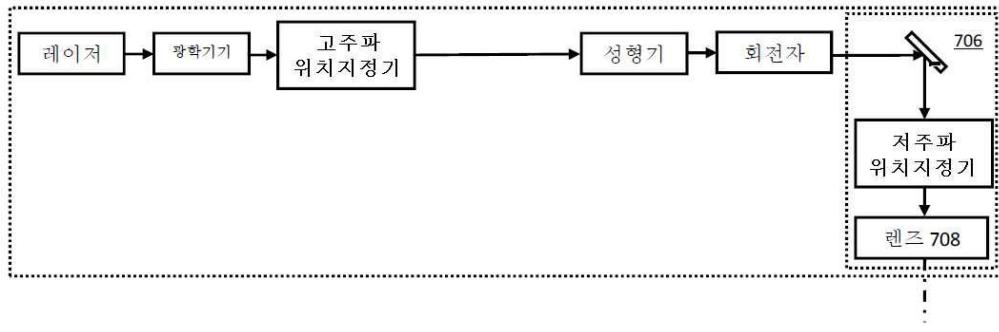
## 도면9



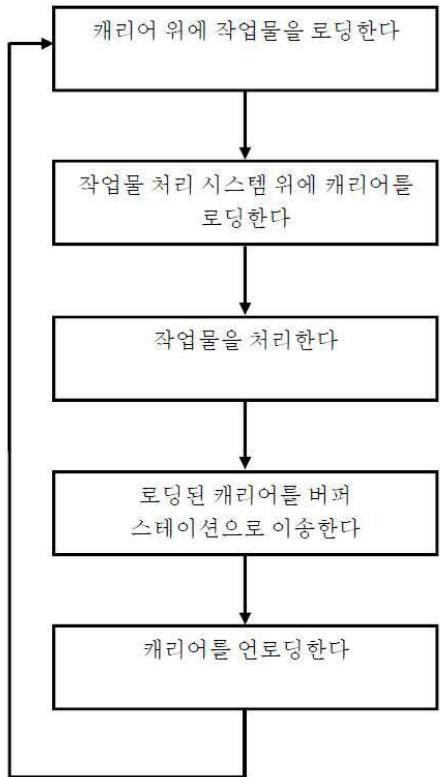
## 도면10



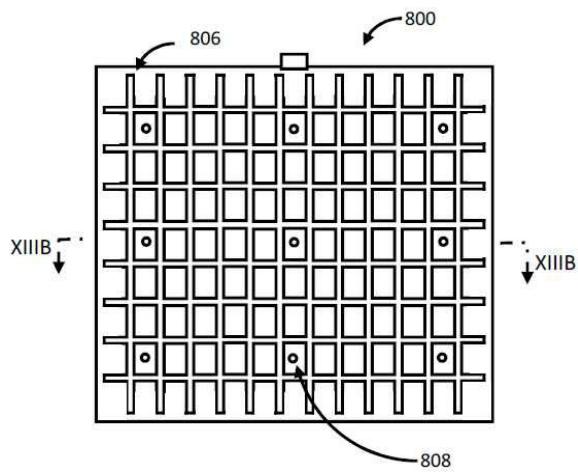
## 도면11



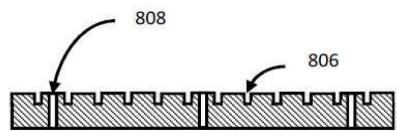
도면12



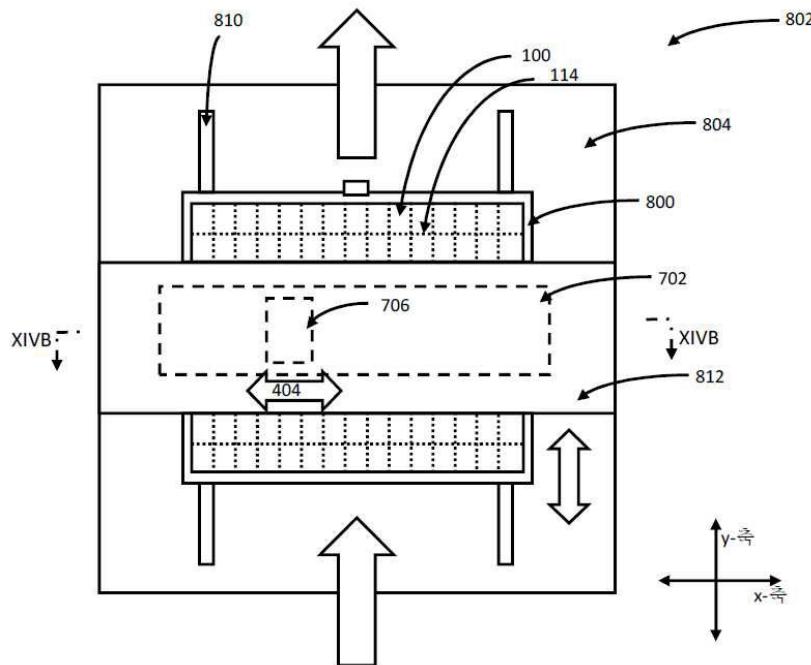
도면13a



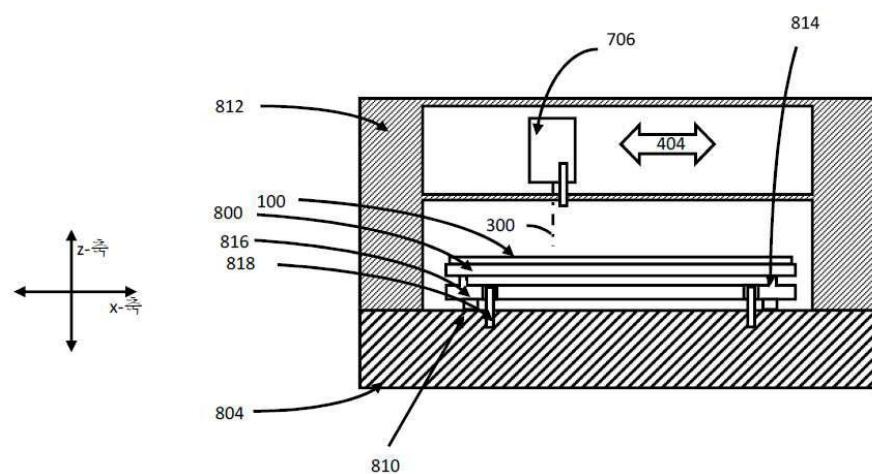
도면13b



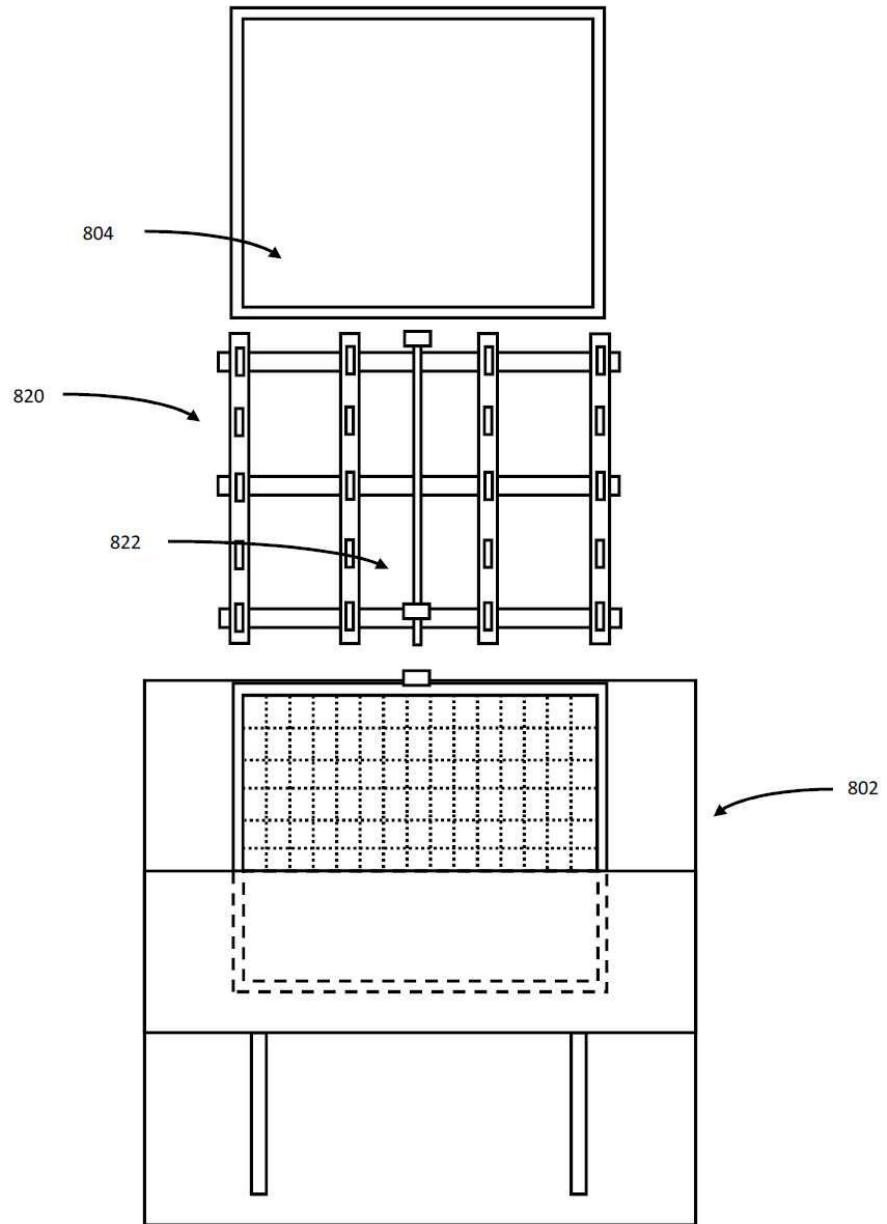
도면14a



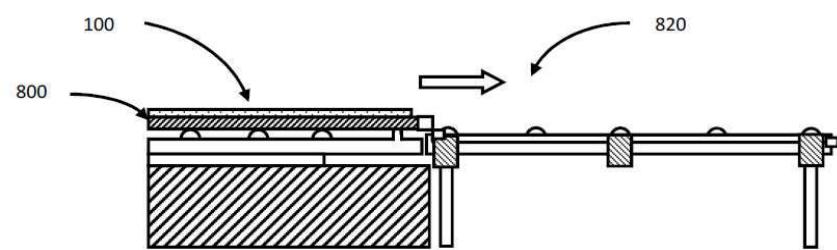
도면14b



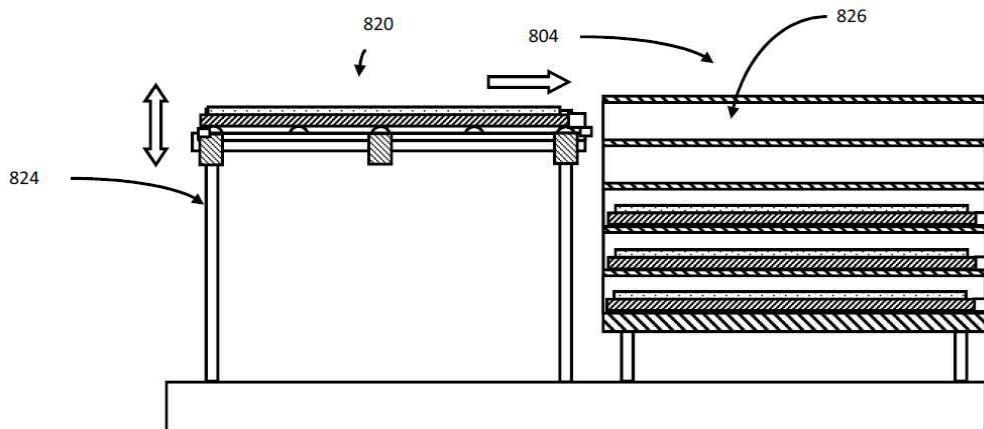
도면15



도면16



## 도면17



## 도면18

