(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0052497
(43) 공개일자 2025년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/067 (2006.01) *B23K 26/06* (2014.01)
B23K 26/0622 (2014.01) *B23K 26/082* (2014.01)
B23K 26/70 (2014.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/0676 (2013.01)
B23K 26/0624 (2015.10)
(21) 출원번호 10-2025-7011599(분할)
(22) 출원일자(국제) 2020년01월03일
심사청구일자 2025년04월09일
(62) 원출원 특허 10-2021-7016628
원출원일자(국제) 2020년01월03일
심사청구일자 2022년11월14일
(85) 번역문제출일자 2025년04월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/012219
(87) 국제공개번호 WO 2020/159666
국제공개일자 2020년08월06일
(30) 우선권주장
62/799,218 2019년01월31일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
미국 오리건주 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이 14523
(72) 발명자
브룩카이저, 제임스
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
클레이너트, 잔
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 광장리앤고

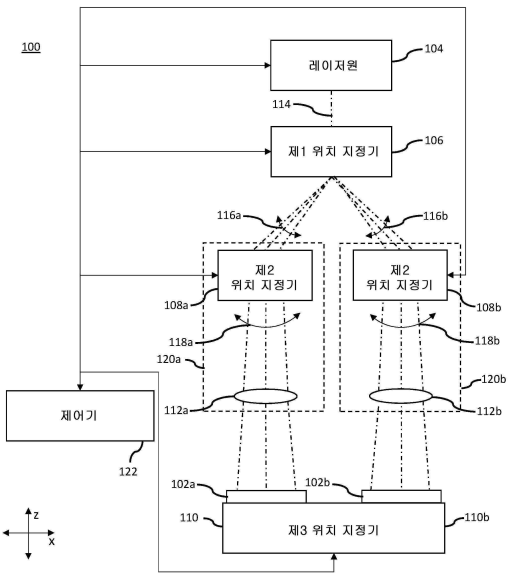
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **레이저-가공 장치, 이의 작동 방법 및 이를 사용한 작업물 가공 방법**

(57) 요 약

다수의 실시예가 개시된다. 하나에서, 레이저-가공 장치는 레이저 에너지의 빔이 전파 가능한 빔 경로 내에 배열된 위치 지정기를 포함한다. 제어기는 제1 및 제2 프라이머리 각도 범위 내에서 빔 경로를 편향시키고 제1 및 제2 프라이머리 각도 범위의 각각 내의 복수의 각도로 빔 경로를 편향시키기 위해 위치 지정기의 작동을 제어하도록 사용될 수 있다. 다른 것에서, 통합 빔 덤프 시스템은 프레임; 및 프레임에 결합된 픽오프 미러 및 빔 덤프를 포함한다. 또 다른 것에서, 파면 교정 광학기는 프린지 제르니케 항 Z_4 및 Z_9의 특정 비율에 의해 특징지어지는 형태를 갖는 반사 표면을 갖는 미러를 포함한다. 다수의 더 많은 실시예가 개시된다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B23K 26/0626 (2013.01)
B23K 26/0648 (2013.01)
B23K 26/0652 (2013.01)
B23K 26/082 (2015.10)
B23K 26/704 (2015.10)

(72) 발명자
코스모우스키, 마크
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
누콜스, 티모시
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
리히터, 제러드
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드
요시노, 후미요
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드
멜리자, 스티브
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드
알파이, 메흐메트
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드
리우, 유안
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드
이튼, 커트
미국 오리건주 97229 포트랜드 엔더블유 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코퍼레이티드

(30) 우선권주장
62/832,064 2019년04월10일 미국(US)
62/854,579 2019년05월30일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

시스템으로서,

제1 광학 구성요소 - 상기 제1 광학 구성요소는 레이저 에너지의 빔을 투과하도록 작동하는 투과성 광학 구성요소이고, 상기 제1 광학 구성요소는 그를 통해 투과 가능한 상기 레이저 에너지의 빔에 의해 유도되는 열 렌징(thermal lensing)에 취약함 -;

상기 제1 광학 구성요소의 상기 열 렌징에 기인하는 상기 레이저 에너지의 빔에서 파면 수차를 보상하도록 구성되는 파면 보상 광학기; 및

상기 파면 보상 광학기에 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 중계하도록 배열되고 구성되는 광학 중계기 시스템을 포함하고,

상기 광학 중계기 시스템은 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기가 상기 제1 광학 구성요소에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기와 상이하도록 구성되는, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기는 상기 제1 광학 구성요소에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기보다 더 큰, 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 상기 레이저 에너지의 빔을 투과하도록 작동하는 투과성 파면 보상 광학기인, 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 상기 레이저 에너지의 빔을 반사하도록 구성되는, 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 정적 파면 보상 광학기를 포함하는, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 동적 파면 보상 광학기를 포함하는, 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

제2 광학 구성요소를 더 포함하고,

상기 제2 광학 구성요소는 상기 레이저 에너지의 빔을 투과하도록 작동하는 투과성 광학 구성요소이고,

상기 광학 중계기 시스템은 상기 제2 광학 구성요소에 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 중계하도록 배열되고 구성되는, 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 광학 중계기 시스템은 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기가 상기 제2 광학 구성요소에서의 상기 제1 광학 구성요소의 상기 이미지의 크기와 동일하도록 구성되는, 시스템.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 상기 레이저 에너지의 빔을 반사하도록 구성되고,

상기 광학 중계기 시스템은:

두 개의 렌즈를 포함하는 제1 광학 중계기 - 상기 제1 광학 중계기는 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 상기 파면 보상 광학기에 중계하도록 구성됨 -, 및

두 개의 렌즈를 포함하는 제2 광학 중계기 - 상기 제2 광학 중계기는 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 상기 제2 광학 구성요소에 중계하도록 구성됨 - 를 포함하는, 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제1 광학 중계기 및 상기 제2 광학 중계기는 공통 렌즈를 공유하는, 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 광학 중계기 시스템은 상기 제2 광학 중계기의 두 개의 렌즈 사이에 배열된 적어도 하나의 미러를 더 포함하는, 시스템.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제1 광학 구성요소 또는 상기 제2 광학 구성요소 중 적어도 하나는 음향-광학(acousto-optic) 셀을 포함하는, 시스템.

청구항 13

시스템으로서,

제1 광학 구성요소 및 제2 광학 구성요소 - 상기 제1 광학 구성요소 및 상기 제2 광학 구성요소 각각은 레이저 에너지의 빔을 투과하도록 작동하는 투과성 광학 구성요소이고, 그를 통해 투과 가능한 상기 레이저 에너지의 빔에 의해 유도되는 열 렌징에 취약함 -; 및

상기 제1 광학 구성요소 및 상기 제2 광학 구성요소의 상기 열 렌징에 기인하는 상기 레이저 에너지의 빔에서 파면 수차를 보상하도록 구성되는 파면 보상 광학기를 포함하는, 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기는 상기 레이저 에너지의 빔이 상기 제1 광학 구성요소에서 상기 제2 광학 구성요소로 전파 가능한 빔 경로 상에 위치하는, 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 파면 보상 광학기에 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 중계하도록 배열되고 구성되는 광학 중계기 시스

템을 더 포함하는, 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 광학 중계기 시스템은 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기가 상기 제1 광학 구성요소에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기와 상이하도록 구성되는, 시스템.

청구항 17

제13항에 있어서,

두 개의 렌즈를 포함하는 제1 광학 중계기 - 상기 제1 광학 중계기는 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 상기 파면 보상 광학기에 중계하도록 구성됨 -, 및

두 개의 렌즈를 포함하는 제2 광학 중계기 - 상기 제2 광학 중계기는 상기 파면 보상 광학기에서의 상기 제1 광학 구성요소의 이미지를 상기 제2 광학 구성요소에 중계하도록 구성됨 - 를 더 포함하는, 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제1 광학 중계기 및 상기 제2 광학 중계기는 공통 렌즈를 공유하는, 시스템.

청구항 19

제13항에 있어서,

상기 제1 광학 구성요소 및 상기 제2 광학 구성요소 각각은 음향-광학 셀을 포함하는, 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 연관된 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 각각 그 전체가 참조로 통합되는 2019년 1월 31일에 출원된 미국 가출원 제62/799,218호, 2019년 4월 10일에 출원된 미국 가출원 제62/832,064호 및 2019년 5월 30일에 출원된 미국 가출원 제62/854,579호의 이익을 주장한다.

[0003] 기술분야

[0004] 본원에 설명된 실시예는 일반적으로, 레이저-가공 장치 및 그의 구성요소 및 이의 작동을 위한 기법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 일반적으로, 작업물의 레이저-가공은 작업물이 형성되는 하나 이상의 재료의 하나 이상의 특성 또는 특징을 가열, 융해, 기화, 삭마, 균열(crack), 변색, 광택 처리(polish), 거칠어지게 처리(roughen), 탄화, 발포처리(foam) 또는 다른 방식으로 수정하기 위해, 레이저 에너지로 작업물을 조사(irradiate)함으로써 달성된다. 예를 들어, 인쇄 회로 기판(printed circuit board, PCB)과 같은 작업물은 그 안에 비아를 형성하기 위해 레이저-가공을 겪을 수 있다. 작업물을 빠르게 가공하기 위해, 고출력 레이저원(high-power laser sources)을 사용하여 레이저 에너지를 생성하는 것, 작업물이 레이저 에너지로 조사되는 위치를 빠르게 변경하는 것, 및 (예를 들어, 펄스 지속시간, 펄스 에너지, 펄스 반복률 등에 대해) 레이저 에너지의 특성을 빠르게 변경할 수 있는 것 등이 바람직할 수 있다. 또한, 레이저-가공 동안 사용되는 레이저 에너지의 파장은 가공될 작업물의 타입에 의존하여 선택될 수 있다. 하지만, 레이저-가공을 위해 하나의 특정 파장 범위(예를 들어, 전자기 스펙트럼의 자외선 범위의 파장)의 레이저 에너지를 사용하여 개발된 특정 종래의 구성요소 및 기술은 다른 특정 파장 범위(예를 들어, 전자기 스펙트럼의 장파 적외선 범위(long wave infrared range)의 파장)의 레이저 에너지를 사용하여 동일한 레이저-가공을 하는데 적절하지 않을 수 있다. 본원에서 논의된 실시예는 본 발명자에 의해 발견된 이들 문

제 및 다른 문제를 인식하여 개발되었다.

발명의 내용

[0006] 본 발명의 일 실시예는 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원 - 레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파 가능함 - ; 빔 경로 내에 배열된 제1 위치 지정기 - 제1 위치 지정기는 빔 경로를 편향시키도록 작동됨 - ; 및 제1 위치 지정기에 결합된 제어기를 포함하는 레이저-가공 장치로서 특징지어질 수 있다. 제어기는 제1 프라이머리 각도 범위(primary angular range) 내에서 및 제2 프라이머리 각도 범위 내에서 빔 경로를 편향시키기 위해 제1 위치 지정기의 작동을 제어하도록 구성될 수 있고, 제2 프라이머리 각도 범위는 제1 프라이머리 각도 범위와 겹치지 않고, 제1 프라이머리 각도 범위와 인접하지 않는다. 제어기는 제1 프라이머리 각도 범위 내의 제1 복수의 각도로 및 제2 프라이머리 각도 범위 내의 제2 복수의 각도로 빔 경로를 편향시키기 위해 제1 위치 지정기의 작동을 제어하도록 더 구성될 수 있다.

[0007] 본 발명의 다른 실시예는 프레임; 프레임에 결합되고 레이저 에너지의 빔을 반사시키도록 구성된 픽오프 미러(pickoff mirror); 및 프레임에 결합되고 레이저 에너지의 빔을 흡수하도록 구성된 빔 덤프를 포함하는 통합 빔 덤프 시스템(integrated beam dump system)으로서 특징지어질 수 있다.

[0008] 본 발명의 다른 실시예는 제1 표면 및 적어도 하나의 제2 표면을 갖는 프레임을 포함하는 통합 빔 덤프 시스템으로서 특징지어질 수 있다. 제1 표면은 레이저 에너지의 빔을 반사시키도록 구성될 수 있고, 적어도 하나의 제2 표면은 레이저 에너지의 빔을 흡수하도록 구성될 수 있다.

[0009] 본 발명의 다른 실시예는 반사 표면을 갖는 미러 - 반사 표면의 형태는 프린지 제르니케 항(fringe Zernike terms) Z_4 및 Z_9에 의해 특징지어지고, Z_9 대 Z_4 항에 대한 계수의 비율은 -0.1 내지 -0.3의 범위에 있음 - 를 포함하는 파면 교정 광학기(optic)로서 특징지어질 수 있다.

[0010] 본 발명의 다른 실시예는 반사 표면; 바디(body); 및 바디 내에 정의된 포켓을 포함하는 변형 가능한 미러를 포함하는 파면 교정 광학기로서 특징지어질 수 있다. 바디는 반사 표면과 포켓 사이의 변형 가능한 멤브레인 영역을 포함할 수 있고, 멤브레인 영역의 중앙 부분은 제1 두께를 갖고, 멤브레인 영역의 주변 부분은 제1 두께보다 큰 제2 두께를 가질 수 있다.

[0011] 본 발명의 다른 실시예는 반사 표면; 적어도 하나의 립(rib)을 포함하는 바디; 및 바디 내에 정의된 복수의 포켓을 포함하는 변형 가능한 미러를 포함하는 파면 교정 광학기로서 특징지어질 수 있다. 바디는 반사 표면과 포켓 사이의 변형 가능한 멤브레인 영역을 포함할 수 있고, 적어도 하나의 립은 복수의 포켓에 개재될(interposed) 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 실시예는 가압 가능한 포켓을 갖는 멤브레인 타입의 변형 가능한 미러; 미러에 결합되고 그를 통해 연장하는 적어도 하나의 보어(bore)를 갖는 받침대 - 적어도 하나의 보어는 가압 가능한 포켓과 유체 연통함 - ; 및 받침대 및 광학 장착 조립체에 결합된 장착 플레이트를 포함하는 파면 교정 광학 시스템으로서 특징지어질 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 실시예는 레이저 에너지의 빔을 투과하도록 작동하는 제1 광학 구성요소 - 제1 광학 구성요소는 열 렌징(thermal lensing)에 취약함 - ; 제1 광학 구성요소에 의해 투과되고 열 렌징에 기여 가능한 레이저 에너지의 빔에서 파면 수차를 교정하도록 구성된 파면 보상 광학기; 및 제1 평면에서 제1 광학 구성요소의 이미지를 제2 평면에 중계하도록 배열되고 구성되는 광학 중계기 시스템을 포함하는 시스템으로서 특징지어질 수 있다. 파면 보상 광학기는 제2 평면에 배열될 수 있고, 및 제1 광학 중계기 시스템은 제2 평면에서 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기가 제1 평면에서 제1 광학 구성요소의 이미지의 크기와 상이하도록 구성될 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 실시예는 음향-광학 편향기 (AOD); 프리즘 및 격자로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나를 포함하는 분산 보상기; 분산 보상기의 광학적으로 업스트림인 위치에서 분산 보상기에 광학적으로 결합된 제1 광학 구성요소 - 제1 광학 구성요소는 레이저 에너지의 입사된 빔을 확대하도록 구성됨 - ; 및 광학적으로 분산 보상기와 AOD 사이의 위치에서 분산 보상기 및 AOD에 광학적으로 결합된 제2 광학 구성요소 - 제2 광학 구성요소는 그 위에 입사된 레이저 에너지의 빔을 축소시키도록 구성됨 - 를 포함하는 시스템으로서 특징지어질 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 실시예는 레이저 에너지의 입사된 빔을 회절시키고 레이저 에너지의 회절된 빔을 빔 경로를 따라 출력하도록 작동하는 음향-광학 편향기(AOD) - AOD는 레이저 에너지의 입사된 빔을 가변적으로 회절시키고, 그로 인해 빔 경로를 제1 각도 범위 및 제2 각도 범위 내로 편향시키도록 작동됨 - ; 프리즘 및 격자로 구성된

그룹으로부터 선택된 적어도 하나를 포함하는 제1 분산 보상기 - 제1 분산 보상기는 AOD의 출력에 광학적으로 결합되고 제1 각도 범위 내에서 편향된 빔 경로에 배열됨 - ; 및 프리즘 및 격자로 구성되는 그룹으로부터 선택된 적어도 하나를 포함하는 제2 분산 보상기 - 제2 분산 보상기는 AOD의 출력에 광학적으로 결합되고 제2 각도 범위 내에 편향된 빔 경로에 배열됨 - 를 포함하는 시스템으로서 특징지어질 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예는 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원 - 레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파 가능함 - ; 빔 경로 내에 배열되고 빔 경로를 편향시키도록 작동하는 위치 지정기 - 위치 지정기는 제1 음향-광학 편향기(AOD) 및 제1 AOD의 출력에 광학적으로 결합된 제2 AOD를 포함함 - ; 및 위치 지정기에 결합된 제어기 - 제어기는 레이저 에너지의 빔을 적어도 하나의 펄스 슬라이스로 시간적으로 분할하기 위해, 적어도 하나의 슬라이스 기간 동안 제1 AOD 및 제2 AOD를 작동시키도록 구성됨 - 를 포함하는 시스템으로서 특징지어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 일 실시예에 따른 다중-헤드 레이저-가공 장치를 개략적으로 도시한다.

도 2 및 도 3은 일부 실시예에 따른, 제1 위치 지정기를 사용하여 구현될 수 있는 빔 경로 편향 방식을 개략적으로 도시한다.

도 4는 일 실시예에 따른, 제1 위치 지정기에 통합될 수 있는 다중-축 AOD 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 5 및 도 6은 일부 실시예에 따른, 빔 덤프 시스템이 제1 위치 지정기에 어떻게 통합될 수 있는지를 개략적으로 도시한다.

도 7은 임의의 u/v/w 좌표계에서, 일 실시예에 따른 통합 빔 덤프 시스템을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 7에서 u축, v축 및 w축은 서로에 대해 상호간에 직교한다.

도 8 및 도 9는 레이저 에너지가 도 7에 도시된 통합 빔 덤프 시스템 내에서 전파하여 그에 의해 트랩될(trapped) 수 있는 예시적인 빔 경로를 도시하는 사시도이다.

도 10은, 임의의 u/v/w 좌표계에서, 다른 실시예에 따른 통합 빔 덤프 시스템을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 도 10에서, u축, v축 및 w축은 서로에 대해 상호간에 직교한다.

도 11 내지 도 14는 레이저 에너지가 도 10에 도시된 통합 빔 덤프 시스템 내에서 전파하여 그에 의해 트랩될 수 있는 예시적인 빔 경로를 도시하는 사시도이다.

도 15는 벌크 투명 재료의 온도에 대한 프린지 제르니케 다항식 항(fringe Zernike polynomial terms) Z_4 및 Z_9 항(및 그의 비율)에 대한 계수의 실험적으로 결정된 의존성을 나타내는 그래프를 도시한다.

도 16은 일 실시예에 따른, 파면 보상 광학기(wavefront compensation optic)의 평면도를 개략적으로 도시한다.

도 16a는 도 16의 XVIA-XVIA 선을 따라 취해진, 도 16에 도시된 파면 보상 광학기의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 17은 일 실시예에 따라 받침대에 결합된, 도 16에 도시된 파면 보상 광학기의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 18 및 도 19는 각각 받침대에 결합된, 다른 실시예에 따른, 파면 보상 광학계(wavefront compensation optics)의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 20, 도 21, 도 22, 도 23 및 도 24는 일부 실시예에 따른 광학 중계기 시스템을 도시한다.

도 25는 일 실시예에 따른 광학 장착물을 도시한다.

도 26, 도 27, 도 28 및 도 29는 일부 실시예에 따라 분산 보상기를 통합하는 빔 경로 조립체를 개략적으로 도시한다.

도 30은 일 실시예에 따라, 도 29에 도시된 레이저원으로부터 제1 및 제2 광학 포트로 빔 경로를 가이드하기 위한 빔 경로 조립체를 개략적으로 도시한다.

도 31, 도 32, 도 33 및 도 34는 일부 실시예에 따른, 제1 위치 지정기의 제1 및 제2 AOD가 구동될 수 있는 예

시적인 주파수 범위를 나타내는 그래프를 도시한다.

도 35, 도 35a, 도 35b, 도 36, 도 37, 도 38, 도 39, 도 40 및 도 41은 일부 실시예에 따른 펄스 슬라이싱을 구현하기 위한 기술을 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 첨부 도면을 참조로 예시적인 실시예가 여기에서 설명된다. 달리 명시하지 않는 한, 도면에서 구성요소, 피처(features), 요소 등의 크기, 위치 등과 이들 사이의 어느 거리는 축적대로 도시된 것은 아니고, 명료화를 위해 과장된다. 도면에서, 유사한 부호는 전체에 걸쳐 유사한 요소를 지칭한다. 따라서, 동일하거나 유사한 부호는, 대응하는 도면에서 언급되거나 설명되지 않더라도, 다른 도면을 참조로 설명될 수 있다. 또한, 참조 부호로 표기되지 않은 요소도 다른 도면을 참조로 설명될 수 있다.

[0019] 본원에서 사용되는 용어는 단지 특정한 예시적인 실시예를 설명하기 위한 것이며, 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 달리 정의되지 않는 한, 본원에 사용된 (기술적 및 과학적 용어를 포함하는) 모든 용어는 통상의 기술자에 의해 공통적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본원에 사용된 단수형인 "하나의(a, an)" 및 "그(the)"는 문맥상 분명히 달리 지시하지 않는 한 복수형도 포함하는 것으로 의도된다. 포함한다(comprises) 및/또는 "포함하는(comprising)"이란 용어는, 본 명세서에서 사용될 때, 명시된 피처, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 구성요소의 존재를 명시하지만, 하나 이상의 다른 피처, 정수, 단계, 동작, 요소, 구성요소 및/또는 이의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 인식되어야 한다. 달리 명시되지 않는 한, 값의 범위는, 언급될 때 범위의 상한 및 하한은 물론, 그 사이의 임의의 하위 범위를 모두 포함한다. 달리 지시되지 않는 한, "제1", 제2" 등과 같은 용어는 하나의 요소를 다른 것과 구분하기 위해서만 사용된다. 예를 들어, 하나의 노드는 "제1 노드"로 지칭될 수 있고, 마찬가지로 다른 노드는 "제2 노드"로 지칭될 수 있으며 그 역으로도 가능하다.

[0020] 달리 지시되지 않는 한, "약", "대략" 등이란 용어는 양, 크기, 제형(formulations), 파라미터 및 다른 수량과 특성이 정확하지 않고 정확할 필요도 없으나, 바람직한 경우, 반영 공차(reflecting tolerances), 변환 인자, 반올림, 측정 오차 등, 그리고 이 분야의 기술자에게 알려진 다른 인자에 대한 근사치이거나 및/또는 이보다 크거나 작을 수 있음을 의미한다. 아래의(below), "아래쪽의(beneath)," "낮은(lower)," "위의(above)" 및 "높은(upper)" 등과 같은 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시된 것처럼, 하나의 요소 또는 피처와 다른 요소 또는 피처의 관계를 설명하는 설명의 용이함을 위해 본원에서 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어가 도면에 도시된 배향에 부가하여 다른 배향도 포괄하는 것으로 의도된다는 것이 인식되어야 한다. 예를 들어, 도면에서 객체가 회전되면, 다른 요소 또는 피처 "아래의" 또는 "아래쪽"으로 설명된 요소는 다른 요소 또는 피처들의 "위"로 배향될 것이다. 따라서, "아래의"란 예시적인 용어는 위 및 아래의 배향 양자를 포괄할 수 있다. 객체는 다르게 배향될 수 있고(예를 들어, 90도 또는 다른 배향으로 회전됨), 본원에서 사용되는 공간적으로 상대적인 설명어는 그에 따라 해석될 수 있다.

[0021] 본원에 사용된 섹션 제목은 오직 구조적인 목적이고, 달리 명시하지 않는 한, 설명되는 주제를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다. 본 개시의 사상 및 교시를 벗어나지 않고 다수의 상이한 형태, 실시예 및 조합이 가능할 수 있음이 인식될 것이고, 따라서 본 개시는 본원에 제시된 예시적인 실시예로 제한되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 오히려, 이들 예시 및 실시예는 본 개시가 철저하고 완전하며, 이 기술분야의 기술자에게 본 개시의 범주를 전달하도록 제공된다.

[0022] I. 개요

[0023] 본원에 설명된 실시예는 일반적으로, 작업물을 레이저-가공(또는 더 간단하게 "가공")하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다. 일반적으로, 작업물이 형성되는 하나 이상의 재료의 하나 이상의 특성 또는 특징(예를 들어, 화학적 조성, 원자 구조, 이온 구조, 분자 구조, 전자 구조, 미세 구조, 나노 구조, 밀도, 점도, 굴절률, 투자율, 비 유전율(relative permittivity), 텍스처(texture), 색상, 경도, 전자기 방사에 대한 투과율 등 또는 이들의 임의의 조합에 대한)을 가열, 융해, 기화, 삭마, 균열(crack), 변색, 광택 처리(polish), 거칠어지게 처리(roughen), 탄화, 발포처리(foam) 또는 다른 방식으로 변경하기 위한 가공은 레이저 방사로 작업물에 조사함으로써 그 전체가 또는 부분적으로 달성된다. 가공될 재료는 가공 전에 또는 그 동안 작업물의 외부에 있을 수 있거나, 또는 가공 이전에 또는 그 동안 작업물 내에(즉, 작업물의 외부에는 존재하지 않음) 완전히 위치될 수 있다.

[0024] 개시된 레이저-가공 장치에 의해 수행될 수 있는 가공의 특정 예시는 비아 드릴링 또는 다른 홀 형성, 절단, 천공, 용접, 스크라이빙(scribing), 인그레이빙(engraving), 마킹(예를 들어, 표면 마킹, 하위 표면 마킹 등), 레

이저 유도 순방향 전달(laser-induced forward transfer), 세척, 표백, 밝은 픽셀 교정(bright pixel repair)(예를 들어, 컬러 필터 암화(darkening), OLED 재료의 변경 등), 코팅 제거, 표면 텍스처링(texturing)(예를 들어, 거칠게 함, 매끄럽게 함(smoothing) 등) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 따라서, 가공의 결과로서 작업물 상에 또는 그 내부에 형성될 수 있는 하나 이상의 피처는 개구부(openings), 슬롯, 비아 또는 다른 홀, 홈, 트렌치, 스크라이브 라인, 커프(kerfs), 리세스된 영역(recessed regions), 전도성 트레이스(conductive traces), 옴 접촉, 저항 패턴, 사람 또는 기계가 판독할 수 있는 표시(indicia)(예를 들어, 하나 이상의 시각적으로 또는 구조상으로 구분하는 특징을 갖는 작업물 내의 또는 그 상의 하나 이상의 영역으로 구성됨), 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 개구부, 슬롯, 비아, 홀 등과 같은 피처는 평면도로 볼 때 임의의 적합한 또는 바람직한 형태(예를 들어, 원형, 타원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 환형 등 또는 이들의 임의의 조합)를 가질 수 있다. 또한, 개구부, 슬롯, 비아, 홀 등과 같은 피처는 (예를 들어, 소위 "관통 비아", "관통 홀" 등을 형성하기 위해) 작업물을 완전히 관통하거나, 또는 (예를 들어, 소위 "블라인드 비아(blind vias)", "블라인드 홀" 등을 형성하기 위해) 작업물을 부분적으로만 관통하여 연장할 수 있다.

[0025] 가공될 수 있는 작업물은 일반적으로 하나 이상의 금속, 폴리머, 세라믹, 조성물 또는 이들의 임의의 조합으로(예를 들어, 합금, 화합물, 혼합물, 용액, 조성물 등으로) 형성되는 것으로 특징지어질 수 있다. 따라서, 가공될 수 있는 재료는 Al, Ag, Au, Cr, Cu, Fe, In, Mg, Mo, Ni, Pt, Sn, Ti 등과 같은 하나 이상의 금속 또는 이의 임의의 조합(예를 들어, 합금, 조성물 등), 전도성 금속 산화물(예를 들어, ITO 등), 투명한 전도성 폴리머, 세라믹, 왁스, 수지, 층간 유전 재료(interlayer dielectric materials)(예를 들어, 산화규소, 질화규소, 산질화규소 등, 메틸 실세스퀴옥산(MSQ), 하이드로겐 실세스퀴옥산(HSQ), 플루오르화 테트라에틸 오소실리케이트(FTEOS) 등과 같은 로우-k(low-k) 유전 재료 또는 이들의 임의의 조합), 유기 유전 재료(예를 들어, (도우(Dow) 사에서 모두 제조된) 실크(SILK), 벤조시클로부텐, 노틸러스(Nautilus), (듀퐁(DuPont) 사에서 제조된) 폴리플루오로테트라에틸렌, (얼라이드 케미컬(Allied Chemical) 사에서 제조된) FLARE 등 또는 이들의 임의의 조합), 반도체 또는 광학 디바이스 기판 재료 (예를 들어, Al_2O_3, AlN, BeO, Cu, GaAS, GaN, Ge, InP, Si, SiO_2, SiC, $Si_{1-x}Ge_x$ (여기서, $0.0001 < x < 0.9999$) 등 또는 이들의 임의의 조합 또는 합금), 유리(예를 들어, 용융 석영, 소다 석회-실리카 유리(soda-lime-silica glass), 나트륨 붕규산 유리, 산화 납 유리, 알루미노실리케이트 유리(aluminosilicate glass), 게르마늄 산화물 유리, 알루미네이트 유리(aluminate glass), 인산염 유리, 붕산염 유리, 칼코게나이드 유리(chalcogenide glass), 비정질 금속 등 또는 이의 임의의 조합), 사파이어, 폴리머 재료(예를 들어, 폴리아미드, 폴리이미드, 폴리에스테르, 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리부틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET), 폴리아세탈, 폴리카보네이트, 변성 폴리페닐렌 에테르, 폴리부틸렌 테레프탈레이트, 폴리페닐렌 설파이드, 폴리에테르 술폰, 폴리에테르 이미드, 폴리에테르 에테르 케톤, 액정 폴리머, 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(acrylonitrile butadiene styrene) 및 이의 임의의 화합물, 조성물 또는 합금), 가죽, 종이, 강화(build-up) 재료(예를 들어, "ABF" 등으로 알려진 안지노모토(ANJINOMOTO) 강화 필름 등), 솔더 레지스트(solder resist) 등 또는 이의 임의의 조성물, 라미네이트 또는 다른 조합을 포함한다.

[0026] 가공될 수 있는 작업물의 특정 예시는 인쇄 회로 기판(PCB)의 패널(또한, 본원에서 "PCB 패널"로 지칭됨), PCB, PCB 라미네이트(예를 들어, FR4, 하이 Tg 에폭시(High Tg Epoxy), BT, 폴리이미드 등 또는 이의 임의의 조합), PCB 라미네이트 프리프레그, 기판형 PCB(substrate-like PCB, SLP), 연성 인쇄 회로(flexible printed circuits, FPC)의 패널(본원에서 "FPC 패널"로 지칭됨), FPC, 커버레이 필름(coverlay films), 집적 회로(IC), IC 기판, IC 패키지(ICP), 발광 다이오드(LED), LED 패키지, 반도체 웨이퍼, 전자 또는 광학 디바이스 기판, 인터포저(interposers), 리드 프레임, 리드 프레임 블랭크, 디스플레이 기판(예를 들어, TFT, 컬러 필터, 유기 LED(OLED) 어레이, 양자점 LED 어레이 등 또는 그 위에 형성된 이의 임의의 조합을 갖는 기판), 렌즈, 미러, 터빈 블레이드(turbine blades), 파우더, 필름, 포일, 플레이트(plates), 금형(예를 들어, 왁스 금형(wax molds), 사출성형 공정, 정밀 주조 공정을 위한 금형 등), 섬유(직물, 펠트(felted) 등), 외과용 기구, 의료용 삽입물(implants), 소비재 제품, 신발, 자전거, 차량, 차량용 또는 항공 우주 산업용 부품(예를 들어, 프레임, 바디 패널 등), 전기 기구(예를 들어, 전자레인지, 오븐, 냉장고 등), 디바이스 하우징(예를 들어, 시계용, 컴퓨터용, 스마트폰용, 태블릿 컴퓨터용, 웨어러블 전자 디바이스용 등 또는 이들의 임의의 조합)을 포함한다.

[0027] ii. 시스템 - 개요

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저-가공 장치를 개략적으로 도시한다.

[0029] 도 1에 도시된 실시예를 참조하면, 작업물(102a 및 102b)(각각 일반적으로 "작업물(102)"로 지칭됨)을 가공하기

위한 레이저-가공 장치(100)(본원에서 간단히 "장치"로 지칭됨)는 레이저 에너지의 빔을 생성하기 위한 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 복수의 제2 위치 지정기(예를 들어, 각각 일반적으로 "제2 위치 지정기(108)"로 지칭되는 제2 위치 지정기(108a 및 108b)), 제3 위치 지정기(110) 및 복수의 스캔 렌즈(예를 들어, 각각 일반적으로 "스캔 렌즈(112)"로 지칭되는 스캔 렌즈(112a 및 112b))를 포함하는 것으로서 특징지어질 수 있다. 도 1이 레이저-가공 장치(100)가 두 개의 제2 위치 지정기(108)를 포함하는 실시예를 도시하였지만, 본원에 개시된 다수의 실시예는 단일 제2 위치 지정기(108)만을 포함하는 레이저-가공 장치에 적용될 수 있거나, 또는 두 개를 초과하는 제2 위치 지정기(108)에 적용될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0030] 스캔 렌즈(112) 및 대응하는 제2 위치 지정기(108)는 선택적으로, 공통 하우징 또는 "스캔 헤드"에 통합될 수 있다. 예를 들어, 스캔 렌즈(112a) 및 대응하는 제2 위치 지정기(108)(즉, 제2 위치 지정기(108a))는 공통 스캔 헤드(120a)에 통합될 수 있다. 마찬가지로, 스캔 렌즈(112b) 및 대응하는 제2 위치 지정기(108)(즉, 제2 위치 지정기(108b))는 공통 스캔 헤드(120b)에 통합될 수 있다. 본원에서 사용되는, 스캔 헤드(120a) 및 스캔 헤드(120b)의 각각은 또한, 일반적으로 본원에서 "스캔 헤드(120)"로 지칭된다.

[0031] 도 1이 복수의 작업물(102)을 공통으로 지지하는 단일 제3 위치 지정기(110)를 도시하였지만, 복수의 제3 위치 지정기(110)가 (예를 들어, 각각 상이한 작업물(102)을 지지하기 위해, 공통 작업물(102)을 지지하기 위해 등 또는 이들의 임의의 조합을 위해) 제공될 수 있음이 인식될 것이다. 하지만, 후속하는 설명을 고려하여, 임의의 제2 위치 지정기(108) 또는 제3 위치 지정기(110)에 의해 제공되는 기능이 요구되지 않는다면, 임의의 제2 위치 지정기(108) 또는 제3 위치 지정기(110)의 포함은 선택적이라는 것이 인식되어야 한다.

[0032] 아래에서 더 상세히 논의되는 바와 같이, 제1 위치 지정기(106)는 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108) 중 어느 것으로 편향시키기 위해 레이저 에너지의 빔을 회절시키거나, 반사시키거나, 굴절시키거나 또는 다른 방식으로 편향시키도록 작동한다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "빔 경로"란 용어는 레이저 에너지의 빔에서 레이저 에너지가 레이저원(104)으로부터 스캔 렌즈(112)로 전파될 때 이동하는 경로를 지칭한다. 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108a)로 편향시킬 때, 빔 경로(114)는 제1 각도 범위(또한 본원에서 "제1 프라이머리 각도 범위(116a)"로 지칭됨) 내의 임의의 각도(예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 상에 입사하는 빔 경로(114)에 대해 측정됨)만큼 편향될 수 있다. 마찬가지로, 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108b)로 편향시킬 때, 빔 경로(114)는 제2 각도 범위(또한, 본원에서 "제2 프라이머리 각도 범위(116b)"로 지칭됨) 내의 임의의 각도(예를 들어, 제1 위치 지정기(106)에 입사하는 빔 경로(114)에 대해 측정됨)만큼 편향될 수 있다. 본원에서 사용되는, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 및 제2 프라이머리 각도 범위(116b)의 각각은 또한, 일반적으로 여기서 "프라이머리 각도 범위(116)"로 지칭될 수 있다. 일반적으로, 제1 프라이머리 각도 범위(116a)는 제2 프라이머리 각도 범위(116b)와 겹치지 않고, 이와 인접하지 않는다. 제1 프라이머리 각도 범위(116a)는 제2 프라이머리 각도 범위(116b)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다. 본원에서 사용되는, 프라이머리 각도 범위(116) 중 하나 이상 내에서 빔 경로(114)를 편향시키는 행위는 본원에서 "빔 분기(beam branching)"로 지칭된다.

[0033] 각 제2 위치 지정기(108)는 빔 경로(114)를 대응하는 스캔 렌즈(112)에 편향시키기 위해, (즉, 레이저 에너지의 빔을 "편향"시키기 위해) 레이저원(104)에 의해 생성되고 제1 위치 지정기(106)에 의해 편향된 레이저 에너지의 빔을 회절, 반사, 굴절 등 또는 이들의 임의의 조합 등을 하도록 작동한다. 예를 들어, 제2 위치 지정기(108a)는 빔 경로(114)를 스캔 렌즈(112a)에 편향시킬 수 있다. 마찬가지로, 제2 위치 지정기(108b)는 빔 경로(114)를 스캔 렌즈(112b)에 편향시킬 수 있다. 빔 경로(114)를 스캔 렌즈(112a)에 편향시킬 때, 제2 위치 지정기(108a)는 빔 경로(114)를 제1 각도 범위(또한, 본원에서 "제1 세컨더리 각도 범위(secondary angular range)(118a)"로 지칭됨) 내의 임의의 각도(예를 들어, 스캔 렌즈(112a)의 광축에 대해 측정됨)만큼 편향시킬 수 있다. 마찬가지로, 빔 경로(114)를 스캔 렌즈(112b)에 편향시킬 때, 제2 위치 지정기(108b)는 제2 각도 범위(또한, 본원에서 "제2 세컨더리 각도 범위(118b)"로 지칭됨) 내의 임의의 각도(예를 들어, 스캔 렌즈(112b)의 광축에 대해 측정됨)만큼 빔 경로(114)를 편향시킬 수 있다. 제1 세컨더리 각도 범위(118a)는 제2 세컨더리 각도 범위(118b)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다.

[0034] 스캔 렌즈(112)로 편향된 레이저 에너지는 통상적으로 스캔 렌즈(112)에 의해 집속되고, 작업물(102)로 전달되도록 빔 축을 따라 전파되게 투과된다. 예를 들어, 스캔 렌즈(112a)로 편향된 레이저 에너지는 작업물(102a)로 전달되고, 스캔 렌즈(112b)로 편향되게 투과된 레이저 에너지는 작업물(102b)로 전달된다. 작업물(102)로 전달되는 레이저 에너지는 가우시안-타입 공간 강도 프로파일 또는 비-가우시안 타입(즉, "성형된") 공간 강도 프로파일(예를 들어, "탑-햇(top-hat)"공간 강도 프로파일, 슈퍼-가우시안(super-Gaussian) 공간 강도 프로파일 등)을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다.

[0035] 도 1이 각각이 상이한 빔 축에 의해 교차되도록 배열된 복수의 작업물(102)을 도시하였지만, 단일의 더 큰 작업물(102)이 다수의 스캔 렌즈로부터 전달된 레이저 에너지에 의해 가공될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 또한, 도 1이 각각이 상이한 제2 위치 지정기(108)에 의해 편향된 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 투과하도록 배열된 복수의 스캔 렌즈(112)를 도시하였지만, 장치(100)는 다수의 제2 위치 지정기(108)에 의해 편향된 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지가 공통 스캔 렌즈(112)에 의해 투과되도록 (예를 들어, 미러, 프리즘, 빔 스플리터(beam splitter) 등 또는 이의 임의의 조합으로) 구성될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0036] 본원에서 사용되는 "스폿 크기"란 용어는, 빔 축이 적어도 부분적으로 전달된 레이저 에너지의 빔에 의해 가공될 작업물(102)의 영역을 가로지르는 위치(또한, "가공 스폿", "스폿 위치" 또는 더 간단하게 "스폿"으로 지칭됨)에서 전달되는 레이저 에너지의 빔의 직경 또는 최대 공간 폭을 지칭한다. 본원에서 논의의 목적으로, 스폿 크기는 빔 축으로부터 광 강도가 빔 축에서 광 강도의 적어도 $1/e^2$까지 감소되는 지점까지의 방사 또는 횡단 거리로 측정된다. 일반적으로, 레이저 에너지의 빔의 스폿 크기는 빔 웨이스트(beam waist)에서 최소일 것이다. 작업물(102)에 전달되면, 빔 내의 레이저 에너지는 2 ㎛ 내지 200 ㎛의 범위 내의 스폿 크기로 작업물(102)에 충돌하는 것으로 특징지어질 수 있다. 하지만, 스폿 크기는 2 μm보다 작거나, 또는 200 μm보다 크게 생성될 수 있음이 인식될 것이다. 따라서, 작업물(102)로 전달되는 레이저 에너지의 빔은 2 ㎛, 3 ㎛, 5 ㎛, 7 ㎛, 10 ㎛, 15 ㎛, 30 ㎛, 35 ㎛, 40 ㎛, 45 ㎛, 50 ㎛, 55 ㎛, 80 ㎛, 100 ㎛, 150 ㎛, 200 ㎛ 등을 초과하거나, 이의 미만이거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 임의의 값 사이의 스폿 크기를 가질 수 있다.

[0037] 장치(100)는 또한, 레이저 에너지의 빔이 빔 경로(114)를 따라 전파할 때, 이를 초점을 맞추거나, 확장시키거나, 시준하거나, 성형하거나, 편광시키거나, 필터링하거나, 분할하거나, 결합하거나, 자르거나, 흡수하거나 또는 다른 방식으로 수정하거나, 조정하거나, 지향시키는 등을 하기 위해, 하나 이상의 다른 광학 구성요소(예를 들어, 빔 트랩(beam traps), 빔 확장기, 빔 성형기, 빔 스플리터, 조리개, 필터, 시준기(collimators), 렌즈, 미러, 프리즘, 편광기, 위상 지연기(phase retarders), 회절 광학 요소(공통적으로, 이 기술분야에서 DOE로 알려짐), 굴절 광학 요소(공통적으로, 이 기술분야에서 ROE로 알려짐) 등 또는 이의 임의의 조합)를 포함할 수 있다. 레이저 에너지의 입사된 빔을 투과하도록 의도된 빔 확장기, 렌즈, 빔 스플리터, 프리즘, 다이크로익 필터(dichroic filters), 윈도우, 파장판(waveplates), DOE, ROE 등과 같은 광학 구성요소가 벌크 투명 재료(선택적으로 하나 이상의 반사-방지 코팅 등으로 코팅될 수 있음)로 형성되는 한, 이러한 광학 구성요소는 본원에서 일반적으로 "투과성 광학 구성요소(transmissive optical component)"로 지칭된다. 본 명세서에서 사용된, 위치 지정기 및 다른 광학 구성요소의 집합은 레이저-가공 장치(100)로 함께 조립될 때 "빔 경로 조립체"를 구성하는 것으로 간주될 수 있다.

[0038] A. 레이저원

[0039] 일 실시예에서, 레이저원(104)은 레이저 펄스들을 발생시키기 위해 작동된다. 가령, 레이저원(104)은 펄스 레이저원, CW 레이저원, QCW 레이저원, 버스트 모드 레이저(burst mode laser) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 레이저원(104)이 QCW 또는 CW 레이저원을 포함하는 경우, 레이저원(104)은 펄스 모드로 작동될 수 있거나 또는 비-펄스 모드로 작동될 수 있지만, QCW 또는 CW 레이저원으로부터 출력된 레이저 방사의 빔을 시간적으로 변조하기 위한 펄스 게이팅 유닛(pulse gating unit)(예를 들어, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), 빔 초퍼(beam chopper) 등)을 더 포함할 수 있다. 도시되진 않았지만, 장치(100)는 레이저원(104)에 의해 출력된 광의 파장을 변환하도록 구성된 하나 이상의 고조파 생성 결정(crystal)(또한, "파장 변환 결정"으로 알려짐)을 선택적으로 포함할 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 레이저원(104)은 QCW 레이저원 또는 CW 레이저원으로 제공되고, 펄스 게이팅 유닛을 포함하지 않을 수 있다. 따라서, 레이저원(104)은 일련의 레이저 펄스들로 또는 연속적인 또는 준-연속적인(quasi-continuous) 레이저 빔으로 나타날 수 있고, 그 후 빔 경로(114)를 따라 전파될 수 있는 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 것으로 폭넓게 특징지어질 수 있다. 본원에서 논의된 다수의 실시예가 레이저 펄스를 참조하지만, 연속적인 또는 준-연속적인 빔이 대안적으로 또는 추가적으로, 적합하거나 바람직할 때마다 이용될 수 있음이 인식되어야 한다.

[0040] 레이저원(104)에 의해 출력된 레이저 에너지는 전자기 스펙트럼의 자외선(UV), 가시광선 또는 적외선(IR) 범위에서의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 UV 범위에서의 레이저 에너지는 10 nm, 121 nm, 124 nm, 157 nm, 200 nm, 334 nm, 337 nm, 351 nm, 380 nm 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 10 nm (또는 그 정도) 내지 385 nm(또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 가시광선의 녹색 범위에서 레이저 에너지는 511 nm, 515 nm, 530 nm, 532 nm, 543 nm, 568 nm 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 500 nm(또는 그 정도) 내지 560 nm(또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을

가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 IR 범위에서 레이저 에너지는 600 nm 내지 1000 nm, 752.5 nm, 780 nm 내지 1060 nm, 799.3 nm, 980 nm, 1047 nm, 1053 nm, 1060 nm, 1064 nm, 1080 nm, 1090 nm, 1152 nm, 1150 nm 내지 1350 nm, 1540 nm, 2.6 ㎛ 내지 4 ㎛, 4.8 ㎛ 내지 8.3 ㎛, 9.4 ㎛, 10.6 ㎛ 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 750 nm(또는 그 정도) 내지 15 ㎛(또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다.

[0041] 레이저 에너지의 빔이 일련의 레이저 펄스로 나타날 때, 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 10 fs 내지 900 ms의 범위 내에 있는 (즉, 펄스 대 시간에서 광 출력의 반치전폭(full-width at half-maximum, FWHM)을 기초로 하는) 펄스 폭 또는 펄스 지속시간을 가질 수 있다. 하지만, 펄스 지속시간은 10 fs보다 짧거나 또는 900 ms보다 길 수 있음이 인식될 것이다. 따라서, 레이저원(104)에 의해 출력되는 적어도 하나의 레이저 펄스는 10 fs, 15 fs, 30 fs, 50 fs, 100 fs, 150 fs, 200 fs, 300 fs, 500 fs, 600 fs, 750 fs, 800 fs, 850 fs, 900 fs, 950 fs, 1 ps, 2 ps, 3 ps, 4 ps, 5 ps, 7 ps, 10 ps, 15 ps, 25 ps, 50 ps, 75 ps, 100 ps, 200 ps, 500 ps, 1 ns, 1.5 ns, 2 ns, 5 ns, 10 ns, 20 ns, 50 ns, 100 ns, 200 ns, 400 ns, 800 ns, 1000 ns, 2 µs, 5 µs, 10 µs, 15 µs, 20 µs, 25 µs, 30 µs, 40 µs, 50 µs, 100 µs, 300 µs, 500 µs, 900 µs, 1 ms, 2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 300 ms, 500 ms, 900 ms, 1 s 등의 미만이거나, 이를 초과하거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 펄스 지속시간을 가질 수 있다.

[0042] 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 5 mW 내지 50 kW의 범위 내에 있는 평균 출력을 가질 수 있다. 하지만, 평균 출력은 5 mW보다 낮거나, 50 kW 보다 높게 생성될 수 있음이 인식될 것이다. 따라서, 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 5 mW, 10 mW, 15 mW, 20 mW, 25 mW, 50 mW, 75 mW, 100 mW, 300 mW, 500 mW, 800 mW, 1 W, 2 W, 3 W, 4 W, 5 W, 6 W, 7 W, 10 W, 15 W, 18 W, 25 W, 30 W, 50 W, 60 W, 100 W, 150 W, 200 W, 250 W, 500 W, 2 kW, 3 kW, 20 kW, 50 kW 등의 미만이거나, 이를 초과하거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 평균 출력을 가질 수 있다.

[0043] 레이저 펄스는 레이저원(104)에 의해 5 kHz 내지 5 GHz의 범위 내에 있는 펄스 반복률로 출력될 수 있다. 하지만, 펄스 반복률은 5 kHz 미만이거나 또는 5 GHz를 초과할 수 있다. 따라서, 레이저 펄스는 레이저원(104)에 의해, 5 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 175 kHz, 225 kHz, 250 kHz, 275 kHz, 500 kHz, 800 kHz, 900 kHz, 1 MHz, 1.5 MHz, 1.8 MHz, 1.9 MHz, 2 MHz, 2.5 MHz, 3 MHz, 4 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, 50 MHz, 60 MHz, 100 MHz, 150 MHz, 200 MHz, 250 MHz, 300 MHz, 350 MHz, 500 MHz, 550 MHz, 600 MHz, 900 MHz, 2 GHz, 10 GHz 등의 미만이거나, 이를 초과하거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 펄스 반복률로 출력될 수 있다.

[0044] 파장, 평균 출력, 및 레이저 에너지의 빔이 일련의 레이저 펄스로 나타날 때 펄스 지속시간 및 펄스 반복률에 부가하여, 작업물(102)로 전달된 레이저 에너지의 빔은 (예를 들어, 하나 이상의 피처를 형성하기 위해) 작업물(102)을 가공하는데 충분한 (W/cm^2로 측정되는) 광 강도 및 (J/cm^2로 측정되는) 플루엔스(fluence) 등으로 가공 스폿에서 작업물(102)을 조사하도록 (예를 들어, 선택적으로, 파장, 펄스 지속시간, 평균 출력 및 펄스 반복률 등과 같은 하나 이상의 다른 특성을 기초로) 선택될 수 있는 펄스 에너지, 피크 출력 등과 같은 하나 이상의 다른 특징에 의해 특징지어질 수 있다.

[0045] 레이저원(104)의 레이저의 타입의 예시는, 가스 레이저(예를 들어, 이산화탄소 레이저, 일산화탄소 레이저, 엑시머 레이저(excimer lasers) 등), 고체-상태(solid-state) 레이저(예를 들어, Nd:YAG 레이저 등), 로드 레이저(rod laser), 광섬유 레이저, 광 결정 로드/광섬유 레이저, 수동 모드-고정 고체-상태 벌크(passively mode-locked solid-state bulk) 또는 광섬유 레이저, 색소 레이저(dye laser), 모드-고정 다이오드(mode-locked diode) 레이저, 펄스 레이저(예를 들어, ms 펄스 레이저, ns 펄스 레이저, ps 펄스 레이저, fs 펄스 레이저), CW 레이저, QCW 레이저 등 또는 이들의 임의의 조합으로 특징지어질 수 있다. 그 구성에 의존하여, 기체 레이저(예를 들어, 이산화탄소 레이저 등)는 하나 이상의 모드에서(예를 들어, CW 모드, QCW 모드, 펄스 모드 또는 이들의 임의의 조합에서) 작동하도록 구성될 수 있다. 레이저원(104)으로 제공될 수 있는 레이저원들의 구체적인 예시는, EOLITE사에 의해 제조된 BOREAS, HEGOA, SIROCCO 또는 CHINOOK 시리즈의 레이저; PYROPHOTONICS사에 의해 제조된 PYROFLEX 시리즈의 레이저; COHERENT사에 의해 제조된 PALADIN Advanced 355, DIAMOND 시리즈(예를 들어, DIAMOND E-시리즈, G-시리즈, J-2 시리즈, J-3 시리즈, J-5 시리즈), FLARE NX, MATRIX QS DPSS, MEPHISTO Q, AVIA LX, AVIA NX, RAPID NX, HYPERRAPID NX, RAPID, HELIOS, FIDELITY, MONACO, OPERA, 또는 RAPID FX 시리즈 레이저; SPECTRA PHYSICS사에 의해 제조된 ASCEND, EXCELSIOR, EXPLORER, HIPPO, NAVIGATOR, QUANTA-RAY, QUASAR, SPIRIT, TALON, 또는 VGEN 시리즈 레이저; SYNRAD사에 의해 제조된 PULSTAR 또는 FIRESTAR 시리즈 레이저; TRUMPF사에 의해 모두 제조된 TRUFLOW-시리즈의 레이저(예를 들어, TRUFLOW 2000,

2600, 3000, 3200, 3600, 4000, 5000, 6000, 6000, 8000, 10000, 12000, 15000, 20000), TRUCOAX-시리즈의 레이저(예를 들어, TRUCOAX 1000), 또는 TRUDISK, TRUPULSE, TRUDIODE, TRUFIBER 또는 TRUMICRO 시리즈의 레이저; IMRA AMERICA사에 의해 제조된 FCPA μJEWEL 또는 FEMTOLITE 시리즈의 레이저; AMPLITUDE SYSTEMES사에 의해 제조된 TANGERINE 및 SATSUMA 시리즈 레이저(및 MIKAN 및 T-PULSE 시리즈 발진기); IPG PHOTONICS사에 의해 제조된 CL, CLPF, CLPN, CLPNT, CLT, ELM, ELPF, ELPN, ELPP, ELR, ELS, FLPN, FLPNT, FLT, GLPF, GLPN, GLR, HLPN, HLPP, RFL, TLM, TLPN, TLR, ULPN, ULR, VLM, VLPN, YLM, YLPF, YLPN, YLPP, YLR, YLS, FLPM, FLPMT, DLM, BLM, 또는 DLR 시리즈의 레이저(예를 들어, GPLN-100-M, GPLN-500-QCW, GPLN-500-M, GPLN-500-R, GPLN-2000-S 등을 포함함) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 레이저원을 포함한다.

[0046] B. 제1 위치 지정기

[0047] 일반적으로, 제1 위치 지정기(106)는 (예를 들어, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내로, 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내로 또는 이들의 조합 내로 빔 경로(114)를 편향시킴으로써) X축(또는 방향), Y축(또는 방향) 또는 이들의 조합을 따라 작업물(102)에 대해 빔 축의 이동을 제공하도록 작동한다. 도시되진 않았지만, Y축(또는 Y 방향)은 도시된 X 및 Z축(또는 방향)에 직교하는 축(또는 방향)을 지칭하는 것으로 이해될 것이다.

[0048] 일 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108a)로 (예를 들어, 제1 분기 기간 동안) 편향시키고, 그 후 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108b)로 (예를 들어, 제1 분기 기간 이후의 제2 분기 기간 동안) 편향시키거나, 또는 그 역으로 그러하거나 또는 이의 임의의 조합으로 편향시키도록 제어될 수 있다. 다른 예시에서, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 빔 경로(114)를 제2 위치 지정기(108a) 및 제2 위치 지정기(108b)로 동시에 편향시키도록 제어될 수 있다. 본원에서 논의된 실시예에서, 제1 분기 기간의 지속시간은 제2 분기 기간의 지속시간을 초과하거나, 이의 미만이거나 또는 이와 동일할 수 있다. 제1 분기 기간 및 제2 분기 기간의 각각의 지속시간은 제1 위치 지정기(106)의 위치 지정 기간을 초과하거나, 이와 동일하거나 또는 이의 미만일 수 있다. 일 실시예에서, 제1 분기 기간 및 제2 분기 기간의 각각의 지속시간은 제1 위치 지정기(106)의 위치 지정 기간의 정수배로서 특징지어질 수 있다(정수는 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 50, 100 등과 같은 임의의 정수이거나 또는 이들 값 중 어느 것 사이일 수 있다). 제1 위치 지정기(106)의 "위치 지정 기간"에 관한 추가적인 논의는 아래의 섹션을 참조한다. 일부 실시예에서, 각 분기 기간의 지속시간은 200 μs, 125 μs, 100 μs, 50 μs, 33 μs, 25 μs, 20 μs, 13.3 μs, 12.5 μs, 10 μs, 4 μs, 2 μs, 1.3 μs, 1 μs, 0.2 μs, 0.1 μs, 0.05 μs, 0.025 μs, 0.02 μs, 0.013 μs, 0.01 μs, 0.008 μs, 0.0067 μs, 0.0057 μs, 0.0044 μs, 0.004 μs 등을 초과하거나 이와 동일하거나 또는 이의 미만이거나 또는 이들 값 중 어느 것 사이이다.

[0049] 레이저원(104)에 의해 출력된 레이저 에너지의 빔이 일련의 레이저 펄스로서 나타날 때, 각 분기 기간은 레이저 에너지의 빔 내의 레이저 펄스의 펄스 지속시간 이상인 지속시간을 가질 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 하나 이상의 분기 기간은 레이저 에너지의 빔 내의 레이저 펄스의 펄스 지속시간 미만인 지속시간을 가질 수 있다. 이러한 실시예에서, 빔 분기의 작동은 레이저 펄스를 시간적으로 나누는 것을 초래할 수 있으며, 따라서 또한, "펄스 슬라이싱(pulse slicing)"으로 지칭될 수 있다. 펄스 슬라이싱은 아래에서 더 상세히 설명되며, 빔 분기와 함께 구현될 수 있거나 또는 빔 분기와 별개로 구현될 수 있다. 즉, 펄스 슬라이싱은 빔 경로(114)를 단일 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 (예를 들어, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 또는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서) 상이한 각도만큼 편향시키기 위해 제1 위치 지정기(106)를 작동시키는 동안 초래될 수 있다. 따라서, 펄스 슬라이싱은 빔 분기와 함께 구현될 수 있거나, 또는 빔 분기와 별개로 구현될 수 있고, 레이저 펄스가 시간적으로 분할되는 기간은 일반적으로 "슬라이스 기간"으로 지칭될 수 있다. 펄스 슬라이싱 기법이 본원에서 레이저 펄스를 시간적으로 분할하도록 적용되는 것으로 설명되지만, 이들 기법은 마찬가지로, 연속적이거나 또는 준-연속적인 레이저 빔으로서 나타나는 레이저 에너지의 빔을 시간적으로 분할하도록 적용될 수 있음이 인식될 것이다.

[0050] 제1 위치 지정기(106)에 의해 제공되는 바와 같은, 작업물(102)에 대한 빔 축의 이동은 일반적으로, 가공 스폿이 스캔 렌즈(112)에 의해 투영되는 제1 스캔 필드 내에서 스캔되거나, 이동되거나 또는 다른 방식으로 위치될 수 있도록 제한된다. 일반적으로, 및 제1 위치 지정기(106)의 구성, 빔 경로(114)를 따른 제1 위치 지정기(106)의 위치, 제1 위치 지정기(106) 상에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 빔 크기, 스폿 크기 등과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여, 제1 스캔 필드는 X 방향 또는 Y 방향 중 어느 것으로, 0.01 ㎜, 0.04 ㎜, 0.1 ㎜, 0.5 ㎜, 1.0 ㎜, 1.4 ㎜, 1.5 ㎜, 1.8 ㎜, 2 ㎜, 2.5 ㎜, 3.0 ㎜, 3.5 ㎜, 4.0 ㎜, 4.2 ㎜, 5 ㎜, 10 ㎜, 25 ㎜, 50 ㎜, 60 ㎜ 등 미만의, 이를 초과하는 또는 이와 동일한 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 거리만큼 연장할 수 있다. 본원에서 사용되는 "빔 크기"란 용어는 레이저 에너지의 빔의 직경 또는 폭을 지칭하고, 빔 축으로부터

광 강도가 빔 경로(114)를 따른 전파 축에서 광 강도의 $1/e^2$까지 감소되는 지점까지의 방사 또는 횡단 거리로서 측정될 수 있다. (예를 들어, X 방향 또는 Y 방향 또는 다른 방향에서의) 제1 스캔 필드의 최대 치수는 작업물(102)에 형성될 피처(예를 들어, 개구부, 리세스(recess), 비아, 트렌치 등)의 (X-Y 평면에서 측정된) 최대 치수를 초과하거나 이와 동일하거나 이의 미만일 수 있다.

[0051] 일반적으로, 제1 위치 지정기(106)는 검류계 미러 시스템, AO 편향기(AOD) 시스템, 전자 광학(electro-optic, EO) 편향기(EOD) 시스템, 고속 조향 미러(FSM) 시스템 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공될 수 있다. AOD 시스템의 AOD는 일반적으로, 결정질 게르마늄(Ge), 갈륨 비소(GaAs), 울페나이트(wulfenite, $PbMoO_4$), 이산화 텔루륨(TeO_2), 결정질 석영, 유리질 SiO_2, 삼황화 비소(As_2S_3), 니오브산 리튬(lithium niobate, $LiNbO_3$) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 재료로 형성된 AO 셀을 포함한다. EOD 시스템의 EOD는 일반적으로, 니오브산 리튬, 칼륨 탄탈라이트 니오베이트(potassium tantalite niobate) 등으로 구성된 EO 셀을 포함한다. AO 셀 및 EO 셀이 레이저 에너지의 입사된 빔을 투과하도록 구성되는 한, AO 셀 및 EO 셀은 투과성 광학 구성요소(transmissive optical components)의 타입으로 간주될 수 있다.

[0052] 제1 위치 지정기(106)는 "제1 위치 지정 속도(positioning rate)"를 갖는 것으로 특징지어질 수 있으며, 이는 제1 위치 지정기(106)가 제1 스캔 필드 내의 임의의 위치로 가공 스폿을 위치시키는(따라서, 빔 축을 이동시키는) 속도를 지칭한다. 예를 들어, 제1 위치 지정 속도는8 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 75 kHz, 80 kHz, 100 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 750 kHz, 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, 40 MHz, 50 MHz, 75 MHz, 100 MHz, 125 MHz, 150 MHz, 175 MHz, 200 MHz, 225 MHz, 250 MHz 등을 초과하거나, 이와 동일하거나 또는 이의 미만이거나 또는 이들 값 중 어느 것 사이일 수 있다. 이 범위는 또한, 본원에서 제1 위치 지정 대역폭으로도 지칭된다. 제1 위치 지정기(106)의 작동 동안, 구동 신호는 제1 위치 지정기(106)에 반복적으로 적용될 수 있고, 제1 위치 지정 대역폭은 구동 신호가 적용되는 속도에 대응한다(예를 들어, 이와 동일하거나 또는 이에 적어도 실질적으로 동일하다). 구동 신호가 적용되는 속도는 또한 "업데이트 속도" 또는 "리프레시 속도(refresh rate)"로 지칭된다. 제1 위치 지정 속도의 역은 본원에서 "제1 위치 지정 기간"으로 지칭되고, 따라서, 가공 스폿의 위치가 제1 스캔 필드 내의 일 위치로부터 제1 스캔 필드 내의 다른 위치로 변경되기 전에 경과된 최소 시간량을 지칭한다. 따라서, 제1 위치 지정기(106)는 200 μs, 125 μs, 100 μs, 50 μs, 33 μs, 25 μs, 20 μs, 15 μs, 13.3 μs, 12.5 μs, 10 μs, 4 μs, 2 μs, 1.3 μs, 1 μs, 0.2 μs, 0.1 μs, 0.05 μs, 0.025 μs, 0.02 μs, 0.013 μs, 0.01 μs, 0.008 μs, 0.0067 μs, 0.0057 μs, 0.0044 μs, 0.004 μs 등을 초과하거나, 이와 동일하거나 또는 이의 미만이거나 또는 이들 값 중 어느 것 사이인 제1 위치 지정 기간을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다.

[0053] i. 일반적으로 제1 위치 지정기로서 AOD 시스템에 관한 실시예

[0054] 일 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)는 적어도 하나(예를 들어, 한 개, 두 개, 세 개, 네 개, 다섯 개, 여섯 개 등)의 단일 요소 AOD, 적어도 하나(예를 들어, (예를 들어, 한 개, 두 개, 세 개, 네 개, 다섯 개, 여섯 개 등)의 다중-요소 AOD 등 또는 이의 임의의 조합을 포함하는 AOD 시스템으로서 제공된다. 하나의 AOD만을 포함하는 AOD 시스템은 본원에서 "단일-셀 AOD 시스템"으로 지칭되고, 하나보다 많은 AOD를 포함하는 AOD 시스템은 본원에서 "다중-셀 AOD 시스템"으로 지칭된다. 본원에서 사용된 "단일-요소" AOD는 AO 셀에 음향적으로 결합된 하나의 초음파 변환기 요소(ultrasonic transducer element)만을 갖는 AOD를 지칭하는 한편, "다중-요소" AOD는 공통 AO 셀에 음향적으로 결합된 적어도 두 개의 초음파 변환기 요소를 포함한다. AOD 시스템은 빔 경로(114)를 대응하는 방식으로 편향시킴으로써, (예를 들어, 단일-축을 따라 빔 축을 편향시키도록 작동하는) 단일-축 AOD 시스템 또는 (예를 들어, 빔 축을 하나 이상의 축을 따라 가령, X축을 따라, Y축을 따라, 또는 이들의 임의의 조합을 따라 편향시키도록 작동하는) 다중-축 AOD 시스템으로서 제공될 수 있다. 일반적으로, 다중-축 AOD 시스템은 단일-셀 또는 다중-셀 AOD 시스템으로서 제공될 수 있다. 다중-셀, 다중-축 AOD 시스템은 통상적으로, 각각 상이한 축을 따라 빔 축을 편향시키도록 작동하는 다수의 AOD를 포함한다. 예를 들어, 다중-셀, 다중-축 시스템은 하나의 축을 따라(예를 들어, X축을 따라) 빔 축을 편향시키도록 작동하는 제1 AOD(예를 들어, 단일 요소 AOD 시스템 또는 다중 요소 AOD 시스템), 및 제2 축을 따라(예를 들어, Y축을 따라) 빔 축을 편향시키도록 작동하는 제2 AOD(예를 들어, 단일 요소 AOD 또는 다중 요소 AOD)를 포함할 수 있다. 단일-셀, 다중-축 시스템은 통상적으로 두 개의 축을 따라(예를 들어, X축 및 Y축을 따라) 빔 축을 편향시키도록 작동하는 단일 AOD를 포함한다. 예를 들어, 단일-셀, 다중-축 시스템은 공통 AO 셀의 직교하게 배열된 평면, 면(facets), 측면(sides) 등에 음향적으로 결합된 적어도 두 개의 초음파 변환기 요소를 포함할 수 있다.

[0055] 통상의 기술자에 의해 인식되는 바와 같이, AO 기술(예를 들어, AOD, AOM 등)은 AO 셀을 통해(즉, AOD 내의 "광

축"을 따라) 동시에(contemporaneously) 전파하는 입사된 광학 파(optical wave)(즉, 본 출원의 컨텍스트(context)에서의 레이저 에너지의 빔)을 회절시키기 위해, AO 셀을 통해(즉, AOD의 "회절 축"에 따라) 전파하는 하나 이상의 음향파에 의해 야기되는 회절 효과를 활용한다. 레이저 에너지의 입사된 빔을 회절시키는 것은 통상적으로 0차 및 1차 회절 피크를 포함하고 다른 고차 회절 피크(예를 들어, 2차, 3차 등)도 포함할 수 있는 회절 패턴을 생성한다. 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 0차 회절 피크에서 회절된 레이저 에너지의 빔의 일부는 "0차"빔으로 지칭되고, 1차 회절 피크에서 회절된 레이저 에너지의 빔의 일부는 "1차" 빔으로 지칭되는 등이다. 일반적으로, 0차 빔 및 다른 회절된 차수의 빔(예를 들어, 1차 빔 등)은 (예를 들어, AO 셀의 광학 출력 측을 통해) AO 셀을 빠져나갈 때 상이한 빔 경로를 따라 전파한다. 예를 들어, 0차 빔은 0차 빔 경로를 따라 전파되고 1차 빔은 1차 빔 경로를 따라 전파되는 등이다.

[0056] 음향파는 통상적으로, RF 구동 신호를 (예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 하나 이상의 드라이버로부터) 초음파 변환기 요소에 적용함으로써 AO 셀로 가해진다(launched). 따라서, AOD 시스템은 AOD 시스템의 하나 이상의 초음파 변환기 요소에 RF 구동 신호를 적용함으로써 구동될 수 있다. RF 구동 신호의 특성(예를 들어, 진폭, 주파수, 위상 등)은 입사된 광파가 회절되는 방식을 조정하기 위해 (예를 들어, 제어기(122), 구성요소-특정 제어기 등 또는 이의 임의의 조합에 의해 출력되는 하나 이상의 제어 신호를 기초로) 제어될 수 있다. 예를 들어, 적용된 RF 구동 신호의 주파수는 빔 경로(114)가 편향되는 각도를 결정할 것이다. 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 빔 경로(114)가 편향되는 각도 θ는 다음과 같이 계산될 수 있다:

[0057] $$\theta = \frac{\lambda \cdot f}{v}$$

[0058] 여기서 λ는 레이저 에너지의 빔의 광학 파장이고, f는 적용된 RF 구동 신호의 주파수이고, v는 AO 셀에서의 음향파의 속도이다. 적용된 RF 구동 신호의 주파수가 다수의 주파수로 구성되면, 빔 경로(114)는 다수의 각도만큼 동시에 편향될 것이다.

[0059] AO 셀을 빠져나가는 1차 빔 경로는 통상적으로 AO 셀 내에서 회전되거나 또는 편향되는 빔 경로(114)로서 간주될 수 있다. 본원에서 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, AO 셀을 빠져나가는 빔 경로(114)는 1차 빔 경로에 대응한다. AO 셀을 빠져나가는 빔 경로(114)가 (예를 들어, AO 셀 상에 입사되는 빔 경로(114)에 대해) 회전되는 축(또한, 본원에서 "회전 축"으로 지칭됨)은, AO 셀의 회절 축, 및 레이저 에너지의 입사된 빔이 AOD가 레이저 에너지의 입사된 빔을 회절시키기 위해 작동되거나 또는 구동될 때 AO 셀 내에서 전파하는 광축 모두에 직교한다. 따라서, AOD는 AO 셀의 회절 축 및 AO 셀 내의 광축을 포함하는(또는 일반적으로 이에 평행한) 평면(또한, 본원에서 "편향 평면"으로 지칭됨) 내에서 입사 빔 경로(114)를 편향시킨다. AOD가 편향 평면 내에서 빔 경로(114)를 편향시킬 수 있는 공간적 범위는 본원에서 그 AOD의 "스캔 필드"로 지칭된다. 따라서, 제1 위치 지정기(106)의 제1 스캔 필드는 (예를 들어, 제1 위치 지정기(106)가 단일 AOD를 포함하는 경우) 단일 AOD의 스캔 필드에 대응하거나, 또는 (예를 들어, 제1 위치 지정기(106)가 다수의 AOD를 포함하는 경우) 다수의 AOD의 결합된 스캔 필드에 대응하는 것으로 간주될 수 있다.

[0060] AO 셀이 형성되는 재료는 AO 셀 상에 입사되도록 빔 경로(114)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 파장에 의존할 것이라는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 편향될 레이저 에너지의 파장이 2 μm(또는 그 정도) 내지 20 μm(또는 그 정도)의 범위에 있는 경우 결정질 게르마늄과 같은 재료가 사용될 수 있고, 편향될 레이저 에너지의 빔의 파장이 1μm(또는 그 정도) 내지 11μm(또는 그 정도)의 범위에 있는 경우 갈륨 비소 및 삼황화 비소와 같은 재료가 사용될 수 있으며, 편향될 레이저 에너지의 파장이 200 nm(또는 그 정도) 내지 5 μm(또는 그 정도)의 범위에 있는 경우 유리질 SiO_2, 석영, 니오브산 리튬, 울페나이트 및 이산화 텔루륨과 같은 재료가 사용될 수 있다.

[0061] C. 제2 위치 지정기

[0062] 일반적으로, 제2 위치 지정기(108)는 (예를 들어, 제1 세컨더리 각도 범위(118a) 내로, 제2 세컨더리 각도 범위(118b) 내로 빔 경로(114)를 편향시킴으로써) X축(또는 방향), Y축(또는 방향) 또는 이들의 조합을 따라 작업물(102)에 대해 빔 축의 이동을 제공하도록 작동한다.

[0063] 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공되는 바와 같이, 작업물(102)에 대한 빔 축의 이동은 일반적으로, 가공 스폿이 스캔 렌즈(112)에 의해 투영되는 제2 스캔 필드 내에서 스캔되거나, 이동되거나 또는 다른 방식으로 위치될

수 있도록 제한된다. 일반적으로, 및 제2 위치 지정기(108)의 구성, 빔 경로(114)를 따른 제2 위치 지정기(108)의 위치, 제2 위치 지정기(108) 상에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 빔 크기, 스폿 크기 등과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여, 제2 스캔 필드는 X 방향 또는 Y 방향 중 어느 것으로, 제1 스캔 필드의 대응하는 거리를 초과하는 거리까지 연장할 수 있다. 위의 것을 고려하여, 제2 스캔 필드는 X 방향 또는 Y 방향 중 어느 것으로, 1 mm, 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 250 mm, 500 mm, 750 mm, 1 cm, 25 cm, 50 cm, 75 cm, 1 m, 1.25 m, 1.5 m 등의 미만이거나, 이를 초과하거나 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 거리까지 연장될 수 있다. (예를 들어, X 방향 또는 Y 방향 또는 다른 방향으로의) 제2 스캔 필드의 최대 치수는 작업물(102)에 형성될 피처(예를 들어, 개구부, 리세스, 비아, 트렌치, 스크라이브 라인, 전도성 트레이스 등)의 (X-Y 평면에서 측정되는 바와 같은) 최대 치수를 초과하거나 이와 동일하거나 이의 미만일 수 있다.

[0064] 본원에 설명된 구성을 고려하여, 제1 위치 지정기(106)에 의해 제공된 빔 축의 이동은 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공된 빔 축의 이동에 겹쳐질(superimposed) 수 있음이 인식되어야 한다. 따라서, 제2 위치 지정기(108)는 제2 스캔 필드 내의 제1 스캔 필드를 스캔하도록 작동한다.

[0065] 일반적으로, 제2 위치 지정기(108)가 가공 스폿을 제2 스캔 필드 내의 임의의 위치에 위치시킬 수 있는(따라서, 빔 축을 제2 스캔 필드 내로 이동시키거나 및/또는 제2 스캔 필드 내의 제1 스캔 필드를 스캔하는) 위치 지정 속도는 제1 위치 지정 대역폭 미만인 범위(또한, 본원에서 "제2 위치 지정 대역폭"으로 지칭됨)에 걸친다(spans). 일 실시예에서, 제2 위치 지정 대역폭은 500 Hz(또는 그 정도) 내지 8 kHz(또는 그 정도) 범위에 있다. 예를 들어, 제2 위치 지정 대역폭은 500 Hz, 750 Hz, 1 kHz, 1.25 kHz, 1.5 kHz, 1.75 kHz, 2 kHz, 2.5 kHz, 3 kHz, 3.5 kHz, 4 kHz, 4.5 kHz, 5 kHz, 5.5 kHz, 6 kHz, 6.5 kHz, 7 kHz, 7.5 kHz, 8 kHz 등을 초과하거나, 이와 동일하거나 또는 이의 미만이거나 또는 이들 값 중 어느 값 사이일 수 있다.

[0066] 일 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 두 개의 검류계 미러 구성요소 즉, 작업물(102)에 대하여 X축을 따른 빔 축의 이동을 제공하도록 배열된 제1 검류계 미러 구성요소(예를 들어, X축 검류계 미러 구성요소), 및 작업물(102)에 대하여 Y축을 따른 빔 축의 이동을 제공하도록 배열된 제2 검류계 미러 구성요소(예를 들어, Y축 검류계 미러 구성요소)를 포함하는 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 작업물(102)에 대하여 X축 및 Y축을 따른 빔 축의 이동을 제공하도록 배열된 단일 검류계 미러 구성요소만을 포함하는 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 회전형 다각형 미러 시스템 등으로서 제공될 수 있다. 따라서, 제2 위치 지정기(108) 및 제1 위치 지정기(106)의 특정 구성에 의존하여, 제2 위치 지정 대역폭은 제1 위치 지정 대역폭 이상일 수 있음이 인식될 것이다.

[0067] D. 제3 위치 지정기

[0068] 제3 위치 지정기(110)는 스캔 렌즈(112)에 대한 작업물(102)(즉, 작업물(102a 및 102b))의 이동을 제공하도록, 따라서 빔 축에 대한 작업물(102)의 이동을 제공하도록 작동한다. 빔 축에 대한 작업물(102)의 이동은 일반적으로, 가공 스폿이 제3 스캔 필드 내에서 스캔되거나, 이동되거나 또는 다른 방식으로 위치될 수 있도록 제한된다. 제3 위치 지정기(110)의 구성과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여, 제3 스캔 필드는 X 방향, Y 방향 또는 이의 임의의 조합에서, 제2 스캔 필드의 대응하는 거리 이상인 거리까지 연장할 수 있다. 하지만, 일반적으로, (예를 들어, X 방향 또는 Y 방향 또는 다른 방향에서) 제3 스캔 필드의 최대 치수는 작업물(102)에 형성될 임의의 피처의 (X-Y 평면에서 측정되는 바와 같은) 대응하는 최대 치수 이상일 것이다. 선택적으로, 제3 위치 지정기(110)는 작업물(102)을 빔 축에 대해 (예를 들어, 1 mm 내지 50 mm의 범위에 걸쳐) Z 방향으로 연장하는 스캔 필드 내로 이동시키도록 작동할 수 있다. 따라서, 제3 스캔 필드는 X 방향, Y 방향 및/또는 Z 방향을 따라 연장할 수 있다.

[0069] 본원에 설명된 구성을 고려하여, (예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 및/또는 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공되는 바와 같이) 작업물(102)에 대한 가공 스폿의 이동이 제3 위치 지정기(110)에 의해 제공되는 바와 같은 작업물(102)의 이동에 의해 겹칠 수 있음이 인식되어야 한다. 따라서, 제3 위치 지정기(110)는 제3 스캔 필드 내에서 제1 스캔 필드 및/또는 제2 스캔 필드를 스캔하도록 작동한다. 일반적으로, 제3 위치 지정기(110)가 작업물(102)을 제3 스캔 필드 내의 임의의 위치에 위치시킬 수 있는(따라서, 작업물(102)을 이동시키거나, 제3 스캔 필드 내의 제1 스캔 필드를 스캔하거나, 및/또는 제3 스캔 필드 내의 제2 스캔 필드를 스캔할 수 있는) 위치 지정 속도는 제2 위치 지정 대역폭 미만인 범위(또한, 본원에서 "제3 위치 지정 대역폭"으로 지칭됨)에 걸친다. 일 실시예에서, 제3 위치 지정 대역폭은 500 Hz(또는 그 정도) 미만이다. 예를 들어, 제3 위치 지정 대역폭은 500 Hz, 250 Hz, 150 Hz, 100 Hz, 75 Hz, 50 Hz, 25 Hz, 10 Hz, 7.5 Hz, 5 Hz, 2.5 Hz, 2 Hz, 1.5 Hz, 1 Hz

등의 이하이거나 또는 이들 값 중 어느 것 사이일 수 있다.

[0070] 일 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 (예를 들어, 각각 X 방향, Y 방향 및/또는 Z 방향을 따라 작업물(102)에 대한 병진 이동(translational movement) 을 제공할 수 있는) 하나 이상의 선형 스테이지(linear stages), (예를 들어, 각각 X 방향, Y 방향 및/또는 Z 방향에 평행한 축에 대해 작업물(102)에 대한 회전 이동을 제공할 수 있는) 하나 이상의 회전형 스테이지(rotational stages) 등, 또는 이들의 어느 조합으로 제공된다. 일 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 작업물(102)을 X 방향을 따라 이동시키는 X 스테이지, 및 작업물(102)을 Y 방향을 따라 이동시키기 위해 X 스테이지에 의해 지지되는 (따라서, X 스테이지에 의해 X 방향을 따라 이동 가능한) Y 스테이지를 포함한다.

[0071] 도시되진 않았지만, 장치(100)는 제3 위치 지정기(110)의 스테이지에 결합된 고정물(예를 들어, 척(chuck))을 선택적으로 포함할 수 있다. 고정물은 지지 영역을 포함할 수 있고, 작업물(102)은 고정물에 기계적으로 클램핑되거나 고정되거나 유지되거나 채워질 수 있고, 다른 방식으로 지지 영역 내에서 고정물에 의해 지지될 수 있다. 일 실시예에서, 작업물(102)은 고정물의 통상적으로 편평한 주 지지 표면에 직접적으로 접촉하도록 클램핑되거나, 고정되거나, 유지되거나, 채워지거나 또는 다른 방식으로 지지될 수 있다. 다른 실시예에서, 작업물(102)은 고정물의 지지 표면으로부터 이격되도록 클램핑되거나, 고정되거나, 유지되거나, 채워지거나 또는 다른 방식으로 지지될 수 있다. 일 실시예에서, 작업물(102)은 고정물으로부터 작업물(102)에 선택적으로 적용되는 힘, 또는 다른 방식으로 작업물(102)과 고정물 사이에 존재하는 힘(예를 들어, 정전기력, 진공력, 자기력)을 통해 고정되거나, 유지되거나 또는 채워질 수 있다.

[0072] 따라서, 앞서 설명된 바와 같이, 장치(100)는 소위 "스택형(stacked)" 위치 지정 시스템을 제3 위치 지정기(110)로서 이용하고, 이는 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 다른 구성요소의 위치는 작업물(102)에 대해 (예를 들어, 이 기술분야에서 알려진 바와 같이 하나 이상의 지지물, 프레임 등을 통해) 장치(100) 내에 정적으로 유지되는 동안 작업물(102)이 이동되는 것을 가능하게 한다. 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등 또는 이의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열되고 작동될 수 있고, 작업물(102)은 정적으로 유지될 수 있다.

[0073] 또 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등 또는 이의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 구성요소가 (예를 들어, 프레임, 갠트리(gantry) 등에 장착된) 하나 이상의 선형 또는 회전형 스테이지에 의해 운반되고, 작업물(102)이 하나 이상의 다른 선형 또는 회전형 스테이지에 의해 운반되는 소위 "분할 축(split-axis)" 위치 지정 시스템으로서 제공될 수 있다. 이러한 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 (예를 들어, 제2 위치 지정기(108) 및 스캔 렌즈(112)를 포함하는) 스캔 헤드와 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열되고 작동되는 하나 이상의 선형 또는 회전형 스테이지, 및 작업물(102)을 이동시키도록 배열되고 작동되는 하나 이상의 선형 또는 회전형 스테이지를 포함한다. 예를 들어, 제3 위치 지정기(110)는 Y 방향을 따른 작업물(102)의 이동을 제공하기 위한 Y-스테이지 및 X 방향을 따른 스캔 헤드의 이동을 제공하기 위한 X-스테이지를 포함할 수 있다. 장치(100)에 유리하게 또는 이롭게 이용될 수 있는 분할 축 위치 지정 시스템의 일부 예시는 각각 그 전체가 본원에 참조로 통합되는, 미국특허번호 제5,751,585호, 제5,798,927호, 제5,847,960호, 제6,606,999호, 제7,605,343호, 제8,680,430호, 제8,847,113호, 또는 미국특허출원 공개번호 제2014/0083983호, 또는 이들의 어느 조합에 개시된 것 중 어느 것이라도 포함한다.

[0074] 제3 위치 지정기(110)가 Z-스테이지를 포함하는 일 실시예에서, 상기 Z-스테이지는 작업물(102)을 Z 방향을 따라 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있다. 이 경우, Z-스테이지는 작업물(102)을 이동시키거나 또는 위치시키기 위한 다른 전술한 스테이지 중 하나 이상에 의해 운반될 수 있거나, 작업물(102)을 이동시키거나 위치시키기 위한 다른 전술한 스테이지 중 하나 이상을 운반할 수 있거나 또는 이의 임의의 조합일 수 있다. 제3 위치 지정기(110)가 Z-스테이지를 포함하는 다른 실시예에서, Z-스테이지는 스캔 헤드를 Z 방향을 따라 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있다. 따라서, 제3 위치 지정기(110)가 분할-스테이지 위치 지정 시스템으로서 제공되는 경우, Z-스테이지는 X-스테이지를 운반하거나 또는 이에 의해 운반될 수 있다. 작업물(102) 또는 스캔 헤드를 Z 방향을 따라 이동시키는 것은 작업물(102)에서 스폿 크기의 변경을 초래할 수 있다.

[0075] 또 다른 실시예에서, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 하나 이상의 구성요소는 관절이 있는 다중-축 로봇 암(예를 들어, 2축 암, 3축 암, 4축 암, 5축 암 또는 6축 암)에 의해 운반될 수 있다. 이러한 실시예에서, 제2 위치 지정기(108) 및/또는 스캔 렌즈(112)는 선택적으로, 로봇 암의 엔드

이펙터(end effector)에 의해 운반될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 작업물(102)은 관절이 있는 다중-축 로봇 암의 엔드 이펙터 상에 직접적으로 (즉, 제3 위치 지정기(110) 없이) 운반될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 관절이 있는 다중-축 로봇 암의 엔드 이펙터 상에 운반될 수 있다.

[0076] D. 스캔 렌즈

[0077] (예를 들어, 단순 렌즈(simple lens) 또는 복합 렌즈로서 제공되는) 스캔 렌즈(112)는 통상적으로 바람직한 가공 스폿에 또는 그 근처에 위치될 수 있는 빔 웨이스트를 생성하기 위해, 빔 경로를 따라 지향된 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 일반적으로 구성된다. 스캔 렌즈(112)는 (보여진 바와 같이) 비-텔레센트릭 f-세타 렌즈(non-telecentric f-theta lens), 텔레센트릭 f-세타 렌즈, 액시콘 렌즈(axicon lens)(이 경우, 빔 축을 따라 서로 이격된 복수의 가공 스폿을 생성하는 일련의 빔 웨이스트가 생성됨), 등 또는 이들의 어느 조합으로 제공될 수 있다.

[0078] 일 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 고정된 초점 거리 렌즈로서 제공되고, (예를 들어, 빔 축을 따라 빔 웨이스트의 위치를 변경하기 위해) 스캔 렌즈(112)를 이동시키도록 작동하는 스캔 렌즈 액추에이터(예를 들어, 렌즈 액추에이터, 미도시)에 결합된다. 예를 들어, 렌즈 액추에이터는 스캔 렌즈(112)를 Z 방향을 따라 선형으로 이동시키도록 작동하는 음성 코일로서 제공될 수 있다. 이 경우, 스캔 렌즈(112)는 용융 실리카(fused silica), 광학 유리, 아연 셀렌화물(zinc selenide), 황화 아연(zinc sulfide), 게르마늄, 갈륨 비소, 플루오르화 마그네슘(magnesium fluoride) 등과 같은 재료로 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 빔 웨이스트의 위치를 빔 축을 따라 변경하도록 (예를 들어, 렌즈 액추에이터를 통해) 작동될 수 있는 가변 초점 거리 렌즈(예를 들어, 줌 렌즈 또는 현재 COGNEX, VARIOPTIC 등에 의해 상용화된 기법들을 포함하는 소위 "유체 렌즈(liquid lens)")로서 제공된다. 빔 축을 따라 빔 웨이스트의 위치를 변경하는 것은 작업물(102)에서의 스폿 크기의 변경을 초래할 수 있다.

[0079] 장치(100)가 렌즈 액추에이터를 포함하는 실시예에서, 렌즈 액추에이터는 (예를 들어, 제2 위치 지정기(108)에 대해, 스캔 헤드 내에서 스캔 렌즈(112)의 이동을 가능하게 하도록) 스캔 렌즈(112)에 결합될 수 있다. 대안적으로, 렌즈 액추에이터는 (예를 들어, 스캔 렌즈(112) 및 제2 위치 지정기(108)가 함께 이동할 경우, 스캔 렌즈 그 자체의 이동을 가능하게 하기 위해) 스캔 헤드(120)에 결합될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112) 및 제2 위치 지정기(108)는 (스캔 렌즈(112)가 통합되는 하우징이 제2 위치 지정기(108)가 통합되는 하우징에 대해 이동 가능하도록) 상이한 하우징에 통합된다.

[0080] F. 제어기

[0081] 일반적으로, 장치(100)는 장치(100)의 작동을 제어하거나 또는 이의 제어를 용이하게 하기 위해 제어기(122)와 같은 하나 이상의 제어기를 포함한다. 일 실시예에서, 제어기(122)는 (예를 들어, USB, RS-232, 이더넷, Firewire, Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬, 통신 링크를 통해) 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물 등과 같은 장치(100)의 하나 이상의 구성요소에 통신 가능하게 결합되며, 따라서, 이들은 제어기(122)에 의해 출력된 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 작동한다.

[0082] 예를 들어, 제어기(122)는 작업물(102) 내의 경로 또는 궤적(또한, 본원에서 "가공 궤적"으로 지칭됨)을 따라 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 유발하기 위해, 빔 축과 작업물 사이의 상대적인 이동을 제공하도록 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 또는 제3 위치 지정기(110) 또는 이들의 임의의 조합의 작동을 제어할 수 있다. 이들 위치 지정기 중 어느 두 개 또는 이들 위치 지정기 중 세 개 모두, 두 개의 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106)와 제2 위치 지정기(108), 제1 위치 지정기(106)와 제3 위치 지정기(110), 또는 제2 위치 지정기(108)와 제3 위치 지정기(110)) 또는 세 개의 위치 지정기 모두가 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 동시에 제공하도록(그로 인해, 빔 축과 작업물 사이에 "복합 상대적인 이동(compound relative movement)"을 제공하도록) 제어될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 물론, 언제라도, 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 제공하기 위해(이를 통해, 빔 축과 작업물 사이에 "비-복합 상대적인 이동"을 제공함으로써) 하나의 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 또는 제3 위치 지정기(110)) 만을 제어하는 것이 가능하다.

[0083] 일 실시예에서, 제어기(122)는 작업물(102) 내의 가공 궤적을 따라 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 유발하기 위해, (예를 들어, 대응하는 제2 위치 지정기(108)와 협력하여, 제3 위치 지정기(110)와 협력

하여, 또는 이의 임의의 조합으로) 빔 축과 각 작업물(102) 사이에 복합 상대적인 이동을 제공하는 방식으로 또는 비-복합 상대적인 이동을 제공하는 방식으로, 빔 경로(114)를 각 프라이머리 각도 범위(116) 내로 편향시키도록 제1 위치 지정기(106)의 작동을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 작업물(102a) 내의 제1 가공 궤적을 따라 가공 스폿과 작업물(102a) 사이에 상대적인 이동을 유발하기 위해, (예를 들어, 대응하는 제2 위치 지정기(108a)와 협력하여, 제3 위치 지정기(110)와 협력하여, 또는 이의 임의의 조합으로) 빔 축과 각 작업물(102a) 사이에 복합 상대적인 이동을 제공하는 방식으로 또는 비-복합 상대적인 이동을 제공하는 방식으로, 빔 경로(114)를 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내로 편향시키도록 제어될 수 있다. 마찬가지로, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 작업물(102b) 내의 제2 가공 궤적을 따라 가공 스폿과 작업물(102b) 사이에 상대적인 이동을 유발하기 위해, (예를 들어, 대응하는 제2 위치 지정기(108b)와 협력하여, 제3 위치 지정기(110)와 협력하여, 또는 이의 임의의 조합으로) 빔 축과 각 작업물(102b) 사이에 복합 상대 이동을 제공하는 방식으로 또는 비-복합 상대 이동을 제공하는 방식으로, 빔 경로(114)를 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내로 편향시키도록 제어될 수 있다. 제1 가공 궤적은 제2 가공 궤적과 동일하거나, 또는 이와 상이할 수 있다.

[0084] 다른 실시예에서, 제어기(122)는 임의의 대응하는 제2 위치 지정기(108)에 의해 도입된 트래킹 오차(tracking errors)를 보상하는 방식으로, 각 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 빔 경로(116)를 편향시키기 위해 제1 위치 지정기(106)의 작동을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 대응하는 제2 위치 지정기(108a)에 의해 도입된 트래킹 오차를 보상하는 방식으로 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 빔 경로(114)를 편향시키도록 제어될 수 있다. 마찬가지로, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 대응하는 제2 위치 지정기(108b)에 의해 도입된 트래킹 오차를 보상하는 방식으로 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 빔 경로(114)를 편향시키도록 제어될 수 있다.

[0085] 임의의 동작, 기능, 가공 및 방법 등을 수행하기 위해 전술한 구성요소 중 하나 이상이 제어될 수 있는 동작의 일부 다른 예시는 전술한 미국특허번호 제5,751,585호, 제5,847,960호, 제6,606,999호, 제8,680,430호, 제8,847,113호에 개시되거나, 또는 미국특허번호 제4,912,487호, 제5,633,747호, 제5,638,267호, 제5,917,300호, 제6,314,463호, 제6,430,465호, 제6,600,600호, 제6,606,998호, 제6,816,294호, 제6,947,454호, 제7,019,891호, 제7,027,199호, 제7,133,182호, 제7,133,186호, 제7,133,187호, 제7,133,188호, 제7,244,906호, 제7,245,412호, 제7,259,354호, 제7,611,745호, 제7,834,293호, 제8,026,158호, 제8,076,605호, 제8,288,679호, 제8,404,998호, 제8,497,450호, 제8,648,277호, 제8,896,909호, 제8,928,853호, 제9,259,802호, 또는 미국특허출원 공개번호 제2014/0026351호, 제2014/0196140호, 제2014/0263201호, 제2014/0263212호, 제2014/0263223호, 제2014/0312013호, 또는 독일특허번호 제DE102013201968B4호, 또는 국제특허공개번호 제WO2009/087392호, 또는 이들의 임의의 조합에 개시된 바 임의의 동작, 기능, 가공 및 방법 등을 포함하여 수행하도록 제어될 수 있다. 다른 예시에서, 제어기(122)는 예를 들어, 그 전체가 본원에 참고로 통합되는 국제특허공개번호 제WO2017/044646A1호에 개시된 바와 같이, (예를 들어, 하나 이상의 AOD의 하나 이상의 초음파 변환기 요소에 적용되는 RF 신호를 처핑(chirping)함으로써, 하나 이상의 AOD의 하나 이상의 초음파 변환기 요소에 스펙트럼 형태의 RF 신호를 적용함으로써 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 가공 스폿에 전달된 레이저 에너지의 빔의 스폿 형태 또는 스폿 크기를 변경하도록 하나 이상의 AOD를 포함하는 임의의 위치 지정기(예를 들어, 일부 실시예에서, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 또는 이들의 조합)의 작동을 제어할 수 있다. 적용된 RF 신호는 임의의 원하는 또는 적합한 방식으로 선형으로 또는 비선형으로 처핑될 수 있다. 예를 들어, 적용된 RF 신호는 두 개의 상이한 방식으로 AO 셀을 통과하는 레이저 에너지의 빔을 회절시키기 위해 제1 속도로, 그리고 그 후 제2 속도로 처핑될 수 있다. 이 경우, 제1 속도는 제2 속도보다 느리거나 빠를 수 있다.

[0086] 일반적으로, 제어기(122)는 명령어를 실행할 시 전술한 제어 신호를 생성하도록 작동하는 하나 이상의 프로세서를 포함한다. 프로세서는 명령어를 실행하도록 작동하는 (예를 들어, 하나 이상의 범용 컴퓨터 프로세서, 마이크로프로세서, 디지털 신호 프로세서 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는) 프로그램 가능 프로세서로서 제공될 수 있다. 프로세서(들)에 의해 실행 가능한 명령어는 소프트웨어, 펌웨어 등, 또는 프로그램 가능 논리 디바이스(programmable logic devices, PLD), 필드 프로그램 가능 게이트 어레이(field-programmable gate arrays, FPGA), 필드 프로그램 가능 객체 어레이(field-programmable object arrays, FPOA), 애플리케이션-특정 집적 회로(application-specific integrated circuits, ASIC) - 디지털, 아날로그 및 혼합된 아날로그/디지털 회로를 포함함 - 등, 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 임의의 적합한 회로의 형태로 구현될 수 있다. 명령어의 실행은 디바이스 내에서 또는 디바이스의 네트워크를 통해 등 또는 이들의 임의의 조합으로, 하나의 프로세서 상에서 수행되거나, 프로세서 사이에 분산되거나, 디바이스 내의 프로세서를 통해 병렬로 이루어질 수

있다.

[0087] 일 실시예에서, 제어기(122)는 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선 통신 링크를 통해) 프로세서에 의해 액세스 가능한 컴퓨터 메모리와 같은 유형 매체를 포함한다. 본원에 사용되는 바와 같이, "컴퓨터 메모리"는 자기 매체(예를 들어, 자기 테이프, 하드 디스크 드라이브 등), 광디스크, 휘발성 또는 비휘발성 반도체 메모리(예를 들어, RAM, ROM, NAND형 플래쉬 메모리, NOR형 플래쉬 메모리, SONOS 메모리 등) 등을 포함하고, 로컬로(locally), 원격으로(예를 들어, 네트워크를 통해), 또는 이들의 조합으로 액세스될 수 있다. 일반적으로, 명령어는 본원에 제공된 설명으로부터 기술자에게 쉽게 저술될(authored) 수 있는 예를 들어, C, C++, Visual Basic, Java, Python, Tel, Perl, Scheme, Ruby, 어셈블리 언어, 하드웨어 설명 언어(예를 들어, VHDL, VERILOG 등) 등으로 기록될 수 있는 컴퓨터 소프트웨어(예를 들어, 실행 가능한 코드, 파일, 명령어 등, 라이브러리 파일 등)로 저장될 수 있다. 컴퓨터 소프트웨어는 컴퓨터 메모리에 의해 전달되는 하나 이상의 데이터 구조에 공통적으로 저장된다.

[0088] 도시되진 않았지만, 하나 이상의 드라이버(예를 들어, RF 드라이버, 서보 드라이버, 라인 드라이버, 전원 등)는 레이저원(104), 제1 빔 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변-초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물 등과 같은 하나 이상의 구성요소의 입력에 이러한 구성요소를 제어하기 위해 통신 가능하게 결합될 수 있다. 따라서, 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로 제공될 때), 고정물과 같은 하나 이상의 구성요소는 이 기술분야에 알려진 바와 같이 임의의 적합한 드라이버도 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 이러한 드라이버의 각각은 통상적으로 제어기(122)에 통신 가능하게 결합된 입력을 포함할 것이고, 제어기(122)는 장치(100)의 하나 이상의 구성요소와 연관된 하나 이상의 드라이버의 입력(들)에 투과될 수 있는 하나 이상의 제어 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)을 생성하도록 작동한다. 따라서, 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물 등과 같은 구성요소는 제어기(122)에 의해 생성된 제어 신호에 응답한다.

[0089] 도시되진 않았지만, 하나 이상의 추가적인 제어기(예를 들어, 구성요소-특정 제어기)는 선택적으로, 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로 제공될 때), 고정물 등과 같은 구성요소에 통신 가능하게 결합된(따라서 구성요소와 연관된) 드라이버의 입력에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 각 구성요소-특정 제어기는 제어기(122)에 통신 가능하게 결합되고, 제어기(122)로부터 수신된 하나 이상의 제어 신호에 응답하여, 하나 이상의 제어 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)를 생성하도록 작동될 수 있으며, 이들은 그 후 통신 가능하게 결합된 드라이버(들)의 입력(들)에 투과될 수 있다. 이 실시예에서, 구성요소-특정 제어기는 제어기(122)에 대해 유사하게 설명된 바와 같이 작동할 수 있다.

[0090] 하나 이상의 구성요소-특정 제어기가 제공되는 다른 실시예에서, 하나의 구성요소(예를 들어, 레이저원(104))와 연관된 구성요소-특정 제어기는 하나의 구성요소(예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 등)와 연관된 구성요소-특정 제어기에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 구성요소-특정 제어기 중 하나 이상은 하나 이상의 다른 구성요소-특정 제어기로부터 수신된 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 하나 이상의 제어 신호들(예를 들어, 트리거 신호 등)을 생성하도록 작동할 수 있다.

[0091] iii. 제1 위치 지정기에 관한 예시적인 실시예

[0092] A. AOD 시스템에 관한 실시예

[0093] 도 2를 참조하면, 제1 위치 지정기(106)가 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) AOD 시스템으로서 제공될 때, 제1 위치 지정기(106)는 0차 빔 경로(200)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)와 제2 프라이머리 각도 범위(116b)사이에 위치되는 빔 경로 편향 방식을 구현하도록 작동될 수 있다. 이 편향 방식에서, 제1 위치 지정기(106)는 적용된 RF 구동 신호의 위상을 반전시킴으로써, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 또는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 빔 경로(114)를 편향시키도록 (예를 들어, 특정 주파수를 갖는 적용된 RF 구동 신호에 응답하여) 작동되거나 또는 구동될 수 있다. 도시된 실시예에서, 빔 트랩(202)은 빔 경로(200)를 따라 전파하는 레이저 에너지를 흡수하도록 배열된다.

[0094] 도 3을 참조하면, 제1 위치 지정기(106)가 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) AOD 시스템으로서 제공될 때, 제1 위치 지정기(106)는 0차 빔 경로(300)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)와 제2 프라이머리 각도 범위

(116b) 사이에 위치되지 않는 빔 경로 편향 방식을 구현하도록 작동될 수 있다. 이 편향 방식에서, 제1 위치 지정기(106)는 적용된 RF 구동 신호의 위상을 반전시키지 않고 적용된 RF 구동 신호의 주파수를 변경함으로써, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 또는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 입사 빔 경로(114)를 편향시키도록 (예를 들어, 특정 주파수를 갖는 적용된 RF 구동 신호에 응답하여) 작동되거나 또는 구동될 수 있다. 도시된 실시예에서, 빔 트랩(202)은 빔 경로(300)를 따라 전파하는 레이저 에너지를 흡수하도록 배열된다.

[0095] 도 2 및 도 3에 대해 위에서 논의된 실시예 중 어느 것에서, 제1 위치 지정기(106)는 단일-축 AOD 시스템 또는 다중-축 AOD 시스템으로서 제공될 수 있다. (예를 들어, 위에서 논의된) 임의의 AOD 시스템 내의 AOD의 구성에 의존하여, AOD는 종방향-모드 AOD 또는 전단-모드 AOD(shear-mode AOD)로서 특징지어질 수 있으며, 선형으로 편광되거나 또는 원형으로 편광되는 레이저 에너지의 빔을 회절시키도록 작동할 수 있다. 따라서, 레이저 에너지의 빔의 파장 및 AOD 시스템에서 임의의 AOD의 AO 셀이 형성되는 재료에 의존하여, AOD에서 AO 셀의 회절 축이 그에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면에 평행하거나 또는 이에 수직하도록 (또는 이에 적어도 실질적으로 평행하거나 또는 이에 수직하도록) 그 안의 임의의 AOD가 배향될 수 있다. 예를 들어, 레이저 에너지의 빔의 파장이 전자기 스펙트럼의 자외선 또는 가시광선의 녹색 범위에 있고 AOD의 AO 셀이 석영과 같은 재료로 형성되면, AOD는 AO 셀의 회절 축이 그에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면에 수직하도록 (또는 이에 적어도 실질적으로 수직하도록) 배향될 수 있다. 다른 예시에서, 레이저 에너지의 빔의 파장이 전자기 스펙트럼의 소위 중간 파장 또는 장파장 적외선 범위(즉, 3㎛(또는 그 정도)로부터 15㎛(또는 그 정도)의 범위에 걸친 파장)에 있고, AOD의 AO 셀이 결정질 게르마늄과 같은 재료로 형성되면, AOD는 AO 셀의 회절 축이 그에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면에 평행하도록 (또는 이에 적어도 실질적으로 평행하도록) 배향될 수 있다.

[0096] 도 4를 참조하면, 다중-축 AOD 시스템은 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)를 포함하는 다중-셀, 다중-축 AOD 시스템(400)으로서 제공될 수 있다. 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404) 모두는 위에서 설명된 임의의 방식으로 제공될 수 있다. 제1 AOD(402)는 편향된 빔 경로(114')를 따라 전파하는 1차 빔을 투과시키기 위해, (또한, 본원에서 "제1 AOD 각도 범위(406)"로 지칭되는) 제1 각도 범위 내의 임의의 각도(예를 들어, 제1 AOD(402)에 입사하는 빔 경로(114)에 대해 측정됨)만큼, (예를 들어, 빔 경로(114)를 따라 전파하는) 레이저 에너지의 입사된 빔을 제1 회전 축에 대해 회전시키도록 배열되고 작동된다. 마찬가지로, 제2 AOD(404)는 편향된 빔 경로(114")를 따라 전파하는 1차 빔을 투과하기 위해, (또한, 본원에서 "제2 AOD 각도 범위(408)"로 지칭되는) 제2 각도 범위 내의 임의의 각도(예를 들어, 제2 AOD(404)상에 입사된 빔 경로(114')에 대해 측정됨)만큼, 제1 AOD(402)에 의해 투과된 레이저 에너지의 입사된 빔(0차 빔, 1차 빔 등 또는 이들의 임의의 조합일 수 있음)을 제2 회전 축에 대해 회전시키도록 배열되고 작동된다. 인식될 바와 같이, 빔 경로(114') 및 빔 경로(114")의 각각은 레이저 에너지의 빔이 전파할 수 있는 경로의 특정 예시를 나타낸다; 그러므로, 빔 경로(114') 및 빔 경로(114")의 각각은 또한, 일반적으로 본원에서 "빔 경로(114)"로 지칭될 수 있다.

[0097] 일반적으로, 제2 AOD(404)는 제2 회전 축이 제1 회전 축과 상이하도록 제1 AOD(402)에 대해 배향된다. 예를 들어, 제2 회전 축은 제1 회전 축에 직교하거나 또는 이에 비스듬할 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 제2 AOD(404)는 제2 회전 축이 제1 회전 축에 평행하도록 (또는 이에 적어도 실질적으로 평행하도록) 제1 AOD(402)에 대해 배향된다. 이 경우, 하나 이상의 광학 구성요소는 제1 AOD(402)의 편향 평면이 제2 AOD(404) 상으로 투영될 때, 제2 AOD(404)의 편향 평면의 배향에 대해 (예를 들어, 90도만큼 또는 그 정도만큼) 회전되도록, 제1 AOD(402)의 편향 평면을 (예를 들어, 90도만큼 또는 그 정도만큼) 회전시키기 위해 빔 경로(114')에 배열될 수 있다. 예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이, 편향 평면이 어떻게 회전될 수 있는지의 예시에 대해서는 국제공개 특허번호 제2019/060590 A1호를 참조한다.

[0098] 일반적으로, 제1 AOD(402) 내의 AO 셀은 제2 AOD(404) 내의 AO 셀과 동일하거나 또는 이와 상이할 수 있는 재료로 형성된다. 또한, 레이저 에너지의 입사된 빔을 편향시키기 위해 제1 AOD(402)가 사용하는 음향파의 타입(즉, 전단 모드 또는 종방향-모드)은 제2 AOD(404)가 레이저 에너지의 입사된 빔을 편향시키기 위해 사용하는 음향파의 타입과 동일하거나 또는 상이할 수 있다.

[0099] AOD 시스템(400)은 제1 AOD(402)만이 1차 빔을 생성하거나, 제2 AOD(404)만이 1차 빔을 생성하거나, 또는 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404) 모두가 1차 빔을 생성하도록 언제든지 작동될 수 있음이 인식될 것이다. 따라서, 제1 위치 지정기(106)에 의해 생성된 빔 경로(114)의 편향은 빔 경로(114')로부터 획득된 편향만으로부터, 빔 경로(114")로부터 획득된 편향만으로부터 또는 빔 경로(114' 및 114")로부터 획득된 편향의 중첩으로부터 초래하는 것으로 간주될 수 있다. 마찬가지로, 프라이머리 각도 범위(116)는 제1 AOD 각도 범위(406)만으로, 제2 AOD 각도 범위(408)만으로 또는 제1 AOD 각도 범위(406) 및 제2 AOD 각도 범위(408)의 중첩인 것으로 간주될 수 있다. 마지막으로, 도 4에 도시된 프라이머리 각도 범위(116)는 도 2 또는 도 3 중 임의의 것에 도시된 제1 프라이머

리 각도 범위(116a) 또는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 중 임의의 것일 수 있다.

[0100] 도 4에 도시된 실시예에서, 제1 AOD(402)를 빠져나가는 0차 빔은 제2 AOD(404)로 투과되고, 제2 AOD(404)에 의해 투과된 0차 빔은 빔 트랩(미도시)에 의해 흡수될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 다른 실시예에서, 제1 AOD(402)에 의해 투과된 0차 빔은 0차 빔 경로를 따라 제1 AOD(402)로부터 전파하는 레이저 에너지가 제2 AOD(404)로 투과되는 것을 방지하기 위해, (예를 들어, 제1 AOD(402)와 제2 AOD(404) 사이에 개재된 빔 트랩 또는 미러(미도시)에 의해) 가로막힐 수 있다. 제1 AOD(402)가 상대적으로 높은 회절 효율을 갖고, 레이저 펄스의 전체 지속시간 동안 유지될 수 있는 경우, 위에서 설명된 바와 같이 0차 빔을 가로막는 것이 바람직할 수 있다. 하지만, 전체 펄스 지속시간 동안 제1 AOD(402)를 유지하는 것은 두 개의 AOD에 대한 열 부하가 종종 상대적으로 동일하고, 따라서 제2 AOD(404)가 제1 AOD(402)를 보상할 수 있으므로, 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)에 대한 평균 열 부하를 증가시킬 수 있다. AOD에 대한 증가된 열 부하는 (예를 들어, 열 렌징에 기인하여) 잠재적으로 바람직하지 않은 빔 왜곡을 유발할 수 있다.

[0101] 위의 것에도 불구하고, 0차 빔을 제2 AOD(404)로 투과하는 것은 때때로, 제2 AOD(404)의 AO 셀을 제1 AOD(402)의 AO 셀과 동일한 온도로 (또는 이와 동일한 온도에 가깝게) 유지하는 데 도움이 될 수 있다. 0차 빔을 제2 AOD(404)로 투과시키는 것은 또한, 제2 AOD(404)의 작동 동안 레이저 에너지의 빔이 통과하는 제2 AOD(404)의 AO 셀의 영역 내에서 상대적으로 균일한 온도 분포를 유지하는 데 도움이 될 수 있으며, 그로 인해, 제2 AOD(404)의 작동 동안 열 렌징, 빔 드리프트(beam drift) 등과 같은 바람직하지 않은 효과를 제거하거나 그렇지 않으면 이를 감소시킨다. 위의 것을 고려하여, 0차 빔을 제2 AOD(404)로 투과하는 것은 AO 셀이 형성되는 재료가 편향될 레이저 에너지의 빔의 파장에서 상대적으로 높은 흡수 계수를 가질 때 특히 유리할 수 있다. 예를 들어, 결정질 게르마늄은 (예를 들어, 전자기 스펙트럼의 근자외선 내지 가시광선 파장 범위의 파장에서 석영의 흡수 계수에 비해) 전자기 스펙트럼의 중간 파장 내지 장파장 적외선 범위의 파장에서 상대적으로 높은 흡수 계수를 갖는 것으로 알려진다.

[0102] 제1 위치 지정기(106)가 AOD 시스템(400)과 같은 AOD 시스템으로서 제공될 때, 제1 위치 지정기(106)는 빔 트랩, 빔 확장기, 빔 성형기, 조리개, 필터, 시준기, 렌즈, 미러, 위상 지연기, 편광기 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 다른 추가적인 광학 구성요소를 선택적으로 포함할 수 있다.

[0103] B. 일반적으로 빔 덤프 시스템에 관한 실시예

[0104] 일부 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)는 AOD로부터 원치 않는 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 포착하고 흡수하기 위한(즉, 트랩하기 위한) 하나 이상의 빔 덤프 시스템을 포함한다. 통상적으로, AOD로부터 전파하는 원치 않는 레이저 에너지는 레이저 에너지를(예를 들어, 그의 반사 표면으로부터) 멀리 떨어져 위치된 빔 트랩으로 반사하는 픽오프 미러를 사용하여 전환된다. 레이저 에너지는 픽오프 미러로부터 빔 트랩으로 직접적으로, 또는 하나 이상의 추가적인 중계 미러를 통해 간접적으로 반사될 수 있다. 픽오프 미러 및 빔 트랩(및 그 사이의 임의의 중계 미러)은 빔 덤프 시스템을 구성한다.

[0105] 도 5를 참조하면, 제1 위치 지정기(106)는 제1 AOD(402)의 광학 출력 측에 배열된 빔 덤프 시스템(500)(또한 본원에서 "제1 빔 덤프 시스템"으로 지칭됨)을 포함할 수 있다. 제1 AOD(402)는 통상적으로 레이저 에너지의 입사된 빔을 회절시키도록 작동되며, 그로 인해 각각 0차 및 1차 빔 경로(300 및 114')를 따라 제1 AOD(402)로부터 전파하는 0차 및 1차 빔을 생성한다. 종종, 다른 회절 차수의 하나 이상의 빔이 또한 생성되고, 이들 각각은 도 5에서 502로 일반적으로 라벨링된 하나 이상의 다른 빔 경로를 따라 제1 AOD(402)로부터 전파할 수 있다. 빔 덤프 시스템(500)은 빔 경로(502) 중 임의의 것과 같은 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 트랩하도록 구성되는 한편, 0차 및 1차 빔 경로(300 및 114')를 따라 전파하는 레이저 에너지가 각각 (예를 들어, 제2 AOD(404)로) 계속 전파하는 것을 허용한다. 다른 실시예에서, 빔 덤프 시스템(500)은 또한, (즉, 레이저 에너지가 제2 AOD(404)로 전파하는 것을 방지하기 위해) 0차 빔 경로(300)를 따라 전파하는 레이저 에너지를 트랩하도록 구성될 수 있다.

[0106] 도 6을 참조하면, 제1 위치 지정기(106)는 제2 AOD(404)의 광학 출력 측에 배열된 빔 덤프 시스템(600)(또한, 본원에서 "제2 빔 덤프 시스템"으로도 지칭됨)을 포함할 수 있다. 제2 AOD(404)는 통상적으로, (예를 들어, 제1 AOD(402)로부터 1차 빔 경로(114')를 따라 전파하고, 선택적으로 제1 AOD(402)로부터 0차 빔 경로(300)를 따라 전파하는) 레이저 에너지의 입사된 빔을 회절시키도록 작동된다. 제2 AOD(404)의 동작 동안, 빔 경로(114')를 따라 전파하는 레이저 에너지의 입사된 빔은 제2 AOD(404)로부터 1차 빔 경로(114")를 따라 전파하는 1차 빔을 생성하도록 회절된다. 제1 AOD(402)와 마찬가지로, 다른 회절 차수의 하나 이상의 빔이 또한, 제2 AOD(404)의 작동 동안 생성될 수 있으며, 이들 각각은 도 6에서 일반적으로 602로 라벨링된 하나 이상의 다른 빔 경로를 따

라 제2 AOD(404)로부터 전파할 수 있다. 덧붙여, 제1 AOD(402)로부터 0차 빔 경로(300)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 적어도 일부는 제2 AOD(404)로부터 0차 빔 경로(300)를 따라 전파할 수 있다. 빔 덤프 시스템(600)은 빔 경로(300 및 602)와 같은 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 트랩하도록 구성되는 한편, 1차 빔 경로(114")를 따라 전파하는 레이저 에너지가 (예를 들어, 제2 위치 지정기(108)로) 계속 전파하는 것을 허용한다.

[0107] 일 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)는 제1 빔 덤프 시스템(500) 및 제2 빔 덤프 시스템(600) 모두를 포함한다. 하지만, 다른 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)는 제1 빔 덤프 시스템(500)을 포함할 수 있지만 제2 빔 덤프 시스템(600)은 포함하지 않을 수 있거나, 또는 제2 빔 덤프 시스템(600)을 포함할 수 있지만 제1 빔 덤프 시스템(500)은 포함하지 않을 수 있다. 제1 빔 덤프 시스템(500) 및 제2 빔 덤프 시스템(600)(각각 본원에서 일반적으로 "빔 덤프 시스템"으로 지칭됨)이 다중-셀, 다중-축 AOD 시스템(400)으로서 제공되는 제1 위치 지정기(106) 내에 통합되는 것으로 본원에서 설명되지만, 본원에서 설명된 임의의 수의 빔 덤프 시스템이 하나의 AOD만을 포함하는 제1 위치 지정기(106)에 통합되거나, 또는 프리즘, 렌즈, 검류계 미러 시스템, 고속 조향 미러 시스템 등 또는 이들의 임의의 조합과 함께 사용될 수 있음이 인식될 것이다.

[0108] i. 빔 덤프 시스템에 관한 예시적인 실시예

[0109] 일 실시예에서, 빔 덤프 시스템의 픽오프 미러 및 빔 트랩(및 그 사이의 임의의 중계 미러)은 물리적으로 분리된 구성요소로서 제공되며, 이들의 각각은 (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프, 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 공통 광학 브레드보드(common optical breadboard) 등 상에 분리되어 제공되고 장착된다. 이는 유연한 해결책을 제공하지만, 서로에 대한 이들 구성요소의 정렬은 어렵고 시간 소모적인 프로세스일 수 있다.

[0110] 빔 덤프 시스템의 별도로 제공되는 구성요소와 연관된 전술한 잠재적인 문제를 해결하는데 있어서, 다른 실시예에 따른 빔 덤프 시스템은 픽오프 미러, 빔 트랩 및 임의의 중간 중계 미러(intervening relay mirrors)를 (그리고 선택적으로 미리 정렬된 채로) 공통 패키지에 통합할 수 있다. 그 후, 이러한 빔 덤프 시스템(또한, 본원에서 "통합 빔 덤프 시스템"으로도 지칭됨)은 이 기술분야에 알려진 임의의 적합한 방식으로 빔 경로 조립체에 쉽게 통합될 수 있으며, 여기서 행해질 유일한 정렬은 통합 빔 덤프 시스템의 광학 입력을 임의의 원치 않는 빔 경로와 정렬하는 것이다.

[0111] 하나의 예시적인 실시예에서, 통합 빔 덤프 시스템은 하나 이상의 분리되어 제공되는 픽오프 미러, 하나 이상의 빔 트랩 및 선택적으로 픽오프 미러와 빔 트랩 사이에 하나 이상의 중계 미러를 포함할 수 있고, 이들 모두 (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합의 수단에 의해) 광학 브레드보드와 같은 공통 구조에 장착된다. 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 광학 브레드보드는 일반적으로 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 탄소 섬유 강화 폴리머 조성물 등과 같은 재료로 형성된 판형 구조이며, 이는 (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 어느 광학 구성요소가 장착될 수 있는 판형 표면을 제공한다. 그 후, 광학 브레드보드는 결국, 레이저-가공 장치(100)의 빔 경로 조립체에 장착될 수 있다.

[0112] 다른 예시적인 실시예에서, 별도로 제공되는 구성요소가 장착되는 공통 구조는 (예를 들어, 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금, 탄소 섬유 강화 폴리머 조성물 등과 같은 재료로 형성되는) 프레임일 수 있다. 이 경우, 프레임은 별도로 제공된 구성요소 중 상이한 것들이 (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 개별적으로 장착될 수 있는 다수의 표면(이들 중 적어도 두 개는 동일 평면이 아님)을 제공한다. 프레임은 이 기술분야에 알려진 임의의 적합하거나 또는 바람직한 방식으로, 예를 들어, CNC 밀링(CNC milling), 주조, 용접, 진공 배깅(vacuum bagging), 압축 성형 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 제조될 수 있다.

[0113] 다른 예시적인 실시예에서, 프레임은 (예를 들어, 픽오프 미러, 중계 미러, 또는 이들의 임의의 조합으로 기능하기에 적합한) 하나 이상의 반사 표면, (예를 들어, 빔 트랩 또는 그의 일부로서 기능하기에 적합한) 하나 이상의 광학적으로 흡수성인 표면 또는 구조 등 또는 이들의 임의의 조합을 형성하기 위한 방식으로 제공되거나 또는 다른 방식으로 가공될 수 있다. 예를 들어, 프레임이 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금 등과 같은 금속 재료로 형성될 때, 프레임의 표면은 반사 표면을 형성하기 위해, (예를 들어, 화학적, 기계적으로, 또는 이들의 임의의 조합으로) 그라운드되거나(ground) 및/또는 연마될 수 있다. 또 다른 예시에서, 프레임이 형성되는 재료에 관계없이, 프레임의 표면은 표면 상에 입사되는 레이저 에너지의 빔에서 광의 파장에 반사되는 재료로 (예를 들어, 전기 도금 공정, 무전해 도금 공정, 진공 증착 공정 등 또는 이들의 조합을 통해) 코팅될 수 있다. 반사 표면을 형성하기 위해 프레임 상에 코팅될 수 있는 예시적인 재료는 알루미늄, 금, 은, 구리 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다.

[0114] 다른 예시에서, 프레임이 강철, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금 등과 같은 금속 재료로 형성될 때, 프레임의 표면은 (예를 들어, 빔 트랙 또는 그의 일부로서 기능하기에 적합한) 레이저 에너지의 입사된 빔을 적합하게 흡수하는 표면 또는 다른 구조를 형성하기 위해, 식각되거나, 거칠어 지게 처리되거나, 산화되거나, 양극 산화 처리(anodized)될 수 있다. 다른 예시에서, 프레임이 형성되는 재료에 관계없이, 프레임의 표면은 (예를 들어, 전기 도금 공정, 무전해 도금 공정, 진공 증착 공정, 페인팅 공정 등 또는 이의 임의의 조합을 통해) 그에 입사하는 레이저 에너지의 빔을 적합하게 흡수하는 재료로 코팅될 수 있다.

[0115] 빔 트랩의 구성 및 빔 트랩에 의해 흡수된 레이저 에너지의 빔의 출력 및 파장과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여, 빔 트랩은 레이저 에너지가 흡수될 때 바람직하지 않게 가열될 수 있다. 따라서, 통합 빔 덤프 시스템은 빔 트랩에 열적으로 결합되고 그로부터 열을 제거하도록 구성된 하나 이상의 냉각 시스템을 포함할 수 있다. 적합한 냉각 시스템의 예시는 히트 싱크, 히트 파이프, 펠티에 히트 펌프(Peltier heat pumps), 워터 블록(water blocks) 등 또는 이들의 조합을 포함한다. 일 실시예에서, 하나 이상의 냉각 시스템은 광학 브레드보드 또는 프레임에 열적으로 결합될 수 있다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 냉각 시스템은 광학 브레드보드 또는 프레임과 일체로 형성되거나 또는 다른 방식으로 이에 기계적으로 결합될 수 있다.

[0116] ii. 통합 빔 덤프 시스템에 관한 예시적인 실시예

[0117] 도 7을 참조하면, 통합 빔 덤프 시스템(700)과 같은 통합 빔 덤프 시스템은 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 재료로 형성된 프레임(702)을 포함할 수 있다. 프레임(702)은 표면(704, 706, 708, 710, 712, 714 및 716)과 같은 복수의 표면을 형성하기 위해, 이 기술분야에 알려진 임의의 적합한 또는 원하는 공정에 의해(예를 들어, CNC 밀링, 주조, 용접 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 형성될 수 있다. 일반적으로, 표면(704, 706 및 708)은 반사 표면으로서 제공되고, 표면(710, 712, 714 및 716)은 광학적으로 흡수성인 표면으로서 제공된다. 예를 들어, 도 8 및 도 9에 대해 더 상세히 논의된 바와 같이, 표면(704 및 706)은 픽오프 미러로서 기능할 수 있고, 표면(708)은 중계 미러로서 기능할 수 있으며, 표면(710, 712, 714 및 716)은 빔 트랩(718)을 형성하도록 서로에 대해 배열될 수 있다. 따라서, 표면(704 및 706)은 원치 않는 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(708)으로 전환시킬 수 있으며, 이는 전환된 레이저 에너지를 빔 트랩(718)으로 반사한다.

[0118] 표면(704, 706 및 708)은 프레임(702)의 형성 동안 또는 프레임(702)이 형성된 이후에 반사되도록 만들어질 수 있다. 예를 들어, 프레임(702)이 형성된 이후에, 표면(704, 706 및 708)은 표면(704, 706 및 708) 중 하나 이상이 형성된 프레임(702)의 영역에서 (예를 들어, 위에서 논의된) 하나 이상의 연삭 또는 연마 작업을 수행함으로써, 표면(704, 706 및 708) 중 하나 이상을 (예를 들어, 위에서 논의된) 적합한 반사성 재료로 코팅함으로써 등 또는 이들의 임의의 조합으로 반사성으로 만들어질 수 있다.

[0119] 표면(710, 712, 714 및 716)은 프레임(702)의 형성 동안 또는 프레임(702)이 형성된 후에 흡수성으로 만들어 질 수 있다. 예를 들어, 프레임(702)은 표면(704, 706, 708, 710, 712, 714 및 716)이 반사되도록 형성될 수 있고, 그 후에 표면(704, 706 및 708)은 프레임(702)에 적용되는 후속 공정(예를 들어, 하나 이상의 식각 작업, 거칠게 하는 작업, 산화 작업, 양극 산화 작업, 코팅 작업 등 또는 이들의 임의의 조합)이 표면(704, 706 및 708)이 광학적으로 흡수성이게 하는 것을 방지하도록 마스킹된다. 표면(704, 706 및 708)을 마스킹하기 위해 사용될 수 있는 예시적인 마스킹 재료는 이 기술분야에 알려진 테이프, 왁스, 래커(lacquer), 마스킹 수지 등을 포함한다. 표면(704, 706 및 708)이 적절하게 마스킹된 이후에, 표면(710, 712, 714 및 716)이 광학적으로 흡수성이도록 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 하나 이상의 동작이 수행될 수 있다. 그 후, 마스크 재료는 여전히-반사 표면(704, 706 및 708)으로부터 제거될 수 있다.

[0120] 일 실시예에서, 프레임(702)은 (예를 들어, 알루미늄 또는 알루미늄 산화물로 형성된) 블록을 기계 가공(예를 들어, CNC 밀링)함으로써 형성될 수 있고, 프레임(702)의 결과적인 표면은 레이저 에너지의 입사된 빔을 적어도 부분적으로 (또는 적어도 실질적으로) 흡수하기 위해 충분한 두께의 양극 산화물 층을 형성하도록 양극 산화될 수 있다. 일반적으로, 레이저 에너지의 원하는 광 흡수를 제공하기 위해 양극 산화물 층이 가져야 하는 최소 두께는 흡수될 레이저 에너지의 파장에 따라 의존할 것이다. 예를 들어, 적어도 45 ㎛의 두께로 형성된 양극 산화물 층은 9.4 ㎛의 파장에서 레이저 에너지의 적절한 흡수를 제공하기에 충분한 것으로 밝혀졌다. 프레임(702)을 양극 산화시킨 이후에, 표면(704, 706 및 708) 중 하나 이상이 형성되는 프레임(702)의 영역은 양극 산화물 층을 제거하기 위해 따라서, 적합하게 반사성인 표면을 형성하기 위해 그라운드되거나 및/또는 연마될 수 있다. 대안적으로, 표면(704, 706 및 708)은 프레임(702)을 양극 산화하기 전에 (예를 들어, 위에서 설명된 바와 같이) 마스킹될 수 있고, 마스킹 재료는 프레임(702)의 마스킹되지 않은 부분(예를 들어, 표면(710, 712, 714

및 716))이 적절하게 양극 산화된 이후에 제거될 수 있다.

[0121] 도 8을 참조하면, 표면(704)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(800))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(708)으로 전환시키기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 표면(708)은 표면(704)에 의해 반사된 레이저 에너지를 레이저 에너지가 흡수되는 빔 트랩(718)(예를 들어, 표면(716))으로 반사시키기 위한 중계 미러로서 기능할 수 있다. 도 8이 빔 경로(800)가 표면(716)에서 종결되는 것으로 도시하였지만(따라서 빔 경로(800)를 따라 전파하는 모든 레이저 에너지가 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지는 표면(716)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(716)으로부터 표면(712)으로 반사될 것이며, 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(716)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서 이는 적어도 부분적으로 흡수될 것이다.

[0122] 유사하게, 도 9를 참조로, 표면(706)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(900))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(708)으로 전환시키기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 표면(708)은 표면(704)에 의해 반사된 레이저 에너지를 레이저 에너지가 흡수되는 빔 트랩(718)으로(예를 들어, 표면(710)으로) 반사시키는 중계 미러로서 기능할 수 있다. 도 9가 표면(710)에서 종결되는 빔 경로(900)를 도시하였지만(따라서 빔 경로(900)를 따라 전파하는 모든 레이저 에너지가 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지가 표면(710)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(710)으로부터 표면(714)으로 반사될 것이며, 여기서 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(710)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서, 이는 적어도 부분적으로 흡수될 것이다.

[0123] 다시 도 7을 참조하면, 프레임(702)은 통합 빔 덤프 시스템(700)의 광학 입력으로서 기능하는 개구부(720)를 더 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 개구부(720)는 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 임의의 빔 경로를 따라 (예를 들어, 도 7에 도시된 빔 경로(114 또는 300)를 따라, 도 8 또는 도 9에 각각 도시된 빔 경로(800 또는 900)와 같은 다른 빔 경로를 따라, 또는 이들의 임의의 조합을 따라) 전파하는 레이저 에너지가 그를 통해 투과될 수 있도록 배열되고 크기가 조정된다. 프레임(702)은 통합 빔 덤프 시스템(700)의 광학 출력으로서 각각 기능하는 개구부(722 및 724)를 더 포함할 수 있다. 구체적으로, 개구부(722)는 빔 경로(114)를 따라 전파되는 레이저 에너지가 그를 통해 투과될 수 있도록 배열되고 크기가 조정된다. 마찬가지로, 개구부(724)는 빔 경로(300)를 따라 전파되는 레이저 에너지가 그를 통해 투과되는 것을 허용하도록 배열되고 크기가 조정된다.

[0124] 도 10을 참조하면, 통합 빔 덤프 시스템(1000)과 같은 통합 빔 덤프 시스템은 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 재료로 형성된 프레임(1002)을 포함할 수 있다. 프레임(1002)은 표면(1004, 1006, 1008, 1010, 1012, 1014, 1016, 1018 및 1020)과 같은 복수의 표면을 형성하기 위해 이 기술분야에 알려진 임의의 적합하거나 원하는 공정에 의해 (예를 들어, 프레임(702)에 대해 위에서 설명된 임의의 방식으로)에 형성될 수 있다. 일반적으로, 표면(1004, 1006, 1008, 1010 및 1012)은 반사 표면으로서 제공되고, 표면(1014, 1016, 1018 및 1020)은 광학적으로 흡수성인 표면으로서 제공된다. 표면(1004, 1006, 1008, 1010 및 1012) 중 임의의 것은 레이저 에너지의 입사된 빔을 적합하게 반사하도록 임의의 방식으로 (예를 들어, 표면(704, 706 및 708)에 대해 논의된 것과 동일하거나 유사한 방식으로) 형성될 수 있다. 마찬가지로, 표면(1014, 1016, 1018 및 1020) 중 임의의 것은 레이저 에너지의 입사된 빔을 적합하게 흡수하도록 임의의 방식으로 (예를 들어, 표면(710, 712, 714 및 716)에 대해 논의된 것과 동일하거나 유사한 방식으로) 형성될 수 있다. 따라서, 도 11 내지 도 14에 대해 더 상세히 논의된 바와 같이, 표면(1004, 1006 및 1008)은 픽오프 미러로서 기능할 수 있고, 표면(1010 및 1012)은 중계 미러로 기능할 수 있으며, 표면(1014, 1016, 1018 및 1020)은 빔 트랩(1022)을 형성하도록 서로에 대해 배열될 수 있다. 따라서, 표면(1004, 1006 및 1008)은 원치 않는 빔 경로를 따라 전파되는 레이저 에너지를 전환시킬 수 있다. 특히, 표면(1004)은 입사된 레이저 에너지를 빔 트랩(1020)에 직접적으로 반사하도록 구성되는 한편, 표면(1006 및 1008)은 입사된 레이저 에너지를 각각 표면(1010 및 1012)에 반사하도록 구성된다. 결국, 표면(1010 및 1012)은 각각 전환된 레이저 에너지를 빔 트랩(1022)으로 반사하도록 구성된다.

[0125] 도 11을 참조하면, 표면(1004)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(1100))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(1014)으로 전환하기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 도 11이 빔 경로(1100)가 표면(1014)에서 종결되는 것으로 도시하였지만(따라서 빔 경로(1100)를 따라 전파하는 모든 레이저 에너지가 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지가 표면(1014)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(1014)에서 표면(1018)으로 반사될 것이며, 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(1014)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서 이는 적어도 부분적으로

흡수될 것이다.

[0126] 유사하게, 도 12를 참조로, 표면(1008)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(1200))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(1014)으로 전환시키기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 도 12가 빔 경로(1200)를 표면(1016)에서 종결되는 것으로 도시하였지만 (따라서 빔 경로(1200)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 일부가 표면(1014)에 의해 반사되고 빔 경로(1200)를 따라 전파하는 이러한 반사된 레이저 에너지의 모두가 표면(1016)에서 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지는 표면(1016)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(1016)으로부터 표면(1020)으로 반사될 가능성이 가장 높고, 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(1016)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서 이는 적어도 부분적으로 흡수될 것이다.

[0127] 도 13을 참조하면, 표면(1006)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(1300))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(1010)으로 전환시키기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 표면(1010)은 표면(1004)에 의해 반사된 레이저 에너지를 레이저 에너지가 흡수되는 빔 트랩(1022)(예를 들어, 표면(1016))으로 반사하기 위한 중계 미러로서 기능할 수 있다. 도 13이 빔 경로(1300)를 표면(1016)에서 종결되는 것으로 도시하였지만 (따라서 빔 경로(1300)를 따라 전파하는 모든 레이저 에너지가 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지는 표면(1016)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(1016)으로부터 표면(1020)으로 반사될 것이며, 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(1016)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서 이는 적어도 부분적으로 흡수될 것이다.

[0128] 유사하게, 도 14를 참조로, 표면(1008)은 원치 않는 빔 경로(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는 빔 경로(1400))를 따라 전파하는 레이저 에너지를 표면(1012)으로 전환시키기 위한 픽오프 미러로서 기능할 수 있다. 표면(1012)은 표면(1008)에 의해 반사된 레이저 에너지를 레이저 에너지가 흡수되는 빔 트랩(1022)으로(예를 들어, 표면(1016)으로) 반사하기 위한 중계 미러로서 기능할 수 있다. 도 14가 빔 경로(1400)를 표면(1016)에서 종결되는 것으로 도시하였지만 (따라서 빔 경로(1400)를 따라 전파하는 모든 레이저 에너지가 흡수됨을 암시하지만), 일부 레이저 에너지가 표면(1016)에서 반사될 수 있음이 인식될 것이다. 이 경우, 레이저 에너지는 표면(1016)으로부터 표면(1020)으로 반사될 것이며, 나머지 레이저 에너지는 완전히 흡수되거나 또는 표면(1016)으로 다시 부분적으로 반사될 것이며, 여기서 이는 적어도 부분적으로 흡수될 것이다.

[0129] 다시 도 10을 참조하면, 프레임(1002)은 통합 빔 덤프 시스템(1000)의 광학 입력으로서 기능을 하는 개구부(1024)를 더 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 개구부(1024)는 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 임의의 빔 경로를 따라 (예를 들어, 도 10에 도시된 빔 경로(114)를 따라, 도 11, 도 12, 도 13 또는 도 14에 각각 도시된 빔 경로(1100, 1200, 1300 또는 1400)를 따라 또는 이들의 임의의 조합을 따라) 전파하는 레이저 에너지가 그를 통해 투과될 수 있도록 배열되고 크기가 조정된다. 프레임(1002)은 통합 빔 덤프 시스템(1000)의 광학 출력으로서 기능하는 개구부(1026)를 더 포함할 수 있다. 구체적으로, 개구부(1026)는 빔 경로(114)만을 따라 전파하는 레이저 에너지가 그를 통해 투과되는 것을 허용하도록 배열되고 크기가 조정된다. 통합 빔 덤프 시스템(1000)에서, (예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404)로부터 전파하는) 0차 빔 경로(300)가 전환되고 빔 트랩(1022)으로 전달된다. 이 경우, 0차 빔 경로(300)는 예를 들어 빔 경로(1200 또는 1300)로 표현될 수 있다.

[0130] 통합 빔 덤프 시스템(700 및 1000)에 관한 위의 논의를 고려하여, 프레임(702 및 1002)에 의해 제공된 전술한 표면이 레이저 에너지가 각각의 빔 트랩으로 전파될 수 있는 내부 영역을 정의한다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 프레임(702)에 의해 제공된 전술한 표면은 내부 영역(726)을 정의하고, 프레임(1002)에 의해 제공된 전술한 표면은 내부 영역(1028)을 정의한다. 먼지 또는 다른 입자 또는 객체가 이들 내부 영역으로 들어가는 것을 방지하거나 최소화하기 위해, 통합 빔 덤프 시스템(700 또는 1000) 중 어느 것은 선택적으로, 내부 영역에 걸친 하나 이상의 플레이트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 통합 빔 덤프 시스템(700)은 (예를 들어, 그의 제1 측면에서) 프레임(702)에 결합된 제1 플레이트(728), (예를 들어, 제1 측면의 반대편에 있는 그의 제2 측면에서) (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 프레임(702)에 결합된 제2 플레이트(730)(도 7에 파선으로 도시됨), 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 마찬가지로, 통합 빔 덤프 시스템(1000)은 (예를 들어, 그의 제1 측면에서) 프레임(1002)에 결합된 제1 플레이트(1030), (예를 들어, 제1 측면의 반대편에 있는 그의 제2 측면에서) (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 프레임(1002)에 결합된 제2 플레이트(1032)(도 10에 파선으로 도시됨), 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 통합 빔 덤프 시스템(1000)에 대하여, 프레임(1002)이 표면(1008)을 제공하는 것으로 위에서 설명되었지만, 표면(1008)은 (예를 들어, 나사, 접착제, 클램프 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 제1 플레이트(1030)에 결

합된 블록 (예를 들어, 블록(1034))에 의해 제공될 수 있다.

[0131] 일 실시예에서, 통합 빔 덤프 시스템(700 또는 1000)의 프레임에 결합된 전술한 플레이트 중 어느 것은 연관된 빔 트랩(즉, 빔 트랩(718 또는 1022))으로부터 멀리 떨어져 열을 전도시키기 위해, 열전도성 재료(예를 들어, 강철, 황동, 알루미늄 또는 알루미늄 합금, 구리 또는 구리 합금 등 또는 이들의 임의의 조합)로 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 냉각 시스템(예를 들어, 히트 싱크, 히트 파이프, 펠티에 히트 펌프, 워터 블록 등 또는 이들의 임의의 조합)은 플레이트(728, 730, 1030 또는 1032)에 결합되거나, 또는 그렇지 않으면 이에 완전히 또는 부분적으로 통합될 수 있다.

[0132] C. 일반적으로 위상 지연기에 관한 실시예

[0133] 제1 위치 지정기(106)에 포함된 AOD의 타입에 의존하여, AOD에 의해 투과되는 1차 빔 경로에서 광의 편광 평면(즉, 전계가 진동하는 평면)을 회전시키는 것이 바람직할 수 있다. 레이저 에너지의 입사된 빔의 상당 부분을 1차 빔으로 회절시키는 데 요구되는 RF 구동 출력의 양이 편향되는 레이저 에너지의 빔의 편광 상태에 크게 의존하는 경우 편광 평면을 회전시키는 것이 바람직할 것이다. 또한, 다중-셀 AOD 시스템에서의 각 AOD가 동일한 재료로 형성된 AO 셀을 포함하고, 다중-셀 AOD 시스템에서의 각 AOD가 레이저 에너지의 입사된 빔을 편향시키기 위해 동일한 타입의 음향파를 사용하며, 다중-셀 AOD 시스템에서의 제1 AOD(예를 들어, 다중-축 AOD 시스템(400)에서의 제1 AOD(402))에 의해 투과된 1차 빔의 광의 편광 상태가 선형이고 다중-셀 AOD 시스템에서의 제2 AOD(예를 들어, 다중-축 AOD 시스템(400)에서의 제2 AOD(404))의 회절 축에 대해 특정 방향으로 배향되는 것이 바람직하면, 단지 제2 AOD의 배향이 제1 AOD의 배향에 대해 회전되기 때문에, 제2 AOD에 의해 투과된 1차 빔에서 광의 편광 상태를 제1 AOD에 의해 투과된 1차 빔에서의 광의 편광 상태에 대해 회전되게 하는 것이 마찬가지로 바람직할 것이다.

[0134] 제1 위치 지정기(106) 내에 통합될 수 있는 위상 지연기의 예시는 하나 이상의 투과 위상 지연기(예를 들어, 반파장판, 1/4파장판, 1/8 파장판 등 또는 이들의 임의의 조합), 하나 이상의 반사 위상 지연기(예를 들어, 180도 위상 시프트, 90도 위상 시프트 등 또는 이들의 임의의 조합을 부여하도록 구성됨) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 일반적으로, 필요한 경우 하나 이상의 위상 지연기는 AOD에서 AO 셀의 회절 축으로 AOD 상에 입사되는 선형으로 편광된 레이저 에너지의 빔의 편광 평면을 정렬하기 위해 AOD 상에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 빔 경로(예를 들어, 1차 빔 경로 또는 다른 것)에 삽입될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 위상 지연기는 제2 AOD에서의 AO 셀의 회절 축으로 제2 AOD 상에 입사하게 될 제1 AOD를 빠져나가는 선형으로 편광된 레이저 에너지의 빔의 편광 평면을 정렬하기 위해, 제1 AOD와 제2 AOD 사이의 위치에서 빔 경로(114')에 배열될 수 있다.

[0135] D. 일반적으로 파면 왜곡의 보상에 관한 실시예

[0136] 종종, 투과성 광학 구성요소는 그에 입사되는 일부량의 광을 흡수한다. 입사광이 고출력 레이저 에너지의 빔일 때, 흡수된 광은 투과성 광학 구성요소가 형성되는 재료를 가열할 수 있다. 때때로, 레이저 에너지의 빔이 균일하지 않은 공간 강도 프로파일을 가질 때(예를 들어, 가우시안 타입 공간 강도 프로파일과 같이), 빔의 상이한 영역은 투과성 광학 구성요소의 상이한 부분을 상이한 온도로 가열할 것이다. 예를 들어, 가우시안 타입 공간 강도 분포를 갖는 빔의 중앙 영역은 빔의 주변 영역보다 투과성 광학 구성요소의 하나의 영역을 가열할 것이다. 투과성 광학 구성요소가 형성되는 다수의 재료에 대한 굴절률은 온도에 따라 달라지기 때문에(열 광학 효과(thermooptic effect)로 알려짐), 고출력 레이저 에너지의 빔의 파면은 투과성 광학 구성요소를 통해 전파될 때 수정될 것이다. 덧붙여, 투과성 광학 구성요소의 상대적으로 뜨거운 영역은 (열팽창의 결과로서) 부풀어 오를 수 있으며, 이러한 부풀어짐은 투과성 광학 구성요소의 형태가 렌즈의 것과 유사해지게 할 수 있다. 굴절률의 변경은 투과성 광학 구성요소 내에서 열로 유발된 기계적 응력에 기인하여 유발될 수 있다(광탄성 효과(photoelastic effect)로 지칭됨). 본원에서 사용된, 투과성 광학 구성요소의 상이한 부분을 상이하게 가열하는 행위는 투과성 광학 구성요소의 "차등 가열(differential heating)"로 지칭될 수 있다. 투과성 광학 구성요소의 차등 가열은 또한, 레이저 에너지 흡수 이외의 수단에 의해 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 투과성 광학 구성요소는 열원 근처에 배치될 수 있다. EO 또는 AO 셀과 같은 투과성 광학 구성요소는 예를 들어, 그것이 통합된 시스템이 작동될 때 차등적으로 가열될 수 있다. 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 투과성 광학 구성요소의 차등 가열은 "열 렌징"으로 알려진 효과인 투과성 광학 구성요소 내의 굴절률의 차등 변경을 유도할 수 있다. 열 렌징은 빔 경로 조립체를 통해 빔 경로(114)를 따라 전파될 때 레이저 에너지의 빔의 파면을 바람직하지 않게 초점을 맞추거나, 디포커싱하거나(defocus), 또는 다른 방식으로 왜곡할 수 있다.

[0137] 열 렌징과 연관된 잠재적으로 해로운 효과를 해결하는 하나의 방식은 입사된 레이저 에너지의 빔에서 광의 파장

에 실질적으로 투명한 투과성 광학 구성요소를 사용하는 것이다(즉, 열 렌징이 발생하지 않도록). 다른 기술은 레이저 에너지의 빔의 출력을 단순히 낮추는 것이다. 하지만, 실질적으로 투명한 투과성 광학 구성요소가 존재하지 않거나 또는 작업물이 상대적으로 저출력 레이저 에너지의 빔을 사용하여 바람직하게 가공될 수 없는 경우, 이들 접근법은 구현하기 어렵거나 불가능할 수 있다. 따라서, 아래에서 더 상세히 설명되는 일부 실시예에 따라, 하나 이상의 광학 구성요소(이하 본원에서 "파면 보상 광학계"로 지칭됨)는 빔 경로 조립체의 하나 이상의 투과성 광학 구성요소 내에서 열 렌징에 의해 유도될 수 있는 파면 왜곡을 보상(즉, 완전히 또는 부분적으로 보상)하기 위해 빔 경로(114)에 배열될 수 있다.

[0138] 본원에 설명된 실시예에서, 투과성 광학 구성요소에 입력되는 레이저 에너지의 빔은 통상적으로 축방향으로 대칭이고(즉, 원형이거나 또는 적어도 실질적으로 원형이고), 열 렌징에 의해 유도된 왜곡은 종종 또한 축방향으로 대칭인 하나 이상의 위상 수차에 의해 좌우된다. 레이저 에너지의 빔의 파면에 부여된 위상 수차는 이 기술 분야에 알려진 바와 같이 적절한 크기의 그의 계수와 제르니케 다항식의 조합에 의해 설명될 수 있다. 즉:

[0139] $$\Phi(\rho,\theta)=\sum_{j} a_j Z_j(\rho,\theta)$$

[0140] 여기서 ρ는 고려되는 조리개의 중심으로부터의 정규화된 방사상 좌표이고(이 컨텍스트에서, "정규화"는 고려되는 조리개의 가장자리에서 ρ가 1의 값을 취한다는 것을 의미함), θ는 고려된 조리개 내의 각도 좌표이고, a_j는 거리 단위(예를 들어, λ 단위, 여기서 λ는 위에서 논의된 레이저 에너지의 빔에서 광의 광학 파장임)를 갖는 *j번째* 제르니케 다항식 항의 계수 값이고, Z_j는 *j번째* 제르니케 다항식 항이다.

[0141] 본원에서 논의의 목적으로, *j번째* 제르니케 다항식 항은 "프린지"(또한, "애리조나 대학교"로 알려짐) 넘버링 및 정규화 방식을 사용하여 설명될 것이다. 다음 항이 가장 중요하므로 아래 표 1에 명시적으로 식으로 나타난다.

표 1

[0142]

j	$Z_j(\rho,\theta)$
1	1
4	$2\rho^2-1$
9	$6\rho^4-6\rho^2+1$
16	$20\rho^6-30\rho^4+12\rho^2-1$

[0143] 독자는 이들 항이 방사상으로-대칭이며 그러므로 $Zj(\rho, \theta)$가 θ에 의존하지 않는다는 점을 유의할 것이다.

[0144] 출원인에 의해 수행된 실험을 통해, 가우시안-타입의 공간 강도 프로파일을 갖는 레이저 에너지의 빔이 투과성 광학 구성요소 내의 열 렌징을 유도하기 위해 투과성 광학 구성요소의 벌크 투명 재료를 가열할 때, Z_9 항에 대한 계수의 부호는 그 Z_4 항의 부호에 거의 항상 반대이고, Z_9 항에 대한 계수의 크기는 Z_4 항에 대한 것의 크기보다 작은 경향이 있으며, Z_9 대 Z_4 항의 계수의 비율은 흡수된 레이저 출력의 양이 변할 때 주목할 정도로 변하지 않는다는 것을 발견하였다. 그와 같이, Z_4 및 Z_9 항에 대한 계수의 독립적이고 임의적인 교정이 엄격하게 필요한 것은 아니다. 이들 관찰은 프린지 제르니케 다항식 맞춤(fringe Zernike polynomial fit)을 정의하는 조리개 크기의 임의의 선택에 다소 의존하지만, 레이저 에너지의 빔의 4σ 폭보다 약간 작거나 또는 이에 약 두 배인 조리개 크기가 가장 유용하다(완벽한 가우시안 빔을 위해, 4σ 폭은 피크에서 강도의 $1/e^2$로 중심을 벗어난 지점에서 빔의 전체 폭과 동등하다).

[0145] 예를 들어, 도 15는 Z_4 및 Z_9 항에 대한 계수가 (및 그 비율이) 결정질 게르마늄의 블록으로 형성된 투명한 재료

의(예를 들어, AO 셀을 형성하는데 사용되는 타입의) 온도에 따라 얼마나 변하는지를 나타내는 하나의 세트의 실험 결과의 그래프를 도시한다. 이 경우, CO_2 레이저원으로부터 생성되고 파장이 8 μm 내지 12 μm 범위이고 일정한 출력을 갖는 레이저 에너지의 빔이 게르마늄 블록에 조사되었다. 게르마늄 블록의 온도는 블록이 레이저 에너지의 빔에 의해 조명될 때 게르마늄 블록 주변을 순환하는 냉각수의 온도를 변경함으로써 변하였다. 따라서, 게르마늄 블록에 의해 흡수되는 레이저 에너지의 양은 냉각수의 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 도 15에 도시된 그래프로부터, Z_9 항(즉, "a_9"로 라벨링된 데이터)에 대한 계수의 부호는 항상 Z_4 항(즉, "a_4"로 라벨링된 데이터)의 부호와 반대이고, Z_9 항에 대한 계수의 크기는 Z_4 항에 대한 계수의 크기보다 작은 경향이 있다는 것이 관찰될 수 있다. 또한, Z_9 대 Z_4 항의 계수의 비율(즉, "a_9/a_4"로 라벨링된 데이터)이 주목할 정도로 변하지 않음이 관찰될 수 있다. 그래프에서 데이터는 조리개가 입사된 레이저 에너지의 빔의 4σ 폭의 약 1.6배인 관찰을 기초로 한다는 점이 유의되어야 한다.

[0146] 결정질 게르마늄으로 형성된 벌크 투명 재료 및 8 μm 내지 12 μm의 범위의 파장을 갖는 고출력 레이저 에너지의 빔의 조합에 대한 열 렌징에 관한 구체적인 논의가 위에서 이루어졌지만, (예를 들어, 벌크 투명 재료에서의 불순물의 존재, 벌크 투명 재료를 통해 전파하는 레이저 에너지의 빔의 출력, 벌크 투명 재료를 통해 전파하는 레이저 에너지의 빔의 파장 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여) 이산화 텔루륨과 같은 AO 셀을 형성하는데 사용되는 다른 벌크 투명 재료에서도 열 렌징이 관찰될 수 있음이 인식될 것이다. 또한, AO 셀에서 사용되는 벌크 투명 재료에 대한 열 렌징에 관한 특정 논의가 위에서 이루어졌지만, 열 렌징은 또한, (선택적으로, 하나 이상의 반사-방지 코팅 등으로 코팅될 수 있는) 벌크 투명 재료로 형성된 렌즈, 빔 스플리터, 프리즘, 다이크로익 필터, 윈도우, 파장판, DOE, ROE 등과 같은 다른 투명 광학 구성요소뿐만 아니라, 레이저 이득 매체와 같은 다른 광학 구성요소에서 관찰될 수 있음이 인식될 것이다. 따라서, 열 렌징에 의해 야기된 레이저 에너지의 빔의 파면 수차를 교정하거나 보상하기 위한 기술은 열 렌징이 어느 투명한 광학 구성요소로 유도되었는지에 관계 없이, 일반적으로 레이저원(104)에 의해 생성된 레이저 에너지의 빔에서 파면 수차를 교정하는 데 적용할 수 있다.

[0147] i. 파면 보상 광학계에 관한 예시적인 실시예

[0148] 열 렌징에 의해 유도될 수 있는 레이저 에너지의 빔의 수차의 특성을 논의하였고, 수차를 보상하기 위해 빔 경로(114)에 배치될 수 있는 파면 보상 광학계의 다수의 실시예가 아래에서 논의된다. 하지만, 일반적으로 파면 보상 광학기는 하나 이상의 렌즈, 미러 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 광학 구성요소로서 제공될 수 있다.

[0149] 일 실시예에서, 파면 보상 광학기는 프린지 제르니케 항(예를 들어, Z_4, Z_9, Z_{16} 등 또는 이들의 임의의 조합)에 의해 특징지어지는 형태를 갖는 반사 표면을 갖는 반사성 광학 구성요소(예를 들어, 구형 또는 다른 곡면 미러)로서 제공될 수 있고, 프린지 제르니케 항에 대한 계수는 레이저 에너지의 빔의 파면 왜곡을 보상하기 위해 선택된다. 반사 표면은 이 기술분야에 알려진 임의의 적합한 기술에 의해(예를 들어, 미러의 고정밀 다이아몬드 선삭(turning)에 의해, 자기유동 방법(magnetorheological methods)(MRF 연마)을 통한 미러 기판의 정밀 연마 등에 의해) 성형될 수 있다.

[0150] 다른 실시예에서, 파면 보상 광학기는 프린지 제르니케 항(예를 들어, Z_4, Z_9, Z_{16} 등 또는 이들의 임의의 조합)에 의해 특징지어지는 형태를 갖는 굴절 표면을 갖는 투과성 광학 구성요소(예를 들어, 구면 렌즈 등)으로서 제공될 수 있고, 프린지 제르니케 항에 대한 계수는 레이저 에너지의 빔의 파면 왜곡을 보상하기 위해 선택된다. 다른 실시예에서, 투과성 광학 구성요소는 Z_9 항에 대한 계수의 원하는 값을 생성하기 위해 약간의 거리를 두고 설정된 두 개의 추가적인 구면 렌즈를 포함할 수 있다.

[0151] 또 다른 실시예에서, 파면 보상 광학기는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이 제공된) 하나 이상의 반사성 광학 구성요소 및 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이 제공된) 하나 이상의 투과성 광학 구성요소의 조합으로서 제공될 수 있다. 이 경우, Z_4 항에 대한 계수의 임의의 양의 보상은 하나 이상의 투과성 광학 구성요소의 하나 이상의 표면에서 달성될 수 있으며, Z_9 항에 대한 계수의 보상은 하나 이상의 반사성 광학 구성요소의 하나 이상의 표면에 의해 달성될 수 있다.

[0152] 위에서 논의된 반사성 및 투과성 광학 구성요소는 통상적으로 투과성 광학 구성요소 내의 열 렌징에 의해 생성된 효과에 대한 정적 보상을 제공하며, 따라서 "정적 파면 보상 광학기"의 예시로 간주된다. 다른 실시예에서,

파면 보상 광학기는 투과성 광학 구성요소 내의 열 렌징에 의해 생성된 효과에 대한 동적 보상을 제공 할 수 있으며, 따라서 "동적 파면 보상 광학기"로 간주될 수 있다. 이 경우, 동적 파면 보상 광학기는 하나 이상의 가변 초점 거리 렌즈 또는 렌즈 조립체, 하나 이상의 변형 가능한 미러, 하나 이상의 광학적으로 투과성인 공간 광 변조기를 단독으로 또는 임의의 조합으로 포함할 수 있다. 변형 가능한 미러의 예시적인 타입은 분할된 타입의 변형 가능한 미러(즉, MEMS 기술에 의해 선택적으로 형성될 수 있는 독립적으로 작동 가능한 평면 미러 세그먼트로 구성됨) 및 멤브레인 타입의 변형 가능한 미러(즉, 이 기술분야에 알려진 임의의 방식으로, 기계적으로 공압으로 유압으로 기계적으로 등 변형될 수 있는 반사성 멤브레인으로 구성됨)를 포함한다. 동적 파면 보상 광학기는 또한, 하나 이상의 고정 초점 거리 렌즈 또는 렌즈 조립체, 또는 하나 이상의 변형 불가능한 미러 등 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으며, 이들은 서로(예를 들어, 하나 이상의 줌 렌즈)에 대해 이동 가능할 수 있다.

[0153] 파면 보상 광학기의 광학 구성요소의 타입(들)에 관계없이, 파면 보상 광학기는 (a) (즉, 파면 교정 광학기로 전파하기 전에) 파면 보상 광학기의 "광학적으로 업스트림에 있는" 빔 경로(114)에서의 하나 이상의 위치에서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적되거나, (b) (즉, 파면 보상 광학기로부터 전파한 이후에) 파면 보상 광학기의 "광학적으로 다운스트림에 있는" 빔 경로(114)에서의 하나 이상의 위치에서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적될 것으로 예상되거나, 또는 (c) (a) 및 (b)의 임의의 조합인 임의의 파면 왜곡을 보상하도록 구성될 수 있다. 본원에서 사용된, 파면 보상 광학기로 전파하기 전에 레이저 에너지의 빔에 의해 축적된 파면 왜곡은 "실제 파면 왜곡"으로 지칭되고, 및 파면 보상 광학기로부터 전파한 이후 레이저 에너지의 빔에 의해 축적될 것으로 예상되는 파면 왜곡은 또한 "예상된 파면 왜곡"으로 지칭된다.

[0154] a. 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러에 관한 예시적인 실시예

[0155] 일 실시예에서, 도 16 및 도 16a을 참조로, 멤브레인 타입의 변형 가능한 미러는 미러(1600)로서 제공될 수 있다. 일반적으로, 미러(1600)는 반사 표면(1602), 바디(1604) 및 바디(1604)에 형성된 (예를 들어, 바디의 후면으로부터 반사 표면(1602)을 향해 연장되는) 포켓(1606)을 포함한다. 따라서, 바디(1604)는 (예를 들어, 반사 표면(1602)과 포켓(1606) 사이에 형성된) 상대적으로 얇은 멤브레인 영역(1608) 및 (예를 들어, 포켓(1606)의 둘레를 둘러싸는) 상대적으로 두꺼운 주변 영역(1610)을 포함하는 것으로 특징지어질 수 있다. 일 실시예에서, 바디(1604)는 구리와 같은 재료로 형성될 수 있거나, 반사 표면(1602)은 바디(1604)와 동일한 재료로 형성될 수 있거나(예를 들어, 바디(1604)는 반사 표면(1602)을 형성하도록 연마될 수 있음), 또는 반사 표면(1602)은 바디(1604) 상에 형성된 필름 또는 다른 코팅으로서 형성될 수 있다.

[0156] 멤브레인 영역(1608)은 포켓(1606) 내의 압력을 변화시킴으로써 변형되도록 구성된다. 예를 들어, 도 17을 참조로, 미러(1600)는 (즉, 미러(1600)의 주변 영역(1610)이 받침대(1700)의 표면(1702)에 대해 편향되거나 접착되는 경우) 포켓(1606)의 주변을 따라 연장하는 시일(seal)을 형성하기 위해 (예를 들어, 접착제, 하나 이상의 용접, 하나 이상의 클램프, 하나 이상의 나사 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 받침대(1700)에 결합될 수 있다. 받침대(1700)는 보어(bore, 1704)를 포함하며, 이를 통해 유체(예를 들어, 공기)가 이 기술분야에 알려진 바와 같이 포켓(1606)을 가압하거나 감압하도록 이동할 수 있다. 포켓(1606)이 충분히 가압되지 않을 때(예를 들어, 포켓(1606) 내의 압력이 포켓(1606) 외부의 환경의 주변 압력과 동일할 때), 반사 표면(1602)은 실질적으로 편평하다. 포켓(1606)이 충분히 가압될 때(예를 들어, 포켓(1606) 내의 압력이 미리 결정된 임계량만큼 포켓(1606) 외부 환경의 주변 압력보다 클 때), 반사 표면(1602)의 형태는 보상될 파면 왜곡(실제 파면 왜곡, 예상된 파면 왜곡, 또는 이들의 임의의 조합)과 적어도 실질적으로 동일한 특성을 갖도록 변한다. 멤브레인 영역(1608)의 기하학적 구조는 반사 표면(1602)이 변할 때, 레이저 에너지의 빔에서 파면 왜곡(실제 파면 왜곡, 예상된 파면 왜곡 또는 이들의 임의의 조합)을 보상하기 위해, 반사 표면(1602)의 형태를 특징짓는데 사용될 수 있는 프린지 제르니케 항에 대한 계수(예를 들어, Z_4, Z_9, Z_{16} 등 또는 이들의 임의의 조합)가 변함을 보장하도록 구성될 수 있다.

[0157] 일반적으로, 포켓(1606) 내의 압력의 제어는 조절기(예를 들어, 고정된 압력 조절기 또는 가변 압력 조절기 등), 제어 밸브(예를 들어, 제어기(122) 또는 다른 제어기에 의해 출력된 하나 이상의 명령 신호에 응답하는 전자적으로-제어 가능한 제어 밸브) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 제어 요소에 의해 초래될 수 있다. 제어 요소는 (예를 들어, 레이저원(104)이 작업물을 가공하기 위한 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동될 때) 가압된 공기를 포켓(1606)으로 지향할 수 있고 (예를 들어, 레이저원(104)이 턴 오프될 때, 레이저원(104)이 정렬을 용이하게 하기 위한 저출력 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동될 때 등) 포켓(1606)을 감압하기 위한 것일 수 있다. 이 경우, 호스(예를 들어, 공압 호스, 유압 호스 등)의 제1 단부는 통상적으로 보어

(1704)와 유체 연통하도록 받침대(1700)에 결합되고, (제1 단부의 반대편인) 호스의 제2 단부는 제어 요소와 유체 연통한다.

[0158] 일 실시예에서, 장치(100)는 선택적으로, (예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 광학적으로 업스트림인 위치, 제1 위치 지정기(106)와 제2 위치 지정기(108) 사이의 광학적으로 중류인 위치, 제2 위치 지정기(108)의 광학적으로 다운스트림인 위치에, 또는 이들의 임의의 조합에) 배열되고, 레이저 에너지의 빔의 (레이저 출력 모니터의 경우) 출력, (파면 센서의 경우) 파면 등을 나타내는 측정 신호를 생성하도록 구성되는 레이저 출력 모니터, 파면 센서 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 측정 신호는 제어기(122), 조절기 또는 제어 밸브 등과 연관된 구성요소-특정 제어기 등 또는 이들의 임의의 조합에 출력될 수 있다. 그 후, 수신된 측정 신호를 기초로, 제어기(제어기(122), 또는 조절기 또는 제어 밸브와 연관된 구성요소-특정 제어기)는 측정 신호가 레이저 에너지의 빔의 출력이 예를 들어, 미리 결정된 임계 출력을 넘어서 증가하고 미리 결정된 파면 갖는 등을 나타낼 때, 포켓(1606) 내의 압력을 증가시키기 위해 제어 신호를 조절기 및/또는 제어 밸브에 출력할 수 있다.

[0159] 다시 도 16 및 도 16a를 참조하면, 멤브레인 영역(1608)의 기하학적 구조는 일 실시예에서, 반사 표면(1602)의 형태를 특징짓는 데 사용될 수 있는 전술한 프린지 제르니케 항 중 하나 이상에 대한 계수가 포켓(1606) 내의 압력에 의존하여 선형(또는 이에 적어도 실질적으로 선형이거나 또는 다른 방식으로 매우 선형)을 갖는다는 것을 보장하도록 구성될 수 있다. 일반적으로, 포켓(1606) 내의 압력은 0 psi(또는 그 정도) 내지 85 psi(또는 그 정도)로 다양할 수 있다. 다른 실시예에서, 멤브레인 영역(1608)의 기하학적 구조는 반사 표면(1602)의 형태를 특징짓기 위해 사용될 수 있는 전술한 프린지 제르니케 항 중 적어도 두 개에 대한 계수 사이의 비율(또한, 본원에서 "보상 비율"로 지칭됨)이 미리 결정된 범위 내에 있음을 보장하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 멤브레인 영역(1608)의 기하학적 구조는 Z_9 항 대 Z_4 항에 대한 계수의 보상 비율(즉, Z_9 : Z_4)이 -0.1 내지 -0.3의 범위(예를 들어, -0.15 내지 -0.25의 범위, -0.18 내지 -0.23의 범위, -0.19 내지 -0.22 범위, -0.19 내지 -0.21 범위 등)에 있음을 보장하도록 구성될 수 있다. 보상 비율은 포켓(1606) 내의 압력을 기초로 전술한 범위 내에서 변할 수 있거나, 포켓(1606) 내의 압력에 관계없이 일정할 수 있다(또는 적어도 실질적으로 일정할 수 있다).

[0160] 위의 것을 고려하여, 멤브레인 영역(1608)은 평면도에서 볼 때(즉, 도 16에 도시된 바와 같이) 적어도 실질적으로 원형일 수 있고, 멤브레인 영역(1608)의 중앙 부분은, 멤브레인 영역(1608)의 주변 부분의 제2 두께(t2) 미만인 제1 두께(t1)를 가질 수 있다. 멤브레인 영역(1608)은 제1 반경(r1)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있고, 멤브레인 구역(1608)의 전술한 중앙 부분(즉, 제1 두께(t1)를 갖는 멤브레인 구역(1608)의 일부)은 제2 반경(r2)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다. 제1 두께(t1)는 0.8㎜(또는 그 정도) 내지 0.3㎜(또는 그 정도)의 범위, 예를 들어 0.5㎜(또는 그 정도)일 수 있다. 제2 두께(t2)는 1.0㎜(또는 그 정도) 내지 2.0㎜(또는 그 정도)의 범위, 예를 들어 1.5㎜(또는 그 정도)일 수 있다. 제1 반경(r1)은 3.0㎜(또는 그 정도) 내지 4.0㎜(또는 그 정도)의 범위, 예를 들어 3.5㎜(또는 그 정도)일 수 있다. 제2 반경(r2)은 16.0㎜(또는 그 주변) 내지 18.0㎜(또는 그 주변)의 범위, 예를 들어 17.0㎜(또는 그 주변)일 수 있다. 일반적으로, 미러(1600) 그 자체는 제2 반경(r2)보다 큰 제3 반경(r3)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있고, 미러(1600)의 주변 영역(1610)은 제2 두께(t2)보다 훨씬 더 큰 제3 두께(t3)를 가질 것이다. 예를 들어, 제3 반경(r3)은 24㎜(또는 그 정도) 내지 26㎜(또는 그 정도)(예를 들어, 25㎜ 또는 그 정도)의 범위에 있을 수 있고, 제3 두께(t3)는 8㎜(또는 그 정도) 내지 10㎜(또는 그 정도)(예를 들어, 10㎜ 또는 그 정도)의 범위에 있을 수 있다. 도 16a는 두 개의 상이한 표면이 다른 방식으로 만나는 작은 반경(예를 들어, 점선 원으로 둘러싸인 영역 내의 반경)을 도시한다. 이들 반경은 이들 영역에서 미러 기판 상의 응력을 감소시키고, 균열이 이들 영역으로부터 형성되고 전파될 가능성을 감소시킬 수 있다. 반경의 존재는 미러(1600)가 미러의 형태를 영구적으로 변경하기 전에 견딜 수 있는 온-오프 압력 사이클의 수와 관련하여 미러(1600)의 더 긴 서비스 수명을 증가시킬 것으로 예상될 수 있다.

[0161] 일 실시예에서, 미러(1600)는 (예를 들어, 적어도 일반적으로 서로 평행한 전면 및 후면을 갖는) 디스크 형태의 바디를 획득하고 그 후, 도시된 바와 같이, 제1 공동(1612) 및 제2 공동(1614)을 포함하는 포켓(1606)을 형성하기 위해 후면으로부터 바디를 기계 가공함으로써 형성된다. 포켓(1606)을 형성한 이후에, 바디의 전면은 이 기술분야에 알려진 하나 이상의 적합한 기술(예를 들어, 평면 연마, 다이아몬드 선삭, 자기유동 다듬질(magnetorheological finishing, MRF) 등 또는 이들의 임의의 조합)에 의해 편평하게 연마된다. 선택적으로, 연마된 전면은 고출력 레이저 에너지의 빔을 반사하기에 적합한 하나 이상의 고-반사 코팅으로 코팅될 수 있다.

[0162] 다른 실시예에서, 미러(1600)는 위에서 논의된 바와 같이 형성될 수 있지만, 제1 공동(1612) 및 제2 공동(1614)을 형성하기 위해 바디를 기계 가공하는 대신에, 멤브레인 영역(1608)을 형성하기 위해 제1 공동(1612)만이

형성되어야 한다. 그 후, 임의의 적합한 형태, 강성, 두께 및 재료의 하나 이상의 보강재가 원하는 반사 표면(1602) 반대편의 제1 공동(1612)의 표면에 본딩될 수 있다. 보강재(들)의 형태, 강성(stiffness), 두께 및 재료는 멤브레인 영역(1608)이 위에서 논의된 방식으로 레이저 에너지의 빔에서 파면 왜곡(실제 파면 왜곡, 예상된 파면 왜곡, 또는 이들의 임의의 조합)을 보상하기 위한 방식으로 변형되도록 선택될 수 있다. 다른 실시예에서, 미러(1600)는 변형 가능한 반사성 멤브레인을 실린더에 장착함으로써 형성될 수 있다.

[0163] 위에서 설명된 바와 같이 구성된, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러(1600)의 반사 표면(1602)은 Z_4 및 Z_9와 같은 방사상으로 대칭인 프린지 제르니케 다항식의 조합에 의해 특징지어질 수 있는 형태(또는 형태의 범위)를 취하도록 변형된다. 다른 실시예에서, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러(1600)의 구조는 반사 표면(1602)의 형태가 변형되면, 단일 대칭 프린지 제르니케 다항식(예를 들어, Z_9)에 의해 적합하게 특징지어질 수 있도록 이 기술 분야에 알려진 임의의 적합한 방식으로 수정될 수 있다

[0164] 예를 들어, 도 18을 참조하면, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러는 미러(1800)로서 제공될 수 있다. 미러(1800)는 미러(1600)에 대해 유사하게 논의된 바와 같이 제공될 수 있다; 하지만, 미러(1800)는 포켓(1802, 1804 및 1806)과 같은 다수의 포켓을 포함할 수 있다. 포켓(1804, 1806)은 환형이며 포켓(1802)의 둘레를 따라 연장된다. 포켓(1802, 1804 및 1806)은 변형 가능한 영역(1608)의 후면으로부터 연장되는 한 쌍의 환형 리브(annular ribs)(1808 및 1810)에 의해 서로 방사상으로 분리된다. 포켓(1802, 1804 및 1806)(및 따라서 리브(1808 및 1810))은 임의의 적합한 기술에 의해(예를 들어, 미러(1800)가 만들어지는 바디의 후면을 기계가공함으로써) 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 포켓(1802, 1804 및 1806)은 미러(1800)가 만들어진 바디의 후면에 단일 공동을 먼저 기계 가공하고, 그 후, 환형 리브(1808 및 1810)를 변형 가능 영역(1608)의 후면에 본딩함으로써 형성될 수 있다.

[0165] 미러(1800)가 (예를 들어, 접착제, 하나 이상의 용접, 하나 이상의 클램프, 하나 이상의 나사 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 받침대(1700)에 적합하게 결합될 때, 미러(1800)의 주변 영역(1610)뿐만 아니라 리브(1808 및 1810)는 받침대(1700)의 표면(1702)에 대해 편향되거나 또는 이에 부착된다. 결과적으로, 포켓(1802, 1804 및 1806)의 주변을 따라 연장되는 복수의 시일이 형성된다(즉, 하나 이상의 리브가 표면(1702)에 대해 편향되거나 또는 부착되고 주변 영역(1610)이 표면(1702)에 편향되거나 또는 부착된다).

[0166] 도 18에 도시된 바와 같이, 받침대(1700)에는 제1 보어(1812), 선택적인 제2 보어(1814) 및 제3 보어(1816)가 제공된다. 제1 보어(1812)는 포켓(1802)과 유체 연통하고, 제2 보어(1814)(존재하는 경우)는 포켓(1804)과 유체 연통하고, 제3 보어(1816)는 포켓(1806)과 유체 연통한다. 포켓(1802) 및 포켓(1806) 내의 압력의 제어는 위에서 예시적으로 설명된 바와 같이, (예를 들어, 제1 보어(1812) 및 제3 보어(1816) 각각에 연결된) 하나 이상의 호스 및 (예를 들어, 호스에 연결된) 하나 이상의 제어 요소를 사용하여 수행될 수 있다. 존재하는 경우, 제2 보어(1814)는 포켓(1804)이 포켓(1804) 외부의 주변 환경과 유체 연통하도록 외부 환경에 개방된다. 일 실시예에서, 포켓(1802) 내의 압력은 포켓(1806) 내의 압력에 독립적으로 제어될 수 있다. 다른 실시예에서, 포켓(1802) 내의 압력은 포켓(1806) 내의 압력에 의존하는 방식으로 제어될 수 있거나 또는 그 역으로도 그러하다. 예를 들어, 제1 보어(1812)는 제2 보어(1816)와 상이한 제어 요소에 결합될 수 있다. 다른 예시에서, 제1 보어(1812) 및 제2 보어(1816)는 결국, 포켓(1806)에 대해 포켓(1802)을 가압하거나 또는 감압하도록 작동하거나 그 역으로 그러하거나, 또는 포켓(1802) 및 포켓(1806)을 공통적으로 가압하거나 또는 감압하도록 작동하는 동일한 제어 요소에 공통적으로 결합될 수 있다.

[0167] 포켓(1802 및 1806)이 충분히 가압되지 않을 때(예를 들어, 포켓(1802 및 1806) 내의 압력이 포켓(1802 및 1806) 외부의 외부 환경의 주변 압력과 동일할 때), 반사 표면(1602)은 실질적으로 평면이다. 포켓(1802 및 1806)이 충분히 가압될 때(예를 들어, 포켓(1802 및 1806) 각각 내의 압력이 포켓(1804) 외부 환경의 주변 압력보다 미리 결정된 임계량만큼 클 때), 포켓(1802 및 1806)에 의해 노출된 멤브레인 영역(1608)의 일부는 (예를 들어, 받침대(1700)의 표면(1702)으로부터 바깥쪽으로 구부러지도록) 볼록하게 변형되며, 포켓(1804)에 의해 노출된 멤브레인 영역(1608)의 일부는 (예를 들어, 받침대(1700)의 표면(1702)을 향해 안쪽으로 구부러지도록) 오목하게 변형된다. 이 경우, 멤브레인 영역(1608)과 리브(1808 및 1810) 사이의 연결은 환형 받침점의 역할을 하며, 포켓(1802 및 1806)에 대응하는 위치에서 멤브레인 영역(1608)의 볼록한 변형이 포켓(1804)에 대응하는 위치에서 멤브레인 영역(1608)의 오목한 변형을 유도하는 것을 허가한다. 따라서, 미러(1800)의 기하학적 구조는 반사 표면(1602)의 형태가 변할 때, 레이저 에너지의 빔의 구면 수차를 보상하기 위해 프린지 제르니케 항 Z_9에 대한 계수가 변하는 것을 보장하도록 구성될 수 있다.

[0168] 다른 실시예에서, 도 19를 참조하면, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러는 미러(1900)로서 제공될 수 있다. 미러(1900)는 미러(1800)에 대해 유사하게 논의된 바와 같이 제공될 수 있다; 하지만, 미러(1900)는 한 쌍의 포켓(즉, 포켓(1902) 및 포켓(1904))을 정의하기 위해 단일 환형 리브(1906)만을 포함한다. 포켓(1904)은 환형이며, 포켓(1902)의 둘레를 따라 연장된다. 포켓(1902 및 1904)(및 따라서 리브(1906))은 (예를 들어, 미러(1800)에 대해 위에서 논의된 바와 같이) 임의의 적합한 기술에 의해 형성될 수 있다.

[0169] 미러(1900)가 (예를 들어, 접착제, 하나 이상의 용접, 하나 이상의 클램프, 하나 이상의 나사 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 받침대(1700)에 적합하게 결합될 때, 미러(1900)의 주변 영역(1610) 및 리브(1906)는 받침대(1700)의 표면(1702)에 대해 편향되거나 또는 이에 부착된다. 결과적으로, 포켓(1902 및 1904)의 주변을 따라 연장하는 복수의 시일이 형성된다.

[0170] 도 19에 도시된 바와 같이, 받침대(1700)에는 제1 보어(1908) 및 제2 보어(1910)가 제공된다. 제1 보어(1908)는 포켓(1902)과 유체 연통하고 제2 보어(1910)는 포켓(1904)과 유체 연통한다. 포켓(1902 및 1904) 내의 압력의 제어는 위에서 예시적으로 설명된 바와 같이, (예를 들어, 제1 보어(1908) 및 제2 보어(1910) 각각에 연결된) 하나 이상의 호스 및 (예를 들어, 호스에 연결된) 하나 이상의 제어 요소를 사용하여 초래될 수 있다. 일 실시예에서, 포켓(1902) 내의 압력은 포켓(1910) 내의 압력과 독립적으로 제어될 수 있거나 또는 그 역으로도 그러하다. 다른 실시예에서, 포켓(1902) 내의 압력은 포켓(1904) 내의 압력에 의존하는 방식으로 제어될 수 있거나 또는 그 역으로도 그러하다. 예를 들어, 제1 보어(1908)는 제2 보어(1910)와 상이한 제어 요소에 결합될 수 있다. 다른 예시에서, 제1 보어(1908) 및 제2 보어(1910)는 결국 포켓(1904)에 대해 포켓(1902)을 가압하거나 또는 감압하도록 작동하거나 또는 그 역으로도 그러하거나, 또는 포켓(1902) 및 포켓(1904)을 공통적으로 가압하거나 또는 감압하도록 작동하는 동일한 제어 요소에 공통적으로 결합될 수 있다.

[0171] 포켓(1902 및 1904)이 충분히 가압되지 않을 때(예를 들어, 포켓(1902 및 1904) 내의 압력이 포켓(1902 및 1904) 외부의 외부 환경의 주변 압력과 동일할 때), 반사 표면(1602)은 실질적으로 평면이다. 포켓(1902 및 1904)이 충분히 가압될 때(예를 들어, 포켓(1902 및 1904) 각각 내의 압력이 포켓(1902 및 1904) 외부 환경의 주변 압력보다 미리 결정된 임계량만큼 클 때), 포켓(1902 및 1904)에 의해 노출된 멤브레인 영역(1608)의 일부는 (예를 들어, 받침대(1700)의 표면(1702)으로부터 떨어져서 바깥쪽으로 구부러지도록) 볼록하게 변형된다. 이 경우, 멤브레인 영역(1608)과 리브(1906) 사이의 연결은 환형 받침점으로서 작용하며, 멤브레인 영역(1608)의 전술한 볼록한 변형이 리브(1906)에서 전술한 멤브레인 영역(1608)의 오목한 변형을 유도하는 것을 허용한다. 따라서, 미러(1900)의 기하학적 구조는 반사 표면(1602)의 형태가 변할 때, 프린지 제르니케 항 Z_9에 대한 계수가 레이저 에너지의 빔의 구면 수차를 보상하기 위해 변하는 것을 보장하도록 구성될 수 있다.

[0172] 위에서 설명된 방식으로 형성되고 구성된 전술한 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러 중 임의의 것은, 반사 표면(1602)의 형태가 변형되면, 단지 위에서 논의된 방사상으로 대칭인 프린지 제르니케 다항식의 조합에 의해 정의된 형태뿐만 아니라, 다양한 형태에 대해 취해질 수 있도록 이 기술분야에 알려진 임의의 적합한 방식으로 수정될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 도 16, 도 18 및 도 19에 대해 설명된 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러의 포켓은 방사상으로 대칭이다. 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러가 방사상으로 대칭이 아닌 포켓을 갖도록 수정되면, 반사 표면(1602)의 형상이 변형되면 이는 방사상으로 대칭이 아닐 것이다.

[0173] ii. 일반적으로 광학 중계기 시스템의 사용에 관한 실시예

[0174] 일반적으로, 투과성 광학 구성요소 내에서 열 렌징에 의해 유도된 파면 수차는 투과성 광학 구성요소 내의 특정 위치에서 발생하며, 이는 본원에서 "객체 평면" 또는 "제1 평면"으로 지칭되는 평면에 의해 근사될 수 있다. 이상적으로, 파면 수차는 객체 평면(즉, 생성된 곳)에서 교정된다. 하지만, 이는 보통 물리적으로 가능하지 않다. 따라서, 객체 평면은 투과성 광학 구성요소 외부에 위치된 다른 평면(이하 "이미지 평면" 또는 "제2 평면"으로 지칭됨)으로 재-이미징되고(re-imaged), 파면 보상 광학기는 (예를 들어, 위에서 논의된 방식으로) 파면 수차를 보상하기 위해 이미지 평면에 위치된다.

[0175] 따라서, 빔 경로 조립체는 일부 실시예에서, 객체 평면을 파면 보상 광학기에 중계하거나 또는 재-이미징하기 위해(즉, 이미지 평면을 파면 보상 광학기 상에 배치하기 위해) 빔 경로(114) 내에 배열된 광학 중계기 시스템을 포함할 수 있다. 일반적으로, 광학 중계기 시스템은 임의의 수의 광학 구성요소(예를 들어, 하나 이상의 미러, 하나 이상의 렌즈 등 또는 이들의 임의의 조합)를 포함할 수 있다. 광학 중계기 시스템 내의 광학 구성요소의 구성 및 배열은 이 기술분야에서 알려진 바와 같이, 이미지 평면에서 객체의 이미지의 크기가 객체 평면에서의 실제 객체의 크기와 상이함을(예를 들어, 이보다 크거나 작음을) 보장하도록 제공될 수 있다.

[0176] a. 광학 중계기 시스템에 관한 예시적인 실시예

[0177] 도 20을 참조하면, 광학 중계기 시스템(2000)과 같은 광학 중계기 시스템은 제1 광학 중계기(2000a), 제2 광학 중계기(2000b) 또는 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)의 조합을 포함할 수 있다. 광학 중계기 시스템(2000)은 파면 보상 광학기(2002) 및 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 하나 또는 둘 다를 포함하는 빔 경로 조립체 내에 통합된다. 일반적으로, 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 적어도 하나는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 열 렌징에 기인하여 입사된 레이저 에너지의 빔의 파면을 왜곡 할 수 있는 광학 구성요소를 나타낸다. 따라서, 파면 보상 광학기(2002)는 제1 광학 구성요소(2004a) 내의 열 렌징의 결과로서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적된 실제 파면 왜곡을 보상하도록, 제2 광학 구성요소(2004b) 내의 열 렌징의 결과로서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적될 예상된 파면 왜곡을 보상하도록, 또는 이들의 조합으로 구성될 수 있다. 파면 보상 광학기(2002)는 정적 파면 보상 광학기, 동적 파면 보상 광학기 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공될 수 있다. 하지만, 일반적으로 파면 보상 광학기(2002)는 그것에 입사하는 레이저 에너지의 빔에 대해 투과성이고, 입사된 레이저 에너지의 빔을 투과시키도록 구성된다.

[0178] 예시적으로 도시된 바와 같이, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 각각 렌즈의 세트로 제공된다. 도 20이 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)의 각각이 렌즈 사이에 임의의 광학 구성요소를 포함하지 않는 것으로 도시하였지만, 다른 실시예에서, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b) 중 하나 또는 둘 모두의 렌즈 사이에 개재된 하나 이상의 광학 구성요소(예를 들어, 미러 등)이 있을 수 있다. 제1 광학 중계기(2000a)는 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지가 제1 객체 평면에서보다 제1 이미지 평면에서 더 크도록, 제1 객체 평면에서(즉, 제1 광학 구성요소(2004a) 내의 평면에서) 레이저 에너지의 빔의 이미지를 제1 이미지 평면 상에(즉, 파면 보상 광학기(2002)에 또는 그 안에 위치된 평면에) 중계하도록 배열되고 구성된다. 제2 광학 중계기(2000b)는 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지가 제2 객체 평면에서보다 제2 이미지 평면에서 더 작도록, 제2 객체 평면에서(즉, 제1 이미지 평면과 동일할 수 있는 파면 보상 광학기(2002) 내의 평면에서) 레이저 에너지의 빔의 이미지를 제2 이미지 평면 상에(즉, 제2 광학 구성요소(2004b)에 또는 그 안에 위치된 평면에) 중계하도록 배열되고 구성된다. 일 실시예에서, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 제2 이미지 평면에서 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지의 크기가 제1 객체 평면에서의 레이저 에너지의 빔의 이미지의 크기와 동일하도록 배열되고 구성된다. 다른 실시예에서, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 제2 이미지 평면에서 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지의 크기가 제1 객체 평면에서 레이저 에너지의 빔의 이미지의 크기보다 크거나 작도록 배열되고 구성될 수 있다.

[0179] 도 21을 참조하면, 전술한 광학 중계기 시스템(2000)은 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 하나 또는 둘 다를 포함하지만 파면 보상 광학기(2002) 대신에 파면 보상 광학기(2100)를 포함하는 빔 경로 조립체 내에 통합될 수 있다. 파면 보상 광학기(2002)와 마찬가지로, 파면 보상 광학기(2100)는 제1 광학 구성요소(2004a) 내의 열 렌징의 결과로서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적된 실제 파면 왜곡을 보상하도록, 제2 광학 구성요소(2004b) 내의 열 렌징의 결과로서 레이저 에너지의 빔에 의해 축적될 예상된 파면 왜곡을 보상하도록 또는 이들의 조합으로 구성될 수 있다. 더욱이, 파면 보상 광학기(2100)는 정적 파면 보상 광학기, 동적 파면 보상 광학기 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공될 수 있다. 하지만, 도시된 실시예에서, 파면 보상 광학기(2100)는 (입사된 레이저 에너지의 빔을 투과하는 것과 반대로) 그에 입사되는 레이저 에너지의 빔을 반사하도록 구성된다. 이 실시예에서, 파면 보상 광학기(2100)는 (예를 들어, 위에서 예시적으로 설명된) 임의의 적합한 방식으로 제공된 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러일 수 있다.

[0180] 도 20 및 도 21에서 예시적으로 도시된 실시예에 따라, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 완전히 별개의 구성요소로서 제공된다. 즉, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 공통 구성요소(예를 들어, 렌즈, 미러 등)를 물리적으로 통합하지 않는다. 하지만, 다른 실시예에서, 제1 광학 중계기(2000a) 및 제2 광학 중계기(2000b)는 하나 이상의 공통 구성요소(예를 들어, 렌즈, 미러 등 또는 이들의 임의의 조합)를 통합할 수 있다. 예를 들어, 도 22를 참조로, 광학 중계기 시스템(2200)과 같은 광학 중계기 시스템은 제1 광학 중계기(2200a) 및 제2 광학 중계기(2200b)를 포함할 수 있다. 이 경우, 제1 광학 중계기(2200a)는 제1 렌즈(2202) 및 제2 렌즈(2204)를 통합하고, 제2 광학 중계기(2200b)는 제2 렌즈(2204) 및 제3 렌즈(2206)를 통합한다. 광학 중계기 시스템(2200)은 파면 보상 광학기(예를 들어, 전술한 파면 보상 광학기(2100)) 및 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 하나 또는 둘 다를 포함하는 빔 경로 조립체 내에 통합된다.

[0181] 제1 광학 중계기(2200a)는 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지가 제1 객체 평면에서보다 제1 이미지 평면에서 더 크도록, 제1 객체 평면에서(즉, 제1 광학 구성요소(2004a) 내의 평면에서) (예를 들어, 빔 경로(114)를 따라

전파하는) 레이저 에너지의 빔의 이미지를 제1 이미지 평면 상에(즉, 파면 보상 광학기(2100)에 또는 내부에 위치된 평면에) 중계하도록 배열되고 구성된다. 제2 광학 중계기(2200b)는 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지가 제2 객체 평면에서보다 제2 이미지 평면에서 더 작도록, 제2 객체 평면에서(즉, 제1 이미지 평면과 동일할 수 있는 파면 보상 광학기(2100) 내의 평면에서) 레이저 에너지의 빔의 이미지를 제2 이미지 평면 상에(즉, 제2 광학 구성요소(2004b)에 또는 그 내에 위치된 평면에) 중계하도록 배열되고 구성된다. 일 실시예에서, 제1 광학 중계기(2200a) 및 제2 광학 중계기(2200b)는 제2 이미지 평면에서 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지의 크기는 제1 객체 평면에서 레이저 에너지의 빔의 이미지의 크기와 동일하도록 배열되고 구성된다. 다른 실시예에서, 제1 광학 중계기(2200a) 및 제2 광학 중계기(2200b)는 제2 이미지 평면에서 레이저 에너지의 빔의 중계된 이미지의 크기는 제1 객체 평면에서 레이저 에너지의 빔의 이미지의 크기보다 크거나 작도록 배열되고 구성될 수 있다.

[0182] 도 22가 제1 광학 중계기(2200a) 및 제2 광학 중계기(2200b) 각각이 렌즈들 사이에 임의의 광학 구성요소를 포함하지 않는 것으로 도시하였지만, 다른 실시예에서, 제1 광학 중계기(2200a) 및 제2 광학 중계기(2200b) 중 하나 또는 둘 모두의 렌즈 사이에 개재된 하나 이상의 광학 구성요소(예를 들어, 미러 등)가 있을 수 있다. 예를 들어, 도 23을 참조로, 전술한 광학 중계기 시스템(2200)은 제2 렌즈(2204)와 제3 렌즈(2206) 사이의 빔 경로(114)를 따라 위치된 복수의 미러(예를 들어, 미러(2302 및 2304))을 통합하도록 수정될 수 있다(따라서 광학 중계기 시스템(2300)을 생성한다).

[0183] 일반적으로, 도 20, 도 21, 도 22, 도 23 및 도 24 중 임의의 것에 도시된 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 하나 또는 둘 모두는 전술한 투과성 광학 구성요소, 레이저 이득 매체 등 중 하나 이상 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 중 적어도 하나는 위에서 논의된 AOD 시스템의 임의의 것의 (예를 들어, 결정질 Ge, GaAs, $PbMoO_4$, TeO_2, 결정질 석영, 유리질 SiO_2, As_2S_3, $LiNbO_3$ 등으로 형성된) AO 셀 등으로서 제공된다. 예를 들어, 제1 광학 구성요소(2004a)는 전술한 제1 AOD(402)의 AO 셀로서 제공될 수 있고, 제2 광학 구성요소(2004b)는 전술한 제2 AOD(404)의 AO 셀로서 제공될 수 있다. 따라서, 제1 광학 구성요소(2004a)는 제1 AOD(402)의 일부인 것으로 간주될 수 있고, 제2 광학 구성요소(2004b)는 제2 AOD(404)의 일부인 것으로 간주될 수 있다. 하나의 특정 예시에서, 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)의 AO 셀은 모두 동일한 재료(예를 들어, Ge, GaAs, $PbMoO_4$, TeO_2, 석영, SiO_2, As_2S_3, $LiNbO_3$ 등 또는 이들의 임의의 조합)로 형성될 수 있다. 이러한 경우, 그리고 도시되진 않았지만, 위상 지연기와 같은 하나 이상의 추가적인 광학 구성요소가 제1 광학 구성요소(2004a)와 제2 광학 구성요소(2004b) 사이의 빔 경로 내에(예를 들어, 도 22 또는 23 중 임의의 것에 도시된 빔 경로(114) 내에 또는 도 24에 도시된 빔 경로(114') 내에) 배열되도록 (예를 들어, 위에서 논의된 목적을 위해) 제공될 수 있다. 예를 들어, 위에서 논의된 것과 같은 하나 이상의 위상 지연기는 제1 광학 구성요소(2004a)와 제1 렌즈(2202) 사이의 위치, 제2 광학 구성요소(2004b)와 제3 렌즈 사이(2206)의 위치, 제1 렌즈(2202)와 제3 렌즈(2206) 사이의 위치 등 또는 이들의 임의의 조합에서 빔 경로 내에 배열될 수 있다.

[0184] 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b)가 각각 전술한 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)의 AO 셀로서 제공될 때, 제1 광학 구성요소(2004a)로부터 전파하는 도 23에 도시된 빔 경로(114)는 (예를 들어, 도 4에 도시된 바와 같이) 제1 AOD(402)로부터 전파하는 1차 빔(114')에 대응할 수 있고, 빔 덤프(미도시)는 제1 광학 구성요소(2004a)로부터 또한 전파할 0차 빔(또한, 미도시됨)을 흡수하도록 제공될 수 있다. 다른 실시예에서, 0차 빔은 (예를 들어, 도 24에 도시된 바와 같이) 제1 광학 구성요소(2004a)로부터 제2 광학 구성요소(2004b)로 전파하도록 허용될 수 있다.

[0185] 도 24를 참조하면, 미러(2302 및 2304)의 배열 및 구성에 부가하여 렌즈(2202, 2204 및 2206)의 배열 및 구성은 1차 빔 경로(114)와 제2 광학 구성요소(2004b) 내의 0차 빔 경로(300) 사이의 각도 차이의 크기 및 방향이, 모든 개재 광학기가 제거되고 제2 광학 구성요소(2004b)가 제1 구성요소(2004a)의 광학 출력에 단순히 배열된 경우와 동일하도록(또는 적어도 실질적으로 동일하도록) 제공된다. 이는 (예를 들어, 위에서 예시적으로 설명된 빔 덤프 시스템을 사용하여) 제2 광학 구성요소(2004b)로부터 원치 않는 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지의 포착 및 흡수(즉, 트랩핑)를 용이하게 하는 데 유용할 수 있다.

[0186] 도 24에 예시적으로 도시된 바와 같이, 0차 빔 경로(300)는 1차 빔 경로(114')와 동일한 광학 구성요소 시퀀스를 따르지 않는다. 즉, 0차 빔 경로(300)는 광학 중계기 시스템(2300)을 통해 전파되지 않고 파면 보상 광학기(2100)에 의해 반사되지 않는 한편, 1차 빔 경로(114')는 그러하다. 따라서, 제1 광학 구성요소(2004a)에서 1차 빔에 의해 축적된 (위에서 논의된 바와 같이 다른 왜곡 중에서 집속 효과를 포함할 수 있는) 열 렌징 효과는 1

차 빔이 제2 광학 구성요소(2004b)에 도달하는 시간에 의해 보상되는 한편, 제1 광학 구성요소(2004a)(집속 효과도 포함할 수 있음)에서 0차 빔에 의해 축적된 열 렌징 효과는 0차 빔이 제2 광학 구성요소(2004b)에 도달하는 시간만큼 보상되지 않은 상태로 유지된다. 결과적으로, 제1 광학 요소(2004a)로부터 전파하는 0차 빔은 두 개의 빔이 제2 광학 요소(2004b)에 도달하는 시간만큼 1차 빔보다 상당히 작을 것이다. 이 차이를 보상하기 위해, 광학 중계기 시스템(2300)은 최종적으로 제2 광학 구성요소(2004b)로 전파하는 0차 빔의 크기를 조정하기 위해 제1 광학 구성요소(2004a)로부터 전파하는 0차 빔 경로(300) 내로 배열되는 렌즈(2402)(예를 들어, 단일 발산 렌즈)를 포함하도록 수정될 수 있다(따라서 광학 중계기 시스템(2400)을 생성한다). 일 실시예에서, 렌즈(2402)의 위치 및/또는 배향은 0차 빔이 제2 광학 구성요소(2004b) 상에 입사되는 위치를 시프트하도록 조정될 수 있다.

[0187] 도 24에 대해 논의된 실시예가 1차 빔 경로(114')와 동일한 광학 구성요소 시퀀스를 따르지 않는 0차 빔 경로(300)를 제공하지만, 대안적인 실시예에서 0차 빔 경로(300)는 1차 빔 경로(114')와 동일한 광학 구성요소의 시퀀스를 따를 수 있음이 인식될 것이다. 예를 들어, 하나 이상의 광학 요소(예를 들어, 하나 이상의 미러)는 (예를 들어, 0차 빔 경로(300)가 제2 렌즈(2204)를 통해, 파면 교정 광학기(2100)에, 미러(2302)에, 미러(2304)에, 제3 렌즈(2206)를 통해, 및 제2 광학 구성요소(2004b)에 순차적으로 전파하도록) 1차 빔 경로(114')와 적어도 일반적으로 평행한 방향을 따라 제1 렌즈(2202)를 통해 제1 광학 요소(2004a)를 빠져나갈 때 0차 빔 경로(300)를 지향시키도록 제공될 수 있다. 이 경우, 렌즈(2402)는 빔 경로 조립체에서 생략될 수 있다. 다른 예시에서, 제1 렌즈(2202), 제2 렌즈(2204), 파면 교정 광학기(2100), 미러(2302), 미러(2304) 및 제3 렌즈(2206) 중 하나 이상의 크기 및 배열은 0차 빔 경로(300) 및 1차 빔 경로(114')가 되도록 조정될 수 있다.

[0188] E. 광학 구성요소의 장착에 관한 실시예

[0189] 렌즈, 윈도우, 위상 지연기, 필터, 미러 등과 같은 전술한 광학 구성요소 중 임의의 것은 광학 장착물을 사용하여 빔 경로 조립체 내에서 제 위치에 유지될 수 있다. 결국, 광학 장착물은 통상적으로, 장치(100)의 프레임 또는 벽, 장치(100) 내에 통합된 광학 브레드보드 등에 결합된다. 종종, 장착물은 환경 조건의 범위 하에서 광학 구성요소의 위치를 고정하고 유지하기 위해 광학 구성요소에 하나 이상의 압축력을 가하도록 구성된다. 그럼에도 불구하고, 일부 광학 구성요소의 광학 표면은 기계적인 응력에 매우 민감할 수 있어서, 상대적으로 작은 압축력으로도 광학 표면을 바람직하지 않게 변형시킬 수 있다. 본원에서 사용된, "광학 표면"은 (예를 들어, 광학 구성요소가 미러일 때) 반사 표면, (예를 들어, 광학 구성요소가 렌즈 등일 때) 굴절 표면을 지칭할 수 있다.

[0190] 특히 바람직하지 않은 변형에 민감할 수 있는 광학 표면을 갖는 하나의 특정 부류의 광학 구성요소는 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러이다. 따라서, 도 25에 예시적으로 도시된 일 실시예에서, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러를 유지하기 위한 장착물(2500)은 도 17에 대하여 도시되고 논의된 받침대(1700)와 같은 받침대, 및 받침대(1700)에 결합된 장착 플레이트(2502)를 포함할 수 있다. 장착 플레이트(2502)는 그의 결합 부분(2504)에서 받침대(1700)에 결합된다. 일 실시예에서, 결합 부분(2504)은 나사산이 있고, 장착 플레이트(2502)는 나사산이 있는 결합 부분(2504)과 정합하도록(mate) 구성된 내부에 나사산이 있는 보어를 포함한다. 다른 실시예에서, 결합 부분(2504)은 임의의 다른 결합 수단(예를 들어, 접착제, 용접, 하나 이상의 클램프, 하나 이상의 나사 등)에 의해 장착 플레이트(2502)의 보어 내에 고정된다. 장착 플레이트(2502)는 이 기술분야에 알려진 임의의 방식으로 (예를 들어, 하나 이상의 나사, 클램프, 스프링, 접착제 등을 통해) 임의의 적합하거나 알려진 고정되거나 또는 조정 가능한 광학 장착물 조립체(미도시)에 결합될 수 있다. 결합 부분(2504)이 장착 플레이트(2502)의 나사산이 있는 보어에 나사 결합되는 실시예에서, 장착물(2500)은 또한 잠금 너트(2506)를 포함할 수 있다. 잠금 너트(2506)는 장착 플레이트(2502)의 나사산이 있는 보어 내에 결합 부분(2504)을 잠그는 것을 돕기 위해 장착 플레이트(2502)의 나사산이 있는 보어에 나사로 고정될 수 있다.

[0191] 도시된 실시예에서, 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러(1600)는 미러(1600)의 멤브레인 영역(1608) 내에서 응력이 유도되지 않도록(또는 상당한 응력이 유도되지 않도록) 받침대(1700)에 결합된다. 또한, 보어(1704)는 유체(예를 들어, 공기)가 위에서 논의된 방식으로 포켓(1606)을 가압하거나 또는 감압하기 위해 보어(1704)를 통해 이동할 수 있는 결합 부분(2504)의 전체 길이를 통해 표면(1702)으로부터 연장하는 것으로 도시된다. 보어(1704)를 통한 유체의 전달을 용이하게 하기 위해, 부품(fitting, 2508)이 보어(1704)의 일 단부에 삽입될 수 있다. 부품(2508)은 임의의 적절하거나 알려진 방식으로 호스에 (예를 들어, 공압 호스, 유압 호스 등과 같은 호스의 제1 단부에) 결합되도록 구성될 수 있다.

[0192] 도 25가 장착물(2500)이 (즉, 미러(1600)를 고정하기 위한) 도 17에 도시된 받침대(1700)에 결합된 것으로 도시하였지만, 장착물(2500)은 미러(1600) 또는 임의의 다른 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러를 고정하기 위해 임

의의 다른 받침대에 결합될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 장착물(2500)은 (즉, 미러(1800)를 고정하기 위한) 도 18에 도시된 받침대(1700) 또는 (즉, 미러(1900)를 고정하기 위한) 도 19에 도시된 받침대(1700)에 결합될 수 있다 더욱이, 장착물(2500)이 멤브레인-타입의 변형 가능한 미러를 고정하는 데 사용하기 위한 받침대를 포함하는 것으로 위에서 논의되었지만, 장착물(2500)은 임의의 다른 광학 구성요소를 고정하는 데 사용하기 위한 임의의 다른 적합한 받침대를 포함할 수 있다는 것을 인식될 것이다.

[0193] F. 일반적으로 파장 분산에 대한 보상에 관한 실시예

[0194] AOD는 스펙트럼 분산 요소이며, 결과적으로 AOD에 의해 레이저 에너지의 빔이 편향되는 각도는 레이저 에너지의 빔의 파장에 따라 의존한다는 것이 인식되어야 한다. AOD 상에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 스펙트럼 선폭이 너무 크면, AOD 내에서 입사된 빔의 회절은 바람직하지 않게 공간적으로 왜곡될 수 있거나(작업물(102)에서 바람직하지 않게 왜곡될 수 있는 예를 들어, 연장된 가공 스폿을 초래할 수 있거나) 또는 상이한 파장 또는 스펙트럼 선폭의 다수의 빔렛으로 공간적으로 분해될 수 있는 편향된 레이저 에너지의 빔을 생성할 것이다. 따라서, 위에서 논의된 것과 같은 레이저-가공 응용에 대해, 제1 위치 지정기(106)에서 AOD 상에 최종적으로 입사되는 레이저 에너지의 빔은 레이저 에너지의 넓은 선폭 빔에 대한 AOD-내 회절 이벤트의 전술한 해로운 영향을 최소화하거나 이를 회피하도록 적합하게 좁은 스펙트럼 선폭을 갖는 것이 바람직하다. 스펙트럼 선폭은 예를 들어, 레이저 에너지의 빔의 광학 출력 스펙트럼 밀도의 반치전폭(full-width at half-maximum, FWHM)을 기초로 측정될 수 있다.

[0195] 전자기 스펙트럼의 자외선, 가시광선 또는 NIR 범위 내에서 레이저 출력을 생성하도록 작동하는 다수의 종래의 레이저원(104)에 의해 생성된 레이저 에너지의 빔의 스펙트럼 선폭은 레이저-가공 응용에 대해 적합하게 좁다. 고출력 CW 가스 레이저(예를 들어, 약 300W를 초과하는 평균 출력을 갖는 이산화탄소 또는 일산화탄소 CW 레이저) 및 (예를 들어, 약 300W 미만인 평균 출력을 갖는) 다른 저출력 CW 또는 펄스 가스 레이저는 일부 경우에서, 레이저-가공 응용에 대해 적합하게 좁은 SWIR, MWIR 또는 LWIR 범위의 스펙트럼 선폭을 갖는 레이저 펄스를 생성할 수 있다. 이들 경우에서, 이러한 가스 레이저에 의해 출력되는 좁은 스펙트럼 선폭은 레이저원(104)의 레이저 공진기 내에 하나 이상의 스펙트럼 선택 디바이스(예를 들어, 에탈론(etalon) 또는 격자)를 통합함으로써 달성된다.

[0196] 하지만, 일부 실시예에서, AOD 상에 최종적으로 입사하는 레이저 에너지의 빔의 스펙트럼 선폭은 레이저-가공 응용에 대해 적합하게 좁지 않을 것이다. 예를 들어, 적절한 스펙트럼 선택 디바이스가 없는 가스 레이저(예를 들어, 고출력 또는 저출력 CW 또는 펄스 이산화탄소 또는 일산화탄소 가스 레이저)에 의해 생성된 레이저 에너지의 빔은 바람직하지 않게 넓은 스펙트럼 선폭을 갖는 레이저 에너지의 빔을 생성할 수 있다. (예를 들어, 결정질 게르마늄으로 형성된 AO 셀을 통합하는) AOD가 이러한 빔을 편향시키는 데 사용될 때, AOD는 위에서 논의된 바와 같이 바람직하지 않게 공간적으로 왜곡되거나 또는 공간적으로 분해될 수 있는 편향된 레이저 에너지의 빔을 생성할 것이다. 이러한 실시예에서, 빔 경로 조립체는 빔 경로(114)에 배치된 하나 이상의 파장 분산 보상기(각각 또한, 본원에서 간단히 "분산 보상기"로 지칭됨)를 포함할 수 있다. 일반적으로, 분산 보상기는 프리즘, 격자 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공될 수 있다. 분산 보상기의 구성은 빔 경로(114)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 파장, 레이저 에너지의 빔의 빔 크기 등과 같은 하나 이상의 인자에 의존하여 변할 것이라는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 빔 경로(114)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔이 전자기 스펙트럼의 적외선 범위의 파장(예를 들어, MWIR 또는 LWIR 범위에서, 3㎛(또는 그 정도) 내지 15㎛ 범위(또는 그 정도)에 걸친 파장 등)을 가질 때, 분산 보상기는 용융 실리카, 실리콘, 불화 칼슘, 불화 마그네슘, 게르마늄, 셀렌화 아연, 황화 아연, 브롬화 칼륨, 사파이어 염화나트륨 등과 같은 재료로 형성된 분산 프리즘으로서 제공될 수 있다.

[0197] i. 분산 보상기에 관한 예시적인 실시예

[0198] 일 실시예에서, 도 26을 참조로, 분산 보상기(2600)는 AOD(2602)의 광학적으로 업스트림인 위치에서 빔 경로(114)에 배치된다. 일반적으로, 분산 보상기(2600)는 AOD(2602)의 편향 평면에 평행한(또는 적어도 일반적으로 또는 실질적으로 이에 평행한) 평면에서 레이저 에너지의 빔을 분산시키도록 배향되어야 한다. 도 26에 도시된 실시예에서, AOD(2602)는 제1 위치 지정기(106)의 AOD(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404))이다.

[0199] 다른 실시예에서 도 27을 참조로, 분산 보상기(2600)는 AOD(2602)의 광학적으로 업스트림인 위치에서 및 광학 중계기 시스템의 구성요소 사이의 빔 경로(114)에 배치된다. 예를 들어, 광학 중계기 시스템은 분산 보상기(2600)의 광학적으로 업스트림인 위치에 배열된 제1 빔 확장기(2700) 및 분산 보상기(2600)의 광학적으로 다운스트림인 위치에 배열된 제2 빔 확장기(2702)를 포함할 수 있다. 제1 빔 확장기(2700)는 빔 경로(114)를 따라

전파하는 레이저 에너지의 빔을 (예를 들어, 제1 빔 크기로부터 제1 빔 크기보다 큰 제2 빔 크기로) 확대하도록 배열되고 구성되고, 제2 빔 확장기(2702)는 분산 보상기(2600)로부터 빔 경로(114)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔을 (예를 들어, 제2 빔 크기 또는 그 정도로부터 제1 빔 크기 또는 제3 빔 크기로) 줄이도록 (또는 "축소하도록") 배열되고 및 구성된다. 제3 빔 크기는 제2 빔 크기보다 작고, 제1 빔 크기보다 작거나 클 수 있다. 도 26에 도시된 실시예에서와 같이, 도 27에 도시된 AOD(2602)는 제1 위치 지정기(106)의 AOD(예를 들어, 제1 AOD(402) 또는 제2 AOD(404))이다. 제1 빔 확장기(2700)에 의해 제공되는 빔 크기의 배율이 충분히 크면, 분산 보상기(2600)의 설계 사양은 유리하게 완화될 수 있다(일반적으로 분산 보상기(2600)를 생성하기 위한 비용을 감소시킬 수 있다).

[0200] 일부 경우에서, 레이저 에너지의 1차 빔은 빔 경로(114')를 따라 전파함에 따라 발산한다. 따라서, 1차 빔 경로(114')를 따른 제1 위치에서(예를 들어, 제2 위치 지정기(108)의 광학 입력에서) 1차 레이저 에너지의 빔의 빔 크기는 (예를 들어, AOD(2602)가 전술한 제1 AOD(402)일 때) AOD(2602)의 표면에서의 레이저 에너지의 빔의 빔 크기보다 클 수 있다. 그러한 경우에, 도 28을 참조로, 분산 보상기(2600)는 AOD(2602)의 광학적으로 다운스트림인 위치에서 빔 경로(114)에 배치될 수 있다. 도 28에 도시된 실시예에서, AOD(2602)는 제1 위치 지정기(106)의 제2 AOD(404)이고; 따라서, 빔 경로(114)는 1차 빔 경로(114")에 대응한다. 따라서, 도시된 거리 "d"(또한, 본원에서 "경로 길이"로 지칭됨)는 제2 AOD(404)의 광학 출력과 제2 빔 위치 지정기(108)(예를 들어, 제2 위치 지정기(108a) 또는 제2 위치 지정기(108b))의 광학 입력 사이의 빔 경로(114)(예를 들어, 1차 빔 경로 114")를 따른 길이의 크기를 나타낸다. 일반적으로, 거리 "d"는 1m(또는 그 정도) 내지 5m(또는 그 정도)의 범위에 있을 수 있다. 하지만, 예를 들어, 하나 이상의 디포커싱 요소(defocusing elements)(예를 들어, 하나 이상의 적합한 렌즈, 미러 등)가 빔 경로(114)에 삽입되는 경우 거리 "d"가 단축될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0201] 도 26 내지 도 28에 도시된 실시예에서, 분산 보상기(2600)는 분산 프리즘(예를 들어, 등변의 분산 프리즘)으로서 제공되지만, 임의의 다른 적합한 프리즘의 기하학적 구조(예를 들어, 직각 프리즘) 또는 격자 등과 같은 다른 타입의 분산 보상기가 사용될 수 있음이 인식될 것이다.

[0202] 장치(100)가 복수의 제2 위치 지정기(108)(예를 들어, 도 1에 대하여 위에서 논의된 바와 같이 제2 위치 지정기(108a 및 108b))를 포함하는 실시예에서, 장치(100)의 빔 경로 조립체는 대응하는 복수의 분산 보상기(2600)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 29를 참조로, 빔 경로 조립체는 제1 분산 보상기(2600a) 및 제2 분산 보상기(2600b)를 포함할 수 있다. 제1 분산 보상기(2600a)는 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 편향된 빔 경로(114)에 배열되고, 제2 분산 보상기(2600b)는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 편향된 빔 경로(114)에 배열된다. 빔 경로(114)가 (즉, 도 4에 대해 위에서 논의된 바와 같이) 제1 위치 지정기(106)에 의해 편향된 빔 경로인 실시예에서, 빔 경로(114)는 전술한 1차 빔 경로(114'')에 대응한다.

[0203] 도 29에 도시된 실시예에서, 제1 분산 보상기(2600a) 및 제2 분산 보상기(2600b)는 각각 광학 벽(2902)(예를 들어, 그의 제1 측면(2904))에 부착된다. 마찬가지로, 제2 위치 지정기(108a 및 108b)는 또한, 광학 벽(2902)의 제1 측면(2904)에 부착될 수 있지만, 그러할 필요는 없다(this need not be the case). 제1 위치 지정기(106)에 의해 편향된 빔 경로(114)는 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 또는 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 편향될 수 있다. 제1 프라이머리 각도 범위 내에서 편향될 때, 빔 경로(114)는 광학 벽(2902)에 형성된 광학 포트(즉, 제1 광학 포트(2906a))를 통해 중계되며, 이는 이후에 제1 분산 보상기(2600a)에 가이드된다(예를 들어, 각각 일반적으로 "제1 미러(2908a)"로 지칭되는 미러(2908a1, 2908a2 및 2908a3)와 같은 제1 미러의 세트에 의해 반사된다). 마찬가지로, 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 편향될 때, 빔 경로(114)는 광학 벽(2902)에 형성된 광학 포트(즉, 제2 광학 포트(2906b))를 통해 중계되며, 이는 이후에 제2 분산 보상기(2600b)로 가이드된다(예를 들어, 각각 일반적으로 "제2 미러(2908b)"로 지칭되는 미러(2908b1, 2908b2 및 2908b3)와 같은 제2 미러의 세트에 의해 반사된다). 제1 분산 보상기(2600a)를 빠져나갈 때, 빔 경로(114)는 제2 위치 지정기(108a)로 가이드된다(예를 들어, 미러(2910a)에 의해 반사된다). 마찬가지로, 제2 분산 보상기(2600b)를 빠져나갈 때, 빔 경로(114)는 제2 위치 지정기(108b)로 가이드된다(예를 들어, 미러(2910b)에 의해 반사된다).

[0204] 도 29에 도시된 실시예에서, 미러(2908a, 2908b, 2910a 및 2910b)의 각각은 광학 벽(2902)의 제1 측면(2904)에 부착된다. 하지만, 이러한 광학 구성요소는 임의의 다른 적합한 기술을 사용하여 빔 경로(114)에 제공될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 도 29에 도시된 빔 경로 조립체가 (예를 들어, 미러(2908a, 2908b, 2910a 및 2910b)의 상이한 배열, 제2 위치 지정기(108)의 상이한 배열, 도시된 것보다 많거나 적은 미러 등 또는 이들의 임의의 조합으로) 상이하게 제공될 수 있다는 것이 더 인식될 것이다. 일 실시예에서, (예를 들어, 제1 미러(2908a3)에 대한) 제1 분산 보상기(2600a)의 배향은 제1 위치 지정기(106)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)

내에서 빔 경로(114)를 편향시키도록 작동될 때 대 제1 위치 지정기(106)가 제2 프라이머리 각도 범위 내에서 빔 경로(114)를 편향시키도록 작동될 때 1차 레이저 에너지의 빔에 도입된 분산의 차이를 고려하기 위해 (예를 들어, 제1 미러(2908b3)에 대한) 제2 분산 보상기(2600a)의 배향과 상이하다.

[0205] G. 빔 경로 조립체에 관한 추가적인 실시예

[0206] 도 29에 도시되진 않았지만, 장치(100)는 제1 광학 포트(2906a)를 통해 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 편향된 빔 경로(114)를 가이드하기 위해 제1 위치 지정기(106)의 광학 출력과 제1 광학 포트(2906a) 사이에 (제1 측면(2904) 반대편인) 광학 보드(2902)의 제2 측면에 배열된 하나 이상의 미러를 포함할 수 있다. 마찬가지로, 장치(100)는 제2 광학 포트(2906b)를 통해 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 편향된 빔 경로(114)를 가이드하기 위해, 제1 위치 지정기(106)의 광학 출력과 제2 광학 포트(2906b) 사이의 광학 보드(2902)의 제2 측면에 배열된 하나 이상의 미러를 포함할 수 있다. 광학 보드(2902)의 제2 측면에서의 빔 경로 조립체에 관한 예시적인 실시예가 도 30에 관하여 논의된다.

[0207] 도 30을 참조하면, 광학 보드(2902)의 제2 측면은 3000으로 식별된다. 또한, 제1 광학 포트(2906a), 제2 광학 포트(2906b), 제1 광학 구성요소(2004a), 제2 광학 구성요소(2004b) 및 전술한 레이저원(104)이 도시된다. 도 30에 도시된 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a)는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 제1 AOD(402)의 AO 셀로서 제공되고, 제2 광학 구성요소(2004b)는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 제2 AOD(404)의 AO 셀로서 제공된다. 따라서, 제1 광학 구성요소(2004a)는 제1 AOD(402)의 일부인 것으로 간주될 수 있고, 제2 광학 구성요소(2004b)는 제2 AOD(404)의 일부인 것으로 간주될 수 있다.

[0208] 도 30에 예시적으로 도시된 바와 같이, 레이저원(104)으로부터 제1 광학 포트(2906a) 및 제2 광학 포트(2906b)로의 빔 경로(114)의 가이드를 용이하게 하기 위해 복수의 미러가 제공될 수 있다. 예를 들어, 제1 세트의 미러(3004a 및 3004b)는 레이저원(104)으로부터 제1 광학 구성요소(2004a)로 빔 경로(114)를 가이드하도록 제공될 수 있고, 제2 세트의 미러(3006a 및 3006b)는 제1 광학 구성요소(2004a)로부터 제2 광학 구성요소(2004b)로 빔 경로(114)를 가이드하도록 제공될 수 있고, 제3 세트의 미러(3008a, 3010a 및 3012a)는 (즉, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 편향될 때) 제2 광학 구성요소(2004a)로부터 제1 광학 포트(2906a)로 빔 경로(114)를 가이드하도록 제공될 수 있고, 제4 세트의 미러(3008b, 3010b 및 3012b)는 (즉, 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 편향될 때) 제2 광학 구성요소(2004a)로부터 제2 광학 포트(2906b)로 빔 경로(114)를 가이드하도록 제공될 수 있다. 도 30에 도시된 빔 경로 조립체에서, 미러(3008a)는 픽오프 미러로서 제공될 수 있다.

[0209] 제1 광학 구성요소(2004a), 제2 광학 구성요소(2004b) 및 미러(3004a, 3004b, 3006a, 3006b, 3008a, 3008b, 3010a, 3010b, 3012a 및 3012b)와 같은 광학 구성요소는 본원에서 논의되었거나 또는 다른 방식으로 이 기술분야에서 알려진 임의의 적합한 방법에 의해 광학 보드(2902)의 제2 측면(3000)에 부착될 수 있다. 하지만, 이러한 광학 구성요소는 임의의 다른 적합한 기술을 사용하여 빔 경로(114)에 제공될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 도 30에 도시된 빔 경로 조립체가 또한, (예를 들어, 미러(3004a, 3004b, 3006a, 3006b, 3008a, 3008b, 3010a, 3010b, 3012a 및 3012b)의 상이한 배열과, 광학 구성요소(2004a 및 2004b)의 상이한 배열과, 도시된 것보다 더 많거나 또는 적은 미러와 등 또는 이들의 임의의 조합으로) 상이하게 제공될 수 있음이 더 인식될 것이다. 예를 들어, 제1 광학 구성요소(2004a)는 미러(3006b)와 제2 광학 구성요소(2004b) 사이의 위치에서 빔 경로(114)에 배열될 수 있다. 다른 예시에서, 제2 광학 구성요소(2004b)는 제1 광학 구성요소(2004a)와 미러(3006a) 사이의 위치의 빔 경로(114)에 배열될 수 있다.

[0210] i. 제1 및 제2 광학 구성요소에 관한 논의

[0211] 일 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a)는 제2 광학 구성요소(2004b)를 통합하는 제2 AOD(404)와 연관된 제2 회전 축이 제1 광학 구성요소(2004a)를 통합하는 제1 AOD(402)와 연관된 제1 회전 축에 평행하도록(또는 이에 적어도 실질적으로 평행하도록), 즉, 도 30에 도시된 빔 경로 조립체에서 제2 광학 구성요소(2004b)에 대해 배향된다. 이 경우, 미러(3006a 및 3006b)는 제2 AOD(404) 상에 투영될 때 제1 AOD(402)의 편향 평면이 제2 AOD(404)의 편향 평면과 상이함을(예를 들어, 이에 직교하거나 비스듬함을) 보장하도록 배향된다. 예를 들어, 편향 평면이 어떻게 회전될 수 있는지에 대한 예시에 대해서는 예를 들어, 국제공개특허 제WO 2019/060590 A1호를 참조한다.

[0212] 다른 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a)는 제2 광학 구성요소(2004b)를 통합하는 제2 AOD(404)와 연관된 제2 회전 축이 제1 광학 구성요소(2004a)를 통합하는 제1 AOD(402)와 연관된 제1 회전 축에 직교하도록(이에 적어도 실질적으로 직교하거나 또는 비스듬하도록) 즉, 도 30에 도시된 빔 경로 조립체에서 제2 광학 구성요소

(2004b)에 대해 배향된다. 이 경우, 미러(3006a 및 3006b)는 제1 AOD(402)의 편향 평면이 제2 AOD(404) 상에 투영될 때, 제2 AOD(404)의 편향 평면에 대해 직교함을(이에 적어도 실질적으로 직교하거나 또는 비스듬함을) 보장하도록 배향된다. 예를 들어, 편향 평면이 회전되는 것으로부터 어떻게 방지될 수 있는지에 대한 예시에 대해, 국제공개특허 제WO 2019/060590 A1호를 참조한다.

[0213] ii. 추가적인 광학 구성요소에 관한 논의

[0214] 도시되진 않았지만, 하나 이상의 다른 광학 구성요소(예를 들어, 빔 트랩, 빔 덤프 시스템, 빔 확장기, 빔 성형기, 빔 스플리터, 조리개, 필터, 시준기, 렌즈, 미러, 프리즘, 편광기, 위상 지연기, DOE, ROE, 등 또는 이들의 임의의 조합)는 레이저 에너지의 빔이 빔 경로(114)를 따라 (예를 들어, 레이저원(104)으로부터 광학 포트(2906a 및 2906b) 중 하나 또는 둘 다로) 전파할 때 레이저 에너지의 빔의 초점을 맞추거나, 확장시키거나, 시준하거나, 성형하거나, 편광시키거나, 필터링하거나, 분할하거나, 결합하거나, 자르거나, 흡수하거나 또는 다른 방식으로 수정하거나, 조정하거나, 지향시키는 등을 위해, 도 30에 도시된 빔 경로 조립체 내에 제공될 수 있다. 아래에 후속하는 것은 도 30에 도시된 빔 경로 조립체에 통합될 수 있는 추가적인 광학 구성요소의 간략한 논의이다. 빔 경로 조립체가 이들 추가적인 광학 구성요소 중 하나 이상 또는 모두를 임의의 조합으로 포함할 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0215] 일 실시예에서, 빔 확장기, 시준기 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 광학 구성요소는 미러(3004b)와 제1 광학 구성요소(2004a) 사이의 위치에서 빔 경로(114)에 배열될 수 있다.

[0216] 다른 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a), 제2 광학 구성요소(2004b), 또는 이들의 조합으로부터 임의의 원치 않는 빔 경로를 따라 전파되는 레이저 에너지를 포착하거나 흡수하도록 하나 이상의 빔 트랩 또는 빔 덤프 시스템이 제공될 수 있다. 예를 들어, 제1 빔 트랩 또는 빔 덤프 시스템은 제1 광학 구성요소(2004a)로부터의 1차 빔 경로(114')(및 선택적으로, 0차 빔 경로(300)(미도시)) 이외의 모든 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 선택적으로 트랩하기 위해 미러(3006b)와 제2 광학 구성요소(2004b) 사이의 위치에 배열될 수 있다. 마찬가지로, 제2 광학 구성요소(2004b)로부터 1차 빔 경로(114") 이외의 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 트랩하기 위해 제2 광학 구성요소(2004b)와 미러(3008a) 사이의 위치에 제2 빔 트랩 또는 빔 덤프 시스템이 배치될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 빔 덤프 시스템은 통합 빔 덤프 시스템(700)으로서 제공되고 제2 빔 덤프 시스템은 통합 빔 덤프 시스템(1000)으로서 제공된다.

[0217] 다른 실시예에서, (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 실제 파면 왜곡 또는 예상된 파면 왜곡을 보상하기 위해, 파면 보상 광학기(2002 또는 2100) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 파면 보상 광학기가 제공될 수 있다 (예를 들어, 제1 광학 구성요소(2004a)와 제2 광학 구성요소(2004b) 사이의 빔 경로(114)의 위치 즉, 빔 경로(114')의 위치에 배열될 수 있다).

[0218] 다른 실시예에서, 도 20, 도 21, 도 22, 도 23 및 도 24 중 임의의 것에 대해 위에서 논의된 광학 중계기 시스템(2000, 2200, 2300 또는 2400)과 같은 광학 중계기 시스템을 형성하는 하나 이상의 광학 구성요소는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 파면 왜곡의 보상을 용이하게 하기 위해 파면 보상 광학기가 제공될 수 있다.

[0219] 다른 실시예에서, (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 하나 이상의 위상 지연기는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면이 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이, 레이저 에너지의 빔의 파장 및 제2 광학 구성요소(2004b)가 형성되는 재료에 의존하여) 제2 광학 구성요소(2004b)의 회절 축에 평행하거나 또는 이에 수직함을 (또는 이에 적어도 실질적으로 평행하거나 또는 수직함을) 보장하기 위해 제2 광학 구성요소(2004b) 상에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면을 회전시키도록, 도 30에 예시적으로 도시된 바와 같이 빔 경로(114)에 배열될 수 있다. 필요한 경우, 하나 이상의 위상 지연기는 마찬가지로, 레이저 에너지의 빔의 편광 평면이 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이, 레이저 에너지의 빔의 파장 및 제1 광학 구성요소(2004a)가 형성되는 재료에 의존하여) 제1 광학 구성요소(2004a)의 회절 축에 평행하거나 또는 수직함을(또는 이에 적어도 실질적으로 평행하거나 또는 수직함을) 보장하기 위해 제1 광학 구성요소(2004a) 상에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 편광 평면을 회전시키도록 빔 경로(114)에 배열될 수 있다. 하나의 예시적인 실시예에서, 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b)는 결정질 게르마늄과 같은 AO 셀 재료로 형성되고, 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 상에 입사하는 레이저 에너지의 빔은 9 ㎛(또는 그 정도) 내지 11 ㎛(또는 그 정도)의 범위의 파장 및 20W(또는 그 정도) 내지 20kW(또는 그 정도)의 범위의 평균 출력을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다. 이러한 예시적인 실시예에서, 미러(3006a 및 3006b) 중 하나가 (예를 들어, 180도 위상 시프트를 부여하도록 구성된) 반사 위상 지연기로서 제공될 수 있거나, 또는 미러(3006a 및 3006b)의 모두가 (예를 들어, 90도 위상 시프트를 제공하도록 구성된) 반사 위상 지연기로서 제공될 수 있다. 그럼에도 불구하고 제1 광학 구성요소

(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b)는 임의의 다른 적합한 AO 셀 재료로 형성될 수 있고, 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b) 상에 입사하는 레이저 에너지의 빔은 (예를 들어, 전자기 스펙트럼의 UV 또는 가시광선 범위에서의) 임의의 다른 적합한 파장 및 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 작업물을 가공하는 데 충분한 (예를 들어, 평균 출력, 피크 출력 등에 대한) 출력 특성을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있음이 인식될 것이다.

[0220] iii. 레이저 센서 시스템에 관한 실시예

[0221] 선택적으로, 장치(100)는 레이저 센서 시스템(3014a 및 3014b)과 같은 하나 이상의 레이저 센서 시스템을 더 포함한다. 이 실시예에서, 미러(3010a 및 3010b)는 입사된 레이저 에너지의 빔에서 대부분의 광을 반사시키고 소량의 광(예를 들어, 2% 또는 그 정도)을 투과시키도록 구성된 부분적으로 투과성인 미러로서 제공되고, 레이저 센서 시스템은 대응하는 부분적으로 투과성 미러에 의해 투과된 광을 수신하도록 배열된다. 예를 들어, 레이저 센서 시스템(3014a)은 미러(3010a)에 의해 투과된 광을 수신하도록 배열되고, 레이저 센서 시스템(3014b)은 미러(3010b)에 의해 투과된 광을 수신하도록 배치된다.

[0222] 일반적으로, 각 레이저 센서 시스템(3014a 및 3014b)은 이에 투과되는 레이저 에너지 또는 출력을 감지하거나 또는 측정하고, 감지 또는 측정을 기초로 센서 데이터를 생성하도록 구성된 광 검출기를 포함한다. 센서 데이터는 임의의 적합한 수단에 의해 제어기(122)에 출력될 수 있으며, 이는 그 후, (예를 들어, 레이저 출력의 변화를 보상하기 위한) 실시간 펄스 에너지 제어, (예를 들어, RF 출력 및 주파수 등에 대한 제1 위치 지정기(106)의 AOD 시스템에서의 투과 변화를 보상하기 위한) 시스템 캘리브레이션(system calibrations) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 장치(100)의 다양한 기능을 지원하도록 가공될 수 있다.

[0223] 레이저 센서 시스템(3014a 및 3014b)이 제1 광학 구성요소(2004a) 및 제2 광학 구성요소(2004b)의 광학적으로 다운스트림에 위치되기 때문에, 각각 제1 위치 지정기(106)의 AOD, 광 검출기에 의해 취해진 판독치는 이에 입사하는 에너지의 빔의 위치 또는 각도에 의존하여 달라질 수 있다. 따라서, 광 검출기 위에서 입사된 레이저 에너지의 빔의 이동은 판독 오차를 유발할 수 있으며, 이는 잘못된 출력 제어, 시스템 캘리브레이션 등을 초래할 수 있다. 광 검출기와 관련된 공간 및 방향 감도를 감소시키거나 제거하기 위해, 레이저 센서 시스템의 각각은 레이저 에너지의 빔이 광 검출기에 부딪히기 전에, 레이저 에너지의 빔을 확장시키거나 및/또는 확산시키도록 배열된 빔 확장기 및/또는 확산기(diffuser)를 포함할 수 있다.

[0224] 다른 실시예에서, 각 레이저 센서 시스템(3014a 및 3014b)은 광 검출기와 연관된 공간 및 방향 감도를 감소시키기 위해 광 검출기의 광학적으로 업스트림에 배열된 통합 구체(integrating sphere, 3016)를 제공받을 수 있다. 통합 구체(3016)는 빔 확장기/확산기의 전술한 사용에 대한 대안적으로서 또는 이를 보충하기 위해 제공될 수 있다. 일반적으로, 이 기술분야에 알려진 바와 같이, 통합 구체(3016)는 이의 내부 표면이 확산 반사 코팅으로 코팅된 중공(hollow) 구형(또는 적어도 실질적으로 구형인) 공동을 포함하는 광학 구성요소이다. 통합 구체(3016)는 수집 포트(도시되었지만 라벨링되지 않음) 및 검출 포트를 포함한다. 통합 구체(3016)는 부분적으로 투과성인 미러로부터(즉, 미러(3010a 또는 3010b)로부터) 전파하는 광이 수집 포트를 통해 대응하는 통합 구체(3016)의 공동으로 들어갈 수 있도록 배열된다. 공동의 내부 표면상의 임의의 지점에 입사하는 광은 산란되고, 최종적으로 광 검출기 상에 입사하도록 검출 포트에서 통합 구체(3016)를 빠져나간다(이 실시예에서 3018로 식별됨).

[0225] H. AOD 구동 기술에 관한 실시예

[0226] i. 빔 분기에 관한 실시예

[0227] 위에서 언급된 바와 같이, 도 4는 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 다중-축 AOD 시스템(400) 상에 입사하는 빔 경로(114)의 편향을 일반적으로 도시한다. 도 3에 관련하여 위에서 논의된 편향 방식을 구현하기 위해, 제1 AOD(402)는 복수의 제1 주파수 범위 중 하나에 속하는 구동 주파수를 갖는 적용된 제1 RF 구동 신호에 의해 작동되거나 또는 구동될 수 있고, 제2 AOD(404)는 복수의 제2 주파수 범위 중 대응하는 하나 내에 속하는 구동 주파수를 갖는 적용된 제2 RF 구동 신호에 의해 작동되거나 또는 구동될 수 있다. 예를 들어, 도 1, 도 4 및 도 31을 참조로, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 다중-축 AOD 시스템(400) 상에 입사하는 빔 경로(114)를 (제2 위치 지정기(108a)로) 편향시키기 위해, 제1 AOD(402)에 적용되는 제1 RF 구동 신호는 제1 주파수 범위(3102a) 내에 속하는 제1 구동 주파수(f1)를 갖고, 제2 AOD(404)에 적용되는 제2 RF 구동 신호는 대응하는 제2 주파수 범위(3104a)에 속하는 제2 구동 주파수(f2)를 가질 수 있다. 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 다중-축 AOD 시스템(400) 상에 입사하는 빔 경로(114)를 (제2 위치 지정기(108b)로) 편향시키기 위해, 제1

AOD(402)에 적용되는 제1 RF 구동 신호는 제1 주파수 범위(3102b) 내에 속하는 제1 구동 주파수(f1)를 가질 수 있으며, 제2 AOD(404)에 적용되는 제2 RF 구동 신호는 대응하는 제2 주파수 범위(3104b)내에 속하는 제2 구동 주파수(f2)를 가질 수 있다.

[0228] 일반적으로, 제1 주파수 범위(3102a)는 제1 주파수 범위(3102b)와 중첩되지 않고 인접하지도 않는다. 마찬가지로, 제2 주파수 범위(3104a)는 제2 주파수 범위(3104b)와 겹치지 않고 인접하지도 않는다. 따라서, "갭"은 제1 주파수 범위(3102a)와 제1 주파수 범위(3102b) 사이에 및, 또한 제2 주파수 범위(3104a)와 제2 주파수 범위(3104b) 사이에 존재한다. 일반적으로, 제1 주파수 범위(3102a)와 제1 주파수 범위(3102b) 사이의 갭(즉, "제1 주파수 범위 갭")은 제2 주파수 범위(3104a)와 제2 주파수 범위(3104b) 사이의 갭(즉, "제2 주파수 범위 갭")보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다. 제1 주파수 범위 갭 및 제2 주파수 범위 갭 중 임의의 것은 0.3MHz, 0.5MHz, 0.7MHz, 0.9MHz, 1MHz, 2MHz, 5MHz, 10MHz 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이의 폭을 가질 수 있다.

[0229] 일반적으로, 제1 주파수 범위(3102a), 제1 주파수 범위(3102b), 제2 주파수 범위(3104a) 및 제2 주파수 범위(3104b)는 주파수의 범위에 걸친다. 예를 들어, 제1 주파수 범위(3102a), 제1 주파수 범위(3102b), 제2 주파수 범위(3104a) 및 제2 주파수 범위(3104b) 중 임의의 것에 걸쳐있는 주파수 범위는 3MHz, 5MHz, 7MHz, 9MHz, 10MHz, 12MHz, 15MHz, 20MHz 등과 동일하거나 또는 이들 값 중 임의의 것 사이일 수 있다. 제1 주파수 범위(3102a)는 제1 주파수 범위(3102b)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다. 마찬가지로, 제2 주파수 범위(3104a)는 제2 주파수 범위(3104b)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다. 제1 주파수 범위(3102a)는 제2 주파수 범위(3104a)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다. 마찬가지로, 제1 주파수 범위(3102b)는 제2 주파수 범위(3104b)보다 크거나 작거나 또는 이와 동일할 수 있다.

[0230] 도 31에 도시된 바와 같이, 제1 주파수 범위(3102a) 내에 있는 제1 구동 주파수(f1)를 갖는 적용된 제1 RF 구동 신호에 응답하여, 제1 AOD(402)는 입사된 레이저 에너지의 빔을 제1 회전 축에 대해 회전시키며, 그로 인해 빔 경로(114)를 제1 AOD 각도 범위(406a) 내의 각도만큼 편향시킬 것이다. 유사하게, 제1 주파수 범위(3102b) 내에 있는 제1 구동 주파수(f1)를 갖는 적용된 제1 RF 구동 신호에 응답하여, 제1 AOD(402)는 입사된 레이저 에너지의 빔을 제1 회전 축에 대해 회전시키며, 그로 인해 빔 경로(114)를 제1 AOD 각도 범위(406b) 내의 다른 각도만큼 편향시킬 것이다. 인식될 바와 같이, 제1 AOD 각도 범위(406a 및 406b)의 각각은 전술한 "제1 AOD 각도 범위(406)"의 특정 실시예를 나타내며, 따라서 일반적으로 "제1 AOD 각도 범위(406)"로 지칭될 수 있다.

[0231] 마찬가지로, 제2 주파수 범위(3104a) 내에 있는 제2 구동 주파수(f2)를 갖는 적용된 제2 RF 구동 신호에 응답하여, 제2 AOD(404)는 입사된 레이저 에너지의 빔을 제2 회전 축에 대해 회전시키며, 그로 인해 빔 경로(114')를 제2 AOD 각도 범위(408a) 내의 각도만큼 편향시킬 것이다. 유사하게, 제2 주파수 범위(3104b) 내에 있는 제2 구동 주파수(f2)를 갖는 적용된 제2 RF 구동 신호에 응답하여, 제2 AOD(404)는 입사된 레이저 에너지의 빔을 제2 회전 축에 대해 회전시키며, 그로 인해 빔 경로(114')를 제2 AOD 각도 범위(408b) 내의 다른 각도만큼 편향시킬 것이다. 인식될 바와 같이, 제2 AOD 각도 범위(408a 및 408b)의 각각은 전술한 "제2 AOD 각도 범위(408)"의 특정 실시예를 나타내며, 따라서 일반적으로 "제2 AOD 각도 범위(408)"로 지칭될 수 있다.

[0232] 위에서 논의된 바와 같이, (즉, 제1 주파수 범위(3102a) 또는 제1 주파수 범위(3102b)에 속하는 제1 구동 주파수를 제1 AOD(402)에 적용함으로써) 제1 AOD(402)를 구동하고, (즉, 제2 주파수 범위(3104a) 또는 제2 주파수 범위(3104b)에 속하는 제2 구동 주파수를 제2 AOD(404)에 적용함으로써) 제2 AOD(404)를 구동할 시, 다중-축 AOD 시스템(400)의 결과적인 스캔 필드는 복수의 서브-스캔 필드(즉, 제1 서브-스캔 필드(3106a) 및 제2 서브-스캔 필드(3106b)) 내로 효과적으로 분할된다.

[0233] a. 편향 및 분산에 관한 추가적인 논의

[0234] 위에서 논의된 바와 같이, AOD는 최종적으로 작업물(102)로 전달되는 가공 스폿을 왜곡할 수 있는 (예를 들어, 연장할 수 있는) 스펙트럼 분산 요소이다. 공정 스폿이 왜곡되는 정도는 레이저 에너지의 빔의 스펙트럼 선폭에 및 AOD에 의해 생성된 편향(또는 다수의 AOD에 의해 생성된 전체 결합된 편향)에 비례하는 것으로 적어도 부분적으로 특징지어질 수 있다. 예를 들어, 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)의 전체 결합된 편향에 의해 야기된 스펙트럼 분산은 $\sqrt{f_1^2 + f_2^2}$ 에 비례하며, 여기서 f_1은 제1 구동 주파수이고 f_2는 제2 구동 주파수이다.

[0236] *프리즘과 같은 분산 보상기(2600)는 위에서 논의된 바와 같이 스펙트럼 분산을 보상할 수 있지만, 주어진 프리

즘은 주어진 빔 크기와 조합하여 고정된 양의 스펙트럼 분산만을 보상할 수 있다. 따라서, 레이저 에너지의 빔을 편향시키기 위해 AOD를 구동시키는 행위는 여전히 작업물(102)에서 가공 스폿의 일부 왜곡을 생성할 수 있다. 작업물(102)에서 가공 스폿에 부여되는 왜곡의 양은 제1 서브-스캔 필드(3106a)의 중심 또는 그 근처에서 발생하는 특정 편향을 최적으로 보상하기 위해 (예를 들어, 제1 미러(2908a3)에 대해) 제1 분산 보상기(2600a)를 배향하고, 제2 서브-스캔 필드(3106b)의 중심 또는 그 근처에서의 편향으로부터 발생하는 스펙트럼 분산을 최적으로 보상하기 위해 (예를 들어, 제1 미러(2908b3)에 대해) 제2 분산 보상기(2600b)를 배향하면서, 제1 서브-스캔 필드(3106a)와 제2 서브-스캔의 크기를 레이저 에너지의 빔의 스펙트럼 선폭과 균형을 맞춤으로써 (예를 들어, 작업물(102)의 가공에 악영향을 미치지 않도록) 충분히 낮게 유지될 수 있다.

[0237] 일 실시예에서, 제1 서브-스캔 필드(3106a) 및 제2 서브-스캔 필드(3106b)의 중심을 정의하는 (즉, f_1 및 f_2에 대한) 구동 주파수는 제1 서브-스캔 필드(3106a)에 대한 $\sqrt{f_1^2 + f_2^2}$ 가 제2 서브-스캔 필드(3106b)에 대한 $\sqrt{f_1^2 + f_2^2}$ 와 동일하도록 (또는 이와 적어도 실질적으로 동일하다) 선택될 수 있다. 예를 들어, 제1 서브-스캔 필드(3106a)에 대한 f_1은 제2 서브-스캔 필드(3106b)에 대한 f_2와 동일할 수 있다(또는 이와 적어도 실질적으로 동일할 수 있다). 마찬가지로, 제1 서브-스캔 필드(3106a)에 대한 f_2는 제2 서브-스캔 필드(3106b)에 대한 f_1과 동일할 수 있다(또는 이와 적어도 실질적으로 동일할 수 있다). 제1 서브-스캔 필드(3106a)에 대한 $\sqrt{f_1^2 + f_2^2}$ 가 제2 서브-스캔 필드(3106b)에 대한 $\sqrt{f_1^2 + f_2^2}$ 과 동일할 때(또는 이에 적어도 실질적으로 동일할 때), 제1 서브-스캔 필드(3106a) 내에서 편향된 레이저 에너지의 빔에 부여되는 스펙트럼 분산의 크기는 제2 서브-스캔 필드(3106b) 내에서 편향된 레이저 에너지의 빔에 부여된 스펙트럼 분산의 크기와 동일하지만(또는 이에 적어도 실질적으로 동일하지만), 스펙트럼 분산의 배향은 상이하다. 따라서, 제1 분산 보상기(2600a)는 제2 분산 보상기(2600b)와 동일한 구성을 가질 수 있지만, (예를 들어, 제1 미러(2908a3)에 대한) 제1 분산 보상기(2600a)의 배향은 (예를 들어, 제1 미러(2908b3)에 대한) 제2 분산 보상기(2600b)의 배향과 상이하다. 즉, (예를 들어, 제1 미러(2908a3)에 대한) 제1 분산 보상기(2600a)의 배향은 제1 서브-스캔 필드(3106a)의 중심에서 또는 그 근처에서 편향된 레이저 에너지의 빔에 부여된 스펙트럼 분산의 배향에 대응할 수 있고, (예를 들어, 제1 미러(2908b3)에 대한) 제2 분산 보상기(2600b)의 배향은 제2 서브-스캔 필드(3106b)의 중심 또는 그 근처에서 편향된 레이저 에너지의 빔에 부여된 스펙트럼 분산의 배향에 대응할 수 있다.

[0238] b. 서브-스캔 필드에 관한 추가적인 논의

[0239] 도 31에 도시된 실시예에서, 제1 주파수 범위(3102a 및 3102b)는 (예를 들어, 제1 주파수 범위 갭에 대응하는 각도만큼) 제1 방향으로, 및 (예를 들어, 제2 주파수 범위 갭에 대응하는 각도만큼) 제2 방향으로 서로 공간적으로 오프셋된 한 쌍의 정사각형 서브-스캔 필드(3106a 및 3106b)를 생성하기 위해 제2 주파수 범위(3104a 및 3104b)와 협력하여 선택된다. 제1 주파수 범위 갭이 제2 주파수 범위 갭과 동일하면, 서브-스캔 필드(3106a 및 3106b) 사이의 가장 가까운 지점(즉, 도 31에 도시된 바와 같이, 제1 서브-스캔 필드(3106a)의 우측 하단 가장자리 및 제2 서브-스캔 필드(3106b)의 좌측 상단 가장자리)은 제1 주파수 범위 갭 또는 제2 주파수 범위 갭보다 41% 더 크다. 또한, 서브-스캔 필드(3106a 및 3106b) 사이의 가장 가까운 지점은 사실 라인이 아닌 점이다. 따라서, 제2 서브-스캔 필드(3106b) 내에서 (즉, 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서) 편향된 레이저 에너지의 빔에 대한 제1 서브-스캔 필드(3106a) 내에서 (즉, 제1 프라이머리 각도 범위(116a)) 내에서 편향된 레이저 에너지의 빔을 선택적으로 반사하는 데 사용되는 픽오프 미러(예를 들어, 미러(3008a))상의 빔 클리핑(beam clipping)에 기인하여 발생하는 빔 왜곡이 있으면, 이러한 왜곡은 서브-스캔 필드의 전체 가장자리를 따르는 것이 아닌 서브-스캔 필드의 일 가장자리에서만 발생하는 경우 훨씬 덜 발생할 것이다. 그럼에도 불구하고, 제1 주파수 범위 갭 및 제2 주파수 범위 갭 중 하나 또는 둘 모두의 크기는 이러한 왜곡에 대한 작업물 가공의 감도(또는 둔감도)에 의존하여, 바람직하게 독립적으로 또는 조정된 방식으로 증가되거나 또는 감소될 수 있음이 인식될 것이다.

[0240] 도 31에 도시된 바와 같이, 제1 방향으로 (예를 들어, 제1 주파수 범위 갭에 대응하는 각도만큼) 및 제2 방향으로 (예를 들어, 제2 주파수 범위 갭에 대응하는 각도만큼) 서로 공간적으로 오프셋된 한 쌍의 동일한 크기의 정사각형 서브-스캔 필드(3106a 및 3106b)로 구성된 서브-스캔 필드의 배열에 관한 논의가 위에서 이루어졌지만, 다른 실시예가 또한 고려된다는 것이 인식될 것이다.

[0241] 예를 들어, (예를 들어, 도 32에 도시된 바와 같이) 서브-스캔 필드(3106a 및 3106b)의 배열은 도 31에 도시된 배열과 상이할 수 있다. 다른 예시에서, AOD가 구동되는 주파수 범위는 두 개보다 많은 정사각형 형태의 서브-스캔 필드를 생성하기 위해, 정사각형 이외의 형태(예를 들어, 직사각형, 원형, 타원형, 삼각형, 육각형 등)를 갖는 하나 이상의 서브-스캔 필드를 생성하기 위해, 상이한 크기의 서브-스캔 필드를 생성하기 위해 등 또는 이들의 임의의 조합을 위해 선택될 수 있다.

[0242] 다른 예시에서, 및 도 33을 참조로, 제1 AOD(402)는 제1 주파수 범위(3300) 내에 속하는 구동 주파수를 갖는 적용된 제1 RF 구동 신호에 의해 구동될 수 있고, 제2 AOD(404)는 전술한 복수의 제2 주파수 범위(3104a 및 3104b) 중 대응하는 하나에 속하는 구동 주파수를 갖는 적용된 제2 RF 구동 신호에 의해 구동될 수 있다. 따라서, 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내에서 다중-축 AOD 시스템(400) 상에 입사하는 빔 경로(114)를 (제2 위치 지정기(108a)로) 편향시키기 위해, 제1 AOD(402)에 적용되는 제1 RF 구동 신호는 제1 주파수 범위(3300) 내에 속하는 제1 구동 주파수(f1)를 가질 수 있고, 제2 AOD(404)에 적용되는 제2 RF 구동 신호는 제2 주파수 범위(3104a) 내에 속하는 제2 구동 주파수(f2)를 가질 수 있다. 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내에서 다중-축 AOD 시스템(400) 상에 입사하는 빔 경로(114)를 (제2 위치 지정기(108b)로) 편향시키기 위해, 제1 AOD(402)에 적용되는 제1 RF 구동 신호는 제1 주파수 범위(3300)에 속하는 제1 구동 주파수(f1)를 가질 수 있으며, 제2 AOD(404)에 적용되는 제2 RF 구동 신호는 제2 주파수 범위(3104b)에 속하는 제2 구동 주파수(f2)를 가질 수 있다. 위에서 논의된 바와 같이, (즉, 제1 주파수 범위(3300)에 속하는 제1 구동 주파수를 제1 AOD(402)에 적용함으로써) 제1 AOD(402)를 구동하고 (즉, 제2 주파수 범위(3104a) 또는 제2 주파수 범위(3104b) 내에 속하는 제2 구동 주파수를 제2 AOD(404)에 적용함으로써) 제2 AOD(404)를 구동할 시, 다중-축 AOD 시스템(400)의 결과적인 스캔 필드는 복수의 서브-스캔 필드(즉, 제1 서브-스캔 필드(3302a) 및 제2 서브-스캔 필드(3302b))로 효과적으로 분할된다. 또한, 다중-축 AOD 시스템(400)의 AOD는 도 34에 예시적으로 도시된 바와 같이 범위 내에 속하는 적용된 구동 주파수에 의해 유사하게 구동될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0243] 도 33 또는 도 34에 도시된 구동 주파수 범위에 따라 다중-축 AOD 시스템(400)의 AOD를 구동하는 것은 예를 들어, 제2 위치 지정기(108)가 검류계 미러 시스템을 포함할 때, 공지된 텔레센트릭성 오차를 교정하거나 또는 다른 방식으로 적어도 부분적으로 보상하는데 유용할 수 있다. 이러한 응용에서, 제1 주파수 범위(3300)의 하나 이상의 서브-범위 내의(예를 들어, 제1 서브-범위(3304a), 제2 서브-범위(3304b) 등 또는 이들의 임의의 조합 내의) 주파수는 하나의 축(예를 들어, X축)을 따라 존재하는 텔레센트릭성 오차를 교정하기 위해 (예를 들어, 도 33에 도시된 바와 같이) 제1 AOD(402)에 적용될 수 있거나, 또는 다른 축(예를 들어, Y축)을 따라 존재하는 텔레센트릭성 오차를 교정하기 위해 (예를 들어, 도 34에 도시된 바와 같이) 제2 AOD(404)에 적용될 수 있다.

[0244] ii. 펄스 슬라이싱에 관한 실시예

[0245] 위에서 논의된 바와 같이, 제1 위치 지정기(106)는 펄스 슬라이싱, 즉, 공통 레이저 펄스(또한, 본원에서 "모 레이저 펄스(mother laser pulse)"로도 지칭됨)를 적어도 두 개의 레이저 펄스로 시간적으로 분할하는 것을 초래하도록 작동될 수 있다. 공통의 모 레이저 펄스의 시간적으로 분할된 부분은 또한, 본원에서 "펄스 슬라이스"로 지칭된다. 펄스 슬라이싱의 일 실시예는 모 레이저 펄스(3500)가 두 개의 펄스 슬라이스로 시간적으로 분할된 도 35에 예시적으로 도시된다. 구체적으로, 제1 슬라이스 기간(p1) 동안, 모 레이저 펄스(3500)는 제1 펄스 슬라이스(3500a)로 분할되고, 제2 슬라이스 기간(p2) 동안 모 레이저 펄스(3500)는 제2 펄스 슬라이스(3500b)로 분할된다. 인식될 바와 같이, 펄스 슬라이스의 펄스 지속시간은 일반적으로 그의 모 레이저 펄스로부터 시간적으로 분할된 슬라이스 기간의 지속시간에 대응한다. 따라서, 예를 들어, 제1 펄스 슬라이스(3500a)는 제1 슬라이스 기간(p1)과 동일한 펄스 지속시간을 갖는 것으로 특징지어질 수 있고, 제2 펄스 슬라이스(3500b)는 제2 슬라이스 기간(p2)과 동일한 펄스 지속시간을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다.

[0246] 연속적인 슬라이스 기간은 연속적으로 발생할 수 있거나(즉, 하나의 슬라이스 기간이 선행하는 슬라이스 기간 직후에 시작됨), 간헐적으로 발생할 수 있거나(즉, 하나의 슬라이스 기간이 선행하는 슬라이스 기간 직후의 지연에 후속하여 시작됨) 또는 이들의 조합으로 발생할 수 있다. 연속적인 슬라이스 기간이 간헐적으로 발생하는 경우, 지연의 기간은 제1 위치 지정기(106)의 위치 지정 기간의 정수 배수로서 특징지어질 수 있음이 인식될 것이다(여기서 정수는 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 50, 100 등 또는 이들 값의 임의의 것 사이일 수 있다). 도 35에 도시된 실시예는 연속적인 슬라이스 기간(p1 및 p2)이 간헐적으로 발생하는 예시이다. 공통의 모 레이저 펄스에 적용될 초기 슬라이스 기간의 시작과 마지막 슬라이스 기간의 끝 사이의 전체 시간량은 모 레이저 펄스의 (즉, 펄스 대 시간에서 광학 출력의 반치전폭(FWHM)을 기초로 하는) 펄스 기간 이하이다. 따라서, 모 레이저 펄스는 일반적으로, 제1 위치 지정기(106)의 위치 지정 기간보다 긴 펄스 지속시간을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다. 일부 실시예에서, 모 레이저 펄스의 펄스 지속시간은 1 μs, 2 μs, 5 μs, 10 μs, 15 μs, 20 μs, 25

μs, 30 μs, 40 μs, 50 μs, 100 μs, 300 μs, 500 μs, 900 μs, 1 ms, 2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 300 ms, 500 ms, 900 ms, 1 s 등, 또는 이들 값 중 임의의 것 사이보다 크거나 이와 동일하거나 또는 이의 미만이다.

[0247] 일 실시예에서, 각 슬라이스 지속시간(및 따라서 각 펄스 슬라이스의 펄스 지속시간)은 제1 위치 지정기(106)의 위치지정 기간의 정수배이다(예를 들어, 정수는 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300 등이거나 또는 이들 값 중 임의의 것 사이이다). 일부 실시예에서, 각 슬라이스 기간의 지속시간은 200 μs, 125 μs, 100 μs, 50 μs, 33 μs, 25 μs, 20 μs, 13.3 μs, 12.5 μs, 10 μs, 4 μs, 2 μs, 1.3 μs, 1 μs, 0.2 μs, 0.1 μs, 0.05 μs, 0.025 μs, 0.02 μs, 0.013 μs, 0.01 μs, 0.008 μs, 0.0067 μs, 0.0057 μs, 0.0044 μs, 0.004 μs 등, 또는 이들 값 중 임의의 것 사이보다 크거나 이와 동일하거나 또는 이의 미만이다. 일반적으로, 모 레이저 펄스의 하나 이상의 슬라이스 기간의 지속시간은 동일한 모 레이저 펄스의 하나 이상의 다른 슬라이스 기간의 지속시간과 동일하거나 상이할 수 있다. 예를 들어, 도 35가 제1 슬라이스 기간(p1)이 제2 슬라이스 기간(p2)과 동일한 것으로 도시하였지만, 제1 슬라이스 기간(p1)의 지속시간은 제2 슬라이스 기간(p2)보다 크거나 작을 수 있다.

[0248] 슬라이스 기간을 벗어나면, 제1 위치 지정기(106)는 최종적으로 제1 위치 지정기(106)에 의해 편향될 때 빔 경로(114)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔이 작업물(102)을 가공하기에 불충분한 에너지를 갖도록, 입사된 레이저 에너지의 빔을 감쇠시키기 위해 이 기술분야에 알려진 임의의 방식으로 작동될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 슬라이스 기간을 벗어나면, 제1 위치 지정기(106)는 본원에서 논의되거나 또는 다른 방식으로 이 기술분야에서 알려진 바와 같이, 빔 경로(114)를 빔 트랩, 빔 덤프 시스템 등 또는 이들의 임의의 조합으로 편향시키도록 작동될 수 있다. 제1 위치 지정기(106)가 본 명세서에서 논의된 임의의 AOD 시스템으로서 제공되는 실시예에서, 슬라이스 기간을 벗어나면, AOD 시스템에서 AOD 중 하나 이상은 레이저 에너지의 빔을 0차 빔 경로(예를 들어, 0차 빔 경로(200 또는 300))로, 하나 이상의 상위 차수의 빔 경로(예를 들어, 2차 빔 경로, 3차 빔 경로 등)로, 빔 트랩으로, 빔 덤프 시스템(예를 들어, 통합 빔 덤프 시스템(700 또는 1000) 등)으로 등 또는 이들의 임의의 조합으로 투과시키기 위해 선택적으로 구동될 수 있다(또는 경우에 따라 구동되지 않을 수 있다).

[0249] 위에서 언급된 바와 같이, 펄스 슬라이싱은 빔 분기와 함께 구현되거나 또는 빔 분기와 별도로 구현될 수 있다. 따라서, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 (예를 들어, 상이한 펄스 슬라이스를 동일한 제2 위치 지정기(108)로 편향시키기 위해) 상이한 펄스 슬라이스를 동일한 프라이머리 각도 범위(116) 내의 상이한 각도로 편향시키도록, (예를 들어, 상이한 펄스 슬라이스를 제2 위치 지정기(108)의 상이한 각각의 것들로 편향시키기 위해) 상이한 펄스 슬라이스를 상이한 각각의 프라이머리 각도 범위(116) 내의 각도로 편향시키도록, 또는 이들의 임의의 조합을 위해 제어될 수 있다. 예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 제1 펄스 슬라이스(3500a) 및 제2 펄스 슬라이스(3500b)를 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내의 상이한 각도로 편향시키기 위해(예를 들어, 제1 펄스 슬라이스(3500a) 및 제2 펄스 슬라이스(3500b)를 제2 위치 지정기(108a)로 편향시키기 위해) 제어될 수 있다. 다른 예시에서, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 (예를 들어, 제1 펄스 슬라이스(3500a)를 제2 위치 지정기(108a)로 편향시키기 위해) 제1 펄스 슬라이스(3500a)를 제1 프라이머리 각도 범위(116a) 내의 각도만큼 편향시키고, 그 후 (예를 들어, 제2 펄스 슬라이스(3500b)를 제2 위치 지정기(108b)로 편향시키기 위해) 제2 프라이머리 각도 범위(116b) 내의 각도만큼 제2 펄스 슬라이스(3500b)를 편향시키도록 제어될 수 있다. 따라서, 도 35a에 도시된 광학 출력 프로파일을 갖는 펄스 슬라이스(3500a)는 제2 위치 지정기(108a)로 전파할 수 있고, 도 35b에 도시된 광학 출력 프로파일을 갖는 펄스 슬라이스(3500b)는 제2 위치 지정기(108b)로 전파할 수 있다. 임의의 펄스 슬라이스가 임의의 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 편향될 때, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 빔 경로(114)(및 따라서 그를 따라 전파하는 펄스 슬라이스)를 임의의 적합하거나 바람직한 방식으로 임의의 선택된 프라이머리 각도 범위(116) 내로 편향시키도록(예를 들어, 선택된 프라이머리 각도 범위(116)에 대응하는 제2 위치 지정기의 위치 오차를 보상하기 위해, 작업물(102)의 가공 동안 가공 궤적을 따라 가공 스폿과 작업물(102a) 사이에 상대적인 이동을 부여하기 위해 등 또는 이들의 임의의 조합을 위해) 제어될 수 있다.

[0250] 도 35가 레이저 펄스(3500)를 두 개의 펄스 슬라이스(즉, 제1 펄스 슬라이스(3500a) 및 제2 펄스 슬라이스(3500b))만으로 시간적으로 분할하는 것을 도시하였지만, 레이저 펄스(3500)는 두 개보다 많은 펄스 슬라이스(예를 들어, 3개의 펄스 슬라이스, 5개의 펄스 슬라이스, 8개의 펄스 슬라이스, 10개의 펄스 슬라이스, 25개의 펄스 슬라이스, 30개의 펄스 슬라이스, 50개의 펄스 슬라이스 등 또는 이들 값 중 임의의 값 사이)로 시간적으로 분할될 수 있음이 인식될 것이다. 예를 들어, 도 36을 참조로, 레이저 펄스(3500)는 네 개의 펄스 슬라이스(3600a, 3600b, 3600c 및 3600d)로 시간적으로 분할될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)의 작동

은 연속적으로 분할된 펄스 슬라이스가 상이한 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 편향되도록 제어된다. 예를 들어, 펄스 슬라이스(3600a)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)로 편향될 수 있고, 그 후 펄스 슬라이스(3600b)가 제2 프라이머리 각도 범위(116b)로 편향될 수 있고, 그 후 펄스 슬라이스(3600c)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)로 편향될 수 있고, 그후 펄스 슬라이스(3600d)가 제2 프라이머리 각도 범위(116b)로 편향될 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)의 작동은 연속적으로 분할된 펄스 슬라이스가 동일하거나 상이한 프라이머리 각도 범위(116) 내에서 편향되도록 제어된다. 예를 들어, 펄스 슬라이스(3600a)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)로 편향될 수 있고, 그 후 펄스 슬라이스(3600b 및 3600c)가 제2 프라이머리 각도 범위(116b)로 편향될 수 있으며, 그 후 펄스 슬라이스(3600d)가 제1 프라이머리 각도 범위(116a)로 편향될 수 있다.

[0251] 단일의 모 레이저 펄스(즉, 레이저 펄스(3500))에 대한 펄스 슬라이싱이 위에서 논의되었지만, 제1 위치 지정기(106)는 연속적으로 전파하는 모 레이저 펄스의 시퀀스에 대해 펄스 슬라이싱을 초래하도록 작동될 수 있음이 인식될 것이다. 상기 시퀀스에서, 연속적인 모 레이저 펄스는 임의의 바람직한 방식으로 시간적으로 분할될 수 있고, 두 개의 연속적인 모 레이저 펄스는 동일한 방식 또는 상이한 방식으로 시간적으로 분할될 수 있다.

[0252] 제1 위치 지정기(106)가 다중-셀 AOD 시스템으로서 제공되는 실시예에서, 펄스 슬라이싱은 다중-셀 AOD 시스템 내에서 적어도 두 개의 AOD의 조정된 동작 또는 구동에 의해 초래될 수 있다. 예를 들어, 도 37을 참조하면, 다중-셀 AOD 시스템이 전술한 AOD 시스템(400)으로 제공되는 실시예에서, 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404)는 빔 경로(114)를 하나 이상의 프라이머리 각도 범위(116) 내로 편향시키기 위해 슬라이스 기간의 지속시간 동안 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 작동될 수 있다. 블록(3700)의 수평 정도는 제1 AOD(402)가 그에 입사하는 레이저 에너지의 빔을 편향시키기 위해 작동되는 기간을 나타내고, 블록(3702)의 수평 정도는 제2 AOD(404)가 그에 레이저 에너지의 빔을 편향시키기 위해 작동되는 기간을 나타낸다. 도 37에 도시된 바와 같이, 블록(3700 및 3702)의 수평 정도는 슬라이스 기간(예를 들어, 전술한 제1 슬라이스 기간(p1), 제2 슬라이스 기간(p2) 등)과 동일하다.

[0253] 하지만, 다른 실시예에서, 제1 AOD(402) 및 제2 AOD(404) 중 하나 또는 둘 모두는 빔 경로(114)를 프라이머리 각도 범위(116) 중 하나 이상 내로 편향시키기 위해 슬라이스 기간보다 긴 기간 동안 작동될 수 있지만, 구동되는 기간이 슬라이스 기간과 동일한 기간 동안 겹치도록 작동된다. 예를 들어, 도 38, 도 39, 도 40 및 도 41을 참조한다.

[0254] iii. 회절 효율에 관한 논의

[0255] 본원에서 사용된 "회절 효율"이란 용어는 AOD의 AO 셀 내에서 1차 빔으로 회절되는 AOD 상에 입사되는 레이저 에너지의 빔의 에너지 비율을 의미한다. 따라서, 회절 효율은 AOD 상에 입사하는 입사된 레이저 에너지의 빔의 광 출력에 대해 AOD에 의해 생성된 1차 빔의 광 출력의 비율로 표현될 수 있다. 일반적으로, 적용된 RF 구동 신호의 진폭은 AOD의 회절 효율에 비선형 영향을 미칠 수 있으며, AOD의 회절 효율은 AOD를 구동하기 위해 적용된 RF 구동 신호의 주파수의 함수로 변경될 수도 있다. 위의 관점에서, 및 제1 위치 지정기(106)가 전술한 AOD 시스템(400)으로서 제공되는 실시예에서, 제1 AOD(402)를 구동하기 위해 적용되는 제1 RF 구동 신호는 진폭(또한, 본원에서 "제1 진폭"으로 지칭됨)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있고, 제2 AOD(404)를 구동하기 위해 적용되는 제2 RF 구동 신호는 진폭(또한, 본원에서 "제2 진폭"으로 지칭됨)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다.

[0256] 일반적으로, 제1 진폭은 제1 RF 구동 신호의 제1 구동 주파수, 제1 구동 주파수가 발견되는 제1 주파수 범위, 제1 AOD(402)가 제1 RF 구동 신호에 의해 구동되는 바람직한 회절 효율, 제1 AOD(402)가 제1 RF 구동 신호에 의해 구동될 때의 기간 동안 편향될 레이저 에너지의 빔의 피크 광 출력, 제1 AOD(402)가 제1 RF 구동 신호에 의해 구동될 때의 기간 동안 편향될 레이저 에너지의 빔의 평균 광 출력 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 인자를 기초로 선택되거나 또는 다른 방식으로 이를 기초로 할 수 있다. 마찬가지로, 제2 진폭은 제2 RF 구동 신호의 제2 구동 주파수, 제2 구동 주파수가 발견되는 제2 주파수 범위, 제2 AOD(404)가 제2 RF 구동 신호에 의해 구동되는 바람직한 회절 효율, 제2 AOD(404)가 제2 RF 구동 신호에 의해 구동될 때의 기간 동안 편향될 레이저 에너지의 빔의 피크 광 출력, 제2 AOD(404)가 제2 RF 구동 신호에 의해 구동될 때의 기간 동안 편향될 레이저 에너지의 빔의 평균 광 출력 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 인자를 기초로 선택되거나 또는 다른 방식으로 이를 기초로 할 수 있다. AOD 시스템(400)이 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 펄스 슬라이싱을 수행하도록 작동되면, 제1 진폭, 제2 진폭 또는 이들의 조합은 레이저 에너지의 빔으로부터 시간적으로 분할되는 펄스 슬라이스의 펄스 지속시간을 기초로 선택되거나 또는 다른 방식으로 설정될 수 있다.

[0257] (예를 들어, 도 3, 도 31, 도 32, 도 33 또는 도 34 중 임의의 것에 대해 논의된 바와 같이) AOD 시스템(400)이

빔 분기를 초래하도록 구동되는 실시예에서, 제1 RF 구동 신호는 제1 RF 구동 신호(f1)가 제1 주파수 범위(3102a)에서 제1 구동 주파수(f1)를 가질 때, 제1 진폭(a1a)을 갖는 것에 의해 특징지어질 수 있다. 유사하게, 제1 RF 구동 신호가 제1 주파수 범위(3102b)에서 제1 구동 주파수(f1)를 가질 때, 제1 RF 구동 신호는 제1 진폭(a1b)을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다. 이 경우, 제1 진폭(a1a)은 제1 진폭(a1b)보다 높을 수 있다. 대안적으로, 제1 진폭(a1a)은 제1 진폭(a1b) 이하일 수 있다. 마찬가지로, 제2 RF 구동 신호가 제2 주파수 범위(3104a)에서 제2 구동 주파수(f2)를 가질 때, 제2 RF 구동 신호는 제2 진폭(a2a)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있고, 제2 RF 구동 신호가 제2 주파수 범위(3104b)에서 제2 구동 주파수(f2)를 가질 때, 제2 RF 구동 신호는 제2 진폭(a2b)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다. 이 경우, 제2 진폭(a2a)은 제2 진폭(a2b)보다 낮다. 대안적으로, 제2 진폭(a2a)은 제2 진폭(a2b) 이상일 수 있다.

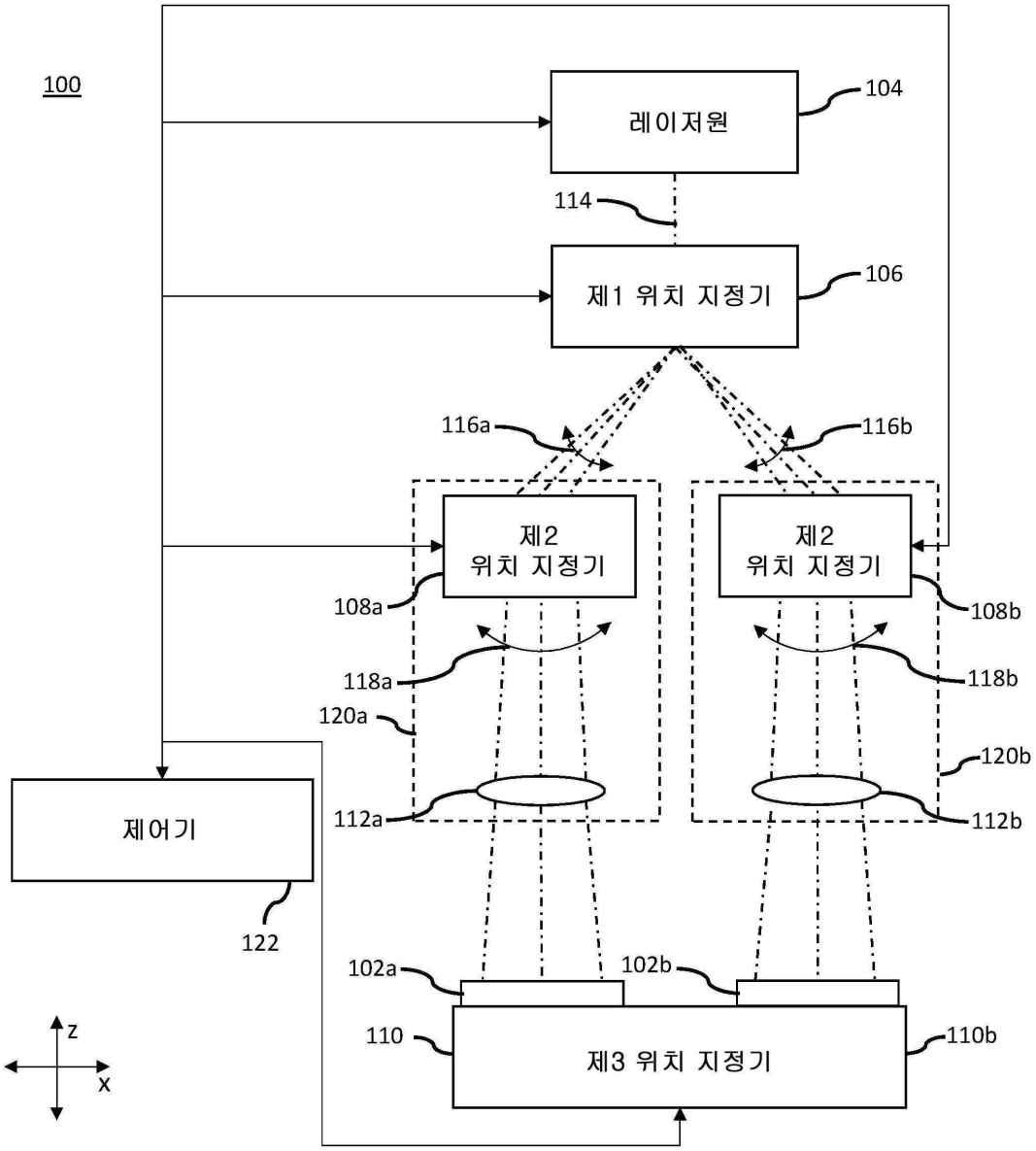
[0258] AOD 시스템(400)이 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 빔 분기를 초래하도록 작동되면, 제1 RF 구동 신호의 제1 진폭은 제1 AOD 각도 범위(406a) 내에서 편향된 1차 빔 경로(114')를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔에서의 광 출력이, 제1 AOD 각도 범위(406b) 내에서 편향된 1차 빔 경로(114')를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 광 출력보다 크거나, 작거나, 또는 이에 적어도 실질적으로 동일하도록 선택될 수 있다. 1차 빔 경로(114')가 제1 AOD 각도 범위(406a 또는 406b) 중 하나 내에서 편향되는 동안, 제1 RF 구동 신호의 제1 진폭이 변할 수 있거나 또는 다른 방식으로 일정한((또는 적어도 실질적으로 일정한) 수준으로 유지될 수 있다. 마찬가지로, 제2 RF 구동 신호의 제2 진폭은 제2 AOD 각도 범위(408a) 내에서 편향된 1차 빔 경로(114")를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 광 출력이 제2 AOD 각도 범위(408b) 내에서 편향된 1차 빔 경로(114")를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 광 출력보다 크거나 또는 이에 적어도 실질적으로 동일하도록 선택될 수 있다. 1차 빔 경로(114")가 제2 AOD 각도 범위(408a 또는 408b) 중 하나 내에서 편향되는 동안, 제2 RF 구동 신호의 제2 진폭은 변할 수 있거나 또는 다른 방식으로 일정한 (또는 적어도 실질적으로 일정한) 수준으로 유지될 수 있다.

[0259] IV. 결론

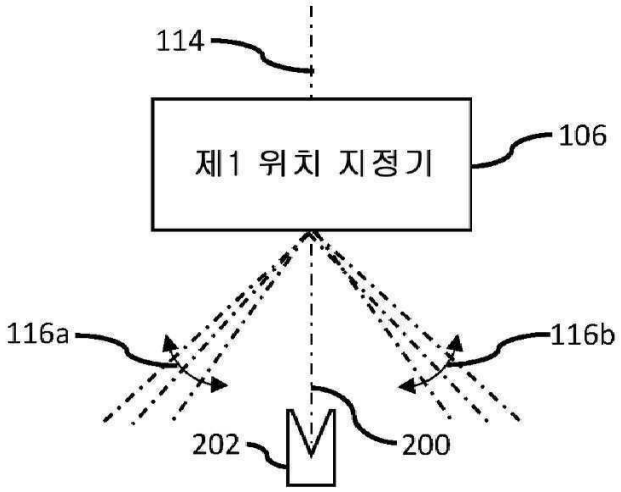
[0260] 전술한 것은 본 발명의 실시예 및 예시를 예시하는 것일 뿐, 본 발명을 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 수개의 특정한 실시예 및 예시가 도면을 참조로 설명되었지만, 이 분야의 기술자는 본 발명의 새로운 교시 및 장점을 실질적으로 벗어나지 않으면서, 개시된 실시예 및 예시는 물론 다른 실시예에 대한 다수의 변형이 가능함을 쉽게 인식할 것이다. 따라서, 이러한 모든 변형은 청구항으로 한정된 본 발명의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다. 예를 들어, 기술자는 임의의 문장, 단락, 예시 또는 실시예의 주제가 그 조합이 상호 배타적인 경우를 제외하고, 다른 문장, 단락, 예시 또는 실시예 중 일부 또는 전체의 주제와 조합될 수 있다는 점을 인식할 것이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 다음의 청구범위에 의해 결정되어야 하고, 청구범위의 균등물도 그 안에 포함된다.

도면

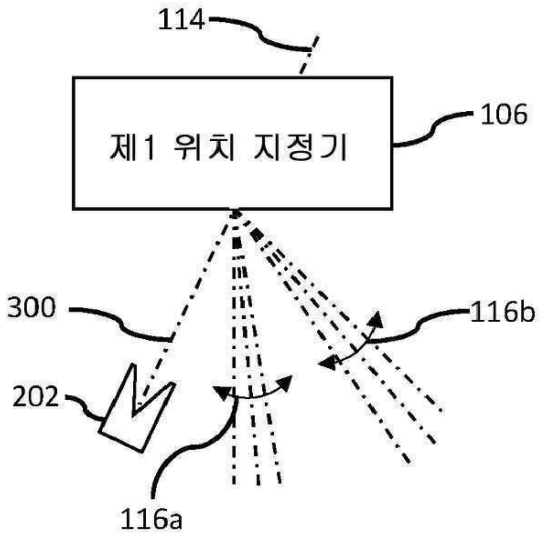
도면1


100
레이저원
104
114
제1 위치 지정기
106
116a
116b
제2
위치 지정기
제2
위치 지정기
108a
108b
118a
118b
120a
120b
112a
112b
제어기
122
102a
102b
110
제3 위치 지정기
110b
z
x

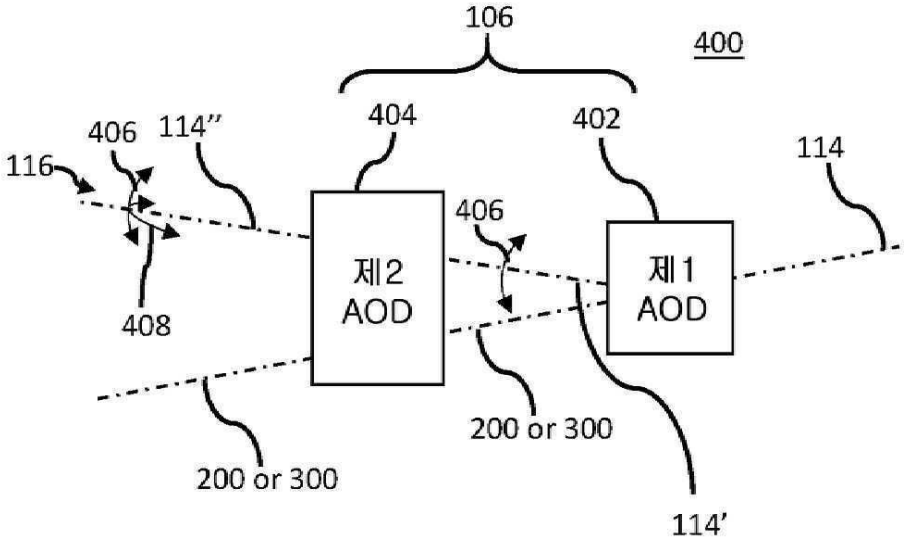
도면2


114
제1 위치 지정기
106
116a
116b
202
200

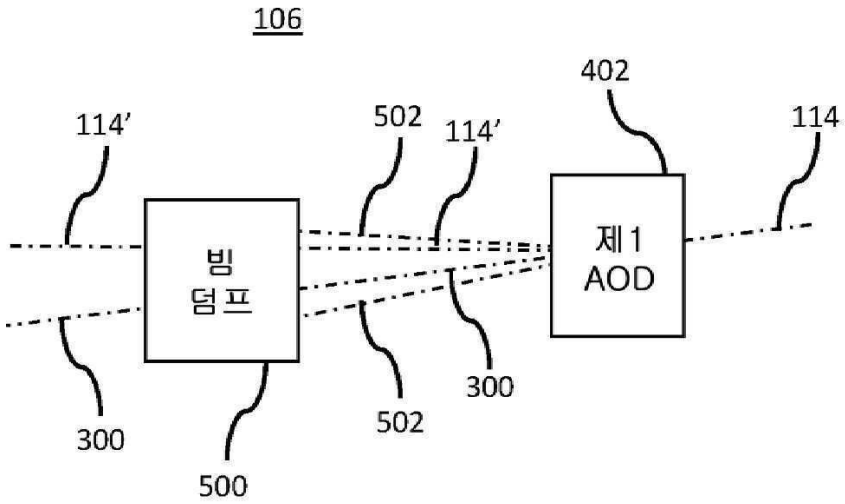
도면3


114
제1 위치 지정기
106
300
116b
202
116a

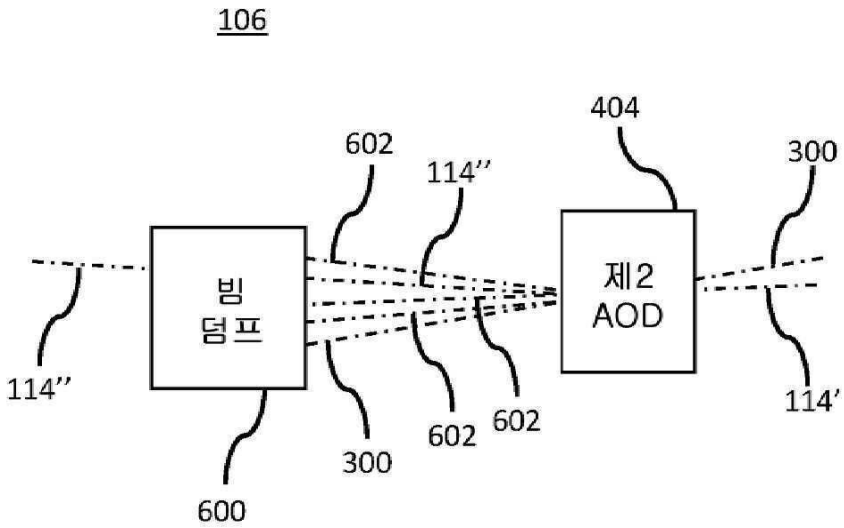
도면4


106
400
404
402
406
114''
116
114
406
제2 AOD
제1 AOD
408
200 or 300
200 or 300
114'

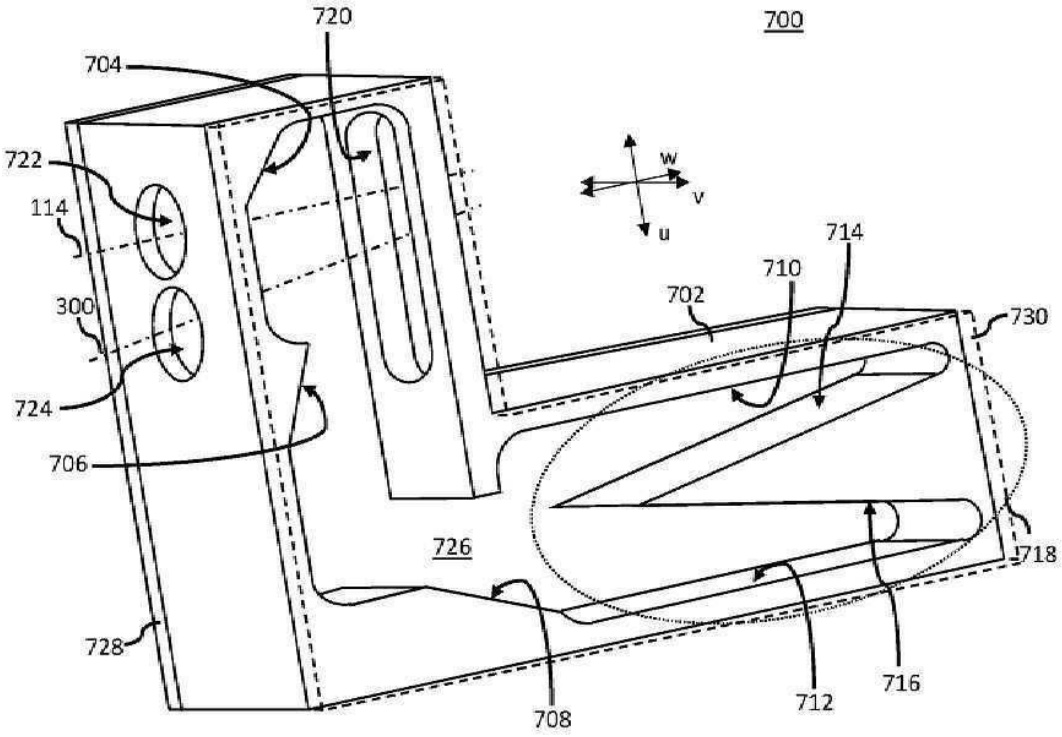
도면5


106
114'
502
114'
402
114
빔
덤프
제1
AOD
300
502
300
500

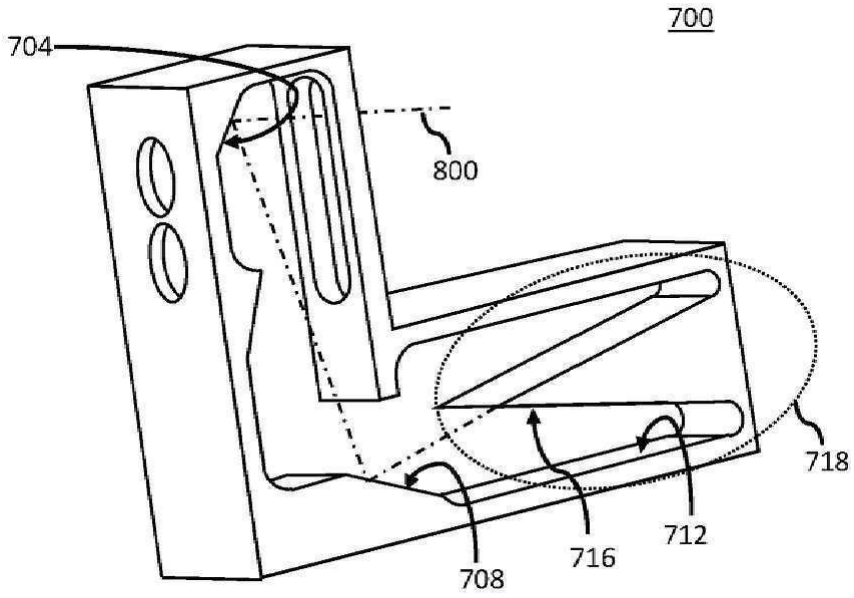
도면6


106
602
114''
404
300
빔
덤프
제2
AOD
114''
300
602
602
114'
600

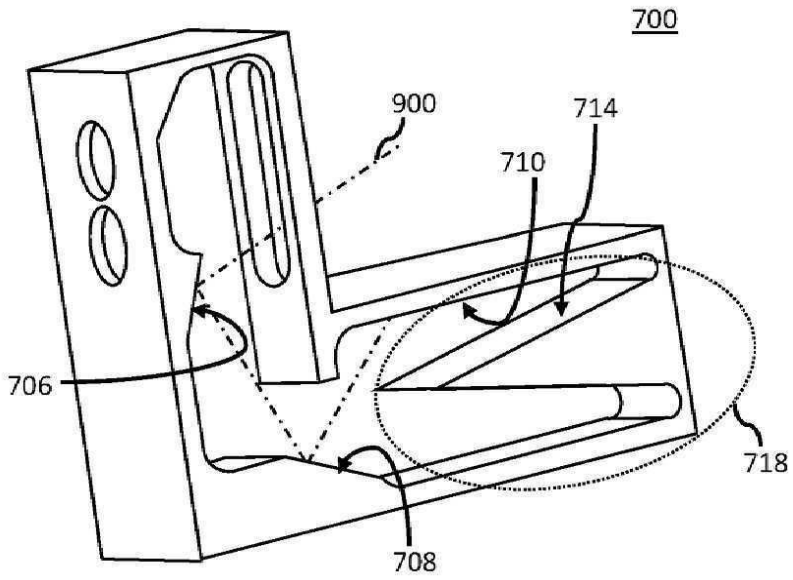
도면7


720
700
704
722
114
300
724
706
728
726
w
v
u
714
710
702
730
718
708
712
716

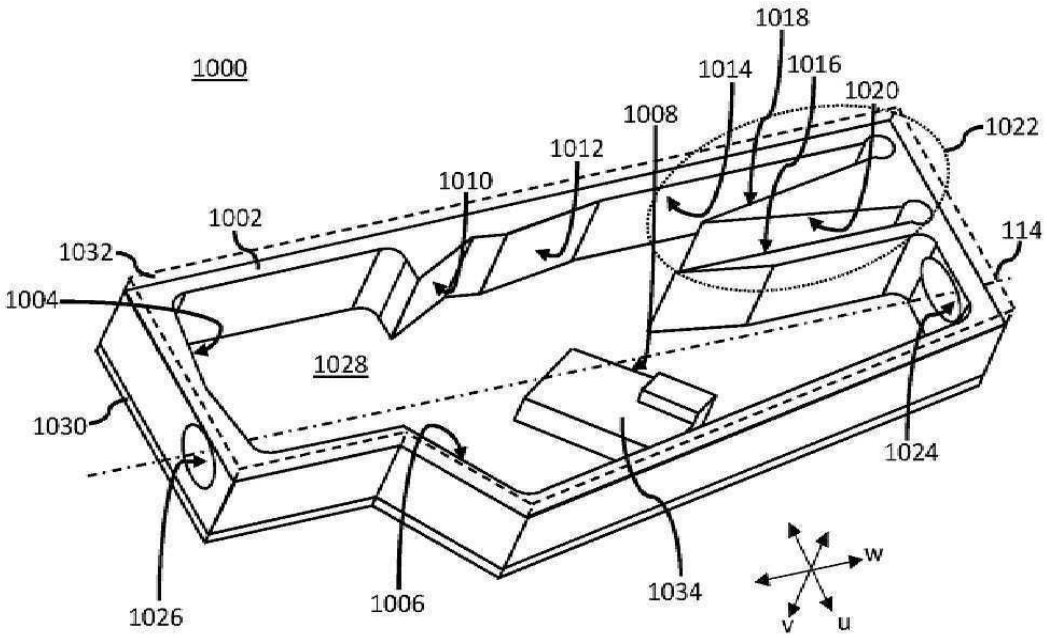
도면8


700
704
800
718
712
716
708

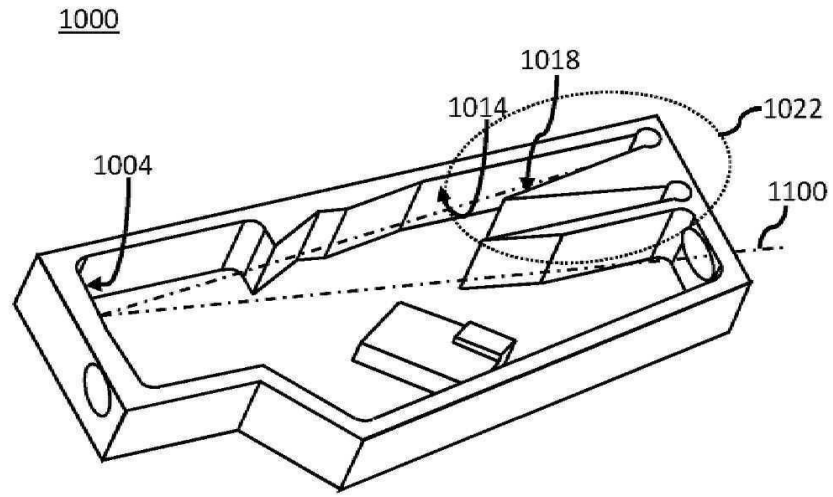
도면9


700
900
714
710
706
718
708

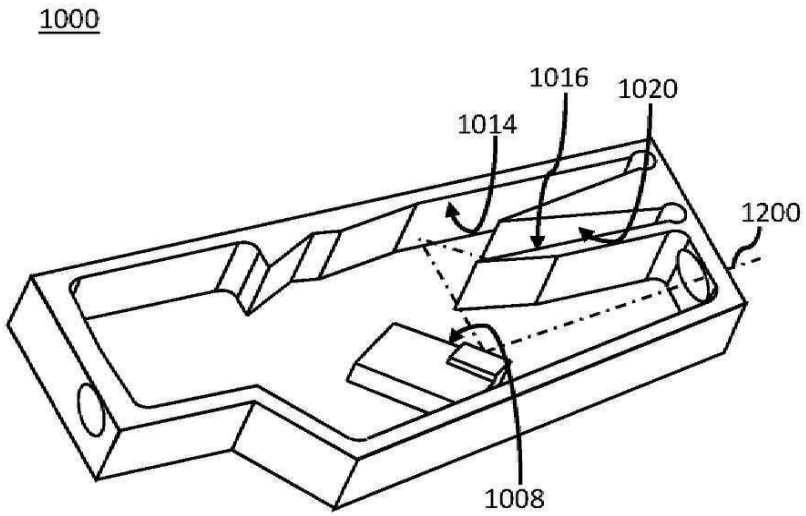
도면10


1000
1018
1014
1016
1020
1022
1008
1012
1010
1002
1032
1004
114
1028
1030
1024
1026
1006
1034
w
v
u

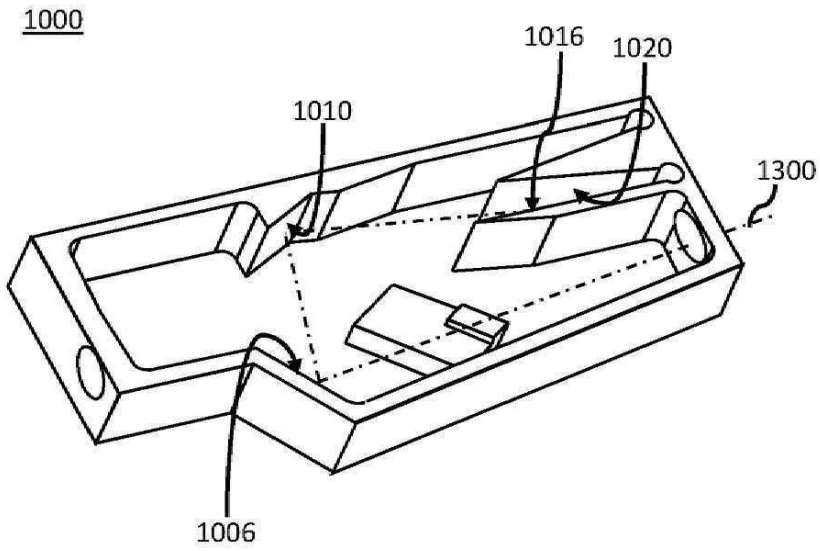
도면11



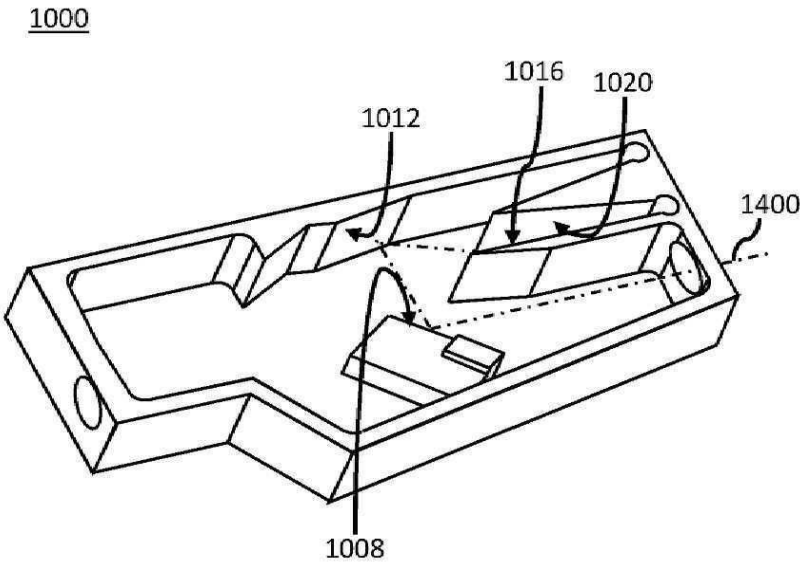
도면12



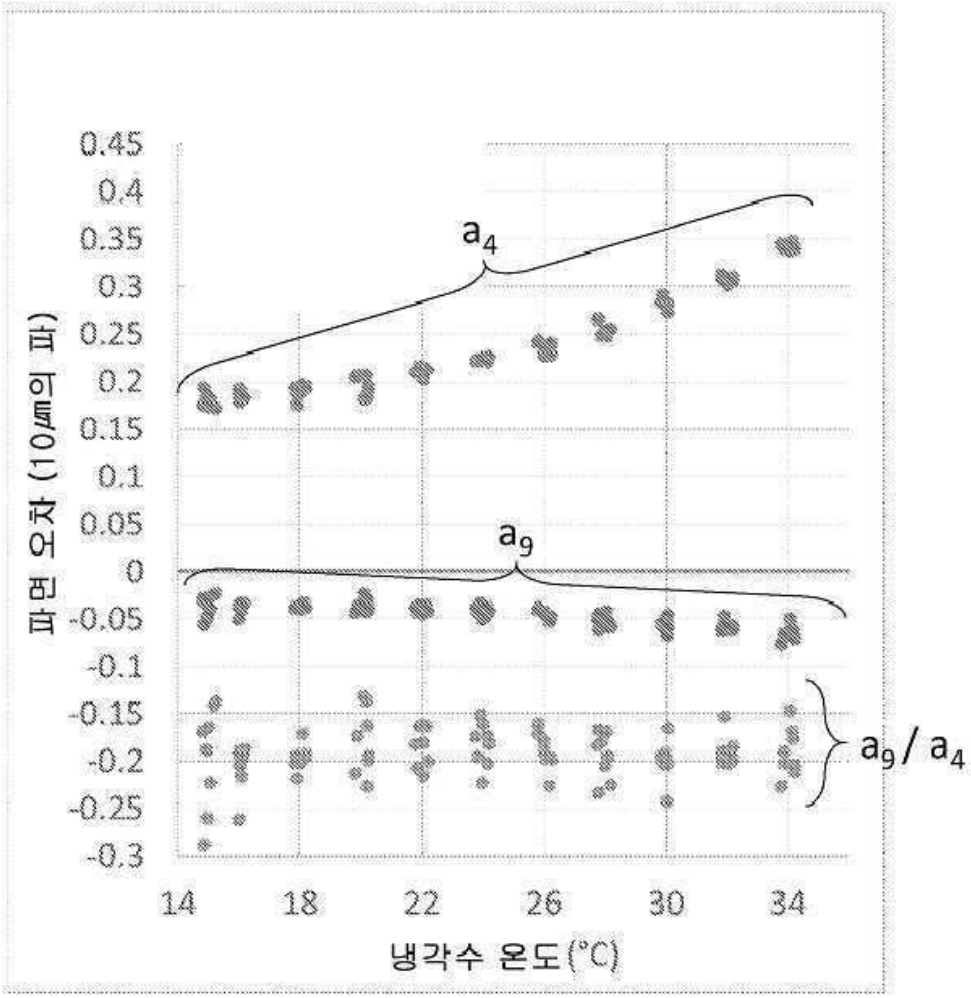
도면13



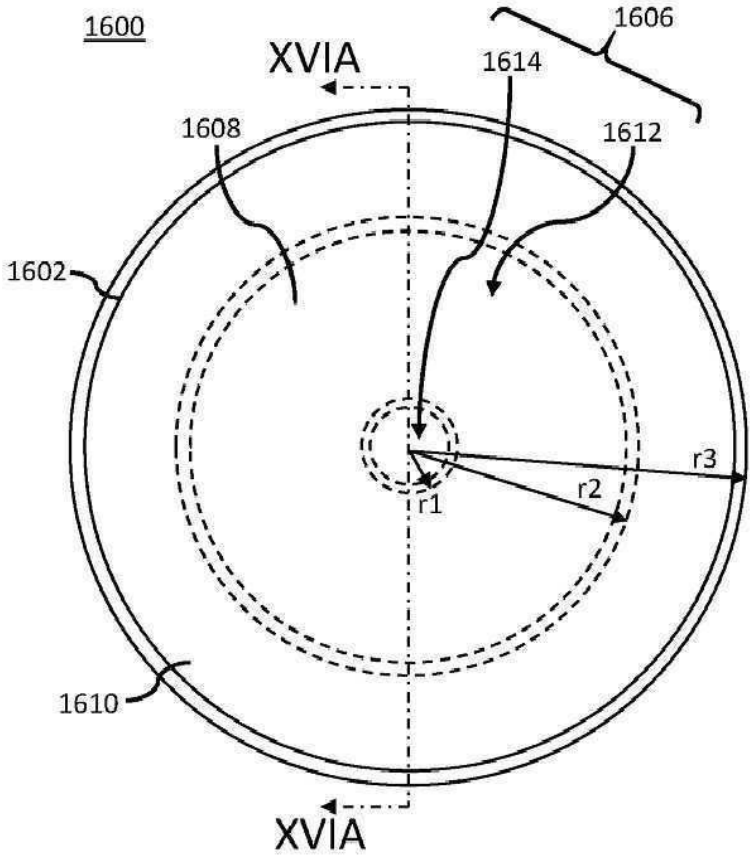
도면14


1000
1016
1020
1012
1400
1008

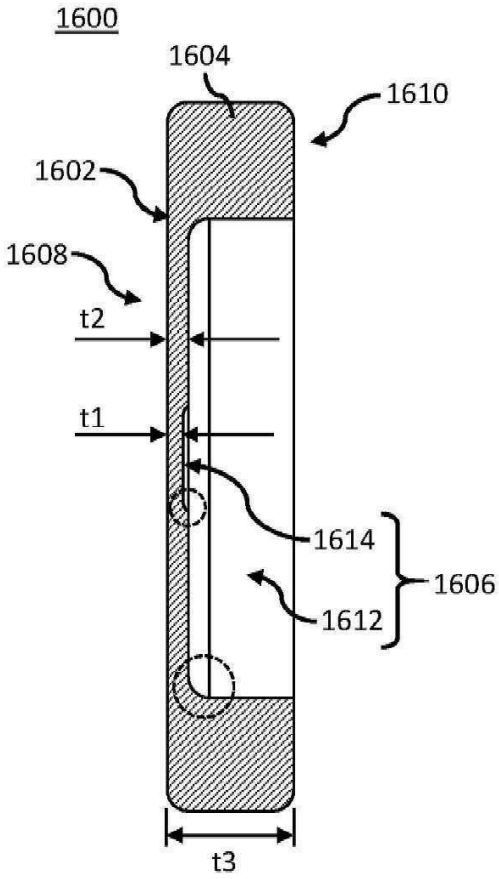
도면15


0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
-0.3
파면 오차 (10ㅅ의 파)
a4
a9
a9 / a4
14
18
22
26
30
34
냉각수 온도(°C)

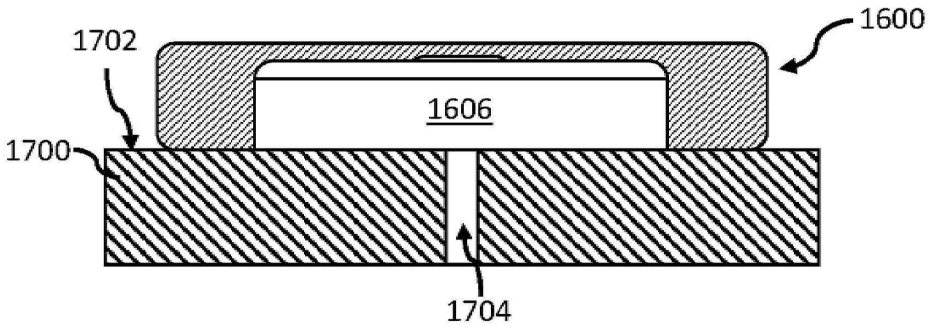
도면16



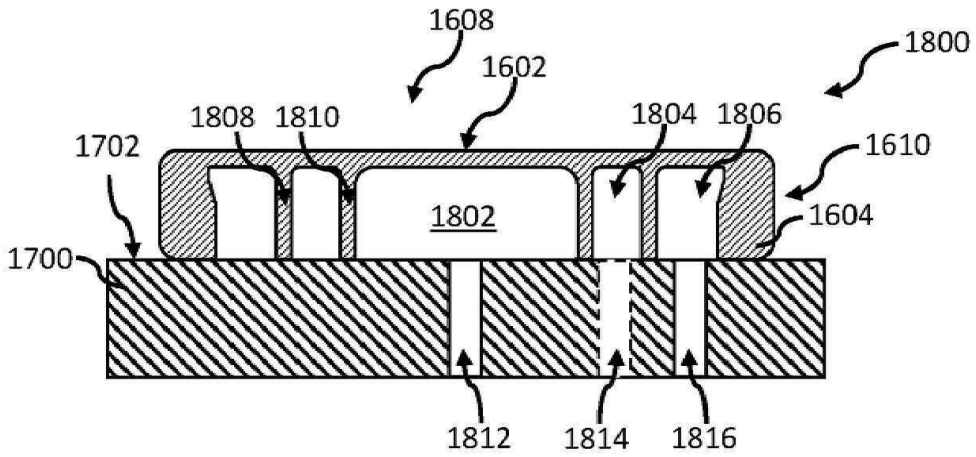
도면16a


1600
1604
1610
1602
1608
t2
t1
1614
1606
1612
t3

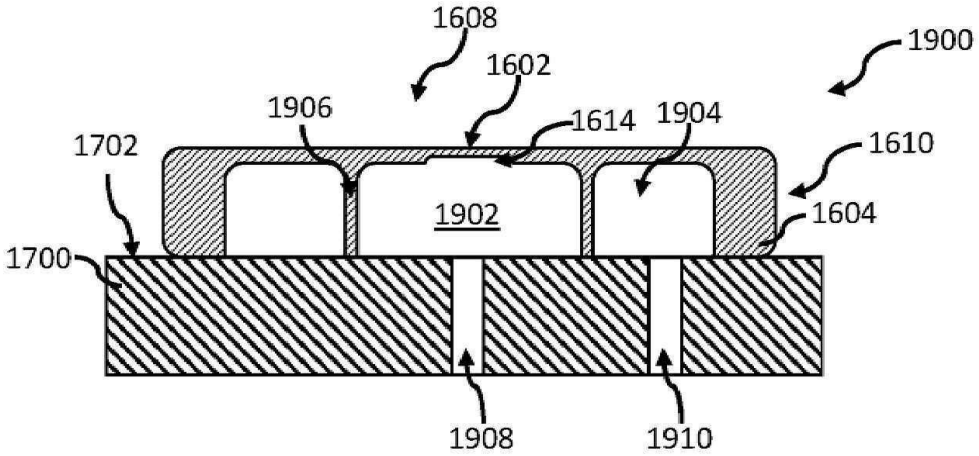
도면17


1600
1702
1606
1700
1704

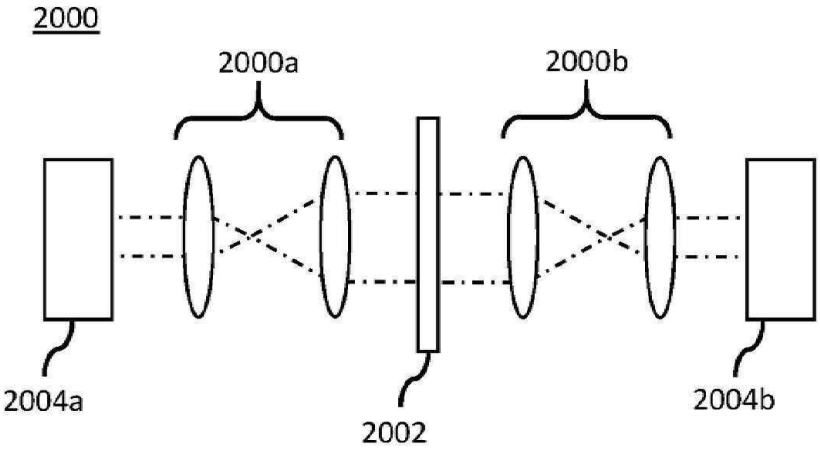
도면18



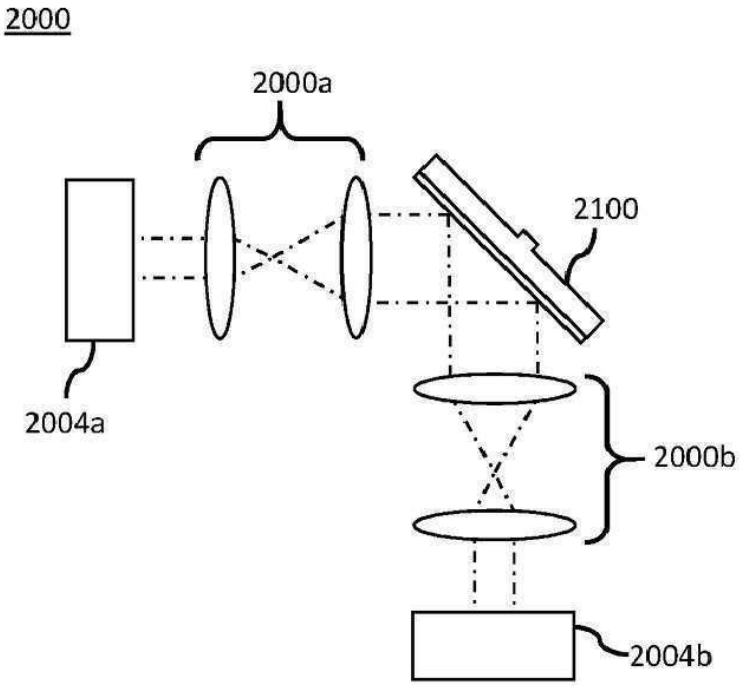
도면19



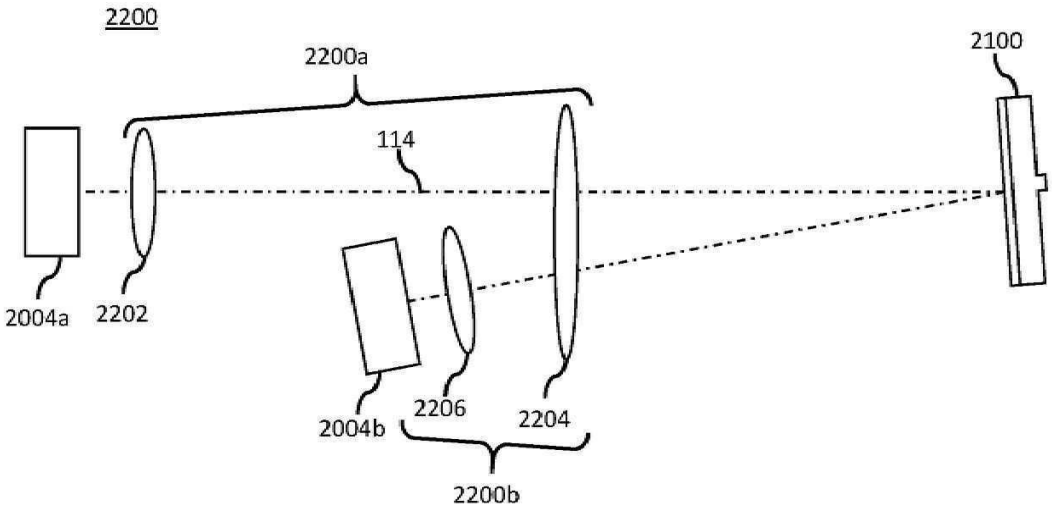
도면20



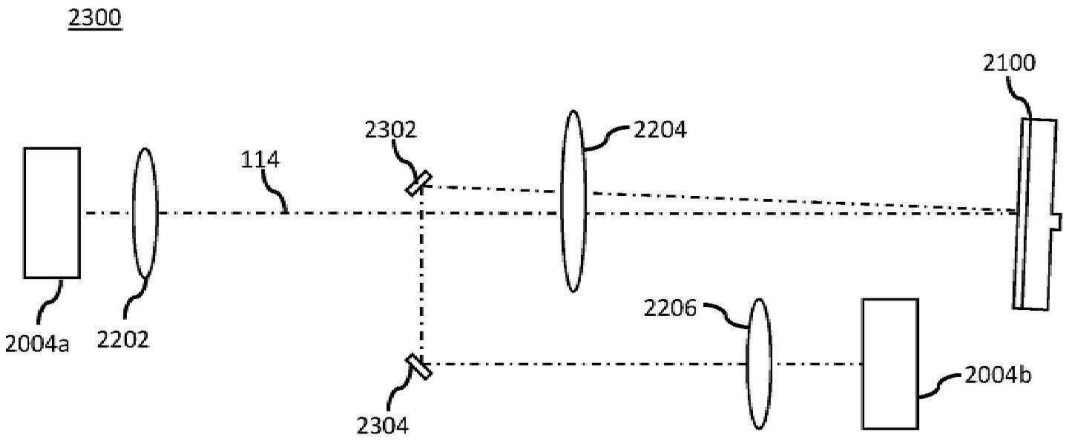
도면21


2000
2000a
2100
2004a
2000b
2004b

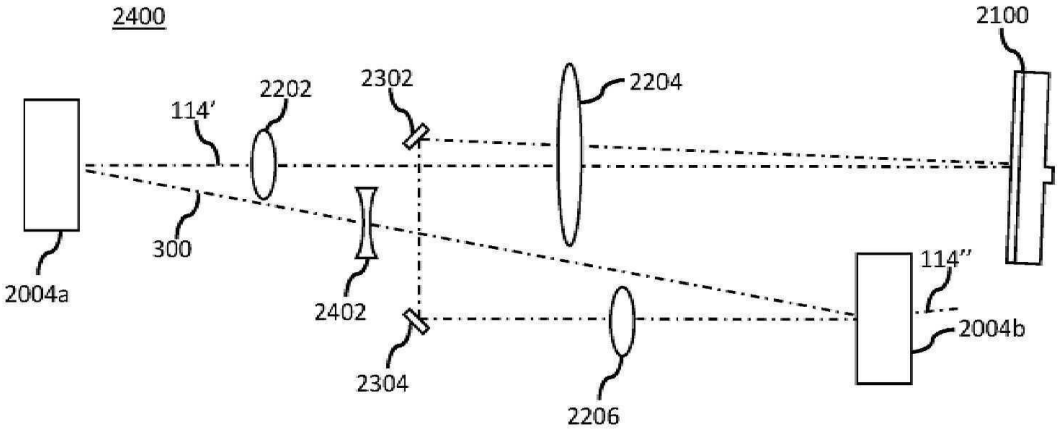
도면22


2200
2200a
2100
114
2004a
2202
2004b
2206
2204
2200b

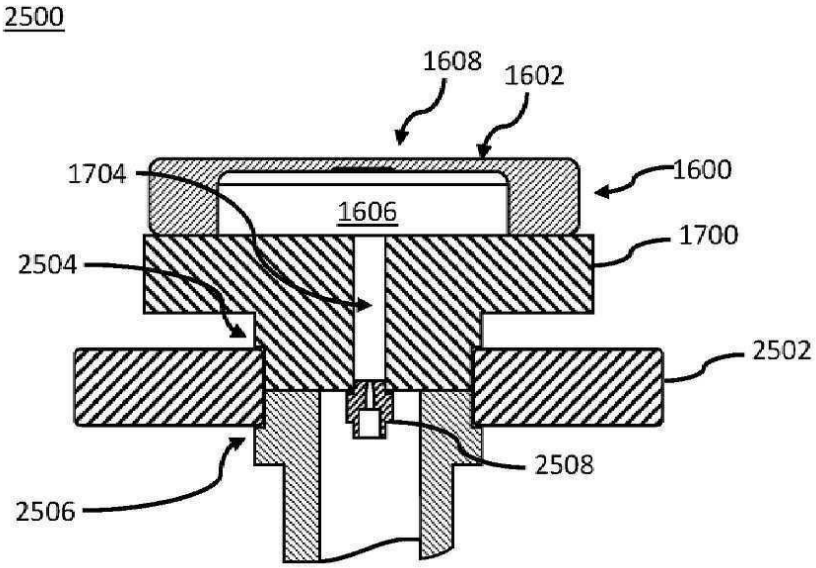
도면23



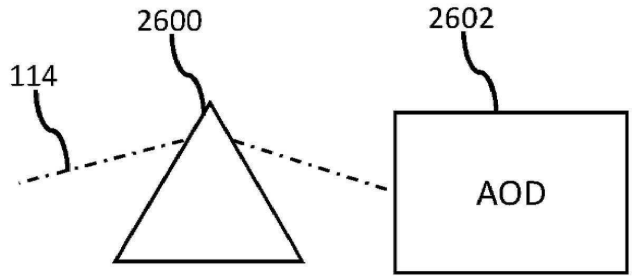
도면24



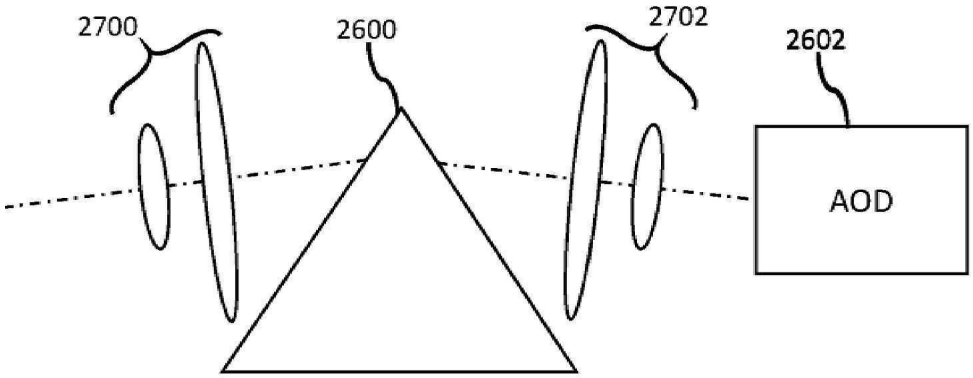
도면25



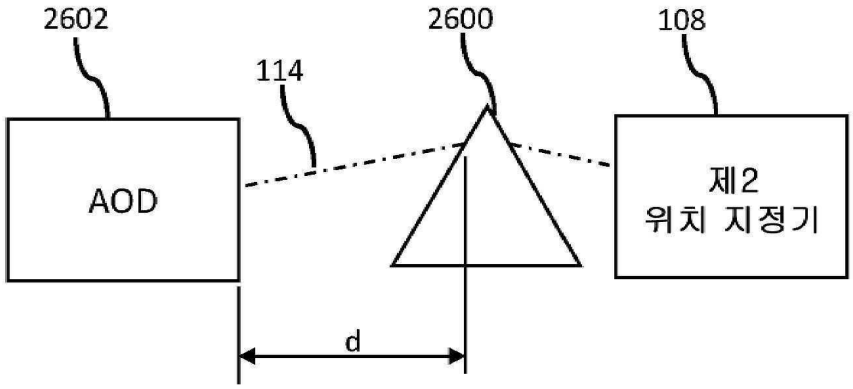
도면26



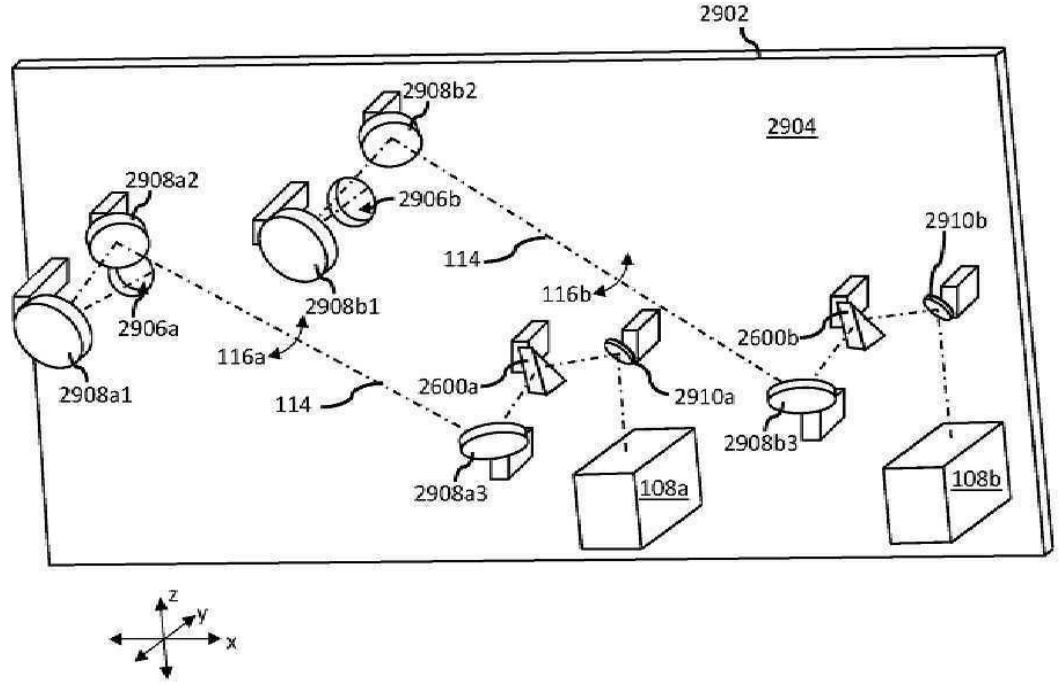
도면27



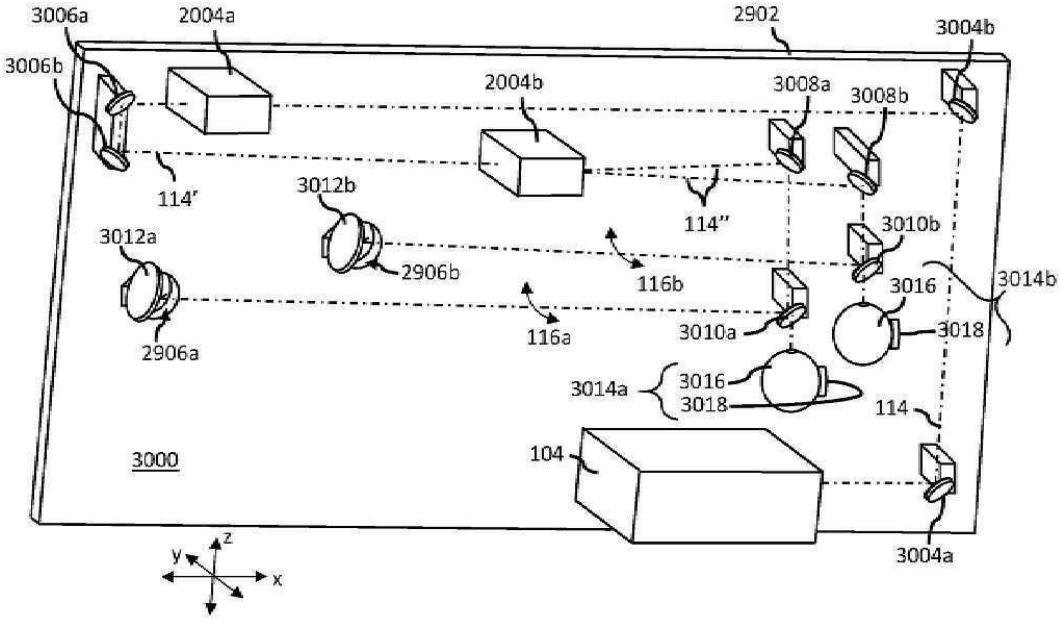
도면28



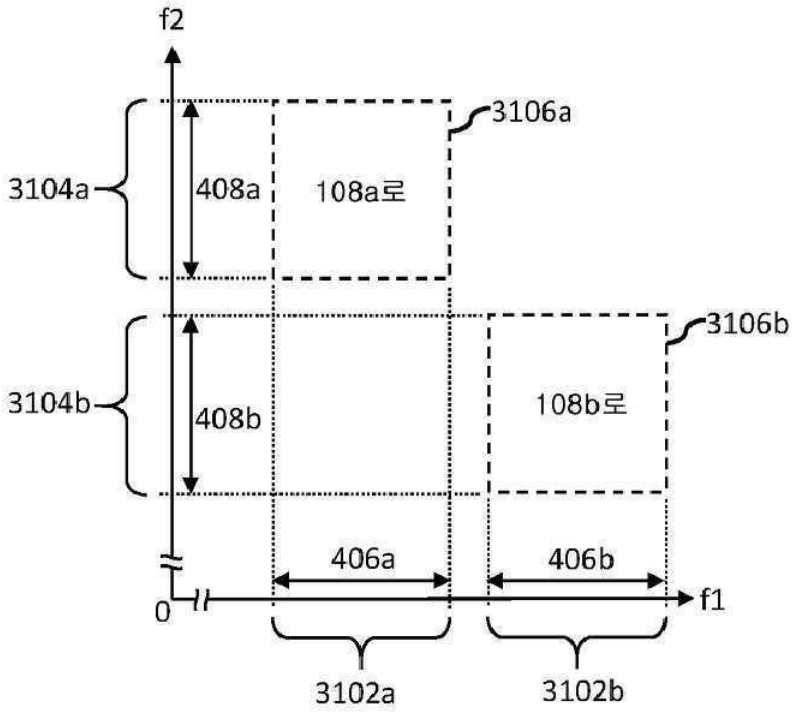
도면29


2902
2904
2908b2
2908a2
2906b
2910b
114
116b
2908b1
2906a
116a
2600b
2908a1
2600a
2910a
114
2908b3
2908a3
108a
108b
z
y
x

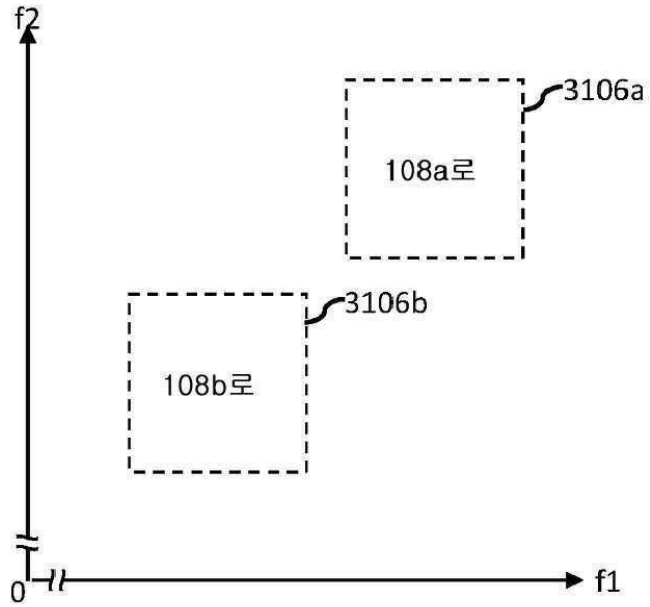
도면30


3006a
2004a
2902
3004b
3006b
2004b
3008a
3008b
114'
3012b
114"
3010b
3012a
2906b
116b
3016
3014b
2906a
116a
3010a
3018
3014a
3016
3018
114
3000
104
3004a
z
y
x

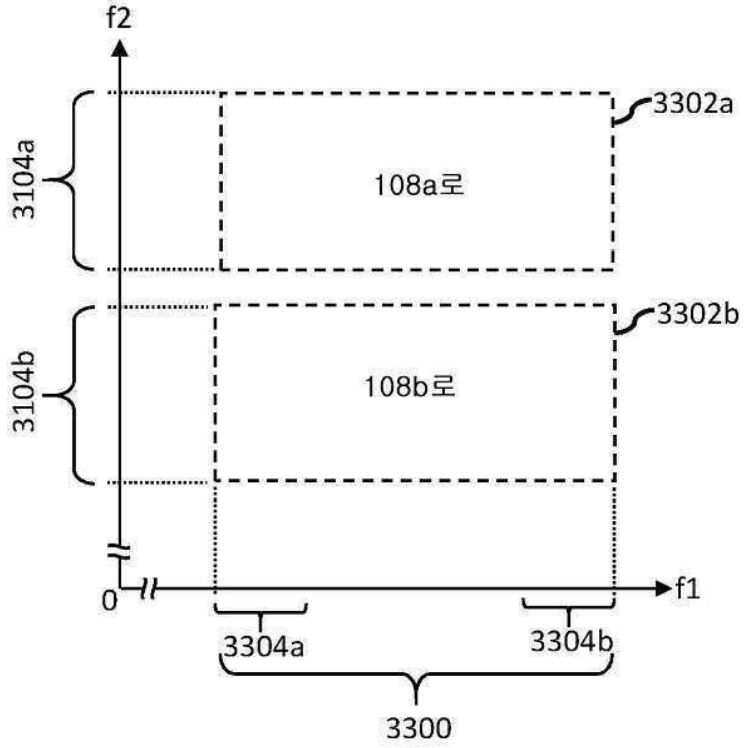
도면31


f2
3106a
3104a
408a
108a로
3106b
3104b
408b
108b로
406a
406b
0
f1
3102a
3102b

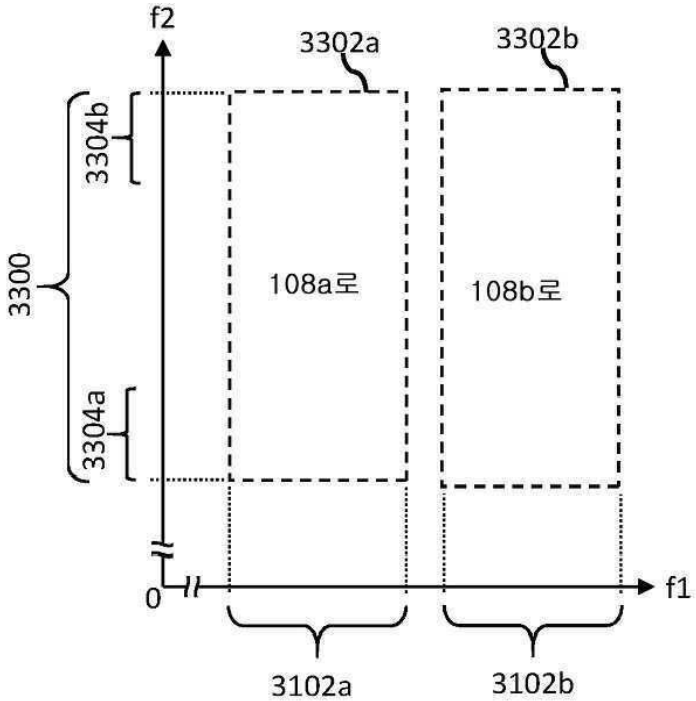
도면32


f2
3106a
108a로
3106b
108b로
0
f1

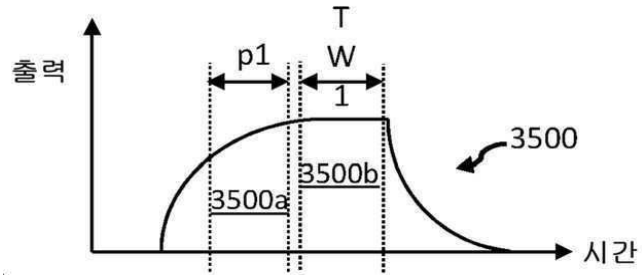
도면33


f2
3302a
3104a
108a로
3302b
3104b
108b로
0
f1
3304a
3304b
3300

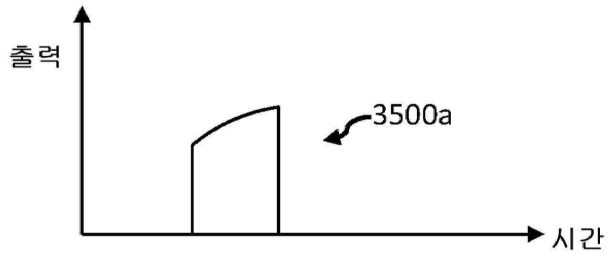
도면34


f2
3302a
3302b
3304b
3300
108a로
108b로
3304a
0
f1
3102a
3102b

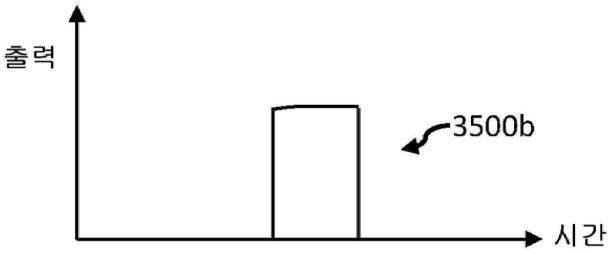
도면35



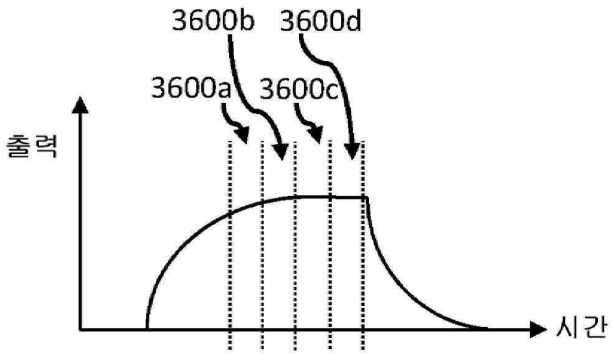
도면35a



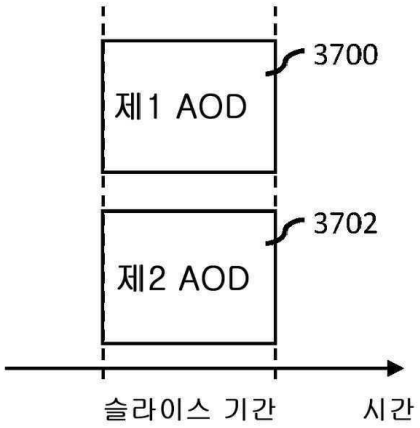
도면35b



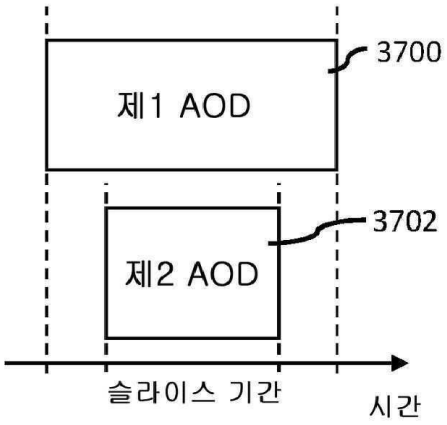
도면36



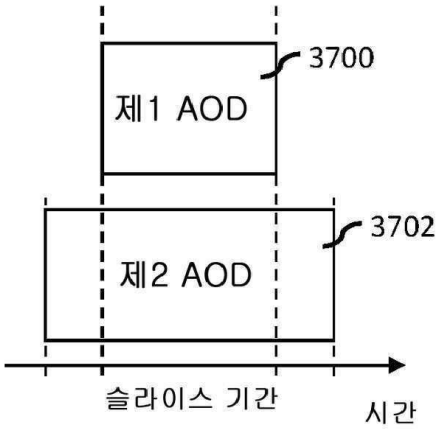
도면37



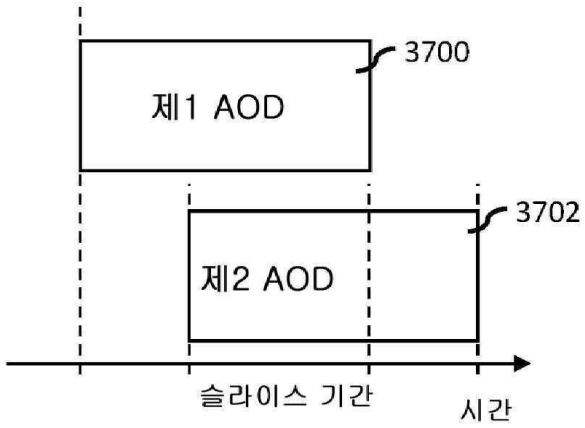
도면38



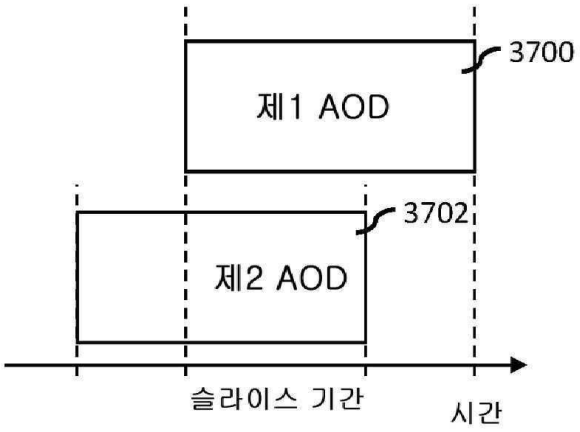
도면39



도면40


3700
제1 AOD
3702
제2 AOD
슬라이스 기간
시간

도면41


3700
제1 AOD
3702
제2 AOD
슬라이스 기간
시간