



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0113530
(43) 공개일자 2023년07월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 26/10 (2022.01) G02B 17/00 (2022.01)
G02B 17/02 (2006.01) G02B 26/08 (2006.01)
G02B 5/122 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G02B 26/105 (2013.01)
G02B 17/008 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-7012712

(22) 출원일자(국제) 2021년11월23일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2023년04월13일

(86) 국제출원번호 PCT/US2021/060478

(87) 국제공개번호 WO 2022/125305

국제공개일자 2022년06월16일

(30) 우선권주장

63/122,573 2020년12월08일 미국(US)

(71) 출원인

일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드

미국 오리건주 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이 14523

(72) 발명자

브룩카이저, 제임스

미국 오리건 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이 14523

클라이너트, 잔

미국 오리건 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이 14523

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 광장리앤코

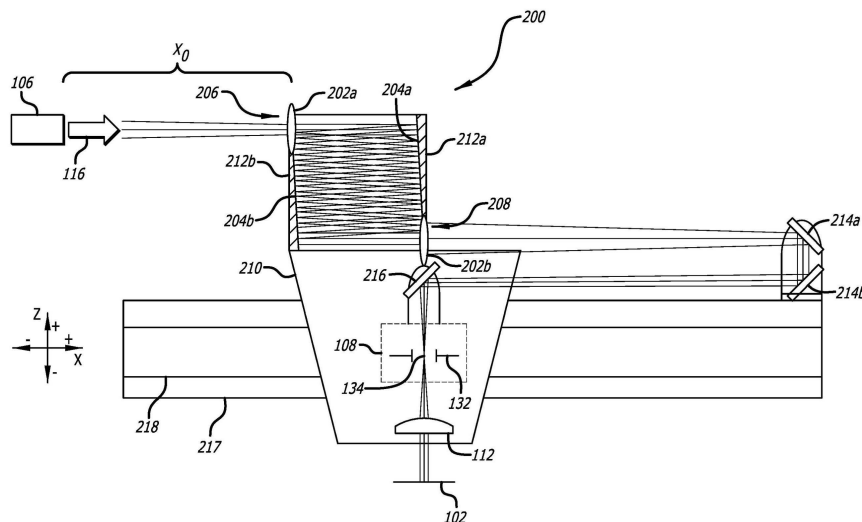
전체 청구항 수 : 총 31 항

(54) 발명의 명칭 광학 릴레이 시스템과 사용 및 제조 방법

(57) 요약

광학 릴레이 시스템의 다수의 실시예가 개시된다. 일 실시예에서, 레이저-가공 장치는 제1 포지셔너와 스캔 렌즈 사이의 레이저 에너지의 빔의 광학 경로 길이를 유지함으로써 빔 배치 오차를 보정하도록 구성된 광학 릴레이 시스템을 포함한다. 다른 실시예에서, 광학 릴레이 시스템은 제1 렌즈, 제2 렌즈 및 제1 렌즈와 제2 렌즈 사이에 배열된 줌 렌즈 조립체를 포함할 수 있으며, 줌 렌즈 조립체는 제1 렌즈 그룹 및 제2 렌즈 그룹을 포함한다. 줌 렌즈 조립체는 (예를 들어, 모션 스테이지와 같이, 포지셔너에 장착된) 제1 렌즈 및 제2 렌즈에 대해 이동 가능할 수 있다. 제1 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리 및 제2 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리는 고정되거나 가변적일 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G02B 17/023 (2013.01)

G02B 26/0816 (2013.01)

G02B 26/0875 (2013.01)

G02B 5/122 (2013.01)

(72) 발명자

리히터, 제러드

미국 오리건 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이
14523

언라쓰, 마크

미국 오리건 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨 웨이
14523

명세서

청구범위

청구항 1

시스템으로서,

피벗 지점(pivot point)을 중심으로 레이저 에너지의 빔을 편향시키도록 구성된 제1 포지셔너(positioner);

상기 제1 포지셔너에 대해 이동 가능한 스캔 렌즈; 및

상기 스캔 렌즈의 이동에 대응하여 상기 스캔 렌즈에 상기 피벗 지점을 릴레이(relay)하도록 구성된 광학 릴레이 시스템을 포함하는, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 포지셔너는 AOD 시스템 및 검류계 미러 시스템으로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나인, 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 스캔 렌즈는 상기 광학 릴레이 시스템에 대해 이동 가능한, 시스템.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템은 상기 스캔 렌즈 및 상기 제1 포지셔너로부터 선택된 적어도 하나에 대해 이동 가능한, 시스템.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템은:

광학 입력;

제1 반사 표면을 갖는 제1 반사기 - 상기 제1 반사기는 상기 제1 포지셔너로부터 전파되는 상기 레이저 에너지의 빔을 수신하도록 배열됨 - ;

광학 출력; 및

상기 제1 반사 표면 반대편의 제2 반사 표면을 갖는 제2 반사기를 포함하고, 상기 제1 반사 표면 및 상기 제2 반사 표면은 상기 제1 반사기에서 수신된 상기 레이저 에너지의 빔을 상기 광학 입력으로부터 상기 광학 출력으로 릴레이하도록 배열되고 구성되는, 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템은:

상기 광학 릴레이 시스템 내에 상기 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 배열되고 구성된 제1 렌즈; 및

상기 광학 릴레이 시스템을 빠져나가는 상기 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 배열되고 구성된 제2 렌즈를 더 포함하고,

상기 제1 렌즈 및 상기 제2 렌즈는 상기 레이저 에너지의 빔을 확대하도록 구성되는, 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 제1 렌즈는 상기 제1 반사 표면 및 상기 제2 반사 표면으로부터 분리된 지점에 상기 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 구성되는, 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템에 결합된 스테이지를 더 포함하고, 상기 스테이지는 상기 스캔 렌즈, 상기 제1 포지셔너 또는 이들의 조합으로부터 선택된 적어도 하나에 대해 상기 광학 릴레이 시스템의 포지션을 변경하도록 동작하는, 시스템.

청구항 9

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템은:

편광 빔 스플리터(polarizing beamsplitter); 및

상기 편광 빔 스플리터와 광학 연통하게 배열된 지연기(retarder)를 포함하는, 시스템.

청구항 10

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템과 상기 스캔 렌즈 사이에 배열된 제2 포지셔너를 더 포함하는, 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 제2 포지셔너는 검류계, AOD 시스템, 고속 조향 미러 및 회전형 다각형 미러로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나인, 시스템.

청구항 12

광학 릴레이 시스템으로서,

광학 입력;

제1 반사 표면을 갖는 제1 반사기 - 상기 제1 반사기는 제1 포지셔너로부터 전파되는 레이저 에너지의 빔을 수신하도록 배열됨 - ;

광학 출력; 및

상기 제1 반사 표면 반대편의 제2 반사 표면을 갖는 제2 반사기를 포함하고, 상기 제1 반사 표면 및 상기 제2 반사 표면은 상기 광학 입력으로부터 상기 광학 출력으로 상기 제1 반사기에서 수신된 상기 레이저 에너지의 빔을 상기 광학 입력으로부터 상기 광학 출력으로 릴레이하도록 배열되고 구성되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 제1 반사 표면 및 상기 제2 반사 표면은 서로 실질적으로 평행한, 광학 릴레이 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 제1 반사 표면 및 상기 제2 반사 표면은 서로 평행하지 않은, 광학 릴레이 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 광학 릴레이 시스템은:

상기 광학 입력에 장착된 제1 렌즈; 및

상기 광학 출력에 장착된 제2 렌즈를 더 포함하는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 제1 포지셔너는 상기 광학 릴레이 시스템에 대해 이동 가능한, 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 제1 포지셔너에 결합된 스테이지를 더 포함하고, 상기 스테이지는 상기 광학 릴레이 시스템에 대해 상기 제1 포지셔너의 포지션을 변경하도록 동작하는, 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 스테이지는 선형 모션 스테이지(linear motion stage)인, 시스템.

청구항 19

제16항에 있어서, 상기 제1 포지셔너는 AOD 시스템 및 검류계 미러 시스템으로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나인, 시스템.

청구항 20

광학 릴레이 시스템으로서,

제1 렌즈;

제2 렌즈;

상기 제1 렌즈와 상기 제2 렌즈 사이에 배열된 줌 렌즈 조립체(zoom lens assembly)를 포함하고, 상기 줌 렌즈 조립체는 제1 렌즈 그룹 및 제2 렌즈 그룹을 포함하고, 상기 제1 렌즈 그룹 및 상기 제2 렌즈 그룹 각각은 복수의 렌즈를 포함하는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 줌 렌즈 조립체는 상기 제1 렌즈 및 상기 제2 렌즈 중 적어도 하나에 대해 이동 가능한, 광학 릴레이 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 줌 렌즈 조립체는 제1 포지셔너에 장착되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 제1 포지셔너는 모션 스테이지인, 광학 릴레이 시스템.

청구항 24

제20항에 있어서, 상기 제1 렌즈 및 상기 제2 렌즈 중 적어도 하나는 양의 렌즈(positive lenses), 평면-볼록 렌즈, 양면-볼록 렌즈 및 양의 메니스커스 렌즈(positive meniscus lenses)로 구성된 그룹으로부터 선택되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 25

제20항에 있어서, 상기 제1 렌즈 그룹 및 상기 제2 렌즈 그룹은 상기 줌 렌즈 조립체의 횡방향 중심선에 대해 대칭적으로 배열된 망원 이중 렌즈(telephoto doublets)인, 광학 릴레이 시스템.

청구항 26

제20항에 있어서, 상기 제1 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리 및 상기 제2 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리는 고정되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 27

제20항에 있어서, 상기 제1 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리 및 상기 제2 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리는 가변적인, 광학 릴레이 시스템.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 제1 렌즈 그룹은 상기 제1 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리를 조정하도록 구성된 제2 포지셔너에 장착되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 29

제28항에 있어서, 상기 제2 포지셔너는 모션 스테이지인, 광학 릴레이 시스템.

청구항 30

제27항에 있어서, 상기 제2 렌즈 그룹은 상기 제2 렌즈 그룹의 적어도 두 개의 렌즈 사이의 거리를 조정하도록 구성된 제3 포지셔너에 장착되는, 광학 릴레이 시스템.

청구항 31

제30항에 있어서, 상기 제3 포지셔너는 모션 스테이지인, 광학 릴레이 시스템.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 관련된 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2020년 12월 8일에 출원된 미국 가출원 제63/122,573호의 이익을 주장하며, 이의 내용은 그 전체가 본원에 참조로 통합된다.

[0003] 본원에 설명된 실시예는 일반적으로, 레이저-가공 장치, 광학 릴레이 시스템(optical relay systems) 및 그의 구성요소 및 이를 동작시키기 위한 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 레이저-가공 시스템 또는 장치는 인쇄 회로 기판(PCB) 기계 가공, 적층 제조 등을 포함하는, 매우 다양한 응용에서 사용된다. 다수의 레이저 가공 시스템은 레이저 에너지의 빔을 작업물에 집속시키기 위한 스캔 렌즈(scan lens) 및 가공될 일부 재료에 대해 집속된 레이저 에너지의 빔을 이동시키기 위한 포지셔너(positioner)를 포함한다. 일부 레이저-가공 시스템에서, 포지셔너가 정적으로 유지되는 동안 스캔 렌즈가 이동될 수 있어서, 스캔 렌즈와 포지셔너 사이의 광학 경로 길이는 스캔 렌즈의 이동에 의존하여 변할 수 있다. 광학 경로 길이의 변화는 (본원에서 "스캔 렌즈 입사 동공(scan lens entrance pupil)", 또는 더욱 간단히 "SLEP"로 지칭되는) 스캔 렌즈의 입사 동공 외부에 위치한 피벗 지점(pivot point)을 중심으로 회전하는 레이저 에너지의 빔을 초래할 수 있다. SLEP 외부에 있는 피벗 지점의 위치는 텔레센트릭 오차(telecentric errors)를 유발하고, 작업물에서 빔 왜곡을 생성하고, 스캔 렌즈 입사 동공에서 바람직하지 않은 빔 클리핑(beam clipping)을 초래할 수 있다.

발명의 내용

[0005] 본 발명의 일 실시예는 피벗 지점을 중심으로 레이저 에너지의 빔을 편향시키도록 구성된 제1 포지셔너, 제1 포지셔너에 대해 이동 가능한 스캔 렌즈, 및 스캔 렌즈의 이동에 대응하여 피벗 지점을 스캔 렌즈에 릴레이하도록 구성된 광학 릴레이 시스템을 포함하고, 스캔 렌즈는 광학 릴레이 시스템에 대해 이동 가능하다. 제1 포지셔너는 AOD 시스템 또는 검류계 미러 시스템(galvanometer mirror system)으로 제공될 수 있다. 광학 릴레이 시스템은 스캔 렌즈 및/또는 제1 포지셔너에 대해 이동 가능할 수 있다. 광학 릴레이 시스템은 광학 입력, 제1 반사 표면을 갖는 제1 반사기 - 제1 반사기는 제1 포지셔너로부터 전파되는 레이저 에너지의 빔을 수신하도록 배열됨 - ; 광학 출력; 및 제1 반사 표면 반대편의 제2 반사 표면을 갖는 제2 반사기를 포함하고, 제1 반사 표면 및 제2 반사 표면은 제1 반사기에서 수신된 레이저 에너지의 빔을 광학 입력로부터 광학 출력으로 릴레이하도록 배열 및 구성된다. 제1 반사 표면 및 제2 반사 표면은 실질적으로 서로 평행할 수 있다. 제1 렌즈는 광학 입력에 장착될 수 있고; 제2 렌즈는 광학 출력에 장착될 수 있다. 제1 포지셔너(예를 들어, AOD 시스템 및 검류계 미러 시스템)는 광학 릴레이 시스템에 대해 이동 가능할 수 있으며, 선형 모션 스테이지는 제1 포지셔너에 결합될 수 있고, 스테이지는 광학 릴레이 시스템에 대해 제1 포지셔너의 위치를 변경하도록 동작한다.

[0006] 다른 실시예에서, 광학 릴레이 시스템은 광학 릴레이 시스템 내에 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 배열되고 구성된 제1 렌즈, 및 광학 릴레이 시스템을 빠져나가는 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 배열되고 구성된 제2 렌즈를 포함할 수 있으며, 제1 렌즈 및 제2 렌즈는 레이저 에너지의 빔을 확대하도록 구성된다. 제1 렌즈는 제1 반사 표면 및 제2 반사 표면으로부터 분리된 지점에 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 구성될 수 있다. 스테이지는 광학 릴레이 시스템에 결합될 수 있으며, 스테이지는 스캔 렌즈, 제1 포지셔너 또는 이들의 조합에 대한 광학 릴레이 시스템의 위치를 변경하도록 동작한다.

[0007] 다른 실시예에서, 레이저 가공 장치는 광학 릴레이 시스템과 스캔 렌즈 사이에 배열된 제2 포지셔너를 더 포함

할 수 있고, 제2 포지셔너는 검류계, AOD 시스템, 고속 조향 미러 또는 회전형 다각형 미러일 수 있다.

[0008]

다른 실시예에서, 광학 릴레이 시스템은 제1 렌즈, 제2 렌즈 및 제1 렌즈와 제2 렌즈 사이에 배열된 줌 렌즈 조립체(zoom lens assembly)를 포함할 수 있으며, 줌 렌즈 조립체는 제1 렌즈 그룹 및 제2 렌즈 그룹을 포함하고, 제1 렌즈 그룹 및 제2 렌즈 그룹은 복수의 렌즈를 포함한다. 제1 렌즈 그룹 및 제2 렌즈 그룹은 줌 렌즈 조립체의 횡방향 중심선에 대해 대칭적으로 배열된 망원 이중 렌즈(telephoto doublets)로 제공될 수 있다. 줌 렌즈 조립체는 (예를 들어, 모션 스테이지와 같이, 제1 포지셔너에 장착된) 제1 렌즈 및 제2 렌즈 중 적어도 하나에 대해 이동 가능할 수 있다. 제1 렌즈 및 제2 렌즈는 정의 렌즈(positive lenses), 평면-볼록 렌즈, 양면-볼록 렌즈 또는 정의 메니스커스 렌즈(positive meniscus lenses) 또는 이의 임의의 조합으로 제공될 수 있다. 제1 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리 및 제2 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리는 고정되거나 가변적일 수 있다. 제1 렌즈 그룹은 제1 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리를 조정하도록 구성된 제2 포지셔너(예를 들어, 모션 스테이지)에 장착될 수 있다. 제2 렌즈 그룹은 제2 렌즈 그룹의 렌즈 간 거리를 조정하도록 구성된 제3 포지셔너(예를 들어, 모션 스테이지)에 장착될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009]

도 1 내지 3은 레이저 가공 시스템의 다양한 공간 상태를 예시하는 개략도이다.

도 4는 일 실시예에 따른 레이저-가공 장치를 개략적으로 예시한다.

도 5 및 6은 일 실시예에 따른 광학 릴레이 시스템의 상이한 포지션 상태(positional states)를 도시한다.

도 7a 및 7b는 광학 릴레이 시스템의 다른 실시예의 상이한 포지션 상태를 도시한다. 도 7a 및 7b에서, 광학 릴레이 시스템은 단면 입면도로 도시된다.

도 8 및 9는 광학 릴레이 시스템의 다른 실시예의 상이한 포지션 상태를 도시한다.

도 10 및 11은 광학 릴레이 시스템의 다른 실시예의 상이한 포지션 상태를 도시한다.

도 12는 광학 릴레이 시스템의 다른 실시예의 도면을 도시한다.

도 13a-13c는 도 12에 도시된 광학 릴레이 시스템의 실시예의 상이한 포지션 상태를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010]

첨부 도면을 참조로 본원에서 예시적인 실시예가 설명된다. 달리 지정되지 않는 한, 도면에서 구성요소, 피처(features), 요소 등의 크기, 위치 등과 이들 사이의 임의의 거리는 축적대로 도시된 것은 아니고, 명료함을 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.

[0011]

본원에서 사용되는 용어는 단지 특정한 예시적인 실시예를 설명하기 위한 목적이며, 제한하려는 것으로 의도되지 않는다. 달리 정의되지 않는 한, 본원에 사용된 (기술적 및 과학적 용어를 포함하는) 모든 용어는 통상의 기술자에 의해 보통 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, 지정된 피처, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 구성요소의 존재를 지정하지만, 하나 이상의 다른 피처, 정수, 단계, 동작, 요소, 구성요소 및/또는 이의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는 것으로 인식되어야 한다. 달리 지정되지 않는 한, 값의 범위는 언급될 때, 범위의 상한 및 하한뿐만 아니라, 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, 유사하게 다른 노드는 "제2 노드"로 지칭될 수 있으며 그 역으로도 가능하다.

[0012]

달리 나타내지 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 있다는 것을 의미한다. 아래의(below), "아래쪽의(beneath)," "낮은(lower)," "위의(above)" 및 "높은(upper)" 등과 같은 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 예시된 바와 같이, 하나의 요소 또는 피처와 다른 요소 또는 피처의 관계를 설명하기 위한 설명의 용이함을 위해 본원에서 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인

용어가 도면에 도시된 배향에 부가하여 상이한 배향도 포괄하는 것으로 의도된다는 것이 인식되어야 한다. 예를 들어, 도면에서 객체가 회전되면, 다른 요소 또는 피쳐 "아래의" 또는 "아래쪽"으로 설명된 요소는 다른 요소 또는 피쳐의 "위"로 배향될 것이다. 따라서, "아래의"란 예시적인 용어는 위 및 아래의 배향 모두를 포괄할 수 있다. 객체는 다른 방식으로 배향될 수 있고(예를 들어, 90도 또는 다른 배향으로 회전됨), 본원에서 사용되는 공간적으로 상대적인 설명자는 그에 따라 해석될 수 있다.

[0013] 본원에 사용된 섹션 제목은 오직 구조적인 목적을 위한 것이고, 달리 지정되지 않는 한, 설명되는 주제를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다. 본 개시의 사상 및 교시를 벗어나지 않으면서 다수의 상이한 형태, 실시예 및 조합이 가능할 수 있다는 것이 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.

[0014] I. 개요

[0015] 도 1 내지 도 3은 레이저 가공 시스템의 다양한 공간 상태를 예시하는 개략도이다. 도 1을 참조하면, 레이저 에너지의 빔(10)은 포지셔너(12)에 의해 편향되고, 폴드 미러(fold mirror, 16)를 통해 스캔 렌즈(14)를 향해 전파된다. 예시되지 않았지만, 포지셔너(12)의 피벗 지점을 스캔 렌즈(14)의 입사 동공(18)으로 텔레이하기 위해 릴레이 광학기(relay optics)가 일반적으로 포함된다. 도시된 바와 같이, 포지셔너(12)로부터의 빔의 이미지는 스캔 렌즈(14)의 입사 동공(18)에서 가상 피벗 지점(20)을 중심으로 피벗하며, 그로 인해 스캔 렌즈(14)를 빠져나가는 광선의 허용 가능한 텔레센트리시티(telecentricity)를 초래한다.

[0016] 도 2를 참조하면, 도 1에 도시된 스캔 렌즈(14) 및 폴드 미러(16)는 포지셔너(12)로부터 멀리 떨어지게 이동되며, 그로 인해 포지셔너(12)와 스캔 렌즈(14) 사이의 광학 경로 길이를 증가시킨다. 광학 경로 길이를 늘리는 것은 (예를 들어, 이 경우 폴드 미러(16)의 표면에서 또는 그 근처에서) 가상 피벗 지점(20)을 입사 동공(18) 및 스캔 렌즈(14)로부터 멀리 떨어지게 이동시키는 것을 초래한다. 스캔 렌즈(14)로부터 멀리 떨어지는 가상 피벗 지점(20)의 이러한 이동은 스캔 렌즈(14)를 빠져나가는 광선의 열악한 텔레센트리시티를 초래하고, 이는 다른 문제 중에서도 작업물에서 스팟 위치의 위치 오차를 유발할 수 있다.

[0017] 도 3을 참조하면, 도 1에 도시된 스캔 렌즈(14) 및 폴드 미러(16)는 포지셔너(12)를 향하여 이동되며, 그로 인해 포지셔너(12)와 스캔 렌즈(14) 사이의 광학 경로 길이를 감소시킨다. 광학 경로 길이를 줄이는 것은 가상 피벗 지점(20)을, 입사 동공(18)으로부터 멀리 떨어지게, 그리고 스캔 렌즈(14)를 향하여 (그리고, 이 경우 심지어 스캔 렌즈(14)를 넘게) 이동시키는 것을 초래한다. 스캔 렌즈(14)를 향한 가상 피벗 지점(20)의 이러한 이동은 열악한 텔레센트리시티를 초래하고, 이는 위에서 논의된 바와 같이 작업물에서 스팟 위치의 위치 오차를 유발할 수 있다. 가상 피벗 지점(20)의 이러한 이동은 또한, 입사 동공(18)에 의한 바람직하지 않은 빔 클리핑을 초래할 수 있고, 따라서 포지셔너(12)의 유용한 편향 범위를 감소시킬 수 있다.

[0018] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저-가공 장치를 개략적으로 예시한다.

[0019] 도 4에 도시된 실시예를 참조하면, 작업물(102)을 가공하기 위한 레이저-가공 장치(100)(본원에서 간단히 "장치"로 지칭됨)는 레이저 에너지의 빔을 생성하기 위한 레이저원(104), 하나 이상의 포지셔너(예를 들어, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(110) 또는 이들의 임의의 조합) 및 스캔 렌즈(112)를 포함하는 것으로서 특징지어질 수 있다. 스캔 렌즈(112) 및 제2 포지셔너(108)는 아래에서 더욱 상세히 설명되는 스캔 헤드(120)에 통합될 수 있다.

[0020] 스캔 렌즈(110)를 통해 빔 경로(114)를 따라 투과된 레이저 에너지는 빔 축을 따라 전파되어, 작업물(101)로 전달된다. 빔 축(118)을 따라 전파되는 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)을 갖는 것으로서 특징지어질 수 있다. 공간 강도 프로파일은 공간 강도 프로파일의 타입에 관계없이, 빔 축(118)(또는 빔 경로(114))을 따라 전파되는 레이저 에너지의 빔의 형태(즉, 단면 형태, 또한 본원에서 "스팟 형태"로 지칭됨)로 또한 특징지어질 수 있고, 이 형태는 원형, 타원형, 직사각형, 삼각형, 육각형, 링형 등이거나 임의의 형태일 수 있다. 본원에서 사용되는 "스팟 크기"란 용어는, 빔 축(118)이 전달된 레이저 에너지의 빔에 의해 적어도 부분적으로 가공될 작업물(102)의 영역을 가로지르는 위치(또한, "가공 스팟", "스팟 위치" 또는 더 간단하게 "스팟"으로 지칭됨)에서 전달되는 레이저 에너지의 빔의 직경 또는 최대 공간 폭을 지칭한다. 본원에서 논의의 목적으로, 스팟 크기는 빔 축(118)으로부터 광 강도가 빔 축(118)에서 광 강도의 적어도 $1/e^2$ 까지 감소되는 지점까지의 방사 거리 또는 횡단 거리로 측정된다. 일반적으로, 레이저 에너지의 빔의 스팟 크기는 빔 웨이스트(beam

waist)에서 최소일 것이다. 일단 작업물(102)에 전달되면, 빔 내의 레이저 에너지는 $2\mu\text{m}$ 내지 $200\mu\text{m}$ 의 범위 내의 스팟 크기로 작업물(102)에 충돌하는 것으로 특징지어질 수 있다. 하지만, 스팟 크기는 $2\mu\text{m}$ 보다 작거나, 또는 $200\mu\text{m}$ 보다 크게 만들어질 수 있다는 것이 인식될 것이다. 따라서, 작업물(102)로 전달되는 레이저 에너지의 빔은 $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $35\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$, $45\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$, $55\mu\text{m}$, $80\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, $150\mu\text{m}$, $200\mu\text{m}$ 등을 초과하거나, 이의 미만이거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 임의의 값 사이의 스팟 크기를 가질 수 있다.

[0021] 일반적으로, 진술한 포지셔너(예를 들어, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108) 및 제3 포지셔너(110))는 스팟과 작업물(102) 사이의 상대적인 포지션을 변경하도록 구성된다. 후속하는 설명을 고려하여, 장치(100)가 제1 포지셔너(106) 및 선택적으로 제3 포지셔너(110)를 포함하는 경우, 제2 포지셔너(108)의 포함은 선택적이라는 것이 인식되어야 한다. 마찬가지로, 장치(100)가 제1 포지셔너(106) 및 선택적으로 제2 포지셔너(108)를 포함하는 경우, 제3 포지셔너(110)의 포함은 선택적이라는 것이 인식되어야 한다.

[0022] 장치(100)는 또한, 레이저 에너지의 빔이 빔 경로(114)를 따라 전파될 때, 이를 집속시키거나, 확장시키거나, 시준하거나(collimate), 성형하거나, 편광시키거나, 필터링하거나, 분할하거나, 결합하거나, 자르거나, 흡수하거나 또는 다른 방식으로 수정하거나, 조정하거나, 지향시키는 것 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 별크 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. 본원에서 사용된, 포지셔너 및 다른 광학 구성요소의 집합은 레이저-가공 장치(100)로 함께 조립될 때 "빔 경로 조립체"를 구성하는 것으로 간주될 수 있다.

[0023] A. 레이저원

[0024] 일 실시예에서, 레이저원(104)은 레이저 펄스를 생성하기 위해 동작한다. 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 동작될 수 있거나 또는 비-펄스 모드로 동작될 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)를 더 포함할 수 있다. 예시되진 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 펄스로 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 동작하는 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 있다는 것이 인식되어야 한다.

[0025] 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 100nm, 121nm, 124nm, 157nm, 200nm, 334nm, 337nm, 351nm, 380nm 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 10nm(또는 그 정도) 내지 385nm(또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 가시광선의 녹색 범위에서 레이저 에너지는 511nm, 515nm, 530nm, 532nm, 543nm, 568nm 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 500nm(또는 그 정도) 내지 560nm(또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 IR 범위에서 레이저 에너지는 600nm 내지 1000nm, 752.5nm, 780nm 내지 1060nm, 799.3nm, 980nm, 1047nm, 1053nm, 1060nm, 1064nm, 1080nm, 1090nm, 1152nm, 1150nm 내지 1350nm, 1540nm, $2.6\mu\text{m}$ 내지 $4\mu\text{m}$, $4.8\mu\text{m}$ 내지 $8.3\mu\text{m}$, $9.4\mu\text{m}$, $10.6\mu\text{m}$ 등 또는 이들 값 중 임의의 것 사이와 같이, 750nm(또는 그 정도) 내지 $15\mu\text{m}$ (또는 그 정도)의 범위 내의 하나 이상의 파장을 가질 수 있다.

[0026] 레이저 에너지의 빔이 일련의 레이저 펄스로 나타날 때, 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 10fs 내

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

[0027] 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 5mW 내지 50kW의 범위 내에 있는 평균 파워를 가질 수 있다. 하지만, 평균 파워는 5mW보다 낮거나, 50kW 보다 높게 생성될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 따라서, 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 5mW, 10mW, 15mW, 20mW, 25mW, 50mW, 75mW, 100mW, 300mW, 500mW, 800mW, 1W, 2W, 3W, 4W, 5W, 6W, 7W, 10W, 15W, 18W, 25W, 30W, 50W, 60W, 100W, 150W, 200W, 250W, 500W, 2kW, 3kW, 20kW, 50kW 등의 미만이거나, 이를 초과하거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 평균 파워를 가질 수 있다.

[0028] 레이저 펄스는 레이저원(104)에 의해 5kHz 내지 5 GHz의 범위 내에 있는 펄스 반복률로 출력될 수 있다. 하지만, 펄스 반복률은 5kHz 미만이거나 또는 5 GHz를 초과할 수 있다. 따라서, 레이저 펄스는 레이저원(104)에 의해, 5kHz, 50kHz, 100kHz, 175kHz, 225kHz, 250kHz, 275kHz, 500kHz, 800kHz, 900kHz, 1MHz, 1.5MHz, 1.8MHz, 1.9MHz, 2MHz, 2.5MHz, 3MHz, 4MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 50MHz, 60MHz, 100MHz, 150MHz, 200MHz, 250MHz, 300MHz, 350MHz, 500MHz, 550MHz, 600MHz, 900MHz, 2GHz, 10GHz 등의 미만이거나, 이를 초과하거나, 또는 이와 동일하거나, 또는 이들 값 중 어느 것 사이의 펄스 반복률로 출력될 수 있다.

[0029] 파장, 평균 파워, 및 레이저 에너지의 범이 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^2 로 측정되는) 광 강도 및 (J/cm^2 로 측정되는) 플루언스(fluence) 등으로 가공 스팟에서 작업물(102)을 조사하도록 (예를 들어, 선택적으로, 파장, 펄스 지속시간, 평균 파워 및 펄스 반복률 등과 같은 하나 이상의 다른 특성을 기초로) 선택될 수 있는 펄스 에너지, 피크 파워 등과 같은 하나 이상의 다른 특징에 의해 특징지어질 수 있다.

[0030] 레이저원(104)의 레이저의 타입의 예는, 기체 레이저(예를 들어, 이산화탄소 레이저, 일산화탄소 레이저, 엑시머 레이저(excimer lasers) 등), 솔리드-스테이트(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) 동작하도록 구성될 수 있다. 레이저원(104)으로 제공될 수 있는 레이저원의 구체적인 예는, 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, 모두 TRUMPF사에 의해 제조됨; IMRA AMERICA사에 의해 제조된 FCPA μ JEWEL 또는 FEMTOLITE 시리즈의 레이저; AMPLITUDE SYSTEMES사에 의해 제조된 TANGERINE 및 SATSUMA 시리즈 레이저(및 MIKAN 및 T-PULSE 시리즈 발전기); 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.

[0031] B. 제1 포지셔너

[0032] 제1 포지셔너(106)는 빔 경로(114)에 배열되거나, 위치되거나 또는 다른 방식으로 배치되고, 레이저원(104)에 의해 생성된 레이저 펄스를 회절, 반사, 굴절 등 또는 이들의 임의의 조합 등을 하도록(즉, 레이저 펄스를 "편향"시키도록) 동작하여, (예를 들어, 스캔 렌즈(112)에 대해) 빔 경로(114)의 이동을 편향시키거나 또는 부여하고, 따라서 작업물(102)에 대해 빔 축(118)의 이동을 편향시키거나 또는 부여한다. 일반적으로, 제1 포지셔너(106)는 작업물(102)에 대해 X축(또는 방향), Y축(또는 방향) 또는 이의 조합을 따른 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 동작한다. 예시되진 않았지만, X축(또는 X 방향)은 예시된 Y축 및 Z축(또는 방향)에 직교하는 축(또는 방향)을 지칭하는 것으로 이해될 것이다.

[0033] 일반적으로, 제1 포지셔너(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.

[0034] C. 제2 포지셔너

[0035] 제2 포지셔너(108)는 빔 경로(114)에 배치되고, 레이저원(104)에 의해 생성되고 제1 포지셔너(106)에 의해 통과된 레이저 펄스를 회절, 반사, 굴절 등 또는 이들의 임의의 조합을 하도록(즉, 레이저 펄스를 "편향"시키도록) 동작하여, (예를 들어, 스캔 렌즈(112)에 대해) 빔 경로(114)의 이동을 편향시키거나 또는 부여하고, 따라서, 작업물(102)에 대해 빔 축(118)의 이동을 편향시키거나 또는 부여한다. 일반적으로, 제2 포지셔너(108)는 작업물(102)에 대해 X축(또는 방향), Y축(또는 방향) 또는 이의 조합을 따른 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 동작한다.

[0036] 위의 관점에서, 제2 포지셔너(108)는 초소형 정밀 기계 시스템(micro-electro-mechanical-system, MEMS) 미러 또는 미러 어레이, AOD 시스템, 전자 광학 편향기(electro-optic deflector, EOD) 시스템, (예를 들어, 압전 액추에이터, 전왜 액추에이터(electrostrictive actuator), 음성-코일 액추에이터 등을 통합하는) 고속 조향 미러(fast-steering mirror, FSM) 요소, 검류계 미러 시스템, 공진 스캐닝 미러 시스템, 회전형 다각형 미러 스캐너 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공될 수 있다는 것이 인식되어야 한다.

[0037] 일 실시예에서, 제2 포지셔너(108)는 두 개의 검류계 미러 구성요소 즉, 작업물(102)에 대하여 X축을 따른 빔 축(118)의 이동을 부여하도록 배열된 제1 검류계 미러 구성요소(예를 들어, X축 검류계 미러 구성요소), 및 작업물(102)에 대하여 Y축을 따른 빔 축(118)의 이동을 부여하도록 배열된 제2 검류계 미러 구성요소(예를 들어, Y축 검류계 미러 구성요소)를 포함하는 2축 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 하지만, 다른 실시예에서, 제2 포지셔너(108)는 작업물(102)에 대하여 X축 및 Y축을 따른 빔 축(118)의 이동을 부여하도록 배열된 단일 검류계 미러 구성요소만을 포함하는 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제2 포지셔너(108)는 회전형 다각형 미러 시스템 등으로서 제공될 수 있다. 따라서, 제2 포지셔너(108) 및 제1 포지셔너(106)의 특정 구성에 의존하여, 제2 포지셔너 대역폭은 제1 포지셔너 대역폭 이상일 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0038] D. 제3 포지셔너

[0039] 예시된 실시예에서, 제3 포지셔너(110)는 작업물(102)과 스캔 렌즈(112) 사이에 상대적인 이동을 부여하고, 따라서 작업물(102)과 빔 축(118) 사이에 상대적인 이동을 부여하도록 배열되고 구성된, (예를 들어, 각각 X, Y 및/또는 Z 방향을 따라 작업물(102)에 대한 병진 이동(translational movement)을 부여할 수 있는) 하나 이상의 선형 스테이지, (예를 들어, 각각 X, Y 및/또는 Z 방향에 평행한 축을 중심으로 작업물(102)에 대한 회전형 이동을 부여할 수 있는) 하나 이상의 회전형 스테이지 등, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 본원에서 설명된 실시예에 따라, 예시되진 않았지만 제3 포지셔너(110)는 스캔 렌즈(112)와 제1 포지셔너(106) 사이에 상대적인

이동을 부여하도록 구성 및 적응된 하나 이상의 스테이지를 포함한다.

[0040] 본원에 설명된 구성을 고려하여, (예를 들어, 제1 포지셔너(106) 및/또는 제2 포지셔너(108)에 의해 부여되는 바와 같이) 작업물(102)에 대한 가공 스팟의 이동이 제3 포지셔너(110)에 의해 부여되는 바와 같은 작업물(102) 또는 스캔 렌즈(112)의 임의의 이동에 의해 중첩될 수 있다는 것이 인식되어야 한다.

[0041] 예시된 실시예에서, 제3 포지셔너(110)는 작업물(102)을 이동시키도록 동작한다. 하지만, 다른 실시예에서, 제3 포지셔너(110)는 스캔 헤드(120), 및 선택적으로 제1 포지셔너(106)와 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열 및 동작되고, 작업물(102)은 정적으로 유지될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제3 포지셔너(110)는, 스캔 렌즈(112)와, 제1 포지셔너(106) 및 제2 포지셔너(108)와 같은 하나 이상의 다른 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)" 포지셔닝 시스템으로서 제공될 수 있다. "분할-축" 포지셔닝 시스템으로 제공될 때, 제3 포지셔너(110)는 스캔 헤드(120)와 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열되고 동작되는 하나 이상의 선형 또는 회전형 스테이지, 및 작업물(102)을 이동시키도록 배열되고 동작되는 하나 이상의 선형 또는 회전형 스테이지를 포함한다. 예를 들어, 제3 포지셔너(110)는 Y 방향을 따른 작업물(102)의 이동을 부여하기 위한 Y-스테이지, 및 X 방향을 따른 스캔 헤드(120)의 이동을 부여하기 위한 X-스테이지를 포함할 수 있다. 장치(100)에 유리하게 또는 이롭게 이용될 수 있는 분할 축 포지셔닝 시스템의 일부 예는 미국 특허 번호 제5,751,585호, 제5,798,927호, 제5,847,960호, 제6,606,999호, 제7,605,343호, 제8,680,430호, 제8,847,113호, 또는 미국 특허 출원 공개 번호 제2014/0083983호, 또는 이들의 어느 조합에 개시된 것 중 임의의 것을 포함하며, 이들 각각은 그 전체가 본원에 참조로 통합된다.

[0042] 제3 포지셔너(110)가 Z-스테이지를 포함하는 일 실시예에서, Z-스테이지는 작업물(102)을 Z 방향을 따라 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있고; 이 경우, Z-스테이지는 작업물(102)을 이동시키거나 또는 포지셔닝하기 위한 다른 전술한 스테이지 중 하나 이상에 의해 운반될 수 있거나, 작업물(102)을 이동시키거나 포지셔닝하기 위한 다른 전술한 스테이지 중 하나 이상을 운반할 수 있거나 또는 이의 임의의 조합일 수 있다. 제3 포지셔너(110)가 Z-스테이지를 포함하는 다른 실시예에서, Z-스테이지는 스캔 헤드를 Z 방향을 따라 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있고; 따라서, 제3 포지셔너(110)가 분할-스테이지 포지셔닝 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 스팟 크기의 변경을 초래할 수 있다.

[0043] 또 다른 실시예에서, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(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 포지셔너(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 이펙터에 직접적으로 (즉, 제3 포지셔너(110) 없이) 운반될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제3 포지셔너(110)는 관절이 있는 다중 축 로봇 암의 엔드 이펙터에 탑재될 수 있다.

[0044] E. 스캔 렌즈

[0045] (예를 들어, 단순 렌즈(simple lens) 또는 복합 렌즈 중 어느 하나로서 제공되는) 스캔 렌즈(112)는 통상적으로 원하는 가공 스팟에 또는 그 근처에 포지셔닝될 수 있는 빔 웨이스트를 생성하기 위해, 일반적으로 빔 경로를 따라 지향된 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 구성된다. 스캔 렌즈(112)는 (도시된 바와 같이) 비-텔레센트릭 f-세타 렌즈(non-telecentric f-theta lens), 텔레센트릭 f-세타 렌즈, 액시콘 렌즈(axicon lens)(이 경우, 빔 축(118)을 따라 서로 변위된(displaced) 복수의 가공 스팟을 생성하는 일련의 빔 웨이스트가 생성됨), 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공될 수 있다.

[0046] 일 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 고정 초점 거리 렌즈로서 제공되고, (예를 들어, 빔 축(118)을 따라 빔 웨이스트의 포지션을 변경하기 위해) 스캔 렌즈(112)를 이동시키도록 동작하는 스캔 렌즈 액추에이터(예를 들어, 렌즈 액추에이터, 미도시)에 결합된다. 예를 들어, 렌즈 액추에이터는 스캔 렌즈(112)를 Z 방향을 따라 선형으로 병진운동시키도록 동작하는 음성 코일로서 제공될 수 있다. 이 경우, 렌즈 액추에이터는 여기서 전술한 제3 포지셔너(110)의 구성요소로 간주될 수 있다. 또한, 고정 초점 거리 렌즈는 용융 실리카(fused silica), 광학 유리, 아연 셀레니화물(zinc selenide), 황화 아연(zinc sulfide), 게르마늄, 갈륨 비소(gallium arsenide), 플루오르화 마그네슘(magnesium fluoride) 등과 같은 재료로 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 빔 웨이스트의 포지션을 빔 축(118)을 따라 변경하도록 (예를 들어, 렌즈 액추에이터를 통해) 작동할 수 있는

가변 초점 거리 렌즈(예를 들어, 줌 렌즈 또는 현재 COGNEX, VARIOPTIC 등에 의해 상용화된 기술을 통합하는 소위 "유체 렌즈(liquid lens)")로서 제공된다. 빔 축(118)을 따라 빔 웨이스트의 포지션을 변경하는 것은 작업물(102)에서의 스팟 크기의 변경을 초래할 수 있다.

[0047] 일 실시예에서, 위에서 설명된 바와 같이 스캔 렌즈(112) 및 제2 포지셔너(108)는 공통 스캔 헤드(120)에 통합된다. 따라서, 장치(100)가 렌즈 액추에이터를 포함하는 실시예에서, 렌즈 액추에이터는 (예를 들어, 제2 포지셔너(108)에 대해, 스캔 헤드(120) 내에서 스캔 렌즈(112)의 이동을 가능하게 하도록) 스캔 렌즈(112)에 결합될 수 있다. 대안적으로, 렌즈 액추에이터는 스캔 헤드(120)에 결합될 수 있고, 스캔 렌즈 그 자체의 이동을 가능하게 하도록 동작할 수 있고, 이 경우에 스캔 렌즈(112) 및 제2 포지셔너(108)가 함께 이동할 것이다. 어느 경우에서든, 렌즈 액추에이터는 여기서, 전술한 제3 포지셔너(110)의 구성요소로 간주될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112) 및 제2 포지셔너(108)는 (예를 들어, 스캔 렌즈(112)가 통합되는 하우징이 제2 포지셔너(108)가 통합되는 하우징에 대해 이동 가능하도록) 상이한 하우징에 통합된다.

[0048] F. 제어기

[0049] 일반적으로, 장치(100)는 장치(100)의 동작을 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, 파이어와이어(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 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(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 동작한다.

[0050] 예를 들어, 제어기(122)는 작업물(102) 내의 경로 또는 궤적(또한, 본원에서 "가공 궤적"으로 지칭됨)을 따라 가공 스팟과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 유발하기 위해, 빔 축과 작업물 사이의 상대적인 이동을 부여하도록 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 또는 제3 포지셔너(110) 또는 이들의 임의의 조합의 동작을 제어할 수 있다. 이들 포지셔너의 임의의 두 개 또는 이들 포지셔너의 세 개 모두는, 두 개의 포지셔너(예를 들어, 제1 포지셔너(106)와 제2 포지셔너(108), 제1 포지셔너(106)와 제3 포지셔너(110), 또는 제2 포지셔너(108)와 제3 포지셔너(110)) 또는 세 개의 포지셔너 모두가 가공 스팟과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 동시에 부여하도록(그로 인해, 빔 축과 작업물 사이에 "복합 상대적인 이동(compound relative movement)"을 부여하도록) 제어될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 물론, 언제나라도, 가공 스팟과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 부여하기 위해(이를 통해, 빔 축과 작업물 사이에 "비-복합 상대적인 이동"을 부여하도록) 하나의 포지셔너(예를 들어, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108) 또는 제3 포지셔너(110))만을 제어하는 것이 가능하다.

[0051] 전술한 구성요소 중 하나 이상이 수행하도록 제어될 수 있는 동작의 일부 다른 예는 전술한 미국 특허 번호 제 5,751,585호, 제5,847,960호, 제6,606,999호, 제8,680,430호, 제8,847,113호에 개시되거나, 또는 미국 특허 번호 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 미국 특허 출원 공개 번호 제2014/0026351호, 제2014/0196140호, 제2014/0263201호, 제2014/0263212호, 제2014/0263223호, 제2014/0312013호, 또는 독일 특허 번호 제DE102013201968B4호, 또는 국제 특허 공개 번호 제W02009/087392호, 또는 이들의 임의의 조합에 개시된 바와 같이, 임의의 동작, 기능, 가공 및 방법 등을 포함하고, 이들 각각은 그 전체가 본원에 참조로 통합된다. 다른 예에서, 제어기(122)는 예를 들어, 그 전체가 본원에 참고로 통합되는 국제 특허 공개 번호 제W02017/044646A1호에 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 스팟에 전달된 레이저 에너지의 빔의 스팟 형태 또는 스팟 크기를 변경하도록 하나 이상의 AOD를 포함하는 임의의 포지셔너(예를 들어, 일부 실시예에서, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 또는 이들의 조합)의 동작을 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 A0 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.

- [0052] 일반적으로, 제어기(122)는 명령어를 실행할 시 전술한 제어 신호를 생성하도록 동작하는 하나 이상의 프로세서를 포함한다. 프로세서는 명령어를 실행하도록 동작하는 (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, 하나의 프로세서에서 수행되거나, 프로세서들 사이에 분산되거나, 디바이스 내의 프로세서들을 통해 병렬로 이루어지는 등, 또는 이들의 조합으로 수행될 수 있다.
- [0053] 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 플래시 메모리, NOR형 플래시 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 전달된 하나 이상의 데이터 구조에 보통 저장된다.
- [0054] 도시되진 않았지만, 하나 이상의 드라이버(예를 들어, RF 드라이버, 서보 드라이버, 라인 드라이버, 전원 등)는 레이저원(104), 제1 빔 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(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 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물과 같은 하나 이상의 구성요소는 이 기술분야에 알려진 바와 같이 또한 임의의 적합한 드라이버를 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 이러한 드라이버 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)를 생성하도록 동작한다. 따라서, 레이저원(104), 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물 등과 같은 구성요소는 제어기(122)에 의해 생성된 제어 신호에 응답한다.
- [0055] 도시되진 않았지만, 하나 이상의 추가적인 제어기(예를 들어, 구성요소-특정 제어기)는 선택적으로, 레이저원(104), 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 제3 포지셔너(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로서 제공될 때), 고정물 등과 같은 구성요소에 통신 가능하게 결합된(따라서 구성요소와 연관된) 드라이버의 입력에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 각각의 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 동작될 수 있으며, 이들 제어 신호는 그 후 각각의 구성요소-특정 제어기가 통신 가능하게 결합된 드라이버(들)의 입력(들)에 송신될 수 있다. 이 실시예에서, 구성요소-특정 제어기는 제어기(122)에 대해 유사하게 설명된 바와 같이 동작할 수 있다.
- [0056] 하나 이상의 구성요소-특정 제어기가 제공되는 다른 실시예에서, 하나의 구성요소(예를 들어, 레이저원(104))와 연관된 구성요소-특정 제어기는 하나의 구성요소(예를 들어, 제1 포지셔너(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 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)를 생성하도록 동작할 수 있다.
- [0057] II. SLEP에 대한 피벗 지점의 잘못된 위치를 다루는 실시예
- [0058] 제3 포지셔너(110)의 하나 이상의 구성요소는 위에서 설명된 바와 같이 구성되어, 제1 포지셔너(106)에 대한 스캔 렌즈(112)의 이동을 가능하게 한다. 따라서, 스캔 렌즈(112)와 제1 포지셔너(106) 사이의 광학 경로 길이는

가변적이다. 아래 후속하는 것은, 빔 경로(114)를 따라 전파되는 레이저 에너지의 빔이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공에, 또는 적어도 이에 매우 가깝게 위치되는 피벗 지점을 중심으로 회전하는 것을 보장하기 위해, 제1 포지셔너(106)에 대한 스캔 렌즈(112)의 이동을 보상하는 데 사용될 수 있는 예시적인 실시예의 논의이다.

[0059] A. 실시예 1: 액추에이터-구동 제1 포지셔너

[0060] 도 5 및 6은 액추에이터-구동 제1 포지셔너(106)의 실시예를 도시한다. 도 5에 도시된 바와 같이, 제1 포지셔너(106)는 액추에이터(150)(예를 들어, 선형 모션 스테이지)에 결합되고, 고정 릴레이 광학기(126)는 제1 포지셔너(106)와 스캔 렌즈(112) 사이의 위치에서 빔 경로(114) 내에 배열된다. 스캔 렌즈(112)가 제3 포지셔너(110)의 하나 이상의 액추에이터에(예를 들어, 스캔 렌즈(112)를 X 방향, Y 방향 및/또는 Z 방향 중 임의의 것을 따라 이동시키도록 동작하는 하나 이상의 선형 액추에이터에) 결합되는 실시예에서, 액추에이터(150)는 제3 포지셔너(110)의 일부가 아니다. 그럼에도 불구하고, 액추에이터(150)는 제3 포지셔너(110)에 의해 부여되는 스캔 렌즈(112)의 이동 방향에 대응하는 방향으로 제1 포지셔너(106)를 이동시키도록 배열되고 동작한다. 인식될 바와 같이, 액추에이터(150)는(예를 들어, 제어기(122)에 의해 출력된 하나 이상의 명령에 응답하여) 스캔 렌즈(112)가(예를 들어, 도 6에 도시된 바와 같이) 이동될 때, 제1 포지셔너(106)와 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132) 간의 일정한(또는 적어도 실질적으로 일정한) 광학 경로 길이를 유지하기 위해 제1 포지셔너(106)를 이동시키도록 동작한다. 광학 경로 길이를 유지하는 것은 레이저 에너지의 빔(116)이 작업물(102)을 향해 지향될 때 허용 가능한 텔레센트리시티를 갖는 것을 보장한다. 도 6이 고정 릴레이 광학기(126)를 향해 이동되는 스캔 렌즈(112)를 도시하지만, 스캔 렌즈(112)가 고정 릴레이 광학기(126)로부터 멀리 떨어지게 이동될 수 있고, 그에 따라 액추에이터(150)가 제1 포지셔너(106)와 입사 동공(132) 간의 일정한 광학 경로 길이를 유지하기 위해, 고정 릴레이 광학기(126)를 향해 제1 포지셔너(106)를 이동시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0061] 동작 중에, 액추에이터(150)는 스캔 렌즈(112)가 이동되는 거리와 동일하거나 상이한 양만큼 제1 포지셔너(106)를 이동시킬 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 고정 릴레이 광학기(126)는 제1 포지셔너(106)가 입사 동공(132)의 중심에서 피벗 지점(134)을 재포지셔닝하기 위해 고정 릴레이 광학기(126)로부터 멀리 떨어져서 빔 경로를 따라 이동되어야 하는 거리가 피벗 지점(134)이 빔 경로를 따라 이동되는 거리와 동일하도록(또는 이와 실질적으로 동일하도록), 1과 동일한(또는 이와 실질적으로 동일한) 배율 M을 갖는다. 다른 예시적인 실시예에서, 고정 릴레이 광학기(126)는 제1 포지셔너(106)가 입사 동공(132)의 중심에서 피벗 지점(134)을 재포지셔닝하기 위해 고정 릴레이 광학기(126)로부터 멀리 떨어져서 빔 경로를 따라 이동되어야 하는 거리가 피벗 지점(134)이 빔 경로를 따라 이동되는 거리 미만이라도, 1보다 큰 배율 M을 갖는다. 예를 들어, 일 실시예에서, 고정 릴레이 광학기(126)는 2와 동일한(또는 적어도 실질적으로 동일한) M의 배율을 가질 수 있으며, 따라서 스캔 렌즈(112)가 고정 릴레이 광학기(126)를 향해 빔 경로(114)를 따라 100mm만큼 이동되면, 액추에이터(150)는 빔 경로(114)를 따라 25mm의 거리(즉, $100\text{mm}/M^2 = 25\text{mm}$)만큼 제1 포지셔너(106)를 이동시키기만 하면 된다. 고정 릴레이 광학기(126)의 배율은 원하는 또는 유익한 임의의 다른 방식으로 조정될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0062] 도 5 및 도 6은 액추에이터(150)가 스캔 렌즈(112)가 이동 가능한 방향과 상이한 방향을 따라 제1 포지셔너(106)를 이동시키는 구성을 예시한다. 그럼에도 불구하고 액추에이터(150)는 예를 들어 하나 이상의 미러가 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)로 빔 경로를 적절하게 릴레이시키기 위해 빔 경로 내에 배열되는 경우, 일 방향 또는 임의의 다른 방향을 따라 제1 포지셔너(106)를 이동시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0063] B. 실시예 2: 이동식 광학 릴레이 시스템

[0064] 위에서 논의된 바와 같이, 광학 릴레이 시스템은 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에서 제1 포지셔너(106)의 이미지를 위치시키도록 동작하고, 그로 인해 빔 경로(114)를 따라 전파되는 레이저 에너지의 빔(116)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 위치되거나 또는 이에 적어도 매우 가까운 피벗 지점(134)을 중심으로 회전하게 한다. 제1 포지셔너(106)(또는 제2 포지셔너(108))에 대한 스캔 렌즈(112)의 이동은 입사 동공(132)으로부터 멀리 떨어진 제1 포지셔너(106)의 이미지의 잘못된 위치를 초래할 수 있다. 일 실시예에서, 광학 릴레이 시스템(200)은 스캔 렌즈(112)의 이동과 동시에 이동될 수 있고, 그로 인해 입사 동공(132)에서 피벗 지점(134)의 위치를 유지하며, 그로 인해 레이저 에너지의 빔(116)이 작업물(102)을 향해 지향될 때 허용 가능한 텔레센트리시티를 갖게 한다.

[0065] 도 7a 및 7b는 이동식 광학 릴레이 시스템의 실시예의 두 개의 공간 상태를 도시하며, 이동식 광학 릴레이 시스템은 제1 포지셔너(106)와 광학 연통하게 배열되고, 제3 포지셔너(110)의 구성요소(예를 들어, 예시된 바와 같이 X축을 따라 광학 릴레이(200)를 이동시키도록 동작하는 선형 스테이지)에 장착된 광학 릴레이(200) 및 복수의 미러(예를 들어, 미러(214a, 214b 및 216))를 포함한다. 광학 릴레이(200)는(예를 들어, 제어기(122)에 의

해 출력된 하나 이상의 명령에 응답하여) 차례로 선형 스테이지(218)에 의해 이동 가능한 캐리지(carriage, 210)에 장착된다. 마찬가지로, 미러(216), 제2 포지셔너(108) 및 스캔 렌즈(112)는 광학 릴레이(200)와 함께 선형 스테이지(218)의 캐리지(210)에 장착된다. 선형 스테이지(218)는 레이저 가공 장치(100)의 프레임 또는 갠트리와 같은 구조(217)에 장착될 수 있다. 다른 실시예에서, 광학 릴레이(200)는 스테이지(218) 대신에 보조 스테이지(미도시)에 장착될 수 있다. 사용 중에, 보조 스테이지는 선형 스테이지(218)에 의해 제2 포지셔너(108) 및 스캔 렌즈(112)에 부여된 모션에 대응하여 광학 릴레이(200)를 포지셔닝시킬 수 있다. 미러(214a 및 214b)(예를 들어, 폴드 미러)는 구조(217)에 장착된다. 따라서, 선형 스테이지(218)는 제1 포지셔너(106) 및 미러(214a 및 214b)에 대해 제2 포지셔너(108) 및 스캔 렌즈(112)뿐만 아니라 광학 릴레이(200) 및 미러(216)를 이동시킬 수 있다. 예시된 바와 같이, 미러(214a, 214b 및 216)는 스캔 렌즈(112)와 광학 연통하게 광학 릴레이(200)를 배치시키도록 배열된다.

[0066] 광학 릴레이(200)는 광학 입력(206), 광학 출력(208), 제1 반사 표면(204a)을 갖는 제1 반사기(212a) 및 제2 반사 표면(204b)을 갖는 제2 반사기(212b)를 더 포함한다. 광학 릴레이(200)는 광학 입력(206)에 장착된 제1 렌즈(202a) 및 광학 출력(208)에 장착된 제2 렌즈(202b)를 더 포함한다.

[0067] 예시된 실시예에서, 제1 반사 표면(204a) 및 제2 반사 표면(204b)은 서로 평행하다(또는 적어도 실질적으로 평행하다). 제1 반사 표면(204a) 및 제2 반사 표면(204b)은 서로 평행하지 않을 수 있다는 것이 인식될 것이다. 위에서 설명된 구성을 기초로, 레이저 에너지의 빔(116)은 제1 렌즈(202a)를 통해 광학 입력(206)에 들어가고, 제1 반사 표면(204a)에 입사하며, 여기서 레이저 에너지의 빔(116)은 제2 반사 표면(204b)으로 반사된다. 레이저 에너지의 빔(116)은, 레이저 에너지의 빔(116)이 광학 출력(208)을 통해 광학 릴레이(200)를 빠져나갈 때까지 반사 표면(204a 및 204b) 사이에서 앞뒤로 여러 번 반사된다. 반사 표면(204a 및 204b) 사이의 광학 경로의 폴딩은 광학 릴레이(200)가 캐리지(210)에 장착될 수 있을 만큼 충분히 콤팩트한 것을 가능하게 한다. 제2 렌즈(202b)를 통해 광학 출력(208)을 빠져나간 후, 레이저 에너지의 빔(116)은 미러(214a)로 전파된다. 레이저 에너지의 빔(116)은 미러(214a)로부터 미러(214b)로 반사되고, 여기서, 레이저 에너지의 빔(116)은 (예를 들어, 제2 포지셔너(108)를 통해) 레이저 에너지의 빔(116)을 스캔 렌즈(112)로 반사시키도록 배열된 미러(216)로 반사된다. 예시된 실시예에서, 제2 포지셔너(108)는 2-축 검류계 미러 시스템으로 제공되고, 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)은 그의 X축 및 Y축 검류계 미러 구성요소 사이에 위치된다. 장치(100)의 특정 동작 조건 하에서, 레이저 에너지의 빔(116)의 파워는 반사 표면(204a 및 204b)에 직접적으로 집중되는 경우, 반사 표면(204a 및 204b)에 손상을 유발할 만큼 충분히 높다. 이를 피하기 위해, 예시된 실시예에서, 제1 렌즈(202a)는 제1 반사 표면(204a)과 제2 반사 표면(204b) 사이의 지점(예를 들어, 명목상으로 반사 표면(204a 및 204b) 사이의 중간 지점)에 레이저 에너지의 빔(116)을 집중하도록 구성되고, 그로 인해 이들에 대한 손상을 피하기에 충분하게 표면(204a 및 204b)에서의 레이저 플루언스를 감소시킨다.

[0068] 일반적으로, 광학 릴레이(200)는 (예를 들어, 장치(100)의 구성에 의존하여) 광학 경로의 2개 이상의 레그(legs)로의 폴딩에 기인한 광학 경로 길이의 변경을 보상하기 위해 레이저 에너지의 빔(116)에 배율을 부여하도록 구성되어, 피벗 지점(134)을 스캔 렌즈 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 위치되게 할 수 있다.

[0069] 하나의 예시적인 실시예에서, 도 7a를 참조하면, 광학 입력(206)은 제1 포지셔너(106)로부터 거리 X_0 에 위치된다. 도 7b에 도시된 바와 같이, 광학 입력(206)은 제1 포지셔너(106)로부터 거리 X_1 로 재위치되고, (예를 들어, 선형 스테이지(218)의 동작 시) $D = X_1 - X_0$ 의 거리만큼 이동된다. 광학 릴레이(200)가 +X 방향으로 이동될 때, 레이저 에너지의 빔(116)이 미러(214a 및 214b)에 의해 두 개의 레그로 폴딩되기 때문에 광학 출력(208)과 스캔 렌즈(112) 사이의 거리는 2배만큼 변한다. 따라서, 그 결과는 제1 포지셔너(106)의 이미지가 스캔 렌즈(112)로부터 거리 $2*D$ 만큼 멀리 떨어지고, 입사 동공(132)으로부터 릴레이된 피벗 지점(134)을 잠재적으로 이동시키며, 이는 작업물(102)로 지향된 빔의 텔레센트릭 오차를 초래할 것이다. 이를 설명하기 위해, 이 실시예에서, 렌즈(202a 및 202b)는 $M = \sqrt{2} = 1.414$ 의 측면 배율을 레이저 에너지의 빔(116)에 부여할 수 있어서, 광학 출력(208)을 빠져나가는 빔이 광학 입력(206)에 들어가는 빔의 폭에 1.414배인 폭을 갖는다. 결과적인 종방향 배율이 $M^2 = 2$ 이어서, 릴레이된 피벗 지점(134)이 $2*D$ 의 거리만큼 이동되고, 그로 인해 스캔 렌즈(112) 및 광학 릴레이(200)가 선형 스테이지(218)에 의해 이동될 때, 입사 동공(132)에서 릴레이된 피벗 지점(134)의 위치뿐만 아니라 레이저 에너지의 빔(116)의 빔 크기를 유지시킨다.

[0070] 다른 예시적인 실시예에서, 광학 경로는 세 개의 레그로 폴딩될 수 있어서, 광학 입력(206)이 제1 포지셔너(106)로부터 거리 X_1 에 재위치될 때, (예를 들어, 선형 스테이지(218)의 동작 중에) $D = X_1 - X_0$ 의 거리만큼 이

동된다. 광학 릴레이(200)가 +X 방향으로 이동될 때, 레이저 에너지의 빔(116)이 세 개의 레그로 폴딩되기 때문에, 광학 출력(208)과 스캔 렌즈(112) 사이의 거리는 3배만큼 변할 것이다. 따라서, 그 결과는 제1 포지셔너(106)의 이미지가 스캔 렌즈(112)로부터 거리 3*D만큼 멀리 떨어져서 이동되는 것이다. 이를 설명하기 위해, 이 실시예에서, 렌즈(202a 및 202b)는 $M = \sqrt{3} = 1.732$ 의 측면 배율을 레이저 에너지의 빔(116)에 부여할 수 있어서, 광학 출력(208)을 빠져나가는 빔이 광학 입력(206)에 들어가는 빔의 폭에 1.732배인 폭을 갖는다. 결과적인 중방향 배율이 $M^2 = 3$ 이어서, 릴레이된 피벗 지점(134)이 3*D의 거리를 이동하고, 그로 인해 스캔 렌즈(112) 및 광학 릴레이(200)가 선형 스테이지(218)에 의해 이동될 때, 입사 동공(132)에서 릴레이된 피벗 지점(134)의 위치뿐만 아니라 레이저 에너지의 빔(116)의 빔 크기를 유지시킨다. 장치(100)의 다른 가능한 구성에서, 릴레이(200) 사이의 광학 경로는 3개 초과 레그로 폴딩될 수 있고, 렌즈(202a 및 202b)는 이를 보상하고 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 피벗 지점(134)을 유지하기 위해 레이저 에너지의 빔(116)에 적절한 배율을 부여하도록 구성될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0071] 제2 포지셔너(108)가 도 7a 및 7b에 입사 동공(132)과 겹치는 것으로 예시되어 있지만, 제2 포지셔너(108)는 입사 동공(132)과 겹치지 않도록 대안적으로 위치될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 도 7a 및 7b에 도시된 미러(216)는 제2 포지셔너(108)로 대체될 수 있다.

[0072] C. 실시예 3: 역반사기를 갖는 광학 지연 라인

[0073] 도 8 및 도 9는 광학 지연 라인(300)과 같은 역반사기를 통합하는 광학 지연 라인으로서 제공되는 광학 릴레이 시스템의 포지션 상태를 도시한다. 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106)로부터 레이저 에너지의 빔(116)을 수신하고, 이를 폴드 미러(130)를 통해 스캔 렌즈(112)로 릴레이한다. 폴드 미러(130)는 선택적이며, 레이저 가공 장치(100)의 하나 이상의 다른 구성요소(예를 들어, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 스캔 렌즈(112), 광학 지연 라인(300) 등 또는 이들의 임의의 조합)의 배향(들)이 레이저 에너지의 빔(116)이 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)로 전파되는 것을 보장하기 위해 수정되는 경우, 폴드 미러(130)는 생략될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 따라서, 레이저 에너지의 빔(116)은 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에서 또는 그 근처에서 릴레이된 피벗 지점(134)으로 지향된다.

[0074] 일반적으로, 광학 지연 라인(300)은 모션 시스템(308)(예를 들어, 선형 스테이지), 역반사기(310), 릴레이 반사기(320) 및 지연 라인 본체(302)를 포함한다. 모션 시스템(308), 역반사기(310) 및 릴레이 반사기(320)는 지연 라인 본체(302)에 장착되고, 역반사기(310)는 모션 시스템(308)에 의해 릴레이 반사기(320)에 대해 이동 가능하다. 일 실시예에서, 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106)에 대해 위치적으로 고정되도록 레이저 가공 장치(100) 내에 설치되고, 스캔 렌즈(112)는 광학 지연 라인(300)에 대해 이동 가능하다. 다른 실시예에서, 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106)에 대해 이동 가능하고, 스캔 렌즈(112)에 대해 위치적으로 고정될 수 있다. 예를 들어, 광학 지연 라인(300)은 제3 포지셔너(110)의 하나 이상의 액추에이터(예를 들어, X 방향, Y 방향 및/또는 Z 방향 중 임의의 것)를 따라 스캔 렌즈(112)를 이동시키도록 동작하는 하나 이상의 선형 액추에이터)에 결합될 수 있다. 다른 실시예에서, 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106) 및 스캔 렌즈(112)에 대해 이동 가능하다.

[0075] 예시된 실시예에서, 역반사기(310)는 서로 실질적으로 직교하게 배향된 제1 반사 표면(314), 제2 반사 표면(316) 및 제3 반사 표면(318)을 포함하는 ("코너-큐브(corner-cube)"로 알려진) 코너 반사기이다. 다른 실시예에서, 역반사기(310)는 제3 반사 표면(318)을 가질 필요가 없다. 다른 실시예에서, 역반사기(310)는 또한 한 쌍의 미러 또는 구형 역반사기로 제공될 수 있다. 통상의 기술자는 광학 지연 라인(300)에서 임의의 다양한 역반사기가 사용될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 예시된 실시예에서, 역반사기(310)에 세 개의 반사 표면(314, 316 및 318)이 제공될 때, 역반사기(310)로 전파되는 빔 및 역반사기(310)로부터 전파되는 빔은 역반사기(310)의 반사 표면에 대한 빔의 배향에 관계없이 평행하게 있다.

[0076] 릴레이 반사기(320)는 레이저 에너지의 빔(116)을 역반사기(310)로 반사시키고 역반사기(310)로부터 복귀하는 레이저 에너지의 빔을 스캔 렌즈(112)로 반사시키도록 구성된다. 예시된 실시예에서, 릴레이 반사기(320)는 릴레이 반사기 본체(322)에 부착되거나 형성된 제1 반사 표면(324) 및 제2 반사 표면(326)을 포함한다. 예시된 실시예에서, 제1 반사 표면(324) 및 제2 반사 표면(326)은 서로 직교하게 배향된다. 다른 실시예에서, 제1 반사 표면(324) 및 제2 반사 표면(326)은 서로 직교하게 배향되지 않을 수 있다. 다른 실시예에서, 릴레이 반사기(320)는 릴레이 반사기 본체(322)에 장착된 두 개의 미러로 제공될 수 있다. 임의의 다양한 광학기 또는 광학 표면이 릴레이 반사기 본체(322)에 장착되거나 형성될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0077] 스캔 렌즈(112)가 광학 지연 라인(300)에 대해 이동 가능한(예를 들어, 광학 지연 라인(300)이 제1 포지셔너

(106)에 대해 위치적으로 고정되도록 레이저 가공 장치(100) 내에 설치된 실시예에서, 스캔 렌즈(112)가 제1 포지셔너(106)에 대해 (예를 들어, +X 방향으로) 이동될 때, 역반사기(310)는 릴레이 반사기(320)에 대해 (예를 들어, -Z 방향으로) 이동된다. 따라서, 스캔 렌즈(112)와 제1 포지셔너(106) 사이의 광학 경로 길이는, 스캔 렌즈(112)가 이동될 때 레이저 에너지의 빔(116)의 피벗 지점(134)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 위치되어 있도록 유지된다. 예를 들어, 도 8 및 9를 참조하면, 스캔 렌즈(112)는 사용 중에, (도 8에 도시된 바와 같이) 광학 지연 라인(300)에 대한 거리 X_0 로부터 (도 9에 도시된 바와 같이) 광학 지연 라인(300)에 대한 거리 X_1 로 +X 방향으로 이동되며, 변화는 $\Delta X = X_1 - X_0$ 이다. 스캔 렌즈(112)의 이동과 동시에, 역반사기(310)는 (도 8에 도시된 바와 같이) 릴레이 반사기(320)에 대한 거리 Z_0 로부터 (도 9에 도시된 바와 같이) 릴레이 반사기(320)에 대한 거리 Z_1 로 -Z 방향으로 이동되며, 포지션 변화는 $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ 이다. 이 실시예에서, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 이다. 광학 경로가 광학 지연 라인(300)에 의해 Z 방향으로 두 개의 레그로 폴딩되므로, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 일 때 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)까지의 원래 광학 경로 길이가 보존된다.

[0078] 광학 지연 라인(300)이 제1 포지셔너(106)에 대해(예를 들어, 스캔 렌즈(112)와) 이동 가능하거나, 또는 그 자체가 스캔 렌즈(112)에 대해 이동 가능한 실시예에서, 광학 지연 라인(300)이 제1 포지셔너(106)에 대해(또는 스캔 렌즈(112)에 대해) (예를 들어, +X 방향으로) 이동될 때, 역반사기(310)는 릴레이 반사기(320)에 대해 (예를 들어, -Z 방향으로) 이동될 수 있다. 따라서, 스캔 렌즈(112)와 제1 포지셔너(106) 사이의 광학 경로 길이는, 스캔 렌즈(112)가 이동될 때 레이저 에너지의 빔(116)의 피벗 지점(134)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 위치되어 있도록 유지된다. 예를 들어, 도 8 및 도 9를 참조로, 사용 중에, 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106)에 대한 거리 X_2 로부터 제1 포지셔너(106)에 대한 거리 X_3 까지 +X 방향으로 이동되며, 변화는 $\Delta X = X_3 - X_2$ 이다. 광학 지연 라인(300)의 +X 방향으로의 이동과 동시에, 역반사기(310)는 (도 8에 도시된 바와 같이) 릴레이 반사기(320)에 대한 거리 Z_0 로부터 (도 9에 도시된 바와 같이) 릴레이 반사기(320)에 대한 방향 Z_1 까지 -Z 방향으로 이동되며, 포지션 변화는 $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ 이다. 이 실시예에서, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 이다. 광학 경로가 광학 지연 라인(300)에 의해 Z 방향으로 두 개의 레그로 폴딩되므로, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 일 때 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)까지의 원래 광학 경로 길이가 보존된다.

[0079] 광학 지연 라인(300)은 제1 포지셔너(106)와 스캔 렌즈(112) 사이의 광학 경로를 임의의 수의 레그로 폴딩하도록 구성될 수 있고, 따라서 ΔX 와 ΔZ 사이의 임의의 비율을 제공할 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 광학 지연 라인(300)은 $\Delta X = 4\Delta Z$ 의 비율이 광학 경로 길이를 보존하도록 각각 광학 경로를 두 번 폴딩하는 두 개의 서브-지연 라인(미도시)을 포함할 수 있다. 나아가, 광학 경로 길이를 원하는 또는 유리한 임의의 배수로 보존하기 위해, 임의의 수의 광학 경로 라인 또는 서브시스템이 제공될 수 있다.

[0080] 제2 포지셔너(108)가 (예를 들어, 도 7a 및 7b에 대해 위에서 논의된 바와 같이) 입사 동공(132)과 겹치는 것으로 도 8 및 9에 예시되지만, 제2 포지셔너(108)가 입사 동공(132)과 겹치지 않도록 대안적으로 위치될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 폴드 미러(130)는 제2 포지셔너(108)로 대체될 수 있다. 작동 중에, 위에서 설명된 실시예와 유사한 방식으로, 제2 포지셔너(108) 및 스캔 렌즈(112)는 X 방향을 따라 스캔될 수 있고, 광학 경로 길이는 릴레이 반사기(320)에 대해 역반사기(310)를 동시에 이동시킴으로써 보존될 수 있다.

[0081] X, Y 또는 Z 방향은 본 실시예의 설명에서 임의로 사용되었다는 것이 인식되어야 한다. 예를 들어, 광학 지연 라인(300)은 역반사기(310)와 릴레이 반사기(320) 사이의 포지션 변화가 또한 X 방향에 있도록 배향될 수 있다. 역반사기(310)와 릴레이 반사기(320) 사이의 거리 변화의 절대값(및 이에 대응하여 광학 지연 라인(300)과 스캔 렌즈(112) 사이의 거리 변화의 절대값)은 광학 경로 길이의 보존을 초래하는 것이다. 이는 아래에 설명된 다른 실시예에 대해서도 마찬가지이다.

[0082] D. 실시예 4: 편광 빔 스플리터를 갖는 광학 지연 라인

[0083] 도 10 및 도 11은 광학 지연 라인(400)과 같은 편광 빔 스플리터를 통합하는 광학 지연 라인으로 제공되는 광학 릴레이 시스템의 포지션 상태를 도시한다. 광학 지연 라인(400)은 제1 포지셔너(106)로부터 레이저 에너지의 빔(116)을 수신하고 이를 폴드 미러(130)를 통해 스캔 렌즈(112)로 릴레이한다. 이 실시예에서, 광학 지연 라인(400)에 초기에 투과된 레이저 에너지의 빔(116)은 선형으로 편광된다. 폴드 미러(130)는 선택적이며, 레이저 에너지의 빔(116)이 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)로 전파되는 것을 보장하기 위해 레이저 가공 장치(100)의 하나 이상의 다른 구성요소(예를 들어, 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108), 스캔 렌즈(112), 광학

지연 라인(400) 등 또는 이들의 임의의 조합)의 배향(들)이 수정되는 경우, 폴드 미러(130)는 생략될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 따라서, 레이저 에너지의 빔(116)은 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에서 또는 그 근처에서 텔레이된 피벗 지점(134)으로 지향된다.

[0084] 일반적으로, 광학 지연 라인(400)은 편광 빔 스플리터(430), 지연기(412), 반사기(410), 모션 시스템(408)(예를 들어, 선형 스테이지) 및 지연 라인 본체(402)를 포함한다. 편광 빔 스플리터(430), 지연기(412)(예를 들어, 1/4 파장판) 및 모션 시스템(408)은 지연 라인 본체(402)에 장착되고, 반사기(410)는 모션 시스템(408)에 의해 이동 가능하다. 광학 지연 라인(400)은 제1 포지셔너(106) 및 스캔 렌즈(112)에 대해 포지션 고정되도록 레이저 가공 장치(100) 내에 설치될 수 있거나, 또는 (예를 들어, 광학 지연 라인(300)에 대해 위에서 논의된 바와 같이) 제1 포지셔너(106) 및/또는 스캔 렌즈(112)에 대해 이동 가능할 수 있다.

[0085] 지연기(412)는 편광 빔 스플리터(430)와 반사기(410) 사이에 배열되고, 이를 통해 투과되는 레이저 에너지의 빔의 편광을 (예를 들어, 선형 편광으로부터 원형 편광으로 또는 그 역으로) 변경하도록 구성된다. 반사기(410)는 레이저 에너지(116)의 입사 빔을 편광 빔 스플리터(430)를 향해 다시 반사시키도록 배열되고 구성된다. 따라서, 편광 빔 스플리터(430)로부터 전파되는 레이저 에너지의 빔(116)의 편광은 지연기(412)에서 선형 편광으로부터 원형 편광으로 변환되고, 반사기(410)로부터 전파되는 레이저 에너지의 빔(116)의 편광은 지연기(412)에서 원형 편광으로부터 선형 편광으로 변환된다. 하지만, 이 경우에, (즉, 지연기(412)로부터) 편광 빔 스플리터(430)로 다시 반사된 레이저 에너지의 빔(116)의 편광 방향은 편광 빔 스플리터(430)로부터 (즉, 지연기(412)로) 전파되는 레이저 에너지의 빔(116)의 편광 방향에 대해 90도 회전된다. 따라서, 편광 빔 스플리터(430)로 다시 반사된 레이저 에너지의 빔(116)은 편광 빔 스플리터(430)에 의해 스캔 렌즈(112)로 (예를 들어, 폴드 미러(130)를 통해) 반사된다.

[0086] 반사기(410)는 지연 라인 본체(402)에 부착되고, 편광 빔 스플리터(430)에 대한 반사기(410)의 포지션을 변경하도록 구성된 모션 시스템(408)에 장착된다. 선택적으로, 편광 빔 스플리터(430)는 편광 빔 스플리터(430)의 포지션이 반사기(410)에 대해 변경되도록 모션 시스템(408)에 장착될 수 있다.

[0087] 스캔 렌즈(112)가 광학 지연 라인(400)에 대해 이동 가능한(예를 들어, 광학 지연 라인(400)이 제1 포지셔너(106)에 대해 포지션 고정되도록 레이저 가공 장치(100) 내에 설치된) 실시예에서, 스캔 렌즈(112)가 제1 포지셔너(106)에 대해 (예를 들어, +X 방향으로) 이동될 때, 반사기(410)는 편광 빔 스플리터(430)에 대해 (예를 들어, +Z 방향으로) 이동된다. 따라서, 스캔 렌즈(112)와 제1 포지셔너(106) 사이의 광학 경로 길이는, 스캔 렌즈(112)가 이동될 때 레이저 에너지의 빔의 피벗 지점(134)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 위치되어 있도록 유지된다. 예를 들어, 도 10 및 11을 참조하면, 스캔 렌즈(112)는 (도 10에 도시된 바와 같이) 광학 지연 라인(400)에 대한 거리 X_0 로부터 (도 11에 도시된 바와 같이) 광학 지연 라인(400)에 대한 거리 X_1 까지 +X 방향으로 이동되며, 변화는 $\Delta X = X_1 - X_0$ 이다. 스캔 렌즈(112)의 이동과 동시에, 반사기(410)는 (도 10에 도시된 바와 같이) 편광 빔 스플리터(430)에 대한 거리 Z_0 로부터 (도 11에 도시된 바와 같이) 편광 빔 스플리터(430)에 대한 거리 Z_1 까지 +Z 방향으로 이동되고, 포지션 변화는 $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ 이다. 이 실시예에서, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 이다. 광학 경로가 광학 지연 라인(400)에 의해 Z 방향으로 두 개의 레그로 폴딩되므로, $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 일 때, 제1 포지셔너(106)로부터 스캔 렌즈(112)까지의 원래 광학 경로 길이가 보존된다.

[0088] 광학 지연 라인(400)은 제1 포지셔너(106)와 스캔 렌즈(112) 사이의 광학 경로를 임의의 수의 레그로 폴딩하도록(예를 들어, ΔX 와 ΔZ 사이의 임의의 비율을 제공하도록) 구성될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 광학 지연 라인(400)은 $\Delta X = 4\Delta Z$ 의 비율이 광학 경로 길이를 보존하도록 각각 광학 경로를 두 개의 레그로 폴딩하는 두 개의 서브-지연 라인(미도시)을 포함할 수 있다. 광학 경로 길이를 원하는 또는 유익한 임의의 배수로 보존하기 위해, 임의의 수의 광학 텔레이 시스템 또는 서브시스템이 제공될 수 있다.

[0089] 위에서 논의된 실시예에서, 반사기(410)는 제로 위상-편이 반사기로 제공된다. 하지만, 다른 실시예에서, 반사기(410)는 레이저 에너지의 빔(116)을 편광 빔 스플리터(430)를 향해 다시 반사시킬 시, 레이저 에너지의 빔(116)의 편광 방향을 회전시키도록 구성된 반파장 반사 위상 지연기와 같은 반사 위상 지연기로 제공될 수 있다. 이 경우, 지연기(412)는 요구되지 않는다. 레이저 에너지의 빔이 전자기 스펙트럼의 UV, 중-파장 적외선 또는 장-파장 적외선 범위에 있는 경우, 반파장 반사 위상 지연기의 사용이 바람직할 수 있다.

[0090] 제2 포지셔너(108)가 (예를 들어, 도 7a 및 7b에 대해 위에서 논의된 바와 같이) 입사 동공(132)과 겹치는 것으로 도 10 및 11에 예시되지만, 제2 포지셔너(108)가 입사 동공(132)과 겹치지 않도록 대안적으로 위치될 수 있

다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 폴드 미러(130)는 제2 포지셔너(108)로 대체될 수 있다. 동작 중에, 위에서 설명된 실시예와 유사한 방식으로, 제2 포지셔너(108) 및 스캔 렌즈(112)는 X 방향으로 스캔될 수 있고, 광학 경로 길이는 편광 빔 스플리터(430)에 대해 반사기(410)를 동시에 이동시킴으로써 보존될 수 있다.

[0091] E. 실시예 5: 줌 광학 릴레이 시스템

[0092] 위에서 논의된 바와 같이, 광학 릴레이 시스템의 일부 실시예는, 빔 경로(114)를 따라 전파되는 레이저 에너지의 빔(116)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 또는 매우 근접하게 위치한 피벗 지점(134)을 중심으로 회전하는 것을 보장하면서, 작업물의 표면에서 타겟 스팟 크기를 달성하도록 동작하는 고정 배율을 가질 수 있다. 하지만, 다른 실시예에 따라, 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 빔의 피벗 지점(134)을 릴레이하고, 레이저 에너지의 빔의 배율을 변경하도록(예를 들어, 작업물(102)에서 레이저 스팟 크기를 조정하거나 유지하도록) 동작하는 광학 릴레이 시스템이 제공될 수 있다. 다음은 가변 배율, 시준된 빔 출력 및 일정한 피벗 지점 위치가 가능한 이러한 광학 릴레이 시스템의 예시적인 실시예의 논의이다. 이러한 광학 릴레이 시스템은 시스템의 포지셔너의 하나 이상의 광학적으로 다운스트림에(예를 들어, 제1 포지셔너(106) 또는 제2 포지셔너(108) 이후에) 배치될 수 있다.

[0093] 도 12는 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 제1 포지셔너(106)(또는 제2 포지셔너(108))의 이미지(또는 초점면)를 릴레이하도록 구성된 광학 릴레이 시스템(500)의 예시적인 실시예를 도시한다. 이 실시예에서, 광학 릴레이 시스템(500)의 포지션은 제1 포지셔너(106)(또는 제2 포지셔너(108)) 및 스캔 렌즈(112)에 대해 고정된다. 선택적으로, 아래에 설명된 바와 같이, 광학 릴레이 시스템(500)(또는 그의 구성요소)의 포지션은 제1 포지셔너(106), 제2 포지셔너(108) 및/또는 스캔 렌즈(112)에 대해 조정 가능할 수 있다.

[0094] 도시된 바와 같이, 릴레이 시스템(500)은 제1 렌즈(502), 줌 렌즈 조립체(510) 및 제2 렌즈(506)를 포함할 수 있다. 줌 렌즈 조립체(510)에 들어가는 광을 제한하도록(예를 들어, 회절 차수가 분리되도록 허용하거나, 또는 다른 방식으로 제1 포지셔너(106)에 의해 회절된 레이저 에너지의 빔(116)(및 그의 주변 광선(116')) 또는 제2 포지셔너(108)에 의해 반사된 레이저 에너지의 빔(116)의 각도 범위를 제한하도록) 동작하는 개구(504)는 제1 렌즈(502)와 줌 렌즈 조립체(510) 사이에 위치될 수 있다. 예시된 실시예에서, 줌 렌즈 조립체(510)는 제1 렌즈(502)와 제2 렌즈(506) 사이에 위치된다. 렌즈(502 및 506)가 도 12에서 양면-볼록 렌즈로 도시되어 있지만, 다양한 양의 렌즈(예를 들어, 평면-볼록 렌즈, 양의 메니스커스 렌즈, 양의 아크로매틱 렌즈(positive achromatic lenses), 비구면 렌즈 등, 또는 이중 렌즈, 삼중 렌즈 또는 이의 임의의 조합으로 배열됨)는 장치(100)의 동작 요건에 의존하여 사용될 수 있다.

[0095] 이 실시예에서, 줌 렌즈 조립체(510)는 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)을 포함한다. 제1 렌즈 그룹(516)은 제2 렌즈 그룹(522)과 고정 거리 C만큼 떨어져 있다. 제1 렌즈 그룹(516)은 제1 렌즈(512) 및 제2 렌즈(514)를 포함하고, 제2 렌즈 그룹(522)은 제1 렌즈(518) 및 제2 렌즈(520)를 포함한다. 도 12에 도시된 실시예에서, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)은 줌 렌즈 조립체(510)의 횡방향 중심선(530)에 대해 대칭적으로 배열된 망원 이중 렌즈로 제공될 수 있다. 본 실시예에서, 제1 렌즈 그룹(516)에서, 제1 렌즈(512)는 평면-오목 렌즈이고 제2 렌즈(514)는 양면-볼록 렌즈이며, 렌즈(512 및 514)는 거리 A만큼 떨어져 있다. 제2 렌즈 그룹에서, 렌즈(518)는 양면-볼록 렌즈이고, 제2 렌즈(520)는 평면-오목 렌즈이며, 렌즈(518 및 520)는 거리 B만큼 떨어져 있고, 제1 렌즈 그룹(516)의 평면 오목 렌즈(512)와 양면-볼록 렌즈(514)에 대해 미러상 대칭(mirror-image symmetry)으로 배열된다. 거리 A는 통상의 기술자에 알려진 임의의 적합하거나 원하는 수단에 의해 조정될 수 있다(본원에서 "제1 렌즈 그룹(516)의 조정"으로 지칭됨). 마찬가지로, 거리 B는 통상의 기술자에게 알려진 임의의 적합하거나 원하는 수단에 의해 조정될 수 있다(본원에서 "제2 렌즈 그룹(522)의 조정"으로 지칭됨).

[0096] 레이저 에너지의 빔(116)의 레이저 스팟 크기를 설정하거나 또는 조정하기 위해 광학 릴레이 시스템(500)의 배율(또한, 본원에서 "배율 설정 지점"으로 지칭됨)을 조정하기 위해, 광학 릴레이 시스템(500) 내의 줌 렌즈 조립체(510)의 포지션이 설정되거나 또는 조정될 수 있다. 줌 렌즈 조립체(510)의 포지션은 (예를 들어, 장치(100)의 제조자에 의해, 장치(100)의 사용자 또는 다른 조작자에 의해, 작업물(102)을 가공하기 위한 가공 또는 레시피(recipe)를 개발하는 것을 담당하는 애플리케이션 엔지니어 또는 기술자 등에 의해) 수동으로 설정되고, 그 후 제자리에 고정될 수 있다. 다른 실시예에서, 줌 렌즈 조립체(510)는 (예를 들어, 제어기(122)로부터의 하나 이상의 명령에 응답하여) 광학 릴레이 시스템(500) 내의 줌 렌즈 조립체(510)의 포지션을 변경하도록 동작하는 제1 포지셔너(524)(예를 들어, 선형 스테이지, 음성 코일(voice coil), 광학 마운트(optical mount) 등)에 장착될 수 있다.

- [0097] 광학 릴레이 시스템(500) 내의 줌 렌즈 조립체(510)의 포지션의 조정과 유사하게, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정은 수동으로, 또는 제2 포지셔너(526) 및 제3 포지셔너(528)에 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)을 각각 장착함으로써 행해질 수 있다. 이 실시예에서, 광학 릴레이 시스템(500)의 배율 설정 지점이 설정될 때, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정은 제1 렌즈 그룹(516)과 제2 렌즈 그룹(522) 사이에서 레이저 에너지의 빔(116)의 시준을 달성하고, 그로 인해 렌즈 그룹(516 및 522) 사이에 피벗 지점을 생성하도록 요구될 수 있다. 또한, 스캔 렌즈 입사 동공(132)에 피벗 지점(134)을 위치시키기 위해, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정이 제2 렌즈(506) 이후에 레이저 에너지의 빔(116)의 시준을 달성하도록 요구될 수 있다. 또한, 전체 광학 릴레이 시스템(500)의 유효 초점 거리를 조정하고 그로 인해 스캔 렌즈 입사 동공(132)에 또는 그에 가깝게 피벗 지점(134)의 포지션을 유지하도록, 원하는 경우 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정이 이루어질 수 있다. 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정은 광학 릴레이 시스템(500) 내의 줌 렌즈 조립체(510)의 포지션의 조정과 동시에 또는 순차적으로(어떤 순서로든), 또는 반복적인 가공에 의해 행해질 수 있다.
- [0098] 장치(100)의 광학 성능 요건에 의존하여, 줌 렌즈 조립체(510)의 대안적인 실시예가 사용될 수 있다. 예를 들어, 하나의 대안적인 실시예에서, 제1 렌즈 그룹(516)과 제2 렌즈 그룹(522) 사이의 간격 C는 또한 고정되는 대신 조정 가능할 수 있다. 다른 실시예에서, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)은 양의 렌즈(예를 들어, 이중 렌즈, 삼중 렌즈 또는 이의 임의의 조합으로 배열된 평면-볼록 렌즈, 정의 메니스커스 렌즈, 정의 에크로메틱 렌즈, 비구면 렌즈 등) 및 음의 렌즈(예를 들어, 이중 렌즈, 삼중 렌즈 또는 이의 임의의 조합으로 배열된 이중-오목 렌즈, 평면-오목 렌즈, 음의 메니스커스 렌즈, 음의 에크로메틱 렌즈 등)의 다양한 조합을 임의의 순서로 또는 간격으로 포함할 수 있다.
- [0099] 위에서 설명된 바와 같이, (예를 들어, 작업물(102)에서 레이저 스팟 크기를 조정하거나 유지하기 위해) 광학 릴레이 시스템(500)의 배율 설정 지점이 조정될 때, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정이 요구될 수 있다. 도 13a-13c는 레이저 스팟 크기의 배율 설정 지점 및 피벗 지점(134)의 위치의 변화의 결과의 예와, 제1 렌즈 그룹(516) 및 제2 렌즈 그룹(522)의 조정이 피벗 지점(134)의 위치를 어떻게 조정할 수 있는지를 보여주는, 광학 릴레이 시스템(500)의 다양한 포지션 상태를 도시한다.
- [0100] 도 13a는 레이저 에너지의 빔(116)이 스캐닝될 때(예를 들어, 제1 포지셔너(106)에 의해 회절되거나 또는 제2 포지셔너(108)에 의해 반사될 때) 피벗 지점(134)이 스캔 렌즈(112)의 입사 동공(132)에 또는 그 근처에 위치되도록, 제1 포지셔너(106)(또는 제2 포지셔너(108))와 스캔 렌즈(112) 사이에 위치된 광학 릴레이 시스템(500)을 도시한다. 도시된 바와 같이, 광학 릴레이 시스템(500)은 제1 렌즈(502)와 제2 렌즈(506) 사이에 포지셔닝된 줌 렌즈 조립체(510)를 포함한다. 제1 렌즈 그룹(516)의 렌즈는 거리 A만큼 떨어져 있고, 제2 렌즈 그룹(522)의 렌즈는 거리 B만큼 떨어져 있다. 이 실시예에서, 제1 렌즈 그룹(516)과 제2 렌즈 그룹(522) 사이의 거리 C는 고정된다. 직경 D_0 을 갖는 레이저 스팟(532)은 제1 포지셔너(106) 아래에(예를 들어, 제1 포지셔너(106)의 이미지 평면에) 나타난다. D_1 의 직경을 갖는 레이저 스팟(532')(예를 들어, 광학 릴레이 시스템(500)에 의해 증폭됨)이 입사 동공(132) 아래에 나타난다. 이 포지션 상태에서, 광학 릴레이 시스템(500)의 배율 설정 지점은 레이저 스팟(532)이 D_0 (예를 들어, $30\mu\text{m}$)의 직경으로부터 M (예를 들어, 1.414)의 곱에 의해 직경 $D_1 = 1.414 \cdot D_0 = 42\mu\text{m}$ 으로 측면 배율을 받도록 설정된다.
- [0101] 도 13b는 광학 릴레이 시스템(500)의 배율 설정 지점이 줌 렌즈 조립체(510)를 제1 렌즈(502)를 향해 이동시킴으로써(예를 들어, 도 12에 도시된 제1 포지셔너(524)의 작동에 의해) 조정될 때, 도 13a에 도시된 포지션 상태의 변화의 예를 도시한다. 이 예에서, 배율 설정 지점 M 은 1.414로부터 1.50으로 변경되며, 레이저 스팟(532)의 직경 D_0 (예를 들어, $30\mu\text{m}$)이 $D_2 = 1.50 \cdot D_0 = 45\mu\text{m}$ 으로 측면 배율을 받게 된다. 배율 설정 지점의 이러한 변경은 제1 포지셔너(106)의 이미지 평면의 종방향 배율의 변경을 초래하고, 입사 동공(132)으로부터 피벗 지점(134)의 잘못된 위치를 유발한다.
- [0102] 도 13c는 도 13b에 도시된 광학 릴레이 시스템(500)의 포지션 상태의 변화의 예를 도시한다. 도시된 바와 같이, (예를 들어, 도 12에 도시된 제2 포지셔너(526)를 작동시킴으로써) 제1 렌즈 그룹(516)의 간격 A는 A'의 간격으로 조정되고, (예를 들어, 도 12에 도시된 제3 포지셔너(528)의 작동에 의해) 제2 렌즈 그룹(522)의 간격 B는 B'의 간격으로 조정된다. 이러한 조정은, $45\mu\text{m}$ 에서 레이저 스팟(532'')의 측면 배율을 유지하면서, 입사 동공(132)에서 피벗 지점(134)을 재위치시키기 위해 종방향 배율의 변경을 초래한다.

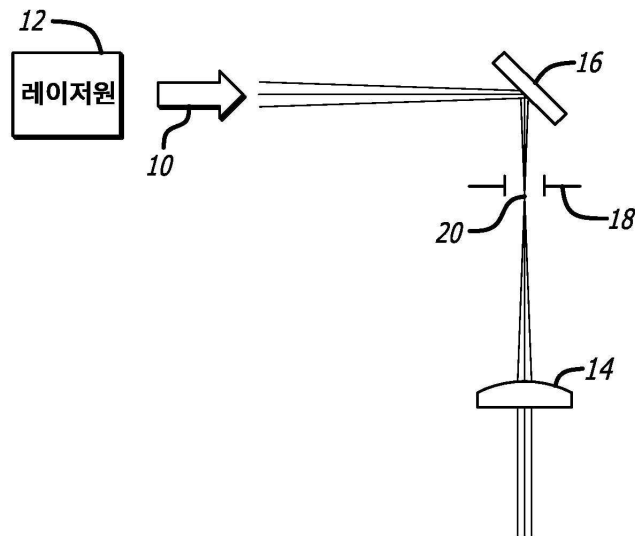
[0103] III. 결론

[0104]

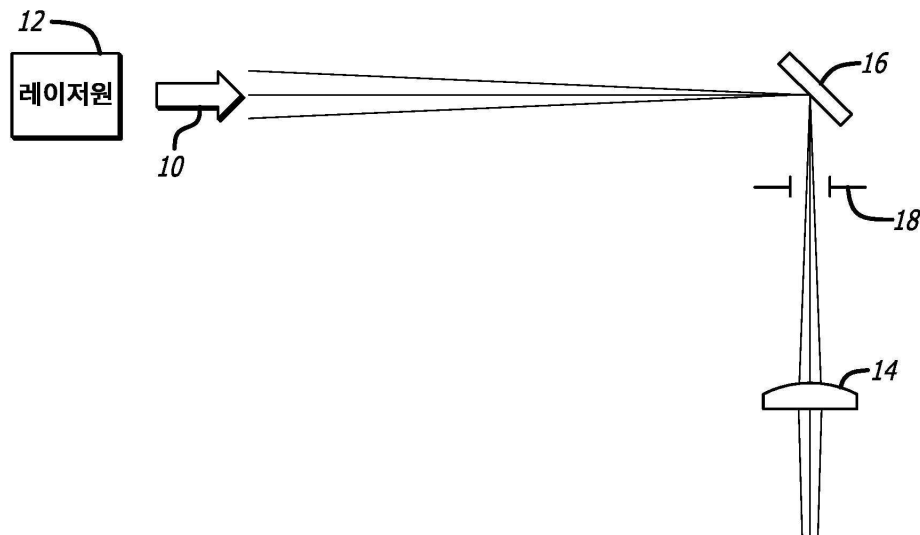
전술한 것은 본 발명의 실시예 및 예를 예시하는 것일 뿐, 본 발명을 제한하려는 것으로 해석되어서는 안 된다. 몇몇의 특정한 실시예 및 예시가 도면을 참조로 설명되었지만, 통상의 기술자는 본 발명의 새로운 교시 및 장점을 실질적으로 벗어나지 않으면서, 개시된 실시예 및 예 뿐만 아니라 다른 실시예에 대한 다수의 수정이 가능하다는 것을 쉽게 인식할 것이다. 따라서, 이러한 모든 수정은 청구 범위로 한정된 본 발명의 범주 내에 포함되는 것으로 의도된다. 예를 들어, 통상의 기술자는 임의의 문장, 단락, 예 또는 실시예의 주제가 이러한 조합이 상호 배타적인 경우를 제외하고, 다른 문장, 단락, 예 또는 실시예 중 일부 또는 전체의 주제와 조합될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 그러므로, 본 발명의 범주는 다음의 청구범위에 의해 결정되어야 하고, 청구범위의 등가물은 그 안에 포함된다.

도면

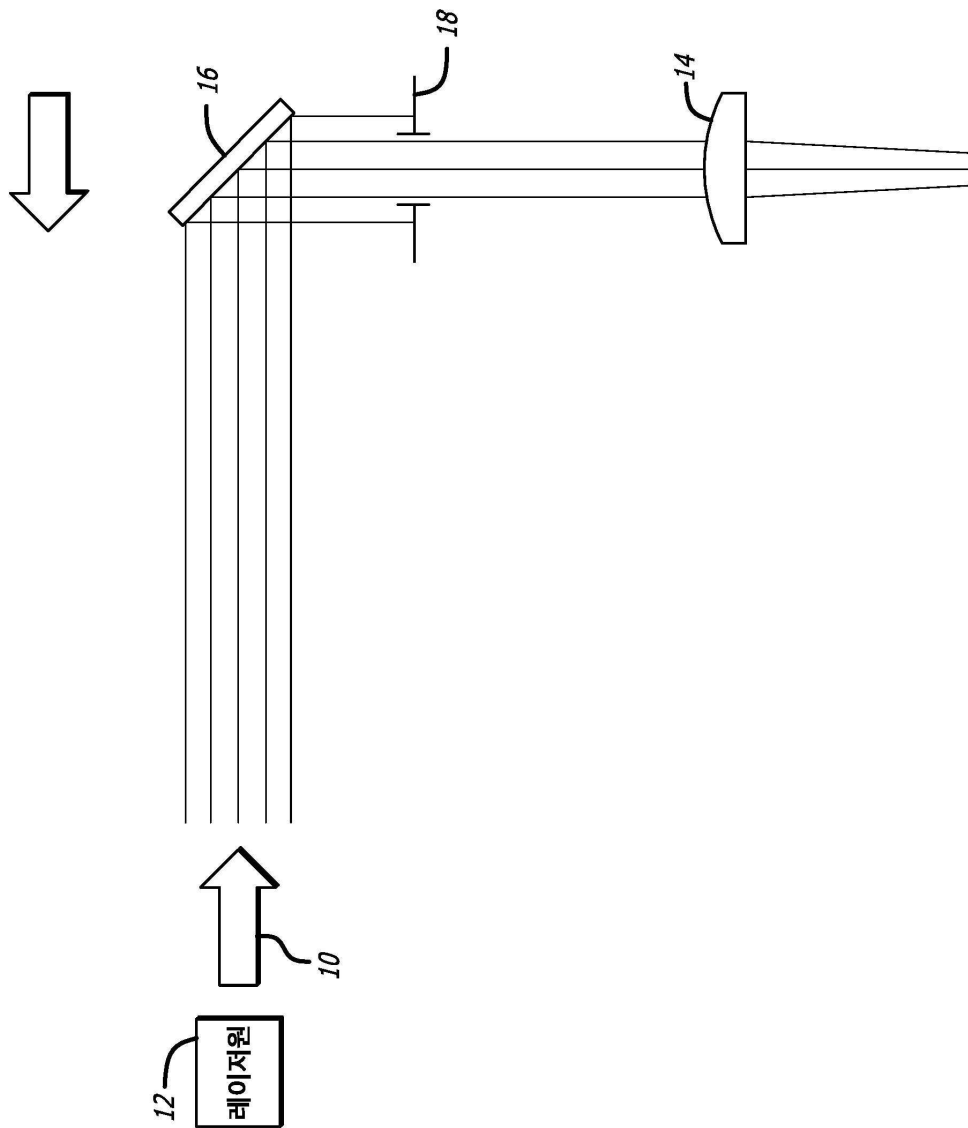
도면1



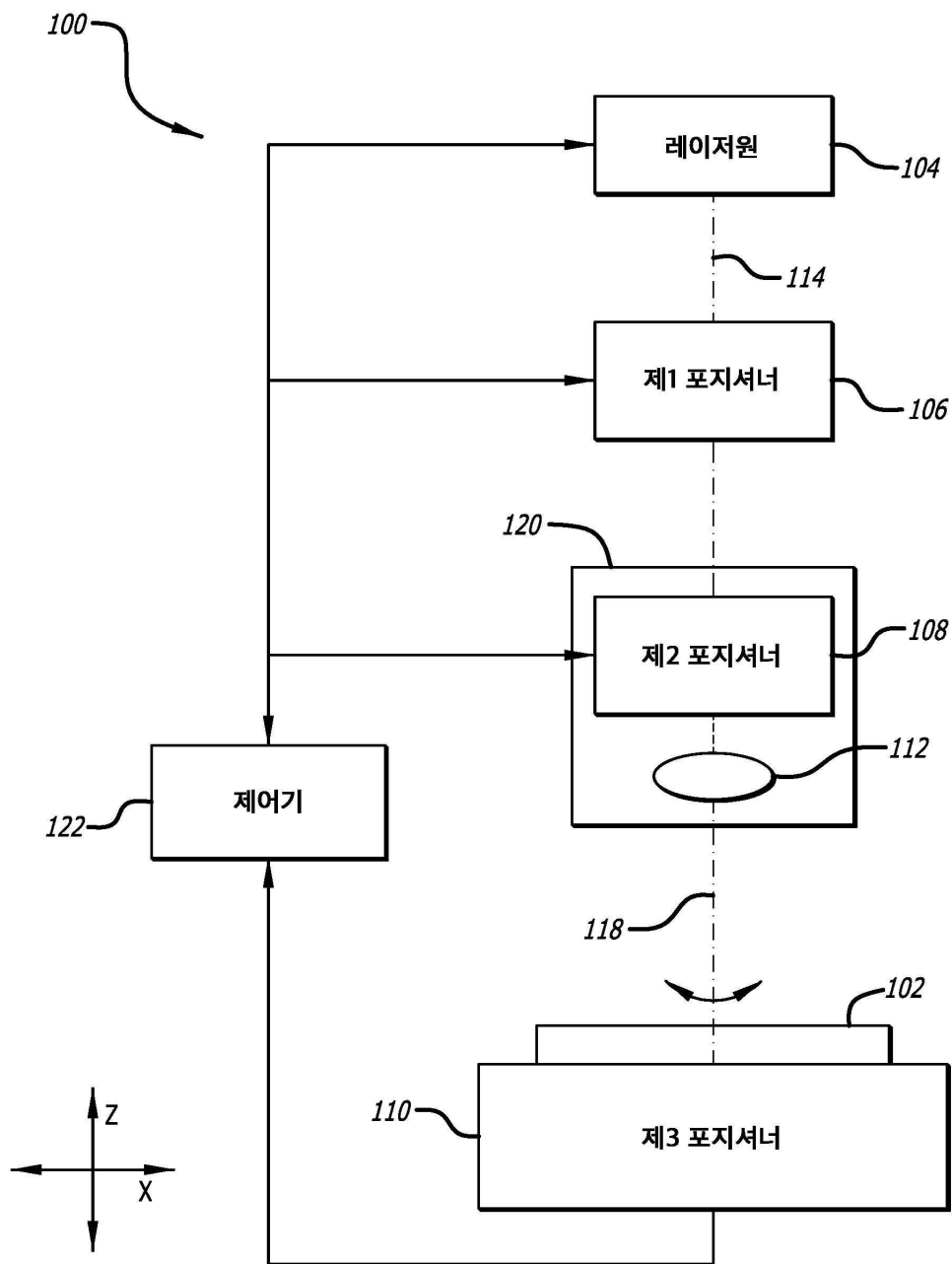
도면2



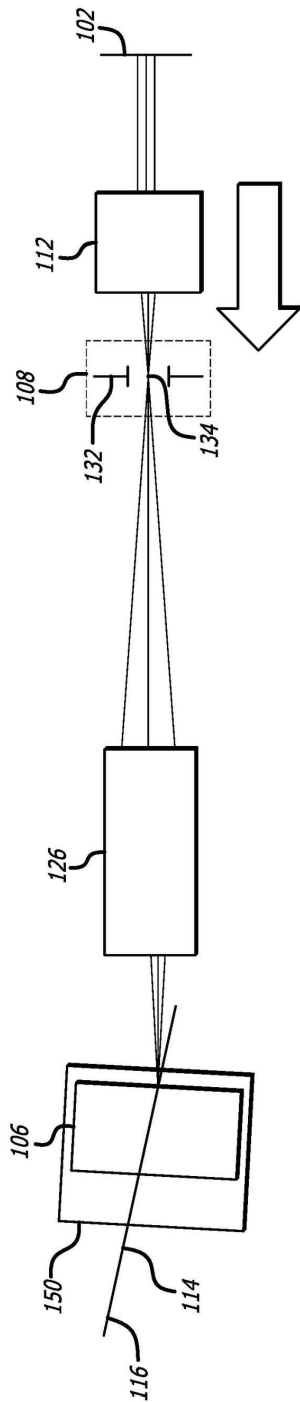
도면3



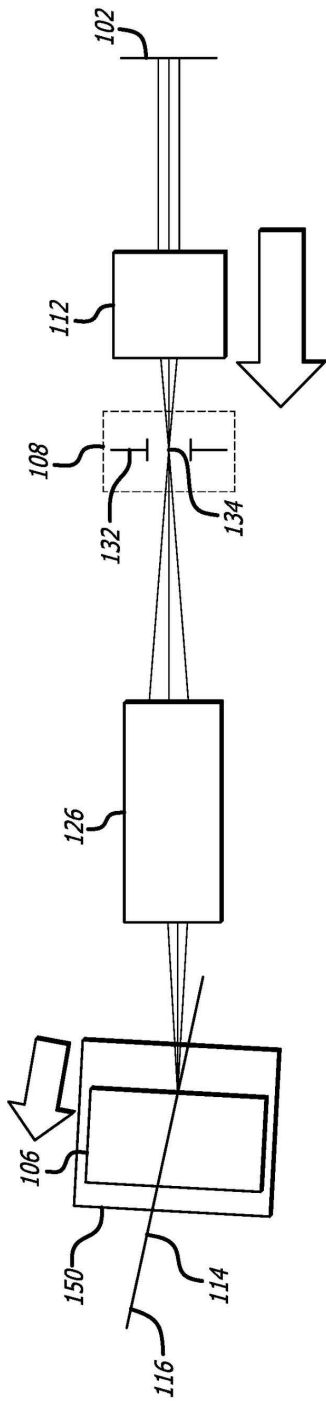
도면4



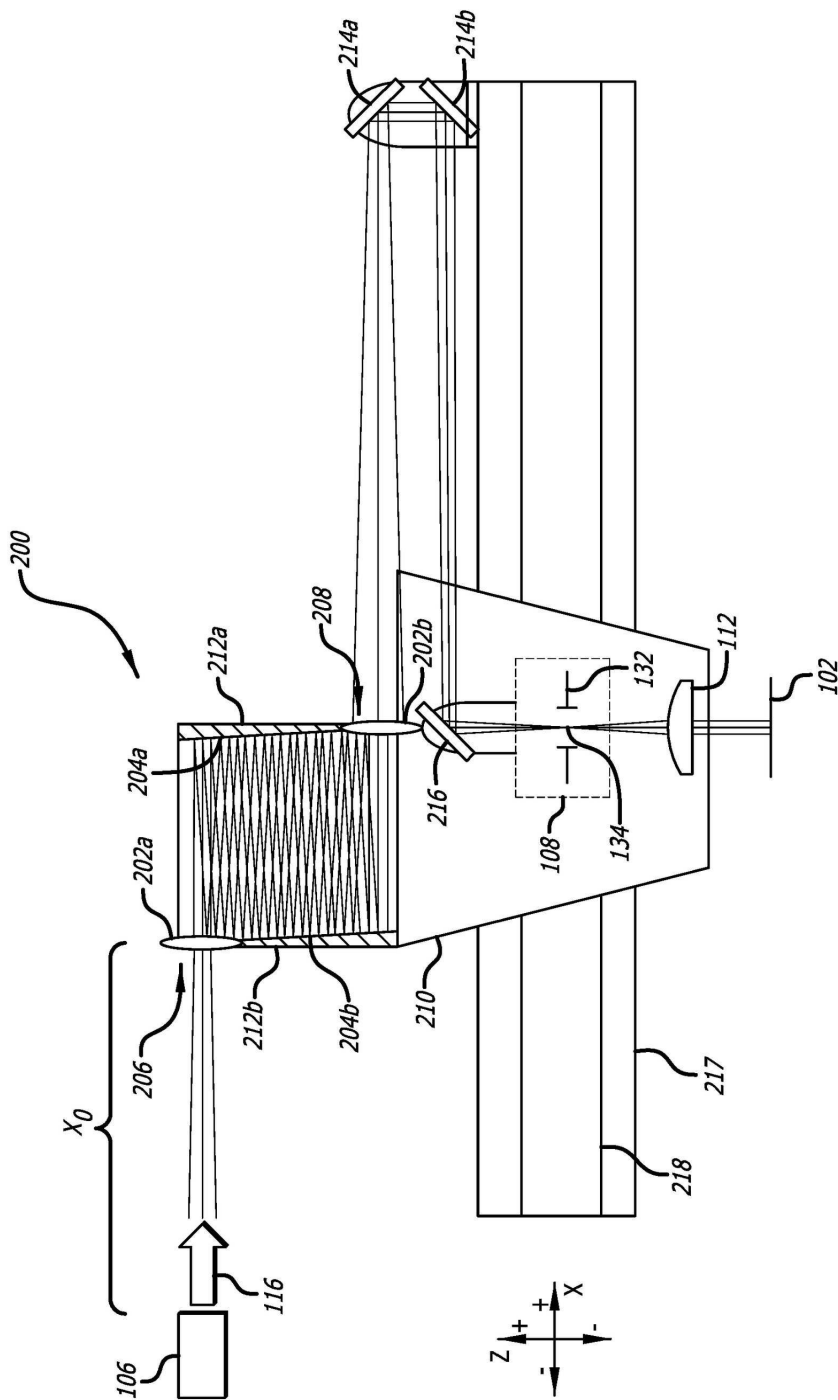
도면5



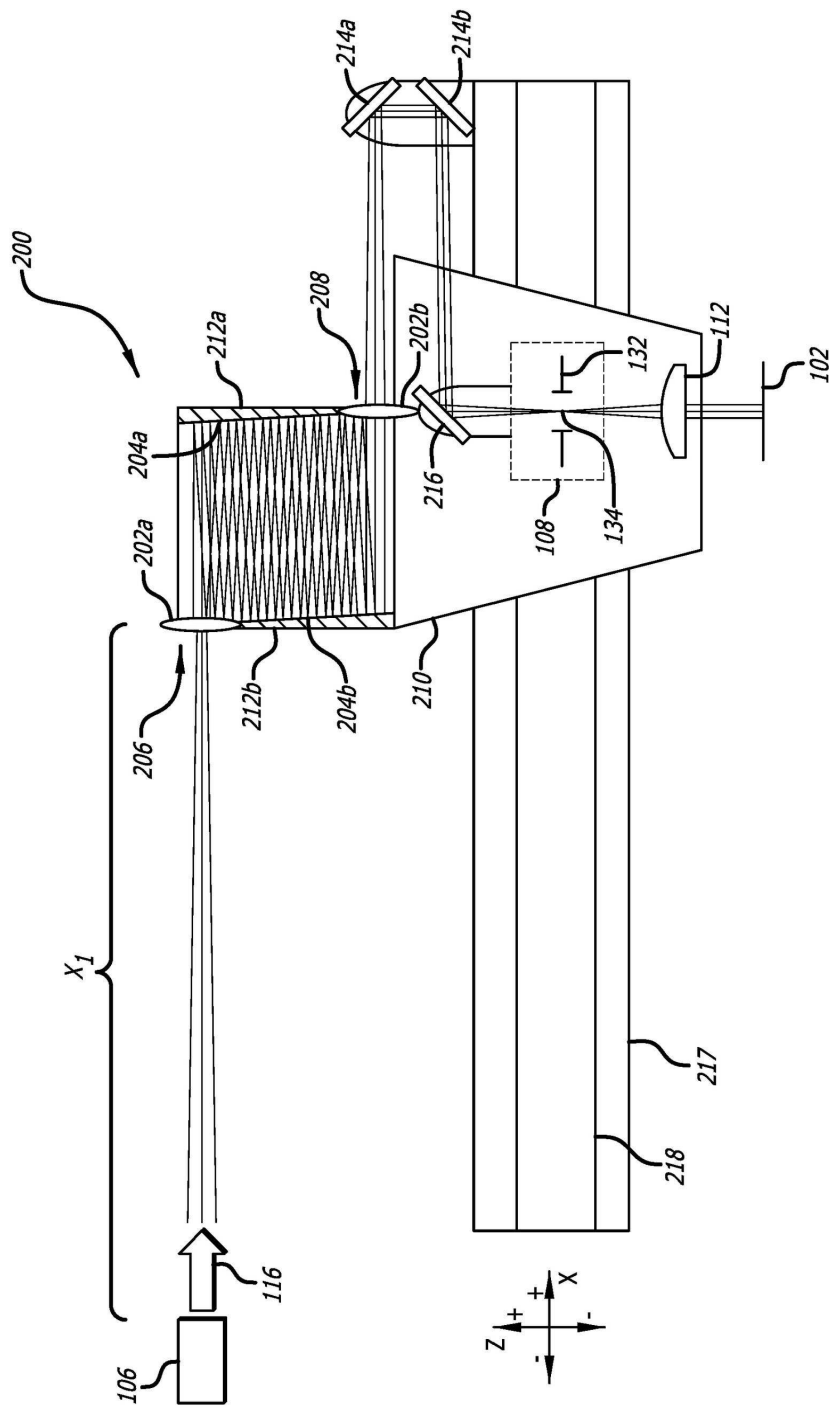
도면6



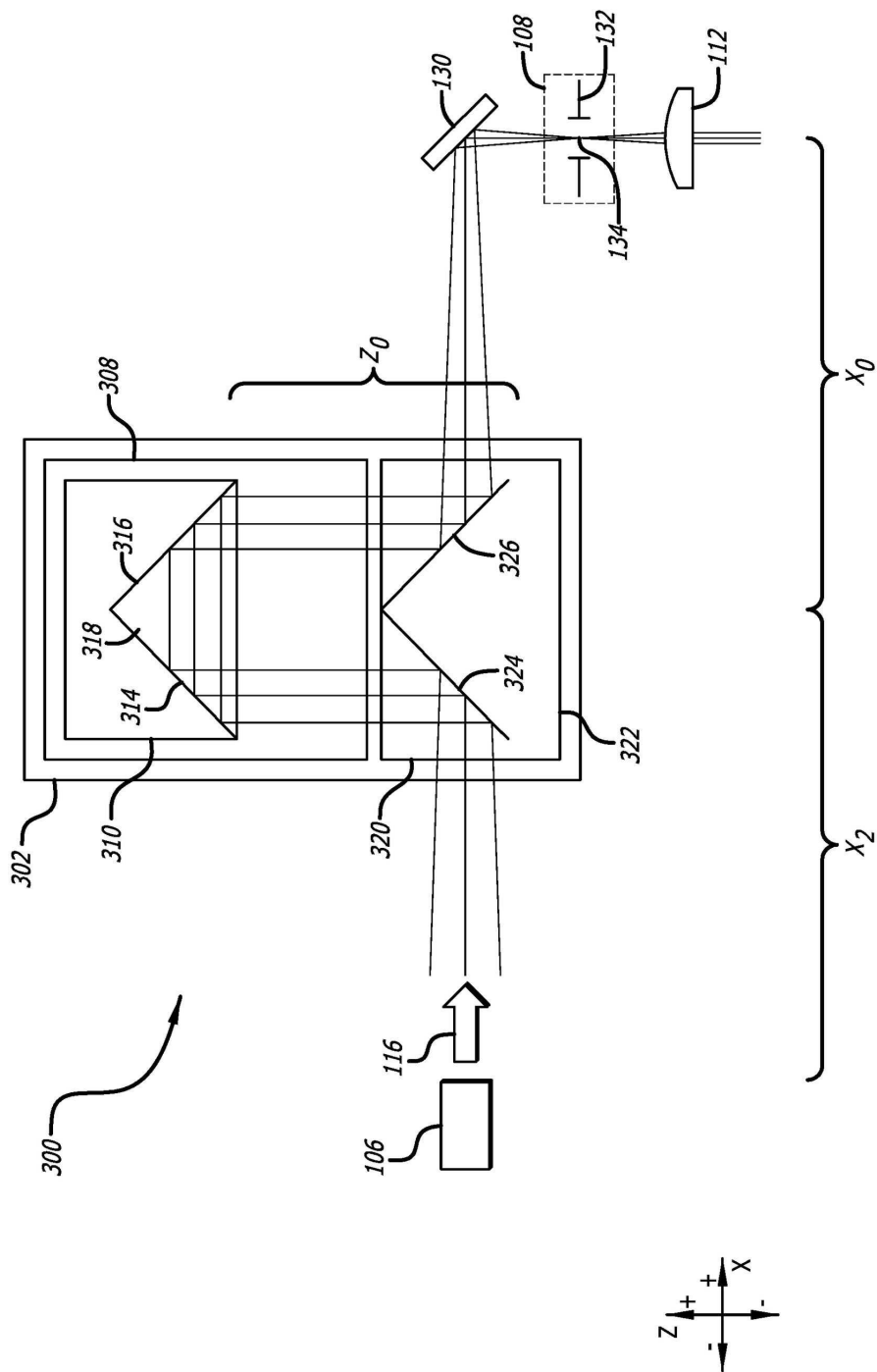
도면7a



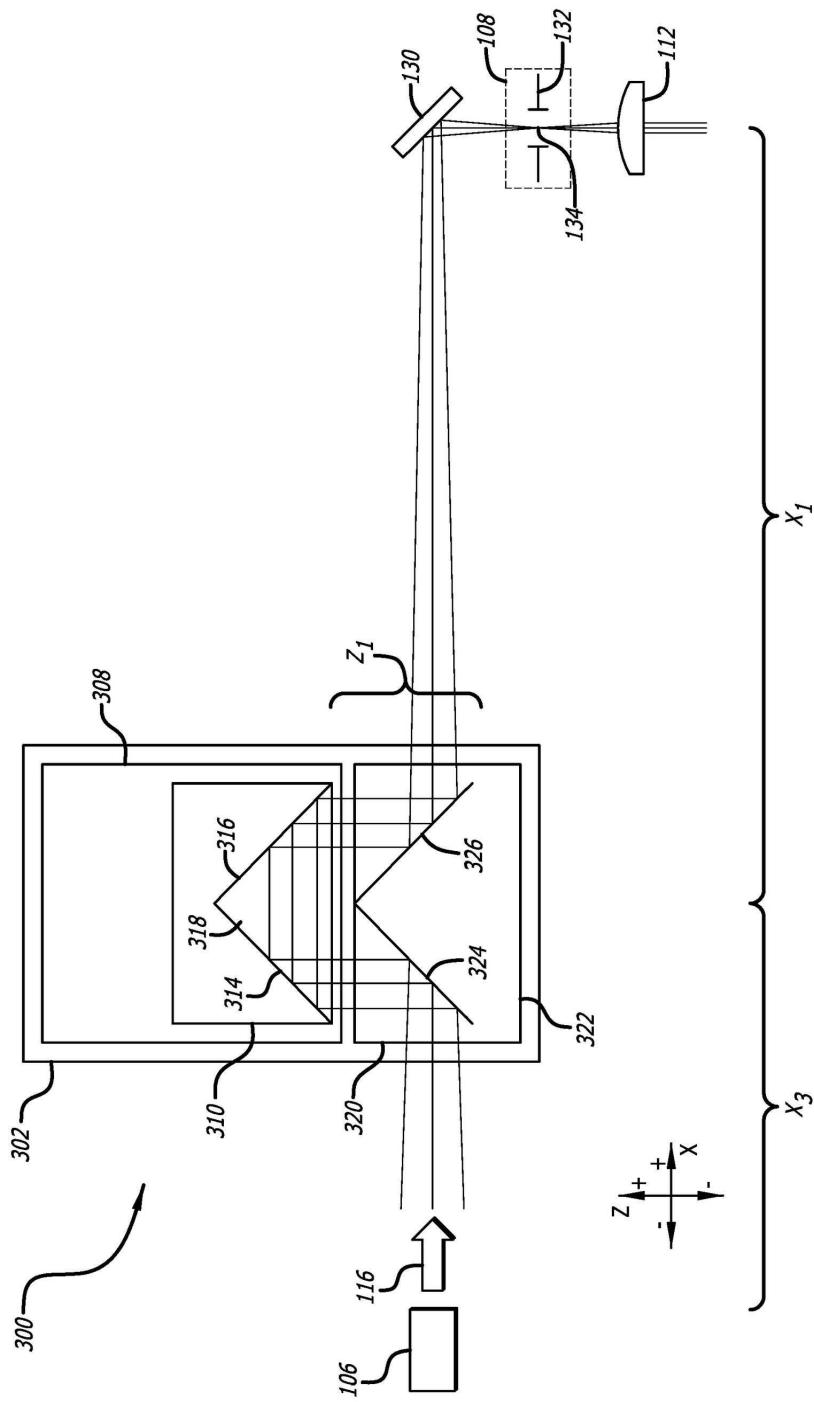
도면7b



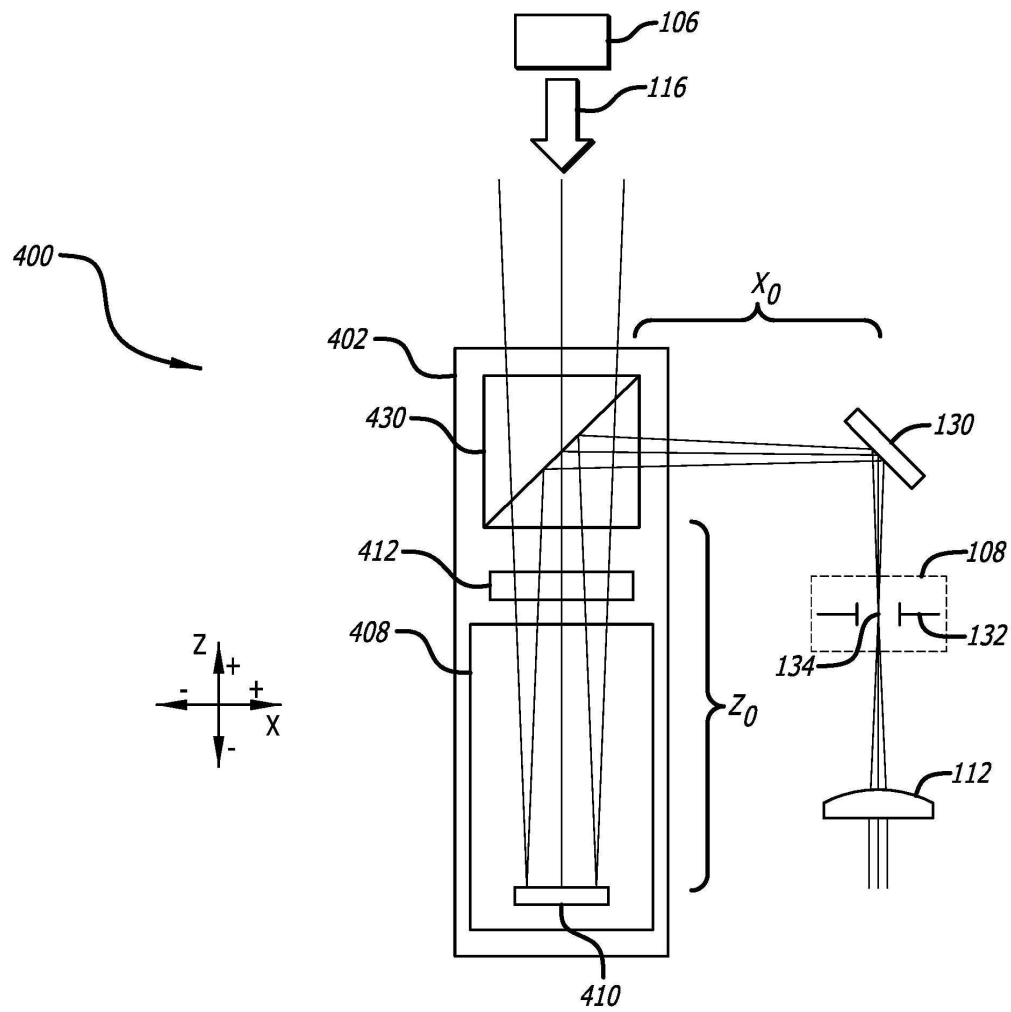
도면8



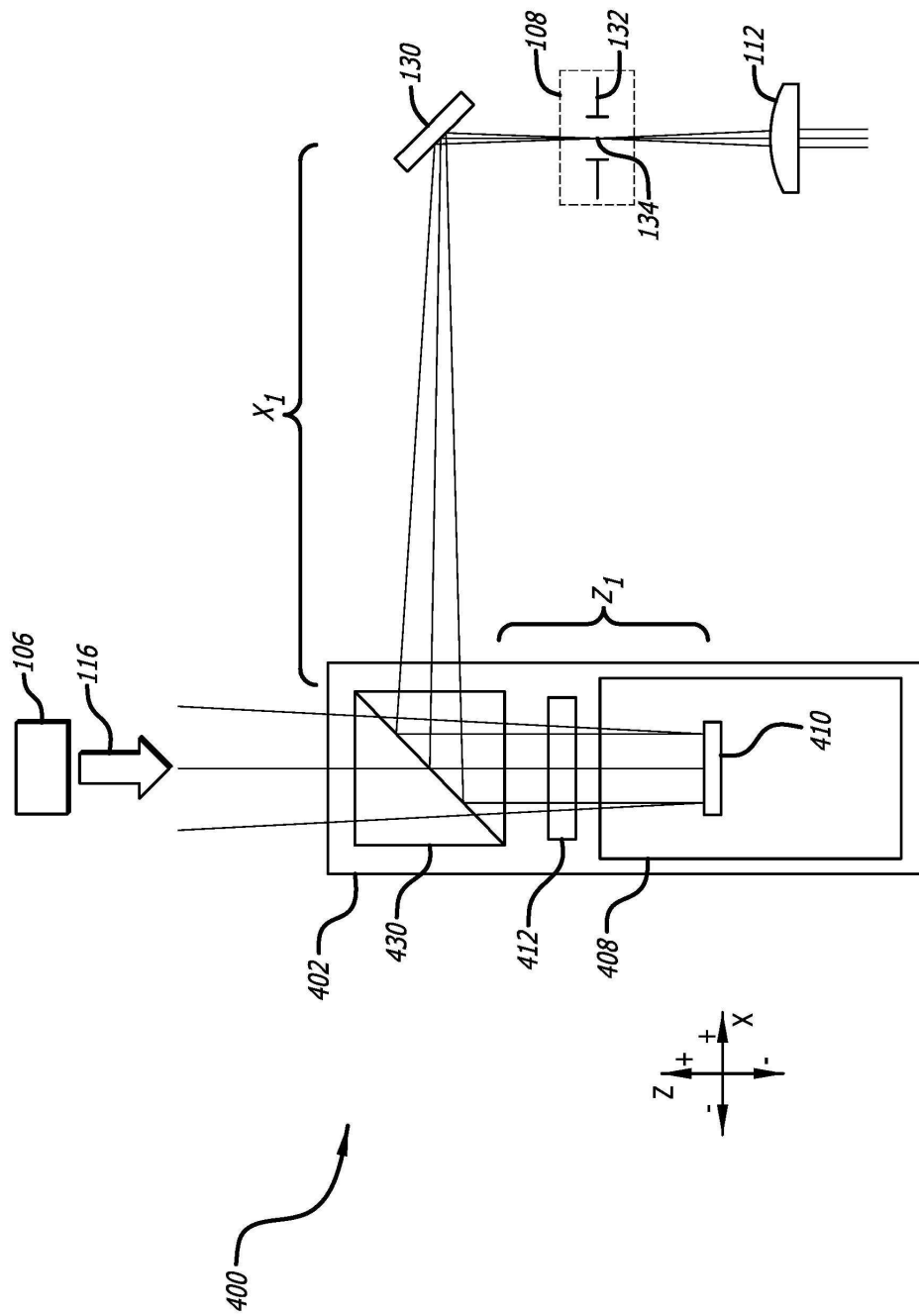
도면9



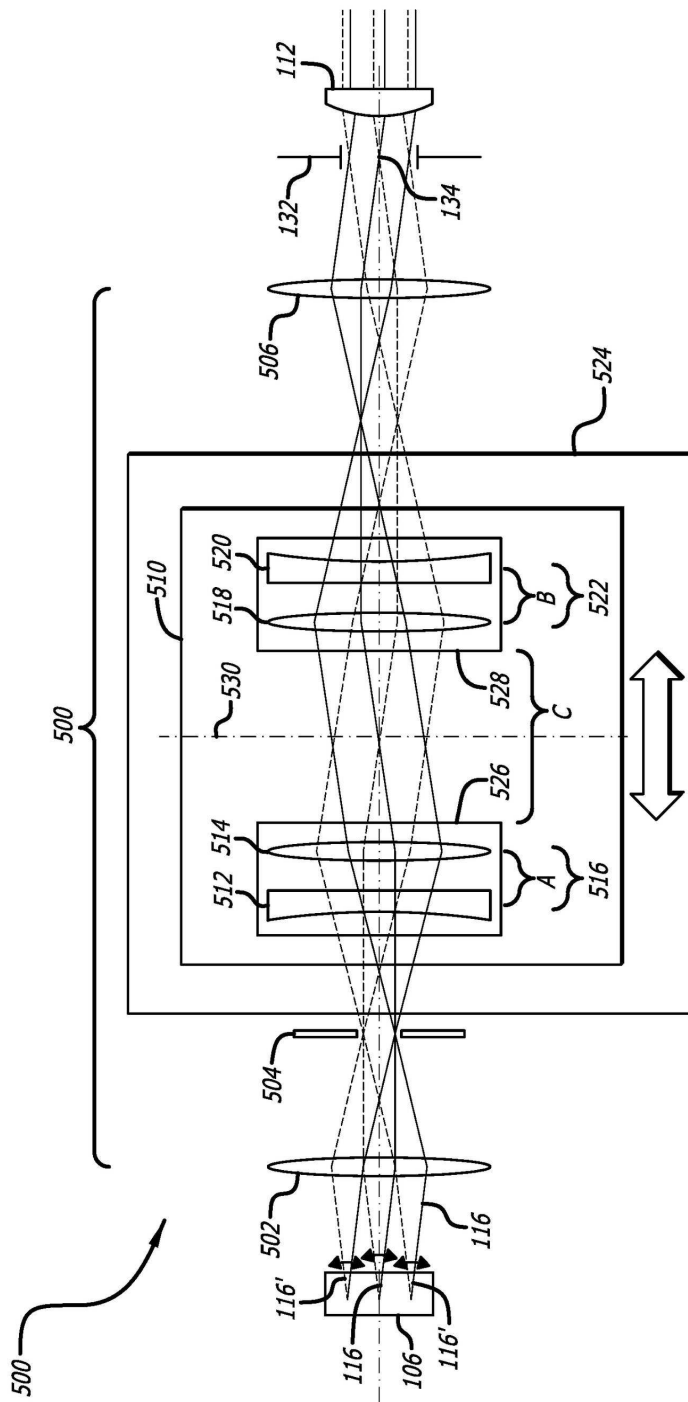
도면10



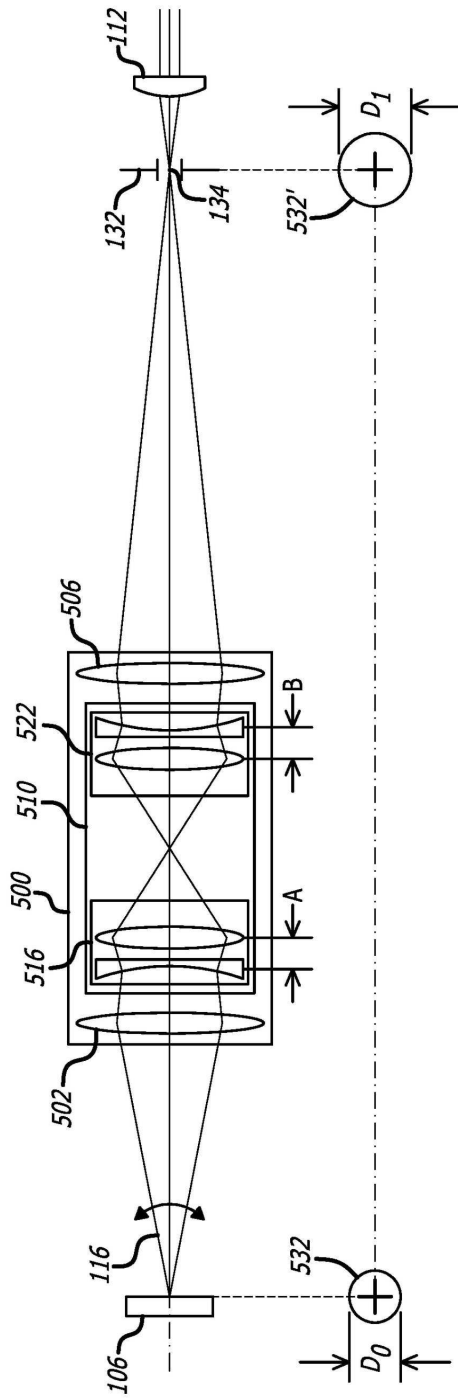
도면11



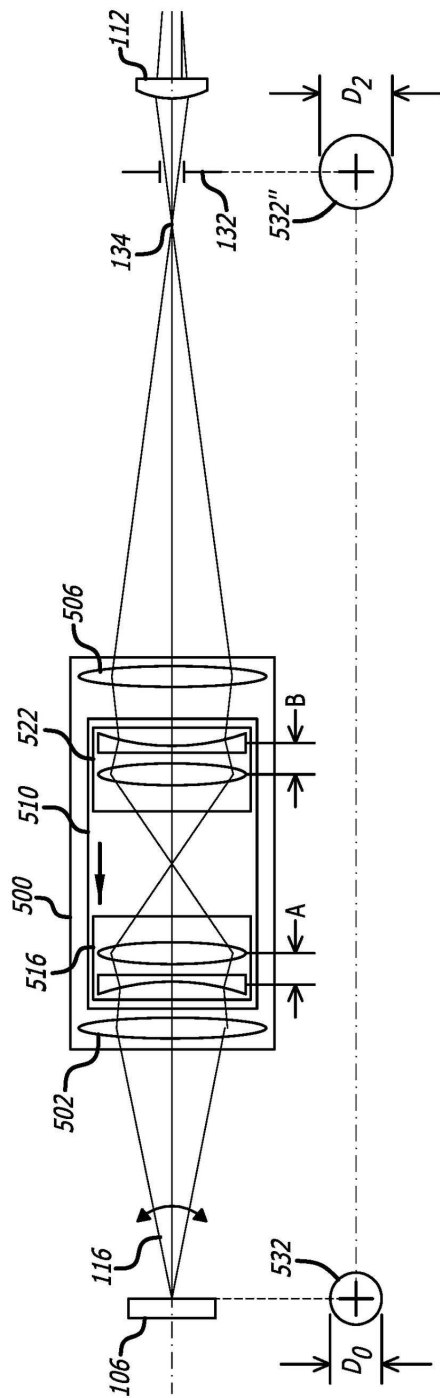
도면12



도면13a



도면13b



도면13c

