



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0039487
(43) 공개일자 2025년03월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/70 (2014.01) B23K 26/03 (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/073 (2006.01)
B23K 26/082 (2014.01)
- (52) CPC특허분류
B23K 26/705 (2015.10)
B23K 26/032 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2025-7007311(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2019년06월04일
심사청구일자 2025년03월05일
- (62) 원출원 특허 10-2024-7011118
원출원일자(국제) 2019년06월04일
심사청구일자 2024년04월02일
- (85) 번역문제출일자 2025년03월05일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/035443
- (87) 국제공개번호 WO 2019/236616
국제공개일자 2019년12월12일
- (30) 우선권주장
62/680,856 2018년06월05일 미국(US)
62/688,484 2018년06월22일 미국(US)

- (71) 출원인
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
미국 오리건주 97005 비버튼 에스더블유 밀리컨웨이 14523
- (72) 발명자
리켈, 패트릭
미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드 내
- 엔라쓰, 마크
미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인 광장리앤코

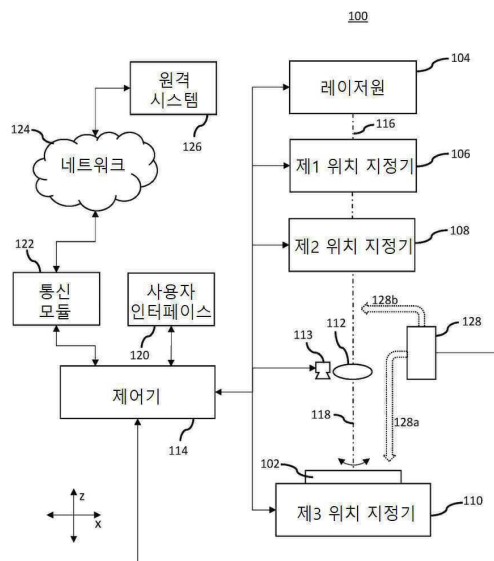
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 레이저 가공 장치, 그 작동 방법 및 이를 사용한 작업물 가공 방법

(57) 요약

작업물 레이저 가공을 위한 장치 및 기술을 개선하고 새로운 기능을 제공할 수 있다. 논의된 일부 실시예는 적응적 처리, 공정 제어 및 다른 바람직한 특징을 용이하게 하기 위한 빔 특성화 도구의 사용과 관련된다. 다른 실시예는 적분구를 포함하는 레이저 출력 센서에 관한 것이다. 또 다른 실시예는 공통 레이저 가공 장치에 상이한 작업물을 동시에 제공할 수 있는 작업물 핸들링 시스템에 관한 것이다. 다수의 다른 실시예 및 설비도 상세하게 설명된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B23K 26/0643 (2013.01)

B23K 26/0648 (2013.01)

B23K 26/073 (2013.01)

B23K 26/082 (2015.10)

(72) 발명자

로버트, 제이크

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

해스티, 조셉

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

브룩카이지, 제임스

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

로트, 제프리

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

매이거스, 제이콥

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

런델, 잭

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

클레이너트, 장

미국 오리건주 97229 포트랜드 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브 13900 일렉트로 싸이언티픽 인터스트리이즈 인코포레이티드 내

명세서

청구범위

청구항 1

빔 경로를 따라 전파되는 레이저 에너지로 작업물을 가공하기 위한 장치에 있어서, 상기 장치는:

레이저 에너지를 생성하도록 작동하는 레이저원 - 상기 레이저 에너지는 빔 경로를 따라 전파될 수 있음 -;

상기 빔 경로 내에 배치되고 상기 레이저 에너지를 회절시키도록 작동하는 음향 광학 편향기(Acousto-Optic Deflector; AOD) 시스템; 및

드라이버(driver)를 통해 상기 AOD 시스템에 통신 가능하게 결합된 제어기를 포함하고,

상기 제어기는, 상기 드라이버로 하여금 비선형적으로 처핑된(chirped) RF 신호를 출력하게 함으로써, 상기 작업물에서 상기 레이저 에너지의 스폿 크기 및 스폿 형상으로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나를 변경하도록 상기 AOD 시스템을 제어하도록 작동하는, 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어기는, 상기 드라이버로 하여금 제1 기간 동안 제1 속도로 처핑되고 상기 제1 기간 이후의 제2 기간 동안 제2 속도로 처핑된 RF 신호를 출력하도록 작동하는, 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 속도는 상기 제2 속도보다 빠른, 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1 속도는 상기 제2 속도보다 느린, 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 AOD 시스템은:

제1 AOD; 및

제2 AOD를 포함하고,

상기 제1 AOD 및 상기 제2 AOD는 2차원의 스캔 필드 내에서 상기 빔 경로를 편향시키도록 배열되고 작동하는, 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 레이저 에너지는 전자기 스펙트럼의 자외선 범위의 파장을 갖는, 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 레이저 에너지는 전자기 스펙트럼의 적외선 범위의 파장을 갖는, 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 레이저 에너지는 전자기 스펙트럼의 가시광선 범위의 파장을 갖는, 장치.

청구항 9

드라이버에 의해 구동되고 레이저 에너지를 회절시키도록 작동하는 AOD를 위한 제어기로서, 상기 제어기는:
적어도 하나의 프로세서; 및
상기 적어도 하나의 프로세서에 의해 접근 가능한 컴퓨터 메모리를 포함하고,
상기 컴퓨터 메모리에는 상기 적어도 하나의 프로세서에 의해 실행되는 명령어가 저장되고, 상기 명령어는, 상기 드라이버로 하여금 비선형적으로 처핑된 RF 신호를 출력하게 함으로써, 상기 제어기로 하여금 AOD 시스템으로부터 원격인 위치에서 상기 레이저 에너지의 스폿 크기 및 스폿 형상으로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나를 변경하도록 상기 AOD 시스템을 제어하는, 제어기.

청구항 10

제9항에 있어서,
상기 제어기는, 상기 드라이버로 하여금 제1 기간 동안 제1 속도로 처핑되고 상기 제1 기간 이후의 제2 기간 동안 제2 속도로 처핑된 RF 신호를 출력하도록 작동하는, 제어기.

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 제1 속도는 상기 제2 속도보다 빠른, 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,
상기 제1 속도는 상기 제2 속도보다 느린, 장치.

청구항 13

제9항에 따른 명령어가 저장된 비일시적 컴퓨터 판독가능 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련된 출원에 대한 상호참조

[0002] 이 출원은 2018년 6월 5일에 출원된 미국 가출원 제62/680,856호 및 2018년 6월 22일에 출원된 미국 가출원 제 62/688,484호의 이익을 주장하며, 각각은 그 전체로서 참조로 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본원에서 논의되는 실시예는 일반적으로 작업물을 레이저 가공하는 장치에 관한 것이며, 더 구체적으로, 빔 특성화 도구를 통합하는 레이저 가공 장치, 그 장치의 작동 방법 및 이를 사용하여 작업물을 레이저 가공하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 작업물을 레이저 가공할 때, 작업물에서 레이저 에너지 입사 빔의 초점 크기와 형상을 아는 것은 플루언스(즉, 단위 면적당 에너지)를 계산하고 강건한 공정을 정의하는 데 중요하다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, 레이저 가공 장치의 특성에 대한 설계 공차와 시간 경과에 따른 환경 변화, 취급 및 오염으로 인한 장치 및 작업물 특성의 약간의 변화에 걸쳐 원하는 품질 사양을 충족할 수 있는 경우 공정은 "강건"하다.

[0006] 집속된 레이저 스폿 크기와 형상은 일반적으로 레이저 가공 장치 내의 광학 장치가 처음 설치되고 적절하게 정렬된 직후에 잘 정의된다. 그러나 가공 중 및/또는 레이저 및 레이저 가공 장치가 시간, 온도 변동, 기계적 진동 및 응력, 광학적 오염에 영향을 받은 후에 집속되지 않은 레이저 스폿이 사용되면, 작업물에서 레이저 스폿 크기와 형상이 변할 수 있다. 예를 들어, 집속되지 않은 레이저 스폿을 사용하면, 주로 빔 "웨이트(waist)"에 나타나는 레이저 내의 자연적인 난시 때문에 집속된 레이저 스폿을 사용할 때보다 유효 스폿 크기에 더 많은 변화가 있을 것이다. 또한 레이저 수명 동안, 레이저 스폿 출력이 저하되어, 작업물에서의 스폿 크기와 형상이 바람직하지 않게 변경될 수 있다. 다음으로, 광학 빔 전달 시스템이 있는 레이저 시스템은 온도 변동과 기계적 진동 및 응력을 받기 때문에, 레이저 가공 장치와 레이저 자체의 광학 및 광학 마운트가 미세하게 이동하여, 작업물에서의 스폿 크기가 달라질 수 있다. 마지막으로, 광학 장치가 파편, 먼지, 기름 및 기타 환경오염 물질로 오염되면, 빔이 장치 내의 빔 경로를 따라 왜곡되어 작업물에서 스폿 크기와 스폿 형상이 변동될 수 있다.

[0007] 레이저 스폿 크기 및 형상을 모니터링하고 그 변화를 줄이거나 보상하기 위한 기존 기술은 다음 중 하나 이상을 포함한다: 스폿 크기의 변화 보상을 위해 작업물에 전달되는 레이저 펄스의 플루언스(에너지/단위영역)를 조정하기 위해 레이저 출력을 모니터링하는 것 및 제어하는 것; 펄스 에너지 일관성을 보장하기 위해 안정적인 펄스 에너지를 갖는 것으로 알려진 레이저를 사용하는 것; 빔 크기/형상의 가변성이 낮은 것으로 알려진 안정적인 레이저를 사용하는 것; 스폿 크기/형상의 일부 변동성을 줄이기 위하여 강건한 광학 설계를 사용하는 것; 광학 장치 이동으로 인한 환경적 빔 품질 변화를 방지하기 위하여 강건한 기계 설계를 사용하는 것; 레이저 가공 장치의 설정 또는 설치 동안 강건한 광학 장치 정렬 방식을 사용하여 스폿 크기가 하나의 레이저 가공 장치로부터 다음 장치까지 만족스럽게 일치하는지를 확인하는 것; 다양한 스폿 특성, 전력 변동 및 빔 위치 변동에도 불구하고 더욱 강건하고 만족할 만한 품질을 제공할 수 있는 레이저 가공 레시피를 개발하는 것(일반적으로 가공 레시피로 강건하게 만들 수 있는 정도에는 제한이 있음). 공정 강건성과 공정 생산성 사이에는 역(inverse) 관계가 있다. 공정이 강건해짐에 따라 공정의 속도/생산성은 일반적으로 감소한다.

[0008] 상대적으로 얇고 유연한 작업물("웹(web)"이라고도 알려짐)을 레이저 가공하기 위한 시스템 또는 장치는 때때로 (예를 들어, 웹이 레이저 가공될 수 있도록) 웹을 레이저 가공 장치로 안내하고 레이저 가공된 웹을 장치로부터 제거하도록 구성되는 핸들링 시스템이 제공되거나 이와 함께 사용될 수 있다. 그러나 기존의 핸들링 시스템은 한 번에 한 가지 유형의 웹 재료만 핸들링할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 종래의 레이저 가공 장치는 일반적으로 레이저 가공 전에 웹을 척 또는 다른 고정물에 고정할 다음 레이저 가공 중에 고정물을 이동(따라서 웹 이동)한다. 따라서, 일부 종래의 핸들링 시스템은 고정물이 움직일 때 웹이 늘어지는 것을 잡아 올리도록(또는 분배하도록) 작동하는 댄서 롤러 어셈블리를 통합하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 고정물의 이동과 댄서 어셈블리의 롤러 이동 사이에 지연이 있을 수 있으며, 이로 인해 웹에 바람직하지 않은 장력 또는 변형이 발생하여 웹이 손상될 수 있다.

발명의 내용

[0009] 일 실시예에서, 작업물 가공용 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; 빔 경로 내에 배열되고 레이저 에너지의 빔이 전파될 수 있는 빔 경로를 편향시키도록 작동하는 AOD 시스템; 광학적으로 AOD 시스템의 다운스트림에 배열되는 빔 스플리터-빔 스플리터는 AOD 시스템으로부터 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 제1 부분을 반사하고 AOD 시스템으로부터 빔 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 제2 부분을 투과하도록 구성되며, 레이저 에너지의 빔의 제1 부분은 제1 경로를 따라 전파하고, 레이저 에너지의 빔의 제2 부분은 제2 경로를 따라 전파함; 및 제2 경로 내에 배열되는 레이저 센서 시스템-레이저 센서 시스템은 제2 경로를 따라 전파하는 레이저 에너지를 측정하도록 구성됨-을 포함한다.

[0010] 다른 실시예에서, 작업물 가공용 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; 빔 경로 내에 배열되며 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 작동하는 스캔 렌즈; 작업물을 지지하도록 작동하는 위치 지정기; 및 위치 지정기에 결합되는 빔 특성화 도구를 포함한다. 빔 특성화 도구는: 기관 상에 배열된 복수의 타겟을 갖는 토큰(token)-타겟은 레이저 에너지의 빔에 대해 비투과성인 물질로 형성되고 기관은 타겟 보다 레이저 에너지의 빔에 대해 더 투과성인 물질로 형성됨; 광학적으로 토큰의 다운스트림에 배열되는 광검출기; 및 토큰과 광검출기 사이에 배열되는 광학 필터-광학 필터는 광학 필터에 의해 전송된 레이저 에너지의 빔이 광 검출기가 손상될 임계 플루언스 미만의 플루언스로 광 검출기를 조사하도록 기관에 의해 전송되는 레이저 에너지를 감소시키도록 구성됨-를 포함할 수 있다. 위치 지정기는 스캔 렌즈에 의해 투영되는 스캔 필드 내에 빔 특성화 도구를 배치하도록 작동한다.

- [0011] 다른 실시예에서, 작업물 가공용 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; 빔 경로 내에 배열되며 레이저 에너지의 빔을 집속하도록 작동하는 스캔 렌즈; 작업물을 지지하도록 작동하는 위치 지정기; 및 위치 지정기에 결합되는 빔 특성화 도구를 포함한다. 빔 특성화 도구는: 기관 상에 배열된 복수의 타겟을 갖는 토큰-타겟은 레이저 에너지의 빔에 대해 비투과성인 물질로 형성되고 기관은 타겟에 비해 레이저 에너지의 빔에 대해 더 투과성인 물질로 형성됨; 광학적으로 토큰의 다운스트림에 배열되는 광검출기; 및 토큰과 광검출기 사이에 배열되는 광학 필터-광학 필터는 광학 필터에 의해 전송된 레이저 에너지의 빔이 광 검출기가 손상될 임계 플루언스 미만의 플루언스로 광 검출기를 조사하도록 기관에 의해 전송되는 레이저 에너지를 감소시키도록 구성됨-를 포함할 수 있다. 위치 지정기는 스캔 렌즈에 의해 투영되는 스캔 필드 내에 빔 특성화 도구를 배치하도록 작동한다.
- [0012] 다른 실시예에서, 웹 재료로 제공되는 작업물 가공용 시스템은 레이저 가공 장치 및 작업물 핸들링 시스템을 포함한다. 상기 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; 및 빔 경로와 교차하는 위치에서 작업물을 고정하도록 작동하는 고정구-고정구는 제1 방향을 따라 이동 가능함-를 포함한다. 상기 작업물 핸들링 시스템은: 작업물의 재료 롤을 지지하도록 작동하는 풀기 스펀들-풀기 스펀들은 작업물을 레이저 가공 장치에 공급하도록 작동함; 작업물의 재료 롤을 지지하도록 작동하는 되감기 재료 롤-되감기 스펀들은 레이저 가공 장치로부터 작업물을 수용하도록 작동함; 및 이동 가능한 프레임 및 프레임에 결합된 댄서 롤러를 포함하는 댄서 어셈블리를 포함한다. 댄서 어셈블리는 작업물의 제1 부분이 고정구에 고정될 때, 작업물의 제2 부분이 댄서 롤러 주위에 부분적으로 감기도록 배열된다. 프레임은 풀기 스펀들 및 되감기 스펀들로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나에 대해 이동 가능하며, 댄서 롤러는 프레임에 대해 이동 가능하다.
- [0013] 다른 실시예에서, 웹 재료로 제공되는 작업물 가공용 시스템은 레이저 가공 장치 및 작업물 핸들링 시스템을 포함한다. 상기 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 가공 영역을 통해 빔 경로를 따라 전파될 수 있으며, 가공 영역은 여러 작업물을 동시에 수용하도록 크기가 조정됨-을 포함한다. 상기 작업물 핸들링 시스템은: 제1 작업물을 레이저 가공 장치에 공급하거나 레이저 가공 장치로부터 제1 작업물을 수용하도록 작동하는 제1 스펀들; 및 제2 작업물을 레이저 가공 장치에 공급하거나 레이저 가공 장치로부터 제2 작업물을 수용하도록 작동하는 제2 스펀들을 포함한다.
- [0014] 다른 실시예에서, 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; (a) 레이저 에너지의 빔의 편향, (b) 빔 경로를 따라 레이저 에너지의 빔의 빔 웨이스트의 위치 조정, (c) 레이저 에너지의 빔의 출력 조정, 및 (d) 레이저 에너지 스캔 렌즈의 빔의 빔 크기 조정으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나의 동작을 레이저 에너지의 빔에 대해 수행하도록 작동하는 적어도 하나의 구성요소; 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 특성을 측정하고 하나 이상의 측정된 빔 특성을 나타내는 측정 데이터를 생성하도록 작동하는 빔 특성화 도구; 및 적어도 하나의 프로세서를 포함한다. 상기 적어도 하나의 프로세서는: 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 측정된 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값을 얻기 위해 측정 데이터를 처리하고; 하나 이상의 측정 값이 임계 가공 공차를 벗어날 때 하나 이상의 제어 신호를 적어도 하나의 구성요소에 출력하도록 작동한다. 하나 이상의 제어 신호는 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 측정된 특성이 상기 임계 가공 공차 내에 있게 되도록 적어도 하나의 구성요소가 레이저 에너지의 빔에 대해 적어도 하나의 작동을 수행하게 하도록 구성된다.
- [0015] 다른 실시예에서, 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; (a) 레이저 에너지의 빔의 편향, (b) 빔 경로를 따라 레이저 에너지의 빔의 빔 웨이스트의 위치 조정, (c) 레이저 에너지의 빔의 출력 조정, 및 (d) 레이저 에너지 스캔 렌즈의 빔의 빔 크기 조정으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나의 동작을 레이저 에너지의 빔에 대해 수행하도록 작동하는 적어도 하나의 구성요소; 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 공간적 특성 및 하나 이상의 에너지 특성을 측정하고 하나 이상의 측정된 특성을 나타내는 측정 데이터를 생성하도록 작동하는 빔 특성화 도구; 및 적어도 하나의 프로세서를 포함한다. 상기 적어도 하나의 프로세서는: 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 측정된 공간적 특성 및 하나 이상의 측정된 에너지 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값을 얻기 위해 측정 데이터를 처리하고; 하나 이상의 측정된 공간적 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값이 제1 임계 가공 공차를 벗어나고 하나 이상의 측정된 에너지 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값이 제2 임계 가공 공차를 벗어날 때 하나 이상의 제어 신호를 적어도 하나의 구성요소에 출력하도록 작동한다. 하나 이상의 제어 신호는 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 측정된 에너지 특성이 제2 임계 가공 공차 내에 있게 되도록 적어도 하나의 구성요소가 레이저 에너지의 빔에 대해 적어도 하나의 작동을 수행하게 하도록 구성된다.

[0016] 다른 실시예에서, 작업물을 가공하기 위한 레이저 가공 장치는: 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 레이저원-레이저 에너지의 빔은 빔 경로를 따라 전파될 수 있음; 빔 경로와 작업물 사이에 상대적인 이동을 제공하도록 작동하는 적어도 하나의 위치 지정기; 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 공간적 특성을 측정하고 하나 이상의 측정된 특성을 나타내는 측정 데이터를 생성하도록 작동하는 빔 특성화 도구; 및 적어도 하나의 프로세서를 포함한다. 상기 적어도 하나의 프로세서는: 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 측정된 공간적 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값을 얻기 위해 측정 데이터를 처리하고; 하나 이상의 측정된 공간적 특성과 연관된 하나 이상의 측정 값이 임계 가공 공차를 벗어날 때 하나 이상의 제어 신호를 적어도 하나의 위치 지정기에 출력하도록 작동한다. 상기 하나 이상의 제어 신호는 빔 경로와 작업물 사이의 상대적인 이동이 적어도 하나의 위치 지정기에 의해 제공되는 동안 하나 이상의 위치 지정기가 레이저 에너지의 빔에 의해 조명되는 가공 스폿이 스캔되는 궤적을 수정하게 하도록 구성된다.

[0017] 다른 실시예에서, 빔 위치 지정 시스템은: 축을 따라 레이저 에너지의 빔을 편향 시키도록 배열되고 구성되는 음향 광학 편향기(AOD); AOD에 의해 편향된 레이저 에너지의 빔을 축을 따라, 시간의 함수로서 정현파 방식으로, 편향시키도록 배열되고 구성되는 공진 스캐닝 미러 시스템; 및 AOD 및 공진 스캐닝 미러에 의해 순차적으로 편향될 수 있는 레이저 에너지의 빔이 시간의 함수로서 비정현파 방식으로 편향될 수 있도록 AOD의 작동을 제어하도록 구성되는 제어기를 포함한다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 일 실시예에 따른 레이저 가공 장치를 개략적으로 도시한다.
- 도 2 및 도 3은 일 실시예에 따른, 빔 특성을 측정하기 위하여 장착된 빔 특성화 도구를 갖는 제3 위치 지정기(110)의 작동을 개략적으로 도시한다.
- 도 4는 일 실시예에 따른, 도 2 및 도 3에 나타난 빔 특성화 도구를 개략적으로 도시한다.
- 도 5는 다른 실시예에 따른, 도 4에 나타난 빔 특성화 도구의 기판 상의 타겟의 배열을 개략적으로 도시한다.
- 도 6은 다른 실시예에 따른, 도 2 및 도 3에 나타난 빔 특성화 도구를 개략적으로 도시한다.
- 도 7은 일 실시예에 따른 레이저 센서 시스템을 포함하는 레이저 가공 장치를 개략적으로 도시한다.
- 도 8은 일 실시예에 따른 작업물 핸들링 시스템을 개략적으로 도시한다.
- 도 9는 일 실시예에 따른, 도 8에 나타난 작업물 핸들링 시스템의 덴서 어셈블리를 개략적으로 도시한다.
- 도 10은 다른 실시예에 따른 덴서 어셈블리를 개략적으로 도시한다.
- 도 11은 다른 실시예에 따른 작업물 핸들링 시스템의 풀기 어셈블리를 개략적으로 도시한다.
- 도 12 및 도 13은 각각, 도 11과 도 12에 나타난, XII-XII' 및 XIII-XIII' 선을 따라 각각 취해진 다양한 평면도를 개략적으로 도시한다.
- 도 14는 레이저 펄스가 공진 스캐닝 미러 시스템에 의해 편향된 후, 일정한 펄스 반복률로 작업물에 전달되는 레이저 펄스에 의해 조사되는 가공 스폿의 배열을 개략적으로 도시한다.
- 도 15는 일 실시예에 따라, 레이저 펄스가 공진 스캐닝 미러 시스템 및 공진 스캐닝 미러 시스템의 정현파 진동을 보상하도록 구성된 다른 위치 지정기에 의해 편향된 후, 일정한 펄스 반복률로 작업물에 전달되는 레이저 펄스에 의해 조사되는 가공 스폿의 배열을 개략적으로 도시한다.
- 도 16 내지 도 19는 피처(feature) 형성을 위한 스캔 패턴의 예를 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 예시적인 실시예가 첨부 도면을 참조하여 본원에서 설명된다. 달리 명시하지 않는 한, 도면에서 구성요소, 피처(feature), 요소 등의 크기, 위치 등과 이들 사이의 거리는 축척대로 도시된 것은 아니고, 명료화를 위해 과장된다. 도면에서 전체에 걸쳐 같은 숫자는 같은 요소를 나타낸다. 따라서, 동일하거나 유사한 번호는 해당 도면에서 언급되거나 설명되지 않은 경우에도 다른 도면을 참조하여 설명될 수 있다. 또한, 참조 번호로 표시되지 않은 요소도 다른 도면을 참조하여 설명할 수 있다.

[0020] 본원에서 사용되는 용어는 예시적인 특정 실시예를 설명하기 위한 것이며, 제한하고자 하는 의도가 아니다. 달

리 정의되지 않는 한, (기술적이거나 과학적인 용어를 포함하여) 본원에서 사용되는 모든 용어는 당업자가 일반적으로 이해하는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, 단수 형태 "하나의(a, an)" 및 "그(the)"는 문맥상 달리 명확하게 나타내지 않는 한, 복수 형태도 포함하도록 의도된다. 본 명세서에서 사용될 때, "포함하다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는 언급된 피처, 정수, 단계, 작동, 요소 및/또는 구성요소의 존재를 지정하지만 하나 이상의 다른 피처, 정수, 단계, 작동, 요소, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 것을 인식하여야 한다. 달리 명시되지 않는 한, 값의 범위가 언급될 때 범위의 그 상한치 및 하한치 둘 다는 물론, 이들 사이의 하위범위(sub-range)를 모두 포함한다. 달리 명시되지 않는 한, "제1", "제2" 등과 같은 용어는 한 요소를 다른 요소와 구별하는 데에만 사용된다. 예를 들어, 하나의 노드는 "제1 노드"로 명명될 수 있고 유사하게 다른 노드는 "제2 노드"로 명명될 수 있으며 그 반대로도 될 수 있다.

[0021] 달리 지시되지 않는 한, 용어 "약", "대략" 등은 양, 크기, 제형(formulation), 파라미터 및 기타 수량 및 특성이 정확하지 않고 정확할 필요도 없지만, 바람직한 경우, 반영 공차(reflecting tolerance), 변환 인자, 반올림, 측정 오차 등 및 당업자에게 알려진 다른 인자에 대한 근사치이거나 및/또는 이보다 크거나 더 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 쉽게 설명하기 위하여 본원에서 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시된 배향에 더하여 상이한 배향을 포함하도록 의도된다는 것을 인식해야 한다. 예를 들어, 도면에 도시된 객체가 뒤집힌 경우, 다른 요소 또는 피처 "아래의" 또는 "아래쪽"으로 설명된 요소가 다른 요소 또는 피처의 "위"로 배향될 것이다. 따라서, 예시적인 용어 "아래의"는 위 및 아래의 배향 둘 다를 포함할 수 있다. 객체는 다르게 배향될 수 있고(예를 들어, 90도 회전되거나 다른 배향으로), 본원에서 사용되는 공간적으로 상대적인 설명자는 그에 따라 해석될 수 있다.

[0022] 본원에 사용된 섹션 제목은 구성 목적으로만 사용되며, 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 설명된 주제를 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다. 본 개시의 사상 및 교시에서 벗어나지 않고 많은 상이한 형태, 실시예 및 조합이 가능하며, 따라서 본 개시는 본원에 설명된 예시적인 실시예에 제한되는 것으로 해석되어서는 안된다는 것을 이해할 것이다. 오히려, 이러한 예 및 실시예는 본 개시를 철저하고 완전하게 하며, 본 개시의 범위를 당업자에게 전달하도록 제공된다.

[0023] I. 개요

[0024] 본원에 설명된 실시예는 일반적으로 작업물을 레이저 가공(또는 더 간단하게 "가공")하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다. 일반적으로 가공은, 가열, 용해, 기화, 삭마, 균열(crack), 변색, 연마, 거칠게하기, 탄화, 발포 또는 그밖에 작업물이 형성되는 하나 이상의 재료의 속성 또는 특성(예를 들어, 화학 조성, 원자 구조, 이온 구조, 분자 구조, 전자 구조, 미세 구조, 나노 구조, 밀도, 점도, 굴절률, 자기 투과성, 비유전율, 질감, 색상, 경도, 전자기 복사에 대한 투과율 등 또는 이들의 조합)을 수정하기 위하여 레이저 광선으로 작업물을 조사함으로써 전체적 또는 부분적으로 수행된다. 가공될 재료는 가공 전 또는 가공 중에 작업물 외부에 존재할 수 있거나, 가공 전 또는 가공 중에 완전히 작업물 내에 위치할 수 있다(즉, 작업물 외부에 존재하지 않음).

[0025] 레이저 가공을 위해 개시된 장치에 의해 수행될 수 있는 공정의 특정 예에는 비아 드릴링(via drilling) 또는 기타 홀 형성, 절단, 천공, 용접, 스크라이빙(scribing), 인그레이빙(engraving), 마킹(예를 들어, 표면 마킹, 표면 아래 마킹 등), 레이저 유도 전방 전사, 세척, 표백, 밝은 픽셀 수리(예를 들어, 컬러 필터 암처리, OLED 재료의 수정 등), 디코팅, 표면 텍스처링(예를 들어, 거칠게하기, 평활화 등) 등 또는 기타 이들의 조합이 포함된다. 따라서, 가공의 결과로 작업물 상에 또는 내부에 형성될 수 있는 하나 이상의 피처(feature)는 개구, 슬롯, 비아 또는 다른 홀, 홈(groove), 트렌치(trench), 스크라이브 라인, 커프(kerf), 오목 영역, 전도성 트레이스(trace), 옴 접촉(ohmic contact), 레지스트 패턴(resist pattern), 인간 또는 기계 관독 가능 표시(예를 들어, 하나 이상의 시각적 또는 질감으로 구별되는 특성을 갖는 작업물 내 또는 작업물 상의 하나 이상의 영역으로 구성됨) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 개구, 슬롯, 비아, 홀 등과 같은 피처는 평면도에서 볼 때 임의의 적합하거나 바람직한 형상(예를 들어, 원형, 타원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 환형 등 또는 이들의 조합)을 가질 수 있다. 또한, 개구, 슬롯, 비아, 홀 등과 같은 피처는 작업물을 통해(예를 들어, 소위 "관통 비아", "관통 홀" 등을 형성하도록) 완전히 연장되거나 작업물을 통해(예를 들어, 소위 "블라인드 비아", "블라인드 홀" 등을 형성하도록) 부분적으로만 연장될 수 있다.

[0026] 가공될 수 있는 작업물은 일반적으로 하나 이상의 금속, 폴리머, 세라믹, 복합재 또는 이들의 임의의 조합(예를 들어, 합금, 화합물, 혼합물, 용액, 복합재 등)으로 형성되는 것을 특징으로 할 수 있다. 따라서, 가공될 수 있

는 재료는 Al, Ag, Au, Cr, Cu, Fe, In, Mg, Mo, Ni, Pt, Sn, Ti 등과 같은 하나 이상의 금속 또는 이들의 조합(예를 들어, 합금, 복합체 등), 전도성 금속 산화물(예를 들어, ITO 등), 투명 전도성 폴리머, 세라믹, 왁스, 수지, 층간 유전체 재료(예를 들어, 산화규소, 질화규소, 산질화규소 등), 메틸 실세스퀴옥산(MSQ), 하이드로젠 실세스퀴옥산(HSQ), 플루오르화 테트라에틸 오르토실리케이트(FTEOS) 등과 같은 저유전율 유전체 재료 또는 이들의 임의의 조합, 유기 유전체 재료(예를 들어, SILK, 벤조시클로부텐, 노틸러스(모두 다우(Dow)사에서 제조), 폴리플루오로테트라에틸렌(듀퐁(DuPont)사에서 제조), FLARE(얼라이드 케미컬(Allied Chemical)사에서 제조) 등 또는 이들의 임의의 조합), 반도체 또는 광학 디바이스 기판 재료(예를 들어, Al₂O₃, AlN, BeO, Cu, GaAs, GaN, Ge, InP, Si, SiO₂, SiC, Si_{1-x}Ge_x(여기에서 0.0001 <x <0.9999) 등 또는 이들의 임의의 조합 또는 합금), 유리(예를 들어, 용융 석영, 소다 석회-실리카 유리, 나트륨 붕규산 유리, 산화납 유리, 알루미늄 실리케이트 유리, 산화게르마늄 유리, 알루미늄이트 유리, 인산염 유리, 붕산염 유리, 칼코게나이드 유리, 비정질 금속 등 또는 이들의 임의의 조합), 사파이어, 폴리머 재료(예를 들어, 폴리아미드, 폴리이미드, 폴리에스테르, 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리아세탈, 폴리카보네이트, 개질된 폴리페닐렌 에테르, 폴리부틸렌 테레프탈레이트, 폴리페닐렌 황화물, 폴리에테르 술폰, 폴리에테르 이미드, 폴리에테르 에테르 케톤, 액정 중합체, 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌 또는 이들의 임의의 화합물, 복합체 또는 합금), 가죽, 종이, 빌드업 재료(예를 들어, "ABF"로도 알려진 AJINOMOTO 빌드업 필름 등), 솔더 레지스트 등 또는 이들의 임의의 복합체, 라미네이트, 또는 이들의 다른 조합을 포함한다.

[0027] 가공될 수 있는 작업물의 특정한 예는 인쇄 회로 기판(PCB)의 패널(본원에서 "PCB 패널"이라고도 함), PCB, PCB 라미네이트(예를 들어, FR4, 고 Tg 에폭시, BT, 폴리이미드 등 또는 이들의 임의의 조합), PCB 라미네이트 프리프레그, 기판형 PCB(SLP), 연성 인쇄 회로(FPC) 패널(본원에서 "FPC 패널"이라고도 함), FPC, 커버레이 필름, 집적 회로(IC), IC 기판, IC 패키지(ICP), 발광 다이오드(LED), LED 패키지, 반도체 웨이퍼, 전자 또는 광학 디바이스 기판, 인터포저, 리드 프레임, 리드 프레임 블랭크, 디스플레이 기판(예를 들어, 그 위에 형성된 TFT, 컬러 필터, 유기물 LED(OLED) 어레이, 퀀텀 닷 LED 어레이 등 또는 이들의 임의의 조합을 갖는 기판), 렌즈, 거울, 터빈 블레이드, 분말, 필름, 호일, 플레이트, 몰드(예를 들어, 왁스 몰드, 사출 성형 공정, 매몰 주조(investment-casting) 공정 등을 위한 몰드), 직물(직조, 펠트 등), 수술 기구, 의료용 임플란트, 소비재, 신발, 자전거, 자동차, 자동차 또는 항공기 부품(예를 들어, 프레임, 바디 패널 등), 가전 제품(예를 들어, 전자레인지, 오븐, 냉장고 등), 디바이스 하우징(예를 들어, 시계, 컴퓨터, 스마트폰, 태블릿 컴퓨터, 웨어러블 전자 디바이스 등 또는 이들의 조합)을 포함한다.

[0028] II. 시스템-개요

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 가공 장치를 개략적으로 도시한다.

[0030] 도 1에 나타난 실시예를 참조하면, 작업물(102) 가공용 레이저 가공 장치(100)(또한 본원에서 단순히 "장치"로도 지칭된다)는 레이저 에너지의 빔을 생성하는 레이저원(104), 하나 이상의 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 또는 이의 임의의 조합) 및 스캔 렌즈(112)를 포함하는 것으로 특징지어질 수 있다.

[0031] 스캔 렌즈(112)를 통해 빔 경로(116)를 따라 전송된 레이저 에너지는 빔 축(118)을 따라 전파되어 상기 작업물(102)로 전달된다. 빔 축(118)을 따라 전파되는 레이저 에너지는 가우시안 유형(Gaussian-type) 공간적 강도 프로파일 또는 비-가우시안 유형(즉, "성형된") 공간적 강도 프로파일(예를 들어, "탑햇(top-hat)" 공간적 강도 프로파일)을 갖는 것으로 특징지어질 수 있다. 공간적 강도 프로파일의 유형에 관계없이, 공간적 강도 프로파일은 빔 축(118)(또는 빔 경로(116))을 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔의 형상(즉, 본원에서는 "스폿 형상"이라고도 하는 단면 형상)으로 특징지어질 수도 있으며, 이는 원형, 타원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 육각형, 링형 등이거나 임의의 형상일 수 있다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, "스폿 크기"라는 용어는 전달된 레이저 에너지의 빔에 의해 적어도 부분적으로 가공될 작업물(102)의 영역과 빔 축(118)이 교차하는 위치(또한 "가공 스폿", "스폿 위치" 또는 더 간단하게 "스폿"이라고도 함)에서 전달되는 레이저 에너지의 빔의 직경 또는 최대 공간 폭을 의미한다. 본원에서 논의의 목적으로, 스폿 크기는 빔 축(118)으로부터 광 강도가 빔 축(118)에서의 광 강도의 적어도 1/e²로 떨어지는 곳까지의 방사 또는 횡단 거리로 측정된다. 일반적으로, 레이저 에너지의 빔의 스폿 크기는 빔 웨이스트에서 최소가 된다. 일단 작업물(102)에 전달되면, 빔 내의 레이저 에너지는 2 μ m 내지 200 μ m 범위의 스폿 크기로 작업물(102)에 충돌하는 것으로 특징지어질 수 있다. 그러나, 스폿 크기는 2 μ m보다 작거나, 또는 200 μ m보다 크게 생성될 수 있음을 이해할 것이다. 따라서, 작업물(102)에 전달되는 레이저 에너지의 빔은 2 μ m, 3 μ m, 5 μ m, 7 μ m, 10 μ m, 15 μ m, 30 μ m, 35 μ m, 40 μ m, 45 μ m, 50 μ m, 55 μ m, 80

μm , $100\ \mu\text{m}$, $150\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}$ 등보다 크거나 작거나 같은 또는 임의의 이들 값 사이의 스폿 크기를 가질 수 있다.

[0032] 일반적으로, 전술한 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 및 제3 위치 지정기(110))는 스폿과 작업물(102) 사이의 상대적 위치를 변경하도록 구성된다. 다음 설명을 고려하여, 장치(100)가 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110) 또는 이들의 조합을 포함한다면, 제1 위치 지정기(106)의 포함은 선택 사항임을 인식할 것이다(즉, 장치(100)가 제1 위치 지정기(106)를 포함할 필요는 없음). 유사하게, 장치(100)가 제1 위치 지정기(106), 제3 위치 지정기(110), 또는 이들의 조합을 포함한다면, 제2 위치 지정기(108)의 포함은 선택 사항임을 인식할 것이다. 마지막으로, 장치(100)가 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 또는 이들의 조합을 포함하면, 제3 위치 지정기(116)의 포함은 유사하게 선택 사항임을 인식할 것이다.

[0033] 장치(100)는 또한 레이저원(104)으로부터 획득된 레이저 에너지의 빔을 하나 이상의 빔 경로(예를 들어, 빔 경로(116))를 따라 스캔 렌즈(112)로 집속, 확장, 시준(collimate), 성형(shape), 편광, 필터링, 분할, 결합, 크롭(crop), 또는 다른 방식으로 변형, 조절(condition), 지향 등을 위한 하나 이상의 광학 구성요소(예를 들어, 빔 확장기(beam expander), 빔 성형기(beam shaper), 개구, 필터, 시준기, 렌즈, 미러, 편광기, 파장판, 회절 광학 요소, 굴절 광학 요소 등 또는 이들의 임의의 조합)을 포함한다. 이러한 광학 구성요소는 임의의 적합하거나 원하는 위치(예를 들어, 레이저원(104)과 제1 위치 지정기(106) 사이, 레이저원(104)과 제2 위치 지정기(108) 사이, 제1 위치 지정기(106)와 제2 위치 지정기(108) 사이, 제2 위치 지정기(108)와 스캔 렌즈(112) 사이 등 또는 이들의 임의의 조합)에서 빔 경로(116)에 삽입될 수 있다.

[0034] 이러한 광학 구성요소의 한 예는 빔 경로(116)를 따라 전파하는 레이저 펄스의 출력을 선택적이고 가변적으로 감소시키도록 구성되는 가변 광학 감쇠기(VOA)이다. 통합될 수 있는 VOA의 예는 가변 중성 밀도 필터, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), AO 편향기(AOD), 액정 가변 감쇠기(LCVA), 미세 전자 기계 시스템(MEMS) 기반 VOA, 광학 감쇠기 휠, 편광판/파장판 필터 등 또는 이들의 조합과 같은 하나 이상의 시스템을 포함한다.

[0035] 이러한 광학 구성요소의 또 다른 예는 스캔 렌즈(112)에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 크기(본원에서 "빔 크기"라고도 함)를 선택적이고 가변적으로 조정하도록 작동하는 빔 크기 조정 메커니즘이다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, 용어 "빔 크기"는 레이저 에너지의 빔의 직경 또는 폭을 나타내며, 빔 축(118)으로부터 빔 경로(116)를 따라 전파하는 축에서의 광 강도의 적어도 $1/e^2$ 로 광 강도가 떨어지는 곳까지의 방사 또는 횡단 거리로 측정할 수 있다. 통합될 수 있는 빔 크기 조정 메커니즘의 예로는 AOD 시스템, 줌 렌즈, 전동 가변 빔 확장기, 변형 가능한 미러, 가변 반경 미러, 가변 초점 모아레(*moiré*) 렌즈, 전동 Z축 렌즈, 전동 조리개, 전동 조리개 휠 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 스캔 렌즈(112)에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 빔 크기를 조정하면 작업물(102)에서 스폿 크기를 변경할 수 있다.

[0036] 이러한 광학 구성요소의 다른 예는 스캔 렌즈(112)에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 형상(본원에서는 "빔 형상"이라고도 함)을 선택적이고 가변적으로 조정하도록 작동하는 빔 형상 조정 메커니즘이다. 통합될 수 있는 빔 형상 조정 메커니즘의 예는 AOD, 변형 가능한 미러, 가변 반경 미러, 가변 초점 모아레 렌즈 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 스캔 렌즈(112)에 입사하는 레이저 에너지의 빔의 빔 형상을 조정하면 작업물(102)에서 스폿 형상을 변경할 수 있다.

[0037] A. 레이저원

[0038] 일 실시예에서, 레이저원(104)은 레이저 펄스를 생성하도록 작동한다. 이에 따라, 레이저원(104)은 펄스 레이저원, CW 레이저원, QCW 레이저원, 버스트 모드 레이저 등 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 레이저원(104)이 QCW 또는 CW 레이저원을 포함하는 경우, 레이저원(104)은 QCW 또는 CW 레이저원으로부터 출력되는 레이저 방사의 빔을 시간적으로 변조하기 위한 펄스 게이팅(pulse gating) 유닛(예를 들어, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), 빔 초퍼(chopper) 등)를 더 포함할 수 있다. 도시되지는 않았지만, 장치(100)는 레이저원(104)에 의해 출력되는 광의 파장을 변환하도록 구성되는 하나 이상의 고조파 발생 결정("파장 변환 결정"으로도 알려져 있음)을 선택적으로 포함할 수 있다. 그러나 다른 실시예에서, 레이저원(104)은 펄스 게이팅 유닛을 포함하지 않으면서 QCW 레이저원 또는 CW 레이저원으로 제공될 수 있다. 따라서, 레이저원(104)은 일련의 레이저 펄스 또는 연속 또는 준연속 레이저 빔으로서 나타날 수 있으며, 이후 빔 경로(116)를 따라 전파될 수 있는 레이저 에너지의 빔을 생성하도록 작동하는 것으로 광범위하게 특징지어질 수 있다. 본원에서 논의되는 많은 실시예가 레이저 펄스를 참조하지만, 적절할 때마다 대안적으로 또는 추가적으로 연속적인 빔이 사용될 수 있음을 인식해야 한다.

- [0039] 전자기 스펙트럼의 UV 범위의 레이저 광은 10nm(또는 그 주변)에서 385nm(또는 그 주변) 범위의 하나 이상의 파장, 예컨대 10nm, 121nm, 124nm, 157nm, 200nm, 334nm, 337nm, 351nm, 380nm 등 또는 이들 값 사이를 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 가시 녹색 범위의 레이저 광은 500nm(또는 그 주변)에서 560nm(또는 그 주변) 범위의 하나 이상의 파장, 예컨대 511nm, 515nm, 530nm, 532nm, 543nm, 568nm 등 또는 이들 값 사이를 가질 수 있다. 전자기 스펙트럼의 IR 범위에 있는 레이저 광은 750nm(또는 그 주변)에서 15 μ m(또는 그 주변) 범위의 하나 이상의 파장, 예컨대 600nm 내지 1000nm, 752.5nm, 780nm 내지 1060nm, 799.3nm, 980nm, 1047nm, 1053nm, 1060nm, 1064nm, 1080nm, 1090nm, 1152nm, 1150nm 내지 1350nm, 1540nm, 2.6 μ m 내지 4 μ m, 4.8 μ m 내지 8.3 μ m, 9.4 μ m, 10.6 μ m 등 또는 이들 값 사이를 가질 수 있다.
- [0040] 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 10fs 내지 900ms 범위의 펄스 폭 또는 펄스 지속시간(즉, 펄스 내 광 출력의 반치전폭(FWHM) 대 시간에 기초)을 가질 수 있다. 그러나, 펄스 지속시간이 10fs보다 작거나 900ms보다 크게 될 수 있음을 알 수 있을 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, 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 등보다 작거나 크거나 같은 또는 이러한 값 사이의 펄스 지속시간을 가질 수 있다.
- [0041] 레이저원(104)에 의해 출력되는 레이저 펄스는 5mW 내지 50kW 범위의 평균 출력을 가질 수 있다. 그러나, 평균 출력이 5mW보다 작거나 50kW보다 크게 될 수 있음을 알 수 있을 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 등보다 작거나 크거나 같은 또는 이러한 값 사이의 평균 출력을 가질 수 있다.
- [0042] 레이저 펄스는 5kHz 내지 1GHz 범위의 펄스 반복률로 레이저원(104)에 의해 출력될 수 있다. 그러나, 펄스 반복률은 5kHz 미만 또는 1GHz보다 클 수 있음을 이해할 것이다. 따라서, 레이저 펄스는 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 등보다 작거나 크거나 같은 또는 이러한 값 사이의 펄스 반복률로 레이저원(104)에 의해 출력될 수 있다.
- [0043] 파장, 펄스 지속시간, 평균 출력 및 펄스 반복률에 추가하여, 작업물(102)에 전달되는 레이저 펄스는 (예를 들어, 하나 이상의 원하는 특성을 갖는 하나 이상의 피처를 형성하기 위하여) 작업물(102)을 가공하기에 충분한 광 강도(W/cm²로 측정됨), 플루언스(J/cm²로 측정됨) 등으로 가공 스폿에서 작업물(102)을 조사하기 위하여 (예를 들어, 선택적으로 파장, 펄스 지속시간, 평균 출력 및 펄스 반복률 등과 같은 하나 이상의 다른 특성에 기초하여) 선택될 수 있는 펄스 에너지, 피크 출력 등과 같은 하나 이상의 다른 특성에 의해 특징지어질 수 있다.
- [0044] 레이저 유형의 예는 레이저원(104)이 기체 레이저(예를 들어, 이산화탄소 레이저, 일산화탄소 레이저, 엑시머 레이저 등), 고상 레이저(예를 들어, Nd:YAG 레이저 등), 로드(rod) 레이저, 파이버(fiber) 레이저, 광결정 로드/파이버 레이저, 수동 모드 잠금 고상 벌크 또는 파이버 레이저, 염료 레이저, 모드 잠금 다이오드 레이저, 펄스 레이저(예를 들어, ms-, ns-, ps-, fs-펄스 레이저), CW 레이저, QCW 레이저 등 또는 이들의 조합으로서 특징지어질 수 있다. 구성에 따라, 기체 레이저(예를 들어, 이산화탄소 레이저 등)는 하나 이상의 모드(예를 들어, CW 모드, QCW 모드, 펄스 모드 또는 이들의 조합)에서 작동하도록 구성될 수 있다. 레이저원(104)으로 제공될 수 있는 레이저원의 구체적인 예는 예컨대 EOLITE에 의해 제조되는 BOREAS, HEGOA, SIROCCO 또는 CHINOOK 시리즈 레이저; PYROPHOTONICS에 의해 제조되는 PYROFLEX 시리즈 레이저; COHERENT에 의해 제조되는 PALADIN 어드밴스드 355, DIAMOND 시리즈(예를 들어, DIAMOND E, G, J-2, J-3, 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 PHYSICS에 의해 제조되는 PALADIN 어드밴스드 355, DIAMOND 시리즈(예를 들어, DIAMOND E, G, J-2, J-3, J-5 시리즈), ASCEND, EXCELSIOR, EXPLORER, HIPPO, NAVIGATOR, QUATA-RAY, QUASAR, SPIRIT, TALON, 또는 VGEN 시리즈 레이저; SYNRAD에 의해 제조되는 PULSTAR- 또는 FIRESTAR-시리즈 레이저; TRUMPF에 의해 제조되는 TRUFLOW-시리즈 레이저(예를 들어, TRUFLOW 2000, 1700, 3000, 3200, 3600, 4000, 5000, 6000, 6000, 8000, 10000, 12000, 15000, 20000), TRUCOAX 시리즈 레이저(예를 들어, TRUCOAX 1000) 또는 TRUDISK, TRUPULSE, TRUDIODE, TRUFIBER, 또는 TRUMICRO 시리즈 레이저; IMRA AMERICA에 의해 제조

되는 FCPA μ JEWEL 또는 FEMTOLITE 시리즈 레이저; AMPLITUDE SYSTEMES에 의해 제조되는 TANGERINE 및 SATSUMA 시리즈 레이저(및 MIKAN 및 T-PULSE 시리즈 발전기); IPG PHOTONICS에 의해 제조되는 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, FLPN, FLPNT, DLM, BLM, 또는 DLR 시리즈 레이저(예를 들어, GPLN-100-M, GPLN-500-QCW, GPLN-500-M, GPLN-500-R, GPLN-2000-S, 등 포함) 등 또는 이들의 임의의 조합 중 하나 이상의 레이저원을 포함한다.

[0045] B. 제1 위치 지정기

[0046] 제1 위치 지정기(106)는 빔 경로(116) 내에 배열, 위치 또는 다른 방식으로 배치되고, 레이저원(104)에 의해 생성되는 레이저 펄스를 회절, 반사, 굴절 등 또는 이들의 임의의 조합을 하도록(즉, 레이저 펄스를 "편향"시키도록) 작동하여 (예를 들어, 스캔 렌즈(112)에 대한) 빔 경로(116)의 이동을 편향시키거나 제공하고, 결과적으로, 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 편향시키거나 제공한다. 일반적으로, 제1 위치 지정기(106)는 X축(또는 방향), Y축(또는 방향), 또는 이들의 조합을 따라 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동한다. 도시되지는 않았지만, X축(또는 X방향)은 도시된 Y축 및 Z축(또는 방향)에 직교하는 축(또는 방향)을 지칭하는 것으로 이해될 것이다.

[0047] 제1 위치 지정기(106)에 의해 제공된 바와 같은, 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동은 일반적으로 가공 스폿이 스캔 렌즈(112)에 의해 투영되는 제1 스캔 필드 또는 "제1 스캐닝 범위" 내에서 스캔되거나, 움직이거나 또는 다른 방식으로 배치되도록 제한된다. 일반적으로, 그리고 제1 위치 지정기(106)의 구성, 빔 경로(116)를 따른 제1 위치 지정기(106)의 위치, 제1 위치 지정기(106)에 입사하는 레이저 펄스의 빔 크기, 스폿 크기 등과 같은 하나 이상의 인자에 따라, 제1 스캐닝 범위는 X 또는 Y 방향 중 임의의 방향으로 0.01mm, 0.04mm, 0.1mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.4mm, 1.5mm, 1.8mm, 2mm, 2.5mm, 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, 4.2mm, 5mm, 10mm, 25mm, 50mm, 60mm 등보다 작거나 크거나 같은 또는 그 사이의 거리까지 확장될 수 있다. 제1 스캐닝 범위의 최대 치수(예를 들어, X 또는 Y 방향 또는 다른 방식으로)는 작업물(102)에 형성될 피처(예를 들어, 개구, 리세스, 비아, 트렌치 등)의 최대 치수(예를 들어, X-Y 평면에서 측정)보다 크거나 같거나 작을 수 있다.

[0048] 일반적으로 제1 위치 지정기(106)가 제1 스캐닝 범위 내에서 가공 스폿을 임의의 위치에 위치시킬(따라서 빔 축(118)을 이동시킬) 수 있는 속도(또한 "위치 지정 속도"라고도 함)는 8kHz(또는 그 주변) 내지 250MHz(또는 그 주변)의 범위이다. 이 범위는 또한 본원에서 제1 위치 지정 대역폭으로 지칭된다. 예를 들어, 제1 위치 지정 대역폭은 8kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHz, 40kHz, 50kHz, 75kHz, 80kHz, 100kHz, 250kHz, 500kHz, 750kHz, 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 40MHz, 50MHz, 75MHz, 100MHz, 125MHz, 150MHz, 175MHz, 200MHz, 225MHz, 250MHz 등보다 크거나, 같거나, 작거나 또는 임의의 이들 사이의 값일 수 있다. 위치 지정 속도의 역(inverse)은 본원에서 "위치 지정 주기"라고 하며, 제1 스캐닝 범위 내의 한 위치에서 제1 스캐닝 범위 내의 임의의 다른 위치로 가공 스폿의 위치를 변경하는 데 필요한 최소 시간의 양을 의미한다. 따라서, 제1 위치 지정기(106)는 200 μ s, 125 μ s, 100 μ s, 50 μ s, 33 μ s, 12.5 μ s, 10 μ s, 4 μ s, 2 μ s, 1.3 μ s, 1 μ s, 0.2 μ s, 0.1 μ s, 0.05 μ s, 0.025 μ s, 0.02 μ s, 0.013 μ s, 0.01 μ s, 0.008 μ s, 0.0067 μ s, 0.0057 μ s, 0.0044 μ s, 0.004 μ s 등보다 크거나, 같거나, 작거나 또는 이들 사이인 위치 지정 주기를 갖는 것으로 특징지어질 수 있다.

[0049] 제1 위치 지정기(106)는 미세 전자 기계 시스템(MEMS) 미러 또는 미러 어레이, AOD 시스템, 전자 광학 편향기(EOD) 시스템, 고속 조향 미러(FSM) 요소(예를 들어, 압전 액추에이터, 전기 변형 액추에이터, 음성 코일 액추에이터 등을 통합), 비공진 검류계 미러 시스템, 공진 스캐닝 검류계 미러 시스템, 회전 다각형 스캐너 등 또는 이들의 조합으로 제공될 수 있다. 본원에서 논의의 목적을 위하여, 공진 스캐닝 검류계 미러 시스템은 "공진 스캐닝 미러 시스템"으로 지칭될 것이며, 비공진 검류계 미러 시스템은 간단히 "검류계 미러 시스템"으로 지칭될 것이다. 검류계 미러 시스템은 공진 스캐닝 미러 시스템의 위치 지정 대역폭(예를 들어, 4와 8kHz 사이, 또는 그 주변)보다 일반적으로 낮은 위치 대역폭(예를 들어, 1과 3kHz 사이, 또는 그 주변)에서 일반적으로 전체 위치 제어를 허용한다. 그러나 공진 스캐닝 미러 시스템은 일반적으로 검류계 미러 시스템보다 훨씬 적은 위치 제어를 제공하며, 공진 스캐닝 미러 시스템에서 제공하는 스캐닝은 비선형적이다. 일반적으로, 공진 스캐닝 미러 시스템은 공진 스캐닝 미러 시스템에 의해 편향된 빔으로부터의 가공 스폿의 위치가 시간의 함수로서 정현파 형태로(sinusoidally) 변화하도록 정현파 스캐닝(sinusoidal scanning)을 제공한다. AOD 및 EOD 시스템과 같은 위치 지정기는 일반적으로(비공진 또는 공진 스캔 종류에 관계없이) 검류계 미러 시스템보다 훨씬 더 큰 위치 지정 속도를 갖는다.

[0050] 일 실시예에서, 제1 위치 지정기(106)는 적어도 하나(예를 들어, 한 개, 두 개, 세 개, 네 개, 등)의 단일 요소

AOD 시스템, 적어도 하나(예를 들어, 한 개, 두 개, 세 개, 네 개, 등)의 위상 배열 AOD 시스템 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공된다. 단일 요소 또는 위상 배열 AOD 시스템 각각은 예컨대 결정질 Ge, PbMoO₄ 또는 TeO₂, 유리질 SiO₂, 석영, As₂S₃ 등과 같은 재료로 형성된 AO 셀을 포함한다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, "단일 요소" AOD 시스템은 AO 셀에 음향적으로 결합된 단일 초음파 변환기 요소만을 갖는 AOD 시스템을 지칭하는 반면, "위상 배열" AOD 시스템은 공통 AO 셀에 음향적으로 결합된 적어도 2개의 초음파 변환기 요소의 위상 배열을 포함한다.

[0051] 당업자가 인식하는 바와 같이, AO 기술(예를 들어, AOD, AOM 등)은 AO 셀을 통해 전파되는 음향파에 의해 야기되는 회절 효과를 이용하여 AO 셀을 통해 동시 발생적으로 전파하는 광파(즉, 본 출원의 맥락에서 레이저 에너지의 빔)의 하나 이상의 특성을 변조한다. 일반적으로 AO 셀은 동일한 영역에서 음향파와 광파를 모두 지원할 수 있다. 음향파는 AO 셀의 굴절률에 섭동(perturbation)을 부여한다. 음향파는 일반적으로 하나 이상의 RF 주파수에서 초음파 변환기 요소를 구동하여 AO 셀 내로 방사된다. 음향파의 특성(예를 들어, 진폭, 주파수, 위상 등)을 제어함으로써 전파하는 광파의 하나 이상의 특성을 제어 가능하게 변조하여(예를 들어, 스캔 렌즈(112)에 대해) 빔 경로(116)의 이동을 제공할 수 있다. 또한 AO 셀로 방사된 음향파의 특성은 AO 셀을 통과할 때 레이저 에너지의 빔의 에너지를 감쇠시키기 위해 공지 기술을 사용하여 제어할 수 있다. 따라서, AOD 시스템은 또한 최종적으로 작업물(102)에 전달되는 레이저 펄스의 펄스 에너지(및 이에 상응하도록 플루언스, 피크 출력, 광강도, 평균 출력 등)를 변조하도록 작동될 수 있다.

[0052] AO 셀이 형성되는 재료는 AO 셀에 입사 되도록 빔 경로(116)를 따라 전파되는 레이저 펄스의 파장에 의존할 것임을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 편향될 레이저 펄스의 파장이 2 μm(또는 그 주변)에서 12 μm(또는 그 주변)의 범위에 있는 경우 결정질 Ge와 같은 재료를 사용할 수 있고, 편향될 레이저 펄스의 파장이 200 nm(또는 그 주변) 내지 5 μm(또는 그 주변)의 범위에 있는 경우 석영 및 TeO₂와 같은 재료를 사용할 수 있다.

[0053] AOD 시스템은 분산 요소이며, 결과적으로, 적절하게 좁은 스펙트럼 선평(예를 들어, 펄스의 광학 출력 스펙트럼 밀도의 반직선폭(FWHM)에 기반하여)을 갖는 레이저 펄스를 바람직하게 편향시키는 것을 인식하여야 한다. 자외선, 가시광선 또는 근적외선 범위 중 하나 이상에서 하나 이상의 파장을 갖는 레이저 펄스를 생성하도록 작동하는 레이저원(104)은 일반적으로 적절하게 좁은 스펙트럼 선평을 갖는 레이저 펄스를 생성할 것이다. 고효율 CW 기체 레이저(예를 들어, 평균 출력이 약 300W를 초과하는 이산화탄소 또는 일산화탄소 CW 레이저) 및 기타 저출력 CW 또는 펄스 기체 레이저(예를 들어, 평균 출력이 약 300W 미만)와 같은 레이저원(104)이 SWIR, MWIR 또는 LWIR 범위에서 적절하게 좁은 스펙트럼 선평을 갖는 레이저 펄스를 유사하게 생성할 수 있다. 일반적으로, 레이저 펄스를 생성할 수 있는 고효율 펄스 기체 레이저(예를 들어, 평균 출력이 약 300W 이상인 이산화탄소 또는 일산화탄소 펄스 레이저)는 MOPA(Master Oscillator Power Amplifier) 레이저 시스템 아키텍처를 기반으로 한다.

[0054] 임의의 AOD 시스템은 빔 경로(116)를 편향 시킴으로써(예를 들어, 단일 방향을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동하는) 단축 AOD 시스템 또는(예를 들어, 하나 이상의 축을 따라, 예를 들어, X축을 따라, Y축을 따라, 또는 이들의 임의의 조합을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동하는) 다축 AOD 시스템으로 제공될 수 있다. 일반적으로, 다축 AOD 시스템은 다중 셀 시스템 또는 단일 셀 시스템으로 제공될 수 있다. 다중 셀, 다축 시스템은 일반적으로 다수의 AOD 시스템을 포함하며, 각각은 상이한 축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동한다. 예를 들어, 다중 셀, 다축 시스템은 X축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동하는 제 1 AOD 시스템(예를 들어, 단일 요소 또는 위상 배열 AOD 시스템)(예를 들어, "X축 AOD 시스템") 및 Y축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동하는 제 2 AOD 시스템(예를 들어, 단일 요소 또는 위상 배열 AOD 시스템)(예를 들어, "Y축 AOD 시스템")을 포함할 수 있다. 단일 셀, 다축 시스템(예를 들어, "X/Y축 AOD 시스템")은 일반적으로 X 및 Y축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동하는 단일 AOD 시스템을 포함한다. 예를 들어, 단일 셀 시스템은 공통 AO 셀의 직교 배열된 평면, 면(facet), 측면 등에 음향적으로 결합된 적어도 두 개의 초음파 변환기 요소를 포함할 수 있다.

[0055] C. 제2 위치 지정기

[0056] 제2 위치 지정기(108)는 빔 경로(116) 내에 배치되고, 레이저원(104)에 의해 생성되고 제1 위치 지정기(106)에 의해 통과된 레이저 펄스를 회절, 반사, 굴절 등 또는 이들의 임의의 조합을 하도록(즉, 레이저 펄스를 "편향" 시키도록) 작동하여(예를 들어, 스캔 렌즈(112)에 대한) 빔 경로(116)의 이동을 편향시키거나 제공하고, 결과적으로, 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 편향시키거나 제공한다. 일반적으로, 제2 위치 지정기(108)는 X

축(또는 방향), Y축(또는 방향), 또는 이들의 조합을 따라 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 작동한다.

[0057] 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공된 바와 같은, 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동은 일반적으로 가공 스폿이 스캔 렌즈(112)에 의해 투영되는 제2 스캔 필드 또는 "제2 스캐닝 범위" 내에서 스캔되거나, 움직이거나 또는 다른 방식으로 배치되도록 제한된다. 일반적으로, 그리고 제2 위치 지정기(108)의 구성, 빔 경로(116)를 따른 제2 위치 지정기(108)의 위치, 제2 위치 지정기(108)에 입사하는 레이저 펄스의 빔 크기, 스폿 크기 등과 같은 하나 이상의 인자에 따라, 제2 스캐닝 범위는 제1 스캐닝 범위의 대응하는 거리보다 큰 거리까지, X 또는 Y 방향 중 임의의 방향으로 확장될 수 있다. 위의 관점에서, 제2 스캐닝 범위는, X 또는 Y 방향 중 임의의 방향으로, 1mm, 25mm, 50mm, 75mm, 100mm, 250mm, 500mm, 750mm, 1 cm, 25cm, 50cm, 75cm, 1m, 1.25m, 1.5m 등보다 작거나 크거나 같은 또는 그 사이의 거리까지 확장될 수 있다. 제2 스캐닝 범위의 최대 치수(예를 들어, X 또는 Y 방향 또는 다른 방식으로)는 작업물(102)에 형성될 피처(예를 들어, 개구, 리세스, 비아, 트렌치, 스크 라이브 라인, 전도성 트레이스 등)의 최대 치수(예를 들어, X-Y 평면에서 측정)보다 크거나 같거나 작을 수 있다.

[0058] 본원에 기술된 구성을 고려하여, 제1 위치 지정기(106)에 의해 제공된 빔 축(118)의 이동이 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공된 빔 축(118)의 이동에 의해 중첩될 수 있음을 인식하여야 한다. 따라서, 제2 위치 지정기(108)는 제2 스캐닝 범위 내에서 제1 스캐닝 범위를 스캔하도록 작동한다.

[0059] 일반적으로, 제2 위치 지정기(108)가 제2 스캐닝 범위 내의 임의의 위치에 가공 스폿을 위치 지정(따라서 빔 축(118)을 제2 스캐닝 범위 내에서 이동 및/또는 제2 스캐닝 범위 내에서 제1 스캐닝 범위 스캐닝)할 수 있는 위치 지정 속도는 제1 위치 지정 대역폭보다 작은 범위(본원에서 "제2 위치 지정 대역폭"이라고도 함)에 걸쳐있다. 일 실시예에서, 제2 위치 지정 대역폭은 500Hz(또는 그 주변) 내지 8kHz(또는 그 주변)의 범위에 있다. 예를 들어, 제2 위치 지정 대역폭은 500Hz, 750Hz, 1kHz, 1.25kHz, 1.5kHz, 1.75kHz, 2kHz, 2.5kHz, 3kHz, 3.5kHz, 4kHz, 4.5kHz, 5kHz, 5.5kHz, 6kHz, 6.5kHz, 7kHz, 7.5kHz, 8kHz 등보다 작거나 크거나 같거나 또는 그 사이일 수 있다.

[0060] 위의 관점에서, 제2 위치 지정기(108)는 미세 전자 기계 시스템(MEMS) 미러 또는 미러 어레이, AOD 시스템, 전자 광학 편향기(EOD) 시스템, 고속 조향 미러(FSM) 요소(예를 들어, 압전 액추에이터, 전기변형 액추에이터, 음성 코일 액추에이터 등을 통합), 검류계 미러 시스템, 공진 스캐닝 미러 시스템, 회전 다각형 스캐너 등 또는 이들의 조합으로 제공될 수 있음을 이해할 것이다. 일 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 2개의 검류계 미러 구성요소, 즉 X축을 따라 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열된 제1 검류계 미러 구성요소(예를 들어, X축 검류계 미러 구성요소) 및 Y축을 따라 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열된 제2 검류계 미러 구성요소(예를 들어, Y축 검류계 미러 구성요소)를 포함하는 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 그러나, 다른 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 X축 및 Y축을 따라 작업물(102)에 대한 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열된 단일 검류계 미러 구성요소를 포함하는 검류계 미러 시스템으로서 제공될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)는 회전 다각형 미러 시스템 등으로 제공될 수 있다. 따라서, 제2 위치 지정기(108) 및 제1 위치 지정기(106)의 특정 구성에 따라, 제2 위치 지정 대역폭은 제1 위치 지정 대역폭보다 크거나 같을 수 있다는 점을 이해할 것이다.

[0061] D. 제3 위치 지정기

[0062] 제3 위치 지정기(110)는 스캔 렌즈(112)에 대한 작업물(102)의 이동을 제공하고, 결과적으로 빔 축(118)에 대한 작업물(102)의 이동을 제공하도록 작동한다. 빔 축(118)에 대한 작업물(102)의 이동은 일반적으로 가공 스폿이 제3 스캔 필드 또는 "제3 스캐닝 범위" 내에서 스캔되거나, 움직이거나 또는 다른 방식으로 배치되도록 제한된다. 제3 위치 지정기(110)의 구성과 같은 하나 이상의 인자에 따라, 제3 스캐닝 범위는 X 방향 또는 Y 방향 중 임의의 방향으로 제2 스캐닝 범위의 대응하는 거리보다 크거나 같은 거리로 확장될 수 있다. 그러나, 일반적으로 제3 스캐닝 범위의 최대 치수(예를 들어, X 또는 Y 방향 또는 기타)는 작업물(102)에 형성될 임의의 피처의 대응하는 최대 치수(XY 평면에서 측정)보다 크거나 같다. 선택적으로, 제3 위치 지정기(110)는 Z 방향으로(예를 들어, 1mm 내지 50mm 범위에 걸쳐) 확장되는 스캐닝 범위 내에서 빔 축(118)에 대해 작업물(102)을 이동시키도록 작동할 수 있다. 따라서, 제3 스캐닝 범위는 X, Y 및/또는 Z 방향을 따라 확장될 수 있다.

[0063] 본원에 기술된 구성을 고려하여, 작업물(102)에 대한 가공 스폿의 이동(예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 및/또는 제2 위치 지정기(108)에 의해 제공됨)은 제3 위치 지정기(110)에 의해 제공된 작업물(102)의 이동에 의해 중첩될 수 있음을 인식하여야 한다. 따라서, 제3 위치 지정기(110)는 제3 스캐닝 범위 내에서 제1 스캐닝 범위 및

/또는 제2 스캐닝 범위를 스캐닝하도록 작동한다. 일반적으로, 제3 위치 지정기(110)가 제3 스캐닝 범위 내의 임의의 위치에서 작업물(102)을 위치 지정(따라서 작업물(102) 이동, 제3 스캐닝 범위 내에서 제1 스캐닝 범위 스캐닝 및/또는 제3 스캐닝 범위 내에서 제2 스캐닝 범위 스캐닝)할 수 있는 위치 지정 속도는 제2 위치 지정 대역폭보다 작은 범위(본원에서 "제3 위치 지정 대역폭"이라고도 함)에 걸쳐있다. 일 실시예에서, 제3 위치 지정 대역폭은 500Hz 미만(또는 그 주변)이다. 예를 들어, 제3 위치 지정 대역폭은 500Hz, 250Hz, 150Hz, 100Hz, 75Hz, 50Hz, 25Hz, 10Hz, 7.5Hz, 5Hz, 2.5Hz, 2Hz, 1.5Hz, 1Hz 등과 같거나, 이보다 작거나 또는 이러한 값 사이일 수 있다.

[0064] 일 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 하나 이상의 선형 스테이지(예를 들어, 각각 X, Y 및/또는 Z 방향을 따라 작업물(102)에 병진 이동을 제공할 수 있음), 하나 이상의 회전 스테이지(예를 들어, 각각은 X, Y 및/또는 Z 방향에 평행한 축을 중심으로 작업물(102)에 회전 이동을 제공할 수 있음) 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공된다. 일 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 X 방향을 따라 작업물(102)을 이동시키기 위한 X 스테이지 및 Y 방향을 따라 작업물(102)을 이동시키기 위한 Y 스테이지에 의해 지지되는(따라서 X 스테이지에 의해 X 방향을 따라 이동 가능) Y 스테이지를 포함한다. 도시되지는 않았지만, 상기 장치(100)는 또한 제3 위치 지정기(110)를 지지하는 선택적인 베이스(예를 들어, 화강암 블록)를 포함할 수 있다.

[0065] 도시되지는 않았지만, 장치(100)는 선택적으로 제3 위치 지정기(110)의 스테이지에 결합된 고정구(fixture)(예를 들어, 척)를 포함할 수 있다. 고정구는 지지 영역을 포함할 수 있고 작업물(102)은 고정구에 기계적으로 클램핑, 고정, 유지 또는 부착되거나 그렇지 않으면 지지 영역 내에서 고정구에 의해 지지된다. 일 실시예에서, 작업물(102)은 고정구의 주된, 전형적으로 편평한 지지 표면에 직접 접촉하도록 클램핑, 고정, 유지 또는 부착되거나 다른 방식으로 지지될 수 있다. 다른 실시예에서, 작업물(102)은 고정구의 지지 표면으로부터 이격되도록 클램핑, 고정, 유지 또는 부착되거나 다른 방식으로 지지될 수 있다. 일 실시예에서, 작업물(102)은 고정구로부터 작업물(102)에 선택적으로 가해지거나 다른 방식으로 작업물(102)과 고정구 사이에 존재하는 힘(예를 들어, 정전기력, 진공력, 자기력)에 의해 고정, 유지 또는 부착될 수 있다.

[0066] 지금까지 설명된 바와 같이, 장치(100)는 제3 위치 지정기(110)로서 소위 "스택형(stacked)" 위치 지정 시스템을 사용하는데, 이는 장치(100) 내에서 작업물(102)에 대한 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 다른 구성요소의 위치를(예를 들어, 당 업계에 공지된 바와 같이 하나 이상의 지지체, 프레임 등을 통해) 고정된 상태로 유지하면서 작업물(102)을 이동할 수 있게 한다. 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)가 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열되고 작동하며, 작업물(102)은 고정된 상태로 유지될 수 있다.

[0067] 또 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 하나 이상의 구성요소 또는 이들의 임의의 조합이 하나 이상의 선형 또는 회전 스테이지(예를 들어, 프레임, 갠트리(gantry) 등에 장착됨)에 의해 운반되고 작업물(102)은 하나 이상의 다른 선형 또는 회전 스테이지에 의해 운반되는 소위 "분할 축(split-axis)" 위치 지정 시스템으로서 제공될 수 있다. 이러한 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 스캔 헤드(예를 들어, 제2 위치 지정기(108) 및 스캔 렌즈(112) 포함)와 같은 하나 이상의 구성요소를 이동시키도록 배열되고 작동하는 하나 이상의 선형 또는 회전 스테이지 및 작업물(102)을 이동시키도록 배열되고 작동하는 하나 이상의 선형 또는 회전 스테이지를 포함한다. 예를 들어, 제3 위치 지정기(110)는 Y 방향을 따라 작업물(102)의 이동을 제공하기 위한 Y 스테이지와 X 방향을 따라 스캔 헤드의 이동을 제공하기 위한 X 스테이지를 포함할 수 있다. 장치(100)에서 유익하게 또는 유리하게 사용될 수 있는 분할 축 위치 지정 시스템의 일부 예는 미국 특허 번호 5,751,585, 5,798,927, 5,847,960, 6,606,999, 7,605,343, 8,680,430, 8,847,113 또는 미국 특허출원 공보 2014/0083983 에 개시된 임의의 것 또는 이들의 임의의 조합을 포함하며, 이들 각각은 그 전체가 본원에 참조로 포함된다.

[0068] 제3 위치 지정기(110)가 Z 스테이지를 포함하는 일 실시예에서, Z 스테이지는 Z 방향을 따라 작업물(102)을 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있다. 이 경우, Z 스테이지는 작업물(102)을 이동 또는 위치 지정하기 위한 하나 이상의 다른 전술한 스테이지에 의해 운반될 수 있고, 작업물(102)을 이동 또는 위치 지정하기 위한 하나 이상의 다른 전술한 스테이지를 운반할 수 있거나, 또는 이들의 임의의 조합이 될 수 있다. 제3 위치 지정기(110)가 Z 스테이지를 포함하는 다른 실시예에서, Z 스테이지는 Z 방향을 따라 스캔 헤드를 이동시키도록 배열되고 구성될 수 있다. 따라서, 제3 위치 지정기(110)가 분할 스테이지 위치 지정 시스템으로 제공되는 경우, Z 스테이지는 X 스테이지를 운반하거나 이에 의해 운반될 수 있다. Z 방향을 따라 작업물(102) 또는 스캔 헤드를 이동하면 작업물(102)에서 스폿 크기가 변경될 수 있다.

[0069] 또 다른 실시예에서, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등과 같은 하나 이상의 구성요소는 관절식 다축 로봇 팔(예를 들어, 2-, 3-, 4-, 5-, 또는 6-축 팔)에 의해 운반될 수 있다. 이러한 실시예에서, 제2 위치 지정기(108) 및/또는 스캔 렌즈(112)는 선택적으로 로봇 팔의 엔드 이펙터(end effector)에 의해 운반될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 작업물(102)은 관절식 다축 로봇 팔의 엔드 이펙터 상에 직접(즉, 제3 위치 지정기(110) 없이) 운반될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제3 위치 지정기(110)는 관절식 다축 로봇 팔의 엔드 이펙터 상에 운반될 수 있다.

[0070] D. 스캔 렌즈

[0071] 스캔 렌즈(112)(예를 들어, 단순 렌즈 또는 복합 렌즈로 제공됨)는 일반적으로 원하는 가공 스폿 또는 그 근처에 위치할 수 있는 빔 웨이스트를 생성하기 위해 빔 경로를 따라 지향되는 레이저 펄스를 집속하도록 구성된다. 스캔 렌즈(112)는 f-세타 렌즈, 텔레센트릭 렌즈, 액시콘 렌즈(이 경우, 빔 축(118)를 따라 서로 이격된 복수의 가공 스폿을 생성하는 일련의 빔 웨이스트가 생성됨) 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 고정 초점 길이 렌즈로서 제공되고, 스캔 렌즈(112)를 이동시키도록(예를 들어, 빔 축(118)을 따라 빔 웨이스트의 위치를 변경하도록) 작동하는 스캔 렌즈 위치 지정기(예를 들어, 렌즈 액추에이터, 도시되지 않음)에 결합된다. 예를 들어, 렌즈 액추에이터는 Z 방향을 따라 스캔 렌즈(112)를 선형으로 이동하도록 작동하는 보이스 코일로서 제공될 수 있다. 이 경우, 스캔 렌즈(112)는 용융 실리카, 광학 유리, 셀렌화 아연, 황화 아연, 게르마늄, 갈륨 비소, 불화 마그네슘 등의 재료로 형성될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112)는 빔 축(118)을 따라 빔 웨이스트의 위치를 변경하기 위하여(예를 들어, 렌즈 액추에이터를 통해) 작동할 수 있는 가변 초점 거리 렌즈(예를 들어, 줌 렌즈 또는 현재 COGNEX, VARIOPTIC 등에서 제공하는 기술을 통합한 소위 "액체 렌즈")로서 제공된다. 빔 축(118)을 따라 빔 웨이스트의 위치를 변경하면 작업물(102)에서 스폿 크기가 변경될 수 있다.

[0072] 일 실시예에서, 스캔 렌즈(112) 및 제2 위치 지정기(108)는 공통 하우징 또는 "스캔 헤드"에 통합된다. 따라서, 장치(100)가 렌즈 액추에이터를 포함하는 실시예에서, 상기 렌즈 액추에이터는(예를 들어, 제2 위치 지정기(108)에 대해 스캔 헤드 내에서 스캔 렌즈(112)의 이동을 가능하게 하기 위하여) 스캔 렌즈(112)에 결합될 수 있다. 대안적으로, 렌즈 액추에이터는(예를 들어, 스캔 헤드 자체의 이동을 가능하게 하기 위하여, 이 경우 스캔 렌즈(112) 및 제2 위치 지정기(108)는 함께 움직일 것임) 스캔 헤드에 결합될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112) 및 제2 위치 지정기(108)는(예를 들어, 스캔 렌즈(112)가 통합된 하우징이 제2 위치 지정기(108)가 통합된 하우징에 대해 이동 가능하도록) 상이한 하우징에 통합된다. 하나의 스캔 헤드를 간단히 제거하고 다른 스캔 헤드 등으로 교체할 수 있도록, 스캔 헤드의 구성요소를 간단히 제거하고 다른 구성요소로 교체할 수 있도록, 스캔 헤드의 구성요소 또는 전체 스캔 헤드 자체는 모듈식 어셈블리로 구성된다.

[0073] E. 비전

[0074] 장치(100)는 가공을 위하여 장치(100)에 제공된 작업물(102)에 의해 점유된 영역을 포함하는 시야를 갖는 카메라(113)(예를 들어, CCD 카메라, CMOS 카메라 등 또는 이들의 임의의 조합)와 같은 하나 이상의 카메라를 더 포함할 수 있다. 카메라(113)는 스캔 렌즈(112) 또는 전술한 스캔 헤드에 결합될 수 있다. 카메라(113)는 시야 내에서 캡처된 이미지를 나타내는 이미지 데이터를 생성하고 이미지 데이터를(예를 들어, 하나 이상의 이미지 신호로서) 제어기(114)에 출력할 수 있다.

[0075] 이미지 데이터는 당업계에 공지된 임의의 원하는 또는 달리 적합한 방식으로(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 해석되거나, 조작되거나, 알고리즘에 입력되거나 다른 방식으로 처리되어 장치(100) 내에서의 작업물(102)의 정렬, 시준, (예를 들어, 작업물(102)의 가공 결과로 형성된 피처의) 시각적 검사 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 작동을 용이하게 할 수 있다.

[0076] 도 1은 장치(100)가 단지 하나의 카메라(113)를 포함하는 것으로 도시하고 있지만, (예를 들어, 해상도, 시야 등 또는 이들의 임의의 조합 면에서 상이한) 다수의 카메라(113)가 포함될 수 있음을 이해할 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 장치(100)는 제1 카메라 및 제2 카메라를 포함할 수 있다. 제1 카메라는 상대적으로 큰 시야와 상대적으로 낮은 해상도를 가질 수 있는 반면, 제2 카메라는 상대적으로 작은 시야와 상대적으로 높은 해상도를 가질 수 있다. 일반적으로 제2 카메라의 시야는 제1 카메라의 시야 내에 위치한다. 그러나, 제1 및 제2 카메라는 제2 카메라의 시야가 제1 카메라의 시야 밖에 위치하도록 배열될 수 있다.

[0077] F. 제어기

[0078] 일반적으로, 장치(100)는 장치(100)의 작동을 제어하거나 제어를 용이하게 하기 위하여 제어기(114)와 같은 하

나 이상의 제어기를 포함한다. 일 실시예에서, 제어기(114)는 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), 고정구, 카메라(113), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘 등과 같은 장치(100)의 하나 이상의 구성요소에 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크, 예컨대 USB, RS-232, 이더넷, 파이어와이어, Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등 또는 이들의 조합을 통하여) 통신 가능하게 결합되어, 이들은 제어기(114)에 의해 출력되는 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 작동한다.

[0079] 예를 들어, 제어기(114)는 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 또는 제3 위치 지정기(110)의 작동을 제어하여 빔 축과 작업물 사이에 상대적인 이동을 제공하여 작업물(102) 내의 경로 또는 궤적(본원에서 "가공 궤적"이라고도 함)을 따라 가공 스폿과 작업물(102) 사이의 상대적인 이동을 유발할 수 있다. 두 개의 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 및 제2 위치 지정기(108), 제1 위치 지정기(106) 및 제3 위치 지정기(110), 또는 제2 위치 지정기(108) 및 제3 위치 지정기(110)), 또는 3 개의 위치 지정기 모두가 동시에 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 제공(따라서 빔 축과 작업물 사이에 "복합 상대 이동"을 제공)하도록 이러한 위치 지정기 중 임의의 두 개 또는 이러한 위치 지정기 세 개 모두가 제어될 수 있음을 이해할 것이다. 물론, 언제든지 하나의 위치 지정기(예를 들어, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 또는 제3 위치 지정기(110)) 만을 제어하여 가공 스폿과 작업물(102) 사이에 상대적인 이동을 제공(따라서 빔 축과 작업물 사이에 "비복합 상대 이동"을 제공)하는 것도 가능하다.

[0080] 하나 이상의 전술한 구성요소가 수행하도록 제어될 수 있는 작동의 일부 다른 예는 전술한 미국 특허 5,751,585, 5,847,960, 6,606,999, 8,680,430, 8,847,113에 개시되거나, 미국 특허 4,912,487, 5,633,747, 5,638,267, 5,917,300, 6,314,463, 6,430,465, 6,600,600, 6,606,998, 6,816,294, 6,947,454, 7,019,891, 7,027,199, 7,133,182, 7,133,186, 7,133,187, 7,133,188, 7,244,906, 7,245,412, 7,259,354, 7,611,745, 7,834,293, 8,026,158, 8,076,605, 8,288,679, 8,404,998, 8,497,450, 8,648,277, 8,896,909, 8,928,853, 9,259,802, 또는 미국 특허출원 공보 2014/0026351, 2014/0196140, 2014/0263201, 2014/0263212, 2014/0263223, 2014/0312013, 또는 독일 특허 DE102013201968B4, 또는 국제 특허 공보 WO2009/087392 및 이들의 임의의 조합에 개시된 바와 같은 임의의 작동, 기능, 공정 및 방법 등을 포함하며, 이들 특허는 각각 그 전체로서 본원에 참조로 포함된다. 다른 예에서, 예를 들어 국제 특허 공보 WO2017/044646A1에 개시된 바와 같이, 제어기(114)는 하나 이상의 AOD 시스템(예를 들어, 일부 실시예에서, 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 또는 이들의 조합)을 포함하는 임의의 위치 지정기의 작동을 제어하여 (예를 들어, 하나 이상의 AOD 시스템의 하나 이상의 초음파 변환기 요소에 인가되는 RF 신호를 처핑(chirping)함으로써, 하나 이상의 AOD 시스템의 하나 이상의 초음파 변환기 요소에 스펙트럼 형상 RF 신호를 인가함으로써 등과 같이, 또는 이들의 임의의 조합으로써) 가공 스폿에 전달되는 레이저 펄스의 스폿 형상 또는 스폿 크기를 변경할 수 있다. 상기 국제 특허 공보 WO2017/044646A1는 그 전체가 본원에 참조로 포함된다. 인가된 RF 신호는 임의의 원하는 또는 적절한 방식으로 선형적으로 또는 비선형적으로 처핑될 수 있다. 예를 들어, 인가된 RF 신호는 두 가지 다른 방식으로 AO 셀을 통과하는 레이저 펄스를 회절시키기 위해 제1 속도로 처핑된 다음 제2 속도로 처핑될 수 있다. 이 경우 제1 속도는 제2 속도보다 느리거나 빠를 수 있다.

[0081] 일반적으로, 제어기(114)는 명령을 실행할 때 전술한 제어 신호를 생성하도록 작동하는 하나 이상의 프로세서를 포함한다. 프로세서는 명령어를 실행하도록 작동하는 프로그래밍 가능한 프로세서(예를 들어, 하나 이상의 범용 컴퓨터 프로세서, 마이크로프로세서, 디지털 신호 프로세서 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함)로서 제공될 수 있다. 프로세서(들)에 의해 실행 가능한 명령어는 소프트웨어, 펌웨어 등 또는 프로그래밍 가능 논리 디바이스(PLD), 현장 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA), 현장 프로그래밍 가능 객체 어레이(FPOA) 디지털, 아날로그 및 혼합 아날로그/디지털 회로를 포함하는 주문형 집적 회로(ASIC) 등 또는 이들의 조합을 포함하는 임의의 적절한 형태의 회로로 구현될 수 있다. 명령의 실행은 하나의 프로세서에서 수행되거나, 프로세서들 사이에 분산되거나, 디바이스 내의 또는 디바이스의 네트워크의 프로세서들에 걸쳐 병렬로 이루어지는 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해 수행될 수 있다.

[0082] 일 실시예에서, 제어기(114)는 프로세서에 의해 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선 통신 링크를 통해) 접근 가능한 컴퓨터 메모리와 같은 유형의 매체를 포함한다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, "컴퓨터 메모리"는 자기 매체(예를 들어, 자기 테이프, 하드 디스크 드라이브 등), 광 디스크, 휘발성 또는 비휘발성 반도체 메모리(예를 들어, RAM, ROM, NAND형 플래시 메모리, NOR형 플래시 메모리, SONOS 메모리 등) 등을 포함하며, 로컬, 원격(예를 들어, 네트워크를 통해) 또는 이들의 조합으로 접근할 수 있다. 일반적으로, 명령어는 컴퓨터 소프트웨어(예를 들어, 실행 코드, 파일, 명령어 등, 라이브러리 파일 등)로 저장될 수 있으며, 본원에 제공된 설명으

로부터 기술자가 쉽게 저작할 수 있으며, 예를 들어, C, C ++, Visual Basic, Java, Python, Tel, Perl, Scheme, Ruby, 어셈블리 언어, 하드웨어 기술 언어(예를 들어, VHDL, VERILOG 등) 등으로 작성된다. 컴퓨터 소프트웨어는 일반적으로 컴퓨터 메모리가 전달하는 하나 이상의 데이터 구조에 저장된다.

[0083] 도시되지는 않았지만, 하나 이상의 드라이버(예를 들어, RF 드라이버, 서보 드라이버, 라인 드라이버, 전원 등)는 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, (가변 초점 거리 렌즈로 제공되는 경우)스캔 렌즈(112), 고정구, 카메라(113), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘 등과 같은 하나 이상의 구성요소의 입력에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 일 실시예에서, 각 드라이버는 일반적으로 제어기(114)가 통신 가능하게 결합되는 입력을 포함하고 제어기(114)는 이로써 하나 이상의 제어 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)를 생성하도록 작동한다. 이는 장치(100)의 하나 이상의 구성요소와 연관된 하나 이상의 드라이버의 입력(들)로 전송될 수 있다. 따라서, 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, (가변 초점 거리 렌즈로 제공되는 경우)스캔 렌즈(112), 고정구, 카메라(113), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘 등과 같은 구성요소는 제어기(114)에 의해 생성된 제어 신호에 응답한다.

[0084] 다른 실시예에서, 도시되지는 않았지만, 하나 이상의 추가 제어기(예를 들어, 구성요소별 제어기)가 선택적으로 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로 제공되는 경우), 고정구, 카메라(113), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘 등과 같은 구성요소에 통신 가능하게 결합된(및 따라서 구성요소와 연관된) 드라이버의 입력에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 각 구성요소별 제어기는 제어기(114)에 통신 가능하게 결합될 수 있고 제어기(114)로부터 수신된 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 하나 이상의 제어 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)를 생성하도록 작동할 수 있으며, 이는 다시 통신 가능하게 결합된 드라이버(들)의 입력(들)로 전송될 수 있다. 이 실시예에서, 구성요소별 제어기는 제어기(114)에 대해 설명된 바와 유사하게 작동할 수 있다.

[0085] 하나 이상의 구성요소별 제어기가 제공되는 다른 실시예에서, 하나의 구성요소(예를 들어, 레이저원(104))와 연관된 구성요소별 제어기는 하나의 구성요소(예를 들어, 제1 위치 지정기(106) 등)와 연관된 구성요소별 제어기에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 이 실시예에서, 하나 이상의 구성요소별 제어기는 하나 이상의 다른 구성요소별 제어기로부터 수신된 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 하나 이상의 제어 신호(예를 들어, 트리거 신호 등)를 생성하도록 작동할 수 있다.

[0086] G. 사용자 인터페이스

[0087] 장치(100)는 제어기(114)에 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크, 예컨대, USB, RS-232, 이더넷(Ethernet), 파이어 와이어(Firewire), Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등 또는 이들의 조합을 통하여) 통신 가능하게 결합된 사용자 인터페이스(120)를 더 포함할 수 있다. 사용자 인터페이스(120)는 하나 이상의 출력 디바이스, 하나 이상의 입력 디바이스, 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 일반적으로 출력 디바이스는 사람이 인식할 수 있는 자극(예를 들어, 시각, 청각, 촉각 등)을 통해 정보를 렌더링하거나 다른 방식으로 전달할 수 있는 임의의 디바이스이다. 출력 디바이스의 예는 모니터, 프린터, 스피커, 햅틱 액추에이터 등을 포함한다. 일반적으로, 입력 디바이스는, 예를 들어, 장치(100)의 사용자가 장치(100)를 작동하기 위하여(또는 장치(100)의 작동을 용이하게 하기 위하여) 명령어, 명령, 파라미터, 정보 등을 제공할 수 있게 하는 임의의 디바이스이다. 입력 디바이스의 예는 키보드, 마우스, 터치패드, 터치스크린, 마이크, 카메라 등을 포함한다.

[0088] H. 통신 모듈

[0089] 선택적으로, 장치(100)는 제어기(114)에 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크, 예컨대, USB, RS-232, 이더넷, 파이어 와이어, Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등 또는 이들의 조합을 통하여) 통신 가능하게 결합된 통신 모듈(122)을 포함한다. 통신 모듈(122)은 데이터를 전송하거나, 데이터를 수신하거나, 이들의 조합을 수행하도록 작동한다. 따라서, 통신 모듈(122)은 유선 또는 무선 링크를 통해 다른 디바이스 또는 네트워크(예를 들어, 네트워크(124))로 데이터를 전송 및/또는 수신하기 위해 회로, 안테나, 커넥터 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 하나의 예에서, 통신 모듈(122)은 직렬 포트(예를 들어, RS232), 범용 직렬 버스(USB) 포트, IR 인터페이스 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 기능을 수행하도록 제어기(114)의 소프트웨어 또는 펌웨어와 함께 작동하는 커넥터일 수 있다. 다른 예에서, 통신 모듈(122)은 RS-232C, IBM46XX, 키보드 웨지 인터페이스 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 복수의 상이한 호스트 인터페이스 프로토콜을 지원하는 범용 인터페이스 드라이버 주문형 집적 회로(UIDA)일 수 있다. 통신 모듈

(122)은 USB, 이더넷, 블루투스, 와이파이, 적외선(예를 들어, IrDa), RFID 통신 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 다른 알려진 통신 모드를 지원하기 위하여, 당 업계에 알려진 바와 같이, 하나 이상의 모듈, 회로, 안테나, 커넥터 등을 포함할 수 있다. 제어기(114)와 별개의 구성요소로 되는 대신, 통신 모듈(122)이 임의의 공지된 또는 적절한 방식으로 제어기(114)의 일부로서 통합될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0090] 네트워크(124)는 장치(100)에 원격인 하나 이상의 시스템(예를 들어, 도 1에서 식별된 바와 같은 원격 시스템(126))에 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크, 예컨대, USB, RS-232, 이더넷, 파이어 와이어, Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등 또는 이들의 조합을 통하여) 통신 가능하게 결합될 수 있다. 일 실시예에서, 원격 시스템(126)은 컴퓨터(예를 들어, 데스크톱 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 스마트폰 등), 컴퓨팅 시스템(예를 들어, 클라우드 컴퓨팅 플랫폼), (예를 들어, 장치(100)과 같은 다른 장치와 연관된) 다른 제어기 또는 통신 모듈 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 디바이스일 수 있다. 원격 시스템(126)은 장치(100)의 사용자, 장치(100)의 제조자, 장치(100)에 대한 유지보수를 수행하는 기술자 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 소유되거나 달리 작동되는 디바이스일 수 있다.

[0091] 통신 모듈(122) 및 네트워크(124)를 통해, 제어기(114)는 원격 시스템(126)으로 다양한 데이터를 통신할 수 있다. 따라서 원격 시스템(126)으로 출력될 수 있는 데이터의 예는 전송한 이미지 데이터 또는 측정 데이터 또는 알림 데이터(양자는 모두 아래에서 더 자세히 논의됨) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 원격 시스템(126)에 의해 출력된 데이터는 (예를 들어, 네트워크(124) 및 통신 모듈(122)을 통해) 제어기(114)에 입력될 수 있고 장치(100)를 작동시키거나 다른 방식으로 장치(100)의 임의의 작동에 영향을 미치거나 이를 용이하게 하기 위한 명령어, 명령, 파라미터, 정보 등을 나타낼 수 있다.

[0092] I. 빔 특성화 도구

[0093] 선택적으로, 장치(100)는 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 특성을 측정하도록 작동하는 빔 특성화 도구(128)와 같은 하나 이상의 빔 특성화 도구를 포함한다. 빔 특성화 도구(128)에서 측정될 수 있는 특성의 예는 입사 레이저 에너지의 빔에 의해 빔 특성화 도구(128)에서 조명되는 스폿의 공간적 에너지 분포, 위상, 편광, 출력 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 따라서, 빔 특성화 도구(128)는 슬릿 센서, 칼날 센서, 카메라(예를 들어, CCD, CMOS 등), 파면 센서(예를 들어, Shack-Hartmann 파면 센서 등), 또는 당 업계에 공지된 임의의 다른 레이저 빔 프로파일러 등 또는 이들의 임의의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 센서로서 제공될 수 있다. 빔 특성화 도구(128)는 측정된 빔 특성 중 하나 이상을 나타내는 측정 데이터를 생성하고 측정 데이터를 (예를 들어, 하나 이상의 측정 신호로서) 제어기(114)에 출력할 수 있다. 선택적으로, 측정 데이터(또는 예를 들어, 제어기(114)에 의해 측정 데이터로부터 유도되는 데이터)는 제어기(114)로부터 원격 시스템(126)으로 (예를 들어, 통신 모듈(122) 및 네트워크(124)를 통해) 전송될 수 있다.

[0094] 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이, 빔 특성화 도구(128)는 당 업계에 공지된 임의의 방식으로 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 특성(각각은 일반적으로 본원에서 "빔 특성"이라고도 지칭됨)을 측정하도록 구성 및 배열될 수 있다. 예를 들어, 빔 특성화 도구(128)는 작업물(102)이 레이저 에너지의 빔에 의해 가공될 위치(본원에서 "가공 영역"이라고도 함)에서 또는 그 근처에서, 빔 경로(116)를 따른 위치(즉, 샘플링 위치)로부터, 또는 이들의 임의의 조합에서 (예를 들어, 화살표 128a로 표시된 바와 같은) 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 특성을 측정하도록 배열된다. 일 실시예에서, 샘플링 위치는(예를 들어, 화살표 128b로 표시된 바와 같은) 제2 위치 지정기(108)와 스캔 렌즈(112) 사이, 제1 위치 지정기(106)와 제2 위치 지정기(108) 사이, 레이저원(104)과 제1 위치 지정기(106) 사이에 있을 수 있다.

[0095] 다른 실시예에서, 카메라(113)(예를 들어, 제1 카메라, 제2 카메라 등 또는 이들의 임의의 조합)는 작업물(102), 고정구, 고정구 외부 영역 등 또는 이들의 임의의 조합에서 스폿의 이미지를 캡처하도록 작동될 수 있다. 그 후, 일 구현에서, 캡처된 이미지는 카메라(113)에 의해 생성된 이미지 데이터가 스폿의 공간적 에너지 분포를 나타내도록 카메라(113)에서 처리될 수 있다. 이 경우, 카메라(113)에서 출력되는 영상 데이터는 "측정 데이터"로 간주될 수 있으며, 카메라(113)는 빔 특성화 도구(128)의 일 실시예로 간주될 수 있다.

[0096] i. 가공 영역에서의 측정

[0097] 일 실시예에서, 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 빔 특성화 도구(128)는 제3 위치 지정기(110)가 제공되는 고정구(미도시)의 전송한 지지 영역 외부의 위치에서 제3 위치 지정기(110)에 장착될 수 있다. 예를 들어, 제3 위치 지정기(110)는 (예를 들어, 전송한 바와 같이) 하나 이상의 선형 스테이지를 포함할 수 있으며 빔 특성화 도구(128)는 고정구가 결합되는 동일한 선형 스테이지에(예를 들어, 그 측면에) 장착될 수 있다. 다른

실시예에서, 빔 특성화 도구(128)는 선형 스테이지 대신 고정구 자체에 장착될 수 있다. 빔 특성의 측정을 용이하게 하기 위하여, 제3 위치 지정기(110)는 빔 특성화 도구(128)를 빔 축(118)과 교차하는 위치(예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이)로 이동시키도록 작동될 수 있다. 빔 특성이 측정된 후, 제3 위치 지정기(110)는 (예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이) 빔 축(118)이 작업물(102)과 교차할 수 있도록 (예를 들어, 작업물(102)이 지지되는) 고정구의 지지 영역을 이동하도록 작동될 수 있다.

[0098] 도 4를 참조하면, 빔 특성화 도구(128)는 광 검출기(402)와 중첩하는 토큰(token)(400)을 포함할 수 있다. 토큰(400)은, 예를 들어, 기관(404) 및 기관(404) 상에 형성된 비투과성 타겟(406)의 패턴을 포함할 수 있다. 토큰(400)은 프레임(예를 들어, 프레임(408))에 의해 광 검출기(402) 위에 고정될 수 있다. 기관(404)은 빔 축(118)을 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔에 대해 투명한(또는 적어도 실질적으로 투명한) 재료(예를 들어, 일반적으로 유리)로 형성된다. 대조적으로, 타겟(406)은 일반적으로 빔 축(118)을 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔을 반사하거나 흡수하는 재료(예를 들어, 일반적으로 크롬 또는 그 합금)로 형성된다.

[0099] 타겟(406)의 크기, 형상 또는 다른 구성은 원하는 임의의 의미의 내용으로 제공될 수 있다. 예를 들어, 도 5를 참조하면, 타겟(406)은 중실(solid) 정사각형 타겟(예를 들어, 500에서 확인됨), 중실 다이아몬드형 타겟(예를 들어, 502에서 확인됨), 중공(hollow) 정사각형 타겟(예를 들어, 504에서 확인됨) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 "타겟 그리드"를 형성하도록 배열될 수 있다. 정사각형 타겟(예를 들어, 500 및 504에서 확인됨)은 X축 및 Y축 방향으로(예를 들어, X축으로부터 측정할 때, 0도 및 90도에서) 배향된 측면을 갖는다. 다이아몬드 형상 타겟(예를 들어, 502에서 확인됨)은 X축 및 Y축 방향으로부터 오프셋된(예를 들어, X축으로부터 측정할 때, 45도 및 135도에서) 측면을 갖는다.

[0100] 타겟 그리드는, 선택적으로, 중실 정사각형, 중실 다이아몬드형 및 중공 정사각형 타겟(500, 502 및 504)을 둘러싸는 주변 타겟(예를 들어, 506에서 나타남)을 포함할 수 있다. 도 5는 타겟(406)의 12x12 어레이(즉, 타겟(500, 502 및 504))를 도시하지만, 임의의 수의 타겟(406)이 제공될 수 있고 임의의 원하는 또는 유익한 방식으로 배열될 수 있음을 이해할 것이다. 타겟 그리드는 10mm 내지 30mm(예를 들어, 20mm 또는 그 주변) 범위의 길이 및/또는 폭을 가질 수 있다. 주변 타겟(506)의 개별 측면은 1mm 내지 5mm(예를 들어, 2.5mm 또는 그 주변) 범위의 폭 w1을 가질 수 있고, 타겟(500, 502 및 504)은 100 μm 내지 500 μm 범위(예를 들어, 250 μm 또는 그 주변)의 최대 치수(예를 들어, X 또는 Y 방향에서)를 가질 수 있다. 중공 정사각형 타겟(504)의 측면은 5 μm 내지 15 μm 범위(예를 들어, 10 μm 또는 그 주변)의 폭 w2를 가질 수 있다.

[0101] 일 실시예에서, 스캔 렌즈(112)에 의해 전송된 레이저 에너지의 빔은 타겟(406)이 형성되는 재료를 용해 또는 삭마할 수 있을 만큼 충분히 높은 플루언스(예를 들어, 제1 플루언스)에서 토큰(400)의 타겟(406) 상의 스폿을 조명할 수 있다. 이러한 실시예에서, 광 검출기(402)는 타겟 그리드 영역보다 작은 활성 영역(즉, 점선 사각형(508)으로 둘러싸인 영역으로 도 5에 표시된, 광을 검출할 수 있는 광 검출기의 영역)을 (즉, 도 5에 도시된 평면도에서 볼 때) 갖는다. 광 검출기(402)의 활성 영역(508)은 길이가 5mm 내지 20mm(예를 들어, 10mm 또는 그 주변)인 측면을 가질 수 있다.

[0102] 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112)에 의해 전송된 레이저 에너지의 빔은 타겟(406)이 형성되는 재료를 용해 또는 삭마하기에 불충분하지만, 광 검출기(402)를 손상시킬 수 있을 정도로 충분히 높은 플루언스(예를 들어, 제2 플루언스)로 토큰(400)의 타겟(406) 상의 스폿을 조명한다. 이 경우, 도 4를 참조하면, 빔 특성화 도구(128)는 광 검출기(402)가 손상되는 것을 방지하기 위하여 광 검출기(402)에 입사하는 전송된 레이저 에너지의 빔의 플루언스를(예를 들어, 제2 플루언스보다 작은 플루언스로) 감소시키기 위해 토큰(400)과 광 검출기(402) 사이에 개재된 광학 필터(410)(예를 들어, 중성 밀도 필터)를 포함할 수 있다.

[0103] 또 다른 실시예에서, 스캔 렌즈(112)에 의해 전송된 레이저 에너지의 빔은 타겟(406)이 형성되는 재료를 용해 또는 삭마하기에 불충분하며, 광 검출기(402)를 손상시키기에 불충분한 플루언스(예를 들어, 제3 플루언스)로 토큰(400)의 타겟(406) 상의 스폿을 조명한다. 이 경우, 광학 필터(410)는 빔 특성화 도구(128)에서 생략될 수 있다.

[0104] 일 실시예에서, 장치(100)의 하나 이상의 구성요소의 작동은 (예를 들어, 제어기(114), 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 타겟(406)에서 조명되는 스폿이 제1 플루언스 또는 제2 플루언스에 있도록 보장하기 위하여 선택적으로 제어될 수 있다. 마찬가지로, 장치(100)의 하나 이상의 구성요소의 작동은 (예를 들어, 제어기(114), 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 타겟(406)에서 조명되는 스폿이 제2 플루언스 또는 제3 플루언스에 있도록 보장하기 위하여 선택적으로 제어될 수 있다.

[0105] ii. 빔 경로에서의 측정

[0106] 일 실시예에서, 도 6을 참조하면, 장치(100)는 빔 경로(116) 내의 위치(즉, 상술한 "샘플링 위치")에 배열된 빔 스플리터(600)(예를 들어, 예시된 빔 스플리터 큐브, 부분 반사 미러, 광섬유 빔 스플리터 등 또는 이들의 임의의 조합)를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(600)는 제2 위치 지정기(108)와 스캔 렌즈(112) 사이, 제1 위치 지정기(106)와 제2 위치 지정기(108) 사이, 레이저원(104)과 제1 위치 지정기(106) 사이 등에 있을 수 있다. 그러나, 일반적으로 빔 스플리터(600)는 입사 레이저 에너지의 빔을 가공 빔과 샘플 빔으로 분할한다. 가공 빔은 빔 경로(116)를 따라 전파되고(예를 들어, 궁극적으로 스캔 렌즈(112)를 통해 전송되도록) 샘플 빔은 빔 경로(602)를 따라 빔 특성화 도구(128)로 전파된다.

[0107] J. 레이저 센서 시스템

[0108] 일 실시예에서, 장치(100)는 레이저 에너지 또는 출력을 측정하도록 구성된 레이저 센서 시스템을 포함한다. (예를 들어, 레이저 에너지 또는 출력 측정에 응답하여) 레이저 센서 시스템에 의해 생성된 측정 데이터는 제어기(114)(및 선택적으로 원격 시스템(126))로 출력되며, 여기에서 (예를 들어, 레이저 출력의 변화를 보상하기 위한) 실시간 펄스 에너지 제어, (예를 들어, RF 출력 및 주파수에 대한 제1 위치 지정기(106)의 AOD 시스템에서의 전송 변화를 보상하기 위한 등) 시스템 교정 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 다양한 기능을 지원하도록 처리될 수 있다. 레이저 센서 시스템의 측정 데이터를 사용하여 구현할 수 있는 기능의 예는 전술한 미국 특허 7,244,906 또는 전술한 미국 특허출원 공보 2014/0196140, 2014/0263201 또는 2014/0263223 등 또는 이들의 임의의 조합에서 논의된다.

[0109] 일 실시예에서, 도 7을 참조하면, 장치(100)는 상이한 축을 따라 빔 경로(116)를 편향시키도록 작동하는 (예를 들어, 전술한 바와 같은) AOD 시스템으로서 제공된 제1 위치 지정기(106)를 포함한다. 예를 들어, 제1 위치 지정기(106)는 제1 단축 AOD 시스템(700)(예를 들어, X축 AOD 시스템) 및 제2 단축 AOD 시스템(702)(예를 들어, Y축 AOD 시스템)을 포함할 수 있다. 제1 위치 지정기(106)는, 선택적으로, 제1 단축 AOD 시스템(700)과 제2 단축 AOD 시스템(702) 사이에 개재된 반과장판(704)과 같은 다른 광학 구성요소를 포함할 수 있다. 장치(100)는 또한 (예를 들어, 제1 릴레이 렌즈(또는 제1 렌즈 그룹)(708), 제2 릴레이 렌즈(또는 제2 렌즈 그룹)(710) 및 그 사이에 개재된 조리개(712)를 포함하는) 릴레이 모듈(706)을 포함할 수 있다. 장치(100)는 또한 제2 위치 지정기(108)(예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이 제공됨)의 광학적으로 "업스트림(upstream)"에 배열된 1/4 과장판(714)을 포함할 수 있다. 장치(100)는 또한 빔 경로(116)에 배치된 복수의 미러(716)를 포함할 수 있다. 일반적으로, 미러(716)는 임의의 바람직하거나 유익한 방식으로 위에서 논의된 다양한 구성요소로 빔 경로(116)를 구부리거나 접도록 배열되고 구성된다.

[0110] 위에서 설명된 구성에서, 레이저 센서 시스템(도 7에서 718로 확인됨)은 제1 위치 지정기(106)와 제1 위치 지정기(106) 사이의 빔 경로(116)를 따라 한 지점에서 샘플링된 레이저 에너지의 빔의 일부로부터 레이저 에너지를 측정하도록 구성된다. 따라서, 장치(100)는(예를 들어, 경로(116)를 따라) 릴레이 모듈(706)을 빠져 나가는 레이저 에너지의 빔의 빛의 대부분을 제2 위치 지정기(108)를 향해 지향(예를 들어, 반사)하는 한편, 소량의 빛(예를 들어, 2% 또는 그 주변)을 경로(722)를 따라 레이저 센서 시스템(718)으로 전파하도록 배열되고 구성된 빔 스플리터(720)(예를 들어, 도식된 바와 같이 부분 반사 미러, 빔 스플리터 큐브, 광섬유 빔 스플리터 등 또는 이들의 임의의 조합)를 더 포함할 수 있다.

[0111] 일반적으로, 레이저 센서 시스템(718)은 레이저 에너지를 측정하도록 구성된 광 검출기(724)를 포함한다. 그러나, 레이저 센서 시스템(718)은 광학적으로 제1 위치 지정기(106)의 "다운스트림(downstream)"에 위치되고, 광 검출기(724)에 의해 취해진 관독치는 일반적으로 거기에 입사하는 에너지의 빔의 위치 또는 각도에 따라 변한다. 따라서, 광 검출기(724)를 통한 입사 레이저 에너지의 빔의 이동은 관독 오류를 야기할 수 있으며, 이는 잘못된 출력 제어, 시스템 보정 등을 초래할 수 있다. 일 실시예에서, 레이저 에너지의 빔이 광 검출기(724)에 부딪히기 전에 경로(722)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔을 (예를 들어, 하나 이상의 확산판, 빔 확장기 등을 사용하여) 확장 및/또는 확산시킴으로써 광 검출기(724)와 관련된 공간 및 방향 감도가 감소될 수 있다. 이러한 경우, 확산/확장된 빔의 공간적 균일성은 광 검출기(724)를 가로지르는 입사 레이저 에너지의 빔의 이동 범위보다 커야 한다. 다른 실시예에서, 도 7을 참조하면, 광 검출기(724)와 연관된 공간 및 방향 감도를 감소시키기 위하여 적분구(726)가 사용된다. 적분구(726)가 제공되는 경우, 광 검출기(724) 상에 입사하기 전에 경로(722)를 따라 전파하는 레이저 에너지의 빔을 확장 및/또는 확산시키는 전술한 구성요소(예를 들어, 하나 이상의 확산판, 빔 확장기 등)는 생략될 수 있다(또는 원한다면 선택적으로 유지될 수 있다).

[0112] 일반적으로, 당 업계에 공지된 바와 같이, 적분구(726)는 내부 표면이 확산 반사 코팅으로 코팅된 중공 구형(또

는 적어도 실질적으로 구형) 공동을 포함하는 광학 구성요소이다. 적분구(726)는 수집 포트(728) 및 검출 포트(730)를 포함하고, 경로(722)를 따라 전파하는 광이 수집 포트(728)를 통해 적분구(726)의 공동으로 들어갈 수 있도록 배열된다. 공동의 내부 표면상의 임의의 지점에 입사되는 빛이 산란되고 궁극적으로 광 검출기(724)에 입사하도록 검출 포트(730)에서 적분구(726)를 빠져나간다. 위에서 논의된 바와 같이 구성되어, 레이저 센서 시스템(718)은 빔 특성화 도구(128)와 관련하여 논의된 광 검출기(402)의 실시예로 간주될 수 있음을 이해할 것이다.

[0113] 레이저 센서 시스템(718)이 적분구(726)를 포함할 때(예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이), 광 검출기(724)와 연관된 공간 및 방향 감도는 경로(722)를 따라 전파되는 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 확산판, 빔 확장기 등을 사용하여 확장 및/또는 확산되는 경우에 비해 더 감소될 수 있다. 결과적으로 광 검출기(724)에 의해 생성된 측정 데이터를 사용하여 광 검출기(724)로부터 실시간 에너지 측정이 이루어질 수 있는 정확도가 개선되어, 출력 제어, 보정 등이 개선된다. 또한, 광 검출기(724)는 경로(722)에 대한 직접적인 광 검출기 정렬과 비교하여 매우 쉽게 적분구(726)의 수집 포트(730)에 정렬될 수 있다. 마찬가지로, 적분구(726)는 확산판, 빔 확장기 등과 같은 다른 메커니즘보다 더 쉽게 경로(722)에 정렬될 수 있다.

[0114] K. 작업물 핸들링 시스템

[0115] 도 1에 도시되지는 않았지만, 작업물 핸들링 시스템이 제공될 수 있다. 일반적으로, 작업물 핸들링 시스템은 가공된 작업물(102)을 로드하거나, 가공된 작업물(102)을 언로드하거나, 이들의 조합을 하도록 구성될 수 있다. 작업물(102)이 상대적으로 얇고 유연한 물체("웹"이라고도 하며, 직물, 종이, 호일, 라미네이트, FPC 패널, FPC 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있음)인 실시예에서, 작업물 핸들링 시스템은 (예를 들어, 스펴 또는 롤로부터 인출된) 작업물(102)을 가공을 위해 장치(100)로 안내하고 가공된 작업물(102)을 (예를 들어, 가공된 작업물(102)을 다른 스펴 또는 롤에 적재함으로써) 장치(100)로부터 제거하도록 구성된 롤-투-롤 시스템으로서 제공될 수 있다. 도 8을 참조하면, 웹을 핸들링하도록 구성된 작업물 핸들링 시스템, 예를 들어 작업물 핸들링 시스템(800)은 (예를 들어, 작업물(102)로 형성된 풀기 재료 롤(unwind material roll)(802a)로부터 인출된) 작업물(102)을 가공을 위해 장치(100)로(즉, 장치(100)의 고정구(804) 상으로) 안내하도록 구성될 수 있다. 작업물 핸들링 시스템(800)은 또한 가공된 작업물(102)을 고정물(804)로부터 작업물(102)로 형성된 되감기 재료 롤(rewind material roll)(802b)로 제거하도록 구성될 수 있다.

[0116] 예시된 실시예에서, 고정구(804)는 장치(100)의 제3 위치 지정기(110)의 스테이지에 결합된다. 이 경우, 제3 위치 지정기(110)는 위에서 논의된 바와 같이 분할 스테이지 위치 지정 시스템으로서 제공되고, 고정구(804)를 운반하는 스테이지는 Y 스테이지이다. 따라서, 고정구(804)는 Y 방향을 따라 이동 가능하고, 제2 위치 지정기(108), 스캔 렌즈(112) 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 구성요소는 X 방향을 따라 고정구(804) 위로 이동할 수 있다(예를 들어, 차레로 프레임, 갠트리 등에 장착되는 선형 스테이지에 의하여). 위에서 언급한 바와 같이, 고정구(804)는 작업물(102)을 고정, 유지 또는 부착하기 위해 작업물(102)에 힘(예를 들어, 기계적 힘, 정전기력, 진공력, 자기력 등)을 인가하도록 (예를 들어, 작업물(102)의 가공 동안) 작동한다. 따라서, 고정구(804)는 당 업계에 공지된 바와 같이 진공 척, 정전 척, 자기 척 등으로 제공될 수 있다.

[0117] 작업물 핸들링 시스템(800)은 작업물(102)을 고정구(804) 상으로 (예를 들어, 장치(100)의 제1 포트(806a)를 통해) 안내하도록 작동하는 풀기 어셈블리(808a) 및 가공된 작업물(102)을 고정구(804)로부터 (예를 들어, 장치(100)의 제2 포트(806b)를 통해) 제거하도록 작동하는 되감기 어셈블리(808b)를 포함한다. 풀기 어셈블리(808a)는 풀기 롤(802a)을 지지하는 풀기 스핀들(810a), 풀기 아이들러(idler) 롤러(812a), 제1 풀기 에어턴(air turn)(814a), 풀기 댄서 어셈블리(816a), 제2 풀기 에어턴(818a) 및 풀기 지지 시스템(820a)을 포함한다. 마찬가지로, 되감기 어셈블리(808b)는 되감기 롤(802b)을 지지하는 되감기 스핀들(810b), 되감기 아이들러 롤러(812b), 제1 되감기 에어턴(814b), 되감기 댄서 어셈블리(816b), 제2 되감기 에어턴(818b) 및 되감기 지지 시스템(820b)을 포함한다. 풀기 댄서 어셈블리(816a) 및 되감기 댄서 어셈블리(816b)(각각 본원에서 일반적으로 "댄서 어셈블리(816)"로 지칭됨)는 댄서 프레임(824)에 장착된 댄서 롤러(822)를 각각 포함할 수 있다. 당 업계에 알려진 바와 같이, "에어턴"은 작업물(102)과 실린더 사이에 가압 공기의 쿠션을 생성하도록 구성된 슬롯형, 천공형 또는 다공성 표면을 갖는 원통형 요소이다.

[0118] 도시되지는 않았지만, 작업물 핸들링 시스템(800)은 작업물 핸들링 시스템(800)의 작동을 제어하거나 제어를 용이하게 하기 위해 하나 이상의 제어기(총괄적으로 그리고 일반적으로 "핸들링 제어기"라고 함)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 핸들링 제어기는 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크, 예컨대, USB, RS-232, 이더넷, 파이어와이어, Wi-Fi, RFID, NFC, 블루투스, Li-Fi, SERCOS, MARCO, EtherCAT 등

또는 이들의 조합을 통하여) 작업물 핸들링 시스템의 하나 이상의 전술한 구성요소(예를 들어, 풀기 스핀들(810a), 되감기 스핀들(810b), 임의의 댄서 어셈블리(816)의 댄서 프레임 등에 결합된 임의의 모터 또는 액추에이터)에 통신 가능하게 결합되어, 핸들러 제어기에 의해 출력되는 하나 이상의 제어 신호에 응답하여 작동된다.

[0119] 일반적으로, 핸들러 제어기는 명령을 실행할 때 전술한 제어 신호를 생성하도록 작동하는 하나 이상의 프로세서를 포함한다. 프로세서는 명령어를 실행하도록 작동하는 프로그래밍 가능한 프로세서(예를 들어, 하나 이상의 범용 컴퓨터 프로세서, 마이크로프로세서, 디지털 신호 프로세서 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함)로서 제공될 수 있다. 프로세서(들)에 의해 실행 가능한 명령어는 소프트웨어, 펌웨어 등 또는 프로그래밍 가능 논리 디바이스(PLD), 현장 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA), 현장 프로그래밍 가능 객체 어레이(FPOA) 디지털, 아날로그 및 혼합 아날로그/디지털 회로를 포함하는 주문형 집적 회로(ASIC) 등 또는 이들의 조합을 포함하는 임의의 적절한 형태의 회로로 구현될 수 있다. 명령의 실행은 하나의 프로세서에서 수행되거나, 프로세서들 사이에 분산되거나, 디바이스 내의 또는 디바이스의 네트워크의 프로세서들에 걸쳐 병렬로 이루어지는 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해 수행될 수 있다.

[0120] 일 실시예에서, 핸들러 제어기는 프로세서에 의해 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선 통신 링크를 통해) 접근 가능한 컴퓨터 메모리와 같은 유형의 매체를 포함한다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, "컴퓨터 메모리"는 자기 매체(예를 들어, 자기 테이프, 하드 디스크 드라이브 등), 광 디스크, 휘발성 또는 비휘발성 반도체 메모리(예를 들어, RAM, ROM, NAND형 플래시 메모리, NOR형 플래시 메모리, SONOS 메모리 등) 등을 포함하며, 로컬, 원격(예를 들어, 네트워크를 통해) 또는 이들의 조합으로 접근할 수 있다. 일반적으로, 명령어는 컴퓨터 소프트웨어(예를 들어, 실행 코드, 파일, 명령어 등, 라이브러리 파일 등)로 저장될 수 있으며, 본원에 제공된 설명으로부터 기술자가 쉽게 저작할 수 있으며, 예를 들어, C, C ++, Visual Basic, Java, Python, Tel, Perl, Scheme, Ruby, 어셈블리 언어, 하드웨어 기술 언어(예를 들어, VHDL, VERILOG 등) 등으로 작성된다. 컴퓨터 소프트웨어는 일반적으로 컴퓨터 메모리가 전달하는 하나 이상의 데이터 구조에 저장된다.

[0121] 예시된 실시예에서, 작업물(102)은 풀기 재료 롤(802a)로부터 풀리고, 이어서 풀기 아이들러 롤러(812a) 위로, 제1 풀기 에어턴(814a) 위로, 풀기 댄서 어셈블리(816a)의 댄서 롤러(822) 아래로 및 제2 풀기 에어턴(818a) 위로 공급되어, 제1 포트(806a)를 통해 (예를 들어, 고정구(804) 위의 작업물(102)의 일부가 장치(100)에 의해 가공될 수 있도록) 고정구(804) 위로 안내된다. 고정구(804)로부터, 작업물(102)은 제2 포트(806b)를 통해 안내되어 제2 되감기 에어턴(818b) 위로 공급되고, 이어서 되감기 댄서 어셈블리(816b)의 댄서 롤러(822) 아래로 공급된 다음, 제1 되감기 에어턴(814b) 위로 및 되감기 아이들러 롤러(812b) 위로 공급되어 최종적으로 되감기 스핀들(810b)에 감긴다(예를 들어, 이에 따라 되감기 재료 롤(802b)을 형성함). 처음에는, 작업물(102)이 작업물 핸들링 시스템(800)에 설치되도록 전술한 다양한 롤러 및 에어턴의 위 및 아래로(예를 들어, 위에서 논의한 바와 같이, 풀기 스핀들(810a)로부터, 고정구(804) 위로, 그리고 되감기 스핀들(810b) 상으로) 수동으로 공급된다.

[0122] 풀기 스핀들(810a) 및 되감기 스핀들(810b) 각각은 하나 이상의 모터 또는 다른 액추에이터(미도시, 제1지지 시스템(818a) 및 제2지지 시스템(818b)에 각각 배열됨)에 결합되고 이에 의해 구동(즉, 회전)된다. 따라서, 초기 설치 후에, 작업물(102)은 인덱싱되거나 그렇지 않으면 조정된 방식으로 풀기 스핀들(810a) 및 되감기 스핀들(810b)(각각 여기서 일반적으로 "스핀들(810)"로 지칭됨)을 회전시키는 고정구(804) 위로 이동될 수 있다. 예를 들어, 도 8에 도시된 바와 같이, 풀기 스핀들(810a) 및 되감기 스핀들(810b)을 시계 방향으로 회전시킴으로써 작업물(102)이 우측으로 이동될 수 있다. 마찬가지로, 풀기 스핀들(810a) 및 되감기 스핀들(810b)을 반시계 방향으로 회전시킴으로써 작업물(102)이 왼쪽으로 이동될 수 있다.

[0123] 풀기 지지 시스템(820a)은, 또한 풀기 스핀들(810a)을 그것의 종축을 따라(즉, 도시된 Y축 및 Z축에 직교하는 X축을 따라) 이동시켜 풀기 댄서 어셈블리(816a)의 댄서 롤러(822)의 길이를 따라 제1 포트(806a) 내로 작업물(102)의 원하는 축 방향 위치를 조정하거나 유지하기 위해, 풀기 스핀들(810a)에 결합된 모터 또는 다른 액추에이터를 포함할 수 있다. 유사하게, 되감기 지지 시스템(820b)은, 되감기 댄서 어셈블리(816b)의 댄서 롤러(822)를 종축을 따라(즉, X축을 따라) 이동시켜 제2 포트(806b)를 빠져나가는 작업물(102)의 원하는 축 방향 위치를 조정하거나 유지하기 위해, 되감기 스핀들(810b)에 결합된 모터 또는 다른 액추에이터를 포함할 수 있다.

[0124] 풀기 아이들러 롤러(812a)는 풀기 지지 시스템(820a)에 의해 다시 지지되는 축에 장착된다. 마찬가지로, 되감기 아이들러 롤러(812b)는 되감기 지지 시스템(818b)에 의해 다시 지지되는 축에 장착된다. 각 축의 위치는 (예를 들어, 수동으로) 조정될 수 있지만 작업물 핸들링 시스템(800)의 작동 중에 일반적으로 고정된다. 풀기 스핀들(810a) 및 되감기 스핀들(810b)과 달리, 풀기 아이들러 롤러(812a) 및 되감기 아이들러 롤러(812b)는 소위 "비

구동" 롤러이다(즉, 당 업계에 공지된 바와 같이, 작업물(102)이 그 주위를 지나갈 때 아이들러 롤러는 각각의 축 상에서 회전한다).

[0125] 제1 풀기 에어 턴(814a) 및 제2 풀기 에어 턴(818a)은 제1 지지 시스템(820a)에 장착된다. 마찬가지로, 제1 되감기 에어턴(814b) 및 제2 되감기 에어턴(818b)은 제2 지지 시스템(820b)에 장착된다. 각 에어턴의 위치는 (예를 들어, 수동으로) 조정될 수 있지만 작업물 핸들링 시스템(800)의 작동 중에 일반적으로 고정된다. 아이들러 롤러와 달리, 각 에어턴은 (예를 들어, 에어턴이 회전하지 않도록) 회전적으로 고정되도록(rotationally fixed) 각 지지 시스템에 장착된다. 작업물 핸들링 시스템(800)의 작동 중에, (예를 들어, 지지 시스템 내에 배열되고 각 에어턴과 유체 연통하는 압축기 또는 다른 소스로부터 제공되는) 가압된 공기가 각 에어턴으로 공급되어 에어턴과 작업물(102) 사이에 (예를 들어, 작업물(102)이 에어턴 주위를 통과할 때 에어턴과 접촉하지 않도록) 공기 쿠션을 생성한다.

[0126] 제1 댄서 어셈블리(816a) 및 제2 댄서 어셈블리(816b) 각각 내에서, 당 업계에 공지된 바에 따라, 댄서 롤러(822)가 그 중축을 중심으로 회전할 수 있도록(예를 들어, 도 9에 도시된 바와 같이, X축을 중심으로 회전할 수 있도록) 댄서 롤러(822)는 각 댄서 프레임(824)에 결합된다. 도 9에 도시된 바와 같이, 각 댄서 어셈블리(816)는 또한 각각 댄서 롤러(822)의 단부를 댄서 프레임(824)에 연결하는 한 세트의 바이어싱 메커니즘(900)을 포함한다. 일반적으로, 작동 중에, 작업물(102)은 +Z 방향(예를 들어, 도 9에 도시된 바와 같이 위쪽 방향으로) 댄서 롤러(822)에 힘을 가한다. 따라서 바이어싱 메커니즘(900)은 댄서 롤러(822)에 -Z 방향(예를 들어, 도 9에 도시된 바와 같이 하향 방향으로)으로 반대 힘을 가하도록 구성된다. 따라서, 바이어싱 메커니즘(900)은 공압 실린더, 유압 실린더, 스프링 장착 단동 실린더 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 바이어싱 메커니즘(900)은 댄서 롤러(822)에 일정한(또는 적어도 실질적으로 일정한) 힘을 가하도록 구성된다.

[0127] 여전히 도 9를 참조하면, 각 댄서 어셈블리(816)는 또한 연관된 댄서 롤러(822) 아래로 공급된 작업물(102)의 부분까지의 거리를 측정하고 측정된 거리를 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성된 거리 센서(902)(예를 들어, 댄서 롤러(822) 아래의 댄서 프레임(824)에 장착됨)를 포함한다. 센서 데이터는 거리 센서(902)로부터 (예를 들어, 하나 이상의 센서 신호로서) 제어기(예를 들어, 핸들러 제어기)로 출력될 수 있으며, 여기서 풀기 스펀들(810a) 및 되감기 스펀들(810b)이 회전되는 방식을 (예를 들어, 방향, 속도, 양 등 또는 이들의 임의의 조합 측면에서) 제어하는 데 사용된다.

[0128] 각 댄서 어셈블리(816)의 댄서 프레임(824)은 하나 이상의 모터 또는 다른 액추에이터(도시되지 않음, 각각 제1 지지 시스템(818a) 및 제2 지지 시스템(818b)에 배열됨)에 의해 결합되고 구동(즉, Z축을 따라 병진 또는 이동)된다. 아래에서 더 상세히 논의되는 바와 같이, Z축을 따른 각 댄서 어셈블리(816)의 댄서 프레임(822)의 이동은 Y 방향을 따른 고정구(804)의 이동과 조정된다.

[0129] 위에서 예시적으로 설명된 바와 같이 구성되어, 작업물 핸들링 시스템(800)의 작동이 이제 설명될 것이다. 장치(100)에 의해 가공되기 전에, 작업물(102)은 작업물 핸들링 시스템(800)에 (예를 들어, 전술한 바와 같이) 설치된다. 다음으로, 풀기 스펀들(810a) 및 되감기 스펀들(810b)이 구동(예를 들어, 시계 방향으로 회전)되어 작업물(102)의 가공될 부분이 고정구(804) 위로 전진할 수 있다. 고정구(804) 위로 배치된 작업물(102)의 가공될 부분은 본원에서 또한 "작업물(102)의 로딩된 부분"이라고 지칭된다. 작업물(102)이 전진됨에 따라, 각 또는 하나의 댄서 어셈블리(816)의 거리 센서(902)에 의해 출력된 센서 신호가 풀기 스펀들(810a) 및 되감기 스펀들(810b)의 회전 방법을 제어하기 위해 (예를 들어, 핸들러 제어기에서) 사용된다. 예를 들어, 센서 신호가 거리 센서(902)와 (예를 들어, 제1 댄서 어셈블리(816a)의) 연관된 댄서 롤러(822) 아래에 공급된 작업물(102) 사이의 거리가 미리 결정된 임계 거리 범위보다 작다는 것을 나타내는 경우, 핸들러 제어기는 스펀들(예를 들어, 풀기 스펀들(810a))이 회전되는 속도를 감소시키기 위해 모터 또는 액추에이터의 작동을 제어할 수 있다. 센서 신호가 거리 센서(902)와 (예를 들어, 제1 댄서 어셈블리(816a)의) 연관된 댄서 롤러(822) 아래에 공급된 작업물(102) 사이의 거리가 미리 결정된 임계 거리 범위보다 크다는 것을 나타내는 경우, 핸들러 제어기는 스펀들(예를 들어, 풀기 스펀들(810a))이 회전되는 속도를 증가시키기 위해 모터 또는 액추에이터의 작동을 제어할 수 있다. 스펀들이 회전하는 속도를 감소 또는 증가시키면, 거리 센서(902)와 연관된 댄서 롤러(822) 아래로 공급되는 작업물(102)의 부분 사이의 거리는 미리 결정된 임계 거리 내에 있도록 유지될 수 있다.

[0130] 작업물(102)의 원하는 부분이 고정구 위로 전진한 후, 고정구(804)가 작동되어 (예를 들어, 제어기(114)에 의해 출력된 제어 신호에 응답하여) 작업물(102)의 로딩된 부분에 힘(예를 들어, 기계적 힘, 정전기력, 진공력, 자기력 등)을 인가하여 작업물(102)의 로딩된 부분을 고정, 유지 또는 다른 방식으로 부착시킨다. 장치(100)에 의해

작업물(102)의 로딩된 부분을 가공하는 동안, 고정구(804)는 (예를 들어, 장치(100)의 Y 스테이지의 이동으로 인해) Y축을 따라 앞뒤로 이동될 수 있다. 고정구(804)에 고정되면, 작업물(102)의 로딩된 부분은 마찬가지로 Y축을 따라 이동될 수 있다. 일반적으로, 고정구(804)를 지지하는 Y 스테이지의 Y축을 따른 이동(및 따라서 작업물(102)의 이동)은 스핀들(810)의 각 가속도보다 훨씬 더 큰 가속도를 특징으로 할 수 있다.

[0131] 고정구(804)를 지지하는 Y 스테이지와 스핀들(810) 사이의 가속 능력의 차이로 인한 작업물(102)의 플러터(flutter), 주름 또는 파손을 제거하거나 그렇지 않으면 감소시키기 위해, 댄서 어셈블리(816)가 Y축을 따른 고정구(804)의 이동과 조정된 방식으로 (예를 들어, Z축을 따라) 상승 또는 하강되도록 구동된다. 예를 들어, 고정구(804)를 지지하는 Y 스테이지가 거리 "d"에 걸쳐 속도 "v"로 Y축을 따라 왼쪽으로 이동하면, 제1 댄서 어셈블리(816a)가 Z축을 따라 아래로 절반의 속도와 거리로(즉, 거리 d/2에 걸쳐 속도 v/2로) 이동하는 한편, 제2 댄서 어셈블리(816b)는 Z축을 따라 위쪽으로 절반의 속도와 거리로(즉, 거리 d/2에 걸쳐 속도 v/2로)으로 이동한다. 유사하게, 고정구(804)를 지지하는 Y 스테이지가 거리 "d"에 걸쳐 속도 "v"로 Y축을 따라 오른쪽으로 이동하면, 제1 댄서 어셈블리(816a)가 Z축을 따라 위로 절반의 속도와 거리로(즉, 거리 d/2에 걸쳐 속도 v/2로) 이동하는 한편, 제2 댄서 어셈블리(816b)는 Z축을 따라 아래쪽으로 절반의 속도와 거리로(즉, 거리 d/2에 걸쳐 속도 v/2로)으로 이동한다. 일반적으로, 댄서 어셈블리(816)는 Y 스테이지가 구동되는 가속도와 밀접하게 일치하는 가속도로 구동된다. 전술한 바와 같이 댄서 어셈블리(816)를 올리고 내림으로써, 작업물(102)의 로딩된 부분이 고정구(804)에 의해 Y축을 따라 이동할 때에도, 풀기 재료 롤(802a)과 제1 풀기 에어턴(814a) 사이의 작업물(102)의 부분(또한 되감기 재료 롤(802b)과 제1 되감기 에어턴(814b) 사이의 작업물(102)의 부분)이 고정된 (또는 적어도 실질적으로 고정된) 상태를 유지할 수 있다.

[0132] 댄서 어셈블리(816) 및 고정구(804)를 지지하는 Y 스테이지의 조정된 이동을 용이하게 하기 위해, 장치(100)는 Y 스테이지에 작동 가능하게 결합되고 당업계에서 알려진 바와 같이 Y 스테이지의 위치, Y 스테이지가 이동하는 방향, Y 스테이지가 이동하는 속도 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 데이터를 나타내는 인코더 신호(또한 "인코더 데이터"라고 함)를 생성하도록 구성된 인코더(미도시)를 포함할 수 있다. 인코더는 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬, 통신 링크를 통해) 핸들러 제어기에 통신 가능하게 결합될 수 있으며, 따라서 인코더 데이터 방향을 핸들러 제어기로 전송할 수 있다. 대안적으로, 인코더는 (예를 들어, 하나 이상의 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬 통신 링크를 통해) 제어기(114)에 통신 가능하게 결합될 수 있으며, 이는 다시 핸들러 제어기에 통신 가능하게 결합된다. 이 대안적인 실시예에서, 핸들러 제어기는 인코더로부터 인코더 데이터를 수신한 제어기(114)로부터 다시 인코더 데이터를 수신할 수 있다. 인코더 데이터를 수신하면, 핸들러 제어기는 위에서 논의된 바와 같이 댄서 어셈블리(816)를 이동시키기 위해 하나 이상의 제어 신호를 생성하고 출력한다.

[0133] 인코더 신호가 인코더에 의해 출력되는 시간과 댄서 어셈블리(816)가 Y 스테이지 이동에 응답하여 상승 또는 하강하는 시간 사이에 필연적으로 지연이 있을 것이다. 일반적으로 지연은 몇 밀리 초(milliseconds) 정도이다. 댄서 롤러(822)에 지속적으로 힘을 가하는 각 댄서 어셈블리(816)의 바이어싱 메커니즘(900)은 댄서 어셈블리(816)가 Y 스테이지 이동에 응답하여 상승 또는 하강할 때까지 원하는 장력 상태에서 작업물(102)을 유지하기 위하여 지연을 감당하는 역할을 한다.

[0134] 위에서 예시적으로 논의된 바와 같이 구성되는, 작업물 핸들링 시스템(800)은 (예를 들어, 작업물(102)을 장치(100)로 안내하고 장치(100)로부터 작업물(102)를 제거하기 위해) 단일 작업물(102)을 핸들링하도록 구성된다. 그러나, 다른 실시예에서, 작업물 핸들링 시스템은 다수의 작업물을 핸들링하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 작업물 핸들링 시스템(800)은 2개의 작업물을 핸들링하도록 수정될 수 있다. 2개의 작업물의 핸들링을 가능하게 하기 위해, 각 댄서 어셈블리(816)는 도 10에 도시된 댄서 어셈블리(1000)와 같은 댄서 어셈블리로 대체될 수 있다. 도 10을 참조하면, 댄서 어셈블리(1000)는 2개의 댄서 롤러(즉, 각각 일반적으로 "댄서 롤러(822)"로 지칭되는 제1 댄서 롤러(822a) 및 제2 댄서 롤러(822b))를 포함하고, 각각은 도 8 및 도 9를 참조하여 위에서 논의된 것과 같은 방식으로 (예를 들어, 바이어싱 메커니즘(900) 세트에 의해) 댄서 프레임(824)에 장착된다. 댄서 어셈블리(1000)는 또한 연관된 댄서 롤러(822) 아래에 공급되는 작업물의 부분에 대한 거리를 측정하도록 (예를 들어, 도 9에 대해 위에서 논의된 것과 동일한 방식으로) 배열되고 구성된 거리 센서(902)를 포함할 수 있다.

[0135] 또한, 2개의 작업물을 취급할 수 있도록, 풀기 어셈블리(808a) 및 되감기 어셈블리(808b) 각각은 2개의 스핀들과 2개의 아이들러 롤러를 포함하도록 수정될 수 있다. 예를 들어, 도 11 및 도 12를 참조하면, 풀기 어셈블리(808a)는 풀기 어셈블리(1100a)를 가져오도록 수정될 수 있다. 도시된 바와 같이, 풀기 어셈블리(1100a)는 풀기 어셈블리(808a)의 전술한 구성요소들에 더하여 추가 풀기 롤러(1104a)를 지지하기 위한 풀기 스핀들(1102a) 및

풀기 아이들러 롤러(1106a) 을 포함한다. 도 8에 대해 위에서 유사하게 논의된 바와 같이, 풀기 지지 시스템(820a)은, 풀기 스피들(810a)과는 독립적으로, 풀기 스피들(810a)에 대해 설명된 방식으로 풀기 스피들(1102a)을 이동시키는 하나 이상의 모터 또는 다른 액추에이터를 포함할 수 있다. 도시되지는 않았지만, 되감기 어셈블리(808b)는 도 11 및 도 12와 관련하여 위에서 논의된 것과 유사한 방식으로 수정되어 추가 되감기 스피들 및 추가 되감기 아이들러 롤러를 포함할 수 있다.

[0136] 도 12 및 도 13을 참조하면, 도 10 내지 도 12와 관련하여 위에서 논의된 바와 같이 수정된 작업물 핸들링 시스템(800)은 따라서 2개의 작업물(예를 들어, 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b), 각각 일반적으로 "작업물(102)"로 지칭됨)을 핸들링할 수 있다. 전술한 바와 같이 구성되어, 변형된 풀기 어셈블리(1100) 내에서, 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b)은 동일한 댄서 어셈블리의 서로 다른 아이들러 롤러 위로 서로 다른 댄서 롤러 아래에 공급되지만, 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b)은 각각 공통 에어턴 위로 공급된다. 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b)은 마찬가지로 전술한 바와 같이 수정된 되감기 어셈블리(808b)의 다양한 구성요소 위 및 아래로 공급된다. 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b)의 재료 롤의 직경에 따라, 제1 작업물(102a)은 연관된 스피들과 아이들러 롤러 사이에서 제2 작업물(102b)과 다른 속도로 이동할 수 있다. 마찬가지로, 제1 댄서 롤러(822a) 및 제2 댄서 롤러(822b) 주위의 제1 작업물(102a) 및 제2 작업물(102b)의 장력 차이에 따라, 공통 댄서 어셈블리(1000) 내에서, 제1 댄서 롤러(822a)는 제2 댄서 롤러(822b)로부터 다르게 상승 또는 하강될 수 있다.

[0137] III. 측정 데이터에 관한 실시예

[0138] (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이) 생성된 측정 데이터는 (예를 들어, 제어기(114)에서, 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서 자동화된 방식으로) 처리되어 추정, 도출, 식별 또는 다른 방식으로 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 공간적 특성, 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의 에너지 특성 등 또는 이들의 임의의 조합을 획득할 수 있다.

[0139] 측정될 수 있는 공간적 특성의 예는 공간적 에너지 분포, 공간적 위상 분포, 공간적 편광 분포, 스폿 크기, 스폿 형상, 스폿 방향, 스폿 중심, 스폿 품질(예를 들어, 당 업계에 공지된 바와 같이 M^2 파라미터에 의해 표현됨) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 스폿 형상은 임의의 알려진 또는 적절한 기술(예를 들어, 원형도(circularity), 진원도(roundness) 등을 계산하기 위한 임의의 알려진 기술)을 사용하여 측정, 계산, 추정 또는 달리 결정될 수 있다. 예를 들어, 원형도는 다음 식에 따라 결정될 수 있다.

[0140]
$$C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

[0141] 여기에서 C는 레이저 에너지의 빔에 의해 조명되는 스폿의 원형도, A는 스폿 면적, P는 스폿 영역의 둘레이다.

[0142] 에너지 특성의 예는 스폿 플루언스, 펄스 에너지(즉, 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 레이저 에너지 펄스를 포함하는 경우), 평균 출력, 피크 출력 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 펄스 에너지(즉, 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 레이저 에너지 펄스를 포함하는 경우), 평균 출력, 피크 출력 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 전술한 특성 중 하나 이상을 나타내는 데이터는 스폿 플루언스와 같은 에너지 특성의 결정을 용이하게 하는 데 사용될 수 있다. 펄스 지속시간 또는 펄스 반복 주파수(즉, 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 레이저 에너지 펄스를 포함하는 경우) 등과 같은 하나 이상의 다른 특성을 나타내는 데이터는 또한 하나 이상의 에너지 특성의 결정을 용이하게 하기 위해 사용될 수 있다. 측정 데이터로서 생성되지 않은 경우, 그러한 데이터는 제어기(114)에 (예를 들어, 사용자 인터페이스(120), 통신 모듈(122) 등을 통해) 입력될 수 있거나 다른 방식으로 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로 접근 가능하다.

[0143] 측정 데이터는 주기적으로, 지속적으로(예를 들어, 일정 기간 동안), 이벤트 발생 전후 또는 이들의 임의의 조합으로 생성될 수 있다. 측정 데이터의 생성을 트리거(trigger)할 수 있는 이벤트의 예는 작업물(102) 가공 시작, 하나 이상의 작업물(102) 가공 완료, 미리 정해진 시간 동안 장치(100) 작동, 미리 정해진 시간 동안 레이저 지원(104) 작동 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 측정 데이터의 생성을 트리거할 수 있는 이벤트의 또 다른 예는 하나 이상의 빔 특성을 측정하라는 명령의 수신(예를 들어, 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통한 입력)을 포함할 수 있다.

[0144] 일반적으로, 레이저 에너지의 빔의 공간적 특성은 측정 데이터를 생성할 때 얻을 수 있다(예를 들어, 위에서 논의된 바와 같이). 일단 획득되면, 하나 이상의 공간적 또는 에너지 특성을 나타내는 데이터(일반적으로 본원에서 "스폿 데이터"라고 함)는 해석, 조작, 알고리즘에 입력되거나 달리 처리되어(예를 들어, 제어기(114), 원격

시스템(126, 등 또는 이들의 임의의 조합에서 자동화된 방식으로) 하나 이상의 작동을 지원할 수 있다. 이러한 작동의 예시적인 실시예는 "적응형 처리", "공정 제어" 및 "알림"이라는 제목의 아래 섹션에서 더 자세히 설명된다.

[0145] A. 적응형 처리

[0146] 측정 데이터에서 얻은 공간적 특성을 나타내는 스폿 데이터는 연관된 임계 가공 공차를 벗어나는지 여부를 결정하기 위해 처리될 수 있다. 일 실시예에서, 측정 데이터로부터 획득된 특정한 공간적 특성이 연관된 임계 가공 공차를 벗어나는지 여부를 결정하는 것은 특정한 공간적 특성의 값(즉, "측정된 값")을 특정한 공간적 특성에 대한 기준 값과 비교하는 것을 포함할 수 있다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, 용어 "공차"는 특정한 공간적 특성에 대한 기준 값의 허용 가능한 변동량을 의미한다.

[0147] 일 실시예에서, 측정된 값이 특정한 공간적 특성에 대한 기준 값보다 크거나 작은 경우 특정한 공간적 특성은 연관된 임계 가공 공차를 벗어난다. 다른 실시예에서, 특정한 공간적 특성의 측정된 값은 임계량만큼 기준 값보다 크거나(또는 작은) 경우 특정한 공간적 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어난다. 공간적 특성이 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정하면, 장치(100)의 하나 이상의 구성요소의 작동이 레이저 에너지의 범의 하나 이상의 특성을 조정하거나, 가공 궤적을 조정하거나 등 또는 이들의 임의의 조합을 하도록 (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 자동화된 방식으로) 제어될 수 있다. 이러한 응답의 예시적인 실시예는 아래에서 더 자세히 설명된다.

[0148] 기준 값(또는 임계량)은 임의적일 수 있거나, 공정이 개발되었을 때, 공정이 수용 가능한 처리량을 산출하는 것으로 간주되었을 때, 공정이 수용 가능한 품질을 산출하는 것으로 간주되었을 때 등 또는 이들의 임의의 조합일 때 사용된 특정한 공간적 특성의 값(또는 값 범위)에 대응할 수 있다. 일 실시예에서, 임계량은 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해 (예를 들어, 장치(100)의 제조자에 의해, 장치(100)의 사용자 또는 다른 조작자에 의해, 작업물(102) 가공을 위한 공정 또는 레시피를 개발하는 책임이 있는 애플리케이션 엔지니어 또는 기술자에 의해 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 수동으로 설정될 수 있다. 다른 실시예에서, 임계량은 (예를 들어, 제어기(114)에서, 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 레이저원(104)이 작동된 시간, 장치(100)가 작동된 시간, 스캔 렌즈(112)(또는 장치(100)의 임의의 다른 광학 구성요소)가 세척 또는 교체된 이후로 경과된 시간 등 또는 이들의 임의의 조합에 (적어도 부분적으로) 기초하여 도출될 수 있다.

[0149] i. 공간적 특성 보정

[0150] 공간적 특성의 측정된 값이 특정한 공간적 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정되면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘, 빔 형상 조정 메커니즘 등으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나로 출력되어 공간적 특성을 공차로 되돌리는 방식으로 이러한 구성요소 중 하나 이상의 작동을 조정한다. 공차를 벗어난 공간적 특성을 공차로 되돌리는 것은 본원에서 공차를 벗어난 공간적 특성을 "보정"하는 것으로 지칭된다.

[0151] 예를 들어, 스폿 크기가 기준 스폿 크기보다 크다고(또는 임계량만큼 기준 스폿 크기보다 크다고) 결정되면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), 빔 크기 조정 메커니즘 등으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나로 출력되어 스폿 크기를 기준 스폿 크기와 동일하게 줄이는(또는 스폿 크기가 기준 스폿 크기보다 임계량 이하만큼 커지도록 줄이는) 방식으로 이러한 구성요소 중 하나 이상의 작동을 조정하여 측정된 스폿 크기를 다시 공차로 되돌릴 수 있다.

[0152] 다른 예에서, 스폿 형상이 기준 원형도보다 작은(또는 임계량만큼 기준 스폿 크기보다 작은) 원형도를 갖는다고 결정되면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), 빔 크기 조정 메커니즘, 빔 형상 조정 메커니즘 등으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나로 출력되어 스폿 형상의 원형도를 기준 원형도와 동일하게 증가시키는(또는 원형도가 기준 원형도보다 임계량 이하만큼 작아지도록 증가시키는) 방식으로 이러한 구성요소 중 하나 이상의 작

동을 조정하여 측정된 원형도를 다시 공차로 되돌릴 수 있다.

[0153] ii. 공간적 특성의 보상

[0154] 공간적 특성의 값이 특정한 공간적 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정하면, (예를 들어, 컨트롤러(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 대응하는 에너지 특성의 값이 에너지 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어나는지에 대한 다른 결정이 이루어질 수 있다. 에너지 특성의 값이 에너지 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정하면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), VOA, 빔 크기 조정 메커니즘, 빔 형상 조정 메커니즘 등으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나로 출력되어 에너지 특성의 값을 공차로 되돌리는 방식으로 이러한 구성요소 중 하나 이상의 작동을 조정할 수 있다. 공차를 벗어난 에너지 특성을 공차로 되돌리는 것은 본원에서 공차를 벗어난 공간적 특성에 대한 "보상"이라고 한다. 이 경우, 공간적 특성은 위에서 논의된 바와 같이 반드시 "보상"되는 것은 아니지만, 전술한 구성요소 중 하나 이상의 작동은 공간적 특성이 각각의 임계 가공 공차를 벗어나는 정도를 감소시키기 위해 선택적으로 제어될 수 있다.

[0155] 예를 들어, 스폿 크기가 기준 스폿 크기보다 커서(또는 임계량만큼 기준 스폿 크기보다 커서) 스폿의 플루언스 값이 기준 플루언스 값보다 작은 것으로 결정되면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 레이저원(104), 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), VOA 등으로 구성된 그룹에서 선택된 적어도 하나로 출력되어 하나 이상의 제어 신호가 생성되어 작업물(102)로 전달되는 레이저 에너지의 빔의 출력 또는 에너지 함량을 증가시킬 수 있다. 일 구현에서, 레이저원(104)의 작동은 출력되는 레이저 에너지의 빔의 출력 또는 에너지 함량을 증가시키도록 제어될 수 있어, 플루언스를 다시 공차로 되돌린다. 레이저원(104)의 작동은 레이저원(104)에(예를 들어, 레이저원(104)의 펌프 레이저 다이오드에) 인가되는 전류를 조정하거나, 레이저원(104)을 구동하는 RF 신호 등을 조정하는 등 또는 이들의 임의의 조합으로 제어될 수 있다. 다른 구현에서, 제1 위치 지정기(106) 또는 제2 위치 지정기(108)(예를 들어, 위치 지정기 중 어느 하나가 AOD 시스템을 포함하는 경우) 또는 VOA 등 또는 이들의 임의의 조합 중 하나 이상의 작동은 이러한 구성요소가 이를 통해 전송되는 레이저 에너지의 빔을 감쇠하는 정도를 감소시켜, 플루언스를 다시 공차로 되돌리도록 제어될 수 있다. 선택적으로, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108), 제3 위치 지정기(110), 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 거리 렌즈로 제공되는 경우), 빔 크기 조정 메커니즘 등으로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나에 출력되어 스폿 크기가 기준 스폿 크기보다 큰 정도를 줄일 수 있다.

[0156] iii. 궤적 조정

[0157] 공간적 특성의 값(예를 들어, 스폿 크기, 스폿 형상 등)이 특정한 공간적 특성에 대한 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정하면, 미리 결정된 궤적을 따라 스캔되는 경우, 공간적 특성의 값을 갖는 스폿이 원하는 크기 및/또는 형상에서 벗어나는 형상 및/또는 크기를 갖는 피처를 형성할 것인지 여부에 대한 결정이 (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 이루어질 수 있다. 원하는 크기 및/또는 형상에서 벗어난 크기 및/또는 형상을 갖는 피처가 형성될 것이라고 결정하면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 및 제3 위치 지정기(110)로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나에 대해 출력되어 궁극적으로 형성된 피처가 원하는 크기 및/또는 형상을 갖도록 미리 결정된 궤적을 조정하는 방식으로 이들 구성요소 중 하나 이상의 작동을 제어할 수 있다.

[0158] 예를 들어(원하는 궤적이 원하는 직경의 원형 비아를 정의한다고 가정하면), 스폿 크기가 기준 스폿 크기보다 작으면(또는 임계량만큼 기준 스폿 크기보다 작으면) 미리 결정된 궤적을 따라 스폿을 스캔하면 원하는 직경보다 작은 직경을 갖는 원형 비아의 형성을 초래할 수 있다. 스폿 크기가 원하는 직경보다 작은 직경을 갖는 원형 비아의 형성을 초래할 것이라고 결정하면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 및 제3 위치 지정기(110)로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나에 대해 출력되어 궁극적으로 형성된 원형 비아가 원하는 직경을 갖도록 미리 결정된 궤적을 조정하는 방식으로 이들 구성요소 중 하나 이상의 작동을 제어할 수 있다.

[0159] 또 다른 예에서(여전히 원하는 궤적이 원하는 직경의 원형 비아를 정의한다고 가정하면), 스폿 형상이 기준 스폿 원형성보다 작은(또는 임계량만큼 기준 스폿 원형성보다 작은) 원형성을 갖는 경우, 미리 정해진 궤적을 따

라 스폿을 스캔하면 타원형 비아가 형성될 것이다. 스폿 형상이 원형을 갖는 비아 대신 타원형을 갖는 비아를 형성할 것이라고 결정하면, 하나 이상의 제어 신호가 생성되어(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터) 제1 위치 지정기(106), 제2 위치 지정기(108) 및 제3 위치 지정기(110)로 구성된 그룹으로부터 선택된 적어도 하나에 대해 출력되어 궁극적으로 형성된 비아가 원하는 원형성을 갖도록 미리 결정된 궤적을 조정하는 방식으로 이들 구성요소 중 하나 이상의 작동을 제어할 수 있다.

[0160] B. 공정 제어

[0161] 측정 데이터, 스폿 데이터 또는 기타 데이터(예를 들어, 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 레이저 에너지 펄스를 포함하는 경우 펄스 지속시간 또는 펄스 반복 주파수를 나타내는 데이터), 시각적 검사 작업을 수행할 때 생성되거나 다른 방식으로 획득된 데이터, 등 또는 이들의 임의의 조합이 저장될 수 있다. 일 실시예에서, 그러한 데이터는 장치(100)의 신원(예를 들어, 일련 번호, 모델 번호 등의 관점에서), 장치(100)에 의해 가공될(또는 가공된) 작업물(102)의 신원(예를 들어, 배치 또는 로트 번호, 일련 번호, 모델 번호 등), 데이터가 생성되거나 다른 방식으로 획득된 날짜 및/또는 시간 등 또는 이들의 임의의 조합을 나타내는 보조 정보와 관련하여(예를 들어, 데이터베이스에) 저장될 수 있다. 이 저장된 데이터 및 정보를 일반적으로 "공정 제어 데이터"라고 한다. 데이터베이스는 로컬(예를 들어, 제어기(114)의 컴퓨터)이거나 장치(100)로부터 원격(예를 들어, 원격 시스템(126)의 컴퓨터 메모리에 있거나, 그렇지 않으면 다른 방식으로 이에 접근할 수 있음)에 위치하거나 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 공정 제어 데이터는 또한 장치(100)에 의해 가공된 후에 작업물(102)을 테스트하거나 검사한 하나 이상의 다운스트림 테스트 또는 검사 시스템(예를 들어, 자동 광학 검사(AOI) 시스템, 자동 X선 검사(AXI) 시스템, 회로 내 테스트(ICT) 시스템, 웨이퍼 프로브 시스템 등)에서 얻거나 또는 다른 방식으로 생성한 데이터를 포함할 수 있다.

[0162] 일단 저장되면, 공정 제어 데이터는 이후에(예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 해석, 조작, 알고리즘에 입력 또는 다른 방식으로 처리되어 하나 이상의 작동을 지원할 수 있다. 예를 들어, 공정 제어 데이터는 공정 변동성의 원인을 식별 및/또는 제거하고, 생산 공정을 모니터링하고, 공정 변동성의 변화를 감지하고, 수정적 유지보수 또는 예방적 유지보수가 필요한지 여부를 추정하고, 예방적 유지보수 등을 수행할 시기(예를 들어, 시간 및/또는 날짜 측면에서)를 추정하는 등 또는 이들의 조합을 위하여(예를 들어, 장치(100)에 의해 수행되는 공정과 연관된 한계를 이해하고, 작업물(102)의 임의의 사양 또는 작업물(102)에 형성될 임의의 피처와 관련된 한계를 이해하기 위하여, 등) 하나 이상의 알려진 통계적 공정 제어(SPC) 방법을 실행하도록 처리될 수 있다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, "유지보수"는 테스트, 측정, 부품 교체, 청소 등과 같은 하나 이상의 활동을 포함할 수 있다. 이러한 SPC 방법은 하나 이상의 공정 제어 차트를 생성하기 위해 공정 제어 데이터를 처리함으로써 용이해질 수 있다는 것을 이해할 것이다. 공정 제어 데이터는 또한 임의의 다른 적합하거나 원하는 목적을 위해(예를 들어, 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해) 접근될 수 있다.

[0163] 임의의 SPC 방법이 주기적으로, 지속적으로(예를 들어, 일정 기간 동안), 이벤트 발생 전후 또는 이들의 임의의 조합으로 실행될 수 있다. 임의의 SPC 방법의 실행을 트리거할 수 있는 이벤트의 예는 작업물(102) 가공 시작, 하나 이상의 작업물(102) 가공 완료, 미리 정해진 시간 동안 장치(100) 작동, 미리 정해진 시간 동안 레이저원(104) 작동 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 임의의 SPC 방법의 실행을 트리거할 수 있는 이벤트의 또 다른 예는 하나 이상의 빔 특성을 측정하라는 명령의 수신(예를 들어, 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합을 통한 입력)을 포함할 수 있다.

[0164] 일 실시예에서, 제1 SPC 방법은, 당 업계에 알려진 임의의 기술에 의해, 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했다는 것을 나타내는지 결정하기 위해, (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 실행될 수 있다. 선택적으로, 제1 SPC 방법이 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했음을 나타내는 경우, 제2 SPC 방법이, 당 업계에 알려진 임의의 기술에 의해, 임의의 공간적 또는 에너지 특성이 이력 경향으로부터 비정상적인 데이터 또는 이동을 나타내는지 여부를 결정하기 위해, (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 실행될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 SPC 방법은 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했을 경우 수정적 또는 예방적 유지보수가 필요함을 나타내는 데이터를 생성할 수 있다. 대안적으로, 다른 실시예에서, 수정적 또는 예방적 유지보수가 필요함을 나타내는 데이터는 제2 SPC 방법이 공간적 또는 에너지 특성이 이력 경향으로부터 비정상적인 데이터 또는 이동을 나타낸다고 결정하는 경우에만 생성될 수 있다.

[0165] 일 실시예에서, 스폿 데이터 및 다른 공정 제어 데이터는, 당 업계에 공지된 임의의 원하는 또는 달리 적합한

방식으로, 주어진 공정에 대해 허용할 수 없는 피처 품질을 초래할 하나 이상의 공간적 또는 에너지 특성의 값을 결정하기 위하여, 허용할 수 없는 피처 품질을 방지하기 위해 예방적 유지보수를 수행할 시기를 결정하기 위해 관련 공간적 또는 에너지 특성의 경향을 식별하기 위하여 등 또는 이들의 임의의 조합을 위하여 (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 해석, 조작, 알고리즘(예를 들어, 기계 학습 알고리즘)에 입력 또는 다른 방식으로 처리될 수 있다.

[0166] 제1 SPC 방법은, 당 업계에 알려진 임의의 기술에 의해, 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했다는 것을 나타내는지 결정하기 위해, (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 실행될 수 있다. 선택적으로, 제1 SPC 방법이 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했음을 나타내는 경우, 제2 SPC 방법이, 당 업계에 알려진 임의의 기술에 의해, 임의의 공간적 또는 에너지 특성이 이력 경향으로부터 비정상적인 데이터 또는 이동을 나타내는지 여부를 결정하기 위해, (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에서) 실행될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 SPC 방법은 작업물(102)의 가공이 저하된 품질을 갖는 하나 이상의 피처를 생성했을 경우 수정적 또는 예방적 유지보수가 필요함을 나타내는 데이터를 생성할 수 있다. 대안적으로, 다른 실시예에서, 수정적 또는 예방적 유지보수가 필요함을 나타내는 데이터는 제2 SPC 방법이 공간적 또는 에너지 특성이 이력 경향으로부터 비정상적인 데이터 또는 이동을 나타낸다고 결정하는 경우에만 생성될 수 있다.

[0167] C. 알림

[0168] 레이저 에너지의 빔의 임의의 공간적 또는 에너지 특성이 임계 가공 공차를 벗어난다고 결정하면, (예를 들어, 제어기(114), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 자동화된 방식으로) 알림 데이터가 생성될 수 있다. 알림 데이터는 특성이 공차를 벗어남을 표시하고, 공차를 벗어난 특성의 측정된 값을 표시하고, 특성이 공차를 벗어난 것으로 결정된 날짜 및/또는 시간을 표시하고, 공차를 벗어난 특성을 갖는 장치(100)를 (예를 들어, 일련번호, 모델번호 등에 의해) 식별하는 등 또는 이들의 임의의 조합을 할 수 있다. 일 실시예에서, 알림 데이터는 (예를 들어, 전술한 바와 같이 하나 이상의 SPC 방법을 실행한 결과에 기초하여) 장치(100)에 대한 수정적 유지보수 또는 예방적 유지보수가 수행되어야 함을 나타낼 수 있다. 알림 데이터가 유지보수가 수행되어야 함을 나타내는 실시예에서, 장치(100)의 자동화된 제어가 (예를 들어, "적응형 처리"라는 섹션에서 위에서 논의된 바와 같은 임의의 방식으로) 수행될 수 있거나, 또는 장치(100)의 자동화된 제어가 생략될 수 있다.

[0169] 일단 생성되면, 당 업계에 알려진 임의의 방식으로, 알림 데이터는 사용자 인터페이스(120), 원격 시스템(126) 등 또는 이들의 임의의 조합과 연관된 출력 디바이스를 통해 사용자 친화적인 방식으로 렌더링되거나 다른 방식으로(예를 들어, 시각적으로, 청각적으로 등) 전달될 수 있다. 알림 데이터가 원격 시스템(126)을 통해 렌더링되거나 다른 방식으로 전달되는 실시예에서, 알림 데이터는 텍스트, 이메일, 푸시 알림, 인앱 메시지 등 또는 이들의 임의의 조합을 통해 사용자에게 전달될 수 있다.

[0170] 다른 실시예에서, 제어기(114) 및/또는 원격 시스템(126)은 특성 중 어느 것이 공차를 벗어나는지 여부에 관계 없이 레이저 에너지의 빔의 임의의 공간적 또는 에너지 특성을 획득할 때 알림 데이터를 생성한다. 이 경우 알림 데이터가 반드시 특성이 공차를 벗어남을 나타내는 것은 아니다.

[0171] D. 기타 실시예, 고려 사항, 시사점 등

[0172] 스폿 품질 및 크기는 서로 다른 레이저 가공 장치(100) 사이에서 변할 수 있으며, 또한 시간에 따라(예를 들어, 장치(100)가 설치된 시점부터 작업물(102)의 대량 가공 공정 개발이 수행된 시점까지) 변할 수 있다. 이러한 변경의 의미는 시간 T1에 제1 장치(100)에서 개발된 공정 파라미터 세트가 하나 이상의 제1 공간적 또는 에너지 특성 C1을 가질 수 있지만, 고객은 시간 T2에 제1 장치(100)에서 및 제2 장치(100), 제3 장치(100)(모두 제1 장치(100)와 동일한 구성요소를 포함함) 등에서 동일한 공정 파라미터를 사용하기를 원할 것이라는 점이다. 시간 T2에 제1, 제2, 제3 및 제4 장치(100)는 각각 하나 이상의 제2 공간적 또는 에너지 특성 C2, 하나 이상의 제3 공간적 또는 에너지 특성 C3, 하나 이상의 제4 공간적 또는 에너지 특성 C4, 및 하나 이상의 제5 공간적 또는 에너지 특성 C5을 가질 것이다. 따라서 공간적 또는 에너지 특성의 이러한 변화에 강건하게 공정이 개발되지 않으면 공정 수율이 감소할 것이다. 위에서 논의된 실시예는 바람직한 처리량 및 공정 수율을 유지하기 위해 발생할 수 있는 공간적 또는 에너지 특성의 변화를 보상한다.

[0173] 광학 오염 및 기타 외부 요인으로 인해 시간, 온도에 따라 스폿 품질 및 크기가 달라질 수도 있다. 이러한 변화의 의미는 시간 T1에 주어진 장치(100) 및 하나 이상의 공간적 또는 에너지 특성 C1에서 주어진 재료에 대해 주어진 공정 품질을 가져온 공정 파라미터 세트가 후속 시간(T2) 및 하나 이상의 공간적 또는 에너지 특성(C2)(C1

과 다름)에서 동일한 재료 및 동일한 장치(100)에 대해 상이하거나 부적절한 품질을 초래할 수 있다는 것이다. 위에서 논의된 실시예는 수행될 수정적 및 예방적 유지보수를 용이하게 하는 기술을 제공함으로써 이러한 변화를 감당한다.

[0174] V. 스캐닝 기술에 관한 실시예

[0175] 본원에서 사용되는 바에 따르면, "스캐닝 기술"이라는 용어는 가공 스폿이 작업물(102)에 대해 (예를 들어, 제1 스캐닝 범위, 제2 스캐닝 범위, 제3 스캐닝 범위 등 또는 이들의 임의의 조합 내에서) 스캔되는 방식, 제1 스캐닝 범위가 제2 스캐닝 범위 내에서 스캔되는 방식, 제1 또는 제2 스캐닝 범위 중 임의의 것이 제3 스캐닝 범위 내에서 스캔되는 방식 등 또는 이들의 임의의 조합을 지칭할 수 있다. 일반적으로, 스캐닝 기술은 가공 스폿이 스캔되는 가공 궤적, 방향(즉, 스캔될 가공 스폿, 제1 스캐닝 범위, 제2 스캐닝 범위 등 또는 이들의 임의의 조합이 따르는 방향), 스캔 속도(즉, 가공 스폿, 제1 스캐닝 범위, 제2 스캐닝 범위 등 또는 이들의 임의의 조합이 스캔되는 속도) 등 또는 임의의 이들의 조합과 같은 하나 이상의 파라미터에 의해 특징지어질 수 있다.

[0176] A. 공진 스캐닝에 관한 실시예

[0177] 위에서 언급한 바와 같이, 공진 스캐닝 미러 시스템에 의해 편향된 레이저 에너지의 빔의 가공 스폿의 위치는 시간 함수에 따라 정현파 형태로 변한다. 따라서, 레이저원(104)이 일정한(또는 실질적으로 일정한) 펄스 반복 주파수에서 일련의 레이저 펄스로 구성된 레이저 에너지의 빔을 출력하면, 공진 스캐닝 미러 시스템(예를 들어, 절단, 천공, 용접, 스크라이빙, 마킹, 포토레지스트 노출 등과 같은 가공을 수행할 때) 레이저 펄스가 축을 따라 균일하게 분포되지 않은 복수의 가공 스폿에서 작업물(102)로 전달되도록 일련의 레이저 펄스를 편향 시킬 것이다. 예를 들어, 공진 스캐닝 미러 시스템을 사용하여 임의의 축을 따라 레이저 펄스 빔을 편향할 때 획득된 가공 스폿(1400)의 불균일한 배열을 나타내는 도 14를 참조한다. 이것은 레이저 에너지를 균일하거나 다른 원하는 방식으로 작업물(102)에 분배하는 것을 어렵게 만들 수 있다.

[0178] 일 실시예에서, 정현파 스캐닝은 출력 레이저 에너지의 빔에서 레이저 펄스의 펄스 반복 주파수를 변화시키기 위해 레이저원(104)의 작동을 제어함으로써(예를 들어, 펄스 반복 주파수의 변화가 공진 스캐닝 미러 시스템의 정현파 진동과 위상이 같도록) 보상될 수 있다.

[0179] 다른 실시예에서, 정현파 스캐닝은 AOD 시스템(예를 들어, 위에서 논의된 임의의 AOD 시스템)을 포함하는 제1 위치 지정기(106)를 제공하고 공진 스캐닝 미러 시스템으로서 제2 위치 지정기(108)를 제공함으로써 보상될 수 있다. 이 실시예에서, 제2 위치 지정기(108)의 공진 스캐닝 미러 시스템은 제1 축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열되고 구성되고, 제1 위치 지정기(106)는 제1 축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열되고 구성된 제1 AOD 시스템을 포함한다. 그 다음, 제1 AOD 시스템은 제2 위치 지정기(108)의 작동 동안 공진 스캐닝 미러 시스템 내의 진동 미러의 가속도의 변화를 보상하는 방식으로 (예를 들어, 각각 AO 셀에 음향적으로 결합된 하나 이상의 초음파 변환기 요소로 하나 이상의 RF 신호를 적용함에 따라) 구동될 수 있다(예를 들어, 레이저 펄스가 축을 따라 적어도 실질적으로 균일하게 분포된 복수의 가공 스폿에서 작업물(102)로 전달되도록). 예를 들어, 제1 위치 지정기(106)의 제1 AOD 시스템 및 제2 위치 지정기(106)의 공진 스캐닝 미러 시스템을 사용하여 임의의 축을 따라 레이저 펄스 빔을 편향시킬 때 획득된 가공 스폿(1400)의 균일한(또는 적어도 실질적으로 균일한) 배열을 나타내는 도 15를 참조한다. 제1 AOD 시스템은 임의의 다른 적절하거나 원하는 방식으로 구동될 수 있고, 공진 스캐닝 미러 시스템에서 진동 미러의 가속도의 변화를 보상하기 위해 반드시 구동될 필요는 없다는 것을 이해할 것이다. 선택적으로, 제1 위치 지정기(106)는 제1 축과 상이한 제2 축을 따라 빔 축(118)의 이동을 제공하도록 배열되고 구성된 제2 AOD 시스템을 포함할 수 있다. 이 경우, 제1 축은 X축 중 하나이고, 제2 축은 Y축일 수 있다.

[0180] B. 피쳐 형성 촉진

[0181] 일반적으로, 제2 위치 지정기(108)가 X 방향(예를 들어, +X 또는 -X 방향)을 따라 제1 스캐닝 범위를 스캔하는 동안, 제2 위치 지정기(108)가 Y 방향(예를 들어, +Y 또는 -Y 방향)을 따라 제1 스캐닝 범위를 스캔하는 동안, 제3 위치 지정기(110)가 X 방향(예를 들어, +X 또는 -X 방향)을 따라 제1 및/또는 제2 스캐닝 범위를 스캔하는 동안, 제3 위치 지정기(110)가 Y 방향(예를 들어, +Y 또는 -Y 방향)을 따라 제1 및/또는 제2 스캐닝 범위를 스캔하는 동안, 또는 이들의 임의의 조합 동안, 제1 위치 지정기(106)는 X 방향(예를 들어, +X 또는 -X 방향) 및/또는 Y 방향(예를 들어, +Y 또는 -Y 방향)을 따라 가공 스폿을 스캔하도록 작동될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 제2 위치 지정기(108)가 제1 스캐닝 범위를 스캔하지 않을 때, 제3 위치 지정기(110)가 제1 또는 제2 스캐닝 범위를 스캔하지 않을 때, 또는 이들의 임의의 조합의 경우, 제1 위치 지정기(106)가 X 방향(예를 들어, +X 또는

-X 방향) 및/또는 Y 방향(예를 들어, +Y 또는 -Y 방향)을 따라 가공 스폿을 스캔하도록 작동될 수 있음을 인식해야 한다. 또한, 임의의 시점에서, 가공 스폿이 제1 위치 지정기(106)에 의해 스캔되는 방향은 제1 스캐닝 범위가 제2 위치 지정기(108)에 의해 제2 스캐닝 범위 내에서 스캔되는 방향, 제1 스캐닝 범위가 제3 위치 지정기(110)에 의해 제3 스캐닝 범위 내에서 스캔되는 방향, 또는 이들의 임의의 조합과 같거나 다를 수 있음을 인식해야 한다.

[0182] 일부 실시예에서, 작업물(102)은 PCB 패널, PCB, FPC 패널, FPC, IC, ICP, 반도체 디바이스 등으로 제공된다. 따라서, 작업물(102)은 전기 전도체 구조(예를 들어, 구리, 구리 합금, 구리, 티타늄, 티타늄 질화물, 탄탈륨 등과 같은 하나 이상의 금속을 포함하는 상호 연결 또는 배선 구조로 형성될 수 있는 필름, 호일 등 또는 이들의 임의의 조합), 유전체 구조(예를 들어, 빌드업 필름, 유리 강화 에폭시 라미네이트, 층간 유전체 재료, 저유전율 유전체 재료, 솔더레지스트 등 또는 이들의 임의의 조합)와 같은 하나 이상의 구성 구조를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 작업물(102)은 제1측에서 제1 전도체(예를 들어, 화학 반응에 의하여, 레이저 암처리 공정 등에 의하여, 암처리되거나 또는 암처리되지 않은 노출 표면을 가질 수 있는 구리 또는 구리 합금 호일)에 부착되고, 선택적으로 제1측과 반대되는 제2측에서 제2 전도체(예를 들어 구리 또는 구리 합금으로 형성된 패드, 트레이스, 호일 등)에 부착되는 유전체 구조(예를 들어, 유리 강화 에폭시 라미네이트, 폴리이미드, 폴리 에스테르, PEN, PET, 솔더레지스트 등과 같은 폴리머로 형성된 필름)를 포함할 수 있다. 하나 이상의 피처(예를 들어, 하나 이상의 개구, 슬롯, 홈, 블라인드 비아, 관통 비아, 슬롯 비아 등)는 작업물(102)의 하나 이상의 구성요소 내에 또는 위에(예를 들어, 절단 가공, 드릴링 가공, 조각 가공, 라우팅 가공 등 또는 이들의 임의의 조합 동안) 그로부터 재료를 제거함으로써 재료의 삭마로 인하여 형성될 수 있다. 본원에서 사용되는 바에 따르면, 용어 "피처 영역"은 피처를 형성하기 위해 가공될 작업물(102)의 영역을 지칭한다.

[0183] 일반적으로, 달리 명시적으로 언급하지 않는 한, 용어 "삭마(ablation)"는 "직접 삭마", "간접 삭마" 또는 이들의 임의의 조합을 지칭할 수 있다. 작업물(102)에서 재료의 직접적인 삭마는 삭마의 주된 원인이 전달된 레이저 에너지의 빔 내 에너지를 재료가 흡수(예를 들어, 선형 흡수, 비선형 흡수 또는 이들의 임의의 조합)하여 재료가 분해되는 것일 때 발생한다. 작업물(102)에서 재료의 간접적 삭마("리프트오프(lift-off)"로도 알려짐)는 삭마의 주된 원인이 전달된 레이저 에너지의 빔 내의 에너지를 인접한 재료에서 흡수하고, 이로 인해 생성 및 전달되는 열로 인해 용해 및 기화되는 것일 때 발생한다.

[0184] 일 실시예에서, 피처는 작업물(102)의 하나 이상의 구성요소(예를 들어, 하나 이상의 전기 전도체 구조, 하나 이상의 유전체 구조 등 또는 이들의 임의의 조합)를 통해 전체적으로 또는 부분적으로 연장되도록 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 전기 전도체 구조 또는 유전체 구조는 5 μ m 내지 500 μ m 범위의 두께를 가질 수 있다. 그러나, 전기 전도체 구조 또는 유전체 구조는 두께가 5 μ m보다 작거나 500 μ m보다 클 수 있음을 이해할 것이다. 따라서, 전기 전도체 구조 또는 유전체 구조의 두께는 1 μ m, 3 μ m, 5 μ m, 10 μ m, 15 μ m, 18 μ m, 20 μ m, 25 μ m, 30 μ m, 35 μ m, 40 μ m, 50 μ m, 70 μ m, 80 μ m, 100 μ m, 110 μ m, 120 μ m, 250 μ m, 300 μ m, 350 μ m, 400 μ m, 450 μ m, 550 μ m, 600 μ m 등보다 크거나 같거나 이들 값 사이의 임의의 값일 수 있다. 유사하게, 두께는 550 μ m, 450 μ m, 400 μ m, 350 μ m, 300 μ m, 250 μ m, 120 μ m, 110 μ m, 100 μ m, 80 μ m, 70 μ m, 50 μ m, 40 μ m, 35 μ m, 25 μ m, 20 μ m, 18 μ m, 15 μ m, 10 μ m, 5 μ m, 3 μ m, 1 μ m, 0.5 μ m, 0.1 μ m 등보다 작거나 또는 이들 값 사이의 임의의 값일 수 있다.

[0185] 일반적으로, 피처 형성은 하나 이상의 스캔 패턴을 정의하는 가공 궤적을 따라 가공 스폿을 스캔함으로써(예를 들어, 제1 스캐닝 범위 내의 하나 이상의 대응하는 스캔 패턴에 따라 가공 스폿을 스캔하도록 제1 위치 지정기(106)를 제어함으로써) 수행될 수 있다. 형성될 피처의 원하는 깊이, 피처 형성 동안 제거될 재료, 피처 형성 동안 전달될 레이저 펄스 빔의 하나 이상의 파라미터 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 하나 이상의 요인에 따라, 피처는 스캔 패턴("피처 형성" 스캔 패턴("feature-forming" scan pattern)이라고도 함)을 따라 가공 스폿을 한 번만 또는 여러 번 스캔함으로써 형성될 수 있다. 가공 스폿이 스캔 패턴을 따라 여러 번 스캔될 때, 가공 스폿은 동일한 스캔 패턴을 따라 반복적으로 스캔 될 수 있다(즉, 동일한 스캔 패턴을 반복적으로 사용할 수 있음). 다른 실시예에서, 피처 형성 동안 적어도 두 개의 상이한 스캔 패턴이 사용될 수 있다. 동일한 스캔 패턴이 반복적으로 사용되는 경우, 이후에 사용되는 스캔 패턴은 이전에 사용된 스캔 패턴의 방향과 동일한 방향(예를 들어, 피처 축에 대해 측정)을 갖거나 다른 방향을 가질 수 있다.

[0186] i. 높은 반복률 레이저원에 대한 고려 사항

[0187] 전술한 바와 같이, 제1 위치 지정기(106)는 8kHz 내지 250MHz 범위의 제1 위치 지정 대역폭을 갖는다. 하나 이상의 AOD 시스템으로 제공될 때, 제1 위치 지정기(106)는 50kHz, 75kHz, 80kHz, 100kHz, 250kHz, 500kHz,

750kHz, 1MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz, 40MHz, 50MHz, 75MHz, 100MHz, 125MHz, 150MHz, 175MHz, 200MHz, 225MHz, 250MHz 등보다 크거나 같거나 작은 또는 이들 값 사이의 임의의 값의 위치 대역폭을 가질 수 있다. AOD 시스템의 상대적으로 큰 위치 지정 속도(예를 들어, 검류계 미러 시스템에 비해)는 높은 펄스 반복률(예를 들어, 150kHz, 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 등보다 크거나 같은 또는 이들 값 사이의 임의의 펄스 반복률에서) 레이저 펄스를 출력할 수 있는 레이저원(104)의 효과적인 활용을 가능하게 한다. 이러한 높은 반복율 레이저원은 공지의 검류계 미러 시스템과 연관된 상대적으로 낮은 위치 지정 속도 때문에 빔 축(118)의 이동을 제공하기 위해 검류계 미러 시스템만을 사용하여 작업물(102)을 가공하는 데에는 일반적으로 적합하지 않다. 따라서 장치(100)의 최대 사용 가능한 위치 지정 속도는 레이저원(104)의 펄스 반복률 제1 위치 지정 대역폭 중 더 작은 것에 의해 결정된다.

[0188] 높은 반복율 레이저원으로 작업할 때, 개별 레이저 펄스의 펄스 에너지는 동일한(또는 거의 동일한) 평균 출력을 갖지만 더 낮은 펄스 반복률을 갖는 레이저원이 출력하는 개별 레이저 펄스의 펄스 에너지보다 일반적으로 낮다. 상대적으로 낮은 펄스 에너지를 갖지만 상대적으로 높은 펄스 반복률을 갖는 레이저 펄스를 생성하는 것은 피크 삭마 효율에 대한 최적 플루언스(여기에서 "삭마 효율"은 단위 출력당 단위 시간당 제거된 재료의 단위 부피 측면에서, $\mu\text{m}^3/\text{s}/\text{W}$ 로 정의할 수 있음)가 상대적으로 낮은 펄스 반복률을 갖는 레이저원을 사용하는 동일한 레이저 가공 응용 분야에서 처리량과 품질을 최적화하는 데 사용되는 플루언스보다 종종 훨씬 낮기 때문에 많은 레이저 가공 응용 분야에 대해 유리할 수 있다는 것이 확인되었다. 출원인은 상대적으로 높은 펄스 반복률에서 상대적으로 낮은 펄스 에너지를 갖는 레이저 펄스의 전달이 많은 재료에 대한 표준 빔 웨이트 치수로 거의 최적의 플루언스로 공정을 개발할 수 있게 하여 작업물(102)이 가공될 수 있는 효율성을 증가시킨다고 판단하였다. 예를 들어, 출원인은 높은 펄스 반복율 레이저원(예를 들어, 10ns 내지 80ns 범위 내의 펄스 지속시간을 갖는 비교적 낮은 펄스 에너지 레이저 펄스 생성)를 사용하여, 동일한(또는 거의 동일한) 평균 출력에서 상대적으로 낮은 펄스 반복율 레이저원(예를 들어, 10ns 내지 80ns의 동일한 범위 내의 펄스 지속시간을 갖는 비교적 높은 펄스 에너지 레이저 펄스 생성)를 사용할 때 달성된 처리량과 비교했을 때 더 높은 처리량으로 PCB, FPC 등과 같은 작업물에서 블라인드 비아를 드릴링할 수 있음을 직접 관찰하였다. 또한 출원인은 200kHz에서 평균 출력이 300kHz에서 평균 출력보다 50% 이상 높았음에도 불구하고, 200kHz의 펄스 반복률과 비교하여 300kHz의 펄스 반복률에서 증가된 블라인드 비아 드릴링 처리량을 관찰하였다.

[0189] ii. 스캔 패턴의 예시적인 실시예

[0190] 비아 또는 다른 홀, 개구, 리세스, 트렌치 등과 같은 피처를 형성하기 위한 스캔 패턴의 예는 도 16, 도 17, 도 18 및 도 19에 각각 도시된 스캔 패턴(1600, 1700, 1800 및 1900) 등 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 일반적으로, 스캔 패턴은 래스터 패턴(예를 들어, 도 16에 도시된 바와 같이), 별 다각형 또는 별 형상의 다각형(예를 들어, 도 17에 도시된 바와 같이), 나선형 또는 원호 또는 원 세트의(예를 들어, 도 18에 도시된 바와 같이) 동심으로 배열되거나 기타), 원(예를 들어, 도 19에 도시된 바와 같이), 원 또는 하나 이상의 형상(예를 들어, 타원, 삼각형, 정사각형, 직사각형, 또는 기타 규칙적이거나 불규칙한 형상 등) 세트 등 또는 이들의 조합과 유사하거나 다른 방식으로 나타날 수 있다. 일 실시예에서, 원형 개구, 비아 등과 같은 피처를 형성하는 동안, 하나 이상의 전기 전도체 구조, 하나 이상의 유전체 구조 등 또는 이들의 임의의 조합으로부터 하나 이상의 스캔 패턴(예를 들어, 하나 이상의 스캔 패턴(1600, 1700, 1800 또는 1900), 또는 이들의 임의의 조합)을 사용하여 재료를 제거(예를 들어, 직접 삭마, 간접 삭마 또는 이들의 임의의 조합에 의해) 할 수 있다.

[0191] 도 16 내지 도 19에서, 점선(1602)은 작업물(102)의 전기 전도체 구조 또는 유전체 구조가 형성될 피처(예를 들어, 본 예에서 원형 개구 또는 비아)에 대한 작업 표면(102a)에서 원하는 경계를 나타낸다. 본 예에서의 논의를 위해, 일단 작업물(102)에 형성되면, 피처는 가공면(102a)에 형성되고 축을 따라 작업물(102) 내로 연장되는(예를 들어, 작업물(102) 내에서 종료되거나 또는 작업물(102)를 통해 완전히 연장됨) "상단 부분"을 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다. 따라서 작업물(102) 내에서 종료되거나 작업물(102)의 다른 측면에 존재하는 피처의 부분은 본원에서 피처의 "하단 부분"으로 지칭될 수 있다.

[0192] 도 16 내지 도 19는 형성될 피처의 경계(1602)(본원에서 "피처 경계"라고도 함)를 원형으로 도시하고 있지만, 경계는 임의의 적합하거나 원하는 형상(예를 들어, 타원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 육각형, 불규칙한 등 또는 이들의 임의의 조합)을 가질 수 있음을 이해할 것이다. 본원에서 논의된 실시예에서, 피처의 상단 및 하단 부분에서의 경계(1602)의 형상은 동일하거나 유사하다(예를 들어, 원형). 다른 실시예(예를 들어, 재료의 제거

가 직접 삭마에 의해 발생하고, 재료의 가공 동안 다중 스캔 패턴이 스캔되는 경우)에서, 피처의 상단 부분에서의 경계(1602)는 피처의 하단 부분에서의 경계(1602)의 형상과 다를 수 있다. 예를 들어, 피처의 상단 부분은 원형인 경계(1602)를 가질 수 있는 반면, 피처의 상단 부분은 타원형, 직사각형 등의 경계(1602)를 가질 수 있다.

[0193] 스캔 패턴 내 가공 스폿의 위치 중심(각각 일반적으로 "스포트 위치" 또는 총칭하여 "스포트 위치"라고 함)은 다이아몬드(1604)로 표시된다. 스캔 패턴(1600, 1700, 1800 및 1900)이 도식된 스폿 위치(1604)의 특정 배열을 갖는 것으로 예시되지만, 임의의 스캔 패턴은 임의의 적합하거나 원하는 배열로 더 많거나 더 적은 스폿 위치를 포함할 수 있음을 이해할 것이다. 스캔 패턴 내에서 또는 공통 스캔 라인을 따라 배치된 스폿 위치(1604)의 배열(즉, 스폿 위치의 수, 스폿 위치의 위치, 인접한 스폿 위치 사이의 피치 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 특징지어질 수 있음)은 스폿 위치 또는 그 근처에 있는 재료의 열전도율, 열 확산율, 비열 용량, 광학 흡수율 등, 피처의 형성 동안 스폿 위치 또는 그 근처에서 재료의 점성, 스폿 위치 또는 그 근처에서 (전달된 레이저 에너지의 빔에 대한) 재료의 광학 흡수율, 스폿 위치 근처의 전기 전도체 또는 유전체 구조의 존재 여부, 스폿 위치 근처의 전기 전도체 또는 유전체 구조의 기하학적 구성, 스폿 크기, 공간적 강도 프로파일의 유형 및 형상, 펄스 지속시간, 플루언스, 펄스 반복률, 스캔 속도, 형성될 피처의 크기 및 형상, 등 또는 이들의 임의의 조합과 같은 요인에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로, 특정 스캔 패턴의 하나의 스캔 라인을 따라 일반적으로 배치되는 스폿 위치의 배열은 특정 스캔 패턴의 다른 스캔 라인을 따라 일반적으로 배치된 스폿 위치의 배열과 동일하거나 상이할 수 있다.

[0194] 스폿 위치(1604) 중 스폿 위치(1604a)는 레이저 펄스를 조사할 스캔 패턴의 첫 번째 스폿 위치를 나타내고, 스폿 위치(1604b)는 레이저 펄스를 조사할 스캔 패턴의 마지막 스폿을 나타낸다. 따라서, 스폿 위치(1604)를 연결하는 실선은 스폿 위치(1604)가 (예를 들어, 하나 이상의 전달된 레이저 펄스에 의해) 어드레싱되는 순서를 나타낸다. 그러나, 스캔 패턴 내의 스폿 위치(1604)는 임의의 다른 원하는 시퀀스(따라서 실선의 구성 변경)로 어드레싱될 수 있으며, 심지어 무작위로 어드레싱될 수도 있음을 인식해야 한다. 가공 중 언제든지, 스캔 패턴의 스폿 위치(1604)는 이전에 어드레싱된 스폿 위치(즉, 레이저 펄스가 전달되었던 스폿 위치), 현재 어드레싱되는 스폿 위치(즉, 레이저 펄스가 전달되는 스폿 위치) 및 어드레싱될 스폿 위치(즉, 레이저 펄스가 전달될 스폿 위치)로 특징지어질 수 있다.

[0195] 일 실시예에서, 스폿 위치(1604)의 배열 및 스폿 위치(1604)가 어드레싱되는 순서는 선택적으로 피처 형성 동안 작업물(102) 내에서 바람직하지 않은 열 축적(예를 들어, 바람직하지 않은 균열, 용해, 기화, 삭마, 결정화, 어닐링, 탄화, 산화 등을 초래할 수 있음)을 감소시키거나 방지하기 위해 선택된다. 다른 실시예에서(그리고 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이), 선택적으로 스폿 위치(1604)의 배열 및 스폿 위치(1604)가 어드레싱되는 시퀀스는 궁극적으로 형성되는 피처의 테이퍼에 영향(예를 들어, 감소)을 미치도록 선택된다. 다른 실시예에서, 선택적으로 스폿 위치(1604)의 배열 및 스폿 위치(1604)가 어드레싱되는 순서는 작업물(102) 상에 또는 내부에 하나 이상의 피처의 효율적인 형성을 촉진하는 방식으로 작업물(102)의 가열을 촉진하도록 선택된다.

[0196] 펄스 반복률, 제1 위치 지정 대역폭, 스캔할 스캔 패턴 등과 같은 하나 이상의 요인에 따라, 적어도 두 개의 시간적으로 순차적인 레이저 펄스(예를 들어, 2개의 레이저 펄스, 3개의 레이저 펄스, 5개의 레이저 펄스, 8개의 레이저 펄스, 10개의 레이저 펄스, 20개의 레이저 펄스 등)가 동일한 스폿 위치(1604) 또는 상이한 스폿 위치(1604)로 전달될 수 있다. 이 경우, 펄스 반복률은 일반적으로 제1 위치 지정 대역폭보다 큰 것으로 특징지어진다. 그러나, 다른 실시예에서, 펄스 반복률은 제1 위치 지정 대역폭보다 작거나 같을 수 있다.

[0197] 시간적으로 순차적인 레이저 펄스가 동일한 스폿 위치(1604)로 전달되는(또는 그렇지 않으면 공통 스폿 위치(1604)의 지역 주변 내에서 전달되는) 기간은 본원에서 그 스폿 위치(1604)와 연관된 "유지 시간(dwell time)"이라고 지칭한다. 논의의 목적을 위해, 레이저 펄스가 스폿 위치(1604)의 1 μ m 이내로 전달되는 경우, 스폿 위치(1604)의 지역 주변으로 전달되는 것으로 간주된다. 일 실시예에서, 레이저 펄스가 스폿 위치(1604)의 10.0 μ m, 8.0 μ m, 7.0 μ m, 6.0 μ m, 5.0 μ m, 4.0 μ m, 3.5 μ m, 3.0 μ m, 2.5 μ m, 2.0 μ m, 1.5 μ m, 1.0 μ m, 0.9 μ m, 0.8 μ m, 0.75 μ m, 0.7 μ m, 0.65 μ m, 0.6 μ m, 0.5 μ m, 0.4 μ m, 0.3 μ m, 0.25 μ m, 0.2 μ m, 0.15 μ m, 0.1 μ m, 0.08 μ m, 0.05 μ m, 0.01 μ m 이내, 또는 0.01 μ m 이하 이내로 전달되는 경우 스폿 위치(1604)의 지역 주변으로 전달되는 것으로 간주된다.

[0198] 예시된 실시예에서, 스캔 패턴은 하나 이상의 순차적으로 어드레싱된 스폿 위치(1604) 시리즈를 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다. 이러한 스폿 위치(1604) 시리즈 각각은 일반적으로 공통 스캔 라인을 따라 배치되는 것을 특징으로 할 수 있다. 일반적으로, 공통 스캔 라인에 배치된 순차적으로 어드레싱된 스폿 위치는 상이한 스캔

라인에 배치된 순차적으로 어드레싱된 스폿 위치보다 서로 더 가깝다. 스캔 라인은 직선(예를 들어, 도 16 또는 도 17에 도시된 바와 같음), 곡선(예를 들어, 도 18 또는 도 19에 도시된 바와 같음) 등 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 예를 들어, 도 16에 도시된 스캔 패턴(1600)은 복수의 직선 평행 스캔 라인을 포함하는 한편, 도 17에 도시된 스캔 패턴(1700)은 서로에 대해 비스듬한 복수의 직선 스캔 라인을 포함한다. 스캔 패턴(1700)의 스캔 라인은 피쳐 경계(1602)의 중심으로부터(또는 피쳐 경계(1602)의 중심을 포함하는 중심 영역으로부터) 피쳐 경계(1602)를 향해 반경 방향(또는 일반적으로 반경 방향)으로 연장되는 축을 따라 연장된다. 도 18에 도시된 스캔 패턴(1800)은 복수의 동심원으로 배열된 아치형 스캔 라인(이들 중 반경 방향 최외곽은 원하는 피쳐 경계(1602)를 따라 연장됨)을 포함한다. 도 18에서, 스폿 위치(1604)는 원형 피쳐 경계(1602)의 중심에 대해 원주 방향으로 균일하게 분포되는 것으로 도시되어 있다. 다른 실시예에서, 스폿 위치(1604)는 원형 피쳐 경계(1602)의 중심에 정렬된 피보나치 수열과 유사한 배열로 분포될 수 있다. 피보나치 수열과 유사한 스폿 위치(1604)에서 작업물을 조사하는 것은 스캔 패턴에 분포된 인가된 레이저 에너지의 균일성을 향상시키는 데 도움이 될 수 있다. 그러나, 임의의 다른 적절하거나 바람직한 스폿 위치(1604)의 배열이 제공될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 도 18에 도시된 스폿 위치(1604)의 동심 고리 중 서로 다른 것들은 스캔 패턴이 스캔될 때 작업물에 인가되는 레이저 에너지의 분포를 향상시키거나 다른 방식으로 조정하기 위해 서로 원주 방향으로 오프셋될 수 있다. 도 19에 도시된 스캔 패턴(1900)은 단일 아치형 스캔 라인(예를 들어, 원하는 피쳐 경계(1602)을 따라 연장됨)을 포함한다.

[0199] 적어도 하나의 레이저 펄스가 각각의 스폿 위치(1604)로 전달된다. 일 실시예에서, 다수의 레이저 펄스가 하나 이상의 스폿 위치(1604)로 전달된다(또는 그렇지 않으면 공통 스폿 위치(1604)의 지역 주변 내에서 전달됨). 일반적으로, 동일한 수의 레이저 펄스가 스캔 패턴의 적어도 2개의 스폿 위치(1604)에 전달되거나, 상이한 수의 레이저 펄스가 스캔 패턴의 적어도 2개의 스폿 위치(1604)에 전달될 수 있다.

[0200] 일반적으로, 인접한 스폿 위치(1604) 사이의 피치는 스폿 위치(1604)의 지역 주변 내에 포함된 거리보다 더 큰 것으로 간주된다. 일 실시예에서, 스캔 패턴 내에서 인접한 스폿 위치 사이의 피치는 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $50\mu\text{m}$ 범위에 있을 수 있다. 마찬가지로, 공통 스캔 라인을 따라 배치된 인접 스폿 위치(1604) 사이의 피치는 $0.1\mu\text{m}$ 내지 $50\mu\text{m}$ 범위 일 수 있다. 따라서, 인접한 스폿 위치(1604)(일반적으로 스캔 패턴 내에서 또는 공통 스캔 라인을 따라 배치됨) 사이의 피치는 $0.1\mu\text{m}$, $0.2\mu\text{m}$, $0.3\mu\text{m}$, $0.4\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$, $1.5\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $3.5\mu\text{m}$, $4.5\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$, $55\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $80\mu\text{m}$ 등보다 크거나 같거나 또는 이들 값 사이의 임의의 값일 수 있거나, $50\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $4.5\mu\text{m}$, $3.5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $1.5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $0.4\mu\text{m}$, $0.3\mu\text{m}$, $0.2\mu\text{m}$, $0.1\mu\text{m}$, $0.08\mu\text{m}$, $0.05\mu\text{m}$, $0.01\mu\text{m}$, $0.1\mu\text{m}$ 등보다 작거나 또는 이들 값 사이의 임의의 값일 수 있다. 본원에서 논의의 목적으로, 스폿 위치 사이의 피치는 2개의 인접한 스폿 위치의 중심 사이의 거리로 측정된다. 두 스폿 위치는 그 사이에 중간 스폿 위치가 존재하지 않으면 서로 인접한 것으로 간주된다.

[0201] 인접한 스폿 위치(1604) 쌍(일반적으로 스캔 패턴 내에서 또는 공통 스캔 라인을 따라 배치됨) 사이에서, 그 사이의 피치는 일정하거나 가변적이거나 이들의 임의의 조합 일 수 있다. 일 실시예에서, 공통 스캔 라인을 따라 배치된 인접한 스폿 위치 사이의 피치는 하나의 레이저 펄스가 전달되는 스폿 위치와 레이저 펄스가 후속적으로 전달되는 다른 스폿 위치로부터 연장되는 방향으로 증가 또는 감소할 수 있다. 따라서, 공통 스캔 라인을 따라 배치된 인접한 스폿 위치 사이의 피치는 스캔 라인을 따라 이동하는 동안 일정할 수 있고, 증가하거나 감소할 수 있거나 또는 이들의 조합일 수 있다. 일반적으로, 전달된 레이저 펄스의 스폿 크기 및 인접한 스폿 위치(1604) 쌍 사이의 피치는 한 쌍의 인접한 스폿 위치(1604)에 전달된 레이저 펄스에 의해 조사된 스폿 영역이 서로 겹치도록 또는 서로 겹치지 않도록 선택되거나 다른 방식으로 설정될 수 있다.

[0202] 일 실시예에서, 스캔 패턴 내의 스캔 라인의 배열(즉, 스캔 라인의 수, 다른 스캔 라인에 대한 스캔 라인의 방향, 경계(1602)에 대한 스캔 라인의 방향, 스캔 라인 길이, 인접한 스캔 라인 사이의 피치 등)은 도 25 내지 도 28에 도시된 배열에 제한되지 않으며, 스폿 위치(1604)의 배열과 관련하여 전술한 것과 같은 하나 이상의 인자에 따라 변할 수 있다. 따라서, 스캔 패턴은 홀수의 스캔 라인 또는 짝수의 스캔 라인을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 스캔 패턴의 스캔 라인의 수는 1 내지 64의 범위 일 수 있다. 예를 들어, 스캔 패턴 내의 스캔 라인의 수는 2, 4, 8, 16, 32, 50, 60 등 이상일 수 있거나, 또는 64, 32, 16, 8, 4, 2 미만일 수 있다. 또한 스캔 패턴은 64개 이상의 스캔 라인을 가질 수 있음을 인식해야 한다. 스캔 패턴 내에서, 스캔 라인의 적어도 일부는 대칭으로(또는 적어도 실질적으로 대칭으로) 배열되거나 비대칭으로 배열될 수 있다. 대칭 배열의 예는 회전 대칭 배열(즉, n-폴드 회전 대칭, 여기서 n은 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 50 등과 같이 1보다 큰 정수) 및 반사 대칭 배열을 포함한다.

[0203] VI. 빔 특성의 변조에 관한 실시예

[0204] 위에서 언급한 바와 같이, 작업물(102)의 가공 동안 작업물(102)에 전달되는 레이저 에너지의 빔(연속적이든 펄스이든)은 파장, 평균 출력, 공간적 강도 프로파일 유형, M^2 인자, 공간적 강도 프로파일 형상, 스폿 크기, 광 강도, 플루언스 등과 같은 하나 이상의 특성을 특징으로 할 수 있다. 레이저 에너지의 빔이 하나 이상의 레이저 펄스를 포함할 때, 빔은 또한 펄스 반복률, 펄스 지속시간, 펄스 에너지, 피크 출력 등과 같은 하나 이상의 특성을 특징으로 할 수 있다. 레이저 에너지의 빔의 이러한 모든 특성(연속적이든 펄스이든)은 본원에서 일반적으로 총칭하여 레이저 에너지의 빔의 "특성" 또는 간단히 "빔 특성"이라고 지칭한다. 이들 및 다른 빔 특성은 또한 당 업계에 공지되거나 본원(이 섹션 또는 다른 곳에서)에 개시된 임의의 다른 적절한거나 원하는 방식으로 변경될 수 있다. 최적의 또는 허용 가능한 작업물 가공을 제공하는 방식으로 전달된 레이저 에너지의 빔의 구성(예를 들어, 빔 특성의 특정 조합의 식별 및 선택 측면에서)을 위해서는 작업물(102)을 형성하는 재료(들) 및 수행될 레이저 가공에 대한 기본적인 레이저-재료 상호 작용에 대한 포괄적인 이해가 필요하다. 이러한 지식과 적절한 레이저원을 통해 레이저 가공 기술을 개발하여 가공 처리량 및/또는 품질을 최적화할 수 있다.

[0205] 예를 들어, 렌즈 액추에이터, 스캔 렌즈(112)(가변 초점 길이 렌즈로 제공되는 경우), 빔 크기 조정 메커니즘 등 또는 이들의 임의의 조합의 작동을 제어함으로써 스폿 크기를 조정할 수 있다.

[0206] 다른 예에서, M^2 인자 및 공간적 강도 프로파일 형상은 위에서 설명된 방식으로 하나 이상의 AOD 시스템(예를 들어, 제1 위치 지정기(106)로서 제공되거나 또는 기타)을 작동함으로써 조정될 수 있다. 또한, M^2 인자를 변경하기 위해 AOD 시스템을 작동하는 것과 관련하여 위에서 논의된 기술은 위에서 논의된 방식으로 레이저 펄스 빔의 공간적 강도 프로파일 유형을 조정하도록 수정될 수 있다. 예를 들어, AOD 시스템(예를 들어, 제1 위치 지정기(106)로서 제공되거나 또는 기타)의 하나 이상의 변환기에 인가될 RF 신호의 스펙트럼은 비-가우시안 스펙트럼 프로파일(예를 들어, 직사각형 또는 "탑햇" 스펙트럼 프로파일)을 갖도록 형성화될 수 있다. 이러한 RF 신호가 AOD 시스템(예를 들어, 제1 위치 지정기(106)로서 제공되거나 또는 기타)의 하나 이상의 변환기에 인가될 때, AOD 시스템을 빠져나가는 레이저 펄스는 대응하는 비-가우시안 공간적 강도 프로파일 유형(예를 들어, 직사각형 또는 "탑햇" 공간적 강도 프로파일)을 갖는 레이저 펄스를 생성하는 방식으로 변경될 수 있다. 일 실시예에서, 스펙트럼 형태의 RF 신호는 처핑되지 않는다. 다른 실시예에서, 스펙트럼 형태의 RF 신호는 처핑될 수 있다. 따라서, AOD 시스템이 구동되는 방식(즉, 하나 이상의 인가된 RF 신호에 응답)에 따라, AOD 시스템에서 나오는 레이저 펄스는 M^2 인자, 공간적 강도 프로파일 유형, 공간적 강도 프로파일 형상 및 스폿 크기와 같은 하나 이상의 특성 측면에서 입사 레이저 펄스와 다를 수 있다.

[0207] 다른 예에서, 펄스 지속시간, 펄스 반복률 또는 이들의 임의의 조합은 레이저원(104)의 작동을 변경함으로써 조정될 수 있다. 이 예에서, 레이저원(104)은 가변 펄스 지속시간 및/또는 가변 펄스 반복률을 갖는 레이저 펄스를 생성 및 출력할 수 있는 임의의 적절한 펄스 레이저원(예를 들어, 전술한 PYROFLEX 및 QUASAR 레이저는 이러한 능력을 보유하는 것으로 당 업계에 공지되어 있음)으로서 제공될 수 있다. 레이저원(104)이 QCW 또는 CW 레이저원을 포함하는 경우, 레이저원(104)은 펄스 게이팅 유닛(예를 들어, 음향 광학(AO) 변조기(AOM), 빔 초퍼 등)을 더 포함하여 QCW 또는 CW 레이저원에서 출력되는 레이저 방사선 빔을 일시적으로 변조할 수 있다. 제1 위치 지정기(106)가 AOD 시스템을 포함하는 실시예에서, AOD 시스템은 펄스 게이팅 유닛으로서 기능하기 위해 임의의 적절한거나 알려진 방식으로 작동될 수 있다.

[0208] 다른 예에서, 펄스 에너지는 레이저원(104)의 작동을 변경함으로써, VOA의 작동 등을 제어함으로써 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 조정될 수 있다. 제1 위치 지정기(106)가 AOD 시스템을 포함하는 실시예에서, AOD 시스템은 AO 셀을 통해 전송된 레이저 에너지의 빔이 감쇠되는 정도를 변경하기 위해 임의의 적절한거나 알려진 방식으로 작동될 수 있다.

[0209] 공통 스폿 위치에 전달되는(또는 공통 스폿 위치 주변에 전달되는) 레이저 펄스의 빔 특성은 동일하거나 다를 수 있다. 예를 들어, 특정 스폿 위치 또는 그 주변으로 전달되는 제1 레이저 펄스(또는 특정 스폿 위치에 그 주변으로 순차적으로 전달되는 레이저 펄스의 제1 세트)의 스폿 크기, 펄스 에너지, 펄스 지속시간, 펄스 반복률 등과 같은 하나 이상의 특성은 특정 스폿 위치 또는 그 주변으로 전달되는 제2 레이저 펄스(또는 특정 스폿 위치에 그 주변으로 순차적으로 전달되는 레이저 펄스의 제2 세트)의 대응하는 특성(들)과 같거나 다를 수 있다. 유사하게, 공통 스캔 패턴의 상이한 스폿 위치로 전달되는 순차적으로 전달되는 레이저 펄스의 빔 특성은 동일하거나 다를 수 있다. 따라서, 작업물(102)로 전달되는 레이저 에너지의 빔의 하나 이상의(또는 모든) 빔 특성은 작업물(102)의 가공 동안 일정하게(또는 적어도 실질적으로 일정하게) 유지되거나, 변조될 수 있거나(예를

들어, 실질적으로 일정하지 않게), 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 하나 이상의 빔 특성이 피처의 가공 동안 변조되는 예시적인 실시예가 아래에 설명된다.

[0210] i. 다층 작업물에서 피처 형성

[0211] 다층 구조를 갖는 작업물은 작업물의 여러 층을 통해 연장되는 하나 이상의 피처를 형성하도록 가공될 수 있다. 일 실시예에서, 다층 작업물(102)은 개구, 슬롯, 비아 또는 다른 홀, 그루브, 트렌치, 스크라이브 라인, 커프, 오목한 영역 등과 같은 피처를 형성하도록 가공될 수 있으며, 이는 적어도 부분적으로 다층 작업물(102)의 두 개의 상이한 층을 통해 연장된다. 다층 작업물(102)의 상이한 층은 상이한 재료로 형성될 수 있고, 상이한 광 흡수 특성(예를 들어, 전달된 레이저 에너지의 빔에 대해)을 가질 수 있거나 등 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 따라서, 예를 들어, 작업물(102)의 제2 층을 노출시키기 위해 제1 세트의 빔 특성을 특징으로 하는 전달된 레이저 에너지의 빔을 사용하여 작업물(102)의 제1 층을 삭마함으로써 다층 작업물(102)에 피처가 형성될 수 있다. 그 후, 작업물(102)의 제2 층은 제1 세트의 빔 특성(예를 들어, 파장, 평균 출력, 공간적 강도 프로파일 유형, M^2 인자, 공간적 강도 프로파일 형상, 스폿 크기, 광 강도, 플루언스, 펄스 반복률, 펄스 지속시간, 피크 출력 등 또는 이들의 임의의 조합 측면에서)과 상이한 제2 세트의 빔 특성을 특징으로 하는 전달된 레이저 에너지의 빔을 사용하여 삭마될 수 있다. 제2 세트의 빔 특성의 임의의 특성은 적어도 하나의 특성이 제1 세트의 대응하는 빔 특성보다 크거나, 작거나, 다른 방식으로 상이한 한, 제1 세트의 빔 특성의 대응하는 특성과 동일할 수 있다.

[0212] 예를 들어, 다층 작업물(102)은 제1층에서 제1 전도체(예를 들어, 화학 반응에 의하여, 레이저 암처리 가공 등에 의하여, 암처리되거나 또는 암처리되지 않은 노출 표면을 가질 수 있는 구리 또는 구리 합금 호일)에 부착되고, 선택적으로 제1층과 반대되는 제2층에서 제2 전도체(예를 들어 구리 또는 구리 합금으로 형성된 패드, 트레이스, 호일 등)에 부착되는 유전체 구조(예를 들어, 유리 강화 에폭시 라미네이트, 폴리이미드, 폴리에스테르, PEN, PET, 솔더레지스트 등과 같은 폴리머로 형성된 필름)를 포함하는 PCB 패널, PCB, FPC 패널, FPC 등으로 제공될 수 있다. 다층 작업물(102)은 제1 전도체를 통해 완전히 그리고 유전체 구조를 통해 적어도 부분적으로 연장되는 비아를 형성하도록 가공될 수 있다. 비아는 제2 전도체(이 경우 비아가 블라인드 비아임)에서 종료되거나, 제2 전도체를 통해 완전히 연장될 수 있다(이 경우 비아는 관통 비아일 수 있음).

[0213] 상기 주어진 예에서, 제1 세트의 빔 특성을 특징으로 하는 레이저 에너지의 빔은 제1 가공 단계에서 제1 전도체로 전달되어(예를 들어, 선택적으로, 위에서 예시적으로 설명된 스캔 기술에 따라 스캔됨) 유전체 구조를 노출시키는 개구를 형성하기 위해 제1 전도체를 직접 또는 간접적으로 삭마할 수 있다. 그 후, 제2 가공 단계에서, 제2 세트의 빔 특성을 특징으로 하는 레이저 에너지의 빔이 개구를 통해 유전체 구조로 전달되어(예를 들어, 선택적으로, 위에서 예시적으로 설명된 스캔 기술에 따라 스캔됨) 유전체 구조를 직접 삭마하여 유전체 구조 내로 연장되는 홀을 형성한다.

[0214] 일 실시예에서, 빔 특성의 제1 및 제2 세트는 파장 측면에서 동일할 수 있지만(예를 들어, 전달된 레이저 에너지의 빔은 전자기 스펙트럼의 UV, 가시광선 또는 IR 범위의 파장을 가질 수 있음), 플루언스, 광 강도 등 또는 이들의 임의의 조합 측면에서 다를 수 있다. 예를 들어, 플루언스는 제2 가공 단계 동안보다 제1 가공 단계 동안 더 클 수 있다. 제1 및 제2 가공 단계 사이에서와 같이, 전달된 레이저 펄스 빔의 펄스 에너지를 감소시키거나, 전달된 레이저 펄스 빔의 스폿 크기를 증가시킴으로써, 등 또는 이들의 임의의 조합에 의해 플루언스가 조정될 수 있다. 예를 들어, 평균 출력을 감소시키지 않고 가공 스폿에서 (예를 들어, 제1 및 제2 전도체가 형성되는 재료가 직접 삭마될 수 있는 임계 플루언스 미만으로) 플루언스를 감소시키기 위하여 제2 가공 단계 동안 전달된 레이저 펄스 빔의 스폿 크기(즉, "제2 스폿 크기")는 제1 가공 단계 동안 전달된 레이저 펄스 빔의 스폿 크기(즉, "제1 스폿 크기")에 비해 증가될 수 있다. 결과적으로, 유전체 구조에 홀을 형성하는 데 필요한 펄스의 수는 상대적으로 낮게 유지될 수 있으며 인접한 전도체 구조에 대한 손상을 피할 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 스폿 크기는 $2\mu\text{m}$ (또는 그 주변) 내지 $35\mu\text{m}$ (또는 그 주변) 범위에 있을 수 있고, 제2 스폿 크기는 제1 스폿 크기보다 크며, $40\mu\text{m}$ (또는 그 주변) 내지 $150\mu\text{m}$ (또는 그 주변)의 범위에 있을 수 있다. 예를 들어, 제1 스폿 크기는 $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $25\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $35\mu\text{m}$ 등 또는 이들 값 사이의 임의의 값과 같을 수 있고(또는 거의 같고), 제2 스폿 크기는 $40\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $80\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, $125\mu\text{m}$, $140\mu\text{m}$, $155\mu\text{m}$ 등 또는 이들 값 사이의 임의의 값과 같을 수 있다(또는 거의 같다).

[0215] 다른 실시예에서, 빔 특성의 제1 및 제2 세트는 파장 측면에서 동일할 수 있지만(예를 들어, 전달된 레이저 에너지의 빔은 전자기 스펙트럼의 UV, 가시광선 또는 IR 범위의 파장을 가질 수 있음), 펄스 지속시간, 펄스 반복률 등 또는 이들의 임의의 조합 측면에서 다를 수 있다. 예를 들어, 펄스 지속시간은 제2 가공 단계 동안보다

제1 가공 단계 동안 더 클 수 있다. 이 경우, 펄스 반복률은 제2 가공 단계 동안보다 제1 가공 단계 동안 더 적을 수 있다. 제1 가공 단계 동안의 펄스 지속시간(즉, "제1 펄스 지속시간")은 30ns보다 클 수 있고(예를 들어, 30ns(또는 그 주변) 내지 200ns(또는 그 주변)의 범위 내), 제2 가공 단계 동안의 펄스 지속시간(즉, "제2 펄스 지속시간")은 40ns 미만(예를 들어, 800ps(또는 그 주변) 내지 40ns(또는 그 주변) 범위 내)일 수 있으며, 제1 펄스 지속시간이 제2 펄스 지속시간보다 크다. 제1 가공 단계 동안 대응하는 펄스 반복률(즉, "제1 펄스 반복률")은 500kHz 이하(예를 들어, 150kHz(또는 그 주변) 내지 500kHz(또는 그 주변)의 범위)일 수 있고, 제2 가공 단계 동안 대응하는 펄스 반복률(즉, "제2 펄스 반복률")은 300kHz보다 클 수 있으며(예를 들어, 500kHz(또는 그 주변) 내지 2MHz(또는 그 주변)의 범위), 제1 펄스 반복률이 제2 펄스 반복률보다 작다. 최대 가용 펄스 에너지는 펄스 지속시간과 펄스 반복률의 특정 조합에 따라 달라지지만, 일부 조합에서는 수백 μ J만큼 높을 수 있음을 알 수 있을 것이다.

[0216] 다른 실시예에서, 빔 특성의 제1 및 제2 세트는 과장(예를 들어, 전달된 레이저 에너지의 빔은 전자기 스펙트럼의 UV, 가시광선 또는 IR 범위의 과장을 가질 수 있음), 펄스 지속시간, 펄스 반복률 등 또는 이들의 임의의 조합의 측면에서 동일할 수 있지만, 펄스 에너지 측면에서 다를 수 있다. 예를 들어, 펄스 에너지는 제2 가공 단계 동안보다 제1 가공 단계 동안 더 클 수 있다. 제1 가공 단계 동안의 펄스 에너지(즉, "제1 펄스 에너지")는 제1 전도체의 효율적이고 균일한 제거를 용이하게 하기 위해 충분히 높을 수 있으며 제2 가공 단계 동안의 펄스 에너지(즉, "제2 펄스 에너지")는 제1 펄스 에너지보다 낮을 수 있지만, 여전히 유전체 구조를 제거하기에 충분히 높을 수 있다. 형성될 피처가 블라인드 비아인 일 실시예에서, 제2 펄스 에너지는 제2 전도체를 바람직하지 않게 손상시키는 것을 피하기 위해 충분히 낮을 수 있다.

[0217] ii. 피처 형성에 대한 기타 고려 사항

[0218] 작업물(102)이 다층인지 여부에 관계없이, (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같은 임의의 방식으로) 펄스 에너지를 변조하여 스캔 패턴(예를 들어, 위에서 논의된 임의의 스캔 패턴)을 스캐닝하기 시작할 때 작업물(102)로 전달되는 레이저 펄스의 펄스 에너지를 스캔 패턴의 스캐닝이 끝날 때 작업물(102)에 전달되는 레이저 펄스의 펄스 에너지보다 높게 조절하는 것이 바람직할 수 있다.

[0219] 다른 실시예에서, 전달된 레이저 펄스의 스폿 크기는 (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같은 임의의 방식으로) 스캔 패턴에서 스폿 위치의 위치에 따라 변조될 수 있다. 예를 들어, 위에서 논의된 스폿 패턴과 관련하여, 전달된 레이저 펄스의 스폿 크기는 피처 경계(1604)에 인접하지 않은 스폿 위치로 전달되는 레이저 펄스의 스폿 크기보다 피처 경계(1604)에 인접한 스폿 위치에서 더 작도록 변조될 수 있다. 피처 경계(1604)에 인접한 더 작은 스폿 크기는 상대적으로 작은 테이퍼를 갖는 측면을 갖는 피처를 생성하는 데 도움이 될 수 있는 한편, 피처 경계(1604)에서 더 멀리 떨어진 더 큰 스폿 크기는 작업물(102)로부터 재료를 빠르게 제거하는 데 도움이 될 수 있다.

[0220] 다른 실시예에서, 작업물(102)이 다층인지 여부에 관계없이, (예를 들어, 위에서 논의된 바와 같은 임의의 방식으로) 펄스 에너지를 변조하여 스캔 패턴(예를 들어, 위에서 논의된 임의의 스캔 패턴)을 스캐닝하기 시작할 때 작업물(102)로 전달되는 레이저 펄스의 펄스 에너지를 스캔 패턴의 스캐닝이 끝날 때 작업물(102)에 전달되는 레이저 펄스의 펄스 에너지보다 높게 조절하는 것이 바람직할 수 있다.

[0221] 다른 실시예에서, 작업물(102)이 다층인지 여부에 관계없이, 제1 위치 지정기(106)의 AOD 시스템에 의해 회절된 각 레이저 펄스가 치핑되는 정도(예를 들어, 펄스 단위로 등)를 조사된 스폿 위치의 위치의 함수로서, 레이저 펄스가 전달되는 작업물(102) 내의 깊이의 함수로서, 가공되는 작업물(102) 내의 재료의 온도의 함수로서, 가공되고 있는 작업물(102) 내의 재료의 온도의 함수로서, 가공되고 있는 작업물(102) 내의 재료 근처의 재료의 온도의 함수로서 등 또는 이들의 임의의 조합으로서 조정하는 것이 바람직할 수 있다. 일 실시예에서, 제1 및 제2 가공 단계가 수행된 후에 전술한 제2 전도체가 연마되도록 치핑이 조정될 수 있다.

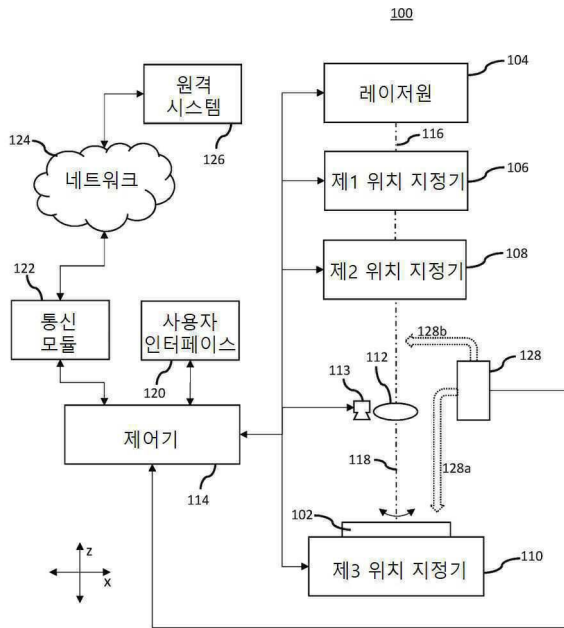
[0222] IV. 결론

[0223] 전술한 내용은 본 발명의 실시예 및 예를 예시한 것이며, 이를 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다. 몇몇 특정 실시예 및 예가 도면을 참조하여 설명되었지만, 당업자는 개시된 실시예 및 예뿐만 아니라 다른 실시예에 대한 많은 수정이 새로운 교시 및 본 발명의 장점으로 부터 실질적으로 벗어나지 않고 가능함을 쉽게 이해할 것이다. 따라서, 그러한 모든 수정은 청구 범위에 정의된 본 발명의 범위 내에 포함되도록 의도된다. 예를 들어, 당업자는 임의의 문장, 단락, 예 또는 실시예의 주제가 그러한 조합이 상호 배타적인 경우를 제외하고는 다른 문장, 단락, 예 또는 실시예의 일부 또는 전부의 주제와 결합될 수 있음을 인식할 것이다. 따라서, 본 발명의 범

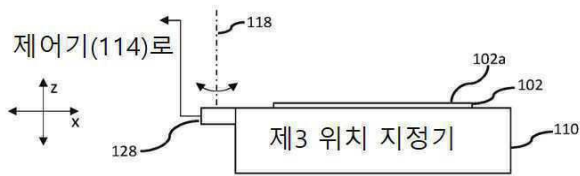
위는 그 안에 포함될 청구범위의 등가물과 함께 다음의 청구범위에 의해 결정되어야 한다.

도면

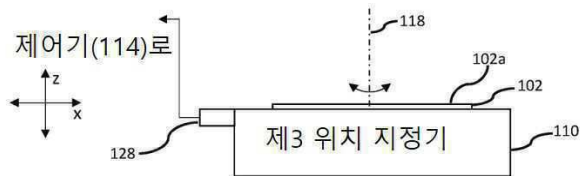
도면1



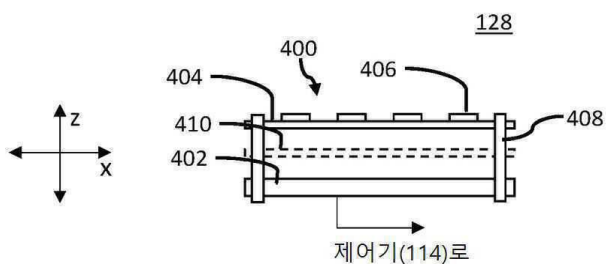
도면2



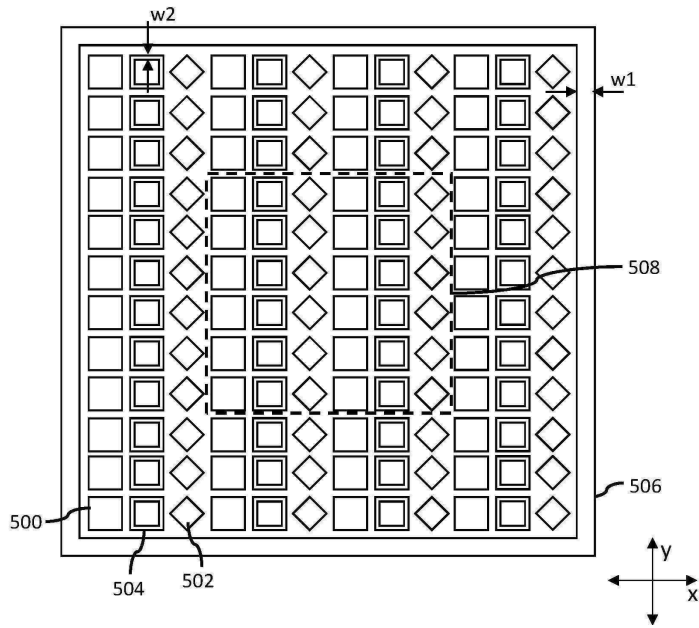
도면3



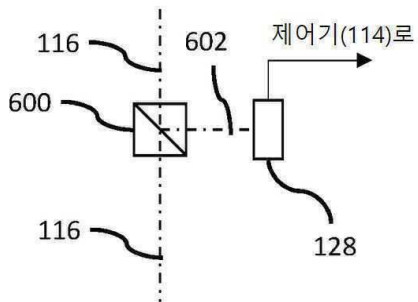
도면4



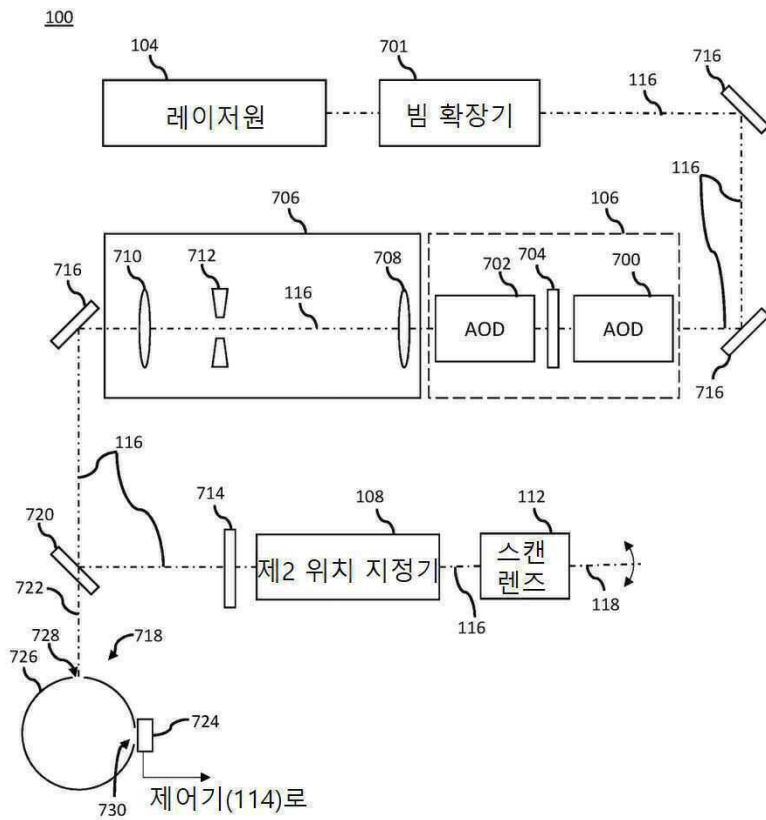
도면5



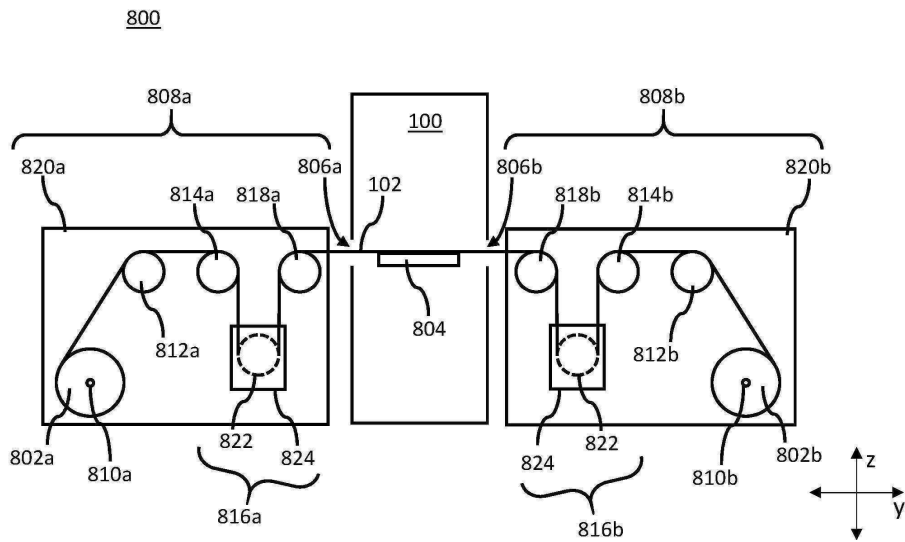
도면6



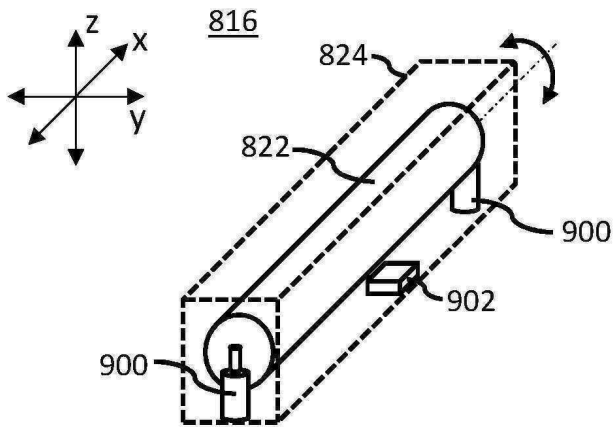
도면7



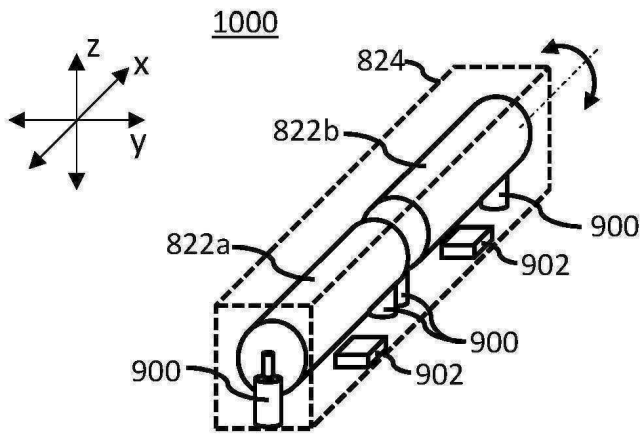
도면8



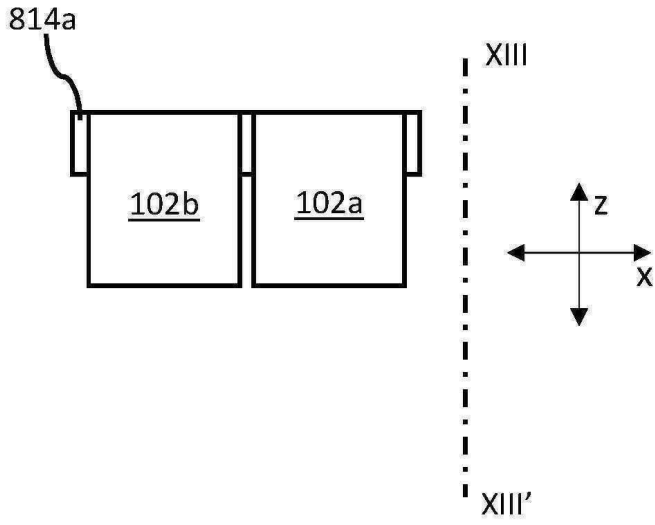
도면9



도면10



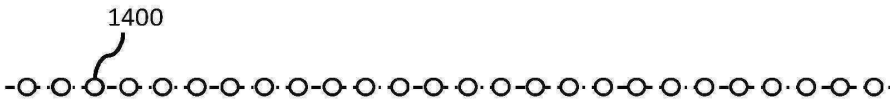
도면13



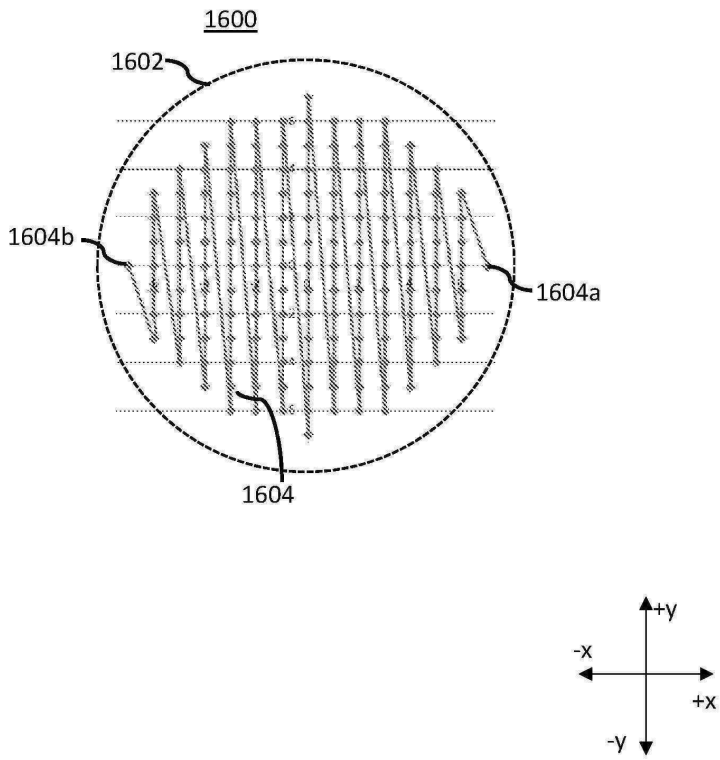
도면14



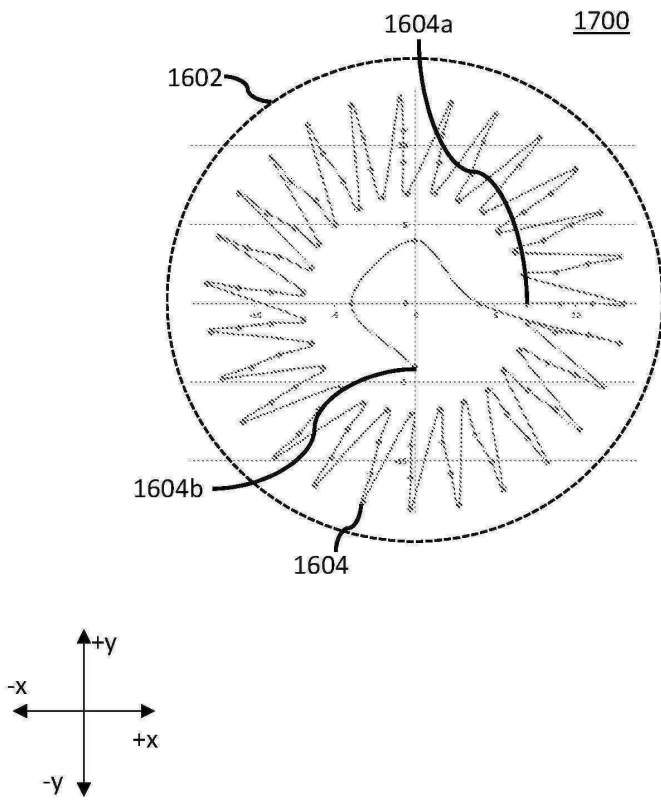
도면15



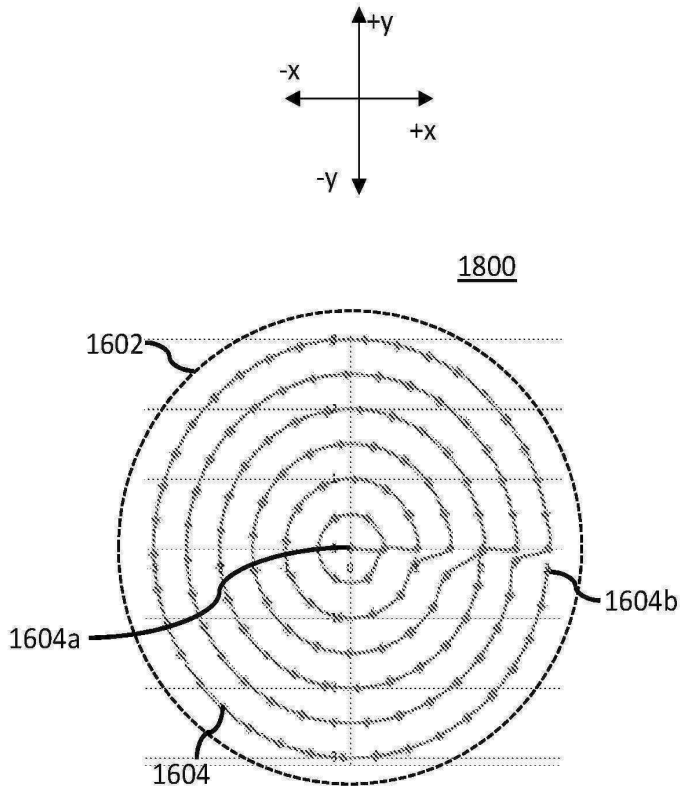
도면16



도면17



도면18



도면19

