



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0006501
(43) 공개일자 2021년01월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/03 (2014.01)
B23K 26/046 (2014.01) B23K 26/082 (2014.01)
B23K 26/40 (2014.01) B23K 101/40 (2006.01)
B23K 103/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/0648 (2013.01)
B23K 26/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7000054(분할)
(22) 출원일자(국제) 2010년05월28일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2019-7038568
원출원일자(국제) 2010년05월28일
심사청구일자 2019년12월27일
(85) 번역문제출일자 2021년01월04일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/036707
(87) 국제공개번호 WO 2010/138900
국제공개일자 2010년12월02일
(30) 우선권주장
61/181,889 2009년05월28일 미국(US)

(71) 출원인
일렉트로 싸이언티픽 인더스트리이즈 인코포레이티드
미국, 오리건 97229, 포트랜드, 노스웨스트 싸이언스 파크 드라이브13900
(72) 발명자
언라쓰 마크 에이.
미국, 오레곤주 97225, 포트랜드, 사우쓰웨스트 66th 애비뉴 2840
메루브 메루비오글루
미국, 텍사스주 78414, 코퍼스 크리스티, 멘도시노 드라이브 3214
(74) 대리인
특허법인 광장리앤코

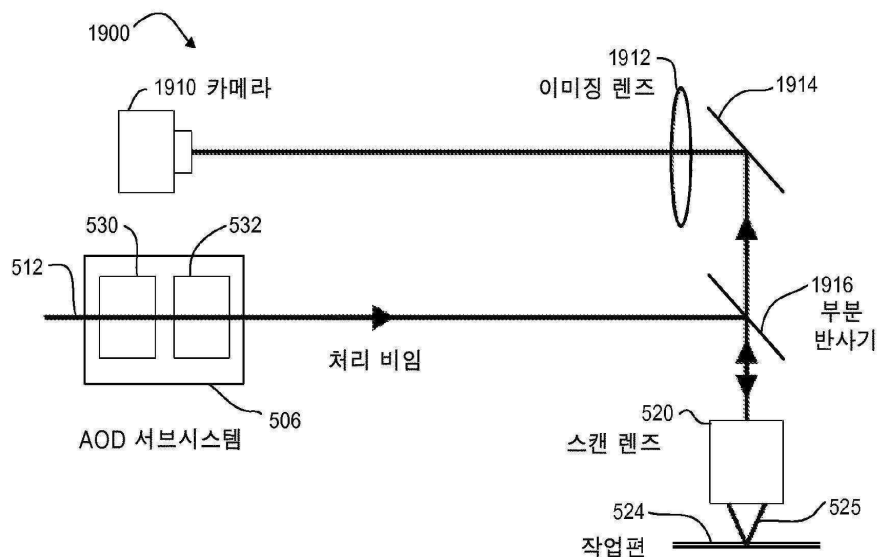
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 타겟 특징부와 레이저 비임의 관통 렌즈 정렬을 사용하는 레이저 처리 시스템

(57) 요약

작업편을 마이크로기계가공하기 위한 레이저 처리 시스템은 작업편의 특징부를 처리하기 위한 레이저 펄스들을 생성하기 위한 레이저 소스와, 작업편의 표면에 관하여 처리 궤적에 따른 레이저 비임 스팟 위치의 제1 상대 이동을 부여하기 위한 갈바노미터-구동(겔보) 서브시스템과, 음향-광학 편향기(AOD) 서브시스템을 포함한다. AOD 서브시스템은 AOD들과 전자-광학 편향기들의 조합을 포함할 수 있다. AOD 서브시스템은 디터 방향에 따른 편향 위치의 함수로서 레이저 펄스들의 강도 프로파일을 변화시킬 수 있다. AOD 서브시스템은 작업편 특징부들에 처리 레이저 비임을 정렬하기 위해 사용될 수 있다.

대표도 - 도19



(52) CPC특허분류

B23K 26/046 (2013.01)

B23K 26/0665 (2013.01)

B23K 26/082 (2015.10)

B23K 26/40 (2013.01)

B23K 2101/40 (2018.08)

B23K 2103/50 (2018.08)

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 에너지의 비임을 음향-광학 편향기(acousto-optical deflector, AOD) 시스템으로 안내하는 것 (directing) - 상기 AOD 시스템은 제1 AOD 및 상기 제1 AOD의 광학적 후속으로(optically downstream) 배열된 제2 AOD를 포함함 -;

상기 AOD 시스템을 상기 레이저 에너지의 비임을 회절시키고 그로부터 1차 비임을 생성하도록 구동하는 것 - 상기 AOD 시스템을 구동하는 것은 상기 제1 AOD를 그 포화 지점 부근에서 구동하는 것 및 상기 제2 AOD를 상기 제1 AOD보다 그 포화 지점으로부터 더욱 멀리서 구동하는 것을 포함함 -; 및

상기 1차 비임을 스캔 렌즈로 전파하는 것을 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 내용은 유전체 또는 다른 재료들의 레이저 처리에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유전체 및 전도성 재료들의 레이저 처리는 전자 구성요소들의 미세 특징부들을 용제하기 위해 일반적으로 사용된다. 예로서, 칩 패키징 기판들은 반도체 다이로부터 볼 그리드 어레이 또는 유사 패키지로 신호들을 라우팅하기 위해 레이저 처리될 수 있다. 레이저 처리된 특징부들은 신호 트레이스들, 접지 트레이스들 및 마이크로비아들(패키지 층들 사이의 신호 트레이스들의 연결을 위한)을 포함할 수 있다. 최근 디자인 경향은 칩 패키지 내의 층들의 수를 감소시키면서 신호 임피던스를 엄격하게 제어하기 위해 단일 층 상에 신호 및 접지 트레이스들을 통합시키고 있다. 이런 접근법은 작은 특징부 치수들과 간격(예를 들어, 약 10 마이크로미터(μm) 내지 약 25 μm) 및 패키지 당 긴 트레이스 길이(예를 들어, 약 5 미터(m) 내지 약 10 m)를 필요로 할 수 있다. 경제적으로 칩 패키지들을 구성하기 위해, 이런 특징부들이 용제되는 속도는 매우 높다(예를 들어, 약 1 미터/초(m/s)로부터 약 10 m/s). 특정 패키지들은 고객 처리량 목적들을 충족시키기 위해 예로서, 약 0.5 초(s) 내지 약 5s로 처리될 수 있다.

[0003] 칩 패키징의 다른 유용한 특성은 제어된 깊이 변동으로 교차 트레이스들을 제공하는 것일 수 있다. 예로서, 접지 트레이스들은 패턴을 통한 다수의 지점들에서 분기될 수 있다. 각 분기 교차부에서, 트레이스들은 약 +/- 10% 미만의 원하는 깊이 변동으로 용제될 수 있다. 일반적으로, 두 개의 트렌치들이 일 지점에서 용제되는 경우, 용제 비임의 이중적 노출은 약 100%의 깊이 변동을 생성한다.

[0004] 칩 패키징의 다른 유용한 특성은 층간 연결비아들을 위한 패드들을 제공하거나 임피던스를 제어하기 위해 패키지의 다양한 부분들에서 가변적 트레이스 폭들을 제공하는 것일 수 있다. 트레이스 폭 제어는 주 트레이스의 고속 처리를 위해 감소된 또는 최소의 중단으로 제공되어야 한다.

[0005] 또한, 이는 특징부의 특성들을 변화시키기 위해 감소된 또는 최소의 시간으로 임의적 크기 및 형상의 특징부들을 고속으로 처리하는데 유용할 수 있다. 예로서, 특징부들은 다양한 직경들 및/또는 측면 테이퍼를 갖는 마이크로비아들, 정사각형 또는 직사각형 패드들, 정렬 기점들 및/또는 영숫자 표기를 포함할 수 있다. 통상적으로, 마이크로비아들 같은 특징부들을 처리하기 위해, 광학 시스템들은 순수 가우스 비임들 또는 가변 직경의 성형된 강도 프로파일들(예를 들어, 평면-상단 비임들)을 제공하도록 설계되어야 한다. 이들 광학 시스템들은 레이저 처리 스팟 특성들이 변할 때 충분한 시간 지연들(예를 들어, 약 10 밀리초(ms) 내지 약 10 s)을 가질 수 있다.

[0006] 다른 문제점들은 상술한 처리 파라미터들을 충족시키기 위한 기계를 구성하는 것과 연계되어 있다. 예로서, 트레이스들은 라우팅 요건들에 기인하여 패키지를 통한 방향을 변화시킬 수 있다. 고속으로 트레이스들을 처리할 때, 궤적 각도의 변화는 매우 짧은 시간 규모들로 높은 비임 위치 정확도를 필요로 할 수 있다. 레이저 처리는

예로서, 높은 처리량을 위해 사용되는 높은 속도들(예를 들어, 약 1 m/s 내지 약 10 m/s)로 구동될 때 비임 위치설정의 동적 한계들을 쉽게 초과할 수 있다.

[0007] 이런 가속들 및/또는 속도들은 이 유형의 처리에 사용되는 시간 규모들(예를 들어, 약 1 마이크로초(μ s) 내지 약 100 μ s 정도)에 응답할 수 없는 정적(또는 저속으로 변하는) 비임 상태조정 광학장치와 함께 거울 갈바노미터 비임 편향기들(본 명세서에서 "갈보들(galvos)" 또는 "갈보 거울들"이라 지칭되는)과 조합된 선형 스테이지들 같은 비임 위치설정 기술들에 의존할 수 있는 통상적 레이저 처리 기계들에서는 달성하기가 어려울 수 있다.

[0008] 또한, 실제 용제 처리는 고려 대상 인자일 수 있다. 고 피크 파워를 갖는 레이저 펄스들은 용융, 크랙킹 및 기관 손상 같은 열적 부차적 영향들을 최소화하면서 유전체 재료를 용제하기 위해 사용될 수 있다. 예로서, 약 5 메가헤르츠(MHz) 내지 약 100 MHz의 반복율들로 약 20 피코초(ps)와 약 50 ps 사이의 범위의 펄스 폭들을 갖는 초고속 레이저들이 펄스 간격 효과들을 피하기 위해 충분한 펄스 중첩을 제공하면서 높은 피크 파워로 재료들을 처리할 수 있다. 이제, 파이버 레이저들은 일반적으로 약 500 킬로헤르츠(kHz)보다 큰 반복율로 나노초 영역에서 펄스 폭들을 제공한다. 일반적으로, 주어진 처리 조건(용제 깊이 및 폭)에 대하여, 처리된 재료에 인가되는 "투여량"(파워/속도) 일정하여야 한다. 그러나, 낮은 속도들에서, 인가된 파워는 피크 펄스 파워가 열적 영향들(예를 들어, 용융 및 차링(charring))을 유도하지 않고 재료를 용제하기에 불충분하게 너무 낮아질 수 있다.

[0009] 용제 효율을 감소시킬 수 있는 다른 처리 효과는 용제된 재료의 플룸(plume)과의 처리 비임의 상호작용일 수 있다. 플룸들은 그 편향에 기인하여 정확도 문제들을 유발하거나 집속된 비임을 교란시키기에 충분하게 비임을 왜곡시키거나 편향시킬 수 있다.

[0010] 비임 위치설정이 디자인들은 갈보들을 사용하여 처리 비임을 편향시킬 수 있다. 작업편에서 처리 비임의 강도 프로파일은 고정된 광학 비임 성형기에 의해 상태조정된 비임들을 위한 가우스(가우스 비임의 단순 집속을 위한) 또는 성형된 강도 프로파일(예를 들어, 평면-상단 프로파일)일 수 있다.

[0011] 음향-광학 편향기들(acousto-optic deflectors)(AODs)이 고속 편향을 제공하기 위해 갈보들과 조합되는 시스템들이 예로서, 미국 특허 제5,837,962호 및 제7,133,187호에 개시되어 있다. 그러나, 이들 참조문헌들은 진보된 비임 위치설정이 디자인으로 원하는 성능을 획득하는 것을 개시하지 못하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0012] 일 실시예에서, 작업편을 마이크로기계가공하기 위한 레이저 처리 시스템은 작업편의 표면에 특징부를 처리하기 위해 일련의 레이저 펄스들을 생성하기 위한 레이저 소스와, 작업편의 표면에 관하여 처리 궤적을 따른 레이저 비임 스팟 위치의 제1 상대적 이동을 부여하기 위한 갈바노미터-구동(갈보) 서브시스템과, 음향-광학 편향기(AOD) 서브시스템을 포함한다. AOD 서브시스템은 AOD들과 전자-광학 편향기들의 조합을 포함할 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 작업편 특징부들에 처리 레이저 비임을 정렬시키기 위한 방법이 제공된다. 처리 레이저 비임은 작업편 특징부들을 처리하기 위한 사전결정된 궤장을 포함한다. 이 방법은 스캔 렌즈를 통해 전파 경로를 따라 작업편으로 처리 레이저 비임을 전파하는 단계를 포함한다. 또한, 이 방법은 사전결정된 궤장의 조작된 처리 레이저 비임으로 정렬 타겟을 포함하는 작업편의 선택된 영역을 스캔 렌즈를 통해 조명하도록 처리 레이저 비임을 조작하는 단계를 포함한다. 선택된 영역은 스캔 렌즈를 통해 제공된 처리 레이저 비임의 기준 레이저 비임 스팟 보다 크다. 이 방법은 작업편의 선택된 영역을 이미징하기 위해 카메라에 스캔 렌즈를 통해 조작된 처리 레이저 비임의 반사의 적어도 일부를 다시 안내하는 단계를 더 포함한다. 카메라에 의해 포착된 선택된 영역의 이미지에 기초하여, 이 방법은 또한 정렬 타겟에 대하여 기준 레이저 비임 스팟의 위치를 결정하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 특정 실시예들에 따라 사용될 수 있는 AOD의 동작을 예시하는 블록도이다.

도 2는 특정 실시예들에 따라 사용될 수 있는 다양한 RF 주파수들에서 AOD 회절 효율 곡선들에 대한 RF 파워를

도식적으로 나타낸다.

도 3은 일 실시예에 따른 원하는 감쇄를 선택하기 위해 사용되는 예시적 AOD 파워 선형화 곡선을 도식적으로 나타낸다.

도 4는 특정 실시예들에 따른 회절 효율과 편향 범위 사이의 절충을 선택하기 위해 사용될 수 있는 AOD 회절 효율들에 대한 RF 주파수를 도식적으로 나타낸다.

도 5는 일 실시예에 따라 레이저 비임을 디더링시키기 위한 AOD 서브시스템 및 궤보 서브시스템을 포함하는 시스템의 블록도이다.

도 5a는 일 실시예에 따른 비임 성형을 위한 시스템의 블록도이다.

도 5b는 일 실시예에 따른 경사진 처리 비임들을 제공하는 시스템의 블록도이다.

도 6은 일 실시예에 따른 래스터 지점들의 그리드에 걸친 스팟 진폭들의 세트를 결정하기 위한 최소 자승 최적화 루틴을 사용하는 방법의 흐름도이다.

도 7a는 일 실시예에 따른 바람직한 플루언스(fluence) 프로파일을 도식적으로 나타낸다.

도 7b는 일 실시예에 따른 도 7a의 바람직한 플루언스 프로파일에 대응하는 최적화된 래스터 진폭들을 도식적으로 나타낸다.

도 8은 일 실시예에 따른 예시적 AOD 궤보 에러 교정 필터와 연계된 곡선들을 도식적으로 나타낸다.

도 9는 일 실시예에 따른 궤보 서브시스템의 보조 센서를 포함하는 레이저 처리 시스템의 블록도이다.

도 10은 특정 실시예에 따른 레이저 직접 용제를 위해 처리된 예시적 트렌치 패턴들을 예시하는 개략도이다.

도 11은 일 실시예에 따른 AOD 및 궤보 조화(coordination)와 연계된 곡선들을 도식적으로 나타낸다.

도 12는 일 실시예에 따른 AOD 속도 보상과 연계된 곡선들을 도식적으로 나타낸다.

도 13은 일 실시예에 따른 병렬 처리 및 영역 결합을 개략적으로 나타낸다.

도 14는 일 실시예에 따른 제3 프로파일링 서브시스템을 개략적으로 예시한다.

도 15a, 도 15b, 도 15c, 도 15d 및 도 15e는 일 실시예에 따른 도 14에 도시된 제3 프로파일링 서브시스템에 의해 생성 및/또는 사용되는 신호들을 예시한다.

도 16a, 도 16b 및 도 16c는 특정 실시예들에 따른 예시적 AOD 명령 시퀀스들을 예시한다.

도 17a 및 도 17b는 특정 실시예들에 따른 속도 변조의 예들을 도식적으로 예시한다.

도 18은 일 실시예에 따른 위치 명령 신호에 관한 위치설정 에러 및 결과적인 AOD 위치 프로파일을 도식적으로 예시한다.

도 19는 일 실시예에 따른 래스터 조명을 위한 AOD 서브시스템을 사용한 렌즈 관통(through-the-lens)용 시스템의 블록도이다.

도 20은 예시적 실시예에 따른 AOD 회절 효율 곡선들을 도식적으로 나타낸다.

도 21은 예시적 실시예에 따른 추가적 AOD 선형화 곡선들을 도식적으로 나타낸다.

도 22는 일 실시예에 따른 AOD 제어 데이터 유동을 나타내는 블록도이다.

도 23은 일 실시예에 따른 교차부에서 접촉 트렌치(butting trench)의 접근을 도식적으로 나타낸다.

도 24는 일 실시예에 따른 도 23에 도시된 충돌 및 공칭 트렌치들의 단면 프로파일을 도식적으로 나타낸다.

도 25는 일 실시예에 따른 가우스 비임들과의 최적의 교차부를 도식적으로 나타낸다.

도 26은 일 실시예에 따른 도 25에 도시된 가우스 비임들과의 최적의 교차의 단면 프로파일을 도식적으로 나타낸다.

도 27은 일 실시예에 따른 교차 이전의 디더 트렌치들을 도식적으로 나타낸다.

도 28은 일 실시예에 따른 도 27에 도시된 디더를 갖는 공칭 및 접촉 트렌치들의 단면 프로파일을 도식적으로

나타낸다.

도 29는 일 실시예에 따른 디더 비임들과의 최적의 교차를 도식적으로 나타낸다.

도 30은 일 실시예에 따른 도 29에 대응하는 디더 비임들(최적 + 감도)을 갖는 교차부 단면을 도식적으로 나타낸다.

도 31은 일 실시예에 따른 개선된 위치 공차(교차 이전)를 위한 넓은 전이 에지를 도식적으로 나타낸다.

도 32는 일 실시예에 따른 도 31에 도시된 넓은 전이 트랜치들(교차 이전)을 갖는 공칭 및 접촉 트랜치들의 단면 프로파일을 도식적으로 나타낸다.

도 33은 일 실시예에 따른 넓은 전이 에지를 갖는 최적의 교차부를 도식적으로 나타낸다.

도 34는 일 실시예에 따른 도 33에 대응하는 넓은 전이부(최적 + 감도)를 갖는 교차 단면을 도식적으로 나타낸다.

도 35는 일 실시예에 따른 절결부를 갖는 교차된 교차 트랜치를 도식적으로 나타낸다.

도 36은 일 실시예에 따른 도 35에 도시된 절결된 트랜치의 단면 프로파일을 도식적으로 나타낸다.

도 37은 일 실시예에 따른 최적으로 교차된 교차부를 도식적으로 나타낸다.

도 38은 일 실시예에 따른 도 37에 대응하는 넓은 전이부(최적 + 감도)를 갖는 교차부 단면을 도식적으로 나타낸다.

도 39는 일 실시예에 따른 교차 트랜치들을 갖도록 처리된 "T" 교차부를 도식적으로 나타낸다.

도 40은 일 실시예에 따른 교차부들에서 투여량 및 형상 제어의 역학을 도식적으로 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 명세서에 개시된 실시예는 경제적이고 실현가능한 유연한, 고속 비임 위치설정 및 상태조정을 제공한다. 본 내용은 선형 위치설정 스테이지들 및/또는 궤보들과 조합한 AOD들의 사용을 설명한다.
- [0016] 본 명세서에 개시된 예시적 실시예들은 AOD들에 관한 것이지만, 전자-광학 편향기들(EODs)도 사용될 수 있다. 특정 실시예들에서, 예로서, EOD들은 일부 또는 모든 AOD 포인팅(편향) 기능들을 위한 적절한 대체물들이다. EOD들(각도 편향을 위한 구성시)은 통상적으로 파워를 변조하지 않는다. 따라서, 특정 실시예들에서, 하나 이상의 AOD들이 파워 변조를 위해 사용되고, 하나 이상의 EOD들이 포인팅을 위해 사용된다. 변조를 수행하는 음향-광학 장치들은 음향-광학 변조기들(AOMs)로서 여기에서 지칭될 수 있다. 급속 조종 거울들(FSMs) 같은 다른 기계적 비임 조종 기술들은 기능성의 손실 없이 궤보 비임 위치설정 서브시스템을 대체할 할 수 있다.
- [0017] 이하에 상세히 설명된 특정 실시예에 따른 레이저 처리 시스템은 AOD 및 궤보 위치설정 양자 모두를 제공한다. AOD 및 궤보 비임 위치설정을 포함하는 시스템은 원하는 작동 조건을 위해 파워 선형화 곡선들을 맞춤화함으로써 AOD로부터 높은 회절 효율에 대해 더 큰 편향 범위를 절충시키는 기능을 제공할 수 있다.
- [0018] 특정 실시예들은 작업편의 맞춤화된 처리를 위해 선택된 강도 프로파일을 생성하도록 AOD 편향 명령들을 급속 갱신함으로써 처리 비임의 디더링을 제공한다. 디더링은 처리 비임의 유효 치수들(예를 들어, 그 폭 또는 단면 형상)을 변화시키기 위해 또는 성형을 통한 것 같은 용례들을 위한 맞춤화된 스팟 강도 프로파일(임의의 형상의 상단-햇 강도 프로파일들)들을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 디더링은 예로서, 교차부의 부분들의 과노출에 기인한 부적합한 깊이 변동을 피하면서 작업편 상에 교차하는 용제 특징부들을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 본 명세서에 개시된 교차 처리 기능성들은 연속적 처리(중단 없이 주 특징부들을 처리하면서 비임 강도 프로파일을 성형) 또는 래스터 접근을 사용한 맞춤 처리 중 어느 하나를 가능하게 하며, 이는 다른 방식에서는 진행중인 처리를 불가능하게 하거나 곤란하게 할 수 있는 임의적 형상의 교차부들을 생성하기 위한 기능을 제공한다.
- [0019] AOD 및 궤보 위치설정을 갖는 시스템은 또한 원하는 교차부를 적절히 형성하도록 래스터 패턴(처리 비임 지점들의 위치 및 강도)을 최적화하는 것을 제공할 수도 있다. 또한, 특정 실시예들은 바람직하지 못한 노이즈를 동시에 필터링하면서 선택된 주파수 범위에 걸쳐 궤보 에러로부터의 위상 및 이득 응답을 비임 위치에 정합시키기 위해 궤보 에러 신호들을 적절히 필터링함으로써 궤보 위치설정 에러를 위한 교정을 제공한다. 디더링을 위한 대안적 접근법에서, 특정 실시예들은 펄스-펄스 기반으로 비임을 집속해제하기 위해 AOD 음향 파형을 "처핑(chirping)"함으로써 처리 비임 스팟 크기의 변경을 제공한다.

- [0020] 추가로, 또는 다른 실시예들에서, 궤보 비임 위치설정기들의 동작은 AOD 위치설정의 동작과 조화됨으로써 AOD들이 고 대역폭 궤적 구성요소들을 위해 처리 비임을 편향시킬 수 있게 하고, 궤보들이 별개의 프로파일링 명령들 또는 주 비임 궤적 명령들의 필터링 중 어느 하나를 통해 더 낮은 대역폭 구성요소들을 위해 비임을 편향시킬 수 있게 한다. 궤보 속도를 변화시키지 않으면서 고속 비임 궤적들은 AOD들이 작은 국지적 영역으로 비임 속도를 감소시킬 수 있게 함으로써 가능해지고, 이는 전체 속도에서 더 큰 국지적 특징부들의 처리를 가능하게 한다. 유사하게, 특징부 처리(비임 속도에 독립적인) 동안 일정한 투여량을 유지하기 위한 처리 비임 파워의 변조는 특정 섹션들에서 전체 속도로 궤보들이 이동할 수 있게 하고, 궤적의 더 양호한 추적을 위해 다른 섹션들에서 더 낮은 속도들로 신속하게 감속될 수 있게 한다.
- [0021] 특정 실시예들에서, 다수의 작업편 특징부들이 병렬로 처리되어(특징부들 사이에서 디더링하는 AOD들을 사용하여) 비임 위치설정기 속도를 감소시키면서 병렬 처리를 통한 더 높은 처리량을 가능하게 한다. AOD들에 의해 제공되는 교차 처리 기능들은 병렬로 처리되지 않는 인접 섹션들에 병렬로 처리되는 작업편 특징부들의 부분들을 결합시키기 위해 사용될 수 있다.
- [0022] 또한, AOD들은 선택된 작업편 특징부의 속도 벡터를 따라 비임 위치를 디더링시키도록 AOD들을 사용함으로써 작업편 처리 동안 플룸 형성의 부적합한 효과들을 피하기 위해 및/또는 광학 트레인의 미소한 추가적 비용 또는 복잡성으로 비임 지터를 안정화하기 위해 사용될 수도 있다. 또한, AOD들이 작업편에 대한 정렬 및 그 렌즈 관통 관찰을 위한 필드 조명 및 기준 처리 비임 스팟을 동시에 제공함으로써 매우 높은 정확도로 작업편 특징부들에 처리 비임을 정렬시키기 위한, 그리고, 처리 비임에 대한 초점 정렬을 최적화하기 위한 기능을 (미소한 여분의 비용 또는 복잡성으로) 제공하기 위해 사용될 수도 있다. AOD들은 열의 영향을 받은 구역 효과들이 최소화되도록 프로세스 비임의 듀티 사이클을 맞춤 조정할 수 있는 기능을 또한 제공할 수 있다.
- [0023] 이제, 유사 참조 번호들이 유사 구성요소들을 나타내고 있는 도면들을 참조한다. 명료성을 위해, 참조 번호의 첫 자리는 대응 구성요소가 최초 사용되는 도면 번호를 나타낸다. 후속 설명에서, 다수의 특정 세부사항들은 본 명세서에 개시된 실시예들의 전반적 이해를 위해 제공되어 있다. 그러나, 본 기술 분야의 숙련자들은 특정 세부사항들 중 하나 이상 없이 또는 다른 방법들, 구성요소들 또는 재료들로 실시될 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 또한, 일부 경우들에서, 잘 알려진 구조들, 재료들 또는 동작들은 본 발명의 양태들을 불명료하게 하는 것을 피하기 위해 상세히 도시 또는 설명되어 있다. 또한, 설명된 특징부들, 구조들 또는 특징들은 하나 이상의 실시예들에서 임의의 적절한 방식으로 조합될 수 있다.
- [0024] 실시예들은 다양한 단계들을 포함할 수 있으며, 이는 범용 목적 또는 특수 목적 컴퓨터(또는 다른 전자 장치)에 의해 실행되는 기계 실행가능 명령들로 구현될 수 있다. 대안적으로, 단계들은 단계들을 수행하기 위한 특정 로직을 포함하는 하드웨어 구성요소들 또는 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어의 조합에 의해 수행될 수 있다.
- [0025] 또한, 실시예들은 본 명세서에 설명된 처리들을 수행하도록 컴퓨터(또는 다른 전자 장치)를 프로그래밍하기 위해 사용될 수 있는 명령들이 저장되어 있는 비-일시적, 기계 판독가능 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품으로서 제공될 수 있다. 기계 판독가능 매체는 하드 드라이브들, 플로피 디스켓들, 광학 디스크들, CD-ROM들, DVD-ROM들, ROM들, RAM들, EPROM들, EEPROM들, 자기 또는 광학 카드들, 고상 메모리장치들 또는 전자 명령들을 저장하기에 적합한 다른 유형의 매체/컴퓨터 판독가능 매체를 포함하지만 이에 한정되지 않을 수 있다.
- [0026] I. AOD 개요
- [0027] 도 1은 특정 실시예들에 따라 사용될 수 있는 AOD(100)의 동작을 예시한다. AOD(100)는 결정(crystal)(112)에 결합된 압전 트랜스듀서(110)를 포함한다. AOD(100)는 결정(112) 내에 RF 주파수 음향 웨이브(114)(예를 들어, 약 50 MHz와 약 1500 MHz 사이의 주파수 범위에서)를 생성하기 위해 압전 트랜스듀서(110)를 구동하도록 구성된 라디오 주파수(RF) 구동부(113)를 더 포함한다. 입사 레이저 비임(115)은 결정(112)에 구성된 음향 웨이브(114)에 의해 회절되며, 입력 비임 파워의 일부는 편향되며("1차" 비임(116)) 및 파워의 잔여부는 편향되지 않는다("0차" 비임(118)). 일부 실시예들에서, 1차 비임(116)은 처리를 위해 사용되고, 0차 비임은 비임 덤프(122)로 전송된다. 1차 편향 각도(120)는 인가된 RF 주파수에 비례한다.
- [0028] 일 실시예에서, 음향 웨이브 컬럼에 대한 입사 비임 각도는 브래그(Bragg) 각도로 설정된다. 입사 비임 각도를 브래그 각도로 설정하는 것은 회절 효율을 증가시키거나 최대화하며, 이는 입력 비임 파워에 대한 1차 비임 파워의 비율이다. 1차 비임(116) 내로 편향된 상대적 파워는 낮은 RF 파워 레벨들에서 RF 구동부(113)에 의해 인가되는 RF 파워에 대략 비례할 수 있다. 그러나, 1차 비임(116)으로 편향된 상대적 파워는 높은 레벨로 포화될

수 있다(예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이). 실제 작동에서, 소량의 파워는 또한 더 높은 차수의 비임들(미도시)로 편향되거나 산란될 수도 있다.

[0029] AOD들의 회절 효율들은 선택된 RF 주파수 및 진폭에서 양호한(고품질 가우스) 입력 비임을 갖는 적절히 설계된 장치를 위해 대략 95% 이상까지의 범위에 걸쳐질 수 있다. RF 주파수가 변할 때, 편향된 비임 각도들은 변하며, 회절 효율은 그 최대값 미만으로 떨어진다. AOD들은 작업편(미도시)에서 집중된 스팟의 약 3 내지 5 직경과 같은 편향 범위에 걸쳐 약 90% 효율보다 크게 유지할 수 있다. 구체적으로, 설계된 AOD들은 RF 주파수의 함수로서 음향 비임 각도를 조정하는 기술들을 통한 매우 더 높은 회절 효율들을 달성할 수 있다.

[0030] 두 개의 AOD들은 이차원(2-D) 편향 서브시스템을 생성하도록 조합될 수 있다. 껍보들 이전에 배치될 때, 후술된 바와 같이, 두 개의 AOD들은 껍보들에 의해 생성된 공칭 비임 위치 둘레에 작은 비임 편향을 부여한다. 이런 배열은 예로서, 미국 특허 제5,837,962호에 설명되어 있다. 작업편을 처리하기 위해 이런 배열을 사용할 때, 특정 실시예들은 AOD 편향의 함수로서 회절 효율의 변화에도 불구하고 AOD 편향 동안 일정한 비임 파워를 유지한다. AOD 편향 동안 일정한 비임 파워를 유지하는 것은 RF 주파수의 함수로서 RF 파워 진폭을 갱신(예를 들어, 변조)함으로써 고속으로(예를 들어, 약 0.1 μ s 내지 약 10 μ s의 AOD들에 대해 사용되는 갱신율들에서) 달성될 수 있다. RF 파워 변조는 최저 회절 효율에 근사하거나 그와 일치하도록 AOD 편향 범위의 중간 부분의 회절 효율을 낮추는 효과를 갖는다. 최저 회절 효율을 정합시키는 것이 회절 서브시스템의 효율을 저하시키지만, 이는 AOD 편향 범위에 걸쳐 실질적으로 일정한(또는 예측가능한) 파워를 사용하는 용례들에 AOD들이 사용될 수 있게 한다.

[0031] 상술한 바와 같이, EOD들은 각도 편향 용례들을 위해 AOD들에 대한 대안으로서(또는 AOD들과 연계하여) 사용될 수 있다. EOD 편향기들은 제한된 범위(예를 들어, 작업편의 소수의 스팟 직경들과 등가인), 매우 높은 대역폭들(예를 들어, 마이크로초 응답 시간들) 및 높은 전송 효율로 AOD들에 유사한 기능들을 갖는다. 그러나, EOD 장치들을 구현하기 위해 사용되는 결정들은 비교적 높은 광학 파워 흡수(예를 들어, 수 퍼센트) 또는 현저한 전기적 파워 소산을 겪을 수 있으며, 이는 열적 렌싱 및/또는 비임 포인팅 드리프트의 문제들을 초래할 수 있다. 또한, 일부 실시예들(예를 들어, 낮은 광학 파워 및/또는 높은 전송 파장들을 사용하여)에서, AOD들을 사용하여 아래에 설명된 기술들이 EOD들에 의해 달성될 수 있다.

[0032] II. 파워 선형화

[0033] 특정 실시예들에 따른 레이저 처리 용례들에서 AOD들을 적절히 사용하기 위해, 회절 효율 곡선은 RF 파워 및 주파수의 함수로서 선형화된다. 예측가능한 동작을 위해, 정규화된 AOD 파워 감쇄 명령(0 내지 1의 범위)이 사용될 수 있으며, 이는 1차 비임 파워의 선형 감쇄를 초래한다. 도 2는 특정 실시예들에 따라 사용될 수 있는 다양한 RF 주파수들에서 AOD 회절 효율 곡선들 대 RF 파워를 도식적으로 나타낸다. 도 2에 도시된 바와 같이, AOD 회절 효율 곡선은 일반적으로 비선형적이다. 회절 효율 곡선들의 비선형 특성에 기인하여, 회절 효율 대 RF 파워가 특정 실시예들에 따라 맵핑될 수 있으며, 명령된 감쇄를 초래하는 RF 파워를 제공하는 선형화 함수(예를 들어, 다항식, 참조표 또는 유사 알고리즘)가 생성될 수 있다.

[0034] 도 3은 일 실시예에 따른 원하는 감쇄를 선택하기 위해 사용되는 예시적 AOD 파워 선형화 곡선을 도식적으로 나타낸다. 도 3에 예시된 예시적 선형화 함수는 참조표 형태로 나타내질 수 있다. 도 3에 도시된 선형화 함수는 다양한 RF 주파수들을 위한 미소한 변동과 함께 특정 RF 주파수를 위해 유효하다. 적절한 RF 주파수(그리고, 이에 따른 편향) 범위에 걸친 선형 동작을 가능하게 하기 위해, 특정 실시예들은 복수의 선형화 표들을 사용한다. 선형화 표들의 수는 AOD에 적용되는 주파수 범위 및 파워 정규화가 유지되는 정밀도에 의존한다. 특정 실시예들에서, 선형화 표들은 약 1%의 공차 이내의 선형 파워 규제를 생성할 수 있다.

[0035] 2-D AOD 구성에서, 단 하나의 AOD가 파워 선형화를 위해 RF 파워를 제어하기 위해 필요할 수 있다. 제1 AOD의 RF 파워의 변조는 제2 AOD의 회절 효율을 선형화하기 위해 사용되는 제어를 제공할 수 있다. 특정 이런 실시예들에서, 제2 AOD는 그 포화 지점 부근에서 동작하고, 여기서, RF 주파수의 변화들은 회절 효율에 최소의 영향을 가지며, 이는 편향의 함수로서 회절 효율 변동을 최소화 및 감소시킨다. 특정 실시예들에 필요한 경우, 두 개의 AOD들 중 어느 하나는 파워 선형화를 위해 사용될 수 있다. 특정 실시예들에서, 제1 AOD는 거친 파워 제어를 위해 사용될 수 있고, 제2 AOD는 양자화된 RF 파워 명령들에 의해 도입되는 선형화 에러들을 최소화 및 감소시키기 위해 미세 파워 제어를 위해 사용될 수 있다.

[0036] 최적 RF 주파수 설정에서 회절 효율 곡선의 피크화에 기인하여, 다른 주파수들에서의 동작은 더 낮은 광학 효율로 AOD를 운용하는 것을 필요로 할 수 있다. AOD가 주어진 편향 범위에 걸쳐 일정한 광학 출력 파워로 동작되

는 경우, 요구된 출력 파워는 전체 편향 범위에 걸쳐 최소 달성가능 출력 파워 미만으로 유지하도록 특정 실시예들에서 구성될 수 있다. 이러한 제약은 레이저 처리 시스템의 디자인에서 인식될 수 있으며, AOD의 동작 편향 범위의 선택을 안내할 수 있다. 매우 높은 광학 효율을 필요로 하는 처리들에 대하여, AOD는 작은 편향 범위(예를 들어, 약 5 스팟 직경들 미만) 이내에서 동작될 수 있다. 더 큰 편향 범위(예를 들어, 수백 스팟 직경들 까지)를 필요로 하는 처리들에 대하여, 최대 효율은 사용자가 효율(예를 들어, 광학 파워) 대 편향 범위의 절충을 가능하게 하기 위해 감소될 수 있다. 예로서, 도 4는 특정 실시예들에 따른 편향 범위와 회절 효율 사이의 절충을 선택하기 위해 사용될 수 있는 AOD 회절 효율들 대 RF 주파수를 도식적으로 나타낸다. 도 4는 예시적 RF 주파수(편향 진폭) 동작 범위(412)를 위한, 회절 효율 응답 대 RF 주파수 이동 및 최소 회절 효율의 변화를 나타낸다. 작은 범위에 걸친 높은 효율은 화살표(414)로 도시되어 있으며, 더 큰 범위에 걸친 더 낮은 효율이 화살표(416)로 도시되어 있다.

[0037] III. 디더링(Dithering)

[0038] 도 5는 일 실시예에 따른 레이저 비임을 디더링시키기 위한 겔보 서브시스템(508) 및 AOD 서브시스템(506)을 포함하는 시스템(500)의 블록도이다. 시스템(500)은 AOD 서브시스템(506)에 처리 비임(512)을 제공하기 위한 레이저 소스(510)를 포함한다. 일 실시예에서, 레이저 소스(510)는 처리 비임(512)이 일련의 레이저 펄스들을 포함하도록 펄스형 레이저 소스를 포함한다. 다른 실시예에서, 레이저 소스(510)는 처리 비임(512)이 CW 레이저 비임을 포함하도록 연속 파(CW) 레이저 소스를 포함한다. 특정 이런 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 분리된("펄스") 간격들로 처리 비임(512)을 편향시킴으로써 CW 레이저 비임으로부터 레이저 펄스들을 생성한다.

[0039] 상술한 바와 같이, AOD 서브시스템(506)은 AOD 편향 각도(514)에서 처리 비임(512)의 1차 비임(513) 및 처리 비임(512)의 0차 비임(515)을 비임 덤프(516)로 편향시킨다. 시스템(500)은 1차 비임(513)을 겔보 서브시스템(508)으로 편향시키기 위한 고정 거울(518) 및 작업편(524) 내에 또는 상에 레이저 비임 스팟(522)을 집속시키기 위한 스캔 렌즈(520)를 더 포함할 수 있다. 스캔 렌즈(520)의 출력은 본 명세서에서 집속된 레이저 비임(525)이라 지칭될 수 있다.

[0040] 일 실시예에서, AOD 서브시스템(506)은 겔보 시스템(508)이 처리 궤적(526)을 따른 제2 방향으로 편향을 제공하는 동안 제1 방향(예를 들어, 디더 방향)으로 전후 편향을 제공하기 위해 사용되는 단일 AOD를 포함할 수 있다. 그러나, 증가된 속도 및 다재성을 위해, 도 5에 예시된 실시예의 AOD 서브시스템(506)은 작업편(524)의 표면에 관하여 X 축 및 Y 축을 따른 2-D 편향을 제공한다. 본 예에서, Y 축은 처리 궤적(526)에 평행한 것으로 지칭될 수 있으며, X 축은 처리 궤적(526)에 수직인 것으로 지칭될 수 있다. 따라서, X 축은 디더 방향이라 지칭될 수 있다. 처리 궤적(526)은 예로서, 시스템(500)이 작업편(524)의 표면 내에 트랜치(528)를 새기거나 절삭하는(예를 들어, 겔보 서브시스템(508)의 제어 하에) 방향에 대응할 수 있다.

[0041] 예시된 2-D 편향을 제공하기 위해, AOD 서브시스템(506)은 겔보 서브시스템(508)이 처리 궤적(526)을 따라 비임 축을 이동시킬 때, 제1 방향으로 1차 비임(513)을 편향시키기 위한 제1 AOD(530)와, 제2 방향으로 1차 비임(513)을 편향시키기 위한 제2 AOD(532)를 포함한다. 달리 말하면, AOD 서브시스템(506)에 의해 제공되는 비임 스팟 위치들의 이동은 겔보 서브시스템(508)에 의해 제공되는 비임 스팟 위치들의 이동에 중첩된다. 도 5에 도시된 바와 같이, 겔보 서브시스템(508)은 또한 작업편(524)의 표면에 관하여 X 축 및 Y 축 방향들 양자 모두로 1차 비임(513)을 편향시키기 위한 제1 겔보 거울(533) 및 제2 겔보 거울(535)을 포함할 수 있다.

[0042] AOD 편향들의 배향은 겔보 서브시스템(508)의 편향 축들에 정렬되지 않을 수 있다. 일반적으로, 결과적 AOD 편향들을 원하는 좌표 프레임에 정렬시키기 위해 AOD 편향 명령들에 좌표 변환이 적용될 수 있다. 또한, 이 좌표 변환은 속도의 함수일 수 있으며, 겔보 서브시스템(508)에 의해 형성된 처리 궤적에 수직인 AOD 비임 편향을 유지하기 위해 AOD 편향 좌표 프레임을 회전시킨다.

[0043] 시스템(500)에 포함된 AOD 서브시스템(506)에 의해, 다수의 동작 모드들이 가능해진다. 일 실시예에서, 동작 모드는 작업편(524)에서 레이저 비임 스팟(522)을 효과적으로 확장시키기 위해 처리 비임(512)을 디더링시키는 기능을 포함한다. 달리 말하면, 처리 비임(512)을 디더링시키는 것은 스캔 렌즈(520)에 의해 집속된 개별 레이저 비임 스팟(522)의 것들보다 큰 치수들을 갖는 형상 특징부들을 생성하기 위해 일련의 집속된 레이저 비임 스팟들(534)을 공간적으로 위치시키는 것을 포함한다. 예시적 목적들을 위해, 도 5는 트랜치(528)가 처리 궤적(526)의 방향으로 처리될 때 작업편(524)의 표면 위로부터 볼 때 디더링된 레이저 비임 스팟들(534)을 나타낸다. 따라서, 예로서, 주어진 반복율의 일련의 디더링된 레이저 비임 스팟들(534)은 더 낮은 펄스 반복율에서 처리 궤적(526)의 방향으로 연속적으로 적용되는 일련의 더 큰 직경의 레이저 비임 스팟들의 영향을 갖는다.

- [0044] 특정 실시예들에서, AOD들(530, 532)은 약 $0.1 \mu s$ 내지 약 $10 \mu s$ 정도로 그 반복적 음향 필드들(새로운 음향 파형을 갖는 광학 개구를 채우는)을 갱신시킬 수 있다. 약 $1 \mu s$ 의 공칭 갱신율을 가정하면, 처리 비임의 위치는 처리 동안 다수의 디더 레이저 비임 스팟들(534)이 중첩하도록 반복적으로 갱신될 수 있다. 디더 레이저 비임 스팟들(534)은 처리되는 특징부(예를 들어, 트렌치(528))를 확장시키기 위해 처리 궤적(526)에 수직인 차원(예를 들어, X 축 또는 디더 방향을 따라)에서 중첩될 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 디더 레이저 비임 스팟들(534)은 또한 처리 궤적(526)의 방향으로 중첩할 수 있다. 특정 실시예들에 따른 처리 궤적(526)에 수직으로 배향된 디더 비임을 유지하기 위해, 디더 축은 처리 궤적(526)의 각도가 변할 때 일정하게 조절될 수 있다. 추가적으로, 디더 축은 처리 궤적 속도의 함수로서 디더 지점의 라인에 부여된 각도를 보상하도록 조절될 수 있다. 궤적 속도(V), 디더 갱신 주기(Td), 다수의 디더 지점들(Npts) 및 디더 편위(Dd)가 주어지면, 이 각도는 $\arctan[Td \cdot (Npts-1) \cdot V/Dd]$ 와 같다.
- [0045] 작업편(524)의 표면에 관하여 비임 위치를 디더링시키는 것에 추가로, 또는, 다른 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 디더 축의 강도 프로파일을 변화시키도록 사용될 수 있다. 디더 축을 따른 처리 비임(512)의 강도 프로파일의 조작은 처리된 트렌치(528)의 단면의 성형을 가능하게 한다. 예로서, 트렌치(528)는 직사각형, U 또는 V 형 단면들로 처리될 수 있다. 측면 경사 같은 특징부들의 성형은 교차부 형성 같은 상황들에 유용할 수 있다. 성형 해상도는 기본적 스팟 크기에 기초할 수 있으며, 성형된 강도 프로파일은 스팟 강도 프로파일(예를 들어, 가우스 또는 다른 프로파일 형상)과 디더 패턴(위치 및 강도)의 컨볼루션일 수 있다. 특징부는 예로서, 선택된 양의 타겟 재료를 제거하기 위해 디더 축을 따라 특정 위치들(예를 들어, 둘 이상의 펄스들이 동일 위치에 인가될 수 있음)에서 펄스들을 중첩시킴으로써 및/또는 디더 축을 따라 편향 위치의 함수로서 레이저 펄스들의 파워 진폭들을 변조시킴으로써 성형될 수 있다.
- [0046] 디더 축을 따른 특징부의 성형에 추가로 또는 다른 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 처리된 선형 특징부의 "종점"의 유사한 성형을 가능하게 하도록 처리 궤적(526)을 따른 위치의 함수로서 파워를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 처리 궤적(526)을 따른 위치의 함수로서 파워를 제어하는 것은 또한 교차부 형성 같은 용례들에 유용할 수 있다. AOD 서브시스템(506)의 사용은 강도 프로파일들(예를 들어, 약 $5 \mu m$ 과 약 $50 \mu m$ 사이의 범위의 특징부 치수들을 가짐)의 미세 제어가 높은 처리 속도들(예를 들어, 약 $1 m/s$ 와 약 $5 m/s$ 사이의 범위)에서 가능하도록 매우 높은 속도들(예를 들어, 마이크로초 정도)에서 파워 변조가 이루어질 수 있게 한다.
- [0047] 가우스 비임들의 편향에 추가로, 특정 실시예들은 또한 예로서, 회절 광학 구성요소들(DOEs)을 포함하는 전형적 비임 성형 기술들에 의해 성형된 비임을 편향시킬 수 있다. 예로서, 도 5a는 일 실시예에 따른 비임 성형을 위한 시스템(540)의 블록도이다. 시스템(540)은 도 5에 도시된, AOD 서브시스템(506)(제1 AOD(530) 및 제2 AOD(532)를 구비), 0차 비임 덤프(516) 및 거울(518)을 포함한다. 시스템(540)은 비임 성형 및 광학 구성요소들(544)(예를 들어, 이미징 광학장치, 궤보 거울들 및 스캔 렌즈)을 위한 회절 광학 구성요소(DOE)(542)를 추가로 포함한다. 예시적 목적들로, 도 5a의 1차 비임(513)은 AOD 편향 각도들(514)의 범위에 걸쳐 도시되어 있다. 도 5a에 예시된 실시예에서, AOD 서브시스템(506)에 의해 편향된 1차 비임(513)은 AOD 서브시스템(506)에 의해 부여되는 AOD 편향 각도(514)에 무관하게 DOE의 개구에 중심설정된 1차 비임(513)을 유지하기 위해 중계 렌즈(546)(비임의 피벗 지점을 DOE(542) 상에 이미징)를 통해 DOE(542)에 중계된다. DOE(542)는 그후 추가적 웨이브프론트 위상 왜곡(이런 비임 성형 DOE들에 통상적인 바와 같은)을 부여함으로써 비임 강도를 성형할 수 있다. 이 접근법은 레이저 성형 비임들이 편향되고 예로서, 스캐어 강도 프로파일들을 갖는 더욱 균일한 디더 플루언스 프로파일을 형성하도록 인접될 수 있는 상황들에서 유익할 수 있다. 이 접근법은 또한 원하는 특징부(예로서, 유전체 재료에 천공된 마이크로비아)를 형성하기 위해 소수의 레이저 펄스들이 적합한 상황들에 유익할 수도 있다. 이 경우에, 가우스 펄스들의 래스터 용례는 성형된 강도 프로파일을 적용하는 것에 비해 비효율적일 수 있으며, 오히려, 고속 AOD 편향이 성형된 강도 처리 스팟 위치의 고속 제어에 바람직할 수 있다.
- [0048] 다른 실시예들에서, 유사한 중계 렌즈 구성은 스캔 렌즈에서 AOD 편향 비임의 편향을 맞춤화하기 위해 사용될 수 있다. 이는 적어도 두 가지 이유들 때문에 바람직할 수 있다. 먼저, (a) 비임 크립핑을 피하도록 스캔 렌즈 및 궤보 거울들의 투명 개구에 중심설정된 비임을 유지하고, (b) 스캔 렌즈 입사 동공의 중심으로부터 비임을 변위시키는 것을 피하도록 궤보 스캔 거울들로 피벗 지점을 중계(비임 측방향 편향의 제거)하는 것이 바람직할 수 있으며, 그 이유는 이런 변위가 작업표면에 경사 비임을 생성할 수 있기 때문이다. 두 번째로, 작업 표면에서 비임을 의도적으로 생성하기 위해 스캔 렌즈에 측방향 비임 편향을 부여하는 것이 바람직할 수 있다. 경사 비임은 처리된 특징부들(예로서, 마이크로비아 천공) 내에 급준한 측벽을 생성하기 위해 특정 가우스 레이저 천공 용례들에 유리할 수 있다.
- [0049] 도 5b는 일 실시예에 따른 경사 처리 비임들(552)을 제공하는 시스템(550)의 블록도이다. 시스템(550)은 AOD

서브시스템(506)(제1 AOD(530) 및 제2 AOD(532)), 0차 비임 덤프(516) 및 도 5에 도시된 거울(518)을 포함한다. 시스템(550)은 중계 렌즈(546) 및 광학 구성요소들(544)(예를 들어, 이미징 광학장치, 겔보 거울들 및 스캔 렌즈)을 더 포함한다. 예시적 목적들로, 도 5b의 1차 비임(513)이 AOD 편향 각도들(514)의 범위에 걸쳐 도시되어 있다. 도 5b에 도시된 바와 같이, 스캔 렌즈로부터(예를 들어, 도 5에 도시된 스캔 렌즈(520)로부터) 중계 렌즈(546)를 적절히 설계하고 간격을 둠으로써(554), AOD 서브시스템(506)에 의해 편향된 1차 비임(513)은 또한 작업편(524)의 표면에서 경사 비임(552)을 생성하도록 측방향으로 편향될 수도 있다. 작업편(524)에서 처리 스팟의 주어진 편향을 위해 비임 경사의 양은 (a) 작업편(524)에서 측방향 스팟 편향을 실질적으로 생성하기 위해 AOD들(530, 532)을 사용하고 스캔 렌즈(예를 들어, 스캔 렌즈(520))으로 중계 렌즈(546) 광학장치 및 간격(554)을 변화시키거나, (b) 스캔 렌즈에서의 임의적 측방향 비임 편향(그리고, 이에 따른 작업편(524)에서의 임의적 비임 경사)이 작업편(524)에서 바람직한 측방향 스팟 편향으로부터 독립적으로 부여될 수 있도록 겔보들(예를 들어, 도 5에 도시된 겔보들(533, 535)) 및 AOD들(530, 532)을 조화시킴으로써 제어될 수 있다.

[0050] 또한, 성형 기술들의 세부사항들은 "예시적 AOD 제어 실시예들"이란 명칭의 장에서 이하에 설명되어 있다.

[0051] 비임 디더링이 원하는 플루언스 프로파일을 생성하기에 매우 효과적이고 유연할 수 있지만, 디더링을 위한 대안적(그러나, 때때로 더욱 제한적인) 접근법은 적어도 하나의 AOD들(530, 532)에 처프(chirp) 파형을 적용함으로써 레이저 비임 스팟(522)의 초점을 변화시키는 것을 포함한다. 처프 파형에 의해, 음향 웨이브의 순간적 주파수는 AOD의 결정을 통과하는 광학 처리 비임(512) 내에서 선형적으로 변한다. 음향 웨이브의 순간적 주파수의 선형 변화는 별개의 단계들에서 레이저 비임 스팟(522)을 변위시키는 대신, 처리 비임(512)에 단일 축(비점수차) 집속 향을 적용하는 효과를 갖는다. 특정 실시예들에 따라서 AOD들(530, 532) 양자 모두에 처프 파형들을 적용함으로써, 레이저 비임 스팟(522)은 대칭적으로 탈초점화되며, 따라서, 작업편(524)에서 스팟 크기를 증가시킬 수 있다. 이 접근법은 예로서, 펄스 반복 주파수가 트렌치(528)의 확장시 강도 변화를 피하기 위해, 작업편(524)에서 펄스들의 양호한 중첩을 제공하기에 충분히 높지 않을 수 있는, 더 낮은 반복율의 레이저들의 경우에 유용할 수 있다.

[0052] IV. 래스터링

[0053] AOD 서브시스템(506)과 함께 사용될 수 있는 다른 작동 모드는 AOD들(530, 532)로 2차원 패턴을 매우 신속하게 래스터링하는 것을 포함한다. 래스터링의 한가지 용도는 마이크로비아들 같은 작업편(524)에 바람직한 특징부들을 생성하기 위해 처리 비임(512)의 강도 프로파일을 공간적으로 성형하는 것을 포함한다. AOD들(530, 532)은 임의의 원하는 강도 프로파일의 생성을 가능하게 하는 스팟 위치 및 강도 가중 양자 모두를 제어한다. 추가로, 구리 천공 같은 높은 강도를 사용하는 처리 작업들을 위해 각 위치에서 레이저 비임 스팟(522)의 체류 시간을 변화시키는 것이 유익할 수 있다.

[0054] 래스터링의 사용은 전형적 "성형 광학장치" 접근법보다 다수의 장점들을 제공한다. 일부 장점들은 처리 스팟 직경(AOD 범위 이내) 또는 형상(예를 들어, 둥근, 정사각형, 직사각형, 난형 또는 다른 형상)의 임의적 선택, 성형 광학장치 및/또는 가우스 또는 성형 모드 변화 광학장치의 제거에 기인한 비용의 감소, 겔보 비임 위치설정 에 기인한 동적 제약들이 없는 고속의 고강도 가우스 비임(예를 들어, 나선형, 트레판(trepan) 또는 다른 패턴들을 사용하여)으로 특징부들을 처리하는 기능, 래스터 패턴 적절성을 변화시키는 것에 의한 비임 왜곡(예를 들어, 타원 스팟들)의 보상, 및/또는 테이퍼 및/또는 저부 품질 같은 특성들을 최적화 또는 개선시키기 위한 진행 중인 공간적 강도 분포의 맞춤화를 포함하지만 이에 한정되지 않는다.

[0055] 다수의 선택사항들은 래스터 패턴(스팟 위치 및 진폭)을 설계하기 위해 가용하다. 일 실시예는 스팟 위치들의 어레이로 영역을 충전하는 것을 포함한다. 그러나, 본 실시예는 영역에 걸쳐 최종 누적 플루언스 프로파일에 대한 미소한 제어를 제공할 수 있다. 예로서, 래스터링된 영역의 에지들에서 플루언스 프로파일의 정의는 비아 형성 또는 교차 처리를 위해 원하는 "경사"(예를 들어, 플루언스 대 위치의 변화)를 갖지 않을 수 있다.

[0056] 다른 실시예에서, 플루언스 프로파일은 명시적으로 규정되며, 래스터 패턴은 규정된 프로파일에 가장 잘 맞도록 선택된다. 이는 예로서, 래스터 영역의 에지들에서 특정 형상의 측벽들을 갖는 또는 깊이를 변화시키도록 래스터 영역 전반에 걸쳐 가변적 플루언스 레벨들을 갖는 맞춤화된 플루언스 분포들을 생성하는 장점을 갖는다. 본 실시예는 예로서, 맞춤화된 측벽 테이퍼를 갖는 비아들을 천공할 때 및/또는 교차하는 트레이스들의 플루언스들을 조합할 때 유용할 수 있다.

[0057] 도 6은 일 실시예에 따른 래스터 지점들의 그리드에 걸쳐 스팟 진폭들의 세트를 결정하기 위해 최소 자승 최적

화를 사용하는 방법(600)의 흐름도이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 방법(600)은 후보 래스터 그리드를 설정(610)하는 단계를 포함한다. 래스터 그리드의 각 스팟에 대하여, 방법(600)은 각각의 "영향 함수(influence function)"를 생성하도록 래스터 필드에 걸쳐 플루언스 프로파일을 계산하는 단계(612)를 포함한다. 이 방법(600)은 영향 함수들을 영향 함수 매트릭스로 컴파일링하는 단계(614), 영향 함수 매트릭스의 의사 역행렬을 계산하는 단계(616)(예를 들어, 단일값 분해(SVD) 알고리즘을 사용하여) 및 영향 함수 매트릭스의 의사-역행렬을 사용하여 각각의 그리드 지점들에서 스팟 진폭들을 계산하는 단계(618)를 추가로 포함한다. 이 방법(600)은 각각의 래스터 지점들에서 계산된 스팟 진폭들에 따라 작업편에 레이저 비임 스팟들을 인가하는 단계(620)를 더 포함할 수 있다.

[0058] 도 6에 도시된 방법을 설명하는 예시적 방정식들이 이하에 개요설명되어 있다. 예시적 수학식들은 N_r 지점들을 포함하는, XY 좌표들 $[x_r, y_r]$ 에 규정된 래스터 패턴을 가정한다. 래스터 진폭들(Z_r)의 세트를 인가하는 것은 원하는 플루언스 표면(Z_s)을 생성하며, 이는 N_e 지점들을 포함하는 XY 좌표들 $[x_e, y_e]$ 의 세트에서 평가될 수 있다. 영향 매트릭스(influence matrix)(H)는 이하와 같이 규정된다.

[0059] $Z_e = H * Z_r$, 는 ($N_e \times N_r$)

[0060] 영향 매트릭스(H)를 생성하기 위한 작업은 각 $[x_e, y_e]$ 지점에 걸쳐 평가된 하나의 $[x_r, y_r]$ 지점에 위치한 단일 처리 스팟의 플루언스를 계산하는 것을 포함한다. Z_r 및 Z_e 매트릭스들이 각 평가를 위해 "벡터화"되는 경우, 이때, Z_r 은 ($N_r \times 1$)이고 Z_e 는 ($N_e \times 1$)이다. 절차는 총 N_r 평가들을 위해, 각 $[x_r, y_r]$ 래스터 지점에 대해 반복될 수 있다. 모든 결과들(Z_r 및 Z_e)을 매트릭스들에 첨부함으로써, 크기($N_r \times N_r$)의 Z_r 대각 매트릭스와 크기 ($N_e \times N_r$)의 Z_e 매트릭스를 생성한다. 각 스팟의 적용된 크기에 의한 결과들을 정규화함으로써 Z_r 을 위한 식별 매트릭스를 초래한다. 그후, 영향 매트릭스(H)는 (정규화된) Z_e 매트릭스이다.

[0061] 영향 매트릭스(H)가 주어지면, 원하는 표면 플루언스(z_{Des})을 생성하기 위해 사용되는 원하는 작동기 명령 벡터(Z_r)는 아래와 같이 주어질 수 있다.

[0062] $Z_s = H_{inv} * Z_r$

[0063] H_{inv} 는 SVD 분해를 통해 계산될 수 있으며, H_{inv} 내의 모드들의 수는 과도한 노이즈 영향들을 피하기 위해 제한된다. H (그리고, H_{inv})의 식별이 근사치일 수 있기 때문에, Z_r 의 계산은 페루프 모드에서 수행될 수 있으며, 적용되는 조율 이득은 이하와 같고,

[0064] $Z_r(k+1) = Z_r(k) - k\alpha * H_{inv} * (z_{Des} - Z_s)$

[0065] Z_s 는 측정된 시스템 데이터 또는 모델로부터의 각 반복에서 계산된다.

[0066] 도 6의 방법(600) 및 상술된 예시적 수학식들이 매우 간단할 수 있지만, 이 방법(600)은 의사 역행렬을 계산하는 방법 및 래스터 그리드의 선택에 민감할 수 있다. 그러나, 이 방법(600)은 기본 레이저 비임 처리 스팟의 공간적 특성들의 한계들 이내에서 원하는 플루언스 프로파일에 대한 적절한 근사화를 제공할 수 있으며, 이는 래스터 패턴의 임의의 에지에서의 해상도에 대한 기본적 한계를 부여할 수 있다. 도 7a는 원하는 플루언스 프로파일을 도식적으로 나타내고, 도 7b는 상술한 예시적 수학식들 및 도 6의 방법(600)에 따라 결정된 대응하는 최적화된 래스터 진폭들을 도식적으로 나타낸다.

[0067] 다른 실시예에 따라서, 관련 접근법은 구배 하강 방법을 사용하여 래스터 패턴을 최적화하는 것을 포함한다. 본 실시예에서, 목적 함수(예를 들어, 바람직한 플루언스 프로파일에 대한 부합도)가 규정된다. 최적화 처리는 국지적 목적 함수 구배(각 래스터 그리드 위치에 인가된 플루언스의 주어진 증분적 변화들에서의 함수 내의 증분적 변화)를 결정하며, 래스터 스팟 진폭들의 최적 벡터에 대한 검색을 위한 알고리즘의 구배를 사용한다.

[0068] 양 접근법들(SVD 및 구배 하강)은 시뮬레이션 또는 시스템 중 어느 하나에서 수행될 수 있다. 시스템에서, 주어진 래스터 패턴으로부터 초래되는 실제 플루언스 분포(계측 카메라에 의해 측정되는 바와 같은)가 성능을 정량화하기 위해 사용될 수 있다. 각 최적화 방법은 그후 플루언스 분포, 스팟 크기 및 왜곡 같은 시스템의 공차들을 고려하고, 모델링 에러들을 회피 또는 감소시키는 프로세스, AOD 선형화 에러 및/또는 광학 정렬을 최적화하기 위해 적용될 수 있다.

[0069] 물론, 다른 최적화 방법들이 상술한 알고리즘들을 대체할 수 있다.

[0070] V. 교차부 형성

[0071] 특정 실시예들은 교차부에서의 특징부들의 깊이의 제어된 변동을 갖는 교차하는 처리된 특징부들(예를 들어, 트

렌치들, 패드들, 비아들 및 다른 특징부들)의 형성을 포함한다. 예로서, 이는 임피던스(고속 신호 완전성을 유지하기 위해) 또는 유전체 파괴(도금된 트렌치와 기저 전도 층 사이의 간극에 민감할 수 있음) 같은 전기적 특성들을 제어하는 것 또는 도금 품질을 제어하는 것이 바람직할 수 있다.

[0072] 교차 처리는 예로서, 처리 비임 플루언스가 재료의 용제 임계치를 매우 초과할 때, 작업편 유전체의 용제가 누적 인가된 플루언스에 비례할 수 있기 때문에 매우 어려워질 수 있다. 이 상황에서, 특징부들을 단순히 가로지름으로써 두 개의 교차하는 특징부들을 처리하는 것은 이중 노출의 지점에서의 깊이 변동이 100%에 가까운, "이중 노출"을 초래한다.

[0073] 이 문제점을 피하거나 감소시키기 위해, 도 5에 관하여 상술된 시스템(500)은 이중 노출을 피하고 감소시키도록 교차 영역에서 두 개의 특징부들의 플루언스들을 "혼합(blend)"하기 위해 사용될 수 있다. 예로서, AOD 서브시스템(506)이 그 측면에서의 플루언스의 넓은 "경사"를 갖는 하나의 트렌치 특징부를 처리하기 위해, 그리고, 그 종점에서 일치하는 플루언스 "경사"를 갖는 교차하는 트렌치 특징부를 처리하기 위해 사용되는 경우, 두 개의 플루언스 분포들은 교차부에서 명목상 평탄한 플루언스 필드를 생성하도록 조합된다. 따라서, AOD 서브시스템(506)은 깊이-제어된 교차부를 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0074] 플루언스 경사부의 생성은 비임 위치설정 공차들에 기인한 깊이 변화의 최소화 같은 다른 이득들을 제공한다. 교차 영역의 급준한 플루언스 경사에 의해, 교차 특징부들의 용제 동안 비임 위치의 작은 변화들(예를 들어, 약 1 μm 내지 약 5 μm 정도)은 현저한 깊이 변동을 유발할 수 있다. 플루언스 내의 점진적 경사를 생성함으로써, 비임 위치설정 에러들은 허용가능한 깊이 변화(예를 들어, 공칭 깊이의 약 10% 내지 약 15% 미만)를 생성한다.

[0075] 교차 특징부들이 진행중에 플루언스 경사들 및/또는 폭들을 변화시킴으로써 처리될 때 플루언스 경사의 생성이 구현될 수 있다. 다른 실시예에서, 트렌치 특징부들은 교차부의 외부에서 종결되고(적절한 플루언스 경사들에 의해), 후속하여, 교차부 체적의 잔여부의 래스터링이 이어진다. 본 실시예는 교차부의 유형에 대한 낮은 감도(예를 들어, 교차하는 트렌치들의 각도, 단일 지점에서 교차하는 다중의 트렌치들, 굴곡된 트렌치들의 교차부들), 인접한 트렌치들 사이의 간격의 바람직하지 못한 변화들을 유발할 수 있는 측부 플루언스 경사들을 생성하기 위해 사용되는 최소화된 외부 라인 폭 및/또는 교차부의 특성들을 최적화하기 위한 래스터 패턴의 맞춤화를 위한 기능을 포함하는 다수의 장점들을 갖는다. 래스터 패턴의 맞춤화는 다수의 교차하는 트레이스들을 갖는 원형 패드들 같은 교차부에서의 임의적 형상부들을 처리할 때 유용할 수 있다.

[0076] 교차부 처리의 추가적 세부사항들은 "예시적 교차부 처리 실시예들"이라는 명칭의 장에서 본 명세서에 개시되어 있다.

[0077] VI. 겔보 에러 교정

[0079] 반복성 에러의 일 소스(상술된 바와 같은 양호한 깊이 제어에 의해 교차부들의 기계가공 기능을 제한할 수 있는)가 도 5에 도시된 겔보 서브시스템(508)의 위치설정 에러일 수 있다. 이들 에러들은 센서 노이즈 및 추적 에러에 기인할 수 있다. 겔보 서브시스템(508) 내의 각 겔보 거울(533, 535)은 각각의 겔보 서보들(미도시)을 사용하여 거울 이동들을 제어하도록 피드백 센서(미도시)와 연계될 수 있다. 센서 노이즈 효과들은 겔보 서보가 서보의 대역폭 이내의 피드백 센서 노이즈를 추적할 때 발생할 수 있으며, 물리적 비임 이동을 초래한다. 이 에러 여기는 또한 겔보의 페루프 응답에 의해 증폭될 수 있으며, 이는 주파수 스펙트럼의 일부 부분을 증폭시킨다. 센서 노이즈 효과들은 특정 광학 및 서보 디자인에 따라서 예로서, 약 0.1 μm 평균 자승 근(RMS) 내지 약 5 μm RMS의 비임 에러들을 생성할 수 있다.

[0080] 센서 노이즈 효과들은 명령된 비임 궤적에 무관하게 항상 발생할 수 있다. 그러나, 겔보들이 동적 침해적 비임 궤적(큰 가속 또는 고 주파수 명령들을 포함)을 추종하도록 명령될 때, 추적 에러가 발생한다. 명령들을 추적하는 것에 대한 겔보 서보의 불능성은 추적 에러 및 결과적 반복성의 손실을 초래한다. 추적 에러들은 예로서, 선형 서보 응답 성능 및/또는 비선형 겔보 거동(베어링 마찰 또는 자기 히스테리시스 같은)의 결과일 수 있다.

[0081] 일 실시예에 따라서, 센서 노이즈 에러 및 추적 에러 소스들을 감소시키기 위해, AOD 서브시스템(506)의 편향 기능들이 위치 센서 피드백에 의해 나타내진 바와 같은 겔보 에러들을 교정하기 위해 사용된다. 센서 판독은 센서 노이즈를 포함하며, 이는 이 노이즈에 응답하여 바람직하지 못한 비임 운동의 추가를 감소시키거나 회피하기 위해 정당한 대역폭을 초과하여 필터링 제거될 수 있다. 일 실시예에서, 필터링은 더 높은 주파수들에서 필터링하면서 관련 대역폭 이내의 겔보 위치 센서와 비임 변위("비임 전달 함수" 또는 BTF) 사이의 전달 함수의 이득 및 위상 양자 모두를 실질적으로 일치시킨다. 특정 실시예들에서, BTF는 위치 센서와 겔보 거울 사이의

역학들에 의해 강하게 영향을 받으며, 종종 가볍게 댄핑된 2차 폴에 의해 잘 모델링된다. 신호 필터링 및 데이터 통신에 기인한 시간 지연들 같은 위상 정합에 영향을 주는 다른 인자들은 에러 교정 필터의 디자인에 포함될 수 있다. 도 8은 약 10 kHz를 초과하는 센서 노이즈 필터링과 약 10 kHz 미만의 위상 및 이득 정합의 상충적 요건들 사이의 타협을 제공하는 AOD 에러 교정 필터의 일 예시적 실시예를 도식적으로 예시한다.

[0082] 또한, 센서 노이즈 배제는 모델링되지 않은 역학들 또는 비선형 거동에 기인하여 일부 실시예들의 감소된 성능의 위험에서, 추정치(예를 들어, Kalman 필터링) 같은 대안들을 통해 달성될 수도 있다.

[0083] VII. 비임 위치설정 정확도 개선을 감지하기 위한 PSD 거울

[0084] 특정 실시예들에서, AOD 에러 교정은 실제 궤보 거울 위치를 검출하는 외부적 센서들을 사용하여 개선된다. 특정 궤보 기반 비임 위치설정 시스템들에서, 각도 위치 센서는 거울 각도를 감지하기 위해 궤보 내에 내장된다. 센서들은 궤보 샤프트의 먼 단부(거울로부터 이격된)에 위치될 수 있으며, 나머지들은 거울 부근의 샤프트 단부에 위치된다.

[0085] 각도 위치 센서가 거울로부터 먼 궤보 샤프트의 먼 단부에 위치될 때, 센서는 샤프트 회전을 검출한다. 그러나, 샤프트 각도 편향은 거울이 다양한 편향 각도를 가질 수 있게 한다. 이 센서 배치는 거울 공진에 응답하지 않기 때문에, 서보 대역폭을 증가시키는 기능을 제공하는 소정의 장점들을 갖는다.

[0086] 각도 위치 센서가 거울 부근의 샤프트 단부에 위치될 때, 센서는 거울에 더 근접한 샤프트의 각도 편향을 검출한다. 이 센서 배치는 진정한 거울 각도를 더욱 정확하게 측정한다. 그러나, 거울 자체가 센서에서 샤프트에 대하여 굴곡될 때 센서는 여전히 에러를 가질 수 있다. 추가로, 이 센서 배치에서, 샤프트 및 거울의 공진이 궤보 주파수 응답에서 발생함으로써(모터 구동부로부터 센서 출력부까지), 궤보 서보 디자인을 복잡하게 하고 그 성능을 제한한다.

[0087] 추가적으로, 센서 배치 어느 것도 샤프트 각도에 관련되지 않은 거울 모드들을 측정할 수 있다. 하나의 모드는 "플래핑(flapping)" 거울의 것을 포함하며, 여기서, 거울 평면은 회전 샤프트에 수직인 축을 중심으로 회전한다. 이 모드는 고속 궤보 편향 시스템들의 성능에 대한 제한이 될 수 있다.

[0088] 궤보 회전 센서들의 다른 문제점은 그 노이즈 성능을 포함한다. 위치 센서들의 크기(그리고, 회전 관성)를 최소화하려는 소망 및 궤보들의 작은 패키지 크기에 기인하여, 센서 회로 내에 존재하는 전기적 노이즈는 현저한 유효 각도 노이즈로 변환되고, 이는 궤보 서보 위치설정 성능을 열화시킬 수 있다. 예로서, 이 노이즈는 10 kHz 대역폭 이내의 약 0.1 마이크로라디안(μRad) RMS 내지 약 5 μRad RMS와 동등할 수 있다.

[0089] 일 실시예에서, 샤프트 편향 효과들 없이 거울들의 진정한 각도 위치를 검출하고, 비임 위치 정확도에 영향을 주는 거울 운동의 모든 모드들을 검출하고, 낮은 노이즈 레벨들로 각도 측정을 생성하는 다양한 센서가 선택될 수 있으며, 그래서, 측정은 감지된 에러를 교정하기 위해 궤보 서보 루프 또는 다른 장치들에 의해 사용될 수 있다.

[0090] 특정 실시예들에 따라서, 실제 궤보 거울 위치의 에러들을 교정하기 위해, 도 5에 도시된 궤보 서브시스템(508)은 스캔 렌즈(520)에 관하여 궤보 거울들을 보유하기 위해 피드백을 제공하는 보조 센서(도 5에는 미도시)를 포함한다. 예로서, 도 9는 일 실시예에 따른 궤보 서브시스템(912)의 보조 센서(910)를 포함하는 레이저 처리 시스템(900)의 블록도이다. 본 실시예에서 보조 센서(910)는 위치 감지 다이오드(PSD)를 포함하며, PSD(910)라 본 명세서에서 지칭된다. 또한, 레이저 처리 시스템(900)은 AOD 서브시스템(506), 스캔 렌즈(520), 기준 비임 소스(914) 및 기준 조합기 거울(916)을 포함한다. AOD 서브시스템(506) 및 스캔 렌즈(520)는 작업편(524)의 표면에 집속된 처리 비임(922)을 제공하기 위해 도 5를 참조로 상술되어 있다.

[0091] 기준 조합기 거울(916)은 궤보 서브시스템(912)에 대한 입력을 위해 AOD 서브시스템(506)으로부터의 처리 비임(920) 및 기준 비임 소스(914)로부터의 기준 비임(918)을 조합한다. 기준 비임 조합기(916)는 안정한 파워 및 포인팅 각도를 갖는 기준 비임을 제공하도록 레이저 비임들을 조합하기 위한 예로서, 다이크로익 거울, 편광 비임 분할 거울 또는 다른 유사 장치를 포함할 수 있다. AOD 서브시스템(506)으로부터의 처리 비임(920)의 사용은 처리 비임의 위치 및 파워가 특정 용례를 위해 충분히 안정적인 경우 PSD 감지 작업 동안 가능할 수 있다(필수적이지는 않음).

[0092] PSD(910)에 추가로, 궤보 서브시스템(912)은 궤보 거울들(924), PSD 픽오프 거울(926) 및 PSD 렌즈(928)를 포함한다. 기준 비임(918)은 궤보 거울들(924)로부터 반사된다(주 처리 비임(920)과 함께). PSD 픽오프 거울(예를 들어, 분할 거울)은 편향된 기준 비임(예를 들어, 궤보 거울들(924)에 의해 편향됨)을 픽 오프하고, 검출을

위해 PSD에 편향된 기준 비임을 안내한다.

- [0093] PSD 렌즈(928)(예를 들어, 초점 렌즈)는 검출된 기준 비임의 각도 운동만이 PSD(910) 상의 XY 스팟 편향으로 변환되도록 측정 경로 내에 선택적으로 삽입될 수 있으며, 측방향 비임 운동은 PSD(910)에서의 비임 각도로 변환되고, 따라서, PSD XY 평면에서 측정되지 않는다. 특정 실시예들에서, PSD 렌즈(928)는 PSD 평면에서 스팟 운동을 증폭하기 위해 긴 유효 초점 길이를 갖는 축약적 텔레포토 렌즈를 포함한다. 특정 이런 실시예들에서, PSD 렌즈(928)는 전방 초점이 스캔 렌즈 진입 동공에 위치되도록 위치된다. 특정 실시예들에서, 측방향 비임 운동이 고려되지 않는 경우 PSD 렌즈(928)를 생략할 수 있으며, PSD(910) 상의 비임 운동의 스케일링은 특정 용례에 적합하다.
- [0094] 독립적 기준 비임(918) 및 PSD(910)는 PSD 광학 감도와 조합하여 비임 파워가 적절히 낮은 노이즈를 제공하도록 선택될 수 있다. PSD 측정들의 주된 노이즈 소스는 "샷 노이즈"일 수 있거나, 출력 전류의 전하 캐리어들(개별 전자들)의 양자화에 의해 생성된 노이즈일 수 있다. 신호대 잡음비(SNR)는 전류의 자승근에 비례할 수 있다. 출력 전류를 높은 레벨로 상승시킴으로써, SNR이 개선될 수 있으며, 낮은 노이즈 각도 측정이 가능할 수 있다.
- [0095] PSD 감지가 이루어지고 나면, PSD(910)의 출력 대 작업편에서 집속된 처리 비임(922)의 위치가 쉽게 캘리브레이팅될 수 있다. 캘리브레이팅된 PSD(910)가 주어지면, 비임 위치설정은 다수의 방식으로 개선될 수 있다. 예로서, PSD(910)는 궤보 서보들을 위한 위치 피드백 센서로서 사용될 수 있다. 이는 이것이 교차 결합된 시스템을 생성함으로써 피드백 시스템의 역학을 복잡하게 한다는 사실에 의해 복잡해질 수 있다. 추가적으로, 비 회전 거울 모드들("플래핑" 및 다른 모드들)은 서보 루프에 수용하기에 어려울 수 있다. 역학 추정기들(예를 들어, Kalman 필터들, Luenberger 관찰기들 또는 다른 추정기들)이 역학 모드들을 분리시키고 서보 루프 디자인을 개선시키기 위해 사용될 수 있다.
- [0096] 추가적으로 또는 다른 실시예들에서, PSD(910)는 궤보 서브시스템(912) 자체에 의한 제한된 에러 교정을 위해 사용될 수 있다. 예로서, 그 주파수 콘텐츠가 궤보 서보 대역폭 이내인 경우 거울 교차축 모드들은 궤보들에 의해 교정될 수 있다. 추가적으로, 내장된 궤보 센서들(미도시)의 저 주파수 노이즈 에러가 PSD(910)(낮은 주파수에서) 및 내장 센서(높은 주파수들에서)로부터의 피드백을 혼합함으로써 배제될 수 있다.
- [0097] 추가적으로, 또는 다른 실시예들에서, PSD 위치 판독은 비임 경로에 포함된 AOD 같은 별개의 장치에 의해 개루프 에러 교정을 위해 사용될 수 있다. 이는 에러 교정 시스템으로부터 궤보 역학들을 분리시키기 때문에 유용한 동작 모드일 수 있다. 주 처리 비임으로부터 별개의 기준 비임(이는 AOD 서브시스템(506)에 의해 편향될 수 있으며, 따라서, PSD(910)에 의해 감지됨)을 사용하는 것은 AOD 에러 교정이 "개방 루프" 모드에서 동작할 수 있게 하며, AOD 에러 교정은 PSD 비임 위치 출력에 영향을 주지 않는다. 이는 에러 교정 알고리즘을 현저히 단순화할 수 있다. 노이즈 및 거울 편향 모드들 양자 모두는 이런 실시예에서 쉽게 교정될 수 있다.
- [0098] 처리 비임(920)이 PSD 기준 비임(918)으로서도 사용되는 경우, 폐쇄 에러 교정 루프를 형성하는 AOD 서브시스템(506)에 의해 유사한 AOD 에러 교정이 여전히 가능하다. 이 경우에, PSD 판독은 의도적 명령들이 PSD(910)에 의해 감지되기 때문에 임의의 의도적 AOD 편향 명령들(디더링, 래스터링 및/또는 고 역학 비임 위치설정)을 제거하는 것으로 분석된다.
- [0099] 특정 실시예들에서, 별개의 기준 비임 각도를 감지하는 제1 PSD 센서 및 상술한 실시예들의 이득들을 조합하기 위해 처리 비임 각도를 감지하는 제2 PSD(미도시)를 포함하는 것이 유용할 수 있다. 예로서, 제2 PSD는 진단 측정 및 처리 품질 감시를 위해 사용될 수 있다.
- [0100] VIII. 처리량 개선들: AOD/궤보 조정 및 제3 프로파일링
- [0101] 레이저 직접 용제(LDA) 같은 특정 레이저 처리 용례들은 높은 처리량을 달성하도록 높은 처리 비임 속도들(예를 들어, 약 0.2 m/s 및 약 5 m/s 사이의 범위의 속도들)로 특징부들을 용제한다. 고속 처리를 이행하는 한가지 과제는 처리 비임 위치를 제어하기 위해 사용되는 궤보 비임 위치설정 시스템들의 역학 제한들일 수 있다. 짧은 아크 세그먼트들 같은 일부 특징부들의 처리 동안, 비임 위치설정기는 비임 속도 궤적을 변화시키도록 가속한다. 예로서, LDA 용례들은 약 1 μ m의 바람직한 반복성(궤보 필드 이내)으로 수십 마이크로 이하의 정도의 엄격한 전향 반경을 갖는 특징부들의 처리를 필요로할 수 있다. 도 10은 특정 실시예들에 따른 LDA 용례를 위해 처리된 예시적 트렌치 패턴들을 예시하는 개략도이다. 본 명세서에 개시된 실시예들은 트렌치 교차부들(1010), 패드 교차부들(1012), 전이부들(1014)과의 패드 교차부들 및 LDA 처리와 연계된 다른 특징부들의 고속 처리를 제공한다.
- [0102] 처리 비임 속도가 증가하거나 아크 세그먼트들이 더 짧아질 때, 가속은 비임 위치설정기가 더 높은 대역폭 제어

를 사용하는 더 짧은 시간 주기들에 걸쳐 발생한다. 이는 결국 높은 속도들에 도달하는 기능의 한계가 될 수 있다.

[0103] 다시 도 5를 참조하면, 이러한 제한은 AOD 서브시스템(506) 같은 고속 편향기를 사용하여 비임 궤적 제어의 높은 대역폭 부분을 수행함으로써 회피될 수 있다. 이러한 접근법에서, 궤보 궤적은 궤보 서브시스템(508)의 동적 제약들(예를 들어, 가속 및/또는 대역폭) 내에 남아있으면서 원하는 처리 궤적(526)을 대략 추종하도록 설계될 수 있다. 예로서, 도 11은 일 실시예에 따른 AOD 및 궤보 조화와 연계된 곡선들을 도식적으로 나타낸다. 도 11에 도시된 바와 같이, 궤보 경로(1110)는 원하는 처리 경로(1112)를 정확하게 추종할 수 없어서 비임 궤적 에러를 초래할 수 있다. 비임 궤적 에러는 처리 비임(512)을 추가적으로 편향시키도록 AOD 서브시스템(506)을 사용하여 제거될 수 있다. 예로서, 도 11은 궤보 경로(1110) 및 처리 경로(1112)에 관한 AOD 명령 신호(1114)를 나타낸다. 두 개의 궤적들(궤보 및 처리 비임)이 미리 알려져 있기 때문에, AOD 편향 궤적이 계산될 수 있으며, AOD의 제약들(예를 들어, 범위 및 이 범위에 걸쳐 최대치 정규화된 파워)을 충족시킨다는 것이 확인될 수 있다. 궤보 궤적은 잔류 에러가 AOD의 제약들을 위반하지 않도록 맞춤화될 수 있다. 이는 반복적 프로세스일 수 있으며, 예로서, 궤보 속도는 궤보가 선택된 궤적을 더욱 긴밀하게 추적하고, 따라서, AOD 범위 한계들 내에서 결과적 궤적 에러를 유지할 수 있도록 톨 경로의 특정 부분에서 감소될 수 있다.

[0104] 다른 실시예는 상술한 바와 같이 AOD 서브시스템(506)을 사용하여 궤보 추적 에러를 "수동적으로" 교정하는 것을 포함한다. 본 실시예에서, 선택된 처리 궤적(526)은 명시적 제약들 없이 계획되며, 궤보 서브시스템(508)은 이 경로를 추종하기를 시도하며, 결과적 추적 에러는 AOD 서브시스템(506)에 의해 교정된다. 이 접근법의 한계들은 궤보 내의 바람직하지 못한 역학들의 여기(거울 공진)를 포함할 수 있으며, AOD 에러 교정의 성능이 특정 용례를 위한 전체적 비임 위치설정 요건들을 충족시키도록 추적 에러를 감소시키기에 충분히 적합하지 않은 위험을 포함할 수 있다.

[0105] 특정 실시예들에서, 궤보 에러의 AOD 교정은 잔류 궤보 추적 에러를 제거하기 위해 별개로 생성된 비임 및 궤보 궤적들과 함께 사용될 수 있다. 유효 스팟 크기를 제어하기 위해 비임을 동시에 디더링 및 집속해제하면서 상술한 실시예들 중 임의의 것에 설명된 AOD 동작이 적용될 수 있다.

[0106] 처리량에 대한 다른 제한은 특정 패턴의 다양한 부분들을 처리하는데 가용한 레이저 파워일 수 있다. 주어진 재료에 대하여, 처리 투여량(속도로 나누어진 파워)은 용제된 특징부의 단면적의 함수일 수 있다. 시스템이 최대 가용 레이저 파워를 사용하는 경우, 처리 비임 속도는 투여량에 의해 결정될 수 있다(속도=파워/투여량). 높은 처리량을 유지하기 위해 투여량의 변화들에도 불구하고, 최고 가능 속도를 유지하는 것이 바람직할 수 있다. 일부 경우들에서, 이는 투여량의 급속한 변화들에 기인하여 어려울 수 있다. 예로서, 비교적 얇은 트랜치가 대면적 특징부를 형성하기 위해 약 5배(5x)만큼 넓어질 때 높은 속도를 획득하는 것이 어려울 수 있다. 이 경우에, 비임 속도가 이러한 특징부 설정의 길이에 걸쳐 비임 속도가 일정하게 유지되는 경우, 속도는 연장된 영역에서 사용되는 높은 투여량에 의해 제약될 수 있다. 이는 더 얇은 트랜치를 따른 비임 속도를 불필요하게 저속화할 수 있다. 주 비임 위치설정기(궤보들)의 급속한 가속 및 감속은 궤보들의 역학적 한계들에 기인하여 특히 급속한 전이부들을 위해 바람직하지 않을 수 있다.

[0107] 일 실시예에 따른 주 비임 위치설정기의 신속한 가속 및 감속을 회피 또는 감소시키기 위해, 가용 AOD 필드는 짧은 세그먼트에 걸쳐 더 낮은 비임 속도를 생성한다. 예로서, 트랜치 특징부가 약 2 m/s의 속도로 처리될 수 있는 것을 가정하면, 100 μ m의 길이를 갖는 연장된 특징부는 세배(3x) 더 느리게 처리될 수 있다(3x 더 높은 특정 투여량에 기인하여). 2 m/s의 궤보 속도가 변하지 않는 경우, 명목상 비임이 약 50 μ s의 넓은 특징부에 걸쳐 통과한다. 그러나, 비임은 약 $2/3 = 0.67$ m/s의 비임 속도로 특징부를 처리한다(적절한 투여량을 유지하기 위해). 따라서, AOD 편향의 상대적 속도는 약 $2 - 0.67 = 1.33$ m/s이며, 이는 약 50 μ s 동안 적용되어 약 67 μ m(+/- 약 33 μ m)의 AOD 편향을 초래한다. 넓은 특징부들에 기인한 전체 섹션의 속도 한계들을 포함으로써, 본 실시예는 약 3x 만큼 국지적 처리 속도를 효과적으로 증가시킨다. 도 12는 예로서, 이런 주기 동안 속도 궤적들을 예시한다. 도 12는 넓은 특징부 또는 높은 투여량을 사용하는 다른 특징부에서 AOD 속도 보상과 연계된 곡선들을 도식적으로 나타낸다. 넓은 특징부의 예상에서, 비임 속도는 국지적으로 속도가 상승되며, AOD 위치가 이동한다. 넓은 특징부에 도달시, 비임 속도가 감소되고, AOD 위치는 저속화를 보상하도록 그 필드를 가로질러 돌려진다(slew). 넓은 특징부의 처리 이후, 비임 속도는 그 속도를 회복하며, AOD 위치는 그 중립 위치로 복귀된다.

[0108] 추가로, 또는 다른 실시예에서, 비임의 평균 속도는 일정한 투여량(파워/속도)을 유지하면서 동적으로 변화(변조)될 수 있다. 특정 이런 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 순시적 궤보 속도의 함수로서 처리 비임 파워

를 변조한다. 파워 변조는 더욱 제약된 역학적 조건들(예를 들어, 신속하고 빈번한 용제된 특징부의 배향의 변화들)로 작업편(524)의 섹션들을 처리하기 위해 꺾보 거울들(533, 535)을 저속화하거나, 완화된 역학적 조건들을 갖는 섹션들(예를 들어, 배향의 매우 점진적 변화들을 갖는 섹션들 또는 직선 섹션들)에서 꺾보 거울들(533, 535)을 속도 상승시키는 기능을 제공한다. 실시간 AOD 파워 제어 없이, 이런 기능들은 가능하지 않으며, 처리량의 손실을 초래한다.

[0109] 평행 라인 세그먼트들(예를 들어, 인접한 트렌치들)을 처리할 때 처리량 개선을 위한 다른 기회가 발생한다. 특정 이런 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 두 개의 라인들이 동시에 처리되는 것으로 나타나도록 충분히 신속한 속도(예를 들어, 1 μ s 정도)로 두 개의 라인들 사이에서 처리 비임(512)을 토글할 수 있다. 동등한 투여량을 필요로하는 동일한 치수의 두 개의 라인들에 대하여, 병렬 처리는 필요한 레이저 파워를 배가시킨다. 파워 제한 시스템에서, 이는 약 50%만큼 감소되는 속도를 필요로 할 수 있음으로써, 처리량 장점들을 제한한다. 그러나, 이는 두 개의 라인들을 위한 설정 이동들을 제거하며, 달리는 전체 속도의 사용을 방지할 수 있는 속도 의존성 역학적 제약들을 감소시킨다. 이런 파워 한계들 없는 시스템들에서, 병렬 라인 처리는 이 섹션을 위한 처리량을 배가시킬 수 있다. 추가로, 양자의 경우들에서, 이런 라인들의 병렬 처리는 라인 임피던스를 제어하기 위해 일부 용례들에서 유익한 라인-라인 간격 제어(이는 AOD 서브시스템(506)의 반복성에 의해 제어됨)를 개선시킨다.

[0110] 라인들이 코너를 돌아갈 때, 두 개의 라인들의 경로 길이는 회전 반경, 회전 각도 및 라인 분리에 따라서 서로 다르다. 특정 이런 실시예들에서, 두 개의 라인들의 유효 비임 속도들은 두 개의 라인 세그먼트들의 다양한 경로 길이들을 고려하도록 조절될 수 있다. 이때, 파워(투여량*속도)는 처리가 두 라인들 사이에서 스위칭될 때 AOD 서브시스템(506)에 의해 변조될 수 있다. 라인 세트가 가용 AOD 필드 내에 부합되고 충분한 처리 비임 파워가 적절히 높은 속도를 생성하도록 가용한 한, 동일 접근법은 다수의 라인들로 확장될 수 있다.

[0111] 다수의 라인들을 동시에 처리하는 것은 다수의 라인들이 그 전체적 각각의 경로들에 걸쳐 평행할 때 복잡해질 수 있다. 특정 이런 실시예들에서, 적절한 영역은 병렬로 처리될 수 있으며, 교차 처리를 위해 사용되는 기술에서와 같이 영역들의 단부에 전이 영역이 적용된다(예를 들어, 경사 플루언스). 그후, 잔여 섹션은 유사하게 전이된 영역을 갖는 종결부에서 처리 및 결합될 수 있다. 이 방식에서, 병렬 처리의 사용은 처리량을 향상시키도록 최대화될 수 있다.

[0112] 도 13은 일 실시예에 따라 결합되는 병렬 처리와 영역을 개략적으로 나타낸다. 도 13은 제1 영역(1308)에서 서로 병렬로 운영되며, 제2 영역(1309)에서 서로 발산되는 복수의 라인들(1306(a), 1306(b), 1306(c), 1306(d)) (라인들(1306)이라 총체적으로 지칭됨)을 예시한다. 달리 말하면, 라인들(1306)은 제1 영역(1308)에 평행한 부분들을 가지며, 제2 영역(1309)에 발산하는 부분들을 가진다. 도 13은 라인들(1306)이 평행 부분들로부터 발산 부분들로 변하는 전이 영역(1310)을 예시한다.

[0113] 제1 영역(1308)에서 디더링을 사용하여 라인들(1306)을 처리하기 위해, AOD 서브시스템(506)은 레이저 비임이 제1 영역(1308) 내의 상호 처리 궤적을 따른 단일 패스(pass)로 평행 부분들을 처리하도록 라인들(1306)의 평행 부분들 사이에서 전후로 레이저 비임 스팟 위치를 이동시킨다. AOD 서브시스템(506)은 각각의 평행 부분들에 대응하는 다양한 경로 길이들을 초래하는 처리 궤적을 따른 전향부들을 고려하도록 평행 부분들 사이에서 유효 비임 처리 속도들을 조절한다. 또한, AOD 서브시스템(506)은 평행 부분들 각각을 위한 원하는 처리 투여량들을 유지하기 위해 조절된 유효 비임 처리 속도들에 기초한 레이저 비임의 파워를 변조한다. 전이 영역(1310)에 도달시, AOD 서브시스템(506)은 라인들 중 세 개(1306(a), 1306(b) 및 1306(c))의 평행 부분들을 선택적으로 성형하고, 그 처리 궤적을 따른 라인(1306(d))을 처리하기를 지속하면서 전이 영역(1310)에서 세 개의 성형된 라인들(1306(a), 1306(b), 1306(c))의 처리를 종결한다. 성형은 각각의 교차부들에서 원하는 깊이를 유지하면서 추후 시간 지점에서 종결된 라인들(1306(a), 1306(b), 1306(c))이 교차될 수 있게 한다(각각의 발산 부분들). 라인(1306(d))의 발산 부분을 처리한 이후, 라인들(1306(a), 1306(b), 1306(c))의 발산 부분들은 제2 영역(1309)에서 그 각각의 발산하는 처리 궤적들을 따라 순차적으로 처리된다.

[0114] 도 14는 일 실시예에 따른 제3 프로파일링 서브시스템(1400)을 개략적으로 예시한다. 제3 프로파일링은 제3 위치설정기로서 AOD 서브시스템(506)을 사용하는 것을 지칭한다(예를 들어, XY 스테이지들 및 꺾보 서브시스템(508)에 추가로). 예시적 레이저 비임 제3 위치설정기는 미국 특허 제6,706,999호에 개시되어 있으며, 이는 본 발명의 양수인에게 양도되며, 이는 그 전문이 본 명세서에 참조로 통합되어 있다. 본 명세서에 개시된 바와 같이 AOD 서브시스템(506)을 사용하는 제3 프로파일링은 고속으로 비임 경로를 프로파일링할 수 있게 하며(예를 들어, 타이밍 해상도를 제공하도록 약 1 μ s의 갱신을 사용하여), AOD 명령들은 불연속 타이밍 경계들 상에서

발령된다. 제3 프로파일링 서브시스템(1400)은 프로파일링 필터(1404), 지연 구성요소(1406) 및 감산기(1408)를 포함한다.

[0115] 도 14는 작업편 내로 절삭되는 것이 바람직한 트렌치에 대응하는 예시적 비임 프로파일(1410)을 예시한다. 예시적 비임 프로파일(1410)은 궤보 서브시스템(508)을 사용하여 높은 속도들에서 추적하는 것이 곤란할 수 있는 날카로운 전향부들을 포함한다. 예시적 비임 프로파일(1410)은 프로파일링 필터(1404) 및 지연 구성요소(1406)에 제공된다(명령 비임 위치 신호로서). 프로파일링 필터(1404)는 궤보 서브시스템(508)의 추적을 곤란하게 할 수 있는 높은 주파수 콘텐츠를 필터링 제거하는 저역 통과 필터를 포함한다. 프로파일링 필터(1404)의 출력은 위치 프로파일(1412)에 의해 도시된 바와 같이 궤보 명령(궤보 제어 신호)으로서 사용될 수 있다. 도 14는 위치 프로파일(1412)의 확대 부분(1413)을 예시하며, 이는 궤보 서브시스템(508)에 의해 제공되는 실제 위치(1418)에 관한 명령 신호(1416)를 보여준다. AOD 서브시스템(506)은 명령 위치(1416)와 실제 위치(1418) 사이의 편차를 교정하기 위해 사용된다.

[0116] 예시된 실시예에서, 프로파일링 필터(1404)는 유한 임펄스 응답(FIR) 필터를 포함한다. FIR 필터들은 본질적으로 임의의 주파수 범위에서 신호들을 위한 일정한 지연을 갖는다. 그러나, 장인은 본 내용으로부터, 다른 유형의 필터들이 또한 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있을 것이다. 지연 구성요소(1406)는 프로파일링 필터(1404)에 의해 도입된 대략 동일한 양의 지연에 의해 예시적 비임 프로파일(1410)을 지연시킨다. 감산기(1408)는 궤보 명령으로부터 제거되는 고 주파수 콘텐츠를 취득하기 위해 지연 구성요소(1406)의 출력부로부터 프로파일링 필터(1404)의 출력을 차감한다. 감산기(1408)에 의해 출력된 고 주파수 콘텐츠는 그후 AOD 서브시스템(506)을 제어하기 위한 AOD 명령 신호로서 사용될 수 있다. 도 14는 예시적 AOD 위치 명령 프로파일(1414)을 예시한다. 비록, 도시되어 있지 않지만, 대응하는 속도 및 가속도 명령 프로파일들을 계산하기 위해 위치 명령 프로파일(1414) 상에 미분들이 사용될 수 있다.

[0117] 비제한적인 다른 예로서, 도 15a, 도 15b, 도 15c, 도 15d 및 도 15e는 일 실시예에 따른 도 14에 도시된 제3 프로파일링 서브시스템(1400)에 의해 생성 및/또는 사용되는 신호들을 예시한다. 도 15a는 제3 프로파일링 서브시스템(1400)에 대한 예시적 비임 프로파일 입력을 예시한다. 도 15b는 도 15a의 예시적 비임 프로파일에 대응하는 X, Y, XY 비임 속도 궤적들을 도식적으로 예시한다. 도 15c는 도 15a의 예시적 비임 프로파일에 대응하는 X 및 Y 비임 가속 궤적들을 도식적으로 예시한다. 도 15d는 명령 위치, 속도 및 가속 신호들을 포함하는 예시적 궤보 역학들을 예시한다. 도 15e는 명령 편위 및 에러 신호들을 포함하는 예시적 제3 (AOD) 역학을 예시한다.

[0118] 도 16a, 도 16b 및 도 16c는 특정 실시예들에 따른 예시적 AOD 명령 시퀀스들을 예시한다. 도 16a에서, AOD 명령 시퀀스는 약 5 μ s 간격들로 AOD를 갱신시키며, 이들은 5 μ s 경계들에 정렬된다. 이런 실시예는 저속 처리(예를 들어, 약 200 mm/s에서의 처리)를 위해 충분할 수 있다. 도 16b에서, 고속 AOD 명령 시퀀스는 타이밍 경계들에 정렬되지 않는 약 1 μ s 간격들로 AOD를 갱신시킨다. 임의의 타이밍(어떠한 타이밍 경계들에도 정렬되지 않은 갱신들을 갖는)은 일부 실시예들에서 이행하기가 곤란할 수 있다. 예로서, 교차부 처리는 약 2 m/s 내지 약 3 m/s의 고속으로 약 1 μ s 해상도로 AOD 전이들이 이루어지는 것을 필요로 할 수 있다. 이런 실시예들을 충족시키기 위해, 일정한 속도로 처리되는 임의적 레이아웃들이 가변적, 서브마이크로초 타이밍 해상도를 사용할 수 있다. 또한, 가변 속도 처리는 증가된 처리량을 위해 좁은 트렌치들에 대해 높은 속도를 제공하고, 플루언스를 유지하기 위해 넓은 트렌치들에 대해 더 낮은 속도를 제공하며, 래스터 인라인을 위해(예를 들어, 복귀 이동들을 감소 또는 제거하기 위해)래스터링된 영역들에 걸쳐 저속화하고(또는 일시정지) 및/또는 필요시 궤보 추적을 개선시키기 위해, 그리고, 그 경계들 이내로 AOD를 유지하기 위해 저속화하는 것이 바람직할 수 있다.

[0119] 일 실시예에서, 타이밍은 위치 기반 AOD 명령들 및 임의적 비임 궤적에 의해 제공된다. 이런 실시예에서, 트리거링은 XY 위치에 기초한다. 따라서, 비선형 비임 위치설정기 궤적을 위해, 트리거는 특정부 위치에 따라 X 축 또는 Y 축에 기초한다. 본 실시예는 작업편이 처리될 때 스트리밍 퍼스트-인-퍼스트-아웃(FIFO) 트리거 데이터, 실시간 위치 명령 데이터(X 및 Y 양자 모두) 및 처리 동안(예를 들어, 전체 필드에 걸쳐 고 해상도) 사용되는 넓은 역학 범위에 기인한 증가된 필드 프로그램형 어레이(FPGA) 데이터 처리 요건들을 가질 수 있다. 본 실시예는 또한 가변적 속도 처리를 제공하지 않는 명령 트리거링을 사용할 수 있다.

[0120] 다른 실시예에서, 타이밍은 시간 기반 AOD 명령들 및 변형 비임 궤적에 의해 제공된다. 본 실시예는 세그먼트 경계들로 AOD 명령 전이들을 제한할 수 있으며, 세그먼트들은 필요에 따라 AOD 명령들을 포함하도록 세분될 수 있다. 본 실시예는 비임 속도로부터 처리 형상을 커플링 해제하는 위치 (비 시간) 경계들에 세그먼트들을 정렬

시킨다. 또한, 본 실시예는 경계들이 규칙적 시간 간격들에 타격되도록 세그먼트 속도들을 조절하며, 이는 유연성, 가변적 처리 속도, 제3 비임 위치설정기로 쉽게 구현되는 속도 변동 및 속도 변동을 제약하기 위한 AOD 전이 간격에 대한 적절한 규제들을 제공한다. 이 접근법은 예로서, 펄스형 레이저 시스템들에서 바람직할 수 있으며, 이는 불연속적인 예측가능한 시간 경계들에 대한 레이저 펄싱 제어를 필요로 할 수 있다.

[0121] 도 16c에서, AOD 갱신들은 $1 \mu s$ 간격들로 이루어지며, 분리된 결정론적 $1 \mu s$ 경계들에 정렬된다. 그러나, 특징부 위치들은 톨경로 내에 임의적으로 위치될 수 있다. 임의적으로 위치된 특징부들을 시간적으로 정렬하기 위해, 특징부들 사이의 속도는 사전결정된다. 따라서, 특정 이런 실시예들에서, 특징부들 사이에서 세그먼트로부터 세그먼트까지 속도 변조가 사용된다. 도 17a 및 도 17b는 특정 실시예들에 따른 속도 변조의 예들을 도식적으로 예시한다. 도 17a에서, 속도 변조는 최적 처리 속도에 대응하는 위치 증분들에 기초한 타이밍을 사용한다. 도 17b에서, 속도 변조는 타이밍을 분리된 시간 증분들(동일 위치 증분들)에 정렬시킴으로써 속도를 조절한다. 특정 실시예들에서, 명목상 D_{seg}/V_{nom} 과 같은 세그먼트 경계들 사이의 시간 델타(Δ)는(D_{seg} = 세그먼트 길이, V_{nom} = 최대 처리 속도) 다음 불연속 타이밍 경계까지 라운딩된다. 속도 변조 동안, 투여량은 일정하게 유지될 수 있다(예로서, 속도 변화들로서 파워를 변화시킴으로써). 최소 위치 증분(ΔP_{min}) 및 최대 타이밍 증분(ΔT)은 $V_{nom} * \Delta T / \Delta P_{min}$ 으로 처리 속도의 상대적 강하를 구속하도록 선택될 수 있으며, 여기서, V_{nom} 은 공칭 속도이다. 예로서, ΔT 는 $1 \mu s$ 가 되도록 선택될 수 있으며, ΔP_{min} 은 3 m/s로 15% 속도 변화를 제공하도록 20 μm 이 되도록 선택될 수 있다. 속도 변동이 단지 짧은 시간 기간 동안 발생하기 때문에, 이는 처리량에 대한 미소한 영향을 갖거나 전혀 영향을 갖지 않을 수 있다.

[0122] 제3 프로파일링은 불연속 AOD 갱신 주기 및 AOD 속도 향으로부터 초래되는 위치설정 에러를 생성할 수 있다. 예로서, 도 18은 일 실시예에 따른 결과적 AOD 위치 프로파일(1814) 및 위치 명령 신호(1812)에 관한 위치설정 에러(1810)를 도식적으로 예시한다. 도 18에 도시된 바와 같이, AOD는 예로서, 기계적 거울과 동일한 방식으로 명령 갱신들 사이에서 돌려지지 않는다. 따라서, 예로서, 3 m/s의 속도로 $1 \mu s$ 갱신 주기는 약 $\pm 1.5 \mu m$ 의 위치설정 에러를 생성할 수 있다. 갱신 주기는 필요시 이 에러를 제한하기 위해 감소될 수 있다. RF 파형의 처평은 특정 실시예들에서 위치설정 에러들을 감소시킬 수 있다. 도 15e는 예시적 위치 에러를 도식적으로 예시한다.

[0123] IX. 비임 위치설정 안정화

[0124] 양호한 정확도 및/또는 반복성을 제공하는 특정 레이저 처리 용례들에서, 각도 또는 병진 비임 지터의 기여도는 에러 예산의 현저한 부분이 될 수 있다. 지터는 레이저 소스에 고유한 비임 운동에 기인할 수 있거나 비임 경로의 공기 난류 및/또는 광학장치 트레인 내의 기계적 진동들에 기인할 수 있다(비임 경로 내의 공기 온도 편차들에 의해 심화되는). 레이저 스캐닝 시스템에서, 각도 에러는 스캔 렌즈 초점 길이에 의해 스케일링될 때 작업편에서의 위치 에러들에 직접적으로 기여한다. 비임 병진 에러들은 작업편에서 (보상되지 않은) 비임 각도를 생성함으로써, 작업편 에러들에 간접적으로 기여하며, 작업편 표면의 임의의 Z 높이 변동에 의해 스케일링된 이러한 각도는 작업편 상의 XY 비임 위치설정 에러들을 생성한다.

[0125] 도 5에 도시된 시스템(500) 같은 AOD 편향 기능들을 구비한 시스템은 미소한 추가적 작동 비용으로 또는 어떠한 추가적 작동 비용도 없이 비임 지터를 교정할 수 있다. 광학 경로(예를 들어, 스캔 렌즈(520) 부근)를 따라 센서(미도시)를 배치함으로써, 피드백 제어는 스캔 렌즈(520) 내로 정확하게 위치설정된 비임을 유지하도록 AOD 편향을 명령할 수 있으며, 이는 비임 위치 정확성 및 반복성을 개선시킬 수 있다. 다수의 비임 지터 소스들의 주파수 콘텐츠는 비교적 낮을 수 있으며(예를 들어, 공기 난류에 대하여 약 10 Hz 미만, 그리고, 기계적 진동에 대하여 약 500 Hz 미만), 따라서, AOD 서브시스템(506)에 의해 쉽게 교정될 수 있다. 이러한 접근법의 제한 인자는 비임 각도 및 병진을 검출하기 위해 사용되는 센서의 노이즈 콘텐츠일 수 있다.

[0126] AOD의 의도적 편향(선택된 작업편 궤적을 생성하도록 명령된)은 측정들을 수행할 때 고려될 수 있다. 예로서, 중계 광학장치가 AOD 편향된 비임을 스캔 렌즈(520)로 전송하기 위해 사용되지 않는 광학 트레인에서, AOD 서브시스템(506)으로부터 스캔 렌즈(520)까지 비임 경로 길이에 의해 스케일링될 때 AOD의 편향 각도는 스캔 렌즈(520)에 병진 오프셋을 생성한다. 간단한 캘리브레이션은 지터 교정 이전에 측정으로부터 이것이 제거될 수 있게 한다. 캘리브레이션은 필요시 AOD 서브시스템(506)으로부터 스캔 렌즈(520)까지의 초점 길이의 함수로서 수행될 수 있다. 그러나, 일반적으로, 처리 비임이 센서 상에 집중되는 경우, 측방향 비임 운동이 센서에서 스캔 위치에 영향을 주지 않기 때문에 어떠한 이런 보상도 필요하지 않을 수 있다.

[0127] 또한, 지터 교정은 고 파워 AOD 장치들을 발생시킬 수 있는 AOD 가열에 기인한 비임의 열적 드리프트 같은 AOD 동작으로부터의 바람직하지 못한 부작용적 영향들을 교정할 수 있다는 것을 주의하여야 한다.

[0128] X. 처리 개선들: 듀티 사이클

[0129] 일부 실시예들에서, AOD 서브시스템(506)은 레이저/재료 상호작용 처리 개선들을 가능하게 한다. 일 예에서, 유전체 재료 내로 절삭된 트렌치의 단면적은 작업면에 인가되는 "투여량"(비임 속도에 의해 나뉘어진 처리 비임 파워)에 대해 민감하다. 일부 용례들에서 최상의 또는 개선된 성능을 위하여, 인가된 투여량은 용융 또는 차링 같은 열 영향 영역(HAZ) 효과들을 피하기 위해 재료의 용제 임계치보다 매우 높게 유지될 수 있다. 비임 위치 설정기 역학들 또는 레이저 파워에 의해 부여되는 제약들에 기인한 일부 상황들에서 사용될 수 있는 낮은 속도들에서, 적용된 투여량은 바람직하지 못한 HAZ 효과들을 생성하기 시작할 수 있다. 따라서, 일 실시예에 따른 HAZ 효과들을 회피 또는 감소시키기 위해, AOD 서브시스템(506)은 특정 작동 조건을 위해 사용되는 것의 레벨로 평균 파워를 감소시키면서 높은 피크 파워가 유지되도록 처리 비임(512)의 파워 듀티 사이클을 변조시킨다. 예로서, 약 100 mm/s로 처리 비임(512)을 이동시킬 때, 약 10%의 듀티 사이클(약 1 μ s 온, 9 μ s 오프)로 비임을 변조시키는 것은 감쇄된 100% 듀티 사이클 비임에 대하여 약 10 배(10x) 만큼 피크 파워를 증가시키면서 약 1 μ m의 수용가능하게 작은 "바이트 크기"(펄스 간격 당 증분 처리 길이)를 생성한다. 상술한 지터 교정에서와 같이, 이 기능은 미소한 추가적 비용으로 또는 어떠한 추가적 비용도 없이 추가될 수 있다.

[0130] XI. 처리 개선들: 플룸 회피

[0131] AOD 작업은 또한 작업편 상의 또는 작업편 내의 타겟 재료의 용제 동안 플룸 효과들을 감소시키거나 회피하는 기능을 제공할 수 있다. 플라즈마, 가스 또는 미립자 파편으로서 배출될 수 있는 작업편으로부터 용제된 재료는 예로서, 파전두 왜곡, 파워 감쇄 및/또는 포인팅 효과들을 통한 처리 비임 스팟의 품질에 영향을 줄 수 있다. 일 실시예에 따른 플룸 효과들을 완화시키기 위해, 처리 스팟의 위치는 처리 동안 각 스팟이 이전 스팟의 플룸 효과들에 의해 영향을 받지 않도록 스위칭된다. 처리 스팟 위치가 가용 AOD 필드 거리(Daod)에 걸쳐 N 위치들(선택된 처리 궤적을 따라 모든 스팟들이 배치됨) 사이에서 스위칭될 수 있는 경우, 처리 속도(V)에서의 운영시, 순방향 처리 스팟의 플룸이 다음 스팟에 영향을 주기 이전에 Daod/V/N 초들 동안 소산시킨다. 예로서, 위치 N=5, Daod=50 μ m, V = 2 m/s일 때, 순방향 처리 스팟의 플룸은 다음 스팟에 영향을 주기 이전에 소산되도록 약 5 μ s를 가질 수 있다. 처리 궤적이 굴곡된 세그먼트들을 포함할 때, 분산된 스팟들의 위치들은 선택된 궤적을 유지하도록 조절될 수 있다.

[0132] XII. 관통 렌즈 관찰

[0133] 레이저 처리 기계들에서, 처리 비임들은 작업편 특징부들에 정렬된다. 정렬은 정렬 카메라로 작업편 정렬 기점(예를 들어, 정렬 타겟)을 식별하고, 그후, 캘리브레이션을 통해 처리 비임 위치로 카메라 시계를 맵핑함으로써 수행될 수 있다. 속도 및 효율은 이것이 2 단계 프로세스(레이저-카메라 캘리브레이션 에러 및 카메라 기점 식별 에러를 수반함)를 사용하기 때문에, 그리고, 카메라 및 스캔 렌즈가 서로 분리되기 때문에 감소될 수 있으며, 이는 위치설정 스테이지 반복성 및 정확도에 기인한 다른 불확실성을 추가한다.

[0134] 특정 실시예들에서, 하나의 이미지 내에서 처리 비임 및 작업편 양자 모두의 모습을 포착하기 위해 렌즈 관찰을 사용하는 것이 더욱 바람직하며, 이는 비임과 기점 타겟 사이의 상대적 위치의 측정을 가능하게 한다. 이는 두 개의 파장들(처리 파장 및 관찰 파장)에서의 동작을 위해 도 5에 도시된 스캔 렌즈(520)를 설계함으로써 달성될 수 있다. 처리 파장 및 관찰 파장 양자 모두를 달성하기 위해 스캔 렌즈 디자인에 때때로 절충이 이루어질 수 있다. 일 실시예는 기점의 이미징시 처리 비임 파장으로 작업편(524)을 조명함으로써 이 절충을 극복한다.

[0135] 예로서, 도 19는 일 실시예에 따른 래스터 조명을 위해 AOD 서브시스템(506)을 사용한 관통 렌즈 관찰을 위한 시스템(1900)의 블록도이다. 또한, 시스템(1900)은 카메라(1910), 이미징 렌즈(1912), 거울(1914), 부분 반사기(1916) 및 스캔 렌즈(520)를 포함한다. 도 5에 관하여 상술된 바와 같이, AOD 서브시스템(506)은 스캔 렌즈(520)에 제공된 처리 비임(512)을 편향시키기 위해 AOD들(530, 532)을 포함하며, 이는 집속된 레이저 비임(525)을 작업편(524)에 제공한다. 이는 처리 비임(512)과 동일한 파장을 갖는 조명 소스를 발견하는 것이 어려울 수 있으며, 다양한 파장(수 나노미터 이내에서도)을 사용하여 검사 해상도를 열화시킬 수 있다.

[0136] 대신, 처리 비임(512)의 일부는 분할될 수 있고, 작업편(524)을 조명하기 위해 사용될 수 있다. 이는 비임 분할기들 및 확산기들 또는 다른 집속해제 구성요소들로 수행될 수 있으며, 이들은 추가적 광학 구성요소들, 정렬 및 복잡성을 추가할 수 있다. 따라서, 도 19에 도시된 실시예에서, AOD 서브시스템(506)은 균일한 플루언스로 작업편(524) 상의 영역을 충전하는 래스터 패턴을 사용하여 작업편(524)을 조명하기 위해 사용되며, 래스터 패턴은 작업편(524)에 대한 처리 비임의 정렬을 위한 기준으로서 사용하기 위해 더 높은 강도의 하나의 기준 스팟

을 포함한다. 부분적 반사기(1916)는 작업편(524)으로부터 반사된 광을 픽 오프하며, 거울(1914)은 카메라(1910)에 이미지를 집속시키기 위해 이미징 렌즈(1912)를 통해 반사된 광을 재안내한다. 스캔 렌즈(520) 내로 작업편(524)으로부터 반사된 광을 픽 오프 및 재 이미징을 위한 광학 경로를 추가하는 것은 작업편(524) 및 기준 스폿을 카메라(1910)가 이미징할 수 있게 하며, 기점에 대한 비임의 상대적 정렬을 결정한다.

[0137] 도 19에 도시된 실시예는 스폿 초점을 유지(정렬 카메라 내의 스폿 크기를 최소화하는)하도록 정확한 스캔 렌즈(Z) 높이 조절을 결정하는 기능을 제공할 수 있다. 세 개 내지 다섯 개의 별개의 렌즈(Z) 높이들에서 재 이미징된 스폿 크기를 기록하는 것은 예상 스폿 크기 성장 대 Z 높이에 대한 곡선 정합 이후 최적의 스폿 위치를 유도하기에 충분한 정보를 제공할 수 있다.

[0138] 정렬 기술은 매우 양호한 비임-대-기점 정렬 정확도(예를 들어, 스폿 크기의 약 10% 미만)를 제공할 수 있다. 이는 작업편 상의 XY 위치가 처리 및 정렬을 위해 동일할 수 있기 때문에, 작업편 상에 두 개의 별개의 스캔 필드 영역들을 신속히 정렬시키는 기능을 제공할 수 있다. 하나의 스캔 필드의 스폿을 인접한 스캔 필드의 처리된 특징부에 정렬시킴으로써, 두 개의 처리 필드들은 높은 정확도로 또한 함께 결합되어 별개로 처리될 수 있다.

[0139] 관통 렌즈의 추가적 특징은 처리 대상 부분의 표면에 걸쳐 비임 위치설정 에러들을 맵핑하는 기능이다. 이런 큰 필드에 걸쳐 일부를 처리하는 한가지 과제는 비임이 비 텔레센트릭형이면서(예를 들어, 작업편에서의 비임 각도가 0이 아니거나 법선을 벗어날 수 있음) 필드에 걸쳐 변한다는 것이다. 임의의 Z 높이 변화로 승산된 이 각도는 XY 위치설정 에러를 생성한다. 큰 필드 스캔 렌즈를 위한 텔레센트릭 각도는 약 15도까지일 수 있다. 작업편 표면 변동은 약 $\pm 100 \mu\text{m}$ 일 수 있다. 따라서, 텔레센트릭 각도들 및 작업편 표면 변동의 조합은 약 $\pm 26 \mu\text{m}$ 까지의 XY 에러들을 생성할 수 있다(예를 들어, 약 $10 \mu\text{m}$ 과 약 $20 \mu\text{m}$ 사이의 범위의 에러 예산에 대하여). 필드 내의 다수의 지점들에서 이들 위치 오프셋들을 기록하기 위해 관통 렌즈 관찰을 사용함으로써(처리 필드에 걸쳐 이 부분의 Z 영역을 정확하게 맵핑하기에 충분한 샘플들), 텔레센트릭 에러들이 제거될 수 있다. 작업편 상의 기준 기점들의 세트는 기점들에 대한 처리 스폿의 위치가 정확하게 측정(수 마이크론 이내로)될 수 있도록 사용될 수 있다. 관통 렌즈 설정의 스폿 위치의 절대적 측정이 곤란할 수 있다. 그러나, 스폿 위치 측정들은 부분 처리 동안 실시간으로 또는 정렬 동안 수행될 수 있다.

[0140] 일 실시예에서, 방법은 작업편 특징부들에 처리 레이저 비임을 정렬하는 단계를 포함한다. 처리 레이저 비임은 작업편 특징부들을 처리하기 위한 사전결정된 파장을 포함한다. 이 방법은 작업편에 스캔 렌즈를 통한 전파 경로를 따라 처리 레이저 비임을 전파하는 단계를 포함한다. 이 방법은 사전결정된 파장의 조작된 처리 레이저 비임으로 정렬 타겟을 포함하는 작업편의 선택된 영역을 스캔 렌즈를 통해 조명하도록 처리 레이저 비임을 조작하는 단계를 더 포함하며, 선택된 영역은 스캔 렌즈를 통해 제공되는 처리 레이저 비임의 기준 레이저 비임 스폿보다 크다. 이 방법은 작업편의 선택된 영역을 이미징하기 위한 카메라에 스캔 렌즈를 통해 조작된 처리 레이저 비임의 반사의 적어도 일부를 다시 안내하는 단계와, 카메라에 의해 포착된 선택된 영역의 이미지에 기초하여, 정렬 타겟에 대한 기준 레이저 비임 스폿의 위치를 결정하는 단계를 더 포함한다.

[0141] 일 실시예에서, 레이저 처리 시스템은 작업편 특징부들에 처리 레이저 비임을 정렬시키기 위해 제공된다. 처리 레이저 비임은 작업편 특징부들을 처리하기 위한 사전결정된 파장을 포함한다. 시스템은 처리 레이저 비임을 제공하기 위한 레이저 소스와, 작업편 상에 또는 그 내에 레이저 비임 스폿에서 처리 레이저 비임을 집속시키기 위한 스캔 렌즈와, AOD 서브시스템을 포함한다. AOD 서브시스템은 균일한 플루옌스로 스캔 렌즈를 통해 작업편의 선택된 영역을 조명하는 레이저 비임 스폿의 래스터 패턴을 생성하며, 선택된 영역은 정렬 타겟을 포함한다. AOD 서브시스템은 선택된 영역 내의 기준 레이저 비임 스폿을 스캔 렌즈를 통해 추가로 제공하며, 기준 레이저 비임 스폿은 레이저 비임 스폿들의 래스터 패턴의 것보다 높은 강도이다. 또한, 이 시스템은 스캔 렌즈를 통해 선택된 영역으로부터의 처리 레이저 비임의 반사의 적어도 일부를 다시 안내하기 위한 광학 구성요소들과, 작업편의 선택된 영역을 이미징하기 위한 카메라를 포함한다. 선택된 영역의 이미지는 정렬 타겟에 대한 기준 레이저 비임 스폿의 위치를 결정하기 위해 사용된다.

[0142] 특정 실시예들에서, 광학 구성요소들은 스캔 렌즈를 통해 선택된 영역으로부터 처리 레이저 비임의 반사를 수신하기 위한 부분 반사기와, 부분 반사기로부터 처리 레이저 비임의 반사의 적어도 일부를 수신하고 카메라의 개구 상으로 이 반사의 적어도 일부를 집속시키기 위한 이미징 렌즈를 포함한다.

[0143] 특정 실시예들에서, 시스템은 정렬 타겟에 대한 기준 레이저 비임 스폿의 결정된 위치에 기초한 위치설정 에러를 계산하기 위한 제어기를 더 포함한다. 계산된 위치설정 에러에 기초하여, 제어기는 AOD 서브시스템에게 선택된 작업편 특징부에 대해 처리 레이저 비임 스폿 위치를 위치설정하도록 명령한다. 처리 레이저 비임은 선택

된 작업편 특징부를 처리하기 위해 처리 레이저 비임 스팟 위치에서 사전결정된 파장의 처리 레이저 비임을 집속하도록 스캔 렌즈를 통해 전파 경로를 따라 전파한다.

[0144] XIII. 예시적 AOD 제어 실시예들

[0145] (a) 서론

[0146] 본 절은 처리 동안 AOD 편향 명령들을 결정하는 예시적 수학적식들을 포함하는 일 실시예에 따른 AOD 제어 아키텍처를 사용한 LDA 처리를 설명한다.

[0147] AOD는 적어도 두 개의 기능들을 제공한다: (1) 처리 비임 치수를 확장시키기 위한 비임 위치 디더링 및 (2) 용제된 특징부들 상의 경사 제어를 가능하게 하기 위한 진폭 변조. 경사 제어는 특징부 교차부들에서 허용가능한 깊이 변동을 획득하는 양태이다.

[0148] AOD 주파수 및 진폭 변조 명령들은 본 실시예에서 FPGA를 통해 갱신된다. 예로서, 도 22는 일 실시예에 따른 FPGA(2200)에서 구현된 AOD 제어 데이터 유동을 나타내는 블록도이다. 공칭 갱신 주기는 약 260 ns이다. 기본적인 디더 테이블(2210)은 용제당 기반으로 FPGA(2200) 내에 로딩될 수 있다. 이 디더 패턴은 처리 동안 동적으로 두 개의 AOD 축들 사이에서 스케일링 및 분할된다. 추가적으로, 진폭 변조 명령은 레이저 파워를 동적으로 제어한다.

[0149] 숙련자는 본 아키텍처가 예로서, 다양한 디더 파형들의 세트들, 갬보 에러 교정 및/또는 프로파일링 보조를 포함하도록 확장될 수 있다는 것을 본 명세서의 내용으로부터 인지할 수 있을 것이다.

[0150] (b) 일반적 정의들

[0151] XY 비임 위치설정 축들은 AOD 축들과 정렬되지 않는다(갬보 블록 내부의 전향 거울의 각도에 기인하여). 따라서, 본 예의 AOD 축들은 X 및 Y가 아닌 축 0 및 1을 기준으로 한다.

[0152] 디더: 하나 또는 양 AOD 축들로 주파수 명령을 신속히 변경하는 프로세스. 작업편 상의 또는 그 내부의 처리 비임의 위치는 AOD 주파수 명령의 선형 함수이다.

[0153] F0: AOD 주파수 명령, 축 0.

[0154] F1: AOD 주파수 명령, 축 1.

[0155] Fnom: 제로 편향을 위한 공칭 AOD 주파수 명령(명목상 110 MHz).

[0156] Fd[1..Nd]: 상술한 "디더 표"(2210)를 포함하는 편향 주파수들의 세트.

[0157] Nd: 편향 주파수 지점들의 수.

[0158] Kw: 디더 폭 스케일링 인자. 디더링이 없는 것에 대해 Kw = 0이다(공칭 처리 비임).

[0159] W0: 공칭 폭(비디더 처리 비임에 대하여).

[0160] Wmax: 전체 AOD 편향에 대하여 최대 폭.

[0161] Lwc: 폭 변화 전이의 길이.

[0162] Wk: 처리 세그먼트 k의 단부에서의 폭.

[0163] Theta0: 디더 각도 오프셋. 시스템 XY 축들에 대한 이 각도에서 절삭된 루트들은 트렌치를 확장시키도록 AOD 1을 편향시킨다. 각도는 X 축, 포지티브 CCW에 대하여 규정된다.

[0164] Vx = X축 속도.

[0165] Vy = Y축 속도.

[0166] 투여량: 트렌치 품질을 결정하는 기본 처리 파라미터; 파워/속도로서 규정되거나 또는 $W/(m/sec) = (J/sec)/(m/sec) = J/m$. 처리 동안, 투여량은 초점에서의 공칭(비디더) 처리 비임을 위해 규정될 수 있다.

[0167] (c) AOD 주파수 갱신들

[0168] 이하의 수학적식들은 예시적 실시예에 따른 처리 동안 AOD 주파수 명령들을 생성하기 위한 처리를 설명한다. 후술된 바와 같이, 데이터 표들로부터 추출되거나 SCC로부터 스트리밍된 지수들이 변수들을 위해 사용된다. 비

지수 변수들이 계산 또는 측정된다. 본 예에서, FPGA(2200)(명목상 260 ns)로부터 "j" 프로세스 세그먼트(변수 타이밍) 및 "k" 갱신들이 존재한다.

[0169] DSP 및 FPGA(2200) 갱신 주기들은 공칭적이며, 처리량(DSP를 위한) 또는 AOD 드라이버 성능(FPGA(2200)을 위한)에 따라서 조절될 수 있다(예를 들어, 0.1 내지 5.0 μ sec의 범위에서)는 것을 주의하여야 한다.

[0170] (c-i) 직선 처리

[0171] $W[j] =$ 현재 처리 세그먼트를 위한 폭에 대하여,

[0172] $K_w = (W[j] - W_0)/(W_{max} - W_0)$,

[0173] $\Theta = \text{atan}(V_y/V_x) - \Theta_0$,

[0174] $F_0 = F_{nom} + F_d[k]*K_w$,

[0175] $F_0 = F_0*\cos(\Theta)$,

[0176] $F_1 = F_0*\sin(\Theta)$.

[0177] (c-ii) 코너 처리

[0178] 처리 궤적이 방향을 변화시키는 경우, 전향 세그먼트 동안 동적으로 V_y 및 V_x 가 변한다. 전향은 (공칭적으로) 일정한 접선 속도($V_x^2 + V_y^2 = \text{상수}$)로 이루어진다. 세타는 시간의 함수로서 보간될 수 있으며, 초기 및 최종 각도들을 알 수 있다.

[0179] 툴 경로는 선택적으로 코너들이 특히, $K_w > 0$ 인 경우 넓은 라인들에 대하여, 연속적이고 사인 프로파일형(또는 사인 프로파일링에 대한 적절한 근사화)이 되도록 단지 평활한 세그먼트들을 사용하도록 구속된다.

[0180] (c-iii) 폭 변화

[0181] 폭 변화 동안, 디터 인자(K_w)는 실시간으로 갱신된다.

[0182] $T_{seg} =$ 폭 변화 세그먼트를 처리하는 데 소진된 누적 시간(시간의 함수)이라 하면,

[0183] $V[j] = V[j-1] =$ 처리 세그먼트 속도,

[0184] $L_{wc} =$ 폭 변화 처리 세그먼트의 길이이다.

[0185] 시간의 함수로서의 실시간 폭은

[0186] $W = W[j-1] + (W[j] - W[j-1])*T_{seg}/(L_{wc}/V[j])$ 이고,

[0187] 디터 인자(K_w)는 이때

[0188] $K_w = (W - W_0)/(W_{max} - W_0)$ 일 수 있다.

[0189] (d) 파워 변조

[0190] (d-i) 동작 모드들

[0191] AOD 서브시스템의 파워 변조는 비임 "셔터링"(온/오프), 적절한 갱신율들(약 0.1 내지 5 μ s)에서의 처리 동안 파워 변조 및 높은 갱신율들(약 260 내지 2000 ns)에서의 편향 디터링 동안 파워 변조를 포함하는 다수의 목적들을 달성한다.

[0192] 본 예에서 비임 "셔터링"은 구동기의 디지털 변조 불연속 입력(DMOD)을 통해 제공된다. 처리 제어 및 디터링을 위한 파워 변조는 AOD 드라이버의 아날로그 변조 입력(AMOD)을 통해 제공된다.

[0194] 셔터링은 실질적 완전한 종결을 제공하도록 온/오프 제어를 위해 사용될 수 있다(아날로그 변조는 심지어 0 명령에서도 파워를 누설할 수 있다). 이는 예로서, Q 스위치 제어 없이 모드 고정 레이저들에 유용하다.

[0195] 처리 파워 변조는 교차부들에서 특징부들의 단부벽 경사들을 성형하는 것 또는 동적으로 속도 변화로서 작업편 특징부들을 위한 원하는 투여량(파워/속도 비율)을 유지하는 것을 목적으로 한다.

[0196] 디터 파워 변조는 적어도 두 개의 목적들로 기능한다: (1) 편향 명령의 함수로서 회절 효율을 정규화하는 목적

그리고 (2) 측벽들에서 제어된 경사들을 생성하기 위해 사용될 수 있는 편향 위치의 함수로서 비임 강도 프로파일을 성형하는 목적. 경사 제어(구체적으로, 감소된 경사 각도들)는 용제된 특징부들의 교차부들에서 깊이 제어를 개선시킨다.

[0197] (d-ii) 처리 파워 변조

[0198] 파워들은 투여량 및 속도의 함수로서 변조된다. 속도는 가속 및 감속 세그먼트들 동안 변하며, 투여량은 다양한 폭들을 갖는 두 개의 세그먼트들의 투여량들 사이에서 전이하거나, 다양한 깊이로 전이하는 세그먼트들 내에서 변할 수 있다.

[0199] $\text{투여량} = \text{Dose}[j-1] + (\text{Dose}[j] - \text{Dose}[j-1]) * \text{Tseg} / (\text{Lwc} / \text{V}[j])$

[0200] 그리고, 처리 파워는 투여량 및 속도의 적에 의해 변조된다.

[0201] $P = \text{Dose} * V$

[0202] 파워는 AOD에서 감쇄를 통해 제어될 수 있다. AOD는 그 감쇄 응답을 선형화하기 위해 캘리브레이팅될 수 있다. 최대 (비감쇄) 파워 레벨(Pmax)은 부분의 처리 이전에 측정될 수 있다. 따라서, 이하와 같다.

[0203] $\text{Atten} = P / \text{Pmax}$

[0204] (d-iii) 고속 파워 변조("성형")

[0205] 위치설정 디터와 동기화된 고속 진폭 변조가 정확한 교차 처리를 지원하기 위해 측벽 경사 제어를 프로파일하기 위해 강도를 맞춤화한다. 이는 비임의 강도 프로파일의 "성형"이라 알려져 있다. 이 변조는 이들이 두 개의 별개의 단계들일 수 있기 때문에 본 명세서에 설명된 고속 선형화 보상에 의해 혼란이 발생하지 않아야 한다는 것을 주의하여야 한다. 원하는 속도에 기인하여(예를 들어, 약 260 ns의 갱신율), 고속 변조는 FPGA 참조표들(LUT)에서 구현된다.

[0206] 스케일링 인자(Ks)는 상술한 편향 디터에 유사하게 강도 성형을 스케일링한다. 스케일링은 교차부들에 대해서만 성형이 사용될 수 있게 함으로써, 넓은 특징부들의 긴 연장부 동안 현저한 파워 손실을 회피 또는 감소시킨다.

[0207] 이하와 같이 주어진다.

[0208] $N_d =$ 디터 표(2210)의 엔트리들의 수(예를 들어, 약 256 엔트리들),

[0209] $\text{성형}[k] =$ 성형 값들의 표(2212)(0 내지 1; N_d 엔트리들),

[0210] $K_s =$ 성형 스케일 인자(0 내지 1; 0.1 내지 5 μs 속도의 갱신).

[0211] 그후, 성형표(2212)의 스케일링은 이하와 같이 주어진다.

[0212] $K_{\text{shape}} = 1 - \text{Shape}[k] * K_s$ (1과 N_d 사이의 k 연속적 사이클링에 대해).

[0213] 모든 1의 Shape[] 표(2213)는 실제로 0 파워($K_s=1$ 에 대하여)에 대응한다는 것을 주의하여야 한다. 따라서, 전체 파워에 대하여 $\text{NomShape} = 1$ 및 0 파워에 대하여 0을 사용자가 특징하는 경우, 표는 $(1 - \text{NomShape})$ 로 로딩될 수 있다.

[0214] (d-iv) AOD 응답 및 선형화

[0215] 상술된 파워 변조 모드들은 진폭 변조 명령이 비임 파워의 선형 응답을 생성하는 것을 가정한다. 그러나, 진폭 변조 명령에 대한 AOD의 응답은 비선형적일 수 있으며, 따라서, 정규화될 수 있다.

[0216] AOD는 그 RF 구동 진폭이 변할 때(편향 진폭을 결정하는 RF 주파수에 의해) 출력 비임 파워를 감쇄시킨다. 감쇄 특성은 사인 함수에 의해 근사화되며, 진폭 변조 명령의 소정 값에서 피크 전송(최소 감쇄)을 갖는다. 이 관계는 도 20 및 도 21에 도시된 것과 유사하게 "회절 효율"(DE) 곡선에 의해 예시되어 있다. 단일 RF 주파수(따라서, 고정된 편향 각도)에 대하여, 이 변조 곡선은 단일(LUT)를 통해 선형화될 수 있다.

[0217] 다양한 RF 주파수들(편향 위치들)이 사용될 때 복잡성이 발생할 수 있다. DE 곡선의 피크는 다양한 변조 명령에서 발생할 수 있으며, DE 피크 값은 RF 주파수의 함수로서 변할 수 있다. 이 효과가 작을 수 있지만(예를 들어, 작은 편향 범위들에 대하여 약 10% 내지 약 20% 정도, 5 내지 10 스팟 직경들 정도), 이는 일부 처리 용례들에 대하여 고려되기에 충분하게 클 수 있다.

- [0218] 이를 적절히 정규화하기 위해, 고유 진폭 변조 교정 LUT는 주파수들의 특정 범위에 대해 인가될 수 있다. 편향 범위가 중간인(예를 들어, 약 3 내지 5 스팟 직경들) 특정 실시예들에 대하여, 8개 LUT들이 충분하다. LUT들의 세트는 각각 AOD 축을 위해 사용될 수 있다.
- [0219] LUT는 선형화 스케일링 인자 또는 진폭 변조 명령들 중 어느 하나에 대한 직접적 맵핑을 제공할 수 있다. 스케일 인자 구현은 보간을 위한 필요성 및/또는 데이터 지점들의 수를 감소시킬 수 있다. 스케일링 구현은 도 22에 도시되어 있다.
- [0220] 특정 AOD 동작 모드들이 신속(예를 들어, 약 4 MHz) 진폭 변조를 사용할 수 있기 때문에, LUT 교정은 각각의 주파수 명령 갱신을 위해 적용될 수 있다(FPGA 레벨에서).
- [0221] (d-v) 진폭 변조 요약
- [0222] 요약하면, 진폭 변조는 세 가지 감쇄 인자들의 적에 의해 생성될 수 있다: (1) 처리 파워, (2) 신속 진폭 변조(위치 디터에 의해 동기화됨) 및 (3) 주파수 의존성 선형화. 완전한 파워 변조 시퀀스는 이하와 같이 설명될 수 있다: 처리 파워 변조 값(Kpwr)은 처리 갱신 주기 당 일회 투여량 및 속도(파워 = 투여량*속도)에 기초하여 특정되며, 주파수 명령은 디터 표(2210)으로부터 계산되며(디터 갱신 사이클 당 1회), 고속 진폭 변조 값(Kshape)이 계산되고(디터 갱신 사이클 당 일회), 원하는 감쇄 명령은 $AttenDes = Kpwr * Kshape$ 로 주어지고, 진폭 변조 명령은 현재의 주파수 명령 및 $AttenDes$ 에 기초하여 선형화 LUT에 의해 생성된다.
- [0223] 도 22는 위치 디터, 성형 감쇄, 저속 감쇄 및 선형화의 세부사항들을 포함하여, FPGA AOD 제어 블록들을 예시한다.
- [0224] 특정 실시예들에서, 단 하나의 AOD가 파워를 제어하기 위해 필요할 수 있다는 것을 주의하여야 한다. AOD가 "포화" 또는 전체 스케일 진폭 변조시 더욱 예측가능하게 동작하기 때문에, 하나의 AOD 채널(Ch0)에 대하여 일정하게 유사한 변조 명령을 유지하는 장점이 존재할 수 있다. 제2 AOD(Ch1)는 비임 감쇄를 제어한다.
- [0225] 또한, 선형화 표(2214)는 Ch0의 광학 효율을 선형화하기 위해 사용된다. Ch0 감쇄 명령($Atten0$), 글로벌 저속 감쇄 명령(Kpwr) 및 디터 감쇄(Kshape)의 적은 Ch1 선택 감쇄($Atten1$)이다. 이는 Ch1 선형화 표(2215)에 의해 처리됨으로써 Ch1 아날로그 변조 명령을 생성한다.
- [0226] Ch0를 위한 Ch0 아날로그 변조 명령은 1에서 유지된다. 이때, Ch0를 위한 선형화 표(2214)는 단일 파라미터(주파수 명령)의 함수이다. Ch1 선형화 표(2215)는 선택된 감쇄 및 주파수 명령 양자 모두의 함수로 남아 있다.
- [0227] (e) 해상도 및 타이밍
- [0228] 상술된 데이터를 위한 최소 해상도 및 갱신율들은 이하의 표에 요약되어 있다. 더높은 해상도 또는 더 신속한 갱신율들이 허용될 수 있다. 비록, 후술되어 있지는 않지만, 디터 갱신 주파수에 가까운 펄스 반복 주파수를 갖는 레이저를 사용하는 경우, RF 주파수 갱신들은 레이저 펄스 타이밍과 동기화될 수 있다.
- [0229] 지연율 교정(2216)은 파워 제어와 비임 위치설정을 동기화하도록 제공될 수 있다. 교차 처리 동안의 조화 공차들은 작업편에서 약 $1 \mu m$ 내지 약 $2 \mu m$ 정도이다. 약 1 m/s 내지 약 2 m/s의 처리 속도들에 대하여, 이는 약 $1 \mu s$ 의 해상도의 파워 조화를 사용한다.
- [0230] 이 조화가 사용되는 적어도 두 개의 영역들이 존재한다. 양 경우들에서, 교차 처리의 품질은 교차 트렌치의 벽 경사들의 제어에 의존한다.
- [0231] (e-i) 진폭 변조 성형
- [0232] 진폭 변조를 성형하는 목적은 디터 주파수와 동기화된 진폭 변조를 갖는 트렌치 특징부의 측면들을 성형하는 것이다. DAC 변환 및/또는 AOD 구동기 응답 같은 지연율 소스들이 고려될 수 있다. 일 실시예에서, 성형 표(2212)는 각각을 위한 갱신 주기는 1 마이크로초 미만이기 때문에, 주파수 디터 표(2210)에 대하여 "기울어"진다.
- [0233] (e-ii) 저속 증폭 변조
- [0234] 진폭 변조의 목적은 일반적 처리 제어, 예를들어, 원하는 특징부 깊이를 유지하기 위한 투여량 제어이다. 한 가지 경우는 교차 트렌치의 단부에서의 파워 제어이다. 본 경우에, 파워는 적절한 위치에서 적절한 단부벽 경사를 생성하도록 신속히 감쇄된다. 교차부들에서의 약 5% 미만의 깊이 변화에 기여하기 위한 단부벽 경사 제어에 대하여, $20 \mu m$ 단부벽 전이 영역을 가정하면, $1 \mu m$ 위치설정 정확도(타이밍 및 비임 위치설정기 위치설정 양

자 모두에 기인한)가 사용된다. 약 1 m/s의 처리의 경우, 이는 약 1 μ s 미만의 타이밍 정확도를 사용한다.

[0235] 교차부 처리에 대한 한 가지 접근법은 일정한 속도로 교차부를 지나쳐 비임 위치설정기를 구동하는 것(위치설정 시스템에 대한 교란들을 최소화하는 것)이며, 정확한 위치에서 전이하도록 투여량 경사 하강을 시기설정하는 것이다. 지연을 효과들은 (지연율*속도)만큼 전이 위치를 이동시킴으로써 취급될 수 있다. 그러나, 이는 속도의 임의의 변화들(예를 들어, 처리 속도의 증가)이 전이 지점을 이동시키는 부차적 효과를 가질 수 있기 때문에 위험할 수 있다. 따라서, 지연율 조절(2216)은 비임 위치설정기에 대한 투여량 제어의 타이밍을 조절함으로써 이루어진다.

[0236] 전진 및 지연 조절 양자 모두는 명령 갱신 주기(Tupdate)의 배수들로 비임 위치설정기 위치 명령을 지연시키고, 그리고, 부분 지연 시간들을 위한 투여량 지연 파라미터를 조절함으로써 수행될 수 있다. 부분 지연은 AOD 서브시스템으로 전송되기 이전에 투여량 명령에 대한 FIR 필터에 의해 구현될 수 있다. 갱신 주기 미만의 지연에 대하여 필터의 일에는 이하와 같다.

[0237] $D_{out}[k] = (1 - C_d) * D_{cmd}[k] + C_d * D_{cmd}[k-1]$,

[0238] 여기서,

[0239] D_{out} = AOD 서브시스템에 대한 지연 교정된 투여량 명령,

[0240] D_{cmd} = 명령 스트림으로부터의 투여량 명령,

[0241] k = 시간 지수,

[0242] C_d = 지연 계수 = 지연/Tupdate.

[0243] 이하의 표는 일 실시예에 따른 AOD 갱신 계산들에 사용되는 예시적 파라미터들 및 데이터 표들을 요약한다.

표 1

변수	최소 갱신 주기	데이터 소스	해상도 (bits)	어레이 크기	주석
Kpwr	5 μ s	내장 SW	12	스칼라	처리 파워 감쇄 명령
Ks	5 μ s	내장 SW	12	스칼라	성형 진폭 스케일링 (트렌치 형상)
Kw	5 μ s	내장 SW	8	스칼라	디더 위치 스케일링 (트렌치 폭)
Fd	260 ns	FPGA - 표	8	256 x 1	디더 주파수 명령
형상	260 ns	FPGA - 표	12	256 x 1	고속 진폭 변조(디더 진폭 제어)
Klin	260 ns	FPGA - 표	12	256 x 8	진폭 변조 선형화 교정
Atten 지연	N/A	1회 로딩	8	스칼라	겔보 위치와의 진폭 변조 동기화
Freq 지연	N/A	1회 로딩	8	스칼라	겔보 위치설정과의 위치 디더 동기화
Fnom	260 ns	내장 SW	8	스칼라	중심 주파수

[0245] XIV. 예시적 검사 처리 실시예들(a) 서론본 절은 레이저 처리 동안 교차 특징부들을 생성하기 위한 접근법을 개요설명한다. 이 유형의 처리는 기능적 레이저 처리 시스템을 생성하는 것을 도우며, 시스템 디자인의 과제일 수 있다.

[0246] 특정 실시예들에 따른 용제된 특징부들을 위한 교차부 처리의 과제는 약 $\pm 10\%$ 의 깊이 변동의 원하는 제어에 기인한다. 깊이 제어 공차를 위한 이유들은 파괴 전압(트레이스로부터 하위 접지 평면들까지), 누설, 및 임피던스 변동들을 포함한다.

[0247] (b) 기본 접근법

[0248] 용제 특징부의 깊이는 누적된 레이저 플루언스와 대략 선형적이다. 따라서, 교차부의 이중 노출은 약 100% 깊이 변동을 초래할 수 있다. 이를 피하기 위해, 교차부들은 교차부의 지점에서 "접촉" 트렌치의 절삭을 종결시킴으로써 생성된다. 이 접근법을 사용한 깊이 변동은 위치 및 진폭 변조를 통해 변경될 수 있는 처리 비임의 형상에 의존한다.

[0249] (b-i) 가우스 비임

- [0250] 시스템은 깊이 변동을 최소화하는 최적 중첩 지점에서 종료하도록 교차 특징부를 절삭할 수 있다. 그러나, 가우스 비임들의 누적 플루언스는 이를 어렵게 한다. 도 23은 교차부가 처리되기 이전의 공칭 트렌치 및 접촉 트렌치를 예시한다. 도 24는 도 23에 도시된 접촉 트렌치 축을 따른 단면을 예시한다. 접촉 트렌치의 단부 경사는 단면에서 공칭 트렌치의 것보다 작다는 것을 주의하여야한다. 이는 접촉 트렌치의 헤드에서의 누적 플루언스에 기인할 수 있다. 경사 불일치시, 완전한 교차부가 생성될 수 없다. 도 25 및 도 26은 약 $\pm 10\%$ 의 깊이 변동을 갖는 최적 교차의 결과를 예시한다. 교차부는 위치 변동에 대한 어떠한 공차도 허용하지 않는다.
- [0251] (b-ii) 디더 비임
- [0252] 처리 비임이 디더링되지 않을 때, 결과적 트렌치 경사들은 (일정한) 가우스 스팟 직경에 의해 결정된다. 트렌치 축에 수직인 처리 비임을 디더링시킴으로써, 측부 경사는 접촉 및 공칭 경사들이 거의 동일하며 덜 급준하도록 변형될 수 있다(도 27 및 도 28 참조). 최적 교차 지점에서, 깊이 변동은 약 2% 미만이다(도 29 및 도 30 참조). 그러나, 위치설정 에러에 대한 감도는 여전히 허용불가할 수 있으며, 예로서, 1 μm 위치 에러가 10%보다 큰 깊이 변동을 생성할 수 있다.
- [0253] (b-iii) 경사 성형
- [0254] 디더 비임들은 디더가 교차하는 처리 비임들의 경사들을 감소시키기 때문에 교차부를 향상시킨다. 그러나, 이들 경사들은 비임 파워를 일정하게 유지하면서 비임 위치를 디더링시킴으로써 단지 온건한 정도로만 감소될 수 있다. 트렌치 경사들의 추가적 제어는 "공칭" 트렌치를 위한 디더의 위치의 함수로서 디더 비임의 파워를 조정함으로써(그 측벽 경사를 제어하기 위해) 및/또는 접촉 트렌치가 교차부에 접근할 때 비임의 파워를 조정함으로써(단부벽 경사를 제어하기 위해) 제공될 수 있다.
- [0255] Ebp의 교차부 위치설정 에러 공차 및 Δ 의 허용 상대 깊이 변동을 가정하면, 경사 전이 영역의 폭은 $W_s = Ebp / \Delta$ 로 주어진다. 예로서, $Ebp = 1 \mu\text{m}$ 이고 $\Delta = 0.05(5\%)$ 이면, $W_s = 20 \mu\text{m}$ 이다.
- [0256] 제어된 경사를 생성하기 위한 간단한 방식은 전이 영역에 걸쳐 0 내지 1의 선형 경사부로 AOD 감쇄를 프로파일링하는 것이다(접촉 트렌치 상의 위치 의존성 변조 및 공칭 트렌치를 위한 디더 변조를 사용하여). 결과적인 누적 플루언스들은 진폭 변조와 비임 프로파일의 콘볼루션이다. 비임 직경과 같은 감쇄 곡선의 "평탄한 상단" 부분은 전이 경사가 대향 경사에 의해 경향을 받지 않게 한다.
- [0257] 도 31은 전이 경사 상의 20 μm 폭을 갖는 공칭 및 접촉 트렌치 쌍을 예시한다. 도 32는 교차 이전의 트렌치들의 단면을 예시한다. 이 경우에, 공칭 트렌치의 단 하나의 벽이 경사지고, 접촉 트렌치의 프로파일은 성형되지 않는다. 성형은 처리량 영향들을 최소화하기 위해 바람직할 수 있다. 성형은 감쇄를 통해 구현될 수 있으며, 따라서, 유효 레이저 파워 및 처리량을 감소시킨다. 공칭 및 접촉 트렌치들이 서로 다른 디더링 패턴들로 형성되는 경우, 두 개의 트렌치들에 인가되는 유효 투여량(J/m)은 트렌치 깊이를 정규화하도록 조정된다.
- [0258] 도 33은 최적의 위치설정을 갖는 완성된 교차부를 예시하며, 도 34는 $\pm 1 \mu\text{m}$ 공차를 갖는 최적 위치에서의 결과적 깊이 변동을 예시한다. 예상과 같이, 20 μm 폭 전이부는 약 $\pm 1 \mu\text{m}$ 위치설정 에러에서 약 $\pm 5\%$ 깊이 변동을 유발한다.
- [0259] (b-iv) 교차된 교차부
- [0260] 이전 예는 더 넓은 트렌치 치수를 대가로하여 교차부 깊이에 대한 양호한 제어를 제공하였다. 이는 AOD들의 경우에서 그러할 수 있는 디더 기구의 이동 범위가 제약되는 경우 문제가 될 수 있다. 디더 이동 범위를 감소시키는 대안적 접근법은 접촉 트렌치들이 아니라 가로지르는 트렌치들로 교차부를 처리하는 것이다. 각 트렌치는 교차부에서 대칭적 "절결부"로 처리된다. 공칭 트렌치 깊이의 절반과 같은 절결부 깊이에서, 측부 경사들은 동일 트렌치 폭에 대해 절반만큼 급준해질 수 있다. 따라서, 동일한 디더 폭에 대하여, 가로지르는 접근법은 접촉 접근법에서의 위치설정 에러들에 대한 감도의 절반이다.
- [0261] 가로지르는 교차부들은 특정 실시예들에 따라 "T" 교차부의 일 측부 상에 짧은 스테르브를 생성하지만, 스테르브의 짧은 길이(수 마이크로)는 미소한 임피던스 효과들을 유발할 수 있다. 반대로, 이 접근법은 두 개의 교차하는 트렌치들에 대해 동일한 처리를 사용하는 것을 가능하게 하며, 가로지른(비 "T") 교차부들의 처리를 단순화한다.
- [0262] 도 35, 도 36, 도 37 및 도 38은 특정 실시예들에 따른 절결부들을 사용하는 가로지른 교차부들의 특성들을 예시한다. 이전 예의 것의 절반의 디더 폭을 사용하면서 동일한 위치 공차가 달성된다.
- [0263] 도 39는 T 교차부의 일 실시예를 예시하며, 이는 교차부에서 작은 스테르브(수 마이크로 길이)를 형성한다. 상술한

바와 같이, 도 39에 도시된 실시예는 교차부에서 절결부들을 사용하여 생성될 수 있다. 결과적 스텔브는 결과적 트렌치들이 저기 전도를 위해 도금될 때 임피던스에 대해 미소한 변화를 유발하거나 변화를 유발하지 않는다.

[0264] (c) 처리 파라미터 정의

[0265] 특정 실시예들에 따라, 교차부들을 적절히 처리하기 위해, 위치 디터, 진폭 디터 및 파워 제어를 위한 파라미터들이 정의된다. 이들 파라미터들은 공칭 가우스 스팟 크기, 트렌치 깊이, 트렌치 폭 및 처리 속도 같은 용례의 다양한 특성들에 의존한다. 상술한 예시적 아키텍처에서, 고속 진폭 및 위치 디터 파라미터들은 FPGA 참조표들을 사용하여 생성된다. 특정 실시예들에 따라서 모두 동일 디터 파라미터들을 갖는 교차부들을 생성하는 것은 다수의 디터 표들에 다른 과도한 복잡성을 피할 수 있게 한다. 이는 교차부들을 위해 사용되는 동일 디터 파라미터들이 수용할 수 있는 넓은 트렌치들을 생성하기 위해 교차부 적용을 위해 사용된다는 것을 의미한다. 다른 실시예는 다양한 특징부 유형들을 위한 다수의 디터 표들을 로딩하는 것을 포함한다.

[0266] 교차부를 처리하기 위해, 이하의 단계들 중 적어도 일부가 이어질 수 있다: 교차부를 위해 필요한 속도로 속도 변경(예를 들어, 정밀도, 명령 갱신율들 및 다른 처리 인자들에 기초함), 폭(디터 위치) 및 투여량(깊이 유지를 위해) 변경, 단면 형상(디터 진폭) 및 투여량(필요시 깊이 유지를 위해) 변경, 투여량 감소(교차부 경사 생성), 소정 거리에 대해 공칭치의 절반으로 투여량을 유지(이는 선택적일 수 있음), 투여량 증가(반대 교차부 경사의 생성), 단면 형상(디터 진폭) 및 투여량(필요시 깊이 유지를 위해) 변경, 폭(디터 위치) 및 투여량(깊이 유지를 위해) 변경, 속도를 다시 공칭치로 변경.

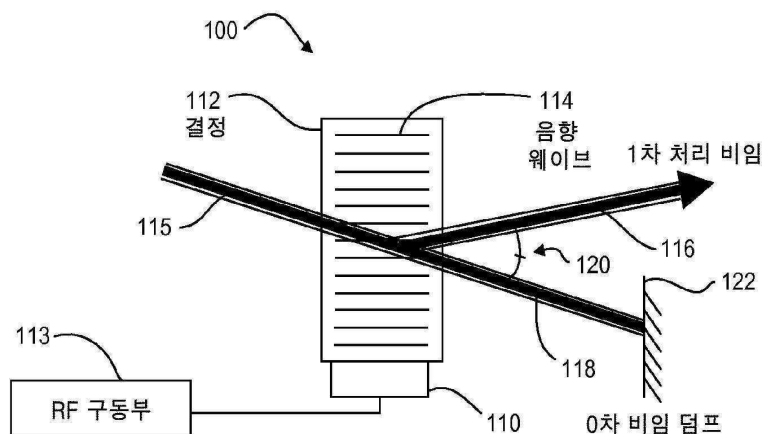
[0267] 특정 실시예들에서, 단계들은 깊이 제어에 영향을 줄 수 있는 상호작용들을 피하기 위해 순차적으로, 그리고, 개별적으로 완료될 수 있다(예를 들어, 폭 및 속도 변화를 조합할 때 비선형 파워 제어가 사용될 수 있음).

[0268] 도 40의 도면은 일 실시예에 따른 교차부들에서 투여량 및 형상 제어의 역학들을 예시한다.

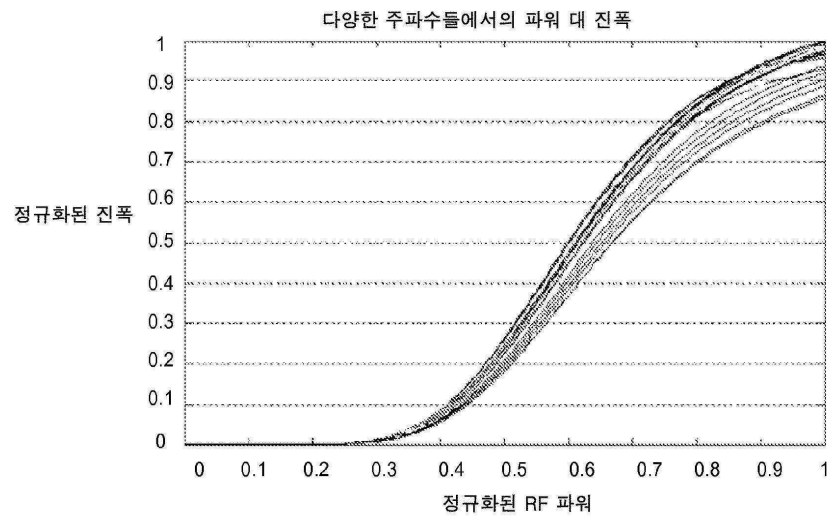
[0269] 본 기술 분야의 숙련자들은 본 발명의 기본 원리들로부터 벗어나지 않고 상술한 실시예들의 세부사항들에 대해 다수의 변경들이 이루어질 수 있다는 것을 이해할 것이다. 본 발명의 범주는 따라서, 이하의 청구범위에 의해서만 결정되어야 한다.

도면

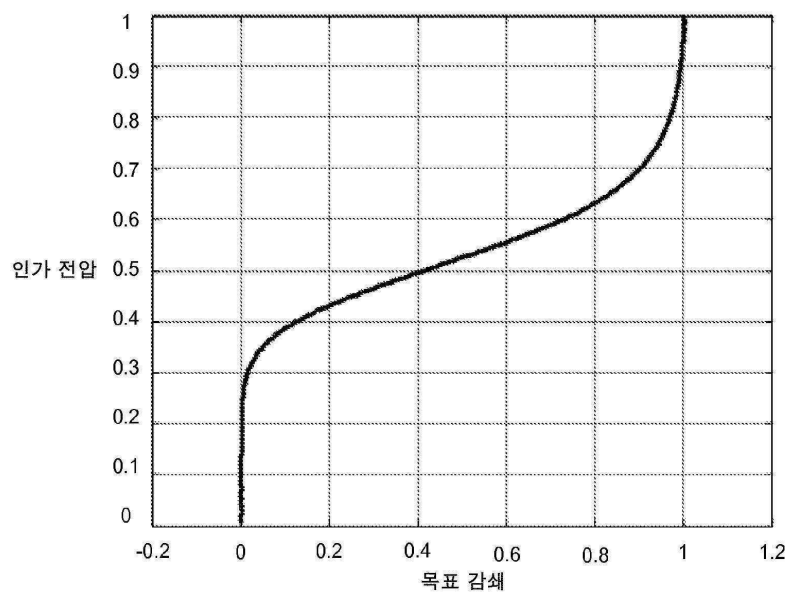
도면1



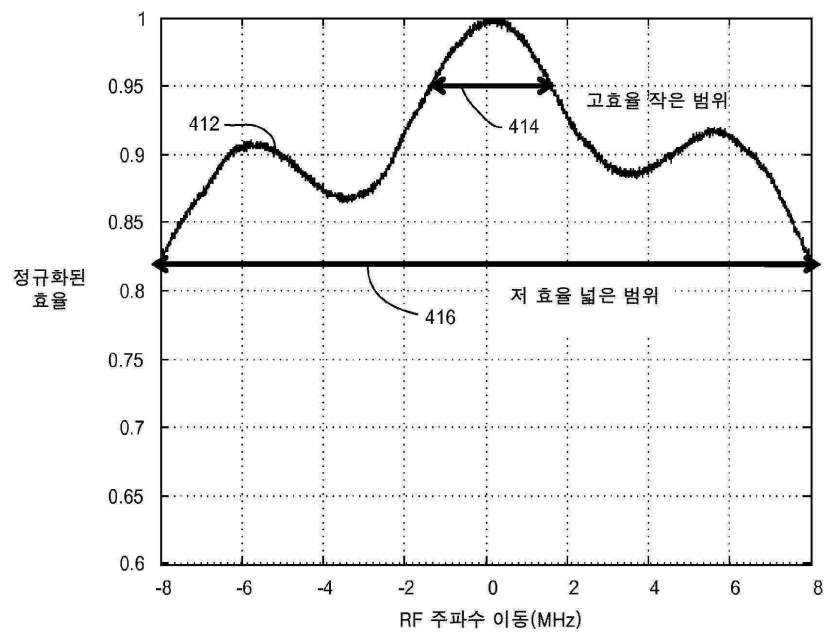
도면2



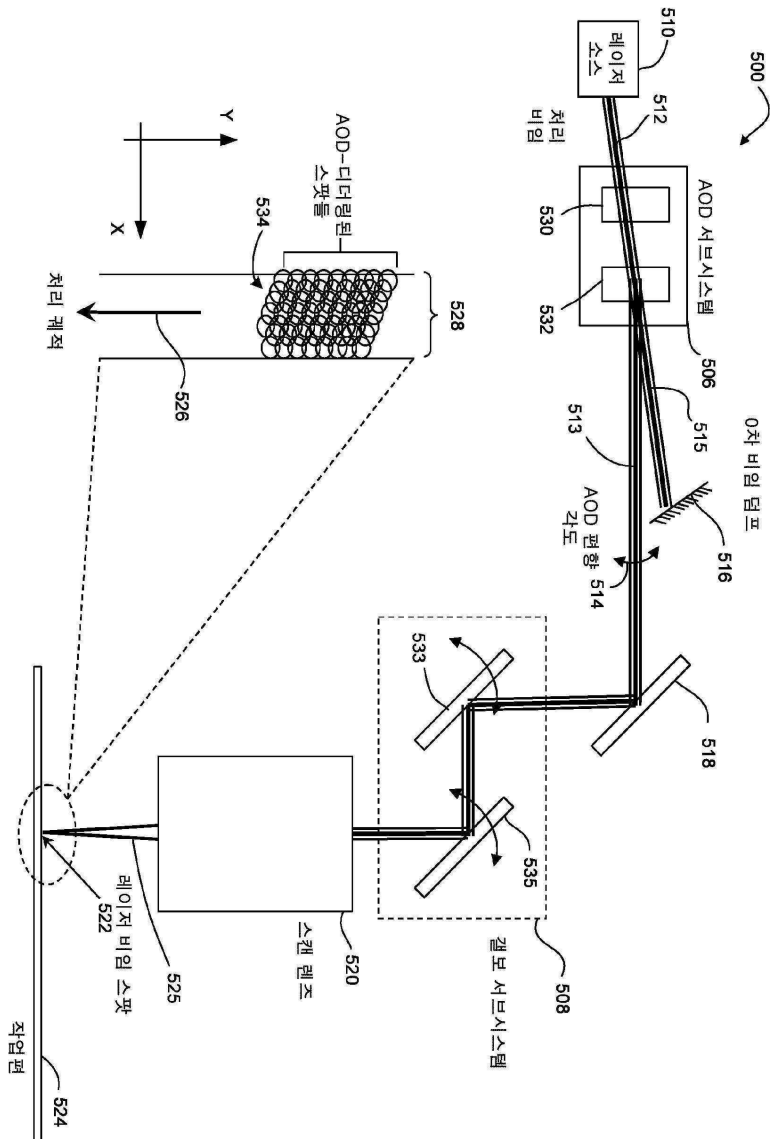
도면3



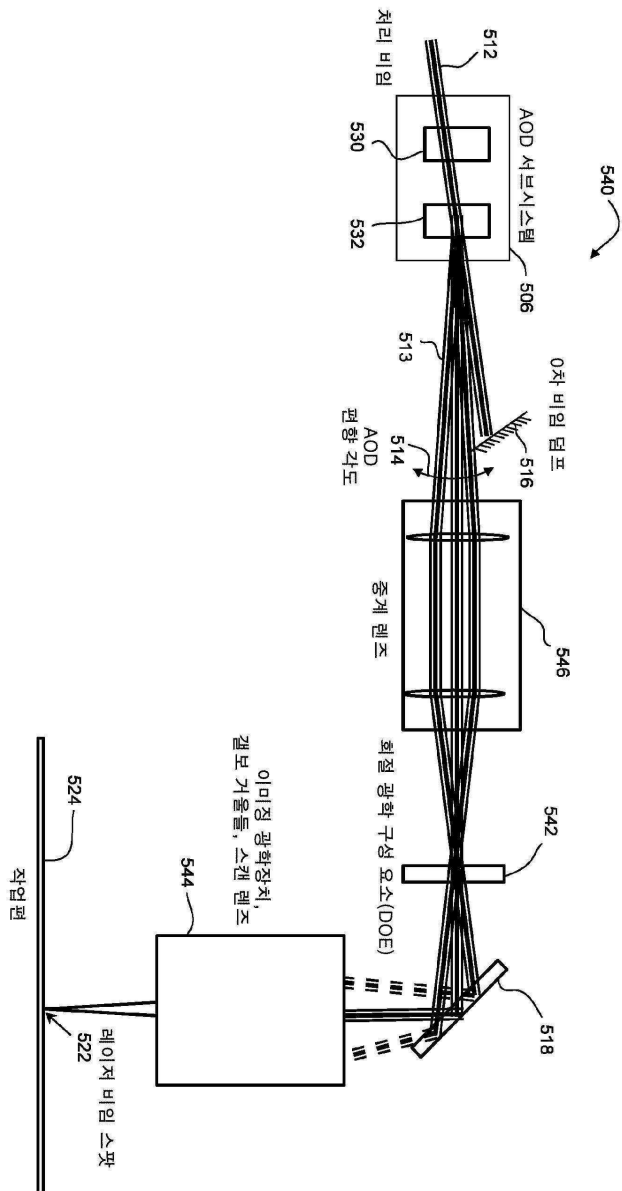
도면4



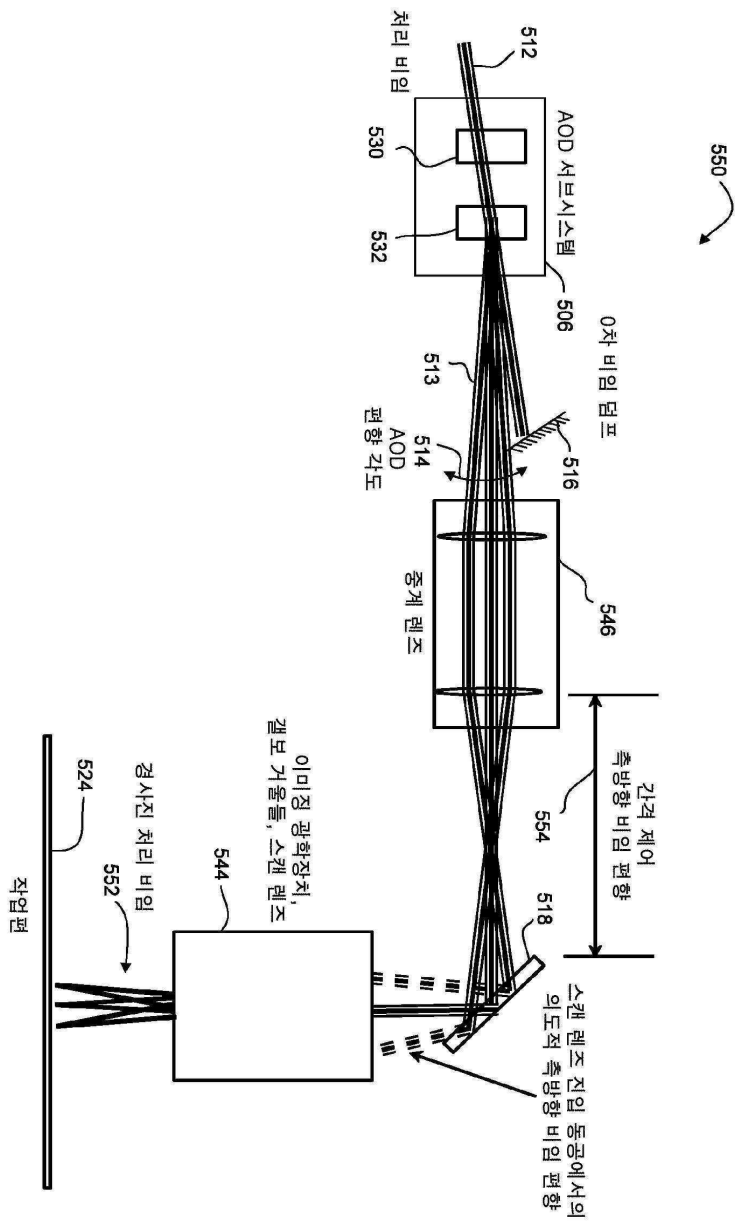
도면5



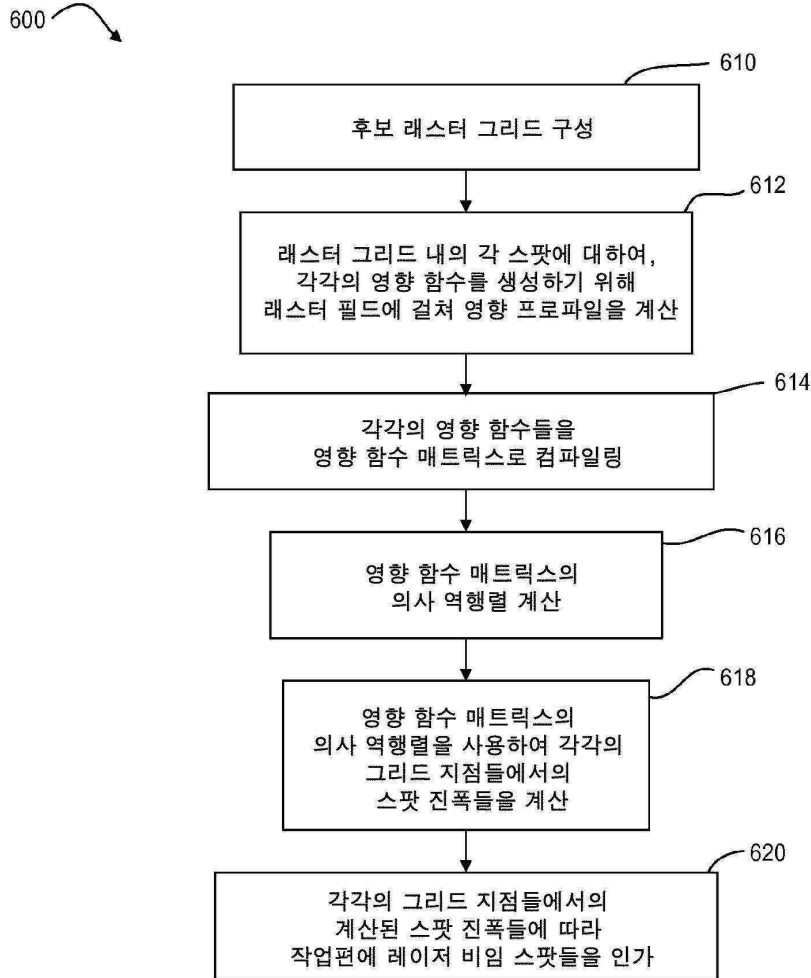
도면5a



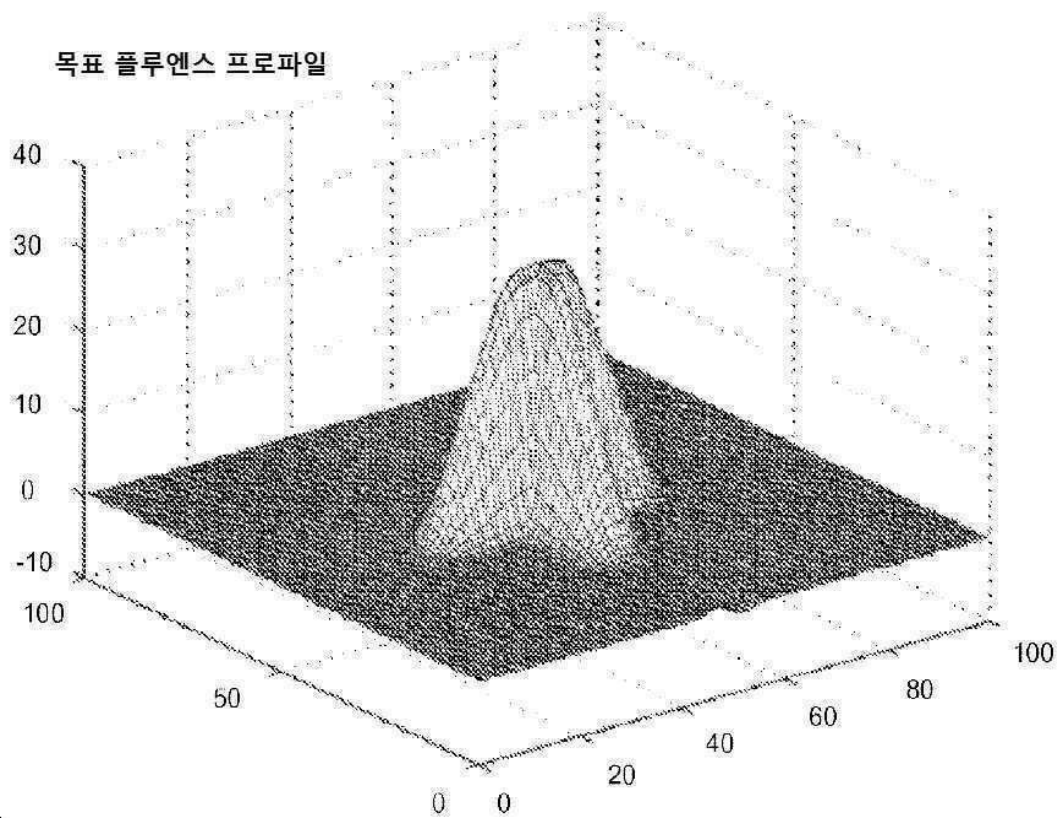
도면5b



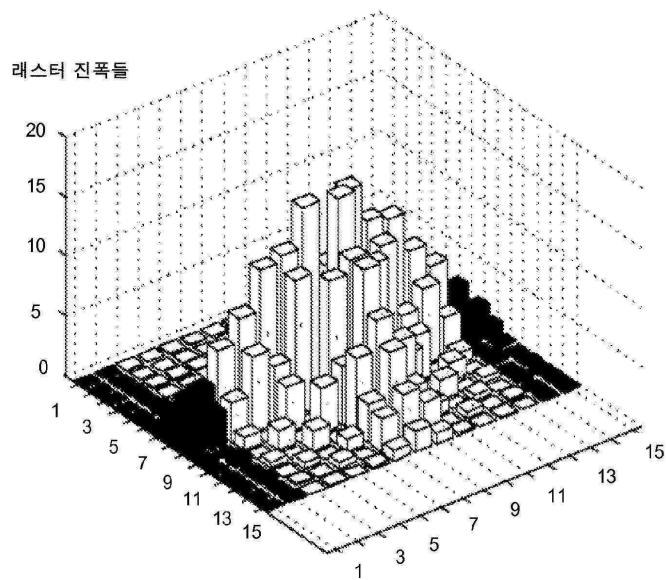
도면6



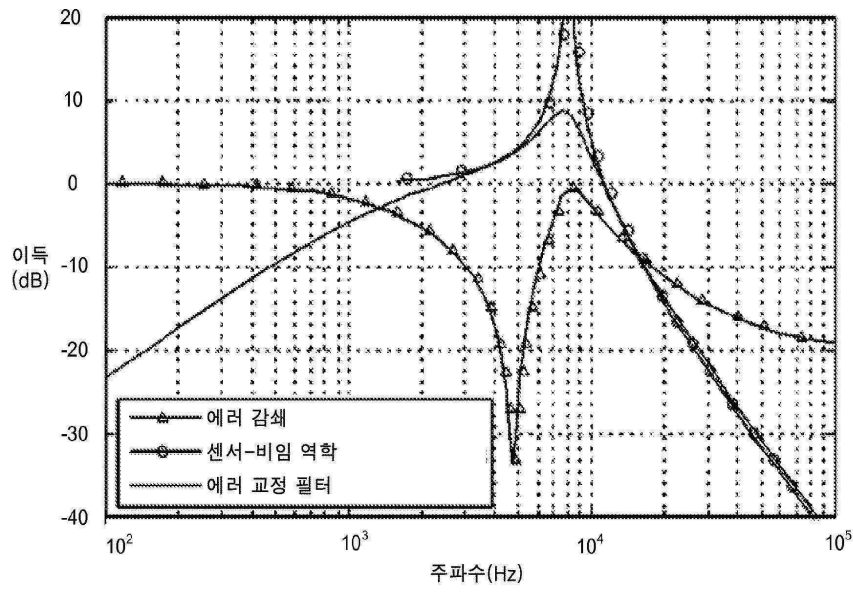
도면7a



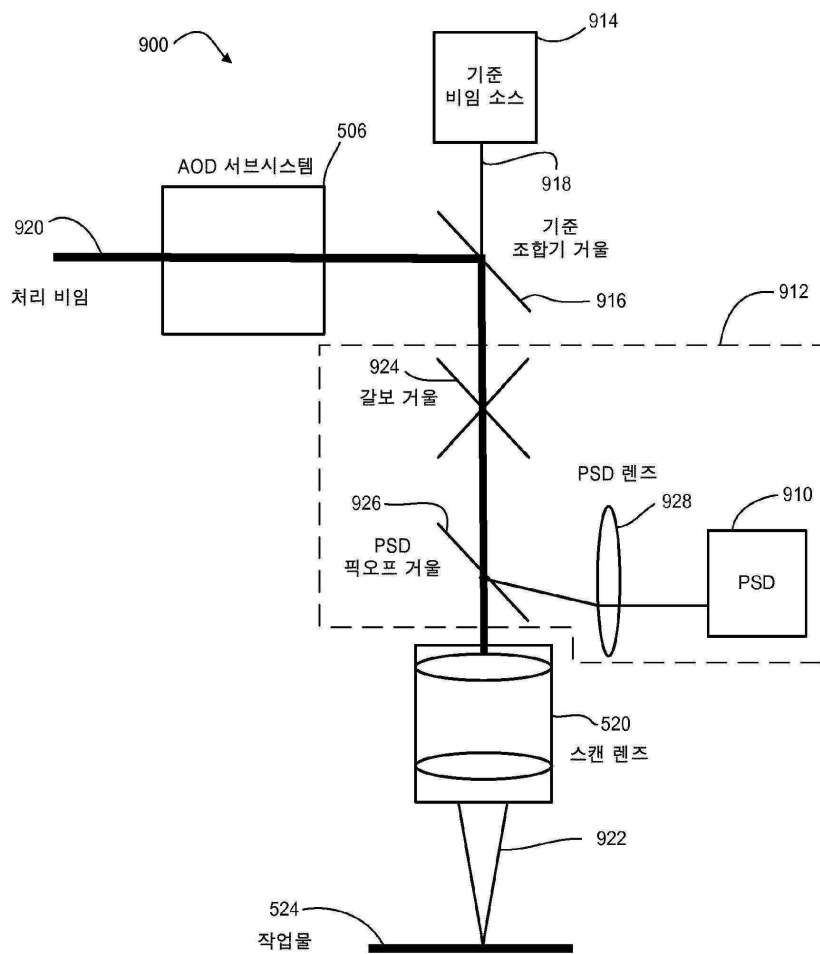
도면7b



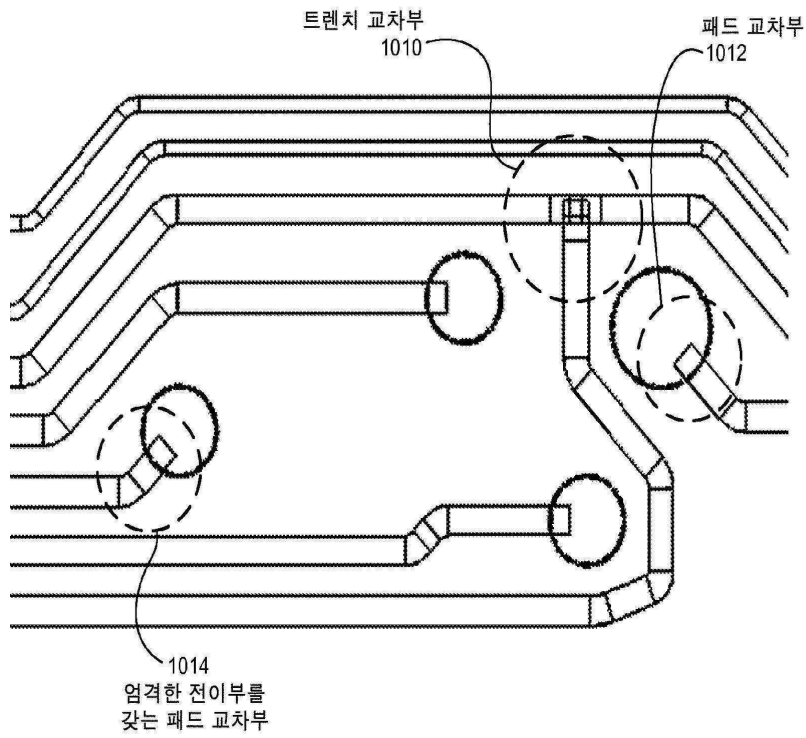
도면8



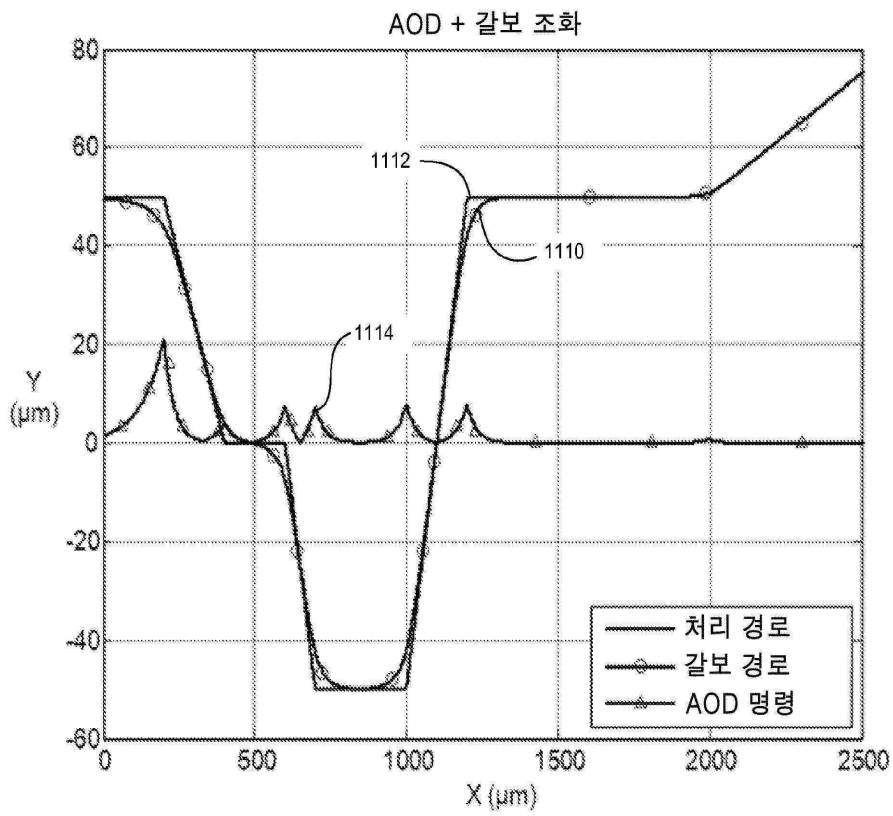
도면9



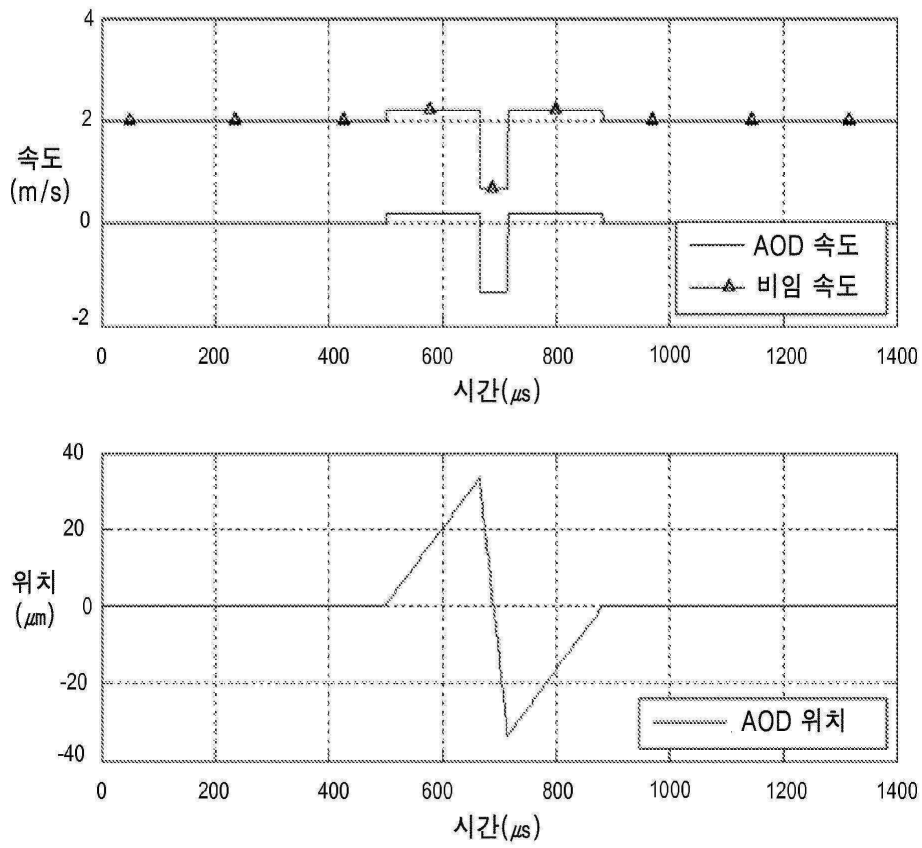
도면10



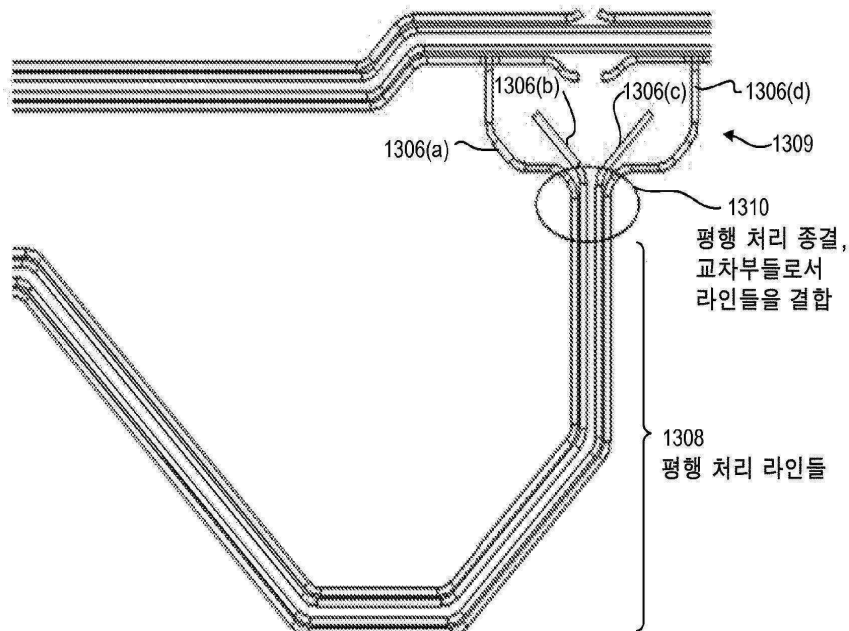
도면11



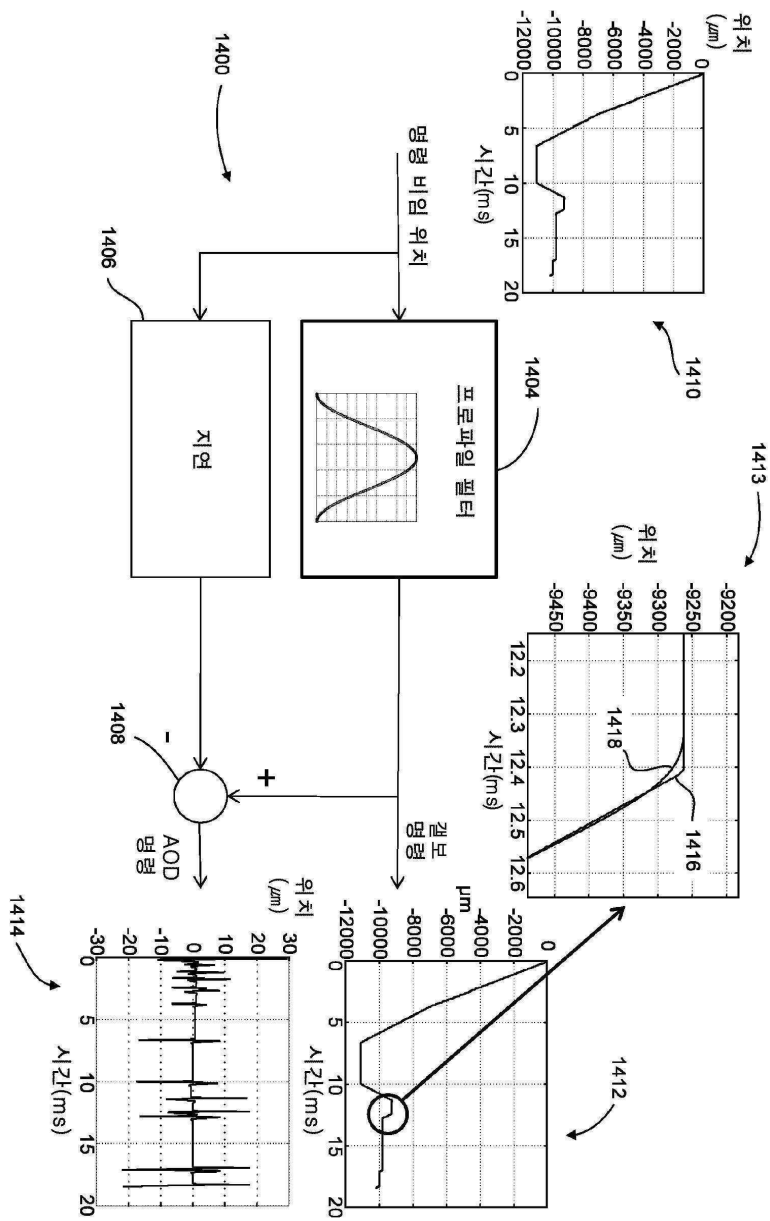
도면12



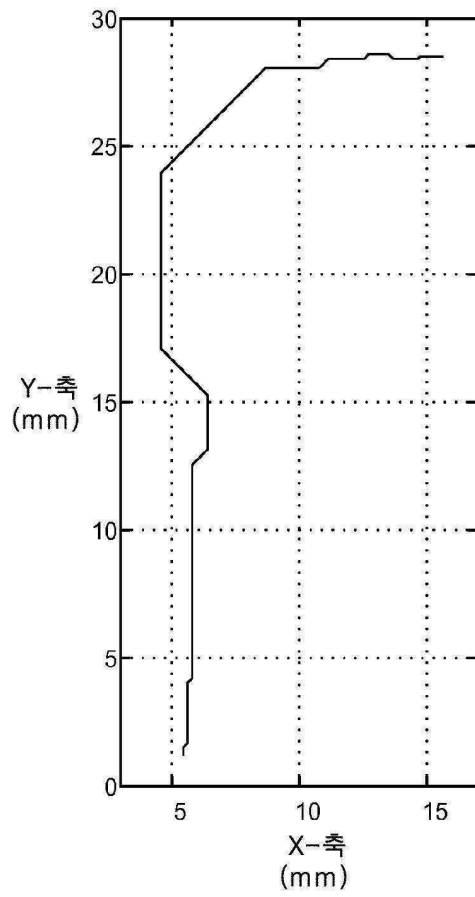
도면13



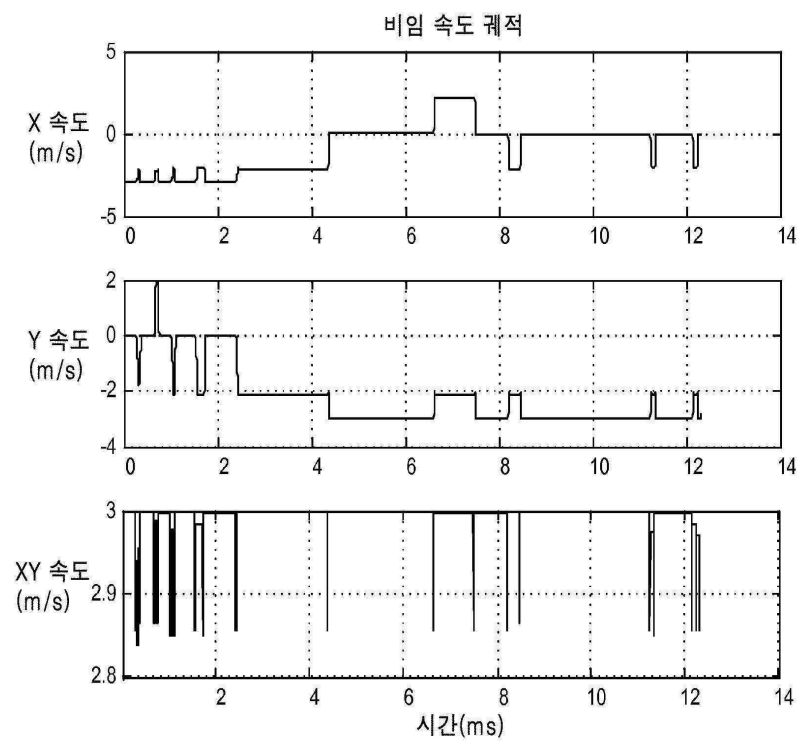
도면14



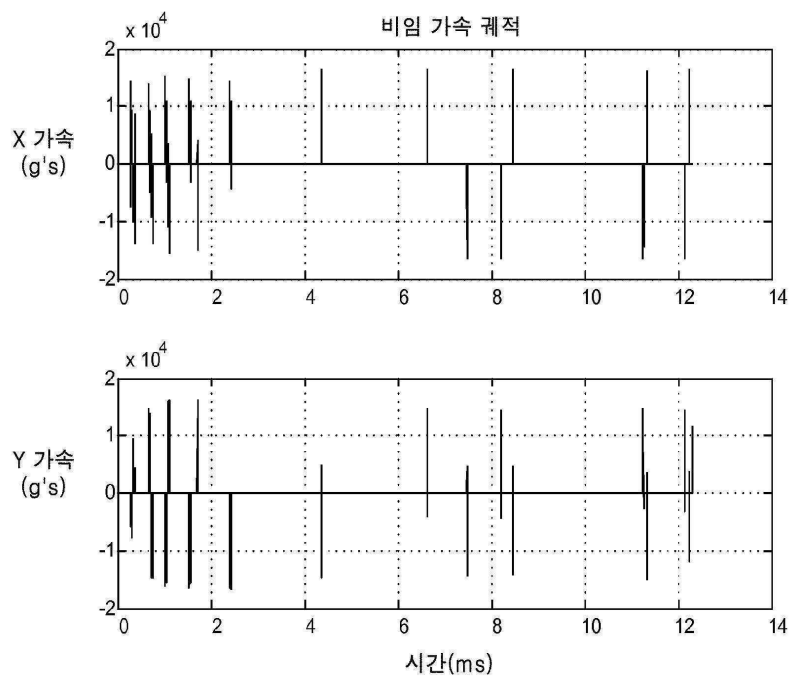
도면15a



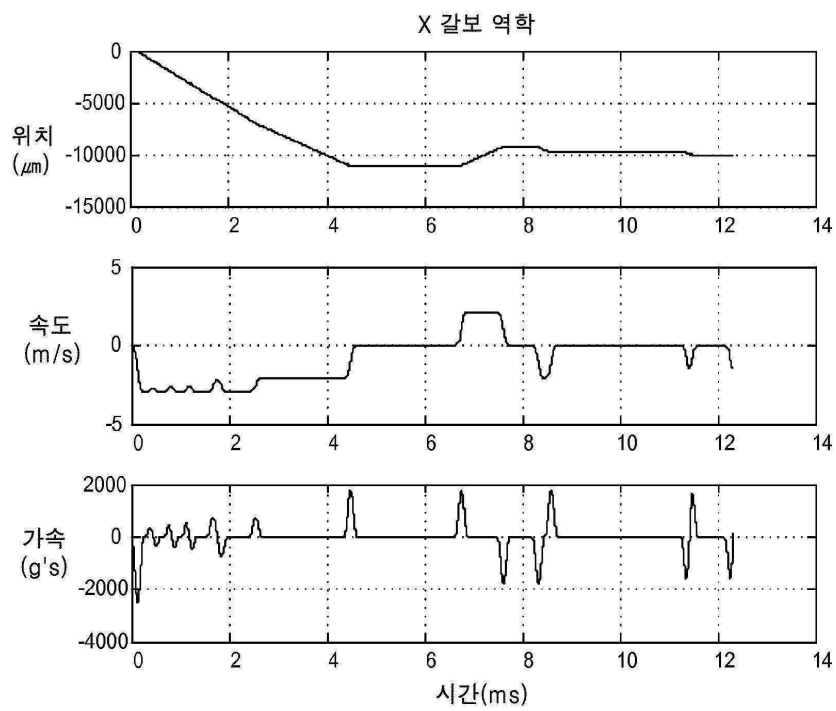
도면15b



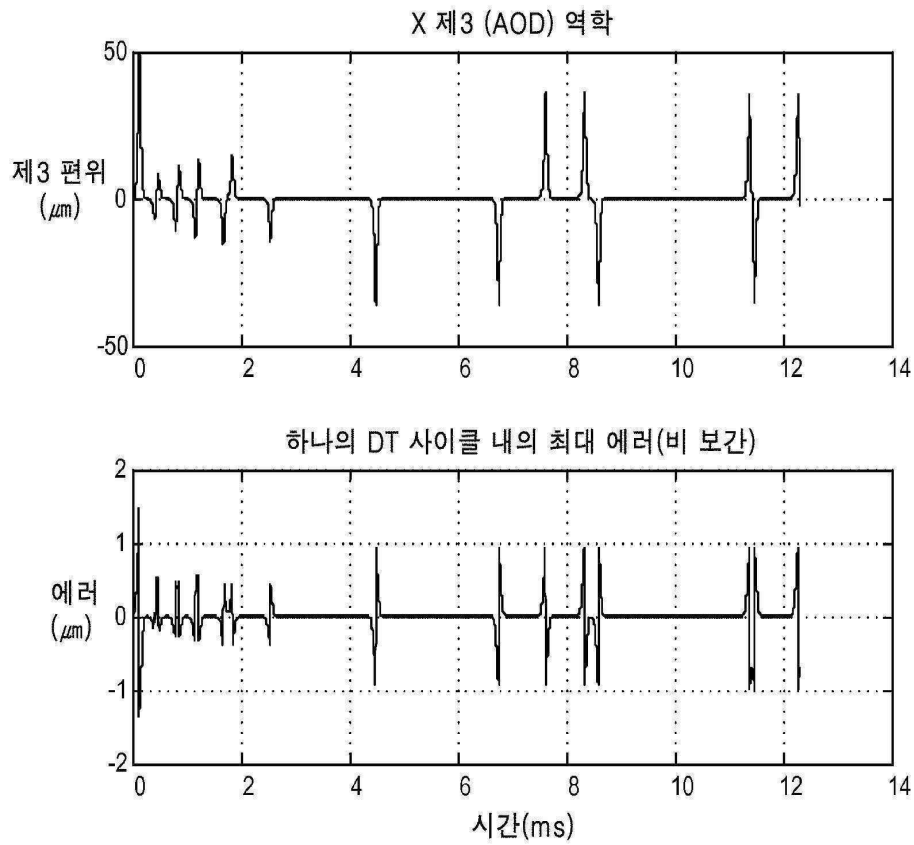
도면15c



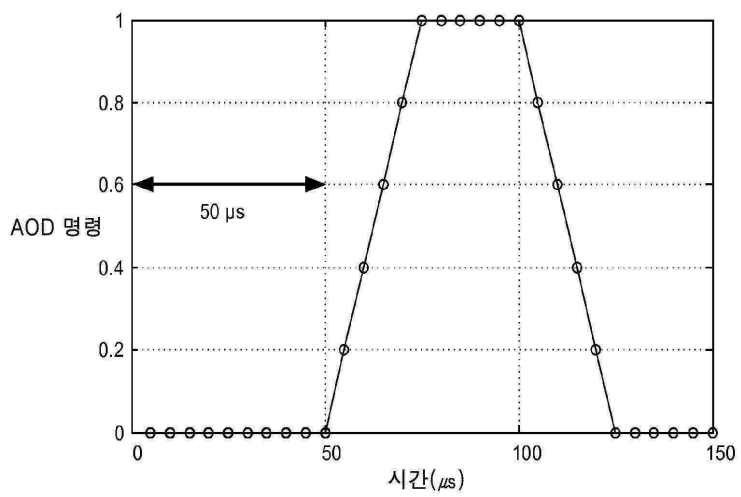
도면15d



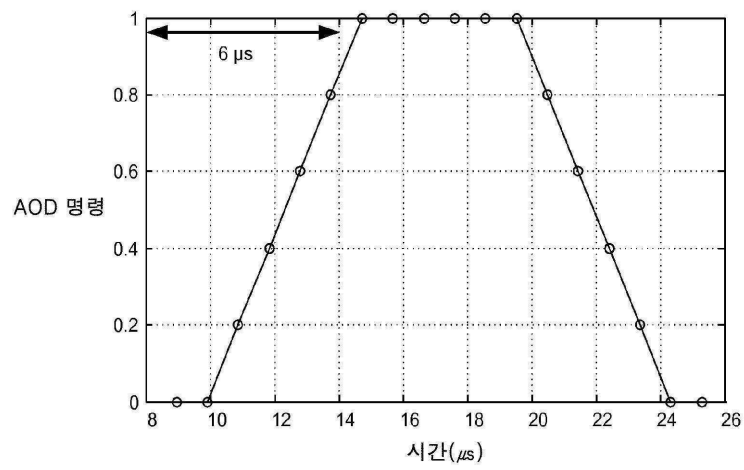
도면15e



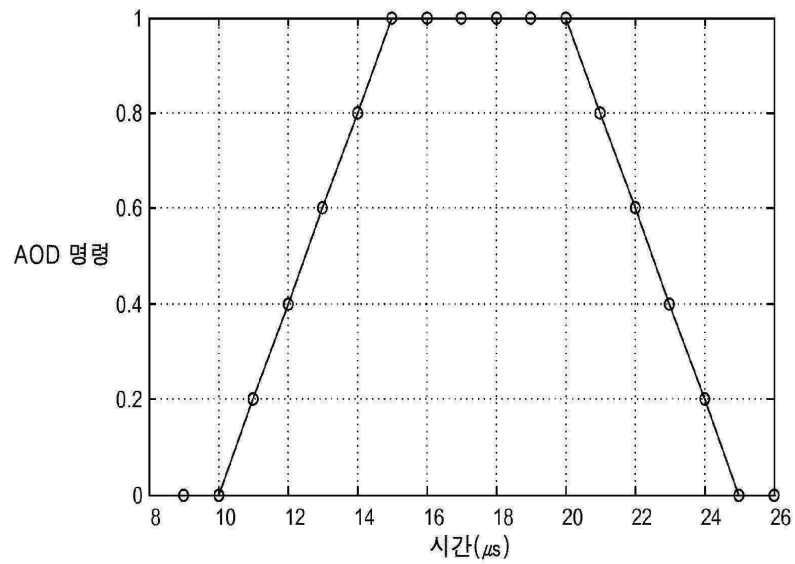
도면16a



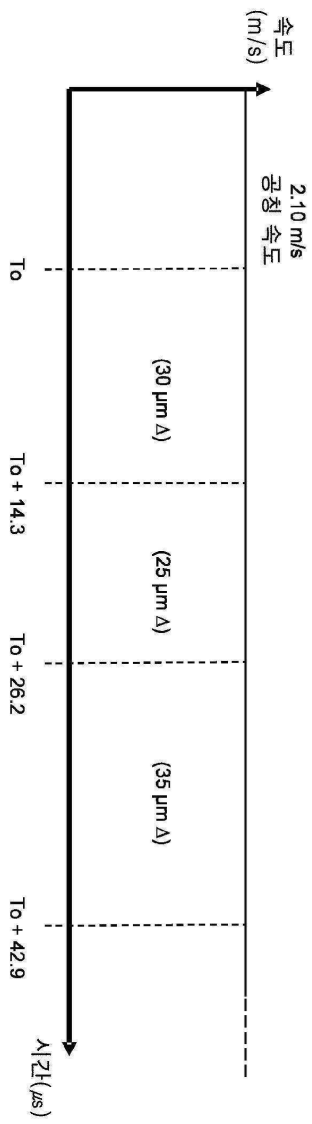
도면16b



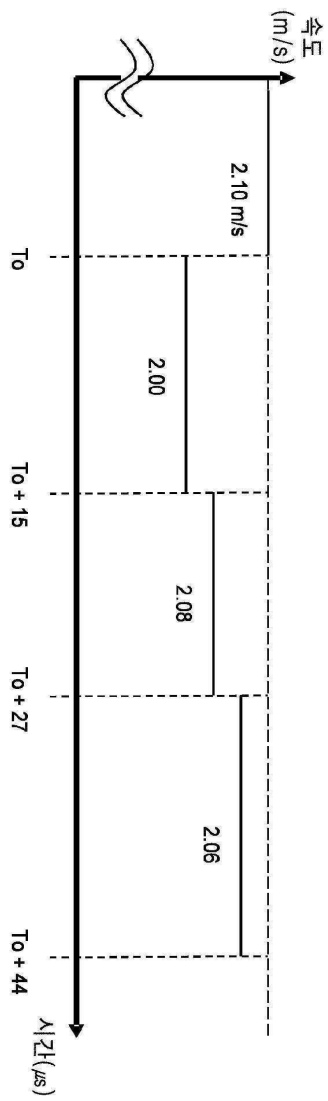
도면16c



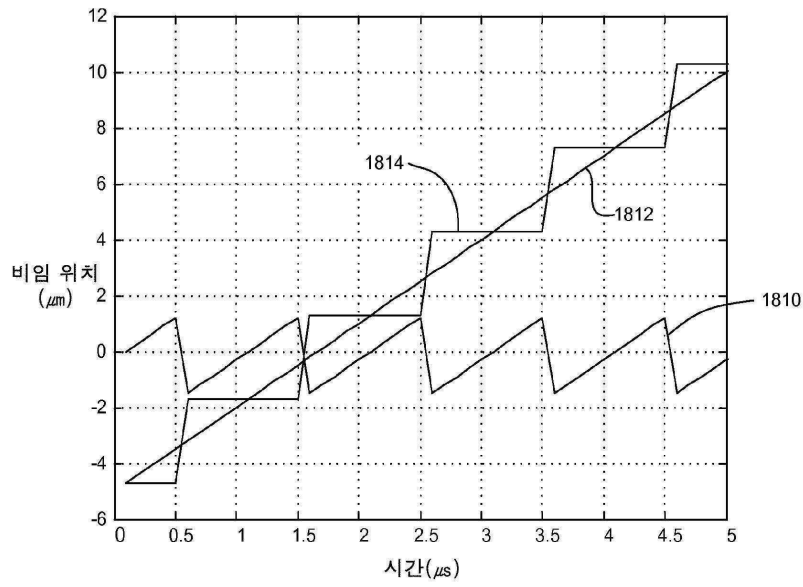
도면17a



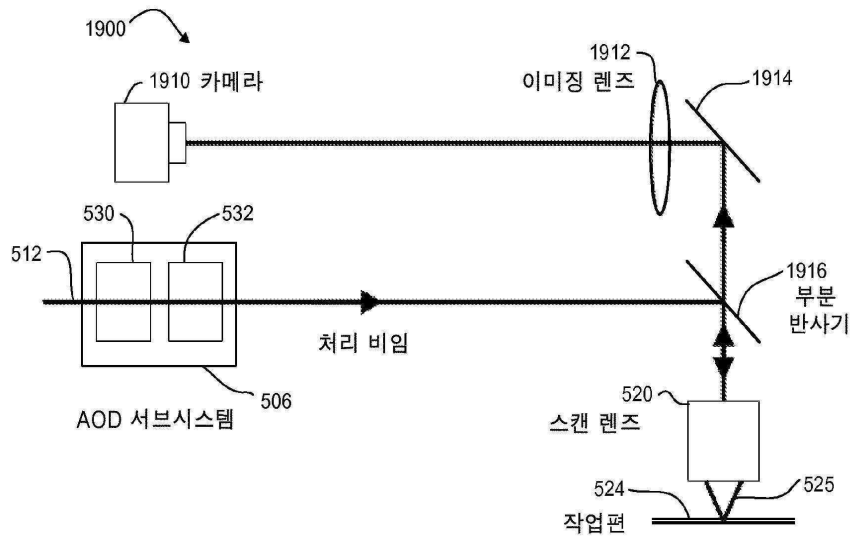
도면17b



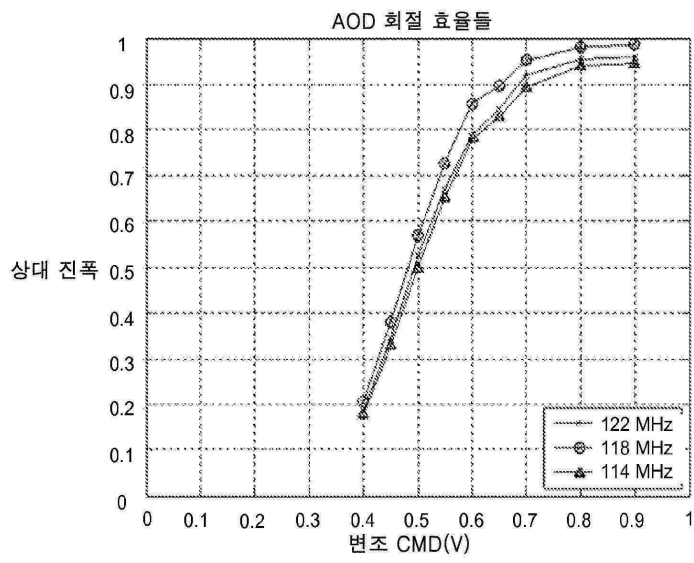
도면18



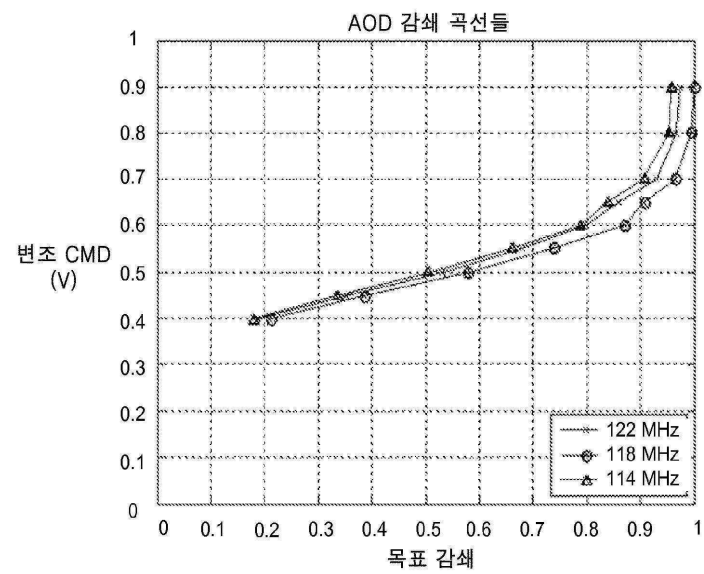
도면19



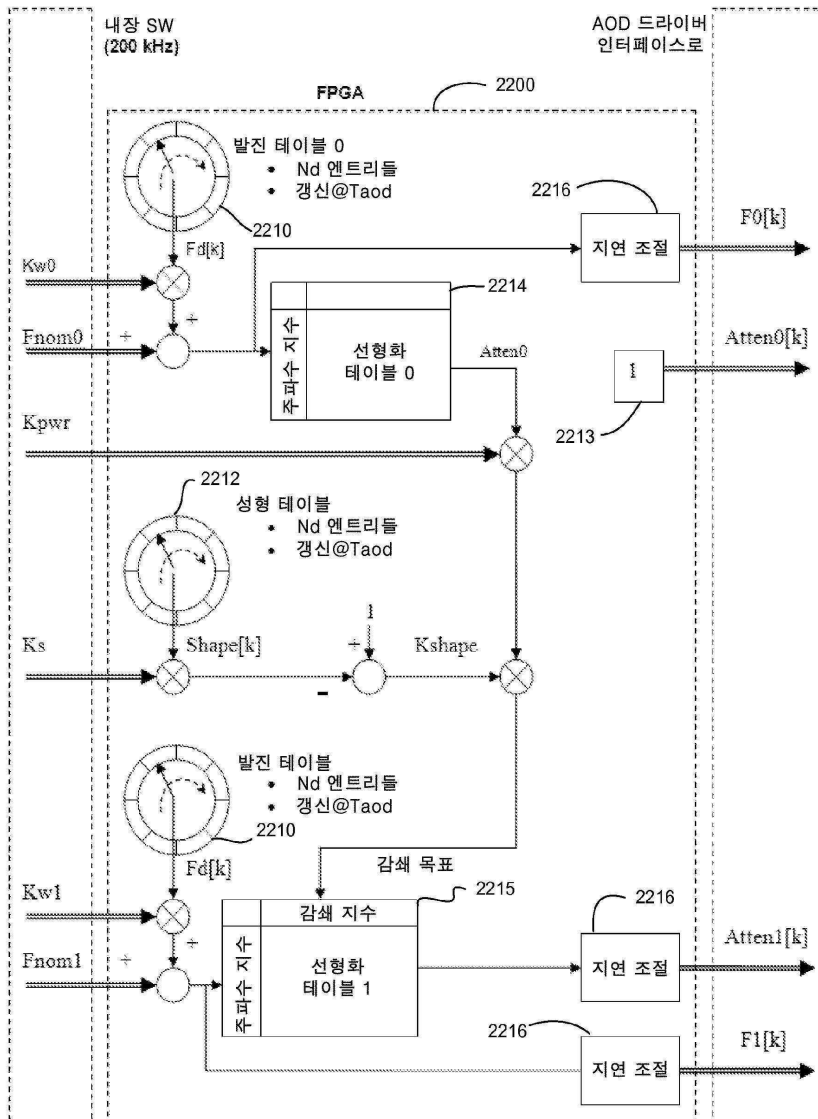
도면20



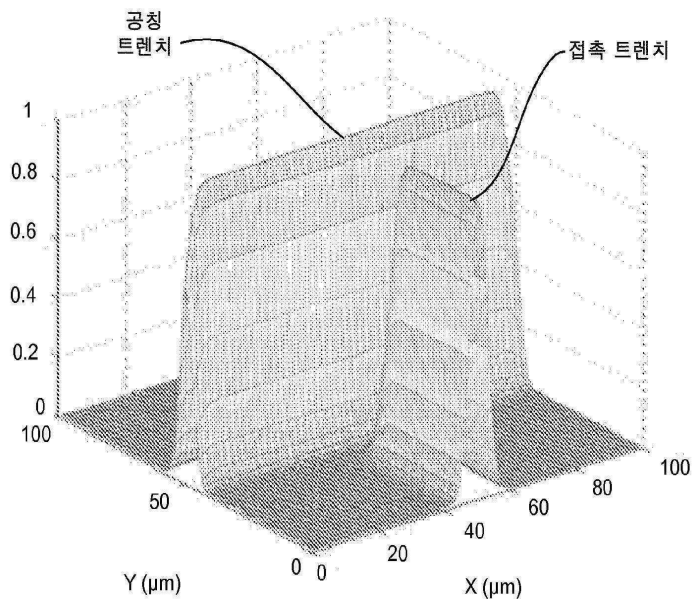
도면21



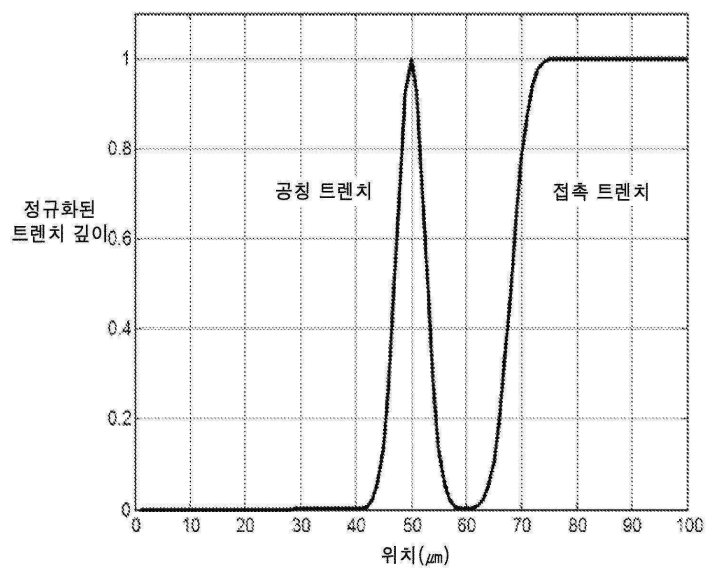
도면22



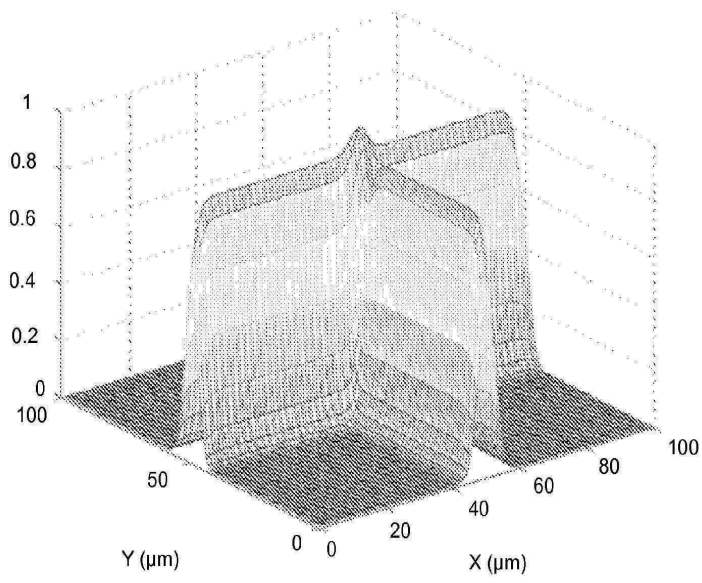
도면23



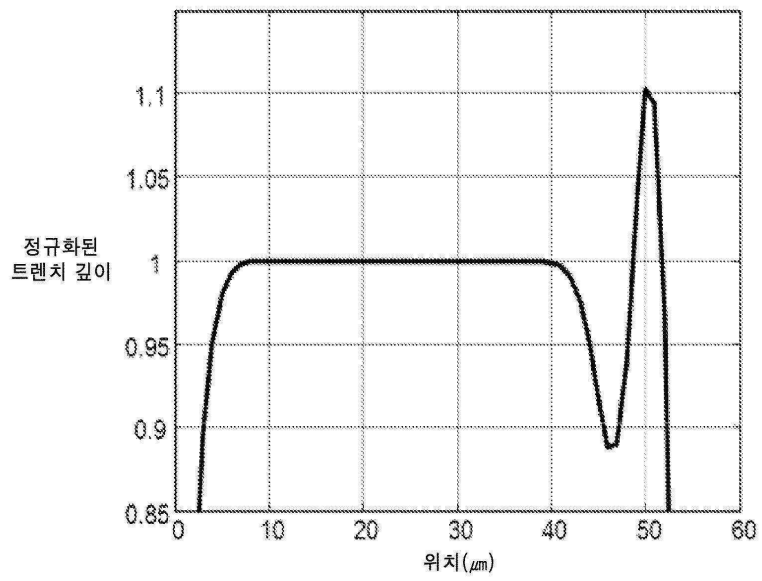
도면24



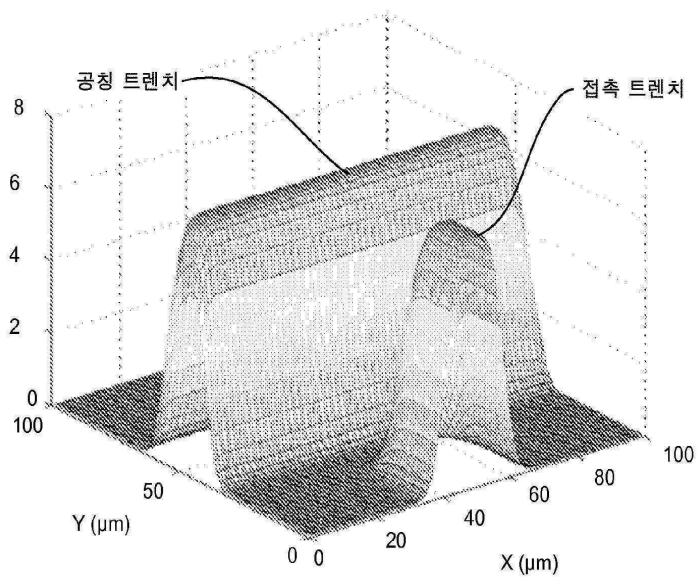
도면25



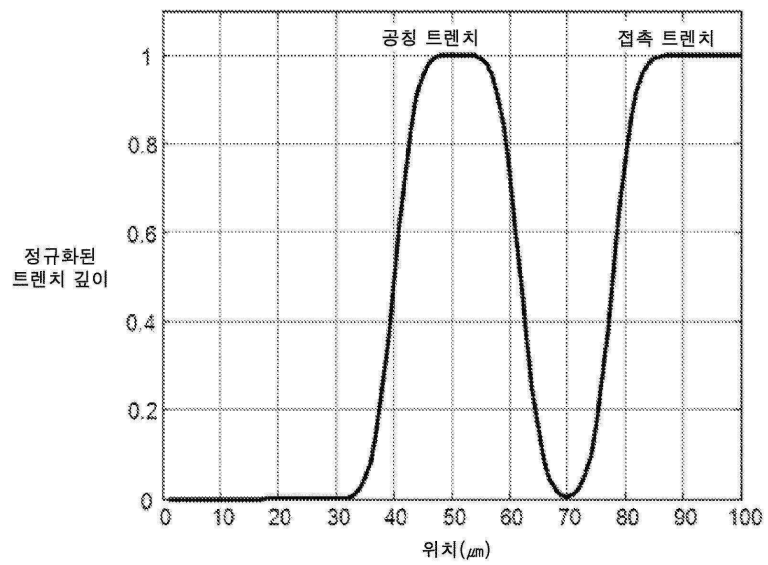
도면26



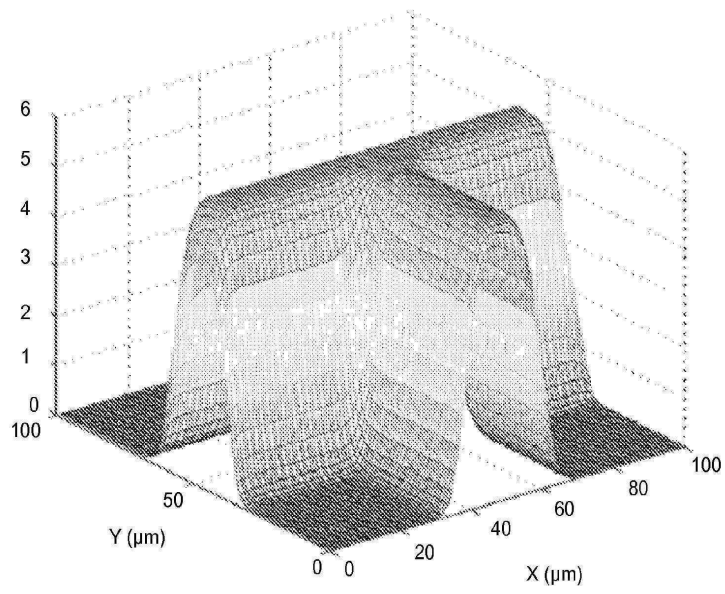
도면27



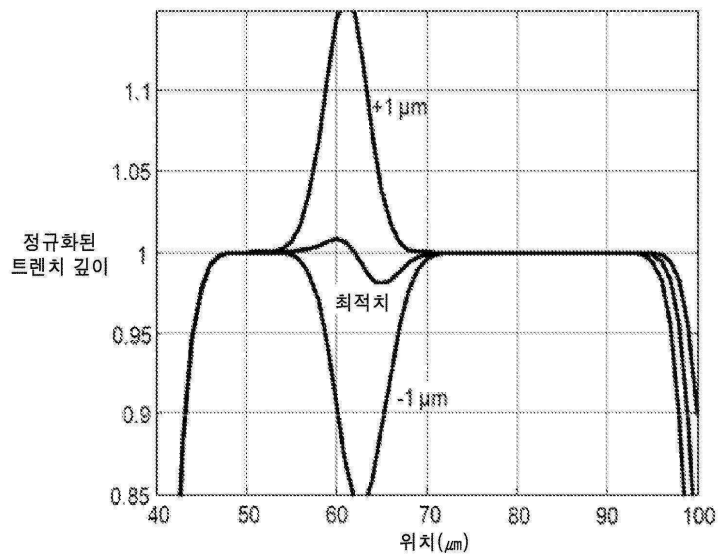
도면28



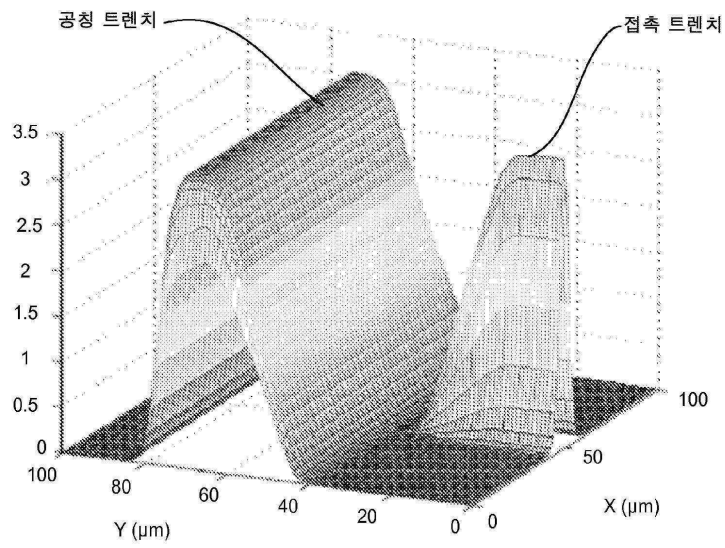
도면29



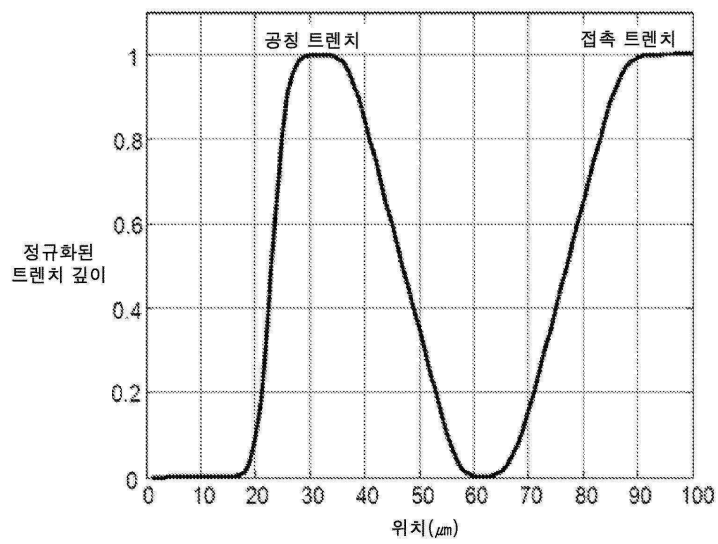
도면30



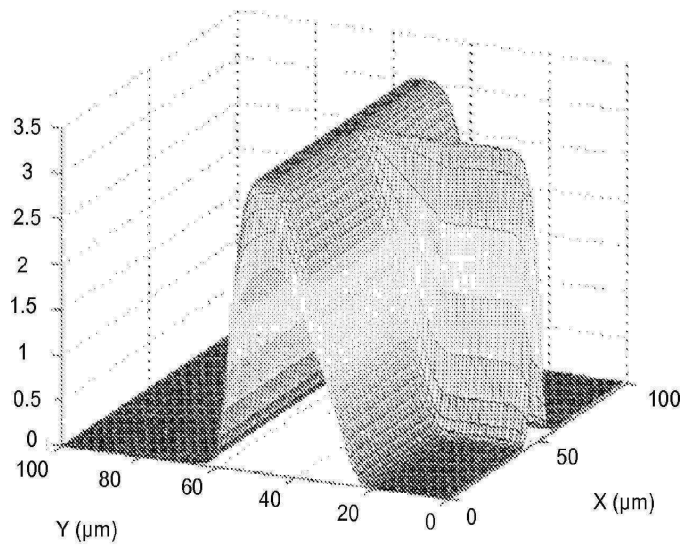
도면31



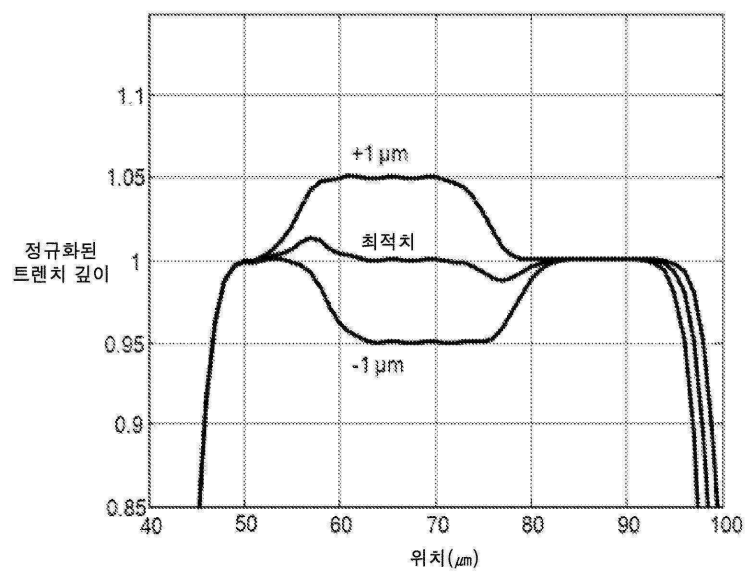
도면32



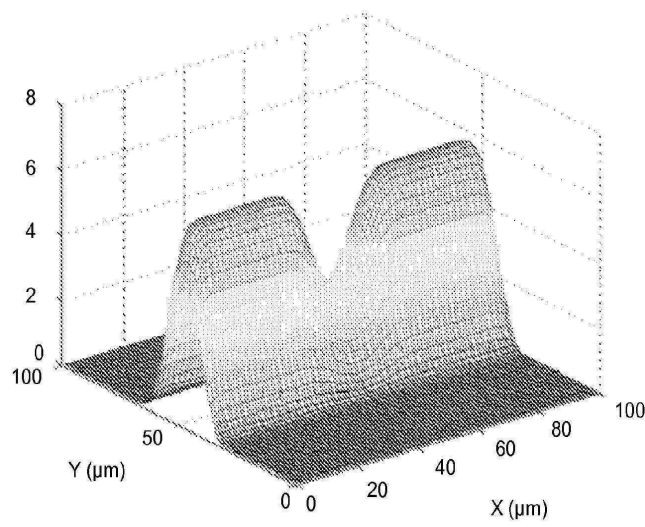
도면33



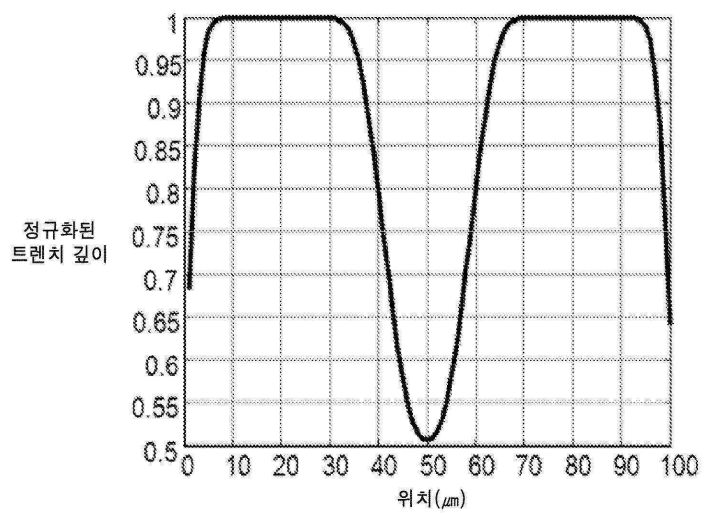
도면34



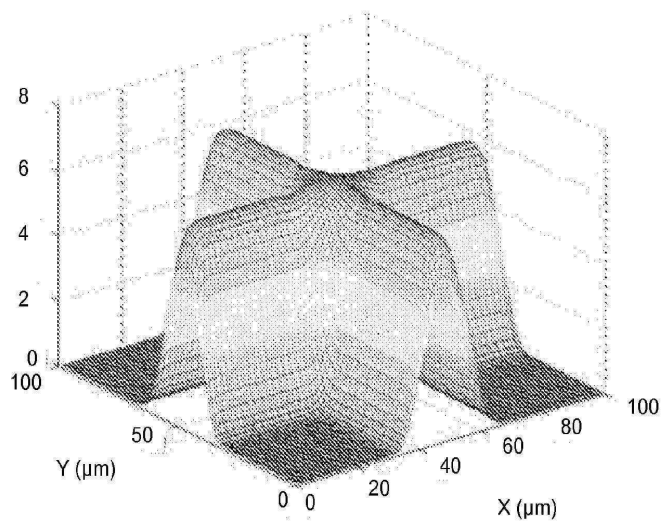
도면35



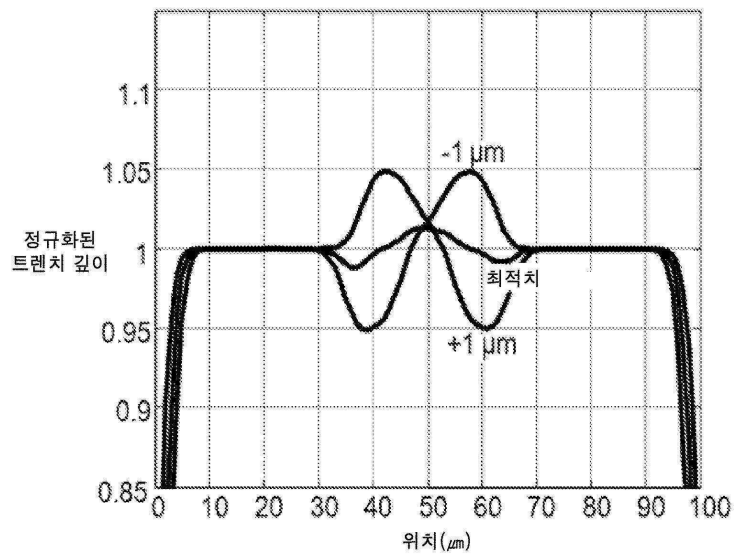
도면36



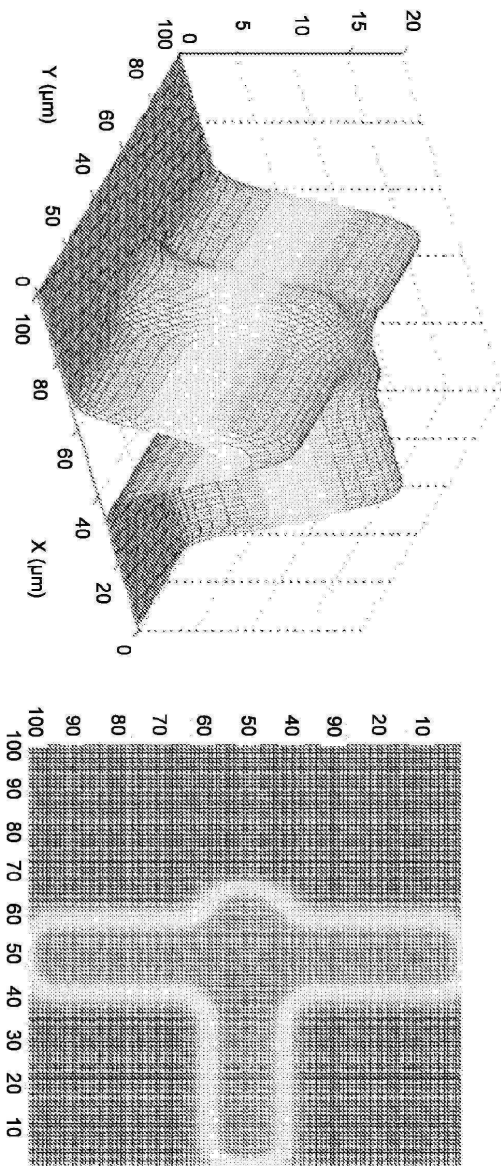
도면37



도면38



도면39



도면40

LDA 라우트 파라미터 프로파일들:교차부

