



등록특허 10-2245810



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월30일
(11) 등록번호 10-2245810
(24) 등록일자 2021년04월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/08 (2014.01) *B23K 26/03* (2014.01)
B23K 26/0622 (2014.01) *B23K 26/36* (2014.01)

(52) CPC특허분류
B23K 26/082 (2015.10)
B23K 26/0344 (2015.10)

(21) 출원번호 10-2015-7022808

(22) 출원일자(국제) 2014년03월14일
심사청구일자 2019년03월13일

(85) 번역문제출일자 2015년08월21일

(65) 공개번호 10-2015-0130277

(43) 공개일자 2015년11월23일

(86) 국제출원번호 PCT/US2014/027275

(87) 국제공개번호 WO 2014/152380
국제공개일자 2014년09월25일

(30) 우선권주장
61/791,361 2013년03월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
KR1020120023828 A*
JP2000351087 A*
JP2012245539 A*

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

(72) 발명자
언拉斯 마크 에이
미국, 오리건 97225, 포트랜드, 에스더블유 66 에비뉴 2840

(74) 대리인
특허법인 광장리앤고

국어습관 884면

특허법의 광장리

특허법

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 우귀애

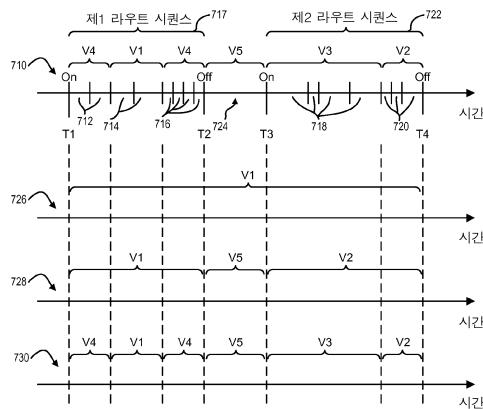
(54) 발명의 명칭 AOD 라우트 프로세싱을 위한 레이저 시스템들 및 방법들

(57) 요약

레이저 시스템들 및 방법들은 레이저 시스템의 동적 제한들을 초과하는 것을 회피하기 위해 라우트들 또는 다른 피처들의 프로세싱 속도를 개선한다. 레이저 프로세싱 시스템은 워크피스 상에서 또는 내에서 처리될 복수의 피처들에 대응하는 레이저 프로세싱 커맨드들을 프로세스 세그먼트들로 분할한다. 레이저 프로세싱 파라미터들 및

(뒷면에 계속)

대표도 - 도7



빔 큐적들은 프로세스 세그먼트들 각각에 대한 최대 프로세싱 속도를 결정하기 위해 시뮬레이션된다. 레이저 프로세싱 시스템은 워크피스 상에서 또는 내에서 복수의 피쳐들을 처리하기 위한 최대 프로세싱 속도들 중 하나 이상을 선택한다. 최대 프로세싱 속도들의 최저 프로세싱 속도는 복수의 피쳐들 각각을 처리하기 위해 사용될 수 있다. 대안적으로, 각각의 연속 라우트 시퀀스는 상이한 프로세싱 속도를 사용하여 처리될 수 있다. 다른 실시예들에서, 각각의 프로세스 세그먼트는 그것의 대응하는 최대 프로세싱 속도를 사용하여 처리된다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/0622 (2015.10)

B23K 26/0853 (2013.01)

B23K 26/36 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

워크피스 상에서 또는 내에서 피쳐를 형성하기 위해 복수의 프로세스 세그먼트들을 처리하기 위한 레이저 프로세싱 장치로서, 상기 레이저 프로세싱 장치는:

레이저 펄스들의 빔을 생성하기 위한 레이저 시스템;

상기 워크피스와 빔 사이의 상대적 이동을 야기시켜서 상기 복수의 프로세스 세그먼트를 따라 상기 빔을 스캐닝하기 위한 위치 결정 시스템 - 상기 위치 결정 시스템은 음향-광학 편향기를 포함함 -; 및

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 제1 프로세스 세그먼트를 따라, 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 상기 제1 프로세스 세그먼트와 다른 제2 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되는 빔 속도와 다른 상기 빔 속도로 스캐닝되도록, 상기 워크피스로 레이저 펄스 시퀀스를 지향시킴으로써 상기 복수의 프로세스 세그먼트를 순차적으로 처리하기 위해 상기 레이저 시스템 및 상기 위치 결정 시스템을 제어하도록 구성되는 컨트롤러를 포함하고,

상기 컨트롤러는:

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 상기 제1 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되는 동안 제1 레이저 펄스가 제1 펄스 반복율로 상기 워크피스로 지향되도록, 제1 레이저 펄스 시퀀스를 상기 워크피스로 지향시키기 위해 상기 레이저 시스템을 제어하고;

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 상기 제2 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되는 동안 제2 레이저 펄스가 제2 펄스 반복율로 상기 워크피스로 지향되도록, 제2 레이저 펄스 시퀀스를 상기 워크피스로 지향시키기 위해 상기 레이저 시스템을 제어하고; 그리고

상기 제1 펄스 반복율로 상기 워크피스로 향하는 상기 제1 레이저 펄스 시퀀스가 상기 제2 펄스 반복율로 상기 워크피스로 향하는 상기 제2 레이저 펄스 시퀀스와 동일한 펄스 에너지를 갖도록 상기 레이저 펄스 시퀀스를 송신하기 위한 상기 음향-광학 편향기를 제어하도록 더 구성되고,

상기 제1 펄스 반복율은 상기 제2 펄스 반복율과 다르고,

상기 제1 프로세스 세그먼트와 상기 제2 프로세스 세그먼트 사이의 경계 종점은 베틀리를 고려하여 시간상(in time) 시프트되며, 상기 베틀리는 상기 제2 프로세스 세그먼트와 연관되는 펄스 기간의 절반인, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 위치 결정 시스템은 갈바노미터-기반 미러를 더 포함하는, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 위치 결정 시스템은 상기 워크피스를 움직이도록 구성되는 스테이지를 포함하는, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 7

워크피스 상에서 또는 내에서 피쳐를 형성하기 위해 복수의 프로세스 세그먼트들을 처리하기 위한 레이저 프로세싱 장치로서, 상기 레이저 프로세싱 장치는:

레이저 펄스의 빔을 생성하기 위한 레이저 시스템;

상기 빔과 상기 워크피스 사이의 상대 운동을 야기시켜서 상기 복수의 프로세스 세그먼트를 따라 상기 빔을 스캐닝하기 위한 위치 결정 시스템; 및

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 제2 프로세스 세그먼트와 다른 빔 속도로 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 제1 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되도록, 레이저 펄스 시퀀스를 상기 워크피스로 지향함으로써 상기 복수의 프로세스 세그먼트를 순차적으로 처리하기 위해 상기 레이저 시스템 및 상기 위치 결정 시스템을 제어하도록 구성되는 컨트롤러를 포함하고,

상기 위치 결정 시스템은 음향-광학 편향기를 포함하고,

상기 컨트롤러는:

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 제1 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되는 동안, 제1 펄스 에너지를 가지는 제1 레이저 펄스들이 상기 워크피스로 지향되도록 제1 레이저 펄스 시퀀스를 송신하기 위해 상기 음향-광학 편향기를 제어하고; 그리고

상기 빔이 상기 복수의 프로세스 세그먼트 중 제2 프로세스 세그먼트를 따라 스캐닝되는 동안, 제2 펄스 에너지를 가지는 제2 레이저 펄스들이 상기 워크피스로 지향되도록 제2 레이저 펄스의 시퀀스를 송신하기 위해 상기 음향-광학 편향기를 제어하고,

상기 제1 펄스 에너지는 상기 제2 펄스 에너지와 상이하고,

상기 제1 프로세스 세그먼트와 상기 제2 프로세스 세그먼트 사이의 경계 종점은 버퍼를 고려하여 시간상(in time) 시프트되며, 상기 버퍼는 상기 제2 프로세스 세그먼트와 연관되는 펄스 기간의 절반인, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 컨트롤러는 상기 제1 펄스 에너지를 가지는 상기 제1 레이저 펄스들이 상기 제2 펄스 에너지를 가지는 상기 제2 레이저 펄스들과 같은 펄스 반복율로 상기 워크피스로 지향되도록, 상기 레이저 펄스 시퀀스를 상기 워크피스로 지향하기 위해 상기 레이저 시스템을 제어하도록 구성되는, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 9

제 7 항에 있어서, 상기 위치 결정 시스템은 갈바노미터-기반 미러를 더 포함하는, 레이저 프로세싱 장치.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

발명의 설명

기술 분야

관련 출원

[0002] 본 출원은 2013년 3월 15일에 출원된 미국 임시 출원 제61/791,361호의 35 U.S.C. § 119(e) 하의 이득을 주장하며, 이는 이로써 본 명세서에서 전체적으로 참고문헌으로 통합된다.

[0003] 본 발명은 일반적으로 레이저 프로세싱 장치들 및 이를 이용한 워크피스들을 처리하는 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 워크피스의 하나 이상의 재료들 내에서 피쳐들(예를 들어, 관통 비아들, 블라인드 비아들, 트렌치들, 라우트들, 커프들, 및 다른 피쳐들)의 레이저 프로세싱은 레이저 파워, 펄스 반복 주파수(PRF), 펄스 에너지, 펄스 폭, 바이트 사이즈, 및 다른 파라미터들과 같은 파라미터들을 사용하여 처리될 수 있다. 많은 레이저 프로세싱 응용들에서, 피쳐가 형성되는 속도 또는 효율, 및 궁극적으로 형성된 피쳐의 품질은 그러한 프로세싱 파라미터들에 매우 민감할 수 있다.

[0005] 복합 모션 레이저 프로세싱 기계 내의 예시적 응용은 “라우트(rout)” 피쳐들: 순차 선형 또는 원형 아크(arc) 세그먼트들로 구성되는 레이저 커트 라인들의 프로세싱이다. 종래에, 그러한 프로세싱은 바람직한 궤적을 따라 일정 속도로 프로세스 범을 이동시킴으로써 달성된다. 주어진 레이저 파워 및 PRF에 대해, 이것은 일관된 플루언스(fluence) 및 바이트 사이즈를 피삭면에 제공한다.

[0006] 그러나, 라우트들을 프로세싱할 때 복합 모션 시스템의 동적 제한들(예를 들어, 선형 스테이지 가속도 또는 속도, 또는 갈보 스캔 필드)을 초과하는 것이 가능하다. 임의의 라우트 속도들에 대해, 예를 들어 방향을 반전시키는 라우트는 시스템의 능력을 넘어 피크 선형 스테이지 가속도를 용이하게 생성할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 실시예들은 본 명세서에 설명되는 예들로서, 워크피스에서 위에 논의된 제한들 및 레이저 프로세싱 라우트들(routs) 및 다른 피쳐들의 종래의 방법들과 연관된 다른 제한들을 처리한다. 임의의 실시예들은 레이저 시스템의 동적 제한들을 초과하는 것을 회피하기 위해 라우트들 또는 다른 피쳐들의 프로세싱 속도를 최적화하거나 개선한다.

과제의 해결 수단

[0008] 일 실시예에서, 레이저 프로세싱 시스템은 워크피스 상에서 또는 내에서 처리될 복수의 피쳐들에 대응하는 레이저 프로세싱 커맨드들을 프로세스 세그먼트들로 분할한다. 레이저 프로세싱 파라미터들 및 범 궤적들은 프로세스 세그먼트들 각각에 대한 최대 프로세싱 속도를 결정하기 위해 시뮬레이션된다. 레이저 프로세싱 시스템은 워크피스 상에서 또는 내에서 복수의 피쳐들을 처리하기 위한 최대 프로세싱 속도 중 하나 이상을 선택한다.

[0009] 일 실시예에서, 최대 프로세싱 속도들의 최저 프로세싱 속도는 복수의 피쳐들 각각을 처리하기 위해 사용된다. 다른 실시예에서, 각각의 연속 라우트 시퀀스는 상이한 프로세싱 속도를 사용하여 처리된다. 다른

실시예들에서, 각각의 프로세스 세그먼트는 그것의 대응하는 최대 프로세싱 속도를 사용하여 처리된다.

[0010] 추가 측면들 및 장점들은 바람직한 실시예들의 이하의 상세한 설명으로부터 분명할 것이며, 이는 첨부 도면들을 참조하여 진행된다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 프로세싱 장치를 개략적으로 예시한다.

도 2는 도 1에 도시된 장치의 다양한 컴포넌트들 또는 시스템들과 연관되는 스캔 필드들을 개략적으로 예시한다.

도 3 및 도 4는 본 발명의 임의의 실시예들에 따른, 워크피스에 대해 범위를 스캐닝함으로써 생성되는 스포트들의 패턴들을 그래프로 예시한다.

도 5는 도 4에 도시된 스포트들의 패턴을 형성하는 프로세스의 일 실시예를 개략적으로 예시하는 차트이다.

도 6은 임의의 실시예들에 따른 프로세스 세그먼트들로 분할되는 복수의 라우트 시퀀스들을 개략적으로 예시한다.

도 7은 다양한 실시예들에 따른 대응하는 라우트 시퀀스들의 복수의 프로세스 세그먼트들에 대한 선택된 속도들의 예시적 시간 그래프들을 개략적으로 예시한다.

도 8은 일 실시예에 따른 상이한 펄스 기간들 또는 펄스 반복 주파수들과 연관되는 순차 프로세스 세그먼트들에 걸쳐 펄스 동기화를 개략적으로 예시한다.

도 9는 일 실시예에 따른 AOD 지연 타이밍 조정을 개략적으로 예시한다.

도 10은 일 실시예에 따른 진폭 커맨드 데이터 스트림을 그래프로 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 예시적 실시예들은 첨부 도면들을 참조하여 아래에 설명된다. 많은 상이한 형태들 및 실시예들은 본 발명의 사상 및 교시들에서 벗어나는 것 없이 가능하므로 본 발명은 본 명세서에 진술되는 예시적 실시예들에 제한되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 오히려, 이러한 예시적 실시예들은 본 발명이 철저하고 완전하도록 제공되고, 본 발명의 범위를 당해 기술에서 통상의 기술자에게 전달할 것이다. 도면들에서, 컴포넌트들의 크기들 및 상대 크기들은 명확성을 위해 과장될 수 있다. 본 발명에 사용된 용어는 특정한 예시적 실시예들만을 설명하는 목적을 위한 것이고 제한하도록 의도되지 않는다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수 형태들 "한", "하나" 및 "상기"는 맥락이 분명히 다르게 지시되지 않으면, 복수 형태들을 또한 포함하도록 의도된다. 용어들 "포함한다" 및 /또는 "포함하는"은 본 명세서에 사용될 때, 서술된 피처들, 정수들, 단계들, 동작들, 엘리먼트들 및/또는 컴포넌트들의 존재를 지정하지만, 하나 이상의 다른 피처들, 정수들, 단계들, 동작들, 엘리먼트들, 컴포넌트들 및/또는 그것의 그룹들의 존재 또는 부가를 못하게 하지 않는다는 점이 더 이해될 것이다. 달리 지정되지 않으면, 값들의 범위는 열거될 때 범위의 상한 및 하한 둘 다 뿐만 아니라, 그 사이의 임의의 부범위들을 포함한다.

[0013] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 펄스 반복 주파수 또는 "PRF"은 그것의 반대, 펄스 기간(PP) 또는 펄스 간 기간(IPP)에 의해 지정될 수 있다. 전형적으로, 기계 사용자들은 PRF를 언급하지만, 전력 제어 또는 다른 구현은 펄스 기간을 지정할 수 있다. 따라서, 2개의 용어들은 적절한 곳에서 이러한 논의에 교환가능하게 사용된다.

I. 예시적 시스템 개요

[0015] 도 1을 참조하면, 레이저 프로세싱 장치(100)는 워크피스(102)에 충돌하기 위해 경로(P)를 따라 레이저 펄스들의 범위(105)를 지향시킴으로써 워크피스(102)의 하나 이상의 재료들 내에 라우트들 및 다른 피처들(예를 들어, 관통 비아들, 블라인드 비아들, 트렌치들, 및 커프들(kerfs))을 형성하도록 구성된다. 피처들은 라우팅 액션 및 /또는 다른 툴링(tooling) 액션들(예를 들어, 충격 드릴링 액션, 트레판(trepan) 드릴링 액션, 스카이빙(skiving) 액션, 및 커팅 액션)을 수행하기 위해 레이저 프로세싱 장치(100)를 제어함으로써 형성될 수 있으며, 각각의 툴링 액션은 하나 이상의 단계들을 포함할 수 있다. 예시된 바와 같이, 레이저 프로세싱 장치(100)는 레이저 시스템(104), 척(106), 워크피스 위치 결정 시스템(108), 범위 결정 시스템(110), 및 범위 변조 시스템(112)을 포함할 수 있다. 예시되지 않지만, 레이저 프로세싱 장치(100)는 경로(P)를 따르는 임의의 지점에서 레

이저의 빔(105)을 형상화, 확장, 포커싱, 반사, 및/또는 조준하도록 구성되는 하나 이상의 보충 시스템들(예를 들어, 옵틱스, 미러들, 빔 스플리터들, 빔 확장기들, 및/또는 빔 콜리메이터들)을 더 포함할 수 있다. 일 실시 예에서, 하나 이상의 보충 시스템들의 한 세트는 “옵틱스 트레인(optics train)”으로 언급될 수 있다.

[0016] 일 실시예에서, 워크피스 위치 결정 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110), 및 빔 변조 시스템(112) 중 하나 이상 또는 전부에 대한 동작은 레이저 펄스들의 빔(105)이 워크피스(102)에 충돌하는 위치(즉, 워크피스(102)에 대한 빔 위치)를 변화시키기 위해 제어될 수 있다. 게다가, 또는 다른 실시예들에서, 워크피스 위치 결정 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110), 및 빔 변조 시스템(112) 중 하나 이상 또는 전부에 대한 동작은 빔 위치가 워크피스(102)에 대해 변화하는 속도 및/또는 가속도를 변화시키기 위해 제어될 수 있다.

[0017] 레이저 시스템(104)은 레이저 펄스들의 빔(105)을 생성하도록 구성될 수 있다. 빔(105) 내의 레이저 펄스들은 예를 들어 적외선의(infrared), 가시적인(visible), 또는 자외선의 스펙트럼들 내의 파장을 가질 수 있다. 예를 들어, 빔(105) 내의 레이저 펄스들은 1064 nm, 532 nm, 355 nm, 266 nm 등과 같은 파장을 가질 수 있다. 빔(105) 내의 레이저 펄스들은 일반적으로 범위가 대략 20 kHz에서 대략 2000 kHz까지 이르는 PRF에서 생성될 수 있다. 그러나, PRF는 20 kHz보다 더 작거나 2000 kHz보다 더 클 수 있다는 점이 이해될 것이다. 예를 들어, 모드 잠금(mode-locked) 레이저는 200 MHz에 달할 수 있다.

[0018] 척(106)은 워크피스(102)를 적절히 또는 유익하게 지지할 수 있는 임의의 척으로 제공될 수 있다. 일 실시예에서, 척(106)은 전공 척, 정전(electrostatic) 척, 기계 척 등 또는 그것의 조합으로 제공될 수 있다.

[0019] 워크피스 위치 결정 시스템(108)은 X 축, Y 축, 및/또는 Z 축 등 또는 그것의 조합 중 하나 이상에 대해 척(106)을 회전시키기 위해, X 축, Y 축, 및/또는 Z 축(Z 축은 척(106)의 표면에 적어도 실질적으로 수직이고, X 축, Y 축, 및 Z 축은 서로에 상호 수직임)과 평행한 하나 이상의 방향들을 따라, 워크피스(102)를 지지하는, 척(106)을 이동시키도록 구성된다. 일 실시예에서, 워크피스 위치 결정 시스템(108)은 위에서 논의된 바와 같은 척을 이동시키도록 구성되는 하나 이상의 스테이지들을 포함할 수 있다. 워크피스(102)가 척(106)에 의해 지지될 때, 워크피스 위치 결정 시스템(108)은 경로(P)에 대해 제 1 스캔 필드(예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 제 1 스캔 필드(200)) 내의 워크피스(102)를 (예를 들어, X 축 및 Y 축을 따라) 이동시키고 스캐닝하기 위해 동작될 수 있다. 일 실시예에서, 워크피스 위치 결정 시스템(108)은 워크피스(102)를 범위가 대략 400에서 대략 700 mm까지(예를 들어, 대략 635 mm) 이르는 거리에 대한 X 축을 따라 임의의 방향으로, 범위가 대략 400 mm에서 대략 700 mm까지(예를 들어, 대략 533 mm) 이르는 거리에 대한 Y 축을 따라 임의의 방향으로, 또는 그것의 조합으로 스캐닝하기 위해 동작될 수 있다.

[0020] 빔 위치 결정 시스템(110)은 워크피스(102)에 대해 제 2 스캔 필드(예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 제 2 스캔 필드(202)) 내의 빔 위치를 스캐닝하기 위해 레이저 펄스들의 빔(105)을 편향, 반사, 굴절, 회절 등 하거나, 그것의 조합을 하도록 구성된다. 일 실시예에서, 빔 위치 결정 시스템(110)은 빔 위치를 범위가 대략 1 mm에서 대략 50 mm까지(예를 들어, 대략 30 mm) 이르는 거리에 대한 X 축을 따라 임의의 방향으로, 범위가 대략 1 mm에서 대략 50 mm까지(예를 들어, 대략 30 mm) 이르는 거리에 대한 Y 축을 따라 임의의 방향으로, 또는 그것의 조합으로 스캐닝하기 위해 동작될 수 있다. 일반적으로, 빔 위치 결정 시스템(110)의 동작은 워크피스 위치 결정 시스템(108)이 제 1 스캔 필드(200) 내의 워크피스(102)를 스캐닝할 수 있는 것보다 더 큰 속도 및/또는 가속도로 워크피스(102)에 대해 빔 위치를 스캐닝하기 위해 제어될 수 있다. 예시된 실시예에서, 빔 위치 결정 시스템(110)은 경로(P) 내에 배치되는, 한 쌍의 갈바노미터 기반 미러들(갈보들(galvos))(110a 및 110b)을 포함한다. 갈보들(110a, 110b)은 (예를 들어, X 축 또는 Y 축에 대해서) 회전되도록 구성되며, 그것에 의해 경로(P)를 편향시키고 제 2 스캔 필드(202) 내에서 빔 위치를 스캐닝한다. 그러나, 빔 위치 결정 시스템(110)이 임의의 다른 적절한 또는 유익한 방식으로 구성될 수 있다는 점이 이해될 것이다.

[0021] 빔 변조 시스템(112)은 워크피스(102)에 대해 제 3 스캔 필드(예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 제 3 스캔 필드(204)) 내의 빔 위치를 스캐닝하기 위해 레이저 펄스들의 빔을 편향, 반사, 굴절, 회절 등 하거나, 그것의 조합을 하도록 구성된다. 일 실시예에서, 빔 변조 시스템(110)은 빔 위치를 범위가 대략 0.05 mm에서 대략 0.2 mm까지(예를 들어, 대략 0.1 mm) 이르는 거리에 대한 X 축을 따라 임의의 방향으로, 범위가 대략 0.05 mm에서 대략 0.2 mm까지(예를 들어, 대략 0.1 mm) 이르는 거리에 대한 Y 축을 따라 임의의 방향으로, 또는 그것의 조합으로 스캐닝하기 위해 동작될 수 있다. 당해 기술에서 통상의 기술자들은 이러한 범위들이 예로서 제공되고 빔 위치가 더 작거나 더 큰 범위들 내에서 스캐닝될 수 있다는 점을 인식할 것이다. 일반적으로, 빔 변조 시스템(112)의 동작은 빔 위치 결정 시스템(110)가 제 2 스캔 필드 내의 빔 위치를 스캐닝할 수 있는 것보다 더 큰 속도 및/또는 가속도로 워크피스(102)에 대해 빔 위치를 스캐닝하기 위해 제어될 수 있다.

- [0022] 일 실시예에서, 빔 변조 시스템(112)은 제 3 스캔 필드(204) 내에서 단일 축을 따라 빔 위치를 스캐닝하기 위해 레이저 펄스들의 빔(105)을 편향시키도록 구성되는 단일 음향 광학 편향기(AOD)를 포함한다. 다른 실시예에서, 빔 변조 시스템(112)은 2개의 AOD들을 포함하며, 제 1 AOD는 레이저 펄스들의 빔(105)을 편향시키고 X 축을 따라 제 3 스캔 필드(204) 내의 빔 위치를 스캐닝하도록 구성되고 제 2 AOD는 레이저 펄스들의 빔(105)을 편향시키고 Y 축을 따라 제 3 스캔 필드(204) 내의 빔 위치를 스캐닝하도록 구성된다. 그러나, 빔 변조 시스템(112)은 임의의 다른 적절한 또는 유익한 방식으로 구성될 수 있다는 점이 이해될 것이다. 예를 들어, 빔 변조 시스템(112)은 AOD에 더하여, 또는 AOD 대용물로 하나 이상의 음향 광학 변조기들(AOMs), 전기 광학 편향기들(EODs), 전기 광학 변조기들(EOMs), 고속 스티어링 미러들(FSMs)(예를 들어, (대략 10 kHz보다 더 큰) 고대역폭 FSMs) 등 또는 그것의 조합을 포함할 수 있다.
- [0023] 레이저 프로세싱 장치(100)는 워크피스 위치 결정 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110), 빔 변조 시스템(112), 및 레이저 시스템(104)에 통신 결합된(communicatively coupled) 시스템 컨트롤러(114)를 더 포함할 수 있다. 시스템 컨트롤러(114)는 워크피스(102) 내에 피처들(예를 들어, 라우트들, 관통 비아들, 블라인드 비아들, 트렌치들, 커프들, 및 다른 피처들)을 형성하기 위해 이러한 시스템들(워크피스 위치 결정 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110), 빔 변조 시스템(112), 및/또는 레이저 시스템(104)) 중 하나 이상 또는 전부에 대한 상술된 동작을 제어하도록 구성된다. 일 실시예에서, 시스템 컨트롤러(114)는 레이저 시스템(104)에 의해 생성되는 펄스들의 PRF를 (예를 들어, 대략 20 kHz에서 대략 2000 kHz까지의 범위 내에서) 변화시키기 위해 레이저 시스템(104)의 동작을 제어할 수 있다. 높은 PRF 레이저들을 (예를 들어, 대략 200 kHz에서 대략 500 kHz까지의 범위 내에서) 사용하는 본 명세서에 개시된 임의의 실시예들에 대해, 시스템 컨트롤러(114)는 라우트를 레이징(lasing)하는 동안 PRF를 변화시킬 필요가 없을 수 있다.
- [0024] 일 실시예에서, 시스템 컨트롤러(114)는 워크피스(102)에 대해 빔 위치를 스캐닝하고 워크피스(102) 내의 “높은 피처 밀도 영역”(예를 들어, 500 μm 이하, 또는 그 부근의 피치(pitch)에 의해 분리되는 피처들을 포함하는 영역)을 형성하기 위해 빔 변조 시스템(112)의 동작을 제어할 수 있다. 시스템 컨트롤러(114)는 높은 피처 밀도 영역을 형성하는 동안 빔 위치 결정 시스템(110) 및/또는 워크피스 위치 결정 시스템(108)의 동작을 더 제어할 수 있다.
- [0025] 다른 실시예에서, 시스템 컨트롤러(114)는 워크피스(102)에 대해 빔 위치를 스캐닝하고 워크피스(102) 내의 워크피스(102) 내의 “중간 피처 밀도 영역”(예를 들어, 500 μm 보다 크거나, 그 부근, 예컨대 대략 1000 μm 의 피치에 의해 분리되는 피처들을 포함하는 영역)을 형성하기 위해 빔 위치 결정 시스템(110)의 동작을 제어할 수 있다. 시스템 컨트롤러(114)는 중간 피처 밀도 영역을 형성하는 동안 빔 변조 시스템(112) 및/또는 워크피스 위치 결정 시스템(108)의 동작을 더 제어할 수 있다.
- [0026] 또 다른 실시예에서, 시스템 컨트롤러(114)는 빔 위치 결정 시스템(110)의 동작을 제어하고 빔 위치 결정 시스템(110)의 고속 속도 제한들, 작은 영역 위치 결정 예러들, 및 대역폭 제한들을 극복하는 조정(coordinated)된 방식으로 빔 변조 시스템(112)의 동작을 더 제어할 수 있다. 예를 들어, 레이저 프로세싱 장치(100)가 빔 변조 시스템(112)을 포함하지 않으면, 빔 위치 결정 시스템(110)은 도 3에 도시된 바와 같은 스폿들의 원형 패턴(도시된 바와 같이, 대략 600 μm 의 최대 폭을 갖는 스폿들의 원형 패턴)을 형성하기 위해 빔 내의 레이저 펄스들이 워크피스(102)에 순차적으로 충돌하도록, 워크피스(102)에 대해 빔 위치를 스캐닝하기 위해 제어될 수 있다. 그러나, 빔 위치 결정 시스템(110)과 빔 변조 시스템(112)의 동작을 조정함으로써, 레이저 프로세싱 장치(100)는 도 4에 도시된 바와 같은 스폿들의 직사각형 형상 패턴(도시된 바와 같이, 대략 600 $\mu\text{m} \times$ 대략 600 μm 의 치수를 갖는 스폿들의 직사각형 형상 패턴)을 형성하도록 구성될 수 있다.
- [0027] 일 실시예에서, 그리고 도 5를 참조하면, 도 4에 도시된 스폿들의 패턴은 라인(500)과 같은 라인을 따라 제 2 스캔 필드(202) 내에서 빔 위치를 스캐닝하기 위해 빔 위치 결정 시스템(110)을 제어함으로써 형성될 수 있고, 빔 변조 시스템(112)은, 레이저 펄스들이 (예를 들어, 도 4에 도시된 그러한 것과 같은) 스폿들(504)의 직사각형 형상 패턴을 형성하기 위해 워크피스(102)에 순차적으로 충돌하도록, (예를 들어, 라인(502)에 의해 표시되며, 제 3 스캔 필드(204) 내의 중심에 있는) 방향을 따라 (라인(500)의 단부에서 중심에 있는) 제 3 스캔 필드(204) 내의 빔 위치를 더 스캐닝하도록 제어될 수 있다. 도 5에 대해 위에서 논의된 바와 같은 예시적 프로세스를 적용함으로써, 빔 위치는 갈보 능력들에 따라, 대략 5 미터/초(m/s), 또는 심지어 더 높은 속도로 워크피스 위에서 스캐닝될 수 있다. 그러나, 빔 위치 결정 시스템(110)과 빔 변조 시스템(112)의 동작은 워크피스(102) 상에서 스폿들의 임의의 적절한 또는 유익한 패턴을 형성하기 위해 임의의 방법으로 조정될 수 있다는 점이 이해될 것이다.

[0028]

일반적으로, 시스템 컨트롤러(114)는 다양한 제어 기능들을 정의하는 동작 로직(도시되지 않음)을 포함할 수 있고, 하드웨어드(hardwired) 상태 기계, 프로그래밍 명령들을 실행하는 프로세서, 및/또는 당해 기술에서 통상의 기술자에게 떠오를 수 있는 바와 같은 상이한 형태와 같은, 전용 하드웨어의 형태일 수 있다. 동작 로직은 디지털 회로조직, 아날로그 회로조직, 소프트웨어, 또는 이러한 타입들 중 어느 것의 임의의 혼성 조합을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 시스템 컨트롤러(114)는 프로그램가능(programmable) 마이크로컨트롤러, 마이크로프로세서, 또는 동작 로직에 따라 메모리에 저장된 명령들을 실행하도록 배열되는 하나 이상의 프로세싱 유닛들을 포함할 수 있는 다른 프로세서와 같은 프로세서를 포함할 수 있다. 메모리(예를 들어, 컴퓨터 관독가능매체)는 반도체, 자기, 및/또는 광 버라이어티들을 포함하는 하나 이상의 타입들을 포함할 수 있고/있거나, 휘발성 및/또는 비휘발성 버라이어티(varieties)일 수 있다. 일 실시예에서, 메모리는 동작 로직에 의해 실행될 수 있는 명령들을 저장한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 메모리는 동작 로직에 의해 조작되는 데이터를 저장할 수 있다. 하나의 배열에서, 동작 로직 및 메모리는 워크피스 위치 결정 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110) 및/또는 빔 변조 시스템(112)의 동작 운영 측면들을 관리하고 제어하는 동작 로직의 컨트롤러/프로세서 형태에 포함되지만, 다른 배열들에서 그들은 분리될 수 있다.

[0029]

본 명세서에 설명된 바와 같이, 레이저 프로세싱 장치(100)는 빔 위치 결정 시스템(110) 및 빔 변조 시스템(112)의 조정된 동작이 고속으로 그리고 높은 위치 정확도로 피처들을 형성할 수 있도록 구성된다. 임의의 실시예들에서, 레이저 프로세싱 장치(100)는 레이저 에너지 모니터(LEM)(116)와 같은 다른 시스템들뿐만 아니라, 예를 들어 빔 변조 시스템(112) 및 시스템 컨트롤러(114)를 갖는 레이저 파워 제어(LPC) 시스템을 더 포함할 수 있다. 일반적으로, LPC 시스템은 개별 레이저 펄스들의 펄스 에너지를 (예를 들어, 품질 및 제어 목적들을 위해) 측정하고, 개별 레이저 펄스들의 펄스 에너지를 제어하고, 펄스 에너지 및 PRF로의 빠른 변화들을 용이하게 하고, 빔 위치로 개별 레이저 펄스들의 펄스 에너지 제어를 조정하고, 레이저 펄스들 등 또는 그것의 조합의 생성 및 변조를 조정하도록 구성될 수 있다.

[0030]

II. 예시적 라우트 프로세싱 실시예들

[0031]

위에서 논의된 바와 같이, 라우트들 또는 다른 피처들을 처리할 때, 도 1에 도시된 레이저 프로세싱 장치(100)와 같은, 복합 모션 시스템의 동적 제한들(예를 들어, 선형 스테이지 가속도 또는 속도, 또는 갈보 스캔 필드)을 초과하는 것이 가능하다. 도 1 및 도 2를 다시 참조하면, 예를 들어, 라우트 또는 다른 피처의 틀 경로가 제2 스캔 필드(202)와 같은 갈보 필드 내에 있으면, 이때 갈보들(110a, 110b)은 수용가능한(acceptable) 프로세싱 처리량을 위한 충분한 빔 속도 및 가속도를 제공할 수 있다. 그러나, 라우트 또는 다른 피처의 틀 경로가 갈보필드보다 더 크면, 이때 워크피스 위치 결정 시스템(108)의 스테이지가 고려될 필요가 있을 수 있다. 일반적으로, 종래의 시스템들에서, 최대 프로세싱 속도들이 레이저 시스템(104)의 전력 제한들로 인해 상대적으로 낮게 유지되기 때문에, 스테이지들은 레이저 프로세싱을 따라잡기 위해 충분한 속도를 제공하였다. 레이저 파워들이 계속 증가함에 따라, 프로세싱 속도들은 또한 처리량을 개선하기 위해 증가될 수 있다. 그러나, 더 높은 레이저 파워에 의해 제공되는 증가된 처리량의 이득들은 스테이지 속도 및 가속도 제한들이 초과되면 실현되지 않을 수 있다.

[0032]

따라서, 본 명세서에 개시된 임의의 실시예들은 레이저 프로세싱 커맨드들(예를 들어, 시스템 컨트롤러(114)로부터 레이저 시스템(104), 워크피스 위치 시스템(108), 빔 위치 결정 시스템(110), 및/또는 빔 변조 시스템(112) 중 하나 이상으로 발행됨)을 빔 위치, PRF 또는 펄스 기간, 레이저 펄스들에 대한 필드 에너지 설정값들(setpoints), 빔 속도, 및 다른 레이저 프로세싱 파라미터들, 또는 그것의 조합을 설명하는 정보를 각각 포함하는 일련의 개별 “프로세스 세그먼트들”로 분할함으로써 틀 경로 또는 라우트 최적화를 제공한다. 따라서, 시스템 컨트롤러(114)는 각각의 “프로세스 세그먼트”에 포함된 정보를 빔 위치 커맨드들, 펄스 기간 커맨드들, 및 레이저 펄스 에너지 커맨드들로 필터링하거나, 분할하거나, 처리하거나 그렇지 않으면 변환하도록 구성되는 세그먼트 프로세싱 서브시스템을 포함할 수 있다.

[0033]

예를 들어, 도 6은 임의의 실시예들에 따른 프로세스 세그먼트들로 분할되는 복수의 라우트 시퀀스들(610, 612, 614, 616, 618, 620)을 개략적으로 예시한다. 이러한 예에서, 각각의 라우트 시퀀스(610, 612, 614, 616, 618, 620)는 전체 시퀀스 동안 레이저를 턴 온(turn on) 함으로써(예를 들어, 레이저 펄스들의 트레인을 방출함으로써) 처리되는 연속 라인이다. 레이저 프로세싱은 예를 들어 라우트 시퀀스(610)의 제 1 프로세스 세그먼트(622)의 시작에서 레이저를 턴 온하는 것, 라우트 시퀀스(610)의 프로세스 세그먼트들(622, 624, 626, 628, 630, 632)을 순차적으로 처리하는 것, 라우트 시퀀스(610)의 마지막 프로세스 세그먼트(632)의 끝에서 레이저를 턴 오프하는 것, 빔 경로가 라우트 시퀀스(612)의 제 1 프로세스 세그먼트(634)의 시작에 도달한 때 레이저를 다시 턴 온하는 것, 프로세스 세그먼트들(634, 636)을 순차적으로 처리하는 것, 및 라우트 시퀀스(612)에서 마지막

프로세스 세그먼트(636)의 끝에서 레이저를 다시 턴 오프하는 것을 포함할 수 있다. 유사하게, 레이저 프로세싱은 각각 라우트 시퀀스들(614, 616, 618, 620)의 시작 및 끝에서 레이저를 턴 온 및 오프하는 것을 포함한다.

[0034] 일관된 프로세싱 품질을 유지하기 위해, 하나 이상의 레이저 프로세싱 파라미터들은 하나의 프로세스 세그먼트로부터 다음으로(예를 들어, 프로세스 세그먼트(622)로부터 프로세스 세그먼트(624)로) 및/또는 하나의 라우트 시퀀스로부터 다음으로(예를 들어, 라우트 시퀀스(610)로부터 라우트 시퀀스(612)로) 조정될 필요가 있을 수 있다. 게다가, 임의의 프로세스 세그먼트들 동안에 프로세스 속도를 증가시키는 것이 가능할 수 있다. 예를 들어, 스테이지의 동적 제약들은 선형 프로세스 세그먼트(630)가 원형 아크 세그먼트(628)의 것보다 더 높은 빔 속도로 처리되는 것을 허용할 수 있다. 아래에 논의되는 바와 같이, 속도를 변화시키는 것은 PRF 또는 다른 레이저 파라미터들의 변화를 요구할 수 있다. 따라서, 임의의 실시예들에 따르면, 시스템 컨트롤러(114)는 프로세스 세그먼트들 각각에 대한 최대 속도를 결정하기 위해 레이저 프로세싱 파라미터들 및 빔 포지셔너(positioner) 케이블들을 시뮬레이션하는 최적화 루틴을 수행한다. 그 다음, 시스템 컨트롤러(114)는 라우트 시퀀스들(610, 612, 614, 616, 618, 620)의 프로세스 세그먼트들 각각을 처리하기 위한 결정된 속도 중 하나 이상을 선택한다.

[0035] 도 7은 다양한 실시예들에 따른 대응하는 라우트 시퀀스들의 복수의 프로세스 세그먼트들에 대한 선택된 속도들의 예시적 시간 그래프들을 개략적으로 예시한다. 제 1 시간 그래프(710)에서, 제 1 복수의 프로세스 세그먼트들(712, 714, 716)은 제 1 라우트 시퀀스(717)에 대응하고 제 2 복수의 프로세스 세그먼트들(720)은 제 2 라우트 시퀀스(722)에 대응한다. 제 1 라우트 시퀀스(717)는 연속적이고 시간(T1)에서 레이저를 턴 온하고 시간(T2)에서 레이저를 턴 오프함으로써 처리된다. 유사하게, 제 2 라우트 시퀀스(722)는 연속적이고 시간(T3)에서 레이저를 턴 온하고 시간(T4)에서 레이저를 턴 오프함으로써 처리된다.

[0036] 위에서 논의된 바와 같이, 시스템 컨트롤러(114)는 프로세스 세그먼트들(712, 716)에 대한 최대 속도(V1), 프로세스 세그먼트들(714)에 대한 최대 속도(V2), 프로세스 세그먼트들(718)에 대한 최대 속도(V3), 및 프로세스 세그먼트들(720)에 대한 최대 속도(V4)를 결정하기 위해 레이저 프로세싱 파라미터들 및 빔 포지셔너 케이블들을 시뮬레이션하는 최적화 루틴을 수행한다. 다른 실시예들에서 각각의 프로세스 세그먼트는 도 7에 도시된 바와 같이, 동일한 최대 속도를 갖는 다수의 세그먼트들(예를 들어, 최대 속도(V3)를 갖는 4개의 연속적인 프로세스 세그먼트들)보다, 상이한 최대 허용가능 프로세싱 속도를 갖도록 결정될 수 있다는 점이 주목되어야 한다. 제 1 라우트 시퀀스(717)와 제 2 라우트 시퀀스 사이의 갭(724)은 속도(V5)를 할당받는다. 갭(724)은 빔 케이블이 제 1 라우트 시퀀스(717)의 끝으로부터 제 2 라우트 시퀀스(722)의 시작으로 이동하는 동안에 레이저가 오프일 때의 시간을 나타내기 때문에, 할당된 속도(V5)는 비레이저(non-laser) 프로세싱 시간을 최소화하고 처리량을 증가시키기 위해 최대 전체 시스템 속도일 수 있다. 이러한 예에서, V5 > V4 > V3 > V2 > V1. 최대 속도는 각각의 프로세스 세그먼트 및 전체시스템에 대해, 동적 제약들(예를 들어, 스테이지 속도 및 가속도)이 만족되는 속도이도록 결정된다.

[0037] 프로세싱 속도를 선택하기 위한 제 1 예시적 실시예는 제 2 시간 그래프(726)에 도시된다. 이러한 실시예에서, 최저 속도(V1)는 제 1 라우트 시퀀스(717)의 모두, 갭(724), 및 제 2 라우트 시퀀스(722)의 모두에 대해 선택된다. 다시 말하면, 이러한 실시예는 모든 동적 제약들이 고려될 때까지 라우트 속도를 단순히 감소시킴으로써 라우트들의 속도를 선택한다. 이것은 예를 들어 빔 포지셔너 케이블들을 시뮬레이션하고, 동적 제약들의 위반을 체크하고, 모든 제약들이 고려될 때까지 라우트 속도를 반복적으로 낮추는 최적화 루틴을 실행함으로써 수행될 수 있다.

[0038] 이러한 제 1 라우트 최적화 구현의 장점은 그것이 균일한 속도 설정을 전체 응용에 제공하는 것이며, 이는 프로세스 제어 관점에서 바람직할 수 있다. 임의의 라우트 속도 변화를 위해, 레이저 파라미터들은 적절히 수정될 필요가 있을 수 있다. 예를 들어, 바이트 사이즈(레이저 펄스들 사이의 폐지) 및 원래(original) 프로세스 파라미터들의 것과 거의 동일한 선량(dosage)(단위 길이 당 측정된 레이저 에너지)을 유지하는 것이 유용할 수 있다. 이들의 참조 프로세스 파라미터들의 일부 변형은 레이저/재료 상호작용의 상세들, 및 PRF(예를 들어 레이저 펄스 폭)의 함수로서의 레이저 파라미터의 변형으로 인해 이루어질 수 있다. 그러한 변형들은 일부 경우들에서, 레이저/재료 감도들이 알려지면 프로그램될 수 있다. 예를 들어, 워크피스 삭마 속도(인가된 레이저 에너지의 단위 당 제거된 재료 부피)는 펄스 폭에 따라 변할 수 있다. 레이저 펄스 폭 대 PRF의 매핑, 및 삭마 속도 감도가 주어지면, 레이저 풀루언스는 바람직한 재료 삭마 부피를 유지하기 위해 (예를 들어, 레이저 파워를 조정함으로써) 적절히 조정될 수 있다. 유사한 보상 기술들은 빔 속도, 열 부하, 및 다른 프로세싱 파라미터들과 같은, 다른 프로세싱 감도들에 대해 수행될 수 있다.

[0039] 그러나, 임의의 프로세싱 응용들에 대해, 이러한 접근의 단점은 일부 라우트 시퀀스들 또는 프로세스 세그먼트

들이 전체 응용을 매우 제한할 수 있다는 것이다. 게다가, 임의의 최악의 라우트 시퀀스들(예를 들어, 속도 반전)은 응용의 잠재적 처리량을 심하게 감소시킬 수 있다. 따라서, 임의의 응용들에서, 최악의 라우트들을 더 높은 속도에서 제약 위반들을 야기시키지 않는 다른 라우트들에 대해 선택되는 속도와 상이한(더 낮은) 속도로 최적화하는 것이 더 유용할 수 있다.

[0040] 프로세싱 속도들을 선택하기 위한 제 2 예시적 실시예는 제 3 시간 그래프(728)에 도시된다. 이러한 제 2 예시적 실시예는 하나보다 더 많은 프로세싱 속도를 허용함으로써 시간 그래프(726)에 도시된 제 1 예를 수정한다. 각각의 연속 라우트 시퀀스(717, 722)는 (예를 들어, 전체 시퀀스 동안의 레이저 온)는 독립적으로 최적화된다. 그러나, 최적화된 라우트 시퀀스들(717, 722) 각각은 단일(최저) 속도에서 처리된다. 따라서, 시간 그래프(728)에 도시된 바와 같이, 속도(V1)는 제 1 라우트 시퀀스(717)에 대해 선택되고(V1 < V4인 경우), 속도(V2)는 제 2 라우트 시퀀스(722)에 대해 선택된다(V2 < V3인 경우).

[0041] 시간 그래프(728)에 도시된 제 2 예에서, 처리량(throughput)을 더 개선하기 위해, 최대 시스템 속도(V5)는 V5 가 T2 및 T3에서 임의의 필요한 가속도 및/또는 감속도를 설명하는 것으로 가정되기 때문에 캡(724)에 대해 선택된다. 다른 실시예들에서, 속도 변화들의 수를 감소시키기 위해, 제 1 라우트 시퀀스(717)에 대해 선택된 속도(V1) 또는 제 2 라우트 시퀀스(722)에 대해 선택된 속도(V2)는 캡(724)에 대해 선택된다. 또 다른 실시예들에서, 캡(724)은 제 1 라우트 시퀀스(717)에 대해 선택된 속도(V1)로부터 제 2 라우트 시퀀스(722)에 대해 선택된 속도(V2)로 전이(가속 또는 감속)하기 위해 사용된다.

[0042] 시간 그래프(728)에 도시된 제 2 예시적 실시예는 시간 그래프(726)에 도시된 제 1 예시적 실시예의 처리량-제한 문제를 적어도 부분적으로 해결한다. 그러나, 일부 경우들은 여전히 너무 제한될 수 있다. 예를 들어, 단일의 긴 서펜타인 라우트(serpentine rout), 또는 교대 속도들을 갖는 일련의 긴 라우트들은 여전히 전체 라우트 위에 더 낮은 속도로 제한될 수 있다.

[0043] 프로세싱 속도들을 선택하기 위한 제 3 예시적 실시예는 제 4 시간 그래프(730)에 도시된다. 이러한 예에서, 속도 및 PRF(또는 펄스 기간)는 세그먼트-바이-세그먼트 기초로 선택된다. 따라서, 제 1 라우트 시퀀스(717)에 대해 도시된 바와 같이, 최대 속도(V4)는 프로세스 세그먼트들(712, 716)에 대해 선택되고 최대 속도(V1)는 프로세스 세그먼트들(714)에 대해 선택된다. 유사하게, 제 2 라우트 시퀀스(722)에 대해, 최대 속도(V3)는 프로세스 세그먼트들(718)에 대해 선택되고 최대 속도(V2)는 프로세스 세그먼트들(720)에 대해 선택된다.

[0044] 임의의 실시예들에서, 각각의 연속 라우트 시퀀스(717, 722)는 일부 최대 크기(예를 들어, 0.5 mm)의 더 작은 부세그먼트들(sub-segments)로 분할될 수 있다. 각각의 부세그먼트의 종점(endpoint)은 (시간이 하나의 부세그먼트로부터 다음으로의 전이에 소요되지 않으므로) 제로 프로세스 시간의 “프로세스 피처”로서 처리될 수 있으며, 이들의 “피처들” 사이의 이동 시간은 툴링 속도(tooling velocity) 및 세그먼트 길이들에 의해 설정된다. 그 다음, 세그먼트들의 미리 정의된 순서가 주어지면, 세그먼트들의 시퀀스는 일련의 별개의 툴링 피처들과 같이 취급되고, 종래의 최적화 프로세스로 최적화될 수 있다. 이러한 최적화의 결과는 최악의 경우, 전체 라우트 시퀀스에 대한 속도 상에 상한을 설정하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 제 3 시간 그래프(728)에 도시된 제 2 예에 대해 위에서 논의된 바와 같이, 프로세스는 라우트 시퀀스를 최적화하는 것, 임의의 점에서 최소 속도를 발견하는 것, 그 다음, 전체 라우트를 그러한 속도에 설정하는 것을 포함할 수 있다. 가장 빠른 전체 처리 시간이 가능한 예시적 실시예(제 4 시간 그래프(730)에 도시된 제 3 예)는 고유 속도를 각각의 부세그먼트에 할당한다. 제약 위반들을 생성하는 경향이 있는 프로세스 세그먼트들에서, 선택된 속도는 더 낮을 것인 반면; 제약들을 위반하지 않는 “안전” 세그먼트들에서, 속도는 비교적으로 더 높아질 수 있다.

[0045] 그 다음, 프로세스 파라미터들(예를 들어, PRF 및 전력)은 위에서 언급된 바와 같이, 각각의 고유한 부세그먼트 속도에 대해 조정될 수 있다. 일반적으로, 많은 삭마 프로세스들은 전력 및 속도를 고정하는 것보다는 오히려, 재료 프로세싱에 대한 전력/속도의 비율을 지정함으로써 모델링될 수 있다. 속도가 감소함에 따라, 예를 들어 이러한 비율은 일정 PRF에서 PE를 낮추거나, PRF를 낮추고 일정 PE를 유지함으로써 전력을 낮춤으로써 유지될 수 있다. 부세그먼트 경계들과 펄스 타이밍의 동기화가 아래에 논의된다.

[0046] 빔 변조 시스템(112)은 제 3 라우트 최적화 예시적 실시예에 의해 요구되는 프로세스 부세그먼트들 사이에서 프로세스 속도의 즉시 변동을 가능하게 하는 AOD들을 포함한다는 점을 주목한다. 빔 위치를 가상으로 즉시 편향하는 AOD의 능력은 빔 궤적 속도를 즉시 변경하는 것을 허용하며, 따라서 (AOD 편향 범위의 제한들 내에서) 프로세스 부세그먼트 속도들의 임의의 할당을 가능하게 한다.

[0047] 도 8은 일 실시예에 따른 상이한 펄스 기간들 또는 펄스 반복 주파수들과 연관되는 순차 프로세스 세그먼트들

(820, 822)에 걸쳐 펄스 동기화를 개략적으로 예시한다. 펄스 기간(PP)(즉, 1/PRF)은 펄스 기간 또는 PRF에 “끊김없는” 변화들을 허용하기 위해 동기화 데드존 없이 프로세스 세그먼트들 사이에서(예를 들어, 프로세스 세그먼트(820)와 후속 프로세스 세그먼트(822) 사이에서) 변화될 수 있다. 한 펄스 기간에서 다른 것으로의 전이 동안, 2개의 펄스 기간들만이 존재하며, 즉 둘 사이에 중간 또는 대단히 높거나 낮은 펄스 기간이 없다. 이것은 레이저 시스템(104)이 레이저 펄스들(800)을 예측가능 펄스 에너지로 임의의 펄스 기간에 생성하는 것을 허용한다. 일반적으로, AOD 송신은 각각의 프로세스 세그먼트에서 워크피스(102)에 전달되는 레이저 펄스들(800)의 PE를 제어하기 위해 2개의 펄스 기간 설정 사이에서 변화된다.

[0048] 펄스 기간들 사이의 전이(예를 들어, PP1과 PP2 사이의 스위칭)를 적어도 실질적으로 “끊김없게” 하기 위해, 시스템 컨트롤러(114)는 새로운 펄스 기간을 프로세스 세그먼트(820)의 최종 펄스 기간(PP1) 동안(예를 들어, 802로 지정된 바와 같이) 지정한다. 시스템 컨트롤러(114)는 이러한 새로운 펄스 기간(예를 들어, PP2)을 인식하고 이러한 새로운 값에 따라 후속 레이저 펄스를 설정한다. 시스템 컨트롤러(114)는 PP1과 PP2 사이의 스위치가 정확한 시간에(예를 들어, 1 μ s 내에) 발생하도록 이러한 커맨드를 타이밍한다.

[0049] 일 실시예에서, 임의의 일련의 파워 온 세그먼트들에 대해, 제 1 및 마지막 펄스들은 세그먼트 경계들 내에서(PP/2) 초를 발생시킨다. 따라서, 세그먼트 경계들(804)에 대한 레이저 펄스들의 타이밍이 설명된다. 빔 위치의 위치는 프로세스 세그먼트들 사이에서 변화될 수 있어, 새로운 펄스 기간(PP2)과 연관되는 하나의 전이 펄스(806)에 대한 바이트 사이즈의 변화를 야기한다. 다른 실시예에서, 새로운 프로세스 세그먼트(822) 동안 발생되는 레이저 펄스들에 대한 AOD 송신은 새로운 펄스 기간(PP2)이 새로운 프로세스 세그먼트(822)에 대한 레이저 시스템에 의해 생성되는 레이저 펄스들의 PE를 변화시킬 가능성이 있으므로, 설정된다. 따라서, 전이 펄스(806)는 적절한 PE 커맨드(AOD 송신)로 적절한 프로세스 세그먼트 내에 레이저 시스템(104)에 의해 생성된다.

[0050] 도 8에 도시된 실시예의 펄스 동기화 프로세스에 따르면, 특정 프로세스 세그먼트 동안 생성되는 제 1 레이저 펄스는 프로세스 세그먼트의 시작 후에 초기화 기간(808)(예를 들어, 프로세스 세그먼트(820)와 연관되는 펄스 기간(PP1)의 1/2과 같음) 내에 생성된다(예를 들어, PP1이 1 μ s이면, 이때 초기화 기간은 0.5 μ s임). 게다가, 특정 프로세스 세그먼트 동안에 생성되는 마지막 레이저 펄스는 최종화 기간(810)(예를 들어, 프로세스 세그먼트(820)와 연관되는 펄스 기간(PP1)의 1/2과 같음) 내에 생성된다.

[0051] 제 1 펄스가 동기화되면, 시스템 컨트롤러(114)는 최종 펄스가 세그먼트 경계 전에(PP/2)에 종료되면 적절히 타이밍되고 위치된 세그먼트들을 생성할 책임이 있다. 임의의 실시예들에서, 세그먼트 경계 종점들은 펄스들이 실제로 지정된 틀 경로 좌표들에 도착하도록 시간(PP/2 베퍼를 설명함)에 시프트된다.

[0052] PP가 일련의 파워 온 프로세스 세그먼트들 내에서 변화되면, 유사한 타이밍은 도 8에 도시된 바와 같이, 제 1 PP의 최종 펄스 및 제 2 PP의 제 1 펄스에 대해 다르게 된다.

[0053] (예를 들어, 200 MHz에 달하는 모드 잠금 레이저들을 사용할 때) 높은 PRF를 사용하는 임의의 실시예들은 도 8에 도시된 바와 같이, 순차 프로세스 세그먼트들에 걸쳐 펄스 동기화를 제공하지 않는다. 그러한 동기화는 높은 PRF가 개별 펄스들에 대한 염려를 실질적으로 제거하기 때문에 요구되지 않을 수 있다. 이것은 마찬가지로 바이트 사이즈(펄스들 사이의 거리)가 최고 속도 경우에 대해, 스폟 크기의 대략 5% 내지 10% 미만일 때의 경우이다. 임의의 그러한 실시예들에서, 바이트 사이즈를 유지하는지의 여부의 판단은 특정 응용에 대한 레이저/재료 상호작용에 기초한다.

III. 예시적 타이밍 조정들

[0055] 임의의 실시예들에서, 적어도 2개의 타이밍 조정들이 있다. 제 1 타이밍 조정(“AOD 지연”으로 언급될 수 있음)은 AOD RF 과형을 발생된 레이저 펄스와 정렬시키고, 제 2 타이밍 조정(“펄스 트레인 지연”으로 언급될 수 있음)은 전체 펄스 트레인을 빔 포지셔너와 정렬시킨다.

[0056] 도 9는 일 실시예에 따른 AOD 지연 타이밍 조정을 개략적으로 예시한다. AOD 결정(910)은 레이저 펄스(914)가 적절한 음향파(acoustic waves) 세그먼트의 중심을 통과하도록 정렬되는 일련의 진행 음향파들(912)을 설정한다. 예시된 예에서, RF 전력은 매 μ sec마다 변화된다. 이러한 도면은 대략 AOD 결정(10) 및 음향파들(912)의 적절한 스케일인 것을 주목한다. 적절한 정렬에 대해, 레이저 펄스(914)는 음향파(912)의 중심을 통과한다. 다른 한편, 레이저 펄스(914)가 경계를 통과하면, 레이저 펄스(914)는 왜곡될 것이다. 도 9는 RF 진폭의 변화로서 경계를 표시하지만, 유사한 효과는 RF 주파수의 변화들로 발생한다.

[0057] 일 실시예에서, 도 9에 의해 제안된 바와 같이, AOD 지연을 설정하는 방법은 변화하는 진폭(예를 들어, 텁니 진폭)을 갖는 시퀀스를 발생시키는 것, 및 발생된 펄스의 최대 PE가 최대화될 때까지 타이밍을 변화시키는 것을

포함한다. 정의에 의해, AOD 지연은 하나의 갱신 기간(예를 들어, $1 \mu\text{sec}$) 미만일 것이다. 임의의 실시예들에서, 이것은 자동화 교정 절차이고 주어진 시스템에 대해 고정을 유지할 수 있다. 타이밍은 케이블링, 레이저 파라미터들, 광학 경로 길이, 및 다른 인자들에 민감할 수 있다.

[0058] 도 10은 일 실시예에 따른 진폭 커맨드 데이터 스트림(1010) 스트림을 그래프로 예시한다. 위에서 논의된 펄스 타이밍은 $1 - \mu\text{sec}$ 커맨드 데이터 스트림(1010)과 비동기일 수 있다. 이러한 불확실성을 설명하기 위해, 임의의 실시예들에 따른 컨트롤러는 도 10에 도시된 인가 진폭 커맨드들(1012)에 도시된 바와 같이, 펄스가 발생되었을 때까지 가장 최근의 AOD 커맨드(1014)를 일정하게 유지한다. 컨트롤러는 AOD 지연 보상으로 인해 구축되는 일부 “미리보기(look-ahead)”를 가질 수 있으며, 이는 그러한 실시예들을 구현하는데 유용하다.

[0059] 임의의 실시예들에서, 제 2 지연(펄스 트레인 지연)은 빔 포지셔너가 평행 라인들을 생성하기 위해 앞 뒤로 스위프(sweep)되는 자동차 절차를 사용하여 교정된다. 지연은 라인들이 적절히 정렬될 때까지 조정된다.

[0060] 재료들의 레이저 프로세싱은 레이저 파워에 민감하고, 펄스된 레이저들에 의해 처리되는 많은 응용들에서, 개별 펄스들의 펄스 에너지(PE)에 민감하다. 예를 들어, 높은 PE는 전형적으로 구리 층을 통해 드릴링할 때 바람직한 반면, 낮은 PE는 전형적으로 기본(underlying) 구리 층에 대한 열 영향들(단화, 용융) 또는 손상 없이 유전체 층을 삭마할 때 바람직하다. 그러한 재료들을 유연하게 처리하기 위해, 피삭면에 인가되는 PE를 임의로 조정하는 방법들이 사용된다.

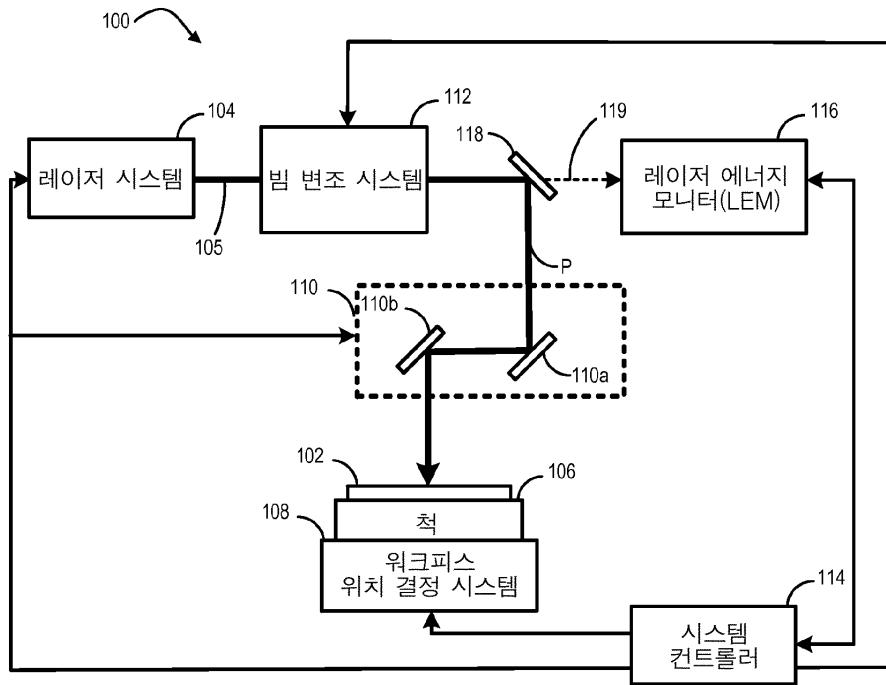
[0061] 레이저 파워 또는 PE를 조정하는 종래의 방법들은 감쇠 옵틱스(예컨대 편광 옵틱스, 또는 음향 광학 변조기들), 또는 레이저 광 출력 파워의 직접 제어를 (펌프(pump) 파워를 레이징 매체로 변화시킴으로써) 포함한다. 이러한 종래의 접근들은 느린 속도(기계적으로 조정된 편광 옵틱스에 대한), 레이저 전달(레이징 매체 펌핑 또는 Q 스위치 타이밍의 제어)의 변화, 또는 프로세싱 동작과의 조정의 결핍(모든 방법들에서)을 포함하는, 단점들을 갖는다.

[0062] 임의의 실시예들은 작업면(worksurface) 상의 레이저 스폿의 위치 결정으로 파워 또는 PE를 조정한다. 처리량 및 프로세스 품질을 최대화하기 위해, 펄스 바이 펄스 기초로 레이저 PE의 조정 및 제어가 사용될 수 있다. 게다가, PE를 제어하기 위해 각각의 개별 레이저 펄스의 PE를 측정하고 처리된 워크피스의 품질에 영향을 미칠 수 있는 PE의 편향들을 위해 프로세스를 감시하는 것이 바람직하다.

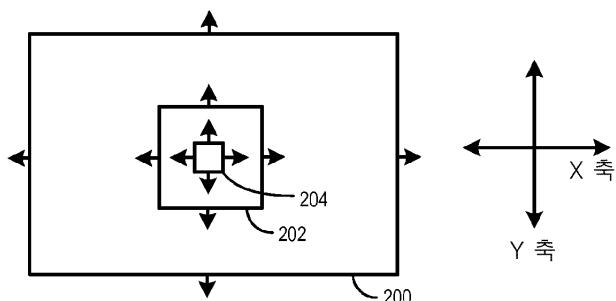
[0063] 많은 변화들은 본 발명의 기본 원리들로부터 벗어나는 것 없이 상술된 실시예들의 상세들에 이루어질 수 있다는 점이 당해 기술에서 통상의 기술자들에 의해 이해될 것이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 이하의 특허청구범위에 의해서만 결정되어야 한다.

도면

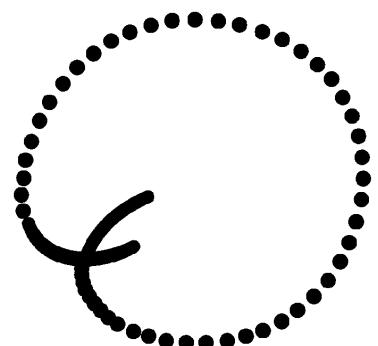
도면1



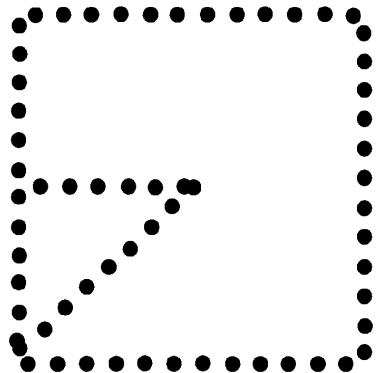
도면2



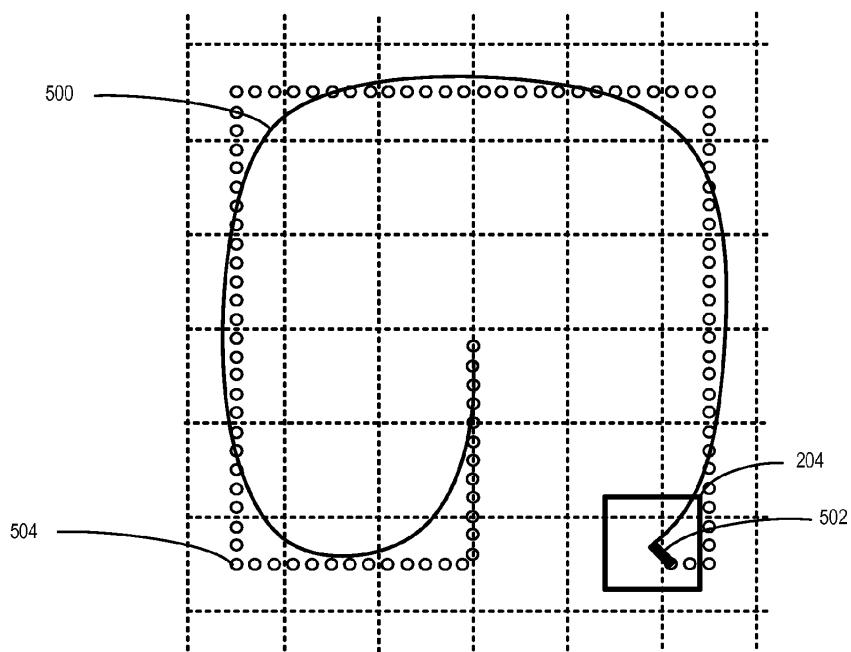
도면3



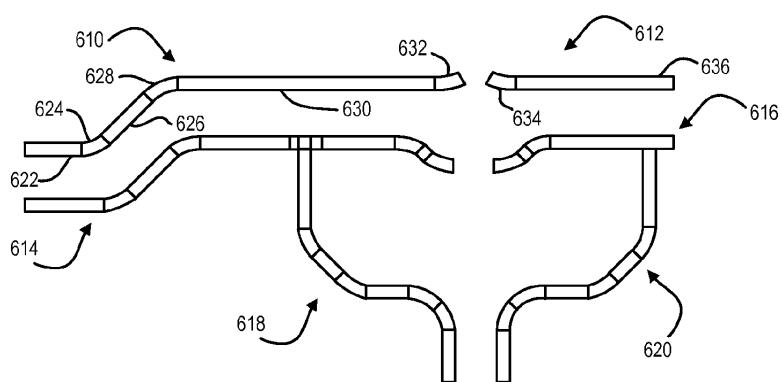
도면4



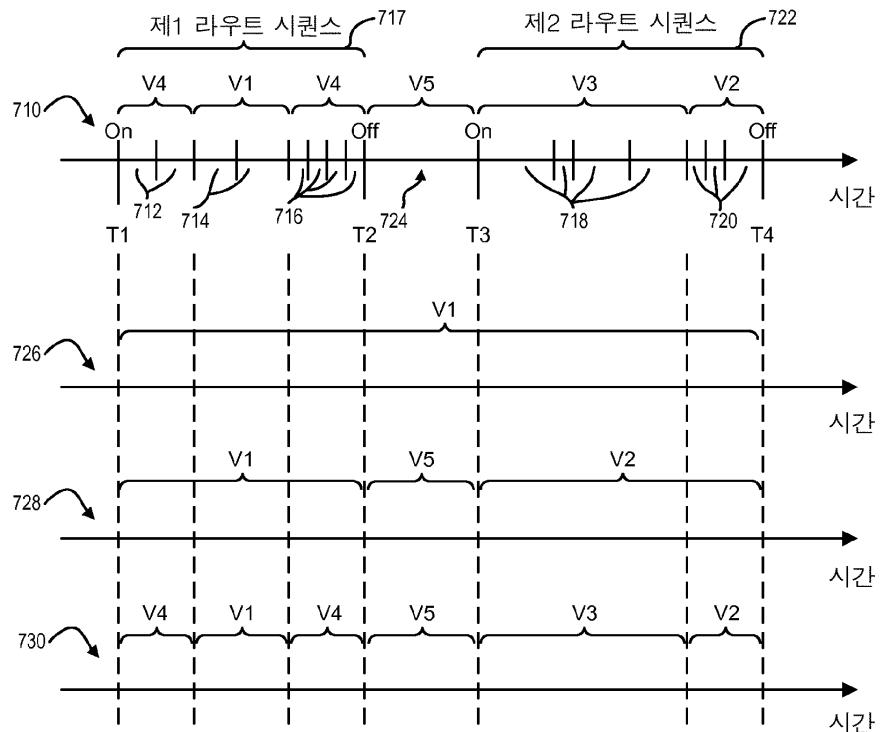
도면5



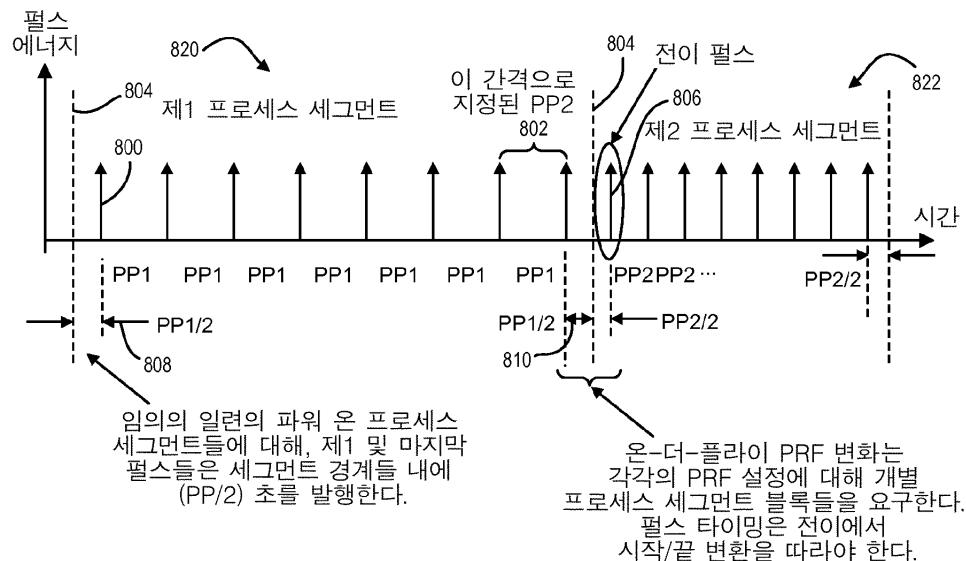
도면6



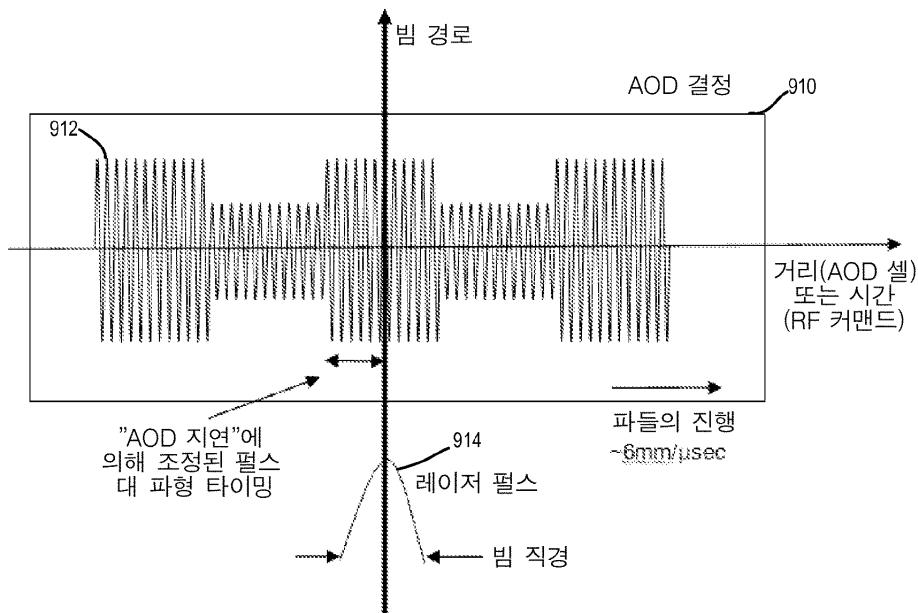
도면7



도면8



도면9



도면10

