



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0097352
(43) 공개일자 2020년08월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 64/20 (2017.01) B22F 3/105 (2006.01)
B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/32 (2014.01)
B23K 26/34 (2014.01) B29C 64/386 (2017.01)
B33Y 30/00 (2015.01) B33Y 50/02 (2015.01)
B23K 103/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B29C 64/20 (2017.08)
B22F 3/1055 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7022441(분할)
(22) 출원일자(국제) 2014년04월29일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2015-7033575
원출원일자(국제) 2014년04월29일
심사청구일자 2017년12월29일
(85) 번역문제출일자 2020년08월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/035928
(87) 국제공개번호 WO 2014/179345
국제공개일자 2014년11월06일
(30) 우선권주장
61/817,311 2013년04월29일 미국(US)

(71) 출원인
제디커, 마크, 에스.
1896 비아 드 로스 피난스 캐슬락, 씨오 80104 (유에스)
(72) 발명자
제디커, 마크, 에스.
1896 비아 드 로스 피난스 캐슬락, 씨오 80104 (유에스)
(74) 대리인
박상훈

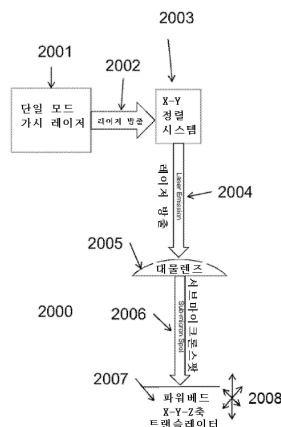
전체 청구항 수 : 총 48 항

(54) 발명의 명칭 3차원 인쇄 장치, 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 물체를 형성하기 위한 인쇄 시스템은 (a) 유도 라만 산란에 의해 가시광의 코히런트 빔을 생성하는 레이저 광 소스; (b) 상기 레이저 광 소스와 광학적 소통하는 서브스트레이트; (c) 상기 레이저 광 소스의 하류에 있는 스캐닝 모듈; 및 (d) 상기 레이저 광 소스 및 상기 스캐닝 모듈에 작동되게 연결된 컴퓨터 제어 시스템을 포함한다. 상기 스캐닝 모듈은 상기 서브스트레이트에 대하여 가시광의 상기 코히런트 빔의 스캐닝 운동을 발생시키며, 상기 스캐닝 운동은 3차원 물체의 예정된 형상에 대응한다. 상기 컴퓨터 제어 시스템은, 상기 서브스트레이트로부터 상기 물체를 형성하기 위해, (i) 예정된 방식으로 상기 스캐닝 운동을 제어하고 (ii) 상기 레이저 광 소스의 파워를 조절하도록 프로그램된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

B23K 26/0608 (2013.01)

B23K 26/32 (2013.01)

B23K 26/34 (2013.01)

B29C 64/386 (2017.08)

B33Y 30/00 (2013.01)

B33Y 50/02 (2013.01)

B22F 2003/1056 (2013.01)

B22F 2003/1057 (2013.01)

B23K 2103/00 (2018.08)

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 유도 라만 산란(stimulated Raman scattering)에 의해 가시광의 코히런트 빔(coherent beam)을 생성하는 레이저 광 소스;
- (b) 상기 레이저 광 소스와 광학적 소통하는 서브스트레이트(substrate);
- (c) 상기 레이저 광 소스의 하류에 있는 스캐닝 모듈, 여기서 상기 스캐닝 모듈은 상기 서브스트레이트에 대하여 가시광의 상기 코히런트 빔의 스캐닝 운동을 발생시키며, 상기 스캐닝 운동은 3차원 물체의 예정된 형상에 대응함; 및
- (d) 상기 레이저 광 소스 및 상기 스캐닝 모듈에 작동되게 연결된 컴퓨터 제어 시스템, 여기서 상기 컴퓨터 제어 시스템은, 상기 서브스트레이트로부터 상기 물체를 형성하기 위해, (i) 예정된 방식으로 상기 스캐닝 운동을 제어하고 (ii) 상기 레이저 광 소스의 파워를 조절하도록 프로그램됨;
- 을 포함하는 3차원 물체를 형성하기 위한 인쇄 시스템.

청구항 2

제1항에서,

상기 스캐닝 모듈은 (i) 가시광의 상기 코히런트 빔을 이동시키거나, (ii) 가시광의 상기 코히런트 빔에 상대적으로 상기 서브스트레이트를 이동시키는 인쇄 시스템.

청구항 3

제1항에서,

상기 스캐닝 모듈은 하나 이상의 검류계(galvanometer)를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 4

제1항에서,

상기 스캐닝 모듈은 가시광의 상기 코히런트 빔에 대하여 상기 서브스트레이트를 이동시키는 적어도 두 개의 직교 선형 트랜슬레이션 스테이지를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 5

제1항에서,

상기 레이저 광 소스와 상기 서브스트레이트 사이에 대물렌즈를 더 포함하며,

상기 대물렌즈는 가시광의 상기 코히런트 빔을 상기 서브스트레이트 상으로 포커싱하는 인쇄 시스템.

청구항 6

제5항에서,

상기 대물렌즈는 f-theta 렌즈인 인쇄 시스템.

청구항 7

제5항에서,

상기 대물렌즈는 가시광의 상기 코히런트 빔으로부터 상기 서브스트레이트 상에 서브미크론 스폿을 발생시키는 단초점 길이 렌즈인 인쇄 시스템.

청구항 8

제1항에서,

(i) 상기 서브스트레이트를 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동시키거나, (ii) 상기 레이저 광 소스를 포함하는 어셈블리를 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동시키는 수직 트랜슬레이터를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 9

제8항에서,

상기 수직 트랜슬레이터는 상기 서브스트레이트 또는 상기 어셈블리를 적어도 약 10 나노미터의 증분으로 이동시키는 인쇄 시스템.

청구항 10

제1항에서,

상기 레이저 광 소스는 하나 이상의 가시 레이저 다이오드를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 11

제10항에서,

상기 하나 이상의 가시 레이저 다이오드 중 개개의 다이오드는 플레이트에 결합된 개개의 레이저 칩인 인쇄 시스템.

청구항 12

제1항에서,

상기 레이저 광 소스는 레이저 다이오드들의 세트들을 포함하며, 여기서 각각의 세트는 복수의 레이저 다이오드를 포함하고, 각각의 세트는 상기 코히런트 광 빔에 포함되는 하나 이상의 코히런트 광 빔을 발생시키는 인쇄 시스템.

청구항 13

제12항에서,

상기 복수의 레이저 다이오드의 각 세트로부터의 광 빔들을 정렬하는 시준 렌즈를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 14

제13항에서,

상기 시준 렌즈로부터의 광 빔들의 발산을 대칭으로 만들기 위한 원형화 광학을 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 15

제12항에서,

레이저 다이오드들의 상기 세트들로부터의 광 빔들 사이의 죽은 공간을 줄이거나 최소화하기 위해 상기 광 빔들을 압축하는 압축 광학 요소를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 16

제1항에서,

가시광의 상기 코히런트 빔은 코히런트 단일 모드 광인 인쇄 시스템.

청구항 17

제1항에서,

상기 레이저 광 소스는 광 섬유를 포함하고, 상기 레이저 광 소스는 킬로미터당 약 50 데시벨(dB/km)보다 작은 레일리 손실(Rayleigh loss)로 상기 광섬유에서 가시광의 상기 코히런트 빔을 발생시키는 인쇄 시스템.

청구항 18

제1항에서,

상기 레이저 광 소스는 적어도 하나의 레이저 다이오드 및 상기 레이저 다이오드와 광학적 소통하는 섬유를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 19

제18항에서,

상기 섬유는 (i) 실질적으로 단일 모드인 중앙 코어, (ii) 상기 레이저 다이오드 어레이로부터 출력된 가시광의 복수의 빔을 캡처하며 상기 중앙 코어보다 큰 직경의 클래딩, 그리고 (iii) 상기 레이저 다이오드 어레이에 의해 출력된 가시광의 상기 빔들을 상기 섬유를 따라서 안내하는 외곽 클래딩을 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 20

제19항에서,

상기 중앙 코어 및 상기 외곽 클래딩은 유도 라만 산란을 통해 상기 중앙 코어에서 이득을 생성하기 위해 가시광의 상기 복수의 빔이 상기 중앙 코어를 가로지르도록 배열되어 있는 인쇄 시스템.

청구항 21

제1항에서,

상기 물체는 마이크로-전기적-기계적(MEMS) 장치의 구성요소인 인쇄 시스템.

청구항 22

(a) 킬로미터당 약 50 데시벨(dB/km)보다 작은 레일리 손실로 가시광의 코히런트 빔을 출력하는 광섬유를 포함하는 레이저 광 소스;

(b) 상기 레이저 광 소스와 광학적 소통하는 서브스트레이트;

(c) 상기 레이저 광 소스의 하류에 있는 스캐닝 모듈, 여기서 상기 스캐닝 모듈은 상기 서브스트레이트에 대하여 가시광의 상기 빔의 예정된 스캐닝 운동을 발생시키며, 예정된 스캐닝 운동은 상기 3차원 물체의 형상에 대응함; 및

(d) 상기 레이저 광 소스 및 상기 스캐닝 모듈에 작동되게 연결된 컴퓨터 제어 시스템, 여기서 상기 컴퓨터 제어 시스템은, 상기 서브스트레이트로부터 상기 물체를 형성하기 위해, (i) 예정된 방식으로 상기 스캐닝 운동을 제어하고 (ii) 상기 레이저 광 소스의 파워를 조절하도록 프로그램됨;

을 포함하는 3차원 물체를 형성하기 위한 인쇄 시스템.

청구항 23

제22항에서,

상기 스캐닝 모듈은 (i) 가시광의 상기 코히런트 빔을 이동시키거나, (ii) 가시광의 상기 코히런트 빔에 상대적으로 상기 서브스트레이트를 이동시키는 인쇄 시스템.

청구항 24

제22항에서,

상기 스캐닝 모듈은 하나 이상의 검류계를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 25

제22항에서,

상기 스캐닝 모듈은 가시광의 상기 코히런트 빔에 대하여 상기 서브스트레이트를 이동시키는 적어도 두 개의 직교 선형 트랜슬레이션 스테이지를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 26

제22항에서,

상기 레이저 광 소스와 상기 서브스트레이트 사이에 대물렌즈를 더 포함하며,

상기 대물렌즈는 가시광의 상기 코히런트 빔을 상기 서브스트레이트 상으로 포커싱하는 인쇄 시스템.

청구항 27

제26항에서,

상기 대물렌즈는 f-theta 렌즈인 인쇄 시스템.

청구항 28

제26항에서,

상기 대물렌즈는 가시광의 상기 코히런트 빔으로부터 상기 서브스트레이트 상에 서브미크론 스폿을 발생시키는 단초점 길이 렌즈인 인쇄 시스템.

청구항 29

제22항에서,

(i) 상기 서브스트레이트를 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동시키거나, (ii) 상기 레이저 광 소스를 포함하는 어셈블리를 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동시키는 수직 트랜슬레이터를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 30

제29항에서,

상기 수직 트랜슬레이터는 상기 서브스트레이트 또는 상기 어셈블리를 적어도 약 10 나노미터의 증분으로 이동시키는 인쇄 시스템.

청구항 31

제22항에서,

상기 레이저 광 소스는 하나 이상의 가시 레이저 다이오드를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 32

제31항에서,

상기 하나 이상의 가시 레이저 다이오드 중 개개의 다이오드는 플레이트에 결합된 개개의 레이저 칩인 인쇄 시스템.

청구항 33

제22항에서,

상기 레이저 광 소스는 레이저 다이오드들의 세트들을 포함하며, 여기서 각각의 세트는 복수의 레이저 다이오드를 포함하고, 각각의 세트는 상기 코히런트 광 빔에 포함되는 하나 이상의 코히런트 광 빔을 발생시키는 인쇄 시스템.

청구항 34

제33항에서,

상기 복수의 레이저 다이오드의 각 세트로부터의 광 빔들을 정렬하는 시준 렌즈를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 35

제34항에서,

상기 시준 렌즈로부터의 광 빔들의 발산을 대칭으로 만들기 위한 원형화 광학을 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 36

제33항에서,

레이저 다이오드들의 상기 세트들로부터의 광 빔들 사이의 죽은 공간을 줄이거나 최소화하기 위해 상기 광 빔들을 압축하는 압축 광학 요소를 더 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 37

제22항에서,

가시광의 상기 코히런트 빔은 코히런트 단일 모드 광인 인쇄 시스템.

청구항 38

제22항에서,

상기 레이저 광 소스는 적어도 하나의 레이저 다이오드 및 상기 레이저 다이오드와 광학적 소통하는 섬유를 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 39

제38항에서,

상기 섬유는 (i) 실질적으로 단일 모드인 중앙 코어, (ii) 상기 레이저 다이오드 어레이들로부터 출력된 가시광의 복수의 빔을 캡처하며 상기 중앙 코어보다 큰 직경의 클래딩, 그리고 (iii) 상기 레이저 다이오드 어레이에 의해 출력된 가시광의 상기 코히런트 빔을 상기 섬유를 따라서 안내하는 외곽 클래딩을 포함하는 인쇄 시스템.

청구항 40

- (a) 레이저 광 소스 및 상기 레이저 광 소스의 광학적으로 하류에 스캐닝 모듈을 제공하는 단계;
 - (b) 상기 레이저 광 소스를 사용하여, 유도 라만 산란에 의한 가시광의 코히런트 빔을 발생시키는 단계;
 - (c) 가시광의 상기 코히런트 빔을 상기 레이저 광 소스와 광학적 소통하는 서브스트레이트로 향하게 하는 단계;
 - (d) 상기 서브스트레이트에 또는 상기 서브스트레이트로부터 3차원 물체의 예정된 형상의 적어도 일부분에 대응하는 피처를 발생시키는 단계;
 - (e) 상기 스캐닝 모듈을 사용하여, 상기 서브스트레이트에 대하여 가시광의 상기 코히런트 빔의 스캐닝 운동을 발생시키는 단계, 여기서 상기 스캐닝 운동은 상기 3차원 물체의 예정된 형상에 대응함; 및
 - (f) 상기 서브스트레이트를 가시광의 상기 코히런트 빔에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 상기 레이저 광 소스에 상대적으로 이동시키는 단계;
- 를 포함하는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 41

제40항에서,

상기 (e) 단계는 상기 레이저 광 소스의 파워를 조절하는 단계를 포함하는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 42

제41항에서,

상기 파워는 적어도 약 50 kHz의 주파수로 조절되는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 43

제40항에서,

상기 스캐닝 운동을 메모리에 프로그래밍하는 단계를 더 포함하며,

상기 스캐닝 운동은 상기 물체의 3차원 형상으로부터 결정되는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 44

제40항에서,

상기 피치는 투과 전자 현미경에 의해 측정되는 약 0.1 나노미터(nm)로부터 50 nm의 표면 거칠기를 가지는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 45

청구항 40에서,

상기 단계 (f)에서, 상기 서브스트레이트는 적어도 약 10 나노미터의 거리로 이동되는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 46

제40항에서,

상기 단계 (f)에서, (i) 상기 서브스트레이트는 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동되거나, (ii) 상기 레이저 광 소스를 포함하는 어셈블리가 가시광의 상기 코히런트 빔의 방향에 일반적으로 평행한 방향을 따라서 이동되는 3차원 물체 형성 방법.

청구항 47

제40항에서,

상기 서브스트레이트는 파우더인 3차원 물체 형성 방법.

청구항 48

청구항 47에서,

상기 단계 (d) 이후에 상기 파우더를 보충하는 단계를 더 포함하는 3차원 물체 형성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 인쇄 장치, 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0002] 상호 참조

[0003] *본 출원은 여기에 참조로서 전부 통합되는 2013년 4월 29일 출원된 미국 특허 가출원 일련번호 61/817,311에 대한 우선권을 주장한다.

배경 기술

[0004] 3차원(3D) 인쇄는 디지털 모델로부터 3차원 입체 물체들(solid objects)를 만드는 제조 프로세스이다. 3D 인쇄는 재료의 연속 층들이 서로 다른 형상으로 쌓이는 첨가 프로세스(additive process)를 사용하여 일반적으로 달성된다. 3D 인쇄는 커팅(cutting)이나 드릴링(drilling) 같은 방법(삭감 프로세스(subtractive process))에 의한 재료의 제거에 의존하는 전통적인 머시닝(machining) 기술과 구별된다.

[0005] 다양한 첨가 프로세스가 현재 이용 가능하다. 이것들은 파트들(parts)를 생성하기 위해 층들이 쌓이는 방식에 있어서 그리고 사용될 수 있는 재료들에 있어서 다르다. 몇몇 방법은 재료를 녹이거나 부드럽게 하여 층들을 생산하며, 예컨대, 선택적 레이저 용해(selective laser melting, SLM) 또는 직접 금속 레이저 소결(direct metal laser sintering, DMLS), 선택적 레이저 소결(selective laser sintering, SLS), 용융 퇴적 모형화(fused deposition modeling, FDM)? 있다. 한편, 다른 방법들은 여러 복잡한 기술을 사용하여 액체 재료들을 경화시키며, 예컨대, 스테레오리소그래피(stereolithography, SLA)가 있다. 적층 물체 제조(laminated object manufacturing, LOM)를 사용하여, 얇은 층들이 형상으로 절단되고 합쳐진다 (예컨대, 종이, 중합체, 금속).

[0006] 그러한 접근법들이 3D 물체들을 제공할지라도, 그러한 접근법들과 관련된 제한들이 있다. 그러한 접근법들은 전자기 스펙트럼의 적외선(IR) 부분에 있는 파장들을 가진 레이저 광을 일반적으로 사용한다 - 예컨대, 1 마이크로미터보다 큰 파장들. 이것은 물체들을 서브마이크론(submicron) 해상도로 형성하는 것을 어렵게 할 수 있다. 또한, 일반적인 3D 인쇄 시스템들은 느리고, 낮은 표면 거칠기를 가진 물체들을 생산할 수 없으며, 그러한 3D 인쇄된 물체들을 많은 최종 용도들에 대하여 부적합하게 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 개선된 3차원(여기서 또한 "3D" 및 "3-D") 인쇄 시스템들 및 방법들에 대한 필요가 인식된다. 특히, 느린 제조 속도, 파트의 낮은 피쳐 해상도(feature resolution)와 높은 표면 거칠기를 다룰 필요가 있으며, 층상 기반(layer by layer basis)으로 구성요소들(components)을 제조하기 위해 적외선(IR) 레이저들을 사용하는 경우일 수 있다. 본 발명은 여기에서 제시되는 제조, 장치들 및 공정들을 제공함으로써 이들 그리고 다른 필요성을 다룬다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 개시는 고 해상도와 함께 고 체적 빌드 속도(high volumetric build rate)를 달성하기 위해 가시 레이저 시스템(visible laser system)을 사용하여 재료의 층을 용해시켜(fusing) 파트들 또는 구성요소들의 제작을 위한 방법들, 장치들 및 시스템을 제공한다. 본 개시의 장치들 및 시스템들은 3차원 인쇄 애플리케이션들을 위해 가시 레이저들을 사용한다. 여기서 제공되는 장치들 및 시스템들은 생산에 있어서 레이저 기반 3D 프린터를 사용하는데 필요한 해상도 및 빌드 속도를 동시에 또는 실질적으로 동시에 달성할 수 있다.

[0009] 본 개시는 주어진 최종 포커싱 광학(final focusing optic)에 대해 실질적으로 작은 스폿(spot) 크기를 생산하는데 가시 레이저 소스(visible laser source)를 사용하는 3차원 인쇄 시스템을 제공한다.

[0010] 3D 레이저 소결 시스템 또는 3D 레이저 인쇄 시스템은 대물렌즈의 초점면(focal plane)에서 레이저 빔의 트랜슬레이션(translation)을 생산하기 위해 최종 포커싱 대물렌즈(objective) 상의 입사각을 스캐닝하기 위한 기계적 스텝핑 장치, 검류계 또는 유사한 메커니즘일 수 있는 한 쌍의 스캐너들을 사용한다. 대물렌즈는 인쇄면(printing plane) 위에 일관된 레이저 스폿 크기를 생산할 수 있는 f-theta 렌즈 또는 유사한 다중요소(multi-element) 렌즈 설계일 수 있다. 인쇄면 상의 스폿 크기는 시준 레이저 빔(collimated laser beam)의 직경, 대물렌즈의 초점 거리 및 레이저 소스의 파장에 의해 결정될 수 있다. 따라서 레이저 소스의 파장은 시스템에서 중요한 파라미터인데, 최소 스폿 크기 및 스캐닝될 수 있는 체적(volume)을 결국 규정하기 때문이다.

[0011] 인쇄면은 파우더 금속(powder metal), 열을 가하면 경화될 수 있는 포토폴리머(photopolymer) 또는 흐르거나 경화될 수 있는 폴리머의 베드(bed)일 수 있다. 파우더의 층은 롤러(roller) 또는 블레이드(blade) 타입 시스템을 사용하여, 또는 레이저 빔과 동축(coaxial)이지만 레이저 빔의 주변을 둘러 전달되는 파우더 전달 노즐(powder delivery nozzle)을 사용하는 직접 퇴적(direct deposition)을 통해 미리 놓일 수 있다.

[0012] 가시 체제(visible regime)에서 동작하는, 높은 파워, 높은 휘도 레이저 소스들을 생성하는 적어도 두 가지 방법이 있다: 1) 포타슘 티타닐 포스페이트(potassium titanyl phosphate, KTP) 또는 주기적으로 극화된(periodically poled) 리튬 니오베이트(LiNbO₃) 같은 비선형 결정에서 적외선 레이저 소스의 주파수 더블링, 또는 2) 다중 적외선 광자들(photons)이 에르븀(Er) 또는 툴륨(Tm) 같은 희토류 이온에 의해 흡수되어, 고 에너지 상태가 파폭레이션되고(populated) 에르븀에 대한 녹색 및 툴륨에 대한 청색 같은, 가시 파장에서 진동(oscillation)에 이르는 결과를 가져오는 섬유 레이저(fiber laser)의 업컨버전 동작(upconversion operation). 적외선 레이저의 주파수 더블링은 고 파워 레벨들로 증대시키기가 어려울 수 있는데, KTP의 저 손

상 한계치(low damage threshold) 또는 더블링 공정에서 사용되는 리튬 리오베이트 결정들 때문이다. 결과적으로, 더블링 기술들에 기초한 레이저들은 단일 모드 출력(single mode output)으로 200 와트보다 낮게 제한될 수 있다. 두 번째 기술, 섬유 레이저에서 업컨버전은 출력 파워에서 또한 제한될 수 있는데, 도핑된 섬유에 존재하는 고 에너지 광자들로 인해 섬유들이 색 중심 형성(color center formation)을 겪는 경향이 있기 때문이다. 또한, 이들 업컨버전 층들에는 파플레이션된(populated) 수 있고 UV 광자들을 생산할 수 있는 보다 높이 놓인 상태들(higher lying states)이 있고, 이것은 광자들의 고 에너지에 의해 섬유에서 형성되는 광폭 흡수 중심들(broad band absorption centers)인 훨씬 더 빠른 색 중심들의 형성에 이를 수 있고, 그 결과 업컨버전 프로세스에 의해 생산되는 잠재적 이득(gain)을 초과하고 레이저 동작을 못하게 하는 섬유에서 손실들을 가져온다.

[0013] 본 개시는 고 파워, 고 휘도 가시 레이저 방사(irradiation)를 생성하는 장치들, 시스템들 및 방법들을 제공한다. 그러한 장치들과 시스템들은 주어진 기능을 수행하도록 각각 구성된(configured) 다중 모듈을 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에 있어서, 가시 레이저 방사를 발생시키기 위한 장치는 가시 레이저 다이오드들의 어레이, 빔 형성 시스템, 그리고 개개의 레이저 다이오드들의 출력들을 단일 모드 출력을 결합하기 위해 유도 라만 산란(stimulated Raman scattering, SRS)을 사용하는 빔 컨버터를 포함한다. 가시 레이저 다이오드들의 출력들은 제1 라만 순서 이동 파장(first Raman order shifted wavelength) 상에서 레이저 동작을 가능하게 하는 SRS 프로세스로부터 이득(gain)을 생성하는데 충분히 작은 직경의 섬유로 집중될 수 있다.

[0014] 또한, 각각의 레이저 다이오드가 T056 케이스에 마운트된 모듈러 플레이트 설계(modular plate design), 시준 광학(collimating optic), 시준된 소스의 발산(divergence)을 대칭으로(symmetric) 만들기 위한 빔 원형화 광학(beam circularizing optic), 개개의 레이저 소스들 각각 사이의 죽은 공간(dead space)을 없애기 위해 빔렛들의 어레이를 압축하는 빔 형상화 광학 시스템(beam shaping optical system), 그리고 모듈러 플레이트로부터 빔들의 각각을 인터레이스하기(interlacing) 위한 모듈을 포함하는 가시 다이오드 레이저 시스템이 제공된다. 레이저 다이오드가 한 축으로 시준되면, 다른 축으로 시준하기 위해 원통형 렌즈가 사용되어, 최종 포커싱 광학으로 생성되는데 필요한 스폿에 따라 두 축의 발산이 동일하거나 동일하지 않도록 만든다.

[0015] 레이저 다이오드들의 각 플레이트로부터의 레이저 빔들은 최종 빔 포커싱 광학으로 진출하기(launch) 전에 시스템의 기계적 특성들로 인한 빈 공간을 채우도록 수직으로 인터레이스될 수 있다. 여기서 사용되는 바와 같이, 달리 특정되지 않는다면, 인터레이스(interlace)는 시스템의 하류(downstream) (몇몇 경우에 있어서 최종) 광학으로 진출하기 전에 빔들 사이의 죽은 공간을 제거하기 위해서, 서로 다른 광 소스들로부터의 빔을 서로 인접하게 위치시키고 2개의 소스들이 정렬될 때 빔들이 나오는 소스를 수직으로 또는 수평으로 교호시키는 것을 나타낸다. 몇몇 상황에 있어서, 빔 포커싱 광학은 베스트 폼 렌즈(best form lens), 구면 수차들에 대해 보정된 다중 요소 렌즈, 어떤 색수차들을 보상하는 무색 렌즈(achromatic lens), 또는 광섬유(optical fiber)로 포커싱하기 위한 큰 수집 구경(large collection aperture)을 가능하게 하는 낮은 f-수 (또는 초점물)을 가진 비구면(asphere)일 수 있다. 여기서 사용되는 바와 같이, 달리 특정되지 않으면, 비구면은 구경의 위치에 상관없이 렌즈의 구경을 통과하는 모든 선들(rays)의 경로 길이(path length)를 동등하게 하는 제르니케 다항식(Zernike polynomial)에 의해 규정되는 비구형(non-spherical) 프로파일을 가진 렌즈이다.

[0016] 추가적으로, 레이저 다이오드 어레이로부터 광학 펌프 광(optical pump light)을 수집하기 위한 트리플 클래딩(triple cladding), 가시 레이저 다이오드들로부터의 인코히런트(incoherent) 펌프 방사를 전파하기 위한 저 손실(예컨대, 50 데시벨/킬로미터 (db/km), 40 db/km, 30 db/km, 20 db/km, 또는 10 db/km보다 작음) 클래딩 그리고 저 손실 단일 모드 코어(예컨대, 50 db/km, 40 db/km, 30 db/km, 20 db/km, 또는 10 db/km보다 작음)를 가진 광섬유가 제공된다. 가시 레이저 다이오드 방사는 외곽 클래딩(outer cladding)에 갇힐(confined) 수 있지만, 중앙 코어를 랜덤하게 가로질러(transverse) SRS 프로세스를 통해 코어에서 이득을 생성할 수 있다. 가시 레이저 다이오드들에 대한 충분한 강도에서, 이득은 섬유에서 손실들을 초과할 수 있고, 외부 거울들, 내장 격자들(embedded gratings) 또는 외부 격자들로부터의 피드백과 결합될 때, 다중 축 또는 단일 축 모드 동작과 함께 단일 횡행 모드(single transverse mode)에서 진동하도록 만들어질 수 있다. 이 기술은 과거에는 실현되지 않았을 수 있는데, 가시 스펙트럼에서 대부분의 광섬유들에서 전형적인 고 손실(예컨대, 50 dB/Km보다 크거나 동일함) 때문이다. 본 개시의 광섬유들은 섬유에서 레일리 산란(Rayleigh scattering)을 유리하게 최소화하여, SRS 이득이 광섬유에서 손실들을 초과하도록 만들 수 있다.

[0017] 추가적으로, 본 개시는 다중층 3D 물체를 형성하는데 사용될 수 있는, 재료를 함께 융해시키거나, 재료들을 경화시키거나, 재료를 제거하기(ablate) 위해 타겟 재료 상에서 고 파워 레이저 동작을 수행하는 방법을 제공한다. 재료는 금속 재료, 절연 재료, 반도체 재료, 폴리머 재료, 복합 재료, 또는 이들의 조합 같은 다수의 재료 중 임의의 것일 수 있다. 비제한적인 예시적인 재료들은 강철, 티타늄, 구리, 청동, 금, 그리고 이들 재료의 합금

들을 포함한다.

[0018] 재료들의 흡수 특징들이 파장의 감소와 함께 증가할 수 있다. 그 결과, IR 레이저와 비해 청색 레이저 파장을 사용할 때 공정 속도가 상당히 증가할 수 있다 (표 1 참고).

표 1

[0019]

레이저 시스템	흡수					처리 속도 이점				
	알루미늄(Al)	강철(St)	구리(Cu)	금(Au)	Ni	알루미늄(Al)	강철(St)	구리(Cu)	금(Au)	Ni
청색 레이저	32%	67%	58%	60%	65%	200%	129%	967%	3000%	144%
섬유 레이저	16%	52%	6%	2%	45%					

[0020]

본 개시의 일 양태는 3차원 물체를 형성하기 위한 인쇄 시스템을 제공하며, 인쇄 시스템은 유도 라만 산란에 의해 가시광의 코히런트 빔(coherent beam)을 생성하는 레이저 광 소스, 레이저 광 소스와 광학적 소통하는(optical communication) 서브스트레이트(substrate), 그리고 레이저 광 소스의 하류의 스캐닝 모듈을 포함한다. 스캐닝 모듈은 서브스트레이트에 대해 가시광의 코히런트 빔의 스캐닝 운동(scanning motion)을 생성하도록 적용될 수 있고, 스캐닝 운동은 3차원 물체의 예정된 형상에 대응할 수 있다. 인쇄 시스템은 레이저 광 소스 및 스캐닝 모듈에 작동되게 연결된(operatively coupled) 컴퓨터 제어 시스템을 더 포함할 수 있다. 컴퓨터 제어 시스템은 (i) 예정된 방식으로 스캐닝 운동을 제어하고, (ii) 서브스트레이트로부터 형상을 형성하기 위해, 레이저 광 소스의 파워를 조절하도록 프로그램될 수 있다. 본 개시의 다른 양태는 3차원 물체를 형성하기 위한 인쇄 시스템을 제공하며, 인쇄 시스템은 약 50 데시벨/킬로미터(dB/km)보다 작은 레일리 손실을 가진 광섬유에서 가시광의 코히런트 빔을 출력하는 적어도 하나의 광섬유, 레이저 광 소스와 광학적 소통하는 서브스트레이트(예컨대, 파우더), 그리고 레이저 광 소스의 하류의 스캐닝 모듈을 포함하며, 스캐닝 모듈은 서브스트레이트에 대한 가시광의 빔의 예정된 스캐닝 운동을 생성하도록 적용된다. 예정된 스캐닝 동작은 3차원 물체의 형상에 대응할 수 있다. 인쇄 시스템은 레이저 광 소스 및 스캐닝 모듈과 작동되게 연결된 컴퓨터 제어 시스템을 더 포함할 수 있다. 컴퓨터 제어 시스템은 (i) 예정된 방식으로 스캐닝 운동을 제어하고, (ii) 서브스트레이트로부터 형상을 형성하기 위해, 레이저 광 소스의 파워를 조절하도록 프로그램될 수 있다.

[0021]

본 개시의 다른 양태는 3차원 물체를 형성하기 위한 방법을 제공하며, 방법은 레이저 광 소스 및 그것의 광학적 하류의 스캐닝 모듈을 제공하는 것, 그리고 유도 라만 산란에 의한 가시광의 코히런트 빔을 생성하는 것을 포함한다. 다음, 가시광의 코히런트 빔은 레이저 광 소스와 광학 소통하는 서브스트레이트로 향해진다. 그 다음 서브스트레이트에서 또는 그것으로부터 피쳐(feature)가 생성된다. 피쳐는 3차원 물체의 예정된 형상의 적어도 일부분에 대응할 수 있다. 다음, 스캐닝 모듈이 서브스트레이트에 대해 가시광의 코히런트 빔의 스캐닝 운동을 생성하는데 사용된다. 그 다음 서브스트레이트는 가시광의 코히런트 광에 일반적으로 평행한 방향을 따라 레이저 광 소스에 대하여 이동된다.

[0022]

본 개시의 다른 양태는 하나 이상의 컴퓨터 프로세서에 의한 실행 시 여기에 기재된 방법들 중 어느 것을 실행하는 기계 실행가능 코드(machine executable code)를 포함하는 컴퓨터 판독가능 매체(예컨대, 메모리)를 제공하는 것이다.

[0023]

본 개시의 다른 양태는 하나 이상의 컴퓨터 프로세서 및 이와 연결된 메모리를 포함하는 컴퓨터 시스템을 제공하는 것이다. 메모리는 하나 이상의 컴퓨터 프로세서에 의한 실행 시 여기에 기재된 방법들 중 어느 것을 실행하는 기계 실행가능 코드를 포함한다.

[0024]

본 개시의 추가적인 양태들 및 이점들은 본 개시의 단지 예시적인 실시예들이 보여지고 개시되는 다음 상세한 설명으로부터 당해 기술분야의 숙련된 자들에게 쉽게 명백해질 것이다. 본 개시는 다른 및 상이한 실시예들이 가능하고 그것의 몇몇 세부 사항은 본 개시를 벗어나지 없이 여러 가지 명백한 점에 있어서 변형이 가능함이 인식될 것이다. 따라서 도면 및 상세한 설명은 제한적인 것이 아닌, 사실상 예시적인 것으로서 간주된다.

[0025]

참조 통합

[0026]

본 명세서에서 언급되는 모든 공보, 특허 및 특허 출원은, 마치 각각의 개별적인 공보, 특허 또는 특허 출원이 참조로서 통합되는 것으로 특별히 그리고 개별적으로 명시된 것과 같은 정도로, 여기에 참조로서 통합된다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 장치들, 방법들 및 시스템들은 생산에 있어서 레이저 기반 3D 프린터를 사용하는데 필요한 해상도 및 빌드 속도를 동시에 또는 실질적으로 동시에 달성할 수 있다. 본 발명의 여러 효과와 추가적인 이점들이 본 명세서에 기재된 사항으로부터 인식될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0028] 본 발명의 신규한 특징들이 첨부된 청구항들에 상세하게 기재되어 있다. 본 발명의 특징들 및 장점들은 발명의 원리들이 이용되는 예시적인 실시예들을 기재하는 다음 상세한 설명과 첨부 도면들(여기서 또한 "도" 및 "FIG")을 참고하여 더 잘 이해될 것이다.

도 1은 스캐너들 및 가시 레이저 소스를 사용하는 f-theta 렌즈에 기초하는 3차원(여기서 또한 "3-D" 및 "3D") 인쇄 시스템의 일 실시예를 보여주는 개략도이고,

도 2는 가시 레이저 소스와 함께 선행 트랜슬레이션 스테이지들을 사용하는 3D 인쇄 시스템의 일 실시예를 보여주는 개략도이고,

도 3은 가시 레이저 소스의 일 실시예를 보여주는 개략도이고,

도 4는 T056 패키지에 패키징된 다중 레이저 다이오드 소스들을 사용하는 모듈러 레이저 플레이트의 일 실시예를 나타내고,

도 5는 레이저 소스들의 2차원 어레이를 형성하기 위해 스택된 다중 모듈러 플레이트들의 일 실시예를 나타내고,

도 6a 및 6b는 단일 모드 출력으로 펄프 파워의 진전(evolution)을 도시적으로 나타내고,

도 7은 프로그램되거나 본 개시의 방법들을 실행하도록 구성된 컴퓨터 시스템을 개략적으로 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명의 다양한 실시예들이 여기서 보여지고 설명될지라도, 그러한 실시예들은 단지 예시적인 제공되는 것이 당해 기술분야의 통상의 기술을 가진 자에게 자명할 것이다. 수많은 변형, 변화, 치환이 본 발명을 벗어남이 없이 당해 기술분야의 통상의 기술을 가진 자에게 일어날 수 있다. 여기서 설명되는 본 발명의 실시예들의 여러 대안들이 채용될 수 있음이 이해되어야 한다.

[0030] 여기서 사용되는 용어 "가시광"은 약 380 나노미터(nm)와 760 nm 사이의 파장(400-790 테트라헤르쯔)을 가진 전자기 방사(광)를 일반적으로 나타낸다. 가시광은 인간 눈에 의해 보인다. 가시 레이저 광은 약 380 nm와 760 nm 사이의 파장을 가진다.

[0031] 여기서 사용되는 용어 "고 파워 레이저 에너지"는 적어도 약 200 와트(W)의 파워를 가진 레이저 빔을 일반적으로 나타낸다.

[0032] 여기서 사용되는 용어 "상당한 파워 손실(substantial power loss)"은 가시 파장에 대해 약 10 dB/km (데이벨/킬로미터)보다 큰 파워 손실을 일반적으로 나타낸다.

[0033] 여기서 사용되는 용어 "가시 파장(visible wavelength)"은 400 nm보다 크지만 750 nm보다 작은 파장을 가진 레이저 빔을 일반적으로 나타낸다.

[0034] 여기서 사용되는 용어 "고 휘도(high brightness)"는 회절 한계 또는 근사 회절 한계 성능(near diffraction limited performance)을 가진 단일 모드 레이저 동작을 일반적으로 나타낸다.

[0035] 여기서 사용되는 용어 "빔렛(beamlet)"은 하나의 축으로 또는 두 개의 직교하는 축으로 시준될 수 있는 단일 레이저 다이오드로부터의 전자기 방사의 빔을 일반적으로 나타낸다.

[0036] 여기서 사용되는 용어 "인터레이스(interlace)"는 시스템의 하류 (몇몇 경우에 있어서 최종) 광학으로 진출하기 전에 빔들 사이의 축은 공간을 제거하기 위해서, 서로 다른 광 소스들로부터의 빔을 서로 인접하게 위치시키고 2개의 광 소스들이 정렬될 때 빔들이 나오는 광 소스를 수직으로 또는 수평으로 교호시키는 것을 일반적으로 나타낸다.

[0037] 여기서 사용되는 용어 "f-수(number)"(또한, 초점물, f-율(ratio), f-스톱(stop) 및 구경비(relative aperture))는 초점 거리 대 광학 시스템의 렌즈의 입사동(entrance pupil)의 직경의 비율을 일반적으로 의미한다.

다.

- [0038] 여기서 사용되는 용어 "비구면(asphere)"은 구경의 위치에 상관 없이 렌즈의 구경을 통과하는 모든 선들의 경로 길이를 동등하게 하는 제르니케 다항식에 의해 규정되는 비구형 프로파일을 가진 렌즈를 일반적으로 의미한다. 제르니케 다항식들은 유닛 디스크(unit disk) 상에 직각인 다항식들의 시퀀스이다.
- [0039] 여기서 사용되는 용어 "빌드 체적(build volume)"은, 예컨대 측면 범위(lateral extent) "x", 횡단 범위(transverse extent) "y" 및 수직 범위(vertical extent) "z"를 가진 레이저 빔에 의해 스캐닝될 수 있는, 3D 인쇄되는 물체 같은, 제조 중인 물체의 체적을 일반적으로 나타낸다. 수직 범위는 각 층이 처리된 후 인쇄되는 물체를 "z" 방향으로 증가하게 트랜슬레이션하는 엘리베이터(elevator)에 의해 한정될 수 있다.
- [0040] 여기서 사용되는 용어 "단일 모드(single mode)"는 낮은 M^2 값을 가진 레이저 시스템의 근사 회절 한계 성능을 일반적으로 나타내며, 여기서 M^2 는 빔 코스틱(beam caustic) 그리고 레이저 빔이 회절 한계 성능에 얼마나 가깝게 되는지를 한정한다. 여기서 사용되는 M^2 는, 달리 특정되지 않는다면, 빔의 타임즈 회절 한계(times diffraction limit)의 수로서 정의되고, 약 1 이상, 또는 약 1.1 이상이지만 그런데도 단일 가로 모드(single transverse mode), 또는 약 1.3 이상이지만 그런데도 단일 가로 모드일 수 있다.
- [0041] 여기서 사용되는 용어 "유도 라만 산란(stimulated Raman scattering)"은 섬유의 분자들의 광자들이 저 에너지 상태(Stokes shift) 또는 고 에너지 상태(Anti-Stokes shift)로 흩어져서(scatter off) 광학 매체에서 이득을 생성하는 프로세스를 일반적으로 나타낸다. 광자들의 레이저 빔에서, 몇몇 스토크스 광자는 자발적 라만 산란에 의해 이전에 생성되어 있을 수 있고 (그리고 재료에 남아있을 수 있고), 또는 몇몇 스토크스 광자("신호 광")는 원광(original light)("펌프 광")과 함께 의도적으로 주입되어 있을 수 있다. 일반적으로, 광자들이 원자 또는 분자로부터 산란될 때, 대부분의 광자들은 탄성적으로 산란되어 (레이리 산란), 산란된 광자들은 입사 광자들과 동일한 에너지(주파수 및 파장)를 가진다. 산란된 광자들의 소부분(예컨대, 약 100만에서 1)은 여기(excitation)에 의해 산란되고, 산란된 광자들은 입사 광자들과 다른, 그리고 보통은 그보다 낮은 주파수를 가진다. 기체에서, 라만 산란은 한 에너지 상태에서 다른 에너지 상태로 전이(transition)로 인해, 분자의 에너지 변화와 함께 일어날 수 있다. 라만 산란 프로세스는 자발적으로 일어난다: 즉, 임의의 시간 간격으로, 많은 들어오는 양자들 중 하나가 재료에 의해 산란된다. 이러한 프로세스는 "자발적 라만 산란(spontaneous Raman scattering)"으로 언급될 수 있다. 유도 라만 산란(여기서 또한 "SRS")에서, 전체 라만 산란 비율은 자발적 라만 산란의 비율을 넘어 증가될 수 있다: 펌프 광자들은 추가 스토크스 산란으로 보다 빠르게 전환될 수 있다. 보다 많은 스토크스 광자들은 이미 존재하면, 보다 많은 그것들이 보다 빠르게 추가된다. 이것은 펌프 광이 있을 때에 스토크스 광을 효과적으로 증폭시킬 수 있고, 라만 증폭기들 및 라만 레이저들에서 활용될 수 있다.
- [0042] **3차원 인쇄 장치들, 시스템들 및 방법들**
- [0043] 본 개시는 컴퓨터 설계로부터 직접적으로 물체(또는 파트)를 생성함에 있어서 재료를 용해 또는 제거하기 위해 지향 에너지(directed energy)를 재료의 층에 적용하기 위한 장치들, 시스템들 및 방법들을 제공한다. 이것은 층상(layer-by-layer) 방식으로 3차원 물체를 생성 또는 인쇄하는데 사용된다. 여기서 제공되는 방법들은 파워 더 재료를 작업 파트(working part)로 강화(consolidation)할 수 있거나, 바인더를 파트의 강화를 완료하기 위해 후처리되어야 하는 파트로 용해시킬 수 있다.
- [0044] 본 개시의 장치들, 시스템들 및 방법들은 소비자 또는 산업적 이용을 위한 물체들 같은, 다양한 물체들 또는 파트들을 형성하는데 사용될 수 있다. 그러한 물체들은 컴퓨터 시스템 상에서 디지털로 설계될 수 있고, 여기서 제공되는 장치들과 시스템들을 사용하여 제작될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 본 개시의 장치들, 시스템들 및 방법들은 소비자 파트들(예컨대, 장난감들), 전자제품 구성요소들, 의료 장치들, 또는 산업 또는 군사 장비의 구성요소들을 형성하는데 사용될 수 있다. 본 개시의 장치들, 시스템들 및 방법들은 소비자, 교육, 산업, 의료 및 군사 애플리케이션들 같은 다양한 애플리케이션들을 가질 수 있다. 산업 셋팅에 있어서, 여기서 제공되는 장치들, 시스템들 및 방법들은 재료 프로세싱을 위해 사용될 수 있다.
- [0045] 본 개시의 장치들, 시스템들 및 방법들은 고 정밀도로 그리고 현재 이용 가능한 다른 시스템들보다 훨씬 적은 시간 규모(time scale)로 물체들을 생성할 수 있는 가시 레이저들의 사용을 채용할 수 있다. 몇몇 경우에 있어서, 이것은 여기 라만 산란(SRS)이 단일 모드 출력에서 가시 레이저 광의 고도의 코히런트 빔을 생성하는데 사용될 수 있다는 예기치 않은 실현에 기초한다. 그러한 레이저들은 고 해상도 레이저 프로젝터 또는 초연속체(supercontinuum) 레이저로서 동작될 수 있다.

- [0046] 도 1은 고 파워 가시 레이저 시스템에 기초한 3D 레이저 인쇄 시스템의 개략도이다. 시스템은 단일 모드 가시 레이저 소스(1001)를 포함한다. 가시 레이저 소스(1001)는 하나 이상의 가시 레이저 다이오드를 포함할 수 있다. 가시 레이저(1001)의 출력(1002)은 빔을 직교 방향으로 스캔하는 한 쌍의 스캐너(1003)로 향할 수 있다. 스캐너들(1003)은 레이저 빔을 초점면(focal plane)을 가로질러 X-Y 래스터(raster) 패턴으로 또는 벡터 스캐닝 패턴으로 스캔하는 한 쌍의 검류계(galvanometers)일 수 있다. 스캐너들(1003)은 직교(orthogonal)로부터 각 편차(angular deviation)를 생성할 수 있고, 이것은 초점면에서 레이저 스폿의 트랜슬레이션을 산출할 수 있다. 스캐너들(1003)에 의해 반사된 레이저 방출(1004)는 대물렌즈(1005)로 향할 수 있고, 대물렌즈(1005)는 파우더 같은 서브스트레이트(1007)로 향할 수 있는 집속 빔(focused beam)을 생성한다. 몇몇 실시예에서, 서브스트레이트(1007)는 파우더 베드에 있는 파우더이다. 이것은 레이저 빔의 초점에서 서브스트레이트(1007)를 용융시키거나 용해시킬 수 있다.
- [0047] 스캐너들(1003)은 제조 시 3차원 물체의 2차원 및 3차원 형상을 한정하는 방식으로 파우더(1007) 위로 레이저 방출(1004)을 래스터 하는데 사용될 수 있다. 이것은 층상 방식으로 수행될 수 있다. 주어진 층에서, 그 층의 물체의 2차원 형상은 레이저 방출(1004)을 사용하여 한정된다. 각각의 연속적인 층에서 물체의 2차원 형상은 물체의 전체 3D 형상을 생성하기 위해서 레이저 방출(1004)을 사용하여 한정될 수 있다.
- [0048] 레이저 방출(1004)의 다양한 파라미터들이 물체의 원하는 형상을 제공하기 위해 선택될 수 있다. 그러한 파라미터들은, 비제한적인 예로서 노출 시간 및 레이저 파우더를 포함한다. 예컨대, 서브스트레이트(1007)가 레이저 방출(1004)에 노출되는 시간은 서브스트레이트(1007)의 재료의 용융 또는 용해 속도에 기초하여 선택될 수 있다.
- [0049] 서브스트레이트(1007)는 서브스트레이트 홀더에 의해 또는 상에서 지지될 수 있다. 서브스트레이트 홀더는 물체의 층상 제조 또는 성장 동안에 물체를 수직으로 (즉, 레이저 광의 전파(propagation)의 일반적인 방향(general direction)에 평행하게) 이동시키기 위해 수직 트랜슬레이터(도 1에서 도시된 "Z-축 트랜슬레이터")(1008)를 포함할 수 있다. 수직 트랜슬레이터는 스텝 모터(step motor) 같은 모터일 수 있다. 수직 트랜슬레이터(또는 엘리베이터)는 물체의 제작 동안 적어도 약 5 나노미터(nm), 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm, 1 마이크로미터(μm), 2 μm , 3 μm , 4 μm , 5 μm , 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm 또는 50 μm 의 증분(increments)으로 서브스트레이트를 움직일(step) 수 있다.
- [0050] 대안적으로, 또는 부가하여, 가시 레이저(1001), 스캐너들(1003) 및 대물렌즈(1005)를 포함하는 어셈블리(예컨대, T056 경우)가 서브스트레이트(1007)에 대해 수직으로 이동할 수 있다. 어셈블리는 물체의 제작 동안 적어도 약 5 나노미터(nm), 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm, 1 마이크로미터(μm), 2 μm , 3 μm , 4 μm , 5 μm , 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm 또는 50 μm 의 증분으로 어셈블리를 움직일 수 있는 수직 트랜슬레이터를 포함할 수 있다.
- [0051] 도 1에서 형성된 레이저 스폿의 직경은 대물렌즈(1005)의 초점 길이, 대물렌즈(1005) 상의 빔 크기 및 레이저 빔의 파장에 의해 결정될 수 있다. 빌드 체적은 대물렌즈의 직경 그리고 스캐너들로 인한 트랜슬레이션들을 포함하는 대물렌즈 상의 빔의 크기에 의해 제한될 수 있다. IR 기반 시스템에서 스폿 크기는 대물렌즈 상의 빔의 유한한 크기로 인해 9.6" x 9.6" x 11"의 빌드 체적(표 2)을 가진 대략 70 마이크로미터(μm)이다. IR 시스템과 동일한 광학 시스템을 가진 몇몇 경우에 있어서, 459 nm의 파장을 가진 청색 레이저 시스템이 약 35 μm 이하의 스폿 크기를 유리하게 생성할 수 있다. 광학 시스템이 동일할 수 있기 때문에, 빌드 체적은 변하지 않고 남아 있지만, 해상도 및 표면 품질이 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 또는 10배(factor)보다 더 좋게 개선된다. 청색 레이저 시스템 기반 3D 프린터 최종 초점 렌즈는 70 μm 스폿을 생산하도록 변할 수 있고, 그러면 IR 시스템과 동일한 해상도가 달성되지만 빌드 체적은 150x배 만큼 증가할 수 있다.

표 2

성능	현재 IR 레이저	청색 레이저 시스템
파워	2000 W	1000 W
인쇄 속도	20 cc/hr	50 cc/hr
해상도	70 μm	70 μm
빌드 체적	9.8" x 9.8" x 11"	53" x 53" x 55"
표면 마감	~ 2Ra	~ 2Ra

- [0053] 대안적으로, 도 2를 보면, 본 실시예에서 3D 프린터는 패턴을 인쇄하기 위해 스캐너들 대신 한 쌍의 선형 트랜

슬레이션 스테이지에 기초한다. 선형 트랜슬레이션 스테이지들은 스폿 크기 및 기입 속도(writing speed)를 좌우하는 기본 지오메트리(fundamental geometry)를 변화시키고 스폿 크기가 1000 나노미터(nm), 900 nm, 800 nm, 700 nm, 600 nm 또는 500 nm 보다 작도록 충분히 짧은 초점 길이 렌즈를 사용하는 능력을 가능하게 한다. 이러한 초미세(sub-micron) 스폿 크기는 마이크로-전기적-기계적(MEMS) 장치들의 집적 제조에 적합할 수 있다. 레이저 빔들(2002, 2004 및 2006)은 트랜슬레이션 스테이지(2007)를 사용하여 서브스트레이트(예컨대, 파우더)의 표면에 걸쳐 트랜슬레이션 되어, 패턴을 서브스트레이트에 직접 기입하거나 동축 노즐(coaxial nozzle)을 사용하여 빔으로 서브스트레이트를 직접 주입할 수 있다. 파트의 해상도는 소 직경 빔 그리고 파트를 직접 기입하는데 사용된 나노미터 스케일 파우더(예컨대, 50 nm) 같은 서브스트레이트의 크기의 결과일 수 있다. 트랜슬레이션 스테이지(2007)는 서브스트레이트가 (레이저 광의 전파의 대략적인 방향과 직교하는) X-Y 평면에서, 및/또는 레이저 광의 전파의 대략적인 방향에 평행할 수 있는 Z-축을 따라서 트랜슬레이션되게 할 수 있다. 트랜슬레이션 스테이지(2007)는 2개의 선형 서브-스테이지를 포함할 수 있다. 트랜슬레이션 스테이지(2007)는 물체의 제작 동안 서브스트레이트를 지지하도록 구성될 수 있는 서브스트레이트 홀더의 부분일 수 있다. 트랜슬레이션 스테이지는 스텝 모터 같은 모터를 포함할 수 있다. 트랜슬레이션 스테이지(2007)는 제작 동안 Z-축을 따라서 스테이지를 트랜슬레이션할 수 있는 수직 트랜슬레이터(vertical translator)(2008)를 포함할 수 있다. 수직 트랜슬레이터(또는 엘리베이터)는 제작 동안 적어도 약 5 나노미터(nm), 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm, 1 마이크로미터(μm), 2 μm , 3 μm , 4 μm , 5 μm , 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm 또는 50 μm 의 증분으로 서브스트레이트를 움직일 수 있다.

[0054] 대안적으로, 또는 부가하여, 가시 레이저(2001), x-y 정렬 시스템(2003) 및 대물렌즈(2005)를 포함하는 어셈블리가 스테이지(2007)에 위치할 수 있는 서브스트레이트에 대해 수직으로 이동할 수 있다. 어셈블리는 물체의 제작 동안 적어도 약 5 나노미터(nm), 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm, 1 마이크로미터(μm), 2 μm , 3 μm , 4 μm , 5 μm , 10 μm , 20 μm , 30 μm , 40 μm 또는 50 μm 의 증분으로 어셈블리를 움직일 수 있는 수직 트랜슬레이터를 포함할 수 있다.

[0055] 몇몇 실시예에서, 레이저(2001) 및 대물렌즈(2002-2005)는 빔에서 파워가 변조됨에 따라 서브스트레이트를 가로지르는 서브시스템으로서 트랜슬레이션될 수 있으며, 이에 의해 파트를 층상으로(layer by layer) 한정한다. 레이저(2001)는 단일 모드 가시 레이저일 수 있다. 레이저(2001)는 하나 이상의 가시 레이저 다이오드를 포함할 수 있다. 예컨대, 빔에서 파워는 레이저 파워를 온(on) 또는 오프(off)시킴으로써, 또는 제조되는 파트(또는 물체)의 형상에 기초하여 예정된 방식으로 레이저 파워를 줄임으로써 변조될 수 있다. 대안으로서, 레이저는 고정식(stationary)일 수 있고, 광학 헤드(optical head)는 레이저 빔의 고도로 시준된 성질(highly collimated nature)을 이용하여 파트를 가로질러 트랜슬레이션 된다. 그러한 플라잉(flying) 광학 헤드 기술은 CO₂ 플랫폼 시트 베드 컷터들(flat sheet bed cutters)에서 현재 사용되는 구성요소들을 포함할 수 있다. 예컨대 여기에 전부 참조로서 통합되는, Todd, Robert H.; Allen, Dell K.; Alting, Leo (1994). Manufacturing Processes Reference Guide. Industrial Press Inc. ISBN 0-8311-3049-0 참고.

[0056] 오늘날의 섬유 레이저들보다 훨씬 빠른 속도로 레이저가 변조될 수 있으므로, 제작 또는 제조 속도가 현재 많은 시스템에서 개선될 수 있다. 물체(또는 파트)를 기입할 때, 스캐닝 속도와 레이저 파워가 빔이 주어진 재료에 대해 얼마나 빠르게 움직일 수 있는지를 결정할 수 있다. 그러나 레이저 빔이 서브스트레이트(예컨대, 파우더 베드에서 파우더)를 가로질러 이동하므로, 인쇄되는 층의 특정 포인트에서 어떤 구조가 파트에서 존재하기로 되어 있지 않은 경우 레이저를 오프시킬 필요가 있을 수 있다. 서브스트레이트 표면을 가로질러 스캔되는 빔이 빠를수록 그리고 피쳐 크기가 작을수록, 레이저 빔은 더 빠르게 온 및 오프되어야 한다. 본 적용에서 설명되는 레이저는 상당히 빠른 변조 속도(modulation rates)로 변조될 수 있다. 상당히 빠른 변조 속도는 제조되는 파트의 표면 특징들(예컨대, 거칠기)을 개선할 수 있고, 매우 높은 공간 해상도 구성요소들이 제조될 수 있게 한다.

[0057] 오늘날 사용되는 적외선(IR) 레이저들은 50 kHz의 변조 속도로 제한될 수 있다 (1 kHz = 1000 사이클/초). 하지만 본 개시의 장치들 및 시스템들에 기초한 가시 광 레이저(예컨대, 청색 레이저)는 약 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz, 500 kHz, 1 GHz (1 GHz = 1000 kHz), 2 GHz, 3 GHz, 4 GHz, 5 GHz 또는 10 GHz 이상의 속도로 변조될 수 있다. 이러한 타입의 시스템으로 생산 속도를 달성하기 위해서, 고속 빔 공유 스위치 (beam sharing switch)를 사용하여 동일한 레이저 시스템과 병행하여 또는 운동 시스템(motion system)과 동기화된 병렬 레이저 시스템들을 사용하여 다중 장치들이 처리될 수 있다. 예시적인 스위치는 예컨대 2, 3, 4, 5 또는 6 채널을 포함하는 다중 포트 빔 스위치 같은, 다중 포트 빔 스위치이다.

- [0058] 본 개시의 장치들 및 시스템에 기초한 가시광 레이저는 상당히 매끈한(smooth) 표면들을 가진 물체들(또는 파트들)을 형성하는데 사용될 수 있다. 몇몇 경우에서, 본 개시의 장치들 및 시스템들을 사용하여 형성되는 물체(또는 파트)의 표면 거칠기는 투과 전자 현미경(TEM)에 의해 측정 시 약 0.1 nm와 50 nm 사이, 또는 1 nm와 20 nm 사이, 또는 1 nm와 10 nm 사이일 수 있다.
- [0059] 본 개시의 장치들 및 시스템들에 기초한 가시광 레이저는 상당히 높은 종횡비(aspect ratios)(예컨대, 길이 나누기 폭)를 가진 물체들(또는 파트들)을 형성하는데 사용될 수 있다. 몇몇 경우에서, 본 개시의 방법들 및 시스템들을 사용하여 형성되는 물체(또는 파트)에서 피처의 종횡비는 적어도 약 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1, 1.4:1, 1.5:1, 또는 2:1, 또는 5:1, 또는 10:1, 또는 20:1, 50:1, 100:1 또는 그 이상일 수 있다.
- [0060] 본 개시의 장치들 및 시스템들은 고 파워 및 고 휘도로 조정된(scaled) 가시 레이저 소스들을 채용할 수 있다. 고 파워 레이저 소스는 약 100 와트보다 큰, 또는 약 200 와트보다 큰, 또는 약 300 와트보다 큰, 또는 약 400 와트보다 큰, 또는 약 500 와트보다 큰, 또는 약 1,000 와트보다 큰, 또는 약 2,000 와트보다 큰 파워를 가질 수 있다. 본 개시의 레이저 소스들은 단일 모드로 동작할 수 있고, 단일 모드는 낮은 M^2 값을 가진 레이저 시스템으로부터 근사 회절 한계 성능을 포함할 수 있고, 여기서 M^2 는 빔 코스틱 그리고 레이저 빔이 회절 한계 성능에 얼마나 가깝게 되는지는 한정한다. 여기서 사용되는 M^2 는, 달리 특정되지 않는다면, 빔의 타임즈 회절 한계의 수로서 정의되고, 약 1 이상, 또는 약 1.1 이상이지만 그런데도 단일 가로 모드, 또는 약 1.3 이상이지만 여전히 단일 가로 모드일 수 있다.
- [0061] 도 3은 본 발명의 몇몇 실시예에 따른, 고 파워, 단일 모드 가시 레이저 소스(3000)을 보여준다. 레이저(3000)는 고 파워, 고 휘도 가시 레이저 다이오드들(3001)의 어레이를 포함한다. 다이오드들(3001)로부터의 가시 레이저 광은 고 반사율(HR) 반사경(back mirror)(3003), 저 손실 광섬유(3004) 및 저 반사율 출력 연결기(output coupler)(3005)를 포함하는 라만 컨버터 섬유 또는 공진기(resonator)(3010)의 개구수 및 스폿 요건들을 맞추기 위해 빔 조합(beam combination) 및 형상화 광학 어셈블리(shaping optic assembly)(3002)에 의해 빔으로 시준되고 형상화될 수 있다. 라만 컨버터(3010)는 선형으로 또는 2차원 어레이로 배열된 복수의 가시 레이저 다이오드들로부터의 파워를, 여기 라만 산란(SRS) 같은 비선형 접근법을 사용하여, 단일 코히런트 레이저 빔(3006)으로 전환한다.
- [0062] 일 실시예에서, 반사경(3003)은 고 반사율 요소일 수 있고, 출력 연결기(3005)는 적당한 유전체 코팅(dielectric coating)을 가진 클리브된(cleaved) 또는 연마된(polished) 패싯(facet)일 수 있다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 고 반사율 요소이고 출력 연결기(3005)는 격자(grating)이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 고 반사율 요소이고, 출력 연결기(3005)는 내장(embedded) 섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 최저 차수 TEM₀₀ 모드에 대해 고 반사율을 가지도록 설계된 내장 FBG이고 출력 연결기(3005)는 적당한 유전체 코팅을 가진 클리브되거나 연마된 패싯이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 외부(external) 체적 브래그 격자(Volume Bragg Grating, VBG)이고 출력 연결기(3005)는 적당한 유전체 코팅을 가진 클리브되거나 연마된 패싯이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 고 반사율 요소이고 출력 연결기(3005)는 저 반사율 내장 FBG이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 내장 FBG이고 출력 연결기(3005)는 저 반사율 거울이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 VBG이고 출력 연결기(3005)는 적당한 유전체 코팅을 가진 클리브되거나 연마된 패싯이다. 다른 실시예에서, 반사경(3003)은 고 반사율 거울이고 출력 연결기(3005)는 저 반사율 VGB이다.
- [0063] 섬유(3010)는 광학 어셈블리(3003)와 광학적 소통할 수 있다. 섬유(3010)는 단일 모드 또는 근사 단일 모드(near single mode)인 중앙 코어(central core), 가시 레이저 다이오드 어레이의 출력을 캡처하기(capturing) 위해 코어보다 큰 직경의 클래딩, 그리고 가시 레이저 다이오드 어레이 광을 섬유를 따라서 안내하는 외곽 클래딩을 포함할 수 있다. 중앙 코어는 약 3 μm 이상, 약 5 μm 이상, 약 15 μm 이상, 또는 약 25 μm 이상의 직경을 가질 수 있다. 제1 클래딩 영역(region)은 약 50 μm 이상, 약 80 μm 이상, 또는 약 100 μm 이상의 직경을 가질 수 있다. 외곽 클래딩 영역은 내부 클래딩의 직경보다 약 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2, 3, 4, 5, 또는 10배 이상의 큰 직경을 가질 수 있다. 몇몇 실시예에서, 외곽 클래딩은 약 50 μm 이상, 약 90 μm 이상, 또는 약 110 μm 이상의 직경을 갖는다. 몇몇 상황에서, 강도와 내구성을 제공하기 위해서, 외곽 클래딩은 125 μm 이상의 직경을 가질 수 있다.
- [0064] 제1 클래딩 영역의 직경은 가시 레이저의 동작에 있어서 중요한 파라미터일 수 있는데, 가시 레이저(예컨대, 청색 레이저) 다이오드 광의 강도가 SRS 프로세스를 사용하여 생성될 수 있는 이득을 한정하기 때문이다. 라만

섬유에 대한 이득은 섬유의 코어에서 펌프 파워의 양에 의해 결정될 수 있다. 라만 이득을 생성하기 위한 파워는 코어 영역의 바로 외부의 클래딩에 있다. 클래딩은 코어보다 직경이 크기 때문에, 레이저에 대한 라만 이득은 모든 파워가 코어에 국한될 때 발생하는 이득보다 상당히 적다. 예컨대, 200 와트 가시 라만 레이저는 효율적인 동작을 위해 충분한 이득을 얻기 위해서 대략(on the order of) 60 μm 인 것이 필요한 내부 클래딩 영역으로 레이저 다이오드들의 어레이로부터 펌프 파워가 론치될(launch) 수 있는 것을 요한다. 다른 실시예로서, 2,000 와트 가시 라만 레이저는 효율적인 동작을 달성하기 위해 85-100 μm 의 클래딩 직경을 요하며, 그것은 펌프 다이오드들로서 외곽 클래드(outer clad)로 론치되는 레이저 다이오드들의 능력에 의해 구동된다.

[0065] 본 개시의 가시 레이저 다이오드들은 복수의 레이저 다이오드들을 100 μm 보다 작은 직경의 섬유로 론치하는데 적합한 좁은 스트라이프(stripe)로부터의 약 1 와트보다 큰 출력 파워일 수 있다. 레이저 다이오드 휘도는 출력 파워의 산물(product), 스트라이프 폭 그리고 발산각(divergence angle)으로서 정의된다. 좁은 스트라이프 폭은 약 5 μm 이상, 약 10 μm 이상, 약 15 μm 이상일 수 있지만, 몇몇 경우에는 약 35 μm 보다 크지 않을 수 있다. 빠른 축(fast axis)에서 발산각은 레이저 다이오드로부터 약 20도(degrees) 이상, 약 40도 이상, 또는 약 90도 이상일 수 있다. 느린 축(slow axis)에서 발산각은 약 1도 이상, 약 10도 이상, 또는 약 20도 이상일 수 있다. 레이저 다이오드는 약 18가 25도 반값 전폭(Full Width Half Maximum, FWHM) 사이의 빠른 축 발산 그리고 약 12와 15도 FWHM 사이의 느린 축 발산을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 레이저 다이오드는 25도 FWHM의 빠른 축 발산 및 15도 FWHM의 느린 축 발산을 가지며, 이것은 20 MW/cm^2 -입체 호도법(steradian)의 소스 휘도이다. 소스 휘도는 광섬유로 연결될 수 있는 장치들의 최대 수를 한정하고, 휘도 변화가 높을수록 더 많은 수의 장치들이 연결될 수 있다.

[0066] 광섬유는 중앙 단일 모드 코어 및 제1 클래딩 모두에서 레일리 산란으로 인해 가시 파장 범위에서 상당히 낮은 손실을 갖는, 전술한 바와 같은 트리플 클래드 설계(triple clad design)일 수 있다. 몇몇 경우에 있어서, 레이저 다이오드들은 450 nm에서 동작하고 광섬유에서 고유 산란 손실들에 따라 451 nm와 461 nm 사이에서 10 nm 범위 이상의 이득을 산출한다. 섬유는 459 nm에서 10 데시벨/km (dB/km)보다 작은 레일리 산란 손실을 가지며, 이것은 50 dB/km 이상의 손실들을 가질 수 있는 순수 실리카 코어 섬유보다 상당히 낮다. 생성되는 라만 이득은 섬유에서 레일리 손실들을 극복하기에 충분할 수 있는데, 섬유에서 손실들이 약 50 dB/km 미만, 40 dB/km 미만, 30 dB/km 미만, 20 dB/km 미만, 10 dB/km 미만, 5 dB/km 미만, 또는 1 dB/km 미만이라면 그러하다.

[0067] 레이저 다이오드 어레이는 레이저 다이오드들의 선형 어레이의 출력들을 결합하고 조절하는(condition) 플레이트들에 기초한 모듈러 설계일 수 있다. 도 4는 시준된 광 소스들(4004)을 제공하기 위해 각각의 레이저 다이오드와 연관된 시준 광학(collimating optic)을 가진 고 파워 가시 레이저 다이오드들(4001)의 선형 어레이, 빔 형상화 광학 시스템(4003), 그리고 한 축에서 시준된 레이저 광 소스들 간의 공간을 제거하기 위한 압축 광학 요소들(4004)(여기서 또한 "빔 압축기(beam compressor)")의 세트를 포함하는 레이저 플레이트를 보여준다.

[0068] 일 실시예에서, 시준 광학은 한 축을 따르는 비구면 원통형 렌즈이고 빔 형상화 광학 시스템(4003)은 다른 축에서 원통형 렌즈이다. 다른 실시예에서, 빔 형상화 광학 시스템(4003)은 빔렛의 한 축을 크기 조절하는 원통형 망원경(telescope)를 형성하는 2개의 광학 요소를 포함한다.

[0069] 몇몇 실시예에서, 빔 압축기(4004)는 터닝 거울(turning mirror) 또는 프리즘이다. 터닝 거울은 전반사(Total Internal Reflection, TIR) 모드에서 동작하는 프리즘일 수 있다. 일 실시예에서, 각각의 빔 압축기는 적어도 하나의 터닝 거울을 포함한다. 몇몇 실시예에서, 터닝 거울은 예컨대 459 nm에서 비편광된 광(unpolarized light)에 대해 99% 반사율일 수 있는 용해된 실리카 서브스트레이트 상의 유전체 코팅 같은 고 반사율 유전체 코팅된 서브스트레이트, 또는 예컨대 459 nm에서 비편광된 광에 대해 92% 반사까지 가능하게 하는 향상된 반사율을 가진 알루미늄 처리 거울(aluminized mirror) 같은 향상된 반사율 코팅을 가진 금속 거울이다.

[0070] 일 실시예에서, 각 플레이트에 대해 빔 압축기(4004)는 각 플레이트로부터의 빔들을 반사하거나 각 플레이트로부터의 빔들을 통과시키는, 교호하는 고 반사율/안티-반사율 코팅(alternating high reflectivity/anti-reflectivity coatings)을 가진 플레이트를 포함한다. 다른 실시예에서, 각 플레이트에 대해 빔 압축기(4004)는, 각 레이저 플레이트로부터의 빔들 사이의 죽은 공간을 최소화하면서, 각 레이저 플레이트로부터의 빔을 평행이 되게 향하도록 지향된 프리즘들의 스택을 포함한다. 다른 실시예에서, 각 플레이트에 대해 빔 압축기(4004)는 각 플레이트로부터의 빔들을 반사하거나 각 플레이트로부터의 빔들을 통과시키는, 교호하는 고 반사율/플레이트 내 구멍들(holes)을 가진 플레이트를 포함한다.

[0071] 몇몇 실시예에서, 빔 형상화 광학 시스템(4003)은 하나 이상의 애너모픽 프리즘(anamorphic prism)을 포함한다.

일 실시예에서, 빔 형상화 광학 시스템(4003)은 한 쌍의 애너모픽 프리즘을 포함한다.

- [0072] 압축된 빔렛들은, 레이저 파워를 펌프 섬유(4007)로 배달하거나 또는 레이저 섬유(4007)로 직접 배달하기 위해, 인터레이싱 광학(interlacing optic)(4005)에 반사되어 포커싱 광학(4006)으로 가는 합성 빔(composite beam)을 이룰 수 있다. 레이저 섬유(4007)는 단일 모드 코어 또는 근사 단일 모드 코어를 가진 트리플 클래드 섬유일 수 있다. 레이저 캐비티(cavity)는 외부 거울들, 격자들 또는 중앙 코어에 내장된 섬유 브래그 격자들(Fiber Bragg Gratings, FBG)로 형성될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 레이저 공진기는 내장 FBGs에 기초할 수 있는데, 섬유 코어가 다중-모드인 경우에도 라만 레이저가 단일 횡행 모드에서 동작할 수 있게 하는 스펙트럼 및 모드 선택성(spectral and modal selectivity)을 격자들이 가지기 때문이다.
- [0073] 중앙 코어는 게르마늄 도핑된 코어 또는 인 도핑된 코어에 비해 가장 낮은 라만 이득을 가진 용해된 실리카 코어일 수 있다. 용해된 실리카 및 게르마늄 도핑된 코어에 대한 라만 시프트(Raman shift)는 유사하고 450 nm에서 약 12 nm보다 작지만, 인 도핑된 코어에 대한 시프트는 450 nm에서 약 75 nm에 이를 만큼 상당히 크다. 중앙 코어는 섬유에서 색중심 생성(color center generation)에 대한 포텐셜(potential)을 최소화하기 위해 용해된 실리카 코어일 수 있다. 광학화 효과들(photo-darkening effects)을 더 억제하기 위해서 도펀트가 코어에 추가될 수 있고, 광학화는 어떤 자외선(UV) 성분들이 레이저 캐비티에서 생성되지 못하게 함으로써 최소화될 수 있다. 레이저 방출이 스토크스 산란 성분에 국한되는 한, 파장은 펌프 파장보다 길 수 있고 생성되는 UV 방사가 없을 것이다. 스토크스 파(Stokes wave)에 대한 이득은 안티-스토크스 파(Anti-Stokes wave)에 대한 것보다 상당히 클 수 있고, 보다 짧은 파장들이 안티-스토크스 산란 이벤트들에 의해 생성될 가능성을 낮춘다.
- [0074] 가시 체제에서 레일리 산란 손실들을 억제하기 위해 수산기(OH)를 가진 재료 같은 도펀트가 코어 및 제1 섬유 클래드로 추가될 수 있다. 어떤 레이저 시스템의 기초 요건은 시스템에서 이득이 시스템에서 손실들을 능가할 수 있는 것이다. 표준 광섬유들에서 50 dB/km를 극복하기 위해 여기 라만 산란이 충분한 이득을 제공하는 동안, 레일리 산란과 연관된 손실이 50 dB/km, 40 dB/km, 30 dB/km, 20 dB/km, 10 dB/km, 5 dB/km, 또는 1 dB/km보다 작으면 효율적인 레이저 동작이 일어날 수 있다.
- [0075] 레이저 시스템의 파워 출력을 스케일링하는(scaling) 것은 레이저 다이오드 빔들의 2차원 어레이를 형성하도록 도 4에서 레이저 플레이트들을 스택함으로써 달성될 수 있다. 예컨대, 레이저들은 레이저 다이오드 파워의 2차원 소스를 형성하도록 스택될 수 있는 단일 냉각된 플레이트(single cooled plate) 상에 장착될 수 있다. 플레이트는 물 같은 냉각 유체로 냉각될 수 있다. 몇몇 경우에 있어서, 냉각은 팬(fans), 열 핀(heat fins) 및/또는 냉각 유체를 사용하는 열 교환기의 도움으로 냉각될 수 있다.
- [0076] 몇몇 경우에 있어서, 레이저 플레이트들은 각각의 플레이트들에 의해 생성되는 각각의 빔들 사이에 최소 공간을 가지고서 스택된다. 레이저 플레이트들은 플레이트에 의해 방출된 레이저 빔의 높이와 동일한 죽은 공간을 가지고서 스택된다.
- [0077] 도 5를 참고하면, 다중 플레이트들을 가진 레이저 시스템이 도시된다. 각 플레이트는 각 플레이트(5006)의 평탄함(flatness)과 간격(spacing)을 설정하기 위한 정밀 그라운드 장착 포인트(precision ground mounting point)를 가진다. 플레이트들은 물리적으로 함께 유지되어 플레이트들의 스택을 형성할 수 있다. 플레이트들은 기계적 체결 부재(예컨대, 나사) 또는 화학적 체결 부재(예컨대, 접착제)를 사용하여 함께 유지될 수 있다. 플레이트의 각각의 빔은, 렌즈(4006)로 론치되는 빔들 사이의 죽은 공간을 최소화하기 위해 다른 빔이 인터레이스될 수 있는 간극(gap)을 형성하도록 정밀하게 간격을 둘 수 있다. 상보적 간격(complimentary spacing)을 가진 레이저들의 두 어레이(5001, 5007)가 다른 플레이트의 빔들 간에 인터레이스된 각각의 빔 플레이트로부터의 빔과 함께 사용된다. 각각의 어레이는 복수의 가시광 레이저 다이오드들을 포함할 수 있다. 레이저 플레이트들은 설계에 있어 동일할 수 있지만 시스템에 걸쳐 공통 플랫폼을 가능하게 하도록 반대 방향으로 장착될 수 있다. 빔 조합 방법(5004, 5005)은 프리즘들의 스택 또는 빔들 각각을 번갈아(alternatively) 투과시키거나 반사시키는 플레이트일 수 있다. 플레이트의 투과 부분(5005)은 홀 또는 플레이트가 용해된 실리카 또는 금속 같은 재료인 플레이트의 안티-반사 코팅된 영역일 수 있다. 플레이트의 반사 부분(5004)은 유전체 코팅 또는 향상된 금속 거울일 수 있다. 대안적으로, 프리즘들의 스택 같은 조합 방법이, 레이저 플레이트들 각각으로부터의 빔들을 번갈아 결합하기 위해서, 굴절 구조(refracting configuration) 또는 전반사(TIR) 구조에서 사용될 수 있다.
- [0078] 플레이트들의 2차원 어레이로부터 생성된 빔들은 고도로 시준될 수 있고 펌프 휘도를 더 증가시키기 위해 파장이나 편광을 사용하여 플레이트들의 다른 2차원 어레이들과 더 결합될 수 있다. 도 6a 및 6b를 참고하면, 5 nm에 이르는 파장 밴드폭 내의 다중 소스들(6011, 6012, 또는 6021, 6022)이 용해된 실리카 섬유(6001, 6002)에

서 SRS 프로세스를 통해 이득을 얻기 위해서 사용될 수 있다. 복수의 소스들에 대한 파장 펌프 스펙트럼 밴드폭은 약 4 nm, 3 nm, 2 nm 또는 1 nm보다 작을 수 있다. 레이저 다이오드들에 대한 상당히 넓은 스펙트럼 펌프 밴드폭이 인 도핑된 섬유와 함께 사용될 수 있는데, 섬유에 대한 보다 넓은 이득 프로파일 때문이다. 인 도핑된 섬유의 경우, 복수의 레이저 소스들에 대한 스펙트럼 펌프 밴드폭은 약 35 nm, 25 nm, 15 nm, 5 nm 또는 1 nm보다 작을 수 있다.

[0079] 제어 시스템들

[0080] 본 개시의 장치들, 시스템 및 방법들은 컴퓨터 제어 시스템들을 사용하여 실행될 수 있다. 도 7은 본 개시의 3D 인쇄 장치, 시스템 및 방법의 동작을 조절하도록 프로그램되거나 구성된 컴퓨터 시스템(701)을 보여준다. 컴퓨터 시스템(701)은 중앙 처리 장치(CPU, 여기서 또한 "프로세서" 및 "컴퓨터 프로세서")(705)를 포함하고, 이것은 단일 코어 또는 멀티 코어 프로세서, 또는 병렬 처리를 위한 복수의 프로세서일 수 있다. 컴퓨터 시스템(701)은 메모리 또는 기억 장소(memory location)(710)(예컨대, 랜덤 액세스 메모리, 읽기 전용 메모리, 플래시 메모리), 전자적 저장 장치(electronic storage unit)(715)(예컨대, 하드디스크), 하나 이상의 다른 시스템과 통신하기 위한 통신 인터페이스(720)(예컨대, 네트워크 어댑터), 그리고 캐시, 다른 메모리, 데이터 저장 및/또는 전자적 표시 어댑터들 같은 주변 장치들(725)을 또한 포함한다. 메모리(710), 저장 장치(715), 인터페이스(720) 및 주변 장치들(725)은 마더보드 같은 통신 버스(실선들)를 통해 CPU(705)와 통신한다. 저장 장치(715)는 데이터를 저장하기 위한 데이터 저장 장치(또는 데이터 저장소)일 수 있다. 컴퓨터 시스템(701)은 통신 인터페이스(720)의 도움으로 컴퓨터 네트워크("네트워크")(730)에 동작 가능하게 연결될 수 있다. 네트워크(730)는 인터넷, 인트라넷 및/또는 엑스트라넷, 또는 인터넷과 통신하는 인트라넷 및/또는 엑스트라넷일 수 있다. 몇몇 경우에 있어서 네트워크(730)는 전기 통신(telecommunication) 및/또는 데이터 네트워크이다. 네트워크(730)는 클라우딩 컴퓨팅 같은 분산 컴퓨팅(distributed computing)을 가능하게 하는 하나 이상의 컴퓨터 서버를 포함할 수 있다. 컴퓨터 시스템(710)의 도움으로 몇몇 경우에 있어서 네트워크(730)는 컴퓨터 시스템(701)에 연결된 장치들이 클라이언트 또는 서버로서 행동하게 할 수 있는 피어투피어(peer-to-peer) 네트워크를 시행할 수 있다.

[0081] CPU(705)는 프로그램 또는 소프트웨어로 구현될 수 있는 일련의 기계 관독 가능한 명령들을 실행할 수 있다. 명령들은 메모리(710) 같은 기억 장소에 저장될 수 있다. CPU(705)에 의해 수행되는 동작들의 예들은 펫치(fetch), 디코드(decode), 실행(execute) 및 답장(writeback)을 포함할 수 있다.

[0082] CPU(705)는 집적 회로 같은 회로의 부분일 수 있다. 시스템(701)의 하나 이상의 구성요소들이 회로에 포함될 수 있다. 몇몇 경우에 있어서, 회로는 애플리케이션 특정 직접 회로(application specific integrated circuit, ASIC)이다.

[0083] 저장 장치(715)는 드라이버들(drivers), 라이브러리(libraries) 및 저장된 프로그램들을 저장할 수 있다. 저장 장치(715)는 사용자 데이터, 예컨대 사용자 선호도(user preferences), 사용자 프로그램들을 저장할 수 있다. 몇몇 경우에 있어서 컴퓨터 시스템(701)은 인트라넷 또는 인터넷을 통해 컴퓨터 시스템(701)과 통신하는 원격 서버에 위치하는 것과 같은, 컴퓨터 시스템(701)의 외부에 있는 하나 이상의 추가 데이터 저장 장치를 포함할 수 있다. 원격 컴퓨터 시스템들의 예들은 개인용 컴퓨터(예컨대, 포터블 PC), 슬레이트(slate) 또는 태블릿 PC(예컨대, Apple® iPad, Samsung® Galaxy Tab), 전화기, 스마트폰(예컨대, Apple® iPhone, Android 이용 가능 장치, Backberry®), 또는 개인용 휴대 정보 단말기(PDA)를 포함한다. 사용자는 네트워크(730)를 통해 컴퓨터 시스템(701)에 접속할 수 있다.

[0084] 컴퓨터 시스템(701)은 3D 인쇄 장치 또는 시스템(735)과 통신할 수 있다. 컴퓨터 시스템(701)은 3D 인쇄 장치와 직접(예컨대, 직결(direct wired) 또는 무선 연결), 또는 네트워크(730)를 통해 통신할 수 있다. 3D 인쇄 장치 또는 시스템(735)은, 예컨대, 도 1의 3D 인쇄 레이저 시스템 같은, 전술한 또는 여기 어딘가에서 기술된 어떤 장치 또는 시스템일 수 있다.

[0085] 여기서 기술되는 방법들은 예컨대 메모리(710) 또는 전자적 장치(715) 같은, 컴퓨터 시스템(701)의 전자적 저장 장소에 저장된 기계(예컨대, 컴퓨터 프로세서) 실행 가능한 코드에 의해 실행될 수 있다. 기계 실행 가능한 또는 기계 관독 가능한 코드는 소프트웨어 형태로 제공될 수 있다. 사용 동안, 코드는 프로세서(705)에 의해 실행될 수 있다. 몇몇 경우에 있어서, 코드는 저장 장치(715)로부터 회수(retrieve)될 수 있고, 프로세서(705)에 의한 빠른 접근(ready access)을 위해 메모리(710)에 저장될 수 있다. 몇몇 상황에 있어서, 전자적 저장 장치(715)는 제외될 수 있고, 기계 실행 가능한 명령들이 메모리(710)에 저장된다.

- [0086] 코드는 코드를 실행하도록 조정된 프로세서를 가진 기계로 사용을 위해 프리-컴파일(pre-compile) 및 구성될 수 있고, 또는 런타임 동안 컴파일될 수 있다. 코드는 프리-컴파일되거나 애즈-컴파일되는(as-compiled) 방식으로 코드를 실행할 수 있게 선택될 수 있는 프로그래밍 언어로 공급될 수 있다.
- [0087] 컴퓨터 시스템(701) 같은, 여기에 제공되는 시스템들과 방법들의 양태들은 프로그래밍으로 구현될 수 있다. 다양한 양태의 기술이, 일반적으로 기계(또는 프로세서) 실행 가능한 코드 및/또는 기계 판독 가능한 매체 타입으로 구현되거나 유지되는(carried on) 연관 데이터 형태로, "제품(products)" 또는 "제조 물품(articles of manufacture)"로서 고려될 수 있다. 기계 실행 가능한 코드는 메모리(예컨대, 읽기 전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, 플래시 메모리) 또는 하드디스크 같은 전자적 저장 장치에 저장될 수 있다. "저장" 타입 매체는, 소프트웨어 프로그래밍을 위해 언제라도 일시적이지 않은(non-transitory) 저장을 제공할 수 있는 여러 반도체 메모리들, 테이프 드라이브들, 디스크 드라이브들 등과 같은, 컴퓨터들, 프로세스들, 연관된 모듈들의 어떤 또는 모든 유형 메모리를 포함할 수 있다. 소프트웨어의 모든 또는 부분들은 때로는 인터넷 또는 여러 다른 전기 통신 네트워크를 통해 통신될 수 있다. 그러한 통신은, 예컨대, 한 컴퓨터 또는 프로세서로부터 다른 것으로, 예컨대, 관리 서버 또는 호스트 컴퓨터로부터 애플리케이션 서버의 컴퓨터 플랫폼으로 소프트웨어의 로딩을 가능하게 할 수 있다. 따라서, 소프트웨어 요소들을 나눌 수 있는 다른 타입의 매체는 유선 및 광학적 랜드라인(landline) 네트워크를 통해 그리고 여러 에어링크(air-links)를 통해, 예컨대 로컬 장치들 간의 물리적 인터페이스들을 가로질러 사용되는 광학적, 전기적 및 전자기적 파동(waves)을 포함한다. 그러한 파동을 전달하는, 유선 또는 무선 링크, 광학적 링크 등과 같은 물리적 요소들은 소프트웨어를 나르는(bearing) 매체로서 또한 고려될 수 있다. 여기서 사용되는 바와 같이, 일시적이지 않은 유형의 "저장" 매체로 제한되지 않는다면, 컴퓨터 또는 기계 "판독 가능한 매체" 같은 용어들은 실행을 위해 프로세서에 명령들을 제공하는데 참가하는 어떤 매체를 나타낸다.
- [0088] 이런 이유로, 컴퓨터 실행 가능한 코드 같은 기계 판독 가능한 매체는 비제한적인 예로서 유형의 저장 매체, 반송파(carrier wave) 매체 또는 물리적 전송 매체를 포함하는 많은 형태를 취할 수 있다. 비휘발성 저장 매체는 예컨대, 어떤 컴퓨터 따위에서 어떤 저장 장치들 같은 광학적 또는 자기적 디스크들을 포함하고, 도면에 도시된 예컨대 데이터베이스 등을 실행하는데 사용될 수 있다. 비휘발성 저장 매체는 그러한 컴퓨터 플랫폼의 메인 메모리 같은 동적 메모리를 포함한다. 유형의 전송 매체는 동축 케이블; 컴퓨터 시스템 내 버스를 포함하는 와이어를 포함하는 구리 와이어 및 광섬유를 포함한다. 반송파 전송 매체는 전기적 또는 전자기적 신호, 또는 라디오 주파수(RF) 및 적외선(IR) 데이터 통신 동안 발생할 수 있는 것과 같은 음파 또는 광파의 형태를 취할 수 있다. 그러므로 컴퓨터 판독 가능한 매체의 공통적인 형태들은 예컨대 플로피 디스크, 플렉시블 디스크, 하드디스크, 자기 테이프, 어떤 다른 자기 매체, CD-ROM, DVD 또는 DVD-ROM, 어떤 다른 광학적 매체, 천공 카드 종이 테이프, 또는 구멍 패턴들을 가진 어떤 다른 물리적 저장 매체, RAM, ROM, PROM 및 EPROM, FLASH-EPROM, 어떤 다른 메모리 칩 또는 카트리지, 데이터 또는 명령들을 운반하는 반송파, 그러한 반송파를 운반하는 케이블 또는 링크, 컴퓨터가 프로그래밍 코드 및/또는 데이터를 읽을 수 있는 어떤 다른 매체를 포함한다. 많은 이러한 형태의 컴퓨터 판독 가능한 매체의 많은 이들 형태가 하나 이상의 명령의 하나 이상의 시퀀스를 프로세스로 전달하는데 참여할 수 있다.
- [0089] **실시예들**
- [0090] 다음 실시예들은 3D 프린터 시스템에서 고 파워 가시 레이저 소스로 수행될 수 있는 여러 프로세스, 구성들(configurations) 및 시스템들을 예시하기 위해 제공된다. 이들 실시예들은 단지 예시적인 목적이며, 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 의도되지 않는다.
- [0091] 도 1을 다시 참고하면, 3D 인쇄 시스템이 개략적으로 도시되며, 파우더 서브스트레이트를 용해시키기는 레이저 소결을 사용하여 입체 모형(solid model)을 입체 파트(solid part)로 직접 전환시키기 위한 컴퓨터 시스템과 소프트웨어를 포함한다. 본 실시예에서 가시 레이저(1001)는 도 4의 레이저(4000) 및 도 4에 도시된 레이저 플레이트(4000)를 포함하며, 여기서 가시 레이저 다이오드들(4001)은 약 450 nm 파장에서 레이저 광을 출력하는 고 파워, 고 휘도 레이저 다이오드들이다. 비구면 렌즈(4002)는 각각의 레이저 소스들을 시준하는데 사용되고 제조 동안 레이저 플레이트 상의 각각의 레이저의 출력 빔을 정렬하는데 사용된다. 레이저들은 레이저 플레이트에 수직인 느린 축과 정렬되어, 원통형 망원경(4003)이 레이저 다이오드의 느린 축과 정렬되게 하여 느린 축과 빠른 축 모두에서 빔렛들의 발산을 원형으로 만든다(circularize). 원통형 망원경(4003) 요소들은 제조 공정 동안 집어 놓기(pick-and-place) 기계(예컨대, 로봇)로 놓이고, 이것은 맞춤(custom)이거나 그러한 기계들의 몇몇 제품 중 하나에 의해 제공될 수 있다. 집어 놓기 로봇은 광학을 배치하고 그것을 6개의 축을 따라 배향시킬(orientation) 수 있으며, 광학을 제자리에 고정시키기 위한 열 에폭시(thermal epoxy) 또는 UV 경화 접착제를

적용할 수 있다. 배치 후, 시스템은 자외선(UV) 경화성 수지로 플레이트를 고정시킨 후 추가적인 정렬을 요하지 않을 수 있다. 터닝 거울들 또는 프리즘들(4004)은 제조 동안 집어 놓기 기계에 의해 제자리에 또한 놓일 수 있고, UV 경화성 수지로 플레이트에 고정된 후에 추가적인 정렬을 요하지 않을 수 있다. 레이저 플레이트들로부터의 출력 빔들은 평행하고 고도로 정렬된 빔렛들에 대응하는, 원거리(far-field)에서 단일 스폿을 형성하는 제조 동안 시준 비구면(collimating asphere)의 위치를 조정함으로써 정렬된다. 몇몇 경우에 있어서, 최종 포커싱 광학은 레이저 스폿을 최소화하고 렌즈의 사용 가능한 개구를 최대화하는 비구면이다.

[0092] 레이저 플레이트들은 도 5에 도시된 것과 같은 2차원 빔을 형성하도록 스택될 수 있고 (5000), 단일 빔을 형성하도록 인터레이스될 수 있다 (5002). 그 다음, 2개의 다른 세트의 어레이들의 파장이 2 nm 만큼 떨어져 있는, 2개의 인터레이스된 어레이로부터 형성된 단일 빔은 이색 필터들(dichroic filters) 또는 격자들을 사용하여 결합될 수 있다. 두 세트의 어레이들이 이색 필터에서 결합된 후, 제1 세트의 어레이들에 직교하는 편광으로 배열된 유사한 세트의 어레이들을 결합하는데 편광자가 사용될 수 있고, 그 결과 파장 및 편광 조합을 사용하여 4개의 어레이가 다른 4개의 어레이와 결합되어 소스 휘도에 있어서 8x 증가한 빔을 형성한다. 이 접근법은 여기에 전부 참조로서 통합되는 Zediker 등의 특허 번호 5,715,270("고 효율, 고 파워 다이렉트 다이오드 레이저 시스템들 및 이들을 위한 방법들)에 설명되는 것과 유사한 특징들을 갖는다. 편광 조합은 합성 빔(composite beam)의 형성(파장 결합) 전에 또는 후에 수행될 수 있다. 그 다음, 합성 빔은 용해된 실리콘 코어를 가진 트리플 클래드 섬유(4007, 도 4)의 펌프 코어로 론치된다. 펌프 코어에서 고강도 빔이 클래딩 및 코어 모두에서 SRS 프로세스를 통해 이득을 생성한다. 그러나, 코어는 그것과 연관된 레이저 캐비티를 가지며 (3003 및 3005, 도 3), 코어에서 진동(oscillation)에 이른다. 유도 라만 산란에 대한 방정식들을 사용하는 레이저의 완전한 모델이 가시 레이저 다이오드 펌핑된 라만 레이저의 거동(behavior)을 모델링하는데 사용된다. 여기 라만 산란에 대한 예시적인 방정식은 여기에 전부 참조로서 통합되는 M. Rini, et al., "Numerical modeling and optimization of Cascaded Raman fiber Lasers," IEEE Journal of Quantum Electron, vol. 36, pp. 117-1122 (2000)에서 발견될 수 있다.

[0093] 이 경우에 대해 단일 모드 출력으로 펌프 파워의 진전(evolution)이 도 6a 및 도 6b에 도시된다. 도 6a는 10 μm 코어에서 전방(6001) 전파(propagating) 및 후방(6002) 전파 단일 모드 파워를 460 nm에서 진동하는 공명기 섬유에서의 위치 함수로서 보여준다. 도 6b는 85 μm 직경 클래드에서 전방 전파(6011, 6012) 및 후방 전파(6021, 6022) 펌프 신호들을 공명기 섬유에서의 위치 함수로서 보여준다. 전방 전파 펌프는 450 nm(6011) 및 452 nm(6012)에서 2개의 분리된 파장을 포함한다. 유사하게, 후방 전파 펌프는 450 nm(6021) 및 452 nm(6022)에서 2개의 분리된 파장을 포함한다. 0.49로 펌프 클래드 개구수를 설정하는 외곽 클래드는 직경이 125 μm 이다. 이 실시예에 대한 단일 횡단 모드 출력 파워는 30% 반사 출력 연결기(3005)를 사용하는 2 kW보다 크다.

[0094] 레이저 출력은 펌프 다이오드들 조절하여 직접 제어될 수 있고 레이저는 마스터 오실레이터로서 구성될 수 있다 - 파워 증폭기 및 마스터 오실레이터는 고속으로 조절될 수 있다. 도 1을 참고하면, 레이저 빔은 본 실시예에서 파우더 베드인 서브스트레이트(1007)의 상부(top)를 가로질러 레이저 빔을 트랜스레이션하는 한 쌍의 x-y 스캐너들(1003)을 통과한다. x-y 스캐너들은 렌즈의 초점 길이에 따라서 포커싱 대물렌즈(1005)의 앞에 또는 뒤에 위치할 수 있다. 형성되는 스폿(1006)의 직경은 시준 빔(1004)의 직경과 대물렌즈(1005)의 초점 길이의 함수이다. 입력 레이저 빔이 44 μrad 의 발산을 가지면 70 μm 직경 스폿이 158.4 cm 초점 길이 렌즈(62.4")에 의해 형성될 수 있다. 44 μrad 의 빔 발산은 459 nm의 파장에 대해 1.3 cm의 입력 빔 직경(1004)에 대응한다. 이 빔 직경은 레이저가 나가는(exiting) 10 μm 의 모드 직경인, 레이저(1001)의 단일 모드 출력을 시준하는 (1002) 22.6 cm 초점 길이 렌즈의 결과이다. 결과는 서브스트레이트(1007)의 53" x 53" 평면 위로 스캔될 수 있는 시스템이다. 이것을 대변위 엘리베이터(1008)와 결합하면 53" x 53" x 55"의 빌드 체적을 가능하게 한다.

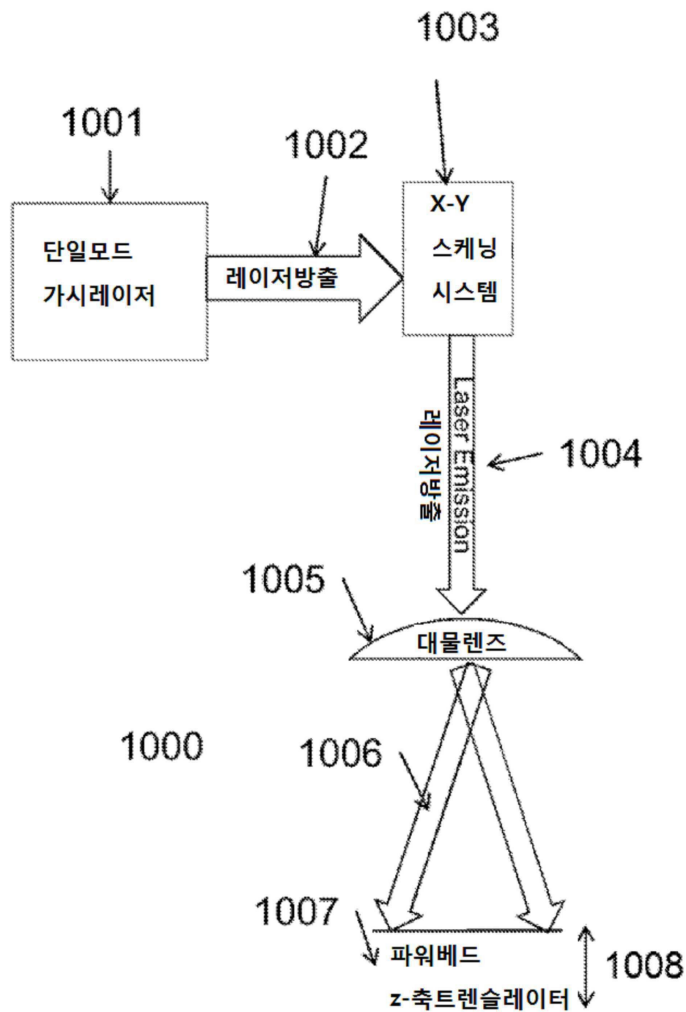
[0095] 레이저는 파트를 한정하는 파우더의 베드 위로 스캔될 수 있다. 각각의 층이 스캔되고 100 nm의 층 해상도를 제공하는 100 nm 만큼 엘리베이터가 감소한 후에 파우더 베드는 파트 위로 돌려진다(roll). 파우더는 직경이 10 nm보다 크거나, 직경이 50 nm보다 크지만, 이 특정 실시예에 대해 직경이 100 nm보다 크지 않다. 파우더의 직경은 표면 거칠기와 파트의 빌드 속도에 영향을 줄 수 있다. 파트의 빌드 속도는 표 2에 보여진 바와 같이 459 nm에서 1 kW 레이저를 사용하여 시간당 50 입방 센티미터 이상일 수 있다. 이것은 IR 레이저보다 2.5배 이상 빠르고 150x배 이상의 빌드 체적이며, 현재 기술을 넘어서는 상당한 개선을 나타낸다.

[0096] 본 발명의 바람직한 실시예들이 여기서 보여지고 설명되었지만, 그러한 실시예들은 단지 예로서 제공되는 것임을 당해 기술분야의 숙련된 자들에게 명백할 것이다. 본 발명은 명세서 내에서 제공되는 특정 실시예들에 의해 제한되는 것으로 의도되지 않는다. 발명이 전술한 명세서를 참고하여 설명되었지만, 여기서 실시예들의 설명들과 실험들은 제한적인 의미로 해석되는 것은 아니다. 다수의 변형들, 변화들 및 치환들이 본 발명을 벗어나지

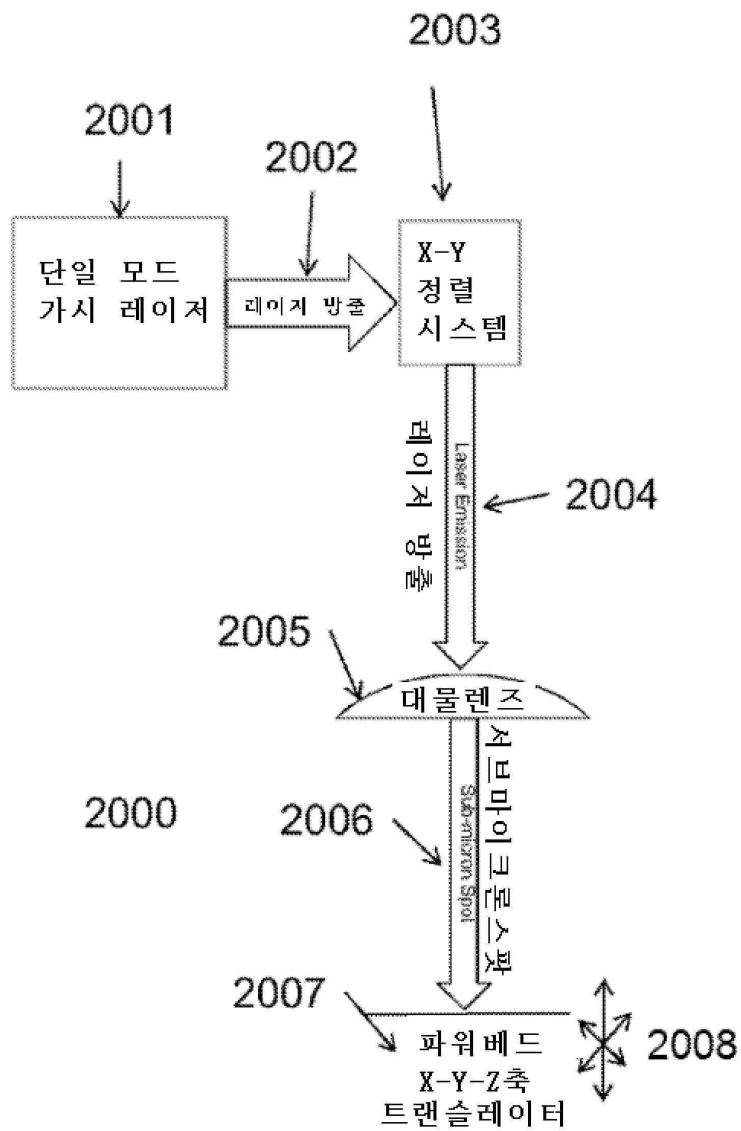
않고서 당해 기술분야의 숙련된 자들에게 일어날 수 있다. 또한, 여기에 기재된 발명의 모든 양상들은 다양한 조건들과 변수들에 의존하는 특정 묘사들, 구성들 또는 상대적 비율들로 제한되지 않음이 이해되어야 한다. 여기서 설명된 발명의 실시예들에 대한 여러 대안들이 발명을 실시하는데 있어서 사용될 수 있음이 이해되어야 한다. 그러므로 발명은 어떤 그러한 대안들, 변경들, 변형들 또는 등가물들을 또한 커버할 것임이 고려된다. 다음 청구항들은 발명의 범위를 한정하고 이들 청구항들의 범위 내의 방법들과 구조들 그리고 이것들의 등가물들이 커버되는 것으로 의도된다.

도면

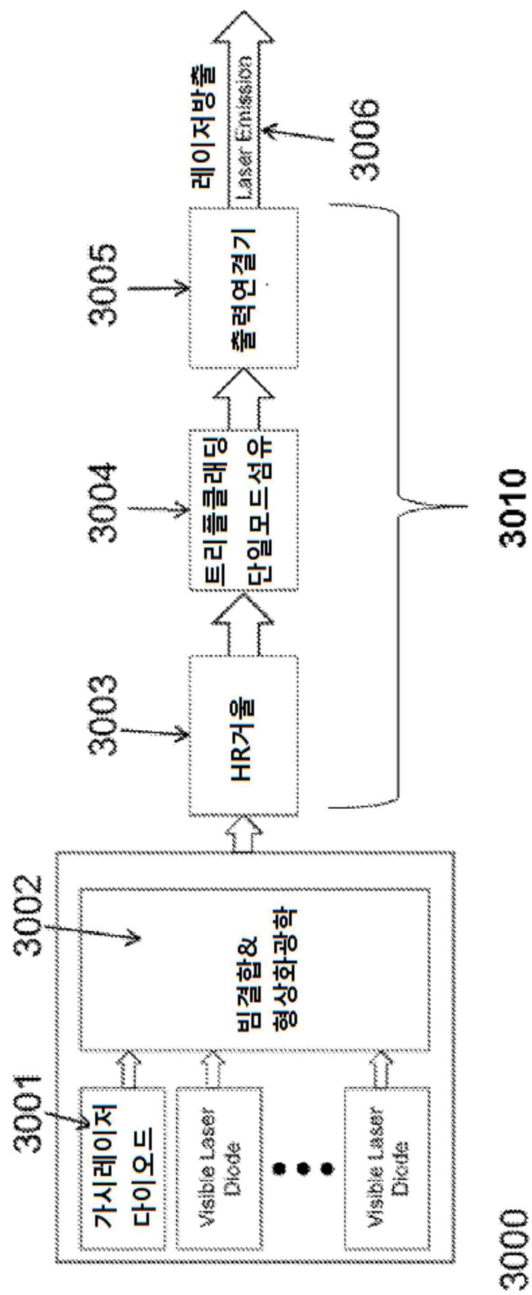
도면1



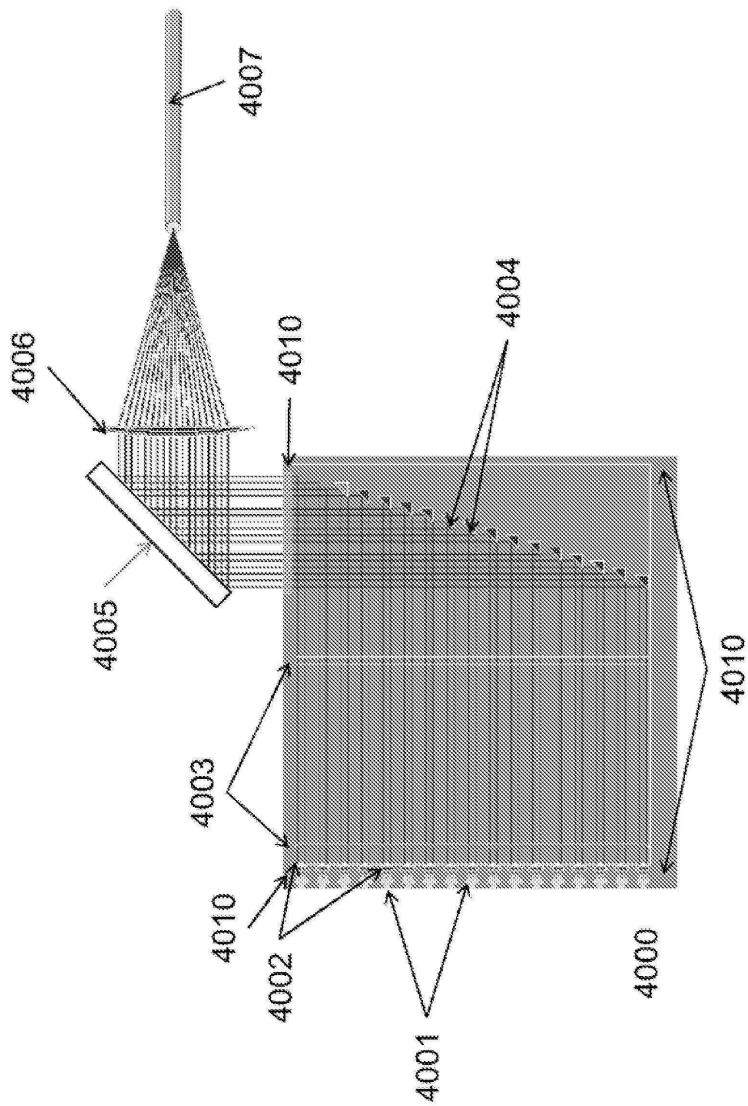
도면2



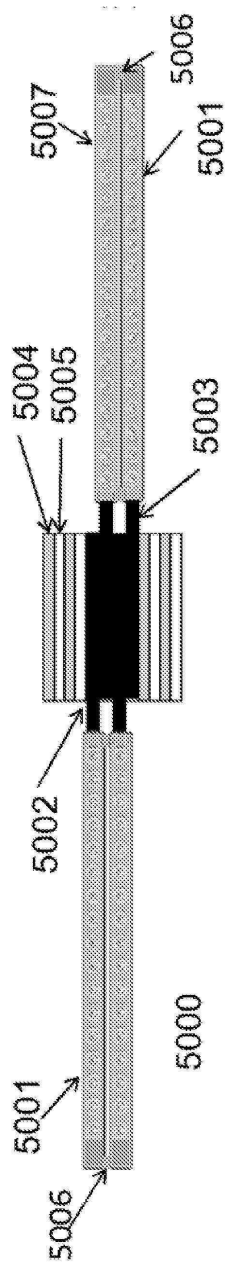
도면3



도면4



도면5



도면6

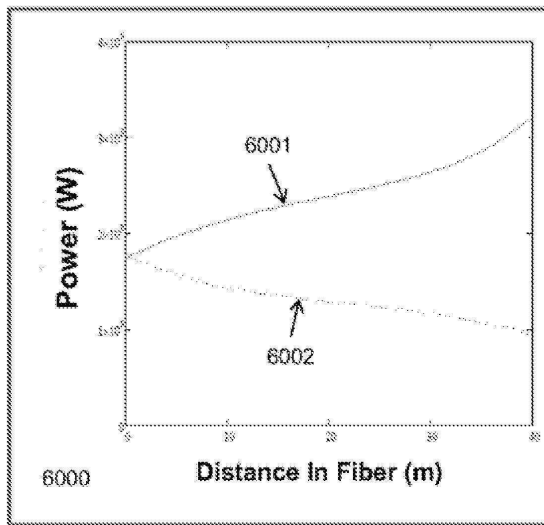


FIG. 6A

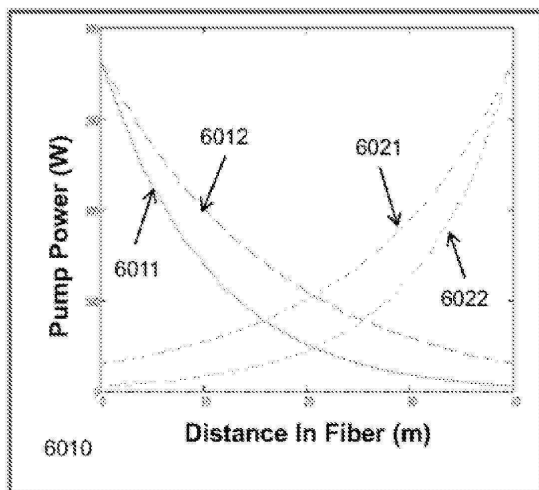


FIG. 6B

도면7

