(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월23일
(11) 등록번호 10-2721024
(24) 등록일자 2024년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 10/28 (2021.01) *B23K 26/00* (2014.01)
B23K 26/08 (2014.01) *B23K 26/342* (2014.01)
B28B 1/00 (2006.01) *B29C 64/153* (2017.01)
B29C 64/268 (2017.01) *B29C 64/286* (2017.01)
B29C 64/393 (2017.01) *G02B 19/00* (2006.01)
G02B 27/28 (2020.01)
(52) CPC특허분류
B22F 10/28 (2023.08)
B23K 26/0006 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7026028(분할)
(22) 출원일자(국제) 2016년10월27일
심사청구일자 2023년07월28일
(85) 번역문제출일자 2023년07월28일
(65) 공개번호 10-2023-0117760
(43) 공개일자 2023년08월09일
(62) 원출원 특허 10-2018-7014668
원출원일자(국제) 2016년10월27일
심사청구일자 2021년09월29일
(86) 국제출원번호 PCT/US2016/059144
(87) 국제공개번호 WO 2017/075234
국제공개일자 2017년05월04일
(30) 우선권주장
62/248,848 2015년10월30일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
EP00856393 A2
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 6 항

(73) 특허권자
쇠라 테크널러지스 인코포레이티드
미국 매사추세츠, 윌밍턴, 발라드베일 스트리트 265 (우편번호 01887)
(72) 발명자
데무스, 제임스, 에이.
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060
피스, 하이너
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인정특

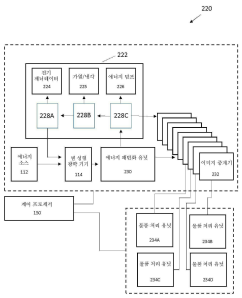
심사관 : 이상호

(54) 발명의 명칭 **적층식 제조 시스템 및 방법**

(57) 요 약

분말 베드를 이미징하기 위한 2차원 에너지 패턴화 시스템을 포함하는 적층식 제조 시스템이 개시된다. 빔 결합, 빔 조향, 및 패턴화된 빔과 비-패턴화된 빔을 재활용하고 재사용하는 것을 지원하는 향상된 광학 시스템이 설명된다.

대 표 도 - 도3c



(52) CPC특허분류
B23K 26/083 (2013.01)
B23K 26/342 (2015.10)
B28B 1/001 (2013.01)
B29C 64/153 (2017.08)
B29C 64/268 (2017.08)
B29C 64/286 (2017.08)
B29C 64/393 (2021.08)
G02B 19/0047 (2013.01)
G02B 27/283 (2013.01)
(72) 발명자
툼러, 에릭
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060
베르디체브스키, 유진
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060
러드, 프랜시스. 엘.
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060
캄샤드, 코우로
미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 라 아베니다 스트리트 1060

(56) 선행기술조사문헌
US06473244 B1
US20100039707 A1
US20110259862 A1
WO2015086705 A1
US20120099035 A1
US20130064706 A1
(30) 우선권주장
62/248,989 2015년10월30일 미국(US)
62/248,776 2015년10월30일 미국(US)
62/248,758 2015년10월30일 미국(US)
62/248,966 2015년10월30일 미국(US)
62/248,783 2015년10월30일 미국(US)
62/248,765 2015년10월30일 미국(US)
62/248,980 2015년10월30일 미국(US)
62/248,795 2015년10월30일 미국(US)
62/248,847 2015년10월30일 미국(US)
62/248,841 2015년10월30일 미국(US)
62/248,833 2015년10월30일 미국(US)
62/248,791 2015년10월30일 미국(US)
62/248,839 2015년10월30일 미국(US)
62/248,821 2015년10월30일 미국(US)
62/248,770 2015년10월30일 미국(US)
62/248,799 2015년10월30일 미국(US)
62/248,780 2015년10월30일 미국(US)
62/248,829 2015년10월30일 미국(US)
62/248,787 2015년10월30일 미국(US)
62/248,968 2015년10월30일 미국(US)
62/248,969 2015년10월30일 미국(US)
62/248,835 2015년10월30일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

적층식 제조 시스템으로서,

빔을 생성하도록 구성되는 고 에너지 광자 소스;

상기 빔을 수신하고 2차원 패턴화된 빔을 반사시키는 에너지 패턴화 유닛; 및

상기 2차원 패턴화된 빔을 분말 베드 상에 2차원 이미지로서 수신하고 집속시키도록 구성되는 이미지 중계기;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 에너지 패턴화 유닛은 광학적으로 어드레싱되는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 고 에너지 광자 소스는 다수의 반도체 레이저를 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 에너지 패턴화 유닛은 고 투과성 층, 트위스트 네마틱(twisted nematic: TN) 액정 층 및 광 전도 층을 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 에너지 패턴화 유닛은 냉각되는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 시스템.

청구항 6

적층식 제조 장치로서,

하나 이상의 광 소스로부터 적어도 하나 이상의 광 빔을 포함하는 다수의 광 빔을 수신하도록 구성된 제1 광학 조립체로서, 상기 다수의 광 빔을 다중화하도록 구성된 상기 제1 광학 조립체;

상기 다수의 광 빔을 재성형하고 혼합하여 제1 광 빔을 제공하도록 구성된 광학 디바이스;

상기 제1 광 빔에 공간 편광 패턴을 적용하여 분말 베드 쪽으로 지향 가능한 제2 광 빔을 제공하도록 구성된 공간 편광 밸브로서, 2차원 패턴을 형성하도록 광학적으로 어드레싱 가능한 상기 공간 편광 밸브;

상기 제2 광 빔의 편광 상태들을 분할하여 제3 광 빔을 반사시키도록 구성된 편광자; 및

상기 제3 광 빔을 제4 광 빔으로 재성형하고, 그 편광 상태를 상기 제1 광 빔의 편광 상태로 회전시키도록 구성된 제2 광학 조립체로서, 상기 제4 광 빔을 상기 다수의 광 빔 중 하나로서 상기 제1 광학 조립체에 도입하여 상기 편광자에 의해 반사되지 않고 투과되는 제5 광 빔을 생성하도록 구성된 상기 제2 광학 조립체;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 적층식 제조 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 특허 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 발명은,

[0003] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,758,

[0004] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,765,

[0005] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,770,

[0006] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,776,

[0007] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,783,

[0008] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,791,

[0009] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,799,

[0010] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,966,

[0011] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,968,

[0012] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,969,

[0013] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,980,

[0014] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,989,

[0015] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,780,

[0016] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,787,

[0017] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,795,

[0018] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,821,

[0019] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,829,

[0020] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,833,

[0021] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,835,

[0022] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,839,

[0023] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,841,

[0024] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,847,

[0025] 2015년 10월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 번호 62/248,848의 우선권의 이익을 주장하는 정규 특허 출원의 일부이고, 이들 선출원 문헌의 전체 내용이 본 명세서에 병합된다.

[0026] 기술 분야

[0027] 본 발명은 일반적으로 적층식 제조(additive manufacturing) 시스템 및 방법에 관한 것이다. 일 실시예에서, 2차원 에너지로의 패턴화 및 에너지 빔의 재사용을 사용하여 분말 베드 융합 제조법(powder bed fusion manufacturing)이 설명된다.

배 경 기 술

[0028] 종래의 부품 가공은 종종 부품을 형성하기 위해 드릴링, 절단 또는 연마에 의한 재료를 제거하는 것에 의존한다. 이와 달리, 3D 인쇄라고도 하는 적층식 제조는 일반적으로 부품을 형성하기 위해 재료를 층으로 적층하여 순차적인 층을 수반한다. 3D 컴퓨터 모델로부터 시작하여 적층식 제조 시스템은 다양한 재료로부터 복잡한 부품을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0029] 분말 베드 융합법(powder bed fusion: PBF)으로 알려진 하나의 적층식 제조 기법은 레이저 또는 전자 빔과 같은 하나 이상의 집속된 에너지 소스를 사용하여 분말을 용융시키고 이 분말을 아래 층에 결합시킴으로써 얇은 분말층을 패턴으로 형성한다. 분말은 플라스틱, 금속 또는 세라믹일 수 있다. 이 기법은 매우 정확하고 일반적으로 150 ㎛ 내지 300 ㎛만큼 작은 특징부 크기를 얻을 수 있다. 그러나 분말 베드 융합법의 적층식 제조 기계의 제조업체는 1 kg/hr을 초과하는 인쇄물을 생산할 수 있는 기계를 생산하기 위해 고심하고 있다. 이러한 느린 분말-고체 전환 속도 때문에 더 큰 부품을 인쇄하는 데 걸리는 시간 기간으로 인해 기계 크기가 상대적으로 작다.

오늘날 가장 큰 기계는 일반적으로 64L($40cm^3$) 미만의 인쇄 가능한 부품 볼륨을 갖고 있다. 이 프린터는 거의 임의의 기하 형상의 부품을 인쇄할 수 있지만, 기계의 비용이 높고 분말의 전환율이 낮기 때문에 기계의 상각 비용이 매우 높아서 고가 부품이 된다.

[0030] 불행하게도, 기계를 단순히 스케일 업(scaling-up)시킴으로써 부품의 크기를 증가시키거나 제조 비용을 감소시키는 것은 허용 가능한 해결책이 아니다. 최소한, 주어진 체적의 재료를 용융시키기 위해 레이저는 재료를 용융 온도까지 올릴 수 있을 만큼 충분한 에너지 및 용융에 필요한 상 변화 에너지를 모두 공급해야 한다. 이러한 과정에서 열 에너지가 소산되지 않으면 시간이 지남에 따라 증착되는 레이저 에너지(레이저 출력)와 재료 처리율 사이에 선형 스케일링이 존재한다. 분말 베드 융합법의 적층식 제조 기계의 제조업체가 재료 처리율을 스케일 업하기를 원하면 제조업체는 필연적으로 레이저 출력을 증가시켜야 할 필요가 있다. 레이저 출력의 이러한 증가는 불행히도 이에 비례하여 레이저의 비용을 증가시키고, 스케일 업은 오늘날 이미 고가인 기계의 비용을 크게 증가시킨다.

[0031] 레이저의 비용이 요인이 아니었더라도, 레이저의 출력을 스케일링하는 것은 다른 불리한 효과를 가질 수 있다. 모든 분말화된 재료는 출력 플럭스(power flux)에 따라 최적의 용융 특성을 갖는다. 출력이 너무 낮으면 분말이 용융하지 않고, 출력이 너무 높으면 레이저는 재료를 드릴링(키-구멍을 형성)할 수 있다. 이러한 최적의 지점들 중 하나의 지점에서 이미 동작하고 있는 기계의 레이저 출력을 증가시키려면 최적의 출력 플럭스를 유지하기 위해 레이저 면적(스폿 크기)을 증가시키는 것이 필연적으로 요구된다. 스폿 크기를 단순히 증가시키면 인쇄 가능한 해상도가 저하되고, 레이저를 다수의 빔으로 분할하면 시스템 복잡성이 증가한다.

[0032] 실제로, 현재 이용 가능한 분말 베드의 적층식 제조 기계는 부품 크기, 부품 제조 비용, 부품 디테일의 해상도, 및 부품 제조 처리량 면에서 제한될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 이하 도면을 참조하여 본 발명의 비-제한적이고 예시적인 일부 실시예가 설명되고, 달리 언급이 없는 한, 다양한 도면에 걸쳐 동일한 부분에는 동일한 참조 부호가 사용된다.

도 1a는 적층식 제조 시스템을 도시한다;

도 1b는 적층식 제조 시스템 상에 형성된 구조물의 상면도이다;

도 2는 적층식 제조 방법을 도시한다;

도 3a는 레이저를 포함하는 적층식 제조 시스템을 도시하는 개략도이다;

도 3b는 도 3a에 도시된 에너지 패턴화 유닛의 상세 설명이다;

도 3c는 다수의 이미지 중계기(image relay)를 사용하여 광을 지향(directing)하고 재패턴화(repatterning)하기 위한 "스위치야드(switchyard)"를 갖는 적층식 제조 시스템의 일 실시예이다;

도 3d는 단순한 미러 이미지 픽셀 재맵핑(mirror image pixel remapping)을 도시한다;

도 3e는 픽셀 재맵핑을 위한 일련의 이미지 변환 이미지 중계기를 도시한다;

도 3f는 패턴화 가능한 전자 에너지 빔을 이용한 적층식 제조 시스템을 도시한다;

도 3g는 도 3f에 도시된 에너지 패턴화 유닛의 상세 설명을 도시한다;

도 4a 내지 도 4c는 다양한 빔 결합 실시예를 도시한다;

도 5a 내지 도 5b는 에너지 패턴화 유닛 실시예를 도시한다;

도 6은 광 재활용(light recycling)을 도시한다;

도 7은 편광 빔 시스템이다;

도 8은 배율 변경 및 갠트리(gantry) 이동을 위한 흐름도이다;

도 9a 내지 도 9b는 각각 분말 베드 시스템 및 열 관리 시스템을 도시한다;

도 10은 분말을 포함하는 임시 벽(temporary wall)들을 적층식으로 형성하는 것을 도시하는 흐름도이다;

도 11a 내지 도 11b는 분말을 제거하는 실시예를 도시한다;

도 12a 내지 도 12b는 다수의 지역(zone)을 갖는 긴 부품을 제조하는 것을 도시한다;

도 13a 내지 도 13c는 조작 지점(manipulation point)에서 부품을 취급하는 것을 도시한다;

도 14는 적층식으로 형성된 조작 지점들을 갖는 대표적인 부품이다;

도 15는 분말 샘플을 테스트하고 특성화하는 것을 도시하는 흐름도이다;

도 16은 둘러싸인 적층식 제조 설비를 도시한다;

도 17은 다수의 작업 영역을 갖는 적층식 제조 설비를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하의 설명에서, 본 명세서의 일부를 형성하고 본 발명이 실시될 수 있는 특정 예시적인 실시예를 예로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자가 본 명세서에 개시된 개념들을 실시할 수 있을 만큼 충분히 상세히 설명되고, 다양한 개시된 실시예에 수정이 이루어질 수 있고, 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 다른 실시예들이 사용될 수 있는 것으로 이해된다. 따라서, 이하의 상세한 설명은 본 발명을 제한하는 의미로 해석되어서는 안 된다.

[0035] 일 실시예에서 하나 이상의 레이저 또는 전자 빔을 포함하는 하나 이상의 에너지 소스를 갖는 적층식 제조 시스템은 하나 이상의 에너지 빔을 방출하도록 위치된다. 빔 성형 광학 기기는 에너지 소스로부터 하나 이상의 에너지 빔을 수신하고 단일 빔을 형성할 수 있다. 에너지 패턴화 유닛은 단일 빔을 수신하거나 또는 생성하고 2차원 패턴을 빔에 전사(transfer)하고, 패턴화되지 않은 미사용된 에너지를 거부할 수 있다. 이미지 중계기는 2차원 패턴화된 빔을 수신하고 이를 2차원 이미지로서 높이 고정된 또는 이동 가능한 빌드 플랫폼(build platform)(예를 들어, 분말 베드) 상의 원하는 위치에 집속한다. 특정 실시예에서, 에너지 패턴화 유닛으로부터 임의의 거부된 에너지의 일부 또는 전부가 재사용된다.

[0036] 일부 실시예에서, 레이저 어레이(들)로부터 오는 다수의 빔은 빔 균질화기(beam homogenizer)를 사용하여 결합된다. 이 결합된 빔은 투과형 또는 픽셀 어드레싱 가능한 광 밸브를 포함하는 에너지 패턴화 유닛을 향할 수 있다. 일 실시예에서, 픽셀 어드레싱 가능한 광 밸브(light valve)는 편광 소자를 갖는 액정 모듈, 및 2차원 입력 패턴을 제공하는 광 투사 유닛을 포함한다. 이미지 중계기에 의해 집속된 2차원 이미지는 분말 베드 상의 다수의 위치를 향해 순차적으로 지향되어 3D 구조물을 형성할 수 있다.

[0037] 도 1에 도시된 바와 같이, 적층식 제조 시스템(100)은 하나 이상의 연속적인 또는 간헐적인 에너지 빔(들)을 빔 성형 광학 기기(114)로 향하게 할 수 있는 에너지 소스(112)를 갖는 에너지 패턴화 시스템(110)을 갖는다. 성형된 후에, 필요한 경우, 빔은 에너지 패턴화 유닛(116)에 의해 패턴화되고, 일반적으로 일부 에너지는 거부된 에너지 취급 유닛(118)으로 지향된다. 패턴화된 에너지는 이미지 중계기(120)에 의해 전형적으로 베드(146) 부근에 집속되는 2차원 이미지(122)로서 물품 처리 유닛(140)을 향해 중계된다. (선택적인 벽(148)들을 갖는) 베드(146)는 재료 분배기(142)에 의해 분배된 재료를 포함하는 챔버(144)를 형성할 수 있다. 이미지 중계기(120)에 의해 지향된 패턴화된 에너지는 결정 구조를 용융, 융합, 소결, 아말감화(amalgamate), 변화시키거나, 응력 패턴에 영향을 미치거나 또는 분배된 재료(144)를 화학적으로 또는 물리적으로 변형시켜 원하는 특성을 갖는 구조물을 형성할 수 있다.

[0038] 에너지 소스(112)는 지향, 성형 및 패턴화될 수 있는 광자(광), 전자, 이온 또는 다른 적절한 에너지 빔 또는 플럭스를 생성한다. 다수의 에너지 소스는 조합으로 사용될 수 있다. 에너지 소스(112)는 레이저, 백열등, 집속된 태양광, 다른 광 소스, 전자 빔 또는 이온 빔을 포함할 수 있다. 가능한 레이저 유형은 가스 레이저, 화학 레이저, 염료 레이저, 금속 증기 레이저, 솔리드-스테이트 레이저(예를 들어, 섬유), 반도체(예를 들어, 다이오드) 레이저, 자유 전자 레이저, 가스 동적 레이저, "니켈 같은" 사마리움 레이저(Samarium laser), 라만 레이저(Raman laser), 또는 핵 펌핑 레이저(Nuclear pumped laser)를 포함하지만 이들로 제한되지 않는다.

[0039] 가스 레이저는 헬륨-네온 레이저, 아르곤 레이저, 크립톤 레이저, 크세논 이온 레이저, 질소 레이저, 이산화탄소 레이저, 일산화탄소 레이저 또는 엑시머 레이저와 같은 레이저를 포함할 수 있다.

[0040] 화학 레이저는 불화수소 레이저, 불화중수소 레이저, COIL(Chemical oxygen-iodine laser: 화학적 산소-요오드 레이저) 또는 Agil(All gas-phase iodine laser: 모든 가스상 요오드 레이저)와 같은 레이저를 포함할 수

있다.

[0041] 금속 증기 레이저는 헬륨-카드뮴(HeCd) 금속 증기 레이저, 헬륨-수은(HeHg) 금속 증기 레이저, 헬륨-셀레늄(HeSe) 금속 증기 레이저, 헬륨-은(HeAg) 금속 증기 레이저, 스트론튬 증기 레이저, 네온-구리(NeCu) 금속 증기 레이저, 구리 증기 레이저, 금 증기 레이저 또는 망간(Mn/$MnCl_2$) 증기 레이저와 같은 레이저를 포함할 수 있다.

[0042] 솔리드 스테이트 레이저는 루비 레이저, Nd:YAG 레이저, NdCrYAG 레이저, Er:YAG 레이저, 네오디뮴 YLF(Nd:YLF) 솔리드-스테이트 레이저, 네오디뮴 도핑된 이트륨 오쏘바나데이트(Nd:YVO_4) 레이저, 네오디뮴 도핑된 이트륨 칼슘 옥소보레이트 Nd:$YCa_4O(BO_3)^3$ 또는 간단히 Nd:YCOB, 네오디뮴 유리(Nd:유리) 레이저, 티타늄 사파이어(Ti:사파이어) 레이저, 툴륨 YAG(Tm:YAG) 레이저, 이테르븀 YAG(Yb:YAG) 레이저, 이테르븀:$2O_3$(유리 또는 세라믹) 레이저, 이테르븀 도핑된 유리 레이저(막대, 판/칩 및 섬유), 홀뮴 YAG(Ho:YAG) 레이저, 크롬 ZnSe(Cr:ZnSe) 레이저, 세륨 도핑된 리튬 스트론튬(또는 칼슘) 알루미늄 플루오라이드(Ce:LiSAF, Ce:LiCAF), 프로메튬 147 도핑된 인산염 유리($147Pm^{+3}$:유리) 솔리드-스테이트 레이저, 크롬 도핑된 크리소베릴(chrysoberyl)(알렉산드라이트) 레이저, 에르븀 도핑된 안데르븀-이테르븀 공동-도핑된 유리 레이저, 3가 우라늄 도핑된 칼슘 플루오라이드(U:CaF_2) 솔리드-스테이트 레이저, 2가 사마륨 도핑된 칼슘 플루오라이드(Sm:CaF_2) 레이저 또는 F-중심 레이저와 같은 레이저를 포함할 수 있다.

[0043] 반도체 레이저는 GaN, InGaN, AlGaInP, AlGaAs, InGaAsP, GaInP, InGaAs, InGaAsO, GaInAsSb, 납염, 수직 공동 표면 방출 레이저(Vertical cavity surface emitting laser: VCSEL), 양자 캐스케이드 레이저, 하이브리드 실리콘 레이저, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0044] 예를 들어, 일 실시예에서 단일 Nd:YAG q-스위칭 레이저가 다수의 반도체 레이저와 함께 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 전자 빔은 자외선 반도체 레이저 어레이와 함께 사용될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 2차원 어레이의 레이저가 사용될 수 있다. 다수의 에너지 소스를 갖는 일부 실시예에서, 에너지 빔의 사전-패턴화(pre-patterning)는 에너지 소스를 선택적으로 활성화 및 비활성화함으로써 수행될 수 있다.

[0045] 빔 성형 유닛(114)은 에너지 소스(112)로부터 수신된 하나 이상의 에너지 빔을 결합, 집속, 발산, 반사, 굴절, 균질화, 세기 조절, 주파수 조절, 또는 성형하고, 에너지 패턴화 유닛(116) 쪽으로 지향시키는 다양한 이미징 광학 기기를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 이산 광 파장을 각각 갖는 다수의 광 빔은 파장 선택성 미러(예를 들어, 이색성) 또는 회절 소자를 사용하여 결합될 수 있다. 다른 실시예에서, 다수의 빔은 다면 미러, 마이크로렌즈, 및 굴절 광학 소자 또는 회절 광학 소자를 사용하여 균질화되거나 결합될 수 있다.

[0046] 에너지 패턴화 유닛(116)은 정적 또는 동적 에너지 패턴화 소자들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 광자, 전자 또는 이온 빔은 고정된 소자들 또는 이동 가능 소자들을 갖는 마스크들에 의해 차단될 수 있다. 이미지 패턴화의 유연성과 용이성을 증가시키기 위해, 픽셀 어드레싱 가능한 마스킹, 이미지 생성, 또는 투과가 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 에너지 패턴화 유닛은 단독으로 또는 다른 패턴화 기구와 함께 패턴화를 제공하기 위해 어드레싱 가능한 광 밸브들을 포함한다. 광 밸브들은 투과 소자, 반사 소자이거나, 또는 투과 소자와 반사 소자들의 조합을 사용할 수 있다. 패턴은 전기적 어드레싱 또는 광학적 어드레싱을 사용하여 동적으로 수정될 수 있다. 일 실시예에서, 투과형 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브는 밸브를 통과하는 광의 편광을 회전시키는 역할을 하고, 광학적으로 어드레싱되는 픽셀들은 광 투사 소스에 의해 한정된 패턴을 형성한다. 다른 실시예에서, 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브는 판독 빔(read beam)의 편광을 수정하기 위해 기록 빔(write beam)을 포함한다. 또 다른 실시예에서, 전자 패턴화 디바이스는 전기적 자극 소스 또는 광자 자극 소스로부터 어드레스 패턴을 수신하고 패턴화된 전자 방출을 생성한다.

[0047] 거부된 에너지 취급 유닛(118)은 패턴화되지 않고 에너지 패턴 이미지 중계기(120)를 통과한 에너지를 분산, 재지향 또는 이용하는데 사용된다. 일 실시예에서, 거부된 에너지 취급 유닛(118)은 에너지 패턴화 유닛(116)으로부터 열을 제거하는 수동 또는 능동 냉각 소자들을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 거부된 에너지 취급 유닛은 에너지 패턴을 형성하는데 사용되지 않는 임의의 빔 에너지를 흡수하고 열로 변환하는 "빔 덤프(beam dump)"를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 거부된 빔 에너지는 빔 성형 광학 기기(114)를 사용하여 재순환될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 거부된 빔 에너지는 가열 또는 추가적인 패턴화를 위해 물품 처리 유닛(140)으로 지향될 수 있다. 특정 실시예에서, 거부된 빔 에너지는 추가적인 에너지 패턴화 시스템 또는 물품 처리 유닛으로 지향될 수 있다.

[0048] 이미지 중계기(120)는 에너지 패턴화 유닛(116)으로부터 패턴화된 이미지(전형적으로 2차원)를 수신하고 이를 물품 처리 유닛(140)을 향해 안내한다. 빔 성형 광학 기기(114)와 유사한 방식으로, 이미지 중계기(120)는 패턴화된 이미지를 결합, 집속, 발산, 반사, 굴절, 세기 조절, 주파수 조절, 또는 성형 및 지향하는 광학 기기를 포함할 수 있다.

[0049] 물품 처리 유닛(140)은 벽을 갖는 챔버(148) 및 베드(144), 및 재료를 분배하기 위한 재료 분배기(142)를 포함할 수 있다. 재료 분배기(142)는 재료 유형 또는 입자 크기를 분배, 제거, 혼합하거나, 계조 또는 변화를 제공하거나 또는 재료의 층 두께를 조절할 수 있다. 재료는 금속, 세라믹, 유리, 중합체 분말, 고체로부터 액체로 그리고 다시 액체로부터 고체로 열에 의해 유도된 상 변화를 겪을 수 있는 다른 용융 가능한 재료, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 이 재료는 용융 가능한 재료 및 용융 가능하지 않는 재료의 복합체를 더 포함할 수 있으며, 여기서 성분들 중 하나 또는 둘 모두는 이미징 중계 시스템에 의해 선택적으로 표적화되어 용융 가능한 성분을 용융시키고 용융 가능하지 않은 재료를 남기거나 성분이 증발/파괴/연소 또는 파괴적인 공정을 받게 할 수 있다. 특정 실시예에서, 재료의 슬러리, 스프레이, 코팅, 와이어, 스트립 또는 시트(sheet)가 사용될 수 있다. 원치 않는 재료는 송풍기, 진공 시스템, 베드(146)의 스위핑(sweeping), 진동(vibrating), 요동(shaking), 팁핑(tipping) 또는 반전(inversion)을 사용하여 일회용 또는 재활용을 위해 제거될 수 있다.

[0050] 재료 취급 구성 요소들에 추가하여, 물품 처리 유닛(140)은 3D 구조물을 유지 및 지지하는 성분들, 챔버를 가열하거나 또는 냉각하는 기구, 보조 또는 지지 광학 기기, 및 재료 또는 환경 상태를 모니터링하거나 또는 조절하는 센서 및 제어 기구를 포함할 수 있다. 물품 처리 유닛은 원치 않는 화학적 상호 작용을 줄일 뿐만 아니라 (특히 반응성 금속과) 화재 또는 폭발의 위험을 완화하기 위해 진공 또는 불활성(inert) 가스 분위기를 전체적으로 또는 부분적으로 지원할 수 있다.

[0051] 제어 프로세서(150)는 적층식 제조 시스템(100)의 임의의 구성 요소들을 제어하도록 연결될 수 있다. 제어 프로세서(150)는 동작을 조정하기 위해 다양한 센서, 액추에이터, 가열 또는 냉각 시스템, 모니터 및 제어기에 연결될 수 있다. 이미저, 광 세기 모니터, 열, 압력 또는 가스 센서를 포함한 광범위한 센서는 제어 또는 모니터링에 사용되는 정보를 제공하는데 사용될 수 있다. 제어 프로세서는 단일 중앙 제어기일 수도 있고, 또는 대안적으로 하나 이상의 독립적인 제어 시스템을 포함할 수도 있다. 제어기 프로세서(150)는 제조 명령의 입력이 가능한 인터페이스를 구비한다. 광범위한 센서는 품질, 제조 처리량 및 에너지 효율을 향상시키는 다양한 피드백 제어 기구를 사용할 수 있게 한다.

[0052] 도 1b는 재료(144)를 지지하는 베드(146)를 도시하는 개략도이다. 일련의 순차적으로 적용된 2차원 패턴화된 에너지 빔 이미지(파선 윤곽(124)의 정사각형)를 사용하여, 구조물(149)이 적층식으로 제조된다. 이해될 수 있는 바와 같이, 비-정사각형 경계를 갖는 이미지 패턴이 사용될 수 있고, 중첩 또는 상호 침투 이미지들이 사용될 수 있고, 이미지들이 둘 이상의 에너지 패턴화 시스템에 의해 제공될 수 있다. 다른 실시예에서, 이미지는 지향된 전자 빔 또는 이온 빔으로 형성되거나, 또는 인쇄된 시스템 또는 선택적인 스프레이 시스템으로 형성될 수 있다.

[0053] 도 2는 설명된 광학적 구성 요소 및 기계적 구성 요소에 의해 지지되는 적층식 제조 공정의 일 실시예를 도시하는 흐름도이다. 단계(202)에서, 재료는 베드, 챔버 또는 다른 적절한 지지부에 위치된다. 이 재료는, 용융, 융합, 소결되고, 결정 구조를 변화시키도록 유도되거나, 응력 패턴에 영향을 받거나, 또는 화학적으로 또는 물리적으로 변형되어 원하는 특성을 갖는 구조물을 형성할 수 있는 분말일 수 있다.

[0054] 단계(204)에서, 솔리드 스테이트 레이저 또는 반도체 레이저 또는 배선을 따라 전자를 흘려 보내는 전기 전력 공급원을 포함하지만 이들로 제한되지 않는 하나 이상의 에너지 방출기에 의해 비-패턴화된 에너지가 방출된다. 단계(206)에서, 비-패턴화된 에너지는 성형되고 수정된다(예를 들어, 세기 변조되거나 집속된다). 단계(208)에서, 이 비-패턴화된 에너지는 패턴화되고, 패턴의 일부를 형성하지 않는 에너지는 단계(210)에서 취급된다(이것은 폐열로 전환되는 것이나 또는 패턴화된 에너지 또는 비-패턴화된 에너지로 재활용되는 것을 포함할 수 있다). 단계(212)에서, 이제 2차원 이미지를 형성하는 패턴화된 에너지는 재료를 향해 중계된다. 단계(214)에서, 이미지는 재료에 적용되어 3D 구조물의 일부를 형성한다. 이러한 단계는 이미지(또는 다른 이미지 및 후속 이미지)가 재료의 상부 층의 모든 필요한 구역(region)에 적용될 때까지 반복될 수 있다(루프 218). 재료의 상부 층에 에너지를 인가하는 것이 종료되면, 새로운 층이 적용되어 (루프 216) 3D 구조물을 계속 형성할 수 있다. 이러한 공정 루프는 남아 있는 초과 재료를 제거하거나 재활용할 수 있을 때까지 3D 구조물이 완료될 때까지 계속된다.

[0055] 도 3a는 에너지 패턴화 시스템(310)의 일부로서 다수의 반도체 레이저를 사용하는 적층식 제조 시스템(300)의

일 실시예이다. 제어 프로세서(350)는 다양한 센서, 액추에이터, 가열 또는 냉각 시스템, 모니터 및 제어기에 연결되어, 다수의 레이저(312), 에너지 패턴화 유닛(316), 및 이미지 중계기(320)뿐만 아니라 시스템(300)의 임의의 다른 구성 요소의 동작을 조정할 수 있다. 이들 연결은 일반적으로 시스템(300)의 구성 요소들을 둘러싸는 파선 윤곽(351)으로 표시된다. 이해될 수 있는 바와 같이 이들 연결은 유선 또는 무선, 연속적 또는 간헐적일 수 있고, 피드백 능력(예를 들어, 열적 가열은 감지된 온도에 따라 조절될 수 있음)을 포함할 수 있다. 다수의 레이저(312)는 1000 nm 파장의 광의 빔(301)을 방출할 수 있고, 이 빔은 예를 들어 폭 90 mm x 높이 20 mm이다. 빔(301)은 이미징 광학 기기(370)에 의해 빔(303)을 생성하도록 크기가 조절된다. 빔(303)은 폭 6mm x 높이 6mm이며, 광 균질화 디바이스(372)에 입사하고, 이 광 균질화 디바이스는 광을 함께 혼합하여 혼합된 빔(305)을 생성한다. 이후 빔(305)은 이미징 조립체(374)에 입사하고, 이 이미징 조립체(374)는 광을 빔(307)으로 재성형하고 나서 핫 콜드 미러(hot cold mirror)(376)에 입사한다. 미러(376)는 1000 nm 광을 통과시키지만 450 nm 광을 반사시킨다. 1080p 픽셀 해상도 및 450 nm의 저출력 광을 투사할 수 있는 광 프로젝터(378)는 빔(309)을 방출하고 이 빔(309)은 핫 콜드 미러(376)에 입사한다. 빔(307)과 빔(309)은 빔(311)으로 중첩되고, 두 빔은 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(380)에 20 mm 폭, 20 mm 높이 이미지로 이미징된다. 균질화기(372) 및 프로젝터(378)로부터 형성된 이미지들이 재생성되고 광 밸브(380) 상에 중첩된다.

[0056] 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(380)는 (전형적으로 400 nm 내지 500 nm 범위에 이르는) 광에 의해 자극되고, 편광 회전 패턴을 투과된 빔(313)으로 임프린트(imprint)하고 이 투과된 빔(313)은 편광자(polarizer)(382)에 입사한다. 편광자(382)는 두 개의 편광 상태를 분리하고, p-편광을 빔(317)으로 투과시키고 s-편광을 빔(315)으로 반사하며, 이 빔(315)은 거부된 에너지를 취급하는 빔 덤프(318)로 보내진다. 이해되는 바와 같이, 다른 실시예에서, 이 편광은 반전될 수 있는데, 즉 s-편광은 빔(317)으로 형성되고, p-편광은 빔(315)으로 반사될 수 있다. 빔(317)은 패턴화된 광을 크기 조정하는 광학 기기(384)를 포함하는 최종 이미징 조립체(320)에 들어간다. 이 빔은 이동 가능한 미러(386)에서 빔(319)으로 반사되고, 이 빔(319)은 물품 처리 유닛(340) 내의 재료 베드(344)에 인가되는 집속된 이미지에서 종료한다. 이미지의 피사계 심도(depth of field)는 다수의 층에 걸치도록 선택되고, 일부 층의 에러 또는 오프셋의 범위 내에서 최적의 집속을 제공한다.

[0057] 베드(390)는 재료 분배기(342)에 의해 분배된 재료(344)를 포함하는 챔버 벽(388)들 내에서 상승 또는 하강될(수직으로 인덱싱될(indexed)) 수 있다. 특정 실시예에서, 베드(390)는 고정된 상태로 유지될 수 있고, 최종 이미징 조립체(320)의 광학 기기는 수직으로 상승 또는 하강될 수 있다. 재료 분배는 스위퍼 기구(sweeper mechanism)(392)에 의해 제공되고, 이 스위퍼 기구는 호퍼(hopper)(394)에 유지된 분말을 고르게 확산시켜, 필요에 따라 새로운 재료 층을 제공할 수 있다. 폭 6 mm x 높이 6 mm의 이미지는 베드의 상이한 위치에서 이동 가능한 미러(386)에 의해 순차적으로 지향될 수 있다.

[0058] 이 적층식 제조 시스템(300)에서 분말화된 세라믹 또는 금속 재료를 사용할 때, 분말은 부품이 형성될 때 베이스 기판(및 후속 층들)의 상부 상에 약 1개 내지 3개의 입자 두께의 얇은 층으로 확산될 수 있다. 분말이 패턴화된 빔(319)에 의해 용융되거나, 소결되거나, 융합될 때, 분말은 하부 층과 결합하여 견고한 구조물을 생성한다. 패턴화된 빔(319)은 40 Hz에서 펄스 방식으로 동작될 수 있고, 분말의 선택된 패턴화된 영역이 용융될 때까지 10 ms 내지 0.5 ms의 간격으로 (3 ms 내지 0.1 ms가 바람직함) 후속 6 mm x 6 mm 이미지 위치로 이동할 수 있다. 베드(390)는 이후 하나의 층에 대응하는 두께만큼 하강하고, 스위퍼 기구(392)는 새로운 분말화된 재료 층을 확산시킨다. 이 과정은 2D 층이 원하는 3D 구조물 형성할 때까지 반복된다. 특정 실시예에서, 물품 처리 유닛(340)은 제어된 분위기를 가질 수 있다. 이를 통해 반응성 재료는 산화 또는 화학 반응 또는 (반응성 금속이 사용되는 경우) 화재 또는 폭발의 위험 없이 불활성 가스 또는 진공 환경에서 제조될 수 있다.

[0059] 도 3b는 도 3a의 에너지 패턴화 유닛(316)의 동작을 보다 상세히 설명한다. 도 3b에 도시된 바와 같이, 대표적인 입력 패턴(333)(여기서는 숫자 "9"로 표시됨)은 미러(376)를 향하여 빔(309)으로서 투사되는 광의 8x12 픽셀 어레이로 한정된다. 각 그레이(grey) 픽셀은 광으로 채워진 픽셀을 나타내는 반면, 백색 픽셀은 광이 없는 픽셀이다. 실제로, 각 픽셀은 무광, 부분 광 세기 또는 최대 광 세기를 포함하여 다양한 레벨의 광을 가질 수 있다. 빔(307)을 형성하는 비-패턴화된 광(331)은 핫/콜드 미러(376)로 향하고 이 미러를 통과하고, 이 미러에서 광은 패턴화된 빔(309)과 결합된다. 핫/콜드 미러(376)에 의해 반사된 후 패턴화된 광 빔(311)은 빔(307)과 빔(309)의 중첩으로부터 빔(311)으로 형성되고, 두 빔은 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(380)로 이미징된다. 비-패턴화된 광(331)의 편광 상태를 회전시킬 수 있는 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(380)는 패턴화된 광 빔(309, 311)에 의해 자극되어, 숫자 "9"의 패턴으로 편광된 광(307, 311)의 편광 상태를 빔(313)으로 선택적으로 회전시키지 않는다. 빔(313)에서 패턴(333)을 나타내는 비-회전된 광은 이후 편광자 미러(382)를 통과하는 것이 허용되어 빔(317) 및 패턴(335)이 형성된다. 제2 회전 상태의 편광된 광은, 편광자 미러(382)에 의해, 광이 없는

숫자 "9"로 구성된 음의 픽셀 패턴(337)을 갖는 빔(315)으로 거부된다.

[0060] 다른 유형의 광 밸브가 대신 사용되거나 설명된 광 밸브와 조합하여 사용될 수 있다. 광 밸브 또는 선택적인 회절 또는 굴절에 기초한 광 밸브도 사용될 수 있다. 특정 실시예에서, 비-광학적으로 어드레싱되는 광 밸브가 사용될 수 있다. 이들 광 밸브는 전기적으로 어드레싱 가능한 픽셀 소자, 이동 가능한 미러 또는 마이크로 미러 시스템, 압전 또는 마이크로 작동식 광학 시스템, 고정된 또는 이동 가능한 마스크, 또는 차폐물, 또는 고강도 광 패턴화를 제공할 수 있는 임의의 다른 종래의 시스템을 포함할 수 있지만, 이로 제한되는 것은 아니다. 전자 빔 패턴화를 위해, 이들 밸브는 어드레스 위치에 기초하여 전자를 선택적으로 방출하여, 이에 따라 밸브를 떠나는 전자 빔에 패턴을 부여할 수 있다.

[0061] 도 3c는 패턴화된 2차원 에너지의 재사용을 가능하게 하는 스위치야드 시스템을 포함하는 적층식 제조 시스템의 일 실시예이다. 도 1a와 관련하여 논의된 실시예와 유사하게, 적층식 제조 시스템(220)은 에너지 소스(112)를 갖는 에너지 패턴화 시스템을 갖고 이 에너지 소스는 하나 이상의 연속적인 또는 간헐적인 에너지 빔(들)을 빔 성형 광학 기기(114)로 보낸다. 성형된 후에, 빔은 에너지 패턴화 유닛(230)에 의해 2차원으로 패턴화되는데, 일반적으로 일부 에너지는 거부된 에너지 취급 유닛(222)으로 보내진다. 패턴화된 에너지는 전형적으로 이동 가능하거나 고정된 높이의 베드 근처에 집속되는 2차원 이미지로서 하나 이상의 물품 처리 유닛(234A, 234B, 234C 또는 234D)을 향하여 다수의 이미지 중계기(232) 중 하나에 의해 중계된다. (선택적인 벽들을 갖는) 베드는 재료 분배기에 의해 분배된 재료를 포함하는 챔버를 형성할 수 있다. 이미지 중계기(232)에 의해 보내지는 패턴화된 에너지는 결정 구조를 용융, 융합, 소결, 아말감화, 변화시키거나 응력 패턴에 영향을 주거나 또는 분배된 재료를 화학적으로 또는 물리적으로 변형시켜 원하는 특성을 갖는 구조물을 형성할 수 있다.

[0062] 이 실시예에서, 거부된 에너지 취급 유닛은 거부된 패턴화된 에너지를 재사용할 수 있게 하는 다수의 구성 요소를 갖는다. 중계기(228A, 228B 및 228C)는 각각 전기 제너레이터(224), 가열/냉각 열 관리 시스템(225) 또는 에너지 덤프(226)에 에너지를 전달할 수 있다. 선택적으로, 중계기(228C)는 패턴화된 에너지를 추가적인 처리를 위해 이미지 중계기(232)로 보낼 수 있다. 다른 실시예에서, 패턴화된 에너지는 에너지 소스(112)에 의해 제공된 에너지 빔(들)에 삽입하기 위해 중계기(228C)에 의해 중계기(228B 및 228A)로 보내질 수 있다. 패턴화된 이미지의 재사용은 또한 이미지 중계기(232)를 사용하여 가능하다. 이미지는 하나 이상의 물품 처리 유닛(234A-234D)에 분배하기 위해 재지향, 반전, 미러링, 서브-패턴화 또는 변형될 수 있다. 유리하게는, 패턴화된 광의 재사용은 적층식 제조 공정의 에너지 효율을 개선시킬 수 있고, 일부 경우에 베드로 향하는 에너지 세기를 개선하거나 제조 시간을 감소시킬 수 있다.

[0063] 도 3d는 재사용을 위해 거부된 에너지 빔의 간단한 기하학적 변환을 보여주는 개략도(235)이다. 입력 패턴(236)은 미러 이미지 픽셀 패턴(238)을 제공할 수 있는 이미지 중계기(237)로 보내진다. 이해될 수 있는 바와 같이, 기하학적 변환, 또는 개별 픽셀 및 픽셀 그룹의 패턴 재맵핑을 포함하는 보다 복잡한 픽셀 변환이 가능하다. 빔 덤프에서 낭비되는 대신, 이 재맵핑된 패턴은 제조 처리량 또는 빔 세기를 향상시키기 위해 물품 처리 유닛으로 보내질 수 있다.

[0064] 도 3e는 재사용을 위해 거부된 에너지 빔을 다수 변환하는 것을 도시하는 개략도(235)이다. 입력 패턴(236)은 픽셀 패턴(238)을 제공할 수 있는 일련의 이미지 중계기(237B-237E)로 보내진다.

[0065] 도 3f 및 도 3g는 예를 들어 "P" 형상의 픽셀 이미지를 생성할 수 있는 패턴화된 전자 빔(241)을 포함하는 비-광에 기초한 에너지 빔 시스템(240)을 도시한다. 고전압 전기 전력 시스템(243)은 광학적으로 어드레싱 가능한 패턴화된 캐소드 유닛(245)에 연결된다. 프로젝터(244)에 의해 2차원 패턴화된 이미지를 적용하는 것에 응답하여, 캐소드 유닛(245)은 패턴화된 이미지가 광학적으로 어드레싱되는 곳마다 전자를 방출하도록 자극된다. 전자 빔 패턴의 집속은 이미징 코일(246A 및 246B)을 포함하는 이미지 중계기 시스템(247)에 의해 제공된다. 패턴화된 이미지의 최종 위치 지정 편향 코일(248)에 의해 제공되고 이 편향 코일은 적층식 제조 구성 요소(249)의 베드 상의 원하는 위치로 패턴화된 이미지를 이동시킬 수 있다.

[0066] 광 재활용 및 재사용을 지원하는 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 광 소스로부터 다중화된 다수의 광 빔이 제공된다. 다수의 광 빔은 제1 광 빔을 제공하도록 재성형되고 혼합될 수 있다. 제2 광 빔을 제공하기 위해 제1 광 빔에 공간 편광 패턴이 적용될 수 있다. 제2 광 빔의 편광 상태는 제3 광 빔을 반사하도록 분할될 수 있으며, 제3 광 빔은 제4 광 빔으로 재성형될 수 있다. 제4 광 빔은 다수의 광 빔 중 하나로서 도입되어 제5 광 빔을 형성할 수 있다. 실제로, 이 시스템 또는 유사한 시스템은 적층식 제조 시스템과 관련된 에너지 비용을 줄일 수 있다. 편광 변경 모드에서 동작하는 공간 편광 밸브 또는 광 밸브에 의해 거부된 원치 않는 광을 수집, 빔 결합, 균질화 및 재도입함으로써, 전체 투과된 광 출력은 광 밸브에 의해 인가된 패턴에 의해 영향을 받지

않을 수 있다. 이것은 유리하게도 광 밸브를 통과하는 광을 원하는 패턴으로 효과적으로 재분배하여, 패턴화된 영역의 양에 비례하여 광 세기를 증가시킨다.

[0067] 다수의 레이저로부터 오는 빔들을 단일 빔으로 결합하는 것은 빔 세기를 증가시키는 하나의 방법이다. 일 실시예에서, 각각 이산 광 파장을 갖는 다수의 광 빔은 파장 선택성 미러들 또는 회절 소자들 중 어느 쪽을 사용하여 결합될 수 있다. 특정 실시예에서, 파장 의존 굴절 효과에 민감하지 않은 반사 광학 소자가 다중 파장 빔을 안내하는데 사용될 수 있다.

[0068] 패턴화된 광은 이동 가능 미러, 프리즘, 회절 광학 소자, 또는 실질적으로 물리적인 이동을 요구하지 않는 솔리드 스테이트 광학 시스템을 사용하여 지향될 수 있다. 일 실시예에서, 분말 베드의 상부 표면의 위치에서 입사 광의 세기 및 픽셀 크기와 관련된 배율 및 이미지 거리가 적층식으로 제조된 3차원(3D) 인쇄 작업을 위해 결정될 수 있다. 복수의 렌즈 조립체 중 하나는 배율을 갖는 입사 광을 제공하도록 구성될 수 있고, 렌즈 조립체는 광학 렌즈의 제1 세트 및 광학 렌즈의 제2 세트를 포함하고, 제2 세트의 광학 렌즈는 렌즈 조립체로부터 교체 가능하다. 보상 갠트리(compensating gantry)에 장착된 하나 이상의 미러 세트 및 빌드 플랫폼 갠트리에 장착된 최종 미러의 회전을 사용하여 전구체 미러(precursor mirror)로부터 오는 입사 광을 분말 베드의 상부 표면의 위치로 향하게 할 수 있다. 보상 갠트리 및 빌드 플랫폼 갠트리의 병진 이동에 의해 또한 전구체 미러로부터 분말 베드의 상부 표면의 위치로 입사하는 광의 거리가 이미지 거리와 실질적으로 동등한 것이 보장될 수 있다. 실제로, 이것은 시스템의 높은 이용 가능성을 보장하면서 서로 다른 분말화된 재료를 위한 빌드 영역의 위치에 걸쳐 광 빔 전달 크기 및 세기를 신속히 변경할 수 있게 한다.

[0069] 특정 실시예에서, 분말 베드를 유지하는 빌드 플랫폼을 각각 갖는 복수의 빌드 챔버(build chamber)는 하나 이상의 입사 에너지 빔을 수신하고 이를 빌드 챔버로 향하도록 배열된 다수의 광학-기계 조립체와 함께 사용될 수 있다. 다수의 챔버는 하나 이상의 빌드 챔버 내에서 하나 이상의 인쇄 작업을 동시에 인쇄할 수 있게 한다. 다른 실시예에서, 제거 가능한 챔버 측벽은 빌드 챔버로부터 인쇄된 물체를 간단히 제거할 수 있게 하여서, 분말화된 재료를 신속히 교환할 수 있게 한다. 또한 챔버는 조절 가능한 공정 온도 제어부를 장착할 수 있다.

[0070] 다른 실시예에서, 하나 이상의 빌드 챔버는 고정된 높이로 유지되는 빌드 챔버를 가질 수 있는 반면, 광학 기기는 수직으로 이동할 수 있다. 렌즈 조립체의 최종 광학 기기와 분말 베드의 상부 표면 사이의 거리(a)는, 빌드 플랫폼을 고정된 높이에 유지하면서 최종 광학 기기를 상방으로 분말 층의 두께와 동등한 거리만큼 인덱싱하는 것에 의해, 본질적으로 일정하도록 관리될 수 있다. 유리하게는, 수직으로 이동하는 빌드 플랫폼에 비해, 크고 무거운 물체가 보다 용이하게 제조될 수 있는데, 이는 빌드 플랫폼이 정확히 미크론 스케일로 움직일 필요가 없기 때문이다. 전형적으로, 약 0.1 입방미터 내지 0.2 입방미터를 초과하는 체적(즉, 100 리터 내지 200 리터를 초과하는 체적 또는 500 kg 내지 1,000 kg을 초과하는 중량)을 갖는 금속 분말용으로 의도된 빌드 챔버는 고정된 높이에 빌드 플랫폼을 유지함으로써 가장 이익을 얻을 수 있다.

[0071] 일 실시예에서, 분말 베드 층의 일부는 빌드 플랫폼 상에 분말 베드 층의 다른 부분을 포함하도록 분말 베드 층의 융합된 부분으로부터 하나 이상의 임시 벽을 형성하도록 선택적으로 용융되거나 융합될 수 있다. 선택된 실시예에서, 개선된 열적 관리를 가능하게 하기 위해 하나 이상의 제1 벽에 유체 통로가 형성될 수 있다.

[0072] 분말의 취급을 개선하는 것은 개선된 적층식 제조 시스템의 또 다른 양태일 수 있다. 분말 베드를 지지하는 빌드 플랫폼은 호퍼 내의 빌드 플랫폼으로부터 실질적으로 분말 베드를 분리하도록 틸팅(tilting)되고, 반전되고, 요동될 수 있다. 분말 베드를 형성하는 분말화된 재료는 차후의 인쇄 작업에 재사용하기 위해 호퍼에 수집될 수 있다. 분말 수집 공정은 자동화될 수 있으며, 분말을 이탈(dislodge)시켜 제거하는 것을 돕기 위해 진공 흡입 시스템 또는 가스 제트 시스템이 더 사용될 수 있다

[0073] 개시된 적층식 제조 시스템의 일부 실시예는 이용 가능한 챔버보다 더 긴 부품을 용이하게 취급하도록 구성될 수 있다. 연속적인 (긴) 부품은 제1 지역으로부터 제2 지역으로 길이방향으로 순차적으로 전진(advanced)될 수 있다. 제1 지역에서는, 과립 재료의 선택된 과립(granule)들이 아말감화될 수 있다. 제2 지역에서는, 과립 재료의 비-아말감화된 과립들이 제거될 수 있다. 연속적인 부품의 제1 부분이 제2 지역으로부터 제3 지역으로 전진되는 동안, 연속적인 부품의 마지막 부분이 제1 지역 내에서 형성되고 제1 부분이 제1 지역 및 제2 지역 내에서 점유했던 것과 측 방향 및 횡 방향으로 동일한 위치에 제1 부분이 유지될 수 있다. 실제로, 적층식 제조 및 정화(예를 들어, 미사용되거나 비-아말감화된 과립 재료를 분리하거나 및/또는 재생(reclamation)하는 것)는, 과립 재료 및/또는 부분들을 제거하기 위해 정지할 필요 없이, 일부 컨베이어 상의 상이한 위치 또는 지역에서 병렬로(즉, 동시에) 수행될 수 있다.

[0074] 또 다른 실시예에서, 적층식 제조 능력은 인클로저(enclosure)의 내부와 인클로저의 외부 사이에서 가스상 물질의 교환을 제한하는 인클로저를 사용하는 것에 의해 개선될 수 있다. 에어락(airlock)은 내부와 외부 사이에 인터페이스를 제공하고; 여기서 내부는 분말 베드 융합을 지원하는 것을 포함하여 다수의 적층식 제조 챔버를 갖는다. 가스 관리 시스템은 내부의 가스 산소를 제한된 산소 농도 이하로 유지하여, 시스템에서 사용될 수 있는 분말 유형 및 처리 유형에 유연성을 증가시킨다.

[0075] 또 다른 제조 실시예에서, 인클로저 내에 3D 프린터를 포함시킴으로써 성능을 향상시킬 수 있으며, 프린터는 2,000 kg 이상의 중량을 갖는 부품을 생산할 수 있다. 가스 관리 시스템은 인클로저 내에 가스 산소를 대기 레벨 미만의 농도로 유지할 수 있다. 일부 실시예에서, 바퀴 달린 운송 수단이 인클로저 내로부터 부품을 에어락을 통해 인클로저와 에어락 모두의 외부 위치로 운반할 수 있는데, 이는 에어락이 인클로저 내의 가스 환경과 인클로저 외부의 가스 환경 사이에 완충부(buffer)로 동작하기 때문이다.

[0076] 다른 제조 실시예는 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템에서 실시간으로 분말 샘플을 수집하는 것을 수반한다. 수집기 시스템은 분말 샘플의 공정 과정 중(in-process) 수집 및 특성화를 위해 사용된다. 수집은 주기적으로 수행될 수 있으며 특성화 결과는 분말 베드 융합 공정을 조절한다. 수집기 시스템은 검사(audit), 공정 조절, 또는 프린터 파라미터 수정 작업 또는 허가된 분말 재료의 적절한 사용 확인과 같은 작업 중 하나 이상을 위해 선택적으로 사용될 수 있다.

[0077] 적층식 제조 공정에 또 다른 개선은 사람이 이동시키기 어렵거나 불가능할 수 있는 부품의 조작을 가능하게 하는 크레인, 리프팅 갠트리(lifting gantry), 로봇 아암(robot arm) 또는 이와 유사한 것과 같은 조작기(manipulator) 디바이스를 사용하는 것에 의해 제공될 수 있다. 조작기 디바이스는 부품의 재위치 지정 또는 기동을 가능하게 하기 위해 부품 상의 다양한 영구적인 또는 임시적으로 적층식으로 제조된 조작 지점들을 파지할 수 있다.

[0078] 도 4a는 다수의 파장 반도체 레이저를 갖고 투과형 이미징 광학 기기를 사용하는 빔 결합 시스템(400)을 도시한다. 이해되는 바와 같이, 논의된 레이저 출력들 및 파장들은 예시적인 것이고 파장 필터들에 의해 반사되거나 투과되는 선택된 파장들도 예시적인 것이다. 파장 필터의 위치 및 사용을 적절히 변화시켜, 더 많거나 더 적은 수의 레이저가 사용될 수 있다. 특정 실시예에서, 솔리드 스테이트 레이저가 대신 사용되거나 반도체 레이저와 함께 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 도 1과 관련하여 논의된 바와 같은 가스, 화학 또는 금속 증기 레이저를 포함하는 다른 레이저 유형이 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 거부된 광을 재활용 및 재사용하는 것이 레이저 대신 사용될 수 있다. 적층식 제조 시스템에서 이용 가능한 거부된 광은 수집되고 균질화된 다음, 빔 라인에 재도입될 수 있다. 유리하게는, 거부된 광을 재활용하고 재사용하면 빔 세기가 증가하고 시스템과 관련된 에너지 비용을 줄일 수 있다.

[0079] 도 4a에는, 제1 파장(1020nm)의 반도체 레이저(406)는 대응하는 파장(407)의 광자의 33.3kW 빔을 방출하고, 제2 파장(1000nm)의 반도체 레이저(408)는 대응하는 파장(409)의 광자의 33.3kW 빔을 방출하며, 이들 빔은 파장 필터(410)를 사용하여 결합되고, 이 파장 필터(410)는 1020nm 광자를 투과시키지만 1000nm 광자를 반사시킨다. 이는 66.6kW의 결합된 2-파장 빔(411)을 형성한다. 제3 파장(980nm)의 반도체 레이저(412)는 대응하는 파장(413)의 광자의 33.3kW 빔을 방출하고, 이 빔은 파장 필터(414)를 사용하여 빔(411)과 결합된다. 파장 필터(414)는 1020 nm 및 1000nm를 투과시키지만 980nm 빔을 반사시켜, 99.9kW의 3-파장 빔(415)을 형성한다. 제4 파장(960nm)의 반도체 레이저(417)는 대응하는 파장(418)의 광자의 33.3kW 빔을 방출하고, 이들 빔은 파장 필터(416)를 사용하여 빔(415)과 결합되고, 이 파장 필터(416)는 1020nm, 1000nm 및 980nm 광자를 투과시키지만 960nm를 반사하여, 133.2kW의 4-파장 빔(419)을 형성한다. 이 빔은 렌즈(420)에서, 예를 들어 20mm x 20mm의 빔 치수 및 1.1도의 발산각을 갖는 광학 이미징 시스템에 입사한다. 렌즈(420)는 두 개의 재료, 즉 C79-79 및 ULE 7972를 사용하는 일련의 렌즈이며, 각 렌즈는 빔을 이미지화하는 능력에 대한 파장 분산 효과를 상쇄시키기 위해 다른 굴절률을 갖는다. 이 빔은 421에서 광학 시스템을 빠져나오고, 이 광학 시스템은 3개의 재료, 즉 ZeruDur, ULE 7972 및 C79-79를 사용하여 빔을 이미지화하는 능력에 대한 파장 분산 효과를 상쇄하는 일련의 렌즈이다. 422에서의 빔은 광학 시스템을 통과한 결과 세기가 증가되었고, 이제 3.67도의 발산각에서 폭 6mm x 높이 6mm이어서, 분말화된 스테인레스 강과 같은 금속의 적층식 제조 공정에 충분한 370kW/cm^2의 세기를 형성한다.

[0080] 최상의 성능을 위해서는 렌즈 재료를 적절히 선택하는 것이 필요하다. 렌즈(420)와 같은 투과 광학 기기는 용융 실리카 유리로 제조될 수 있다. 이것은, 1000nm 부근의 파장에서 흡수 계수가 극히 낮은 것으로 인해 열 팽창 문제를 줄이고, 용융 실리카의 열 팽창 계수 계수가 극히 낮은 것으로 인해 렌즈의 열 팽창을 감소시킨다. 용융

실리카를 사용하면, 광학 기기가, 파손, 유리 굴절률의 변화, 유리 형상의 변화, 및 이에 따라 초점의 변화를 야기할 수 있는 가열 및 팽창 없이, 훨씬 더 높은 세기를 견딜 수 있다. 원치 않는 광학적 변화는 또한 둘 이상의 재료를 사용하는 것에 의해 줄일 수 있다. 각 재료는 파장에 따라 상이하게 변하는 다른 굴절률을 가질 수 있다. 적절히 조합하여 사용하면 굴절률 및 광 경로 길이의 변화가 상쇄되어, 파장의 함수로서 초점 거리에는 변화가 없을 수 있다.

[0081] 도 4b는 투과 광학 기기와 관련된 전술한 문제들을 감소시키기 위해 다수의 파장 반도체 레이저의 조합을 포함하고 이미징 광학 기기를 사용하는 대안적인 빔 결합 시스템(401)을 도시한다. 도 4a의 빔 결합 시스템(400)에서와 같이, 시스템(401)에서 논의되는 레이저 출력들 및 파장들은 예시적인 것이고, 파장 필터들에 의해 반사되거나 투과되는 선택된 파장들도 예시적인 것으로 이해된다. 파장 필터의 위치 및 사용을 적절히 변화시켜, 더 많거나 더 적은 수의 레이저가 사용될 수 있다. 다수의 유형의 레이저가 사용될 수 있으며, 일 실시예에서, 거부된 광을 재활용하고 재사용하는 것이 레이저 대신 사용될 수 있다. 적층식 제조 시스템에서 이용 가능한 거부된 광은 수집되고 균질화된 다음, 빔 라인에 재도입될 수 있다. 유리하게는, 반사 광학 기기는 시동 과도 상태 동안 및 수명에 걸쳐 반도체 레이저 처프(chirp)(시간에 따라 파장이 이동하는 것)와 관련된 문제를 개선시킨다. 반사 광학 기기를 사용하면 이 효과로 인한 다이오드 레이저의 초점이 디튜닝(detuning)되는 것을 방지하고, 달성된 해상도 또는 이미징 성능에 영향을 미치지 않는다. 또한 반사 광학 기기를 사용하는 것에 의해 레이저 동작 온도의 변화로 인해 야기된 파장 차이는 해상도 또는 이미징 성능에 영향을 미치지 않는다.

[0082] 도 4b에서, 제1 파장(1020nm)의 반도체 레이저(423)는 대응하는 파장(424)의 33.3kW 광자 빔을 방출하고, 제2 파장(1000nm)의 반도체 레이저(425)는 대응하는 파장(426)의 33.3kW 광자 빔을 방출한다. 이들 빔은 파장 필터(427)를 사용하여 결합되고, 이 파장 필터(427)는 1020nm 광자를 투과시키지만 1000nm 광자를 반사시켜, 66.6kW의 2-파장 빔(428)을 형성한다. 제3 파장(980nm)의 반도체 레이저(429)는 대응하는 파장(430)의 33.3kW 광자 빔을 방출한다. 이들 빔은 파장 필터(431)를 사용하여 빔(428)과 결합되고 이 파장 필터(431)는 1020 nm 및 1000nm를 투과시키지만 980nm를 반사시켜, 99.9kW의 3-파장 빔(432)을 형성된다. 제4 파장(960nm)의 반도체 레이저(433)는 대응하는 파장(434)의 33.3kW 광자 빔을 방출한다. 이들 빔은 파장 필터(435)를 사용하여 빔(432)과 결합되고, 이 파장 필터(435)는 1020nm, 1000nm 및 980nm 광자를 투과시키지만 960nm를 반사시켜, 133.2kW의 4-파장 빔(436)을 형성한다. 이 빔은 반사 광학 기기(437)에서 예를 들어, 20mm x 20mm의 빔 치수 및 1.1도의 발산각으로 광학 이미징 시스템에 들어간다. 반사 광학 기기는 파장에 의존하지 않고, 빔을 이미징하는 능력에 영향을 미치지 않는다. 빔은 반사 광학 기기(438)에서 빔 결합 광학 시스템(401)을 빠져 나간다. 빔(439)은 광학 시스템을 통과한 결과 세기가 증가되었고, 이제 3.67도의 발산각에서 폭 6mm x 높이 6mm이어서, 분말화된 스텐레스 강과 같은 금속의 적층식 제조 공정에 충분한 370kW/cm^2의 세기를 형성한다.

[0083] 도 4c는 회절 이미징 광학 기기(444)를 사용하여 동일하거나 또는 다수의 파장 레이저(442)로부터 오는 빔(443)들을 결합시키는 빔 결합 시스템(440)의 대안적인 실시예를 도시한다. 회절 광학 기기는 빔(443)들을 수신하고 이 빔들을 실질적으로 동일한 빔 축을 따라 반사하도록 성형되거나 패턴화될 수 있다. 이해되는 바와 같이, 빔을 반사시키는 회절 광학 기기가 도 4c에 도시되어 있지만, 다른 실시예에서, 회절 광학 기기는 빔을 투과시키거나, 반사, 투과 또는 다른 적절한 빔 조향 광학 조립체 또는 구성 요소의 조합을 사용할 수 있다.

[0084] 도 5a는 본 명세서에 개시된 바와 같은 적층식 제조 시스템에 유용한 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브 시스템(500A)이다. 광 밸브는 광을 패턴화하기 위해 투명한 반도체를 통해 광을 투과시킬 필요가 없고, 여기서 평균 출력 레벨이 높으면 소량의 흡수로도 원치 않는 치명적인 가열을 야기할 수 있다. 광 밸브는 또한 기록 빔과 판독 빔이 입사되는 대향 측을 냉각하면서 반사 표면을 보다 더 용이하게 냉각하게 할 수 있다.

[0085] 도 5a에 도시된 바와 같이, 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브 시스템(500A)은 에너지 빔을 패턴화할 수 있으며, 고 투과성 층(501), 트위스트 네마틱(twisted nematic: TN) 액정 층(502), 및 광 전도체 층(503)으로 구성된다. 고 투과성 층은 504 및 506에서 양측에 반사 방지 코팅을 갖는 유리 기판(C79-79 융합 실리카)(501)으로 제조된 1000nm 및 700nm의 광에 대하여 광학적으로 투명하다. ITO(Indium Tin Oxide) 전도성 코팅이 505에서 고 투과성 층(501)에 도포된다. 층(502)은 앵커 기판(anchoring substrate)(507, 509)에 의해 506 및 510에 앵커된다. 502의 정확한 간격은, 1000nm 광을 이중 통과로 통과시킬 때 최대 콘트라스트 비를 위해 튜닝된, 2.5 미크론의 갭을 형성하는 스페이서 볼(508)의 크기에 의해 주어진다. 층(503)은, 700nm에서 투명하지만 1000nm에서 반사성인, 510에서 도포된 고 반사성 유전체 코팅을 갖는 단결정 실리콘 반도체로 제조된다. 층(511)은 솔더 지점(512)이 부착된 다른 ITO 층이고, 다른 솔더 지점(513)을 통해 AC 전압 소스(514)에 의해 층(505)에 연결된다. 패턴화된 기록 광 빔은 700nm에서 프로젝터 소스로부터 방출되고, 504, 501, 505, 506,

507, 502, 509 및 510을 통해 투과된 후에 503에 입사한다. 기록 빔이 503에 도달하는 경우 전자는 가전자대(valence band)로부터 전도대(conduction band)로 이동하여, 503의 국부 전기 전도율을 크게 증가시켜, 511로부터 503, 510, 509, 502, 507 및 506을 거쳐 505로 전류가 흐르게 한다. 전류가 TN 액정(502)을 통해 흐르면 전류는 액정(502)에 회전을 유도하여, 투과된 광에 편광 회전을 일으킨다. "판독" 빔(516)은 504, 501, 505, 506, 507, 502 및 509를 통해 투과된 후 510에 입사하고, 이 지점에서 빔이 반사되어 다시 509, 502, 507, 506, 505, 501 및 504를 통해 투과하여, 광 밸브 시스템(500A)을 빠져 나간다. 이 빔은 이후 편광자(517)에 입사하고 이 편광자(517)는 s-편광을 반사시켜 반사된 빔(518)을 형성하고, p-편광을 투과시켜 투과된 빔(519)을 형성한다. 디바이스에서 흡수가 매우 낮더라도, HR 코팅(509)은 완전히 반사성이 아니어서 일부 에너지가 흡수된다. 이 에너지는 복사, 전도 또는 대류 냉각(520)에 의해 제거된다.

[0086] 도 5b는 기록 빔과 판독 빔이 상이한 측으로부터 입사되는 일측을 냉각하면서 대안적인 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(500B)를 도시한다. 이 밸브는 고 투과성 층(521), 트위스트 네마틱(TN) 액정 층(522), 및 광 전도체 층(523)으로 구성된다. 고 투과성 층은 524 및 526에서 양측에 반사 방지 코팅을 갖는 유리 기판(C79-79 융합 실리카)(521)으로부터 만들어지고 1000nm 및 700nm 광에 대해 광학적으로 투명하다. 인듐 주석 산화물(ITO) 전도성 코팅이 525에서 521에 도포된다. 층(522)은 앵커 기판(527 및 259)에 의해 526 및 530에 앵커된다. 522의 정확한 간격은, 1000 nm 광을 이중 통과로 통과시킬 때 최대 콘트라스트 비를 위해 튜닝된, 2.5 미크론의 갭을 형성하는 스페이서 볼(528)의 크기에 의해 주어진다. 층(523)은 1000nm에서 반사성인, 530에 도포된 고 반사성 유전체 코팅을 갖는 단결정 실리콘 반도체로 만들어진다. 층(531)은 솔더 지점(532)이 부착된 다른 ITO 층이고, 다른 솔더 지점(533)을 통해 AC 전압 소스(534)에 의해 층(525)에 연결된다. 패턴화된 기록 광 빔은 700nm에서 프로젝터 소스로부터 방출되고, 선택적인 대류/전도 기판(540)을 통해 및 ITO 코팅(531)을 통해 투과된 후 523에 입사한다. 기록 빔이 503에 도달하는 경우 전자는 가전자대로부터 전도대로 이동하여, 523의 국부 전기 전도율을 크게 증가시켜, 531로부터 523, 530, 529, 522, 527 및 526을 거쳐 525로 전류가 흐르게 한다. 전류가 TN 액정(522)을 통해 흐르면서, 전류는 액정(522)에 회전을 유도하여, 투과된 광에 편광 회전을 일으킨다. "판독" 빔(536)은 p-편광되고, 524, 521, 525, 526, 527, 522 및 529를 통해 투과된 후에 530에 입사하고, 이 지점에서 빔은 반사되어 다시 529, 522, 527, 526, 525, 521, 및 524를 통해 투과하여, 광 밸브를 빠져 나간다. 이 빔은 이후 편광자(537)에 입사하고, 이 편광자(537)는 s-편광을 반사시켜 반사된 빔(538)을 형성하고, p-편광을 투과시켜 투과된 빔(539)을 형성한다. 디바이스에서 흡수가 매우 낮더라도, HR 코팅(529)은 완전히 반사성이 아니어서 일부 에너지가 흡수된다. 이 에너지는 복사, 전도 또는 대류 냉각(540)에 의해 제거된다.

[0087] 대안적인 또는 추가적인 광학 시스템, 챔버 디자인, 분말 취급 시스템 및 방법, 구조물 형성, 부품 생성 및 조작, 다수의 적층식 제조 시스템의 사용, 및 자동 또는 반자동 공장에 적합한 고 처리량 제조법을 포함하는 다양한 시스템 실시예를 더 잘 이해하고 인식하는 것을 돕기 위해, 이하의 설명이 개시된 시스템, 방법 및 구조의 다양한 신규한 측면을 이해하고 인식하는 데 도움이 될 것이다.

[0088] 도 6은 적층식 제조 공정에서 레이저 광을 재활용하기 위한 예시적인 장치(400)의 레이아웃을 도시한다. 장치(600)는 예를 들어 비-제한적으로 광 소스(601, 602, 및 603)와 같은 하나 이상의 광 소스를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 광 소스(601, 602, 및 603)는 레이저를 포함할 수 있다. 대안적으로, 솔리드 스테이트 레이저와 같은 다른 유형의 광 소스가 이용될 수 있다. 일부 실시예에서, 광 소스(601, 602, 및 603)들 각각 또는 이들 중 적어도 하나는 7.9 cm x 7.9 cm의 크기 및 7.6 mrad의 발산각을 갖는, 700 nm의 11.1 kW의 p-편광된 광을 방출할 수 있다. 광 소스(601, 602 및 603)에 의해 방출된 광 빔들은 일련의 미러를 포함할 수 있는 제1 광학 조립체(604)에 의해 함께 다중화되어, 빔들이 가능한 한 서로 가까이 있을 수 있다. 이 빔들은 광학 디바이스(605)에 의해 재성형되고 혼합되어, 33.3kW, 4.7cm x 4.7cm 및 70.4mrad의 발산각을 갖는 빔(606)을 형성한다. 빔(606)은 이후 공간 편광 밸브(607)에 입사할 수 있고, 이 공간 편광 밸브(607)는 선택된 픽셀의 편광을 p-편광으로부터 s-편광으로 회전시킴으로써 빔(606)에 공간 편광 패턴 맵을 적용하여 빔(608)을 제공할 수 있다. 적절한 수정으로, 선택된 픽셀은 s-편광으로부터 p-편광으로 회전시켜 빔을 제공함으로써 형성될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 그레이 스케일 픽셀은 부분적인 회전에 의해 생성될 수 있다. 편광자(609)와 상호작용할 때, 빔(608)의 s-편광 상태는 빔(610)으로 반사될 수 있다. 정확한 분율(fraction)은 공간 편광 밸브(607)에 의해 패턴화된 광 분율의 함수로서 주어질 수 있다. 이 빔(610)은 일련의 미러, 재-성형 렌즈, 파장 판 또는 다른 광학 구성 요소들을 포함할 수 있는 제2 광학 조립체(611)에 입사할 수 있고, 이에 7.9cm x 7.9cm 빔으로 수정되고 나서, 원래의 하나 이상의 광 소스(601, 602, 및 603)와 함께 광 소스(612)가 있는 것처럼 시스템에 재도입될 수 있다.

[0089] 광을 재활용하기 위한 공정은 하나 이상의 광 소스(601, 602 및 603)로부터 적어도 하나 이상의 광 빔을 포함하

는 다수의 광 빔을 다중화하는 단계를 포함할 수 있다. 다수의 광 빔은 재성형되고 혼합되어 제1 광 빔을 제공할 수 있다. 장치(600)의 공간 편광 밸브(607)는 제1 광 빔에 공간 편광 패턴을 적용하여 제2 광 빔을 제공한다. 장치(600)의 편광자(609)는 제2 광 빔(608)의 편광 상태를 분리하여 제3 광 빔(예를 들어, 빔(610))을 반사한다. 장치(600)의 제2 광학 조립체(611)는 제3 광 빔을 제4 광 빔으로 재성형하고, 제4 광 빔은 다수의 광 빔 중 하나로서 제1 광학 조립체(604)에 도입되고, 이에 편광자(609)에서 반사되지 않고 통과하는 제5 광 빔(예를 들어, 빔(613))을 형성한다.

[0090] 도 7은 본 발명에 따라 원래의 반도체 레이저 세기의 2x까지 (한계 내에서) 달성하기 위해 편광 결합하는 예시적인 광학 조립체(700)를 도시한다. 반도체 레이저는 일반적으로 하나의 편광 상태에서 약 70% 내지 90%로 편광된다. 편광 회전 방법을 사용하여 광을 패턴화할 때 원치 않는 편광 상태의 광의 10% 내지 20%는 잠재적으로 사용되지 않을 수 있다(거부될 수 있다). 이러한 손실을 피하기 위해 편광 결합 및 패턴화를 사용하여 투과 효율을 상승시키거나 결과적인 세기를 2배 증가시키거나 또는 이들 둘 모두를 증가시킬 수 있다.

[0091] 일 실시예에서, 제1 세기를 갖는 둘 이상의 광 빔이 제공되고, 상기 2개 이상의 광 빔 각각은 편광되고 다수쪽(majority) 편광 상태 및 소수쪽(minority) 편광 상태를 갖는다. 각각의 편광 패턴은 2개 이상의 광 빔 각각의 다수쪽 편광 상태에 적용되고, 2개 이상의 광 빔은 제1 세기보다 더 큰 제2 세기를 갖는 단일 광 빔을 제공하도록 결합된다. 제2 실시예에서, 임의의 편광 상태의 2개 이상의 레이저가 사용될 수 있다. 편광자를 사용하여, 빔(들)을 그(그들) 각각의 편광 상태(들)로 분할하고, 대응하는 편광 상태(들)의 빔(들)을 공간 위치 지정에 의해 공간적으로 서로 가까이 쌓아서(stack), 각각의 편광 상태 중 하나를 갖는 2개의 유효 빔을 생성한다. 상이한 편광 상태의 이 2개의 빔은 이후 각각의 편광 상태와 관련된 광 변조기를 통과하며, 편광 상태 패턴이 빔에 적용되고, 이후 편광 결합에 의해 결합된 빔이 생성된다. 이 방법은 공정에 모든 광을 사용하므로 레이저 광의 사용량을 더 높여, 편광 상태의 변화로 인한 손실을 최소화하여, 시스템 효율을 더 향상시킨다.

[0092] 광학 조립체(700)는 도 7에 도시된 구성 요소들의 일부 또는 전부를 포함할 수 있고, 이는 이하에서 설명된다. 광 소스(701, 702)는 각각 고출력 광자 소스로 사용된다. 일부 실시예에서, 광 소스(701, 702)는, 20㎜ 폭 x 20㎜의 정사각형 빔으로 성형되고 혼합되는 1000㎚의 광자를 방출하는 각각 33.3㎾의 출력을 갖는 반도체 레이저 어레이일 수 있다. 방출된 광은 90%가 다수쪽 상태(p)로 편광되어, 광 빔(703 및 704)을 생성할 수 있다. 방출된 광 빔(703 및 704)은 각각 편광자(705 및 706)에 입사될 수 있다. 편광자(705 및 706)는 소수쪽 상태 s-편광을 반사시켜 광 빔(709 및 710)을 생성할 수 있고, 이 광 빔(709 및 710)은 빔 덤프(711)에 입사할 수 있다. 편광자(705 및 706)는 p-편광을 투과시켜 광 빔(706 및 707)을 생성하고, 이 광 빔(706 및 707)은 편광을 회전시키는 광학적으로 어드레싱되는 광 밸브(712 및 713)에 각각 입사될 수 있다. 광 밸브(712 및 713) 각각은 광 빔(706 및 707)에 동일한 이미지를 적용하여 편광 패턴을 생성할 수 있고, "픽셀"의 20%를 원하는 패턴으로 p-편광으로부터 s-편광으로 공간적으로 플립(flip)시켜, 빔(714 및 715)을 생성할 수 있다. 빔(714 및 715)은 각각 편광자(716 및 717)에 입사될 수 있다. 편광자(716 및 717)는 s-편광을 반사시켜 광 빔(718 및 719)을 각각 생성할 수 있고, 이 광 빔(718 및 719)은 20%의 에너지를 포함할 수 있고 빔 덤프(720)로 보내질 수 있다. 편광자(716 및 717)는 p-편광을 투과시켜 광 빔(721 및 722)을 생성할 수 있다. 빔(722)은 1/2 파장 판(723)에 입사될 수 있고, 이 1/2 파장 판은 1/2 파장만큼 모든 광자의 편광을 회전시켜 p-편광을 s-편광으로 변화시켜 광 빔(724)을 생성할 수 있다. 빔(721 및 724)은 미러(725 및 726)에 각각 입사하여 광 빔(727 및 728)을 생성할 수 있다. 빔(727)은 미러(729)에 입사하여 빔(730)을 생성할 수 있으며, 이 빔(730)은 p-편광으로 편광자(731)에 입사할 수 있다. s-편광의 빔(728)은 편광자(731)에 입사할 수 있고, 이 편광자(731)는 빔(728)의 s-편광을 반사시키고 빔(730)의 p-편광을 투과시켜 광 빔(732)을 생성할 수 있다. 빔(732)은 초기 편광이 90%인 것으로 인해 원래의 1.8x의 전체 초기 세기를 위해서는 광 소스(701 또는 702)로부터 단일 편광 상태의 세기의 2배를 갖는 빔일 수 있고, 광 밸브(712 및 713)에 적용된 편광 맵 이미지의 20%를 위해서는 이에 비례하여 이보다 더 적은 빔일 수 있다. 빔(732)에서 총 전파 세기는 방출되는 47.52㎾의 총 투과 출력을 위해 초기 세기의 1.44x일 수 있다. 원래 20x20㎜ 정사각형으로 이미징된 경우, 발산각이 유지된다면, 최종 세기는 11.88㎾/cm^2일 수 있다.

[0093] 분말 베드 융합 적층식 제조에서, (화학 결합이 있든 없든) 분말화된 재료가 처리될 때 일체형 물체를 형성하기 위해 충분한 에너지의 광학 빔의 소스 이미지가 분말 베드(인쇄 표면)의 상부 표면 상의 위치로 지향된다. 분말 베드 융합 적층식 제조에 사용되는 광학 시스템의 해상도(또는 픽셀 크기)는 인쇄 표면이 광학 시스템의 최종 광학 기기의 초점 평면과 일치하는지 여부에 의존하고, 또는 이미징 시스템의 용어로, 이미징 동작을 수행하는 광학 기기의 이미지 평면과 렌즈 사이의 거리가 주어진 렌즈 구성에 대해 실질적으로 일정한 거리를 유지하는지 여부에 의존한다. 분말 베드 융합 적층식 제조에서 대형 물체를 인쇄할 수 있기 위해, 분말 베드의 상부 표면의

모든 가능한 위치에서 해상도 또는 픽셀 크기를 유지하려면 인쇄 표면에서 이미지의 위치 및 렌즈들 간의 거리를 정확히 제어하는 것이 필요하다. 상이한 분말화된 재료는 결합 에너지의 각각의 임계값이 상이하기 때문에 광학 빔의 세기 또는 에너지가 상이할 것을 요구할 수 있다. 분말 유형 또는 분말 크기 분포를 변경할 때 세기의 변화가 필요한 경우 이미징 렌즈를 재설치하고 재정렬하기 위해 광학 시스템을 종료해야 할 수 있다.

[0094] 세기 및 해상도 변화와 관련된 문제를 해결하기 위해, 공정이 다음과 같이 설명된다. 도 8은 이미지 중계기 갠트리를 포함할 수 있는 동적 광학 조립체를 사용하는 단계들을 도시하는 흐름도(800)이다. 단계(810)에서, 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템에서 인쇄될 물체에 대한 최소 해상도(입사 광의 픽셀 크기)를 찾기 위한 정보가 얻어지거나 결정된다. 세기 및 해상도 요구조건에 따라, 동적 광학 조립체의 이미지 거리 및 이미지 정보를 포함하는 입사 광의 배율이 계산된다. 배율은 전구체 이미지 평면에 있는 이미지의 제1 크기를 인쇄 표면(분말 베드의 상부 표면)에 있는 이미지의 제2 크기로 전사될 수 있다. 입사 광은 에너지 소스로부터 유래할 수 있으며, 전구체 이미지 평면을 통과할 수 있고, 이 전구체 이미지 평면에서 이미지 정보가 생성될 수 있다. 공정(800)은 물체의 기하학적 데이터, 동적 광학 조립체의 위치 및 회전 제어 데이터를 저장하는 단계를 수반할 수 있다.

[0095] 단계(820)에서, 공정(800)은 분말화된 재료에 적합한, 810에서 얻어진 배율을 달성하기 위해 기계적 조립체 및 렌즈 조립체들 중 하나 이상의 렌즈 조립체를 구성하는 단계를 포함할 수 있다. 기계적 조립체 및 렌즈 조립체들 중 하나의 렌즈 조립체를 구성하는 단계는 기계적 조립체를 회전시키거나, 제2 세트의 광학 렌즈를 교체하거나 또는 제2 세트의 광학 렌즈를 제거하는 것을 수반할 수 있다.

[0096] 단계(830)에서, 분말 베드 융합 적층식 제조의 각 연속적인 단계에서 전구체 이미지 평면으로부터 입사 광을 인쇄 표면 상의 원하는 위치의 인쇄 표면(예를 들어, 분말 베드의 상부 표면)으로 지향시키기 위해 복수의 회전이 수행될 수 있다. 단계(840)에서, 동적 광학 조립체는 분말 베드 융합 적층식 제조의 각각의 연속적인 단계에서 복수의 병진 이동을 수행하여 전구체 이미지 평면으로부터 인쇄 표면의 모든 위치(예를 들어, 분말 베드의 상부 표면)로 일정한 이미지 거리를 유지할 수 있다. 분말 베드 또는 광학 조립체를 수직으로 이동시키는 것은 최종 렌즈에 대해 분말 베드의 분리 거리를 고정 유지하는데 사용될 수 있다.

[0097] 공정(800)을 구현하기 위한 장치는 빌드 플랫폼에 의해 지지되는 분말 베드의 상부 표면 상에 분배된 분말화된 재료 층을 포함할 수 있다. 전구체 이미지 평면에 위치된 입사 광의 소스 이미지는 배럴(barrel) 내의 렌즈 조립체에 입사된다. 렌즈 조립체는, 배럴을 회전시키는 것에 의해, 광학 렌즈의 제2 세트를 교체하거나, 광학 렌즈의 제2 세트를 제거하거나, 형상을 변화시키는 동적 렌즈를 사용하거나, 전자 렌즈를 교체하거나, 빔 재지향 시스템, 전기-광학적으로 제어되는 굴절 빔 조향 디바이스, 또는 이들의 조합을 사용하여 분말화된 재료에 적합한 배율을 갖도록 구성될 수 있다. 소스 이미지와 다른 크기의 물체 이미지는 렌즈 조립체를 통과한 후에 보이고, 렌즈 조립체의 배율에 따라 수정된다. 이미지 정보를 포함하는 빔은 전구체 미러에 입사하고, 보상 갠트리에 장착된 미러로 향하고 여기서 빔은 미러에서 반사하고 나서 빌드 플랫폼 갠트리에 장착된 최종 미러에 입사한다. 최종 미러는 이미지 정보를 포함하는 빔을 최종 렌즈를 통해 분말 베드의 상부 표면 쪽으로 향하게 하고, 물체 이미지는 형성될 수 있는 이미지 평면에서 재생성되고 확대된다. 분말 베드 상의 분말화된 재료는 용융되어 물체 이미지의 형상을 형성할 수 있다. 빌드 플랫폼 갠트리는 분말 베드의 상부 표면 상에 지정된 위치가 이 층에 결합될 때까지 그 다음 위치로 이동한다. 새로운 분말화된 재료 층이 다시 분배되고, 빌드 플랫폼은 빌드 플랫폼 갠트리와 일정한 거리를 유지하기 위해 분말화된 재료 층의 두께와 동일한 거리만큼 아래로 이동할 수 있다. 적층식 인쇄 공정을 계속할 때 새로운 층에 대한 사이클이 시작된다.

[0098] 도 9a는 본 발명에 따른 분말 베드 융합 적층식 제조 인쇄 공정에서 중간 지점의 예시적인 시나리오(900)를 도시한다. 예시적인 시나리오(800)는 고정 빌드 플랫폼(930)으로 피사계 심도를 제어하면서 빌드 챔버 내의 구성 요소들이 상방으로 이동하는 것을 도시한다. 빌드 플랫폼(930)은 인쇄 사이클 동안 분말이 분배될 수 있는 0.5 미터 x 1 미터의 면적을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 빌드 플랫폼(930)은 갠트리 테이블(905) 아래의 위치로 이동되고 제 위치에 잠겨진다(locked). 각각 3 미터 높이인 수직 컬럼(903(1) 내지 903(4))은 갠트리 테이블(905)에 장착된 갠트리(907)를 지지한다. 분말 분배 유닛(910), 압밀(compacting) 기능부(911) 및 미러(917)는 수평면에서 병진 이동을 위해 갠트리(907) 상에 장착될 수 있다. 갠트리 테이블(905)은 도 8a의 분말 베드(920)보다 더 높은 위치에 도시되어서 인쇄가 진행 중일 수 있다는 것을 반영한다. 분말 베드(920)는 전체 공정 중 다양한 완료 단계에서 분말 층 및 인쇄물(들)을 모두 포함한다. 새로운 분말 층(925)은 분말 확산 및 압밀을 포함하는 분말 분배 유닛(910)으로부터 분배된다. (도시되지 않은) 인쇄 헤드로부터 입사하는 빔(921)은 미러(917)에서 반사되어 새로운 분말 층(925) 내의 위치(923)에 도달하는 빔(922)이 될 수 있다. 인쇄는 새로운 분말 층(925) 내의 위치(923)에 있는 분말이 용융, 소결, 융합 또는 아말감화하는 것에 의해 발생할 수 있다. 새로운 분말 층(925) 내의 위치(923)와 미러(917) 사이의 거리는 해상도 요구조건을 만족시키기 위해 엄격히 제어

될 필요가 있는 피사계 심도이다. 화살표(970)는 갠트리(907), 분말 분배 유닛(910), 미러(917), 및 특정 실시예에서 주변 챔버 또는 벽을 지지하는 갠트리 테이블(905)이 상방으로 이동하는 것을 나타낸다. 이 공정 동안, 빌드 플랫폼(930)은 제 위치에 잠긴 상태로 유지되고, 갠트리(907)(및/또는 챔버 및 챔버 벽)는 빌드 플랫폼(930)에 대해 이동한다. 이러한 배열은, 빌드 플랫폼(930)이 대형이어서, 필요한 정밀도로 수직 방향으로 쉽게 이동하지 않는 많은 양의 무거운 재료를 지지해야 하는, 아래에 논의되는 실시예에서 특히 유용하다.

[0099] 일부 실시예에서, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 0.25 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 0.5 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 1 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 5 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 10 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 50 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있다.

[0100] 일부 실시예에서, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 10 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 50 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 100 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄된 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 500 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 1,000 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 2,000 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 5,000 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다. 대안적으로, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 10,000 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다.

[0101] 일부 실시예에서, 예시적인 시나리오(900)의 빌드 플랫폼(930)은 0.25 평방미터를 초과하는 면적을 가질 수 있고, 예시적인 시나리오(900)의 인쇄물을 포함하는 분말 베드(920)는 10 kg을 초과하는 질량을 가질 수 있다.

[0102] 분말 베드 융합 기법은 분말화된 재료를 처리하여 금속, 세라믹 및 플라스틱 분말로부터 일체형 물체를 형성한다. 분말을 각각의 용융/소결/합금화 온도로 또는 상 전이 온도로 상승시키기에 충분한 에너지가 필요하다. 분말화된 재료가 상 전이 온도에 더 가까이에서 시작한다면 위상 전이를 완료하는 데 더 적은 에너지가 필요할 수 있다. 분말 베드 융합 적층식 제조는 레이저 또는 다른 에너지 소스에 의해 전달되는 에너지의 양을 줄이기 위해 분말 베드의 예열로부터 이익을 얻을 수 있다. 이것은 더 낮은 세기의 레이저를 사용하고 분말을 결합시키는 체류 시간(dwell time)을 줄여서 처리율을 증가시킬 수 있다.

[0103] 응력 집중을 완화시키고 기계적 강도를 증가시키기 위해 금속과 같은 일부 분말화된 재료에 후-처리 열처리가 필요할 수 있다. 후-처리 열처리는 원하는 기계적 또는 전기적 특성을 개선하기 위해 제어된 온도 어닐링 또는 빠른 냉각을 포함할 수 있다. 분말의 예열 및 후-처리 열처리는 빌드 챔버의 벽 내부/빌드 플랫폼 내부에 가열/냉각 소자(들)/온도 센서(들)를 내장하고 피드백 알고리즘을 사용하여 가열/냉각 속도를 제어함으로써 달성할 수 있다. 빌드 챔버의 벽 내부에 단열재를 사용하면 열 손실을 줄일 수 있다.

[0104] 설명된 분말 베드 및 챔버와 관련하여 사용하기에 적절한 열 관리 시스템이 도 9b와 관련하여 설명된다. 도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 기반 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템(900B)의 예시적인 장치를 도시한다. 시스템(900B)은 인쇄 헤드(910B)의 일부로서 에너지 소스(950) 및 에너지 빔 조향 시스템/드라이버(955)를 모두 포함한다. 광학-기계적 조립체(930(1) 내지 930(N))는 시스템(900B)을 통해 인쇄 헤드(910B)에 에너지 빔을 분배할 수 있다. 다양한 센서를 사용하여 데이터 입력, 모니터링, 제어 및 피드백 제어하는 것은 프로세서(들)(901) 및 메모리(940)에 의해 수행된다. 이들 시스템은 3D 객체 데이터(941), 인쇄 헤드 제어부(942), 빌드 플랫폼 제어부(943), 광학-기계적 조립체 제어부(944), 및 빌브 챔버 제어부(945)를 포함할 수 있다.

[0105] 레이저 기반 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템(900)은 하나 이상의 빌드 챔버를 포함할 수 있다. 예시적인 목적으로 본 발명을 제한함이 없이, 시스템(900)의 하나 이상의 빌드 챔버가 빌드 챔버(920B(N))로서 도 9b에 도시되어 있고, 여기서 N은 1 이상의 양의 정수이다. 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N))는 분말화된 재료를 분배하기 위한 분말 분배 유닛(922(1) 내지 922(N)) 및 분말화된 재료로 형성된 분말 베드를 지지하는 빌드 플랫폼(924(1) 내지 924(N))을 포함할 수 있다. 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N)) 각각은 상이한 크기를 가질 수 있고, 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템(900) 내에서 서로 간에 교체 가능할 수 있다. 빌드 후에 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N))의 측면으로부터 분말의 제거를 용이하게 하기 위해 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N))는 제거 가능한 도어를 가질 수 있다. 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N))는 분말 베드 융합 적층식 제조 동안 분위

기에서 밀봉될 수 있다. 이 분위기는 진공, 공기, 질소, 아르곤 또는 헬륨을 포함할 수 있지만, 이로 제한되는 것은 아니다.

[0106] 일부 실시예에서, 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N))의 벽/천장은 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N)) 내의 열적 환경을 제어하기 위해 가열/냉각 소자(926(1) 내지 926(N)) 및 온도 센서(920B(1) 내지 920B(N))를 내장할 수 있다.

[0107] 일부 실시예에서, 가열/냉각 소자(926(1) 내지 926(N))는 열 교환이 가능한 유체 채널일 수 있다. 유체는 빌드 챔버(920B(1) 내지 920B(N)) 외부에서 가열 또는 냉각될 수 있고, 유체 채널을 통해 유체를 이동시킴으로써 벽/천장과 열 교환을 수행할 수 있다. 유체는 오일, 물, 증기, 공기, 질소, 아르곤 또는 냉각제를 포함할 수 있으나, 이로 제한되는 것은 아니다.

[0108] 일부 실시예에서, 가열/냉각 소자(926(1) 내지 926(N))는 각각 저항 가열 소자 및 열이온(thermionic) 냉각 소자일 수 있다.

[0109] 일부 실시예에서, 온도 센서(928(1) 내지 928(N))는 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N)) 내의 벽/천장 내에 내장된 열전쌍일 수 있다.

[0110] 일부 실시예에서, 온도 센서(928(1) 내지 928(N))는 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N)) 내의 벽/천장에 장착된 적외선 카메라(들)일 수 있다.

[0111] 일부 실시예에서, 각각의 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N))는 열 손실을 감소시키기 위해 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N))의 벽/천장에 복사선 차폐물을 포함할 수 있다.

[0112] 일부 실시예에서, 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N))는 벽/천장의 일부로서 낮은 열 컨덕턴스를 갖는 재료를 포함할 수 있다.

[0113] 일부 실시예에서, 각각의 빌드 플랫폼(924(1) 내지 924(N))은 분말 베드 융합 적층식 제조 동안 수직 운동이 가능하거나 주어진 높이에 고정될 수 있다. 빌드 플랫폼(924(1) 내지 924(N))은 상이한 크기를 가질 수 있고 다양한 질량의 분말 베드를 지지할 수 있다. 빌드 플랫폼(924(1) 내지 924(N))은 레일, 바퀴 또는 다른 수단 상의 빌드 챔버(920(1) 내지 920(N))로부터 제거 가능할 수 있다.

[0114] 도 10은 빌드 동작 동안 분말 체적 요구조건을 최소화하는 방법을 설명한다. 공정(1000)은 본 발명에 따른 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템에서 분말 베드 융합을 위한 다양한 인쇄 챔버 벽을 인쇄하는 데 이용될 수 있다. 단계(1010)에서, 공정(1000)은 빌드 플랫폼의 지지 표면 상에 분말화된 재료를 분배하여 분말 베드의 제1 층을 형성하는 것을 수반할 수 있다.

[0115] 단계(1020)에서, 공정(1000)은 분말 베드의 제1 층의 일부를 선택적으로 융합시켜 분말 베드의 제1 층의 융합된 부분으로부터 하나 이상의 제1 벽을 형성하는 단계를 수반할 수 있다. 하나 이상의 제1 벽은 빌드 플랫폼 상에 분말 베드의 제1 층의 다른 부분을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 제1 벽은 분말화된 재료가 없는 구역을 생성하기 위해 빌드 플랫폼의 내부 영역을 둘러싸는 다수의 벽을 포함할 수 있다. 단계(1030)에서, 공정(1000)은 분말 베드의 제1 층 상에 분말화된 재료를 분배하여 분말 베드의 제2 층을 형성하는 단계를 수반할 수 있다. 단계(1040)에서, 공정(1000)은 분말 베드의 제2 층의 일부를 선택적으로 융합시켜 분말 베드의 제2 층의 융합된 부분으로부터 하나 이상의 제2 벽을 형성하는 단계를 수반할 수 있다. 하나 이상의 제2 벽은 분말 베드의 제2 층의 다른 부분을 포함할 수 있다.

[0116] 일부 실시예에서, 하나 이상의 제1 벽은 빌드 플랫폼의 제1 영역에 걸쳐 분말 베드의 제1 층의 다른 부분을 둘러싸는 다수의 제1 벽을 포함할 수 있다. 또한, 하나 이상의 제2 벽은, 분말 베드의 제1 층의 제2 영역에 걸쳐 분말 베드의 제2 층의 다른 부분을 둘러싸는 다수의 제2 벽을 포함할 수 있고, 여기서 제2 영역은 제1 영역보다 더 작다.

[0117] 일부 실시예에서, 하나 이상의 제1 벽은 빌드 플랫폼의 다수의 둘레의 적어도 하나의 둘레를 따라 적어도 하나의 벽을 포함할 수 있다. 추가적으로, 빌드 플랫폼의 다수의 둘레의 나머지 하나 이상의 둘레는 하나 이상의 구조 벽과 접할 수 있다. 일부 실시예에서, 공정(1000)은 빌드 플랫폼의 지지 표면에 수직인 방향으로 빌드 플랫폼과 하나 이상의 구조 벽 사이에 상대 이동을 야기하는 단계를 더 수반할 수 있다. 또한, 공정(1000)은 분말 베드의 제1 층 및 하나 이상의 제1 벽 상에 분말화된 재료를 분배하여 분말 베드의 제2 층을 형성하는 단계를 수반할 수 있다. 또한, 공정(1000)은 분말 베드의 제2 층의 일부를 선택적으로 융합시켜 하나 이상의 제1 벽의

높이를 증가시키는 단계를 수반할 수 있다.

[0118] 다른 실시예에서, 유체 흐름을 지지할 수 있는 파이프, 공동 또는 다공성 구획(이하, "유체 통로")을 갖도록 임시 벽이 제조될 수 있다. 유체 통로들은 개방되거나 또는 부분적으로 폐쇄될 수 있으며, 외부 파이프, 호스, 분무기 또는 다른 유체 전달 시스템과 인터페이싱하도록 형성될 수 있다. 열적 관리를 향상시키기 위해 공기, 질소, 물, 고온용 또는 실리콘 오일, 또는 다른 적절한 가스 또는 액체가 유체 통로를 통해 순환되거나 그 밖에 전달될 수 있다. 열적 관리는 신속한 냉각이나 제어된 냉각을 모두 포함할 수 있으며, 유체는 (예를 들어, 임시 벽에 형성된 파이프를 통해) 순환되거나, 또는 예를 들어, 다공성 외부 벽 구획으로 분무, 적하 또는 비산될 수 있다.

[0119] 제안된 방안은 금속, 플라스틱 또는 세라믹 부품을 인쇄하기 위한 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템에서 구현될 수 있다. 제안된 방안의 응용은 레이저 또는 전자 빔의 수신 단부 상의 기계의 인쇄 베드 부분에 사용하기 위한 것으로 보다 구체적으로 한정될 수 있다. 본 발명의 다양한 실시예에서, 분말 베드 융합 적층식 제조 시스템의 인쇄 헤드의 하나 이상의 에너지 소스가 빌드 챔버의 벽을 인쇄하도록 제어될 수 있다. 이를 통해 챔버의 에지 벽(edge wall)을 제거할 수 있으며 서브세트(sub-set) 영역들을 생성할 수 있다. 서브-세트 영역/체적/공극이 존재하면 분말 사용을 최소화하고 분말이 없는 체적을 생성하는 것을 도와줄 수 있다. 이것은 금, 은 및 구리와 같은 값 비싼 재료로 작업할 때 특히 유용하고, 또한 과도한 분말이 표준 인쇄 체적의 매우 많은 부분을 포함할 수 있는 매우 큰 물체와 작업할 때에도 유용하다. 제안된 방안 하에서, 분말은 적층식 제조 공정 동안 생성된 미리 한정된 벽을 갖는 영역에서 빌드 영역에 걸쳐 선택적으로 분배될 수 있다.

[0120] 인쇄 베드 및 인쇄 헤드는 전형적으로 연속적인 층들에 대해 수직으로 분리되기 때문에, 분말 및 인쇄물(들)로 구성된 이전에 증착된 층들을 지지하기 위해 인쇄 챔버 벽들이 필요하다. 하나의 예는 밀착 장착 벽으로 상승하는 것을 수반할 수 있다. 또 다른 예는 각 층 동안 둘레 벽(및 아마도 벽을 지지하는 구조물)을 인쇄하는 것을 수반할 수 있다. 이것은 각 인쇄 후에 절단되어 재활용될 수 있다.

[0121] 일부 실시예에서, 주변 벽의 대부분 또는 전부는 상승될 수 있고, 벽은 또한 인쇄된 벽의 외부에 떨어지는 분말을 포집(catch)하기 위해 주변 벽에 의해 형성된 "통(tub)"을 사용하면서 분말 층용 분말 베드 영역을 줄이도록 인쇄될 수 있다.

[0122] 일부 실시예에서, 상승된 벽은 전체 둘레로서 의도되지 않을 수 있다. 예를 들어, 인쇄 베드를 인쇄 스테이션에 처음 넣고 나중에 완성된 베드(분말 및 인쇄물(들))를 들어올릴 때 지게차(pork lift) 또는 다른 재료 취급 장비를 위한 액세스 지점이 필요할 수 있다. 이 영역용으로 제한된 벽을 인쇄하면 인쇄 사이클 동안 분말을 지지하는 데 필요한 나머지 벽이 제공될 수 있다. 재료 취급 장비는 잠재적으로 이 인쇄된 벽을 "펀칭(punch)"하여 리프트 지점(lift point)에 액세스를 얻을 수 있다. 일부 실시예에서, 리프트 지점은 빌드 이전에 알고리즘 또는 사용자 배치에 의해 결정될 수 있고, 주요 위치에서 벽에 형성된다.

[0123] 인쇄된 벽은 인쇄 테이블의 기하 형상과 일치할 필요도 없고 이전의 층에 인쇄된 벽과 정확히 일치할 필요도 없다. 이것은, 적절한 분말 분배 장비 및 로직을 사용하여, 분말이 필요한 벽을 갖는 영역들 사이를 덮을 만큼만 분말을 분배할 수 있게 한다. 유리하게는, 이것은 층마다 엄청난 양의 시간, 중량 및/또는 분말을 절약할 수 있다.

[0124] 도 11a는 본 발명에 따른 빌드 플랫폼(1130) 상에 형성된 분말 베드(1120)가 사용될 수 있는 예시적인 시나리오(1100)를 도시한다. 빌드 플랫폼(1130)은 0.25 평방미터의 면적을 가질 수 있고, 빌드 챔버(1110) 내 0.5m 깊이일 수 있는 분말화된 재료의 분말 베드(1120)를 지지할 수 있다. 시나리오(1100)는 인쇄 사이클이 종료하는 시점이거나 또는 인쇄 사이클의 중간 시점에 있는 것일 수 있다. 빌드 플랫폼(1130) 아래에는 호퍼(1140)가 있고, 이 호퍼(1140)는 빌드 플랫폼(1130)이 배치되는 수평 표면에 대해 45도 내지 60도일 수 있는 경사진 벽을 갖는다. 일부 실시예에서, 호퍼(1140)는 오거(auger)(1150)를 포함할 수 있다.

[0125] 도 11b는 빌드 플랫폼(1131)으로부터 분말 베드(1121)를 분리하는 것을 도시하는 또 다른 예시적인 시나리오(1101)를 도시한다. 시나리오(1101)는 여러 가지 이유로 인해 인쇄 사이클이 종료하는 시점이거나 또는 인쇄 사이클이 중지(aborted)하는 중간 사이클 시점에 있는 것일 수 있다. 빌드 챔버(1111) 내부에서 분말 베드(1121)를 지지하는 빌드 플랫폼(1131)은 수평 위치로부터 90도를 넘어 틸팅될 수 있다. 분말 베드(1121)의 중량으로 인해 중력이 당기는 것에 의해 분말 베드(1121) 내에 내장된 분말화된 재료 및 인쇄물(들)이 아래 호퍼(1141)로 떨어진다. 빌드 챔버(1111)는 분말의 상당 부분이 호퍼(1141)에 수집될 수 있도록 진공(1160) 및 고압 제트(1162)를 포함할 수 있다. 진공 흡입(1160) 및 가스 제트(1162)가 빌드 플랫폼(1131)이 틸팅된 후 빌드 플랫폼

(1131)에 남아 있는 점착성 분말을 이탈시키는데 이용될 수 있다. 호퍼(1141)는 호퍼(1141)의 바닥으로 분말을 안내하는 것을 돕기 위해 경사진 벽들을 가질 수 있다. 호퍼(1141)는 오거(1151)를 포함할 수 있다.

[0126] 처리하는 것은 인쇄 사이클 동안 분말 베드를 형성할 때 분말 분배 조립체를 제어하여 분말화된 재료의 복수의 층을 분배하는 단계를 수반할 수 있다. 분말 분배 조립체를 수직으로 운동하는 것은 분말 베드로부터 일정한 분리 거리를 유지하도록 제어될 수 있다. 수직 운동에 의해, 분배된 분말 층의 일부가 서로 결합된 후에 분말 분배 조립체는 분배된 분말 층의 두께와 동등한 거리만큼 분말 베드로부터 (예를 들어, 상방으로) 멀어지게 인덱싱될 수 있다. 남은 분말을 제거하기 위해, 빌드 플랫폼의 움직임은 회전, 틸팅, 반전, 진동, 요동 및/또는 떨림(jitter)을 포함할 수 있다. 이러한 움직임의 결과, 빌드 플랫폼 상에 있는 분말 베드는 분말 베드의 중량으로 인해 빌드 플랫폼 아래 호퍼로 떨어질 수 있다. 진공 시스템, 기계적 아암 및/또는 가스 분무기를 사용하여 빌드 플랫폼 상에 남아 있는 분말을 추가로 이탈시킬 수 있다. 따라서, 분말화된 재료의 상당 부분은 재사용 또는 저장을 위해 호퍼에 수집될 수 있다. 일부 실시예에서, 호퍼 내에 수집된 분말은오거 및/또는 컨베이어를 사용하여 하나 이상의 저장 챔버를 향해 운반될 수 있다. 다른 공정 실시예에서, 분말화된 재료의 상당 부분은 하나 이상의 저장 챔버에서 분말화된 재료에 적합한 분위기에서 밀봉될 수 있다. 이 분위기는 진공, 공기, 질소, 아르곤, 헬륨, 다른 불활성 가스 또는 희가스를 포함할 수 있다.

[0127] 도 12a 및 도 12b는 긴 부품을 제조하기 위한 시스템을 도시한다. 많은 현재의 3D 프린터는 빌드 챔버가 분말 및 인쇄된 부품을 비우고 나서 그 다음 인쇄 작업을 위해 재설정되어야 할 때 상당히 반복적인 비가동 시간(downtime)을 갖는다. 이하 설명에서, 균일 좌표계(uniform coordinate system)(1211)가 한정된다. 따라서, 특정 시스템은 서로 직교하는 길이방향, 측 방향 및 횡 방향(1211a, 1211b, 1211c)에 대응하거나 한정할 수 있다. 길이 방향(1211a)은 시스템의 장축에 대응할 수 있다. 따라서, 적층식 제조 동안, 긴 부품(1210)의 장축은 길이 방향(1211a)과 실질적으로 정렬될 수 있다. 측 방향(1211b)은 길이방향(1211a)과 결합하여 수평면을 형성할 수 있다. 즉, 길이방향 및 측 방향은 모두 수평면 내에서 연장될 수 있다. 횡 방향(1211b)은 중력과 정렬하는 상하로 연장될 수 있다.

[0128] 선택된 실시예에서, 본 발명에 따른 시스템 및 방법은 이러한 비가동 시간을 갖지 않는, 실질적으로 연속적으로 적층식 제조를 수행할 수 있거나 또는 지원할 수 있다. 도 12a 및 도 12b를 참조하면 알 수 있는 바와 같이, 이것은 세그먼트들로 부품(1210)을 제조함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 시스템은 (1) 부품(1210)의 제1 세그먼트(1212a)를 제조하고, (2) 부품(1210)을 선택된 거리만큼 컨베이어(1216) 아래로 전진시키고, (3) 부품(1210)의 제2 세그먼트(1212b)를 제조하고, (4) 부품(1210)을 선택된 거리만큼 컨베이어(1218) 아래로 전진시키고, (5) 부품(1210)의 모든 세그먼트가 완료될 때까지 이를 반복할 수 있다. 이러한 방식으로, 적층식 제조 및 정화(예를 들어, 미사용되거나 또는 비-아말감화된 과립 재료를 분리하거나 및/또는 재생하는 것)는 컨베이어 상의 상이한 위치 또는 지역에서 병열로 (즉, 동시에) 수행될 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 적층식 제조는 과립 재료 및/또는 부분을 제거하기 위해 정지할 필요가 없다.

[0129] 시스템은 다수의 지역(1236a-1236c)을 한정하거나 포함할 수 있다. 상이한 지역에서는 상이한 작업을 수행할 수 있다. 선택된 실시예에서, 상이한 지역은 컨베이어를 따라 상이한 위치에 대응할 수 있다. 따라서, 컨베이어는 시스템의 다양한 지역을 통해 부품을 전진시킬 (예를 들어, 화살표(1232)로 표시된 방향으로 병진 이동시킬) 수 있다. 특정 실시예에서, 시스템은 3개의 지역(1236a, 1236b, 1236c)을 포함할 수 있다. 제1 지역(1236a)은 적층식 제조가 일어나는 컨베이어 부분에 대응하거나, 이를 포함하거나, 이에 걸쳐 있을 수 있다. 따라서, 제1 지역(1236a)은, 과립 재료(144)의 다양한 층이 놓여 있고 과립 재료가 부품과 긴밀히 접촉을 유지하고 있는 컨베이어 상의 영역에 대응할 수 있다.

[0130] 제2 지역(1236b)은 제1 지역(1236a)을 바로 따를 수 있다. 제2 지역(1236b)은 과립 재료의 비-아말감화된 부분의 상당 부분이 부품으로부터 멀리 이동하는 것을 특징으로 할 수 있다. 예를 들어, 제2 지역(1236b)에서, 과립 재료의 비-아말감화된 부분이 더 이상 측 방향(1211b)에 완전히 포함되지 않도록 하나 이상의 벽이 종료되거나 제거될 수 있다. 그 결과, 과립 재료의 비-아말감화된 부분 중 일부가 하나 이상의 판, 컨베이어 등의 측면으로부터 유출될 수 있다. 유출된 과립 재료는 하나 이상의 용기에 떨어져서 여기서 과립 재료가 수집되어 재사용될 수 있다.

[0131] 제3 지역(1236c)은 제2 지역(1236b)을 바로 따를 수 있다. 제3 지역(1236c)은, 부품(1210)이 측 방향(1211b) 및 횡 방향(1211c)으로 그 위치를 변화시키지 않고, 제3 지역(1236c) 내의 부품(1210)의 일부가 시야에 노출된 것(예를 들어, 과립 재료의 비-아말감화된 부분의 상당 부분을 제거하거나 또는 이동시키는 것에 의해 완전히, 상당히 또는 부분적으로 시야에 노출된 것)을 특징으로 할 수 있다.

[0132] 예를 들어, 특정 실시예에서, 부품(1210)의 선두 부분은 제3 지역(1236c)에 도달할 수 있는 반면에, 부품(1210)의 후미 부분은 여전히 제1 지역(1236a) 내에서 제조되고 있을 수 있다. 따라서, 선택된 실시예에서, 컨베이어, 하나 이상의 판, 하나 이상의 임시 지지부(1223), 하나 이상의 벽, 등등 또는 이들의 조합 또는 서브조합은 협력하여, 제1 지역(1236a) 및 제2 지역(1236b) 내에서 점유했던 선두 부분과 측 방향(1211a) 및 횡 방향(1211c)으로 동일한 위치에 부품(1210)의 선두 부분을 유지할 수 있다. 따라서, 부품(1210)의 선두 부분의 위치는 제1 지역(1236a)에서 부품(1210)의 후미 부분에서 발생하는 적층식 제조를 과도하게 방해하거나 왜곡하거나 등을 하지 않을 수 있다.

[0133] 선택된 실시예에서, 부품(1210)의 외부에 있는 과립 재료의 비-아말감화된 부분의 전부는 제2 지역(1236b)에서 제거되거나 또는 제2 지역(1236b) 및 제3 지역(1236c)의 일부 조합 내에서 제거될 수 있다. 그러나, 특정 대안적인 실시예에서, 베드는 4개의 벽이 손상되지 않은 상태로 컨베이어로부터 제거될 수 있다. 따라서, 과립 재료의 비-아말감화된 부분의 전부 또는 일부 나머지는 제1 지역(1236a)으로부터 일부 거리만큼 이격된 스테이션에서 제거될 수 있다.

[0134] 또 다른 실시예에서, 램프(ramp)를 사용하여, 하부 세그먼트 또는 지역으로부터 후속하는 더 높은 세그먼트 또는 지역으로 전이할 수 있다. 예를 들어, 램프를 사용하면, 하부 세그먼트에 대응하는 후미 벽이 후속하는 더 높은 세그먼트의 선두 벽이 될 수 있도록 후미 벽이 적층식 제조 공정에 의해 대부분의 하부 세그먼트보다 더 높게 형성될 수 있다. 램프를 형성하는 것은, 후미 벽만이 형성되고 있을 때 전체 층(예를 들어, 전체 하부 세그먼트를 덮는 층)을 놓는 것보다 훨씬 더 빠를 수 있다.

[0135] 램프는 하나 이상의 방향(예를 들어, 길이 방향(1211a))의 길이가 점진적으로 변하는 과립 재료의 복수의 층을 포함할 수 있다. 예를 들어, 램프에서, 연속하는 각 층의 길이는 바로 이전의 층보다 더 짧을 수 있다. 수평에 대해 램프의 결과적인 각도는 과립 재료에 대한 임계 안식각(angle of repose)보다 더 작을 수 있다. 따라서, 램프를 형성하는 과립 재료는 이에 작용하는 중력의 가속으로 인해 안정적이어서 벗어나지도 않고 이동하지도 않을 수 있다.

[0136] 동작시, 과립 재료의 제1 과립 층이 분배될 수 있고, 복사 에너지는 선택된 과립의 일부를 형성하는 제1 층 내의 모든 과립으로 지향될 수 있다. 과립 재료의 제2 과립 층은 제1 층의 상부에 분배되고, 복사 에너지는 선택된 과립의 일부를 형성하는 제2 층 내의 모든 과립을 향한다. 제1 층은 제1 평면을 한정할 수 있고, 제2 층은 제1 평면에 평행한 제2 평면을 한정한다. 특정 실시예에서, 제1 평면 및 제2 평면은 모두 수평면이다. 다른 실시예에서, 램프를 형성하는 제1 평면 및 제2 평면은 수평면에 대해 소정의 각도로 연장되고, 이 연장 각도는 모두 0보다 더 크고 과립 재료의 임계 안식각 이하이다.

[0137] 도 13a는 분말 베드(1304)를 갖는 분말 챔버(1302)를 포함하는 적층식 제조 시스템(1300)을 도시한다. 시스템(1300)은 또한 지정된 처리 영역, 다른 분말 챔버, 코팅 스테이션, 컨베이어, 배송 용기 또는 임의의 다른 필요한 제조 시스템 구성 요소일 수 있는 처리 플랫폼(1320)을 더 포함할 수 있다. 시스템(1300)은 또한 적층식으로 제조된 조작 지점(1332)에 의해 부품(1330)을 파지할 수 있는 조작기(1312)를 갖는 로봇 아암(1310)을 포함한다. 센서 시스템(1334)은 로봇 아암(1310)에 장착되거나 또는 대안적으로 분말 챔버(1302) 상에, 내에 또는 부근에 장착될 수 있다.

[0138] 클램핑 파지기(clamping grasper)를 구비하고 6개의 자유도를 갖는 단일 로봇 아암은 상기 도면에 도시된 조작 디바이스이지만, 다른 자동화된, 기계적 또는 수동적인 실시예가 사용될 수 있다. 예를 들어, 크레인, 리프트, 유압 아암, 클램프, 트랙 또는 레일, 핀 결합(pinning) 기구 또는 임의의 다른 유형의 수동 또는 자동 제어 가능한 조작 디바이스가 사용될 수 있다. 조작 디바이스는 분말 챔버(1302) 외에, 상에, 부근에 또는 내에 장착될 수 있다. 대안적으로, 조작 디바이스는 분말 챔버 상에, 부근에 있는 레일 상에 이동 가능하게 장착되거나 또는 분말 챔버 내에 위치될 수 있다. 다수의 조작 디바이스가 일부 실시예에서 사용될 수 있다.

[0139] 조작 디바이스는 위치, 심도, 레이저 스캐닝 또는 유사한 센서 시스템(1314)을 포함할 수 있다. 센서는 조작기 상에 또는 부근에 장착되거나, 로봇 아암에 장착되거나, 또는 분말 챔버 또는 처리 플랫폼(1320) 상에, 부근에, 또는 내에 장착될 수 있다. 특정 실시예에서, 센서는 이동 가능할 수 있고, 여기서 힌지, 레일, 유압 피스톤 또는 다른 적절한 작동 기구를 사용하여 센서를 회전, 상승, 강하, 진동 또는 측방향으로 스캔할 수 있다. 특정 실시예에서, 종래의 RGB CMOS 또는 CCD 센서가 단독으로 또는 특수 심도 센서 또는 광학 에지 추적 감지 시스템과 조합으로 사용될 수 있다. 실시예는 식별 및 사용 안내, 마커 또는 다른 검출 가능한 위치 표지를 포함하여 부품의 3D 위치 파악을 개선하도록 선택될 수 있다.

[0140] 도 13b는, 로봇 아암(1310)이 적층식으로 제조된 조작 지점(1332)들 중 하나에 의해 부품(1330)을 들어올리고 재배향하는, 도 13a와 관련하여 설명된 시스템을 도시한다. 일부 실시예에서, 부품(1330)은 추가적인 처리를 위해 들어 올려지고, 회전되고, 선형으로 병진 이동되고 다시 분말 베드(1304) 상에 놓일 수 있다.

[0141] 도 13c는, 로봇 아암(1310)이 적층식으로 제조된 조작 지점(1332)들 중 하나에 의해 부품(1330)을 들어 올리고 재배향하는, 도 13a와 관련하여 설명된 시스템을 도시한다. 이 실시예에서, 부품(1330)은 추가적인 처리를 위해 들어 올려지고, 회전되고, 처리 플랫폼(1320) 상에 놓인다.

[0142] 도 14는 다양한 가능한 적층식으로 제조된 로봇 조작 지점들을 포함하는 부품(1400)을 도시한다. 부품(1400)은, 로봇 조작 지점으로서 작용할 수 있는, 다양한 돌출 구조물(즉, 1402, 1404, 1406, 1408 및 1414)뿐만 아니라 내부 구조물 또는 공동(즉, 1410, 1412 및 1416)을 지지한다. 이 도면에서, 구조물(1402)은 부품(1400)과 2개의 좁은 연결 지점을 갖는 초승달 형상 탭(lunate tab)이다. 이 탭 부분은 닙핑(nipping) 또는 핀칭 파지기(pinching grasper)를 갖는 조작기와 쉽게 맞물릴 수 있게 하는 반면, 좁은 연결 지점들은 기계적 클립 결합, 톱질, 펀칭 또는 드릴링에 의해; 또는 지향된 에너지 빔에 의해 구조물(1402)을 간단히 제거할 수 있게 한다. 유사하게, 핀(pin)(1404)은, 닙핑 또는 핀칭 파지기에 의해 맞물릴 수 있거나, 또는 핀(1402)을 유지하도록 둘러싸고 제한하는 "비트" 유지형 맞물림 시스템에 의해 맞물릴 수 있는 작은 돌출 구조물이다. 직사각형 탭(1406)은 단일 좁은 지점에서 부착되어, 일부 실시예에서 조작기가 부품이 원하는 영역/위치로 이동된 후에 탭을 비틀어 깨뜨릴 수 있게 한다. 기계적 클립 결합 또는 에너지 빔에 의해 나중에 간단히 제거할 수 있게 하기 위해 두 지점에서 다시 부착된 판(1408)은 조작기에 의해 간단히 맞물리게 하기 위해 비교적 길고 넓다.

[0143] 부품(1400)을 적층식 제조하는 것은 부품 기능에 크게 영향을 미치지 않지만 로봇 아암과 맞물리는 것을 신뢰성 있게 향상시키는 함몰부, 랜드(land), 공동, 구멍 또는 다른 내부적으로 한정된 구조물을 포함하도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 프리즘형 잠금 공동(1410)은 핀 또는 클램프 시스템이 공동과 맞물리게 안내할 수 있다. 대안적으로, 확산 그리퍼(spreading gripper)는 부품(1400)에 형성된 노치(1412)와 맞물리는데 사용될 수 있다. 공동 또는 개구(1416)는 또한 필요할 경우 제거 가능한 돌출 탭(1414) 내에 형성될 수 있다. 일부 실시예에서, 실질적으로 적층식으로 제조된 부품의 공동 또는 개구는 식각 또는 지향된 에너지 빔에 의해 재료를 삭감 가공, 드릴링, 펀칭 또는 제거하는 것에 의해 형성될 수 있다. 특정 다른 실시예에서, 사용 후에 공동은 적층식 제조 기법에 의해, 열경화성 플라스틱을 사용하는 것에 의해, 또는 임의의 다른 적합한 충전 기법을 사용하여 충전될 수 있다.

[0144] 일부 실시예에서, 부품(1400)을 2차원 또는 3차원으로 위치 지정하는 것은 돌출 탭 또는 공동 위치를 사용하여 부품의 정확한 위치를 식별하는 이미징 또는 다른 광학 센서를 사용하는 것에 의해 개선될 수 있다. 다른 실시예에서, 마킹 광학 안내 또는 표지(1420)는 돌출 구조물 또는 부품 자체에 추가적으로 형성되거나 또는 기계적으로 또는 레이저로 식각되어 이동 후에 3D 위치 지정과 맞물리게 안내하는 것을 향상시킬 수 있다.

[0145] 일 실시예에서, 처리는 다음 단계에 따라 발생할 수 있다. 제1 단계에서, 재료는 분말 챔버 내의 분말 베드 상에 위치된다. 이후, 2차원적으로 패턴화된 에너지의 지향된 빔을 사용하여, 하나 이상의 조작 지점을 포함하는 부품이 제조된다. 조작기는 조작 지점과 맞물릴 수 있고 분말 베드로부터 부품을 들어 올릴 수 있다. 부품은 추가적인 처리를 위해 분말 베드 상에 재위치되거나 또는 대안적으로 분말 베드 및 챔버로부터 떨어진 새로운 처리 영역으로 이동될 수 있다. 선택적인 단계에서, 조작 지점은 제거되거나 (예를 들어, 돌출 탭은 기계적으로 클립 결합되거나) 또는 충전될 수 있다(예를 들어, 추가적으로 형성된 구멍 또는 공동은 에폭시 수지로 채워질 수 있다).

[0146] 도 15는 인쇄 공정 동안 분말화된 재료의 분말 샘플을 수집하고 특성화하는 예시적인 공정(1500)을 도시한다. 공정(1500)은, 본 발명에 따라 분말 베드 또는 분말 분배 조립체로부터 분말 샘플을 수집하고, 테스트 스위트(test suite)에서 실시간으로 분말 샘플들을 특성화하는데 이용될 수 있다. 단계(1510)에서, 공정(1500)은 인쇄 사이클 동안 인쇄물을 형성할 때 수집기를 제어하여 분말화된 재료의 복수의 분말 샘플을 수집하는 단계를 수반할 수 있다. 분말화된 재료는 열 에너지를 받는 동안 함께 결합될 수 있는 금속, 세라믹, 플라스틱 분말, 또는 다른 적합한 분말을 포함할 수 있다. 수집기는 인쇄 공정 동안 미리 결정된 간격으로 주기적으로 또는 무작위로 또는 미리 결정된 단계에서 분말 샘플을 수집할 수 있다. 예를 들어, 분말 샘플들은 매 10분 간격으로 또는 인쇄 공정의 전체 공정의 1/5번째 완료시 및 4/5번째 완료시에서만 수집될 수 있다. 수집기는 분말 베드 또는 분말 분배 조립체로부터 들어오는 분말을 전환시키는 기구를 가질 수 있다. 또한 수집기는 분석에 필요한 테스트의 수에 따라 전환되는 분말의 양을 제어할 수 있다. 단계(1520)에서, 공정(1500)은 테스트 스위트를 제어하여 테스트에서 하나 이상의 테스트를 수행하는 단계를 수반할 수 있다. 일부 실시예에서, 분말화된 재료의 하나 이

상의 특정 특성은 인쇄물의 기계적, 전기적 또는 광학적 특성을 보장하기 위해 특정 범위 내에서 엄격히 제어될 필요가 있을 수 있다. 다른 실시예에서, 인쇄 공정 동안 분말의 특성은 검사 목적을 위해 유지될 필요가 있을 수 있다. 테스트 스위트는 하나 이상의 테스트를 수행할 수 있는 능력을 갖는 도구를 포함할 수 있다. 설명을 위한 목적으로 그리고 본 발명을 제한함이 없이, 하나의 테스트는 입자 크기 분석기에 의해 분말 크기의 분포를 측정할 수 있고; 제2 테스트는 피크노미터(pycnometer)에 의해 분말 샘플의 밀도를 측정할 수 있고; 제3 테스트는 가스 크로마토그래피 질량 분광법에 의해 분말 샘플 내의 물질종을 식별할 수 있다. 단계(1530)에서, 공정(1500)은 테스트(들)로부터의 결과 특성화에 따라 인쇄 공정에 사용된 인쇄 파라미터 세트를 수정할지 또는 인쇄 공정을 중지할지 여부를 결정하는 단계를 수반할 수 있다. 이 결정은 특성화 결과를 입력으로 사용하여 모델 세트에 기초하여 컴퓨터 시뮬레이션을 포함할 수 있다. 분말 샘플들은 인증 또는 부적절한 처리 상태 없이 분말에 대해 원치 않는 변화를 받았을 수 있다. 테스트는 인쇄 공정 동안 분말의 특성에 대한 실시간 피드백을 제공할 수 있다. 테스트 결과에 따라 하나 이상의 인쇄 파라미터는 수정될 수 있다. 예를 들어, 분말을 용융시키거나 소결시키는데 필요한 단위 체적당 에너지에 영향을 줄 수 있는 지정된 분말 밀도의 편차를 가스 피크노미터가 측정할 때, 입사 빔 세기가 증가되거나 감소될 수 있다. 인쇄 헤드에 의해 제공되는 입사 빔의 체류 시간 또는 분말 분배 조립체에 의해 분배되는 분말 층의 두께는 또한 에너지 요구조건의 변화에 따라 조절되도록 더 제어될 수 있다. 지정된 분말 밀도에 대한 단위 체적당 에너지의 편차가 너무 큰 경우, 인쇄 헤드 내의 에너지 소스가 분말을 용융시키는 요구조건을 충족시키지 않을 수 있기 때문에 인쇄 공정이 중단되거나 중지될 수 있다. 다른 예에서, 분말 샘플 내의 오염물은 가스 크로마토그래피 질량 분광법에 의해 검출될 수 있는데, 이 오염물은 인쇄물의 하나 이상의 전기적, 기계적 및 광학적 특성에 영향을 미칠 수 있다. 또 다른 실시예에서, 특성화 결과가 무허가(unlicensed) 분말 또는 이 무허가 분말을 포함하는 위험한 분말을 사용하여 열등한 적층식 제조 결과를 초래할 가능성이 있는 것을 나타내는 경우 인쇄 공정이 정지될 수 있다.

[0147] 일부 실시예에서, 분말 샘플의 (실시간으로 또는 제 자리에서) 공정 과정 중 특성화의 결과에 기초하여 최종 인쇄 품질을 예측하는 것이 모델 세트를 사용하여 시뮬레이션하는 것에 의해 수행될 수 있다. 예를 들어, 인쇄물의 치수를 제어하는 것은 용융된 구역의 경계에 걸친 분말의 온도 구배 및 입사 빔의 해상도에 의존할 수 있다. 온도가 경계에 걸쳐 충분히 신속히 떨어지지 않아 치수 요구조건의 공차를 초과하지 않는다면 용융된 구역은 의도된 경계를 넘어 확장될 수 있다. 온도 구배는 분말의 조성 및 크기와 같은 분말의 특성에 기초하여 열 전도율을 계산하는 열 전달 모델에 의해 시뮬레이션될 수 있다. 시뮬레이션 모델에 의해 인쇄물의 예상된 치수가 치수 요구조건의 공차를 초과하면 인쇄 공정이 중지될 수 있다.

[0148] 단계(1540)에서, 공정(1500)은 복수의 샘플 캐니스터(canister) 내에 분말 샘플을 저장하는 단계를 수반할 수 있다. 샘플 캐니스터는 공정 과정 중 특성화에 적합하지 않을 수 있는 분석을 위해 또는 차후 검사 목적을 위해 저장될 수 있다. 저장 용기는 샘플 캐니스터 내 공정 과정 중 (실시간으로 또는 제 자리에서) 분위기와 실질적으로 동등한 분위기에서 분말 샘플을 포장할 수 있다. 이 분위기는 진공, 공기, 또는 질소, 이산화탄소, 아르곤, 헬륨 또는 다른 희가스와 같은 불활성 가스일 수 있다.

[0149] 도 16을 참조하면, 본 발명에 따른 제조 설비(1624)는 인클로저(1626) 내에 포함된 하나 이상의 기계(1610)를 포함할 수 있다. 이러한 인클로저(1626)는 필요에 따라 또는 원하는 바에 따라 하나 이상의 환경 상태를 제어할 수 있다. 예를 들어, 인클로저(1626)는 원치 않는 열적, 화학적, 광자적, 복사적 또는 전자적 반응 또는 상호작용 등 또는 이들의 조합 또는 서브조합으로부터 인쇄된 재료 또는 인쇄될 재료를 보호할 수 있다. 또한 인클로저(1626)는 열, UV 광, 화학 반응, 방사성 붕괴 생성물 및 레이저 노출과 같은 기계 및 기계 분말(1610)의 유해할 수 있는 측면으로부터 사람 조작자 또는 다른 인근 요원을 보호할 수 있다.

[0150] 특정 인클로저(1626) 내에 포함된 하나 이상의 기계(1610)는 모두 동일한 크기이거나 또는 다양한 크기일 수 있다. 유사하게, 특정 인클로저(1626) 내에 포함된 하나 이상의 기계(1610)는 모두 동일한 유형이거나 또는 다양한 유형일 수 있다. 예를 들어, 선택된 실시예에서, 인클로저(1626) 내의 하나 이상의 기계(1610) 각각은 배취(batch) 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화(예를 들어, 합체, 결합, 융합, 소결, 용융 등)할 수 있다. 다른 실시예에서, 인클로저(1626) 내의 하나 이상의 기계(1610) 각각은 연속적인 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 인클로저(1626) 내의 하나 이상의 기계(1610)는 배취 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있는 반면, 인클로저(1626) 내의 하나 이상의 다른 기계(1610)는 연속적인 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있다.

[0151] 특정 실시예에서, 제조 설비(1624)는 대응하는 인클로저(1626)를 위한 하나 이상의 앞선 챔버를 형성하는 하나 이상의 에어락(1628)을 포함할 수 있다. 에어락(1628)은, 인클로저(1626) 내 환경(예를 들어, 낮은 산소 및 불활성 가스 환경)을 손상시킴이 없이, 부품, 재료(144), 요원 등이 인클로저(1626) 내로 및 밖으로 통과할 수 있

게 한다. 에어락(1628)은 적어도 2개의 기밀(또는 실질적으로 기밀) 도어(1630a, 1630b)를 포함할 수 있다. 에어락(1628)의 제1 도어(1630a)는 부품, 재료(144), 요원 등이 에어락(1628)의 내부와 이에 대응하는 인클로저(1626)의 내부 사이를 통과할 수 있게 한다. 제2 도어(1630b)는 부품, 재료(144), 요원 등이 에어락(1628)의 내부와 이에 대응하는 인클로저(1626)를 둘러싸는 외부 환경 사이를 통과할 수 있게 한다. 또한 에어락(1628)은 인클로저(1626)의 내부와 적합한 상태와 인클로저(1626) 외부 환경과 적합한 상태 사이에서 에어락(1628) 내의 가스 환경을 효율적으로 전이시키는 데 필요하거나 원하는 대로 에어락(1628)을 정화시키거나 및/또는 환기시킬 수 있는 가스 교환 시스템(미도시)을 더 포함할 수 있다.

[0152] 하나 이상의 사람 작업자, 로봇 등이 기계(1610)에 액세스하고, 이로부터 부품들을 제거하고, 재사용을 위해 비-아말감화된 과립 재료(144)를 진공으로 흡입하는 등을 하는데 충분한 공간이 기계(1610) 주위에 보존되도록 하나 이상의 기계(1610)가 인클로저(1626) 내에 배열될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 인클로저(1626)는 하나 이상의 사람 작업자, 로봇 등이 상부로부터 기계(1610)에 액세스(예를 들어, 시각적으로 액세스, 물리적으로 액세스)할 수 있게 하는 다양한 갠트리, 캣워크(catwalk) 등을 포함할 수 있다. 이것은 인클로저(1626)가 하나 이상의 대형 기계(1610)를 포함하고 특정 작업을 위해 그 에지 또는 측면으로부터 액세스하는 것이 불충분할 수 있는 경우에 도움이 될 수 있다.

[0153] 특정 실시예에서, 제조 설비(1624)는 인클로저(1626) 내의 가스상 물질의 구성을 제어하는 하나 이상의 가스 관리 시스템(1632)을 포함할 수 있다. 가스 관리 시스템(1632)은 불활성 가스 또는 실질적으로 불활성 가스(예를 들어, 진공, 질소, 아르곤, 이산화탄소 등 또는 이들의 조합 또는 서브조합)의 농도를 원하는 레벨(예를 들어, 약 99.9 체적% 이상의 아르곤)을 넘어 유지할 수 있다. 선택적으로 또는 추가적으로, 가스 관리 시스템은 산소 및/또는 수증기의 농도를 대기 레벨 아래로 유지할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 원하는 레벨은 가스 산소의 경우 0.05 체적% 미만이고, 수증기의 경우 0.05 체적% 미만일 수 있다.

[0154] 인클로저(1626) 내의 가스 환경은 인클로저(1626)에 들어가거나 및/또는 인클로저 내에서 작업할 필요가 있는 하나 이상의 사람의 호흡 요구조건에 적합하지 않을 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 특정 인클로저(1626) 내에서 작업하기 위해 하나 이상의 작업자가 개인 보호 장비(personal protective equipment: PPE)를 착용할 수 있다. 이후, 작업자가 인클로저(1626)에 들어갈 때, PPE는 인클로저(1626) 내의 작업 환경과 작업자 사이에 장벽을 형성할 수 있다.

[0155] 선택된 실시예에서, 하나 이상의 작업자가 착용하는 PPE는 독립형 호흡 장치(self-contained breathing apparatus: SCBA)를 포함할 수 있다. SCBA는 호기 가스를 여과, 보충 및 재순환 또는 저장하는 폐쇄 회로 디바이스(예를 들어, 공기 공급 장치(rebreather))일 수 있다. 대안적으로, SCBA는 적어도 일부 호기 가스(예를 들어, 질소, 이산화탄소, 산소, 수증기 또는 이들의 조합 또는 서브조합)를 주변 환경으로 배출하는 개방 회로 디바이스일 수 있다. 개방 회로 디바이스가 사용되는 실시예에서, 인클로저(1626) 내의 하나 이상의 작업자에 의해 호기되는 양은 인클로저(1626)의 오버 사이즈에 비해 상당히 작을 수 있다. 따라서, 인클로저(1626)의 내부로 산소, 수증기 또는 등을 방출하는 것은 충분히 작아서 무시 가능하거나 또는 적어도 허용 가능한 한도 내에(예를 들어, 가스 관리 시스템(1632)의 정류(rectify) 용량 내에) 있을 수 있다.

[0156] 도 17을 참조하면, 선택된 실시예에서, 제조 설비는, 하나 이상의 인터페이스 기구(1728)에 의해 연결되어 네트워크(1740)를 형성하는 다수의 작업 영역(1724)을 포함할 수 있다. 이러한 네트워크(1740)를 형성하는 작업 영역(1724)들 중 하나 이상은 인클로저(1726) 내에 포함될 수 있다. 이러한 네트워크(1740)를 형성하는 작업 영역(1724)들 중 적어도 하나 이상은 인클로저(1726)를 필요로 하지 않을 수 있으며, 그리하여 인클로저 내에 포함되지 않을 수 있다. 이러한 네트워크(1740)를 형성하는 하나 이상의 작업 영역(1724)은 하나 이상의 건물 내에 포함될 수 있다. 예를 들어, 선택된 실시예에서, 네트워크(1740)를 형성하는 다양한 작업 영역(1724) 전부가 단일 건물 내에 포함될 수 있다. 이러한 실시예에서, 인클로저(1726) 내에 포함된 임의의 작업 영역(1724)은 건물에 의해 제공되는 환경 상태의 조절(conditioning)보다 더 많은 환경 상태의 조절을 요구하는 작업 영역(1724)일 수 있다.

[0157] 네트워크(1740)의 다양한 작업 영역(1724)은 특정 제조 관련 공정에 대응하도록 한정되거나 및/또는 배열될 수 있다. 이러한 공정은 적층식 제조를 통해 부품을 생산하는 단계; 이 부품을 생산한 기계로부터 부품을 제거하는 단계; 비-아말감화된 과립 재료를 제거하는 단계; 베이스 또는 베드, 하나 이상의 지지 구조물(예를 들어, 부품을 통해 연장되는 하나 이상의 주행 벽의 외부 부분, 완성된 부품 내에 포함되지 않는 적층식 제조 동안 부품을 지지하도록 인쇄된 하나 이상의 임시 구조물 등) 등으로부터 부품을 분리하는 단계; 열 처리하는 단계; 피닝(peening)하는 단계; 분말 코팅, 페인팅, 양극 산화 처리 등을 수행하는 단계; 배송을 위해 포장하는 단계; 등

등 또는 이들의 조합 또는 서브조합을 포함할 수 있다.

[0158] 예를 들어, 선택된 실시예에서, 네트워크(1740)는 인클로저(1726)에 의해 제공되는 불활성 환경에서 분말 베드를 융합하기 위한 제1 작업 영역(1724a), 인클로저(1726) 내에서 빌드 플랫폼(146)으로부터 과립 재료(144)를 제거하기 위한 제2 작업 영역(1724b), 인클로저(1726) 내에서 표면 마무리를 개선하기 위해 숏 피닝(shot peening)하기 위한 제3 작업 영역(1724c), 인클로저(1726) 내에서 금속 부품을 어닐링하는 열처리를 위한 제4 작업 영역(1724d), 인클로저(1726) 내에서 빌드 플랫폼(146)으로부터 부품을 제거하기 위한 제5 작업 영역(1724e), 포장 및 배송을 위한 제6 작업 영역(1724f), 또는 등등 또는 이들의 조합 또는 서브조합을 포함할 수 있다.

[0159] 제1 작업 영역(1724a)에서, 하나 이상의 기계가 인클로저(1726) 내에 포함될 수 있다. 기계들은 모두 동일한 크기이거나 또는 다양한 크기일 수 있다. 유사하게, 하나 이상의 기계는 모두 동일한 유형이거나 또는 다양한 유형일 수 있다. 예를 들어, 선택된 실시예에서, 인클로저(1726) 내 하나 이상의 기계 각각은 배취 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화(예를 들어, 합체, 결합, 융합, 소결, 용융 등)할 수 있다. 다른 실시예에서, 인클로저 내 하나 이상의 기계 각각은 연속적인 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 인클로저 내 하나 이상의 기계는 배취 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있는 반면, 인클로저 내 하나 이상의 다른 기계는 연속적인 공정에서 특정 과립 재료를 아말감화할 수 있다.

[0160] 하나 이상의 사람 작업자, 로봇 등이 기계에 액세스하고 이로부터 부품을 제거하고, 재사용을 위해 비-아말감화된 과립 재료를 진공 흡입하는 등을 하는데 충분한 공간이 기계 주위에 보존되도록 제1 작업 영역(1724a)의 하나 이상의 기계가 배열될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 제1 작업 영역(1724a)은 하나 이상의 사람 작업자, 로봇 등이 상부로부터 기계에 액세스(예를 들어, 시각적으로 액세스, 물리적으로 액세스)할 수 있게 하는 다양한 갠트리, 캣워크 등을 포함할 수 있다. 이것은 제1 작업 영역(1724a)이 특정 작업을 위해 에지 또는 측면으로부터 액세스하는 것이 불충분할 수 있는 하나 이상의 대형 기계를 포함할 때 도움이 될 수 있다.

[0161] 제2 작업 영역(1724b)에서, 비-아말감화된 과립 재료는 다양한 방법을 통해 빌드 플랫폼으로부터 제거될 수 있다. 예를 들어, 수동으로 또는 로봇으로 제어되는 (예를 들어, 이동되는) 수집 포트를 갖는 진공 기구를 사용하여, 빌드 플랫폼 또는 베드 등으로부터 부품 주위로부터 비-아말감화된 과립 재료를 수집할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 수동으로 또는 로봇으로 제어되는 (예를 들어, 목표로 하는) 가압 가스의 하나 이상의 흐름을 사용하여, 특정 간극으로부터 비-아말감화된 과립 재료를 이탈시키고, 빌드 플랫폼 또는 베드로부터 비-아말감화된 과립 재료를 스위핑하고, 및/또는 비-아말감화된 과립 재료를 진공에 의해 액세스될 수 있는 하나 이상의 위치로 이동시킬 수 있다.

[0162] 선택된 실시예에서, 제1 및 제2 작업 영역(1724a, 1724b)은 도시된 바와 같이 별도의 인클로저(1726) 내에 포함될 수 있다. 다른 실시예에서, 제1 및 제2 작업 영역(1724a, 1724b)은 동일한 인클로저(1726) 내에 포함될 수 있다. 또한, 특정 실시예에서, 제1 및 제2 작업 영역(1724a, 1724b)은 지리적으로 적어도 어느 정도는 중첩될 수 있지만, 시간적으로 일시적으로 이격될 수 있다(예를 들어, 하나의 작업 영역(1724a)에 대응하는 하나 이상의 작업은 다른 작업 영역(1724b)에 대응하는 하나 이상의 작업과는 다른 시간에 수행될 수 있다).

[0163] 대안적으로, 제1 및 제2 작업 영역(1724a, 1724b)은 서로 지리적으로 인접할 수 있지만, 어느 정도 시간적으로 일시적으로 중첩될 수 있다(예를 들어, 하나의 작업 영역(1724a)에 대응하는 하나 이상의 작업은 다른 작업 영역(1724b)에 대응하는 하나 이상의 작업과 동시에 수행될 수 있다). 이러한 실시예에서, 기계의 제1 지역은 제1 작업 영역(1724a)에 대응되거나 제1 작업 영역일 수 있고, 제2 지역(또는 제2 지역 및 제3 지역의 조합)은 제2 작업 영역(1724b)에 대응되거나 제2 작업 영역일 수 있다.

[0164] 제3 작업 영역(1724c)에서, 피닝 공정은 수동으로 또는 로봇으로 하나 이상의 부품에 적용될 수 있다. 예를 들어, 선택된 실시예에서, 수동 또는 로봇 시스템은 부품의 표면 마무리를 향상시키기 위해 피닝 공정에서 숏 매체(shot media)와 동일한 과립 재료(즉, 부품을 생산하는데 사용된 것과 동일한 과립 재료)를 사용할 수 있다. 제4 작업 영역(1724d)에서, 인클로저(1726)는 하나 이상의 부품을 열처리하기 위한 오븐이거나 오븐을 포함할 수 있다. 따라서, 이러한 인클로저(1726)는 상당한 양의 열을 생성, 유지 및 제어하도록 구성될 수 있다. 정확한 열량은 인클로저(1726)의 크기, 열처리되는 부품의 성질 등에 따라 다를 수 있다.

[0165] 제5 작업 영역(1724e)에서, 하나 이상의 빌드 플랫폼 또는 베드가 지지하는 부품으로부터 분리될 수 있고, 부품을 통해 연장되는 하나 이상의 주행 벽의 하나 이상의 외부 부분이 제거될 수 있고, 완성된 부품 내에 포함되지 않는 적층식 제조 동안 부품을 지지하도록 인쇄된 하나 이상의 임시 구조물이 제거될 수 있고, 또는 등등 또는

이들의 조합이 수행될 수 있다. 선택된 실시예에서, 이것은 배선 전기 방전 가공(electrical discharge machining: EDM) 공정을 수반할 수 있다. 이러한 실시예에서, 이온 함량이 EDM 공정의 일부로서 조심스럽게 제어되어 있는, 부분적으로 탈이온화된 물의 수조(bath) 내에 부품이 침수될 수 있다. 제5 작업 영역(1724e)의 인클로저는 원하는 바에 따라 또는 필요에 따라 포함되거나 생략될 수 있다.

[0166] 제6 작업 영역(1724f)에서, 하나 이상의 부품이 배송 준비되거나 및/또는 배송될 수 있다. 예를 들어, 제6 작업 영역(1724f)에서, 하나 이상의 부품이 페인트, 포장, 플라스틱으로 랩핑(wrapping), 하나 이상의 팔레트(pallet) 등에 고정될 수 있고, 배송을 위해 트럭에 적재될 수 있다. 제6 작업 영역(1724f)의 인클로저는 원하는 바에 따라 또는 필요에 따라 포함되거나 생략될 수 있다.

[0167] 선택된 실시예에서, 네트워크(1740)는 하나 이상의 인터페이스 기구(1728)에 의해 직렬로 연결된 복수의 작업 영역(1724)을 포함할 수 있다. 이러한 인터페이스 기구(1728)는 하나 이상의 부품이 하나의 작업 영역(1724)으로부터 그 다음 작업 영역으로 원활히 그리고 효과적으로 흐를 수 있게 한다. 따라서, 작업 영역(1724)은 관련된 작업이 요구되는 순서나 원하는 순서로 수행될 수 있도록 네트워크(1740) 내에 배열될 수 있다.

[0168] 설명된 인클로저들 중 임의의 인클로저는 불활성 가스 또는 실질적으로 불활성 가스(예를 들어, 진공, 질소, 아르곤, 이산화탄소 등 또는 이들의 조합 또는 이들의 서브조합)를 원하는 레벨(예를 들어, 약 99.9 체적% 이상의 아르곤)을 넘어 유지할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 인클로저는 산소 및/또는 수증기의 농도를 대기 레벨 아래로 (예를 들어, 가스 산소의 경우 0.05 체적% 미만이고, 수증기의 경우 0.05 체적% 미만으로) 유지할 수 있다.

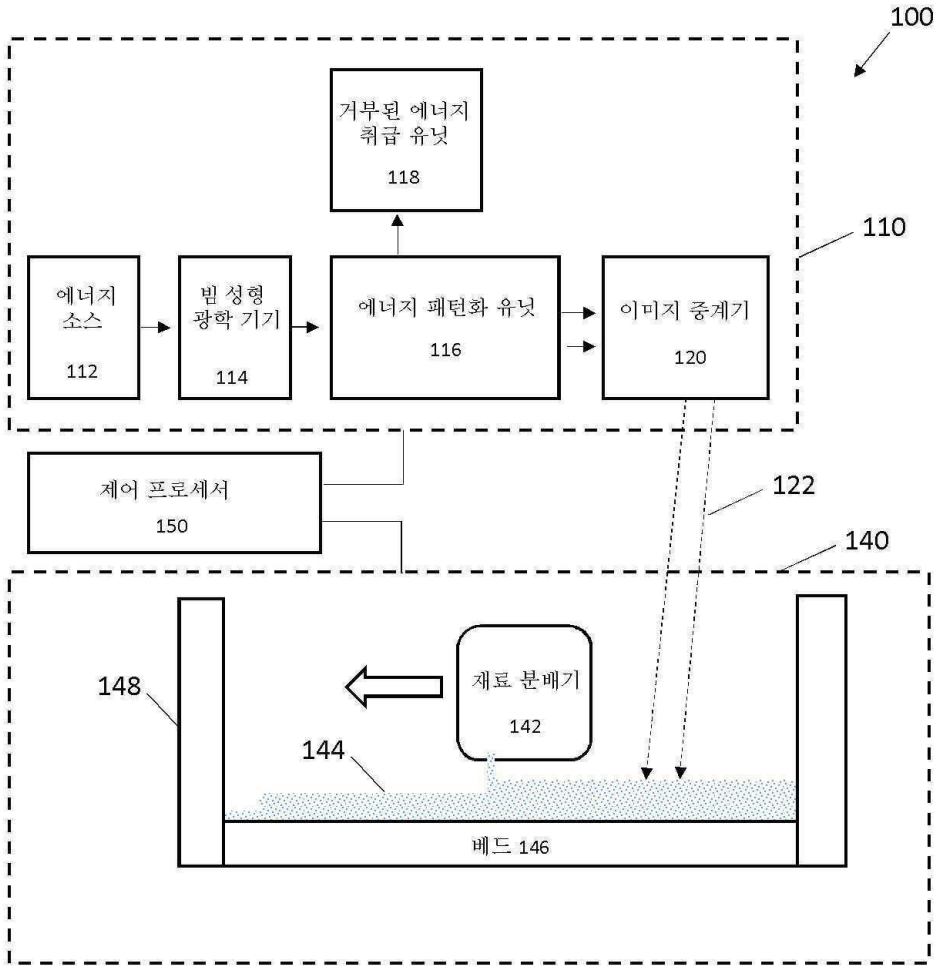
[0169] 운송 수단은 경로(예를 들어, 콘크리트 바닥), 컨베이어 시스템, 레일 또는 전통적인 철도 개념을 사용하는 다수의 레일의 조합, 인코더를 사용하는 트랙 상의 직선 운동, 풀리 시스템에 의해 제공된 선형 운동, 자기 부상 레일에 의해 제공되는 운동 및/또는 부상, 컨베이어 시스템 또는 벨트 등을 통한 운동 등, 또는 이들의 조합 또는 서브조합을 통해 롤링하거나 또는 이동하는 것에 의해 인터페이스 기구(1728)를 통해 인쇄 베드, 부품 또는 다른 재료를 운반하는데 사용될 수 있다. 2,000 kg 이상에 이르는 대형 부품이 운반될 수 있다. 운송 수단은 지지 표면에서 롤링하는 바퀴를 구비할 수 있다. 지지 표면은 바닥(예를 들어, 시각적으로, 전자적으로, 또는 자기적으로 검출 가능한 경로가 적용되거나 또는 내부에 내장된 바닥)일 수 있다. 지지 표면은 하나 이상의 레일일 수도 있다. 이러한 레일은 운송 수단에 의해 운반되는 부품 아래에 위치될 수 있다. 대안적으로, 이러한 레일은 운송 수단에 의해 운반되는 부품 위에 위치될 수 있다. 즉, 레일은 오버헤드 레일일 수 있으며, 운송 수단은 부품을 아래에 매달아 놓은 동안 오버헤드 레일에서 롤링하는 캐리지 또는 트롤리일 수 있다.

[0170] 바퀴를 갖는 운송 수단 또는 다른 운송 수단은 수동으로, 자동으로, 자율적으로 또는 반자율적으로 제어되거나 및/또는 동작될 수 있다. 예를 들어, 선택된 실시예에서, 하나 이상의 바퀴 달린 운송 수단은 하나 이상의 사람 조작자에 의해 푸시되거나 및/또는 조향될 수 있다. 다른 실시예에서, 다양한 온보드 또는 오프보드 제어 시스템이 운송 수단에 일어나고 있는 일을 감지하고, 이동할 때, 정지할 때, 조향 정도 등을 운송 수단에 지시할 수 있다.

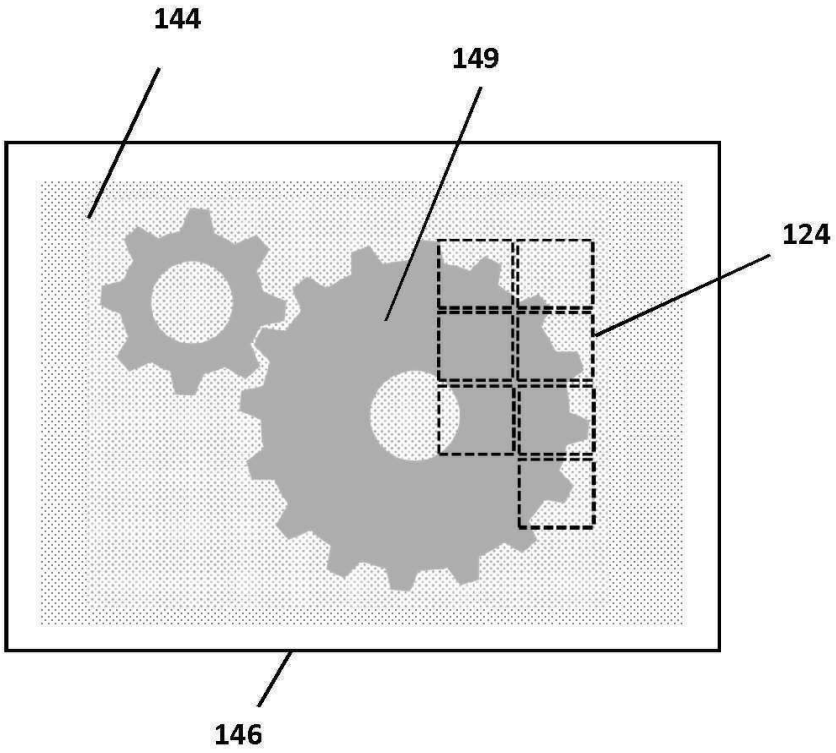
[0171] 본 발명의 많은 수정들 및 다른 실시예들은 전술한 설명들 및 관련 도면들에 제시된 내용의 장점을 갖는 이 기술 분야에 통상의 지식을 가진 자에 떠오를 것이다. 따라서, 본 발명은 개시된 특정 실시예로 제한되지 않고, 수정 및 실시예는 첨부된 청구항의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된 것으로 이해된다. 또한 본 발명의 다른 실시예들은 본 명세서에 구체적으로 개시되지 않은 요소/단계 없이 실시될 수 있는 것으로 이해된다.

도면

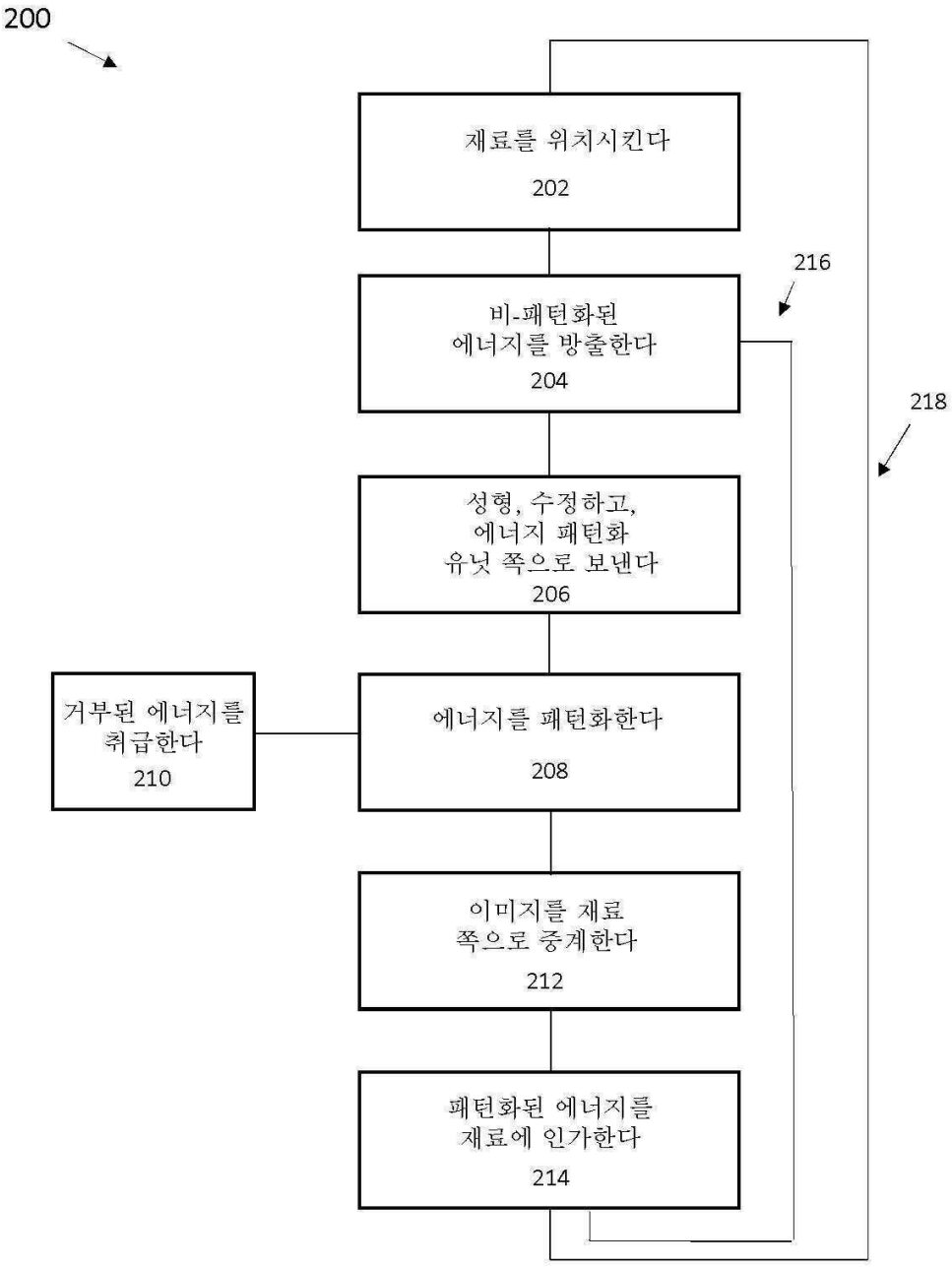
도면1a


100
거부된 에너지 취급 유닛
118
110
에너지 소스
112
빔 성형 광학 기기
114
에너지 패턴화 유닛
116
이미지 중계기
120
제어 프로세서
150
122
140
148
재료 분배기
142
144
베드 146

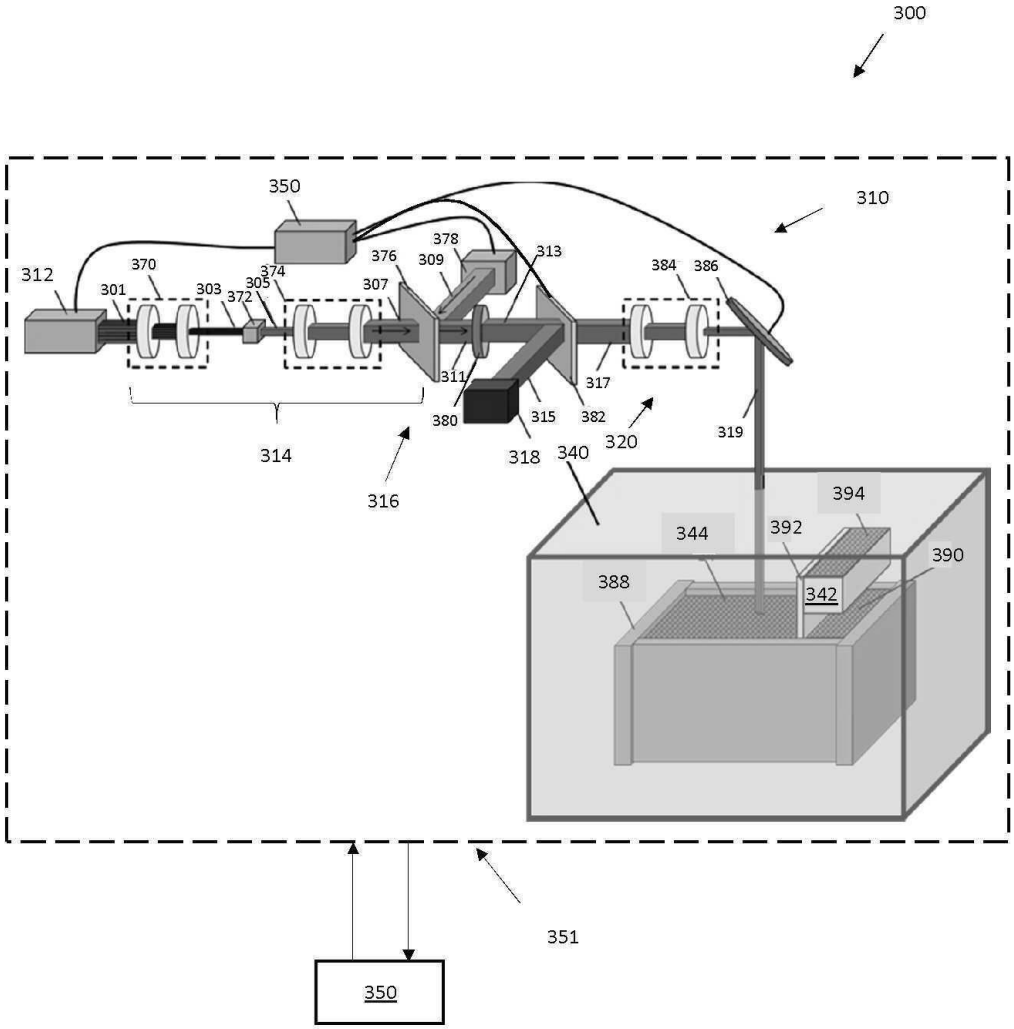
도면1b



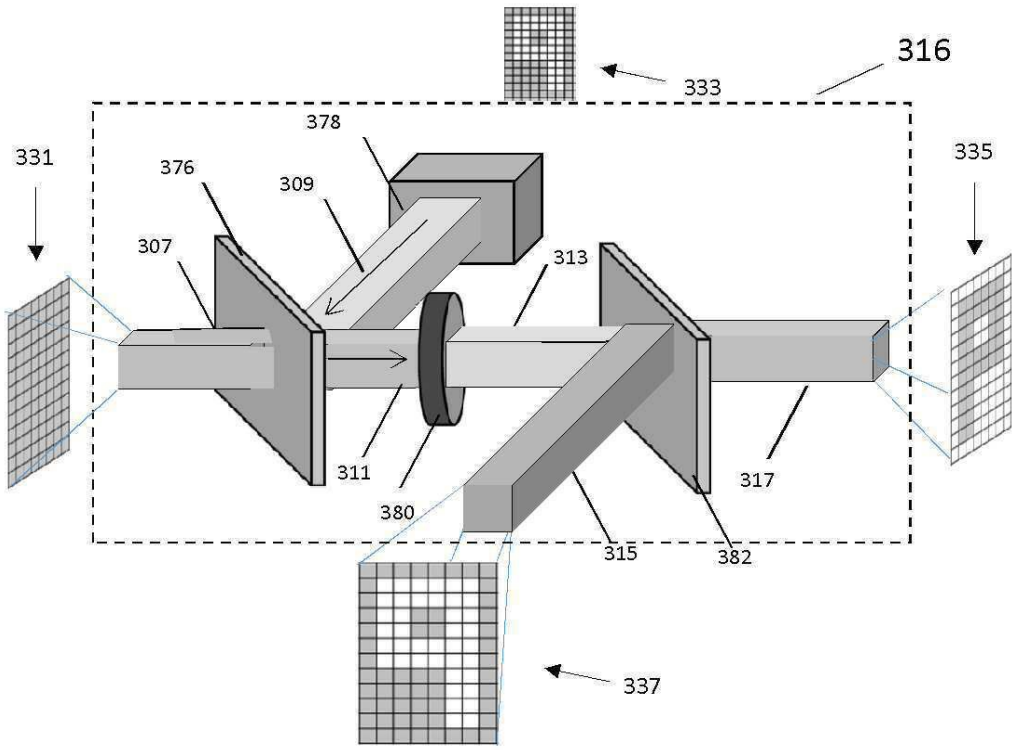
도면2


200
재료를 위치시킨다
202
216
비-패턴화된
에너지를 방출한다
204
218
성형, 수정하고,
에너지 패턴화
유닛 쪽으로 보낸다
206
거부된 에너지를
취급한다
210
에너지를 패턴화한다
208
이미지를 재료
쪽으로 중계한다
212
패턴화된 에너지를
재료에 인가한다
214

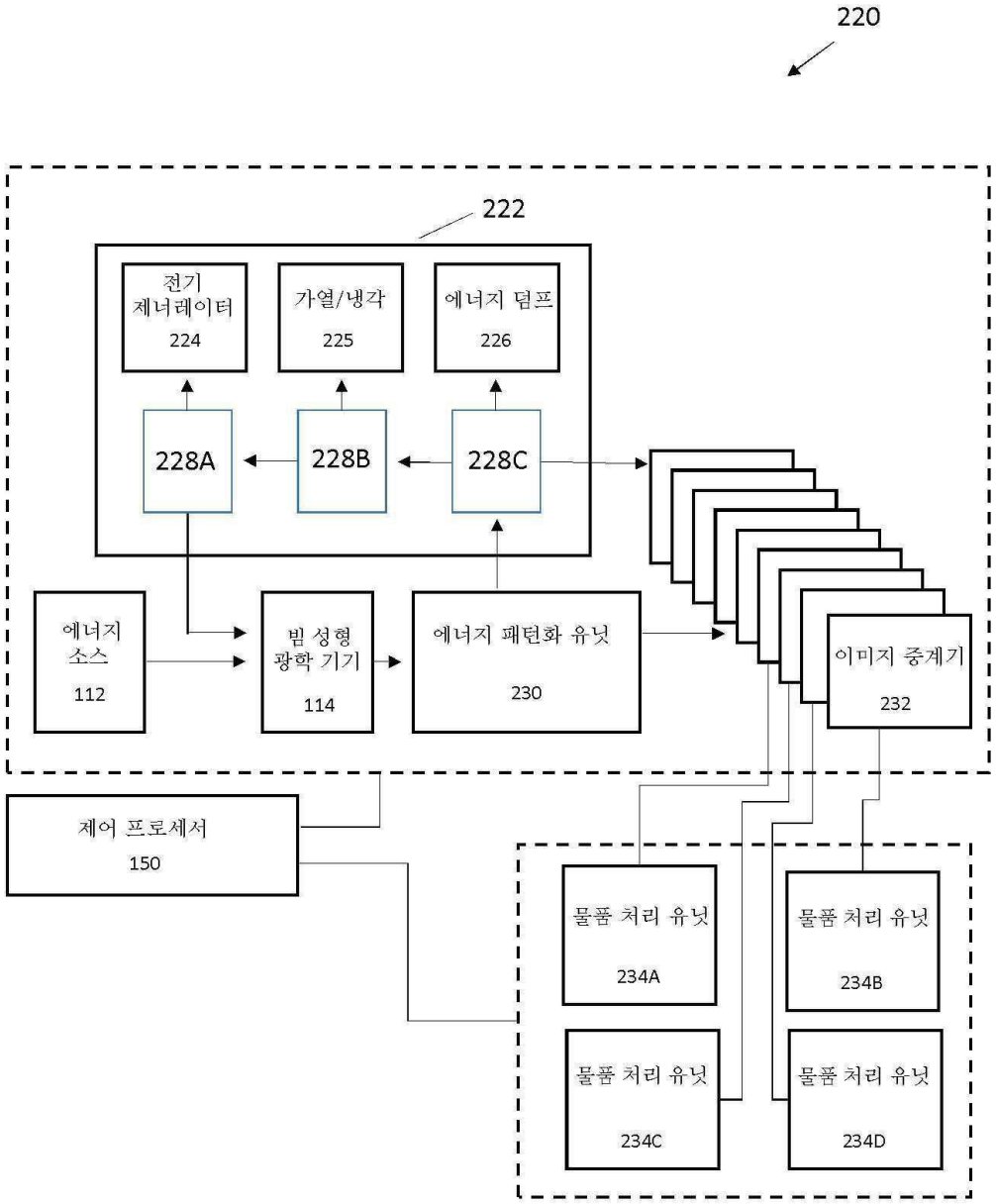
도면3a


300
310
350
312
370
301
303
372
305
374
376
307
378
309
313
384
386
311
317
380
315
382
320
319
314
316
318
340
394
344
392
390
388
342
351
350

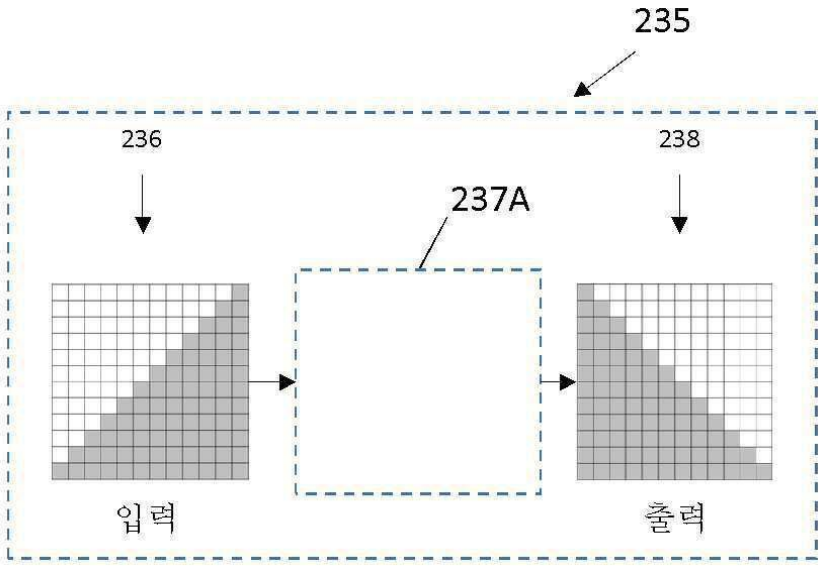
도면3b



도면3c


220
222
전기 제너레이터 224
가열/냉각 225
에너지 덤프 226
228A
228B
228C
에너지 소스 112
빔 성형 광학 기기 114
에너지 패턴화 유닛 230
이미지 중계기 232
제어 프로세서 150
물품 처리 유닛 234A
물품 처리 유닛 234B
물품 처리 유닛 234C
물품 처리 유닛 234D

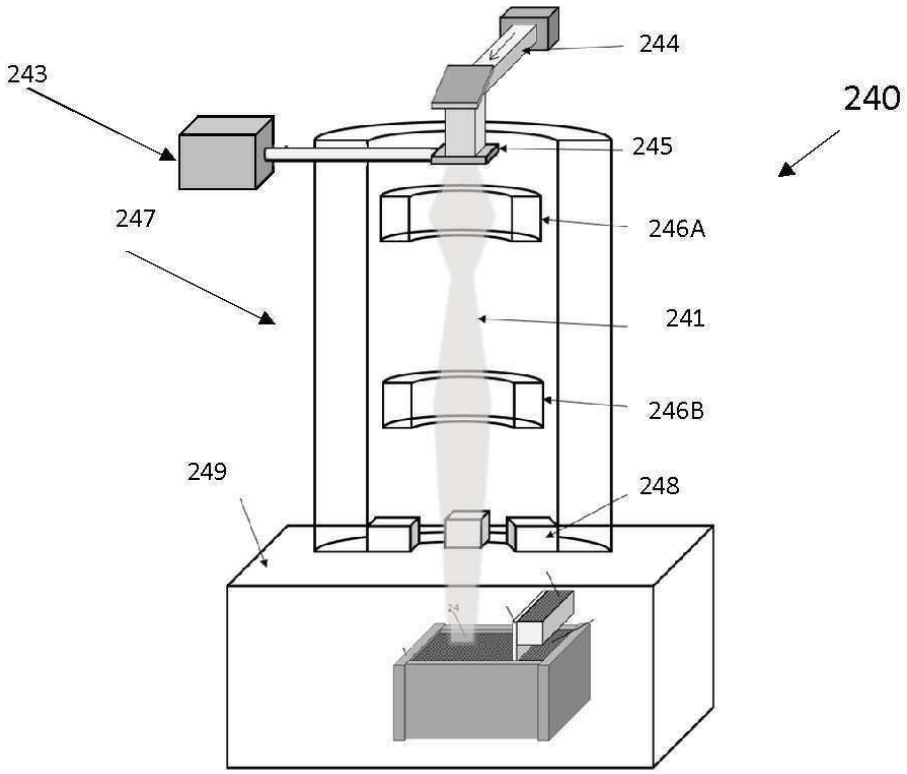
도면3d


235
236
238
237A
입력
출력

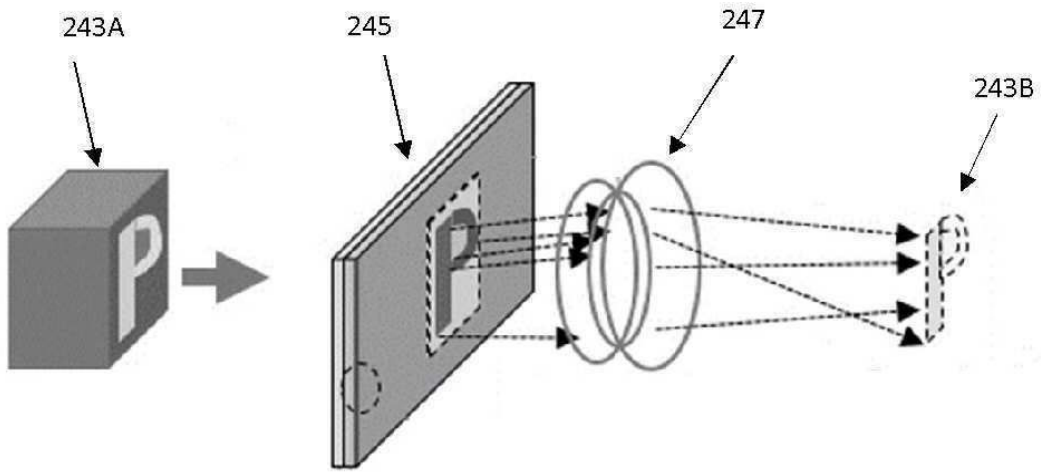
도면3e


236
239
단일 단계 변화 237B
단일 단계 변화 237C
단일 단계 변화 237D
단일 단계 변화 237E
입력
출력

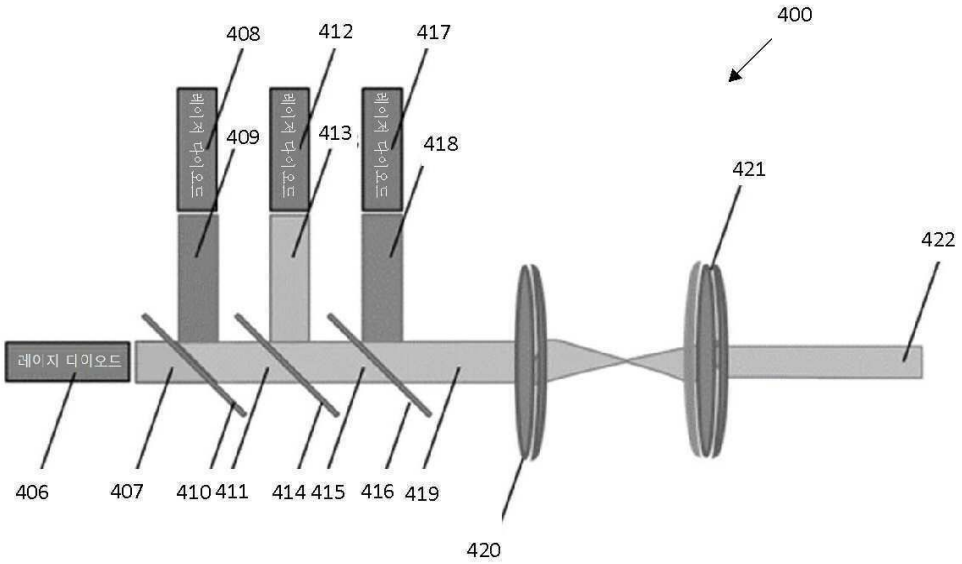
도면3f



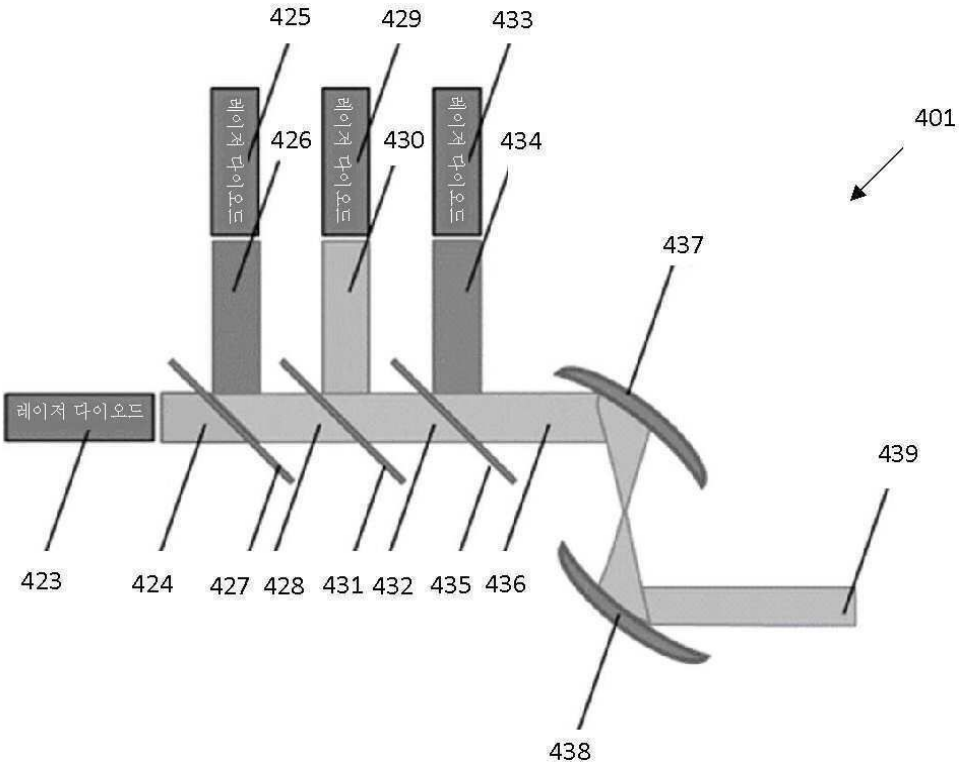
도면3g



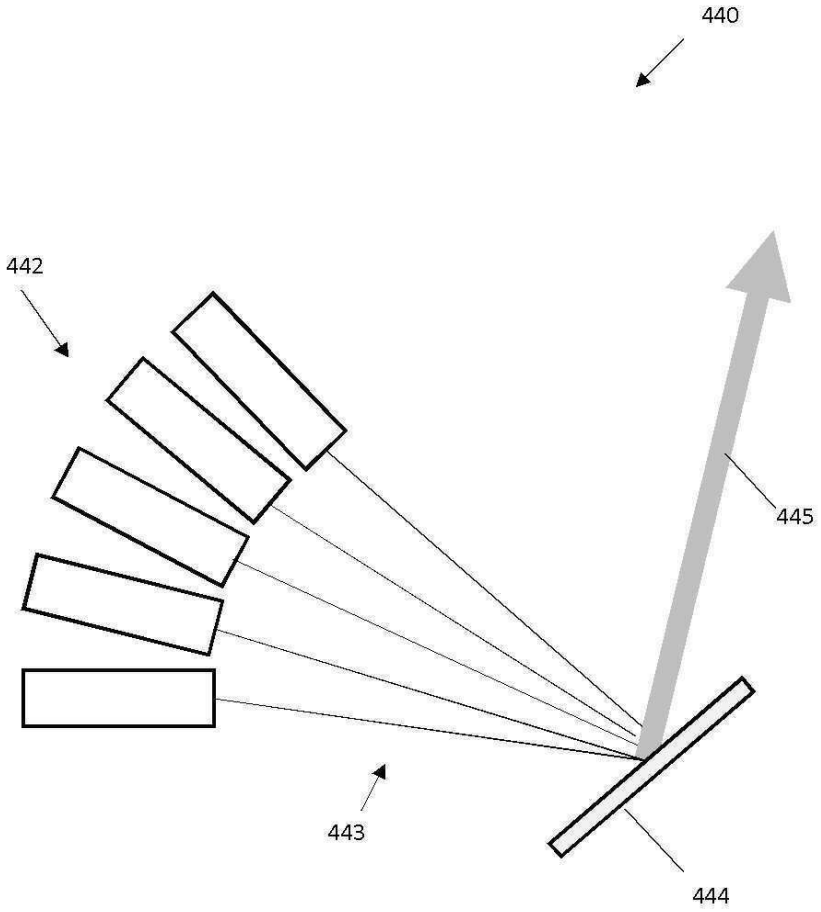
도면4a


400
408
412
417
409
413
418
421
422
레이저 다이오드
레이저 다이오드
레이저 다이오드
레이저 다이오드
406
407
410
411
414
415
416
419
420

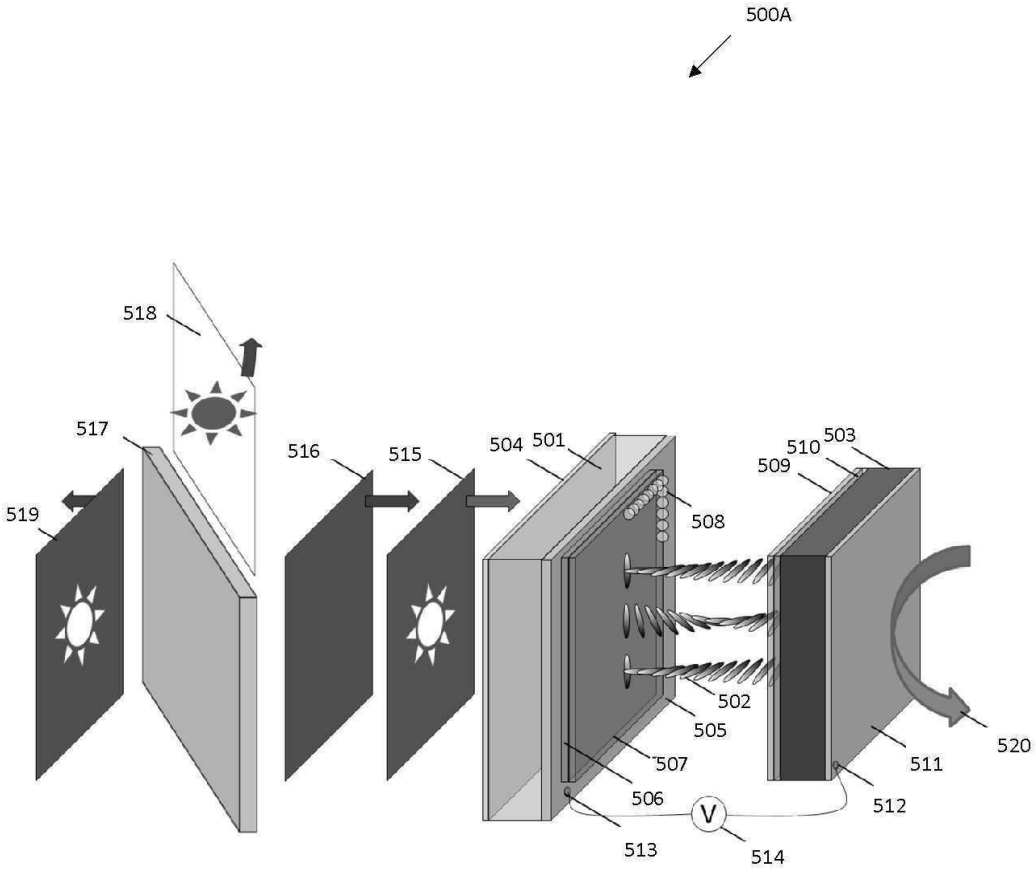
도면4b


425
429
433
401
426
430
434
437
레이저 다이오드
레이저 다이오드
레이저 다이오드
레이저 다이오드
439
423
424
427
428
431
432
435
436
438

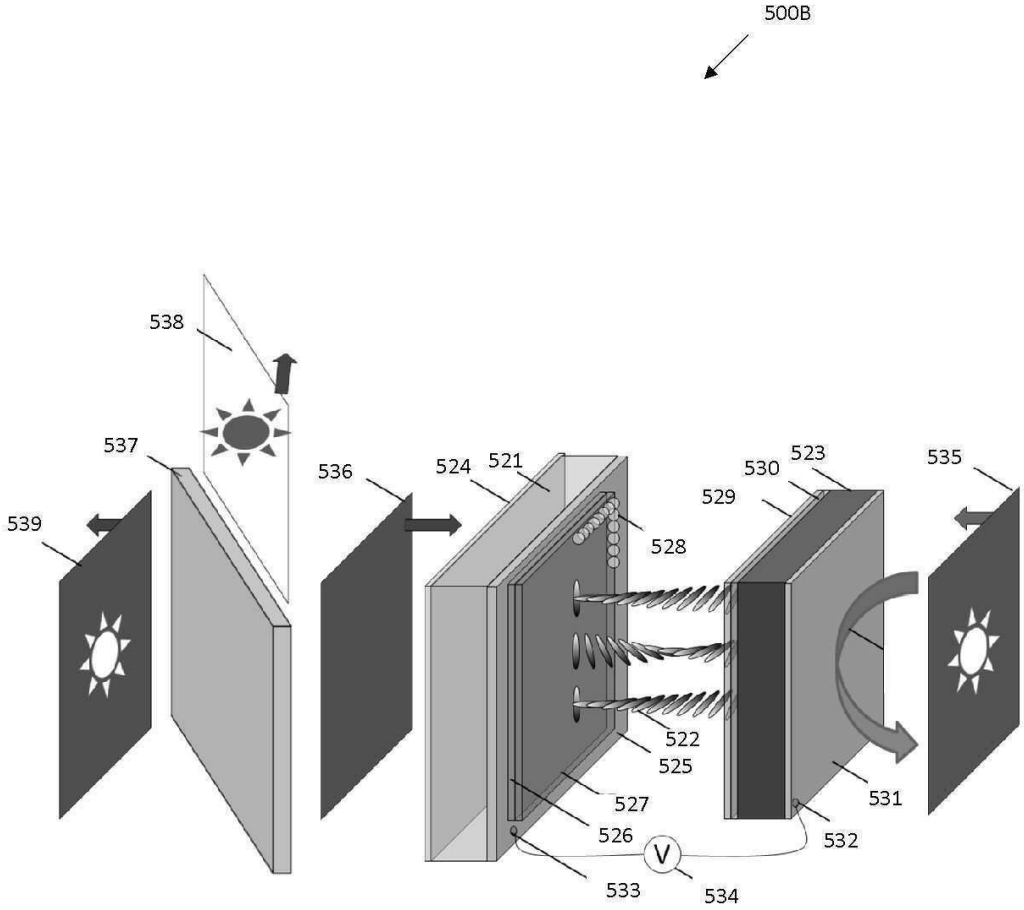
도면4c



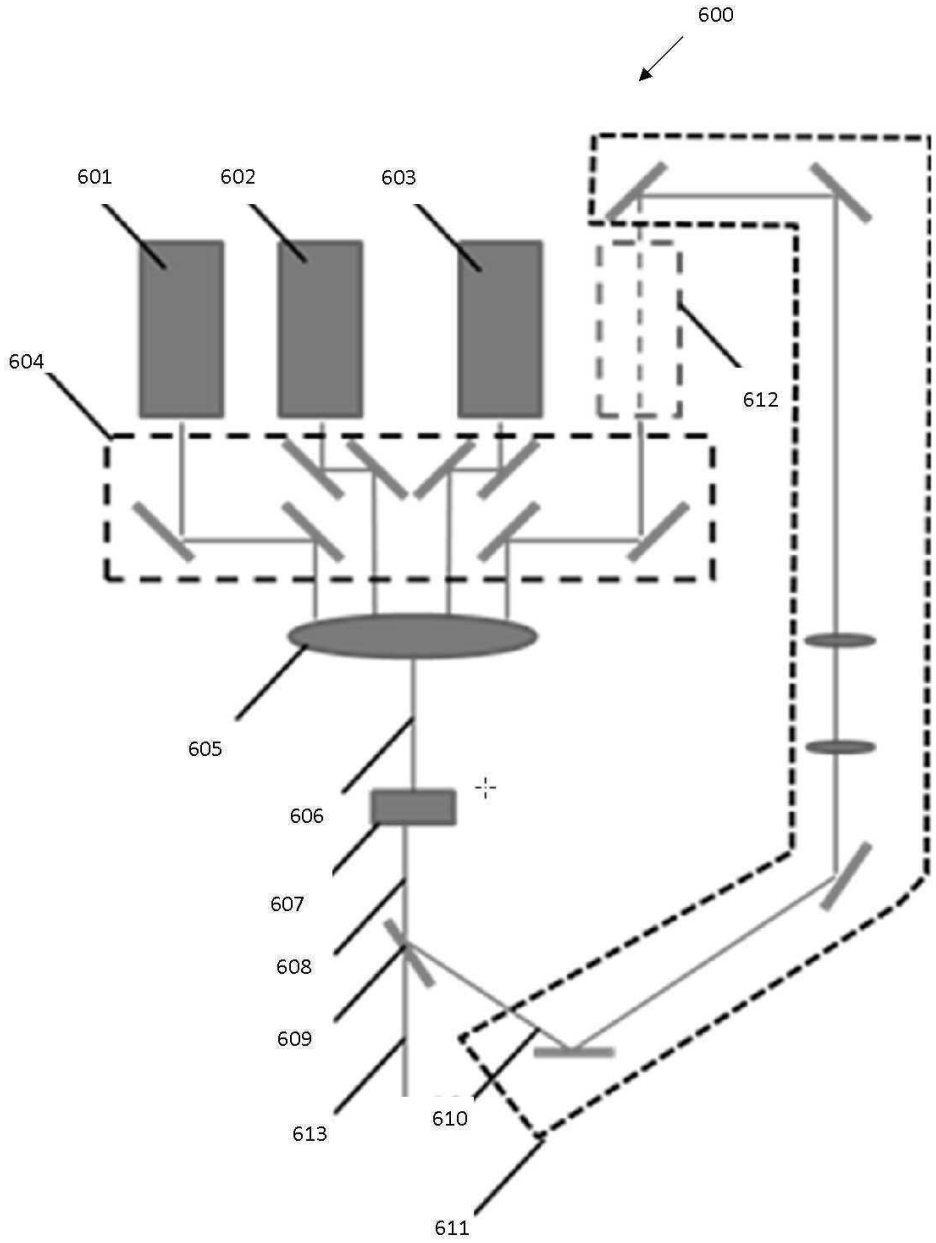
도면5a


500A
518
517
519
516
515
504
501
508
510
503
509
502
505
507
506
513
V
514
512
511
520

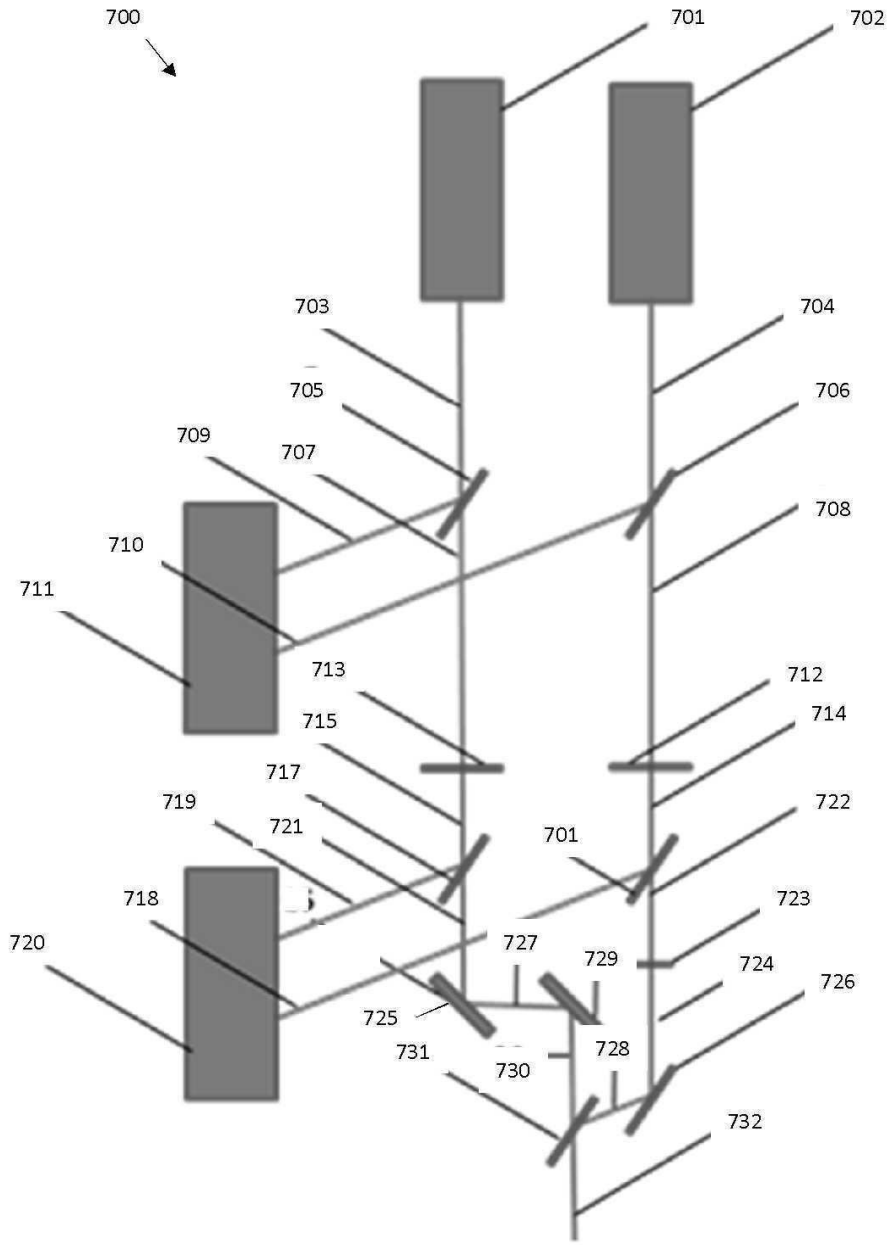
도면5b


500B
538
537
539
536
524
521
528
530
523
529
535
522
525
527
526
531
532
533
V
534

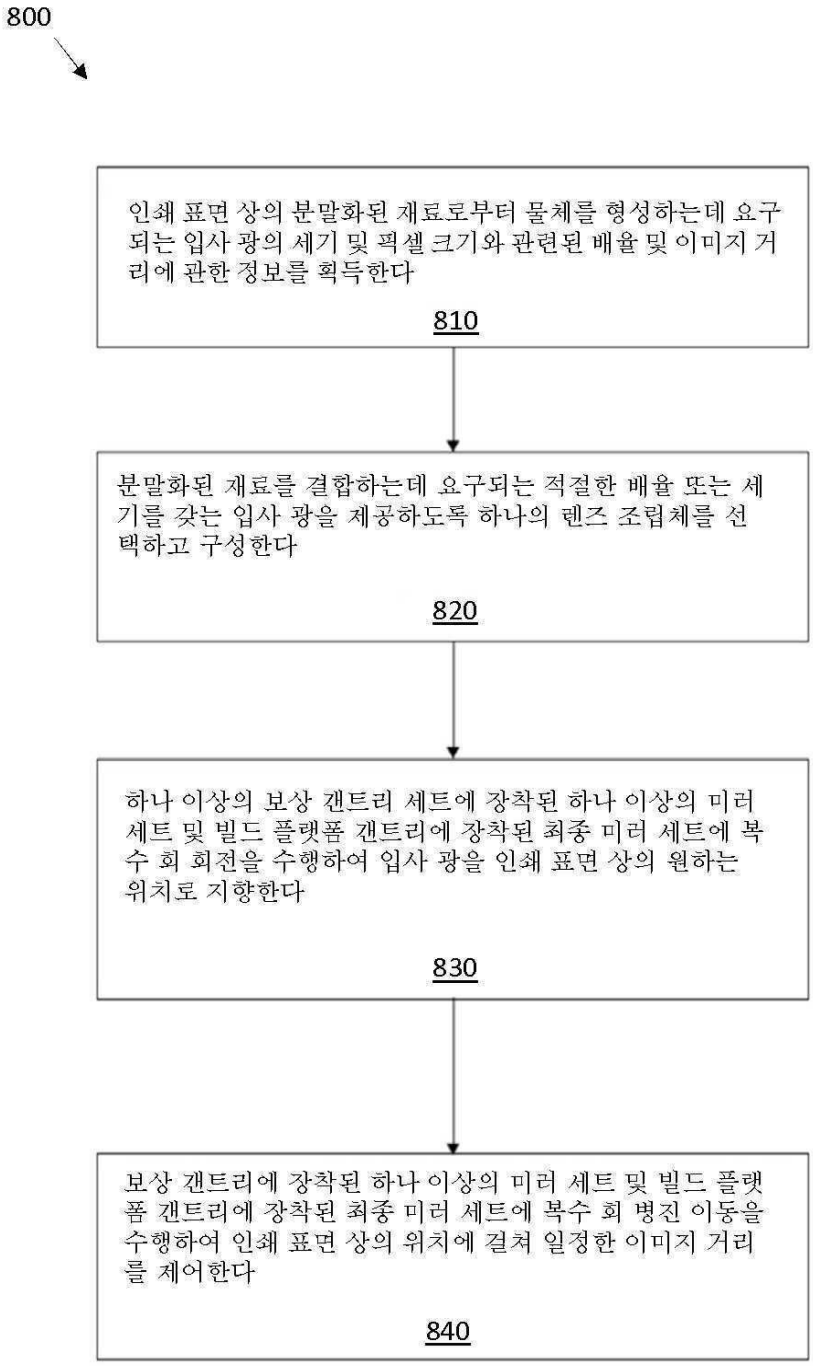
도면6



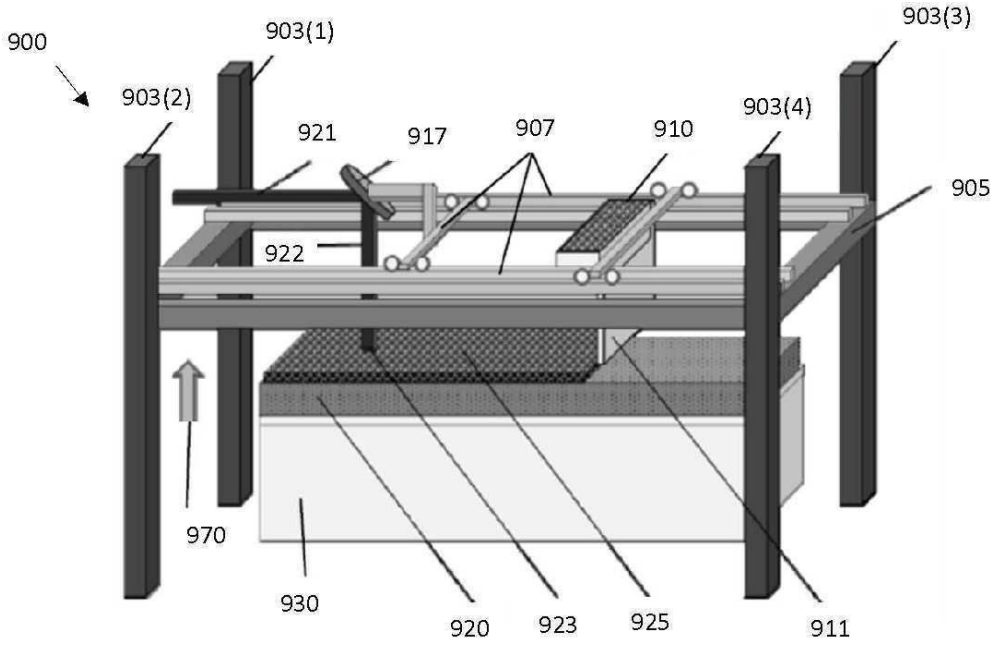
도면7


700
701
702
703
704
705
706
709
707
708
710
711
713
712
715
714
717
719
721
722
701
718
723
720
727
729
724
726
725
731
730
728
732

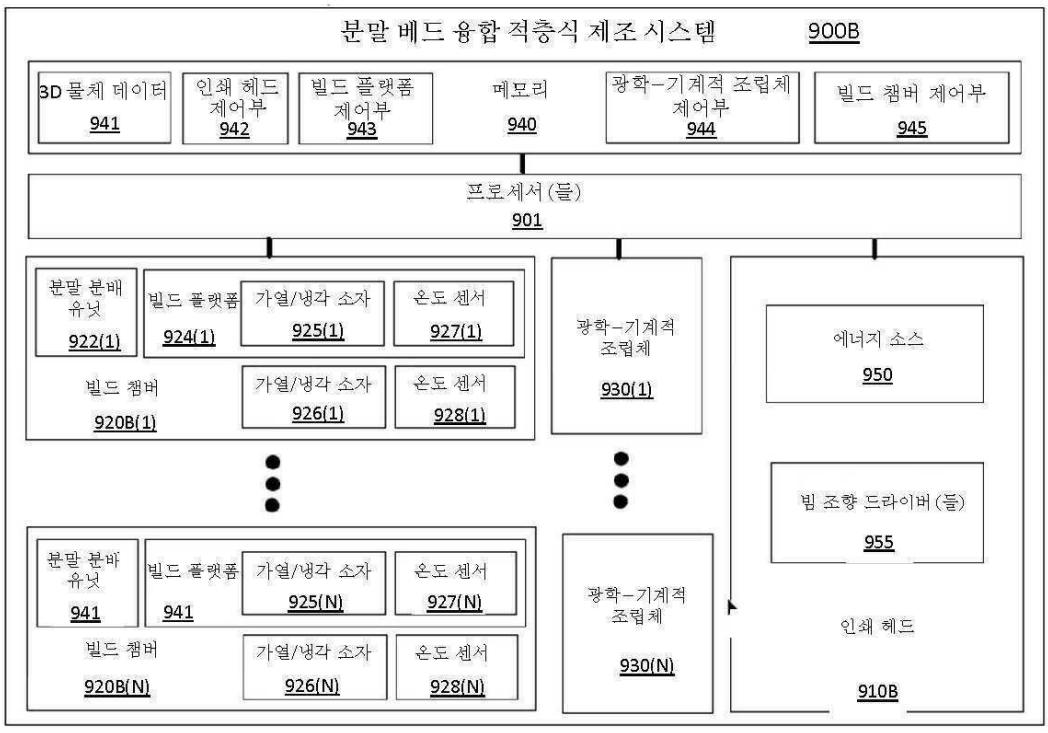
도면8


800
인쇄 표면 상의 분말화된 재료로부터 물체를 형성하는데 요구되는 입사 광의 세기 및 픽셀 크기와 관련된 배율 및 이미지 거리에 관한 정보를 획득한다
810
분말화된 재료를 결합하는데 요구되는 적절한 배율 또는 세기를 갖는 입사 광을 제공하도록 하나의 렌즈 조립체를 선택하고 구성한다
820
하나 이상의 보상 갠트리 세트에 장착된 하나 이상의 미러 세트 및 빌드 플랫폼 갠트리에 장착된 최종 미러 세트에 복수 회 회전을 수행하여 입사 광을 인쇄 표면 상의 원하는 위치로 지향한다
830
보상 갠트리에 장착된 하나 이상의 미러 세트 및 빌드 플랫폼 갠트리에 장착된 최종 미러 세트에 복수 회 병진 이동을 수행하여 인쇄 표면 상의 위치에 걸쳐 일정한 이미지 거리를 제어한다
840

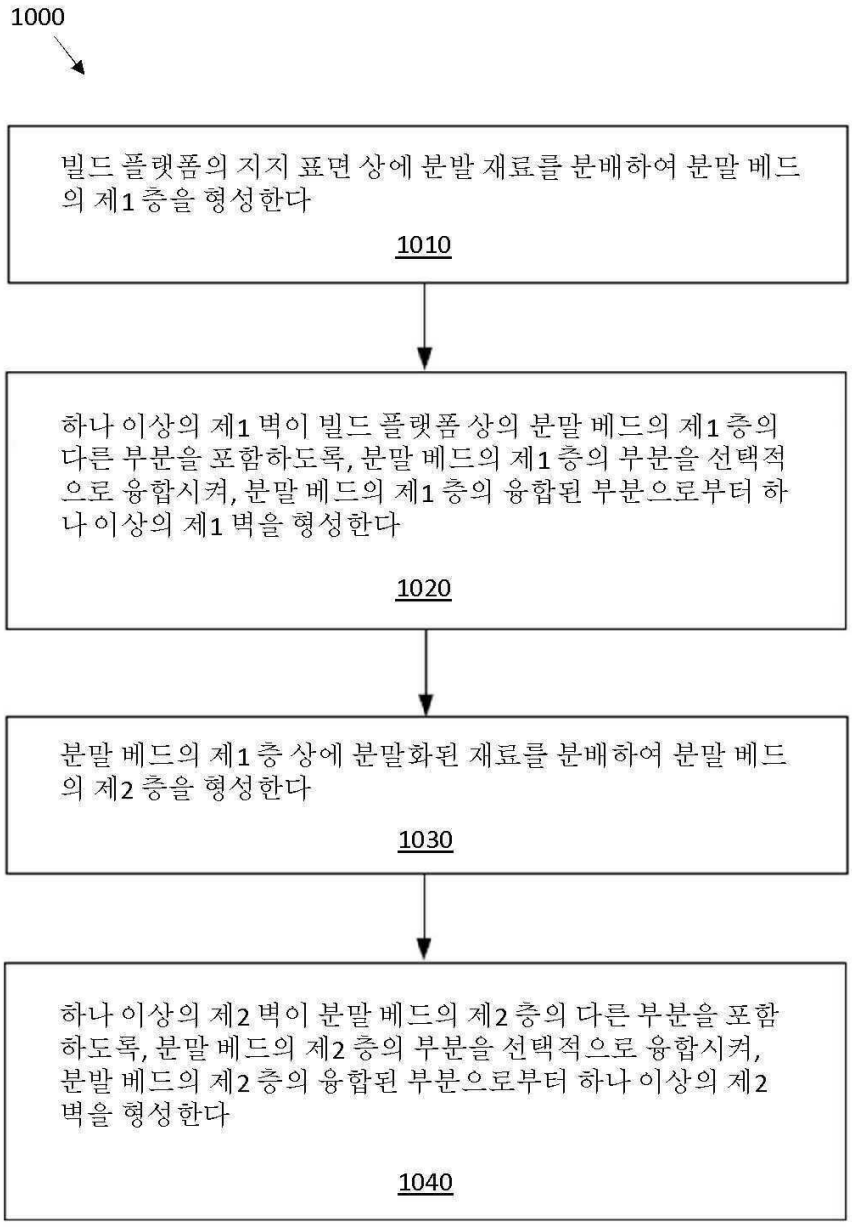
도면9a


900
903(1)
903(2)
903(3)
903(4)
921
917
907
910
905
922
970
930
920
923
925
911

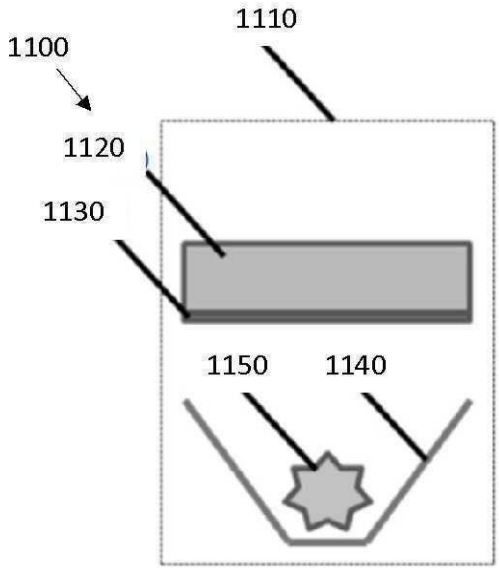
도면9b


분말 베드 융합 적층식 제조 시스템 900B
3D 물체 데이터 941
인쇄 헤드 제어부 942
빌드 플랫폼 제어부 943
메모리 940
광학-기계적 조립체 제어부 944
빌드 챔버 제어부 945
프로세서(들) 901
분말 분배 유닛 922(1)
빌드 플랫폼 924(1)
가열/냉각 소자 925(1)
온도 센서 927(1)
빌드 챔버 920B(1)
가열/냉각 소자 926(1)
온도 센서 928(1)
광학-기계적 조립체 930(1)
에너지 소스 950
빔 조향 드라이버(들) 955
분말 분배 유닛 941
빌드 플랫폼 941
가열/냉각 소자 925(N)
온도 센서 927(N)
빌드 챔버 920B(N)
가열/냉각 소자 926(N)
온도 센서 928(N)
광학-기계적 조립체 930(N)
인쇄 헤드 910B

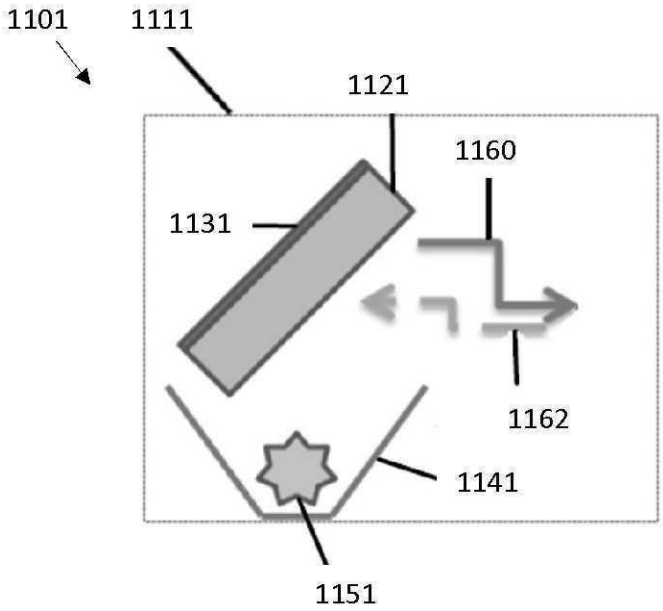
도면10


1000
빌드 플랫폼의 지지 표면 상에 분말 재료를 분배하여 분말 베드의 제1 층을 형성한다
1010
하나 이상의 제1 벽이 빌드 플랫폼 상의 분말 베드의 제1 층의 다른 부분을 포함하도록, 분말 베드의 제1 층의 부분을 선택적으로 융합시켜, 분말 베드의 제1 층의 융합된 부분으로부터 하나 이상의 제1 벽을 형성한다
1020
분말 베드의 제1 층 상에 분말화된 재료를 분배하여 분말 베드의 제2 층을 형성한다
1030
하나 이상의 제2 벽이 분말 베드의 제2 층의 다른 부분을 포함하도록, 분말 베드의 제2 층의 부분을 선택적으로 융합시켜, 분발 베드의 제2 층의 융합된 부분으로부터 하나 이상의 제2 벽을 형성한다
1040

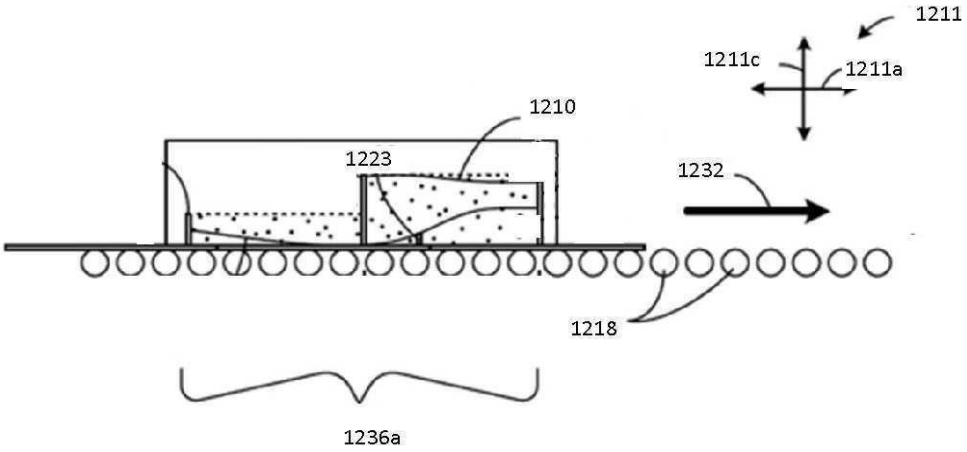
도면11a


1110
1100
1120
1130
1150
1140

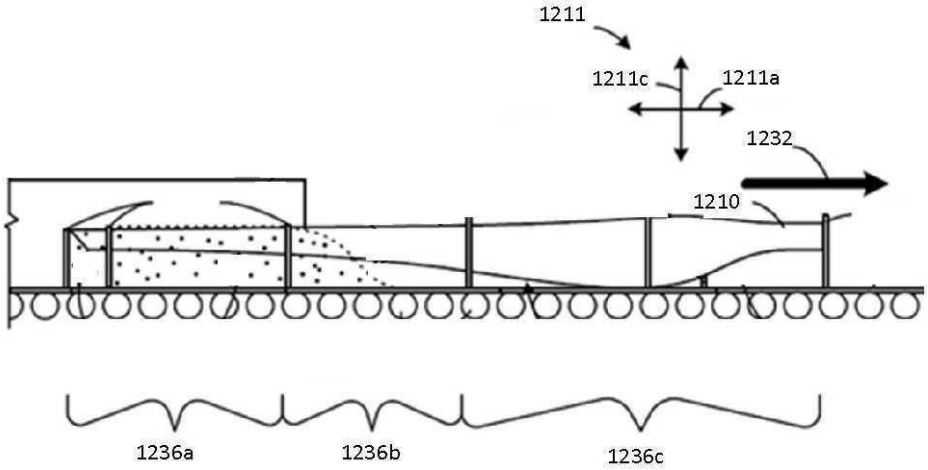
도면11b


1101
1111
1121
1160
1131
1162
1141
1151

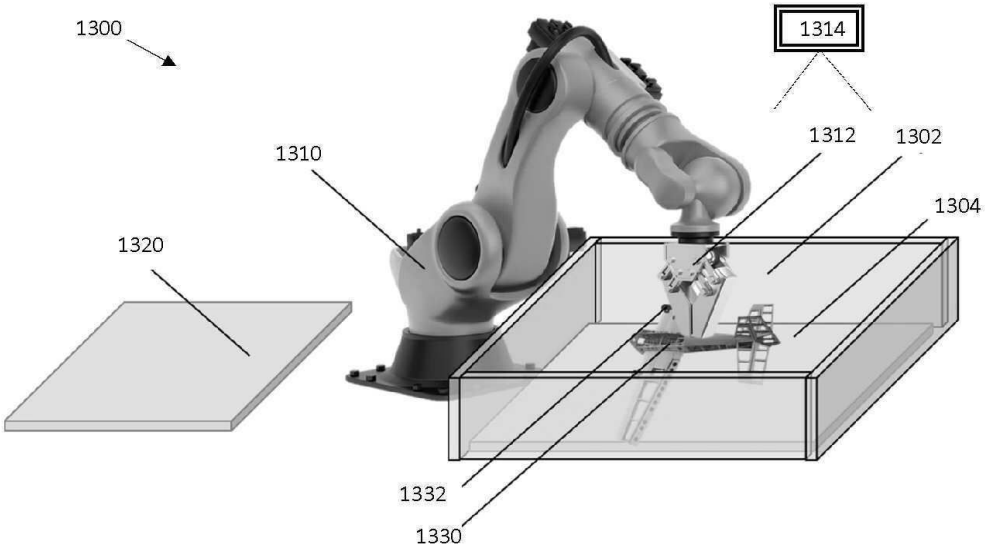
도면12a



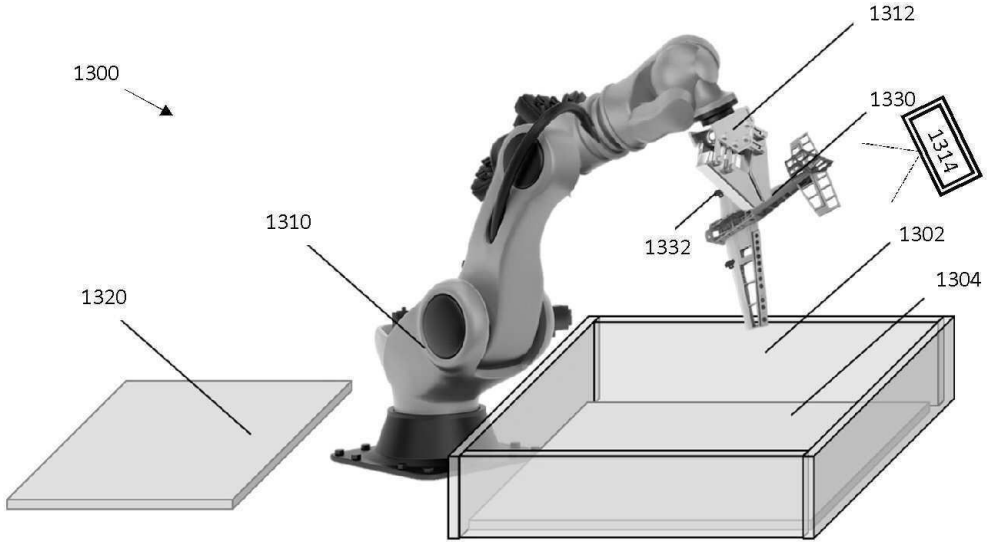
도면12b



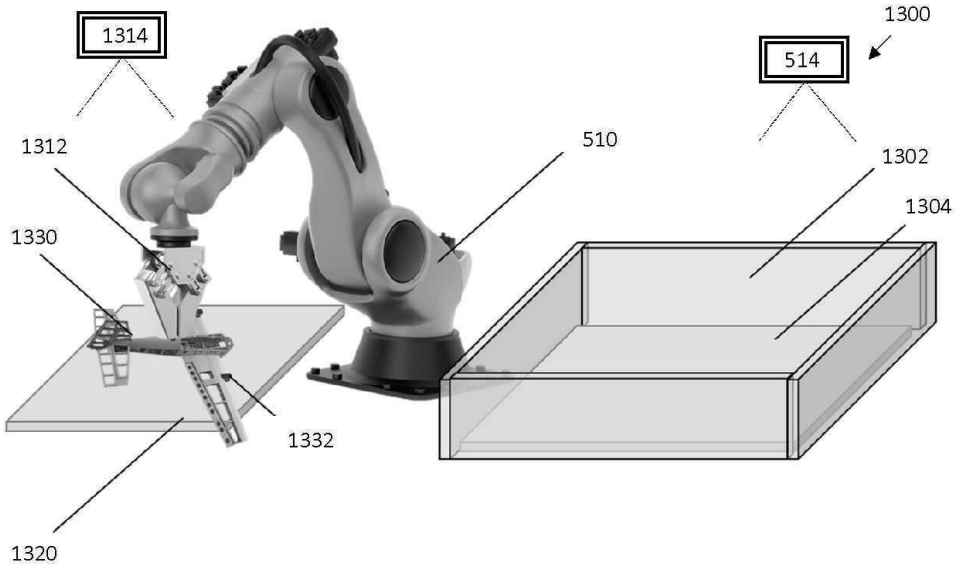
도면13a



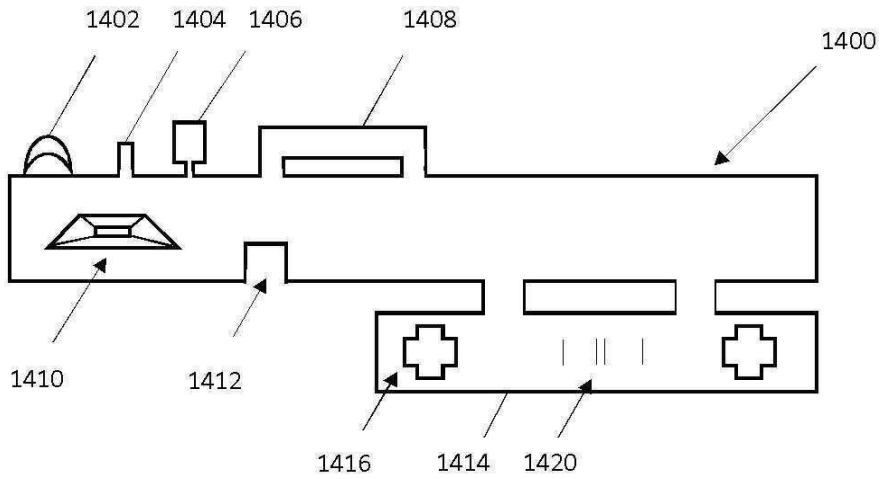
도면13b



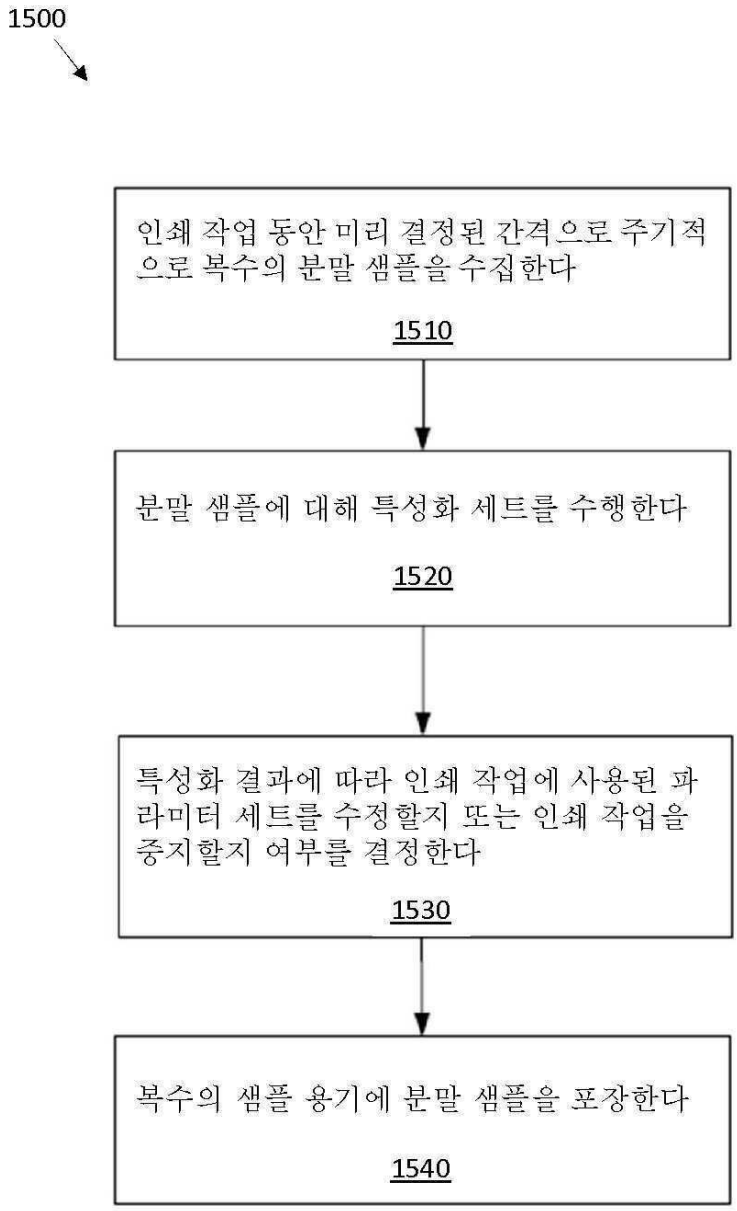
도면13c



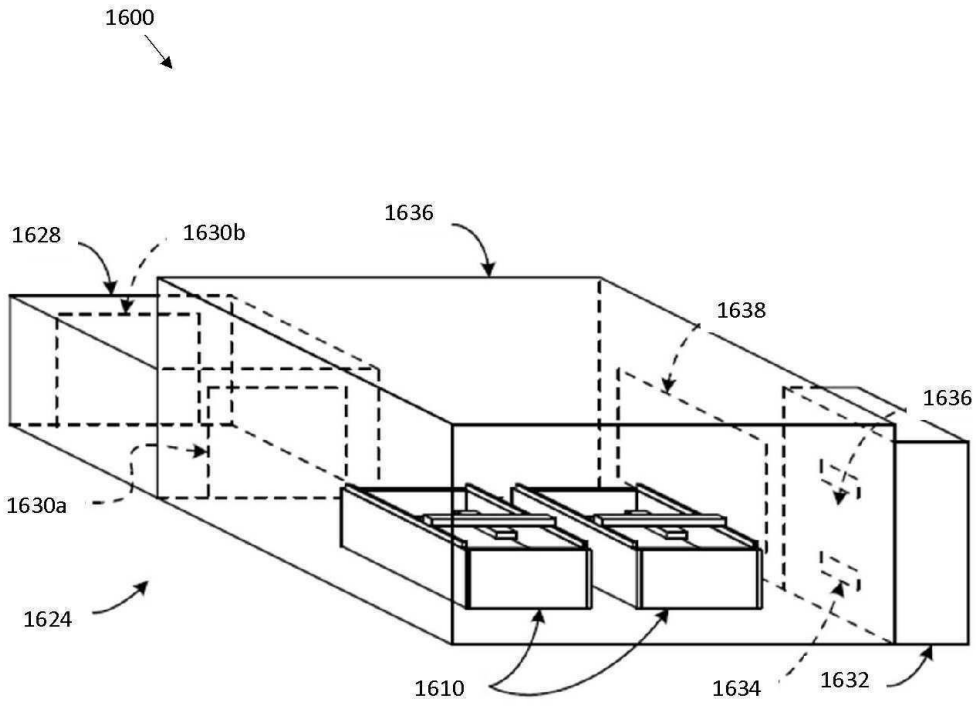
도면14



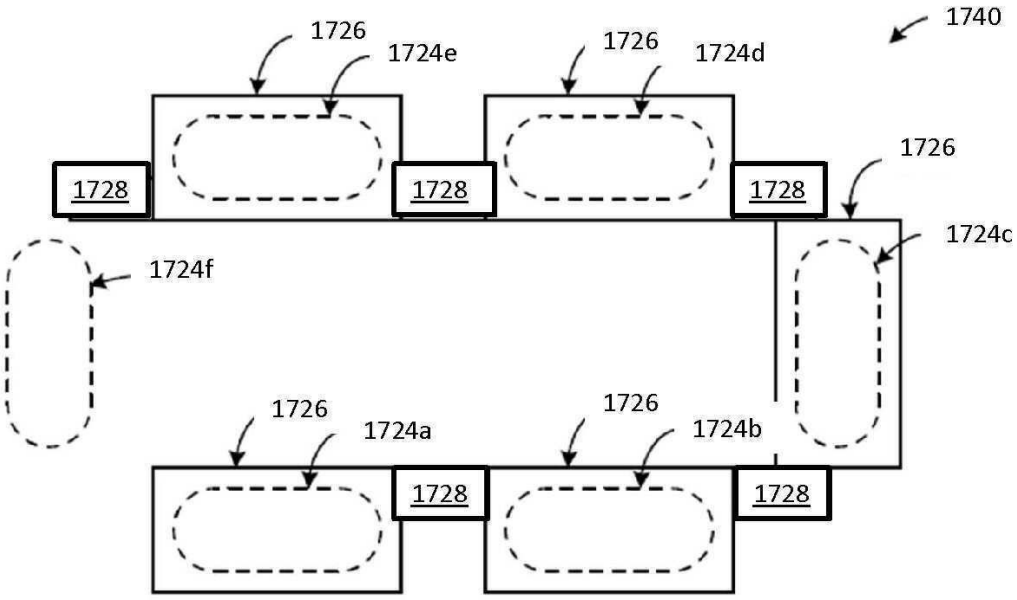
도면15


1500
인쇄 작업 동안 미리 결정된 간격으로 주기적으로 복수의 분말 샘플을 수집한다
1510
분말 샘플에 대해 특성화 세트를 수행한다
1520
특성화 결과에 따라 인쇄 작업에 사용된 파라미터 세트를 수정할지 또는 인쇄 작업을 중지할지 여부를 결정한다
1530
복수의 샘플 용기에 분말 샘플을 포장한다
1540

도면16


1600
1628
1630b
1636
1638
1636
1630a
1624
1610
1634
1632

도면17


1740
1726
1724e
1726
1724d
1726
1728
1728
1728
1724c
1724f
1726
1724a
1726
1724b
1728
1728