(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년06월02일
(11) 등록번호 10-2815864
(24) 등록일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03B 17/06 (2006.01) *C03B 17/02* (2006.01)
G01B 11/06 (2006.01) *G01B 11/245* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C03B 17/067 (2013.01)
C03B 17/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7022792
(22) 출원일자(국제) 2020년11월25일
심사청구일자 2023년08월21일
(85) 번역문제출일자 2022년07월01일
(65) 공개번호 10-2022-0111312
(43) 공개일자 2022년08월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/062122
(87) 국제공개번호 WO 2021/113132
국제공개일자 2021년06월10일
(30) 우선권주장
62/942,258 2019년12월02일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20170225994 A1*
WO2011149800 A2*
US20120240625 A1*
US20170066675 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
코닝 인코포레이티드
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자
(72) 발명자
아렌스 제프리 하워드
미국 뉴욕 14871 파인 시티 리버우드 드라이브 15
하운크페비 프랭크 올리비에
미국 뉴욕 14870 페인티드 포스트 우즈 엣지 드라이브 174
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 박수정

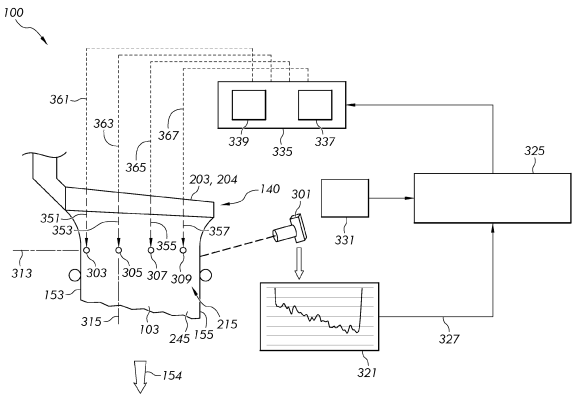
(54) 발명의 명칭 **유리 리본의 제조 방법들 및 장치**

(57) 요 약

일부 실시예들에 따르면, 유리 리본의 제조 방법들은 이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 복수의 위치들의 위치를 식별하는 단계

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



로서, 상기 위치에서의 해당 두께가 목표 두께를 초과하는, 상기 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 두께 변화율 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 두께 차이를 레이저 출력과 상관시키는(correlating) 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 상기 레이저 출력으로 레이저 빔을 지향하는(directing) 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류
C03B 17/064 (2013.01)
G01B 11/0691 (2013.01)
G01B 11/245 (2013.01)

(72) 발명자
르블랑 필립 로버트
미국 뉴욕 14830 코닝 웨스트 4티에이치 스트리트 29
매킨토시 로버트 아서
미국 뉴욕 14830 코닝 윈필드 스트리트 10627 #102

명 세 서

청구범위

청구항 1

이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계;

유리 형성 재료의 상기 리본의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 단계;

상기 복수의 위치들의 위치를 식별하는 단계로서, 상기 위치에서의 해당 두께가 목표 두께를 초과하는, 상기 위치를 식별하는 단계;

두께 변화율 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 두께 차이를 레이저 빔의 레이저 출력과 상관시키는(correlating) 단계;

상기 복수의 위치들에서 예측된 두께들을 포함하는 유리 형성 재료의 상기 리본의 예측된 두께 프로파일을 생성하고, 상기 예측된 두께 프로파일에 기초하여 상기 레이저 빔의 상기 레이저 출력 및 상기 레이저 빔이 유리 형성 재료의 상기 리본에 충돌하는 위치를 계산하는 단계; 및

상기 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 상기 레이저 출력으로 상기 레이저 빔을 지향하는(directing) 단계를 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 식별하는 단계는 상기 복수의 위치들의 제2 위치를 식별하는 단계를 포함하고, 상기 제2 위치에서의 제2 해당 두께가 상기 목표 두께보다 작은 유리 리본의 제조 방법.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 제2 위치에서의 점성을 증가시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 냉각 유체를 지향하는 단계를 더 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

형성 웨지의 제1 둑 위로 유리 형성 재료의 제1 스트림을 흐르게 하는 단계;

상기 형성 웨지의 제2 둑 위로 유리 형성 재료의 제2 스트림을 흐르게 하는 단계; 및

유리 형성 재료의 상기 제1 스트림과 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림을 융합하여 융합 리본을 형성하는 단계를 더 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 두께를 감지하는 단계는 상기 이동 방향에 실질적으로 수직인 제1 축을 따라 이격된 상기 복수의 위치들에서 일어나는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 6

제1 항 내지 제5 항 중 어느 한 항에 있어서,

유리 형성 재료의 상기 리본의 제2 리본 부분으로부터 제1 리본 부분을 분리하는 단계를 더 포함하며,

상기 두께를 감지하는 단계는, 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 제1 리본 부분의 상기 두께를 감지하는 단계를 포함하며, 그리고

상기 상관시키는 단계는, 상기 제2 리본 부분으로부터 상기 제1 리본 부분의 분리와 상기 제1 리본 부분의 상기 두께의 감지 사이에서 경과된 시간의 양 및/또는 상기 제2 리본 부분에 대한 상기 레이저 빔의 충돌과 상기 제2 리본 부분의 상기 두께의 후속 감지 사이에 경과된 시간의 양을 포함하는 시간 지연 프로파일, 상기 레이저 빔의 충돌 후 상기 위치에서의 상기 리본의 상기 두께 변화율, 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 상기 두께 차이를 상기 레이저 출력과 상관시키는 단계를 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 7

이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계;

유리 형성 재료의 상기 리본의 제2 리본 부분으로부터 제1 리본 부분을 분리하는 단계;

유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 제1 리본 부분의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 제1 리본 부분의 두께를 감지하는 단계;

상기 복수의 위치들의 제1 위치 및 상기 복수의 위치들의 제2 위치를 식별하는 단계로서, 상기 제1 위치에서의 제1 해당 두께는 목표 두께를 초과하고, 상기 제2 위치에서의 제2 해당 두께는 상기 목표 두께보다 작으며, 상기 제1 위치 및 상기 제2 위치는 상기 이동 방향에 실질적으로 수직인 제1 축을 따라 서로 이격되어 있는, 상기 제1 위치 및 상기 제2 위치를 식별하는 단계;

레이저 빔을 방출시킬 수 있는 레이저 빔 장치 및 냉각 유체를 수용할 수 있는 냉각 장치를 모두 포함하는 조정 장치를 사용하여, 상기 제1 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 제1 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 제2 리본 부분의 상기 제1 위치를 향해 상기 레이저 빔을 지향하는 단계; 및

상기 조정 장치를 사용하여, 상기 제2 위치에서의 점성을 증가시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 제2 리본 부분의 상기 제2 위치를 향해 상기 냉각 유체를 지향하는 단계를 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

형성 웨지의 제1 둑 위로 상기 유리 형성 재료의 제1 스트림을 흐르게 하는 단계;

상기 형성 웨지의 제2 둑 위로 상기 유리 형성 재료의 제2 스트림을 흐르게 하는 단계; 및

유리 형성 재료의 상기 제1 스트림과 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림을 융합하여 융합 리본을 형성하는 단계를 더 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 레이저 빔을 지향하는 단계는 상기 제1 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림, 상기 제2 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림, 또는 상기 융합된 리본 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔을 지향하는 단계를 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 냉각 유체를 지향하는 단계는 상기 제1 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림, 상기 제2 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림, 또는 상기 융합된 리본 중 하나 이상을 향해 상기 냉각 유체를 지향하는 단계를 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

제7 항에 있어서,

상기 제1 리본 부분을 분리하는 단계와 상기 두께를 감지하는 단계 사이의 시간 지연을 계산하는 단계; 및

상기 시간 지연에 기초하여 상기 레이저 빔 및 상기 냉각 유체를 상기 제2 리본 부분을 향해 지향하는 단계를 더 포함하는 유리 리본의 제조 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 미국 특허법(35 U.S.C.) 제 119조에 따라 2019년 12월 2일자로 출원된 미국 가출원 제62/942,258호의 우선권을 주장하며, 그 내용은 아래에 완전히 설명된 것처럼 그 전체가 참조에 의해 여기에 포함된다.

[0002] 본 개시 내용은 유리 리본의 제조 방법들, 보다 구체적으로 유리 리본의 두께를 제어하여 상기 유리 리본을 제조하기 위한 방법들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 유리 제조 장치를 이용하여 용융 물질을 유리 리본으로 제조하는 것은 공지되어 있다. 목표 두께를 갖는 유리 리본을 생산하기 위해, 상기 유리 리본의 두께가 측정될 수 있다. 그러나, 위치에서의 두께가 상기 목표 두께로부터 벗어난다면, 상기 유리 리본의 상기 두께를 측정하는 것은 상기 유리 리본의 상기 위치에서의 두께를 조정하는 것을 필요로 할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하려는 과제는 상술한 바와 같다.

과제의 해결 수단

[0005] 다음은 상세한 설명에 설명된 일부 실시예들의 기본적인 이해를 제공하기 위해 본 개시 내용의 간략화 된 요약을 제공한다.

[0006] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 유리 형성 재료의 리본의 두께를 제어할 수 있는 제어 장비를 포함할 수 있다. 두께 센서는 유리 형성 재료의 상기 리본이 이동 경로를 따라 이동할 때 상기 두께를 감지할 수 있고, 또는, 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서는 제1 리본 부분의 분리 이후에 상기 두께를 감지할 수 있다. 제어 장비는 목표 두께와 다른 유리 형성 재료의 상기 리본의 모든 위치들을 식별할 수 있다. 상기 제어 장비는 유리 형성 재료의 상기 리본에 국부적인 가열 및/또는 냉각을 제공하기 위해 레이저 장치 및/또는 냉각 튜브를 제어할 수 있다. 상기 제어 장비는 모든 시간 지연들 및/또는 발생할 수 있는 프로세스 교란들을 더 처리할 수 있고, 따라서 유리 형성 재료의 상기 리본의 보다 정확한 두께 제어를 제공할 수 있다.

[0007] 일부 실시예들에 따르면, 유리 리본의 제조 방법들은 이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 복수의 위치들의 위치를 식별하는 단계로서, 상기 위치에서의 해당 두께가 목표 두께를 초과하는, 상기 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 두께 변화율 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 두께 차이를 레이저 출력과 상관시키는(correlating) 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 상기 레이저 출력으로 레이저 빔을 지향하는(directing) 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 일부 실시예들에서, 상기 식별하는 단계는 상기 복수의 위치들의 제2 위치를 식별하는 단계를 포함하고, 상기 제2 위치에서의 제2 해당 두께가 상기 목표 두께보다 작은, 상기 제2 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 제2 위치에서의 점성을 증가시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 냉각 유체를 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 일부 실시예들에서, 방법들은 형성 웨지의 제1 둑 위로 유리 형성 재료의 제1 스트림을 흐르게 하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 형성 웨지의 제2 둑 위로 유리 형성 재료의 제2 스트림을 흐르게 하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림과 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림을 융합하여 융합 리본을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 일부 실시예들에서, 상기 레이저 빔을 지향하는 단계는 상기 제1 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림, 상기 제2 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림, 또는 상기 융합된 리본 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔을 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 두께를 감지하는 단계는 상기 이동 방향에 실질적으로 수직인 제1 축을 따라 이격된 상기 복수의 위치들에서 일어날 수 있다.

[0013] 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 두께를 감지하는 단계는 유리 형성 재료의 상기 리본의 제1 리본 부분을 유리 형성 재료의 상기 리본의 제2 리본 부분으로부터 분리한 후에 상기 제1 리본 부분에서 일어날 수 있다.

[0014] 일부 실시예들에 따르면, 유리 리본의 제조 방법들은 이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 복수의 위치들의 제1 위치 및 상기 복수의 위치들의 제2 위치를 식별하는 단계로서, 상기 제1 위치에서의 제1 해당 두께는 목표 두께를 초과하고, 상기 제2 위치에서의 제2 해당 두께는 상기 목표 두께보다 작은, 상기 제1 위치 및 상기 제2 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 제1 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 제1 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 레이저 빔을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 제2 위치에서의 점성을 증가시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 냉각 유체를 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 일부 실시예들에서, 방법들은 형성 웨지의 제1 둑 위로 유리 형성 재료의 제1 스트림을 흐르게 하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 형성 웨지의 제2 둑 위로 유리 형성 재료의 제2 스트림을 흐르게 하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림과 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림을 융합하여 융합 리본을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 일부 실시예들에서, 상기 레이저 빔을 지향하는 단계는 상기 제1 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림, 상기 제2 둑 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림, 또는 상기 융합된 리본 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔을 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본의 상기 두께를 감지하는 단계는 유리 형성 재료의 상기 리본의 제1 리본 부분을 유리 형성 재료의 상기 리본의 제2 리본 부분으로부터 분리한 후에 상기 제1 리본 부분에서 일어날 수 있다.

[0018] 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 제1 리본 부분을 분리하는 단계와 상기 두께를 감지하는 단계 사이의 시간 지연을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 시간 지연에 기초하여 상기 레이저 빔 및 상기 냉각 유체를 상기 제2 리본 부분을 향해 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 일부 실시예들에 따르면, 유리 리본의 제조 방법들은 이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본의 제1 리본 부분을 유리 형성 재료의 상기 리본의 제2 리본 부분으로부터 분리하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 제1 리본 부분의 복수의 위치들에서 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 복수의 위치들의 제1 위치를 식별하는 단계로서, 상기 제1 위치에서의 해당 두께가 목표 두께를 초과하는, 상기 제1 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 제1 리본 부분을 분리하는 단계와 상기 두께를 감지하는 단계 사이의 시간 지연을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 제2 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 상기 제1 리본 부분의 상기 제1 위치에 대응하는 상기 제2 리본 부분에서의 상기 제2 위치를 향해 상기 시간 지연에 기초한 레이저 출력으로 레이저 빔을 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 복수의 위치들에서 예측된 두께들을 포함하는 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께 예측 프로파일을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 일부 실시예들에서, 상기 제1 위치를 식별하는 단계는 상기 두께 예측 프로파일을 상기 복수의 위치들에서 감지된 상기 두께들과 비교하는 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 두께 예측 프로파일과 상기 복수의 위치들에서 감지된 상기 두께들 사이의 비교에 기초하여 상기 제2 리본 부분의 제2 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 복수의 위치들의 제3 위치를 식별하는 단계로서, 상기 제3 위치에서의 제3 해당 두께는 상기 목표 두께보다 작은, 상기 제3 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 일부 실시예들에서, 방법들은 제4 위치에서의 점성을 증가시키고 상기 제4 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 상기 제1 리본 부분의 상기 제3 위치에 대응하는 제2 리본 부분의 상기 제4 위치를 향해 냉각 유체를 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 이동 방향으로 이동 경로를 따라 유리 형성 재료의 리본을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본의 복수의 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 복수의 위치들의 위치로서, 상기 위치에서의 해당 두께가 목표 두께를 초과하는 상기 위치; 또는 상기 복수의 위치들의 제2 위치로서, 상기 제2 위치에서의 제2 해당 두께가 상기 목표 두께보다 작은 상기 제2 위치 중 하나 이상을 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 위치에서의 상기 해당 두께가 상기 목표 두께를 초과할 때 두께 변화율 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 두께 차이를 레이저 출력과 상관시키는 단계를 포함할 수 있다. 방법들은 상기 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 상기 레이저 출력으로 레이저 빔; 또는 상기 제2 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 제2 위치에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본을 향해 냉각 유체 중 하나 이상을 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

[0026] 본 개시 내용의 추가적인 특징들 및 이점들은 다음의 발명의 설명에 기재될 것이며, 발명의 설명을 통해 부분적으로 당업계의 통상의 기술자에게 명백하거나 또는 다음의 발명의 설명, 청구 범위 및 첨부된 도면들을 포함하

여 본 명세서에 설명된 상기 실시예들을 실시함으로써 인식 될 것이다. 전술한 일반적인 설명 및 다음의 발명의 설명은 모두 다양한 실시예들을 설명하고 청구된 주제의 성격(character)과 특성(nature)을 이해하기 위한 개요 또는 프레임워크를 제공하도록 의도된다. 첨부된 도면들은 상기 다양한 실시예들의 깊은 이해를 제공하기 위해 포함되며, 본 명세서에 포함되며 본 명세서의 일부를 구성한다. 상기 도면들은 본 명세서에 설명된 다양한 실시예들을 도시하고, 발명의 설명과 함께 청구된 주제의 원리들 및 동작들을 설명한다.

도면의 간단한 설명

[0027] 이들 및 다른 특징들, 실시예들 및 이점들은 첨부된 도면들을 참조하여 다음의 상세한 설명을 읽을 때 더 잘 이해되며, 여기서:

도 1은 본 개시의 실시예들에 따른 유리 제조 장치의 예시적인 실시예들을 개략적으로 도시한다;

도 2는 본 개시의 실시예들에 따른 도 1의 2-2 선을 따라 취한 유리 제조 장치의 사시 단면도이다;

도 3은 유리 형성 재료의 리본의 두께를 감지하고 제어하기 위한 상기 유리 제조 장치의 두께 센서 및 제어 장치를 도시한다;

도 4는 제1 리본 부분이 제2 리본 부분으로부터 분리된 후 유리 형성 재료의 리본의 상기 제1 리본 부분의 두께를 감지하는 두께 센서를 도시한다;

도 5는 유리 형성 재료의 리본의 두께를 감지하고 제어하기 위한 제어 방식을 도시한다;

도 6은 유리 형성 재료의 상기 리본의 두께를 감지하는 두께 센서 및 유리 형성 재료의 상기 리본의 부분을 가열 및/또는 냉각하는 조정 장치를 도시한다; 및

도 7은 제1 리본 부분이 제2 리본 부분으로부터 분리된 후 유리 형성 재료의 리본의 상기 제1 리본 부분의 두께를 감지하는 두께 센서 및 유리 형성 재료의 상기 리본의 일부를 가열 및/또는 냉각하는 조정 장치를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이제 예시적인 실시예들이 도시된 첨부 도면들을 참조하여 이하에서 실시예들이 더 완전하게 설명될 것이다. 가능하면 도면들 전체에 걸쳐 동일한 참조 번호들을 사용하여 동일하거나 유사한 부분들을 지칭하는데 사용될 것이다. 그러나 본 개시는 여러가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0029] 본 개시는 유리 제조 장치 및 유리 리본의 제조 방법들에 관한 것이다. 유리 리본의 제조 방법들 및 장치는 이제 유리 형성 재료의 리본으로부터 유리 리본을 제조하기 위한 예시적인 실시예들에 의해 설명될 것이다. 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 예시적인 유리 제조 장치(100)는 유리 용융 및 전달 장치(102) 및 다량의 용융 재료(121)로부터 유리 형성 재료의 리본(103)을 제조하기 위해 설계된 형성 용기(140)를 포함하는 형성 장치(101)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 제1 외부 에지(153)와 제2 외부 에지(155)를 따라 형성된 반대되는 부분들(예를 들어, 에지 비즈들) 사이에 위치한 중앙 부분(152)을 포함할 수 있으며, 여기서 상기 에지 부분들의 두께는 상기 중앙 부분의 두께보다 클 수 있다. 추가로, 일부 실시예들에서, 분리된 유리 리본(104)은 유리 분리기(149)(예를 들어, 스크라이브, 스코어 휠, 다이아몬드 팁, 레이저 등)에 의해 분리 경로(151)를 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)으로부터 분리될 수 있다.

[0030] 일부 실시예들에서, 상기 유리 용융 및 전달 장치(102)는 저장 용기(109)로부터 배치 재료(107)를 수용하도록 배향된 용융 용기(105)를 포함할 수 있다. 상기 배치 재료(107)는 모터(113)에 의해 구동되는 배치 전달 장비(111)에 의해 도입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 선택적인 컨트롤러(115)는 화살표(117)로 표시된 바와 같이 원하는 양의 배치 재료(107)를 상기 용융 용기(105) 내로 도입하기 위해 상기 모터(113)를 활성화시키도록 작동될 수 있다. 상기 용융 용기(105)는 용융 재료(121)를 제공하기 위해 상기 배치 재료(107)를 가열할 수 있다. 일부 실시예들에서, 용융 프로브(119)는 스탠드파이프(123) 내의 용융 재료(121)의 레벨을 측정하고 상기 측정된 정보를 통신 라인(125)을 통해 상기 컨트롤러(115)에 전달하기 위해 사용될 수 있다.

[0031] 추가로, 일부 실시예들에서, 상기 유리 용융 및 전달 장치(102)는 상기 용융 용기(105)로부터 하류에 위치되고 제1 연결 도관(129)을 통해 상기 용융 용기(105)에 결합된 청징 용기(127)를 포함하는 제1 컨디셔닝 스테이션을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 용융 재료(121)는 상기 제1 연결 도관(129)을 통해 상기 용융 용기(105)로

부터 상기 청징 용기(127)로 중력 공급될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 중력은 상기 용융 재료(121)를 상기 제1 연결 도관(129)의 내부 경로를 통해 상기 용융 용기(105)로부터 상기 청징 용기(127)로 구동할 수 있다. 추가로, 일부 실시예들에서, 다양한 기술들에 의해 상기 청징 용기(127) 내의 상기 용융 재료(121)로부터 기포들이 제거될 수 있다.

[0032] 일부 실시예들에서, 상기 유리 용융 및 전달 장치(102)는 상기 청징 용기(127)로부터 하류에 위치될 수 있는 혼합 챔버(131)를 포함하는 제2 컨디셔닝 스테이션을 더 포함할 수 있다. 상기 혼합 챔버(131)는 용융 재료(121)의 균일한 조성을 제공하기 위해 사용될 수 있고, 이에 의해 상기 청징 용기(127)를 빠져나가는 상기 용융 재료(121) 내에 그렇지 않으면 존재할 수 있는 불균일성을 감소시키거나 제거할 수 있다. 도시된 바와 같이, 상기 청징 용기(127)는 제2 연결 도관(135)을 통해 상기 혼합 챔버(131)에 결합될 수 있다. 일부 실시예들에서, 용융 재료(121)는 상기 제2 연결 도관(135)을 통해 상기 청징 용기(127)로부터 상기 혼합 챔버(131)로 중력 공급될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 중력은 상기 용융 재료(121)를 상기 제2 연결 도관(135)의 내부 경로를 통해 상기 총잘 용기(127)로부터 상기 혼합 챔버(131)로 구동할 수 있다.

[0033] 추가로, 일부 실시예들에서, 상기 유리 용융 및 전달 장치(102)는 상기 혼합 챔버(131)로부터 하류에 위치될 수 있는 전달 챔버(133)를 포함하는 제3 컨디셔닝 스테이션을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 전달 챔버(133)는 상기 용융 재료(121)를 입구 도관(141) 내로 공급되도록 컨디셔닝할 수 있다. 예를 들어, 상기 전달 챔버(133)는 상기 입구 도관(141)으로의 용융 재료(121)의 일관된 흐름을 조정하고 제공하기 위해 축적기 및/또는 흐름 제어기로서 기능할 수 있다. 도시된 바와 같이, 상기 혼합 챔버(131)는 제3 연결 도관(137)을 통해 상기 전달 챔버(133)에 결합될 수 있다. 일부 실시예들에서, 용융 재료(121)는 상기 제3 연결 도관(137)을 통해 상기 혼합 챔버(131)로부터 상기 전달 챔버(133)로 중력 공급될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 중력은 상기 용융 재료(121)를 상기 제3 연결 도관(137)의 내부 경로를 통해 상기 혼합 챔버(131)로부터 상기 전달 챔버(133)로 구동할 수 있다. 추가로 예시된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 전달 파이프(139)는 용융 재료(121)를 형성 장치(101), 예를 들어 상기 형성 용기(140)의 상기 입구 도관(141)으로 전달하도록 위치될 수 있다.

[0034] 형성 장치(101)는 본 개시의 특징들에 따라 형성 용기들의 다양한 실시예, 예를 들어, 상기 형성 용기로부터 상기 유리 리본을 융합 인출하기 위한 웨지가 있는 형성 용기, 상기 유리 리본을 슬롯 인출하기 위한 슬롯이 있는 형성 용기, 또는 상기 유리 리본을 프레스 롤하기 위한 프레스 롤들이 제공된 형성 용기를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 형성 장치(101)는 예를 들어 재인출 공정의 일부로서 상기 형성 장치(101)를 사용하는 시트 재인출을 포함할 수 있다. 예를 들어, 두께를 포함할 수 있는 상기 유리 리본(104)은 더 작은 두께를 포함하는 더 얇은 유리 리본(104)을 달성하기 위해 가열되고 재인출될 수 있다. 예시로서, 아래에 도시되고 개시되는 상기 형성 용기(140)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 생성하기 위해 루트(145)로서 정의되는 형성 웨지(209)의 바닥 에지로부터 용융 재료(121)를 융합 인출하기 위해 제공될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 용융 재료(121)는 상기 입구 도관(141)으로부터 상기 형성 용기(140)로 전달될 수 있다. 상기 용융 재료(121)는 상기 형성 용기(140)의 구조에 부분적으로 기초하여 유리 형성 재료의 상기 리본(103)으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 도시된 것처럼, 상기 용융 재료(121)는 상기 유리 제조 장치(100)의 이동 방향(154)으로 연장되는 인출 경로를 따라 상기 형성 용기(140)의 상기 바닥 에지(예를 들어, 루트(145))로부터 인출될 수 있다. 일부 실시예들에서, 에지 디렉터들(163, 164)은 상기 용융 재료(121)를 상기 형성 용기(140)의 밖으로 지향하고 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 폭 ”W”를 부분적으로 정의할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 폭 “W”은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 외부 에지(153) 및 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제2 외부 에지(155) 사이에서 연장할 수 있다.

[0035] 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 외부 에지(153) 및 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제2 외부 에지(155) 사이에서 연장되는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 폭 “W”은 약 20 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 50 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 100 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 500 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 1000 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 2000 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 3000 ㎜ 이상, 예를 들어, 약 4000 ㎜ 이상 일 수 있지만, 위에서 언급된 폭보다 작거나 더 큰 다른 폭이 추가 실시예들에서 제공될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 폭 “W”은 약 20 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 50 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 100 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 500 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 1000 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 2000 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 3000 ㎜ 내지 약 4000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 20 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 50 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 100 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 500 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 1000 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어,

약 2000 ㎜ 내지 약 3000 ㎜ 범위 내, 예를 들어, 약 2000 ㎜ 내지 약 2500 ㎜ 범위 내, 및 그 사이의 모든 범위 및 하위 범위 내 일 수 있다.

[0036] 도 2는 도 1의 2-2 선을 따른 상기 형성 장치(101)(예를 들어, 형성 용기(140))의 단면 사시도를 도시한다. 일부 실시예들에서, 상기 형성 용기(140)는 상기 입구 도관(141)으로부터 상기 용융 재료(121)를 수용하도록 배향된 홈통(201)을 포함할 수 있다. 예시의 목적을 위해, 상기 용융 재료(121)의 크로스-해칭은 명확성을 위해 도 2에서 제거되었다. 상기 형성 용기(140)는 상기 형성 웨지(209)의 반대되는 단부들(210, 211)(도 1 참조) 사이에서 연장하는 한 쌍의 아래로 경사진 수렴 표면 부분들(207, 208)을 포함하는 상기 형성 웨지(209)를 더 포함할 수 있다. 상기 형성 웨지(209)의 상기 한 쌍의 아래로 경사진 수렴 표면 부분들(207, 208)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145)를 따라 교차하도록 상기 이동 방향(154)을 따라 수렴할 수 있다. 상기 루트(145)는 상기 아래로 경사진 수렴 표면 부분들(207, 208)이 교차하여 점을 형성하는 상기 형성 웨지(209)의 바닥을 정의한다. 상기 유리 제조 장치(100)의 인출 평면(213)은 상기 이동 방향(154)을 따라 상기 루트(145)를 관통하여 연장될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 상기 인출 평면(213)을 따라 상기 이동 방향(154)으로 인출될 수 있다. 도시된 것처럼, 상기 인출 평면(213)은 상기 루트(145)를 관통하여 상기 형성 웨지(209)를 양분할 수 있지만, 일부 실시예들에서, 상기 인출 평면(213)은 상기 루트(145)에 대해 다른 방향들로 연장될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 이동 방향(154)으로 이동 경로(211)를 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 이동시키는 단계를 포함할 수 있고, 여기서 상기 이동 경로(221)는 상기 인출 평면(213)과 동일 평면에 있을 수 있다.

[0037] 추가로, 일부 실시예들에서, 상기 용융 재료(121)는 방향(156)으로 상기 형성 용기(140)의 상기 홈통(201) 내로 그리고 이를 따라 흐를 수 있다. 상기 용융 재료(121)는 대응하는 둑 들(203, 204) 위로 동시에 흐르고, 상기 대응하는 둑 들(203, 204)의 상기 외부 표면들(205, 206)의 아래쪽으로 흐르면서 상기 홈통(201)으로부터 넘쳐 흐를 수 있다. 예를 들어, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 형성 웨지(209)의 제1 둑(203) 위로 유리 형성 재료의 제1 스트림(241)을 흐르게 하는 단계 및 상기 형성 웨지(209)의 제2 둑(204) 위로 유리 형성 재료의 제2 스트림(243)을 흐르게 하는 단계를 포함할 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 및 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145)로부터 인출되도록 상기 형성 웨지(209)의 상기 아래로 경사진 수렴 표면 부분들(207, 208)을 따라 흐를 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241)과 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)을 융합하여 융합된 리본(245)을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 스트림(241)과 상기 제2 스트림(243)은 상기 루트(145)에서 수렴하여 융합할 수 있다. 실시예들에서, 상기 융합된 리본(245)은 상기 인출 평면(213)에서 상기 이동 방향(154)을 따라 상기 루트(145)로부터 인출될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 상기 이동 방향(154)에 대해 상기 루트(145)의 상류의 융합 전 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 및 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)을 포함할 수 있고, 상기 형성 웨지(209)에서 상기 이동 방향(154)에 대해 상기 루트(145)로부터 하류로 인출된 상기 융합된 리본(245)을 포함할 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 수직 위치에 기초하여 재료의 적어도 하나의 상태를 포함할 수 있다. 예를 들어, 한 위치에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 상기 점성이 있는 용융 재료(121)를 포함할 수 있고, 다른 위치에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 유리 상태의 비정질 고체(예를 들어, 유리 리본)를 포함할 수 있다.

[0038] 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 반대 방향을 향하고 제1 주 표면(215) 또는 제2 주 표면(216) 중 어느 하나 또는 모두에 수직인 축을 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 두께 "T"(예를 들어, 평균 두께)를 정의하는 상기 제1 주 표면(215) 및 상기 제2 주 표면(216)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께 "T"는 약 2 ㎜ 이하, 약 1 ㎜ 이하, 약 0.5 ㎜ 이하 일 수 있고, 예를 들어, 약 300 ㎛ 이하, 약 200 ㎛ 이하, 또는 약 100 ㎛ 이하 일수 있지만, 다른 두께들이 추가 실시예들에서 제공될 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께 "T"는 약 20 ㎛ 내지 약 200 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 750 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 100 ㎛ 내지 약 700 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 200 ㎛ 내지 약 600 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 300 ㎛ 내지 약 500 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 500 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 700 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 600 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 500 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 400 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 300 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 200 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 50 ㎛ 내지 약 100 ㎛ 범위 내일 수 있고, 약 25 ㎛ 내지 약 125 ㎛ 범위 내일 수 있고, 그 사이의 두께의 모든 범위 및 하위 범위를 포함한다. 또한, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)은 다양한 조성들, 예를 들어 보로실리케이트 유리(borosilicate glass), 알루미노-보로실리케이트 유리(alumino-borosilicate glass), 알칼리 함유 유리

(alkali-containing glass), 또는 무알칼리 유리(alkali-free glass), 알칼리 알루미노실리케이트 유리(alkali aluminosilicate glass), 알칼리 토류 알루미노 실리케이트 유리(alkaline earth aluminosilicate glass), 소다-석회 유리(soda-lime glass) 등을 포함할 수 있다.

[0039] 일부 실시예들에서, 상기 유리 분리기(149)(도 1 참조)는 복수의 분리된 유리 리본들(104)(예를 들어, 복수의 유리 시트들)을 제공하기 위해 상기 분리 경로(151)를 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)으로부터 상기 유리 리본(104)을 분리할 수 있다. 다른 실시예들에 따르면, 상기 유리 리본(104)의 더 긴 부분은 스토리지 롤에 감길 수 있다. 상기 분리된 유리 리본은 원하는 응용 분야, 예를 들어 디스플레이 응용 분야로 가공될 수 있다. 예를 들어, 상기 분리된 유리 리본은 액정 디스플레이들(LCDs), 전기 영동 디스플레이들(EPDs), 유기 발광 디스플레이들(OLEDs), 플라즈마 디스플레이 패널들(PDPs), 터치 센서들, 광전지들, 및 기타 전자 디스플레이들을 포함하는 광범위한 디스플레이 응용 분야들에서 사용될 수 있다.

[0040] 도 3은 상기 형성 용기(140)의 개략도를 도시한다. 일부 실시예들에서, 상기 유리 제조 장치(100)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께(예를 들어, 도 2에 도시된 두께 "T")를 측정할 수 있는 두께 센서(301)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 두께는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 주 표면(215)과 상기 제2 주 표면(216) 사이에서 (예를 들어, 도 1에 도시된 상기 제1 외부 에지(153)와 상기 제2 외부 에지(155) 사이에서 연장되는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 폭 "W"에 수직으로) 측정될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 형성 용기(140)의 바닥에서, 예를 들어, 상기 이동 방향(154)에 대해 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145)로부터 하류에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 두께를 감지할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 레이저 기반 두께 측정 장비를 포함할 수 있다.

[0041] 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 하나 이상의 위치, 예를 들어, 제1 위치(303), 제2 위치(305), 제3 위치(307), 제4 위치(309) 등에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 복수의 위치들(예를 들어, 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 상기 제4 위치(309) 등)에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지하는 단계는 상기 이동 방향(154)에 실질적으로 수직일 수 있는 제1 축(313)을 따라 이격된 상기 복수의 위치들에서 일어날 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 축(313)은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 주 표면(215) 및/또는 상기 제2 주 표면(216)에 실질적으로 평행할 수 있는 방향을 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 가로질러(예를 들어, 상기 제1 외부 에지(153)와 상기 제2 외부 에지(155) 사이로) 연장될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 위치(303)를 상기 제1 외부 에지(153)로부터 분리하는 거리는 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 및/또는 상기 제4 위치(309)를 상기 제1 외부 에지(153)로부터 분리하는 거리보다 작을 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제4 위치(309)를 상기 제2 외부 에지(155)로부터 분리하는 거리는 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 및/또는 상기 제3 위치(307)를 상기 제2 외부 에지(155)로부터 분리하는 거리보다 작을 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제2 위치(305) 및 상기 제3 위치(307)는 상기 제1 위치(303) 및 상기 제4 위치(309) 사이에 위치할 수 있다.

[0042] 상기 유리 제조 장치(100)는 단일 축, 예를 들어, 상기 제1 축(313)을 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지하는 것으로 제한되지 않는다. 오히려, 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301) 및/또는 추가적인 두께 센서는 상기 제1 축(313)에 대해 각을 이룰 수 있는 하나 이상의 축들을 따라, 예를 들어, 상기 제1 축에 실질적으로 수직일 수 있고 상기 이동 방향(154)에 실질적으로 평행할 수 있는 제2 축(315)을 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지할 수 있다. 상기 제2 축(315)은 상기 제2 위치(305)와 교차할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301) 및/또는 추가적인 두께 센서는 상기 제1 축(313) 및/또는 상기 제2 축(315)에 실질적으로 평행할 수 있는 하나 이상의 축들을 따라 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지할 수 있다.

[0043] 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 복수의 위치들에서, 예를 들어, 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 및 상기 제4 위치(309)에서 상기 두께 센서(301)에 의해 감지된 상기 두께에 대응하는 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있다. 상기 두께 센서(301)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 주기적으로 및/또는 연속적으로 감지할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 두께 센서(301)가 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 실시간 두께에 대응하는 업데이트된 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있도록 상기 복수의 위치들에서 상기 두께를 연속적으로 (예를 들어, 중단 또는 갭 없이) 감지할 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 실시간 두께는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)이 측정되는 순간의 두께를 나타낼 수 있고, 그 결과로 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께가

처리를 위한 장비(예를 들어, 제어 장비(325))로 즉시 전송될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 주기적으로 상기 복수의 위치들에서 상기 두께, 예를 들어, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지한 다음, 미리 정해진 시간 동안 상기 두께를 감지하지 않고 기다린 후, 다시 상기 두께를 감지하는 등으로 감지할 수 있다. 따라서 상기 두께 센서(301)는 상기 복수의 위치들에서의 상기 실시간 두께에 대응하지 않을 수 있는 업데이트된 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 형성 용기(140)에 대해 고정된 위치에서 상기 두께를 감지할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)에서 상기 두께를 감지할 수 있고, 여기서 상기 제1 축(313) 및 따라서 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)은 상기 루트(145)로부터 고정되고 변하지 않는 거리에 위치할 수 있다.

[0044] 일부 실시예들에서, 상기 유리 제조 장치(100)는 상기 두께 센서(301)에 결합될 수 있는 상기 제어 장비(325)를 포함할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 예를 들어, 컴퓨터, 컴퓨터와 유사한 장비, 프로그램 가능한 로직 제어기 등을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 두께 센서(301)에 의해 감지된 상기 두께에 기초하여 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께의 변화를 유발하도록 구성(예를 들어, 프로그래밍, 인코딩, 설계 및/또는 제작)될 수 있다. 예를 들어, 상기 두께 센서(301)는 통신 라인(327)(예를 들어, 유선, 무선 등)을 통해 상기 제어 장비(325)와 통신할 수 있다. 상기 두께 프로파일(321)은 상기 통신 라인(327)을 통해 상기 두께 센서(301)로부터 상기 제어 장비(325)로 전송될 수 있다. 일부 실시예들에서, 목표 두께 프로파일(331)은 상기 제어 장비(325)로 전송될 수 있다. 상기 목표 두께 프로파일(331)은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 목표 두께의 동작 범위를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 목표 두께 프로파일(331)은 상기 제1 위치(303)에서의 제1 목표 두께, 상기 제2 위치(305)에서의 제2 목표 두께, 상기 제3 위치(307)에서의 제3 목표 두께, 및 상기 제4 위치(309)에서의 제4 목표 두께를 포함할 수 있다.

[0045] 일부 실시예들에서, 상기 유리 제조 장치(100)는 점성이 있는 상태의 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 일부분의 온도를 증가시키고 점성을 감소시키기 위해 레이저 빔을 방출할 수 있는 레이저 장치(335)를 포함할 수 있고, 이에 의해 상기 레이저 빔에 의해 충돌되는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 일부분의 상기 두께를 변경한다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 장치(335)는 레이저 생성기(337)를 포함할 수 있다. 상기 레이저 생성기(337)는 상기 레이저 빔을 생성하고 방출할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 생성기(337)는 고강도 적외선 레이저 발생기, 예를 들어 이산화탄소(CO_2) 레이저 발생기를 포함할 수 있다. 상기 레이저 생성기(337)는 레이저 빔에 의해 충돌되는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 일부분의 온도를 증가시키고 점성을 감소시키기에 충분한 파장 및 출력을 포함하는 상기 레이저 빔을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 생성기(337)로부터 상기 레이저 빔이 지향되는 방향을 제어하기 위해, 상기 레이저 장치(335)는 빔 지향 장치(339)를 포함할 수 있다. 상기 빔 지향 장치(339)는 반사 표면, 예를 들어, 거울을 포함할 수 있다. 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 빔 지향 장치(339)를 예를 들어, 상기 빔 지향 장치(339)를 회전 및/또는 병진 이동함으로써 이동시킬 수 있는, 이동 장치에 결합될 수 있다.

[0046] 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 레이저 생성기(337)로부터 상기 레이저 빔을 수신할 수 있고, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 상기 레이저 빔을 지향(예를 들어, 상기 빔 지향 장치(339)가 거울을 포함할 때 반사)시킬 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 및/또는 상기 제4 위치(309) 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔을 지향시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제1 위치(303)를 향해 제1 레이저 빔(351)을 지향시킬 수 있고, 여기서 상기 제1 레이저 빔(351)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145) 아래 위치에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제2 위치(305)를 향해 제2 레이저 빔(353)을 지향시킬 수 있고, 여기서 상기 제2 레이저 빔(353)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145) 아래 위치에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제3 위치(307)를 향해 제3 레이저 빔(355)을 지향시킬 수 있고, 여기서 상기 제3 레이저 빔(355)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145) 아래 위치에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제4 위치(309)를 향해 제4 레이저 빔(357)을 지향시킬 수 있고, 여기서 상기 제4 레이저 빔(357)은 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145) 아래 위치에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제어 장비(325)로부터 상기 레이저 장치(335)로 제공될 수 있는 제어 명령들에 기초하여 이동될 수 있고, 여기서 상기 제어 명령들은 상기 레이저 빔들(351, 353, 355, 또는 357) 중 하나 이상을 특정 위치로 지향시키도록 상기 빔 지향 장치(339)에 지시할 수 있다.

[0047] 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 이동 방향(154)에 대해 상기 형성 용기(140)의 상기 루트(145) 아래의 위치를 향해 레이저 빔을 반사하는 것으로 제한되지 않고, 오히려, 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 루트(145)위로, 예를 들어 상기 제1 둑(203) 및/또는 상기 제2 둑(204)을 향하여 레이저 빔을 지향할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제1 위치(303)에 대응되는 위치에서 상기 제1 둑(203) 및/또는 상기 제2 둑(204)을 향해 제1 레이저 빔(361)을 지향시킬 수 있다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 상기 제1 위치(303)에 대응하는 위치는 상기 제1 스트림(241) 및/또는 상기 제2 스트림(243)이 상기 제1 위치(303)와 교차하는 상기 형성 용기(140)를 빠져나갈 때 상기 이동 방향(154)에 대해 상기 제1 위치(303)의 상류에서의 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 및/또는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)의 위치를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제2 위치(305)에 대응하는 위치에서 상기 제1 둑(203) 및/또는 상기 제2 둑(204)을 향해 제2 레이저 빔(363)을 지향시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제3 위치(307)에 대응하는 위치에서 상기 제1 둑(203) 및/또는 상기 제2 둑(204)을 향해 제3 레이저 빔(365)을 지향시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 빔 지향 장치(339)는 상기 제4 위치(309)에 대응하는 위치에서 상기 제1 둑(203) 및/또는 상기 제2 둑(204)을 향해 제4 레이저 빔(367)을 지향시킬 수 있다.

[0048] 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나에서 대응하는 두께가 상기 목표 두께 프로파일(331)의 목표 두께를 초과하는지 여부를 결정하기 위해 상기 두께 프로파일(321)을 상기 목표 두께 프로파일(331)과 비교할 수 있다. 예를 들어, 상기 제어 장비(325)는 상기 두께 센서(301)에 의해 측정된 것과 같이 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 및 상기 제4 위치(309)에서의 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 포함할 수 있는 상기 두께 프로파일(331)을 수신할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)에서의 상기 두께를 상기 목표 두께 프로파일(331), 예를 들어, 상기 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)에서의 목표 두께 각각에 비교할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 위치에서 해당하는 두께가 목표 두께(예를 들어, 상기 목표 두께 프로파일(331)로부터)를 초과하는 복수의 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)의 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나에서 측정된 두께와 그 위치(303, 305, 307, 또는 309)에서의 목표 두께 사이의 두께 차이를 결정할 수 있다. 또한, 도 5에 대해 설명된 바와 같이, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 적절한 레이저 출력을 결정하여 상기 위치에서의 점성을 감소시키고 상기 위치에서의 상기 목표 두께를 달성할 수 있다.

[0049] 상기 제어 장비(325)는 상기 적절한 레이저 출력 및 상기 위치를 포함하는 명령들을 상기 레이저 장치(335)에 전송할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 위치에서 점성을 감소시키고 상기 위치에서 상기 목표 두께를 달성하기 위해 상기 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 위치(303)에서 측정된 두께는 상기 제1 위치(303)에서의 상기 목표 두께를 초과할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 제1 위치(303)에서 상기 측정된 두께와 상기 목표 두께의 차이를 결정하고, 두께 변화율과 레이저 출력을 상관시킬(correlate) 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 변화율과 상기 레이저 출력은 상기 제어 장비(325)에 제공될 수 있고, 특정 레이저 출력에 기초한 두께 변화들의 실제로 관찰된 영향들에 기초할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)에 제공되는 상기 두께 변화율과 상기 레이저 출력은 수학적 모델에 기초할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 모델은 상이한 레이저 출력들에 기초하여 실제로 관찰된 영향들로 업데이트될 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 생성기(337)로 하여금 상기 제1 레이저 빔(351)을 상기 레이저 출력으로 상기 제1 위치(303)를 향하도록 할 수 있다. 이에 의해, 상기 제1 위치(303)에서의 점성이 감소할 수 있으며, 이는 상기 제1 위치(303)에서 상기 목표 두께가 달성될 때까지 상기 제1 위치(303)에서의 상기 두께가 감소하도록 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241), 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243), 또는 상기 융합된 리본(245) 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔(361, 363, 365, 및/또는 367)을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 제어 장비(325)는 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241)을 향해 및/또는 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)을 향해 상기 제1 레이저 빔(361)을 지향시키도록 상기 레이저 생성기(337)를 촉발시킬 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 또는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)의 점성이 감소할 수 있으며, 이는 상기 제1 위치(303)에서 상기 목표 두께가 달성될 때까지 상기 제1 위치(303)에서의 상기 두께가 감소하도록 할 수 있다.

[0050] 도 4를 참조하면, 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께는 제1 리본 부분(401)이 제2 리본 부분(403)으로부터 분리된 후에 감지될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 제1 리본 부분(401)의 두께를 감지하기 전에 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 리본 부분(401)을 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 분리하는 단계를 포함할 수 있다. 유리 형성 재료의 상기 리본(103)이 상기 이동 방향(154)으로 이동함에 따라, 상기 제1 리본 부분(401)은, 예를 들어, 도 1의 상기 유리 분리기(149)에 의해, 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 분리될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 리본 부분(401)은 상기 분리 후 멀리 떨어진 위치, 예를 들어, 상기 제1 리본 부분(401)이 검사되고 두께가 측정될 수 있는 위치로 이송될 수 있다.

[0051] 상기 분리 후에, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 제1 리본 부분(401)의 복수의 위치들에서 두께를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 두께 센서(301)는 상기 제1 리본 부분(401)의 제1 위치(411), 제2 위치(413), 제3 위치(415), 및 제4 위치(417)에서의 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께를 감지할 수 있지만, 추가 실시예들에서, 상기 두께는 4개보다 더 많은 위치들에서 감지될 수 있고, 또 다른 실시예들에서 상기 두께는 4개보다 더 적은 위치들에서 감지될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 감지하는 단계는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 리본 부분(401)을 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 분리하는 단계 후에 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 제1 리본 부분(401)에서 일어날 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제2 리본 부분(403)으로부터의 분리 직후에 감지될 수 있고, 이에 의해 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리와 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께 감지 사이의 시간 지연이 짧을 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 시간 지연은 예를 들어, 상기 분리 직후에 상기 제1 리본 부분(401)의 두께가 감지되지 않고, 오히려 상기 분리 후 일정 시간이 경과한 후에 감지된 경우 더 길어질 수 있다. 예를 들어, 시간 지연은 상기 제1 리본 부분(401)이 분리되는 상기 위치로부터 상기 제1 리본 부분(401)이 검사되고 두께가 측정될 수 있는 상기 멀리 떨어진 위치로 상기 제1 리본 부분(401)을 이송하는 것으로부터 유발될 수 있다.

[0052] 일부 실시예들에서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제1 외부 에지(153) 및 상기 제2 외부 에지(155)에 대한 상기 제1 위치(411), 상기 제2 위치(413), 상기 제3 위치(415), 및/또는 상기 제4 위치(417)는 각각 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 제1 외부 에지(153) 및 상기 제2 외부 에지(155)에 대한 상기 제1 위치(303), 상기 제2 위치(305), 상기 제3 위치(307), 및/또는 상기 제4 위치(309)에 대응될 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 위치(411)는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제1 외부 에지(153)로부터 제1 거리만큼 이격될 수 있고, 상기 제1 위치(303)는 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 제1 외부 에지(153)로부터 상기 제1 거리만큼 이격될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제4 위치(417)는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제2 외부 에지(155)로부터 제2 거리만큼 이격될 수 있고, 상기 제4 위치(309)는 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 제2 외부 에지(155))로부터 상기 제2 거리만큼 이격될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)을 분리시키는 거리는 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)을 분리시키는 거리와 일치할 수 있다. 따라서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서의 두께는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 또는 357)을 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)에 충돌시키는 것 및/또는 상기 레이저 빔(361, 363, 365, 또는 367)을 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 상기 제1 스트림(241) 및/또는 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 상기 제2 스트림(243)에 충돌시키는 것에 의해 변경될 수 있다.

[0053] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417) 중 제1 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 제1 위치(303)에서의 해당하는 두께는 목표 두께를 초과한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 도 4의 상기 유리 제조 장치(100)는 도 3의 상기 두께 센서(301), 상기 제어 장비(325), 및 상기 레이저 장치(335)와 실질적으로 유사한 상기 두께 센서(301), 상기 제어 장비(325), 및 상기 레이저 장치(335)를 포함할 수 있다. 상기 두께 센서(301)는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서의 상기 두께를 감지할 수 있고, 상기 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서의 상기 측정된 두께 중 어느 하나라도 목표 두께를 초과하는지 여부를 식별하기 위해 상기 두께 프로파일(321)의 상기 측정된 두께를 상기 목표 두께 프로파일(331)과 비교할 수 있다. 또한, 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리(예를 들어, 상기 제2 리본 부분(403)으로부터) 와 상기 두께의 상기 감지 사이의 상기 시간 지연을 계산할 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 리본 부분(401)을 분리하는 단계와 상기 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서 상기 두께 센서(301)로 상기 두께를 감지하는 단계 사이에 일정 시간이 경과할 수 있고, 여

기서 상기 일정 시간은 상기 제1 리본 부분(401)을 멀리 떨어진 위치로 이송하는데 걸리는 시간을 부분적으로 포함할 수 있다.

[0054] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 제2 위치(303, 305, 307, 및/또는 309)에서의 점성을 감소시키고 상기 제2 위치(303, 305, 307, 및/또는 309)에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제1 위치(411, 413, 415 및/또는 417)에 각각 대응하는 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 제2 위치(303, 305, 307, 및/또는 309)를 향해 상기 시간 지연에 기초한 레이저 출력으로 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 장치(335)는 도 3에 도시된 것과 유사한 방식으로 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 상기 레이저 빔들(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367) 중 하나 이상을 지향할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 레이저 장치(335)는 상기 제1 둑(203) 위의 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 또는 상기 제2 둑(204) 위의 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243) 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔들(361, 363, 365, 또는 367) 중 하나 이상을 지향할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 장치(335)는 상기 융합된 리본(245)을 향해 상기 레이저 빔들(351, 353, 355, 또는 357) 중 하나 이상을 지향할 수 있다.

[0055] 일부 실시예들에서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제2 리본 부분(403)으로부터의 분리와 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께의 상기 감지 사이의 상기 시간 지연으로 인해, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 효과들이 상기 두께 센서(301)에 의해 즉시 인식되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 두께 센서(301)가 상기 위치들(303, 305, 307 및/또는 309)에 근접하고 상기 이동 방향(154)에 대해 그로부터 하류에 위치할 수 있는 도 3에서, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)에 의해 유발될 수 있는 두께 변화들이 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌한 직후에 상기 두께 센서(301)에 의해 감지될 수 있다. 그러나, 도 4에서, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리로 인한 상기 시간 지연은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 상기 제2 리본 부분(403)에 충돌할 때와 상기 결과적인 두께 변화들이 상기 두께 센서(301)에 의해 감지될 때 사이의 시간 지연을 초래할 수 있다. 그럼으로써, 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 시간 지연을 상기 레이저 장치(335)에 전송된 상기 명령들에 통합할 수 있다. 예를 들어, 상기 시간 지연을 통합하는 상기 제어 장비(325)가 없는 경우, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)은 목표 두께 변화를 달성하기 위해 원하는 것보다 더 큰 출력 및/또는 시간 동안 상기 제2 리본 부분(403)에 충돌하도록 지향될 수 있고, 따라서 상기 두께 변화가 상기 목표 두께 프로파일(331)을 초과하도록 야기할 수 있다.

[0056] 일부 실시예들에서, 상기 시간 지연에 기초해 적합한 레이저 출력으로 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)을 지향시키기 위해, 시간 지연 프로파일(431)이 상기 제어 장비(325)에 전송될 수 있다. 예를 들어, 상기 시간 지연 프로파일(431)은 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 상기 제1 리본 부분(401)의 분리와 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께 감지 사이에 경과된 시간 및/또는 상기 제2 리본 부분(403) 상의 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 충돌과 상기 제2 리본 부분(403)의 상기 두께의 상기 후속 감지 사이에 경과된 시간을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 경과된 시간은 예를 들어 타이밍 장비에 의해 측정된 실제 관찰 시간을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 경과된 시간은 수학적 모델, 예를 들어, 예상된 시간 경과(예를 들어, 상기 분리 또는 충돌과 상기 감지 사이) 또는 하나 이상의 주기 동안의 평균 시간 경과(예를 들어, 상기 분리 또는 충돌과 상기 감지 사이) 중 하나 또는 모두에 기초하여 제공될 수 있다. 몇 가지 이유로 상기 시간 지연 프로파일(431)을 상기 제어 장비(325)에 제공하는 것이 이익일 수 있다. 예를 들어, 상기 시간 지연은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 상기 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 지향될 때(예를 들어, 이것은 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 위치에서의 온도를 증가시키고 점성을 감소시킬 수 있고, 따라서 그 위치에서 두께를 변화시킬 수 있다)와 상기 결과적인 두께 변화가 상기 두께 센서(301)에 의해 감지될 때 사이의 시간을 나타낼 수 있다. 도 3을 참조하면, 상기 두께 센서(301)가 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 상기 위치와 근접한 위치에서 상기 두께를 측정하는 것으로 인해, 상기 시간 지연은 무시될 수 있고, 이로 인해 상기 두께 센서(301)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 적용 직후에 두께 변화들을 감지할 수 있다. 도 4를 참조하면, 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리와 상기 두께 센서(301)의 상기 두께 감지 사이의 상기 시간 지연은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌할 때와 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 결과적인 두께 변화가 상기 두께 센서(301)에 의해 감지될 수 있을 때 사이의 시간을 증가시킬 수 있다. 그럼으로써, 상기 시간 지연 프로파일(431)을 통합함에 의해, 상기 제어 장비(325)는 보다 정확

한 두께 변화를 달성하고 상기 목표 두께 프로파일(331)을 초과할 가능성을 제한할 수 있다.

[0057] 도 5를 참조하면, 개략적인 흐름도(501)는 상기 제어 장비(325)를 사용하여 유리 리본을 제조하는 방법들을 예시한다. 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 두께의 크기 변화에 대한 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 영향 및 상기 두께 변화의 속도를 설명할 수 있다. 예를 들어, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 대한 상기 레이저 장치(335)의 영향은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 출력을 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 위치에서의 두께 변화와 상관시키는 이득 매트릭스(gain matrix)로 모델링 될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 장치(335)의 상기 영향을 상기 이득 매트릭스로 모델링하는 것에 의해, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)과 충돌하는 위치에서 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)에 의해 유발될 수 있는 상기 두께 변화와, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)에 의해 충돌되지 않을 수 있는 주변 위치들이 함께 모델링 될 수 있다. 상기 이득 매트릭스는 변수 K_{mxp}에 의해 표현될 수 있고, m x p의 차원을 가질 수 있고, 여기서 m은 상기 두께 센서(301)에 의해 두께가 측정될 수 있는 위치들(예를 들어, 도 3 에서의 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309) 및/또는 도 4에서의 위치들(411, 413, 415 및/또는 417))의 총 개수를 나타내는 변수이다. 상기 변수 p는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 위치들(예를 들어, 도 3 내지 4의 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309))의 총 개수를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 변수 p는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 충돌하는 영역, 상기 빔 지향 장치(339)에 의해 결정되는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 해상도, 및 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 가로지르는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 이동 속도(예를 들어, 상기 빔 지향 장치(339)에 의해 이동될 때)를 통합할 수 있다.

[0058] 일부 실시예들에서, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 출력의 변화들에 대한 반응이 모델링 될 수 있다. 예를 들어, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 적용과 상기 두께 변화가 달성될 때까지 사이의 시간 지연과 함께 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 레이저 출력을 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 위치에서의 두께 변화와 관련하여 관련시키는 프로세스 모델이 플롯 될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)가 상기 목표 두께를 초과하는 두께를 포함하는 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나 이상을 식별하는 경우, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 적절한 레이저 출력을 결정할 수 있고 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 지향되도록 야기할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 프로세스 모델은 상기 레이저 빔이(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367) 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 상기 위치와 근접한 위치들에서의 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 영향을 결정하는 두께 프로파일을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 3 내지 4를 참조하여, 상기 제2 레이저 빔(353)이 상기 제2 위치(305)에 충돌하면, 상기 프로세스 모델은 두께 변화를 경험할 수 있는 근접한 위치들(예를 들어, 상기 제1 위치(303), 상기 제3 위치(307), 등)과 함께 상기 제2 위치(305)에서의 두께들의 두께 프로파일을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 동적 프로세스 모델은 실험 데이터를 사용하는 제1 법칙(first principal) 또는 경험적(empirical) 모델링 중 하나 이상에 의해 얻어질 수 있다. 예를 들어, 상기 경험적 모델링 접근법으로, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 367)의 출력은 각각의 레이저 출력에 대해 모델링 된 출력값(예를 들어, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께 프로파일)으로 단계화 될 수 있다. 상기 모델은 다음과 같이 식 (1) 및 (2)로 나타낼 수 있다.

[0059] (1) $$\dot{x}_c = A_c x_c(t) + B_c u(t)$$

[0060] (2) $$y(t) = C_c x_c(t-\Theta)$$

[0061] 식 (1) 및 (2)에서, 변수 t는 초로 표시되는 시간 변수이고, 변수 Θ는 초로 표시되는 시간 지연(예를 들어, 또는 데드 타임(dead-time))이다. 일부 실시예들에서, 상기 시간 지연(Θ)은 상기 프로세스(예를 들어, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께)가 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 영향에 반응하여 변화하기 시작하는 시간의 양을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 도 4를 참조하여, 상기 시간 지연

(Θ)은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 영향과 상기 두께 센서(301)에 의해 감지되는 상기 두께 사이의 시간의 양을 나타낼 수 있다. 상기 변수 $\dot{x}_c$는 상태 벡터이며 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 가로질러 서로 다른 위치들(예를 들어, 도 3의 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 및/또는 도 4의 상기 위치들(411, 413, 415, 또는 417))에서 상기 두께 위치들의 벡터를 나타낼 수 있다. 상기 변수 y는 출력값이며 상기 측정된 두께 위치(예를 들어, 도 3의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)의 상기 두께 및/또는 도 4의 상기 위치들(411, 413, 415, 또는 417)의 상기 두께)들의 벡터를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 변수들 $\dot{x}_c$ 및 y는 상기 시간 지연(Θ) 에 의해 시간적으로 분리된 동일한 데이터를 포함할 수 있다. 상기 변수 u는 입력값이며 예를 들어, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 영향으로 인한, 레이저 출력으로 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 적용되는 상기 다른 위치들의 벡터를 나타낼 수 있다. 상기 시스템 행렬들은 아래와 같이 식 (3), (4), 및 (5) 로 나타낼 수 있다.

[0062] (3) $$A_c = -\frac{1}{\tau} I_{mxm}$$

[0063] (4) $$B_c = -A_c K_{[mxp]}$$

[0064] (5) $$C_c = I_{mxm}$$

[0065] 식 (3) 및 식 (5)에서, 변수 I 는 m x m 단위 행렬이다. 식 (4)에서, 상기 변수 K_{mxp} 는 상기 이득 행렬을 나타낼 수 있고 m x p의 차원을 가질 수 있고, 여기서 m은 상기 두께 센서(301)에 의해 두께가 측정될 수 있는 위치들(예를 들어, 도 3의 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 및/또는 도 4의 상기 위치들(411, 413, 415, 또는 417))의 총 개수를 나타내는 변수이다. 상기 변수 p는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 위치들(예를 들어, 도 3 내지 4의 위치들(303, 305, 307, 또는 309))의 총 개수를 나타낼 수 있다. 따라서 상기 모델(예를 들어, 식 (1) 및 식 (2) 에 의해 표현됨)은 아래와 같이 식 (6) 및 (7) 로 표현되는 표준 이산화 기술을 사용하여 이산-시간(discrete-time) 공간 형식으로 변환될 수 있다.

[0066] (6) $$x_m(k+1) = A_m x_m(k) + B_m u(k)$$

[0067] (7) $$y_m(k) = C_m x_m(k-\Theta)$$

[0068] 식 (6) 및 식 (7)에서, 상기 변수 k 는 이산 시간 단계이다. 일부 실시예들에서, 도 4를 참조하면, 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 상기 제1 리본 부분(401)이 분리된 후에 상기 두께 센서(301)에 의해 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께가 측정될 때, 상기 이산 시간 단계(k)는 프로세스 주기 시간(cycle time)의 곱일 수 있다. 예를 들어, 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 위치에 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 충돌과 상기 위치의 상기 두께 감지 사이에 일정 시간(예를 들어, 상기 프로세스 주기 시간)이 경과될 수 있다(예를 들어, 여기서 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리 및 이송은 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 충돌과 상기 두께 감지 사이의 시간에 발생할 수 있음). 일부 실시예들에서, 도 3을 참조하면, 상기 분리에 앞서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께가 상기 두께 센서(301)에 의해 감지될 때, 상기 이산 시간 단계(k)는 더 짧을 수 있다. 예를 들어, 상기 이산 시간 단계(k)는 상기 두께 센서(301)가 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 상기 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 상기 위치에 가까운 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309)에서 두께를 감지하는 것(예를 들어, 임의의 분리 이전에) 때문에 더 짧을 수 있다.

[0069] 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께에 영향을 미칠 수 있는 교란들, 예를 들어, 도 2의 상기 방향(156)으로 흐르는 상기 용융 재료(121)의 일정하지 않은 유량, 온도 변화들 등을 처리할 수 있다. 추가로, 또는 대안적으로, 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 레이저 출력에 대한 제한들을 처리할 수 있고,

이로 인해 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 최대 레이저 출력이 초과되지 않도록 한다. 이러한 교란들과 레이저 출력 제한들을 처리하기 위해서, 상기 제어 장비(325)는 모델 예측 제어를 포함할 수 있다. 상기 모델 예측 제어는 하나 이상의 제한들, 예를 들어, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 레이저 출력을 만족시키면서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 제어할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 모델 예측 제어는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 미리 시뮬레이션하고 상기 레이저 장치(335)의 작동, 예를 들어, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 레이저 출력 및 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 상기 위치를 계산할 수 있다. 상기 모델 예측 제어는 따라서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 목표 두께 프로파일을 달성할 수 있고, 교란들(예를 들어, 도 2의 상기 방향(156)으로 흐르는 상기 용융 재료(121)의 일정하지 않은 유량, 온도 변화들 등)의 가능성 및/또는 상기 레이저 출력에 대한 제한들에도 불구하고 상기 목표 두께 프로파일을 유지할 수 있다. 일부 실시예들에서,

상기 모델 예측 제어는 상기 시간 지연(Θ) 및 상기 이산 시간 단계(k)를 설명하기 위해 지연 보상 방식, 예를 들어 스미스 예측기(Smith predictor)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 제어 장비(325)는 상기 이산-시간 공간 식들 (6) 및 (7)에 기초한 지연 없는 모델 예측 제어(503)를 포함할 수 있다. 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 상기 프로세스의 미래의 거동, 예를 들어 미래의 특정 시간들에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 예측된 두께를 예측할 수 있다. 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 상이한 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)에 대한 목표 두께 범위들을 포함할 수 있는 세트포인트(502) 또는 기준 함수(reference function)를 수신할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 예측된 미래 거동에 기초하여, 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 상기 레이저 장치(335)의 상기 동작들(예를 들어, 상기 레이저 출력, 상기 충돌 위치 등)을 최적화할 수 있다. 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 다음과 같은 식 (8) 및 (9)로 나타낼 수 있다:

[0070] (8) $x(k+1)=Ax(k)+Bu(k)$

[0071] (9) $y(k)=Cx(k)$

[0072] 일부 실시예들에서, 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 부분적으로 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)의 미래의 일정 기간 동안의 목표 두께 프로파일을 설정함으로써 설계될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)의 상기 목표 두께 프로파일은 상기 목표 두께 프로파일(331)의 일부로서 상기 제어 장비(325)에 제공될 수 있다. 예를 들어, 제1 목표 두께 범위는 상기 제1 위치(303)에 대해 설정될 수 있고, 제2 목표 두께 범위는 상기 제2 위치(305)에 대해 설정될 수 있고, 제3 목표 두께 범위는 상기 제3 위치(307)에 대해 설정될 수 있고, 그리고 제4 목표 두께 범위는 상기 제4 위치(309)에 대해 설정될 수 있다. 상기 목표 두께 범위들은 아래의 식 (10)의 변수 S에 의해 표현될 수 있다. 변수 S는 각 행이 상기 목표 두께 범위들 중 하나를 포함하고, 각 열이 미래의 일정 기간의 목표 두께 범위를 포함하는 행렬 S에 의해 표현될 수 있다. 예를 들어, 하나의 행은 일정 기간에 걸쳐 상기 제1 위치(303)에서 목표 두께 범위들을 포함할 수 있고, 하나의 열은 제1 시간에 상기 제1 위치(303)에서의 목표 두께 범위를 포함하고, 인접한 열은 상기 제1 시간 이후의 제2 시간에 상기 제1 위치(303)에서의 목표 두께 범위 등을 포함할 수 있다. 또한, 식 (10)의 변수 X는 감지된 두께들(예를 들어, 상기 두께 센서(301)에 의해 감지된)의 행렬을 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 변수 X는 각 행이 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나에서 감지된 두께를 포함할 수 있고, 각 열은 식 (8) 및 (9)에 기초하여 미래의 일정 기간에 시뮬레이션 된 두께를 포함할 수 있는 행렬 X에 의해 표현될 수 있다. 예를 들어, 하나의 행은 일정 기간에 걸쳐 상기 제1 위치(303)에서 감지된 두께를 포함할 수 있으며, 여기서 하나의 열은 제1 시간에 상기 제1 위치(303)에서 감지된 두께들을 포함할 수 있고, 인접한 열은 제2 시간에 상기 제1 위치(303)에서 감지된 두께들 등을 포함할 수 있다. 비용에 관한 이차 함수 J는 아래의 식 (10)에 의해 표현될 수 있다:

[0073] (10) $J=(S-X)^{T}Q(S-X)+U^{T}RU$

[0074] (11) $f(U) \leq C$

[0075] 식 (10)에서, 상기 변수들 Q 및 R은, 예를 들어, 상기 감지된 두께들(예를 들어, 행렬 X에 의해 표현되는)이 상기 목표 두께들(예를 들어, 행렬 S에 의해 표현되는) 및 상기 레이저 출력 노력(예를 들어, 행렬 U에 의해 표현되는)과 각각 다른 경우에 상기 감지된 두께와 상기 목표 두께 사이의 편차에 페널티를 줄 수 있는 가중치 행렬

들을 나타낸다. 예를 들어, 상기 변수 Q는 상기 감지된 두께와 상기 목표 두께 사이의 상기 편차에 페널티를 주는 반면, 상기 변수 R은 상기 두께를 상기 목표 두께로 구동하는데 사용되는 출력량에 페널티를 준다. 식 (10) 및 (11)에서, 상기 변수 U는 일련의 레이저 출력의 이동들을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 변수 U는 행렬을 나타낼 수 있고, 여기서의 각 행은 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나에서의 레이저 출력을 포함할 수 있고, 변수 U의 각 열은 미래의 일정 기간의 레이저 출력(예를 들어, 제1 열은 이산 시간 단계 k에서의 레이저 출력을 포함할 수 있고, 제2 열은 이산 시간 단계 k+1에서의 레이저 출력을 포함할 수 있고, 등)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 식 (11)에 의해 표현된 것처럼, 변수 U는 상기 비용에 관한 이차 함수 J를 최소화하기 위해, 예를 들어, 약 0에서 상기 레이저 장치(335)의 최대 레이저 출력 등급까지의 범위 내의 레이저 출력(예를 들어, 변수 U)으로 선택될 수 있다. 식 (11)는 상기 레이저에 전달되는 상기 출력량의 상한 및 하한을 제공한다. 상기 알고리즘들은 식 (8), (9), 및 (10)이 충족되도록 J를 최소화하는 상기 행렬 U를 찾기 위해 최적화를 실행할 수 있다. 따라서, 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 상기 최대 레이저 출력 등급을 초과하지 않을 수는 있지만, 미리 정해진 시간 내에 상기 두께 변화를 일으킬 만큼 충분히 강력한 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 적절한 레이저 출력을 결정할 수 있다. 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 따라서 상기 레이저 출력 및 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 각 이산 시간 단계 k 에서 가해지는 상기 위치를 제어할 수 있다. 이러한 방식으로, 일부 실시예들에서, 유리 리본을 제조하는 방법들은, 예를 들어, 상기 위치의 해당 두께가 상기 목표 두께를 초과하는 경우에, 두께 변화율 및 상기 해당 두께와 상기 목표 두께 사이의 두께 차이를 레이저 출력과 상관시키는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 미래에 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309)에 가해지는 상기 레이저 출력을 포함할 수 있는 U로 표현되는 상기 레이저 출력이 이동하는 동안, 식 (10)의 상기 가중치 행렬들(예를 들어, Q 및 R)은 상기 두께 차이(예를 들어, 상기 감지된 두께와 상기 목표 두께 사이의 상기 편차)에 페널티를 줄 수 있고, 상기 변수 R은 상기 레이저 출력 노력에 페널티를 줄 수 있다. 일부 실시예들에서, 더 큰 변수 R을 선택하는 것은 상기 알고리즘이 모든 샘플 순간 k에 대해 더 작은 레이저 출력 이동들을 사용하게 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 더 큰 및/또는 더 빠른 레이저 출력 이동들을 피하기 위해 상기 더 큰 변수 R이 사용될 수 있다. 유사하게, 더 작은 변수 R을 선택하는 것은 상기 알고리즘이 모든 샘플 순간 k에 대해 더 큰 레이저 출력 이동들을 사용하게 할 수 있고, 따라서 상기 목표 두께를 달성하기 위해 더 크고 더 빠른 레이저 출력 이동들을 촉진시킬 수 있다.

상기 두께 변화율은 식 (1) 및 (2)에 의해 표현될 수 있고, 여기서 상기 출력값 $\boldsymbol{y}$은 상기 측정된 두께 위치들의 상기 벡터 및, 따라서 상기 입력값 $\boldsymbol{u}$(예를 들어, 위치에 레이저 출력으로 가해지는 상기 레이저 빔)에 대한 응답으로 상기 두께의 상기 변화율을 나타낼 수 있다.

[0076] 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)에 기초하여 모델 시뮬레이션(505)을 수행할 수 있다. 예를 들어, 상기 모델 시뮬레이션(505)은 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)에 기초하여 상기 프로세스 동작을 추정하고 식 (8)의 상기 상태 벡터 $\boldsymbol{x(k)}$를 시뮬레이션 할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 모델 시뮬레이션(505)은 $\boldsymbol{x(k)}$에 의해 표현될 수 있는 지연 없는 예측 상태 벡터(506)를 생성할 수 있다. 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)는 미래의 하나 이상의 이산 시간 단계들 k에 대해 상기 위치들에서 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 예측된 두께들을 표현할 수 있다. 일부 실시예들에서, 도 4의 상기 시간 지연(예를 들어, 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 충돌 후이지만 상기 두께 센서(301)에 의해 상기 두께가 측정되기 전에 발생하는 상기 분리의 결과로서)을 처리하기 위해, 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)(예를 들어, $\boldsymbol{x(k)}$)는 지연 상태(510), 예를 들어, $\boldsymbol{x_d(k-\Theta)}$, 를 생성하기 위해 시간 지연(509)(예를 들어, 시간 지연(Θ))를 거칠 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 이산 시간 k에서 상기 두께 센서(301)에 의해 감지된 상기 실제 두께(예를 들어, 측정된 상태 벡터)는 시간 지연된 전체 시스템 상태(508)(예를 들어, 상기 두께 센서(301)에 의해 감지된 상기 실제 두께, 상기 시간 지연(Θ), 및 모든 잠재적인 프로세스 교란들을 포함하는)를 생성할 수 있는 상기 시간 지연(507)을 포함하는 프로세스에 의해 표현될 수 있다. 상기 시간 지연된 전체 시스템 상태(508)(예를 들어, 상기 측정된 상태 벡터)는 $\boldsymbol{x_m(k-\Theta)}$에 의해 표현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 507으로부터 상기 측정된 상태 벡터(508)(예를 들어, $\boldsymbol{x_m(k-\Theta)}$)와 상기 시간 지연(509)을 포함하는 상기 예측된 상태 벡터(510)(예를 들어, $\boldsymbol{x_d(k-\Theta)}$) 사이에 비교(511)가 이루어질 수 있으

며, 그 결과는 아래의 식 (12)으로 표현된다:

[0077] (12) $x_e(k)=x_m(k-\theta)-x_d(k-\theta)$

[0078] 상기 결과적인 차이, $x_e(k)$, 는 상기 감지된 두께들(예를 들어, 상기 두께 센서(301)로부터)과 상기 예측된 두께들 사이의 차이를 나타내는 상기 지연 상태 예측 오차이다. 일부 실시예들에서, 상기 오차는 교란들(예를 들어, 도 2의 상기 방향(156)으로 흐르는 상기 용융 재료(121)의 일정하지 않은 유량, 온도 변화들 등) 또는 상기 모델 시뮬레이션(505)의 결함들로부터 비롯될 수 있다. 509로부터의 상기 시간 지연을 포함하는 상기 예측된 상태 벡터(예를 들어, $x_d(k-\theta)$)가 507으로부터의 상기 측정된 상태 벡터(예를 들어, $x_m(k-\theta)$)와 완벽하게 일치하면, 상기 지연 상태 예측 오차 $x_e(k)$는 0일 수 있다. 그러나 509로부터의 상기 시간 지연을 포함하는 상기 예측된 상태 벡터(예를 들어, $x_d(k-\theta)$)가 507으로부터의 상기 측정된 상태 벡터(예를 들어, $x_m(k-\theta)$)와 다르면, 상기 지연 상태 예측 오차 $x_e(k)$는 0이 아닐 수 있고, (예를 들어, 특정 주파수 범위들을 걸러 내기 위해) 필터(513)에 의해 필터링 될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 필터(513)는 $x_f(k)$에 의해 표현될 수 있는 필터링 된 지연 상태 예측 오차(521)를 생성할 수 있다. 상기 필터링 된 지연 상태 예측 오차(521)는 $\tilde{x}(k)$로 표현되는 수정된 상태 벡터(527)를 생성하기 위해 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)(예를 들어, $x(k)$)에 더해질 수 있다. 상기 수정된 상태 벡터(527)는 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)에 의해 수신될 수 있는 피드백을 포함할 수 있다. 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)는 따라서 상기 세트포인트(502) 및 상기 수정된 상태 벡터(527)를 수신할 수 있고 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께가 상기 세트포인트(502)에 가까워지도록 상기 레이저 장치(335)를 조정할 수 있다.

[0079] 일부 실시예들에서, 도 4의 상기 제어 장비(325)는 상기 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 대한 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)의 상기 충돌과 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 상기 제1 리본 부분(401)이 분리된 후 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께를 상기 감지하는 것 사이의 상기 상대적으로 큰 시간 지연으로 인해 도 5의 제어 방식을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 5의 상기 제어 방식은 후에 상기 시간 지연(509)을 거쳐 상기 측정된 상태 벡터(508)와 비교되는 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)를 생성하기 위해 상기 모델 시뮬레이션(505)을 통합하는 상기 스미스 예측기를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 시간 지연은 도 4의 상기 시간 지연보다 작을 수 있다. 예를 들어, 도 3을 참조하면, 상기 두께 센서(301)가 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 상기 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하는 위치에 근접한 위치들에서 상기 두께를 감지하도록 배열될 때(예를 들어, 여기서 상기 두께 감지와 상기 레이저 빔의 충돌은 모두 상기 제1 리본 부분(401)을 분리하기 전에 발생한다), 상기 시간 지연은 최소이거나 거의 0일 수 있고, 상기 제어 장비(325)는 상기 스미스 예측기, 예를 들어, 후에 상기 시간 지연(509)을 거치는 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)를 생성하는 상기 모델 시뮬레이션(505)을 포함하지 않을 수 있다. 오히려, 일부 실시예들에서, 도 3의 상기 제어 장비는 상기 지연 없는 모델 예측 제어(503)를 포함할 수 있다.

[0080] 도 6을 참조하면, 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 가열(예를 들어, 점성을 감소시키고 두께를 줄이기 위해) 또는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 냉각(예를 들어, 위치에서의 점성을 증가시키고 두께를 늘이기 위해) 중 하나 또는 모두를 제어할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 도 6의 상기 유리 제조 장치(100)는 어느 점에서는 도 3 및/또는 도 4의 상기 유리 제조 장치(100)와 유사할 수 있다. 예를 들어, 도 6의 상기 유리 제조 장치(100)는 상기 제2 리본 부분으로부터 상기 제1 리본 부분(401)을 분리하기 전에 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께를 측정할 수 있는 상기 두께 센서(301)(예를 들어, 도 4에 도시된 것과 같이)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있고, 상기 두께 프로파일(321)을 상기 통신 라인(327)을 통해 상기 제어 장비(325)로 전송할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 두께 프로파일(321)을 수신할 수 있고, 상기 두께 프로파일(321)과 상기 목표 두께 프로파일(331) 사이의 비교에 기초하여, 상기 제어 장비(325)는 조정 장치(601)에 명령들을 전송할 수 있다.

[0081] 일부 실시예들에서, 상기 조정 장치(601)는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 가열 또는 냉각하기 위한 하나

이상의 구조들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 조정 장치(601)는 상기 레이저 장치(335)를 포함할 수 있다. 상기 레이저 장치(335)는 상기 레이저 생성기(337) 및 상기 빔 지향 장치(339)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 생성기(337)는 상기 위치(303, 305, 307, 또는 309)에서의 점성을 감소시킬 수 있는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309)을 향해 지향되는 레이저 빔을 방출할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 조정 장치(601)는 냉각 장치(603)를 포함할 수 있다. 상기 냉각 장치(603)는, 예를 들어, 냉각 튜브의 벽에 형성된 하나 이상의 개구들을 갖는 상기 냉각 튜브를 포함할 수 있다. 상기 냉각 튜브는 속이 비어있을 수 있고, 냉각 유체, 예컨대 공기를 수용할 수 있다. 상기 냉각 유체는 상기 냉각 튜브의 상기 벽에 있는 상기 하나 이상의 개구들을 통해 흐를 수 있고 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 지향될 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 냉각 유체를 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나를 향해 지향하는 것에 의하여, 상기 냉각 장치(603)는 상기 위치들(303, 305, 307, 또는 309) 중 하나에서 점성을 증가시킬 수 있고, 두께를 증가시킬 수 있다.

[0082] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 복수의 위치들 중 상기 제1 위치(303)를 식별하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 제1 위치(303)에서의 제1 해당 두께는 목표 두께를 초과한다. 예를 들어, 상기 제1 위치(303)에서의 상기 제1 해당 두께는 상기 두께 센서(301)에 의해 측정될 수 있고, 상기 제어 장비(325)는 상기 제1 해당 두께를 상기 목표 두께 프로파일(331)과 비교할 수 있다. 만약 상기 제1 해당 두께가 상기 목표 두께를 초과하면, 일부 실시예들에서, 방법들은 상기 제1 위치(303)에서의 점성을 감소시키고 상기 제1 위치(303)에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 상기 레이저 빔(351 및/또는 361)을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 레이저 빔(351 및/또는 361)을 지향하는 단계는 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241), 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243), 또는 상기 융합된 리본(245) 중 하나 이상을 향해 상기 레이저 빔(351 및/또는 361)을 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 복수의 위치들 중 상기 제2 위치(305)를 식별하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 제2 위치(305)에서의 제2 해당 두께는 상기 목표 두께보다 작다. 예를 들어, 상기 제2 위치(305)에서의 상기 제2 해당 두께는 상기 두께 센서(301)에 의해 측정될 수 있고, 상기 제어 장비(325)는 상기 제2 해당 두께를 상기 목표 두께 프로파일(331)의 상기 목표 두께와 비교할 수 있다. 만약 상기 제2 해당 두께가 상기 목표 두께보다 작으면, 일부 실시예들에서, 특정 위치에서의 점성을 증가시키고 그 위치에서의 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 냉각 유체(605, 607, 609, 611, 621, 623, 625, 및/또는 627)가 지향될 수 있다. 상기 냉각 유체(605, 607, 609, 611, 621, 623, 625, 및/또는 627)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)과 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 동일한 위치들을 향해 지향될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 냉각 유체(605, 607, 609, 및/또는 611)는 상기 융합된 리본(245)을 향해 지향될 수 있는 반면, 일부 실시예들에서, 상기 냉각 유체(621, 623, 625, 및/또는 627)는 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 또는 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243) 중 하나 또는 모두를 향해 지향될 수 있다.

[0083] 일부 실시예들에서, 상기 제2 위치(305)가 상기 목표 두께보다 작은 제2 해당 두께를 포함하는 것으로 식별되면, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 제2 위치(305)에서의 점성을 증가시키고 상기 제2 위치(305)에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본(103)을 향해 냉각 유체(607 및/또는 623)를 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 냉각 유체(607)를 지향하는 단계는 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241), 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243), 또는 상기 융합된 리본(245) 중 하나 이상을 향해 상기 냉각 유체(607 및/또는 623)를 지향하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 냉각 유체(623)는 상기 제1 둑(203) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제1 스트림(241) 또는 상기 제2 둑(204) 위로 흐르는 유리 형성 재료의 상기 제2 스트림(243)을 향해 지향될 수 있고, 반면 상기 냉각 유체(607)는 상기 융합된 리본(245)의 제2 위치(305)를 향해 지향될 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 제어 장비(325)는 특정 위치에서의 두께가 목표 두께를 초과하는지, 또는 목표 두께보다 작은지 여부에 기초하여 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 두께의 변화를 유발할 수 있다. 예를 들어, 상기 측정된 두께가 특정 위치에서의 목표 두께를 초과할 때, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 빔(351, 353, 355, 357, 361, 363, 365, 및/또는 367)이 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하게 할 수 있고, 점성을 감소시켜, 그 위치에서의 두께를 감소시키고 상기 목표 두께를 달성할 수 있다. 상기 측정된 두께가 특정 위치에서의 목표 두께보다 작을 때, 상기 제어 장비는 상기 냉각 유체(605, 607, 609, 611, 621, 623, 625, 및/또는 627)가 유리 형성 재료의 상기 리본(103)에 충돌하게 할 수 있고, 점성을 증가시켜, 그 위치에서의 두께를 증가시키고 상기 목표 두께를 달성할 수 있다.

[0084] 도 7을 참조하면, 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)는 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 분리된 상기 제1 리본 부분(401)의 감지된 두께에 기초하여 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 가열(예를 들어, 점성을 감소시키고 두께를 감소시키기 위해) 또는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 냉각(예를 들어, 위치에서의 점성을 증가시키고 두께를 증가시키기 위해) 중 하나 이상을 제어할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 도 7의 상기 유리 제조 장치(100)는 어느 점에서는 도 3, 도 4, 및 도 6의 상기 유리 제조 장치(100)와 유사할 수 있다. 예를 들어, 도 7의 상기 유리 제조 장치(100)는 상기 제1 리본 부분(401)을 상기 제2 리본 부분(403)으로부터 분리한 후에 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께를 측정할 수 있는 상기 두께 센서(301)를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 두께 센서(301)는 상기 두께 프로파일(321)을 생성할 수 있고, 상기 두께 프로파일(321)을 상기 통신 라인(327)을 통해 상기 제어 장비(325)에 전송할 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 목표 두께 프로파일(331)을 수신할 수 있고, 상기 두께 프로파일(321)과 상기 목표 두께 프로파일(331) 사이의 비교에 기초하여, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 장치(335) 및 상기 냉각 장치(603)를 포함할 수 있는 상기 조정 장치(601)에 명령들을 전송할 수 있다.

[0085] 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 및/또는 309)에서의 예측된 두께들을 포함하는 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 예측된 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 상기 예측된 두께 프로파일은 도 5의 상기 모델 예측 제어(503)를 포함할 수 있다. 상기 모델 예측 제어(503)는 상기 프로세스의 미래 행동, 예를 들어, 상기 예측 두께 프로파일은 미래의 어느 시간들에서 상기 복수의 위치들(303, 305, 307, 또는 309)에서의 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 예측된 두께 프로파일을 예측할 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 위치(예를 들어, 상기 제1 위치에서의 해당 두께는 목표 두께를 초과한다)를 식별하는 단계는 상기 예측된 두께 프로파일을 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서의 상기 두께들과 비교하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 5를 참조하면, 상기 비교(511)는 상기 모델 예측 제어(503)로부터 획득될 수 있는 상기 예측된 상태 벡터(510)와 상기 두께 센서(301)에 의해 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서 감지된 상기 두께를 포함할 수 있는 상기 측정된 상태 벡터(508) 사이에서 만들어질 수 있다. 상기 비교에 기초하여, 차이가 존재하는 경우, 상기 차이는 상기 필터링 된 지연 상태 예측 오차(521)로 표현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 예측 두께 프로파일과 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417)에서 감지된 상기 두께 사이의 상기 비교에 기초하여 상기 제2 리본 부분(403)의 제2 두께 프로파일을 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 필터링 된 지연 상태 예측 오차(521)는 상기 수정된 상태 벡터(527)를 생성하기 위해 상기 지연 없는 예측 상태 벡터(506)에 더해질 수 있다. 상기 수정된 상태 벡터(527)는 상기 모델 예측 제어(503)에 전송될 수 있고, 이에 따라 상기 수정된 상태 벡터(527)에 기초하여 상기 모델 예측 제어(503)가 업데이트 될 수 있고, 따라서 제2 두께 프로파일을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제2 두께 프로파일은 업데이트된 두께 프로파일(예를 들어, 상기 초기에 예측된 두께 프로파일 이후)을 포함할 수 있고, 상기 제어 장비(325)는 상기 제2 두께 프로파일에 기초하여 상기 조정 장치(601)에 명령들을 전달할 수 있다.

[0086] 일부 실시예들에서, 상기 제어 장비(325)에 의해 상기 조정 장치(601)에 전달되는 상기 제어 명령들은 상기 제2 리본 부분(403)을 가열 및/또는 냉각 시키기 위한 명령들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 복수의 위치들(411, 413, 415, 또는 417) 중 제3 위치(415)를 식별하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 제3 위치에서의 제3 해당 두께는 상기 목표 두께보다 작을 수 있다. 일부 실시예들에서, 유리 리본의 제조 방법들은 상기 제4 위치(309)에서의 점성을 증가시키고 상기 제4 위치(309)에서의 상기 목표 두께를 달성하기 위해 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 제3 위치(415)에 대응하는 상기 제2 리본 부분(403)의 제4 위치(309)를 향해 냉각 유체, 예를 들어, 제3 냉각 유체(615 및/또는 625)를 지향하는 단계를 포함할 수 있다.

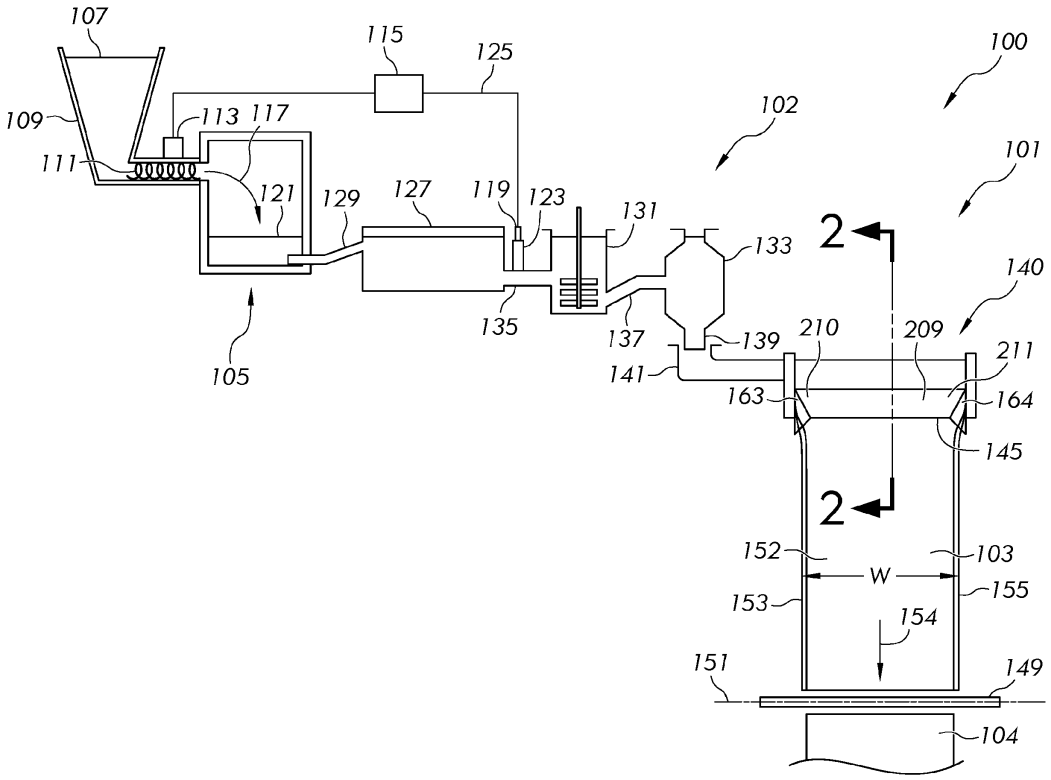
[0087] 상기 두께 센서(301)를 이용해 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 두께를 감지하는 것에 의해, 두께 프로파일이 생성되어 상기 제어 장비(325)에 전송될 수 있다. 상기 제어 장비(325)는 상기 감지된 두께 프로파일을 목표 두께 프로파일 및/또는 예측된 두께 프로파일과 비교할 수 있고, 위치에서의 상기 두께를 조정하기 위해 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 그 위치에서의 가열(예를 들어, 상기 레이저 장치(335)를 통해) 및/또는 냉각(예를 들어, 상기 냉각 장치(603)를 통해)을 유발시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 예를 들어, 도 3 및 도 6에 도시된 바와 같이, 상기 제어 장비(325)는 상기 두께 센서(301)에 의해 상기 두께가 감지되는 상기 위치와 유리 형성 재료의 상기 리본(103)의 상기 가열 및/또는 냉각이 발생하는 상기 위치 사이의 근접성으로 인해, 상기 두께의 실제-시간 제어를 포함할 수 있다. 추가적으로, 또는 대안적으로, 일부 실시예들에서, 도 4 및 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 제어 장비(325)는 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 두께가 상기 두께 센서(301)에 의해

감지되기 전의 상기 제1 리본 부분(401)의 상기 분리로 인한 시간 지연을 처리할 수 있다. 일부 실시예들에서, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 제어 장비(325)는 상기 레이저 장치(335) (및/또는 상기 냉각 장치(603))의 출력에 기초한 두께 반응, 상기 시간 지연, 입력값에 기초한 위치 및 둘러싸는 위치들에서의 상기 두께 변화, 등을 예측할 수 있는 예측된 두께 프로파일을 생성하는 것에 의해 상기 레이저 장치(335) (및/또는 상기 냉각 장치(603))의 상기 영향을 모델링 할 수 있다. 그럼으로써, 도 5의 상기 제어 방식은 상기 두께의 보다 정확한 제어를 제공할 수 있다.

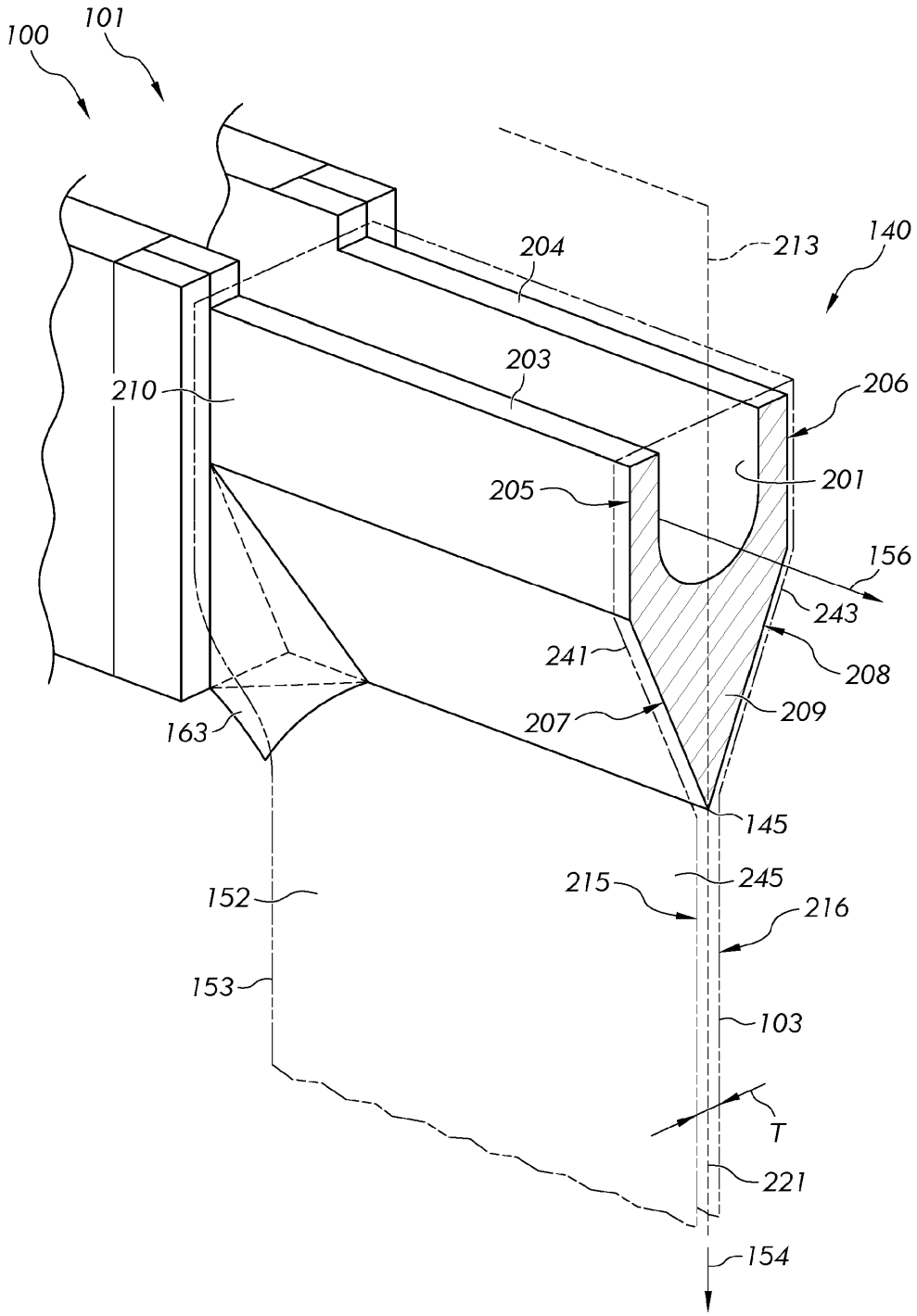
[0088] 특정 예시 및 구체적인 예들과 관련하여 다양한 실시예들이 상세히 설명되었지만, 본 개시 내용은 아래의 청구범위의 범위를 벗어나지 않고 개시된 특징들의 수많은 변형들 및 조합들이 가능하므로, 본 개시 내용은 이에 한정되는 것으로 고려되어서는 안된다는 것을 이해하여야 한다.

도면

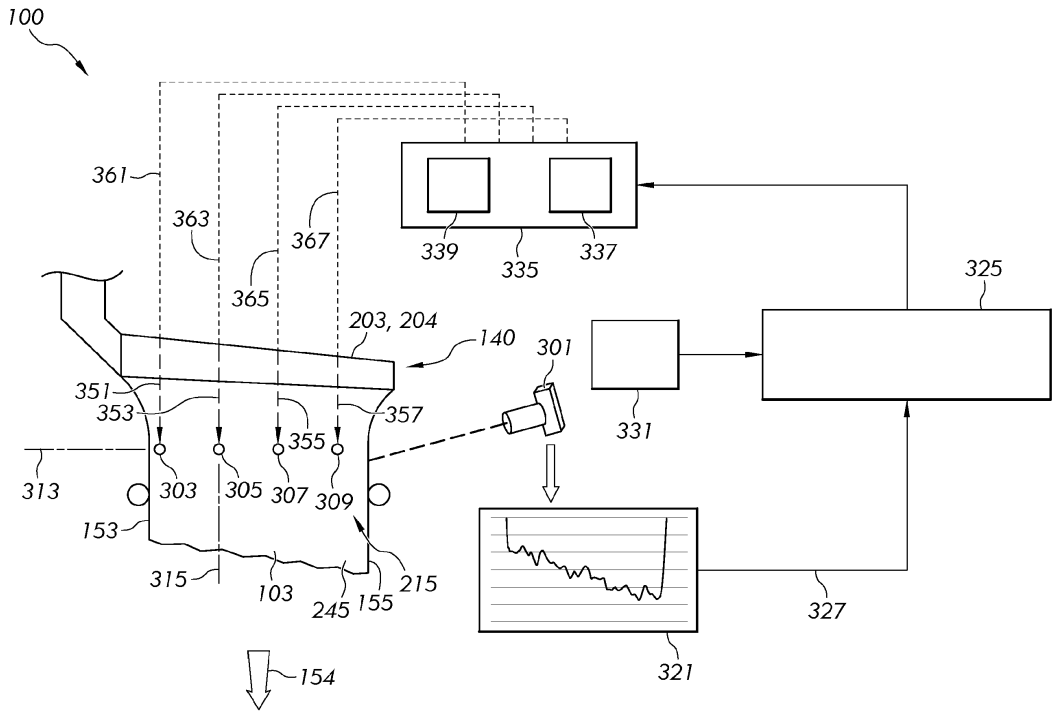
도면1



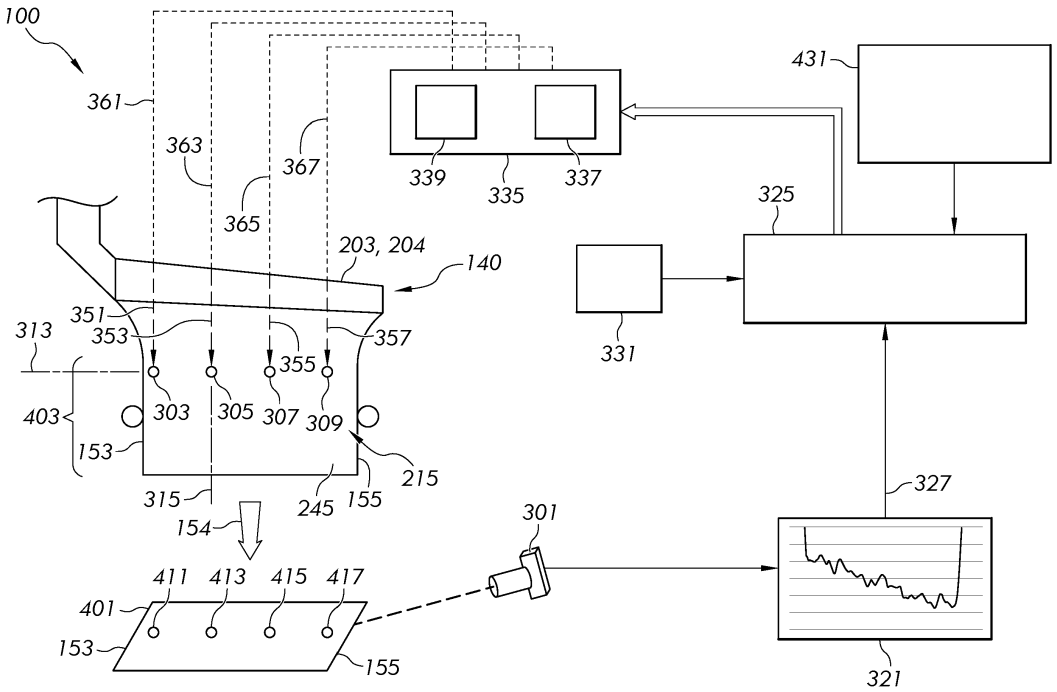
도면2


100
101
204
213
140
203
210
206
205
201
156
243
241
208
209
207
163
145
152
215
245
216
153
103
T
221
154

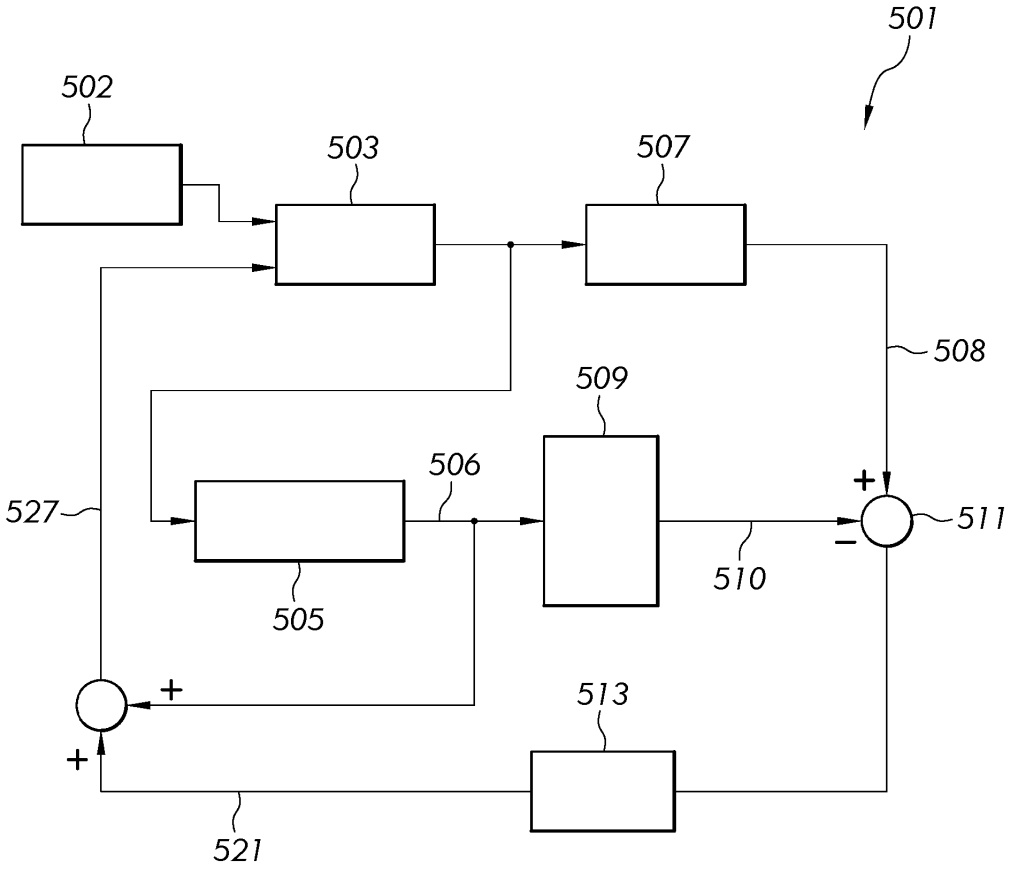
도면3


100
361
363
367
365
339
335
337
325
203, 204
140
301
351
353
357
355
331
313
303
305
307
309
153
315
103
245
155
215
327
321
154

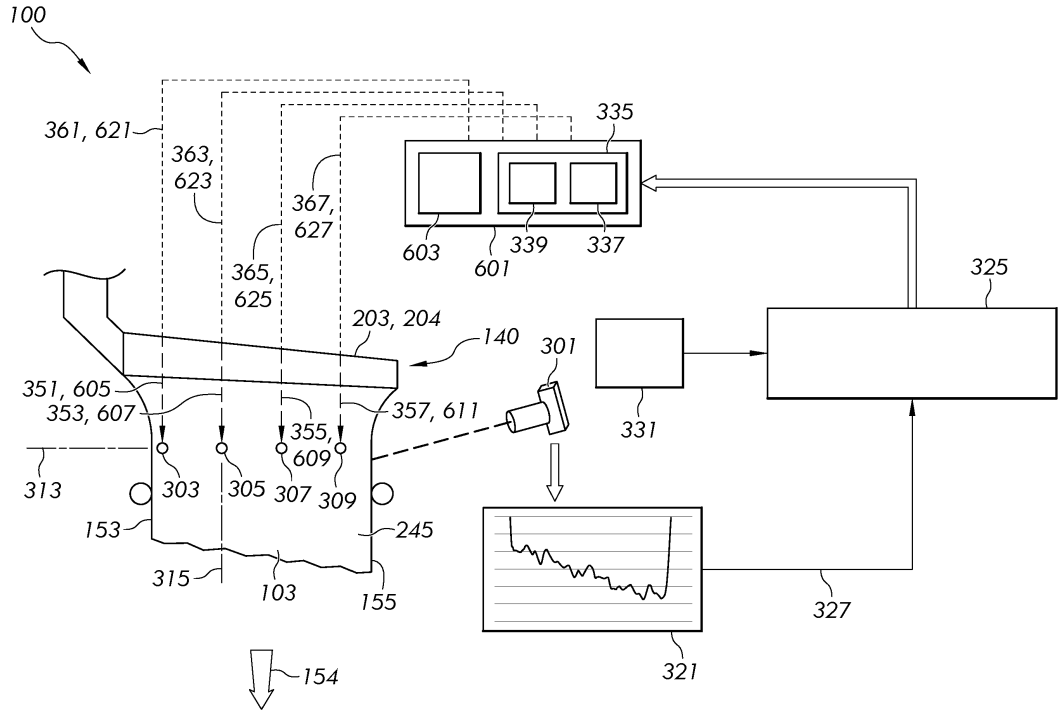
도면4


100
361
363
367
365
339
335
337
431
325
203, 204
140
331
351
353
357
355
313
403
303
305
307
309
153
315
245
155
215
327
154
301
411
413
415
417
401
153
155
321

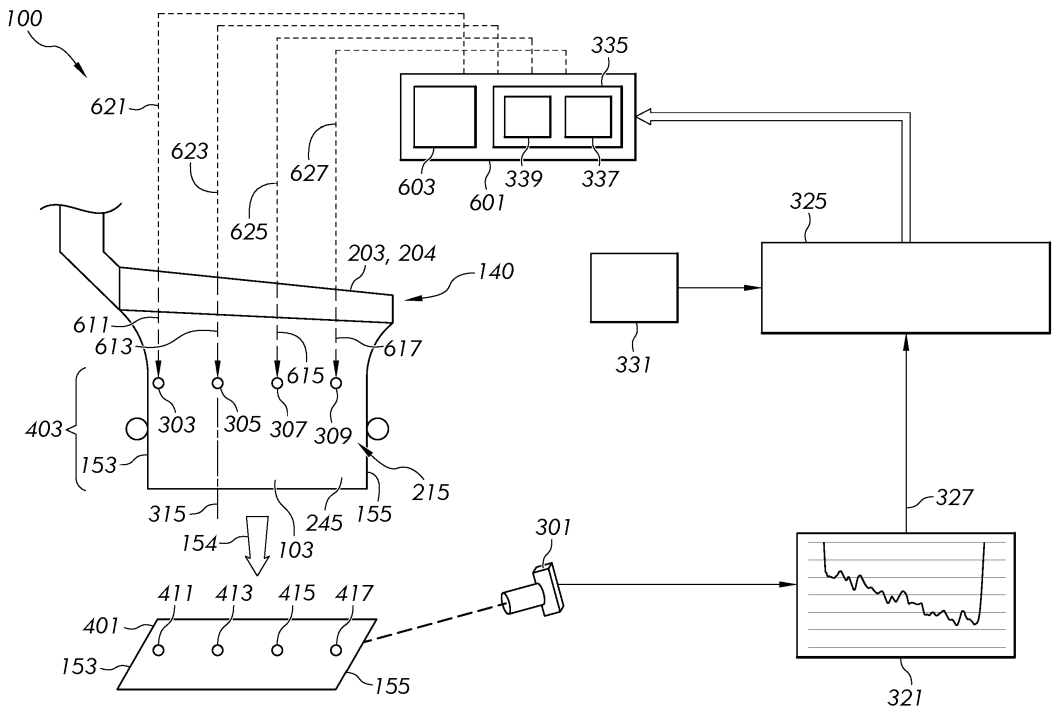
도면5


501
502
503
507
508
509
506
527
505
510
511
513
521
+
+
+
−

도면6


100
361, 621
363, 623
367, 627
365, 625
335
603
601
339
337
325
203, 204
140
301
351, 605
353, 607
357, 611
355, 609
331
313
303
305
307
309
153
245
315
103
155
327
321
154

도면7


100
621
623
625
627
335
603
601
339
337
325
331
203, 204
140
611
613
617
615
303
305
307
309
403
153
215
315
245
155
154
103
301
327
411
413
415
417
401
153
155
321