



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월25일
(11) 등록번호 10-2424577
(24) 등록일자 2022년07월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/082 (2006.01) H01S 3/0941 (2006.01)
H01S 3/16 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01S 3/082 (2013.01)
H01S 3/094003 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7017790
- (22) 출원일자(국제) 2017년12월06일
심사청구일자 2020년11월17일
- (85) 번역문제출일자 2019년06월20일
- (65) 공개번호 10-2019-0085090
- (43) 공개일자 2019년07월17일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/064954
- (87) 국제공개번호 WO 2018/106832
국제공개일자 2018년06월14일
- (30) 우선권주장
62/430,862 2016년12월06일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US08467425 B1*
US20100290108 A1*
US20110243166 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
뉴포트 코퍼레이션
미국 캘리포니아 어빈 디어리 애비뉴 1791
- (72) 발명자
스펜스 데이비드
미국 캘리포니아 95125 산호세 커트너 애버뉴 1152
황 보-치유안
미국 캘리포니아 94022 로스알토스 카시타 웨이 691
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인와이에스장

전체 청구항 수 : 총 13 항

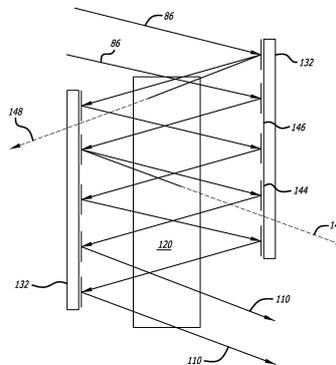
심사관 : 홍성의

(54) 발명의 명칭 다중-통과 증폭기를 갖는 레이저 시스템 및 그 사용 방법

(57) 요약

다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템이 개시된다. 이 시스템은 시드 신호 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스, 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 펌프 소스; 시드 소스와 통신하고 적어도 하나의 이득 매체를 갖는 적어도 하나의 다중-통과 증폭기 시 (뒷면에 계속)

대표도



스텝, 제 1 미러, 및 적어도 하나의 제 2 미러를 포함하며, 이들 매체 장치는 제 1 미러와 제 2 미러 사이에 위치되고 출력 파장 범위를 갖는 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성되며, 제 1 미러 및 제 2 미러는 출력 파장 범위 내의 증폭기 출력 신호를 반사시키도록 구성될 수 있으며, 적어도 하나의 광학 시스템은 증폭기 시스템과 통신하고 증폭기 출력 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01S 3/0941 (2013.01)

H01S 3/1611 (2013.01)

H01S 3/1643 (2013.01)

(72) 발명자

레티그 커티스

미국 캘리포니아 94550 리버모어 머큐리 로드 1935

소스노우스키 토마스

미국 캘리포니아 95120 산호세 마운틴 퀘일 씨클 1216

빈 게오르그

미국 캘리포니아 94115 샌프란시스코 웨스터 스트리트 1820

테르푸고프 빅토르

미국 캘리포니아 94588 플레젠톤 라르센 코트 2723

카프카 제임스

미국 캘리포니아 94301 팔로알토 브라이언트 스트리트 2376

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템으로서,

시드 신호 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스;

적어도 하나의 펌프 신호 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 제공하도록 구성된 적어도 하나의 펌프 소스;

상기 적어도 하나의 시드 신호를 증폭하고 그것에 응답하여 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 생성하도록 구성된 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지;

상기 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 수신하도록 구성된 적어도 하나의 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지;

상기 적어도 하나의 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지 내에 배치된 적어도 하나의 이득 매체 장치로서, 상기 이득 매체 장치는 적어도 하나의 긴 패킷 및 적어도 하나의 작은 패킷을 가지며, 상기 적어도 하나의 이득 매체 장치는 상기 적어도 하나의 긴 패킷 상에서 상기 적어도 하나의 펌프 신호에 의해 펌핑되고, 상기 적어도 하나의 이득 매체 장치는 상기 적어도 하나의 긴 패킷 상에서 상기 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 수신하고 출력 파장 범위를 갖는 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성된 것인, 상기 적어도 하나의 이득 매체 장치;

상기 적어도 하나의 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지 내에 배치된 제 1 미러 및 적어도 하나의 제 2 미러로서, 상기 적어도 하나의 이득 매체 장치는 상기 제 1 미러와 상기 적어도 하나의 제 2 미러 사이에 배치되고, 상기 제 1 미러 및 상기 적어도 하나의 제 2 미러 중 적어도 하나는 고 반사율 영역 및 고 투과율 영역을 가지고, 상기 제 1 미러 및 상기 적어도 하나의 제 2 미러는 상기 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 반사시키고 상기 적어도 하나의 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지 내의 적어도 하나의 기생 신호 및 상기 적어도 하나의 펌프 신호 중 적어도 하나의 반사를 억제하도록 정렬된 것인, 상기 제 1 미러 및 적어도 하나의 제 2 미러; 및

상기 적어도 하나의 다중-통과 증폭기 시스템과 통신하고 상기 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 수신하고 상기 출력 파장 범위 내의 적어도 하나의 출력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 광학 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 39

제 38 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 시드 소스는 1000nm 내지 1100nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 40

제 38 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 시드 소스는 1064nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 41

제 38 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 시드 소스는 1030nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 42

제 38 항에 있어서, 상기 이득 매체 장치는 Nd:YVO₄ 재료를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 43

제 38 항에 있어서, 상기 이득 매체 장치는 Nd:GdVO₄, Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:유리, Yb:YAG, Yb:KGW, Yb:CaF₂, Yb:CALGO, Yb:Lu₂O₃, Yb:S-FAP, Yb:유리, 반도체 이득 매체, 및 세라믹 레이저 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택된 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 44

제 38 항에 있어서, 상기 제 1 미러 및 상기 적어도 하나의 제 2 미러 중 적어도 하나는 곡면 미러를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 45

제 44 항에 있어서, 상기 곡면 미러의 곡률 반경은 상기 적어도 하나의 이득 매체 장치를 통해 가로지를 때 상기 적어도 하나의 증폭된 출력 시드 신호의 빔 반경을 실질적으로 일정한 빔 반경으로 유지하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 46

제 38 항에 있어서, 상기 제 1 미러 및 상기 적어도 하나의 제 2 미러 중 적어도 하나는 상기 이득 매체 장치에 대해 기울어져 있는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 47

제 38 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 광학 시스템은 적어도 하나의 추가 증폭기를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 48

제 38 항에 있어서, 상기 제 1 미러 및 상기 적어도 하나의 제 2 미러 중 적어도 하나는 적어도 하나의 반사 방지 코팅이 도포된 반사기 본체를 포함함으로써 상기 적어도 하나의 고 투과율 영역을 형성하고, 그리고 적어도 하나의 반사 재료가 상기 반사기 본체에 선택적으로 도포됨으로써 상기 적어도 하나의 고 반사율 영역을 형성하며, 상기 적어도 하나의 고 반사율 영역은 파장-의존 반사기를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 49

제 48 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 반사 방지 코팅은 상기 적어도 하나의 펄프 신호 및 상기 적어도 하나의 기생 신호 중 적어도 하나를 투과시키도록 구성된 것을 특징으로 하는 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

청구항 50

제 48 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 기생 신호는 라만 생성 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중-통과

증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템.

발명의 설명

기술 분야

배경 기술

- [0001] 레이저 시스템은 현재 다양한 응용 분야에서 사용되고 있다. 과거에는, 광학 펌핑 솔리드 스테이트 레이저가 광대역 아크 램프 또는 플래시 램프를 사용하여 공진 캐비티 내의 솔리드 스테이트 레이저 매체를 측방향 또는 횡방향으로 펌핑한다. 시간이 흘러, 다이오드 펌핑식 솔리드 스테이트 레이저 시스템이 대부분의 응용 분야에서 선호되는 광학 펌핑식 레이저 시스템이 되었다.
- [0002] 현재 이용 가능한 다이오드 펌핑식 솔리드 스테이트 레이저 시스템은 과거에는 유용하다고 판명되었지만, 다수의 단점이 확인되었다. 예를 들어, 일부 고전력 응용 분야는 레이저 이득 매체의 고전력 펌핑을 필요로 한다. 전형적으로, 이득 매체는 이득 매체 상에 형성된 패짓(facet)의 한정된 영역 내에서 펌프 신호를 수신한다. 결과적으로, 이득 매체 내의 열 렌즈와 같은 바람직하지 못한 효과가 문제가 되는 것으로 판명되었다. 또한, 작은 패짓의 범위 내의 이득 매체에 시드 신호를 주입하는 것은 일부 이득 매체의 동작 수명을 감소시킨다.
- [0003] 전문적인 내용에 비추어, 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템에 대한 지속적인 필요성이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0004] 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 다양한 실시예가 본 명세서에 개시된다. 일부 실시예에서, 다양한 레이저 시스템에서 사용하기 위한 단일 다중-통과 증폭기를 이용하는 레이저 시스템이 아래의 단락들에서 상세히 설명될 것이다. 다른 실시예에서, 다양한 레이저 시스템에서 사용하기 위한 제 1 증폭기 및/또는 전치 증폭기 및 적어도 하나의 다중-통과 증폭기를 이용하는 레이저 시스템이 아래의 단락들에서 상세히 설명될 것이다. 하나의 특정 실시예에서, 본 출원은 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템에 관한 것이며, 시드 신호 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스를 기술한다. 시드 소스는 적어도 하나의 다중-통과 증폭기 시스템과 통신할 수 있다. 일부 실시예에서, 증폭기 시스템은 적어도 하나의 이득 매체, 제 1 미러 및 적어도 하나의 제 2 미러를 포함한다. 이득 매체 장치는 제 1 미러와 제 2 미러 사이에 배치될 수 있고 출력 파장 범위를 갖는 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 제 1 미러 및 제 2 미러는 출력 파장 범위 내의 증폭기 출력 신호를 반사시키도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 광학 시스템은 증폭기 시스템과 통신하며 증폭기 출력 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.
- [0005] 다른 실시예에서, 본 출원은 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템에 관한 것이다. 레이저 시스템은 시드 신호 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스를 포함한다. 시드 신호를 증폭하고 그것에 응답하여 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 생성하도록 구성된 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지는 레이저 시스템 내에 배치된다. 적어도 하나의 다중-패스 제 2 증폭기 스테이지는 제 1 증폭기 스테이지와 통신한다. 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지는 증폭된 시드 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 생성하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지는 그 내부에 배치된 적어도 하나의 이득 매체, 제 1 미러, 및 적어도 하나의 제 2 미러를 포함한다. 제 1 미러와 제 2 미러 사이에 배치된 이득 매체 장치는 출력 파장 범위를 갖는 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있으며, 제 1 미러와 제 2 미러는 출력 파장 범위 내의 증폭기 출력 신호를 반사시키도록 구성된다. 적어도 하나의 광학 시스템은 증폭기 시스템과 통신하며 증폭기 출력 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.
- [0006] 또 다른 실시예에서, 다중-통과 증폭기 시스템을 갖는 레이저 시스템이 개시된다. 이 레이저 시스템은 시드 신

호 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스를 포함한다. 적어도 하나의 시드 신호를 증폭시키고, 그것에 응답하여 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 생성하도록 구성된 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지는 시드 소스와 통신할 수 있다. 적어도 하나의 증폭된 시드 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 생성하도록 구성된 적어도 하나의 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지는 제 1 증폭기 스테이지와 통신할 수 있다. 다중-통과 제 2 증폭기 스테이지는 그 내부에 배치된 적어도 하나의 이득 매체, 제 1 미러 및 적어도 하나의 제 2 미러를 포함한다. 이득 매체 장치는 제 1 미러와 적어도 하나의 제 2 미러 사이에 배치될 수 있으며, 출력 파장 범위를 갖는 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 제 1 미러 및 제 2 미러는 출력 파장 범위 내에서 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 반사시키도록 구성된 곡면 미러를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 광학 시스템은 증폭기 시스템과 통신하며 증폭기 출력 신호를 수신하고 출력 파장 범위 내의 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.

[0007] 본 명세서에 기재된 다중-통과 증폭기를 갖는 레이저 시스템 및 그것의 사용 방법의 다른 특징 및 이점은 아래의 상세한 설명을 고려함으로써 더욱 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0008] 본 명세서에 개시된 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 새로운 양태는 아래의 도면을 고려함으로써 더욱 명백해질 것이다.

- 도 1은 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 2는 복수의 제 1 증폭기 스테이지가 내부에 포함된 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 다른 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 3은 복수의 제 2 증폭기 스테이지가 내부에 포함된 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 다른 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 4는 복수의 제 1 증폭기 스테이지 및 복수의 제 2 증폭기 스테이지가 내부에 포함된 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 다른 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 5는 복수의 시드 제 1 증폭기 스테이지 및 제 2 증폭기 스테이지가 포함된 멀티-스테이지 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 다른 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 6은 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 시드 레이저 시스템의 일 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 7은 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 제 1 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 8은 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 제 2 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 9는 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용된 제 2 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시하며, 여기서 제 1 반사기 및 적어도 하나의 제 2 반사기는 이득 매체 장치를 시드하는데 사용된다.
- 도 10은 이득 매체 장치가 복수의 펌프 소스에 의해 펌핑되는 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 제 2 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시한다.
- 도 11은 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용 되는 제 1 반사기 및 적어도 하나의 제 2 반사기의 일 실시예의 개략도를 도시하며, 여기서 제 1 반사기 및 제 2 반사기는 이득 매체 장치에 대하여 기울어져 있다.
- 도 12는 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 제 1 반사기 및 적어도 하나의 제 2 반사기의 일 실시예의 개략도를 도시하며, 여기서 제 1 반사기 및 제 2 반사기는 만곡되어 있다.
- 도 13은 반사기가 고 반사율 영역 및 고 투과율 영역을 포함하는, 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에서의 반사기의 일 실시예의 사시도를 도시한다.
- 도 14는 도 13에 도시된 반사기 장치의 일 실시예를 포함하는 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시

시스템의 일 실시예에 사용된 제 2 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시한다.

도 15는 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용 되는 열 렌즈의 3 개의 상이한 값에 대한 이득 매체 장치들 복수 회 통과할 때 증폭된 시드 신호에 대한 열 렌즈의 효과를 도식적으로 보여준다.

도 16은 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용 된 반사기들 간의 거리 변화의 효과를 도식적으로 보여준다.

도 17은 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용 되는 증폭된 시드 신호의 변화 크기에 대한 수직 방향으로 만곡된 반사기를 사용하는 효과를 도식적으로 보여준다.

도 18은 반사기가 고 반사율 영역 및 고 투과율 영역을 포함하는 멀티-스테이지 증폭기를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예의 반사기의 다른 실시예의 사시도르를 도시한다.

도 19는 도 18에 도시된 반사기 장치의 일 실시예를 포함하는 멀티-스테이지 증폭기 아키텍처를 갖는 레이저 시스템의 일 실시예에 사용되는 제 2 증폭기 스테이지의 일 실시예의 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 다양한 레이저 시스템에 사용하기 위한 멀티-스테이지 레이저 증폭기의 다양한 실시예가 아래의 단락들에서 상세히 설명될 것이다. 도 1 내지 도 5는 멀티-스테이지 증폭기 구성을 포함하는 레이저 시스템의 다양한 실시예를 도시한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, 레이저 시스템(10)은 적어도 하나의 시드 신호(56)를 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지(60)로 출력하도록 구성된 적어도 하나의 시드 소스(20)를 포함한다. 도 1은 단일 시드 신호(56)를 단일 제 1 증폭기 스테이지(60)로 출력하는 시드 소스(20)를 도시한다. 이와 대조적으로, 도 2 및 도 3은 복수의 시드 신호(56)를 복수의 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)로 출력하는 단일 시드 소스(20)를 도시한다. 또한, 도 3은 복수의 증폭된 신호(86)를 복수의 제 2 증폭기 스테이지(100a 및 100b)로 출력하는 단일 제 1 증폭기 스테이지(60)로 단일 시드 신호를 출력하는 단일 시드 소스(20)를 도시한다. 또한, 도 4는 복수의 제 1 증폭기 스테이지(60a 및 60b) 및 복수의 제 2 스테이지(100a 및 100b)에 대한 복수의 시드 신호를 출력하는 단일 시드 소스(20)를 도시한다. 또한, 도 5에 도시된 바와 같이, 복수의 시드 소스(20a, 20b)가 하나 이상의 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)에 복수의 시드 신호(56)를 전달하는데 사용될 수 있다. 당업자는 임의의 수의 시드 소스가 임의의 수의 시드 신호를 임의의 수의 제 1 증폭기 스테이지(60)로 출력하도록 구성될 수 있음을 이해할 것이다.

[0010] 도 1에 도시된 바와 같이, 임의로 하나 이상의 광학 시스템, 장치 또는 구성요소(58)(이하, "광학 장치"라 함)는 도 1 내지 도 5에 도시된 레이저 시스템(10)의 다양한 실시예에서 임의의 위치에 배치될 수 있다. 보다 구체적으로, 도 1 및 도 4는 내부에 배치된 하나 이상의 광학 시스템(58)을 갖는 레이저 시스템의 다양한 실시예를 도시하지만, 임의의 수의 광학 시스템 및/또는 장치(58)가 도 1 내지 도 5에 도시된 레이저 시스템의 다양한 실시예에 걸쳐 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 일 실시예에서, 광학 장치(58)는 하나 이상의 파장 필터를 포함한다. 예시적인 파장 필터는 하나 이상의 이색성(dichroic) 미러, 파장 선택 장치, 광학 필터 등을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 다른 실시예에서, 광학 장치(58)는 하나 이상의 렌즈를 포함한다. 다른 실시예에서, 광학 장치(58)는 하나 이상의 센서를 포함한다. 당업자는 제한없이 렌즈, 필터, 미러, 센서, 변조기, 편광기, 파장판, 마스크, 감쇠기, 파장 필터 및 공간 필터 등을 포함하는 임의의 다양한 광학 장치가 본 레이저 시스템에 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0011] 도 1을 다시 참조하면, 제 1 증폭기 스테이지(60)는 시드 소스(20)로부터 시드 신호(56)를 수신하고 시드 신호(56)를 증폭하여 적어도 하나의 증폭된 시드 신호(86)를 생성하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 제 1 증폭기 스테이지(60)는 단일의 제 2 증폭기 스테이지(100)에 단일의 증폭된 시드 신호(86)를 출력하도록 구성된다(도 1 및 도 5 참조). 대조적으로, 도 2는 각각 단일 증폭된 시드 신호(86)를 단일 제 2 증폭기 스테이지(100)로 출력하는 복수의 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)를 도시한다. 대안으로서, 도 3은 복수의 제 2 증폭기 스테이지(100a, 100b)로 복수의 증폭된 시드 신호(86)를 출력하는 단일의 제 1 증폭기 스테이지(60)를 갖는 레이저 시스템(10)의 실시예를 도시한다. 임의의 수의 제 1 증폭기 스테이지(60)가 레이저 시스템(10) 내에 사용될 수 있다. 또한, 도 2에 도시된 실시예에서, 복수의 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)는 병렬 구성으로 도시되어 있다. 그러나, 당업자는 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)가(직렬로) 순차적으로 배치될 수도 있음을 이해할 것이다. 유사하게, 시드 소스(20a, 20b), 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b) 및/또는 제 2 증폭기 스테이지(100a, 100b)를 포함하는 레이저 시스템(10)의 다양한 구성요소는, 존재한다면, 병렬 아키텍처로, 또는 직렬

구성에서 순차적으로 또는 이들의 임의의 조합으로 구성될 수 있다.

- [0012] 도 1에 도시된 바와 같이, 레이저 시스템(10)은 내부에 적어도 하나의 제 2 증폭기 스테이지(100)를 포함할 수 있다. 도시된 실시예에서, 제 2 증폭기 스테이지(100)는 레이저 시스템(10) 내에 배치된 하나 이상의 제 1 증폭기 스테이지(60)와 통신할 수 있다. 도 1 및 도 2는 내부에 배치된 단일의 제 2 증폭기 스테이지(100)를 갖는 레이저 시스템의 실시예를 도시한다. 선택사항으로서, 도 3 내지 도 5에 도시된 바와 같이, 복수의 제 2 증폭기 스테이지(100a, 100b)가 내부에 배치된 레이저 시스템의 다양한 실시예가 도시된다. 일 실시예에서, 제 2 증폭기 스테이지(100a, 100b)는 단일 제 1 증폭기 스테이지(60)와 통신한다. 선택사항으로서, 복수의 제 2 증폭기 스테이지(100a, 100b)는 하나 이상의 제 1 증폭기 스테이지(60a, 60b)와 통신한다(도 2, 도 4 및도 5 참조). 임의의 수의 제 2 증폭기 스테이지(100)가 레이저 시스템(10)에 사용될 수 있다. 또한, 임의의 수의 추가 증폭기 스테이지가 레이저 시스템(10)과 함께 사용될 수 있다.
- [0013] 도 1 내지 도 5에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 증폭된 출력 신호(110)는 레이저 시스템(10) 내에 배치된 하나 이상의 제 2 증폭기 스테이지(100)로부터 생략될 수 있다. 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 단일 증폭된 출력 신호(110)는 제 2 증폭기 스테이지(100)로부터 생략된다. 대안으로서, 도 3 내지 도 5는 복수의 증폭된 출력 신호(110)가 레이저 시스템(10) 내에 배치된 복수의 제 2 증폭기 스테이지(100)로부터 방출되는 레이저 시스템(10)의 다양한 실시예를 도시한다. 도시된 실시예에서, 증폭된 출력 신호(110)는 적어도 하나의 출력 신호(250)를 출력하도록 구성된 하나 이상의 광학 시스템 또는 장치(200)로 보내진다. 일 실시예에서, 광학 시스템(200)은 하나 이상의 아이솔레이터(isolator)를 포함한다. 다른 실시예에서, 광학 시스템(200)은 하나 이상의 변조기를 포함한다. 선택사항으로서, 광학 시스템(200)은 적어도 하나의 망원경을 포함할 수 있다. 또한, 광학 시스템(200)은 하나 이상의 레이저 시스템, 증폭기 등을 포함할 수 있다. 예를 들어, 광학 시스템(200)은 하나 이상의 추가적인 멀티-스테이지 증폭기를 포함할 수 있다. 추가적인 멀티-스테이지 증폭기(200)는 하나 이상의 단일 통과 증폭기를 포함할 수 있다. 선택사항으로서, 추가적인 멀티-스테이지 증폭기(200)는 하나 이상의 다중-통과 증폭기를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 광학 시스템(200)은 적어도 하나의 단일 스테이지 증폭기를 포함할 수 있다. 선택사항으로서, 광학 시스템(200)은 하나 이상의 비선형 광학 결정을 포함할 수 있다. 선택사항으로서, 레이저 시스템(10)은 광학 시스템(200)을 포함할 필요가 없다.
- [0014] 도 6은 도 1에 도시된 레이저 시스템(10)과 함께 사용하기 위한 시드 소스(20)의 일 실시예의 개략도이다. 도시된 바와 같이, 시드 소스(20)는 내부에 적어도 하나의 시드 레이저(22)를 포함한다. 일 실시예에서, 시드 레이저(22)는 다이오드 레이저 시스템을 포함한다. 예를 들어, 시드 레이저(22)는 하나 이상의 이득 스위치 다이오드 레이저 시스템을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 시드 레이저는 하나 이상의 광섬유 증폭 다이오드 레이저 소스를 포함한다. 또한, 시드 소스(20)는 주입 시드 다이오드 레이저 시스템을 포함할 수 있다. 선택사항으로서, 시드 소스(22)는 하나 이상의 광섬유 레이저 장치를 포함할 수 있다. 요약하면, 임의의 유형의 레이저 시스템이 시드 소스(20) 내의 시드 레이저(22)로서 사용될 수 있다.
- [0015] 시드 레이저(22)는 약 400nm 내지 약 1400nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 시드 레이저(22)는 약 600nm 내지 약 1200nm의 파장을 갖는 시드 신호(24)를 출력한다. 예를 들어, 시드 신호(24)는 약 1064nm의 파장을 가질 수 있다. 또 다른 실시예에서, 시드 신호(24)는 약 1030nm의 파장을 갖는다. 또한, 시드 레이저(22)는 펄스형 출력을 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 시드 레이저(22)는 100kHz 이상의 반복율을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 시드 레이저(22)는 1MHz 이상의 반복율을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 선택사항으로서, 시드 레이저(22)는 15MHz 이상의 반복율을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 시드 레이저(22)는 약 20 MHz의 반복율을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 선택사항으로서, 시드 레이저(22)는 10kHz의 반복율을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다.
- [0016] 도 6을 다시 참조하면, 시드 레이저(22)는 임의의 원하는 펄스 폭을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 시드 레이저(22)는 약 100 ps 미만의 펄스 폭을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 시드 레이저(22)는 약 50ps 미만의 펄스 폭을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 선택사항으로서, 시드 레이저(22)는 약 25ps 미만의 작은 펄스 폭을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 시드 레이저(22)는 약 1ps 미만의 펄스 폭을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 또한, 시드 레이저(22)는 약 1μW 내지 약 200μW의 전력을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 시드 레이저(22)는 약 40μW 내지 약 80μW의 전력을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 시드 레이저(22)는 약 65μW 내지 약 85μW의

전력을 갖는 시드 신호(24)를 출력하도록 구성될 수 있다.

[0017] 도 6을 다시 참조하면, 시드 소스(20)는 시드 신호(24)를 필터링하여 적어도 하나의 필터링된 또는 처핑(chirped) 신호(32)(이하, "필터 신호")를 생성하도록 구성된 하나 이상의 광학 필터(26)를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광학 필터(26)는 적어도 하나의 브래그 반사기(Bragg reflector)를 포함한다. 예를 들어, 광학 필터(26)는 적어도 하나의 처핑된 광섬유 브래그 격자를 포함할 수 있다. 도시된 실시예에서, 광학 필터(26)는 적어도 하나의 도관(30)을 통해 적어도 하나의 센서 또는 제어 장치(28)와 연결되어있다. 예를 들어, 사용 중에 제어 장치(28)는 사용자가 광 필터(26)를 통한 파장 전송의 범위를 선택적으로 변화시키는 것을 허용하도록 구성될 수 있다. 이와 같이, 처핑된 신호(32)의 파장 특성은 쉽게 변화될 수 있다. 선택사항으로서, 광 필터(26)는 사용자가 처핑된 신호(32)의 임의의 다양한 특성을 선택적으로 조정하는 것을 허용하도록 구성될 수 있다.

[0018] 도 6에 도시된 바와 같이, 처핑된 신호(32)를 증폭시키기 위해 시드 소스(20) 내에 제 1 증폭기(34)가 포함될 수 있다. 일 실시예에서, 제 1 증폭기(34)는 적어도 하나의 광섬유 증폭기를 포함한다. 일 실시예에서, 시드 소스(20)에 사용되는 제 1 증폭기(34) 및 제 2 증폭기(42)의 유형(존재하는 경우)은 레이저 시스템(10)에 사용되는 증폭기 스테이지(60) 및 제 2 증폭기 스테이지(100)의 유형에 의존할 수 있다. 예를 들어, 제 1 및 제 2 증폭 스테이지(60, 100)가 Yb:YAG를 포함하면 약 1030nm의 파장에서 작동하는 Yb:광섬유 증폭기가 시드 소스(20)의 제 1 증폭기(34)로 사용될 수 있다. 이와 대조적으로, 제 1 및 제 2 증폭기 스테이지(60, 100)가 Nd:YVO₄를 포함하면, 약 1064nm의 파장에서 동작하는 Yb:광섬유 증폭기가 시드 소스(20)의 제 1 증폭기(34)로서 사용될 수 있다. 선택사항으로서, 임의의 다양한 장치가 시드 소스(20)에 사용될 수 있다. 제 1 증폭기(34)는 적어도 하나의 변조기 시스템 또는 장치(38)로 보내질 수 있는 적어도 하나의 증폭된 시드 신호(36)를 생성하도록 신호(32)를 증폭하도록 구성된다.

[0019] 다시 도 6을 참조하면, 변조기 장치(38)는 펄스 증폭된 시드 신호(36)의 반복 주파수를 변경하여 적어도 하나의 변조된 증폭 씨드 신호(40)를 생성하도록 구성된다. 일 실시예에서, 변조기 장치(38)는 약 5kHz 내지 약 1000kHz의 반복율을 갖는 변조된 시드 신호(40)를 출력하도록 구성된다. 다른 실시예에서, 변조기 장치(38)는 약 100kHz 내지 약 500kHz의 반복율을 갖는 변조된 증폭된 시드 신호(40)를 출력하도록 구성된다. 선택사항으로서, 변조기 장치(38)는 약 250kHz 내지 약 350kHz의 반복율을 갖는 변조된 증폭된 시드 신호(40)를 출력하도록 구성된다. 예를 들어, 변조기 장치(38)는 약 333kHz의 반복율을 갖는 변조된 증폭된 시드 신호(40)를 출력하도록 구성된다. 일 실시예에서, 변조기 장치(38)는 1000kHz보다 큰 반복율을 갖는 변조된 시드 신호(40)를 출력하도록 구성된다. 일 실시예에서, 변조기 장치(48)는 음향-광학 변조기를 포함한다. 선택사항으로서, 제한없이, 전기-광학 변조기, 진폭 변조기, 위상 변조기 및 액정 변조기 등을 포함하는 임의의 다양한 대안의 장치가 사용될 수 있다. 대안의 실시예에서, 시드 소스(20)는 변조기 장치(38)를 포함하지 않는다.

[0020] 도 6에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 제 2 증폭기(42)는 시드 소스(20) 내에 포함되어 적어도 하나의 증폭된 변조 신호(44)를 생성하기 위해 변조된 증폭된 시드 신호(40)를 증폭시킬 수 있다. 일 실시예에서, 제 2 증폭기(42)는 적어도 하나의 Yb:광섬유 증폭기를 포함한다. 선택적으로, 임의의 다양한 장치가 시드 소스(20)에 사용될 수 있다. 예를 들어, 솔리드 스테이트 증폭기는 선택사항으로서 광섬유 증폭기 대신 또는 광 증폭기와 더불어 사용될 수 있다. 또한, 임의의 수의 추가 증폭기가 시드 소스(20)에 사용될 수 있다. 증폭된 변조 신호(44)는 시드 소스(20) 내에 위치하거나 또는 시드 소스(20)와 연결된 적어도 하나의 아이솔레이터(46)로 보내질 수 있다. 일 실시예에서, 아이솔레이터(46)는 시드 소스(20)에서 증폭된 변조 신호 출력(56)의 역 반사를 감소 또는 제거하도록 구성된다. 당업자는 임의의 수의 아이솔레이터(46)가 시드 소스(20) 내의 임의의 위치에서 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 아이솔레이터(46)는 적어도 하나의 시드 신호(56)를 레이저 시스템(10)의 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지(60)로 출력하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 시드 신호(56)는 약 1ps ~ 100ps의 펄스 폭 및 약 10 μJ ~ 내지 약 70 μJ의 펄스 에너지를 갖는다. 예를 들어, 시드 신호(56)는 약 20ps의 펄스 폭 및 약 40 μJ의 펄스 에너지를 가질 수 있다. 또한, 시드 신호(56)는 약 300kHz 내지 약 450kHz의 반복율 및 약 5mW 내지 약 100mW의 전력을 가질 수 있다. 선택적으로, 렌즈, 미러, 폴드 미러, 평면 미러, 곡면 미러, 이색성 필터, 노치 필터, 격자, 센서, 광학 필터, 감쇠기, 변조기, 순환기, 광섬유 브래그 격자, 레이저 다이오드, 볼륨 브래그 격자 등을 포함하는 임의의 다양한 추가 광학 요소 또는 장치가 시드 광원(20)에서 사용될 수 있다. 도시된 실시예에서, 시드 소스(20)의 다양한 구성 요소는 적어도 하나의 하우징(50) 내에 배치된다. 당업자는 시드 소스(20)의 다양한 구성 요소가 다수의 하우징 내에 배치될 수도 있고, 대안으로서 레이저 시스템(10)의 다른 서브 시스템 내에 배치될 수도 있음을 이해할 것이다.

[0021] 도 7은 상기 도 1 내지 도 5에 도시된 제 1 증폭기 스테이지(60)의 일 실시예를 도시한다. 도시된 바와 같이, 제 1 증폭기 스테이지(60)는 내부에 제 1 증폭기 스테이지(60)의 다양한 구성요소를 포함하도록 구성된 적어도 하나의 하우징(62)을 포함할 수 있다. 선택적으로, 제 1 증폭기 스테이지(60)는 하우징(62)을 포함할 필요가 없다. 적어도 하나의 제 1 증폭기 펌프 소스(64)는 적어도 하나의 펌프 신호(76)를 생성하는데 사용될 수 있다. 도시된 실시예에서, 제 1 증폭기 펌프 소스(64)는 약 600nm 내지 약 1000nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호(76)를 출력하도록 구성된 광섬유 결합 다이오드 펌프 소스를 포함하지만, 당업자는 임의의 다양한 펌프 소스가 제 1 증폭기 펌프 소스(64) 내에 사용될 수 있음을 알 것이다. 일 실시예에서, 펌프 신호(76)는 약 900nm 내지 약 1000nm의 파장을 갖는다. 예를 들어, 펌프 신호(76)는 약 940nm의 파장을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 펌프 신호(76)는 약 969nm의 파장을 가질 수 있다. 선택적으로, 펌프 신호(76)는 약 808nm의 파장을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 펌프 신호(76)는 약 880nm의 파장을 가질 수 있다. 또한, 펌프 소스(62)는 연속파 펌프 신호 또는 대안으로서 펄스형 펌프 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 펌프 신호(76)는 약 1kHz 내지 100MHz 또는 그 이상의 반복율을 가질 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서 펌프 신호(76)는 약 10 kHz의 반복율을 갖는다. 또 다른 실시예에서, 펄스 신호(76)는 약 50MHz 내지 약 125MHz의 반복율을 갖는다.

[0022] 도 7을 다시 참조하면, 적어도 하나의 광섬유 도관(66)이 펌프 신호(76)를 원하는 위치로 전달하는데 사용될 수 있다. 선택적으로, 펌프 소스(64)는 광섬유 도관(66)을 포함할 필요가 없다. 광섬유 도관(66)은 적어도 하나의 펌프 신호 전달 시스템(70)에서 중단된다. 일 실시예에서, 펌프 신호 전달 시스템(70)은 쪼개진 광섬유면(cleaved fiber optic face)을 포함한다. 다른 실시예에서, 펌프 신호 전달 시스템(70)은 하나 이상의 렌즈, 미러, 필터, 센서, 포지셔닝 장치(예컨대, v-홈 및 척(chuck) 등) 및 유사한 장치를 포함할 수 있다. 도시된 실시예에서, 적어도 하나의 광학 구성요소(72)는 펌프 신호 전달 시스템(70)에 연결되어 있으나, 펌프 신호 전달 시스템(70)은 내부에 그러한 요소를 포함할 수도 있고, 그러한 장치를 포함하지 않고 동작 할 수도 있다.

[0023] 도시된 바와 같이, 펌프 신호(76)는 펌프 신호 전달 시스템(70) 외부로 보내지고, 적어도 하나의 반사기(74)를 통과하여 제 1 증폭기 스테이지(60) 내에 위치하는 적어도 하나의 이득 매체(82)에 입사한다. 일 실시예에서, 반사기(74)는 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성된 적어도 하나의 이색성 미러를 포함한다. 당업자는 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성된 임의의 다양한 광 반사기가 본 시스템에 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 반사기(74)는 약 1020 nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000 nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(74)는 약 1020 nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000 nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(74)는 복수의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 반사기(74)는 약 1064nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm보다 큰 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(74)는 약 1030nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm보다 큰 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다.

[0024] 다시 도 7을 참조하면, 선택적으로 적어도 광학 요소(80)는 제 1 증폭기 스테이지(60) 내의 임의의 위치에 배치될 수 있다. 예시적인 광학 요소(80)는 제한없이 폴드 미러, 평면 미러, 곡면 미러, 렌즈, 열 관리 장치, 팬, 칠러(chiller) 및 필터 등을 포함한다. 도시된 바와 같이, 펌프 신호(76)는 광학 요소(80)를 가로질러 이득 매체(82)에 입사한다. 일 실시예에서, 이득 매체(82)는 적어도 하나의 슬랩, 로드, 디스크 또는 원하는 이득 재료로 구성된 유사한 물체를 포함한다. 예시적인 이득 재료는 제한없이 Nd:YVO₄, Nd:GdVO₄, Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:유리, Yb:YAG, Yb:KGW, Yb:CaF₂, Yb:CALGO, Yb:Lu₂O₃, Yb:S-FAP, Yb:유리, 반도체 이득 매체, 세라믹 레이저 재료 등을 포함한다.

[0025] 도 7에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 시드 소스(도 1-5 참조)로부터의 적어도 하나의 시드 신호(56)는 적어도 하나의 증폭된 시드 신호(86)를 출력하기 위해 시드 신호(56)를 증폭하는 이득 매체(82)로 입사된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 시드 신호(56)는 증폭 이전에 약 20ps의 펄스 폭, 약 40 μJ의 펄스 에너지, 약 333kHz의 반복율 및 약 5mW 내지 약 15mW의 전력을 갖는다. 그 후, 제 1 증폭기 스테이지(60)는 약 20ps의 펄스 폭, 약 18 μJ의 펄스 에너지, 약 333kHz의 반복율 및 약 5W 내지 약 15W의 전력을 가질 수 있는 적어도 하나의 증폭된

시드 신호(86)를 제 2 증폭기 스테이지(100)로 출력하도록 구성될 수 있다. 당업자는 임의의 수의 제 1 증폭기 스테이지(60)가 레이저 시스템(10)에 사용될 수 있음을 이해할 것이다.

[0026] 도 8 내지 도 14는 레이저 시스템 용 멀티-스테이지에 사용하기 위한 제 2 증폭기 스테이지(100)의 다양한 실시예를 도시한다. 도시된 바와 같이, 제 2 증폭기 스테이지(100)는 하우징(112) 내에 배치될 수 있고, 또는 대안으로서, 보다 큰 광학 시스템 또는 레이저의 하우징 내에 배치될 수 있다. 도시된 바와 같이, 제 2 증폭기 스테이지(100)는 내부에 적어도 하나의 이득 매체 장치(120)를 포함한다. 일 실시예에서, 이득 매체(120)는 Yb:YAG이다. 다른 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 Nd:YVO₄이다. 예시적인 이득 재료는 제한없이 Nd:YVO₄, Nd:GdVO₄, Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:유리, Yb:YAG, Yb:KGW, Yb:CaF₂, Yb:CALGO, Yb:Lu₂O₃, Yb:S-FAP, Yb:유리, 반도체 이득 매체, 세라믹 레이저 재료 등을 포함한다. 일 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 적어도 하나의 슬랩, 로드, 디스크 또는 원하는 이득 재료로 구성된 유사한 몸체를 포함한다. 예를 들어, 도시된 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 긴 패킷(F_{Lon}) 및 작은 패킷(F_{com})을 포함한다. 이와 같이, 긴 패킷(F_{Lon})의 길이는 작은 패킷(F_{com})의 길이보다 길 수 있다. 도시된 실시예에서, 이득 매체 장치(120)에 입사하는 시드 신호(86)의 에너지 및/또는 플루언스(flucose)는 적어도 하나의 긴 패킷(F_{Lon})(즉, 횡방향 펄핑)에 걸쳐 더 많이 분포되며, 이로 인해 열 렌즈 효과의 영향을 감소시키고 동시에 이득 매체 장치(120)의 손상 가능성을 감소시킨다. 대안으로서, 이득 매체 장치(120)가 작은 패킷(F_{com})을 통해 시드될 수 있음을 당업자는 이해할 것이다. 다른 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 긴 패킷(F_{Lon}) 및 작은 패킷(F_{com})을 통해 시드 될 수 있다. 결과적으로, 이득 매체 장치(120)는 임의의 다양한 형상, 치수 및 구성으로 제조될 수 있음을 당업자는 이해할 것이다.

[0027] 도 8 내지 도 14를 다시 참조하면, 이득 매체 장치(120)는 적어도 하나의 반사기 부근에 있을 수 있다. 도시된 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 적어도 하나의 제 1 증폭기 스테이지(60)로부터의 적어도 하나의 증폭 신호(86)의 적어도 일부를 이득 매체 장치(120)로 반사시키도록 구성된 2 개의 반사기(132) 사이에 위치한다. 이득 매체 장치(120)는 적어도 하나의 펌프 소스(122)에 의해 펌핑되도록 구성된다. 선택적으로, 임의의 다양한 대안의 레이저 시스템이 이득 매체 장치(120)를 펌핑하는데 사용될 수 있다. 또한, 적어도 하나의 펌프 소스(122)는 약 600nm 내지 약 1000nm의 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호(130)를 출력하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 펌프 신호(130)는 약 900nm 내지 약 1000nm의 파장을 갖는다. 예를 들어, 펌프 신호(130)는 약 940nm의 파장을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 펌프 신호(130)는 약 969nm의 파장을 가질 수 있다. 선택적으로, 펌프 신호(130)는 약 808nm의 파장을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 펌프 신호(130)는 약 880nm의 파장을 가질 수 있다. 또한, 펌프 소스(122)는 연속파 펌프 신호 또는 대안으로서 펄스형 펌프 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 펌프 신호(130)는 약 1kHz 내지 100MHz 또는 그 이상의 반복율을 가질 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서 펌프 신호(130)는 약 10 kHz의 반복율을 갖는다. 또 다른 실시예에서, 펄스 신호(130)는 약 50MHz 내지 약 125MHz의 반복율을 갖는다.

[0028] 도시된 실시예에서, 복수의 광섬유 결합된 다이오드 펌프 소스(122)는 하나 이상의 펌프 신호(130)를 이득 매체 장치(120)에 제공하도록 구성된다. 도시된 실시예에서, 다이오드 펌프 소스(122)는 적어도 하나의 광섬유 도관(126)에 연결된다. 광섬유 도관(126)은 하나 이상의 펌프 신호 전달 시스템(124)(도 10 참조)에 연결될 수 있지만, 필수적인 것은 아니다. 일 실시예에서, 펌프 신호 전달 시스템(124)은 하나 이상의 광섬유 도관(126)들을 근접하게 정렬하거나 또는 다른 방식으로 위치조절하도록 구성된 하나 이상의 v-홈 또는 유사한 포니셔닝 피쳐를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광섬유 도관(126)은 약 500 μ m 미만의 거리만큼 떨어져 있다. 또 다른 실시예에서, 광섬유 도관(126)은 약 500 μ m보다 큰 거리만큼 떨어져 있다. 또 다른 실시예에서, 광섬유 도관(126)은 약 100 μ m의 거리만큼 떨어져 있다. 이와 같이, 광섬유 도관(126)은 다이오드 바, 광 파이프, 도파관 또는 유사한 구조와 같은 기다란 펌프 소스의 출력부와 같은 기다란 프로파일을 갖는 출력부를 생성하도록 배치될 수 있다. 도 10에 도시된 바와 같이, 펌프 신호 전달 시스템(124)은 펌프 신호(130)를 이득 매체 장치(120)로 보내도록 구성된 하나 이상의 필터, 센서, 렌즈 등을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도시된 예에서, 하나 이상의 렌즈 또는 유사한 광학 부품(128, 134)은 이득 매체 장치(120)를 펌핑하기 위해 펌프 신호(130)를 조절하기 위해 망원경, 시준기, 균질기, 회절 빔 성형기, 굴절 빔 성형기, 렌즈 어레이 등을 형성하는데 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 복수의 광학 구성요소(128, 134)는 복수의 광섬유 도관(126)에 인접하여 배치될 수 있다(도 10 참조). 대안의 실시예에서, 복수의 개개의 광학 구성요소 대신에 단일 광학 구성요소(128, 134)가 사용될 수 있다.

[0029] 도 8 및 도 10에 도시된 바와 같이, 펌프 신호(130)는 펌프 신호 전달 시스템(126) 외부로 보내지고, 적어도 하

나의 반사기(132)를 가로질러, 제 2 증폭기 스테이지 내에 배치된 적어도 하나의 이득 매체 장치(120)로 입사된다. 도시된 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 펌프 신호(130)에 의해 사이드-펌핑된다. 다른 실시예에서, 이득 매체 장치(120)는 펌프 신호(130)에 의해 이득 매체 장치(120)의 기다란 패킷을 따라 펌핑된다. 선택적으로, 이득 매체 장치(120)는 펌프 신호(130)에 의해 엔드-펌핑될 수 있다. 일 실시예에서, 반사기(132)는 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성된 적어도 하나의 이색성 미러(평면 또는 곡면)를 포함한다. 당업자는 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성된 임의의 다양한 광 반사기가 본 시스템에 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 반사기(132)는 약 1020 nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 반사시키면서 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성된 수의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 반사기(132)는 약 1064nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm보다 큰 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(132)는 약 1030nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm를 초과하는 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 전송하도록 구성될 수 있다.

[0030] 도 8 내지 도 10에 도시된 바와 같이, 반사기(132)는 증폭된 시드 신호(86)를 수신하고 다중-통과 증폭을 위해 시드 신호(86)를 이득 매체 장치(120)로 반복적으로 보내어, 증폭된 출력 신호(110)를 출력한다. 예를 들어, 일 실시예에서, 증폭된 시드 신호는 약 20ps의 펄스 폭, 약 18 μJ의 펄스 에너지, 약 333kHz의 반복율 및 약 5W 내지 약 15W의 전력을 가지며, 제 2 증폭기 스테이지(120)의 출력은 약 20ps의 펄스 폭, 약 175 μJ의 펄스 에너지, 약 333kHz의 반복율 및 약 58W 이상의 전력을 갖는다.

[0031] 도 11은 제 2 증폭기 스테이지(100)에 사용되는 반사기의 대안의 실시예를 도시한다. 도시된 바와 같이, 반사기(132)는 적어도 하나의 반사기가 이득 매체 장치(120)에 대해 약간의 썸기 각(wedge angle)으로 배치되는 실질적으로 평면인 물체를 포함한다. 대안으로서, 도 12는 반사기(132)가 실질적으로 만곡된 물체를 포함하는 것을 도시한다. 당업자는 반사기(132)가 임의의 원하는 형상, 크기 및 구성을 갖도록 제조될 수 있음을 이해할 것이다. 선택적으로, 적어도 하나의 반사기는 그 위에 형성된, 원하는 파장에서 고 반사율의 구역 또는 영역 또는 고 투과율의 구역 또는 영역을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 13 및 도 14는 반사기 본체(142)를 갖는 새로운 "스트립형" 반사기(140)의 일 실시예를 도시한다. 도시된 바와 같이, 반사체 본체(142)는 원하는 파장에서 고 반사율의 구역 또는 영역(144) 및 원하는 파장에서 고 투과율의 구역 또는 영역(146)을 포함한다. 사용 중, 증폭된 시드 신호(86)는 반사기 본체(142)에 입사한다. 일 실시예에서, 적어도 하나의 반사기 본체(142)는 증폭된 시드 신호(86)가 반사기 본체(142) 상에 형성된 고 반사율(144)의 구역 또는 영역에 입사되도록 정렬된다. 도 14에 도시된 바와 같이, 이득 매체 장치(120) 내에서 형성된 기생 신호(148)(라만 생성 신호를 포함)는 고 투과율 구역 또는 영역에 입사하여, 기생 신호(148)들이 반사기(140)에 의해 추출, 억제 및/또는 반사되지 않는다. 고 반사율 영역은 이득 매체 장치(120)를 통해 실질적으로 모든 증폭된 출력 신호(110)를 반사시키도록 구성되며, 고 투과율 영역은 이득 매체 장치(120) 내에 생성된 실질적으로 모든 기생 신호 뿐만 아니라 사용 중 흡수되지 않은 증폭된 시드 신호(86) 및 사용되지 않은 펌프 신호(130)(도 10 참조)를 투과하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 기생 신호 또는 미사용 신호(148)는 반사기(132)를 통해 전송될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(140)는 반사기 본체(142) 위에 적어도 하나의 반사 방지 코팅을 도포함으로써 형성된 적어도 하나의 고 투과율 영역(146)을 포함한다. 그 후, 코팅된 반사기 본체(142) 위에 파장-의존 반사기 물질을 선택적으로 도포함으로써 원하는 파장에서 고 반사율인 하나 이상의 영역(144)이 형성될 수 있다.

[0032] 이제 도 8을 참조하면, 이득 매체 장치(120)는 다이오드 펌프 소스(122)로부터 하나 이상의 펌프 신호(130)를 수신한다. 일 실시예에서, 다이오드 펌프 소스(122)는 열 렌즈가 실질적으로 수직 방향인 이득 매체 장치(120)에서 형성되게 한다. 증폭된 시드 신호(86)가 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이 이득 매체 장치(120)를 복수 회 통과할 때, 증폭된 시드 신호(86)는 열 렌즈에 의해 영향을 받을 수 있다. 도 15는 3 개의 상이한 값의 열 렌즈에 대해 이득 매체 장치(120)를 복수 회 통과 할 때 증폭된 시드 신호(86)에 대한 열 렌즈의 영향을 도시한다. 이득 매체 장치(120)를 통과하고 증폭된 출력(110)으로서 빠져나갈 때 증폭된 시드 신호(86)의 크기가 실질적으로 변하지 않게 유지되게 하는 열 렌즈의 실질적으로 하나의 값($f_{TL} = 600 \text{ mm}$)이 있음이 분명하다. 열 렌즈의 임의의 다른 값에 대하여, 증폭된 시드 신호(86)는 이득 매체 장치(120) 내의 열 렌즈에 의해 영향을 받으

므로 때 크기가 변할 것이다. 이러한 크기 변화는 빔이 다른 구성요소와 간섭하기 시작하거나 또는 열 렌즈가 $f_{TL} = 400\text{mm}$ 인 도 15에 도시된 경우와 같이 충분히 작아지게 된다면, 제한되지는 않지만, 하나 이상의 펌프 빔과의 나쁜 오버랩으로 인한 효율 저하, 빔 품질 저하 또는 심지어 손상과 같은 해로운 영향을 줄 수 있다.

[0033] 도 16은 이득 매체 장치(120)로부터의 상이한 거리의 반사기(132)에 대해 실질적으로 고정된 열 렌즈 값($f_{TL} = 400\text{mm}$)에 대한 증폭된 시드 신호(86) 크기의 변화를 도시한다. 대안의 실시예에서, 도 16에 도시된 바와 같이, 반사기(132)와 이득 매체 장치(120) 사이의 거리는 대략 15mm 내지 23mm로부터 증가되었고, 증폭된 시드 신호(86)는 다시 그것이 이득 매체 장치(120)를 복수 회 통과할 때 실질적으로 일정할 것이다.

[0034] 도 17은 반사기(132)가 수직 방향으로 만곡되어 있는 또 다른 실시예에 대한 증폭된 시드 신호(86) 크기의 변화를 도시한다. $f_{TL} = 400\text{mm}$ 의 열 렌즈 값 및 약 15mm의 이격 거리에 대해, 증폭된 시드 신호(86) 크기는 반사기(132)가 약 -2400 mm의 곡률 반경을 갖는 만곡된 표면을 갖는 경우 이득 매체 장치(120)를 통한 다중-통과를 통해 다시 실질적으로 일정할 수 있다.

[0035] 도 18 및 19는 본 명세서에 개시된 레이저 시스템에 사용될 수 있는 독창적인 반사기의 대안의 실시예를 도시한다. 도 18에 도시된 바와 같이, 미러 또는 반사기(240)는 반사기 본체(242)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 반사기 본체(242)는 원하는 파장에서 고 반사율인 큰 단일 구역 또는 영역(244) 및 원하는 파장에서 고 투과율인 단일 구역 또는 영역(246)을 포함한다. 예를 들어, 고 투과율 구역 또는 영역(246)은 그것으로 입사되는 실질적으로 모든 광 신호를 투과시키도록 구성될 수 있다. 또한, 고 반사율 구역 또는 영역(244)은 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 광을 선택적으로 투과시키면서 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 선택적으로 반사시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 고 반사율 구역 또는 영역(244)은 약 1000nm보다 큰 파장을 갖는 모든 광을 투과시키면서 약 1020nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 선택적으로 반사시키도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 고 반사율 구역 또는 영역(244)은 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 모든 광을 투과시키면서 약 1030nm보다 큰 파장을 갖는 실질적으로 모든 광을 선택적으로 반사시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(132)는 복수의 광 신호를 투과하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 반사기(132)는 약 1064nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm 초과 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(132)는 약 1030nm의 파장을 갖는 모든 광을 실질적으로 반사하면서, 약 1000nm 미만의 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호 및 약 1100nm 초과 파장을 갖는 적어도 하나의 광 신호를 투과시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시예에서, 새로운 반사기 본체(242)상의 고 반사율 영역(244) 및 고 투과율 영역(246)은 실질적으로 동일한 영역일 수 있다. 보다 구체적으로, 반사기(240)는 원하는 파장 범위(즉, 약 1020nm 내지 약 1100nm)의 광을 반사시키면서 그 파장 범위 외부의 광을 투과시키도록 구성된 이색성 미러를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기(240)는 노치 미러를 포함할 수 있다.

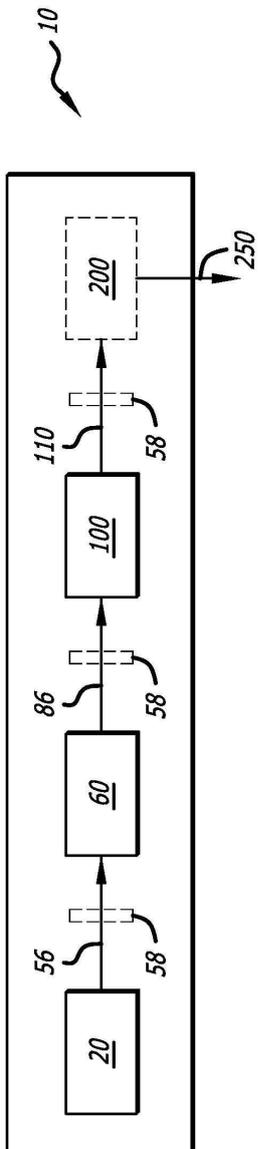
[0036] 사용 중, 도 19에 도시된 바와 같이, 증폭된 시드 신호(86)는 반사기 본체(242)에 입사한다. 도시된 바와 같이, 증폭된 시드 신호(86)는 이득 매체 장치(120)의 긴 패킷(F_{Lon})을 따라 입사될 수 있다. 유사하게, 이득 매체 장치(120)는 도 10에서 설명한 바와 같이 적어도 하나의 펌프 신호(230)에 의해 긴 패킷(F_{Lon})을 따라 펌핑될 수 있다. 또한, 증폭된 시드 신호(86)가 이득 매체 장치(120)에 입사되는 각도는 이득 매체 장치(120)를 통한 증폭된 시드 신호(86)의 통과 횟수를 최적화하도록 선택될 수 있다. 또한, 적어도 하나의 반사기 본체(142)의 정렬은 이득 매체 장치(12)를 통한 증폭된 시드 신호(86)의 통과 횟수를 최적화하도록 구성될 수 있다.

[0037] 결과적으로, 이득 매체 장치(120)는 증폭된 시드 신호(86)로 침투될 수 있고, 이에 의해 이득 매체 장치(120) 내의 기생 신호(라만 생성 신호 포함)의 생성을 억제한다. 고 반사율의 영역(244)은 이득 매체 장치(120)를 통한 다중 통과를 통해 생성된 증폭된 출력 신호(110)를 실질적으로 모두 반사시키도록 구성된다. 또한, 고 반사율 영역(244)은 흡수되지 않은 시드 신호, 미사용 펌프 신호(230) 및/또는 그것을 통과한 증폭 과정 동안 생성된 기생 신호를 투과시키도록 구성된다. 도시된 실시예에서, 증폭된 출력 신호(110)는 적어도 하나의 반사기(240) 상에 형성된 적어도 하나의 고 투과율 구역 또는 영역(246)을 통해 다중-통과 증폭된 것(100)로부터 추출될 수 있다.

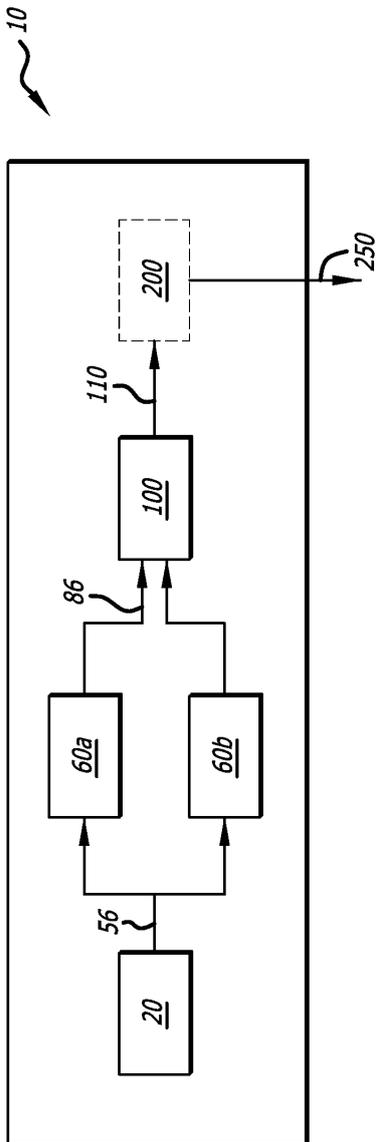
[0038] 본 명세서에 개시된 실시예는 본 발명의 원리를 설명하기 위한 것이다. 본 발명의 범위 내에 있는 다른 변형이 사용될 수 있다. 따라서, 본원에 개시된 장치는 여기에 도시되고 설명된 것으로 정확하게 한정되지 않는다.

도면

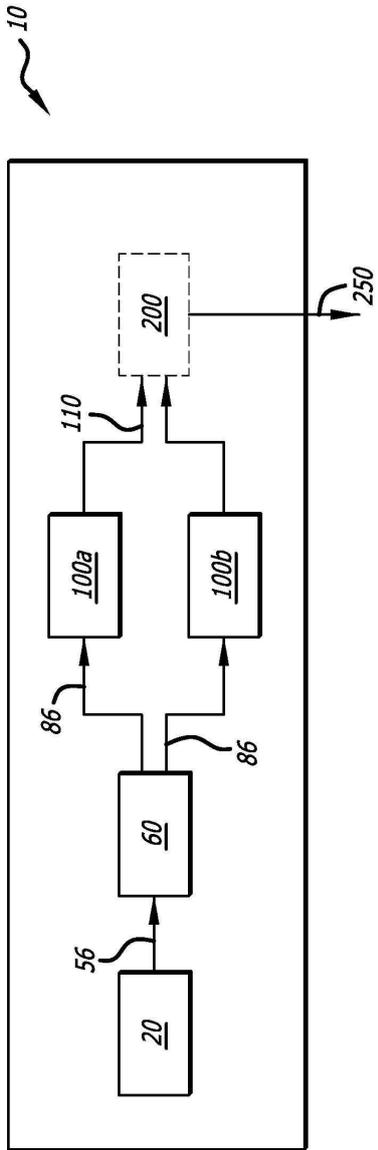
도면1



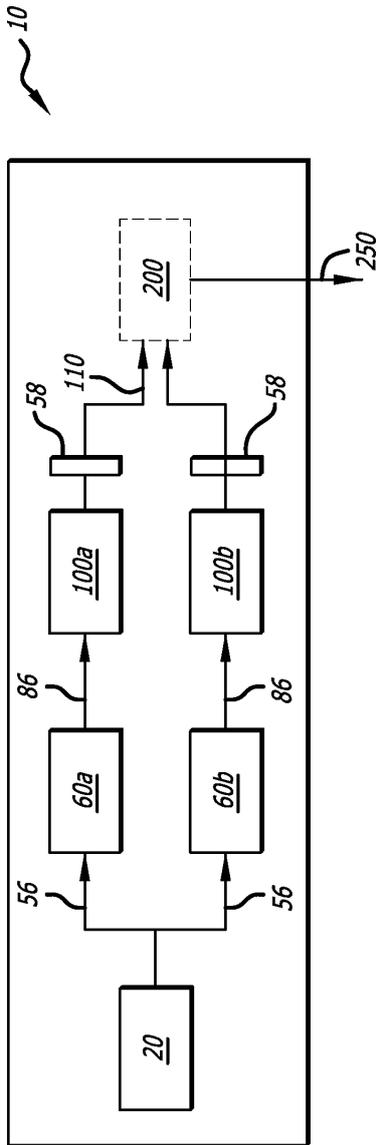
도면2



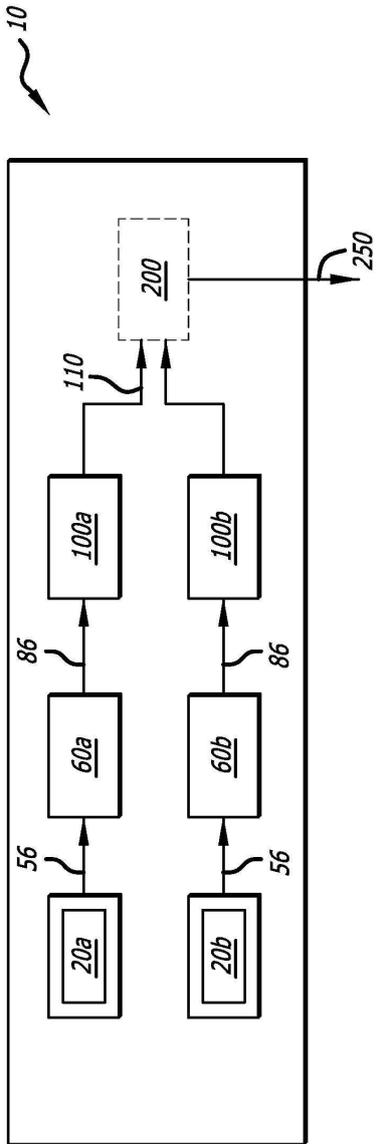
도면3



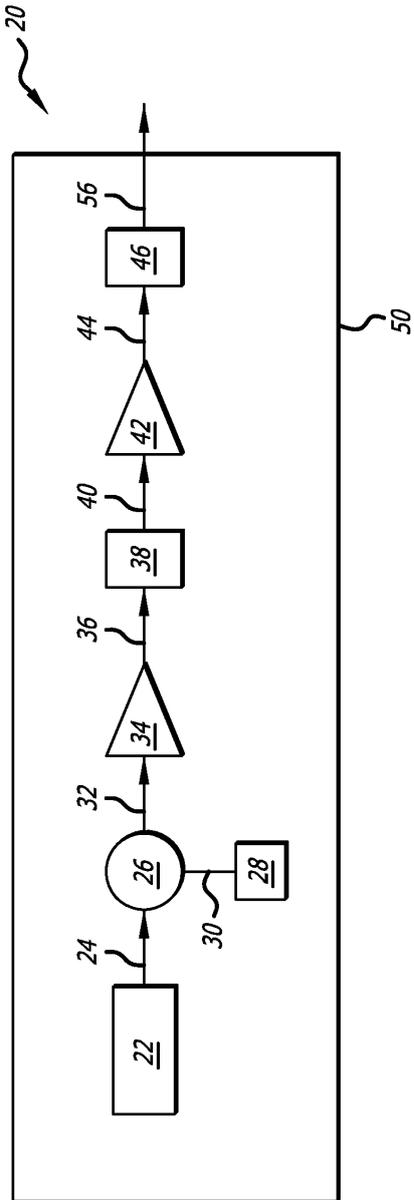
도면4



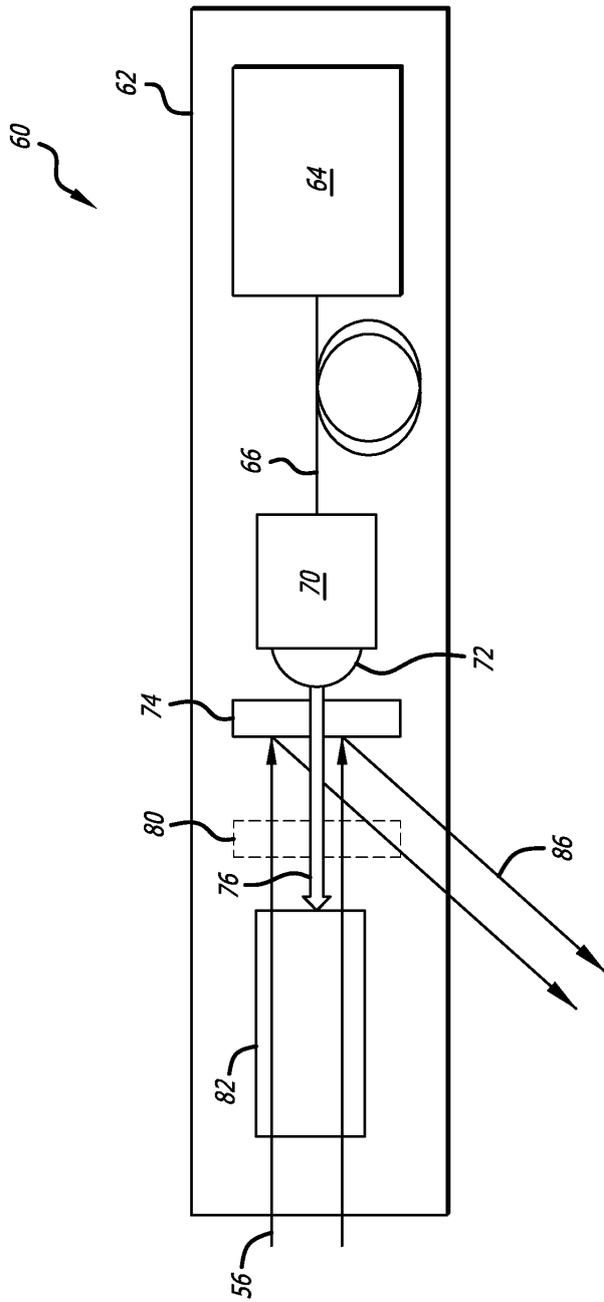
도면5



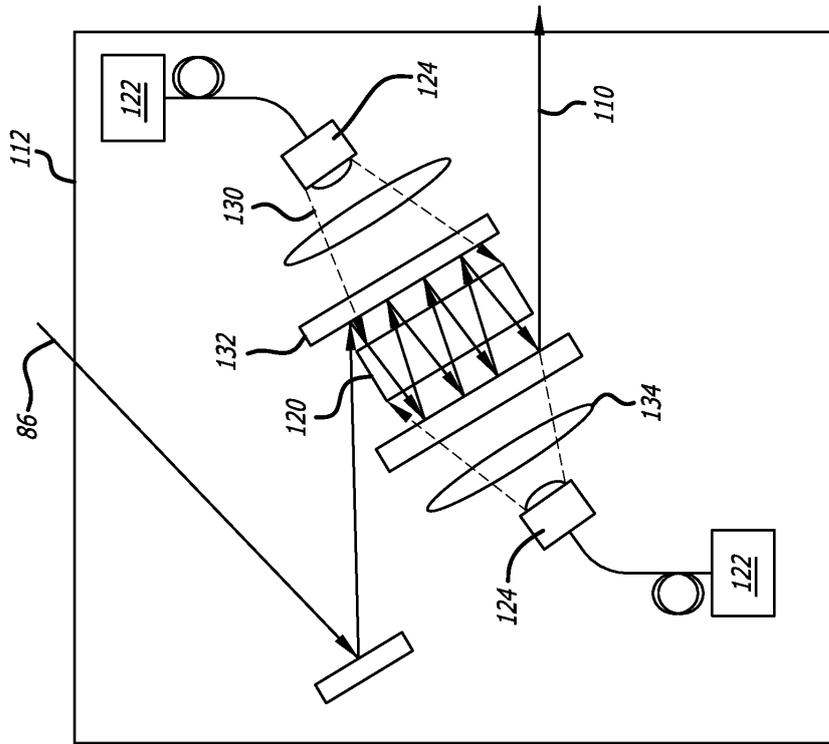
도면6



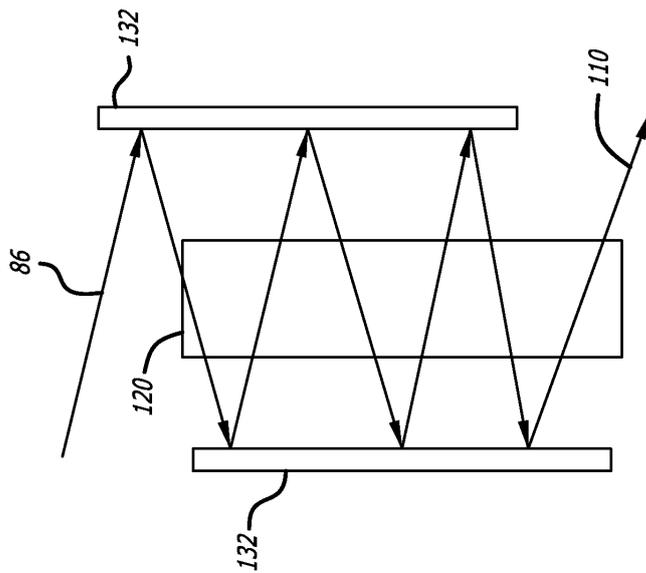
도면7



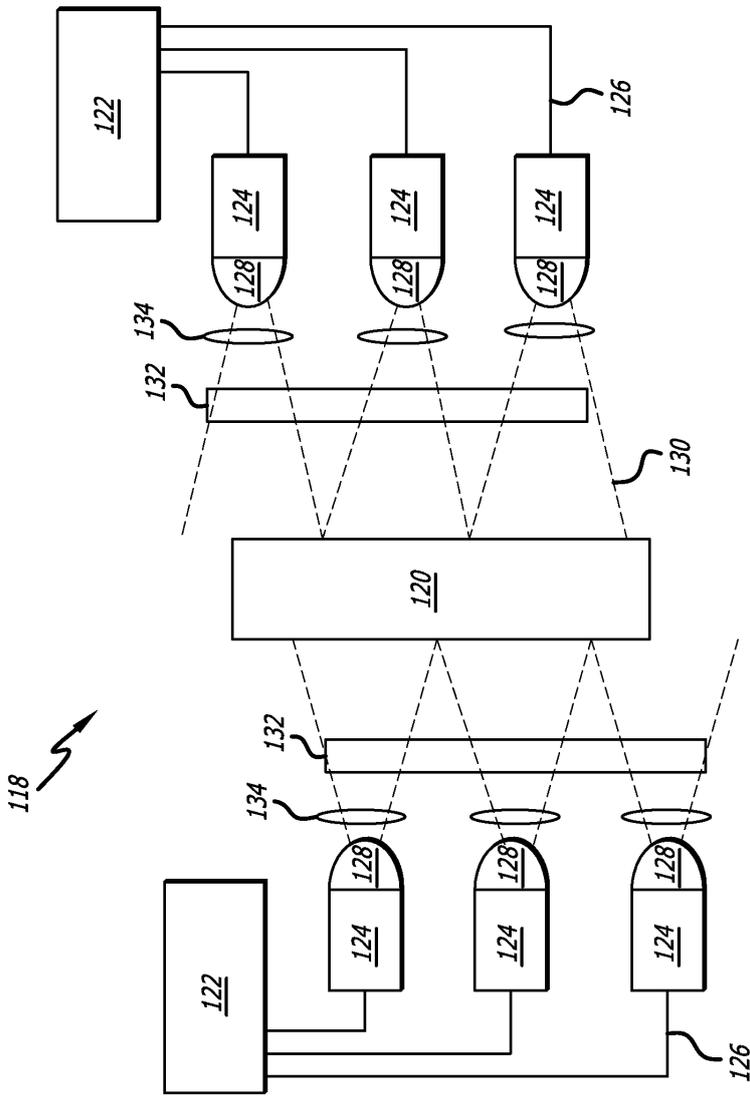
도면8



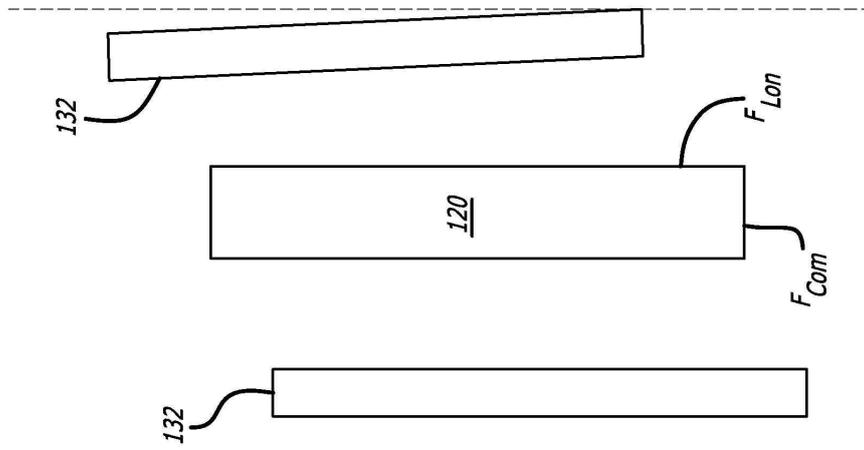
도면9



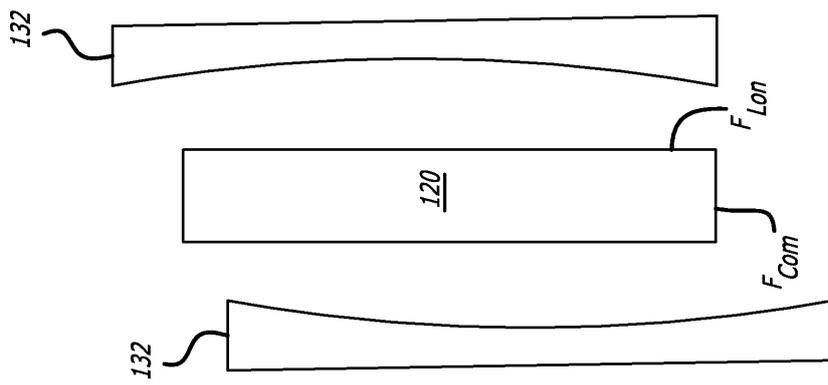
도면10



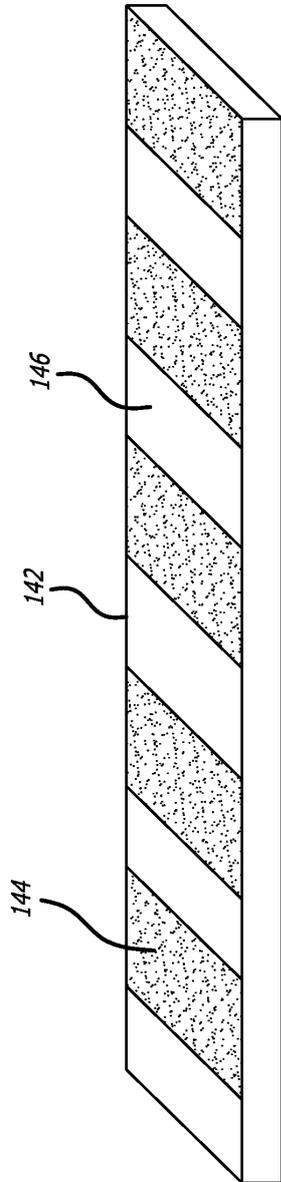
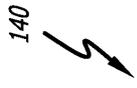
도면11



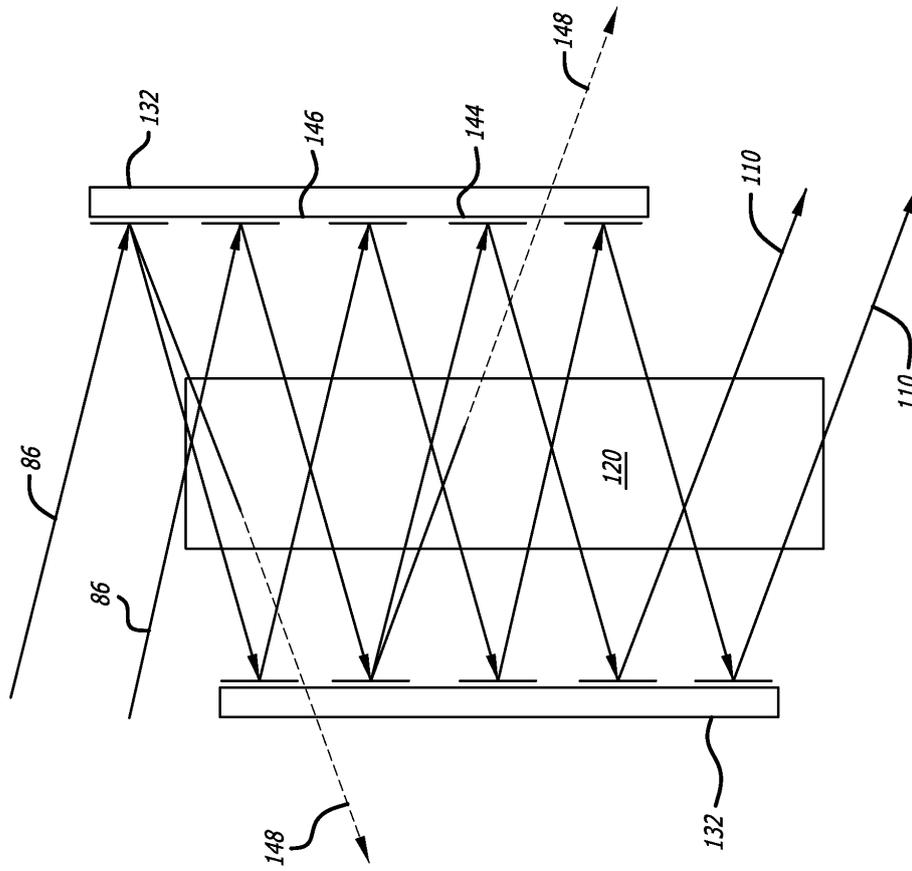
도면12



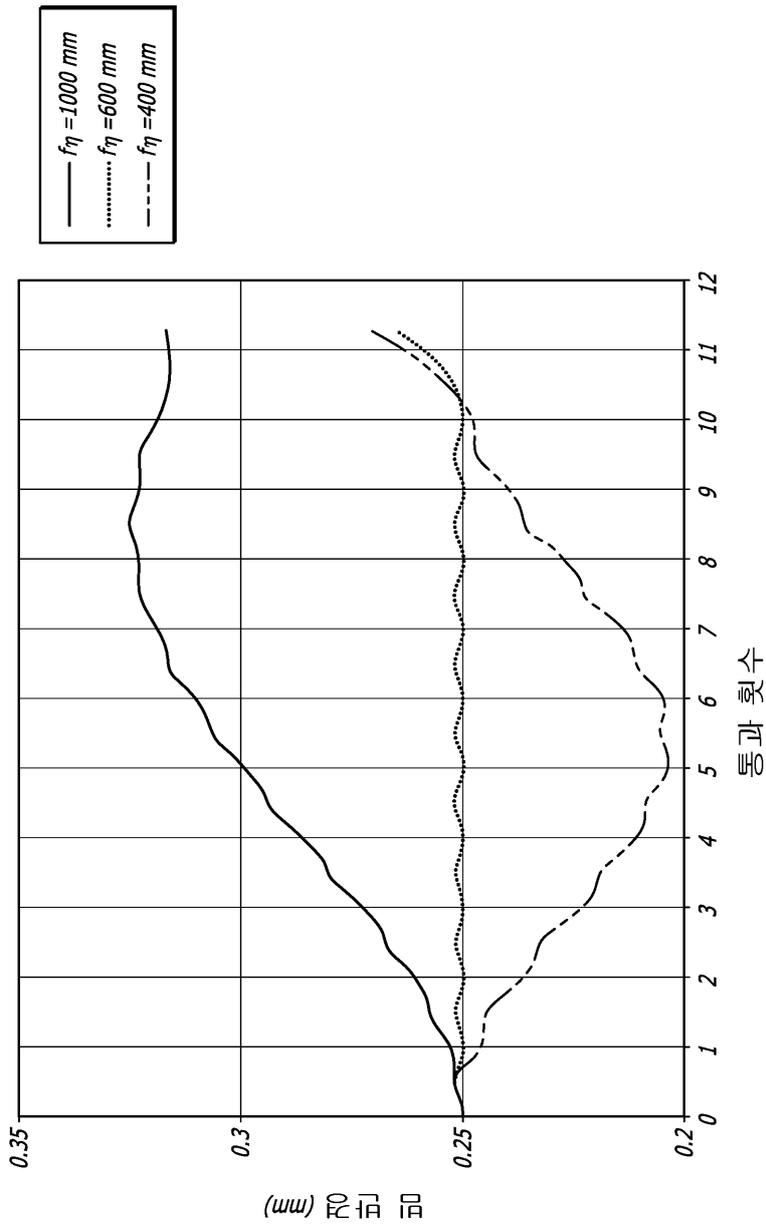
도면13



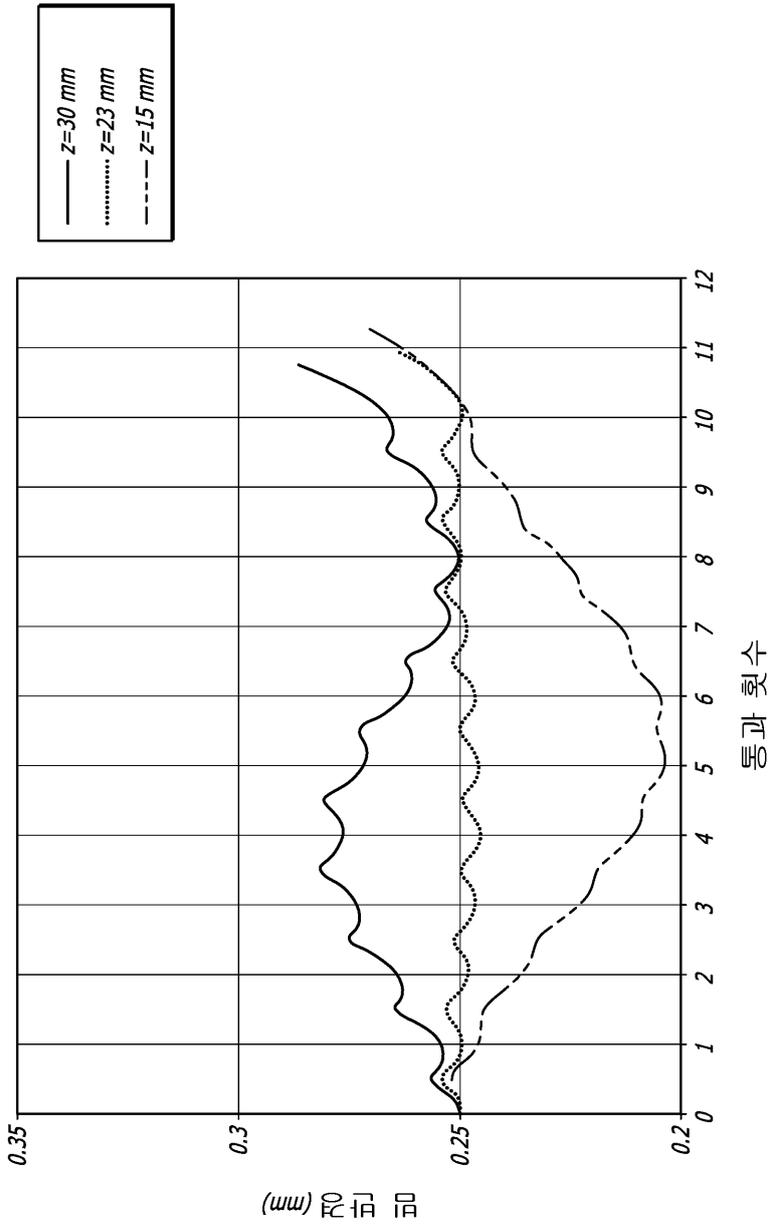
도면14



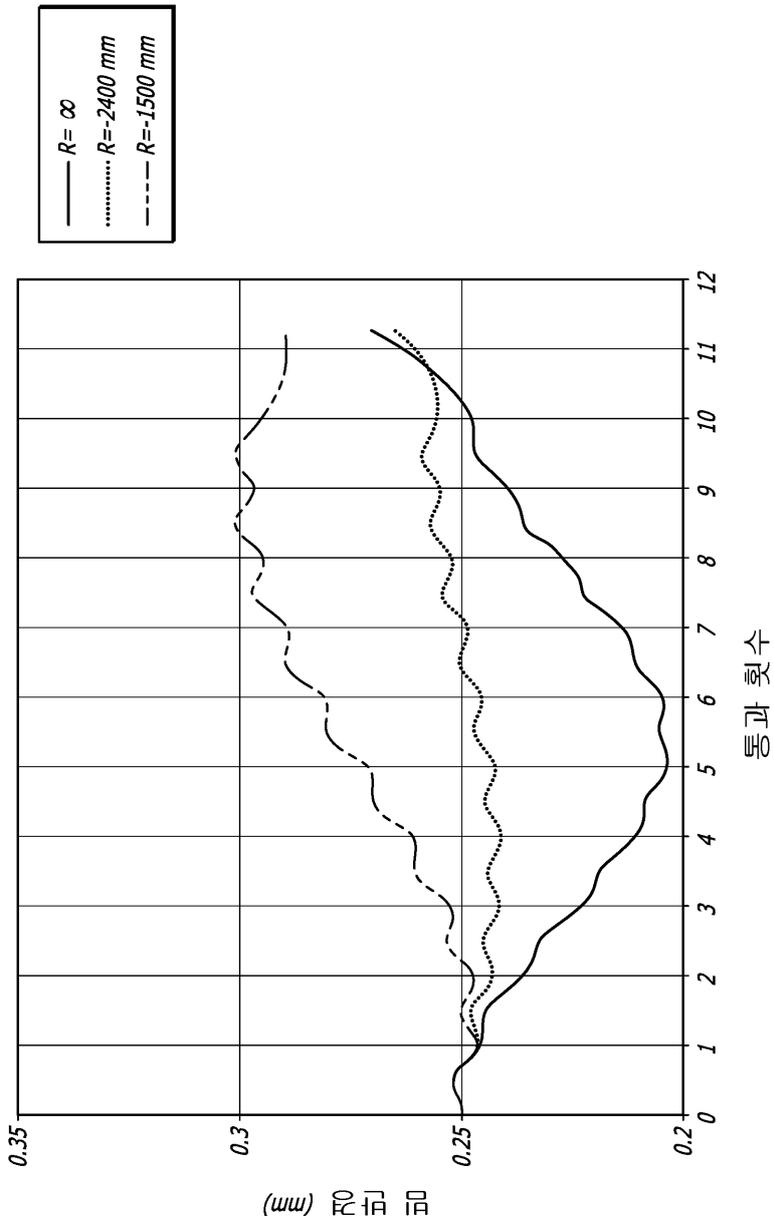
도면15



도면16



도면17



도면18

