(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0158243
(43) 공개일자 2024년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01S 3/094* (2006.01) *H01S 3/04* (2021.01)
*H01S 3/06* (2006.01) *H01S 3/083* (2006.01)
*H01S 3/0941* (2006.01) *H01S 3/16* (2006.01)
*H01S 3/23* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*H01S 3/094049* (2013.01)
*H01S 3/0407* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7028518
(22) 출원일자(국제) 2023년02월23일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년08월23일
(86) 국제출원번호 PCT/US2023/013699
(87) 국제공개번호 WO 2023/164049
국제공개일자 2023년08월31일
(30) 우선권주장
63/313,605 2022년02월24일 미국(US)

(71) 출원인
**뉴포트 코포레이션**
미국 캘리포니아 어빈 디이리 애비뉴 1791
(72) 발명자
**고르잔, 마틴**
미국 캘리포니아 92606 어빈 디이리 애비뉴 1791
**켐니쳐, 마티아스**
미국 캘리포니아 92606 어빈 디이리 애비뉴 1791
**아리올라, 에드먼드**
미국 캘리포니아 92606 어빈 디이리 애비뉴 1791
(74) 대리인
**특허법인 광장리앤고**

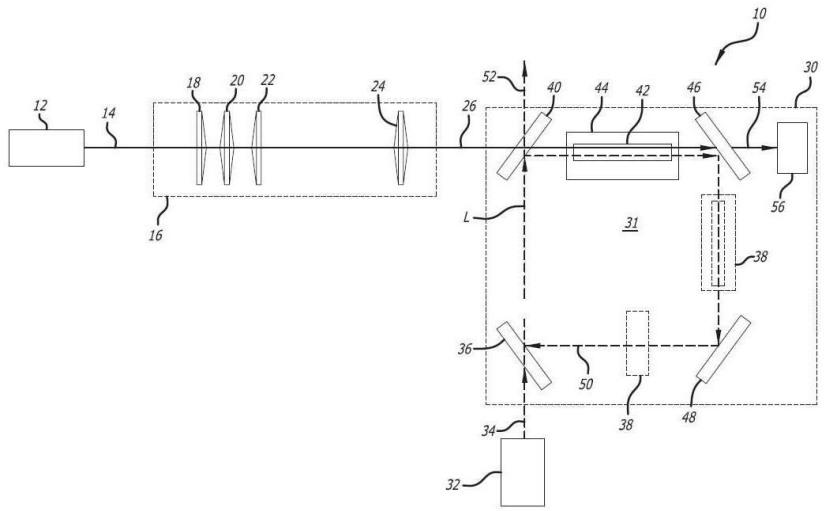
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 **복수의 엔드 펌프 스폿을 이용한 레이저 증폭기 및 그 제조 방법**

## (57) 요 약

본 출원은 증폭 과정 동안에 광학 결정을 펌핑하기 위해 복수의 엔드 펌프 스폿을 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 다양한 실시예를 개시하며, 상기 레이저 증폭기 시스템은 각 개별 펌프 빔렛을 확대하여 확대된 펌프 빔렛을 출력하도록 구성된 텔레센트릭 텔레스코프를 포함되고 있으며, 펌프 빔렛은 공진기 내에 위치한 광학 결정에 입사할 때 평행을 유지하고 실질적으로 발산되지 않으므로 컴팩트한 레이저 증폭기 시스템의 구축을 가능하게 한다.

## 대 표 도



(52) CPC특허분류
*H01S 3/0606* (2013.01)
*H01S 3/0617* (2013.01)
*H01S 3/083* (2019.01)
*H01S 3/09408* (2013.01)
*H01S 3/09415* (2013.01)
*H01S 3/1618* (2013.01)
*H01S 3/2325* (2013.01)

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

레이저 증폭기 시스템(laser amplifier system)으로서:

850㎚ 내지 1250㎚의 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합(fiber-coupled) 레이저 다이오드 어레이;

상기 적어도 하나의 펌프 신호를 수신하고 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호를 출력하도록 구성된 상기 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광학적으로 소통하는 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프(telecentric telescope);

적어도 하나의 입력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 신호 소스;

상기 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프 및 상기 적어도 하나의 신호 소스와 소통하는 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기(resonator-like amplifier) - 상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기는 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 주입(injection) 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러 및 적어도 하나의 미러에 의해 규정되며, 상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기는 상기 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 입력 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러 및 적어도 하나의 미러에 의해 규정된 50㎜ 내지 700㎜의 광 경로 길이를 갖음 -; 및

상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기 내에 있으며 상기 적어도 하나의 펌프 신호와 상기 적어도 하나의 입력 신호의 적어도 일부를 수신하고 상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기에서 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 광학 결정 위치(optical crystal position)

를 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이는 둘 이상의 광섬유 몸체를 포함하고, 각각의 광섬유 몸체는 적어도 하나의 펌프 빔렛(beamlet)을 출력하도록 구성되며 다수의 빔렛이 상기 적어도 하나의 펌프 신호를 형성하는, 레이저 증폭기 시스템.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 펌프 신호는 960㎚ 내지 990㎚의 파장을 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 펌프 신호는 970㎚ 내지 980㎚의 파장을 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프는 200㎛ 내지 약 800㎛ 범위의 타겟 스폿 사이즈(target spot size)를 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프는 380㎛ 내지 약 475㎛ 범위의 타겟 스폿 사이즈를 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프는 4배(4x)의 배율을 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프는 적어도 2배(2x)의 배율을 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 주입 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러, 및 적어도 하나의 미러 중 적어도 하나는, 상기 적어도 하나의 펌프 신호를 투과시키고 상기 적어도 하나의 입력 신호를 반사하도록 구성되는 적어도 하나의 다이크로익(dichroic) 코팅을 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 10**

제1항에 있어서,

상기 광 경로 길이는 80mm 내지 120mm의 범위에 있는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 11**

제1항에 있어서,

상기 광 경로 길이는 100mm 내지 110mm의 범위에 있는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 12**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 입력 신호가 상기 적어도 하나의 광학 결정의 패싯(facet) 상의 상이한 스폿에 반복적으로 입사하도록, 상기 적어도 하나의 입력 신호는 상기 공진기-유사 증폭기를 반복적으로 횡단하여 통과하는(traverses through), 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 13**

제13항에 있어서,

적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 주입 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러, 및 적어도 하나의 미러는 상기 공진기-유사 증폭기의 광축에 대해 경사지고(tilted), 상기 적어도 하나의 입력 신호가 상기 공진기-유사 캐비티를 통과하는 상이한 광 경로를 따라 횡단하도록, 적어도 하나의 증폭된 신호가 상기 공진기-유사 증폭기 내를 횡단하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 주입 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러, 및 적어도 하나의 미러가 쐐기체(wedged body)를 포함하며, 상기 적어도 하나의 입력 신호가 상기 공진기-유사 캐비티를 통과하는 상이한 광 경로를 따라 횡단하도록, 상기 적어도 하나의 증폭된 신호가 상기 공진기-유사 증폭기 내를 횡단하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 15**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호는 복수의 펌프 빔렛을 포함하고, 각각의 빔렛은 상기 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이를 형성하는 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드를 이미징하며 각각의 빔렛은 상기 적어도 하나의 광학 결정의 적어도 하나의 패싯 상에 개별 펌프 스폿을 형성하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 16**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광학 결정은 Yb:YAG로 제조되는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 17**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광학 결정은 Yb:Lu2O3, Yb:Sc2O3, Yb:GGG, Yb:KYW, Yb:CALGO, Yb:$CaF_2$ 및 Yb:CNGG로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 재료로 제조되는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 18**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광학 결정은 균일한 도핑 농도를 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 19**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광학 결정은 불균일한 도핑 농도를 갖는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 20**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 신호 소스는 모드-잠금 펨토초 레이저 소스(mode-locked femtosecond laser source)를 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 21**

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 신호 소스는, 하나 이상의 프리앰프(preamplifiers)를 갖는 레이저 소스, 광대역 광학 소스(broadband optical source), 피코초 광학 소스, 나노초 광학 소스, CW 광학 소스 및 공진기-유사 증폭기로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 신호 소스를 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 22**

제1항에 있어서,

상기 공진기-유사 증폭기 내에 배치된 적어도 하나의 선택적인 광학 소자를 더 포함하고, 상기 적어도 하나의 광학 소자는 렌즈 시스템, 마이크로 렌즈 어레이, 필터, 공간 필터(spatial filter), 하나 이상의 구멍(hole) 또는 선(line) 형태의 기계적 차단기(blocker), 투과 광학 소자, 이득 매체(gain media), 광학 결정(optical crystal), 편광자(polarizer) 및 파장판(wave plate)으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 23**

레이저 증폭기 시스템으로서:

적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이로부터 개별적으로 방출되는 복수의 펌프 빔렛으로부터 형성된

적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이;

상기 적어도 하나의 펌프 신호를 형성하는 상기 개별적인 펌프 빔렛을 수신하고 복수의 개별 증폭기 펌프 신호를 출력하도록 구성된 상기 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광학적으로 소통하는 텔레센트릭 텔레스코프;

적어도 하나의 입력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 신호 소스;

상기 텔레센트릭 텔레스코프 및 상기 적어도 하나의 신호 소스와 소통하는 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기 - 상기 공진기-유사 증폭기는 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 주입 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러, 및 적어도 하나의 미러에 의해 규정됨 -; 및

상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기 내에 있으며 상기 복수의 개별 증폭기 펌프 신호 및 상기 적어도 하나의 입력 신호에 의해 펌핑되고 상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기로부터 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성된 광학 결정 위치

를 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

**청구항 24**

레이저 증폭기 시스템으로서:

적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이로부터 개별적으로 방출되는 복수의 펌프 빔렛으로부터 형성된 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이;

상기 적어도 하나의 펌프 신호를 형성하는 상기 개별적인 펌프 빔렛을 수신하고 복수의 개별 증폭기 펌프 신호를 출력하도록 구성된 상기 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광학적으로 소통하는 텔레센트릭 텔레스코프;

적어도 하나의 입력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 신호 소스;

상기 텔레센트릭 텔레스코프 및 상기 적어도 하나의 신호 소스와 소통하는 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기; 및

상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기 내에 있으며 상기 개별 펌프 빔렛 및 상기 적어도 하나의 입력 신호에 의해 펌핑되고 상기 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기로부터 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성되는 적어도 하나의 광학 결정 위치

를 포함하는, 레이저 증폭기 시스템.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 관련 출원과의 상호 참조

[0002] 본 출원은 2022년 2월 24일에 출원된 미국 가특허출원 제63/313,605호(발명의 명칭 "Laser Amplifier Utilizing Multiple End Point Spots and Method of Manufacture")에 대한 우선권의 이익을 주장하며, 상기 미국 가특허출원의 내용은 참조에 의해 그 전체가 본 명세서에 통합된다.

### *배 경 기 술*

[0003] 현재 초고속 파이버 레이저의 성능에는 한계가 있다. 예를 들어, 현재 사용 가능한 초고속 파이버 레이저는 피크 파워와 평균 파워 측면에서 제한되어 있다. 예를 들어, 현재 사용 가능한 초고속 레이저 장치는 일반적으로 약 200와트(200W)로 제한되어 있으며, 특히 소위 횡방향 모드 불안정성으로 인해 제한된다.(C. Jauregui et al, "Transverse mode instability," Adv.Opt.Photonics 12 (2), 429-484 (2020) 참조.

[0004] 이에 반해, 더 높은 피크 파워와 높은 평균 파워를 가진 초고속 레이저 시스템을 제조하기 위해 다양한 아키텍처가 검토되어 왔다. 예를 들어, 복잡하고 값비싼 차프 펄스 증폭(이하 CPA)을 대면적 광결정 섬유와 결합한 시스템이 제안되어 1mJ 이상의 펄스 에너지를 실현할 수 있는 가능성이 제시되었다.(F. Roeser et al, "Millijoule pulse energy high repetition rate femtosecond fiber chirped-pulse amplification system,"

Opt.Lett.32, No.24 (2007) 참조). 어느 정도 유용하지만, 이 제안된 시스템에는 나름대로의 한계와 과제가 있었다. 예를 들어, CPA를 포함하면 시스템의 복잡성과 비용이 증가한다.

[0005] 이에 대해 Russbueldt(P. Russbueldt 등, "400 W Yb:YAG Innoslab fs-amplifier", Opt.Exp. 17, No. 15, (2009), 및 Russbueldt(t P. Russbueldt et al, " Optically end-pumped slab amplifier comprising pump modules arranged in a distributed manner," US9484705B2 참조)에 의해 400W 이상, CPA 없이 μJ의 출력 파워를 입증했다, Innoslab의 설계는 여러 다이오드 바에서 얻은 결정 개구부 전체에 균질화된 펌프 필드(라인)를 사용하여 Innoslab 시스템 및 유사한 슬래브 앰프에 사용되는 펌프 모듈을 사용하여 400W의 출력 파워를 공급할 수 있음을 입증했다. 슬래브 증폭기에 사용되는 펌프 성형 및 전송 광학 시스템은 설계가 복잡하고 제조 비용이 높으며 부피가 크다. 또한 신호 빔의 모양과 정렬은 복잡하고 시간이 많이 걸린다. 또한 Innoslab 시스템 및 유사한 슬래브 증폭기를 사용할 때 매우 우수한 빔 품질(즉, 낮은 빔 전파 계수 M2, 가성을 통해 둥글고 균일하게 매끄러운 가우시안 빔)을 달성하기가 곤란하다.

[0006] 이를 바탕으로 Schulte와 Russbueldt는 Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT Annual Report 2015에서 "Scalable USP Power Amplifier Based on the Multirod Concept Based on the Scalable USP Power Amplifier"라는 제목의 해결방안을 작성하였다. 그러나 연례 보고서의 공개는 시스템의 중요한 기술적 세부 사항, 제조 고려 사항 및 아키텍처를 공개하지 않으며, 그러한 시스템을 구축할 수 있는 이론적 가능성에만 초점을 맞추고 있다. 또한 Schulte와 Russbueldt의 논문에서 펌프 파장은 940㎚가 바람직하며, 이는 이색 미러의 코팅 설계에 대한 제약이 적다고 언급했다. 또한, 스폿당 펌프 파워는 최대 파워의 절반 150W의 절반 50W에 불과한 것으로 보고되었다. 애플리케이션에 따라서는 더 높은 파워가 필요할 수도 있다.

[0007] 이러한 이유로 고출력(100W 이상), 고반복률의 레이저 증폭기가 요구되고 있다.

## *발명의 내용*

### *과제의 해결 수단*

[0008] 본 출원은 증폭 공정 중에 광학 결정을 펌핑하기 위해 복수의 엔드 펌프 스폿을 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 다양한 실시예를 개시한다. 본 명세서에 개시된 장치는 펌프 소스로서 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이를 포함한다. 펌프 소스는 복수의 펌프 빔렛을 출력하고, 이 펌프 빔렛은 개별 펌프 빔렛을 확대하여 펌프 빔렛이 평행하고 실질적으로 비발산 상태로 유지되도록 확대된 펌프 빔렛을 출력하도록 구성된 텔레센트릭 텔레스코프(telecentric telescope)를 향하도록 구성된다. 확대된 복수의 펌프 빔렛으로 구성된 증폭기 펌프 신호는 공진기-유사(resonator-like) 증폭기 내에 배치된 광학 결정에 입사된다. 적어도 하나의 입력 신호 역시 광학 결정에 입사하고, 공진기-유사 증폭기를 반복적으로 통과하여 광학 결정에 반복적으로 입사함으로써 광학 결정에 의해 증폭된다. 마지막으로, 증폭된 신호는 공진기-유사 증폭기로부터 방출된다. 일 실시예에서, 선행 기술의 증폭기와는 달리, 본 시스템은 개별 펌프 빔렛을 실질적으로 발산하지 않고 유지하면서 모든 펌프 빔렛을 확대하는 단일 텔레스코프를 포함한다. 또한, 여러 개의 광학 결정이 필요한 선행 기술 시스템과는 달리, 본 발명의 시스템은 단일의 광학 결정을 포함할 수 있어 소형 레이저 증폭기 시스템을 구축할 수 있다.

[0009] 구체적인 일 실시예에서, 본 출원은 레이저 증폭기 시스템에 관한 것으로, 850㎚ 내지 1250㎚의 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이를 포함한다. 적어도 하나의 텔레센트릭 텔레스코프는 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광통신을 행하고, 펌프 신호를 수신하고, 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호를 출력하도록 구성된다. 적어도 하나의 신호 소스는 적어도 하나의 입력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기는 텔레센트릭 텔레스코프 및 신호 소스와 통신한다. 공진기-유사 증폭기는 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 입력 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러 및 적어도 하나의 미러로 구성될 수 있다. 공진기-유사 증폭기는 신호 미러, 펌프 입력 미러, 펌프 출력 미러 및 미러에 의해 규정 된 광 경로 길이가 약 50㎜ 내지 약 700㎜일 수 있다. 적어도 하나의 광학 결정 위치는 공진기-유사 증폭기 내에 있고, 펌프 신호 및 입력 신호의 적어도 일부를 수신하고 공진기-유사 증폭기에서 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.

[0010] 또 다른 실시예에서, 본 출원은 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이로부터 개별적으로 방출되는 복수의 펌프 빔렛으로부터 형성된 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이를 포함하는 레이저 증폭기 시스템을 대상으로 한다. 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광통신하는 텔레센트릭 텔레스코프는 펌프 신호를 형성하는 개별 펌프 빔렛을 수신하고 개별 증폭기 펌프 신호

를 형성하는 복수의 확대된 펌프 빔렛을 출력하도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 신호 소스는 적어도 하나의 입력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기는 텔레센트릭 텔레스코프 및 신호 소스와 연결된다. 공진기-유사 증폭기는 적어도 하나의 신호 미러, 적어도 하나의 펌프 입력 미러, 적어도 하나의 펌프 출력 미러 및 적어도 하나의 미러에 의해 규정된다. 광학 결정은 공진기-유사 증폭기 내에 배치되고, 복수의 개별 증폭기 펌프 신호 및 입력 신호에 의해 펌핑되고, 공진기-유사 증폭기로부터 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.

[0011] 또 다른 실시예에서, 본 출원은 레이저 증폭기 시스템에 관한 것으로, 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이로부터 개별적으로 방출되는 복수의 펌프 빔렛으로부터 형성된 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이를 포함한다. 텔레센트릭 텔레스코프는 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이와 광통신을 통해 적어도 하나의 펌프 신호를 형성하는 개별 펌프 빔렛을 수신하고, 복수의 개별 증폭기 펌프 신호를 출력하도록 구성된다. 적어도 하나의 공진기-유사 증폭기는 텔레센트릭 텔레스코프 및 신호 소스와 통신할 수 있다. 적어도 하나의 광학 결정은 공진기-유사 증폭기 내에 배치되고, 개별 펌프 빔렛 및 입력 신호에 의해 펌핑되고, 공진기-유사 증폭기에서 적어도 하나의 증폭기 출력 신호를 출력하도록 구성될 수 있다.

[0012] 다중 엔드 펌프 스폿을 이용한 레이저 증폭기 및 그 제조 방법의 다른 특징과 장점은 다음과 같은 자세한 설명을 고려하면 알 수 있을 것이다.

## *도면의 간단한 설명*

[0013] 도면은 예시적인 실시예를 개시하며, 여러 엔드 펌프 스폿 및 제조 방법을 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 모든 실시예를 규정하기 위한 것이 아니다. 공간을 절약하거나 보다 효과적인 설명을 위해 명백하거나 불필요할 수 있는 세부 사항은 생략될 수 있다. 반대로, 일부 실시예는 특정 실시예에 대해 개시된 모든 세부 사항 없이도 실시될 수 있다. 동일한 참조 번호가 다른 도면에 나타나는 경우, 참조 번호는 동일하거나 유사한 구성요소 또는 단계를 가리킨다. 본 명세서에 개시된 복수의 엔드 펌프 스폿을 이용하는 레이저 증폭기 시스템 및 제조 방법의 신규한 양태는 다음 도면을 고려하면 더욱 명확해질 것이다:

도 1a는 공진기-유사 증폭기를 갖는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예의 개략도이다;

도 1b는 공진기-유사 증폭기를 갖는 레이저 증폭기 시스템의 다른 실시예의 개략도이다;

도 2는 공진기-유사 증폭기를 갖는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 3은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이 펌프 광학 소스의 일 실시예의 분해 입면 사시도이다;

도 4a는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이 펌프 소스의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 4b는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용하기 위한 섬유-결합 레이저 다이오드 어레이 펌프 광학 소스의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 5는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예와 함께 사용하기 위한 텔레스코프의 일 실시예의 측면 사시도이다;

도 6은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 여러 개의 펌프 빔렛을 가로지르는 텔레스코프의 일 실시예의 측면 사시도이다;

도 7은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 공진기-유사 증폭기의 일 실시예의 개략도이다;

도 8은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 9는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 복수의 펌프 빔이 입사하는 광학 결정의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 10은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 11은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 12는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 13은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 14는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에 사용되는 광학 결정의 또 다른 실시예의 입면 사시도이다;

도 15는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 광축 OA에 수직인 펌프 출력 미러의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 16은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용하기 위한 광축 OA에 대해 경사된 펌프 출력 미러의 일 실시예의 입면 사시도이다;

도 17은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 공진기-유사 증폭기에 도입되는 증폭기 펌프 신호의 입면 사시도이다;

도 18은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 사용되는 공진기-유사 증폭기에서 출력되는 증폭기 출력 신호의 입면 사시도이다;

도 19는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 증폭기 신호가 광학 결정을 통과하는 모습을 보여주는 측면 사시도이다;

도 20은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 광학 결정과 마이크로 렌즈 어레이를 통과하는 증폭기 신호의 측면 사시도이다;

도 21은 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예에서 광학 결정과 두 개의 렌즈를 통과하는 증폭기 신호의 측면 사시도이다;

도 22는 본 명세서에 설명된 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예를 사용하여 증폭된 신호의 빔 품질 측정값을 나타낸다;

도 23은 단일 패스 구성으로 여러 개의 엠프 펌프 스포츠를 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 24는 멀티 패스 구성으로 여러 개의 엠프 펌프 스포츠를 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 일 실시예를 나타내는 개략도이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0014] 본 출원은 광신호 증폭을 위해 복수의 엔드 펌프 스폿을 이용하는 레이저 증폭기 시스템의 다양한 실시예를 개시한다. 이하, 예시적인 실시예를 첨부 도면을 참조하여 설명한다. 특별히 명시하지 않는 한, 도면에서 구성요소, 특징, 요소 등의 사이즈, 위치 등 및 이들 사이의 거리는 반드시 축척에 따른 것이 아니며, 명확성을 위해 불균형 및/또는 과장된 것으로 간주될 수 있다.

[0015] 본 명세서에 사용된 용어는 특정한 예시적 실시예를 설명하는 데에만 사용되며 제한하려는 의도는 아니다. 본 명세서에 사용된 단수형은 문맥상 명확히 달리 표시되지 않는 한 복수형도 포함하도록 의도되었다. 본 명세서에서 사용될 때 "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는 명시된 특징, 정수, 단계, 연산, 요소 및/또는 구성요소의 존재를 지정하지만 하나 이상의 다른 특징, 정수, 단계, 연산, 요소, 구성요소 및/또는 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 것을 인식해야 한다. 달리 명시되지 않는 한, 값의 범위는 언급될 때 범위의 상한 및 하한과 그 사이의 모든 하위 범위를 포함한다. 달리 명시되지 않는 한, "제1", "제2" 등의 용어는 한 요소를 다른 요소와 구별하는 데만 사용된다.

[0016] 달리 명시되지 않는 한, 용어 "약", "그 근처" 등은 양, 사이즈, 제형, 매개변수 및 기타 양과 특성이 정확하지 않고 정확할 필요도 없지만, 허용 오차, 변환 계수, 반올림, 측정 오차 및 이와 유사한 사항과 당업자에게 알려진 기타 요인을 반영하여 원하는 대로 대략적으로 같거나 더 크거나 작을 수 있음을 의미한다.

[0017] 다음 설명에 설명된 많은 실시예는 공통 구성요소, 장치 및/또는 요소를 공유한다. 동일한 이름의 구성요소 및 요소는 전체에서 동일한 이름의 요소를 참조한다. 예를 들어, 다음 자세한 설명에 설명된 실시예는 일반적으로 적어도 하나의 공진기, 증폭기 및/또는 공진기-유사 증폭기 내에 배치된 적어도 하나의 이득 매체(gain media)를 포함한다. 또한, 아래에 설명된 실시예는 일반적으로 적어도 하나의 펌프 소스에서 적어도 하나의 공진기 펌프 신호를 공진기, 증폭기 및/또는 공진기-유사 증폭기로 결합하기 위한 적어도 하나의 원심 텔레스코프를 포함한다. 당업자라면 아래에 설명된 실시예에서 다양한 추가 장치 또는 구성요소를 사용할 수 있음을 이해할 것이다. 또한, 다양한 대체 텔레스코프 시스템을 본 시스템과 함께 사용할 수 있다. 따라서 동일하거나 유사한 이름의 구성요소 또는 기능은 해당 도면에 언급되거나 설명되지 않았더라도 다른 도면을 참조하여 설명될 수 있

다. 또한, 참조 번호로 표시되지 않은 요소조차도 다른 도면을 참조하여 설명될 수 있다.

[0018] 본 개시의 사상과 교시로부터 일탈하지 않고서 다양한 형태와 실시예가 가능하므로 본 개시는 여기에 제시된 예시적인 실시예에 국한되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려 이러한 예시적인 실시예는 본 개시가 철저하고 완전하도록 제공되며, 당업자에게 개시의 범위를 전달하도록 제공된다.

[0019] 도 1a, 도 1b 및 도 2는 여러 개의 엔드 펌프 스폿을 사용하는 레이저 증폭기의 다양한 실시예를 나타낸다. 도 1a, 도 1b 및 도 2에 도시된 레이저 증폭기 시스템의 구성은 상이하지만, 시스템은 유사한 방식으로 작동한다. 도 1a 및 도 2에 도시된 바와 같이, 레이저 증폭기 시스템(10)은 하나 이상의 펌프 신호(14)를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 펌프 소스(12)를 포함한다. 일 실시예에서, 펌프 소스(12)는 하나 이상의 섬유-결합 레이저 다이오드 또는 유사한 이미터(이하, 광섬유 어레이)로 구성되지만, 당업자는 임의의 다양한 펌프 소스가 레이저 증폭기 시스템(10)과 함께 사용될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 선택적으로, 임의의 수의 펌프 신호(14)가 임의의 수의 펌프 소스(12)로부터 방출될 수 있다. 또한, 복수의 펌프 빔렛(28a~28g)(도 6 참조)이 펌프 신호(14)를 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0020] 다시 도 1 및 도 2를 참조하면, 적어도 하나의 텔레스코프 또는 광학 시스템(16)은 펌프 신호(14)를 수신하고 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호(26)를 출력하도록 구성될 수 있다. 도시된 실시예에서, 텔레스코프(16)는 4개의 렌즈 또는 광학 장치를 포함하지만, 당업자는 임의의 수의 렌즈 또는 광학 장치가 텔레스코프(16)에 사용될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 또한, 텔레스코프(16) 내의 적어도 하나의 광학 장치 또는 구성요소는 이동 가능, 분리 가능 또는 다른 방식으로 재배치 가능하게 구성될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 텔레스코프(16) 내의 4개의 렌즈(18, 20, 22, 24)는 고정되어 있을 수 있다. 예를 들어, 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20), 제3 렌즈(22) 및 제4 렌즈(24)의 위치는 광학 소스(12)가 이동 가능하게 구성되는 동안 고정될 수 있다. 도시된 실시예에서, 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20) 및 제3 렌즈(22)는 개별 요소로 구성된다. 선택적으로, 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20), 제3 렌즈(22) 및 제4 렌즈(24) 중 하나 이상이 인접한 광학 시스템에 결합되어 모놀리식 렌즈 시스템을 형성할 수 있다. 일 실시예에서, 렌즈(18, 20, 22 및 24)는 용융 실리카로 제조되지만, 당업자는 렌즈(18, 20, 22 및 24)가 임의의 다양한 재료로 제조될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 선택적으로, 렌즈(18, 20, 22, 24) 중 적어도 하나는 구면 렌즈 또는 당업자에게 공지된 다른 렌즈 구성으로 구성될 수 있다. 또한, 텔레스코프(16)는 필터, 공간 필터, 분석기, 센서, 미러, 회절 격자 등을 포함한 임의의 수의 대체 추가 장치를 포함할 수 있지만, 이에 국한되지는 않는다.

[0021] 도 1a 및 도 2에 도시된 바와 같이, 텔레스코프(16)로부터의 증폭기 펌프 신호(26)는 적어도 하나의 증폭기(30)로 유도된다. 도 2에서, 증폭기 펌프 신호(26)를 공진기, 증폭기 및/또는 공진기-유사 증폭기로 유도하기 위해 적어도 하나의 미러 또는 이와 유사한 장치(27)를 사용할 수 있다. 도 1a, 도 1b 및 도 2에 도시된 실시예에서, 증폭기(30)는 링 공진기-유사 증폭기로 구성되지만, 당업자는 공진기-유사 증폭기의 임의의 다양성, 유형 및/또는 구성이 레이저 증폭기 시스템(10)에서 사용될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 증폭기(30)는 공진기-유사 증폭기(이하, RL 증폭기(30))라고 불린다. 예시된 실시예에서, RL 증폭기(30)는 텔레스코프(16)와 광학적으로 소통하는 적어도 하나의 펌프 입력 미러(40)를 포함한다. 펌프 입력 미러(40)는 증폭기 펌프 신호(26)의 적어도 일부가 전파될 수 있도록 구성될 수 있다. 그 후, 증폭기 펌프 신호(26)는 RL 증폭기(30) 내의 하나 이상의 광학 결정 또는 이득 매체(42)에 입사될 수 있다. 도시된 실시예에서, 이득 매체(42)는 적어도 하나의 광학 마운트 또는 스테이지(44)에 배치된다. 일 실시예에서, RL 증폭기(30) 내의 광학 마운트(44)의 위치는 고정될 수 있다. 선택적으로, 광학 마운트(44)는 RL 증폭기(30) 내에서 이동 가능하게 배치될 수 있다. 사용 중에, 증폭기 펌프 신호(26)는 이득 매체(42)에 펌프 에너지를 공급하도록 구성될 수 있다.

[0022] 다시 도 1a, 도 1b 및 도 2를 참조하면, 증폭기 펌프 신호(26)는 이득 매체(42)를 통과하여 RL 증폭기(30) 내에 배치된 적어도 하나의 미러에 입사한다. 도시된 실시예에서, 증폭기 펌프 신호(26)는 펌프 출력 미러(46)를 통과하여 소비 펌프 신호(54)를 형성한다. 선택적으로, 펌프 신호(26)의 일부는 펌프 출력 미러(46)에 의해 반사될 수 있다. 그 후, 소비된 펌프 신호(54)는 하나 이상의 빔 덤프 또는 이와 유사한 장치(56)로 유도된다.

[0023] 또한, 증폭될 하나 이상의 광 신호(이하, 입력 신호(34))가 RL 증폭기(30)로 향할 수 있다. 도시된 실시예에서, 적어도 하나의 신호 소스(32)는 RL 증폭기(30)로 향하는 적어도 하나의 입력 신호(34)를 발한다. 신호 소스(32)는 모드-잠금 펨토초 레이저 소스(mode-locked femtosecond laser source), 하나 이상의 전치 증폭기를 갖는 레이저 소스, 광대역 광학 소스, 피코초 광학 소스, 나노초 광학 소스, CW 광학 소스 등을 포함한 임의의 다양한 장치를 사용할 수 있지만, 이에 국한되지 않는다. 선택적으로, 신호 소스(32)는 유사한 레이저 증폭기 시스템(10)의 출력 신호를 포함하고, 이에 의해 다단계(multi-stage) 증폭기를 형성할 수 있다. 보다

간략하게 설명하면, 도 1a, 도 1b 및 도 2에 도시된 RL 증폭기(30)의 증폭 출력 신호(52)는 다른 또는 후속 RL 증폭기(도시하지 않음) 또는 해당 기술 분야에서 공지된 다른 증폭기의 입력 신호(34)로서 기능할 수 있다. 도시된 실시예에서, 입력 신호(34)는 RL 증폭기(30)에 직접 주입되도록 구성될 수 있으며, 이에 따라 신호 미러(36 또는 36')가 존재하는 경우 신호 미러(36 또는 36')를 건너뛰거나 신호 미러(36 또는 36')와 상호작용하도록 구성될 수 있다(도 1b 참조). 따라서, 일 실시예에서, 신호 미러(36)(및/또는 36')는 입력 신호(34)의 적어도 일부가 이를 통과할 수 있도록 구성될 수 있고, 이에 따라 입력 신호(34)가 공진기-유사 증폭기(10)에 주입될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 입력 신호(34)는 입력 미러(36)(및/또는 36')에 결합하지 않고 공진기-유사 증폭기(10)에 주입될 수 있다. 예를 들어, 입력 신호(34)는 신호 미러(36)(및/또는 36')의 아래, 위 또는 옆을 가로지르도록 구성될 수 있다. 미러(36, 40, 46, 48 및 36', 48') 중 적어도 하나는 입력 신호(34)의 파장에서 높은 반사율을 갖도록 구성된 하나 이상의 코팅을 포함할 수 있다. 또한, 미러(36, 40, 46, 48(및 존재하는 경우 48') 중 적어도 하나는 입력 신호(34)/증폭 신호(50)의 파장에 대해 고반사율인 반면, 증폭기 펌프 신호(26)의 파장에 대해 고투과성이어서 증폭기 펌프 신호(26)가 RL 증폭기(30)로부터 추출될 수 있도록 구성된 다이크로익 미러로 구성될 수 있다. 예를 들어, 펌프 입력 미러(40) 및 펌프 출력 미러(46)는 모두 하나 이상의 다이크로익 코팅을 포함할 수 있고, 다이크로익 코팅은 증폭 펌프 신호(26)의 파장에서는 고투과성이지만 증폭 신호(50)의 파장에서는 고반사성을 갖도록 구성될 수 있다. 그 결과, 이득 매체(42)에 펌프 에너지를 공급한 후 공진기(40)에서 펌프광을 쉽게 제거할 수 있다. 또한, 미러(36, 40, 46 및 48) 중 적어도 하나 및 미러(36' 및 48')(존재하는 경우)는 평면 및/또는 쐐기형 몸체를 포함할 수 있다. 입력 신호(34)는 펌프 입력 미러(40)에 의해 반사되어 이득 매체(42)로 향할 수 있다. 이득 매체(42)는 입력 신호(34)를 증폭하도록 선택될 수 있다. 이러한 방식으로, 신호 소스(32)는 이득 매체(42)를 구성하는 사용 재료에 기초하여, 입력 신호(34)의 증폭을 가능하게 하도록 구성된 파장을 갖는 입력 신호(34)를 제공하도록 선택될 수 있다. 일 실시예에서, 펌프 출력 미러(46)는 약간의 쐐기, 경사 또는 캔트(예컨대, ~수deg)를 갖도록 배치되어, 큰 각도(예컨대, ~45° )로 공칭 평면 평행판(46)을 통과하는 펌프 빔 수렴으로 인해 광학 결정(42) 내의 펌프 신호의 비점 수차를 변화시킬 수 있다. 그 결과, 펌프 출력 미러(46) 후 펌프 빔의 전파 축의 불필요한 이동은 증폭기 출력 신호(52)의 축을 조정하여 보정할 수 있다.

[0024] 다시 도 1a, 도 1b 및 도 2를 참조하면, 이득 매체(42)에 의해 방출된 적어도 하나의 증폭 신호(50)는 RL 증폭기(30) 내의 하나 이상의 추가 미러 위치에 의해 반사될 수 있다. 예를 들어, 도시된 실시예에서, RL 증폭기(30)는 증폭기 펌프 신호(54)를 RL 증폭기(30)로부터 적어도 하나의 빔 덤프(56)로 전송하면서 증폭 신호(50)의 실질적으로 전부를 반사하도록 구성되는 적어도 하나의 펌프 출력 미러(46)를 포함한다. 펌프 출력 미러(46)는 실질적으로 모든 증폭기 펌프 신호(54)를 투과시키면서 증폭된 신호(50)의 실질적으로 전부를 RL 증폭기(30)로 반사하도록 구성된 하나 이상의 다이크로익 코팅을 포함할 수 있다. 도시된 실시예에서, 적어도 하나의 증폭기 미러(48)가 RL 증폭기(30) 내에 배치되어 증폭된 신호(50)를 입력 신호 미러(36)로 유도하여 링 RL 증폭기(30)를 형성한다. 예를 들어, 도 1a에 도시된 바와 같이, RL 증폭기(30) 내에 단일 증폭 경로(31)가 형성될 수 있다.

[0025] 대조적으로, 도 1b는 제1 증폭 경로(31) 및 적어도 제2 증폭 경로(33)가 형성된 RL 증폭기(30)의 실시예를 나타낸다. 일 실시예에서, 증폭 신호(50)를 제1 증폭 경로(31) 및 적어도 제2 증폭 경로(33)에 공급하기 위해 단일 광학 결정(42)을 사용할 수 있다. 도 1b에 도시된 실시예에서, 제1 광학 결정(42)은 제1 증폭 경로(31)에 증폭 신호(50)를 공급하도록 구성될 수 있고, 적어도 제2 광학 결정(42')은 제2 증폭 경로(33)에 적어도 증폭 신호(50)를 공급하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 및 제2 광학 결정체(42, 42'는 동일한 재료로 제조된다. 선택적으로, 제1 및 제2 광학 결정체(42, 42'는 서로 다른 재료로 제조된다. 또한, 하나 이상의 추가 광학 소자 또는 구성요소(38, 38')가 RL 증폭기(30) 내에 배치될 수 있다. 예시적인 추가 구성요소(38)는 렌즈 시스템, 마이크로 렌즈 어레이, 필터, 공간 필터, 하나 이상의 구멍 또는 선(빗(comb)) 형태의 기계적 차단기, 투과 광학 소자, 이득 매체, 광학 결정, 편광자, 파장판 등을 포함하나 이에 국한되지 않는다. 당업자는 RL 증폭기(30)가 미러(36, 40, 46, 48) 사이의 거리의 합에 의해 정의되는 임의의 원하는 광 경로 길이 $L$을 갖도록 구성될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 도 1a 및 도 2와 관련하여, 광 경로 길이 L은 약 50㎜ 내지 400㎜일 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광 경로 길이 L은 약 80㎜ 내지 120㎜일 수 있다. 선택적으로, 광 경로 길이 L은 약 100㎜ 내지 110㎜일 수 있다. 대조적으로, 광 경로 길이 $L$ (즉, 도 1b에 도시된 RL 증폭기의 36', 36, 40, 46, 48, 48' 사이의 총 거리)은 약 80㎜ 내지 700㎜일 수 있다. 구체적인 실시예에서, 광 경로 길이 L은 약 100㎜ 내지 약 140㎜이다.

[0026] 도 3, 도 4a 및 도 4b는 도 1 및 도 2에 도시된 레이저 증폭기 시스템과 함께 사용하기 위한 예시적인 펌프 소스(12)의 다양한 도면을 도시한다. 그러나, 당업자에게는 본 출원이 하나 이상의 펌프 신호(14)의 소스로서 하

나 이상의 섬유-결합 다이오드 레이저를 사용하는 것을 논의하는 동안, 임의의 수 및 다양한 레이저 시스템이 RL 증폭기(30)(도 1 및 도 2 참조) 내에 배치된 이득 매체(42)에 에너지를 공급하기 위해 사용될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 일 실시예에서, 펌프 소스(12)는 하나 이상의 섬유-결합 중 출력 레이저 다이오드를 포함한다. 보다 구체적으로, 각 섬유-결합 레이저 다이오드는 1W 내지 1500W 사이의 펌프 파워를 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성될 수 있고, 보다 구체적인 실시예에서, 각 섬유-결합 레이저 다이오드는 약 50W 내지 200W의 펌프 파워를 갖는다. 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 각 섬유-결합 레이저 다이오드는 약 100W 이상의 펌프 출력을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성될 수 있지만, 약 10W 이상의 펌프 출력을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호를 출력하도록 구성된 섬유-결합 레이저 다이오드를 사용하여 보다 소형의 레이저 증폭기가 구성될 수 있다. 옵션으로 본 출원 명세서에 기재된 아키텍처와 유사한 아키텍처를 사용하여 1mW 이하의 펌프 신호(14)를 출력할 수 있는 펌프 광학 소스(12)를 이용하여 초저출력 증폭기 시스템을 구축할 수 있다.

[0027] 다시 도 3, 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 펌프 소스(12)는 이득 매체(42)를 구성하는 데 사용되는 재료에 크게 의존하는 임의의 원하는 파장에서 적어도 하나의 펌프 신호(14)를 출력하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 펌프 신호(14)는 약 c의 파장을 갖지만, 당업자는 임의의 다양한 파장이 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 또 다른 실시예에서, 펌프 신호(14)는 약 940㎚ 내지 약 1000㎚의 파장을 갖는다. 선택적으로, 펌프 소스(12)는 약 960㎚ 내지 약 990㎚의 파장을 갖는 적어도 하나의 펌프 신호(14)를 출력하도록 구성된다. 구체적인 일 실시예에서, 펌프 신호(14)는 약 969㎚ 내지 약 971㎚의 파장을 갖는다. 또 다른 구체적인 실시예에서, 펌프 신호(14)는 약 970㎚ 내지 약 980㎚의 파장을 갖는다. 도시된 바와 같이, 펌프 소스(12)는 펌프 소스 본체(62)를 포함하며, 펌프 소스 본체(62)는 하나 이상의 V-홈 또는 유사한 파이버 정렬 보조 장치(64)가 형성되거나 그 위에 배치되어 섬유-결합 레이저 다이오드의 광섬유 본체(66)가 그 안에 정확하고 확실하게 배치될 수 있도록 한다. 일 실시예에서, 섬유 직경은 20㎛에서 200㎛ 사이이고, 조리개 수(NA)는 0.05에서 0.22 사이이다. 또 다른 실시예에서, 섬유 직경은 50㎛ 내지 110㎛이고, NA는 0.1 내지 0.22이고, 또 다른 구체적인 실시예에서, 섬유 직경은 90㎛ 내지 110㎛이고, NA는 0.1 내지 0.22이다. 또한, 적어도 하나의 커버 플레이트(68)를 사용하여 펌프 소스 본체(62) 내에 하나 또는 여러 개의 섬유를 고정할 수 있다. 도시된 실시예에서, 적어도 하나의 레이저 다이오드에 각각 결합된 7개의 섬유(66)는 펌프 장치 본체(62)에 형성된 V홈(64) 내에 배치되어 적어도 하나의 V홈 어레이를 형성한다. 당업자는 펌프 소스(12)를 형성하기 위해 임의의 수의 섬유(66)를 사용할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 2개(2)의 섬유(66)가 사용될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 10개의 섬유(66)가 사용된다. 사용 중에, 각 섬유(66)는 펌프 빔렛을 출력하도록 구성되고, 이 펌프 빔렛은 펌프 소스(12) 내의 다른 섬유(66)에 의해 방출된 펌프 빔렛과 결합될 때 펌프 신호(14)를 협력적으로 형성한다. 이와 같이, 펌프 신호(14)는 각 섬유(66)에 의해 방출되는 다수의 펌프 빔렛으로 구성된다.

[0028] 일 실시예에서, 장치 본체(62)에 형성된 V홈(64)은 실질적으로 평행하다. 선택적으로, 장치 본체(62)에 형성된 V홈(64)은 실질적으로 비평행하다. 예를 들어, 섬유(66)는 약 5㎛ 이하에서 약 2500㎛ 이상의 섬유 피치를 갖는다. 또 다른 실시예에서, 섬유(66)는 약 250㎛ 내지 약 700㎛의 섬유 피치를 가질 수 있다. 또 다른 실시예에서, 섬유(66)는 약 500㎛의 섬유 피치를 갖는다. 당업자는 임의의 수의 섬유(66)가 펌프 장치 본체(62) 내에 배치될 수 있음을 이해할 것이다. 일 실시예에서, 섬유(66) 중 적어도 하나는 단일 모드 섬유로 구성된다. 또 다른 실시예에서, 섬유(66) 중 적어도 하나는 다중 모드 섬유로 구성된다. 또 다른 실시예에서, 섬유(66) 중 적어도 하나는 나머지 섬유와 다른 직경 또는 NA를 갖는 다중 모드 섬유로 구성된다. 일 실시예에서, 펌프 장치 본체(62) 및 커버 플레이트(68) 중 적어도 하나는 유리로 제조된다. 선택적으로, 펌프 장치 본체(62) 및 커버 플레이트(68) 중 적어도 하나는 복합 재료, 합금, 세라믹 재료, 금속, 엘라스토머, 폴리머, 결정체, 결정체 재료 등을 포함하는 다양한 재료로 제조될 수 있다. 또는, 섬유 어레이의 다른 제조 수단으로는 정밀하게 천공된 구멍에 섬유를 개별적으로 부착(예컨대, 접착제로 접착)하거나, 섬유를 유리판 또는 이와 유사한 기판에 융착하는 것 등이 포함되나, 이에 국한되지 않는다. 또한, 도 1 및 도 2에 도시된 레이저 증폭기 시스템(10)의 실시예는 단일 펌프 소스(12)를 이용한다. 선택적으로, 임의의 수의 펌프 소스(12)가 레이저 증폭기 시스템과 함께 사용될 수 있으며, 도 1 및 도 2에 도시되어 있다. 도시된 실시예에서, 광섬유(66)는 펌프 장치 본체(62) 내에 수직으로 배치된다. 선택적으로, 섬유(66) 중 적어도 하나는 펌프 장치 본체(62) 내에 수평으로 배치될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 섬유(66)는 펌프 장치 본체(62) 내에 수직 및 수평으로 배치될 수 있다. 도 4a는 공통 수직 축을 따라 수직으로 정렬된 다수의 섬유 이미터를 갖는 펌프 소스(12)의 실시예를 나타낸다. 대조적으로, 도 4b는 펌프 장치 본체(62) 내에 수직 및 수평으로 분포된 섬유 이미터를 갖는 펌프 소스의 실시예를 도시한다.

[0029] 도 5 및 도 6은, 도 1 및 도 2에 도시된 레이저 증폭기 시스템(10)과 함께 사용하기 위한 텔레스코프 또는 광학

시스템(16)의 일 실시예의 다양한 도면을 도시한다. 일 실시예에서, 텔레스코프(16)는 복수의 렌즈를 포함한다. 보다 구체적으로, 일 실시예에서, 텔레스코프(16)는 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20), 제3 렌즈(22) 및 제4 렌즈(24)를 포함한다. 선택적으로, 임의의 수의 렌즈, 스톱, 조리개, 아이리스 및/또는 광학 장치가 텔레스코프(16)에 사용될 수 있다. 또한, 임의의 유형의 텔레스코프는 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20), 제3 렌즈(22) 및 제4 렌즈(24)일 수 있다. 일 실시예에서, 텔레스코프(16)는 텔레센트릭 텔레스코프로 구성된다. 따라서, 일 실시예에서, 제1 렌즈(18), 제2 렌즈(20) 및 제3 렌즈(22)는 삼중 렌즈(triplet)를 형성하고, 제4 렌즈(24)는 렌즈 단 렌즈(lens singlet)를 형성한다. 또한, 렌즈(18, 20, 22, 24)는 고정될 수 있고, 펌프 소스 본체(62)가 움직일 수 있다. 선택적으로, 텔레스코프(16)에 사용되는 렌즈 중 적어도 하나는 움직일 수 있도록 구성될 수 있다. 이와 같이, 텔레스코프(16)는 약 10㎛ 이하에서 약 2000㎛ 이상의 범위의 타겟 스폿 사이즈를 제공하도록 구성될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 텔레스코프(16)는 약 200㎛ 내지 약 800㎛ 범위의 타겟 스폿 사이즈를 제공하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 텔레스코프(16)는 약 380㎛ 내지 약 475㎛ 범위의 타겟 스폿 사이즈를 제공하도록 구성될 수 있다. 텔레스코프(16)는 임의의 원하는 배율을 갖도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 텔레스코프(16)는 약 4배(4x)의 배율을 갖는다. 또 다른 실시예에서, 텔레스코프(16)는 약 2배(2x)의 배율을 갖는다. 선택적으로, 텔레스코프(16)는 약 10배(10x) 이상의 배율을 갖도록 구성될 수도 있다.

[0030] 도 6에 도시된 바와 같이, 텔레스코프(16)는 펌프 신호(14)를 수신하고, 펌프 신호(14)를 확대하여 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호(26)를 출력한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 증폭기 펌프 신호(26)는 펌프 신호(14)를 형성하는 확대 빔렛(28a~28g)으로 구성된다. 당업자는 펌프 신호(14)를 형성하는 펌프 빔렛의 수가 펌프 소스(12)를 형성하는 레이저 다이오드 또는 다른 펌프 에너지 방출기의 수에 대응한다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 선택적으로, 복수의 빔렛(28a-28g)은 광학 결정(42)에 입사되어 광학 결정(42)의 실질적으로 모든 패싯(facet)(74)(도 8 참조)이 증폭기 입력 신호(26)에 의해 펌핑되도록 한다. 다른 실시예에서, 증폭기 입력 신호(26)는 패싯(74)의 일부에만 입사된다. 당업자는 증폭기 펌프 신호(26)가 임의의 원하는 편광을 가질 수 있다는 것을 이해할 것이다. 일 실시예에서, 증폭기 펌프 신호(26)는 S 편광 펌프 신호를 갖는다. 또 다른 실시예에서, 증폭기 펌프 신호(26)는 p 편광을 갖는다. 선택적으로, 증폭기 펌프 신호(26)는 편광일 필요는 없다.

[0031] 도 7 내지 도 16은 레이저 증폭기 시스템(10)에 사용되는 RL 증폭기(30)를 구성하기 위해 사용되는 다양한 요소들을 나타낸다. 도 7에 도시된 바와 같이, RL 증폭기(30)는 복수의 미러를 포함한다. 일 실시예에서, RL 증폭기(30)는 4개의 미러(40, 46, 48, 36)를 포함한다. 도시된 바와 같이, RL 증폭기(30)는 링 공진기-유사 증폭기를 형성할 수 있다. 선택적으로, 레이저 시스템(10)은 임의의 공진기-유사 증폭기 구성을 사용하도록 구성될 수 있으며, RL 증폭기(30)는 적어도 하나의 이득 매체 또는 광학 결정(42)을 포함할 수 있다. 이득 매체(42)는 적어도 하나의 광학 마운트(44) 내에 배치되거나 적어도 하나의 광학 마운트(44)에 의해 유지된다. 일 실시예에서, 광학 마운트(44)는 RL 증폭기(30) 내의 고정된 위치에 배치된다. 선택적으로, 광학 마운트(44)는 RL 증폭기(30) 내에 배치될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 마운트(44)는 선택적으로 이동가능할 수 있다. 또한, 광학 마운트(44)는 이득 매체(44)에 하나 이상의 냉각 유체 또는 열 제어 유체를 공급하도록 구성될 수 있으며, 이를 통해 사용자가 공진기(34) 또는 이득 매체(42) 내의 환경 조건을 열적으로 관리할 수 있다. 선택적으로, 광학 마운트(44)는 열 관리 시스템 또는 장치를 포함할 필요가 없다.

[0032] 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이, 이득 매체(42)는 적어도 하나의 엔드 패싯(74) 및 적어도 하나의 길쭉한 면(78)을 갖는 적어도 하나의 장치 본체(72)를 포함한다. 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, 이득 매체(42)는 엔드 패싯(74)에서 증폭기 펌프 신호(26)를 수신하도록 구성된다. 또 다른 실시예에서, 이득 매체(42)는 길쭉한 면(74)에서 증폭기 펌프 신호(26)를 수신하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 7개의 펌프 스폿(76)이 이득 매체(42)의 엔드 패싯(74)에 형성되며, 이들은 증폭기 펌프 신호(26)를 형성하는 펌프 빔렛(28a~28g)에 대응한다. 임의의 수의 펌프 스폿(76)이 이득 매체(42)의 엔드 패싯(72)에 형성될 수 있다. 도 9에 도시된 바와 같이, 사용 중에 공진기-유사 증폭기(30)를 가로지르는 증폭 신호(50)는 이전과 다른 펌프 스폿(74)에서 광학 결정(42)에 입사한다. 또한, 펌프 스폿은 수직으로 배치되지만, 당업자는 이득 매체(42)의 엔드 패싯(74)에 임의의 다양한 방향의 임의의 수의 펌프 스폿이 형성될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 선택적으로, 복수의 이득 매체(42)가 RL 증폭기(30) 내에 배치될 수 있다. 예를 들어, 도 10에 도시된 바와 같이, 4개의(4개의) 이득 매체(42)가 서로 인접하여 배치되어 소형의 대형 이득 증폭기 시스템을 제공하는 이득 매체 시스템(43)을 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 이득 매체 시스템(43)의 열 특성을 선택적으로 제어하기 위해 하나 이상의 열 관리 장치 또는 시스템(도시되지 않음)이 각 이득 매체(42) 사이에 배치될 수 있다. 선택적으로, 이득 매체 시스템(43)은 열 관리 시스템을 포함하지 않아도 된다. 예를 들어, 도 11은 증폭기 이득을 증가시키기 위해 수직 및 수평으로 분산된 엔드 스폿 액세스를 허용하는 모놀리식 이득 매체 (42)를 보여준다.

[0033] 도 8 내지 도 14에 도시된 바와 같이, 이득 매체(42)는 임의의 다양한 구성, 재료, 도핑 레벨 등으로 제조될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 이득 매체(42)는 단결정으로 성장한 Yb:YAG 재료로 제조된다. 또 다른 실시예에서, 이득 매체(42)는 세라믹으로서 Yb:YAG 재료로 제조된다. 또 다른 실시예에서, 이득 매체(42)는 Yb:Lu2O3, Yb:Sc2O3, Yb:GGG, Yb:KYW, Yb:CALGO, Yb:$CaF_2$, Yb:CNGG, 다양한 레이저 세라믹 등으로부터 제조된다. 일 실시예에서, 이득 매체(42)는 결정체 내에서 일관성 및/또는 균일한 도핑 농도를 갖는 단일 Yb 도핑된 재료로 제조된다. 대조적으로, 도 9는 결정체 내의 도핑 농도가 다양 및/또는 불균일한 도핑 농도를 갖는 이득 매체(42)의 실시예를 나타낸다. 보다 구체적으로, 이득 매체 본체(72)는 반대쪽 엔드 패싯(74')에 비해 엔드 패싯(74') 내의 도핑 농도가 낮다. 이와 같이, 이득 장치 본체(72) 내의 도핑 농도는 수평면을 따라 가변적이다. 그 결과, 펌프 신호(26)의 펌프 빔렛(28a~28g)은 이득 매체 본체(72)의 도핑 농도가 낮은 쪽의 엔드 패싯(74)에 입사한다. 더 간단히 말하면, 펌프 빔렛(28a~28g)은 이득 매체 본체(72)를 가로지르는 동안 더 큰 도핑 농도를 만나게 된다. 대조적으로, 도 12는 수직면을 따라 변화하는 도핑 농도를 갖는 이득 매체 본체의 실시예를 나타낸다. 또 다른 실시예에서, 도 13은 서로 다른 횡단 치수, 두께, 길이, 높이, 폭, 도핑 농도, 이득 매체 재료 및/또는 이와 같은 것을 갖는 복수의 이득 매체 본체 세그먼트(72a~72g)로 구성된 이득 매체 본체(72)의 실시예를 나타낸다. 또 다른 실시예인 도 14는 제1 이득 매체 본체 재료(72') 및 적어도 제2 이득 매체 본체 재료(72")로 형성된 이득 매체 본체(72)를 나타낸다.

[0034] 도 7에 도시된 바와 같이, 미러(36, 40, 46, 48)는 RL 증폭기(30)를 형성하는 데 사용될 수 있다. 도 15에 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, 미러(36, 40, 46, 48 중 적어도 하나는 광축 OA에 대해 노멀 방향으로 배치될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 도 16에 도시된 바와 같이, 미러 36, 40, 46, 48 중 적어도 하나는 광축 OA로부터 기울어지거나 어긋날 수 있다. 일 실시예에서, 입력 신호 미러(36) 및 펌프 출력 미러(46)는 통상적인 광축으로부터 일정한 각도 α(예컨대, 2도 이상)로 기울어져, 입력 신호(34)가 공진기-유사 증폭기(30)를 반복적으로 횡단함에 따라 입력 신호(34)가 광학 결정(42)의 이전 스폿과 다른 위치에서 광학 결정(42)에 입사할 수 있도록 한다. 광학 결정(42)에 입사할 수 있도록 한다. 당업자는 미러(36, 40, 46, 48 중 적어도 하나가 임의의 원하는 각도로 기울일 수 있다는 것을 이해할 것이다. 선택적으로, 미러(36, 40, 46, 48 중 적어도 하나는 쐐기형 몸체를 포함할 수 있으며, 이는 입력 신호(34)가 공진기-유사 증폭기(30)를 반복적으로 통과할 때 입력 신호(34)가 광학 결정(42)의 이전 지점과 다른 위치에서 광학 결정(42)에 입사할 수 있도록 한다. 그 결과, 증폭된 신호(50)는 이득 매체(42)에 의해 반복적으로 증폭되어 RL 증폭기(30)를 통과할 때 각 미러(36, 40, 46, 48)의 다른 부분에 입사한다. 선택적으로, RL 증폭기(30) 내에서 증폭 신호(50)의 위치를 변경하기 위해 RL 증폭기(30) 내에서 하나 이상의 임의의 광학 소자(38)를 사용할 수 있다(도 1 및 도 2 참조). 예를 들어, 일 실시예에서, 증폭된 신호(50)가 RL 증폭기(30)를 통과할 때마다 증폭된 신호(50)의 위치를 변경하기 위해 하나 이상의 브루스터 플레이트 또는 장치를 사용할 수 있다. 당업자는 증폭된 신호(50)가 RL 증폭기(30)를 통과할 때 증폭된 신호(50)의 위치를 변경하기 위해 임의의 다양한 광학 장치 또는 구성요소가 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 도시된 실시예에서, RL 증폭기는 개방형 링 공진기 또는 "유사" 공진기와 유사하다. 선택적으로, 미러(36, 40, 46, 48 중 적어도 하나는 엔드 미러로 구성될 수 있으며, 이를 통해 개방형 링 공진기와 같은 특징을 닫고 공진기 내 파워는 매우 낮지만 출력 파워는 높은 공진기를 제공할 수 있다.

[0035] 도 7, 도 17 및 도 18은 공진기 신호 88a~88g가 반복적으로 입사하는 입력 신호 미러(36) 및 펌프 입력 미러(40)의 실시예를 나타낸다. 보다 구체적으로, 도 17은 입력 신호(34)가 RL 증폭기(30)에 도입되고 증폭기 신호(88a~88g)가 입력 신호 미러(36)에 의해 반사되는 모습을 나타낸다. 대조적으로, 도 18은 증폭기 펌프 신호(26)가 RL 증폭기(30)로 방출되고, 증폭기 신호(88a~88g)가 펌프 입력 미러(40)에 의해 이득 매체(42)로 향하는 모습을 보여준다. 당업자는 증폭기 신호 88a~88g가 증폭된 신호 50이 RL 증폭기(30)를 순차적으로 통과하는 것을 나타내고, 공진기 신호 88a~88g가 RL 증폭기(30)를 통과하는 위치가 반복적으로 변화하는 것을 나타내기 위해 그렇게 도시된 것일 뿐임을 이해할 수 있을 것이다. 도 17에 도시된 실시예에서, 입력 신호(34)(또는 복수의 입력 신호(34)가 존재함)는 입력 신호 미러(36)를 통과하지 않고 RL 증폭기(30)로 유도될 수 있다. 예를 들어, 도 17에 도시된 바와 같이, 입력 신호(34)는 입력 신호 미러(36)의 아래쪽에서 RL 증폭기(30)에 주입되어 적어도 하나의 증폭기 신호(88a)를 형성할 수 있다. 선택적으로, 입력 신호(34)는 입력 신호 미러(36) 상단의 RL 증폭기(30)에 주입될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 입력 신호(34)는 입력 신호 미러(36) 옆의 RL 증폭기(30)에 주입될 수 있다. 당업자는 미러(36, 40, 46, 48)가 펌프 입력 미러 및/또는 입력 신호 미러로 작동할 수 있으며, 이를 통해 시스템을 임의의 수, 유형 및 구성의 마스터 발진기 전력 증폭기 아키텍처에 맞출 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0036] 그 후, 도 18에 도시된 바와 같이, RL 증폭기(30) 내의 입력 신호(34)를 나타내는 증폭기 신호(88a)는 증폭기

신호(88a)를 이득 매체(42)로 향하게 하는 펌프 입력 미러(40)에 입사되어 반사될 수 있다. 전술한 바와 같이, 입력 신호(34)는 다른 레이저 증폭기 시스템(10)의 증폭된 출력 신호로 구성될 수 있으며, 이에 따라 다단계 레이저 증폭기가 형성될 수 있다. 이득 매체(42)에서 방출된 증폭된 공진기 신호(88b)는 펌프 출력 미러(46) 및 증폭기 미러(40)에 의해 입력 신호 미러(36)로 되돌려진다. 도시된 바와 같이, 일 실시예에서, 증폭기 신호(88b)는 공진기 신호(88a)에서 벗어난다. 증폭기 신호(88a~88f)가 RL 증폭기(30)를 통과하고 이득 매체(42)에 의해 증폭될 때마다(도 17 및 도 18에서 증폭기 신호(88a~88g)의 두께 증가로 표시됨), 증폭기 신호(88b~88g)는 선행하는 증폭기 신호(88a~88g)로부터 변위된다. 마지막으로, 도 18에 도시된 바와 같이, 증폭기 신호(88g)는 펌프 입력 미러(40)를 회피하도록 구성될 수 있으며, 이에 따라 증폭기 신호(88g)는 RL 증폭기(30)로부터 적어도 하나의 증폭 출력 신호(52)를 형성하여 방출될 수 있다. 도시된 실시예에서, 증폭기 신호(88a~88g)는 RL 증폭기(30)를 7회 통과하도록 구성된다. 당업자는 RL 증폭기(30)가 증폭기 신호(88a~88g)가 RL 증폭기(30)를 통과하는 임의의 횟수의 통과를 완료하도록 구성될 수 있으며, 이를 통해 사용자가 증폭기 신호(88a~88g)의 증폭을 제어하거나 변경할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 전술한 바와 같이, 미러(36, 40, 46, 48) 중 적어도 하나는 RL 증폭기(30) 내의 공진기 신호(88a~88g)의 순차적 변위를 가능하게 하기 위해 기울어질 수 있다. 예를 들어, 입력 신호 미러(36)와 펌프 출력 미러(46)를 기울여 공진기 신호(88a~88g)가 RL 증폭기(30)를 각각 통과할 수 있도록 공진기 신호(88a~88g)를 협력적으로 재배치할 수 있다. 대안으로, 하나 이상의 브루스터 플레이트 또는 이와 유사한 위치 이동 장치를 사용하여 증폭기 신호 88a~88g가 RL 증폭기(30)를 통과할 때마다 증폭기 신호 88a~88g의 위치를 변경할 수 있다.

[0037] 도 7 및 도 19 내지 도 21은 입사 신호를 증폭하는 RL 증폭기 (30) 내의 이득 매체 (42)의 다양한 다이어그램을 나타낸다. 도 19 내지 도 21에 도시된 바와 같이, 증폭기 신호(88a)는 RL 증폭기(30)를 가로질러 펌프 입력 미러(40)에 의해 이득 매체(42)로 향한다. 입력 신호(88a)는 이득 매체(42)에서 증폭되어 증폭기 신호(88b)를 출력한다. 증폭기 신호 88b는 예를 들어 RL 증폭기 30 내의 적어도 하나의 경사 미러 36, 40, 46, 48에 의해 RL 증폭기 내에서 약간 재배치되고, 미러 46, 48, 36, 40에 의해 이득 매체 42로 되돌려진다. 이와 같이, 이득 매체(42)에 입사하는 증폭기 신호(88b)의 위치는 증폭기 신호(88a)가 이득 매체(88a)에 입사한 위치에 대해 변위된다. 또한, 증폭기 신호(88b)는 이득 매체에 의해 증폭되어 이득 매체(42)에서 방출되는 증폭 신호(88c)를 생성한다. 이 과정은 증폭 신호(50)(도 7 참조)가 RL 증폭기(30)를 반복적으로 통과하여 최종적으로 RL 증폭기(30)에서 방출될 때까지 임의의 횟수만큼 반복된다. 선택적으로, 도 20에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 마이크로 렌즈 어레이 또는 유사한 광학 부품(38)을 사용하여 RL 증폭기(30) 내에서 증폭된 신호(50)를 포커싱, 결상 또는 기타 방식으로 변경할 수 있다(도 7 참조). 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 대면적 렌즈 또는 유사한 구성요소도 RL 증폭기(30) 내에 배치될 수 있다.

[0038] 증폭기 신호(88a~88g)는 임의의 원하는 편광을 가질 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 증폭기 신호(88a~88g) 중 적어도 하나는 수직 편광(s 편광)이다. 또 다른 실시예에서, 증폭기 신호(88a~88g) 중 적어도 하나는 수평 편광(p 편광)이다. 선택적으로, 증폭기 신호(88a~88g) 중 적어도 하나는 부분적으로 편광된 비편광일 수 있다. 도시된 실시예에서, 증폭기 신호(88a~88g)는 적어도 하나의 증폭 출력 신호(52)를 형성하는 펌프 입력 미러(40)의 상방으로 향한다. 선택적으로, 증폭기 신호(88a~88g)는 적어도 하나의 증폭 출력 신호(52)를 형성하는 펌프 입력 미러(40)의 아래 또는 옆으로 향할 수 있다. 일 실시예에서, 증폭 출력 신호(52)는 약 1020nm 내지 약 1040nm의 파장을 갖지만, 당업자는 증폭 출력 신호(52)의 파장이 이득 매체 재료에 따라 달라진다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 또한, 일 실시예에서, 증폭 출력 신호(52)는 약 10W 내지 약 300W 이상의 파워를 갖는다. 당업자는 RL 증폭기(30)의 출력 파워가 사용되는 이득 매체(42), 펌프 파장, 펌프 파워, 이득 매체(42)의 열 관리, 이득 매체(42)를 통과하는 횟수 등을 포함한 많은 요인에 따라 달라진다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 특정 실시예에서, 증폭 출력 신호(52)는 약 150W 내지 약 300W의 파워를 갖는다. 도 22는 증폭 출력 신호(52)의 다양한 측정값을 나타낸다. 도 1에 도시된 바와 같은 레이저 증폭기 시스템이 구축되었다. 각각의 섬유-결합 레이저 다이오드는 약 100W의 펌프 빔렛 28a-28g (도 6 참조)를 공급하여 이득 매체 (42)로 향하는 증폭 신호 (26)**를** 형성했다. 선택적으로, 섬유-결합 레이저 다이오드는 이득 매체(42)로 향하는 증폭기 신호(26)를 형성하기 위해 약 300W의 펌프 빔렛(28a~28g)(도 6 참조)을 제공하였다. 당업자는 섬유-결합 레이저 다이오드가 약 2W 내지 약 1500W 이상의 펌프 출력을 갖는 펌프 빔렛(28a 내지 28g)(도 6 참조)을 제공하도록 구성될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 또한, 약 2W의 파워를 갖는 입력 신호(34)가 RL 증폭기(30)에 주입되었다. 일 실시예에서, 입력 신호(34)는 약 100W의 입력 파워를 갖는다. 선택적으로, 입력 신호(34)는 약 70W 내지 약 140W의 입력 파워를 가질 수 있다. 선택적으로, 입력 신호(34)는 약 40W 내지 약 300W의 입력 파워를 가질 수 있다. 요컨대, 입력 신호(34)는 임의의 원하는 입력 파워를 가질 수 있다. 증폭된 출력 신호(52)는 약 280W의 출력을 갖는 한편, 빔 전파 계수(beam propagating factor)($M^2X<1.1$, $M^2Y<1.1$)에 의해

정량적으로 측정되는 우수한 빔 품질을 가지며, 또한 완전한 가우시안 빔(TEM00)으로부터의 편차가 가장 작은 부드러운 원형 빔 형상에 의해 정성적으로 측정된다. 당업자는 펌프 파워, 입력 파워, 스펙트럼 대역 내 파워, 출력 파워 및 빔 품질을 원하는 대로 변화시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0039] 도 1 및 도 2에 도시된 레이저 증폭기 시스템은 몇 와트의 입력 신호를 거의 회절 한계에 가까운 우수한 빔 품질로 고출력(>300W), 고에너지(mJ 급(class), 낮은 비선형성)로 증폭할 수 있다. 일 실시예에서, 이는 공진기(10) 내에서 빔 형성(비점수차 보정) 또는 공간 필터링(손실이 있는 고차 모드의 클리닝)을 추가할 필요 없이 달성할 수 있다. 따라서, 추가적인 투과 광학, 빔 형성 부품 및 유사한 장치를 포함할 필요 없이 최소한의 비선형성으로 밀집된, 쉽게 확장 가능한 설계를 제공하며, RL 증폭기(30) 내의 추가 광학 부품에 의존하지 않고, 레이저 증폭기 시스템(10)은 충분한 에너지 및 충분한 엔드 펌프 스폿 사이즈를 갖는 이득 매체 내에 형성된 열 렌즈로 형성된 안정적인 링 레이저 공진기로서, B-Integral을 최소화하는 큰 스폿 사이즈를 허용하고 이득 매체(42) 내의 스폿 사이즈가 최적보다 작아지지 없습니다.

[0040] 일 실시예에서, RL 증폭기(30)는 약 100mm의 왕복 거리를 가지며, 이로 인해 이득 매체(42) 상에 형성된 스폿 상에 적어도 하나의 열 렌즈가 형성된다. 일 실시예에서, 형성된 열 렌즈는 30mm에서 100mm 사이의 초점 거리를 갖는다. 구체적인 일 실시예에서, 형성된 열 렌즈는 약 50mm의 초점 거리를 가지며, 이는 이득 매체(42) 외부에 직경 약 250㎛의 허리 사이즈를 갖는 안정된 링 공진기 모드를 형성한다. 따라서, 이득 매체(42) 내부의 모드 사이즈는 약 380㎛이다. 선택적으로, 증폭기 펌프 신호(26)는 RL 증폭기(30)가 링 공진기 모드(즉, 이득 매체(42)의 내부 위치에서 직경 약 430㎛의 허리 사이즈)와 일치하도록 RL 증폭기(30)를 작동시킨다. 선택적으로, 공진기 입력 신호(34)는 RL 증폭기(30)에 결합되어 링 공진기 모드(즉, 이득 매체(42)의 약 50mm 전방 위치에서 약 250㎛의 허리 사이즈 직경)와 일치하도록 결합될 수 있다. 결과적으로, 레이저 시스템(10)은 세로 변동(예컨대, 열 렌즈 파워의 변화) 및 가로 변동(예컨대, 하나 이상의 미러(36, 40, 46, 48)의 경미한 오정렬) 또는 입력 빔(34) 모두에 대해 자기 유지 설계를 제공하도록 구성될 수 있다. 할 수 있다. 결과적으로, 열 렌즈 효과의 증가는 입력 신호(34)의 빔 직경을 조정함으로써 쉽게 보정될 수 있다. 그러나, 당업자는 원하는 출력 파장, 출력 파워, 빔 품질 등을 제공하기 위해 치수, 확대 파워, 펌프 파워, 입력 신호 파워, 공진기 치수, 이득 매체 재료 등을 변화시킬 수 있음을 이해할 것이다. 일 실시예에서, 이득 매체(42)는 Yb:YAG로 구성되지만, 다른 레이저 재료도 쉽게 생각할 수 있다. 이와 같이, 레이저 증폭기 시스템(10)은 출력 파워가 50W 미만에서(<50W) 300W 이상(>300W)에 이르는 소형, 비용 효율적이고, 높은 빔 품질이 요구되는 레이저 미세 가공 시스템(fs, ps, ns)에 적합하다.

[0041] 또한, 레이저 증폭기 시스템은 선행 기술 시스템과 비교하여 매우 높은 ASE 및 기생 임계값으로 높은 소신호 이득(50dB 이상, 최대 80dB까지)을 제공하도록 구성할 수 있다. 따라서 본 설계는 고이득 MOPA 증폭기(ps, ns, fs 등)로 사용할 수 있다. 예를 들어, 도 23 및 도 24는 RL 증폭기(30)의 대체 구성을 나타낸다. 도 23에 도시된 바와 같이, RL 증폭기(30)는 적어도 하나의 펌프 입력 미러(40)와 적어도 하나의 펌프 출력 미러(46)를 포함할 수 있다. 이전 실시예와 마찬가지로, 펌프 소스(12)는 적어도 하나의 펌프 신호(14)를 RL 증폭기(30)에 공급한다. 도시되지 않았지만, 이전 실시예와 마찬가지로, 적어도 하나의 텔레스코프(16)는 적어도 하나의 증폭기 펌프 신호(26)를 형성하여 적어도 하나의 펌프 신호(14)를 펌프 소스(12)에서 RL 증폭기(30)로 향하도록 구성될 수 있음을 이해해야 한다(도 1 및 도 2 참조). 또한, 적어도 하나의 입력 신호(34)는 적어도 하나의 결합면 또는 장치(39)를 통해 RL 증폭기(30)에 주입된다. 증폭기 펌프 신호(26)와 입력 신호(34)는 광학 마운트(44)에 고정된 이득 매체(42)로 유도된다. 이득 매체(42)는 적어도 하나의 증폭기 신호(50)를 출력하고, 이 증폭기 신호(50)는 RL 증폭기(30)로부터 적어도 하나의 증폭 출력 신호를 출력하도록 구성된 적어도 하나의 출력면 또는 장치로 향한다. 이전 실시예와 마찬가지로, 소비된 증폭기 펌프 신호는 펌프 출력 미러(46)를 통해 RL 증폭기(30)에서 적어도 하나의 빔 덤프에 전송된다.

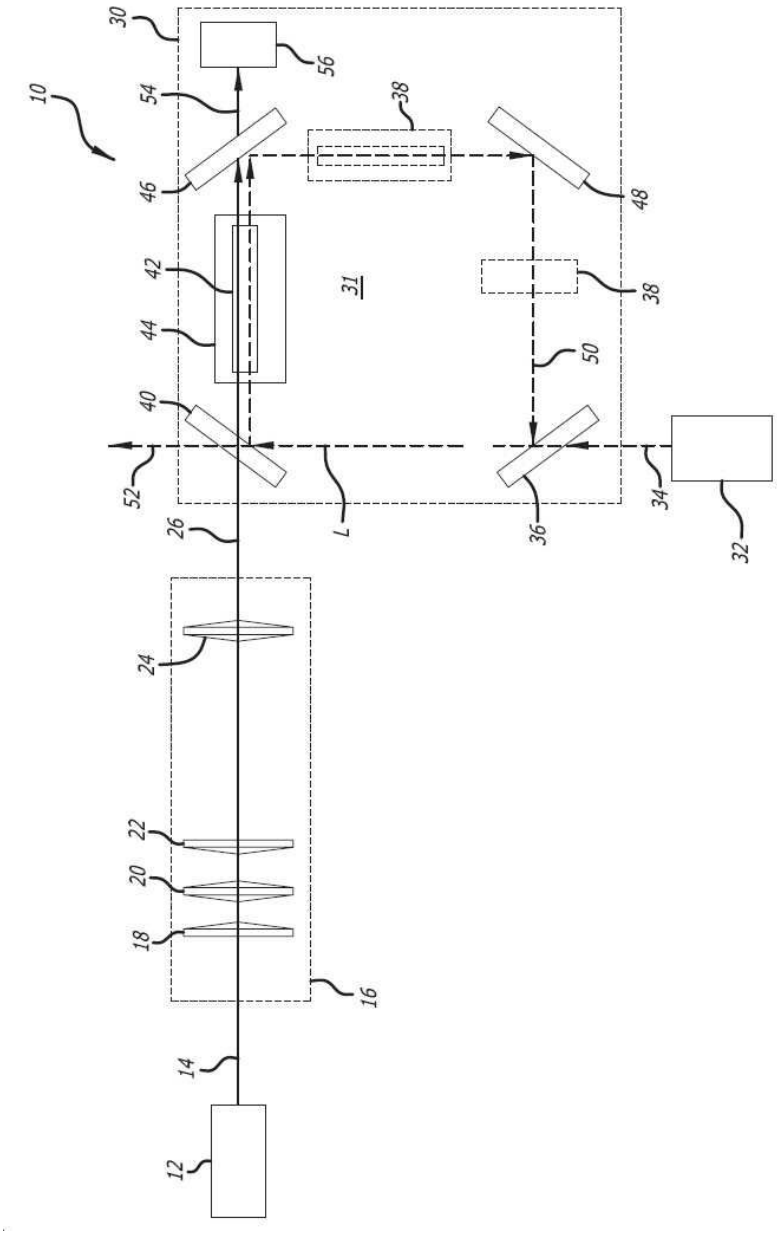
[0042] 도 23은 입력 신호(34)를 증폭하는 단일 패스 증폭 시스템의 일 실시예를 나타낸다. 이와 같이, 미러(40, 46)는 타일 형태로 구성될 필요가 없다. 또한, 단일 패스 구성은 더 높은 펌프 신호(14) 파워 및/또는 신호(34) 파워를 가능하게 할 수 있다. 대안으로, 도 24는 이중 패스 증폭을 위해 구성된 RL 증폭기의 또 다른 실시예를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 증폭기 펌프 신호(26)와 입력 신호(34)는 이득 매체(42)로 향한다. 이에 응답하여, 이득 매체(42)는 증폭기 미러(49)에 의해 반사되어 이득 매체(42)로 되돌아오는 적어도 하나의 증폭기 신호(50)를 출력한다. 이득 매체(42)는 증폭기 신호(50)를 다시 증폭하여 적어도 하나의 재증폭 신호(50')를 형성한다. 재증폭 신호(50')는 RL 증폭기(50)에서 출력되어 적어도 하나의 증폭기 출력 신호(52)를 형성할 수 있다. 이 경우에도 미러(40, 46, 49)를 경사시킬 필요는 없다. 선택적으로, 미러(40, 46, 49 중 적어도 하나는 기울어질 수 있다. 또한, 본 출원에 제시된 다양한 실시예는 증폭기 출력 신호(52)를 다른 증폭기에 주입할

수 있다. 또 다른 실시예에서, 증폭기 출력 신호(52)는 하나 이상의 광섬유 장치 또는 어레이, 마이크로 렌즈 어레이, 렌즈 시스템, 현미경 등에 주입될 수 있다.

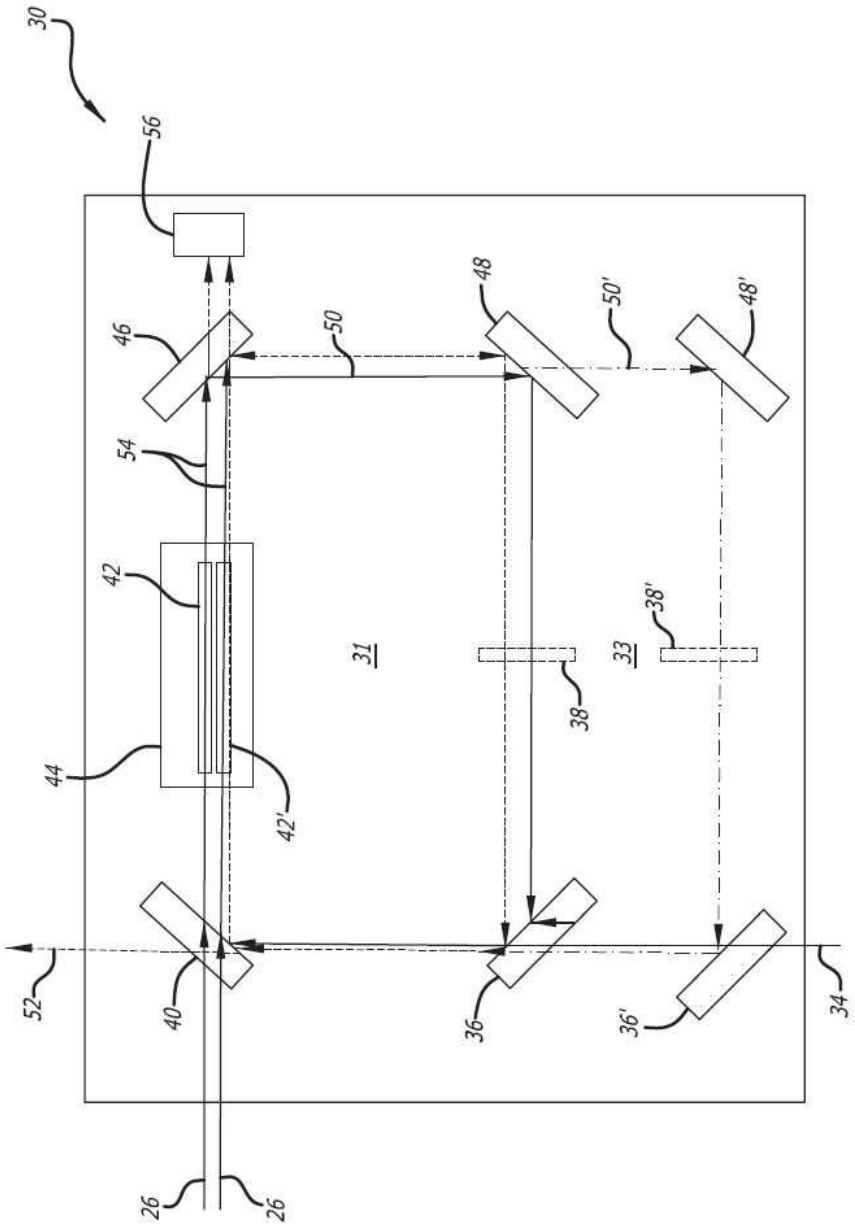
[0043] 본 명세서에 개시된 실시예는 본 발명의 원리를 예시하는 것이다. 본 발명의 범위 내에 있는 다른 변경을 채택할 수 있다. 따라서, 본 출원 명세서에 개시된 장치는 본 명세서에 기재된 바와 같이 정확하게 도시된 것에 한정되지 않는다.

## 도면

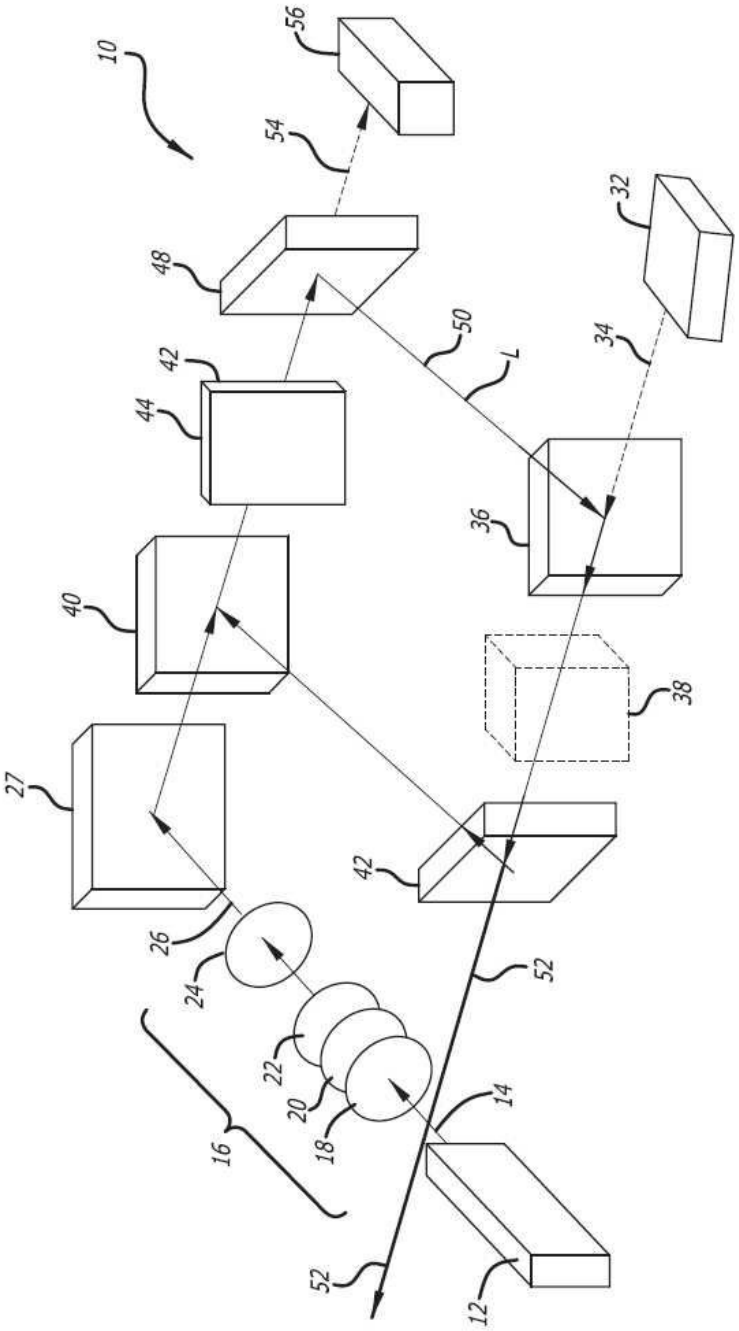
### 도면1a



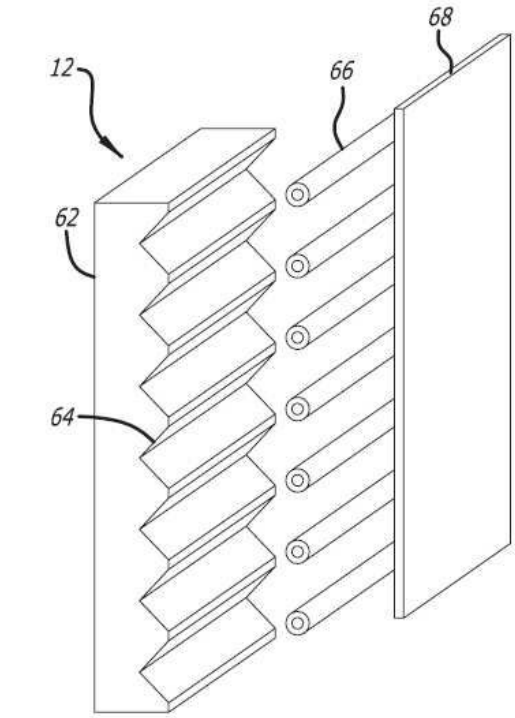
도면1b



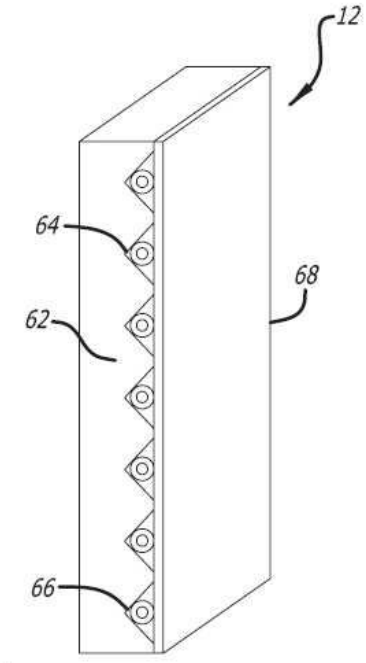
도면2



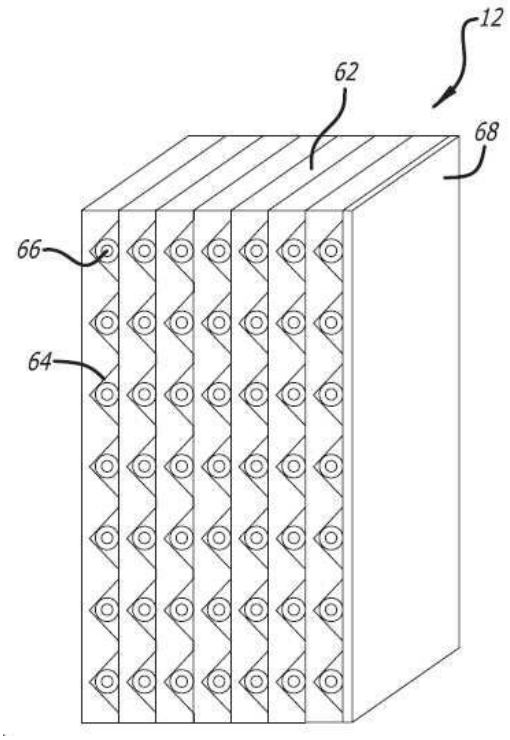
도면3



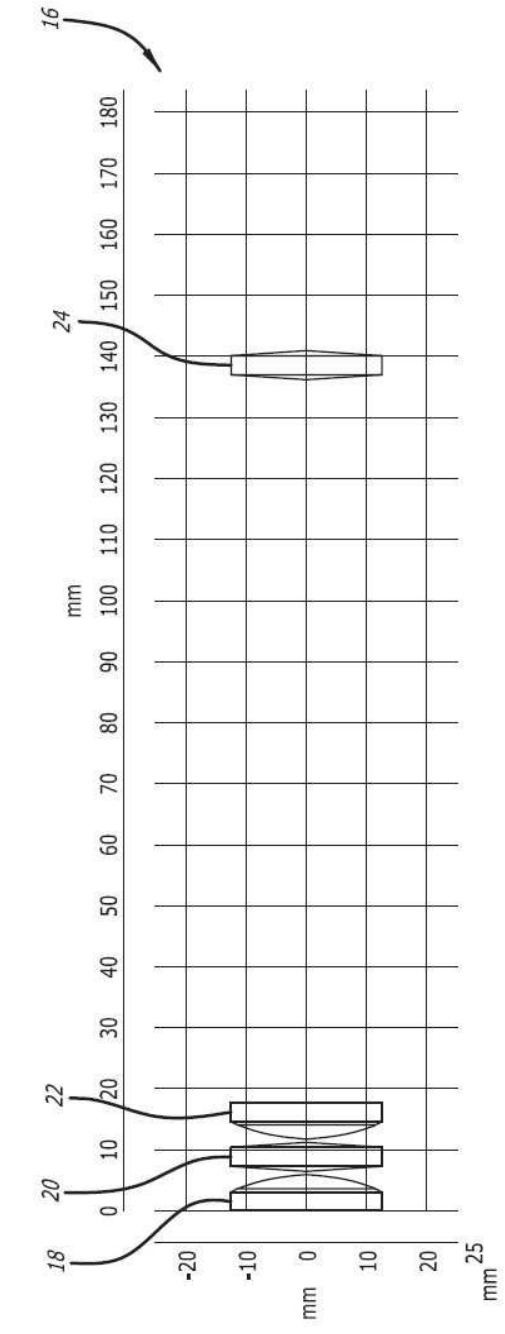

도면4a



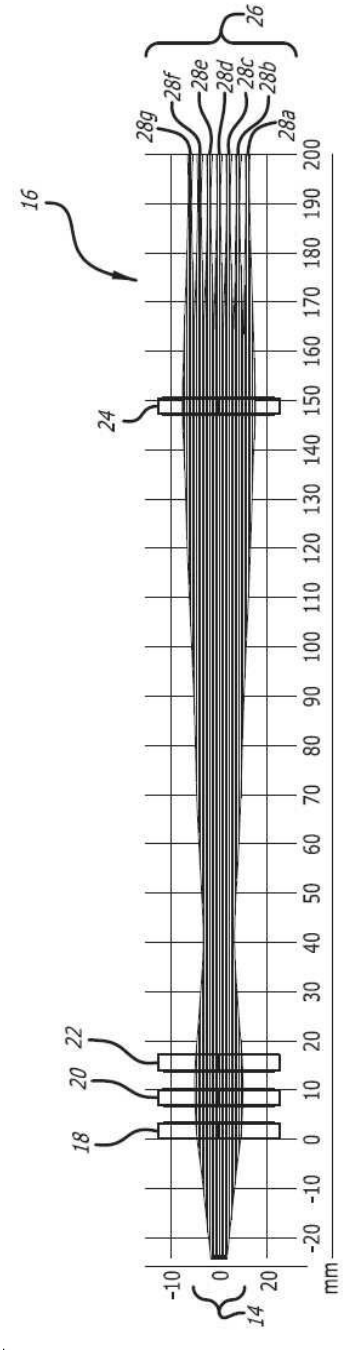
도면4b



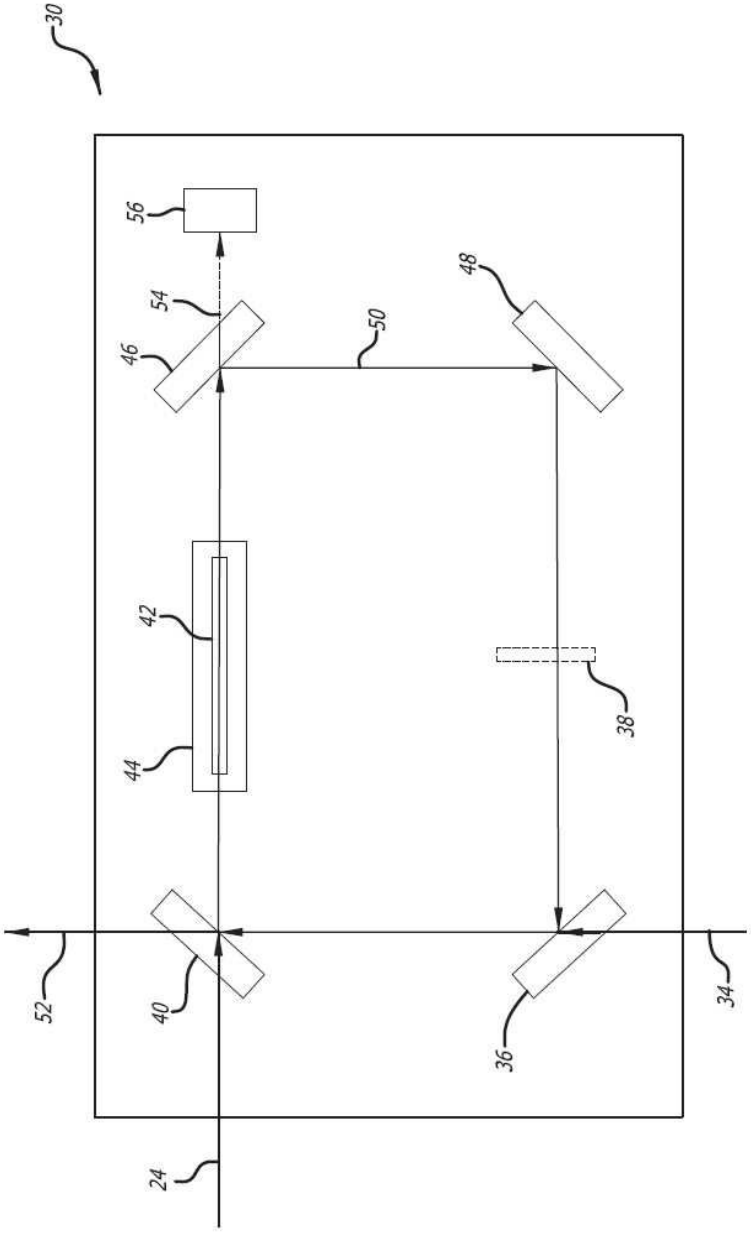
도면5


16
24
22
20
18
mm
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
-20
-10
0
10
20
25
mm

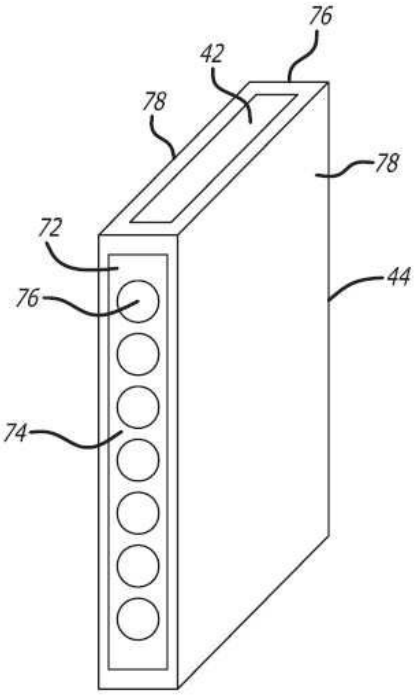
도면6


26
28f
28e
28d
28c
28b
28g
28a
16
24
22
20
18
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-10
0
20
mm
14

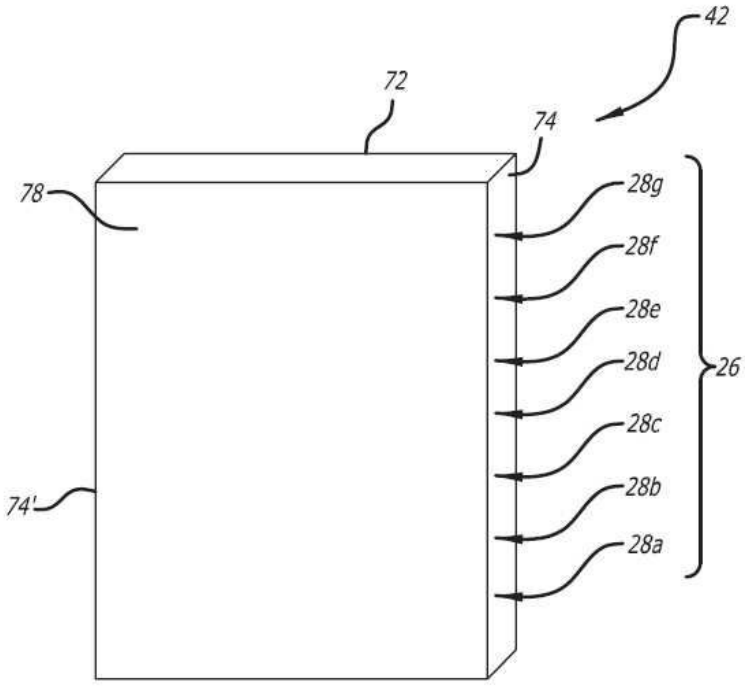
도면7



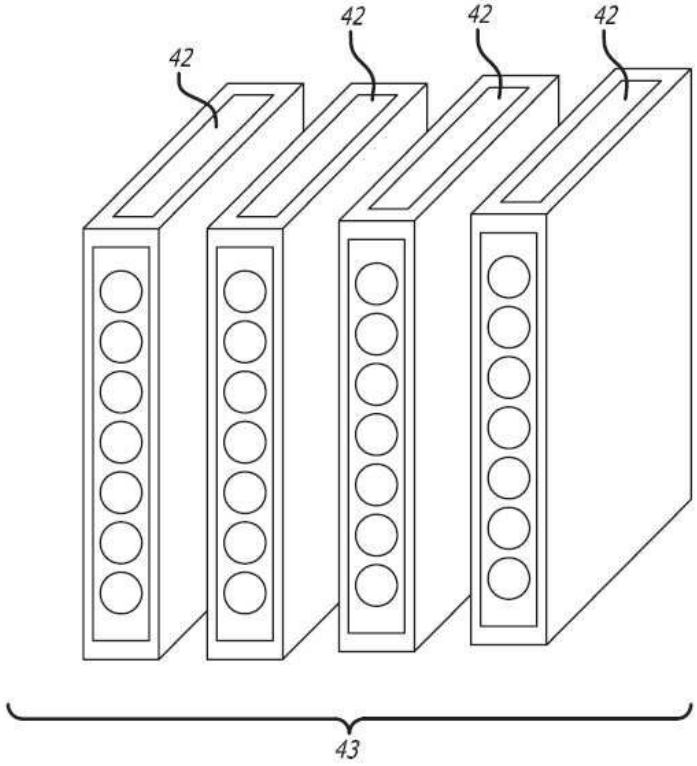
도면8



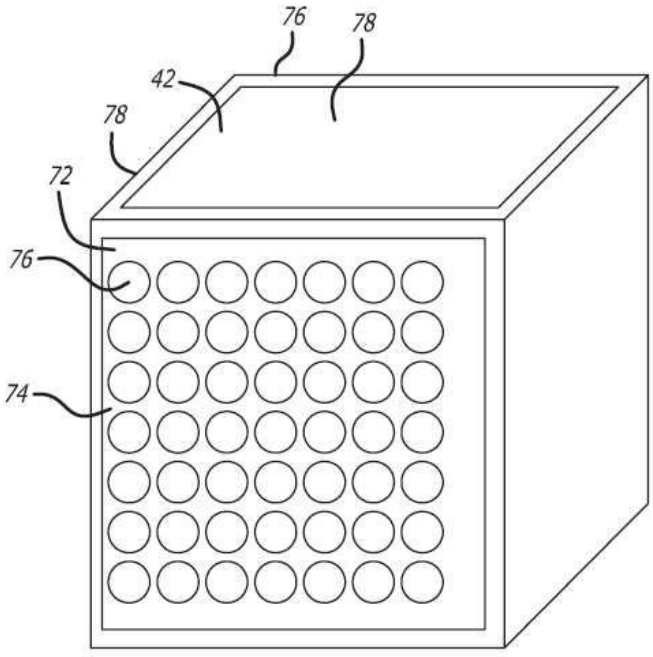

도면9



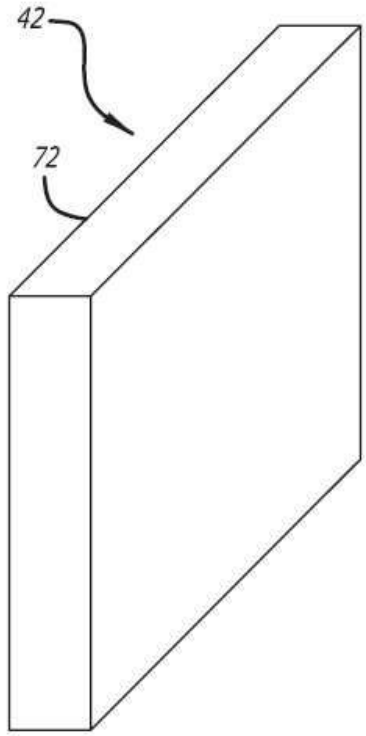
도면10



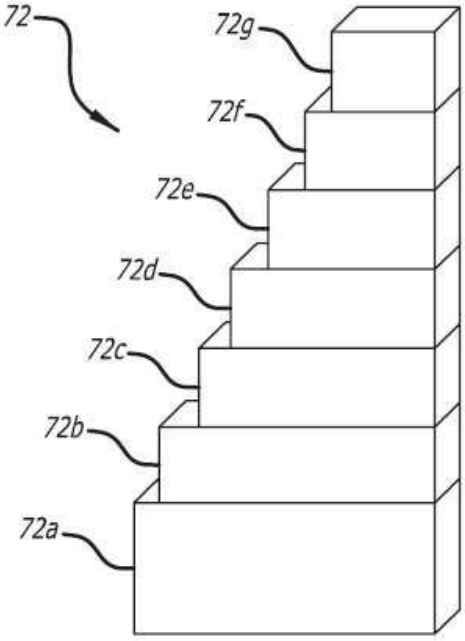

도면11



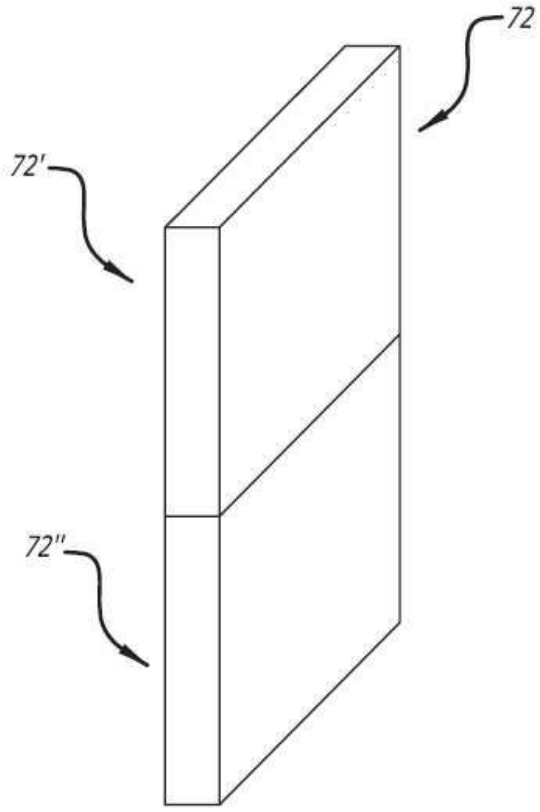
도면12



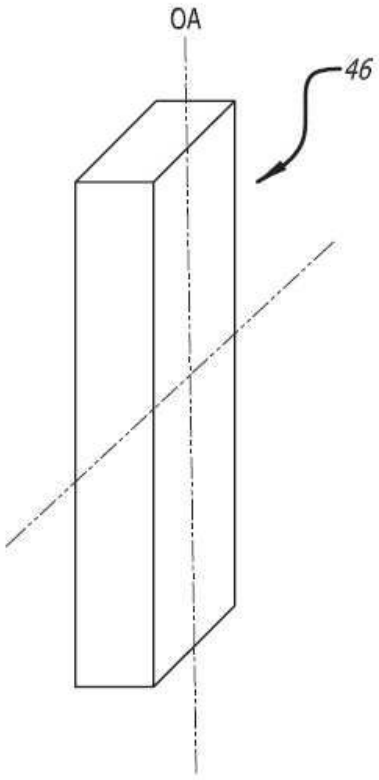

도면13



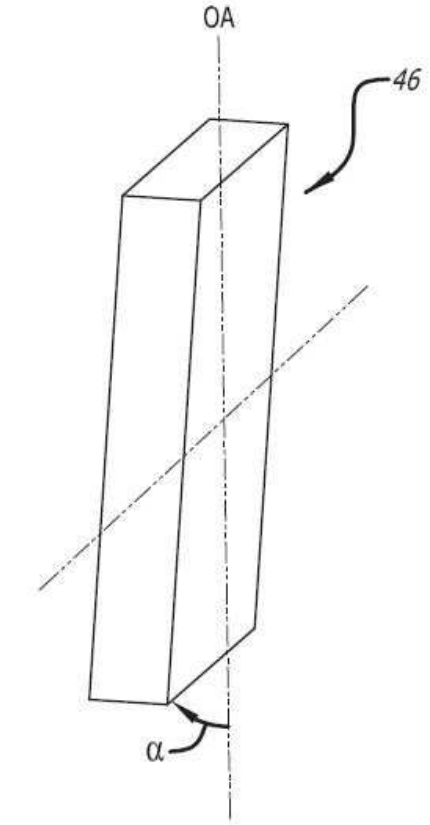
도면14



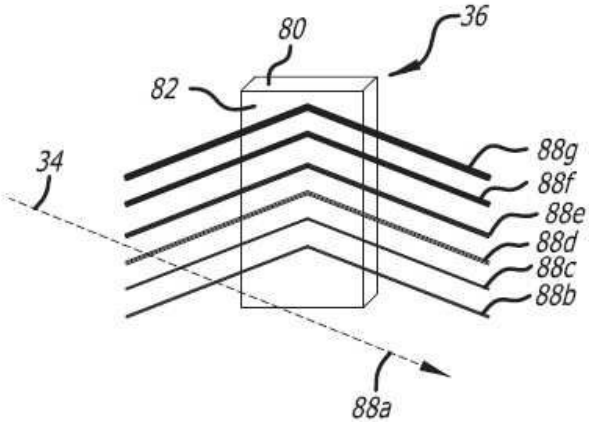

도면15



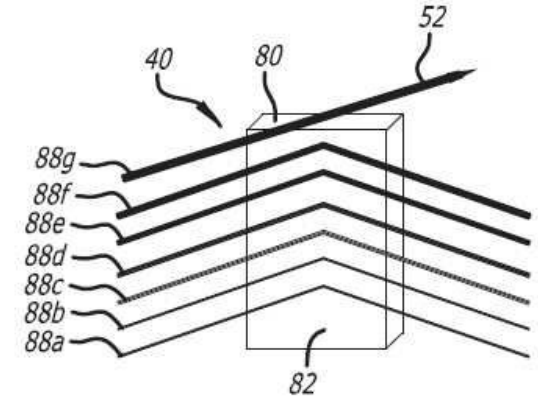
도면16



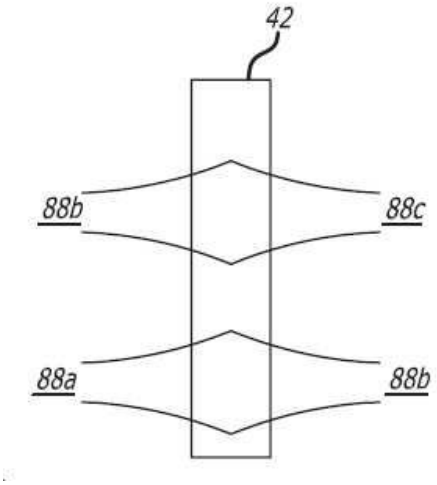

도면17



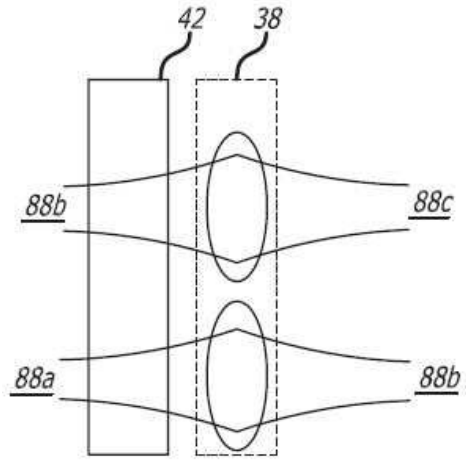
도면18



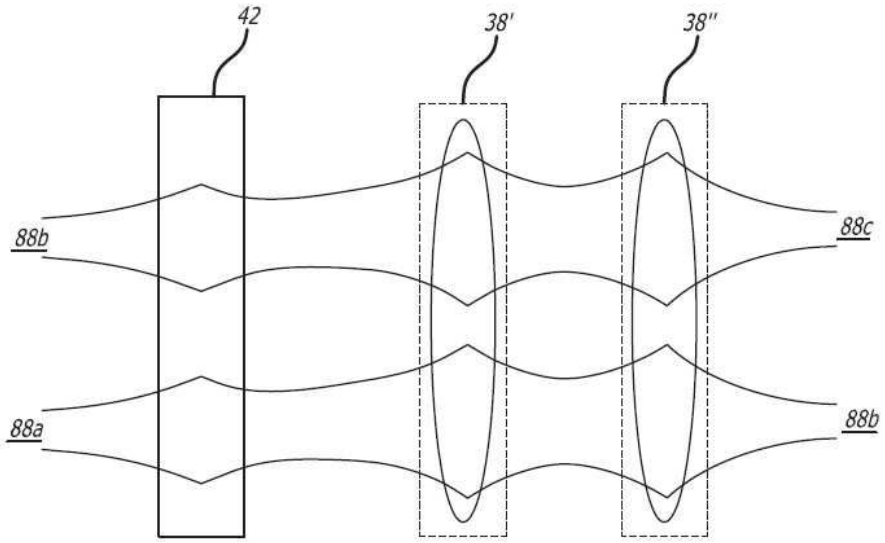

도면19



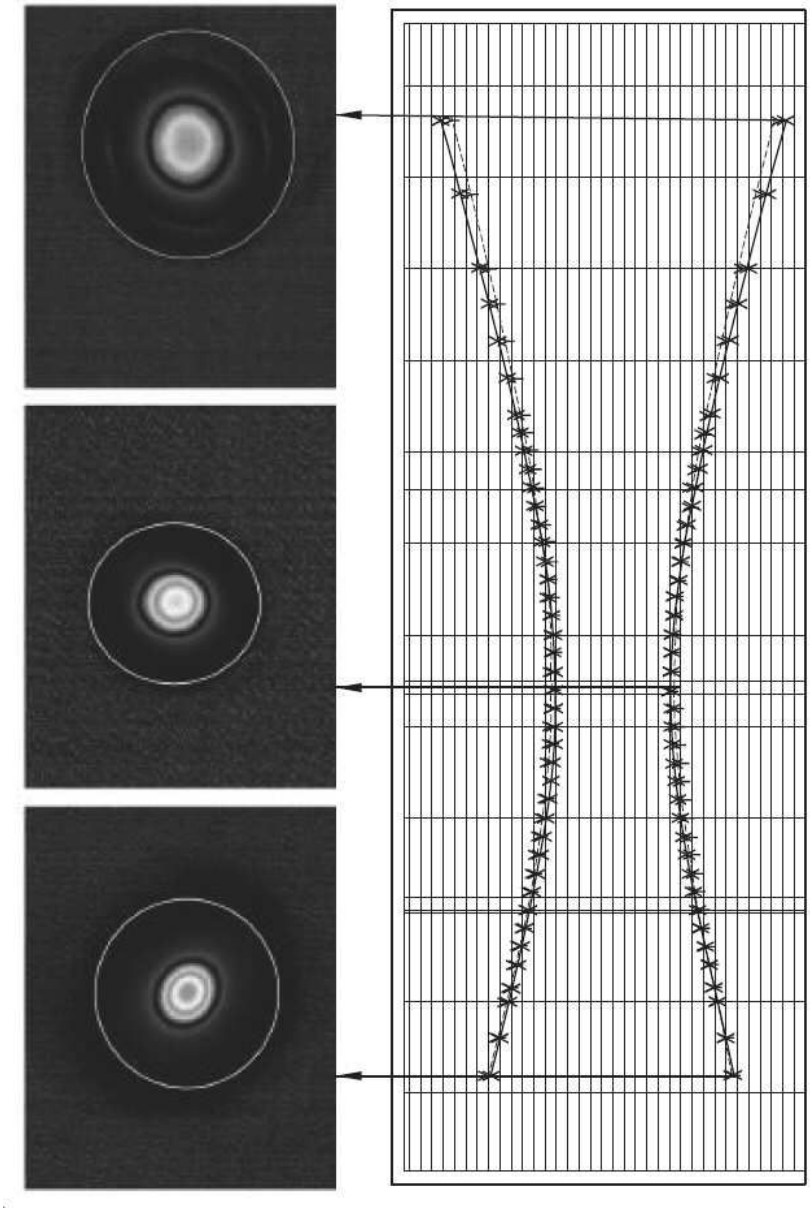

도면20



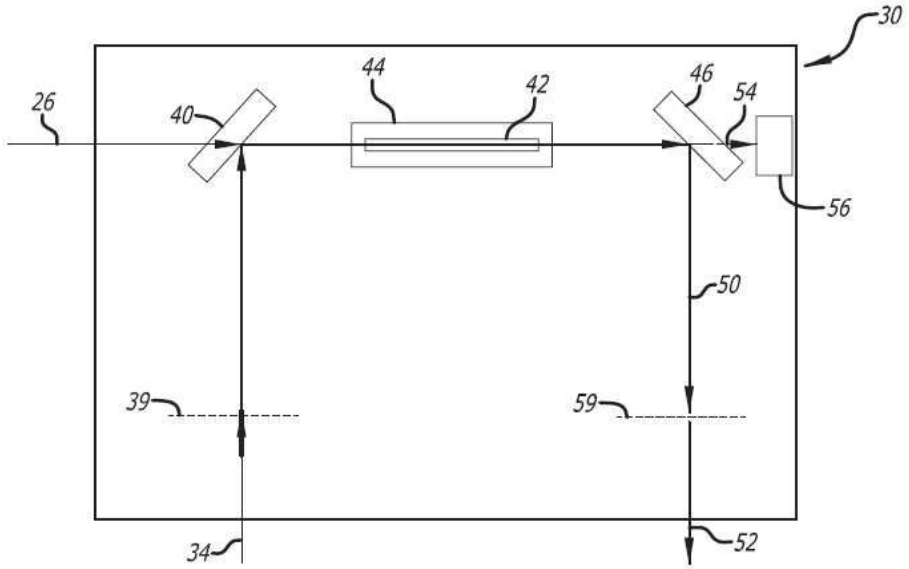
도면21



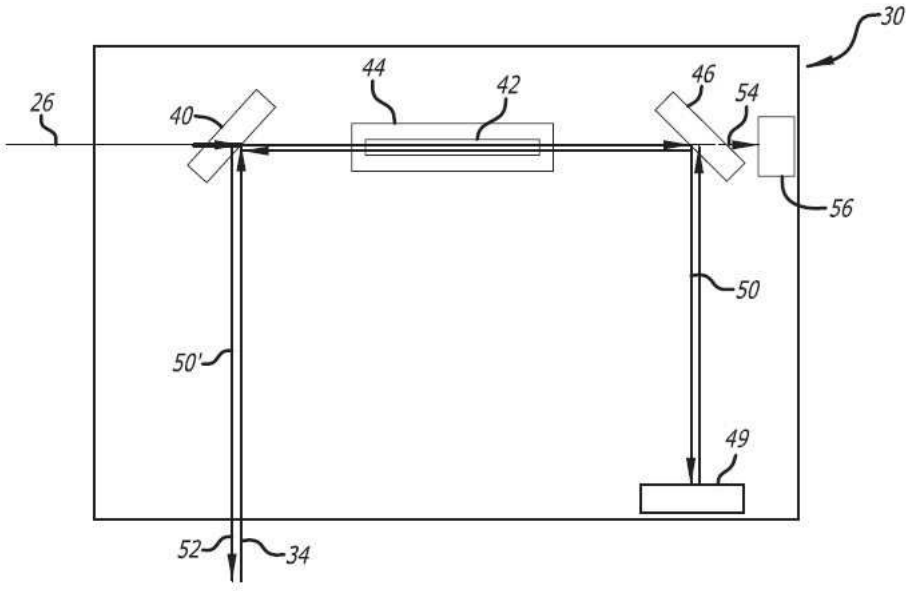
도면22



도면23


30
26
40
44
42
46
54
56
50
39
59
34
52

도면24


30
26
40
44
42
46
54
56
50
50'
49
52
34