



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년05월02일
(11) 등록번호 10-1617533
(24) 등록일자 2016년04월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 26/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0094766

(22) 출원일자 2014년07월25일

심사청구일자 2014년12월30일

(65) 공개번호 10-2015-0017666

(43) 공개일자 2015년02월17일

(30) 우선권주장

1314098.3 2013년08월07일 영국(GB)

(56) 선행기술조사문헌

JP2005268506 A

JP2009026854 A

(73) 특허권자

로핀-시나르 유케이 리미티드

영국, 요크 웨이 윌러바이 킹스턴 우폰 헐 에이치
유10 6에이치디

(72) 발명자

제이슨 로버트 리

영국, 3 브리지 클로즈 빅토리아 도크 킹스턴 우
폰 헐 에이치유9 1유지

벤자민 스튜어트 폴포드

영국, 64 애스톤 로드 윌러바이 킹스턴 우폰 헐
에이치유10 6에스지

(74) 대리인

정영수

전체 청구항 수 : 총 20 항

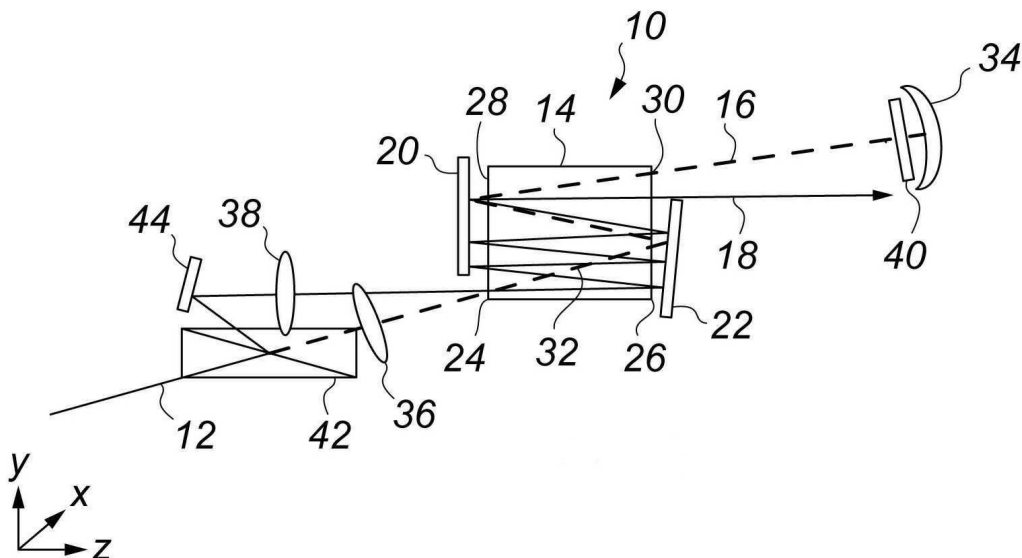
심사관 : 이정호

(54) 발명의 명칭 광 증폭 장치

(57) 요약

광 증폭 장치는 하나의 직사각형 활성 매체내에서 전치-증폭 장치 및 파워 증폭 장치를 통합하여 낮은 전력의 극초단 펄스들을 최적의 전력 수준으로 증폭을 가능하게 한다. 시드 빔은 상기 매체의 다수의 횡단을 이루는 제1 전치-증폭 경로를 따라서 상기 증폭 매체를 통과한다. 이것은 전치-증폭 장치로서 상기 매체의 2중 통과를 이루기 위해서 제1 경로를 따라서 복귀 이미지화된다. 그 다음, 상기 빔은 제2 전력 증폭 경로상에서 다시 상기 매체 내로 재-이미지화되고, 단일 통과내에서 상기 매체의 다수의 횡단을 이룬다. 상기 경로들은 독립적이지만, 중첩되어 효율적인 전력 추출이 달성된다. 모든 수동 구성 성분들에 기초한 실시 예들이 설명되어 있다.

대표도 - 도3



명세서

청구범위

청구항 1

광 증폭 장치에 있어서,

긴 모서리 및 짧은 모서리를 갖는 직사각형 단면을 가지는 증폭 매체, 및

상기 증폭 매체의 양측부에 배치되는 적어도 2개의 고반사 미러들;을 포함하고,

여기서, 상기 단면의 짧은 모서리는 x-축 방향을 따르며, 상기 긴 모서리는 y-축을 따르고, 그리고 z-축은 광 축이며, x-, y- 및 z-축들은 직각 좌표 시스템을 구성하고,

상기 미러들은, 증폭될 빔이 상기 각각의 미러들로부터 적어도 하나의 반사를 이루어서, xz 평면내에서 상기 증폭 매체를 통한 다수의 횡단을 이루는 경로를 형성하도록 설계되고 배치되며,

발진기로부터 방출된 빔은, 전치-증폭 장치 단에서 제1 경로의 2중 통과를 이루고, 파워 증폭 장치 단에서 제2 경로의 단일 통과를 이루며, 상기 전치-증폭 장치 단에서 제1 경로의 2중 통과를 위해, 상기 증폭 매체 내에서의 빔의 경로는 상기 적어도 2개의 고반사 미러들 사이에서 지그재그 형태를 이룸으로써, 반사된 빔이 정확하게 상기 증폭 매체를 통해서 역방향으로 상기 제1 경로를 따르고, 그리고 상기 제1 및 제2 경로들은 상기 증폭 매체내에서 독립적이며 겹치는 것을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 경로 및 제2 경로상에서 빔이 상기 증폭 매체를 적어도 3번 횡단하는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제2 경로는 상기 제1 경로보다 적어도 하나 이상 많은 횡단을 이루는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 광 증폭 장치는 상기 증폭 매체의 배출 측에 위치한 촬상 미러를 포함하며, 상기 빔은 상기 제1 경로의 제1 통과 후에 상기 촬상 미러상에 입사되고, 그리고 상기 촬상 미러는 상기 제1 경로를 따라서 상기 빔을 되돌려 제-이미지화시켜서 상기 전치-증폭 장치 단에서 2중 통과를 이루도록 배열된 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 광 증폭 장치는 상기 증폭 매체의 유입 측에 위치한 제1 및 제2 렌즈들을 포함하고, 상기 렌즈들은 하나의 배율을 갖는 망원경을 형성하도록 배치되며, 그리고, 상기 빔은 상기 전치-증폭 장치 단을 나갈 때에, 파워 증폭 장치 단에 유입 빔을 형성하도록 상기 망원경을 통하여 제-이미지화되는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 광 증폭 장치는 다수의 편광 요소들을 포함하는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 제1 편광 요소가 상기 증폭 매체의 배출 측상의 촬상 미러에 인접하여 위치한 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 4분의 1 파장판인 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 9

제6항에 있어서, 제2 편광 요소가 상기 증폭 매체의 입력 측에 위치된 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 제2 편광 요소는 편광 큐브인 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 제2 편광 요소와, 상기 제1 렌즈는 상기 발진기에 의해서 방출된 입력 빔을, 상기 전치-증폭 장치 단을 위하여 상기 증폭 매체내로 결합시키도록 배치된 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 편광 큐브는 상기 제1 및 제2 렌즈들 사이에 배치된 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 리턴 미러가 상기 제2 편광 요소와 상기 제2 렌즈 사이에 위치되어 상기 파워 증폭 장치 단을 위한 증폭 매체내로 상기 빔을 되돌려 재지향시키는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 14

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 광 증폭 장치는, 상기 광 증폭 장치로 향한 입구에 배치된 펄스 수확기를 포함하는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 15

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 고반사 미러는 평면인 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 16

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 고 반사 미러들은, 구형 미러, 원통형 미러, 및 2개의 수직축들을 따라서 곡률 반경이 상이한 미러들을 포함하는 그룹으로부터 선택될 수 있는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 17

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 증폭 매체는 직사각형 형상 및 단면의 슬래브인 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 증폭 매체는 단일의 광학적으로 여자된 결정질 슬래브인 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 슬래브는 2개의 도핑이 되지 않은 활성 매체들 사이에 배치된 도핑된 활성 매체를 갖는 결정질 샌드위치 구조로 형성된 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

청구항 20

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 증폭 매체는 긴 모서리와 짧은 모서리의 직사각형 단면을 갖는 슬래브 방전을 제공하도록, 직사각형 전극들 사이에서 여자된 가스를 포함하는 것임을 특징으로 하는 광 증폭 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 낮은 전력, 낮은 주파수, 초단파 펄스 시드(seeds)를 증폭시키는 데에 사용하기 위한 광 증폭 장치에 관한 것으로, 특히 전적으로 그런 것은 아니지만, 단일 결정질 슬래브 활성 영역내에 통합된 전치-증폭 장치와 파워 증폭 장치를 갖는 광 증폭 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 10ps 이하의 펄스 폭을 갖는 레이저는, 마이크로 가공 산업 분야에서 새로운 가공 성능을 제공한다. 그러나, 대량 생산을 가능하게 하는 처리 속도는, 100kHz 내지 10MHz 사이의 펄스 반복 주파수를, 100W를 초과하는 평균 전력을 가진 최적의 주파수로 조절 가능할 것을 필요로 한다. 전형적으로, 그러한 조합은 대부분의 레이저 구조로는 달성되지 않는데, 그 이유는 최대 펄스 에너지가 비선형 효과와 레이저 결정에 대한 손상에 의해서 제한되기 때문이다. 얇은 디스크 레이저 발진기는, 필요한 전력 범위의 하단인, 150W에 접근하는 전력을 달성하였지만, 요구되는 범위 이상인 3.50MHz내지 60MHz의 사이의 고정된 펄스 반복 주파수에서, 그것들은 평균 전력을 유지하면서, 특정 공정을 위한 최적의 주파수로 쉽게 조절될 수는 없다.

[0003] 최근에는, 마스터 발진기 파워 증폭 장치(MOPA's)가 필요한 높은 평균 전력을 얻기 위해서 사용된다. 이러한 장치에서, 낮은 전력의 레이저 마스터 발진기는 파워 증폭 장치에 결합되어 요구되는 폭의 펄스를 생성한다. 입력 펄스는 상기 입력 펄스에 추가되는 방출을 상기 증폭 장치내에서 자극하여 보다 높은 출력의 에너지 펄스를 생성한다. 강도와 플루언스(fluence)는 모두, 유사한 출력을 갖는 발진기내에서 달성될 수 있는 것보다 상당히 낮기 때문에, 상기 장치는 손상이 발생하기 전에, 높은 출력 전력과 에너지를 달성할 수 있다. MOPA's는 현재, 다수의 대안적인 레이저 구조에서 구현되고 있다.

[0004] "Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der angewanten"에게 허여된 미국 제6,654,163호는, 예를 들면 독일 EdgeWave GmbH로부터 상업적으로 시판중인 "INNOSLAB" 증폭 장치에서 발견되는 광 증폭 장치를 설명한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 이러한 장치는 직사각형 결정질 슬래브 증폭 장치 매체(A)를 갖는다. 발진기에 의해서 방출되는 빔(B)은, 상기 빔(B)이 증폭 장치 매체(A)를 여러 번 통과하는 미러(D,E)들 사이의 경로(C)를 이동한다. 상기 매체(A)의 각각의 횡단(traverse)으로서, 상기 빔(B)의 단면은 x-방향으로 증가한다. 상기 빔 크기는 얇은 y- 방향에서 유지된다. 상기 x-축을 따른 확장은, 빔이 증폭되는 경우, 상기 빔 강도가 거의 일정하게 유지되는 것을 보장하도록 선택된다. 상기 횡단의 수는, 상기 빔(B)과 증폭 장치 매체(A) 간의 접점을 최대화하도록 선택된다. 이러한 방식으로, 상기 증폭 장치를 통한 하나의 통과를 사용하여, 저장된 에너지가 효율적으로 추출되고, 동시에 손상에 대한 임계 값 및 비-선형 효과들은 회피된다. 이러한 장치를 사용하여, 76MHz의 주파수에서 680fs의 펄스 폭을 갖는 400W의 평균 전력 수준이 달성되었다.

[0005] 이러한 구성의 단점은, 상기 증폭 장치를 통한 초기 몇번의 통과에서 유효 포화가 발생하는 것을 보장하기 위해서 충분한 입력 전원이 요구된다는 점이다.

[0006] 제2 직사각형 슬래브 증폭 장치를 갖는 그러한 발진기-증폭 장치를 캐스케이드 작동시키는 증폭 장치 시스템은, 상기 빔이 단일 통과로 하나의 횡단 경로를 만드는 경우, 20MHz의 주파수에서 615fs의 펄스 폭을 갖고, 1.1kW까지의 전력 수준을 달성할 수 있다. 다시 설명하면, 이러한 증폭 시도는 효과적인 추출을 보장하기 위해서 충분한 입력 시드(seed) 전력에 의존한다. 또한, 캐스케이드 장치 구성은 상당한 공간을 필요로 한다.

[0007] 충분한 입력 시드 전력을 필요로 하는 단점을 극복하기 위해서, 재생 증폭 장치 또는 전치-증폭 단들을 이용하는 낮은 시드 전력의 증폭 기술이 제안되어 있다. "Gigaphoton Inc."에 허여된 미국 제7,903,715호는 대안적인 레이저 아키텍처에서 재생 증폭 장치의 사용을 자세히 설명하고 있다. 일 실시 예가 도 2에 도시되어 있으며, 여기서는 하나의 증폭 매체 슬래브(F)가 도 1의 방식으로 배열된 증폭 장치(G)의 여러 기능을 수행하도록 사용되고, 활성 매체(F)와 재생 증폭 장치(H)의 다수의 횡단의 단일 통과, 및 상기 활성 매체(F)의 단일 횡단의 다중 통과들을 포함한다. 저전력 시드 레이저(J)는 2개의 미러(M, N)들로서 형성된 공진기내로 주입된다. 상기 주입된 신호는 광음향 요소(K)를 전환시킴으로써 도입된다. 그 다음, 상기 빔(B)은 저장된 에너지의 대부분이 추출될 때 까지, 상기 미러(M, N)들 사이에서 단일 가로지름 이송으로 여러 번의 통과를 이룬다. 요구되는 타이밍에서, 포켓 셀(L)은 절환되고, 그리고 상기 빔(B)은 재생 증폭 장치(H)로부터 편광기(P)를 사용하는 증폭 장치(G) 내로 출력된다. 상기 구성은 소형이며, 상기 증폭 장치(G) 및 재생 증폭 장치(H)는 동일한 활성 매체(F)를 공유하지만, 그러나 그것들은 매체(F) 내에서 서로 분리되어 있고, 대부분 독립적인 장치로서 작동된다.

[0008] 이러한 구성의 단점은 활성 성분들을 위한 필요 조건이다. 이러한 포켓 셀들 및 광음향 요소들은 장치 구성에

비용 및 복잡성을 추가시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은, 저전력, 낮은 주파수, 초단파(ultra-short) 시드 펄스들에 대해 증폭을 제공하는 광 증폭 장치를 제공하는 데에 있다.
- [0010] 본 발명의 적어도 하나의 실시 예의 또 다른 목적은, 전치-증폭 장치와 파워 증폭 장치의 부분적인 결합을 갖는 활성 매체내에서 상기 전치-증폭 장치와 파워 증폭 장치를 통합시키는 광 증폭 장치를 제공하는 것이다.
- [0011] 본 발명의 적어도 하나의 실시 예의 또 다른 목적은, 순수하게 수동 성분들을 사용하는 광 증폭 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 제1 견지에 따르면, 광 증폭 장치가 제공되며: 긴 모서리 및 짧은 모서리를 갖는 대략 직사각형 단면을 포함하는 증폭 매체; 적어도 2개의 고반사 미러들, 여기서 상기 증폭 매체는 적어도 상기 2개의 고반사 미러들 사이에 배치됨; 상기 단면의 짧은 모서리는 x-축 방향을 따르며, 상기 긴 모서리가 y-축을 따르고, 그리고 z-축은 광축이며, 상기 x-, y- 및 z-축들은 직각 좌표 시스템을 구성함; 상기 미러들은, 증폭될 빔이 상기 각각의 미러들로부터 적어도 하나의 반사를 이루어서 상기 xz 평면내에서 상기 증폭 매체를 통한 다수의 횡단을 포함하는 경로를 형성하는 방식으로 설계되고 배치됨; 및 발진기로부터 방출된 광은, 전치-증폭 장치 단내에서 제1 경로의 2중 통과를 이루고, 파워 증폭 장치 단에서 제2 경로의 단일 통과를 이루며, 상기 제1 및 제2 경로들은 독립적이고, 상기 증폭 매체내에서 겹침;들을 포함한다.
- [0013] 상기 빔이 제1 전치-증폭 경로를 따라서 상기 증폭 매체를 통과하고, 동일한 제1 경로를 따라서 복귀하며, 그 다음 상기 전치-증폭 경로와 국소적으로 겹치는 제2 전력 증폭 경로를 따라서, 다시 상기 증폭 매체를 통과하여 몇몇의 부분적인 결합이 일어나도록 하는 구성을 제공함으로써, 상기 시스템은 상기 증폭 장치를 통한 모두 횡단의 효과적인 포화를 보장할 수 있다. 또한, 상기 빔을 제1 전치-증폭 경로 위로 2번 통과시킴으로써, 효율적인 전력 추출이 달성된다. 상기 제2 경로는 제1 경로와 상이하기 때문에, 상기 증폭 매체와 경로들간의 최대한의 겹침이 얻어질 수 있고, 그에 따라서 낮은 전력의 극초단 펄스들을 최적의 전력 수준으로 증폭시키는 것을 가능하게 한다.
- [0014] 바람직하게, 상기 빔은 각각의 경로상에서 상기 증폭 매체의 적어도 3번의 횡단을 이룬다. 이것은 상기 증폭 매체가 소형화될 수 있도록 하고, 작은 장치를 제공한다. 바람직하게는, 상기 제2 경로는 상기 제1 경로보다 적어도 하나 이상 많은 횡단을 이룬다. 선택적으로, 상기 제2 경로는 제1 경로보다 적어도 두 배 이상 많은 횡단을 이룬다. 이러한 방식으로, 상기 증폭 매체와의 겹침이 최대화된다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 광 증폭 장치는 상기 증폭 매체의 배출 측에 위치한 활상 미러를 포함하며, 상기 빔은 상기 제1 경로의 제1 통과 후에 상기 활상 미러상에 입사되고, 상기 활상 미러는 상기 제1 경로를 따라서 상기 빔을 되돌려 제-이미지화시켜서 상기 전치-증폭 장치 단에서 2중 통과를 이루도록 배열된다. 이러한 방식으로, 상기 복귀된 빔은 상기 증폭 장치로 향한 입구에서 빔의 이미지이며, 상기 복귀 빔은 상기 증폭 장치를 통한 빔의 제1 경로에 정확하게 겹쳐서 동일한 경로의 2중 통과를 보장한다. 상기 경로를 따른 게인(gain)이 충분히 높다고 하면, 상기 제2 경로는 포화 및 효율적인 추출을 보장한다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 광 증폭 장치는 상기 증폭 매체의 유입 측에 위치한 제1 및 제2 렌즈들을 포함하고, 상기 렌즈들은 하나의 배율을 갖는 망원경을 형성하도록 배치된다. 이러한 방식으로, 상기 빔은 전치-증폭 장치 단을 나갈 때에, 파워 증폭 장치 단에 유입 빔을 형성하도록 제-이미지화될 수 있다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 광 증폭 장치는 다수의 편광 요소들을 포함한다. 바람직하게는, 제1 편광 요소는 상기 증폭 매체의 배출 측상의 활상 미러에 인접하여 위치된다. 보다 바람직하게, 상기 제1 편광 요소는 4분의 1 파장판이다. 이러한 방식으로, 상기 증폭 매체를 나가는 직선의 편광 빔은 원형으로 편광되도록 전환될 수 있으며, 상기 활상 미러로부터 반사하고, 다시 상기 4분의 1 파장판을 통과할 때, 상기 원형의 편광은 상기 제1 경로의 제1 통과상에서 상기 빔의 편광에 수직한 방향에서 직선의 편광으로 변환된다.
- [0018] 바람직하게는, 제2 편광 요소는 상기 증폭 매체의 입력 측에 위치된다. 보다 바람직하게는, 상기 제2 편광 요소

는 편광 큐브이다. 바람직하게, 상기 편광 큐브는 상기 발진기에 의해서 방출된 입력 빔이 큐브를 통과하도록 배치된다. 이러한 방식으로, 상기 입력 빔은 원하는 방향에서 그 직선 편광 세트를 가질 수 있지만, 상기 전치-중폭 장치 단으로부터 복귀된 빔은 큐브에서 반사될 것이다. 상기 복귀 빔의 이러한 반사는 상기 빔이 제1 경로로 향한 다른 경로상에서, 상기 파워 증폭 장치 단을 위하여 상기 증폭 매체내로 지향되도록 한다.

[0019] 바람직하게는, 상기 제2 편광 요소와, 상기 제1 렌즈들은 상기 전치-중폭 장치 단을 위한 증폭 매체내로, 상기 발진기에 의해서 방출된 입력 빔을 결합(couple)시키도록 배치된다. 보다 바람직하게는, 상기 편광 큐브는 제1 및 제2 렌즈들 사이에 배치된다. 이것은 소형의 배열을 제공한다. 또한 바람직하게는, 리턴(return) 미러가 상기 제2 편광 요소와 상기 제2 렌즈 사이에 위치된다. 상기 리턴 미러는 파워 증폭 장치 단을 위한 증폭 매체내로 상기 빔을 되돌려 재지향시킨다. 상기 제1 및 제2 렌즈들의 사이에서 리턴 미러의 사용은 효과적으로 망원경을 접어서, 상기 배열이 더욱 작아지도록 한다.

[0020] 일 실시 예에서, 상기 광 증폭 장치는 상기 광 증폭 장치로 향한 입구에 배치된 펄스 수확기(picker)를 포함한다. 이러한 방식으로, 펄스는 주파수를 낮추도록 상기 발진기의 입력 빔으로부터 거부될 수 있으며, 그로 인하여 평균 입력 전력을 낮추게 된다. 따라서 주파수 최적화는 특정한 평균 전력에 대해서 달성될 수 있다.

[0021] 바람직하게는, 상기 고 반사 미러들은 평면이다. 이러한 방식으로, 상기 빔은 경로내의 각각의 횡단시에, y-방향으로 상기 미러들을 가로질러서 이동하도록 배치될 수 있다. 따라서, 지그재그(zigzag) 경로가 상기 미러들 사이에서 형성된다. 다르게는, 상기 고 반사 미러들은, 구형 미러, 원통형 미러, 및 2개의 수직축들을 따라서 곡률 반경이 상이한 미러들을 포함하는 그룹으로부터 선택될 수 있다. 바람직하게는 상기 고 반사 미러들은 비-평행으로 배치된다.

[0022] 바람직하게는, 상기 증폭 매체는 직사각형 형상 및 단면의 슬래브이다. 바람직하게는, 상기 증폭 매체는 단일의 광학적으로 여자된(excited) 결정질 슬래브이다. 상기 슬래브는 2개의 도핑이 되지 않은 활성 매체들 사이에 배치된 도핑된 활성 매체를 갖는 결정질 샌드위치 구조로 형성될 수 있다.

[0023] 다르게는, 상기 증폭 매체는 긴 모서리와 짧은 모서리의 직사각형 단면을 갖는 슬래브 방전을 제공하도록 직사각형 전극들 사이에서 여자된 가스일 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 의하면, 저전력, 낮은 주파수, 초단파(ultra-short) 시드 펄스들에 대해서 증폭을 제공하는 광 증폭 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0025] 이하에 기재된 본 발명의 실시 예들은 단지 예로서 설명될 것이다, 여기서:

도 1은 광 증폭 장치의 종래 기술 구성을 도시한 개략적인 다이어그램이다;

도 2는 다른 광 증폭 장치의 종래 기술 구성을 도시한 개략적인 다이어그램이다;

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광 증폭 장치의 개략적인 다이어그램이다;

도 4는 도 3의 광 증폭 장치의 전치-중폭 장치 단의 개략적인 다이어그램이다;

도 5는 도 3의 광 증폭 장치의 파워 증폭 장치 단의 개략적인 다이어그램이다;

도 6은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 광 증폭 장치의 개략적인 다이어그램이다; 그리고

도 7은 전치-중폭 장치 단과, 본 발명의 일 실시 예에 따른 광 증폭 장치내의 통합된 전치-중폭 장치 단과 파워 증폭 장치 단으로부터의 출력에 대한 입력 시드 전력을 도시한 그래프도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 참조 부호(10)로서 일반적으로 표시된, 광 증폭 장치를 도시한 도 3을 먼저 참조하면, 저전력, CW 또는 펄스의, 발진기(미도시)로부터 방출된 빔(12)은, 본 발명의 일 실시 예에 따라서, 상기 증폭 매체(14)를 통한 2중 통과를 이루는 제1 경로(16)와, 상기 증폭 매체(14)를 통한 단일 통과를 이루는 제2 경로(18) 내에서 증폭 매체(14)를 통과함에 의해서 증폭된다. 각각의 경로에서, 상기 빔(12)은 상기 증폭 매체(14)의 유입 측(24) 및 반대의 배출 측(26) 상에 배열된 미러(20, 22)들로부터 반사에 의해서 여러 번 상기 증폭 매체(14)를 횡단한다.

- [0027] 증폭 매체(14)는 짧은 모서리와 긴 모서리를 갖는 단면이 직사각형인 단일 결정질 슬래브이다. x -, y - 및 z -축이 직각 좌표 시스템을 구성할 때, 상기 단면의 짧은 모서리는 x -축 방향이고, 긴 모서리는 y -축 방향이며, z -축은 광축이다. 긴 모서리가 도 1에 도시되어 있다. 일 실시 예에서, 상기 증폭 매체는 2개의 도핑되지 않은 직사각형 섹션 사이에 끼워진 도핑된 활성 매체를 갖는 결정질 구조이다. 당해 분야에서 알려진 바와 같이, 상기 증폭 매체(14)는 광학적으로 펌핑되어 활성 게인(gain) 영역을 형성한다. 이러한 펌핑은 레이저 다이오드들의 배열에 의한 것일 수 있다. 다른 실시 예에서, 상기 증폭 매체는 슬래브 가스 방전에 의해서 생성된다. 이것은 전형적으로, CO_2 와 같은 가스가 2개의 직사각형의 평면으로 평행하게 배열된 전극들 사이에서 여자된 것이다.
- [0028] 미러(20, 22)들은 매우 높은 반사율로 이루어져서, 최대량의 전력이 광 증폭 장치(10)를 통해서 전송된다. 미러(20, 22)들은, 빔(12)이 y - 방향에서 상기 표면을 가로 질러서 '이동'하기에 충분한 직경을 갖는 평면 구조들이다. 상기 미러들은 상기 증폭 매체(14)의 제1 및 제2 단부(28, 30)들에 마주하도록 배치되고, 엇갈려서, 상기 빔은 각각의 미러(20, 22)의 가장자리를 스치지 않고(clipping), 각각의 단부(28, 30)를 유입하고, 나갈 수 있도록 되어 있다. 상기 미러(20, 22)들은 상기 단부(28, 30)들에 평행하게 배치될 수 있지만, 상기 시드 빔과 연관되지 않은 미러들 사이에서 레이저 발진의 가능성을 감소시키기 위해서 경사 각도가 도입될 수 있다. 이 발진은 상기 시드 빔에 유용한 저장된 에너지를 감소시키고, 획득가능한 출력 전력을 감소시킬 것이다. 대안적인 실시 예에서, 상기 미러(20, 22)들은, 구형, 원통형 또는 2개의 수직축들, 전형적으로는 x 및 y 축들을 따라서 곡률 반경이 상이한 것들이다. 바람직하게는, 상기 고 반사 미러들은 비-평행으로 배치된다.
- [0029] 상기 미러(20, 22)들의 배열은, 상기 유입측에서 상기 증폭 매체(14)로 유입하는 빔(12)이 상기 미러들 각각으로부터 적어도 하나의 반사를 이루어, 상기 xy 평면내에서, 상기 증폭 매체(14)를 통한 다수의 횡단(32)을 포함하는 경로를 정의할 수 있도록 된 것이다. 각각의 횡단은 다른 위치에 있어서, 상기 빔(12)은 그것이 증폭 매체(14)를 통해서 이동하는 경우, 각각의 반사를 위해 다른 지점에서, 각각의 미러(20, 22) 상에 입사된다. 상기 횡단(32)의 경로는 상기 매체(14)를 통하여 지그재그형(zig-zag)으로서 나타날 수 있다. 상기 증폭 장치(10)의 빔 크기 및 형상은, 상기 빔(12)의 경로가 대부분의 상기 매체(14)와 겹치도록 선택될 수 있음을 잘 이해할 수 있을 것이다.
- [0030] 활상 미러(34)는 증폭 매체(14)의 배출측(26)에 위치되고, 상기 빔(12)은 제1 경로(16)의 제1 통과 후에, 상기 활상 미러(34) 상에 입사된다. 상기 활상 미러는 선택된 곡률 반경을 가진 구형 미러이고, 빔(12)을 그 자체상에 정확하게 다시 이미지화한다. 이러한 방식으로, 상기 빔(12)은 제2 통과로서, 상기 증폭 매체(14)를 통하여 복귀된다. 상기 복귀된 빔은 상기 증폭 장치(10)로 향한 입력(24)에서의 빔 이미지이고, 상기 복귀된 빔은 상기 증폭 장치(10)를 통한 빔의 제1 경로(16)에 정확하게 겹쳐서 동일한 경로(16)의 2중 통과를 보장한다.
- [0031] 상기 활상 미러(34)에 인접하여 위치된 것은 4분의 1 파장판(40)이다. 4분의 1 파장판(40)은 표준 편광 요소이며, 이는 직선적으로 편광된 광을 원형의 편광된 광으로, 그리고 그 반대로 변환시킨다. 상기 증폭 매체(14)를 나가는 직선 편광의 빔(12)은 원형으로 편광되도록 변환되고, 상기 활상 미러(34)로부터 반사하며, 다시 상기 4분의 1 파장판(40)을 통과할 때, 또 다시 직선 편광으로 복귀 변환되지만, 그것은 상기 증폭 매체(14)를 나왔을 때, 상기 빔(12)의 편광과는 수직한 방향에서 이다.
- [0032] 상기 증폭 매체(14)의 유입 측(24)에서, 상기 발진기로부터 방출된 편광 빔(12) 또는 다른 레이저 시드는, 증폭 장치(10)로 입력된다. 상기 유입 측에 배치된 것은 제1 및 제2 렌즈(36, 38)들이며, 편광 큐브(42)와 리턴 미러(44)를 모두 구비한다. 상기 편광 큐브(42)는, 그것을 통과할 때, 입력 빔(12)의 편광에 영향을 미치지 않으며, 상기 경로(16)상에 배열된 렌즈(36)들은 상기 증폭 매체(14)내로 빔(12)을 결합시키도록 사용될 수 있다. 상기 편광 큐브(42)는, 상기 복귀된 빔(12)이 증폭 매체(14)의 2중 통과를 완료한 후, 전체적으로 반사되도록 배치된다. 상기 반사된 빔은 제1 경로(16)와는 다르게, 독립적인 제2 경로(18)상에서 증폭 매체(14) 내로 다시 빔(12)을 복귀시키도록 배열된 리턴 미러(44)를 향하여 지향된다. 상기 리턴 미러(44) 및 증폭 매체(14) 사이에는 제2 렌즈(38)가 배치되어 있다. 상기 제1 및 제2 렌즈(36, 38)들은 하나의 배율을 갖는 망원경을 형성하도록 배치된다. 이러한 방식으로, 상기 빔은 증폭 매체(14)내로 재-이미지화 복귀된다.
- [0033] 사용 시, 직선 편광의 시드 입력 빔(12)이 제공된다. 이것은 예를 들면, 저전력, 연속파 또는 펄스의, 발진기(미도시) 등의 공급원에 의해서 제공되며, 이는 증폭 매체(14) 내로의 최적 결합을 위하여, 적절한 광학 기구(미도시)를 사용하여 조절될 수 있다. 상기 증폭 장치(10)로 향한 유입측상에서, 상기 빔(12)은 전치-증폭 장치 단(46)을 통해서 이동할 것이다. 이것은 도 4에 잘 도시되어 있으며, 이는 상기 전치-증폭 장치 단(46)에 관련된 도 3의 해당 부분이다. 명확성을 돕기 위해서, 동일한 참조 부호가 동일 부품에 부여되어 있다.

- [0034] 증폭 장치 재료(14)의 얇은 결정 슬래브가 얇은 게인 시트를 생성하기 위해서 레이저 다이오드들로서 제공되어 있다. 상기 결정 증폭 장치 재료(14)의 내부에서, 상기 빔(12)은 얇은 축으로서 알려진, x-방향에서 열적으로 생성된 렌즈들에 의해서 억제되지만, 상기 빔(12)은 넓은 축으로 알려진 y-방향에서 자유롭게 분기한다. 상기 빔(12)은 다중-바운스 미러(22) 상에 입사될 때까지, 일반적으로 z-방향에서 이동을 계속한다. 미러(22)의 경사각은 빔(12)을 제2 방향을 따라서 지향시켜서, 그것이 미러(20)상에 입사할 때까지, 상기 결정(14)을 통해서 횡단(32)을 하도록 한다. 그 다음, 미러(20)는 상기 결정(14)을 통하여 빔(12)을 재지향시키는데, 그것이 미러(22) 상부의 결정(14) 단부(30)를 통과함으로써 상기 증폭 매체(14)를 나갈 때까지, 상기 결정(14)을 다시 횡단 하도록 추가적인 방향을 따라서 재지향시킨다. 상기 빔(12)은 단일 경로에서, 상기 증폭 매체(14)를 통한 제1 경로(16)를 이동하고, 상기 증폭 매체(14)의 3번의 횡단(32)을 이룬다.
- [0035] 그 다음, 상기 빔(12)은, 상기 빔을 최초의 직선형 편광으로부터 원형 편광으로 변환시키는 4분의 1 파장판(40)을 통과하기 전에, 두 축을 따라서 자유롭게 분기한다. 그 다음, 빔(12)은, 상기 빔(12)이 증폭 장치(10)에 입력되었던 때의 편광과는 수직인 방향을 따라서 배치되는 직선 편광으로, 상기 빔의 원형 편광을 변환시키는 상기 4분의 1 파장판(40)을 다시 통과하기 전에, 촬상 미러(34)에 부딪힌다. 상기 촬상 미러(34)는 빔(12)이 상기 증폭 장치(10)의 유입측에서, 상기 빔(12)의 이미지로서 반사되는 것을 보장하도록 선택된다. 이러한 방식으로, 상기 반사된 빔(12)은 정확하게 상기 증폭 장치 재료(14)를 통해서 역방향으로 제1 경로(16)를 따를 수 있어서, 상기 경로(16)의 2중 통과를 보장한다. 상기 제1 통과를 따른 게인은 충분히 높아서, 제2 통과는 포화 및 효율적인 추출을 보장한다. 그 다음, 상기 빔(12)은 그것이 입력된 것과 동일한 위치에서, 단부(24)를 통해서 상기 증폭 장치 재료(14)를 나간다. 상기 증폭 장치 시스템(10)의 경로(16)를 따른 최초의 2중 통과는 전치-증폭 장치 단(46)을 구성한다.
- [0036] 도 3을 다시 참조하면, 상기 빔(12)은 증폭 장치 재료(14)를 나가는 것으로부터 이동하고, 편광 큐브(42)를 타격하기 전에 제1 렌즈(36)를 통과한다. 4분의 1 파장판에서, 상기 빔내에서 발생된 편광 회전은 상기 편광 큐브(42) 내에서 내부적으로 반사되는 빔(12)을 초래한다. 상기 편광 큐브(42)는 빔(12)이 리턴 미러(44)로 재지향되도록 하고, 빔(12)을 다른 방향으로 반사시켜서 제2 렌즈(38)를 통과하도록 한다. 제1 렌즈(36)와 제2 렌즈(38)는 하나의 배율을 갖는 망원경을 형성하고, 이는 전치-증폭 장치 단(46)으로부터의 출력이 증폭 장치 재료(14), 및 파워 증폭 장치 단(48)내로 복귀하도록 이미지화 한다.
- [0037] 파워 증폭 장치 단(48)에서, 도 5에 도시된 바와 같이, 이러한 단(48)에 관련된 도 3의 부분들이 도시되어 있으며, 빔(12)은 z- 방향을 따라서, 이러한 경우 증폭 장치 재료(14)의 측면(50)에 나란하게, 증폭 장치 재료(14) 내에서 먼저 전파된다. x-방향, 상기 얇은 방향에서, 빔(12)은 열적으로 생성된 렌즈에 의해서 다시 억제되지만, 넓은 방향, y- 방향에서, 빔(12)은 자유롭게 분기된다. 단부(30)에서의 제1 횡단(32) 후, 상기 증폭 매체(14)를 나오는 때에, 상기 빔(12)은 미러(22)에 부딪치고, 그리고 미러(20)에 부딪쳐서 추가적인 재지향을 이루기 전에, 상기 증폭 장치 재료(14)를 통해서 재지향된다. 다중 바운스(bounce), 이 경우에는 여섯번의 바운스가, 미러(20)와 미러(22) 사이에서 발생하고, 빔(12)이 제2 경로(18)가 이어지는 상기 증폭 장치 재료(14)를 통해서 7번의 횡단을 이루도록 한다. 상기 증폭 매체(14)를 통한 이러한 단일 통과는, 빔(12)이 미러(22)의 모서리(54) 상부를 통과하는, 상기 증폭 매체(14)의 먼측 모서리(52)에서 결합되는 경우, 종료한다. 전형적으로, 도시된 바와 같이, 증폭 장치 재료(14)의 7번 또는 9번의 횡단은 각각, 상기 빔(12)이 미러(54)의 상부 모서리(54)를 스쳐가도록 진행함이 없이, 빔(12)과 증폭장치 재료(14)와의 접촉을 최대화하도록 선택된 횡단(32)의 수를 갖는, 경로(18)를 생성한다. 증폭 장치 시스템(10)을 통한 상기 제2 경로(18)는 파워 증폭 장치 단(48)으로 명명되고, 전치-증폭 장치 단(46) 내에 포함되지 않은 영역으로부터의 에너지 추출이 최대화되는 것을 보장하기 위해서 설계된다.
- [0038] 상기 제2 경로(18)는 제1 경로(16)와 동일한 증폭 매체(14)의 체적을 횡단한다는 점을 주목하여야 한다. 상기 경로(16, 18)들은 상기 증폭 매체(14) 내에서 중첩되는 것이 고려될 수 있지만, 증폭 매체(14)로의 유입 각도가 상이함으로 인하여, 서로 독립적이고, 구별된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 증폭 매체(14) 내로의 빔(12)의 최적의 결합은, 전치-증폭 장치(46)와 파워 증폭 장치(48) 단들 내부의 동일한 유입 지점에서, 상기 매체(14)를 유입하는 빔(12)으로서 달성될 수 있다.
- [0039] 도 6을 참조하면, 펄스 시드 레이저(미도시) 및 편광 큐브(42) 사이의 입력에서 펄스 수확기(56)를 구비한 증폭 장치(10)가 도시되어 있다. 초단 펄스내에서 높은 펄스 에너지를 획득하기 위하여, 펄스 반복율을 빈번하게 줄이는 것이 필요함은 알려져 있다. 이는 상기 시드 레이저와 증폭 장치(10) 사이에서 펄스 수확기(56)를 배치함으로써 달성될 수 있다. 그 다음, 상기 증폭 장치(10)는 단지 원하는 펄스상에서만 작용한다. 차단된 펄스들이 반드시 강한 에너지 손실을 구성하지는 않으며, 그 이유는 상기 시드 레이저의 평균 전력은 상기 증폭 장치(1

0)의 평균 출력 전력과 비교하여 작을 것이고, 나머지 평균 전력은 상기 증폭 장치(10)를 포화시키기에 충분하기 때문이다. 본 실시 예에서는, 유일한 활성 구성 요소는 펄스 수확기이고, 나머지 다른 모든 구성 요소들은 순수하게 수동적이다.

[0040] 통합된 전치-증폭 장치(46) 및 파워 증폭 장치(48)를 갖는 광 증폭 장치(10)의 예에서, 입력 시드 전력은 0 내지 35mW 사이에서 변화되었고, 얇은 슬라브 전력 증폭 장치(14) 내에 결합된 빔은 각각 90W를 발광하는 4 개의 다이오드 막대(미도시)들을 사용하여 공급되었다. 기하학적 구성은 3번의 횡단(32)의 제1 경로(16)를 제공하기 위해서 배치되었고, 여기서 상기 빔(12)은 상기 전치-증폭 장치 단(46) 내에서의 2중 통과와, 상기 파워 증폭 장치 단(48)의 단일 통과내에서의 7번의 횡단(32)의 제2 경로를 이루었다. cw 섬유 결합 레이저를 갖는 이전의 단일 통과 측정은, 유사한 조건 하에서 대략 1.5 cm^{-1} 의 작은 신호 게인 계수를 나타내었지만, 발진기 내에서 상기 결정 증폭 매체(14)의 사용은 145W 를 생성하였다.

[0041] 도 7을 참조하면, 0 ~ 5W 까지의 범위인 전치-증폭 장치의 출력 전력(62) 및, 0 ~ 50W 까지의 범위인 파워 증폭 장치의 출력 전력(64)에 대하여, 0 ~ 35mW 까지의 범위인 입력 시드 전력(60)의 그래프가 도시되어 있다. 상기 전치-증폭 장치로부터의 출력 전력은 상기 파워 증폭 장치내로 개시하기 이전이다. 상기 파워 증폭 장치의 출력 전력은 7번의 횡단 파워 증폭 장치를 갖는 증폭 장치로부터의 것이다. 모든 점들이 상기 전치-증폭 장치 이상의 상기 파워 증폭 장치로부터의 출력 전력에서 증가를 표시하지만, 상기 입력 시드가 33mW로부터 5mW로 감소되는 때에는, 상기 파워 증폭 장치의, ~ 30% 보다, 상기 전치-증폭 장치 출력에서의, ~ 65%에서 훨씬 더 현저한 감소가 있다. 이것은 이러한 설계에서, 상기 전치-증폭 장치의 중요성을 보여준다. 상기 전치-증폭 장치에 의해서 시드로 추가되는 부가적인 전력은, 효과적으로 파워 증폭 장치를 포화시켜서 시드 전력에 어느 정도의 둔감(insensitivity)을 도입하기에 충분한 것이다. 예를 들면, 시드 전력에서 50% 감소는, 증폭 장치 출력에서 단지 10 %의 감소만을 초래한다.

[0042] 추가적인 예시에서, 50W의 전력 출력은 7번의 횡단 파워 증폭 장치를 사용하는 30mW의 cw 시드 전력으로서 달성되었다. 이것은 아무런 전치-증폭이 없는 시스템에서, 30mW의 시드 전력으로서 달성된 17W의 출력보다 대략 3배 이상 높은 수준이다. 상기 출력 빔은 $M^2 < 1.3$ 으로 측정되었고, 가우시안-형상(Gaussian-like)인 것으로 관찰되었다. 상기 증폭 장치가 9번의 횡단 파워 증폭 장치와 함께 작동 될 때, 상기 출력은 70W 이었지만, 가우시안-형상의 출력 빔의 빔 품질과, $M^2 < 1.3$ 는 여전히 유지되었다.

[0043] 상기 예들에서 알 수 있는 바와 같이, 상기 증폭 매체(14) 내에 전치-증폭 단(46)을 포함시키는 것은 효과적인 포화에 필요한 전력보다 상당히 낮은 시드 입력이 상기 전치-증폭 장치 단(46)을 사용하여 증폭되고 있다는 것을 의미한다. 상기 전치-증폭 장치 단(46)으로부터의 출력 전압은 15mW 정도로 낮은 시드 전력에 대하여 상기 파워 증폭 장치(48)의 효과적인 포화를 보장하도록 충분히 높다. 그 다음, 상기 파워 증폭 장치(48)로부터의 출력 전력은 시드 전력내의 증가에 의해서 크게 영향을 받지 않는다.

[0044] 초단 펄스를 사용하여 수행된 공정에 대하여 펄스 매개 변수를 최적화 할 때, 이러한 작동 성능의 파생 효과는 특별하게 중요하다. 상기 시드가 고정 주파수이고, 5W 까지의 적은 평균 전력인 전통적인 시스템에서, 펄스 수확기는 필요한 값으로 상기 주파수를 감소시키기 위해서 많은 수의 인접하는 펄스들을 거부시키도록 사용될 것이고, 그러므로 종래의 시스템에서, 평균 출력 전력은 또한 현저하게 감소될 것이다. 만일 유사한 입력 기준이, 도 6에 도시된 증폭 장치에 인가된 경우, 전형적으로, 상기 펄스 수확기 후의 상기 증폭 장치(10)로부터의 출력 전력은, 상기 시드로부터 방출된 것의 대략 0.1 % 내지 10 %의 양으로 감소될 수 있다. 따라서, 본 발명의 증폭 장치는 요구되는 속도로서 산업 프로세스를 가능하게 하는 충분히 높은 평균 전력으로 확실한 증폭을 보장할 수 있다.

[0045] 본 발명의 원리적인 장점은, 저전력, 낮은 주파수, 초단 시드 펄스를 증폭시켜서, 효율적인 대량 생산 공정을 위한 필요한 수준에서 출력 전력을 생성하는 광 증폭 장치를 제공하는 것이다.

[0046] 본 발명의 또 다른 장점은, 전치-증폭 장치 및 파워 증폭 장치의 부분적인 결합을 갖는 활성 매체내에서, 전치-증폭 장치와 파워 증폭 장치를 통합시켜서 상대적으로 낮은 비용에서 소형 장치를 제공하는 광 증폭 장치를 제공하는 것이다.

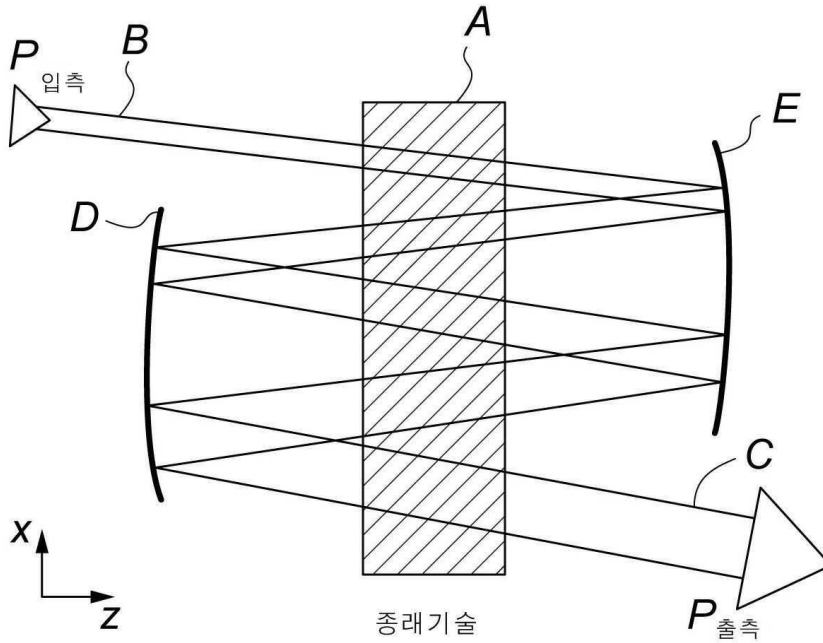
[0047] 본 발명의 일 실시 예의 또 다른 장점은, 순수하게 수동 구성 성분들을 사용하는 광 증폭 장치를 제공하는 것이다.

[0048] 다양한 변형이 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고서도, 여기에서 기재된 본 발명에 이루어질 수 있음을 당업

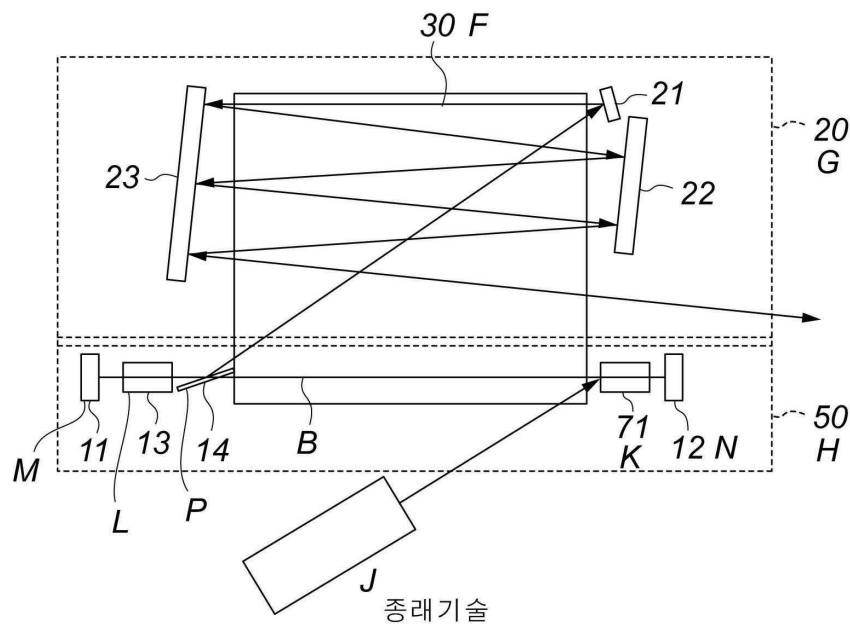
자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 예를 들면, 안정 또는 불안정한 빔은 적절한 광학 장치를 선택함으로써, 및/또는 증폭 매체내에서 빔을 조작함으로써 생성될 수 있다. 얇은 증폭 매체의 사용은 충분한 가열로서, 빔을 조작하는 열 렌즈를 생성할 수 있다. 인덱스형 도파관 구조가 감소된 가열을 허용하도록 사용되어 안내 작동이 총 내부 전반사에 의해서 이루어지며, 열 렌즈가 회피되어질 수 있다.

도면

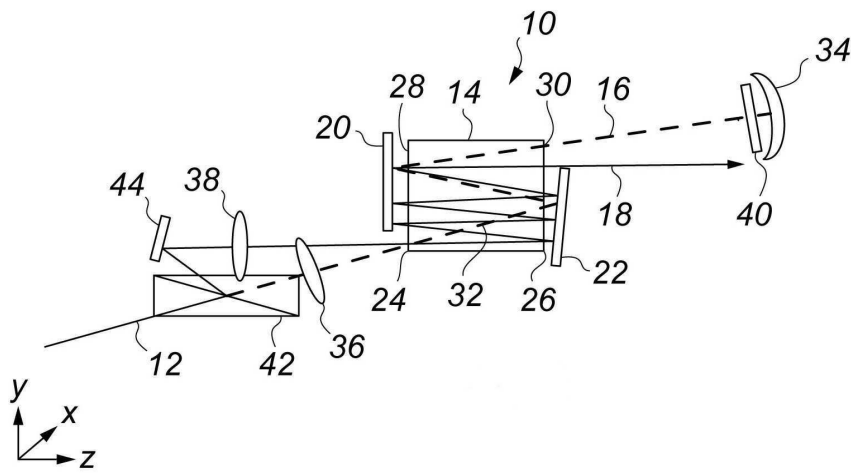
도면1



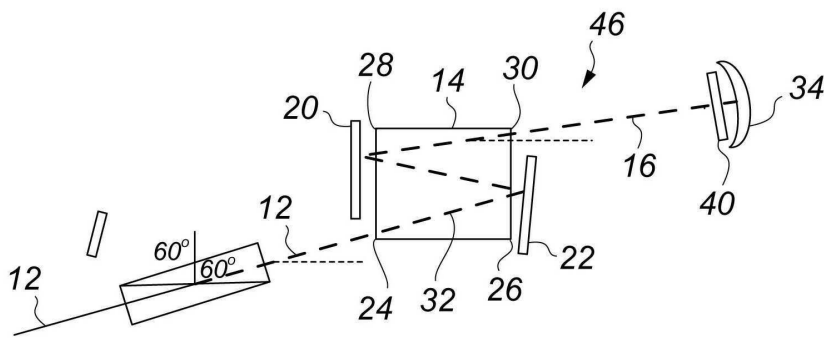
도면2



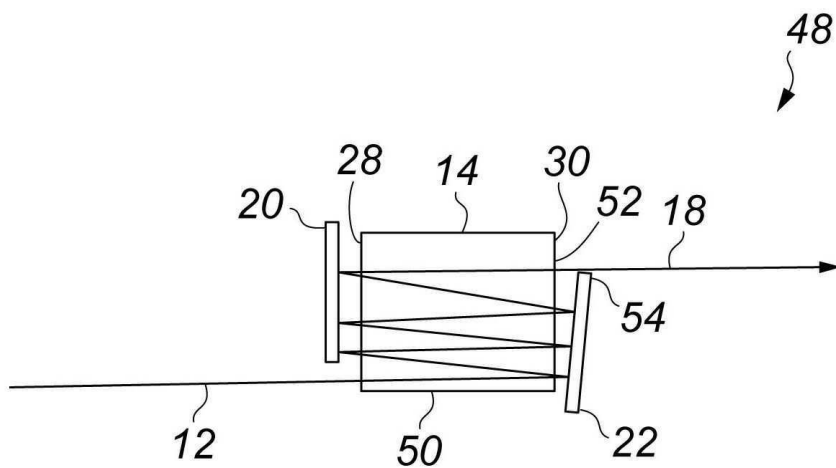
도면3



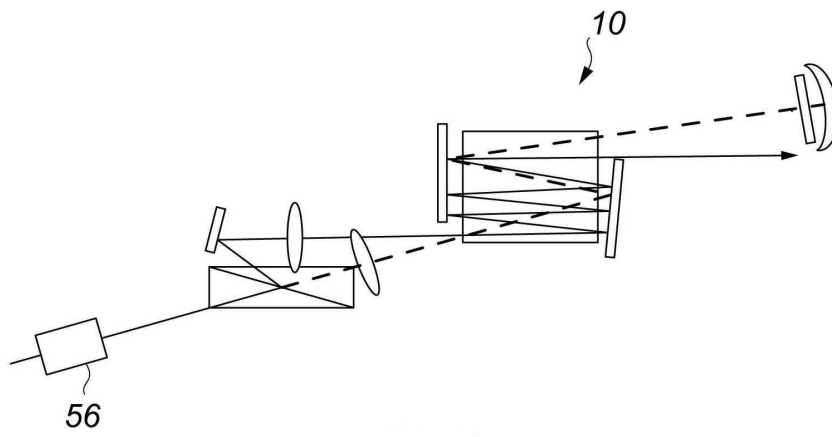
도면4



도면5



도면6



도면7

