



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년11월01일
(11) 등록번호 10-2723945
(24) 등록일자 2024년10월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/067 (2006.01) G02B 27/10 (2006.01)
G02B 6/28 (2006.01) G02B 6/42 (2006.01)
G02F 1/39 (2006.01) H01S 3/00 (2023.01)
H01S 3/10 (2023.01) H01S 3/13 (2023.01)
H01S 3/131 (2006.01) H01S 3/23 (2006.01)
H01S 5/40 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01S 3/06754 (2013.01)
H01S 3/0014 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7019687
(22) 출원일자(국제) 2019년11월22일
심사청구일자 2022년10월07일
(85) 번역문제출일자 2021년06월24일
(65) 공개번호 10-2021-0099035
(43) 공개일자 2021년08월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/062827
(87) 국제공개번호 WO 2020/171865
국제공개일자 2020년08월27일
- (30) 우선권주장
16/216,349 2018년12월11일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2007190566 A*
JP2011043808 A*
US04847479 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
노스롭 그루먼 시스템즈 코포레이션
미국 버지니아주 22042-4511 폴스 처치 페어뷰 파크 드라이브 2980
- (72) 발명자
굿노, 그레고리, 디.
미국, 캘리포니아 90045, 로스앤젤레스, 6048 웨스트 75번가
- (74) 대리인
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 홍성의

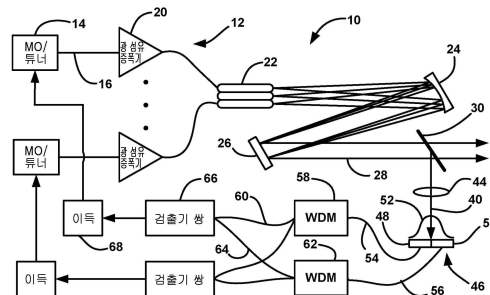
(54) 발명의 명칭 스펙트럼 빔 결합 레이저 소스를 위한 파장 제어 빔 안정기

(57) 요약

광 섬유 증폭기 시스템은 각각 상이한 파장을 갖는 시드 빔을 생성하는 복수의 시드 빔 소스와, 시드 빔을 증폭하는 복수의 광 섬유 증폭기를 포함한다. 또한, 시스템은 증폭된 빔들을 공간적으로 결합하고 이들을 출력 빔으로서 동일한 방향으로 지향시키는 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자와, 제1 세기를 갖는

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



제1 광 섬유 샘플 빔과 제2 세기를 갖는 제2 광 섬유 샘플 빔을 생성하는 제1 광 섬유 샘플러 및 제2 광 섬유 샘플러를 포함한다. 시스템은 제1 세기와 제2 세기 사이의 차이를 결정하고, 증폭된 빔 모두가 출력 빔 내에서 공간적으로 정렬되어 동일한 방향으로 전파하도록 시드 빔 모두의 파장을 제어하기 위하여 차이를 이용한다.

(52) CPC특허분류

H01S 3/0071 (2013.01)

H01S 3/1003 (2019.08)

H01S 3/1301 (2020.08)

H01S 3/1305 (2013.01)

H01S 3/131 (2013.01)

H01S 3/2375 (2013.01)

H01S 3/2391 (2013.01)

H01S 5/4012 (2013.01)

H01S 5/4087 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

광 섬유 증폭기 시스템에 있어서,

복수의 시드 빔 소스 - 하나의 소스가 복수의 광 섬유 파장 증폭 채널의 각각에 제공되고, 각각의 시드 빔 소스는 다른 시드 빔 소스에 의해 생성된 시드 빔의 파장과 다른 파장을 갖는 시드 빔을 생성하고, 각각의 시드 빔 소스는 빔 파장 조정 성능을 구비함 -;

해당 채널 내에서 상기 시드 빔을 수신하고 증폭된 빔을 제공하는 각각의 증폭 채널에 제공된 광 섬유 증폭기;

별개의 상기 증폭된 빔 모두에 응답하여 상기 증폭된 빔을 발산하는 결합되지 않은 빔으로서 자유 공간으로 지향시키는 방출기 어레이(emitter array);

상기 발산하는 결합되지 않은 빔에 응답하여 상기 발산하는 결합되지 않은 빔을 시준된 결합되지 않은 빔으로서 제지향시키는 빔 콜리메이팅(collimating) 광학 기기;

상기 시준된 결합되지 않은 빔에 응답하여, 상기 시준된 결합되지 않은 빔 내의 별개의 상기 증폭된 빔 모두가 출력 빔으로서 동일한 방향으로 지향되도록 상이한 파장을 갖는 상기 시준된 결합되지 않은 빔을 공간적으로 결합하는 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자;

상기 출력 빔에 응답하여 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 샘플 빔을 제공하는 빔 샘플러;

상기 샘플 빔에 응답하여 상기 샘플 빔의 원거리(far-field) 이미지를 생성하는 원거리 광학 기기;

상기 샘플 빔의 상기 원거리 이미지에 응답하고, 서로 이격되고 상기 SBC 격자의 분산 축(dispersive axis)에 상대적으로 배치된 제1 광 섬유 샘플러 및 제2 광 섬유 샘플러를 포함하는 검출기 어셈블리 - 상기 제1 광 섬유 샘플러는 제1 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제1 광 섬유 샘플 빔을 생성하고, 상기 제2 광 섬유 샘플러는 제2 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제2 광 섬유 샘플 빔을 생성함 -; 및

상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하는 광학 및 전기 피드백 부품의 구성 - 상기 피드백 부품은 상기 제1 광 섬유 샘플 빔의 상기 제1 세기와 상기 제2 광 섬유 샘플 빔의 상기 제2 세기 사이의 차이를 결정하고, 상기 피드백 부품은 상기 증폭된 빔 모두가 상기 출력 빔에서 공간적으로 정렬되어 동일한 방향으로 전파하도록 상기 시드 빔 모두의 파장을 제어하기 위하여 상기 세기들의 차이를 이용함 -

를 포함하고,

상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러는, 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러가 모두 상기 샘플 빔의 상기 원거리 이미지의 가우시안 세기 분포의 최대 기울기에 있도록 위치되는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러는 하나의 원거리 빔 직경만큼 이격되는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 전류 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 전류 액추에이터를 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 온도 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 온도 액추에이터를 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 증폭된 빔의 파장에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 시스템 내의 부품의 위치에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은, 상기 제1 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 각각의 파장 채널에 대하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 내의 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분의 각각을 상이한 광 섬유 상에 개별적으로 출력하는 제1 파장 디멀티플렉서(wavelength-demultiplexer(WDM)), 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 각각의 파장 채널에 대하여 상기 제2 광 섬유 샘플 빔 내의 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분의 각각을 상이한 광 섬유 상에 개별적으로 출력하는 제2 WDM, 각각의 파장 채널에 대하여 하나의 검출기 쌍을 포함하는 복수의 검출기 쌍 - 각각의 검출기 쌍은 상기 제1 및 제2 WDM 모두로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분에 응답하고, 각각의 검출기 쌍은 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 식별하는 차동 신호를 출력함 -, 및 각각의 채널에 대하여 하나의 제어 장치를 포함하는 복수의 제어 장치를 포함하고, 각각의 제어 장치는 특정 채널에 대하여 상기 차동 신호에 응답하고, 상기 차동 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔 소스의 파장을 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 또는 상기 제2 광 섬유 샘플 빔을 선택적으로 출력하는 1×2 스위치, 상기 스위치로부터의 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 각각의 파장 채널에 대하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔에서 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 각각을 상이한 광 섬유 상에 출력하는 파장 디멀티플렉서(wavelength-demultiplexer(WDM)), 각각의 파장 채널에 대하여 하나의 검출기를 포함하는 복수의 검출기 - 각각의 검출기는 상기 WDM 모두로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분에 응답하고, 각각의 검출기는 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기를 식별하는 전기 신호를 출력함 -, 및 각각의 파장 채널에 대하여 하나의 제어 장치를 포함하는 복수의 제어 장치를 포함하고, 각각의 제어 장치는 특정 파장 채널에 대하여 검출기로부터의 상기 전기 신호에 응답하고, 해당 채널에 대한 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔 으로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 결정하고, 상기 전기 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔의 소스의 파장을 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 또는 상기 제2 광 섬유 샘플 빔을 선택적으로 출력하는 1×2 스위치, 상기 스위치로부터의 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔에서 동일한 파장을 갖는 상기 증

폭된 빔의 파장 부분을 선택적으로 분리하여 출력하는 튜닝 가능한 스펙트럼 필터(tunable spectral filter), 상기 스펙트럼 필터로부터의 출력에 선택적으로 응답하여 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 각각의 파장 부분의 세기를 식별하는 전기 신호를 출력하는 단일 검출기, 및 상기 검출기로부터의 상기 전기 신호에 응답하고, 각각의 채널에 대하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔으로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 결정하고, 상기 전기 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔의 소스의 파장을 제어하는 단일 제어 장치를 포함하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 피드백 부품은 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 또는 상기 제2 광 섬유 샘플 빔을 선택적으로 출력하는 1×2 스위치, 상기 스위치로부터의 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하는 광학 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer(OSA)) - 상기 OSA는 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔 모두에서 상이한 파장의 파워를 분리하여 검출하고 상기 빔의 검출된 파워를 식별하는 세기 신호를 출력함 -, 및 상기 OSA로부터의 상기 세기 신호에 응답하고, 각각의 채널에 대하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔으로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 결정하고, 상기 세기 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔의 소스의 파장을 제어하는 단일 제어 장치를 포함하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 12

광 섬유 증폭기 시스템에 있어서,

복수의 시드 빔 소스 - 하나의 소스가 복수의 광 섬유 증폭 채널의 각각에 제공되고, 각각의 시드 빔 소스는 다른 시드 빔 소스에 의해 생성된 시드 빔의 파장과 다른 파장을 갖는 시드 빔을 생성하고, 각각의 시드 빔 소스는 빔 파장 조정 성능을 구비함 -;

해당 채널 내에서 상기 시드 빔을 수신하고 증폭된 빔을 제공하는 각각의 증폭 채널에 제공된 광 섬유 증폭기;

별개의 상기 증폭된 빔 모두에 응답하여 상기 증폭된 빔을 발산하는 결합되지 않은 빔으로서 자유 공간으로 지향시키는 방출기 어레이(emitter array);

상기 발산하는 결합되지 않은 빔에 응답하여 상기 발산하는 결합되지 않은 빔을 시준된 결합되지 않은 빔으로서 재지향시키는 빔 콜리메이팅(collimating) 광학 기기;

상기 시준된 결합되지 않은 빔에 응답하여, 상기 시준된 결합되지 않은 빔 내의 별개의 상기 증폭된 빔 모두가 출력 빔으로서 동일한 방향으로 지향되도록 상이한 파장을 갖는 상기 시준된 결합되지 않은 빔을 공간적으로 결합하는 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자;

상기 출력 빔에 응답하여 모든 상기 증폭된 빔의 일부를 포함하는 샘플 빔을 제공하는 빔 샘플러;

상기 샘플 빔에 응답하여 상기 샘플 빔의 원거리(far-field) 이미지를 생성하는 원거리 광학 기기;

상기 시스템의 상기 원거리 내에 배치되고 상기 샘플 빔에 응답하며, 서로 이격되고 상기 SBC 격자의 분산 축(dispersive axis)에 상대적으로 배치된 제1 광 섬유 샘플러 및 제2 광 섬유 샘플러를 포함하는 검출기 어셈블리 - 상기 제1 광 섬유 샘플러는 제1 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제1 광 섬유 샘플 빔을 생성하고, 상기 제2 광 섬유 샘플러는 제2 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제2 광 섬유 샘플 빔을 생성하고, 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러는 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러가 상기 샘플 빔의 상기 원거리 이미지의 가우시안 세기 분포의 최대 기울기에 있도록 하나의 원거리 빔 직경만큼 떨어져 배치됨 -;

상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 또는 상기 제2 광 섬유 샘플 빔을 선택적으로 출력하는 1×2 스위치;

상기 스위치로부터의 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔에서 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분을 선택적으로 분리하여 출력하는 튜닝 가능한 스펙트럼 필터(tunable spectral filter);

상기 스펙트럼 필터로부터의 출력에 선택적으로 응답하여 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 각각의 파장 부분의 세기를 식별하는 전기 신호를 출력하는 단일 검출기; 및

상기 검출기로부터의 상기 전기 신호에 응답하고, 각각의 채널에 대하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔으로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 결정하고, 상기 전기 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔의 소스의 파장을 제어하는 단일 제어 장치

를 포함하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 전류 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 전류 액추에이터를 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 온도 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 온도 액추에이터를 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 증폭된 빔의 파장에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 시스템 내의 부품의 위치에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 17

광 섬유 증폭기 시스템에 있어서,

복수의 시드 빔 소스 - 하나의 소스가 복수의 광 섬유 증폭 채널의 각각에 제공되고, 각각의 시드 빔 소스는 다른 시드 빔 소스에 의해 생성된 시드 빔의 파장과 다른 파장을 갖는 시드 빔을 생성하고, 각각의 시드 빔 소스는 빔 파장 조정 성능을 구비함 -;

해당 채널 내에서 상기 시드 빔을 수신하고 증폭된 빔을 제공하는 각각의 증폭 채널에 제공된 광 섬유 증폭기;

별개의 상기 증폭된 빔 모두에 응답하여 상기 증폭된 빔을 발산하는 결합되지 않은 빔으로서 자유 공간으로 지향시키는 방출기 어레이(emitter array);

상기 발산하는 결합되지 않은 빔에 응답하여 상기 발산하는 결합되지 않은 빔을 시준된 결합되지 않은 빔으로서 재지향시키는 빔 콜리메이팅(collimating) 광학 기기;

상기 시준된 결합되지 않은 빔에 응답하여, 상기 시준된 결합되지 않은 빔 내의 별개의 상기 증폭된 빔 모두가 출력 빔으로서 동일한 방향으로 지향되도록 상이한 파장을 갖는 상기 시준된 결합되지 않은 빔을 공간적으로 결합하는 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자;

상기 출력 빔에 응답하여 모든 상기 증폭된 빔의 일부를 포함하는 샘플 빔을 제공하는 빔 샘플러;

상기 샘플 빔에 응답하여 상기 샘플 빔의 원거리(far-field) 이미지를 생성하는 원거리 광학 기기;

상기 시스템의 상기 원거리 내에 배치되고 상기 샘플 빔에 응답하며, 서로 이격되고 상기 SBC 격자의 분산 축(dispersing axis)에 상대적으로 배치된 제1 광 섬유 샘플러 및 제2 광 섬유 샘플러를 포함하는 검출기 어셈블

리 - 상기 제1 광 섬유 샘플러는 제1 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제1 광 섬유 샘플 빔을 생성하고, 상기 제2 광 섬유 샘플러는 제2 세기를 갖고 상기 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제2 광 섬유 샘플 빔을 생성하고, 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러는 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플러가 상기 샘플 빔의 상기 원거리 이미지의 가우시안 세기 분포의 최대 기울기에 있도록 하나의 원거리 빔 직경만큼 떨어져 배치됨 -;

상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 상기 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하여 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 또는 상기 제2 광 섬유 샘플 빔을 선택적으로 출력하는 1×2 스위치;

상기 스위치로부터의 상기 제1 광 섬유 샘플 빔 및 제2 광 섬유 샘플 빔에 응답하는 광학 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer(OSA)) - 상기 OSA는 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔 모두에서 상이한 파장의 파워를 분리하여 검출하고 상기 빔의 검출된 파워를 식별하는 세기 신호를 출력함 -; 및

상기 OSA로부터의 상기 세기 신호에 응답하고, 각각의 채널에 대하여 상기 제1 및 제2 광 섬유 샘플 빔으로부터의 동일한 파장을 갖는 상기 증폭된 빔의 파장 부분의 세기에서의 차이를 결정하고, 상기 세기 신호를 이용하여 해당 채널에 대한 상기 시드 빔의 소스의 파장을 제어하는 단일 제어 장치

를 포함하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 전류 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 전류 액추에이터를 제어하거나, 상기 시드 빔의 파장을 변경하기 위하여 온도 제어를 제공하도록 상기 빔 소스 내의 온도 액추에이터를 제어하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 증폭된 빔의 파장에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 제어 장치는 상기 시스템 내의 부품의 위치에서의 변화에 응답하여 상기 증폭된 빔의 파장을 보정하는, 광 섬유 증폭기 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

[0001] 본 개시 내용은 일반적으로 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC))에 의해 결합되는 상이한 파장을 갖는 증폭된 빔을 생성하는 복수의 빔 채널을 사용하는 광 섬유 레이저 증폭기 시스템에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는, SBC에 의해 결합되는 상이한 파장을 갖는 증폭된 빔을 생성하는 복수의 빔 채널을 사용하는 광 섬유 레이저 증폭기 시스템으로서, 모든 빔이 동일한 방향으로 가리키도록 각각의 채널에서의 빔의 파장을 제어하고 안정시키기 위한 피드백을 제공하는 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

[0002] 높은 파워의 레이저 증폭기는 산업적 적용 분야, 상업적 적용 분야, 군사적 적용 분야 등을 포함하는 많은 적용 분야를 가진다. 높은 파워 레이저에 대한 하나의 특정 예는 레이저 무기 시스템이다. 레이저 증폭기의 설계자는 이러한 적용 분야 및 다른 적용 분야를 위하여 레이저 증폭기의 파워를 증가시키는 방법을 지속적으로 조사하고 있다. 하나의 공지된 유형의 레이저 증폭기는 시드 빔(seed beam) 및 시드 빔을 증폭하여 레이저 출력 빔을 생성하기 위한 펌프 빔을 수신하는 도핑된 광 섬유를 사용하는 광 섬유 레이저 증폭기이고, 광 섬유는 통상적으로 대략 10 내지 20 μm 의 활성 코어 직경을 가진다.

- [0003] 레이저 증폭기 설계에서의 개선은 이의 실용적 파워 및 빔 품질 한계에 도달하기 위하여 광 섬유 증폭기의 출력 파워를 증가시켜왔다. 출력 파워를 더 증가시키기 위하여, 일부 광 섬유 레이저 시스템은 증폭된 빔들을 소정의 방식으로 결합하여 더 높은 파워를 생성하는 다수의 광 섬유 레이저 증폭기를 채용한다. 이러한 유형의 광 섬유 레이저 증폭기에 대한 설계 상의 도전 과제는 빔들이 빔 직경에 걸쳐 균일한 위상을 갖는 단일 빔 출력을 제공하여 빔이 작은 초점 스폿에 초점이 맞추어질 수 있도록 하는 방식으로 복수의 광 섬유 증폭기로부터의 빔들을 결합하는 것이다. 결합된 빔을 긴 거리(원거리(far-field))에 있는 작은 스폿으로 초점을 맞추는 것은 빔의 품질을 정의한다.
- [0004] 높은 파워를 생성하기 위한 하나의 알려진 방법인 근접 회절 한계(near diffraction-limited) 레이저 빔은, 상이한 파장을 갖는 증폭된 빔을 제공하는 다수의 좁은 선폭 광 섬유 증폭기의 SBC(spectral beam combining)를 활용하는 것이다. 특히, 다수의 높은 출력의 레이저 빔 채널은 각각 단일 출력 빔으로서 동일한 방향으로 전파하도록 빔을 결합하는 일반적으로 회절 격자인 분산 광학 기기 상으로 이미징된 약간 상이한 파장을 갖는 증폭된 빔을 제공한다.
- [0005] 이러한 유형의 SBC 레이저 증폭기 시스템에서 양호한 빔 품질을 제공하기 위하여, 각각의 레이저 빔 파장은 회절 격자 상에 이미징된 후에 동일한 방향으로 향하여 모든 결합된 빔들이 원거리 타겟 상에서 파워를 최대화하도록 안정적이어야 하고 시간의 경과에 따라 드리프트하지 않아야 한다. 다른 말로 하면, 각각의 채널 내의 빔의 파장이 격자로부터 각각의 빔의 지향 방향 동일한 방향에 있도록 원하는 파장에서 유지되는 것이 필요하다. 그러나, 다양한 부품에서의 열적 부하, 부품 위치 이동 등과 같은 다양한 요인으로 인하여, 빔의 파장은 시간의 경과에 따라 변동하고 빔의 지향 방향이 변동하며, 따라서, 감소된 빔 품질을 야기한다. 또한, 빔의 파장이 안정적인 상태를 유지하더라도, 빔들을 격자 상으로 결합하는데 사용되는 광학 기기에서의 열적 또는 기계적 변동으로 인하여 격자로부터의 빔의 지향 방향이 드리프트할 수 있다.
- [0006] 빔의 파장이 주기적으로 측정되어 보정될 수 있는 유지 보수 일정을 제공하는 것 가능하다. 그러나, 이는 추가 비용 및 경비를 필요로 한다. 또한, 파장이 원하는 파장으로 고정되도록, 빔의 파장을 측정하고 파장에서의 임의의 드리프트를 자동으로 보정하는 파장 고정기(wavelength locker)를 각각의 레이저 채널에서 제공할 수 있다. 그러나, 레이저 시스템에 포함되는 채널이 더 많아질수록 파장은 더 가까이 이격되고, 파장 고정기가 더 정밀할 필요가 있다. 더욱 구체적으로는, 레이저 증폭기 기술이 개선됨에 따라, 레이저 소스의 사용 가능한 스펙트럼 밝기는 증가하며, 이는 광 섬유 채널 당 더 좁은 선폭(linewidth)을 가능하게 한다. 사용 가능한 레이저 이득 대역폭, 즉 통상적으로 Yb 도핑된 광 섬유 레이저에 대한 30 내지 40nm 내에 맞추기 위하여, 더 많은 채널이 추가됨에 따라, 채널은 파장에 있어서 더욱 가까이 이격되어야 하며, 예에 따라 더 높은 정밀도로 파장에 고정되어야 한다. 예를 들어, 300개의 광 섬유를 30 nm의 이득 대역폭 내에 맞추기 위하여, 각각의 광 섬유 채널은 인접한 채널로부터 단지 0.1 nm(26 GHz)만 이격되어야 한다. 이것은 결합된 출력 빔 품질에서의 상당한 열화를 방지하기 위하여 대략 1 GHz 내로 파장을 고정하는 것은 필요로 한다. 이러한 절대적인 고정 정밀도 수준은 종래의 파브리-페로(Fabry-Perot) 기반의 파장 고정기로는 달성하기 어렵다.

발명의 내용

- [0007] 본 개시 내용은 하나의 소스가 복수의 광 섬유 증폭 채널의 각각에 제공되는 복수의 시드 빔 소스를 포함하는 광 섬유 증폭기 시스템을 논의하고 설명한다. 각각의 시드 빔 소스는 다른 시드 빔 소스에 의해 생성된 시드 빔의 파장과 다른 파장을 갖는 시드 빔을 생성하고, 각각의 시드 빔 소스는 빔 파장 튜닝 성능을 구비한다. 또한, 시스템은, 해당 채널 내에서 시드 빔을 수신하고 증폭된 빔을 제공하는 각각의 증폭 채널에 제공된 광 섬유 증폭기와, 별개의 증폭된 빔 모두에 응답하여 증폭된 빔을 발산하는 결합되지 않은 빔으로서 자유 공간으로 지향시키는 방출기(emitter)를 포함한다. 시스템은 발산하는 결합되지 않은 빔에 응답하여 발산하는 결합되지 않은 빔을 시준된 결합되지 않은 빔으로서 초점을 맞추는 빔 콜리메이팅(collimating) 광학 기기와, 시준된 결합되지 않은 빔에 응답하여, 상이한 파장을 갖는 증폭된 빔의 모두가 출력 빔으로서 동일한 방향으로 지향되도록 시준된 결합되지 않은 결합된 빔을 공간적으로 결합하는 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자를 더 포함한다. 또한, 시스템은, 출력 빔에 응답하여, 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 샘플 빔을 제공하는 빔 샘플러와, 샘플 빔에 응답하는 검출기 어셈블리를 포함한다. 검출기 어셈블리는 서로 이격되고 SBC 격자의 분산 축(dispersive axis)에 상대적으로 배치된 제1 광 섬유 샘플러 및 제2 광 섬유 샘플러를 포함하고, 제1 광 섬유 샘플러는 제1 세기를 갖고 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제1 샘플 빔을 생성하고, 제2 광 섬유 샘플러는 제2 세기를 갖고 증폭된 빔 모두의 파장 부분을 포함하는 제2 샘플 빔을 생성한다. 광학 및 전기 피드백 부품의 구성은 제1 및 제2 샘플 빔에 응답하고, 피드백 부품은 제1 샘플 빔의

제1 세기와 제2 샘플 빔의 제2 세기 사이의 차이를 결정하고, 피드백 부품은 증폭된 빔 모두가 출력 빔에서 공간적으로 정렬되어 동일한 방향으로 전파하도록 시드 빔 모두의 파장을 제어한다.

[0008] 본 발명의 추가 특징들은 첨부된 도면과 함께 고려되는 이어지는 설명과 첨부된 도면으로부터 명백하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 각각의 SBC 채널에 대하여 2개의 광 섬유 샘플러, 2개의 WDM 및 평형 검출기(balanced detector) 쌍을 사용하는 파장 안정화 피드백을 포함하는 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템의 개략도이고;

[0010] 도 2는 각각의 SBC 채널에 대하여 2개의 광 섬유 샘플러, 1×2 스위치, WDM 및 단일 검출기를 사용하는 파장 안정화 피드백을 포함하는 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템의 개략도이고;

[0011] 도 3은 2개의 광 섬유 샘플러, 1×2 스위치, 동적인 튜닝 가능한 스펙트럼 필터(dynamic tunable spectral filter), 단일 검출기 및 다중 출력을 갖는 단일 컨트롤러를 사용하는 파장 안정화 피드백을 포함하는 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템의 개략도이고; 그리고,

[0012] 도 4는 2개의 광 섬유 샘플러, 1×2 스위치 및 광학 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer(OSA))를 사용하는 파장 안정화 피드백을 포함하는 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] SBC에 의해 결합되는 상이한 파장들에서 동작하는 복수의 빔 채널을 사용하는 광 섬유 레이저 증폭기 시스템으로서, 상이한 파장의 빔들의 파장을 제어하기 위한 빔 피드백을 포함하는 시스템에 관한 본 발명의 실시예에 대한 다음의 논의는 본질적으로 단지 예시적일 뿐이며, 본 개시 내용이나 이의 적용례 또는 용도를 어떠한 방식으로든 한정하려고 의도되지 않는다.

[0014] 도 1은 단지 2개만 도시되고, 각각이 특정 파장(λ)으로 광 섬유(16)에 제공되는 시드 빔(seed beam)을 생성하는 마스터 발진기(master oscillator(MO))(14)를 포함하는 N개의 파장 채널(12)을 포함하는 SBC 광 섬유 증폭기 시스템(10)의 개략적인 블록도이고, 각각의 MO(14)는 상이한 파장들(λ_1 내지 λ_N)을 생성한다. 각각의 MO(14)는 파장(λ)의 열적 제어를 제공하는 열전 냉각기(thermoelectric cooler(TEC)) 액추에이터 또는 파장(λ)의 전류 제어를 제공하는 전류 액추에이터와 같은 빔 파장(λ)을 튜닝하기 위한 부품을 포함한다. 광 섬유(16) 상의 각각의 시드 빔은 광 섬유 증폭기(20)로 전송되고, 증폭기(20)는 통상적으로 광학 펌프 빔(도시되지 않음)을 수신하는 광 섬유(16)의 도핑된 증폭 부분일 것이다. 각각의 채널(12)은 다수의 다른 광학 부품, 예를 들어, 시드 빔을 변조하기 위한 전기-광학 변조기, 시드 빔의 위상을 제어하기 위한 위상 변조기, 시드 빔의 편광을 제어하기 위한 편광 변조기 등을 포함할 수 있다. 모든 증폭된 빔은 발산하는 증폭된 빔 세트를 자유 공간으로 출력하는 광학 방출기 어레이(optical emitter array)(22)로 지향되고, 개별 빔 파장(λ)은 약간 다른 방출기 위치로부터 전파한다. 발산하는 빔은, 모든 개별 빔이 격자(26)에 충돌하고 동일한 수신 범위(footprint)에서 중첩하도록, 발산하는 빔을 시준하여(collimate) 스펙트럼 빔 결합(spectral beam combining(SBC)) 격자(26) 상으로 지향시키는 콜리메이팅 광학 기기(24)로부터 반사된다. 격자(26)는 개별 빔 파장(λ)을 공간적으로 회절시키고 개별 빔들을 결합된 출력 빔(28)으로서 동일한 방향으로 지향시킨다.

[0015] 스펙트럼적으로 결합된 출력 빔(28)은 빔(28)의 작은 부분을 샘플 빔(40)으로서 분할하는 빔 샘플러(30) 상으로 지향된다. 샘플 빔(40)은 샘플 빔(430)의 초점을 맞추어 제1 측 광 섬유 샘플러(48)와 제2 측 광 섬유 샘플러(50)를 포함하는 검출기 어셈블리(46) 상으로 원거리(far-field) 이미지를 생성하는 이미징 렌즈(44)에 의해 수신되고, 샘플러(48, 50)는 공간 필터로서 작동한다. 광 섬유 샘플러(48, 50)는 각각의 광 섬유 샘플러(48, 50)가 샘플 빔(40)의 가우시안 빔 세기 분포(52)의 최대 기울기 근처에 있도록 서로로부터 대략 하나의 원거리 빔 직경만큼 떨어져 격자(26)의 분산 축을 따라 배치된다. 샘플러(48)로부터 검출된 빔 부분은 광 섬유(54)에 제공되고, 샘플러(50)로부터 검출된 빔 부분은 광 섬유(56)에 제공된다. 광 섬유(54) 상의 검출된 빔 부분은 검출된 빔 부분을 각각 N개의 광 섬유(60) 중 별개의 광 섬유로 제공되는 이를 구성하는 파장들(λ)로 분할하는 파장 디멀티플렉서(wavelength-demultiplexer(WDM))(58)로 제공된다. 유사하게, 광 섬유(56) 상의 검출된 빔 부분은 검출된 빔 부분을 각각 N개의 광 섬유(65) 중 별개의 광 섬유로 제공되는 이를 구성하는 파장들로 분할하는 WDM(62)으로 제공된다. WDM(58, 62)은, 일련의 광 섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating) 또는 어레이형 도파관 격자(arrayed waveguide grating(AWG))와 같은, 본 명세서에서 논의되는 목적에 적합한 임의의 파

장 선택성 부품일 수 있다.

- [0013] [0016] 각각의 특정 광 섬유(60, 64)는 WDM(58, 62)로부터 동일한 파장(λ)을 운반한다. 즉, 양 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 파장의 광학 파워는 N 개의 평형 검출기(balanced detector) 쌍(66) 중 하나로 전송되어 이에 의해 검출되며, 각각의 검출기 쌍(66)은 광 섬유(60, 64)에서의 빔 부분의 광전류(photocurrent)를 측정하고, 특정 파장(λ)에서 2개의 검출된 빔 부분의 파워 사이의 차이의 차동 출력을 제공한다. 샘플 빔(40)에서의 특정 파장(λ)이 적합한 방향으로 전파하고 있다면, 즉 공간적으로 정렬되어 있다면, 샘플러(48, 50)로부터의 검출된 빔 부분은 동일한 세기를 가질 것이고, 그 특정 파장(λ)에 대한 검출기 쌍(66)의 출력은 존재하지 않거나 0이 될 것이다. 따라서, 모든 빔이 자신의 적합한 파장을 가지면, 광 섬유 샘플러(48, 50)에 의한 샘플 빔(40)의 측정된 세기는 동일할 것이다. 샘플 빔(40)에서의 특정 파장들(λ_1 내지 λ_N) 중 임의의 하나가 공간적으로 적합하게 정렬되지 않으면, 샘플러(48, 50)로부터의 검출된 빔 부분은 동일한 세기를 가지지 않을 것이고, 그 특정 파장(λ)에 대한 검출기 쌍(66)의 출력은 증폭된 빔이 정렬 상태로 다시 놓이도록 그 채널(12)에 대한 시드 빔의 파장을 제어하는데 사용될 수 있는 여러 신호일 것이다.
- [0014] [0017] 각각의 검출기 쌍(66)으로부터의 차동 출력은 검출기 쌍(66)의 출력이 0이 될 때까지 시드 빔의 파장(λ)을 변경하기 위해 그 채널(12)에 대하여 여러 신호를 MO(14)로 전송하는 이득 컨트롤러(68)로 전송된다. 예를 들어, 이득 컨트롤러(68)의 출력은 MO(14) 내의 레이저 방출기의 온도의 증가 또는 감소를 발생시키고, 이는 이의 파장(λ)을 변화시킨다. 따라서, MO(14)로부터의 시드 빔의 파장(λ)을 적절하게 제어함으로써, 증폭된 빔은 동일한 빔 파워가 광 섬유 샘플러(48, 50)에 충돌하도록 격자(26)로부터 적절하게 조정되고, 모두 적절한 출력 빔 파워를 위하여 원거리에서 함께 정렬될 것이다.
- [0015] [0018] 위에서의 논의는 적절한 빔 정렬을 제공하기 위해 시드 빔이 변경되는 경우 시드 빔의 파장(λ)을 보정하는 방법에 대해 설명한다. 그러나, 논의된 바와 같은 시스템(10)의 동작은, 빔의 파장이 원하는 파장에 있을 수 있음에도 불구하고 시스템(10) 내의 부품이 오정렬되는 경우에도 빔 정렬을 제공한다. 특히, 시스템(10)은 모든 채널 빔이 동일한 요소에 의해 샘플링되기 때문에 자연적으로 함께 정렬된다는 점에서 빔 오정렬 둔감성을 제공한다. 공통 자유 공간 광학 기기 또는 빔 샘플링 요소에서의 모든 드리프트는 빔 파장에서 동일한 이동을 제공할 것이고, 따라서, 빔 제어 시스템에 의해 레이저 무기 시스템에서 자연적으로 수용될 수 있는 글로벌 지향 이동(global pointing shift)만을 가지면서 빔들이 결합된 출력 빔(28)에서 함께 정렬된 상태를 유지하는 것을 보장한다.
- [0016] [0019] 원칙적으로, 각각의 채널(12)의 유한 선폭(finite linewidth)과 결합된 격자 분산(grating dispersion)은 채널 빔들 사이의 오정렬을 초래할 수 있다. 이는, 서로 다른 파장을 결합하는 것에 더하여, 회절 격자(26)가 각각의 빔의 스펙트럼을 각도 분산시킬 것이기 때문이다. 이것은 공간적으로 변위된 광 섬유 샘플러(48, 50)에 들어가는 스펙트럼이 동일하지 않을 것임을 의미한다. 하나의 광 섬유 샘플러(48 또는 50)는 모든 채널 빔의 청색 에지를 샘플링할 것이고, 다른 광 섬유 샘플러(48 또는 50)는 채널 빔의 모든 적색 에지를 샘플링할 것이다. 이득 컨트롤러(68)는 하나의 광 섬유 샘플러(48 또는 50)에 들어가는 청색 파워가 다른 광 섬유 샘플러(48 또는 50)에 들어가는 적색 파워와 동일하도록 빔을 정렬할 것이다. 이것은, 서로 다른 증폭 채널(12)의 선폭이 동일하지 않더라도, 각각의 시드 빔의 스펙트럼이 대칭성을 가지는 한, 공간적 오정렬 오차를 초래하지 않을 것이다. 통상적으로, 각각의 채널(12)의 선폭은, 노이즈 확장을 이용하는 위상 변조 또는 의사 랜덤 비트 시퀀스를 이용하는 것과 같은 디지털 코드 변조에 의해 생성되며, 이 모두는 대칭 스펙트럼을 이상적으로 생성한다. 그러나, 채널(12)의 스펙트럼이 비대칭이면, 그 채널(12)은 대칭 채널에 비하여 오정렬될 것이다. 실제로, 확장하는 RF 전자 장치가 높은 포화 상태일 때 비대칭 스펙트럼이 때때로 관찰되고, 이는 일반적으로 시험 목적으로 선폭을 일시적으로 증가시키기 위하여 설계 지점을 넘어서 동작될 때이다. 이러한 효과는 실제로 원거리에서 회절 제한된 스폿 직경의 작은 일부에만 상대적인 오정렬을 초래하며, 따라서 시스템의 성능에는 무시할 만한 영향을 미친다.
- [0017] [0020] 다른 실시예는 공간/스펙트럼 감지에 대해 동일한 개념을 사용할 수 있지만, 제어 대역폭을 희생시키면서 부품 수를 줄이고 크기 및 무게(size and weight(SaW))를 줄이기 위해 시간 다중화를 통합한다. 제어 대역폭은, 통상적으로 격자에서의 파장 드리프트 또는 자유 공간 광학 기기에서의 구조적 완화가 부품 노화로 인해 발생하기 때문에, 대부분의 시스템에 대한 제한 사항이 될 것으로 예상되지 않는다. 실제 시스템에서 가장 높은 속도 장애는 일반적으로 몇 초의 작동 동안인 높은 파워의 샷 동안 발생하는 열적 성장 또는 열-광학 왜곡일 가능성이 높으며, 따라서 Hz 등급의 루프 속도로 수정될 수 있다.
- [0018] [0021] 도 2는 증폭기 시스템(10)과 유사한 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템(70)의 개략적인 블록도이며, 동

일한 요소는 동일한 참조 번호로 식별된다. 시스템(70)에서, 광 섬유(54, 56)에 결합된 1×2 스위치(72)가 피드백에 포함되었으며, 스위치(72)는 광 섬유(74) 상에 광 섬유(54)로부터의 검출된 빔 부분을 출력하는 것과 광 섬유(56)로부터 검출된 빔 부분을 출력하는 것을 선택적으로 교대한다. WDM(58, 62)은 스위치(72)로부터 광 섬유(74) 상에서의 검출된 빔 부분을 수신하는 단일 WDM(76)으로 대체되었다. 따라서, WDM(76)은 광 섬유(60) 상의 모든 상이한 파장 빔을 동시에 출력하지만, 광 섬유 샘플러(48, 50) 중 하나로부터의 빔만 출력한다. 따라서 검출기 쌍(66)은 각각의 채널(12)에 대해 단일 검출기(78)로 대체될 수 있다. 각각의 검출기(78)의 출력은 각각의 채널(12)에 대한 컨트롤러(80)로 전송되고, 각각의 컨트롤러(80)는 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 검출된 빔 부분의 세기를 비교하고 위에서 논의된 바와 같은 방식으로 MO(14)를 제어하기 위하여 연속 시간 프레임에서 검출기(78)로부터의 신호를 측정한다. 각각의 파장 채널(12)에 대하여 공통 요소를 사용하기 때문에, 시스템(70)은 시스템(10)보다 구현하기 더 간단하고, 따라서 검출기 쌍(66) 사이의 전기 이득 균형에서의 파장 드리프트에 대한 영향을 제거하고 캘리브레이션을 용이하게 한다.

[0019] [0022] 도 3은 증폭기 시스템(70)과 유사한 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템(90)의 개략적인 블록도이며, 유사한 요소는 동일한 참조 번호로 식별된다. 시스템(90)에서, 단일 WDM(76)은 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 검출된 빔 부분의 N개의 파장(λ)을 모두 분리하고, 이 파장 빔들 중 하나를 특정 시점에 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터 광 섬유(94) 상으로 순차적으로 출력할 수 있는 동적인 튜닝 가능한 스펙트럼 필터(dynamic tunable spectral filter)(92)로 대체된다. 필터(92)의 각각의 설정에 대해, 빔의 각각의 측의 순차적 파워 측정은 스위치(72)를 작동시킴으로써 획득될 것이다. 스펙트럼 필터(92)는 Waveshaper™ 모듈과 같이 본 명세서에 논의되는 목적에 적합한 임의의 장치일 수 있다. 따라서, 각각의 파장 빔에 대한 모든 단일 검출기(78)는 모든 파장 빔에 대한 단일 검출기(96)로 대체될 수 있고, 각각의 파장 빔에 대한 모든 컨트롤러(80)는 모든 파장 빔에 대한 단일 컨트롤러(98)로 대체될 수 있다. 시스템(90) 내의 컨트롤러(98)는 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 동일한 파장을 갖는 검출된 빔 부분의 세기를 비교하고 위에서 논의된 바와 같은 방식으로 MO(14)를 제어하기 위하여 연속 시간 프레임에서 검출기(96)로부터의 신호를 조사한다. 시스템(90)은 더 적은 하드웨어, 즉 더 낮은 SaW를 사용한 파장 제어를 가능하게 하고, 높은 제어 대역폭이 필요하지 않은 광 섬유 증폭기 시스템, 즉 파장 또는 공간적 오정렬 드리프트가 필터(92)가 전체 파장 어레이를 통해 스캔하는데 필요한 시간에 비해 느린 시스템과 관련될 수 있다.

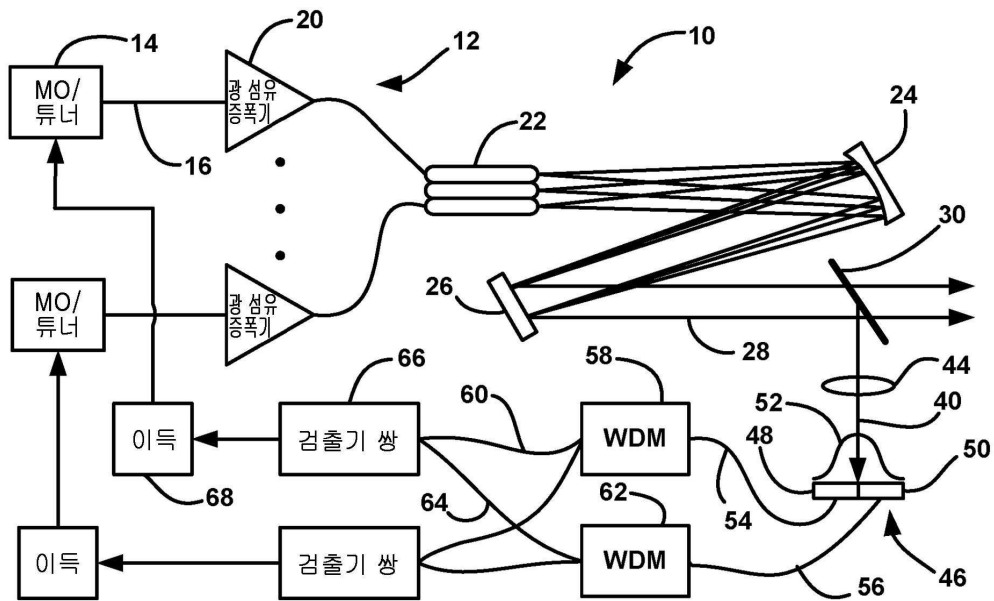
[0020] [0023] 도 4는 증폭기 시스템(90)과 유사한 SBC 광 섬유 레이저 증폭기 시스템(100)의 개략적인 블록도이며, 동일한 요소는 동일한 참조 번호로 식별된다. 시스템(100)에서, 필터(92), 출력 광 섬유(94) 및 검출기(96)는 2개의 스위치 위치로부터 2개의 순차적으로 측정된 스펙트럼을 생성하는 분광계 또는 광학 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer(OSA))(102)로 대체된다. 다른 말로 하면, OSA(102)는 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 검출된 빔 부분에서 개별 파장(λ)의 파워를 분리하여 측정할 수 있으며, OSA(102)의 출력은 파워 대 파장의 스펙트럼 스캔을 제공한다. OSA(102)는 본 명세서에서 논의되는 목적에 적합한 임의의 장치일 수 있다. 컨트롤러(104)는 광 섬유 샘플러(48, 50)로부터의 동일한 파장(λ)을 갖는 검출된 빔 부분의 세기 또는 파워를 비교하여 위에서는 논의된 바와 같은 방식으로 MO(14)를 제어하기 위하여 연속 시간 프레임에서 OSA(102)로부터의 신호를 조사한다.

[0021] [0024] 본 명세서에서 논의된 광 섬유 증폭기 시스템은 직접 다이오드의 SBC에 기초한 산업용 레이저 시스템에 대한 유용성을 가질 수 있다. 현재, 이러한 시스템은 개별 방출기의 파장 고정을 보장하기 위하여 통상적으로 외부 광 피드백 캐비티를 사용하며, 이는 수명 및 손상에 대한 문제를 야기한다. 방출기에 대한 어떠한 직접적인 광학적 피드백 없이 외부 전기 피드백을 이용하는 본 명세서에 설명된 유형의 접근 방식은 이러한 문제점을 완화할 수 있다. 광 섬유 기반의 SBC를 위하여 시드 빔으로서 사용되는 DFB 패키지 다이오드와 유사하게, 높은 파워의 직접 다이오드의 파장 튜닝은 방출기 온도 또는 구동 전류에 의해 작동될 수 있다.

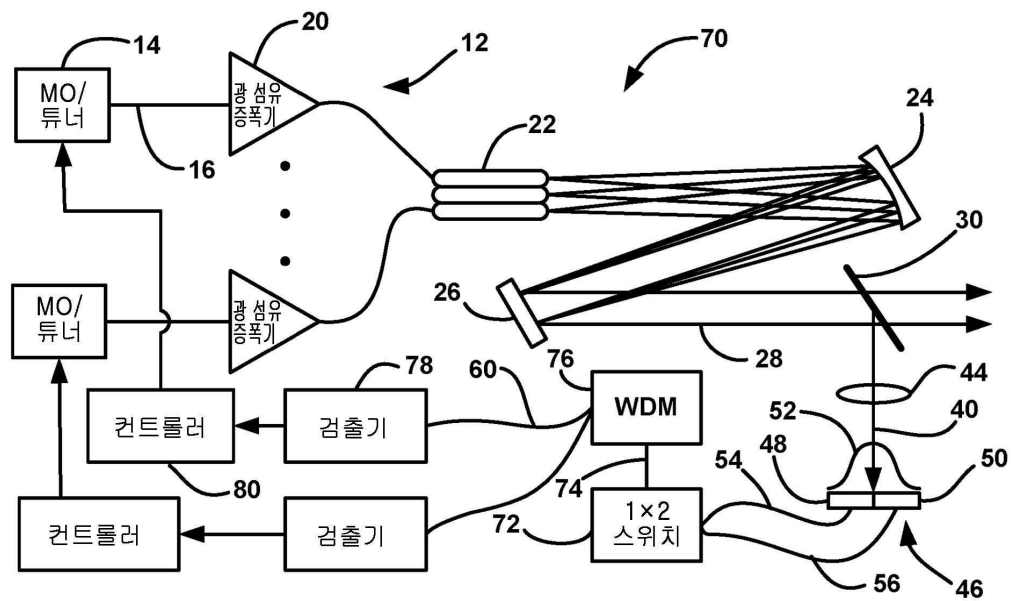
[0022] [0025] 전술한 논의는 단지 본 발명의 예시적인 실시예들을 개시하고 설명한다. 당해 업계에서의 통상의 기술자는 이러한 논의로부터 그리고 첨부된 도면과 청구범위로부터 다양한 변경, 수정 및 변동이 이어지는 청구범위에서 정의된 본 개시 내용의 사상과 범위로부터 벗어나지 않으면서 이루어질 수 있다는 것을 쉽게 인식할 것이다.

도면

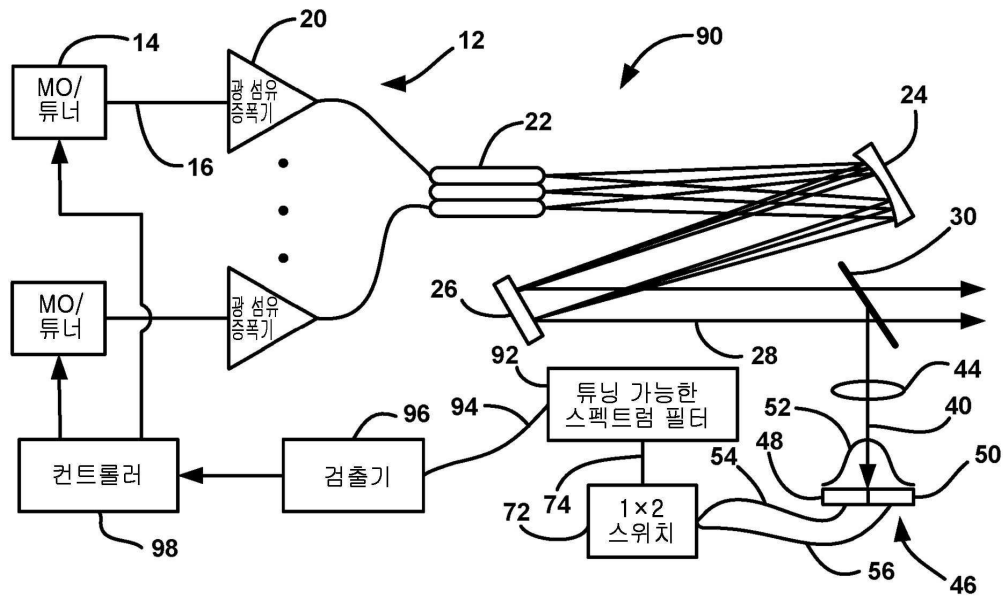
도면1



도면2



도면3



도면4

