(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년04월09일
(11) 등록번호 10-1383197
(24) 등록일자 2014년04월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/067 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7030028
(22) 출원일자(국제) 2007년05월10일
심사청구일자 2012년05월10일
(85) 번역문제출일자 2008년12월09일
(65) 공개번호 10-2009-0015964
(43) 공개일자 2009년02월12일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2007/001707
(87) 국제공개번호 WO 2007/132182
국제공개일자 2007년11월22일
(30) 우선권주장
60/799,456 2006년05월11일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020020077061 A*
US05530709 A*
US06584246 B1*
US5278850 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에스피아이 레이저스 유케이 리미티드
영국 사우샘프턴 헤지 엔드 톨바 웨이 웰링톤 파크 3 (우: 에스오30 2큐유)
(72) 발명자
더르킨, 마이클, 케반
영국 에스오18 1지에프 햄프셔 사우샘프턴 비터른 파크 휘트워쓰 로드 34에이
기린겔리, 파비오
영국 에스오16 7피비 사우샘프턴 바셋트 바셋트 크레스센트 이스트 16
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

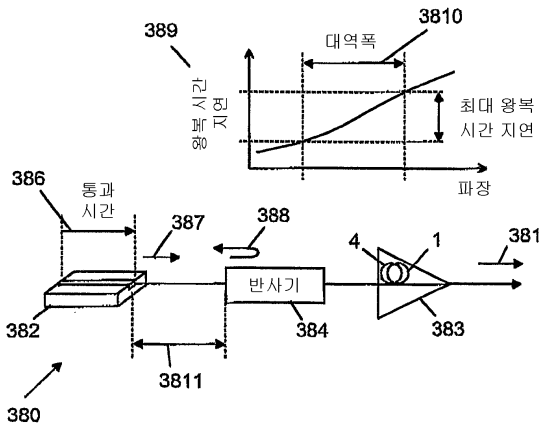
전체 청구항 수 : 총 37 항 심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 **광방사선 제공 장치**

(57) 요 약

광방사선(381) 제공 장치(380)가 제공되며, 상기 장치는 시딩 방사선(387)을 제공하는 시드 레이저(382), 상기 시딩 방사선(387)을 증폭시키는 적어도 하나의 증폭기(383), 및 반사기(384)를 포함하는, 상기 시드 레이저(382)는 패브리-페로(Fabry Perot) 반도체 레이저이며, 상기 시드 레이저(382)는 상기 반사기(384)를 통해 상기 증폭기(383)와 결합되며, 상기 반사기(384)는 상기 시드 레이저(382)에 의해 방출되는 상기 시딩 방사선(387)의 일부를 다시 상기 시드 레이저(382)로 반사시키도록 배열되며, 상기 증폭기(383)는 굴절률 n1을 가지는 코어(3) 및 굴절률 n2를 가지는 페데스탈(4)을 포함하는 광섬유(1)를 포함하며, 상기 광섬유(1)는 상기 페데스탈(4)을 둘러싸는 굴절률 n3을 가지는 유리로 구성된 제 1 클래딩(5)을 포함하며, n1은 n2보다 크고, n2는 n3보다 크다.

대 표 도 - 도38



(72) 발명자

길루이, 앤드류, 마이클

영국 에스오19 9티와이 햄프셔 사우샘프턴 헐톤 클로즈 58

힉키, 루이즈, 마리, 브렌단

영국 에스엘4 3엔제트 버크셔 윈저 윈드밀 클로즈 1

노르만, 스티븐, 로이

영국 에스오51 9비제트 앰프필드 혹우드 레인 혹우드 코티지

파인, 데이비드, 네일

영국 에스오31 4큐지 햄프셔 사우샘프턴 실반 로드 햄블 13

피퍼, 앤디

영국 에스오16 3디티 햄프셔 사우샘프턴 빈스테드 클로즈 22

사후, 자얀타, 쿠마르

영국 에스오17 3알디 사우샘프턴 머톤 로드 4

제르바스, 미크하일, 니콜라오스

영국 에스오15 5에스알 햄프셔 사우샘프턴 힐 팜 로드 34

(30) 우선권주장

60/812,164 2006년06월09일 미국(US)

60/819,439 2006년07월07일 미국(US)

60/834,974 2006년07월31일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

시딩(seeding) 방사선을 제공하기 위한 시드 레이저, 상기 시딩 방사선을 증폭시키기 위한 적어도 하나의 증폭기, 반사기, 및 펌프를 포함하는 광방사선을 제공하기 위한 장치로서,

상기 시드 레이저는 패브리-페로(Fabry Perot) 반도체 레이저이며,

상기 시드 레이저는 상기 반사기를 통해 상기 증폭기와 연결되며,

상기 반사기는 상기 시드 레이저에 의해 방출되는 상기 시딩 방사선의 일부를 다시 상기 시드 레이저로 반사시키도록 배열되며,

상기 증폭기는 굴절률 n1을 가지는 코어 및 굴절률 n2를 가지는 페데스탈을 포함하는 광섬유를 포함하며, 상기 광섬유는 상기 페데스탈을 둘러싸는 굴절률 n3을 가지는 유리로 구성된 제 1 클래딩을 포함하며,

n1은 n2보다 크고,

n2는 n3보다 크고

상기 페데스탈은 상기 코어로부터 나오는 광방사선을 안내(guide)하고 상기 광방사선이 상기 펌프 내로 라우팅되는 것을 방지하고,

상기 증폭기는 상기 펌프로부터의 펌프 방사선을 상기 제 1 클래딩으로 결합시킴으로써 클래딩 펌프(cladding pumped)되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 반사기는 분산형 반사기인,

광방사선 제공 장치.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 시드 레이저는 유효 광학 전달 시간에 의해 특징화되며, 상기 반사기는 대역폭 및 상기 대역폭에서의 왕복(round-trip) 반사 시간-지연 편차에 의해 특징화되며, 상기 왕복 반사 시간-지연 편차는 상기 유효 광학 전달 시간보다 큰.

광방사선 제공 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 대역폭은 1nm 보다 큰,

광방사선 제공 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 일부는 20% 미만인,

광방사선 제공 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 일부는 1% 내지 10%인,

광방사선 제공 장치.

청구항 7

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 반사기는 상기 시드 레이저로부터 5m 미만의 간격을 두고 위치되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 간격은 2m 미만인,

광방사선 제공 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 간격은 0.5m 내지 1.5m인,

광방사선 제공 장치.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 반사기는 상기 시드 레이저로부터 5mm 내지 50cm의 간격을 두고 위치되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 장치로부터 방출되는 피크 전력은 1kW를 초과하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 12

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 코어는 실리카, 0.1 내지 4몰 퍼센트 범위 농도의 알루미나, 2 내지 20 몰 퍼센트 범위 농도의 인산염을 포함하며, 상기 페데스탈은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 13

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 상기 코어 및 상기 페데스탈 중 적어도 하나에 배치되는 적어도 하나의 희토류 도펀트로 도핑되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 희토류 도펀트는 2000 내지 60000ppm 범위 농도를 가지는 이테르븀인,

광방사선 제공 장치.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 이테르븀의 농도는 15000 내지 50000ppm인,

광방사선 제공 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 이테르븀의 농도는 20000 내지 45000ppm인,

광방사선 제공 장치.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 코어는 상기 코어 내에 12 내지 17 몰 퍼센트 농도의 인산염을 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 코어 내의 인산염의 농도는 15몰 퍼센트인,

광방사선 제공 장치.

청구항 19

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 코어는 0.20 내지 1 몰 퍼센트 농도의 알루미나를 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 알루미나의 농도는 0.3 내지 0.8 몰 퍼센트인,

광방사선 제공 장치.

청구항 21

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 신호 파장에서 다중모드 도파관인,

광방사선 제공 장치.

청구항 22

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 단일 모드 광을 전파시키도록 구성되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 23

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 단일 모드 도파관인,

광방사선 제공 장치.

청구항 24

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 상기 코어에 복굴절을 유도하는 적어도 하나의 스트레스 생성 영역을 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 25

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 0.15 미만의 개구수(numerical aperture)를 가지는 도파관을 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 26

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 광섬유는 0.15 미만의 개구수를 가지는 도파관을 포함하고,

상기 코어는 실리카, 0.3 내지 0.8 몰 퍼센트 농도의 알루미나, 15몰 퍼센트 농도의 인산염, 20000 내지 45000ppm 범위 농도의 이테르븀을 포함하며,

상기 페데스탈은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함하고,

광섬유의 0.1 내지 1m 길이가 976nm의 파장에서 광으로 코어 펌프(core pumped)될 때 상기 광섬유는 1000nm 내지 1100nm의 파장에서 2000시간 동안 5%보다 크지 않은 감쇠(attenuation)의 증가에 의해 특징화되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 도파관은 신호 파장에서 다중모드 도파관이며, 상기 도파관은 단일 모드 광을 전파시키도록 구성되는,

광방사선 제공 장치.

청구항 28

제 26 항에 있어서,

상기 도파관은 단일모드 도파관인,

광방사선 제공 장치.

청구항 29

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 반사기는 광섬유 브래그 격자인,

광방사선 제공 장치.

청구항 30

제 29 항에 있어서,

상기 광섬유 브래그 격자는 처프되는(chirped),

광방사선 제공 장치.

청구항 31

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

왕복 반사 시간-지연 편차는 50ps 내지 1000ps인,

광방사선 제공 장치.

청구항 32

제 31 항에 있어서,

상기 왕복 반사 시간-지연 편차는 100ps 내지 600ps인,

광방사선 제공 장치.

청구항 33

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

유효 광학 전달 시간은 10ps 내지 50ps인,

광방사선 제공 장치.

청구항 34

제 33 항에 있어서,

상기 유효 광학 전달 시간은 25ps 내지 40ps인,

광방사선 제공 장치.

청구항 35

제 1 항 또는 제 11 항에 있어서,

레이저 전달 섬유, 프로세싱 헤드를 포함하며, 상기 장치는 물질을 처리하기 위한 레이저 형태인,

광방사선 제공 장치.

청구항 36

제 35 항에 있어서,

펄스 반복 주파수들의 범위에서 상기 물질을 처리하기에 상기 광방사선이 충분한 평균 전력 및 피크 전력을 갖도록 상기 시드 레이저와 상기 증폭기를 제어하도록 구성된 제어기를 포함하는,

광방사선 제공 장치.

청구항 37

제 35 항에 있어서,

제어기를 포함하고

상기 광방사선은 펄스폭을 가지는 펄스들에 의해 특징화되며, 상기 제어기는 상기 펄스 반복 주파수가 변함에 따라 상기 펄스 폭을 변화시키는,

광방사선 제공 장치.

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 광방사선을 제공하는 장치에 관한 것이다. 상기 장치는 물질을 처리하기 위한 장치를 기초로 형성될 수 있다.

배 경 기 술

[0002] 섬유 펄스형 레이저들(fibre pulsed lasers)은 다수의 산업적 애플리케이션들, 이를 테면 마이크로머시닝(micromachining), 드릴링 및 마킹(marking) 애플리케이션에서 선택 레이저로서 점차 채택되고 있다. 피크-전력 구동 애플리케이션들(peak-power driven applications), 이를테면 마킹 애플리케이션은 빠른 문자 마킹 및 수율 증가를 달성하기 위해 높은 반복률에서 높은 피크 전력들(2.5 내지 5kW 초과)을 유지하는 것이 필수적이다.

[0003] 종래의 단일-스테이지 Q-스위치(Q-switched) 레이저들은 에너지 저장에 있어 매우 효율적이다. 그러나, 이들은 반복률이 증가함에 따라 평균 전력 변화 및 상당한 피크-전력 강하를 특징으로 한다. 대부분의 경우, 피크 전력은 프로세스(예를 들어, 마킹) 임계치 이하로 강하되어 속도 및 수율에 악영향을 미칠 수 있다. 한편, 마스터 발진 전력 증폭기(MOPA)는 보다 나은 펄스 특성에 대한 제어능력 및 펄스형 레이저의 전력 성능을 제공할 수 있고 증가된 마킹 속도를 제공하는 보다 높은 반복률로 마킹 유니트의 동작 공간을 연장시킬 수 있다. 여기서는 200kHz 초과시 반복률들에 대해 5kW 이상의 피크 전력을 유지하는 펄스형 레이저들이 요구된다. 평균 전력은 10W를 초과해야 하며, 펄스형 레이저는 0.1 -0.5mJ 범위 이상이며, 펄스 기간은 10ns 내지 200ns 사이에서 변하는 반면, 피크 전력은 0kHz 내지 >200kHz 범위에서 반복률에 대해 약 5kW 또는 10kW 레벨에서 실질적으로 일정하게 유지되어야 한다. 추가의 요구조건으로는 낮은-모드(low-moded) 또는 단일-모드 섬유 레이저에 의해 제공될 수 있는 것과 같이 양호한 빔 품질이 있다.

[0004] 이러한 강도 및 피크-전력 레벨들에서는 광학적 비-선형성 및 광학적 손상의 개시를 방지하기 위해 펄스형 시스템에서의 특정한 주의가 요구된다. 또한, 산출되는 높은-게인, 높은 반전 동작 조건들하에서, 활성 섬유는 펄스형 시스템의 효율 및 수명을 감소시킬 수 있기 때문에 광흑화 효과(photodarkening effects)를 겪지 않아야 한다.

[0005] 다수의 상이한 펄스형 섬유 레이저 구성들은 단독 형태로 또는 마스터-발진 전력 증폭기(MOPA)의 일부로서 제안되고 이용되었다. 특히, Q-스위치 섬유 레이저들은 비교적 간단하고 안정한 구성에서 높은 피크 전력들 및 수 mJ 펄스 에너지들을 생성할 수 있기 때문에 상당한 장점을 갖는다. 애플리케이션 공간을 증가시키기 위해 다양한 방식으로 산업적 애플리케이션에 이용되는 단독형 Q-스위치 레이저들의 주요 단점중 하나는 전체 해당 파라미터들, 이를 테면 펄스 반복률(PRR), 에너지, 피크 전력 및 펄스 폭이 서로 상관되어 독립적으로 제어할 수 없다는 것이다. 특히, 피크 전력은 펄스 반복 주파수가 증가함에 따라 감소된다.

[0006] 다수의 이러한 성능 문제들은 해결될 수 있으며 요구되는 높은 피크 전력 성능은 다중-증폭-스테이지 MOPA 구성을 사용함으로써 높은 PRR 범위로 연장될 수 있다.

[0007] 이러한 경우, 펄스 속도는 저전력 Q-스위치 레이저 또는 직접 변조된 반도체 레이저를 따를 수 있다. 직접 변조된 반도체 레이저는 직접 제어될 수 있으며, 펄스 형상 및 PRR을 한정하는 보다 나은 자유도를 제공할 뿐만 아니라, 애플리케이션 조건들을 보다 충족시킬 수 있게 이들을 변화시키는 가능성을 제공한다. 이는 부가적으로 전화통신 산업에서 수년에 걸쳐 개발되어 잘발달되고(well-developed) 매우 신뢰성있는 반도체 기술을 기초로한다. 증폭된 펄스 시퀀스들의 상이한 파라미터들은 증폭 체인을 따른 게인 분포를 제어함으로써 정확히 한정된다.

[0008] 섬유 증폭기의 국부적 반전은 증폭기의 출력단을 향해 펄스가 도달하기 이전에 상당히 증가될 수 있다. 반전 분포의 인지는 이러한 성능-경감 작용에 민감한 섬유가 이용될 경우 광흑화 속도를 한정하는데 있어 매우 중요하다. 펄스가 전파됨에 따라, 반전은 감소되고 반전 세기는 증가된다. 또한, 증폭 프로세스는 상당한 펄스 재성형 프론트-엔드(front-end) 형상화를 야기시킨다. 이는 유도 라만 산란(SRS) 및 유도 브릴리언 산란(SBS)과 같은 다양한 비-선형성의 시작을 한정하는 시퀀스로서 펄스 폭 및 피크-전력을 한정하는데 있어 매우 중요하다.

소정의 에너지 레벨 이상에서, 모든 펄스들은 상당히 재성형(첨예화)되며 이들의 펄스 폭이 감소된다. 이는 펄스가 증폭기 포화를 개시하기에 충분한 에너지를 습득한다는 사실로 인한 것이다. 이러한 조건하에서, 에너지는 펄스 재성형 및 왜곡을 산출하는 펄스의 리딩 에지(leading edge)에 의해 주로 추출된다는 것이 공지되어 있다. 피크 전력은 펄스 에너지에 따라 비선형성을 증가시키며 섬유 설계 및 펄스 형상에 따라, 통상적으로 약 5kW 내지 10kW로, 불가피하게 SRS 임계치를 증가시킨다.

[0009] 펄스 섬유 레이저들의 출력 전력을 제한하는 또 다른 중요한 효과는 거대(giant) 펄스들의 형성에 있다. 이들은 시스템의 광학 부품들을 파멸적으로 손상시킬 수 있다. 상기 작용은 레이저의 스펙트럼 특성 및 피크 전력과 상당한 관련이 있으며 유도 브릴리언 산란(SBS)으로부터 야기되는 것으로 여겨진다. 비선형 임계치에 도달되면, 전방으로 진행하는 펄스들이 반사된다. 거대 펄스들이 관찰되며 이들은 펄스 레이저 시스템들에서 증폭기들(및 다른 소자들을)을 파멸적으로 손상시킬 수 있다. 불행히도, 상기 작용은 본성인 것으로 추측되며, 그것만으로는 상당히 예측불가능하다. 선폭이 좁은 시드(seed) 레이저(이를 테면 레이저 다이오드)의 순간적 스펙트럼 특성의 단일 변화는 SBS 이벤트에서 산출될 수 있으며, 거대 펄스 형성 및 차후 파멸적 손상을 유인할 수 있다. 이러한 손상은 상기 시스템들이 산업적 프로세싱 장비에 장착된 몇 달 후 레이저에서 관찰된다.

[0010] 섬유 레이저들은 종종 레이저 다이오드들에 의해 펌핑된다. 이러한 레이저 다이오드들은 레이저로부터 다이오드들로 전파되는 원치않는 광방사선에 의해 손상될 수 있다. 특히, 레이저 다이오드들은 펄스의 에너지보다는 피크 전력에 의해 손상되기 때문에 펄스형 레이저들에서 이러한 작용은 심각하다. 펄스형 에너지들은 연속파 레이저들보다 상당히 높은 피크 전력들을 갖는다. 따라서, 레이저로부터 펌프들을 격리시키는 조건은 연속파 레이저보다 펄스형 레이저에서 더욱 엄격하다.

[0011] Yb3+ 도핑 섬유 레이저들 및 증폭기들의 장기간 반응(long-term behavior)과 관련된 가장 중요한 문제점은 광흑화 효과이다. 상기 효과는 광학 시스템의 출력 전력 및 전체 효율이 감소되는, 시간에 따른 섬유 백그라운드 손실(fibre background loss)의 점진적 증가로서 도시된다. 이는 주로 UV 스펙트럼 영역에서 흡수 대역들을 가지는 선재하는(pre-existing) 섬유 색상 중심들의 광학적 활성화화 관련되는 것으로 여겨진다. 그러나, 흡수 대역들의 말미는 광학적 성능에 악영향을 미치는 근적외선(near-IR)으로 연장된다. 광흑화는 점진적 경감을 야기시키며 갑작스런 격변적 섬유 손상을 야기시키는 것으로는 공지되지 않았다. 광흑화 속도 및 최종 레벨은 활성 섬유의 반전 정도와 관련되는 것으로 나타났으며 결과적으로, 상이하게 증폭된 시스템들은 상이한 경감을 나타낼 것이다.

[0012] 광섬유들의 다수의 애플리케이션들은 광섬유의 투명도(transparency)가 시간에 따라 경감되는 세기를 가지는 광학 신호들의 생성 및 전송을 요구한다. 상기 효과는 유리의 흡수시 광-유도 변화인 광흑화로 공지되었다. 흡수시 증가는 스펙트럼의 UV 및 가시부에서 광을 강하게 흡수하는 색상 중심들의 형성 또는 활성화로 인한 것으로 여겨진다.

[0013] 스펙트럼 도메인에서, 광흑화는 약 800nm의 파장 이하에서 증가하는 급격한(sharp) 손실로서 표시된다. 이러한 강한 흡수 대역의 말미는 1 미크론 내지 1.5 미크론 영역으로 적절히 연장되어 펌프 및 신호 파장들 모두에서의 손실에 악영향을 미친다. 이로 인해 이러한 파장 범위들에서 동작하는 섬유 레이저들 및 증폭기들의 성능 및 전체 효율의 심각한 제한 효과를 갖게 된다.

[0014] 시간 도메인에서, 광흑화는 점근적 값으로 레이저 또는 증폭기 출력의 점진적 유사-지수적 감소로서 표시된다. 최종 전력 강하 및 관련된 시간 스케일은 섬유 레이저 또는 증폭기 작동 조건들, 가장 두드러지는 펌프 및 평균 반전 레벨들 및 동작 온도와 관련되는 것으로 보인다. 출력 전력 강하는 추가 펌프 소스들의 제공 및/또는 구동 펌프 전류의 증가에 의해 보상될 수 있다. 추가 펌프 소스들의 제공(former)은 유니트 비용 증가를 유도하며 구동 펌프 전류의 증가(latter)는 펌프-유니트 노화 및 격변적 손상 가능성 증가의 가속을 유도하기 때문에, 양자 방안들은 상당히 바람직하지 않다. 광섬유 레이저들 및 증폭기들은 종종 다광자(multi-photon) 프로세스들을 통해 광흑화를 유도할 수 있는 희토류 도펀트들을 포함한다. 이는 적어도 Tm^{3+}, Yb^{3+}, Ce^{3+}, Pr^{3+}, 및 Eu^{3+} 도핑 실리카 유리들에서 볼 수 있다.

[0015] 광흑화는 광섬유들이 산업 물질 프로세싱에 이용될 때 문제시된다. 광흑화는 (이배 주파수, 삼배 주파수 로드 레이저들, 디스크 레이저들 및 섬유 레이저들과 같은) 레이저들로부터 작업 제품으로 레이저 방사선을 전달하기 위해 이용되는 섬유들에서의 전송을 경감시킨다. 또한, 광학 증폭기에 의해 증폭되는 또는 섬유 레이저에서 발생될 수 있는 광학 전력의 양을 심각하게 제한할 수 있다.

[0016] 유리에서 광흑화를 감소시키는 종래의 방법들은 높은 수산기(OH) 함량을 갖는 실리카, 소위, "습식 실리카(wet

silica)"를 이용한다. 여기에는 튜테륨이 첨가되고 UV 광으로 조사될 수 있다. 이는 섬유 레이저에는 적합하지 않으며, OH는 광섬유의 백그라운드 손실을 증가시키기 때문이다.

[0017] 광범위한 반복 주파수들에 대한 피크 전력을 유지하고 비선형성 효과를 제어하는 펄스형 레이저가 요구된다.

[0018] 펌프 손상을 견디는 섬유 레이저들이 요구된다.

[0019] 거대 펄스 형성으로부터 격변적 손상을 견디는 섬유 레이저들이 요구된다.

[0020] 광흑화를 견디는 광섬유가 요구된다. 광흑화를 견디는 섬유 레이저 및 증폭기가 요구된다. 광흑화는 일시적으로 또는 영구적으로, 임의의 광-유도가 투과성 유리에서(in transmission of glass) 감소된다는 것을 의미한다.

발명의 상세한 설명

[0021] 본 발명의 비제한적 실시예에 따라 광방사선을 제공하는 장치가 제공되며, 상기 장치는 시딩 방사선(seeding radiation)을 제공하는 시드 레이저, 시딩 방사선을 증폭시키기 위한 적어도 하나의 증폭기 및 반사기를 포함하며, 시드 레이저는 패브리-페로(Fabry Perot) 반도체 레이저이며, 시드 레이저는 반사기를 통해 증폭기와 결합되며, 반사기는 시드 레이저에 의해 방출된 시딩 방사선의 일부를 다시 시드 레이저로 반사시키도록 배열되며, 증폭기는 굴절률 n1을 가지는 코어 및 굴절률 n2를 가지는 페데스탈을 포함하는 광섬유를 포함하며, 광섬유는 페데스탈을 둘러싸며 굴절률 n3를 가지는 유리로 구성된 제 1 클래딩(cladding)을 포함하며 n1은 n2 보다 크며, n2는 n3 보다 크다.

[0022] 놀랍게도 이러한 반사기의 사용은 유도 브릴리언 산란의 결과로서 야기되는 것으로 여겨지는 거대 펄스의 발생을 효과적으로 소거하는 것으로 밝혀졌다.

[0023] 페데스탈은 제 1 클래딩에 대한 신호 전력의 교차-결합을 감소시키기 때문에 페데스탈의 통합이 바람직하다. 이는 클래딩 펌프 섬유 레이저들 및 증폭기에서 펌프 다이오드 손상을 극적으로 감소시키는 것으로 밝혀졌다.

[0024] 본 발명의 장점은 광섬유가 높은 세기에서 광학 방사선을 전송할 수 있다는 것이다. 코어가 낮은 개구수(numerical aperture)를 갖는다면, 섬유는 높은 세기와 조합되어, 섬유 레이저들 및 증폭기들의 출력 전력 및/또는 제품 수명의 증가를 허용하는, 소위 대형 모드 영역 섬유로 구성될 수 있다. 섬유 레이저들의 설계에서의 또 다른 장점은 소수의 펌프 다이오드들이 요구된다는 것이며, 이는 광섬유는 제품 수명에 따라 전송 품질을 유지하기 때문이다.

[0025] 반사기는 분산형(dispersive) 반사기일 수 있다.

[0026] 시드 레이저는 유효 광학 전달 시간에 의해 특징화될 수 있다. 반사기는 대역폭 및 대역폭에 따른 왕복(round-trip) 반사 시간-지연 편차에 의해 특징화될 수 있다. 왕복 반사 시간-지연 편차는 유효 광학 전달 시간보다클 수 있다.

[0027] 시드 레이저에 의해 방출되며 다시 시드 레이저로 반사되는 시딩 방사선의 비율은 20% 미만이다. 상기 비율은 1% 내지 10% 사이일 수 있다.

[0028] 반사기는 시드 레이저로부터 5m 미만의 간격에 위치될 수 있다. 상기 간격은 2m 미만일 수 있다. 상기 간격은 0.5m 내지 1.5m 사이일 수 있다.

[0029] 반사기는 시드 레이저로부터 5mm 내지 50cm 사이의 간격에 위치될 수 있다.

[0030] 장치로부터 방출되는 피크 전력은 1kW를 초과할 수 있다.

[0031] 코어는 실리카, 0.1 내지 4몰 퍼센트 범위 농도의 알루미나, 2 내지 20몰 퍼센트 범위 농도의 인산염을 포함할 수 있고, 페데스탈은 실리카, 인산염 및 게르마니아(germania)를 포함할 수 있다.

[0032] 광섬유는 코어 및 페데스탈중 적어도 하나에 위치된 적어도 하나의 희토류 도펀트로 도핑될 수 있다. 희토류 도펀트는 2000 내지 60000ppm 범위의 농도를 가지는 이테르븀일 수 있다. 이테르븀의 농도는 약 15000 내지 50000ppm 사이일 수 있다. 이테르븀의 농도는 약 20000 내지 45000ppm 사이일 수 있다.

[0033] 코어는 약 12 내지 17 몰 퍼센트 농도의 인산염을 포함할 수 있다. 코어에서 인산염의 농도는 약 15몰 퍼센트일 수 있다.

[0034] 코어는 약 0.20 내지 1 몰 퍼센트 사이 농도의 알루미나를 포함할 수 있다. 알루미나의 농도는 약 0.3 내지

0.8 몰 퍼센트 사이일 수 있다.

[0035] 광섬유는 단일 파장에서 다중모드 도파관일 수 있다. 광섬유는 실제(substantial) 길이에 따라 상당한 왜곡 없이 단일 모드 광을 전파시키도록 구성될 수 있다.

[0036] 광섬유는 단일 모드 도파관일 수 있다. 광섬유는 코어에 복굴절을 유도하는 적어도 하나의 스트레스 생성 영역을 포함할 수 있다.

[0037] 광섬유는 0.15 미만의 개구수를 가지는 도파관을 포함할 수 있다.

[0038] 광섬유는 0.15 미만의 개구수를 가지는 도파관을 포함하는 광흑화 저항성 광섬유일 수 있다. 코어는 실리카, 약 0.3 내지 0.8 사이 몰 퍼센트 농도의 알루미나, 실질적으로 15몰 퍼센트 농도의 인산염, 및 실질적으로 20000 내지 45000 ppm 범위 농도의 이테르븀을 포함할 수 있다. 페데스탈은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함할 수 있다.

[0039] 도파관은 단일 파장에서 다중모드 도파관일 수 있으며, 도파관은 실제 길이에 따라 상당한 왜곡없이 단일 모드 광을 전파하도록 구성된다. 도파관은 단일모드 도파관일 수 있다

[0040] 반사기는 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating: FBG)일 수 있다. 광섬유 브래그 격자는 처프(chirped)될 수 있다.

[0041] 대역폭은 1nm 이상일 수 있다.

[0042] 왕복 반사 시간-지연 편차는 약 50ps 내지 1000ps 사이일 수 있다. 왕복 반사 시간-지연 편차는 100ps 내지 600ps 사이일 수 있다.

[0043] 유효 광학 전달 시간은 10ps 내지 50ps 사이일 수 있다. 유효 광학 전달 시간은 25ps 내지 40ps 사이일 수 있다.

[0044] 장치는 레이저 전달 섬유 및 프로세싱 헤드를 포함할 수 있으며, 상기 장치는 물질을 처리하기 위한 레이저 형태일 수 있다.

[0045] 장치는 광방사선이 펄스 반복 주파수들의 범위에 대해 물질을 처리하기에 충분한 평균 전력 및 피크 전력을 갖도록, 시드 레이저 및 증폭기를 제어하도록 구성된 제어기를 포함할 수 있다.

[0046] 장치는 제어기를 포함할 수 있으며, 광방사선은 펄스 폭을 갖는 펄스들에 의해 특징화되며, 제어기는 펄스 반복 주파수가 변함에 따라 펄스 폭을 변화시킨다.

[0047] 본 발명은 시드 레이저, 적어도 하나의 증폭기 및 반사기를 포함하는 광방사선 제공 장치를 포함할 수 있으며, 시드 레이저는 반사기를 통해 증폭기와 결합되며; 증폭기는 페데스탈을 갖는 광섬유를 포함하며; 시드 레이저는 유효 광학 전달 시간에 의해 특징화되는 레이저 다이오드를 포함하며; 반사기는 시드 레이전에 의해 방출되는 시딩 방사선의 일부를 다시 시드 레이저로 반사시키도록 배열되며; 반사기는 대역폭 및 대역폭에 대한 왕복 반사 시간 지연 편차에 의해 특징화되며; 왕복 반사 시간 지연 편차는 유효 광학 전달 시간보다 크다.

[0048] 본 발명은 마킹 방법을 포함할 수 있으며, 상기 방법은 마킹 레이저에 반사기를 제공하는 단계, 시드 레이저, 적어도 하나의 증폭기, 및 반사기를 포함하는 광방사선을 제공하는 단계를 포함하며, 시드 레이저는 반사기를 통해 증폭기와 결합되며, 증폭기는 클래딩(cladding) 펌프되는 광섬유를 포함하며, 시드 레이저는 유효 광학 전달 시간에 의해 특징화되는 레이저 다이오드를 포함하며, 반사기는 시드 레이저에 의해 방출되는 방사선의 일부를 다시 시드 레이저로 반사시키도록 배열되며, 반사기는 대역폭 및 대역폭에 대한 왕복 시간 지연 편차에 의해 특징화되며 왕복 시간 지연 편차는 유효 광학 전달 시간 보다 크다.

[0049] 페데스탈에서 인산염과 게르마니아의 농도는 원하는 개구수를 달성하도록 선택된다. 게르마니아의 통합은 페데스탈의 가상 온도(fictive temperature)를 증가시켜 광섬유 제조 프로세스 동안 순환성(circularity) 및 코어 대 페데스탈 동심도(concentricity) 및 코어 대 제 1 클래딩 동심도 모두의 유지를 보조한다는 장점이 있다. 코어 동심도는 저손실 융착 접속(fusion splice) 생산에 있어 중요하다.

[0050] 바람직하게 코어에 거의 제로의 툴륨(툴륨) 도펀트가 존재한다. 바람직하게 다른 소량의 희토류(trace rare-earth) 도펀트들은 제거되어야 한다. 제거되는 툴륨 도펀트의 중요성은 툴륨 도펀트 함유 섬유들이 특히 광흑화될 수 있다고 발견됨에 따라 섬유 레이저 및 증폭기의 설계에 있어 중요하다. 따라서, 소량의 툴륨을 갖는 희토류 도펀트를 사용하는 것이 중요하다. 툴륨 농도는 약 10ppm 미만이며, 바람직하게는 1ppm미만이다.

[0051] 광섬유는 코어에 복굴절을 유도하는 적어도 하나의 스트레스 생성 영역을 포함할 수 있다.

[0052] 광흑화 저항성 광섬유는 0.15 미만의 개구수를 갖는 도파관을 포함할 수 있으며, 도파관은 굴절률 n1을 갖는 코어 및 굴절률 n2를 갖는 페데스탈을 포함하며, 섬유는 페데스탈을 둘러싸며 굴절률 n3을 갖는 제 1 클래딩을 포함하며, n1은 n2 보다 크며, n2는 n3보다 크다. 코어는 실리카, 약 0.3 내지 0.8 사이 몰 퍼센트 농도의 알루미나, 실질적으로 15몰 퍼센트 농도의 인산염, 실질적으로 20000 내지 45000 ppm 범위 농도의 이테르븀을 포함한다. 페데스탈은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함할 수 있다. 바람직하게 코어는 실질적으로 제로 툴륨 도펀트를 포함한다.

[0053] 광섬유는 적어도 하나의 펌프 에너지 소스를 포함하는 클래딩 펌프 증폭 광학 장치 형태로 장치에서 사용될 수 있다. 이는 낮은 개구수 코어로부터의 신호 광 산란 또는 누설은 페데스탈에 의해 우선적으로 포획되고 안내되어, 펌프들로 다시 라우팅되지 않기 때문에 바람직하다. 따라서 장치는 클래딩 펌프 레이저들의 주요 결함 메커니즘들중 하나, 즉 원치않는 신호 광에 의해 야기되는 펌프 다이오드들의 격변적 결함을 제거한다.

[0054] 광섬유는 증폭기, 레이저, 마스터-발진 전력 증폭기, Q-스위치 레이저 또는 적어도 하나의 펌프 에너지 소스를 포함하는 초고속 레이저(ultra-fast laser) 형태로 장치에 이용될 수 있다.

[0055] 본 발명은 적어도 하나의 펌프 에너지 소스, 광섬유, 레이저 전달 섬유, 및 프로세싱 헤드를 포함하는, 물질을 처리하기 위한 레이저 형태의 장치 형태일 수 있다.

[0056] 본 발명은 마킹 레이저내에 반사기를 제공하는 단계를 포함하는 마킹 방법일 수 있다.

[0057] 본 발명은 청구항들중 임의의 하나에 따른 장치를 이용하여 처리되는 물질일 수 있다. 물질은 반도체 패키지(플라스틱 또는 세라믹), 모바일 폰 상의 키패드, iPOD, 컴퓨터, 콤포넌트, 패키지 또는 상업적 또는 산업적 제품일 수 있다.

[0058] 본 발명의 또 다른 면은 시드 레이저 및 반사기를 표면 방출 발광 다이오드(SLED)로 대체하는 것이다. SLED는 SBS의 개시를 극적으로 감소시키는데 이용되도록 증폭될 수 있다. 바람직하게 장치는 앞서 개시된 광섬유를 포함한다.

실 시 예

[0091] 도 38을 참조로, 광방사선(381)을 제공하는 장치(380)가 제공되며, 상기 장치는 시딩 방사선(387)을 제공하는 시드 레이저(382), 시딩 방사선(387)을 증폭시키는 적어도 하나의 증폭기(383) 및 반사기(384)를 포함하며, 시드 레이저(382)는 패브리-페로 반도체 레이저이며, 시드 레이저(382)는 반사기(384)를 통해 증폭기(383)에 접속되며, 증폭기(383)는 유리로 만들어진 페데스탈(4)(도 1 참조)을 포함하는 광섬유(1)를 포함한다. 반사기(384)는 시드 레이저(382)에 의해 방출된 시딩 방사선(387)이 다시 시드 레이저(382)로 반사되도록 배열된다.

[0092] 페데스탈(4)은 광섬유(1)로부터 누설되는 광방사선(381)에 의해 손상되는 장치(380)를 보호한다.

[0093] 반사기(384)는 손상으로부터 장치(380)를 보호한다. 반사기(384)는 단일 종방향 모드에서(또는 소수 종방향 모드들에서) 시딩 방사선(387)으로부터 방출되는 시드 레이저(382)를 보호하여, 유도 브릴리언 산란의 개시를 억제하는 것으로 여겨진다.

[0094] 바람직하게, 반사기(384)는 분산형 반사기이다. 바람직하게, 시드 레이저(382)는 유효 광학 시간 전달(386)에 의해 특징화되며, 반사기(384)는 대역폭(3810) 및 대역폭(3810)에 대한 왕복 반사 시간-지연 편차(389)에 의해 특징화되며, 왕복 반사 시간-지연 편차(389)는 유효 광학 전달 시간(386)보다 크다.

[0095] 부분(388)은 20%미만일 수 있다. 바람직하게 부분은 1% 내지 10%이다.

[0096] 반사기(384)는 시드 레이저(382)로부터 간격(3811)을 두고 위치된다. 1m 간격은 광섬유에서 약 10ns의 왕복 지연에 해당한다. 광섬유에서 유도 브릴리언 산란을 위한 형성 시간은 물질 조성과 관련하여 대략 20ns 내지 40ns이다. 피드백이 시드 레이저(382)로부터의 방출에 영향을 미치는 시간을 가질 수 있도록 반사기(384)가 위치되는 것이 중요하다. 간격(3811)은 5m미만이다. 이상적으로 간격(3811)은 2m 미만이다. 간격은 바람직하게 0.5m 내지 1.5m 사이이다. 선택적으로, 반사기(384)는 시드 레이저(382)로 패키징될 수 있으며, 간격(3811)은 5mm 내지 50cm 사이이다.

[0097] 본 발명은 스위치 온(switch on)의 제 20ns 내에서 1kW 이상의 피크 전력들을 가질 수 있는 펄스형 섬유 레이저들로서 구성된 장치(380)에 대한 최대 활용도를 갖는다. 상기 간격(3811)은 장치(380)가 1kW 이상의 전력을 방

출하는 동안 반사기(384)로부터의 피드백이 이루어질 수 있도록 선택될 수 있다.

[0098] 유효 광학 전달 시간(386)은 시드 레이저(382)를 지나 전방향으로 광이 전파되는데 걸리는 시간을 의미한다.

[0099] 도 1은 도파관을 포함하는 광섬유(1)를 나타낸다. 도파관(2)은 굴절률 n1을 가지는 코어(3) 및 굴절률 n2를 가지는 페데스탈(4), 및 유리로 구성되며 굴절률 n3을 갖는 제 1 클래딩(5)을 포함한다. 바람직하게, n1 > n2 > n3이다. 광섬유(1)는 바람직하게 n3 미만의 굴절률을 갖는 코팅으로 코팅된다. 광섬유(1)는 적어도 제 1 클래딩(5)으로 펌프 방사선을 결합시킴으로써 클래딩 펌프될 수 있다. 바람직하게 코팅은 폴리머이다. 클래딩 펌프 섬유 레이저들은 도 1에 도시된 것처럼 페데스탈 섬유들이 증폭기들 내에서 사용될 대 펌프 다이오드를 손상시키는 광방사선에 대한 저항성이 덜하다고 밝혀졌다. 바람직하게 광섬유(1)는 사이드 펌핑된다(side pumped).

[0100] 바람직하게, 광섬유(1)는 광흑화 저항성 광섬유이다. "저항성(resistant)"은 동작 동안 광섬유(1)의 감쇠(attenuation) 증가가 10% 이하인 것을 의미한다. 바람직하게 감쇠 증가는 2000 시간 동안 5% 이하이다. 바람직하게, 감쇠 증가는 2000 시간 동안 1%이하이다. 광흑화에 대한 측정 데이터는 하기에 개시된다.

[0101] 바람직하게 광섬유(1)는 0.15 미만의 개구수를 갖는다.

[0102] 하기에서, 실리카, 인산염, 알루미나, 및 게르마니아와 같은 물질들이 종종 참조된다. 실리카(silica)는 순수한 실리카, 도핑된 실리카, 및 고농도로 도핑된(heavily doped) 실리카 유리를 의미하며, 유리들은 때로 실리케이트 또는 규산(silicic) 유리로 간주된다. 인산염(phosphate)은 오산화인(P_2O_5)과 같은 인 산화물들을 의미한다. 알루미나(alumina)는(유럽에선 알루미늄으로 불림) Al_2O_3와 같은 알루미늄 산화물들을 의미한다. 게르마니아(germania)는 게르마니아 산화물들, 특히 GeO_2를 의미한다. 이테르븀(이테르븀)은 산화물과 같은 유리에 통합된 이테르븀을 의미하며 이테르븀의 이온들, 특히 Yb^{3+}의 농도는 ppm 단위 농도이다. 유사하게, 다른 희토류 금속들(이를 테면 툴륨, 에르븀 등)은 산화물과 같은 유리에 통합되는 희토류 금속을 의미하며, 희토류 금속의 이온들의 농도는 ppm 단위 농도이다.

[0103] 도 2는 광섬유(1)의 굴절률 프로파일(20)을 나타낸다. 코어(3), 페데스탈(4) 및 제 1 클래딩(5)의 굴절률들은 각각 n1, n2 및 n3 이다. n1은 n2 보다 크고 n2는 n3 보다 큰 것이 바람직하다.

[0104] 바람직한 실시예는 코어(3)를 포함하며, 코어(3)는 약 0.3 내지 0.8 몰 퍼센트 사이 농도의 알루미나, 및 실질적으로 15 몰 퍼센트 농도의 인산염을 갖는 실리카 유리를 포함한다. 실질적으로 제로 툴륨 도펀트가 바람직하다. 바람직하게 페데스탈(4)은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함한다. 제 1 클래딩(5)은 순수한 실리카, 불소 도핑 실리카, 또는 광섬유들의 제조시 이용되는 다른 클래딩 물질들(폴리머 포함)일 수 있다. 제 1 클래딩(5)이 유리인 경우, 광섬유(1)는 바람직하게 폴리머로 코팅되며 폴리머는 증폭기들 및 레이저들에서 펌프 광을 유도하기 위해 제 1 클래딩(5)의 굴절률 보다 낮은 굴절률을 가질 수 있다.

[0105] 섬유 레이저들 및 증폭기들에서 게인 매체들(gain medium)로서의 적용을 위해, 적어도 하나의 코어(3) 및 페데스탈(4)은 희토류 도펀트로 도핑된다. 희토류 도펀트는 이테르븀일 수 있으며, 바람직하게 이테르븀의 농도 범위는 실질적으로 20000 내지 45000 ppm이다.

[0106] 광흑화 저항성 섬유 사용에 따른 장점은 광섬유(1)가 높은 펌핑 및 반전 조건들뿐만 아니라 높은 세기들 하에서 광방사선을 전송할 수 있다는 것이다. 낮은 개구수는 광섬유(1)가 소위 대형 모드 영역 섬유로 구성되어, 높은 펌핑 및 반전 조건과 결합되어, 섬유 레이저들 및 증폭기들의 출력 전력 및/또는 제품 수명을 증가시킬 수 있다는 것을 의미한다. 대형 모드 영역 섬유들(large mode area fibres)의 설계는 미국 특허 No. 6614975호에 개시되어 있다. 섬유 레이저들 및 증폭기들의 설계에 대한 추가 장점은 광섬유는 제품 수명 동안 전송 품질을 유지할 수 있기 때문에 소수의(fewer) 펌프 다이오드들이 요구된다는 것이다.

[0107] 상기 도면들은 바람직한 실시예들을 나타내지만, 코어(3)는 0.1 내지 4몰 퍼센트 범위 농도의 알루미나 및 2 내지 20몰 퍼센트 범위 농도의 인산염과 함께 실리카를 포함할 수 있다. 게르마노-인(germano-phosphorus) 도핑 페데스탈과 조합된 알루미나 도핑 코어는 낮은 개구수 섬유들이 종래 기술에 비해 개선된 재현성으로 제조될 수 있게 한다. 0.06 내지 0.1, 또는 바람직하게 약 0.08과 같이 낮은 개구수는 쉽게 달성될 수 있다.

[0108] 페데스탈(4)은 실리카, 인산염 및 게르마니아를 포함할 수 있다. 인산염 및 게르마니아의 농도는 원하는 개구수가 달성되도록 선택된다. 게르마니아의 통합은 페데스탈의 가상 온도(fictive temperature)를 증가시켜 광섬유 제조 프로세스 동안 순환성(circularity) 및 코어(3) 대 페데스탈(4) 동심도(concentricity) 및 코어(3) 대 제 1 클래딩(5) 동심도 모두의 유지를 보조한다는 장점이 있다. 코어 동심도는 저손실 융착 접속(fusion

splice) 생산에 있어 중요하다.

[0109] 바람직하게 코어(3)에는 실질적으로 제로 툴륨 도펀트가 제공된다. 툴륨 도펀트 소거는 툴륨 도펀트를 포함하는 섬유들이 특히 광흑화될 수 있다고 밝혀짐에 따라 섬유 레이저들 및 증폭기들의 설계에 있어 상당히 중요하다. 따라서, 소량의 툴륨을 갖는 희토류 도펀트를 이용하는 것이 중요하다. 툴륨 농도는 약 10ppm 미만, 바람직하게 1ppm 미만이다.

[0110] 광섬유(1)는 적어도 하나의 코어(3) 및 페데스탈(4)에 배치된 적어도 하나의 희토류 도펀트로 도핑될 수 있다. 희토류 도펀트는 2000 내지 60000ppm 범위의 농도를 갖는 이테르븀일 수 있다. 이테르븀의 농도는 약 15000 내지 50000ppm 사이일 수 있다. 이테르븀의 농도는 바람직하게 약 20000 내지 45000ppm 사이일 수 있다.

[0111] 코어(3)에서 인산염 농도는 약 12 내지 17 몰 퍼센트 사이일 수 있다. 코어(3)에서 인산염 농도는 바람직하게 약 15 몰 퍼센트일 수 있다.

[0112] 알루미나의 농도는 약 0.20 내지 1 몰 퍼센트 사이일 수 있다. 알루미나의 농도는 바람직하게 약 0.3 내지 0.8 몰 퍼센트 사이일 수 있다. 광섬유(1)는 화학적 기상 증착 및 용액 도핑을 이용하여 제조될 수 있다. 기술들은 미국 특허 출원 번호 4787927, 4815079, 4826288, 5047076, 및 5151117호에 개시되어 있다.

[0113] 도파관(2)은 단일 파장에서 다중모드 도파관일 수 있다. 도파관(2)은 실제 길이에 따라 모드 결합 및/또는 상당한 왜곤 없이 단일 모드 광을 전파시킬 수 있도록 구성될 수 있다. 이러한 설계는 특히 분광학, 산업적 물질들 처리, 레이저 수술 및 우주산업 분야에 있어, 고전력 섬유 레이저들 및 증폭기들의 설계에 있어 중요하다. 단일 모드 광을 전파시키기 위한 코어 설계, 기술들의 예들 및 원치않는 보다 높은 차수의 모드들을 (적어도 부분적으로) 제거하기 위한 구부림 손실들의 사용(bend losses)은 미국 특허 출원들 5818630, 6496301, 6614975, 및 6954575호에 개시된다.

[0114] 도파관(2)은 단일 모드 도파관일 수 있다.

[0115] 도 3은 코어(3)에 복굴절을 유도하는 스트레스 생성 영역(31)을 포함하는 광섬유(30)를 나타낸다. 코어(3)는 원형 또는 타원형일 수 있다. 선택적으로, 또는 부가적으로 복굴절은 페데스탈(4) 및 코어(3) 중 적어도 하나를 타원형으로 만듬으로써 유도될 수 있다. 도 14는 복굴절을 유도하기 위해 타원형 페데스탈(4)을 갖는 광섬유(140)를 나타낸다. 또한, 광섬유(140)는 페데스탈(4) 보다 높은 점도를 갖도록 설계된 내부 클래딩(141)을 포함한다. 이는 예를 들어, 굴절률이 억제되도록 페세스탈(4)에 붕소 도펀트를 포함시킴으로써 달성될 수 있다. 이러한 복굴절 섬유들을 제조하는 기술들은 미국 특허 no. 4274854호 및 4426129호에 개시되어 있다. 페데스탈이 타원형 재킷(jacket)으로 재성형될 수 있도록 페데스탈에서 게르마니아 도펀트 농도를 감소시키거나 제거시키는데 있어 이러한 섬유들이 바람직하다는 것을 주목해야 한다. 선택적으로 또는 부가적으로, 붕소 산화물들로 도핑된 추가의 클래딩(미도시)은 상기 특허 번호들에 의해 지시된 것처럼 타원형 재킷을 형성하기 위해 섬유(1)에 포함될 수 있다. 광섬유들(30, 140)은 미국 특허 no 6496301호 및 공동-계류중이며 공동소유인 미국 특허 출원 10/528895에 개시된 것처럼 단일 모드 또는 다중 모드일 수 있는 단일 편광 광섬유일 수 있다.

[0116] 도 4는 펌프(44) 및 광섬유(41)를 포함하는 클래딩 펌프 증폭 광학 장치(40) 형태의 장치를 나타낸다. 광섬유(41)는 광섬유(1), 광섬유(30) 또는 광섬유(140)일 수 있다. 클래딩 펌프 광학 장치(40)는 공통 코팅(46)내에 광섬유(41)와 펌프 섬유들(43)을 포함하는 복합 섬유(42)를 이용한다. 복합 섬유(42)는 미국 특허 no. 6826335호에 개시된다. 이를 테면 미국 특허 출원 no. 4815079호, 5854865호, 5864644호, 및 6731837호에 개시된 다른 클래딩 펌프 섬유들 및 장치들도 가능하다. 낮은 개구수 코어(3)로부터 산란되는 또는 누설되는 신호 광은 우선적으로 포획되고 페데스탈(4)에 의해 유도되어, 펌프들(44)로 다시 라우팅되지 않기 때문에 본 발명은 특히 바람직하다. 따라서, 본 발명의 장치는 클래딩 펌프 레이저들의 주요 결함 메커니즘들중 하나, 즉 원치않는 신호 광에 의해 야기되는 펌프 다이오드들의 격변적 손상이 제거한다. 클래딩 펌프 광학 장치(40)는 증폭기, 레이저, 마스터-발진 전력 증폭기, Q-스위치 레이저 또는 적어도 하나의 펌프 에너지 소스를 포함하는 초고속(ultra-fast) 레이저일 수 있다. 초고속 레이저는 예를 들어, 모드 고정(locked) 레이저 및/또는 마스터-발진 전력 증폭기 형태의 레이저를 포함하는 레이저로, 1ns초 미만, 보다 바람직하게는 10ps 미만의 펄스 폭을 갖는 펄스들을 방출하는 레이저를 의미한다. 초고속 레이저들의 설계 및 적용은 미국 특허 no 6885683호, 6275512호, 5627848호, 및 5696782호에 개시되어 있다.

[0117] 도 5는 물질을 처리하기 위한 레이저(50) 형태의 장치를 나타낸다. 레이저(50)는 증폭 광학 장치(40), 레이저 전달 섬유(51), 및 프로세싱 헤드(52)를 포함한다. 프로세싱 헤드(52)는 스캐너, 검류계(galvanometer) 또는 포커싱 렌즈일 수 있다. 레이저(50)는 특히 마킹(marking), 미세용접(microwelding), 프린팅(printing), 미세기

계가공(micromachining) 및 금속들, 플라스틱들 및 다른 물질들의 절단(cutting)에 유용하다.

[0118] 도 6은 각각 이테르븀, 알루미나, 게르마니아, 및 붕소 산화물들로 도핑된 코어(3)를 포함하는 4개의 연속파 섬유 레이저들의 광흑화 작용을 나타낸다. 도면은 4개의 상이한 섬유 레이저들에 대해 시간(66)에 따른 출력 전력(61)의 측정치를 나타낸다. 이들 섬유 레이저들 각각의 코어(3)는 표준의 상업적으로 이용가능한 이테르븀 도펀트 소스로 도핑된다. 라인(62)은 높은 툴륨 농도를 갖는 표준의 상업적으로 이용가능한 이테르븀 도펀트로 도핑된 섬유 레이저로부터의 측정치를 나타낸다. 출력 전력(61)에서의 급격한 감소가 관찰된다. 라인(63)은 60W의 연속파 출력 전력을 출력하는 섬유 레이저로부터 30℃에서 측정된 측정치를 나타낸다. 섬유 코어(1)는 표준의 상업적으로 이용가능한 이테르븀으로 도핑된다. 다시 출력 전력(61)에서의 급격한 감소가 관찰된다. 라인(64)는 110W의 연속파 출력 전력을 출력하는 섬유 레이저로부터 70℃에서 측정된 측정치를 나타낸다. 마지막으로, 라인(65)은 60W의 연속파 출력 전력을 출력하는 섬유 레이저로부터 30C에서 측정된 측정치를 나타낸다. 이테르븀 도펀트는 고순도로, $1/10^6$ 미만(less than 1 part in 10^6)의 특정 불순물 레벨을 갖는다. 이테르븀 도펀트는 고순도로 $1/10^6$(1ppm)의 특정 불순물 레벨을 갖는다. 라인들(63 및 65)을 비교해 보면, 고순도 이테르븀의 사용은 동일한 레벨의 출력 전력 및 온도에서 측정될 때 광흑화 작용이 감소된다. 라인들(64, 65)을 비교해 보면, 30℃에서 70℃로의 온도 증가는 광흑화 증가를 야기시킨다. 매우 낮은 레벨들의 툴륨 및 다른 불순물들과 함께 Yb-도펀트를 이용함으로써 달성되는 광흑화에 대한 저항성이 상당히 개선된다. 나머지 광흑화 효과는 다른 굴절률-제어 코어 공동-도펀트들(co-dopants), 즉, 알루미나, 게르마니아 및 붕소 산화물들로 인한 것으로 여겨진다.

[0119] 키타베야시 등(Kitabayashi et al.)은, 광섬유 통신 2006 컨퍼런스에 공개된 "고농도로 도핑된 알루미늄에 의한 Yb-도핑 섬유들의 광흑화 및 이들의 억제와 관련된 전파 반전 팩터"란 명칭의 논문에서, Yd 도핑 섬유들에서의 광흑화는 알루미늄 도핑을 통합시킴으로써 감소될 수 있으나, 전체적으로 소거되지 않는다는 것을 개시했다. 상기 문헌은 본 명세서에서 참조된다.

[0120] 놀랍게도, 본 발명자들은 광섬유(1)의 코어(3)로부터 게르마니아를 제거하고 인산염 도펀트를 포함시킴으로써 추가적인 개선이 달성될 수 있다는 것을 발견했다. 도 7은 알루미나로 도핑되는 코어(3)에 인산염 도펀트를 포함시킴으로써 얻어지는 개선을 나타낸다. 코어(3)는 게르마니아 및 붕소 도핑을 포함하지 않는다. 코어(3)는 툴륨 및 다른 희토류로 인한 오염을 최소로 유지하기 위해 고순도 이테르븀 산화물들(전체 불순물 함량은 1ppm 이상으로 특정됨)로 도핑된다. 곡선(67)은 알루미나 도펀트의 결과를 나타내며, 곡선(68)은 알루미나 및 인산염 도펀트 결과를 나타낸다. 키타베야시 등(Kitabayashi et al.)에 따르면 알루미나 자체에 대한 결과는 광흑화 효과들을 억제시키는 것을 나타낸다. 그러나, 본 발명자들은 알루미나 이외에 인산염 공동-도펀트 첨가는 이테르븀-도핑 섬유들에서의 광흑화 효과들을 극적으로 감소시키고 극적 개선을 산출한다는 것을 발견했다. 중요하게, 코어에서 알루미나 도펀트 사용은 인산염 단독 도핑 보다 높은 재현성으로 낮은 개구수의 도파관 생성을 가능케한다.

[0121] 광섬유들의 광흑화는 노화-가속 테스트로 처리되는 광섬유의 흡수도(해당 약 1 미크론 영역) 증가를 모니터링함으로써 특징화된다. 노화는 최대 가능한 반전을 달성하기 위해 이테르븀 도핑 코어를 펌핑함으로써 가속된다.

[0122] 도 8 내지 도 10을 참조로 도시된 측정치들은 976nm에서 약 40mW의 펌프 광을 갖는 약 0.1 내지 1m 길이의 섬유들을 코어-펌핑하고, 텅스텐 필라멘트로부터의 백색광을 코어와 결합시킴으로써 얻어진다. 다음 스펙트럼 흡수도가 컷-백(cut-back) 측정에 의해 측정된다. 측정 방법은 본 발명에서 참조되는 SPIE 볼륨 5990에서 엘.엘. 코포넨에 의해 "이테르븀-도핑 실리카 섬유들의 광흑화"란 논문에 공개된 방법을 따른다. 손실(81) 대 파장(83)의 측정은 노화가 가속되기 이전 및 이후에 이루어진다. 도 8은 섬유 레이저에서 노화가 가속되기 이전(84) 및 노화가 가속된 이후(85) 손실(81)의 측정치를 나타내며 섬유 레이저의 코어는 고순도 Yb, 게르마니아 및 붕소로 도핑된다. 도 9는 상업적으로 이용가능한 광흑화 저항성 Yb-도핑 섬유를 이용한 동일한 측정치를 나타낸다. 도 10은 도 1에 도시된 섬유(1)를 포함하는 섬유 레이저에 대한 동일한 측정치를 나타낸다. 850 내지 1050nm 부근에서의 이테르븀 흡수도 피크는 각각 도 8-10에서 나타난다. 이런 이유로, 감쇠 곡선들(84, 85)은 (곡선들(84, 85) 사이에는 구별되는 차이가 없기 때문에) 도 10의 곡선(101) 및 (도 8 및 도 9의) 곡선들(86, 87)에 의해 추정된다. 파장(83)이 감소됨에 따라 증가하는 손실(81)의 증가에 의해 광흑화가 표시된다. 해당(interest) 영역(88)은 도 8 및 도 9에서 사선으로 표시되며, 1000nm 내지 1100nm 사이에서 손실(81)의 증가를 나타낸다. 도 9에 해당하는 섬유는 도 8에 해당하는 섬유보다 손실이 상당히 적게 증가하는 것을 명확히 볼 수 있다. 그러나 도 10에서 볼 수 있듯이, 특정표시된 영역(102)에 의해 볼 수 있듯이 이러한 파장에서 광흑화는

볼 수 없다. 따라서 본 발명의 이러한 면에 따른 섬유 설계들은 광흑화가 제거된다.

[0123] 도 11 및 도 12는 도 1의 섬유를 이용하는 섬유 레이저들로부터의 출력 전력(110) 대 시간(111)을 나타내며, 도펀트들은 도 10의 노화 가속 테스트에 이용되는 것들과 유사하다. 각각의 도면에서 상위 측정 라인은 출력 전력(110)인 반면, 하위 라인은 측정이 이루어지는 대기 온도(112)이다. 도 11에 도시된 결과를 얻기 위해 이용되는 섬유 레이저는 마스터 발진 전력 증폭기(MOPA)(미도시)로, 0.6mJ의 펄스 에너지 및 35ns의 펄스 폭을 갖는 20kHz 펄스들을 갖는 12W 평균 전력을 방출한다. 도 12에 도시된 결과들을 얻기 위해 이용되는 섬유 레이저는 70% 듀티 팩터로 10kHz에서 반복적으로 펌프 소스들로 이용되는 레이저 다이오드들을 오프 및 온시킴으로써 10kHz에서 변조되는 연속파 레이저이다. 시간(111)에 따른 출력 전력(110)의 경감은 높은-피크 전력 펄스 MOPA, 및 연속파 레이저 모두에 대해 2 내지 3개월의 연속적인 동작에 걸쳐 도 11 또는 도 12에서도 관찰되지 않았다.

[0124] 도 13은 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 굴절률 프로파일(130)을 나타낸다. 프로파일(130)은 도 2의 이상적 프로파일과 상이하며, 감쇠시 도펀트들(특히 인산염)의 증발로 인해 코어(3)에서 중앙 함몰부(130)를 포함한다. 코어(3)와 페데스탈(4) 간의 굴절률 차(131)는 n1-n2로 제공되며 이는 대략 0.0032이다. 이는 약 0-0996의 개구수에 해당한다. 유사하게, 페데스탈(4)과 제 1 클래딩(5) 간의 굴절률 차(132)는 약 0.0097이며, 이는 약 0.17의 개구수에 해당한다. 코어(3)는 약 0.70 몰 퍼센트의 도펀트 농도인 알루미나로, 약 15 몰 퍼센트의 도펀트 농도인 인산염 및 약 25000ppm 도펀트 농도의 이테르븀으로 도핑된다. 이테르븀 도펀트는 1ppm 미만의 불순물 함량을 갖는 이테르븀 산화물에 의해 제공되어, 코어(3)에는 실질적으로 툴륨 도펀트가 포함되지 않는다. 페데스탈(4)은 약 0.0032의 페데스탈(4) 굴절률(131)에 원하는 코어(3)를 제공하기에 충분한 레벨의 인산염 및 게르마니아로 도핑된다. 페데스탈 굴절률 차(132)는 높은 정확도로 제조될 수 있으며, 이는 페데스탈(4)의 인산염은 증착되는 코어(3)에 의한 성능(perfom)의 감쇠(collapse) 동안 증발하지 않기 때문이라는 것을 주목해야 한다. 유사하게, 코어 굴절률 차(131)는 높은 정확도로 제조될 수 있으며, 이는 인산염과는 달리, 알루미나 도펀트는 성능의 감쇠 동안 상대적으로 증발에 대한 면역성이 있기 때문이다. 따라서, 바람직한 실시예는 광흑화 문제에 대해 제조 동안 코어(3)로부터 도펀트의 상당한 증발 없이 높은 정확도로 제조될 수 있는 해결책을 제공한다. 25000ppm 농도의 이테르븀 도펀트는 약 20000ppm 내지 40000ppm 내에서 변할 수 있다. 값이 높을수록 섬유 레이저 또는 증폭기에서 증가된 펌프 흡수도가 허용된다. 이는 사용되는 활성 섬유에 대해 원하는 길이를 감소시킨다는 또 다른 장점을 갖는다. 5㎛ 내지 50㎛ 또는 심지어 이 이상(이를 테면 매우 높은 전력 레이저들 및 증폭기들이 사용될 때 100㎛) 범위의 직경을 갖는 코어들을 제조하기 위해, 코어(3)의 직경(133)은 제조 동안 성능(perform)의 오버슬레이빙(oversleaving) 또는 업계에 공지된 다른 기술들에 의해 변할 수 있다. 코어(3)는 단일 모드 또는 다중모드일 수 있으며, 굴절률 차(131)는 코어(3) 및/또는 페데스탈(4)이 갖는 도펀트 농도들을 조절함으로써, 등가적 개구수 범위가 약 0.06 내지 0.15, 바람직하게는 0.08 내지 0.15가 되도록 변할 수 있다. 페데스탈(4)의 직경(134) 범위는 코어(4) 직경(133)의 약 1.5 내지 5배, 바람직하게는 코어(4) 직경(133)의 1.5 내지 4배, 보다 바람직하게는 코어(4) 직경(133)의 약 2.0 내지 4배일 수 있다. 도 13에 도시된 설계는 본 발명의 섬유들(1, 30, 41 또는 140)의 코어(3) 및 페데스탈(4) 설계를 위한 원리로서 이용될 수 있다.

[0125] MOPA 펄스 레이저의 최종 증폭 스테이지에서 중심 딥(dip)(도 13 참조)을 갖는 활성 섬유의 사용은 저전력 증폭기 스테이지가 따르는 반도체 시드 레이저를 포함하는 MOPA 구성에서 상당히 바람직한 것으로 밝혀졌다.

[0126] 이는 중심 딥 존재로 인해 야기되는 비-가우시안 모드 프로파일은 상부-평탄(flat-top) 굴절률에서 모드들을 기준으로 섬유 피그테일들(pigtails)과의 매칭성이 열악하기 때문에 예상되지 못했다. 증가된 신호 접속(splice) 손실들은 증폭기에 사용되는 펌프 전력과 출력 신호 전력 간의 비율로서 정의되는 감소된 증폭기 효율로 인한 것으로 여겨진다. 반대로, 개선된 증폭기 효율은 활성 섬유 코어에서 딥을 도입함으로써 얻어진다. 원하는 레이저 출력 전력을 달성하는데 있어, 소수(fewer)의 펌프 다이오드들이 요구되기 때문에, 고효율은 상당한 장점을 제공한다.

[0127] 300mW의 입력 신호 전력은 상이한 활성 섬유들의 특징화에 이용된다. 이는 반도체 시드 레이저로부터 5-10mW의 평균 출력 전력 및 전치 증폭기 스테이지에서 ~25dB 증폭을 갖는 MOPA 구성으로 고려된다.

[0128] 상부-평탄 굴절률 프로파일의 측정 효율은 다중 횡방향 모드들이 활성 섬유에서 여기될 때 50-55%(다중-모드 효율)이며, 단지 낮은 차수의 모드들이 여기될 때는 25-35%로 낮다(요약하여 단일 모드 효율로 간주됨). 우수한 출력 빔 품질이 목표시되기 때문에 후자가 섬유 레이저에서는 보다 적합하다.

[0129] 대신 중심 딥을 갖는 섬유들은 65-70%의 다중 모드 효율 및 50-55%의 높은 단일 모드 효율을 나타낸다. 이러한

결과들은 -0.003 내지 -0.010 범위의 함몰 계수 변화에 따라 코어의 중심부에서 상이한 딥(dip)을 나타내는 다양한 섬유들에 대해 얻어진다.

[0130] 레이저 매체에서 추출되는 에너지와 매체에서 이용가능한 최대 에너지의 비율로서 정의되는, 상이한 설계들의 상이한 에너지 추출 효율을 고려함으로써 설명될 수 있다. 에너지 추출 효율은 활성 매체의 입력 포화를 증가시킴으로써, 즉, 레이저 신호 입력 전력을 이용함으로써 또는 활성 매체와 섬유 모두의 오버랩을 개선함으로써 증가될 수 있다. 반도체 시드 +1 전치 증폭기 스테이지로부터 얻어질 수 있는 비교적 낮은 전력은 양호한 오버랩이 목표된다는 것을 의미한다.

[0131] 상부-평탄 섬유에서, 낮은 차수 모드들은 코어의 중심부 부근에 집중되어, 코어 에지 부근의 상당량의 Yb 이온들에 저장되는 에너지의 효율적 사용을 방해한다. 실제로, Yb 도펀트 프로파일은 Yb 이온들의 높은 몰 반사율로 인해 코어의 굴절률 프로파일을 개략적으로 따르는 것으로 적절히 가정된다.

[0132] 결과적으로, 낮은 차수 모드 프로파일들은 중심부 딥과 섬유의 Yb 분포 프로파일을 매칭시킨다. 도펀트의 모든 섹션들이 입력 신호에 의해 효과적으로 사용되어, 보다 나은 평균 포화 레벨 및 보다 나은 추출 효율이 산출된다. 굴절률에서 -0.003의 작은 함몰부가 도입될 때 이론적으로 상당한 장점이 발견되었으며, 함몰부가 추가로 증가될 경우 변화는 무시할 수 있다.

[0133] 추가의 장점으로는 섬유 제조시 완화된 제조 톨러런스(딥은 제어가 어려운 성능 감쇠 프로세스시 도펀트 증발과 관련되기 때문)가 있으며, 중심 딥은 주어진 출력 에너지에서 기본적인 피크 세기를 감소시켜, 비선형 작용을 감소시킨다.

[0134] 가능성있는 단점은 증폭기에서 증가된 펄스 재성형화에 의해 부여된다. 보다 나은 추출 효율은 증폭기에서 열악한 펄스 변형을 산출하며 동일한 전체 펄스 에너지에 대한 펄스 유도 단부에서 누설 전류를 증가시킨다. 이는 비선형 작용 및 펄스 형상 제어 모두에 대해 치명적이다. 효율성과 재성형 간의 최적의 밸런스는 엄격한(tighter) 제조 조건들에 의해 작은 딥(굴절률은 약 0.003 변함)으로 얻어진다.

[0135] 도 15는 200W 레이저 연속파에 대한 출력 전력(110) 대 시간(111)을 나타낸다. 200W 레이저는 200W 광섬유 증폭기에 의해 출력이 증폭되는 20W 섬유 레이저를 포함한다. 200W 섬유 증폭기는 도 13에 도시된 것들과 유사한 굴절률 프로파일을 갖는 섬유를 이용한다. 코어(3)는 알루미나, 인산염 및 이테르븀으로 도핑된다. 출력 전력(110)은 70 시간 동안 약 2W(0.7%)씩 감소된다. 이러한 작은 감소는 암흑화 이외의 원인에 의해 야기될 수 있다. 대조적으로, 도 16은 함몰된 내부 클래딩과 보다 통상적인 스텝 인덱스 섬유가 20W 광학 증폭기에서 사용되는 등가적 결과를 나타낸다. 코어는 알루미나, 붕소 및 이테르븀으로 도핑된다. 출력 전력(110)은 35시간 동안 약 25 W(10%) 경감된 것을 볼 수 있다. 코어에서 알루미나 및 인산염 도펀트를 사용함으로써 얻어지는 개선들이 명확히 설명된다.

[0136] 실험 결과들은 광흑화가 mW 전력 레벨 내지 수백 watts에서 이루어진다는 논증을 나타낸다. 주요 유도자는 도펀트 조성, 실제 상당히 감소되어야 하는 섬유에서의 반전량이다. 반전 감소는 광학 증폭 시스템을 통해 스테이지마다 작은 신호 게인을 감소시킴으로써 달성될 수 있다. 광흑화는 10dB 이상의 광학 게인들에 대해 문제시되며, 특히 20dB 이상의 광학 게인들에 대해 문제시된다.

[0137] 본 발명에 개시되는 방안들은 수 와트(fractions of Watts) 내지 수천(many thousands) 와트의 전력 레벨들에 대해, 연속파 레이저들, 및 단일 모드 및 다중모드 출력들 모두에 대해, 그리고 랜덤하게 분극된 및 분극된 출력들 모두에 대해, 십 펨토세컨즈 내지 백 밀리초의 펄스 폭들을 가지는 펄스 레이저들에 대해 이용가능한 것으로 여겨진다. 개시된 작업은 이테르븀 도핑에 중점을 두었지만, 본 발명자들은 상기 결과는 유도 라만 산란을 기초로한 섬유 레이저들 및 증폭기들 및 네오디뮴, 이테르븀, 에르븀, 네오디뮴, 프라세오디뮴, 사마륨, 홀뮴 및 디스프로슘, 이테르븀이 도핑된 에르븀, 또는 이테르븀이 도핑된 네오디뮴에 적용될 수 있을 것으로 여겨진다. 이러한 방안들은 약 1350nm 미만의 파장에서 동작하는 섬유 레이저들 및 증폭기들에 있어 중요하며, 특히 1100nm 미만의 파장에서 동작하는 섬유 레이저들 및 증폭기들에 있어 중요하다. 또한 결과들은 특히 섬유 레이저의 출력이 800nm 미만을 가질 때, 빔 전달 섬유들(이를 테면 도 5의 섬유(51))의 설계에 있어 이용가능하다. 이는 주파수 2배 주파수 또는 3배 주파수를 통해, 예를 들어 비선형 결정들, 도파관들 또는 섬유들 또는 처프된(chirped) 주기적 분극 리튬 니오베이트와 같은 물질들을 사용하여 달성될 수 있다. 이러한 방안들은 광흑화를 감소시키기 위해 높은 수산기(OH) 함량을 갖는 실리카, 소위 "습식 실리카(wet silica)" 사용하는 종래의 방법들과 조합되어 사용될 수 있다. 여기에 튜테륨이 첨가되고 자외선(UV) 광이 조사될 수 있다.

[0138] 도 17은 광원(172), 적어도 하나의 증폭기(173) 및 제어기(174)를 포함하는 광방사선(1713) 제공 장치(171)를

나타낸다. 광원(172)은 출력 펄스들(1719)을 생성도록 증폭기(173)에 의해 증폭되는 광 펄스들(175)을 방출한다. 출력 펄스들(1719)은 펄스 반복 주파수(176), 펄스 기간(177), 피크 전력(179), 평균 전력(178), 및 펄스 에너지(1710)에 의해 특징화된다. 펄스 에너지(1710)는 펄스(1719) 아래에 음영된 영역으로 도 17에 도시된다. 장치(171)는 광방사선(1713)으로 물질(1714)을 지향시키는 선택적 프로세싱 헤드(1712)와 증폭기(173) 사이에 선택적 광섬유 케이블(1711)을 갖는다. 제어기(174)는 장치(171)가 물질(1714)을 처리할 수 있도록 광원(172)과 증폭기(173)중 적어도 하나를 제어한다. 도 17에서, 프로세싱은 마크(1715)로 표시된다. 광원(172)은 도 38의 시드 레이저(382)를 포함할 수 있다. 광원(172)은 도 38의 반사기(384)를 포함할 수 있다. 증폭기(173)는 도 38의 증폭기(383)를 포함할 수 있다.

[0139] 또한 프로세싱은 마킹, 프린팅, 절단, 드릴링, 용접, 미세용접, 납땜(brazing), 어닐링 및 다른 물질들 프로세싱 분야들을 포함할 수 있다. 또한 프로세싱은 조직(이를 테면 피부) 치료, 치의학 및 수술과 같은 생물학적 프로세스들을 포함할 수 있다.

[0140] 프로세싱 헤드(1712)는 광방사선(1713)을 스캐닝하는 스캐닝 헤드 또는 검류계(galvanometer)를 포함할 수 있다. 선택적으로 또는 부가적으로, 프로세싱 헤드(1712)는 광방사선(1713)을 조준 및/또는 포커싱하는 적어도 하나의 렌즈를 포함할 수 있다. 바람직하게 프로세싱 헤드(1712)는 물질(1714)로부터 유래되는 후방반사에 의한 증폭기(173)의 불안정화를 방지하기 위해 고전력 광학 절연기를 포함할 수 있다.

[0141] 장치(171)를 사용하여 처리되는 물질(1714)은 반도체 패키지(플라스틱 또는 세라믹), 모바일 폰 상의 키 패드, iPOD, 컴퓨터, 콤포넌트, 패키지, 또는 상업적 또는 산업적 제품과 같은 물품을 포함할 수 있다.

[0142] 전치-증폭기들, 전력 증폭기들 및 반사기(196)는 없으나, 도 17의 장치에 사용될 수 있는 광학 장치들(arrangements)은 본 발명에서 참조되는 US 특허 제 6,433,306호에 개시된다. 상기 특허에 개시된 것처럼, 비선형성 효과는 장치(171)의 피크 전력(179)이 증가함에 따라 나타나기 시작한다. 유도 브릴리언 산란을 방지하기 위해 제시된 방안은 광원(2)으로서 레이저 다이오드를 사용하는 것으로, 레이저 다이오드는 증폭 스테이지들이 SBS에 대해 비교적 자유롭도록 존재하는 다수의 종방향 모드들에 의해 SBS 임계치를 증가시키기 위해 다중 주파수를 갖는다. 본 발명자들은 이러한 방안은 약 1kW 내지 5kW 미만의 피크 전력들(179)에 대해 일반적으로 적합하다는 것을 발견했다. 그러나 하기에서 볼 수 있듯이, 이러한 방안을 기반으로 한 MOPA들은 레이저를 손상시킬 수 있는 랜덤 펄싱되는 경향이 있다. 이러한 작용은 SBS로 인한 것으로 여겨진다. 섬유들의 모드 영역 증가와 같은 방안들은 SBS 임계치는 증가시키나, 신뢰성있게 임계치를 약 5kW 이상으로 증가시키기에는 어렵다고 밝혀졌다. US 특허 제 6,433,306호는 랜덤 펄싱을 방지하기 위해 또는 SBS 임계치를 증가시키기 위한 반사기(196) 사용을 제안하거나 개시하지 않았다.

[0143] SBS에 의해 발생된 문제점들의 예로서, 50개 이상의 모드를 갖는 레이저 다이오드가 12kW 피크 전력을 방출하는 장치에 사용된다. 연장된 기간(이를 테면 1시간 내지 몇 달)동안 20kHz에서 변조될 때, 과도 펄스(transient pulse)는 증폭기(173)와 함께 도파관들에 내부 손상을 야기시키는 출력에서 관찰된다. 이러한 작용은 임시적 라인 폭 협소화 및 결과적인 SBS 트리거링 발생을 야기시키는 반도체 레이저에서의 랜덤 작용으로 인해 발생되는 것으로 여겨진다. 그러나 이러한 작용은 상당히 유사한 것으로 나타났지만 SBS로 인한 것임은 증명되지 않았다. 그럼에도 불구하고, 과도 펄스 손상은 특히, 과도 펄스 손상이 드물게 발생하기 때문에, 이러한 디바이스들로부터 정량화되고 제거되기 매우 어렵다고 밝혀졌다.

[0144] 놀랍게도, 본 발명자들은 도 18의 장치(180)를 사용하여 이러한 문제점을 해결하였다. 반도체 레이저는 고휘도 다이오드(SLED)(181), 절연기(186) 및 전치증폭기(182)에 의해 교체되었다. 전치증폭기(182)는 펌프(189)에 의해 펌핑된다. 전치증폭기(182)의 출력은 광학 절연기(186)를 통해 증폭기(183)와 결합된 다음 또 다른 광학 절연기(186)르 통해 전력 증폭기(1810)와 결합된다. 증폭기(183)와 전력 증폭기(1810)는 펌프들(184, 1811)에 의해 각각 펌프된다. 펌프들(189, 184, 1811)은 바람직하게 반도체 레이저들이다.

[0145] 반도체 레이저를 SLED(181)로 교체하는 것은 반직관적(counter-intuitive) 방안이다. 이는 SLED(181)가 반도체 레이저들보다 상당히 낮은 전력을 갖기 때문이다. 결과적으로 전치증폭기(182)는 포화되지 않으며 증폭기(183)와 전력 증폭기(1810)의 게인을 포화시키는 펄스들(1719) 사이에 ASE를 생성한다. ASE는 펌프(189)가 항상 온인 경우 발생된다. 이는 펌프(189)가 전치증폭기(182)를 펌프시켜, ASE의 반전 및 순차적 발생을 생성하기 때문이다. ASE의 작용은 펌프가 펄스들 사이에서의 턴오프되고, 및 SLED(181)로부터 펄스가 도달하기 이전에 턴오프되도록 펌프(189)를 변조시킴으로써 감소될 수 있다. 정확한 타이밍은 전치증폭기(182)의 설계 및 특히 펌프(189)로부터 이용가능한 전력과 관련되며, 펌프 전력이 높을수록 턴온된 펌프(189)를 갖기 위해 요구되는 시간은 작다. 선택적으로 또는 부가적으로, 선택적 스위치(1812)는 전치증폭기(182)와 전력 증폭기(1810) 사이에

삽입될 수 있다. 바람직하게 광학 스위치(1812)는 전치증폭기(182)와 증폭기(183) 사이에 삽입된다. 선택적으로 또는 부가적으로, 필터(미도시)가 ASE를 필터링하기 위해 사용될 수 있으나, 이는 펌프들의 변조 또는 광학 스위치(1812)의 사용중 하나로서 효과적인 것으로는 여겨지지 않는다. 광학 스위치(1812)는 음향-광학 변조기, 도파관 스위치, 케르 전지(Kerr cell) 또는 포켈스(pockels) 전지일 수 있다.

[0146] SLED(181) 및 펌프들(189, 184, 1811)은 장착된 경우 광학 스위치(1812)를 제어하는 제어기(25)에 의해 제어된다. 이러한 디바이스들은 동기식으로 제어되며 비선형성 및 손상 효과들을 감소시킬 수 있다.

[0147] 전치증폭기(182), 증폭기(183), 및 전력 및 전력 증폭기(1810)는 코어-펌프 또는 클래딩-펌프될 수 있다. 바람직하게, 전치증폭기(182)는 코어-펌프된 전치증폭기이다. 이는 코어-펌프된 전치증폭기는 보다 효과적인 짧은(shorter) 디바이스이기 때문이다. 바람직하게 증폭기(183) 및 전력 증폭기(1810)는 클래딩 펌프된다. 이러한 장치는 낮은 비용으로 생산될 수 있는 효과적인 디바이스를 제공한다.

[0148] 전치증폭기(182), 증폭기(183) 및 전력 증폭기(1810)에 포함된 광섬유들은 각각 고체 코어 섬유들 또는 소위 구멍광섬유들(Holey fibers)일 수 있다. 이들은 바람직하게 이테르븀, 에르븀, 네오디뮴, 홀뮴, 툴륨 또는 프라세오디뮴과 같은 희토류 도펀트로 도핑된다. 바람직하게, 광섬유들은 광흑화에 대한 저항성이 있다. 이러한 섬유들은 도 1 내지 도 16을 참조로 개시된다.

[0149] 바람직하게, SLED(181)는 10nm 이상, 바람직하게는 20nm 내지 40nm 사이, 또는 이 이상의 대역폭을 갖는다. 대역폭이 높고, SBS 임계치가 높을수록 본 발명의 장치는 보다 신뢰성있다.

[0150] 이를 테면 다른 형태의 LED들(이를 테면 에지 방출 LED들), 고휘도 섬유 소스들(이를 테면 격자들(gratings)에 의해 필터링되는 ASE 소스들)과 같은, 다른 광대역 소스가 SLED(181)를 대체하기 위해 도 17의 광원(172)으로 이용될 수 있다.

[0151] 본 발명자들은 도 19에 도시된 장치를 사용함으로써 SBS 이벤트들이 방지될 수 있다는 것을 발견했다. 시드 레이저(192)는 바람직하게 시드 레이저(382)이다. 반사기(196)는 바람직하게 반사기(384)이다. 증폭기(193)는 바람직하게 증폭기(383)이다. 실험에서, 장치(190)는 탈분극기(depolarizer)(191), 절연기들(186), 펌프(199)에 의해 펌프되는 전치증폭기(192) 및 펌프(194)에 의해 펌프되는 전력 증폭기(193)를 포함한다. 제어기(174)는 광원(172), 및 펌프들(199, 194)을 제어한다.

[0152] 시드 레이저(192)는 약 1060nm의 중심 파장에서 약 50 내지 100개의 패브리-페로 종방향 모드들을 방출하는 단일 횡방향-모드이다. 반사기(196)는 약 2nm의 대역폭을 가지며 처프되는 광섬유 브래그 격자이다. 이의 반사율은 약 4%이다. 탈분극기(191)는 서로 45도에서 접속된 2개 길이의 분극 유지 섬유를 포함한다. 탈분극기(191)의 사용은 분극 변동에 의해 야기되는 프로세싱 조건들에서의 편차들을 감소시키기 위해 다수 물질들 프로세싱 분야(전체는 아님)에 바람직하다. 따라서, 시드 레이저(192)가 충분한 광학적 대역폭을 가져 방출이 탈분극될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 절연기들(186)은 증폭된 자발적 방출이 시드 레이저(192)로 다시 재지향되는 것을 방지하도록 선택된 상업적 기존의(off-the-shelf) 절연기들이다. 전치증폭기(192) 및 전력 증폭기(193)는 이테르븀-도핑된 클래딩 펌프 섬유 증폭기들이다. 펌프들(194, 199)은 서로 조합된 다수의 단일-방출기 반도체 레이저 다이오드를 포함할 수 있다. 전력 증폭기(193)로부터 후방 이동하는 광방사선을 모니터링하기 위해 탭 커플러(197)가 제공된다. 탭 커플러(197) 및 후방 반사 검출기(198)는 진단 목적을 위해 포함되나, 완성된 장치의 일부를 형성할 필요는 없다.

[0153] 정상 동작시, 시드 레이저(192)는 1kHz 내지 500kHz 사이의 주파수에서 10ns 내지 250ns 펄스들(175)을 제공하도록 펄싱된된다. 25kHz에서, 시드 레이저로부터의 피크 전력은 약 300mW이며, 전치증폭기(192)로부터의 피크 전력은 약 100W이며, 전력 증폭기(193)로부터의 피크 전력은 약 10 내지 15kW이다.

[0154] 반사기(196) 없이도, 장치(190)는 격변적 결함을 겪게되는 것으로 발견되었다. 결함 메커니즘은 손상되는 전력 증폭기(193)에서 이테르븀-도핑 광섬유의 짧은 길이(100㎜에 이름)에 의해 특징화된다. 짧은 길이의 섬유는 백색 파우더로 바뀐다. 또 다른 결함 메커니즘은 손상되는 전력 증폭기의 단부에서의 용융접합(fusion splice)에 있다. 이러한 결함들 및 다른 결함들은 제조 및 테스트 동안 발생할 수 있으나, 몇 달 동작후에 완전히 테스트된 제품에서도 발생할 수 있다.

[0155] 도 20은 전방향을 향하는 펄스(1719)(전력 증폭기(193)의 출력에서 측정됨)의 광학 전력(201)과 정상 동작시 후방 반사 검출기(198)에 의해 측정되는 출력 전력(202)을 나타낸다. 광학 전력들(201, 202)은 출력 전력(201)은 광학 전력(202)보다 상당히 높은 전력을 갖기 때문에 상이한 스케일로 도시된다. 출력 전력(202)은 제 1 반사부(203) 및 제 2 반사부(204)를 포함한다. 제 1 반사부(203)는 탭(197)과 전력 증폭기(193) 간의 접속부

(splice)(미도시)로부터 발생된다. 제 12 반사부(204)는 광섬유 케이블(1711)로부터의 반사로부터 발생된다. 도 20에 도시된 펄스 형상들은 통상적으로 장치(190)로부터 발생되는 대부분의 펄스들에 대해 일반적이다.

[0156] 도 21은 후방 이동 펄스들(211, 212)을 나타낸다. 펄스들(211, 212)은 추가의 스파이크들(213, 214)을 포함하지만, 이전의 광학 전력들(203, 204)을 포함한다. 이러한 추가의 스파이크들(213, 214)은 드물게 발생하며 출현 및 크기 모두 랜덤하다. 출현 빈도는 시드 레이저(192)의 동작 조건들(이를 테면, 온도, 구동 전류 및 펄스 형상)을 변화시킴으로써 변한다. 25kHz의 펄스 반복 주파수에서, 추가 스파이크들은 주말 동안 측정된 약 1 대 5분의 기간 동안 측정된 30,000의 비율로 관찰된다. 부가적으로, 출현 비율은 상이한 또는 동일한 제조자에 의해 공급되는 상이한 시드 레이저들(192)을 사용함으로써 변할 수 있다. 추가의 스파이크들(213, 214)이 후방 이동 방향에서 관찰되었지만, 전반향을 향하는 펄스 형상(201)에서 발견될 수 있다는 증거는 없다. 이는 스파이크들(213, 214)이 유도 브릴리언 산란(SBS)의 증거인 것으로 여겨진다.

[0157] 도 22는 전방향에서 발생된 정상 조사(looking) 펄스(201)에 중첩되는 거대 펄스(221)의 예를 나타낸다. 후방 반사 검출기(198)에 의해 측정된 관련된 펄스(222)는 복잡한 형상을 가지며 도 20에 도시된 펄스(202)보다 몇 차수 높은 크기를 갖는다. 실제로 광학 전력들(203, 204)은 이러한 스케일로 볼 수 없다. 펄스(222)는 스파이크(223), 트레일링 에지(224), 및 딥(225)을 갖는다. 이러한 데이터는 후방 스파이크들(213, 214)이 약 100Hz에서 발생되도록 장치(190)를 설정함으로써 얻어진다. 이러한 반복 주파수에서, 거대 펄스들(221) 및 관련된 펄스들(222)은 5분 마다 대략 1번 발생하는 것으로 관찰된다. 다른 말로, 거대 펄스들(221)은 후방 이동 펄스들(213, 214) 보다 훨씬 더 드물며 랜덤한 방식으로 발생한다.

[0158] 딥(225)은 SBS의 또 다른 증거인 것으로 여겨진다. 후방 이동 펄스(222)는 SBS를 통하는 전방을 향하는 펄스를 펌핑시키기에 충분한 에너지를 갖는다. 이는 전방을 향하는 방향에서의 거대 펄스(221)를 산출하여, 딥(225)에서 야기되는 후방 이동 펄스(222)로부터의 에너지가 추출된다. 상기 모든 펄스들은 전력 증폭기(19#)의 활성 게인 매체에 의해 추가로 증폭된다.

[0159] 도 22를 참조로, 도시된 거대 펄스(221)의 진폭(226)은 펄스(201)(중첩된 거대 펄스(221) 없이) 펄스(201) 진폭(227)의 거의 2배이다. 진폭(226)은 랜덤하게 변하며, 펄스(201)의 진폭(227)의 몇 배일 수 있다. 거대 펄스(221)의 진폭은 전력 증폭기(193) 내에서 섬유의 광학적 손상 임계치를 충분히 초과할 수 있고, 이는 앞서 개시된 랜덤하고 예상치못한 급변적 결함들이 야기되는 SBS 전파와 관련된 음향파에 의한 추가 에너지를 가질 가능성이 있다는 것으로 여겨진다. 그러나, 이러한 설명은 단지 이론적인 것이며 가능성있는 결함 메커니즘을 설명하기 위한 본 발명의 시도는 본 발명의 범주를 제한하고자 하는 것은 아니다.

[0160] 도 23은 시드 레이저(192)로부터의 전형적인 스펙트럼(230)을 나타낸다. 중심 파장(231)은 대략 1062nm이며, 전체 대역폭(232)은 약 6nm이다. 스펙트럼(230)은 대략 0.045nm 마다 분리되는 약 150개의 레이저 라인들(233)(미도시)을 포함한다. 스펙트럼(230)은 펄스(1719)가 전개됨에 따라 변하는 것으로 관찰되는 레이저 라인들(233)의 3개 패밀리(234, 235, 236)를 포함한다. 특히, 제 1 패밀리(234)는 펄스 기간(177)의 제 1 스테이지(펄스(1719)가 처프되는 동안)에서 우세하며, 중심 패밀리(235)는 이후 보다 우세해진다.

[0161] 도 25는 도 19의 장치에서 반사기(196)로 사용되는 광섬유 브래그 격자(250)(미도시)의 설계를 나타낸다. 도 25는 파장(253)의 함수로서 도시된 반사율(251)(좌측 좌표) 및 그룹 지연(252)(우측 좌표)를 나타낸다. 그룹 지연(252)은 제로로부터 옵셋된다. 옵셋은 그룹 지연(252)이 측정되는 위치와 관련되기 때문에 임의적이다. 매우 작은 수를 수반하는 계산으로 인해 사실상 수학적인 반사율(251) 및 그룹 지연(252) 곡선들에는 잡음이 있다. 격자(250)는 약 4nm의 대역폭(255)과 처프된다. 이의 중심 파장(254)은 1061nm로 설계되며, 도 23의 중심 패밀리(235)에서 대략적으로 정렬된다. 도 26은 격자(250)의 측정된 반사율(261)을 나타낸다. 중심 파장(262)은 대략 1060.7nm이며, 대역폭(263)은 약 2nm이다. 대역폭(263)은 설계 대역폭(255) 미만이며 이는 격자(250)의 제조시 디튜닝(detuning) 작용들로 인한 것이다. 이러한 작용들은 섬유 격자 제조 분야의 당업자들에게 공지되어 있다. 이러한 격자들을 설계하고 제조하는 기술들은 본 발명이 참조하는 미국 특허 제 6,445,852호 및 제 6,072,926호에 개시되어 있다.

[0162] 격자(250)를 추가시키는 목적은 레이저 다이오드(2)로부터의 방출을 안정화시키기 위한 것이 아님을 주지해야 한다. 좁은대역 격자들(약 0.5nm 미만, 때로는 약 0.1nm 미만의 대역폭)은 방출 파장을 고정시키기 위해, 모드 분할 잡음을 방지하기 위해, 사이드(side) 모드들의 진폭을 감소시키기 위해(소위 사이드-모드 억제) 및/또는 라인폭을 좁히기 위해, 레이저 다이오드 패키징에 종종 통합된다. 이러한 모든 목적들은 거대 펄스들의 출현 빈도를 증가시키고 SBS를 장려시켜(장려시키는 것으로 여겨짐) 보다 안정한 방출을 산출하여, 장치(190)의 급변적 결함을 방지하지 못하는 경향이 있다.

[0163] 도 24는 제 위치에서 격자(250)로 측정된 레이저 다이오드(2)의 스펙트럼(240)을 나타낸다. 중심 파장(241)은 약 1061nm이다. 스펙트럼(240)은 스펙트럼(230)의 대역폭(232) 미만인 대역폭(242)을 갖는다. 대역폭(242)은 약 2nm 이며, 격자(250)로부터의 광학적 피드백에 의해 측정된다. 미국 특허 제 6,433,306호에 따라, 이러한 좁은 대역폭은 SBS의 성능을 경감시킬 것으로 예상된다. 놀랍게도 격자(250)의 사용으로 후방 이동 랜덤 펄스들(213, 214) 및 관련된 그리고 보다 랜덤한 전방향 이동 거대 펄스(221) 모두가 소거된다. 장치(190)는 결함이 없는 것으로 밝혀졌다. 다른 레이저 다이오드를 가지며, 탈분극기를 이용 및 이용하지 않는 추가의 실험들로 장치(190)에 반사기(196)를 포함하는 유용한 효과들이 확인되었다. 격자(250)는 1kW 내지 40k 범위의 피크 전력들을 가지며 단일 횡방향 모드에서 광방사선의 적어도 10%를 가지는 펄스형 레이저들에 대한 신뢰성있는 동작을 제공하는 것으로 나타났다. 높은 피크 전력들은 문제를 야기시키는 SBS 없이 100kW 이상으로 달성될 수 있는 것으로 여겨진다.

[0164] 격자(250)는 불안정한 시드 레이저(192)(이 경우 레이저 다이오드)를 갖는다. 즉, 개별 레이저 라인들(233)은 전력 증폭기(193)에서의 SBS 생성 조건들이 방지되도록, 확대, 처프 또는 변조된다. SBS 생성을 방지하는 다른 방법들은 광학 섬유 결합기를 통해 결합될 수 있는 표면 또는 부분적 반사 미러와 같은 광대역 반사기로서 반사기(196)를 구현하거나 또는 0.5nm 이상, 바람직하게는 1nm 이상, 보다 바람직하게는 2nm 이상의 대역폭을 가지는 격자로서 반사기(196)를 구현하는 것이다. 격자(250)는 바람직하게 처프되나, 반드시 그럴 필요는 없다. 처프된 격자(250)는 시드 레이저(192)의 스펙트럼 확대에 추가로 기여하는 것으로 여겨지는 파장 관련 유효 외부 캐비티 길이를 제공할 수 있다. 처프된 격자(250)는 시드 레이저(192) 분극 유지 섬유 피그테일의 분극 축들에 대해 각지게 또는 정렬된 분극 축들을 갖는 분극 유지 광섬유에서 바람직하게 접한다(inscribed). 격자(250)는 등가적으로 비-분극 유지 섬유에 접할 수 있다. 또한, 시드 레이저(192) 피그테일은 반드시 분극 유지 섬유일 필요는 없다. 반사기(196)는 시드 레이저(192)의 전방 또는 후방 절단면들(facets)(미도시)로 레이저 방사선을 반사시키도록 위치될 수 있다. 또한, 반사기(196)는 유전체 코팅을 포함할 수 있다. 반사기(196)의 반사율은 약 0.1% 내지 10% 사이일 수 있다. 펄스들(213, 214)이 없는 것으로 나타난 결과들은 34%의 높은 반사율로 얻어지나, 이들 레벨에서 펄스 왜곡이 관찰된다. 바람직하게 반사율은 약 2% 내지 6% 이다. 정확한 수치는 사용되는 특정 레이저 다이오드와 관련되며 실험을 통해 발견될 수 있다. 반사기(196)의 반사율은 시드 레이저(192)에 사용되는 반사율보다 높은 것으로 여겨진다. 또한, 시드 레이저(192)의 대역폭은 반사기(196)의 대역폭보다 작거나 또는 바람직하게 동등한 것으로 여겨진다. 이는 앞서 개시된 실험들의 경우는 아니며, 시드 레이저(192)의 동작 조건들(온도 및 구동 전류)는 시드 레이저(192)의 상이한 배치들(batches)에 대해 설정될 필요가 있다. 선택적으로 또는 부가적으로 격자 반사기(196)의 대역폭은 시드 레이저(192)의 전체 대역폭 및 방출 파장들의 제조 톨러런스를 포함하도록 증가된다. 또한 후방 이동 펄스의 완전한 부재는 신뢰성있는 동작의 신뢰성있는 표시이기 때문에, 탭(197)의 제공은 이러한 설정을 가능케한다는 것을 주지해야 한다.

[0165] 격자(250)는 시드 레이저(192)로부터 40cm 내지 1m 사이에 위치된다. 성능에서 차는 관찰되지 않았다. 따라서, 정확한 위치는 중요하지 않으며, 제공되는 간격은 충분히 크지 않아 반사 피드백으로 시드 레이저(192)를 안정화시키기에 불충분한 것으로 여겨진다.

[0166] 시드 레이저(192) 및 펌프들(199, 194)은 제어기(25)에 의해 제어된다. 광학 펄스들(1719)의 펄스 형상을 제어하기 위한 제어기 사용에 따른 추가 정보 및 물질 처리시 장치의 사용 및 애플리케이션은 하기에 설명된다.

[0167] 전치증폭기(192) 및 전력 증폭기(193)는 코어-펌프 또는 클래딩-펌프된다. 전치증폭기(192)는 코어-펌프 전치증폭기일 수 있다. 코어-펌프 전치증폭기는 클래딩-펌프 전치증폭기보다 짧은 다바이스로 보다 효율적이다. 선택적으로, 전치 증폭기(192)는 클래딩-펌프 전치증폭기일 수 있다. 이는 비용을 감소시키는데 있어 바람직하다. 바람직하게, 전력 증폭기(193)는 클래딩 펌프된다. 이러한 장치들은 낮은 비용으로 제조될 수 있는 효율적 디바이스들을 제공한다. 클래딩 펌프 증폭기들의 설계 및 구성은 미국 특허 제 6,826,335호에 개시되어 있으며, 이는 본 발명에서 참조된다.

[0168] 전치증폭기(192) 및 전력 증폭기(193)에 포함된 광섬유들 고체 코어 섬유들 또는 소위 구멍광섬유들(Holey fibers)일 수 있다. 이들은 바람직하게 이테르븀, 에르븀, 네오디뮴, 홀뮴, 툴륨 또는 프라세오디뮴과 같은 희토류 도펀트로 도핑된다. 바람직하게, 광섬유들은 광흑화에 대한 저항성이 있다. 이러한 섬유들은 본 발명에서 참조되는 공동-계류중인 특허 출원 대리인 도켓 넘버 S001-P20에 개시된다.

[0169] 도 *19*는 도 19의 광원(172) 및 증폭기(173)을 교체하는데 이용될 수 있다. 하기에 설명되는 것처럼, 제어기(174)는 평균 전력(178) 및 피크 전력(179)이 펄스 반복 주파수들(176)의 범위에 걸쳐 물질들(1714)을 처리하게 충분한 레벨로 유지되도록, 시드 레이저(192) 및 전치증폭기(192)와 증폭기(193)를 펌프하는 펌프들(194)를 제

어한다.

[0170] 도 27은 각각 115kHz, 46kHz, 30kHz 및 24kHz의 펄스 반복 속도에 대한 시간(275) 대 출력 펄스들(271, 272, 273 및 274)을 나타낸다. 시드 레이저(192)에 의해 방출되는 해당 광학 펄스들(175)은 도 28에서 각각 펄스들(281, 282, 283 및 284)로 도시된다. 출력 펄스들(271 내지 274) 및 광학 펄스들(281 내지 284)은 각각 도 29 및 도 30에서 재현되며 각각의 펄스들은 중첩된다. 도 31은 펄스 반복 주파수(176)에 따른 피크 전력(179)과 펄스 에너지(1710)의 편차를 나타낸다. 피크 전력(179)은 5kW 이상으로 유지되며 펄스 에너지(1710)는 24kHz 내지 115kHz 사이의 펄스 반복 주파수들(176)에 대해 0.1mJ 이상으로 유지된다. 또한, 평균 전력(178)은 펄스 반복 주파수(176)와 펄스 에너지(1710)의 곱이며, 평균 전력(178)은 24kHz 내지 115kHz 사이의 펄스 반복 주파수들(176)에 대해 약 10W 이상인 것을 볼 수 있다. 도 27 내지 도 31에 도시된 결과들은 상당히 중요하며, 이는 단지 2개의 증폭 스테이지로 100kHz 이상의 펄스-반복 주파수에서 0.1mJ의 펄스 에너지들을 갖는 5kW 피크 전력을 달성할 수 있다는 것이 증명되기 때문이다. MOPA(190)는 비교할만한 평균 출력 전력(178)의 다른 광섬유 펄스 레이저 시스템들에 비해 프로세싱 속도에서 상당한 유용성을 갖는다.

[0171] 도 32는 펌프들(194)로부터 증가된 전력을 갖는 MOPA(190)로부터의 출력 전력(320)을 나타낸다. 35kW의 출력 전력은 약 10ns의 펄스 폭(피크 전력의 절반에서 측정됨)으로 달성된다. 도 33은 파장(332)에 대해 도시된 펄스의 광학 스펙트럼(331)을 나타낸다. 시드 레이저(192)로부터의 펄스의 신호 파장(333)은 약 1062nm이다. 신호 파장(333) 보다 긴 파장에서는 상당한 전력이 제공되며, 전력은 유도 라만 산란과 같은 비선형 프로세스로 인해 이동된 파장을 갖는다. 다시 도 32를 참조로, 출력 전력(321)은 광학 필터를 이용하여 측정되며 1070nm 이상의 파장들은 감쇠된다. 도 32 및 도 33에서는 약 8kW 이상의 출력 전력들은 파장이 이동된 것을 볼 수 있다. 8kW 출력 전력은 비선형 임계치(332)로서 정의된다. 물질 처리를 위한 MOPA(190) 사용은 도 17의 프로세싱 헤드(1712) 내에서의 광대역 광학기들의 사용을 요구한다. "광대역 광학기(wide band optics)"는 약 100nm 이상의 대역폭을 가지는 신호 파장들을 전송 및 포커싱할 수 있는 광학기를 의미한다. 그럼에도 불구하고, 이러한 모드에서 동작하는 MOPA(190)는 대략 8kW 이상의 피크 전력(179)을 요구하는 물질을 처리하는데 있어 상당히 유용하다.

[0172] 제어기(174)는 펌프들(194, 199)에 의해 방출되는 전력을 감소시키거나 또는 출력 펄스들(1719)의 형상을 제어함으로써 변환된 파장인 출력 펄스들(1719)의 비율(proportion)을 감소시키는데 이용될 수 있다. 변환된 파장인 비율은 50% 미만으로, 바람직하게는 10% 미만으로 감소될 수 있다. 바람직하게 도 27 내지 도 31을 참조로 논의된 것처럼, 실질적으로 출력 펄스들(1719) 어느 것도 광범위한 펄스 반복 주파수들(176)에 대해 변환된 파장이 아니다. 제어기(174)의 제어 함수는 개방 루프 제어(예를 들어, 실험 및 특성화에 의해 달성)에 의해 또는 폐쇄 루프 제어에 의해 영향을 미치며, 폐쇄 루프 제어시 전력의 측정(평균 전력 또는 피크 전려 또는 파장 이동 전력)은 원하는 값, 제어기(174)에 의해 제공되는 제어 함수를 변조시키기 위해 이용되는 원하는 값과 측정치간의 차를 비교하여 MOPA(190) 내의 포인트(예를 들어, 증폭기(193) 또는 다른 곳의 입력 또는 출력에서 측정됨)로부터 취해진다.

[0173] 도 34 내지 도 37은 펄스 반복 주파수(prf)(176) 변화 효과를 나타내며 펄스 폭(177)은 MOPA(190)에서 출력 펄스(1719)의 형상을 갖는다. 4개의 도면 모두는 임의의 유니트들에서 도시되는 출력 전력과 동일한 스케일로 도시된다. 제어기(174)는 12W에서 평균 전력(178)이 유지되도록 펌프들(194, 199)을 제어한다. 또한, 제어기(174)는 펄스 반복 주파수(176)를 원하는 값으로 설정한다. 다음, 제어기(174)는 원하는 값으로 피크 전력(179)을 설정하기 위해 펄스 폭(177)(즉, 각각의 펄스(1719)의 전체 펄스폭)을 변화시킨다.

[0174] 도 34는 25kHz의 펄스 반복 주파수(176), 0.6mJ의 펄스 에너지(1710), 및 12W의 평균 전력(178)으로 측정되는 출력 전력(340) 대 시간(275)을 나타낸다. 펄스 폭(343)(즉 제어기(174)에 의해 제어되는 전체 펄스 폭)은 대략 200ns이다. 출력 전력(340)은 피크 전력(341) 및 약 35ns의 전체 폭 절반의 최대 펄스 폭(342)을 갖는다.

[0175] 도 35는 각각 2개의 상이한 펄스 폭들(355, 356)에 대해 측정되는 출력 전력(350, 351) 대 시간(275)을 나타낸다. 펄스 반복 주파수(176)는 50kHz이며, 펄스 에너지(1710)는 0.24mJ이며, 평균 전력(178)은 12W이다. 출력 전력(350)에 대한 전체 폭 절반 최대 펄스 폭(354)은 약 35ns이다. 피크 전력들(352, 353)은 펄스 폭들(355, 356) 증가에 따라 감소된다.

[0176] 도 36은 각각 3개의 상이한 펄스 폭들(367, 368, 369)에 대해 측정되는 출력 전력(360, 361, 362) 대 시간(275)을 나타낸다. 펄스 반복 주파수(176)는 100kHz이며, 펄스 에너지(1710)는 0.12mJ이며, 평균 전력(178)은 12W이다. 출력 전력(360)에 대한 전체 폭 절반 펄스 폭(126)은 약 35ns이다. 피크 전력들(363, 364, 365)은 펄스 폭들(367, 368, 369) 증가에 따라 감소된다.

[0177] 도 37은 각각 2개의 상이한 펄스 폭들(375, 376)에 대해 측정된 출력 전력(370, 371) 대 시간(275)을 나타낸다. 펄스 반복 주파수(176)는 200kHz이며, 펄스 에너지(1710)는 0.06mJ이며, 평균 전력(178)은 12W이다. 출력 전력(370)에 대한 전체 폭 절반 최대 펄스 폭(374)은 약 20ns이다. 피크 전력들(372, 373)은 펄스 폭들(375, 376) 증가에 따라 감소된다.

[0178] 도 19의 장치에서 시드 레이저 펄스(175)의 형상을 변화시킴으로써, 피크 전력(179)은 1Hz에서 200kHz로 펄스 반복 주파수들(176)의 범위에 걸쳐 5kW 레벨 이상으로 유지되면서, 0.1mJ을 초과하는 펄스 에너지들(1710)을 제공한다. 피크 전력(179)은 1Hz에서 500kHz로 펄스 반복 주파수들(176)에 대해 3kW 레벨 이상으로 유지되면서, 0.04mJ을 초과하는 펄스 에너지들(1710)을 제공한다. 함축적으로 이들 결과는 단지 2개의 증폭 스테이지로 임의의 SBS에 대한 증거 없이 달성된다.

[0179] 도 19의 장치에서 시드 레이저 펄스(175)의 형상을 제어하고 증폭기들(192, 193)의 게인을 증가시키고 이들의 상대적 게인을 제어함으로써, 20 내지 25W 사이의 평균 전력(178), 0.8 내지 1mJ 범위의 펄스 에너지(1710), 15-20ns 범위의 전체 폭 절반 최대 펄스 폭(374), 18-26kW 범위의 피크 전력(179), 1Hz 내지 25kHz의 펄스 반복 주파수(176)이 추가로 증명되었다. 함축적으로, 이러한 결과들은 단지 2개의 증폭 스테이지를 이용하고 임의의 SBS에 대한 증거 없이 달성된다.

[0180] 본 발명은 앞서 개시된 하나 이상의 레이저들 및 제어기들을 포함하는 물질 처리 기기(예를 들어, 절단, 용접, 드릴링, 마킹 또는 프로세싱 물질들) 형태일 수 있다.

[0181] 첨부된 도면들을 참조로 앞서 개시된 본 발명의 실시예들은 단지 예시적인 것으로 성능 강화를 위해 변형 및 부품 추가가 제공될 수 있다.

[0182] 본 발명은 단독으로 또는 임의의 조합으로 취해진 앞서 개시된 특징들로 연장될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0059] 본 발명의 실시예들은 첨부되는 도면들을 참조로 예시적으로 개시된다.

[0060] 도 1은 본 발명에 따른 장치를 나타낸다;

[0061] 도 2는 광섬유의 굴절률 프로파일을 나타낸다;

[0062] 도 3의 코어에 복굴절을 유도하는 스트레스 생성 영역들을 포함하는 광섬유를 나타낸다;

[0063] 도 4는 클래딩 펌프 증폭 광학 장치를 나타낸다;

[0064] 도 5는 물질을 처리하기 위한 레이저 형태의 장치를 나타낸다;

[0065] 도 6은 4개의 연속파 섬유 레이저들에서의 광흑화 효과를 나타낸다;

[0066] 도 7은 알루미나 도핑 실리카에서의 광흑화 효과를 나타낸다;

[0067] 도 8 내지 도 10은 3개의 상이한 섬유들에서 가속된 노화 테스트 결과를 나타낸다;

[0068] 도 11은 35ns의 펄스 폭 및 0.6mJ의 펄스 에너지를 갖는 20kHz 펄스들로 12W 평균 전력을 방출하는 마스터 발진 전력 증폭기(MOPA)에서의 광흑화 효과 소거를 나타낸다;

[0069] 도 12는 10kHz에서 변조된 섬유 레이저에서 광흑화 효과의 소거를 나타낸다;

[0070] 도 13은 바람직한 실시예의 굴절률 프로파일을 나타낸다;

[0071] 도 14는 타원형 페데스탈을 갖는 광섬유를 나타낸다;

[0072] 도 15 및 도 16은 200W 연속파 섬유 레이저들에서의 출력 전력 측정치들을 나타낸다;

[0073] 도 17은 마스터 발진 전력 증폭기(MOPA)를 나타낸다;

[0074] 도 18은 시드가 표면 방출 발광 다이오드(SLED)인 MOPA를 나타낸다;

[0075] 도 19는 반사기를 포함하는 MOPA를 나타낸다;

[0076] 도 20은 정상 동작시 펄스 형상들을 나타낸다;

[0077] 도 21은 추가의 스파이크들을 포함하는 펄스 형상들을 나타낸다;

[0078] 도 22는 거대 펄스의 예를 나타낸다

[0079] 도 23은 레이저 다이오드로부터의 통상적 스펙트럼을 나타낸다;

[0080] 도 24는 반사기를 갖춘 레이저 다이오드의 스펙트럼을 나타낸다;

[0081] 도 25는 반사기로서 사용되는 섬유 브래그 격자의 설계를 나타낸다;

[0082] 도 26은 섬유 브래그 격자의 측정된 반사율을 나타낸다;

[0083] 도 27은 상이한 반복률에 대한 출력 펄스들을 나타낸다;

[0084] 도 28은 시드 레이저에 의해 방출된 해당 펄스들을 나타낸다;

[0085] 도 29 및 도 30은 도 27 및 도 28에 도시된 펄스들이 각각 중첩된 것을 나타낸다;

[0086] 도 31은 반복 주파수를 갖는 펄스 에너지 및 피크 전력의 편차를 나타낸다;

[0087] 도 32는 펌프 전력이 증가됨에 따른 MPOA로부터의 출력 전력을 나타낸다;

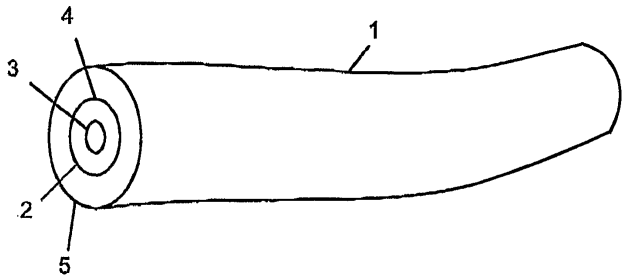
[0088] 도 33은 도 32에 도시된 펄스의 광학 스펙트럼을 나타낸다;

[0089] 도 34 내지 도 37은 출력 펄스의 형상에 대한 펄스 폭 및 펄스 반복 주파수 변화 효과를 나타낸다;

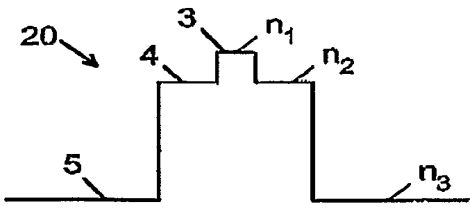
[0090] 도 38은 반사기 및 페데스탈을 포함하는 장치를 나타낸다.

도면

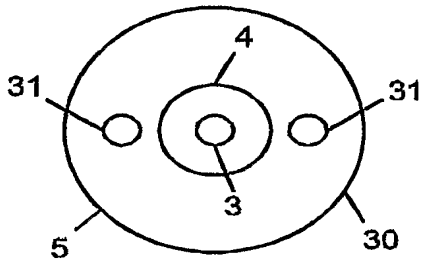
도면1



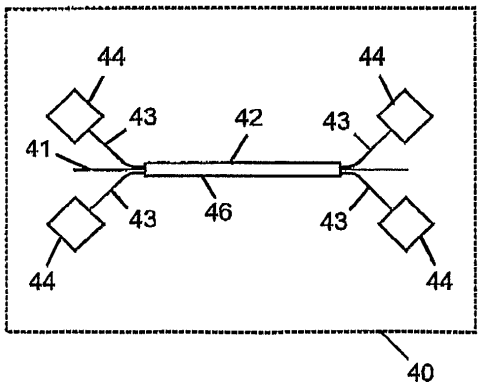
도면2



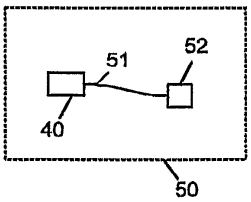
도면3



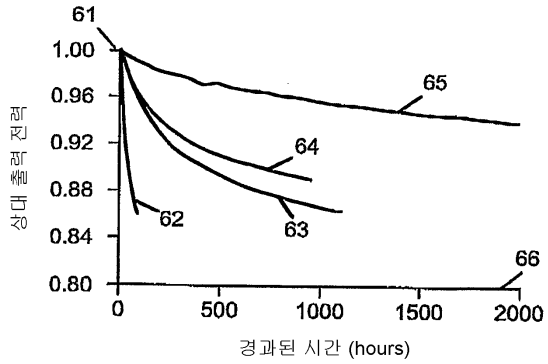
도면4



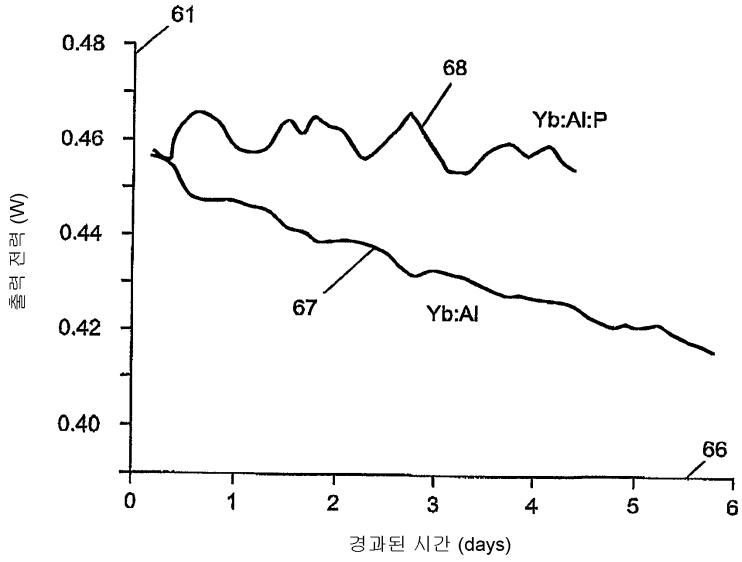
도면5



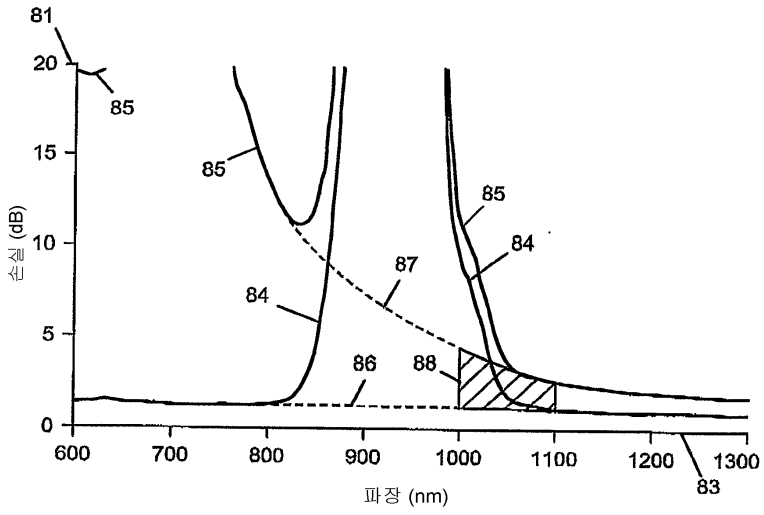
도면6


61
1.00
0.96
0.92
0.88
0.84
0.80
상대 출력 전력
65
64
62
63
66
0
500
1000
1500
2000
경과된 시간 (hours)

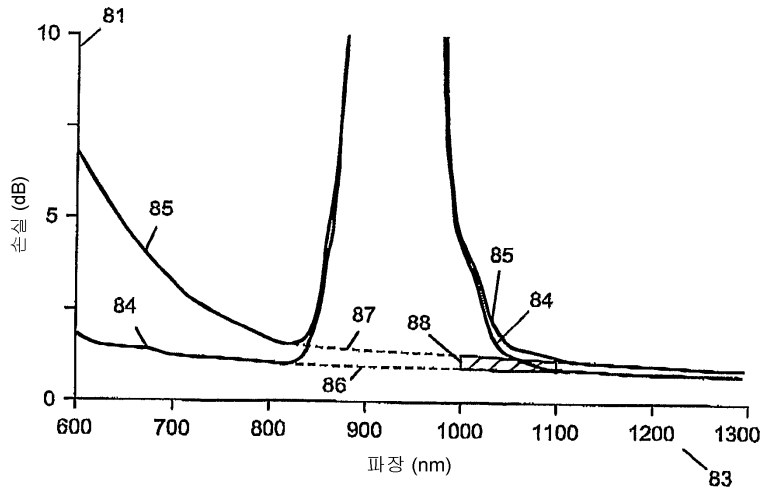
도면7


61
0.48
0.46
0.44
0.42
0.40
출력 전력 (W)
68
Yb:Al:P
67
Yb:Al
66
0
1
2
3
4
5
6
경과된 시간 (days)

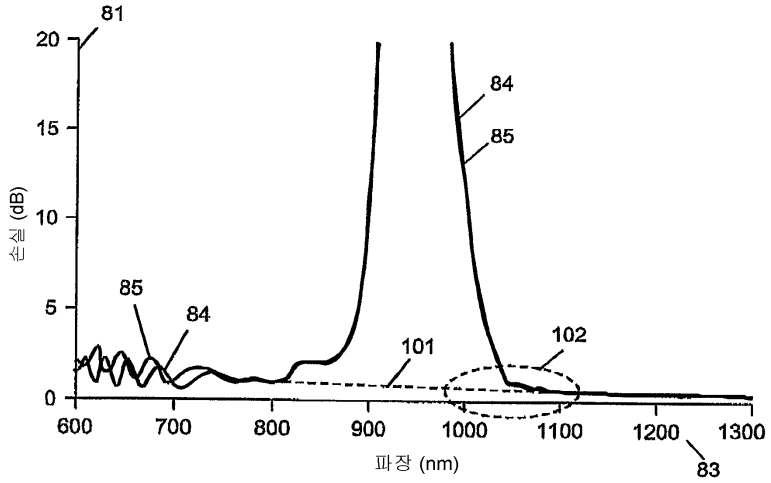
도면8


81
20
85
15
85
85
손실 (dB)
10
87
84
84
5
86
88
0
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
83
파장 (nm)

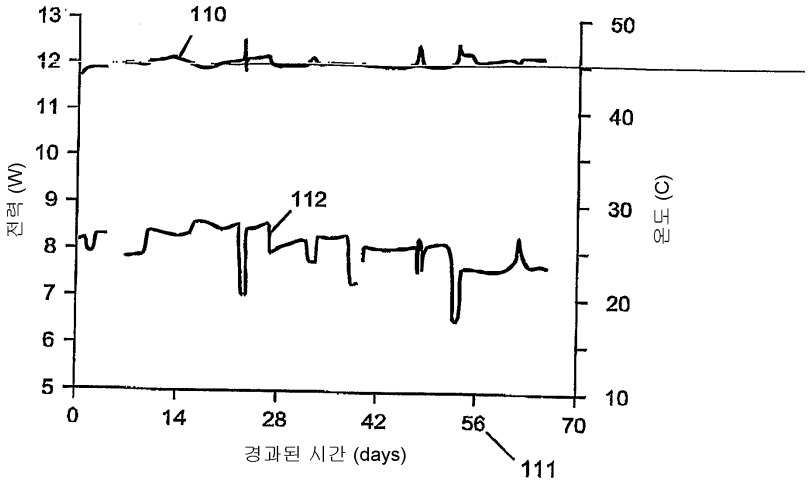
도면9


81
10
5
0
손실 (dB)
85
84
87
88
86
85
84
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
파장 (nm)
83

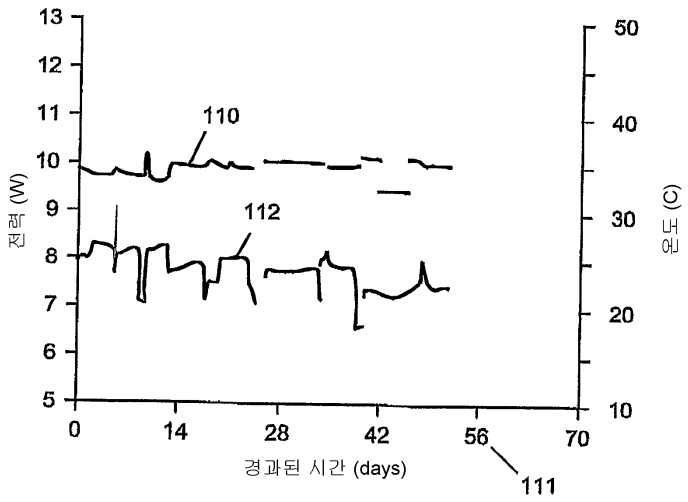
도면10


81
20
15
10
5
0
손실 (dB)
85
84
101
84
85
102
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
파장 (nm)
83

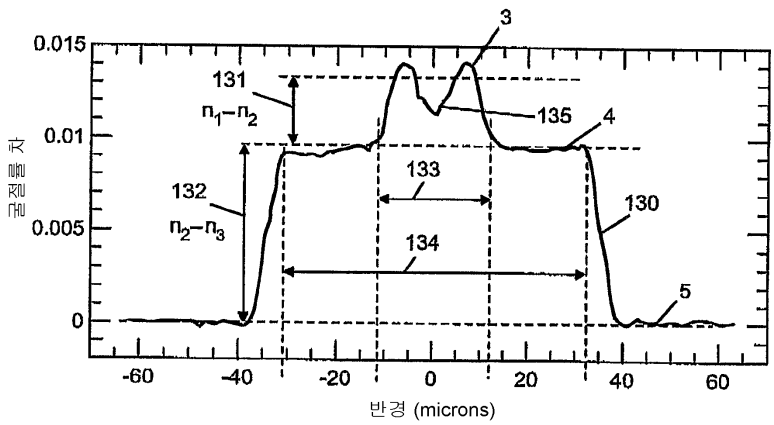
도면11



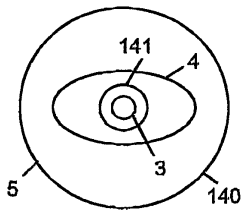
도면12



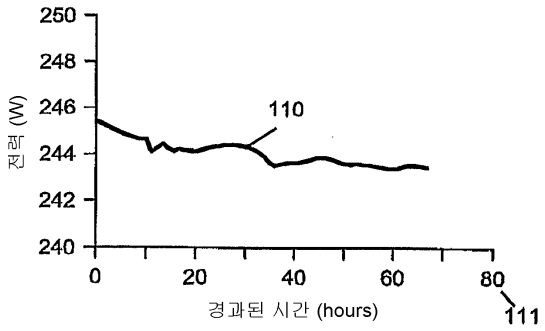
도면13



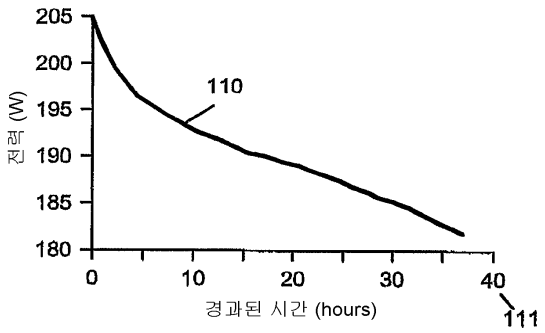
도면14



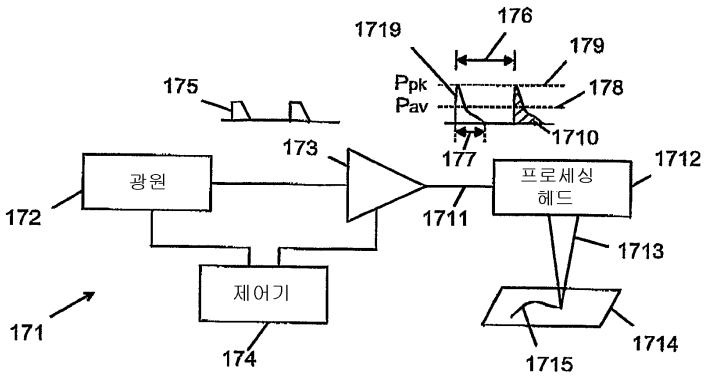
도면15



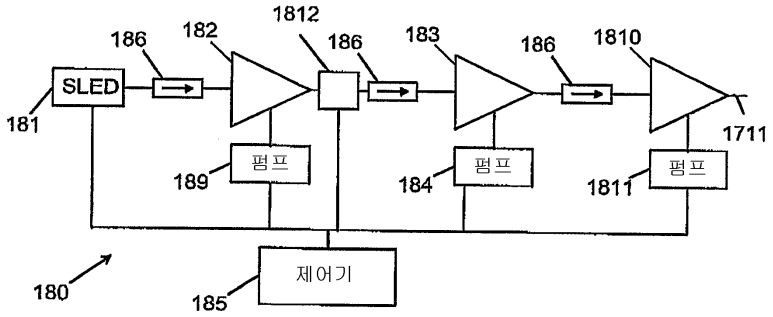
도면16



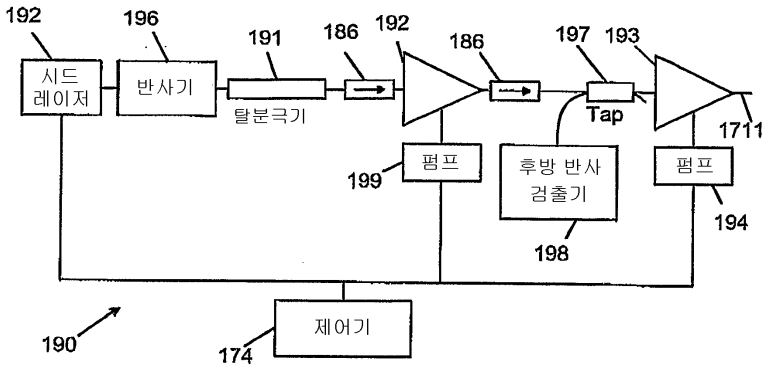
도면17



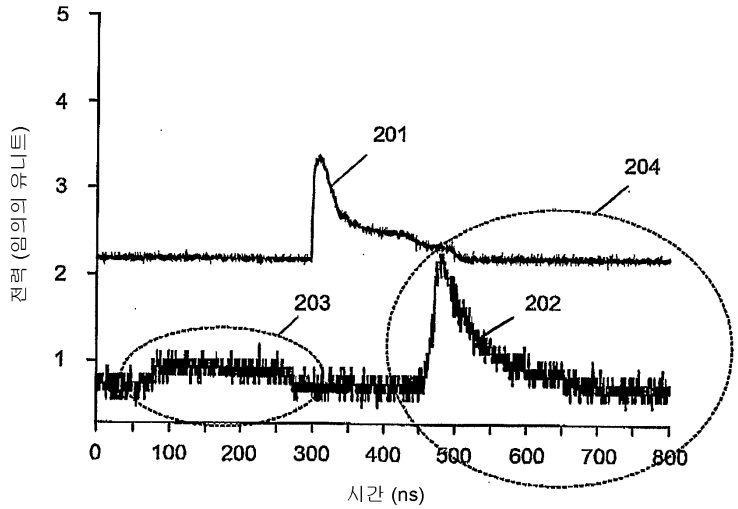
도면18



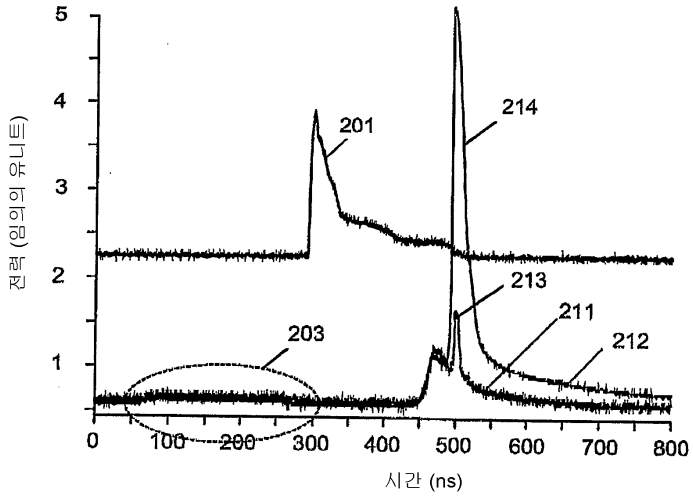
도면19



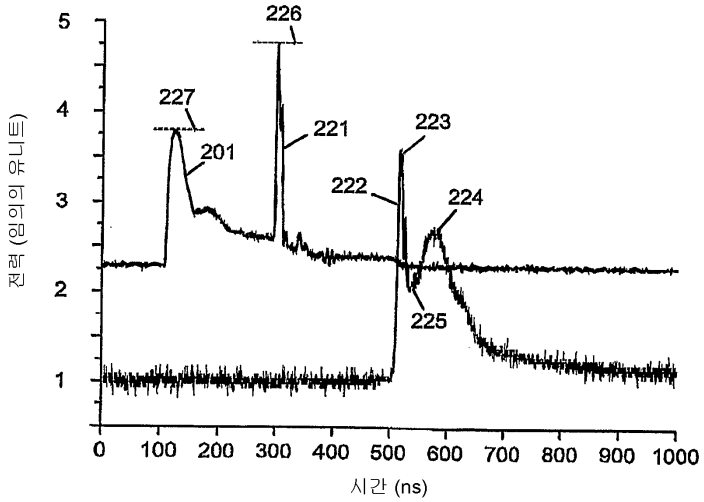
도면20



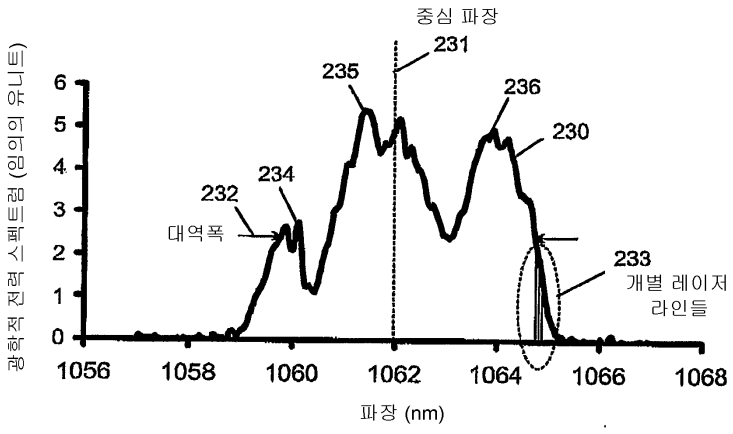
도면21



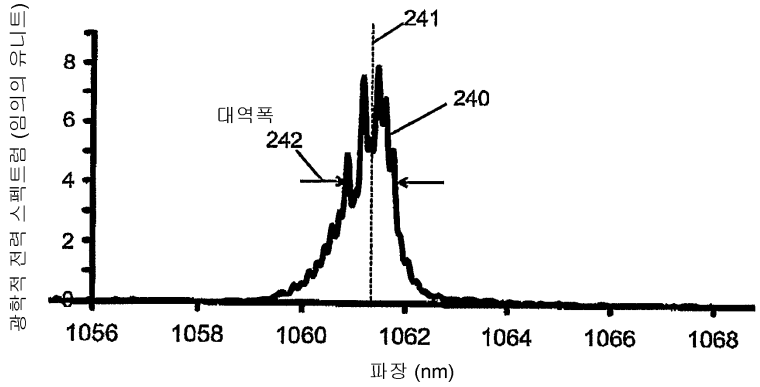
도면22



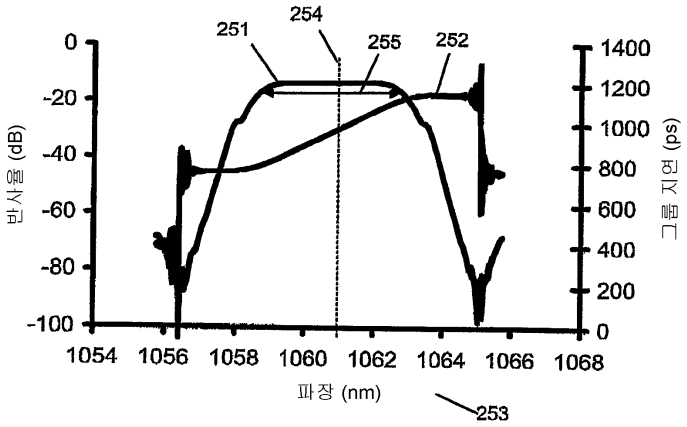
도면23



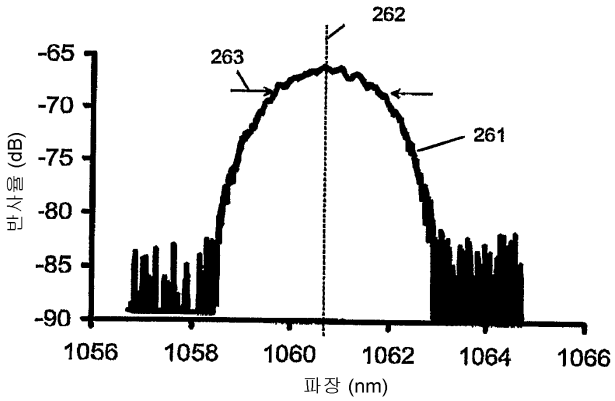
도면24



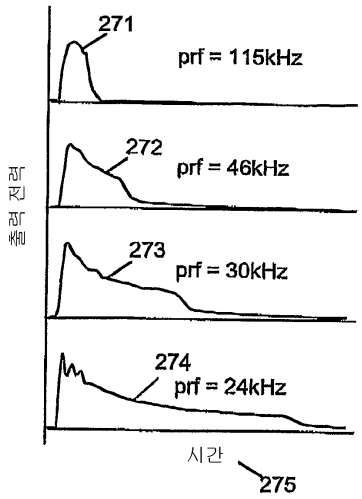
도면25



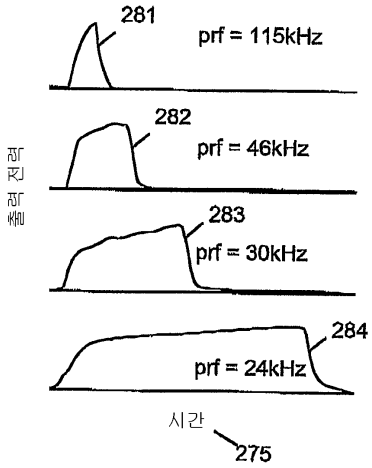
도면26



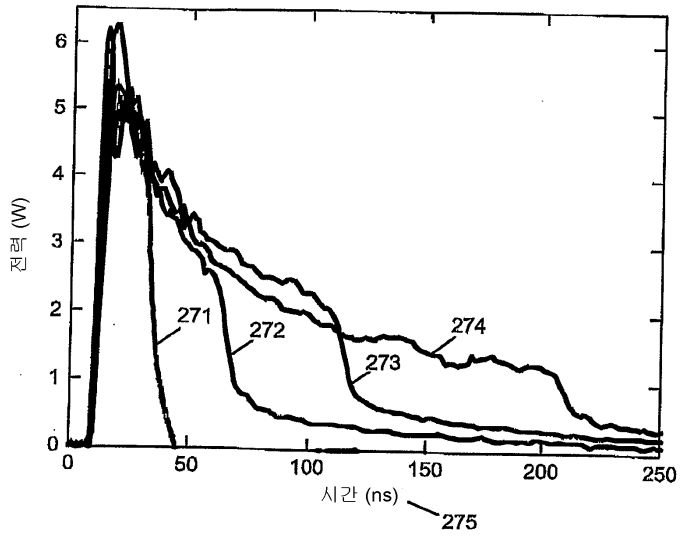
도면27


271
prf = 115kHz
272
prf = 46kHz
273
prf = 30kHz
274
prf = 24kHz
출력 전력
시간
275

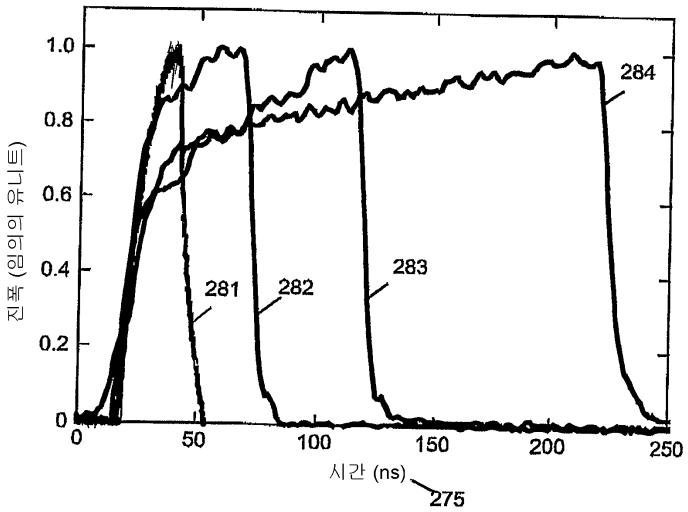
도면28


281
prf = 115kHz
282
prf = 46kHz
283
prf = 30kHz
284
prf = 24kHz
출력 전력
시간
275

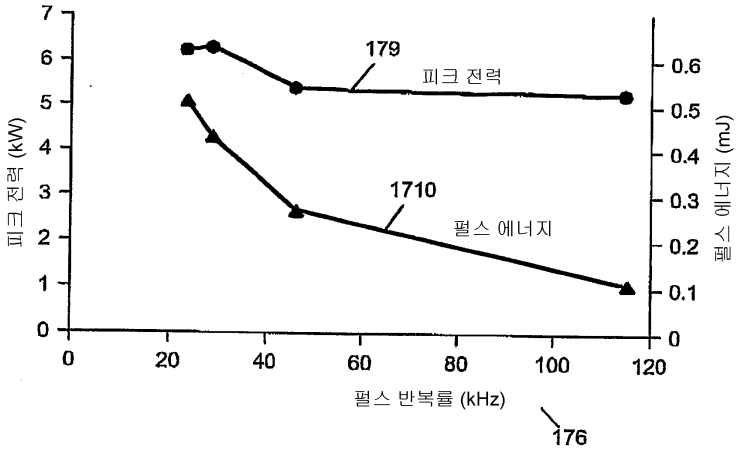
도면29



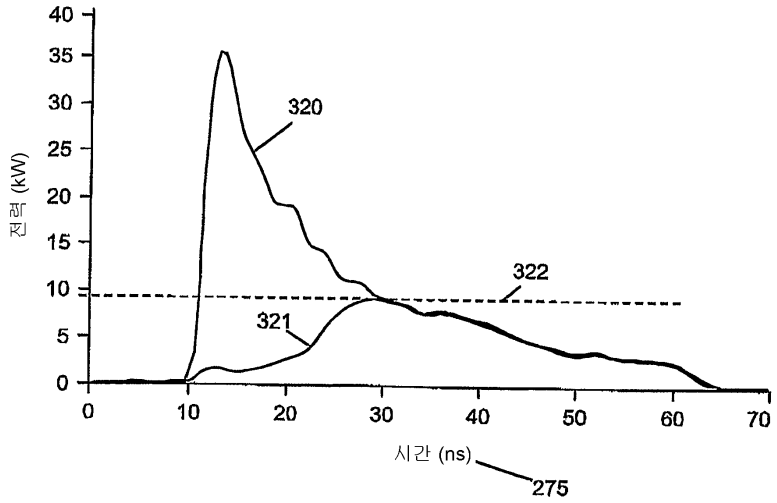
도면30



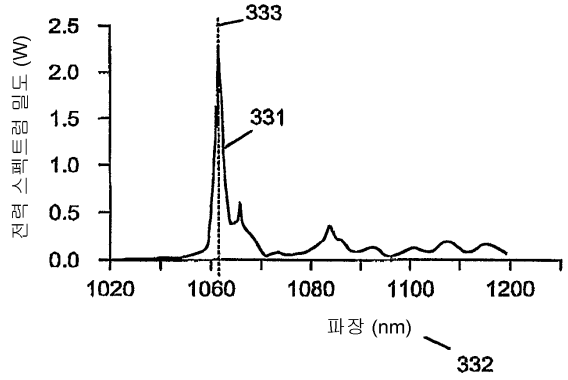
도면31



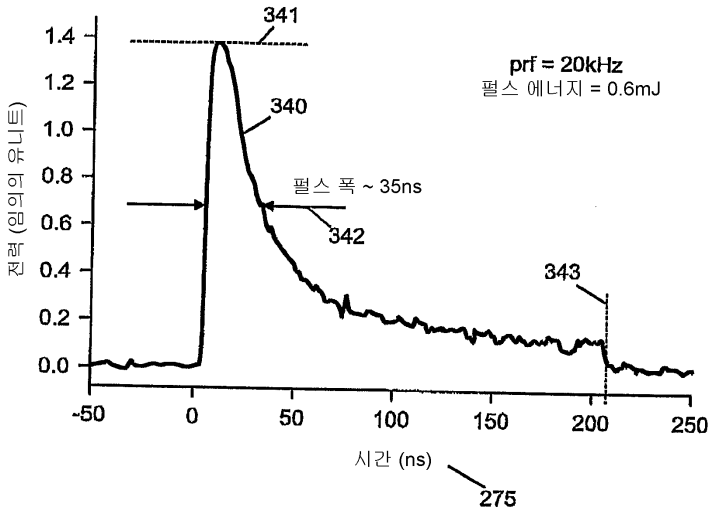
도면32



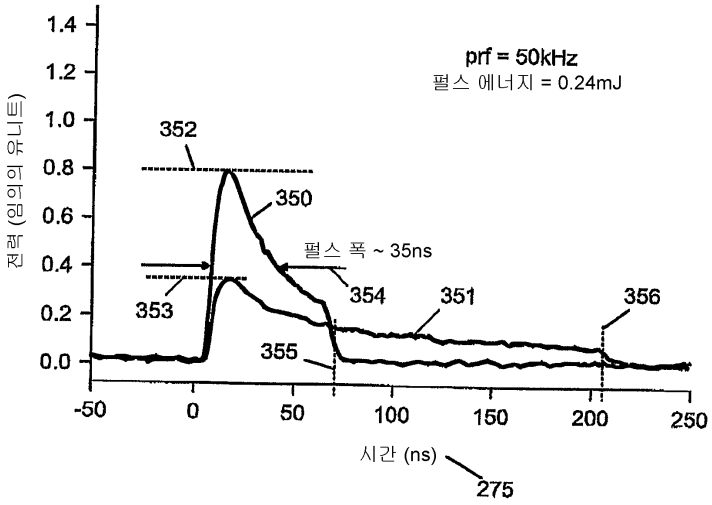
도면33



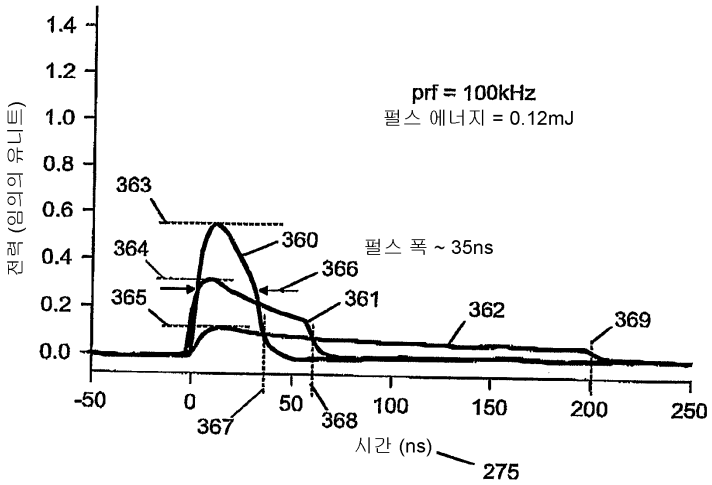
도면34



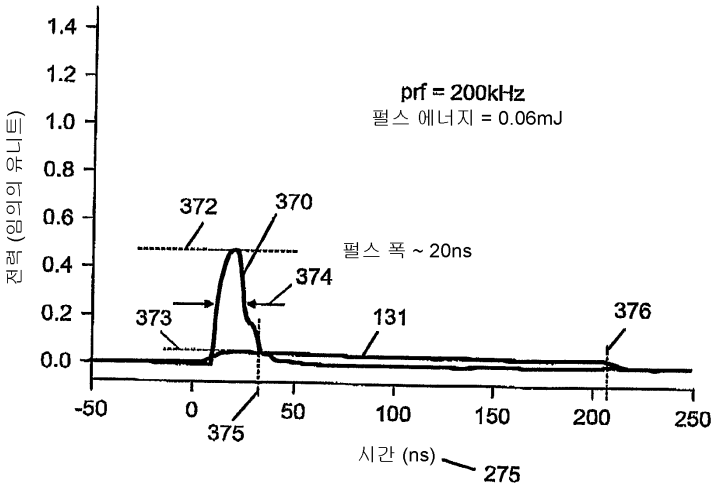
도면35


prf = 50kHz
펄스 에너지 = 0.24mJ
펄스 폭 ~ 35ns
352
350
353
354
351
356
355
275
전력 (임의의 유니트)
시간 (ns)
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-50
0
50
100
150
200
250

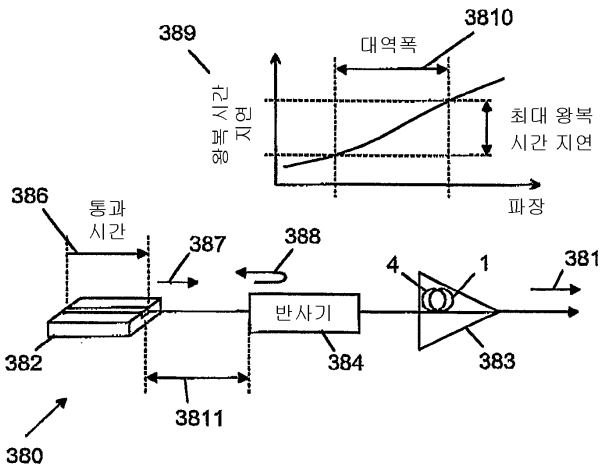
도면36


prf = 100kHz
펄스 에너지 = 0.12mJ
펄스 폭 ~ 35ns
363
360
364
366
365
361
362
369
367
368
275
전력 (임의의 유니트)
시간 (ns)
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-50
0
50
100
150
200
250

도면37


prf = 200kHz
펄스 에너지 = 0.06mJ
펄스 폭 ~ 20ns
전력 (임의의 유니트)
시간 (ns)
372
370
374
373
131
376
375
275

도면38


389
왕복 시간 지연
3810
대역폭
최대 왕복 시간 지연
파장
386
통과 시간
387
388
4
1
381
반사기
382
384
383
3811
380