(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0101880
(43) 공개일자 2017년09월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/067 (2006.01) *H01S 3/11* (2006.01)
H01S 3/131 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/06791 (2013.01)
H01S 3/06725 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7003349
(22) 출원일자(국제) 2015년12월15일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2017년02월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/065798
(87) 국제공개번호 WO 2016/100330
국제공개일자 2016년06월23일
(30) 우선권주장
62/091,817 2014년12월15일 미국(US)

(71) 출원인
아이피지 포토닉스 코포레이션
미합중국 메사추세츠 01540 옥스포드 올드 웹스터 로드 50
(72) 발명자
사마르체프 이고르
미국 01540 메사추세츠주 옥스포드 올드 웹스터 로드 50 아이피지 포토닉스 코포레이션 내
보드니욱 안드레이
미국 01540 메사추세츠주 옥스포드 올드 웹스터 로드 50 아이피지 포토닉스 코포레이션 내
(74) 대리인
양영준, 윤정호

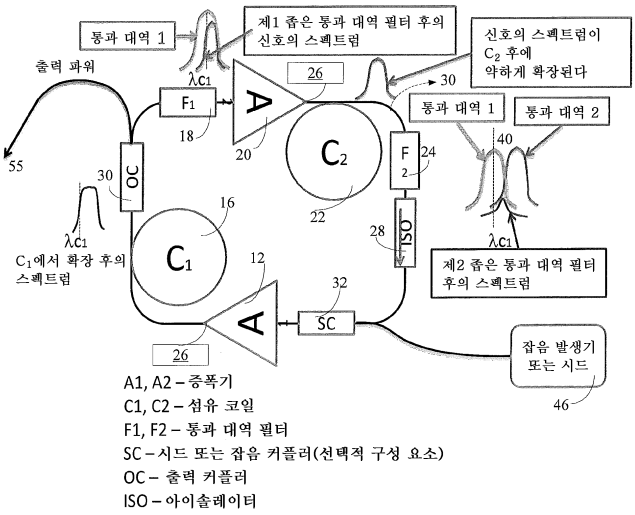
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 **수동적으로 모드 잠금된 섬유 링 발생기**

(57) 요 약

펄스 섬유 발생기는 펄스 트레인을 방출하도록 구성된 단방향 링 도파관으로 구성된다. 링 도파관은 다수의 섬유 증폭기, 제1 및 제2 섬유 증폭기의 각각의 출력에 결합된 처프 섬유 구성 요소, 및 처프 성분의 각각의 출력에 결합된 다수의 스펙트럼 필터를 포함한다. 필터는 링 공동에 유도된 비선형 프로세스에 응답하여 링 공동을 따라 빛의 누설을 제공하기 위해 서로 다른 중심 파장 주위에 센터링된 각각의 스펙트럼 통과 대역을 갖는다. 펄스 발생기는 예비 단계에서 피치를 신호로 발현시키도록 작동하며, 정상 단계에서, 신호의 단일 왕복당 최대 한번 펄스 트레인을 출력 커플러를 통해 출력하도록 작동한다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류
H01S 3/1112 (2013.01)
H01S 3/131 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

원하는 스펙트럼 폭, 지속 시간 및 에너지를 각각 갖는 펄스들의 트레인을 방출하며, 한 방향으로 이를 따라서 신호를 안내하는 링 공동을 형성하기 위해 서로 연결된 복수의 섬유 체인을 포함하는 섬유 펄스 발생기이며,

각각의 섬유 체인은,

신호의 강도를 원하는 강도로 증가시키도록 작동하는 섬유 증폭기;

신호의 스펙트럼 폭을 광 섬유의 출력에서 원하는 스펙트럼 폭으로 확장하기에 충분한 원하는 강도를 갖는 신호를 수신하는 광 섬유; 및

광 섬유의 출력에 결합되고 통과 대역을 갖는 스펙트럼 필터로 구성되고,

섬유 체인의 각각의 광학 필터의 통과 대역은 스펙트럼적으로 서로 이격된 각각의 주파수 성분에 센터링되어 신호가 순차적으로 각각의 필터의 통과 대역에 중첩될 수 있도록 하며,

섬유 체인 중 적어도 하나는, 광 섬유의 출력에 직접 결합되어 링 공동 외부로 원하는 스펙트럼 폭, 지속 시간 및 에너지를 갖는 펄스를 안내하도록 구성된 출력 커플러를 포함하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 2

제1항에 있어서,

섬유 증폭기에 결합되고 펄스의 파장과는 다른 파장을 갖는 CW 방사선을 각각 발사하는 복수의 펌프; 및

펌프를 턴 온하기 전에 신호를 발생시키기 위해 각각의 에탈론 펄스를 각각 출력하는 복수의 시드 소스로서, 상기 시드 소스는 펌프가 턴 온된 후에 단전되며, 에탈론 펄스는 신호 펄스의 반복률과는 다른 반복률로 링 공동 주위로 전파하고, 섬유 증폭기에 결합되었을 때, 내부에 축적된 에너지를 링 공동에서 Q 스위치 펄스를 발현하기에는 불충분한 에너지 수준으로 낮추는, 복수의 시드 소스를 추가로 포함하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 3

제2항에 있어서,

각각의 광학 필터의 중심 주파수들은 스펙트럼적으로 서로 중첩되지 않고, CW 방사선의 01.% 미만을 통과시키기 위해 연속파("CW") 방사선이 링 공동 또는 중첩부를 통해 전파하지 않도록 차단하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 4

제1항에 있어서,

복수의 펌프를 추가로 포함하고, 복수의 펌프 각각은,

먼저, 각각 2개의 섬유 체인의 섬유 증폭기, 섬유 및 필터를 통해 전파하는 적어도 하나의 피치를 포함하여, 그 피치를 원하는 스펙트럼 폭과 강도를 갖는 신호로 발현시키는데 도움을 주는, 필요한 스펙트럼 영역 내에 잡음을 발생시키기에 충분한 프리펄스를 출력한 후,

CW 방사선을 출력하도록 구성되고,

각각의 광학 필터의 중심 주파수들은 각각의 광학 필터의 통과 대역들이 서로 중첩하도록 스펙트럼적으로 이격되고, 중첩된 통과 대역들 사이의 스펙트럼 영역은 섬유 증폭기에 축적된 에너지를 Q 스위치 펄스를 발현하기에는 불충분한 수준으로 감소시키기에 충분한 링 공동을 따라 CW 방사선의 필터링되지 않은 부분의 순환을 제공하도록 구성되며, 필터는 서로 동일하거나 서로 상이한 각각의 투과 진폭으로 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 5

제4항에 있어서,

최고 투과율을 갖는 필터 중 하나의 최대 투과율의 10% 미만을 통과시키도록 구성된 스펙트럼 영역을 사이에 형성하기 위해 각각의 필터의 통과 대역이 서로 중첩하도록, 각각의 광학 필터의 중심 주파수가 이격되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 6

제5항에 있어서,

중첩된 구역은 최저 투과율을 갖는 다른 필터의 최대 투과율의 최대 0.1%를 통과시키도록 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 7

제4항에 있어서,

프리펄스는 몇 분의 1 밀리초에서 수 밀리초까지 다양할 수 있는 펄스 지속 시간 및 CW 펌프 신호의 파워보다 큰 파워를 갖는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 8

제1항에 있어서,

각각의 섬유 체인은 정상 순 분산 또는 변칙적 순 분산을 갖도록 구성되고, 스펙트럼적으로 확장된 신호 펄스는 섬유 체인을 통해 전파하면서 시간적으로 신장되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 9

제1항에 있어서,

링 공동을 형성하는 섬유 체인은 각각 제로 순 분산을 갖도록 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 10

제1항에 있어서,

스펙트럼적으로 확장된 신호 펄스는 선형적으로 처프된 펄스인, 섬유 펄스 발생기.

청구항 11

제1항에 있어서,

다른 광 섬유의 출력에 결합된 추가적인 출력 커플러를 추가로 포함하며, 원하는 스펙트럼 폭, 강도 및 에너지를 갖는 펄스는 절반의 왕복마다 링 공동으로부터 출력되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 12

제1항에 있어서,

각각의 스펙트럼 필터의 통과 대역은 각각의 동일한 대역폭 또는 동일한 진폭 투과율 또는 동일한 대역폭과 투과 진폭을 갖는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 13

제1항에 있어서,

각각의 스펙트럼 필터의 통과 대역은 서로 다른 대역폭을 갖고, 대역폭 중 하나는 다른 대역폭보다 최대 5배 더 큰, 섬유 펄스 발생기.

청구항 14

제1항에 있어서,

각각의 섬유 체인은 편광 유지(PM) 포맷으로 구성되거나, PM 포맷이 아닌, 섬유 펄스 발생기.

청구항 15

제7항에 있어서,

순차적으로 발사된 에탈론 펄스는 섬유 증폭기에 축적된 에너지를 링 공동에서 Q 스위치 펄스를 발현하기에는 불충분한 수준으로 낮추기 위해 각각 점진적으로 감소하는 진폭 또는 균일한 진폭을 갖는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 16

제1항에 있어서,

각각의 섬유 증폭기는 대향하는 비교적 작은 균일한 직경의 단부 영역 및 단부 영역의 직경보다 큰 직경을 갖는 중앙의 균일하게 구성된 영역을 구비하는 다중모드 코어를 갖고, 다중모드 코어는 신호 펄스의 작동 파장에서 기본 모드만을 지원하도록 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 17

제1항에 있어서,

각각의 섬유 증폭기는 단일 가로 모드 능동 섬유로 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 18

제16항 또는 제17항에 있어서,

각각의 증폭기의 각각의 대향 단부에 결합된 단일 가로 모드 수동 섬유를 추가로 포함하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 19

제1항에 있어서,

2개의 섬유 체인 사이에 결합된 적어도 하나의 아이솔레이터를 추가로 포함하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 20

제5항 또는 제7항에 있어서,

링 공동 내로 시드 소스와 펌프의 출력을 안내하는 입력 커플러를 추가로 포함하는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 21

제5항 또는 제7항에 있어서,

펌프는 각각의 증폭기의 측면 펌프 또는 단부 펌프로 구성되는, 섬유 펄스 발생기.

청구항 22

제1항에 있어서,

각각의 필터의 통과 대역 각각은 펄스의 원하는 스펙트럼 폭보다 좁거나 넓은, 섬유 펄스 발생기.

청구항 23

초고속 펄스를 생성하여 출력하는 링 공동 섬유 레이저이며,

하나가 다른 하나에 결합되어 링 공동을 형성하는 복수의 섬유 체인으로서, 각각의 섬유 체인은 섬유 증폭기, 펄스 처프 성분, 및 펄스 처프 성분의 출력에 결합되며 통과 대역을 갖는 광학 필터를 포함하는, 복수의 섬유 체인; 및

처프 성분의 출력에 직접 결합되어 링 공동 외부로 펄스를 안내하는 출력 커플러를 포함하고,

섬유 체인의 각각의 광학 필터의 통과 대역은 스펙트럼적으로 서로 이격된 각각의 주파수 성분에 센터링되는, 링 공동 섬유 레이저.

청구항 24

제23항에 있어서,

펄스 처프 성분은 광 섬유의 길이인, 링 공동 섬유 레이저.

청구항 25

섬유 링 공동 레이저에서 초단 펄스들의 트레인을 발생시키기 위한 방법이며,

각각 이격된 중심 파장에 센터링된 숏패스 및 롱패스 스펙트럼 필터를 통해 신호를 순차적으로 통과시킴으로써, 신호의 스펙트럼 영역의 각각의 단파장 및 장파장 서브 영역을 순차적으로 통과시키는 단계; 및

신호의 왕복당 적어도 한번 초단 펄스를 링 공동으로부터 분리시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 26

제25항에 있어서,

각각 필터링하기 전에 신호를 원하는 피크 강도로 증폭하는 단계; 및

필터링하기 전에 섬유 처프 성분에서 증폭된 신호를 스펙트럼적으로 확장시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 27

제26항에 있어서,

단파장 및 장파장 필터는 각각의 필터의 통과 대역이 서로 중첩하지 않도록 이격된 각각의 중심 파장을 갖는, 방법.

청구항 28

제26항에 있어서,

단파장 및 장파장 필터는 각각의 필터의 통과 대역이 서로 중첩하도록 이격된 각각의 중심 파장을 갖는, 방법.

청구항 29

제27항에 있어서,

제1 기간 동안 링 공동 내로 하나 이상의 에탈론 펄스를 주입하는 단계; 및

제1 기간 동안 링 공동 내부에 CW 및 피치 성분을 포함한 CW 방사선을 발생시키는 단계;

피치 성분을 신호로 발현시키는 단계; 및

피치 성분을 발현시키는 동안 에탈론 펄스의 주입을 중단하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 30

제28항에 있어서,

일정한 기간 동안 링 공동 내로 펌프의 프리펄스를 주입하는 단계; 및

그 후, 링 공동 내로 CW 방사선을 결합하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 단 펄스 섬유 링 레이저 시스템에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 서브 나노초 거대 처프 펄스(giant-chirped pulse)를 생성하도록 구성된 수동적으로 모드 잠금된 섬유 링 공동에 관한 것이다.

[0002] 용어 해설

[0003] 재료의 이상 분산은 점진적으로 증가하는 파장에 따라 굴절률이 증가하는 재료를 의미한다.

[0004] 대역폭은 입사 에너지를 통과하는 스펙트럼의 특정 부분을 나타내기 위해 사용되는 파장 범위이다.

[0005] 차단 범위는 필터에 의해 감쇄되는 에너지의 스펙트럼 영역을 나타내기 위해 사용되는 파장 간격이다.

[0006] 중심 파장(CWL)은 장단 파장 기울기에서의 최대 진폭의 절반 사이의 중간 지점이다.

[0007] 처프 펄스는 시간 영역에서 펄스를 가로질러 순간 중심 파장(주파수)이 변하는 펄스를 의미한다.

[0008] 원하는 펄스는 링 공동에서 생성된 원하는 스펙트럼 폭과 지속 시간을 갖는 펄스이다.

[0009] 분산은 주파수에 대한 재료 내에서의 광 전파 속도(또는 굴절률)의 의존성을 의미한다.

[0010] 아이솔레이터(isolator)는 한 방향으로만 빛을 투과시키는 장치를 의미한다.

[0011] 선형성은, 상식적으로, 서로 정비례하는 2개의 수량에서와 같이, 그래프에서 직선으로 표현될 수 있는 수학적 관계를 의미한다.

[0012] 선형 주파수 처프는 시간 영역에서 펄스를 가로질러 주파수가 선형적으로 변하는 펄스를 의미한다.

[0013] 비선형성은 인가된 전자기장에 대한 재료의 반응이 이 전자기장의 진폭에서 비선형적인 체제에서의 물질과 빛의 상호 작용이다.

[0014] 비선형 위상 획득은 전기장의 진폭에 따른 위상의 비선형 이득을 의미하며; 비선형 위상 획득의 징후 중 하나는 자기 위상 변조 비선형 현상으로 인한 광 펄스의 스펙트럼 성분의 확대이다.

[0015] 재료의 정상(양의) 분산은 점진적으로 증가하는 파장에 따라 굴절률이 감소하는 재료를 의미한다.

[0016] 광학 필터는 특정 파장 범위 내의 빛을 선택적으로 투과시키면서 나머지를 차단하도록 구성된다. 이들은 일반적으로 장 파장 전용(롱패스) 필터, 단 파장 전용(숏패스) 필터를 통과할 수 있다.

[0017] 광학 경로는 기하학적 경로와 굴절률의 곱이다.

[0018] 발진기의 주기성(경계) 조건은 링 공동을 각각 1회 통과한 이후의 펄스 매개 변수의 반복성이다.

[0019] 위상은 원점에 대해 경과한 파동 사이클의 일부이다.

[0020] 위상 변이는 일렬로 정렬되지 않은 2개의 다중 파동을 의미한다. 위상 변이는 각각의 동일한 파동들의 광학 경로에서의 차이에 기인할 수 있다.

[0021] 피치는 하나의 왕복(round trip)에서 다른 왕복까지 링 공동의 임의의 주어진 지점에서 서로 다른 특성을 갖는 초기에 링 공동을 따라 안내되는 빛에서 발현되는 펄스를 의미한다.

[0022] 펄스 지속 시간(τ_p)은 파워가 피크 파워의 적어도 절반이 되는 시간 간격의 폭이다(FWHM). 초단 펄스는 피코초-펨토초 펄스 지속 시간 범위 내의 펄스이다.

[0023] 펄스 에너지는 피크 파워와 펄스 폭의 곱이며(이는 정사각형 펄스 근사에서는 맞지만, 본 출원인은 NALM의 성능을 설명하기 위해 순간 강도가 더 높은 펄스의 일부에 대해 아래에서 논의하고 있기 때문에, 본 출원인은 이를 "시간적 펄스 강도 곡선 아래의 면적"으로 고쳐 말해야 한다), 본질적으로는, 펄스 내부의 면적이다.

[0024] Q-인자는 일반적으로 왕복당 소모된 에너지에 대한 저장된 에너지의 비율이다.

[0025] 스펙트럼 영역은 순간 주파수가 일정한 펄스(즉, 처프가 없는 펄스)에서도 유한한 스펙트럼 폭(대역폭)을 설명하는 광 펄스의 특성이다.

[0026] 자기 위상 변조(SPM)는 광 펄스의 강도에 대한 매질의 굴절률의 의존성에 기인한 현상이며, 광 펄스의 확장을 포함하여 스펙트럼 및 시간적 변조에 의해 발현된다.

[0027] 자기 유사 펄스("시밀라리톤(similariton)")는 비선형 프로세스에서 획득한 위상을 선형 주파수 처프로 변환할 수 있는 포물선 펄스를 의미한다.

[0028] 신호는 1회 왕복 동안 연속적으로 매개 변수를 변화시키지만, 후속 왕복 동안 링 공동의 임의의 주어진 지점에서 동일한 특성을 갖는 것을 특징으로 하는, 피치로부터 발현된 빛의 펄스를 의미한다.

[0029] 단 펄스는 서브 나노초 범위의 지속 시간을 갖는 펄스를 의미한다.

[0030] 솔리톤은 링 공동 전체에서 전파하는 동안 그 시간적 및 스펙트럼 형상을 보존하는 처프 펄스를 의미한다.

[0031] 시간적 영역은 광 파워(P)에 관련된 광 펄스의 특성, 즉, 짧은 시간 간격 내에서만 감지할 수 있으며 모든 다른 시간에서는 제로에 가까운 단위 시간당 에너지이다.

[0032] 과도 펄스는 원하는 펄스와는 다른 스펙트럼 폭과 지속 시간을 갖는(이는 특히 적시에 더 작거나 더 클 수 있다), 링 공동 주위에서 안내되도록 발현되는 펄스이다.

배 경 기 술

[0033] 높은 펄스 주파수 반복률과 조합되어 높은 펄스 피크 강도와 혁신적인 아키텍처를 제공하는 단 펄스 섬유 레이저 시스템은 전례 없는 품질, 정확성 및 속도를 갖는 구성 요소를 제조하는데 도움을 준다. 펄스의 짧은 지속 시간으로 인해, 열이 증착될 수 있는 것보다 짧은 시간에 레이저 에너지가 재료에 입력될 수 있으며, 이에 따라 부품에 대한 열 손상을 방지한다. 당연히, 산업용 서브 나노초 레이저 시스템은 의료 기기 시장에서부터 많은 다른 주요 산업에 이르기까지 광범위하게 응용될 수 있다.

[0034] 펄스 레이저 시스템은 반드시 레이저 공동을 갖는 펄스 발생기 또는 발진기로 구성된다. 공동 내에서 순환하며 손실보다 많은 이득을 갖는 주파수를 세로 모드(longitudinal mode)라 하며, 독립된 발진기들의 조립체로서 간주될 수 있다. 공동 내에서 순환하는 동안, 세로 모드들은 여기서 특히 관심이 가는 링 공동으로 구성된 섬유 레이저의 경우 $\Delta F = v/L$에 의해 분리되며, 여기서, L은 공동의 길이이고, v는 빛의 속도이다. 이 모드들은 서로 독립적으로 발진하며, 레이저는 계속 방출한다. 그러나, 다양한 모드들 간에 고정된 위상 변이가 존재하는 경우에는, 공동은 펄스 열을 방출하고, 모드 잠금된다.

[0035] 초단 펄스를 발생시키는 여러 방법이 공지되어 있다. 이러한 방법 중 하나인 수동 모드 잠금이 개시된 요지의 일부이다. 수동 모드 잠금의 단서는 증가하는 피크 강도에 대해 비선형 응답을 갖는 적어도 하나의 구성 요소의 링 공동 내에서의 존재이다. 수동 모드 잠금 방법을 실시하는 여러 아키텍처가 공지되어 있다.

[0036] 이러한 아키텍처 중 하나는 도 1에 도시된 링 공동을 이용하여 가장 잘 알 수 있는 비선형 편광 회전(NLPR)이다. 2개의 편광 제어기 사이에 배치된 편광 아이솔레이터는 모드 잠금 요소로서 작용한다. 이는 아이솔레이터를 떠나는 빛이 선형적으로 편광되도록 아이솔레이터와 편광기의 이중 역할을 수행한다. 아이솔레이터 다음에 배치된 편광 제어기는 편광 상태를 타원형으로 변화시킨다. 편광 상태는 직교하여 편광되는 구성 요소들에 부과되는 자기 위상 및 교차 위상 유도 위상 변이 때문에 펄스의 전파 중에 비선형적으로 전개한다. 편광의 상태는 비선형 위상 변이의 강도 의존성 때문에 펄스를 가로질러 불균일하다. (아이솔레이터 앞에 있는) 제2 편광 제어기는 펄스의 중심부에서 편광을 선형화하도록 조정된다. 편광 아이솔레이터는 펄스 중앙의 강한 부분은 통과시키지만, 저 강도의 펄스 윙은 차단(흡수)한다. 최종 결과, 펄스는 링 공동 내부를 1회 왕복한 후 단축된다. 따라서, 복굴절 섬유와 함께 공조하는 편광 의존형 아이솔레이터는 강도 의존 손실을 발생시킬 수 있다.

[0037] 솔리톤, 전적으로 정상적인 공동 분산을 일반적으로 갖는 이득 안내 솔리톤 및 시밀라리톤을 포함한 NLPR 아키텍처를 사용하여, 다양한 초고 에너지 펄스가 성공적으로 발생될 수 있다. 그러나, 편광 제어기는 미세 제어 시스템에 의한 복잡한 피드백을 필요로 한다. NLPR 프로세스는 환경 변화 및 패키징 조건에 민감하다. 그 결과, 주기성 조건, 즉, 레이저 공동의 각각의 왕복 후에 일정한 위치에서의 펄스 특성의 재현성을 만족시키기 어렵다.

[0038] 간섭계형 섬유 아키텍처는 2개의 일반적인 유형, 즉, 도 2a에 도시된 비선형 광학 루프 미러(NOLM)와 도 2b에 나타낸 비선형 증폭 루프 미러(NALM)를 갖는다. 이 장치들은 모두 사냑(Sagnac) 간섭계의 작동에 따라 동작한다. 후자는 루프를 형성하도록 출력 포트들이 함께 결합된 용융 섬유 커플러로 구성되며, 50%로 균등하게 분할하지 않는 커플러에 의해(NOLM), 또는 커플러의 포트 중 하나에 더 가깝게 인-라인 섬유 증폭기를 포함시킴으로써(NALM), 역 전파 강도(Ic(시계 방향), Icc(반시계 방향))들이 달라진다.

[0039] 불균등한 강도를 갖는 광학 레플리카는 비선형 굴절률로 인해 차동 위상 변이를 취득한다. 예컨대, 도 2a에서, 커플러는 강도(Icc)를 갖는 반시계 방향으로 전파하는 레플리카에서 반송되는 (50-n)%(Icc)와 시계 방향 레플리카에서 반송되는 (50+n)%(Ic) 사이에서 신호의 광 강도를 분할한다. 따라서, 시계 방향 레플리카의 Ic가 섬유의 비선형 응답을 유발하기에, 즉, SPM을 유도하기에 충분히 강하고, 다른 레플리카의 Icc가 낮으면, 서로 다른 순간 강도를 갖는 역전파 레플리카들의 부품들 사이에 상당한 차동 위상 변이가 축적될 것이다. 용융 커플러를 통해 전파하며, 레플리카들은 서로 간섭한다. 고강도 펄스 팁에 대응하는 비-매칭 위상을 얻는 레플리카의 일

부만이 루프를 통해 전파하는 동안 SPM 프로세스의 결과로서 구조적으로 간섭하여, 공지된 NALM을 형성한다.

[0040] 간섭계형 모드 잠금 아키텍처에 따라 구성된 레이저는 이 특별한 접근법의 실용적인 장점 또는 단점에 대한 논의를 상당히 어렵게 만드는 비교적 새롭고 거의 사용되지 않은 구조를 나타낸다. 그러나, NLPR과 마찬가지로, NOLM/NALM 아키텍처는 원하는 안정성을 갖지 않을 수 있으며, 즉, 출력 펄스가 균일하지 않을 수 있다. 펄스 불균일성은 불량한 레이저 성능으로 이어진다. 또한, NLPR과 마찬가지로, NOLM/NALM 아키텍처는 간단하지도 않고, 특히 경제적이지도 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0041] 따라서, 균일하고 고 에너지의 서브 나노초 광 펄스를 출력할 수 있는 간단하고 견고한 구조를 갖는 링 공동 펄스 발생기에서 수동 모드 잠금을 실시하도록 작동하는 완전히 새로운 아키텍처에 대한 수요가 존재한다.

과제의 해결 수단

[0042] 처프 펄스를 발생시키도록 설계된 모든 공지된 아키텍처와 대조적으로, 개시된 링 공동은 비선형 응답을 갖는 단일의 개별 요소가 없다. 즉, 펄스가 각각의 개별 요소를 통해 전파할 때, 스펙트럼 성분의 강도가 선형적으로만 변한다.

[0043] 본 발명의 구조에서의 비선형 효과는 링 공동 내부에서 펄스가 전개되는 동안 새로운 스펙트럼 성분이 발생한 결과이다. 서로 다른 중심 파장에 센터링되고 피크 강도가 비선형적으로 변하는 2개의 스펙트럼 필터를 펄스가 통과하도록 하는 것은 이 새로운 스펙트럼 성분이다. 새로운 스펙트럼 성분은, CW 및 Q 스위칭과 마찬가지로, 다른 유형의 발생에 비해 모드 잠금의 낮은 손실로 인해, 모드 동기화 프로세스를 매우 경쟁력 있게 만든다.

[0044] 본 발명의 구조는 솔리톤, 시밀라리톤 등을 포함하는 다양한 유형의 펄스를 발생시킬 수 있으며, 거대 처프를 갖는 초단 펄스의 발생에 특히 유리하다. 거대 처프 펄스 발생의 경우, 단 펄스 발생기의 수동 모드 잠금 체제를 확립하기 위한 2개의 단계, 즉, (a) 넓은 펄스로부터 스펙트럼이 좁은 펄스를 필터링하는 단계와, (b) 장 섬유에서 빛에 영향을 미치는 비선형 효과로 인해 주파수 영역과 시간 영역 모두에서 형성된 좁은 펄스를 확장시키는 단계가 중요하다. 이 2개의 단계의 결과가 도 3의 양으로 처프된 선형 펄스이며, 즉, 최초의 펄스에 비해 스펙트럼 영역과 시간적 영역 모두에서 확장되고 펄스를 가로질러 반송 주파수가 선형적으로 변하는 펄스이다. 반송 주파수의 선형성은 이와 같이 신장된 펄스의 추가 압축에 중요하다.

[0045] 처프 펄스를 출력하는 이유는 레이저 기술 분야의 기술자에게 공지되어 있으며, 레이저(및 증폭기)로부터 이용 가능한 펄스 피크 강도를 다소 감소시켜야 하는데, 그렇지 않으면, 유해한 비선형 효과와 광학 손상이 펄스 발생기(및 증폭기)의 작동을 약화시키기 때문이다. 펄스 지속 시간 또는 처핑을 확장하고, 피크 파워를 안전한 수준으로 유지한 다음, 후속하는 하나 또는 다수의 증폭 단계 후에 원래의 지속 시간으로 출력 펄스를 압축함으로써, 이 문제에 대한 해결책이 밝혀졌다.

[0046] 본 발명의 거대 처프 펄스 발생기는 한 방향으로 빛을 안내하는 링 섬유 도파관 또는 공동으로 구성된다. 섬유 도파관은 링 섬유 도파관 내에 링 전파의 원하는 방향성을 제공하는 섬유 아이솔레이터를 포함한다. 링 섬유 도파관을 구성하는 복수의 모든 섬유 구성 요소는 다수의 섬유 체인으로 조직되며, 각각의 섬유 체인은 하나의 증폭기, 하나의 섬유 코일 및 하나의 스펙트럼 필터를 반드시 포함한다. 본 발명의 펄스 발생기의 기동 단계에서, 외부의 시드 소스로부터 발사된 에탈론 펄스 또는 펌프에 의해 인공적으로 유도된 잡음에 응답하여, 연속파(CW) 성분 또는 피치 성분(들)을 특징으로 하는 원하는 스펙트럼 범위 내에서 제1 섬유 증폭기에서 자연 방출이 증폭된다(ASE). 제1 섬유 코일을 통해 전파하면서, 피치는 다소 스펙트럼적으로 그리고 시간적으로 확장되며, 제1 필터에서 더 스펙트럼적으로 필터링된다. 예컨대, 피치의 장 파장 서브 영역이 원하는 방향으로 더 전파하지 못하도록 필터링된다.

[0047] 필터링된 펄스 성분은 제2 섬유 코일을 통해 전파하면서 자기 위상 변조(SPM) 비선형 효과를 유도하기에 충분한 피크 강도로 제2 증폭기에서 더 증폭된다. SPM은 중심 성분 주위에서 새로운 주파수 성분 또는 모드의 발생에 의해 나타나는 펄스 성분의 스펙트럼 및 시간 확장에 의해 나타난다. 새로 발생된 주파수 성분 중 일부는 제1 필터와는 대조적으로 피치의 단 파장 서브 영역을 차단하는 제2 필터의 주파수 통과 대역에 부분적으로 중첩한다. 새로운 스펙트럼 성분의 발생은 피치, 즉, 자기 위상 변조 현상을 유도하기에 충분한 동기화된 모드를 갖는 피치의 특정 피크 강도에서만 가능하게 된다.

[0048] 피치의 순환은 발현되는 펄스 성분을 각각 증폭하고 스펙트럼적으로 그리고 시간적으로 확장하며 마지막으로 필터링하도록 다시 구성된 제1 증폭기, 섬유 코일 및 필터 조합의 제1 그룹을 통해 계속될 수 있다. 이와 같이 발현되는 피치는 결국 제2 증폭기에서 마지막으로 원하는 피크 강도로 증폭되며, 이 원하는 피크 강도는 제2 필터의 통과 대역을 완전히 커버하는 피치의 이러한 확장에서 중요하다. 이 시점에서, 피치는 제2 필터에서 손실되었지만 다음의 제1 증폭기에서 완전히 보상된 다소 감소된 피크 강도를 갖는 원하는 신호로 스펙트럼적으로 발현된다. 제1 섬유 코일에서 스펙트럼적으로 그리고 시간적으로 확장된 후속 신호의 미리 정해진 백분율이 스펙트럼 압축되기 전에 적어도 하나의 증폭 단계에서 더 증폭될 원하는 스펙트럼 폭, 강도 및 에너지를 갖는 펄스로서 링 도파관 외부로 안내된다.

[0049] 개시된 펄스 발생기의 기동은 잡음을 생성하기 위한 외부 소스를 필요로 하며, 이 잡음은, 증폭되었을 때, 연속파 발생의 스펙트럼과 비교하여 변화하는 펄스의 스펙트럼 확장을 생성하도록 작동하다. 본 발명의 구조에서, 저 주파수 잡음 또는 CW 발생은 좁은 라인 통과 대역을 갖지만 펄스 체제의 정상 상태 스펙트럼과 비교하여 다른 중심 주파수를 갖는 다수의 공간 필터의 작동으로 인해 실질적으로 증폭될 수 없다. 본 발명의 펄스 발생기에서 기동 체제의 구성은 일종의 외부 잡음 발생 소스에 의존한다. 특히, 다수의 필터들 간의 스펙트럼 관계는 외부 소스 구성의 직접적인 결과이다.

[0050] 하나 기동 체제에서, 다이오드 레이저와 같은 외부 소스는 개시된 펄스 발생기의 작동 파장과는 다른 파장에서 빛을 출력하는 펌프로서 작동한다. 이 실시예에서, 본 발명의 펄스 발생기는 중첩된 통과 대역을 갖는 스펙트럼 필터로 구성된다. 이러한 필터 구성은 CW 좁은 라인 발생의 구분을 제공하며, 이는 양자 또는 다른 유형의 잡음 및/또는 엄청나게 높은 에너지를 갖는 Q 스위치 펄스로부터 자연스럽게 형성될 수 있다.

[0051] 그러나, CW 성분은 레이저 모드 잠금의 과도 단계에서 개시된 펄스 발생기의 적절한 기능성에서 중요한 역할을 한다. 각각의 증폭기는 상당한 에너지 축적을 특징으로 한다. 이 증폭기들을 통과하는 피치는 펄스 발생기뿐만 아니라 다음의 증폭 단계를 완전히 파괴시킬 수 있는 엄청나게 높은 피크 강도를 증폭기 출력에서 가질 수 있다. 이러한 축적 에너지를 다소 감소시키기 위해, 이득 매질에서 밀도 반전을 감소시키는 것이 바람직하다. 이는 증폭기에서 전체 축적 에너지를 감소시키기 위해 미미한 이득이 제공될 수 있는 CW 성분에 의해 실현된다. 감소된 축적 에너지는 피치의 감소된 펄스 피크 강도 및 에너지에 기여한다. 각각의 필터의 중첩된 통과 대역 사이에 필터링되지 않은 스펙트럼 영역이 형성되면, CW 성분이 링 도파관을 따라 이 영역을 통해 안내될 수 있고, 축적 에너지의 감소를 달성할 수 있다.

[0052] CW 펌프를 특징으로 하는 실시예의 다른 양태는 두 필터의 미리 정해진(및 균일한) 스펙트럼 폭을 피치가 통과할 수 있도록 하는 원하는 스펙트럼 영역에서 자연 방출의 증폭에 관한 것이다. 원하는 스펙트럼 영역에서 이러한 증폭은 펌프 광의 특수한 형태에 의해 보장된다. 우선, 필요한 스펙트럼 영역 내에서 잡음을 발생시키기 위해 수십 마이크로초 내지 밀리초 펌프 프리펄스의 고 파워 짧은 지속 시간을 방출하도록 펌프 출력이 제어된다. 따라서, 프리펄스는 주파수 및 시간 영역에서 잡음 분포의 위상 공간을 채워야 한다. 그 다음, 펌프의 입력에서 전류 신호가 중단되고, 프리 펄스(들)에 제공된 에너지는 두 필터의 대역폭에 대응하는 원하는 스펙트럼 영역 내에서 하나 이상의 작은 강도 피크를 증폭하기에 충분하다. 그 후, 펌프는 초기 펌프 신호(들)보다 진폭이 낮은 CW 방사선을 출력하며, 이는 피치가 원하는 신호로 발현되고 모드 잠김 체제를 확립할 수 있도록 한다.

[0053] 다른 실시예에서, 기동 체제에는 펄스 발생기의 작동 파장에서 에탈론 펄스 또는 펄스들을 발사하는 시드가 제공된다. 이 펄스들은 시드 이후에 언젠가 턴 온되는 펌프로부터의 펌프 광에 응답하여 링 도파관에서 발생된 피치와 동일하거나 상이할 수 있는 반복률로 링 도파관을 따라 안내된다. 시드가 스위치 오프된 후에 이 에탈론 펄스들은 사라지지만, Q 스위치 펄스의 발생을 방지하기 위해 증폭기에 저장된 에너지의 초과량이 적절하게 안전한 수준으로 감소하기 전에는 사라지지 않는다. 이 실시예에서, 필터들은 각각의 통과 대역 중첩을 갖거나 갖지 않을 수 있다.

[0054] 소멸성 솔리톤 또는 시밀라리톤의 발생의 정상 자기 시동 체제에서, 개시된 펄스 발생기는 개별 비선형 요소를 각각 갖는 NOLM/NALM 및 NLPR과 같은 다른 링 아키텍처와 유사하게 작동한다. 이는, 안정적인 체제에서, 그러한 요소는 펄스의 전개에 실질적으로 영향을 미치지 않지만, 잡음으로부터의 펄스 형성을 위해서만 필요하기 때문이다. 그러나, 안정적인 체제에서, 본 발명의 펄스 발생기는 신호 광이 공동을 반복적으로 통과하는 선형 공동과는 달리 각각의 왕복에서 최대 한번 원하는 처프 펄스를 출력하도록 작동한다. 이러한 출력의 실현은 섬유 코일 중 어느 하나로부터 바로 하류에 배치된 출력 커플러, 또는 각각의 섬유 코일로부터 바로 하류에 배치된 2개의 출력 커플러 중 어느 하나를 포함한다. 2개의 출력 커플러의 경우, 처프 펄스는 절반의 왕복마다 링 도파관 외부에 결합된다.

도면의 간단한 설명

[0055] 개시된 펄스 발생기의 상기 및 다른 특징은 도면과 함께 제공된 다음의 구체적인 설명으로부터 보다 용이하게 명백해질 것이다.

도 1은 NLPR 아키텍처에 기초한 펄스 발생기의 공지된 구성이고;

도 2a 및 도 2b는 각각 NOLM 및 NALM 아키텍처의 공지된 구성이며;

도 3은 공지된 선형 처프 펄스이고;

도 4는 본 발명의 펄스 발생기의 광학 개략도이며;

도 5a 내지 도 5c는 기동 및 안정적인 펄스 생성 체제에서 펄스 발생기의 작동 원리를 도시하고 있고;

도 6a 내지 도 6d는 도 4 및 도 5c의 펄스 발생기의 필터를 통과할 때의 신호 스펙트럼을 도시하고 있으며;

도 7a 및 도 7b는 본 발명의 펄스 발생기의 다른 기동 체제에서 외부 소스의 작동 원리를 도시하고 있고;

도 8은 도 4의 개시된 펄스 발생기에 통합된 이득 블록의 개략도를 도시하고 있으며;

도 9는 도 4의 레이저에서 변경된 이득 블록의 개략도를 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0056] 서론으로서, 개시된 수동적으로 모드 잠금된 펄스 발생기는 안정적인 모드 잠금된 작동을 가능하게 하는 비선형 응답을 서로 조합하여 생성하는 다수의 특수 필터를 포함한 신규한 아키텍처로 구성된다.

[0057] 도 4는 다수의 섬유 증폭기(12, 20) 중 하나의 출력이 다른 섬유 증폭기를 시드(seed)하는 링 도파관 또는 링 공동(10)으로 구성된 본 발명의 펄스 발생기를 도시하고 있다. 제1 및 제2 증폭기(12, 20)들 사이에서, 2개 이상의 동일한 섬유 요소 그룹 또는 체인이 함께 결합되어 링 공동(10)을 형성한다. 섬유 증폭기 이외에, 각각의 체인은 신호의 주기적인 스펙트럼 및 시간적 확장을 각각 제공하는 섬유 코일(16, 22)과, 확장된 신호를 스펙트럼으로 필터링하도록 작동하는 좁은 라인 필터(18, 24)를 포함한다. 필터의 구성은 관련 기술 분야의 기술자에게 공지되어 있으며, 일반적으로, 원하는 스펙트럼 범위만을 통과시킬 수 있으며, 필요한 경우, 후술하는 바와 같이 정상적 또는 변칙적 분산을 유도할 수 있는 복수의 유전체 층을 구비한 비교적 두꺼운 미러를 포함한다. 필터는 실질적으로 동일한 대역폭을 가질 수 있다. 대안적으로, 필터 중 하나는 다른 필터의 통과 대역보다 최대 5배 더 넓은 통과 대역으로 구성될 수 있다. 또한, 각각의 필터의 통과 대역은 출력 펄스(55)의 통과 대역보다 2 내지 10배 더 좁아야 한다. 그러나, 어떤 경우에는, 원하는 펄스 폭이 필터의 통과 대역보다 더 좁을 수 있다. 본 발명의 목적 중 하나인 원하는 스펙트럼 폭, 펄스 지속 시간 및 에너지를 갖는 거대 처프를 구비한 펄스를 발생시키기 위해, 스펙트럼 확장 및 필터링의 순서가 필요하다. 링 도파관(10)은 도파관을 도는 빛의 단향성 안내를 제공하는 하나 이상의 아이솔레이터(28)와, 각각의 섬유 코일(16, 22)로부터 바로 하류에 위치한 하나 이상의 출력 커플러(30)를 추가로 포함한다. 출력 커플러는 각각 링 도파관(10) 외부로 처프 펄스(55)를 안내한다. 분리된 펄스(55)는 하나 이상의 증폭 단계에서 증폭될 수 있다. 증폭기의 이득 매질에 원하는 밀도 반전을 생성하기 위해, 즉, 본 발명의 펄스 발생기의 작동을 개시하기 위해, 1개 또는 2개의 CW 펌프(26)가 각각의 증폭기에 광학적으로 결합된다. 전술한 구성 요소들은 모두 단일 가로 모드(SM) 섬유에 의해 상호 연결된다. 이하에서는 개시된 펄스 발생기의 작동에 대해 설명할 것이며, 이는 불포화된 기동 및 포화된 정상 상태 펄스 발생(모드 잠금된) 위상을 포함한다.

[0058] 도 4 이외에, 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 기동 위상은 시드 주입(도 5a) 및 과도 단계(도 5b)를 포함한다. 기동 위상은 스펙트럼 폭이 CW 발생보다 더 넓어지도록 원하는 스펙트럼 범위 내에서 피치의 스펙트럼 확장을 제공한다. 본 발명은 기동 아키텍처의 2개의 서로 다른 구성을 개시한다.

[0059] 기동 구성 중 하나는 CW 다이오드 레이저 또는 CW 섬유 레이저와 같은 2개의 CW 펌프 소스(26)(도 4)를 포함한다. 각각의 펌프(26)는 펄스 발생기의 정상 상태 위상 중에 출력 커플러(30)를 통해 출력되는 원하는 처프 펄스의 작동 파장(λ_o)보다 짧은 파장(λ_p)에서 증폭기(12, 20)의 이득 매질에 결합되는 펌프 광을 출력한다. 도 5a 및 도 5b에 도시된 기동 위상 중의 피치 전개의 그래픽 표현이 정확하지는 않지만, 링 도파관 내에서의 프로세스의 이해를 돕는 일반적인 경향을 예시하기 위한 것이다.

[0060] 특히, 도 5a를 참조하면, 하나 또는 두 증폭기의 이득 매질이 펌프 광을 수광할 때, 펄스 발생기는 연속적인 방

식으로 작동을 시작하지만, CW 방사선의 원하는 스펙트럼 영역에서 레이저 잡음이 크게 변동한다. 후자는 하나 이상의 저 강도 피치(38)(1개만 도시됨)를 특징으로 하는 스펙트럼을 갖고, 각각의 저 강도 피치는 단계 1 및 2에 도시된 바와 같이 시간 영역(34)에서 확장되고 좁은 스펙트럼 선폭(36)을 갖는다. 원하는 스펙트럼 영역 내의 잡음이 입력 커플러(32)를 통과할 때(단계 2), 피치(38)의 스펙트럼이 약간 확장되기만 한다. 다수의 펌프(26)로 인해, 피치에서 신호로의 2개의 신호 발현 프로세스가 실질적으로 동시에 또는 매우 짧은 시간 지연 내에 링 도파관에서 발생하지만, 명확성을 위해, 프로세스 중 하나만을 상세하게 추가로 개시한다.

[0061] 시드 주입 단계의 단계 3에서, 제1 증폭기(12)는 피치(38)의 피크 강도를 증가시키도록 작동한다. 제1 코일(16)을 통해 더 전파하면서, 피치(38)는 시간 영역에서 확장되며, 증가된 피크 강도에 의해 유도되는 비교적 약한 자기 위상 변조 비선형 효과(SPM)로 인해 단계 4에 도시된 바와 같이 주파수 영역에서 스펙트럼이 확장된다. 그러나, 후자는 상당한 스펙트럼 확장에는 여전히 충분하지 않다. 이와 같이 증폭되고 확장된 피치(38)(이 시점에서, 출력 커플러(30)에서의 파워 손실은 단계 5에 도시된 바와 같이 미미하다)는 제1 필터(18)에 결합된다. 후자는, 예컨대, 원하는 주파수 범위의 장 파장을 구분하도록 구성되며, 즉, 이는 단계 6에 도시된 바와 같이 단 파장의 서브-영역은 통과시키는 반면 장 파장은 차단한다. 물론, 필터(18)는 단 파장은 차단하는 반면 장 파장의 서브-영역은 통과시키도록 구성될 수 있다.

[0062] 제1 필터(18)의 출력에서의 과도 펄스는 제2 증폭기(20)에서 더 시드되며, 제2 증폭기는 단계 7에 도시된 바와 같이 피치의 피크 강도를 상당히 증가시킨다. 그리고, 후자는 단계 8에 도시된 바와 같이 제1 섬유 코일(16)에서보다 더 강한 위상 변조를 제2 섬유 코일(22)에서 유도한다. 실제로, 피치(38)의 선단(장 파장) 에지를 따라 새로 발생된 주파수 성분은 단계 9에서 볼 수 있는 바와 같이 이 예시적인 체제에서 단 파장을 구분하도록 구성된 제2 필터(24)의 통과 대역으로 진입한다. 제2 필터(24)의 출력에서, 피치의 모드들은 고정된 위상 관계를 갖고, 즉, 모드들이 동기화된다. 그러나, 피치(38)의 피크 강도나 스펙트럼 폭이 원하는 임계치에 아직 도달하지 않았다.

[0063] 이제, 도 5b를 참조하면, 이전의 불포화된 시드 주입 단계가 종료되는 과도 단계가 시작된다. 필터(24)로부터의 피치는 제1 증폭기(12)에 결합되며, 제1 증폭기에서는 제1 섬유 코일(16)에서 새로운 주파수를 발생시키는 SPM 효과를 유도하기에 충분한 수준으로 피크 강도가 다시 증가한다. 도 5a 및 도 5b의 각각의 동일한 단계 4를 비교하면, 시드 주입 단계에 비해 과도 단계 중에 피치가 스펙트럼 영역에서 실질적으로 확장되고 시간 영역에서 신장되는 것을 명확하게 알 수 있다. 그러나, 피치(38)의 스펙트럼 폭이 제1 필터(18)의 통과 대역을 완전히 커버하기에는 아직 불충분할 수 있으며, 따라서, 제1 필터는 통과하는 과도 펄스의 장 파장을 다시 차단한다. 제2 증폭기(22)는 피치의 스펙트럼 폭과 지속 시간을 제2 섬유 코일(22)을 통해 전파할 때 각각 원하는 스펙트럼 폭과 지속 시간으로 확장하기에 충분한 원하는 수준으로 피크 강도를 마지막으로 증가시킨다. 원하는 스펙트럼 폭에 도달하면, 피치는 필터(24)의 통과 대역을 완전히 커버하는 제2 코일 후에 스펙트럼 폭을 갖는 신호(50)로 완전히 발현된다. 전술한 바와 같이, 원하는 신호로 완전히 발현되기 전에 피치(38)의 하나 이상의 왕복을 갖는 것으로서 기동 단계가 개시되어 있다. 이론적으로, 특정 조건하에서는, 원하는 신호(50)를 형성하기 위해 절반의 왕복이면 충분할 수 있으며, 이 경우에는, 시드 주입 단계에서 원하는 신호가 형성될 것이다.

[0064] 상기 설명은 펄스 발현을 강조하지만, CW 성분은 전술한 기동 아키텍처에서 중요한 역할을 한다. 링 공동(10)은 섬유 증폭기에서 높은 에너지의 축적을 의미하는 고품질 인자(Q)로 구성된다. 이 에너지가 감소되지 않으면, 본 발명의 링 도파관은 펄스 발생기가 쉽게 파괴될 수 있는 그와 같이 높은 수준의 에너지를 갖는 Q-스위치 펄스를 생성할 것이다. 에너지 감소는 도 4의 2개의 필터(18, 24)의 특수한 구성에 의해 실현된다. 각각의 필터의 중심 파장(λ_{c1}, λ_{c2})은 도 4에 도시된 바와 같이 필터의 통과 대역 중 하나가 다른 필터의 통과 대역에 중첩하도록 선택된다. 2개의 필터 사이에서 중첩된 스펙트럼 영역(40)은 두 증폭기에 축적된 에너지의 초과량을 소비하는 CW 성분의 전파를 허용한다. 그러나, CW 성분의 양은 주요 모드 잠금 프로세스와 경쟁하지 않도록 증폭되어야 한다. 필터들이 서로 다른 각각의 투과율 진폭을 갖는 경우, 중첩된 영역은 최고 투과율을 갖는 그 필터의 최대 필터 투과율의 10% 이하, 그러나, 바람직하게는, 최저 투과율을 갖는 필터의 0.1% 이상을 통과시킨다. 그러나, 필터들은 동일한 투과율 진폭으로 구성될 수 있다. 요약하면, 서로 중첩하는 각각의 통과 대역을 갖는 2개의 필터(18, 24)는 1. CW 방사선을 억제하고, 2. 안정적인 모드 잠금된 체제에서 원하는 신호로 피치를 발현시키기 위해 협력하여 기능한다.

[0065] 도 4와 함께 논의되는 도 7a는 상기 개시된 기동 아키텍처의 다른 특징을 예시하고 있으며, 원하는 주파수 영역에서 피치 또는 피치들의 증폭에 관한 것이다. 사실상, 어느 누구도 필터의 원하는 파장 범위 내에서 결국 끝나는 광대역 저 주파수 잡음 내에서 약한 피치의 증폭을 시작하는데 얼마나 많은 시간이 필요한지를 모른다.

발현되는 피치가 원하는 파장 범위 내에 있도록 보장하기 위해, 각각의 펌프(26)는 전류 변조 입력을 갖는다. 처음에, 몇 분의 1 밀리초 내지 수 밀리초의 펌프 광(42)(도 7a)의 프리펄스 또는 프리펄스들을 발사하는 높은 진폭 및 짧은 지속 시간이 링 도파관(10)(도 4)에 결합된 다음, 펌프(26)로의 입력이 대략 초기 펌프 광의 지속 시간 동안 중단된다. 이러한 스위치-온/스위치-오프 동작은 원하는 주파수 영역 내에서 하나 이상의 과도 펄스를 필연적으로 증폭하는 넓은 범위의 광대역 저 주파수 잡음 위에 순간적으로 축적된 에너지가 분산될 수 있도록 허용한다. 그 후, 펌프(26)는 다시 스위치 온되며, 적어도 펄스 발생기가 작동하는 동안에는, 프리펄스의 진폭보다 낮은 진폭을 갖는 CW 펌프 광(44)을 출력하는 CW 체제에서 중단되지 않고 작동한다. CW 펌프 진폭은 출력 신호의 매개 변수를 조정하기 위해 달라질 수 있다.

[0066] 도 4 및 도 7b를 참조하면, 기동 단계의 대안적인 구성은, 펌프(26) 이외에, 시드 또는 시드(46)들을 포함하며(도 4), 이들은 펌프(26)가 작동을 시작하기 전에 턴-온되어 펌프 광(48)의 하나 이상의 균일한 에탈론 펄스를 출력한다(도 7a). 에탈론 펄스는, 펌프가 CW 펌프 광을 방출하기 시작한 직후, 시드가 단전된 후에 점진적으로 쇠퇴한다. 이 구성은, 전술한 구성과 마찬가지로, 섬유 레이저(12, 20)에 축적되는 에너지를 낮추는데 도움이 되며, Q 스위치 펄스의 발생을 방지한다. 원하는 펄스에서의 반복률과는 다르게 시드를 스위칭 온 및 오프하는 반복률로 링 도파관(10)을 통해 전파하는 에탈론 펄스는 링 공동으로부터 분리된다. 시드(46)의 사용은 링 도파관(10)의 구성을 다소 변경할 수도 있다. 도파관(10)의 변경된 구조는 서로 중첩하지 않는 각각의 통과 대역으로 구성된 필터(18, 24)를 가질 수 있다. 그러나, 이러한 변경이 필수적인 것은 아니며, 도 7a를 참조하여 개시된 링 도파관(10)의 변경되지 않은 구조가 이 제2 실시예를 실시하기에 적합할 수도 있다.

[0067] 도 5c 및 도 6a 내지 도 6d를 참조하면, 개시된 펄스 발생기의 정상 단계는, 여기에 도시된 바와 같이, 과도 단계의 끝에서 원하는 스펙트럼 폭을 갖는 신호(50)를 형성한 직후에 시작한다. 각각의 필터의 중첩된 통과 대역의 경우, 신호(50)의 원하는 스펙트럼 폭은 발현된 신호가 중첩된 영역을 통해 전파하도록 구성된다. 통과 대역이 중첩되지 않는 경우, 신호의 원하는 스펙트럼 폭은 후속 필터의 통과 대역과 중첩되도록 구성된다.

[0068] 특히, 신호(50)가 필터(18)를 통과할 때(도 6a), 후자는 도 6b에 도시된 바와 같이 중심 파장(λ1)에 센터링된 신호(50)를 남기고 모든 장 파장 모드를 필터링한다. 더 증폭하고 스펙트럼 확장하면, 신호(50)는 필터(24)의 전체 통과 대역을 중첩하기에 충분한 새로운 주파수를 취득하며, 이 필터는 필터(18)와는 반대로 모든 단 파장의 추가 전파를 차단한다(도 6c). 그 결과, 신호(50)는 이제 제2 중심 파장(λ2)에 센터링된다. 추가적으로 증폭하고 스펙트럼 확장하는 프로세스 자체가 링 공동에서 신호의 모든 절반의 왕복마다 반복된다.

[0069] 신호(50)가 발현되면, 출력 커플러(30)(도 4)가 공동 외부로 펄스(55)를 안내하기 전에, 신호는 링 공동 주위(10)를 단지 1회 왕복한다. 바람직하게, 후자는 도 4에 점선으로 나타낸 바와 같이 제2 섬유 코일(22)의 출력에 직접 연결된 추가적인 출력 커플러(30)를 가질 수 있다. 이러한 구성은 모든 절반의 왕복마다 펄스(55)의 분리를 허용한다.

[0070] 전술한 펄스 발생기는 증폭기(12, 20)의 이득 매질에 사용되는 희토류 물질의 이온에 따라 임의의 원하는 작동 파장에서 작동할 수 있다. 예컨대, 이러한 희토류 물질은 이테르븀, 에르븀 및 툴륨을 포함할 수 있다. 그러나, 발광체로서 알려진 모든 다른 희토류 물질이 앞서 나열한 재료로서 성공적으로 사용될 수 있다. 구조적으로, 2개의 섬유 체인 이외에, 분리된 신호 광 펄스의 균일한 피크 파워를 보장하기 위해 추가적인 섬유 체인을 사용하는 것이 유리할 수 있다.

[0071] 링 도파관(10)의 섬유 구성 요소는 양의 순 분산을 갖도록 구성될 수 있다. 후자는 모든 구성 요소가 정상 분산을 갖는 1 마이크론 파장 범위에서 특히 유리하다. 그러나, 도 4를 참조하면, 전체 양의 순 분산에 영향을 미치지 않는 음의 분산을 구비한 도시된 요소 중 하나를 갖는 1 마이크론 파장 범위에서 개시된 펄스 발생기를 사용하는 것이 가능하다. 예컨대, 양의 순 분산은 양(정상)의 분산을 갖도록 링 도파관(10)의 모든 구성 요소를 구성함으로써 얻어질 수 있다. 대안적으로, 하나 이상의 구성 요소는 변칙적(음의) 분산을 가질 수 있지만, 후자는 링 공동의 전체 양의 순 분산을 변화시키지 않는다. 예컨대, 필터(18, 24)들은 각각 또는 모두는 변칙적 분산을 갖도록 구성될 수 있으며, 1 마이크론 파장 범위에서 여전히 성공적으로 사용될 수 있다. 도파관(10)의 순 분산은 이상 분산을 갖도록 구성된 도파관 구성 요소의 전부 또는 대다수에 의해 변칙적이 될 수 있다. 마지막으로, 링 공동(10)의 순 분산은 제로일 수 있다.

[0072] 바람직하게, 도파관(10)의 모든 섬유 구성 요소는 편광 유지(PM) 포맷으로 구성된다. 그러나, 그 구성 요소 중 일부 또는 모든 구성 요소가 PM 구성 요소가 아닐 수 있다.

[0073] 도 8 및 도 9를 참조하면, 증폭기(12, 20)는 입력 및 출력 수동 섬유(130)에 대향 단부가 연결되는 희토류 이온

도프 섬유(128)의 조합을 각각 포함한다. 섬유(128)는 단일 가로 모드 또는 다중 가로 모드(MM)만을 지원할 수 있는 코어(132)를 갖는다. 그러나, 원하는 작동 파장에서, 예컨대, 1.06마이크론에서, MM 섬유(128)의 코어(132)는 우측 도펀트 프로파일을 선택함으로써 하나의 기본 모드만을 지원하도록 구성된다. 즉, SM 광이 능동 섬유(128)의 MM 코어(132)에 결합될 때, 이는 관련 기술 분야의 기술자에게 공지된 바와 같이 SM 섬유와 유사한 가우시안(Gaussian) 형상의 강도 프로파일에 가까운 기본 가로 모드만을 여기시킨다. 이와 같이 발생된 펄스(55)(도 4)는 단일 가로 모드의 펄스 발생기로부터 방출된다. 또한, 섬유(128)는 측면 펌핑 체제에서 SM 코어를 가질 수 있다.

[0074] MM 섬유는 반드시 SM 능동 섬유와 함께 단부 펌핑 체제보다 나은 어떤 장점을 가질 수 있는 측면 펌핑 체제를 사용할 수 있는 기회를 증폭기에 제공한다. 첫째, 측면 펌핑 체제는 제한된 파워만을 견딜 수 있는 파장 분할 멀티플렉서(WDM)의 사용을 필요로하지 않는다. 그 결과, 측면 펌핑 체제의 다른 장점은, 당연히 MM 능동 섬유의 대안이 될 수 있는, SM 능동 섬유보다 높은 파워를 갖는 펄스를 발생시킬 수 있는 가능성이다. 그러나, 관련 기술 분야의 기술자는 공지된 단부 펌핑 기술을 용이하게 실현할 수 있다.

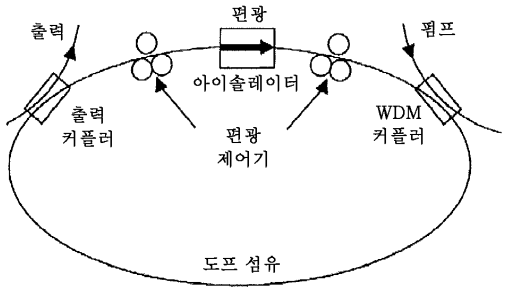
[0075] 도 9는 이중 병목 형상의 단면을 갖는 MM 능동 섬유(128)를 도시하고 있다. 이 변형예는 코어 단부(134)보다 큰 직경을 중앙 확대 코어부(132)에 제공한다. 확대된 코어부(132)는 더 큰 펌프 파워와 감소된 섬유 길이를 제공하며, 이는 기본 모드와 고차 모드 간의 결합 가능성을 최소화한다. 코어 단부(134)는 도 7의 단부와 유사하게 구성되며, SM 수동 섬유와 일치하는 MFD를 각각 갖는다.

[0076] 링 도파관(10)을 구성하는 요소들은 양, 음 및 제로 분산 및 이들의 조합을 가질 수 있다. 예컨대, 동시 계류중인 미국 출원으로부터 공지된 바와 같이, 1 마이크론 파장 범위에서 사용하기 위해 총 양의 분산을 갖도록 링 공동을 구성한다. 링 공동은 링 공동에 양의 분산을 전체적으로 제공하는 다양한 유형의 분산을 갖는 복수의 섬유 구성 요소를 포함한다.

[0077] 독자는 본 명세서와 동시에 제출되고 본 명세서와 함께 공람되는 모든 서류와 문서에 관심을 가지며, 그러한 모든 서류와 문서의 내용은 본원에 참조로 인용된다.

도면

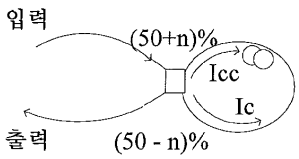
도면1



공지 기술

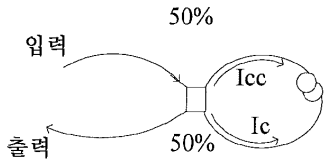
도면2a

공지 기술

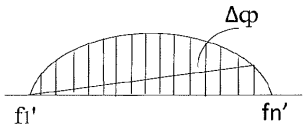


도면2b

공지 기술

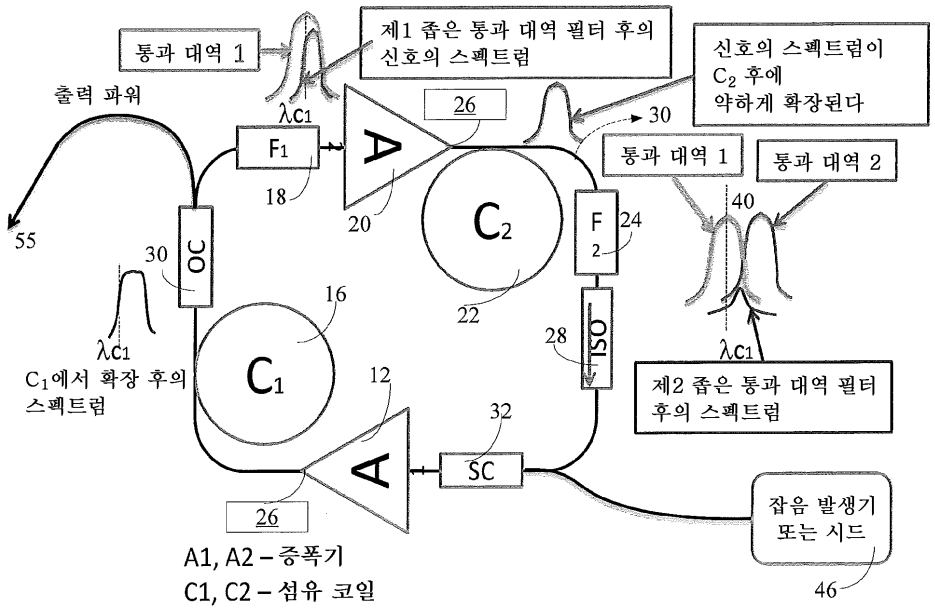


도면3



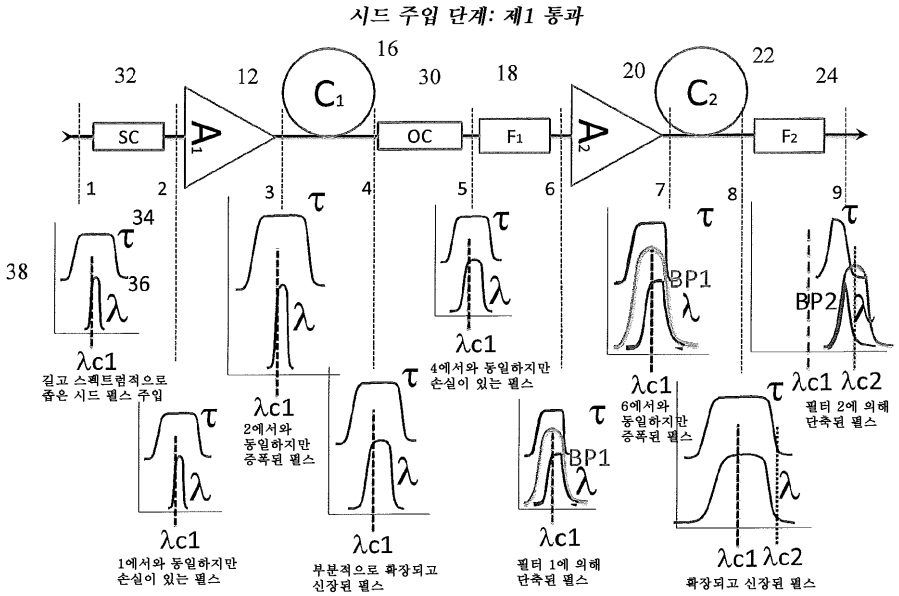
공지 기술

도면4

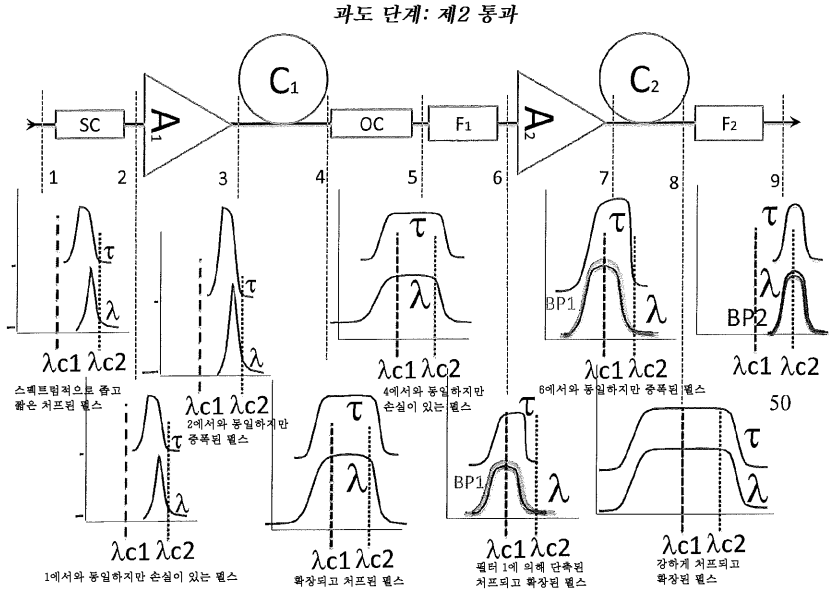


A1, A2 – 증폭기
C1, C2 – 섬유 코일
F1, F2 – 통과 대역 필터
SC – 시드 또는 잡음 커플러(선택적 구성 요소)
OC – 출력 커플러
ISO – 아이솔레이터

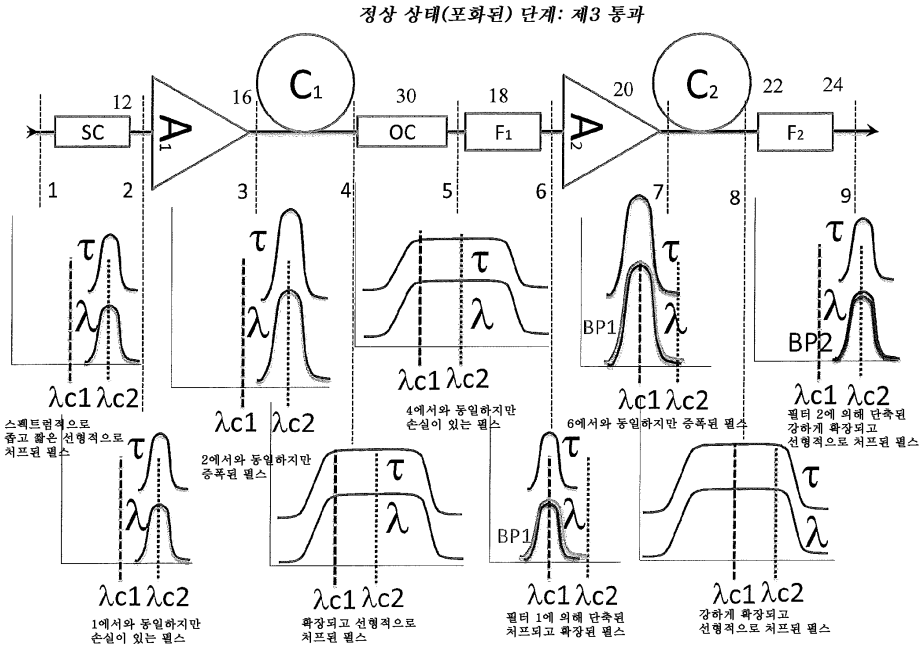
도면5a


시드 주입 단계: 제1 통과
SC
A1
C1
OC
F1
A2
C2
F2
λc1
길고 스펙트럼적으로 좁은 시드 펄스 주입
1에서와 동일하지만 손실이 있는 펄스
2에서와 동일하지만 증폭된 펄스
부분적으로 확장되고 신장된 펄스
4에서와 동일하지만 손실이 있는 펄스
필터 1에 의해 단축된 펄스
6에서와 동일하지만 증폭된 펄스
확장되고 신장된 펄스
λc2
필터 2에 의해 단축된 펄스
BP1
BP2

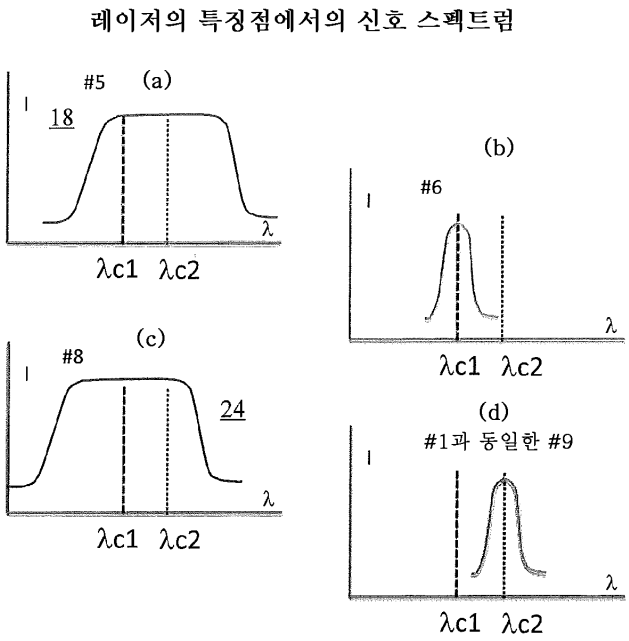
도면5b


파도 단계: 제2 통과
SC
A1
C1
OC
F1
A2
C2
F2
λc1 λc2
스펙트럼적으로 좁고 짧은 처프된 펄스
2에서와 동일하지만 증폭된 펄스
1에서와 동일하지만 손실이 있는 펄스
확장되고 처프된 펄스
4에서와 동일하지만 손실이 있는 펄스
필터 1에 의해 단축된 처프되고 확장된 펄스
6에서와 동일하지만 증폭된 펄스
강하게 처프되고 확장된 펄스
BP1
BP2

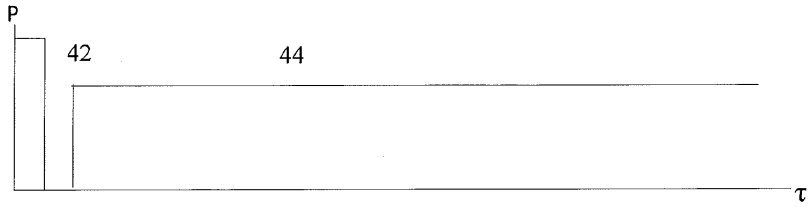
도면5c



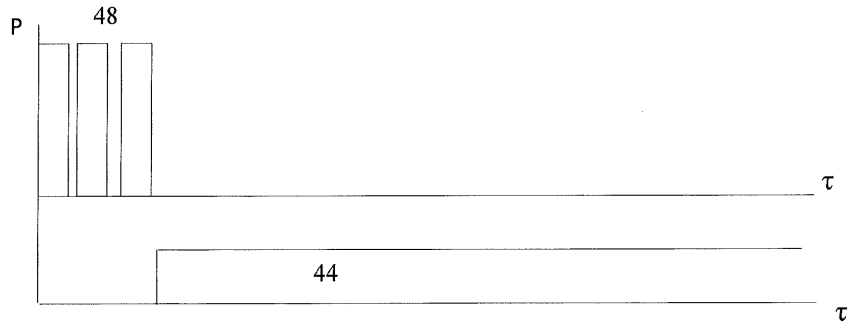
도면6



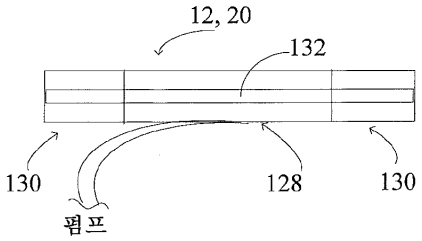
도면7a



도면7b



도면8



도면9

