



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0126621
(43) 공개일자 2024년08월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 5/14 (2006.01) H01S 5/02251 (2021.01)
H01S 5/024 (2021.01) H01S 5/125 (2015.01)
(52) CPC특허분류
H01S 5/141 (2013.01)
H01S 5/02251 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0019307
(22) 출원일자 2023년02월14일
심사청구일자 2023년02월14일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
예윤해
경기도 용인시 수지구 상현로 59 154동 1402호 (상현동, 금호베스트빌1차아파트)
(74) 대리인
유미특허법인

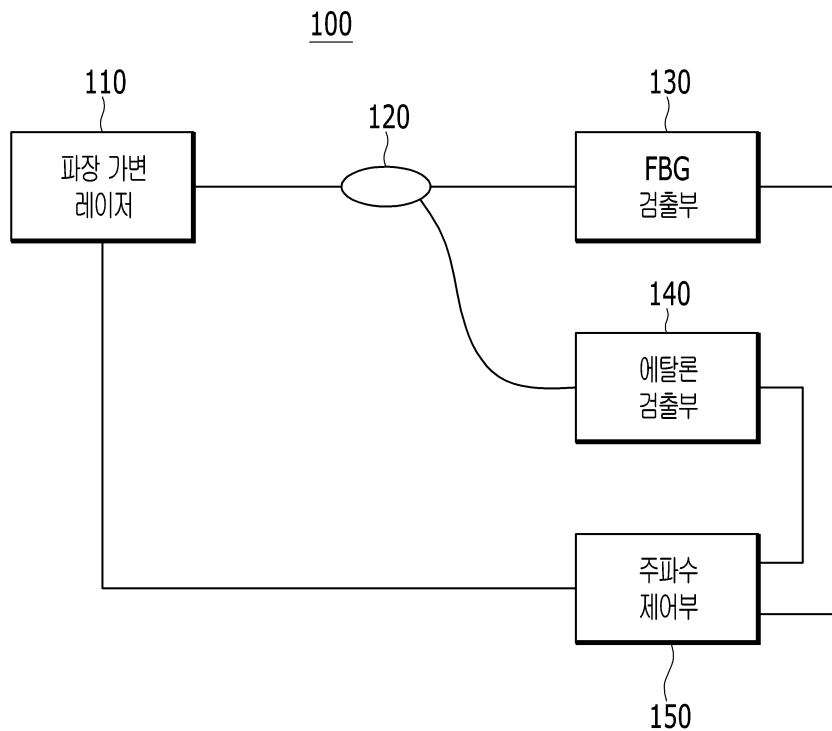
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 광주파수가 선형적으로 변하는 주파수 가변 레이저 장치

(57) 요약

광주파수가 선형적으로 변하는 주파수 가변 레이저 장치가 개시된다. 이 장치는 광주파수를 전압에 따라 변경 가능하고 선택된 파장의 광 성분만 통과시키는 파장 가변 필터를 사용하여 발진 주파수를 변화시킬 수 있는 동조 가능한 파장 가변 레이저이다. 또한, 이 장치는 적어도 하나의 광섬유 브래그 격자(FBG)를 포함하며, 파장 가변 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 FBG에 대응하는 파장의 광을 반사하고, 반사되는 광을 검출하는 FBG 검출부, 파장 가변 레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 고정 에탈론을 통과하는 광을 검출하는 에탈론 검출부 - 고정 에탈론은 일정 간격의 투과 피크를 생성함 -, 파장 가변 레이저로부터 출력되는 광을 FBG 검출부와 에탈론 검출부로 분기시키는 제1 결합기를 더 포함한다. 또한, 이 장치는 FBG 검출부에서 검출된 신호를 기준 신호로 사용하여 에탈론 검출부에서 검출된 신호에 따라 파장 가변 레이저의 광주파수를 변환율을 제어하기 위한 신호를 전류 구동 방식을 통해 파장 가변 레이저로 제공하는 주파수 제어부를 더 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01S 5/024 (2021.01)

H01S 5/125 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

주파수 가변 레이저 장치로서,

광주파수를 전압에 따라 변경 가능하고 선택된 파장의 광 성분만 통과시키는 파장 가변 필터를 사용하여 발진 주파수를 변화시킬 수 있는 동조 가능한 파장 가변 레이저,

적어도 하나의 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함하며, 상기 파장 가변 레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 상기 광섬유 브래그 격자에 대응하는 파장의 광을 반사하고, 반사되는 광을 검출하는 광섬유 브래그 격자(FBG) 검출부,

상기 파장 가변 레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 고정 에탈론을 통과하는 광을 검출하는 에탈론 검출부 - 상기 고정 에탈론은 일정 간격의 투과 피크를 생성함 -,

상기 파장 가변 레이저로부터 출력되는 광을 상기 FBG 검출부와 상기 에탈론 검출부로 분기시키는 제1 결합기, 그리고

상기 FBG 검출부에서 검출된 신호를 기준 신호로 사용하여 상기 에탈론 검출부에서 검출된 신호에 따라 상기 파장 가변 레이저의 광주파수를 변화율을 제어하기 위한 신호를 전류 구동 방식을 통해 상기 파장 가변 레이저로 제공하는 주파수 제어부

를 포함하는 주파수 가변 레이저 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파장 가변 레이저는,

레이저 광원으로서의 기능을 수행하며 광을 증폭하여 펄스 형태로 출력하는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier, SOA),

상기 SOA에 의해 증폭되는 광을 한 쪽 방향으로만 진행시키는 3개의 광 아이솔레이터, 그리고

상기 파장 가변 필터에 의해 주파수가 가변된 광을 상기 제1 결합기로 분기시키는 방향성 결합기

를 더 포함하는, 주파수 가변 레이저 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 FBG 검출부는,

미리 설정된 간격으로 이격되어 대응되는 파장의 광만을 반사시키는 2개의 FBG,

입력되는 광에 대응하는 전기 신호를 출력하는 제1 포토다이오드, 그리고

상기 제1 결합기로부터 출력되는 광을 상기 2개의 FBG 쪽으로 출력하고, 상기 2개의 FBG에서 반사되는 광을 상기 제1 포토다이오드 쪽으로 출력하는 제2 결합기

를 포함하는, 주파수 가변 레이저 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 2개의 FBG는 RTD(resistance temperature device)와 함께 알루미늄 블록에 내장되어 상기 2개의 FBG에 대

한 온도 영향을 보상하도록 하는,
주파수 가변 레이저 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 주파수 가변 레이저 장치의 전압에 선형 모드에서는 상기 2개의 FBG가 모두 사용되지만, 주파수에 선형 모드에서는 상기 2개의 FBG 중에서 상기 제2 결합기에 가까이 위치되는 FBG 1개만이 사용되며, 이 경우 상기 1개의 FBG는 상기 주파수에 선형 모드에서 스캔 출발점을 설정하는 데 사용되는,

주파수 가변 레이저 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 에탈론 검출부는 상기 고정 에탈론을 통과하는 광에 대응하는 전기 신호를 검출하여 상기 주파수 제어부로 출력하는 제2 포토다이오드

를 더 포함하는, 주파수 가변 레이저 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 주파수 제어부는,

상기 주파수에 선형 모드에서 상기 파장 가변 필터에게 상기 주파수에 선형 모드에서의 전류 구동을 위한 대응되는 전압 파형을 공급하는 주파수 선형 구동부,

상기 파장 가변 필터에 대한 전류 공급의 시작 시점으로부터 미리 설정된 지점에 위치하도록 하는 DC 오프셋을 인가하기 위한 DC 오프셋부,

상기 주파수 선형 구동부의 출력과 상기 DC 오프셋부의 출력을 합산하여 출력하는 합산기, 그리고

상기 합산기에서 출력되는 전압을 대응되는 전류 신호로 변환하여 상기 파장 가변 필터로 공급하는 전압-전류 변환기

를 포함하는, 주파수 가변 레이저 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 주파수 선형 구동부는 상기 주파수에 선형 모드에서 작동되며, 상기 에탈론 검출부에서 검출되는 상기 고정 에탈론의 전송 피크간 간격을 이용하여 상기 파장 가변 필터의 광주파수 변화량을 조절하기 위한 제2 전압 파형을 생성하는,

주파수 가변 레이저 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 주파수 선형 구동부는 상기 고정 에탈론의 전송 피크 사이의 간격을 미리 설정된 간격으로 유지하기 위해 상기 제1 전압 파형을 변형하여 상기 제2 전압 파형을 생성하는,

주파수 가변 레이저 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 전압 파형은 상기 제1 전압 파형에 광주파수의 변화율을 상수값으로 유지하는 데 필요한 변형을 추가한 파형인,

주파수 가변 레이저 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 주파수 선형 구동부는 상기 주파수에 선형 모드에서의 작동을 위해 상기 FBG 검출부의 1개의 FBG와 상기 고정 에탈론 검출부만을 사용하는,

주파수 가변 레이저 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광주파수가 선형적으로 변하는 주파수 가변 레이저 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광주파수 영역 반사 측정(Optical Frequency Domain Reflectometry, OFDR)과 파이버 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG) 센서 응용 분야에서 가장 중요한 구성 요소 중 하나가 주파수 가변 레이저(Tunable Laser Source, TLS)이다.

[0003] OFDR과 FBG 센서 시스템의 공간 분해능 저하와 측정 길이 제한을 피하려면 넓은 범위에 걸쳐 선형 튜닝이 가능한 TLS가 필요하다.

[0004] 선형으로 조정(튜닝)된 TLS는 외부 공동, 마이크로파 변조기, 전자 수단, 광학 수단 및 기타 방법을 사용하여 구현되고 있다. 각각의 방법이 특정 애플리케이션에서 요구되는 성능 수준을 충족하기도 하지만, 간단한 구성으로 저가로 안정적이고 튜닝 범위가 넓은 고속 선형 튜닝 TLS를 구현하기 위한 적절한 방법은 아직 보고되지 않았다.

[0005] 특히, 넓은 범위에 걸쳐 선형적으로 튜닝되는 TLS는 구현하기가 쉽지 않다. 따라서, OFDR과 FBG 시스템에서는 튜닝범위는 넓지만 비선형적으로 튜닝되는 TLS를 사용하며, 이때 발생하는 튜닝 오류를 보상하기 위해 별도의 보조 간섭계를 사용하여 데이터 수집용 트리거 클럭을 생성하고, 이를 이용하여 비선형으로 인한 성능 제한을 해결해야 하는 문제가 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 간단한 구성으로 높은 튜닝 속도와 넓은 튜닝 범위를 갖는 광주파수가 선형적으로 변하는 주파수 가변 레이저 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기한 바와 같은 본 발명의 과제를 달성하고, 후술하는 본 발명의 특징적인 효과를 실현하기 위한, 본 발명의 특징적인 구성은 하기와 같다.

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 주파수 가변 레이저 장치가 제공되며, 이 장치는,

[0009] 광주파수를 전압에 따라 변경 가능하고 선택된 파장의 광 성분만 통과시키는 파장 가변 필터를 사용하여 발진 주파수를 변화시킬 수 있는 동조 가능한 파장 가변 레이저, 적어도 하나의 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함하며, 상기 파장 가변 레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 상기 광섬유 브래그 격자에 대응하는 파장의 광을 반사하고, 반사되는 광을 검출하는 광섬유 브래그 격자(FBG) 검출부, 상기 파장 가변 레이저에서 출력되는 광을 입력받아서 고정 에탈론을 통과하는 광을 검출하는 에탈론 검출부 - 상기 고정 에탈론은 일정 간격의 투과 피크를 생성함 -, 상기 파장 가변 레이저로부터 출력되는 광을 상기 FBG 검출부와 상기 에탈론 검출부로 분기시키는 제1 결합기, 그리고 상기 FBG 검출부에서 검출된 신호를 기준 신호로 사용하여 상기

에탈론 검출부에서 검출된 신호에 따라 상기 파장 가변 레이저의 광주파수를 변화율을 제어하기 위한 신호를 전류 구동 방식을 통해 상기 파장 가변 레이저로 제공하는 주파수 제어부를 포함한다.

[0010] 여기서, 상기 파장 가변 레이저는, 레이저 광원으로서의 기능을 수행하며 광을 증폭하여 펄스 형태로 출력하는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier, SOA), 상기 SOA에 의해 증폭되는 광을 한 쪽 방향으로만 진행시키는 3개의 광 아이솔레이터, 그리고 상기 파장 가변 필터에 의해 주파수가 가변된 광을 상기 제1 결합기로 분기시키는 방향성 결합기를 더 포함한다.

[0011] 또한, 상기 FBG 검출부는, 미리 설정된 간격으로 이격되어 대응되는 파장의 광만을 반사시키는 2개의 FBG, 입력되는 광에 대응하는 전기 신호를 출력하는 제1 포토다이오드, 그리고 상기 제1 결합기로부터 출력되는 광을 상기 2개의 FBG 쪽으로 출력하고, 상기 2개의 FBG에서 반사되는 광을 상기 제1 포토다이오드 쪽으로 출력하는 제2 결합기를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 2개의 FBG는 RTD(resistance temperature device)와 함께 알루미늄 블록에 내장되어 상기 2개의 FBG에 대한 온도 영향을 보상하도록 한다.

[0013] 또한, 상기 주파수 가변 레이저 장치의 전압에 선형 모드에서는 상기 2개의 FBG가 모두 사용되지만, 주파수에 선형 모드에서는 상기 2개의 FBG 중에서 상기 제2 결합기에 가까이 위치되는 FBG 1개만이 사용되며, 이 경우 상기 1개의 FBG는 상기 주파수에 선형 모드에서 스캔 출발점을 설정하는 데 사용된다.

[0014] 또한, 상기 에탈론 검출부는 상기 고정 에탈론을 통과하는 광에 대응하는 전기 신호를 검출하여 상기 주파수 제어부로 출력하는 제2 포토다이오드를 더 포함한다.

[0015] 또한, 상기 주파수 제어부는, 상기 주파수에 선형 모드에서 상기 파장 가변 필터에게 상기 주파수에 선형 모드에서의 전류 구동을 위한 대응되는 전압 파형을 공급하는 주파수 선형 구동부, 상기 파장 가변 필터에 대한 전류 공급의 시작 시점으로부터 미리 설정된 지점에 위치하도록 하는 DC 오프셋을 인가하기 위한 DC 오프셋부, 상기 주파수 선형 구동부의 출력과 상기 DC 오프셋부의 출력을 합산하여 출력하는 합산기, 그리고 상기 합산기에서 출력되는 전압을 대응되는 전류 신호로 변환하여 상기 파장 가변 필터로 공급하는 전압-전류 변환기를 포함한다.

[0016] 또한, 상기 주파수 선형 구동부는 상기 주파수에 선형 모드에서 작동되며, 상기 에탈론 검출부에서 검출되는 상기 고정 에탈론의 전송 피크간 간격을 이용하여 상기 파장 가변 필터의 광주파수 변화량을 조절하기 위한 제2 전압 파형을 생성한다.

[0017] 또한, 상기 주파수 선형 구동부는 상기 고정 에탈론의 전송 피크 사이의 간격을 미리 설정된 간격으로 유지하기 위해 상기 제1 전압 파형을 변형하여 상기 제2 전압 파형을 생성한다.

[0018] 또한, 상기 제2 전압 파형은 상기 제1 전압 파형에 광주파수의 변화율을 상수값으로 유지하는 데 필요한 변형을 추가한 파형이다.

[0019] 또한, 상기 주파수 선형 구동부는 상기 주파수에 선형 모드에서의 작동을 위해 상기 FBG 검출부의 1개의 FBG와 상기 고정 에탈론 검출부만을 사용한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 간단한 구성으로 높은 튜닝 속도와 넓은 튜닝 범위를 갖는 선형 튜닝 주파수 가변 레이저 장치를 제공할 수 있다.

[0021] 이로 인해, 선형적으로 튜닝된 주파수 가변 레이저 장치를 위한 비용 효율적인 해결수단을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 일반적인 파장 가변 필터에 대한 전압 및 전류 구동시의 삼각파 전압 구동 신호를 도시한 도면으로, (a)는 개회로 모드에서의 전압 구동시이고, (b)는 폐회로 모드에서의 전압 구동시이며, (c)는 폐회로 모드에서의 전류 구동을 나타낸다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 개략적인 구성도이다.

도 3은 도 2에 도시된 파장 가변 레이저의 개략적인 구성도이다.

도 4는 도 2에 도시된 FBG 검출부의 개략적인 구성도이다.

도 5는 도 2에 도시된 에탈론 검출부의 개략적인 구성도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 주파수 제어부에서 파장 가변 필터를 전류 구동하기 위한 구성을 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 전압에 선형 모드에서 FBG 검출부의 출력 파형과 주파수 제어부에서의 V2 파형을 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 주파수에 선형 모드에서 에탈론 검출부의 출력 파형과 주파수 제어부에서의 V2 파형을 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치에서 선형성을 평가하기 위한 구성이 추가된 전체 구성을 도시한 도면이다.

도 10은 도 9에 도시된 선형성 평가부의 개략적인 구성도이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 선형성을 평가하는 데 사용되는 그래프를 나타낸 도면으로, (a)는 파형을 제어하지 않는 경우이고, (b)는 선형 튜닝을 위해 파형을 제어하는 경우이며, (c)는 스펙트럼의 피크 부분을 확대한 경우를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0024] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0025] 명세서 전체에서, "및/또는"이라는 용어는 관련된 객체를 기술하기 위한 연관 관계만을 설명하고 세 가지 관계가 존재할 수 있음을 나타낸다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, A 및/또는 B는 A만 존재하고, A와 B가 모두 존재하며, B만 존재하는 세 가지 경우를 나타낼 수 있다. 또한, 명세서 전체에서 문자 "/"는 일반적으로 연관된 객체 사이의 "또는" 관계를 지시한다.
- [0026] 본 발명에서 설명하는 장치들은 적어도 하나의 프로세서, 메모리 장치, 통신 장치 등을 포함하는 하드웨어로 구성되고, 지정된 장소에 하드웨어와 결합되어 실행되는 프로그램이 저장된다. 하드웨어는 본 발명의 방법을 실행할 수 있는 구성과 성능을 가진다. 프로그램은 도면들을 참고로 설명한 본 발명의 동작 방법을 구현한 명령(instructions)을 포함하고, 프로세서와 메모리 장치 등의 하드웨어와 결합하여 본 발명을 실행한다.
- [0027] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 광주파수가 선형적으로 변하는 주파수 가변 레이저 장치에 대해 설명한다.
- [0028] 먼저, 광주파수를 전압(또는 시간)에 따라 선형적으로 변경하려면 PZT-TF(Tunable Filter)의 공극 간격을 선형적으로 변경해야 한다. 따라서, PZT가 인가 전압에 비례하여 팽창하거나 수축하면 PZT-TF를 삼각(또는 톱니) 전압 파형으로 구동하여 선형 스위프 TLS를 구현할 수 있다.
- [0029] 그러나, PZT의 길이 변화는 비선형성, 히스테리시스 등과 같은 비이상성으로 인해 구동 전압에 비례하지는 않는다. PZT의 비이상성과 주변 환경의 변화로 인한 PZT 특성의 변화를 완전히 배제한 선형 스위프 TLS를 구현하려면, TLS 출력의 광주파수 변화를 측정하고, 측정된 결과를 폐쇄 루프 제어를 통해 PZT의 구동 파형에 실시간으로 반영하여야 한다.
- [0030] 결과적으로, PZT-TF의 구동 전압 파형은 정확한 삼각파가 아니라 약간 변형된 삼각파가 되어야 하며, 변형 또한 실시간으로 바뀌어야 한다.

- [0031] 출력 광주파수를 τ_s 마다 측정하고 해당 구간에서 측정된 결과를 반영하여 구동 신호의 크기를 제어하는 디지털 제어 선형 스위프 TLS를 가정할 때 TLS의 원리와 전류 구동의 필요성을 다음과 같이 설명할 수 있다.
- [0032] 디지털-아날로그 변환기(Digital-Analog Converter, DAC)에 의해 생성된 삼각파 전압 구동 신호는 도 1(도 1에서는 삼각파의 상승 부분만 표시됨)에서 (a)와 같이 일련의 전압 계단으로 모델링할 수 있는데, TLS 출력 광주파수의 선형 튜닝을 위해서는 도 1의 (b)와 같이 PZT의 비선형성과, 크리프 및 환경 변화에 의한 드리프트를 보상해야 하며, 따라서 모든 계단 높이를 세밀하게 제어하여야 한다.
- [0033] 이와 같이, 계단 높이를 미세하게 제어하려면 비트 수가 많은 고속 DAC가 필요하다. 그럼에도 불구하고, 계단 높이에 해당하는 전압 점프와 전압 계단 직후 PZT의 과도응답, 그리고 PZT의 비선형성으로 인해 도 1의 (b)와 같이 미세하게 제어된 전압 신호로 구동한다고 하더라도 TLS 광주파수의 변화가 선형적일 것이라는 보장은 없다.
- [0034] 한편, 커패시터로 모델링할 수 있는 PZT에 DC 전류를 흘려주면 PZT 양단의 전압파형은 램프가 된다. 튜닝 비율을 능동적으로 제어하여 선형 튜닝이 달성되었을 때 PZT 전류의 파형은 도 1의 (c)에서 $i(t)$ 와 같이 계단이 추가된 DC가 된다.
- [0035] 결과적으로, 전압 파형은 $v(t)$ 와 같이 구간별 선형 파형(piecewise linear)이 되어, 전압 구동의 경우에 비해 선형성이 훨씬 우수하다. 정상 동작시 전류 계단의 크기가 매우 작아 전압 파형은 충분히 매끄러우며, 따라서 저역 통과 필터링 후에는 계단 파형이 아예 관찰되지 않는다.
- [0036] 따라서, 전류에 의해 구동될 때 PZT 전압 파형은 도 1의 (b)의 파형보다 훨씬 매끄러워 TLS의 선형 튜닝이 가능함을 알 수 있다. 따라서, 전류 구동은 PZT-TF를 사용하는 TLS의 선형 튜닝을 위한 구동 방식으로 탁월한 선택이 될 수 있다.
- [0037] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치의 개략적인 구성도이다.
- [0038] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치(100)는 파장 가변 레이저(110), 제1 결합기(120), 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG) 검출부(130), 에탈론 검출부(140) 및 주파수 제어부(150)를 포함한다.
- [0039] 파장 가변 레이저(110)는 발진 주파수를 변화시킬 수 있는 동조 가능한 레이저이다.
- [0040] 도 3을 참조하면, 파장 가변 레이저(110)는 레이저 광원으로서의 기능을 수행하며 광을 증폭하여 출력하는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)(111), 광주파수를 전압에 따라 변경 가능하고 선택된 파장의 광 성분만 통과시키는 파장 가변 필터(112), 광을 한 쪽 방향으로만 진행시키는 데 사용되는 3개의 광 아이솔레이터(113, 114, 115), 레이저 출력을 외부로 분기시키는 방향성 결합기(116)를 포함한다. 이러한 파장 가변 레이저(110)의 구성 및 기능에 대해서는 잘 알려져 있으므로 여기에서는 구체적인 설명을 생략한다.
- [0041] 여기서, 파장 가변 필터(112)는 공극 간격을 변경하여 대응적으로 광주파수를 전압에 따라 변경 가능한 PZT-TF가 사용될 수 있다. 이러한 PZT-TF는 고속으로 동작할 수 있고 튜닝 범위가 넓어 선형 튜닝용으로 적합하다. 예를 들어, 파장 가변 필터(112)에 의해 가변되는 주파수는 중심 파장이 1550 nm이고, FSR이 80 nm일 수 있다.
- [0042] 다음, 제1 결합기(120)는 파장 가변 레이저(110)로부터 출력되는 광을 입력받아 FBG 검출부(130)와 에탈론 검출부(140)로 분기시킨다.
- [0043] FBG 검출부(130)는 제1 결합기(120)로부터 출력되는 광을 입력받아서 파장별로 반사하고 반사되는 광을 검출하여 주파수 제어부(150)로 출력한다.
- [0044] 도 4를 참조하면, FBG 검출부(130)는 미리 설정된 간격으로 이격되어 있는 특정 파장의 광만을 반사시키는 2개의 FBG(131, 132), 입력되는 광 신호를 대응하는 전기 신호로 변환하여 출력하는 포토다이오드(photo diode, PD)(133) 및 제1 결합기(120)로부터 출력되는 광을 FBG(131, 132) 쪽으로 출력하고, FBG(131, 132)에서 반사된 광을 포토다이오드(133) 쪽으로 출력하는 제2 결합기(134)를 포함한다.
- [0045] 여기서, 2개의 FBG(131, 132)는 예를 들어, 각각 1530.22 nm, 1575.24 nm의 파장을 반사하는 FBG가 사용될 수 있다.
- [0046] 이와 같이, 제1 결합기(120)에서 출력되어 FBG 검출부(130)의 2개의 FBG(131, 132)에서 반사된 광을 포토다이오드(133)를 통해 검출한 출력은 파장 스캔 범위와 스캔 출발점 제어에 사용될 수 있다. 즉, 포토다이오드(133)

를 통해 검출된 신호가 본 발명의 실시예에 따른 파장 가변 레이저(110)의 광주파수 변화율을 제어하기 위한 기준 신호를 제공한다.

- [0047] 2개의 FBG(131, 132)는 RTD(resistance temperature device)와 함께 알루미늄 블록에 내장되어 2개의 FBG(131, 132)에 대한 온도 영향을 정확히 보상할 수 있도록 할 수 있다.
- [0048] 에탈론 검출부(140)는, 도 5를 참조하면, 제1 결합기(120)로부터 출력되는 광을 일정 간격의 투과 피크를 생성하는 고정 에탈론(141)과 고정 에탈론(141)을 통과한 광 신호에 대응하는 전기 신호로 변환하여 출력하는 포토다이오드(142)를 포함한다.
- [0049] 여기서, 고정 에탈론(141)은 예를 들어 100 GHz 간격의 투과 피크를 생성하는 고정 에탈론일 수 있다.
- [0050] 또한, 고정 에탈론(141)은 $\Delta v = c/2nt$ 의 일정한 주파수 간격으로 투과 피크를 생성하며, 여기서 t는 고정 에탈론(141)의 두께이고, n은 고정 에탈론(141)의 굴절률이다. 예를 들어, 두께가 1 mm인 용융 실리카 에탈론으로 간격 100 GHz의 피크를 얻을 수 있다. 따라서, 1550 nm에서 튜닝 범위가 80 nm인 경우 100개의 기준 피크를 가질 수 있으며, 용융 실리카는 주변 환경의 변화에 매우 둔감하므로 피크 간격을 매우 안정적인 기준으로 사용할 수 있다.
- [0051] 주파수 제어부(150)는 FBG 검출부(130)에서 검출된 신호와 에탈론 검출부(140)에서 검출된 신호를 사용하여 파장 가변 레이저(110)의 광주파수를 제어하기 위한 신호를 파장 가변 레이저(110), 구체적으로는 파장 가변 레이저(110)의 파장 가변 필터(112)로 출력한다.
- [0052] 이 때, 주파수 제어부(150)는 전술한 바와 같이 파장 가변 레이저(110)의 정확한 선형 튜닝을 위해 전류 구동 방식으로 파장 가변 필터(112)에게 신호에 대응하는 전류를 출력한다.
- [0053] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 주파수 가변 레이저 장치(100)의 주파수 제어부(150)에서 파장 가변 필터(112)를 전류 구동하기 위한 구성을 도시한 도면이다.
- [0054] 먼저, 주파수 제어부(150)는 두 가지 모드, 즉 전압에 선형(linear-in-voltage) 모드와 주파수에 선형(linear-in frequency)로 작동할 수 있다. 전압에 선형 모드는 기존의 전압을 시간에 비례하도록 선형으로 제어할 때와 동일한 모드이지만, 다른 점은 구동을 위해 전압이 아니라 전압에 대응되어 변환되는 전류를 공급한다는 점이다. 주파수에 선형 모드는 본 발명의 실시예에 따라 단위 시간당 광주파수 변화량을 일정하게 하여 파장 가변 필터(112)가 보다 정확하게 선형으로 튜닝되도록 하는 모드를 지칭한다.
- [0055] 도 6을 참조하면, 주파수 제어부(150)는 전압 선형 구동부(151), 주파수 선형 구동부(152), DC 오프셋부(153), 스위치(154), 합산기(155) 및 전압-전류 변환기(156)를 포함한다.
- [0056] 전압 선형 구동부(151)는 (유입과 유출)의 크기 비율이 1:7이고, 기간 비율이 7:1인 V2 파형의 전류가 파장 가변 필터(112)로 유입되도록 한다. 이는, 파장 가변 필터(112)에서 (상승과 하강)의 기울기 비가 (+1):(-7)인 톱니파 전압 파형을 발생시키게 된다.
- [0057] 도 6에 도시된 V2 파형은 14비트 아날로그-디지털 변환기(ADC, 예를 들어, 아날로그 디바이스사의 모델 AD9744)에 의해 생성될 수 있다. 주파수 제어부(150)가 전압에 선형 모드에서 작동하는 경우, 주파수 제어부(150)는 FBG 검출부(130)의 2개의 FBG(131, 132)로부터 반사된 광을 검출하는 출력을 사용하여 V2 파형의 전류에 의해 파장 가변 필터(112)에서 생성된 톱니파 전압의 진폭을 실시간으로 제어한다.
- [0058] 이러한 진폭 제어를 위해 16비트 디지털-아날로그 변환기(DAC, 예를 들어, 아날로그 디바이스사의 모델 AD5662)를 사용함으로써 톱니파 전압 파형의 생성에 관계된 DAC의 유효 비트수는 30 비트이고, 톱니파의 주파수는 대략 200 Hz이다.
- [0059] 톱니파 전압의 진폭은 2개의 FBG(131, 132)의 반사 피크 간의 간격이 파장 가변 필터(112)에 전류가 유입되는 기간의 632/854가 되도록 제어되며, 동시에 FBG(131)의 반사 피크가 파장 가변 필터(112)에 대한 전류 유입의 시작 시점으로부터 전류 유입 총 기간의 71/854 지점에 위치하도록 DC 오프셋을 인가하는데 이를 위해 DC 오프셋부(152)에 의해 인가되는 V1의 크기 및 인가 시간, 즉 파장 가변 필터(112)에 주입되는 전하량이 제어될 수 있다.
- [0060] 이와 같이, 주파수 제어부(150)는 전압에 선형 모드에서 톱니 전압의 진폭과 DC 오프셋을 제어하기 위해 FBG 검출부(130)의 2개의 FBG(131, 132)에서의 반사 피크를 검출한 신호만을 사용한다.

- [0061] 예로서, 도 7을 참조하면, 상부에 도시된 파형은 주파수 제어부(150)가 1525 ~ 1586 nm의 스캔 범위를 유지할 때 FBG 검출부(130)에서 검출된 출력을 처리하여 생성된 펄스를 나타낸 것이고, 하부에 도시된 파형은 상부에 도시된 파형에 기초하여 주파수 제어부(150)가 파장 가변 필터(112)를 전압에 선형 모드로 구동하기 위한 V2 파형을 나타낸 것으로, V2의 주기와 펄스폭은 각각 5 ms와 4.375 ms이다.
- [0062] 한편, 주파수 제어부(150)가 주파수에 선형 모드에서 작동하는 경우, 2개의 FBG(131, 132)의 피크 간격 대신에 에탈론 검출부(140)에서 포토다이오드(142)로 입력되는 고정 에탈론(141)의 전송 피크간 간격을 이용하여 V3 파형에서 나타낸 광주파수 변화량($\Delta\nu$)을 조절함으로써 전압에 선형 모드의 스캔 범위를 유지한다.
- [0063] 주파수 제어부(150)는 고정 에탈론 검출부(140)에서 검출된 신호를 통해 각 피크 간격을 측정하고, 그 결과를 에탈론 출력의 피크 간 간격이 같도록 세그먼트의 구동 전류를 변형한 V3 파형을 생성한다.
- [0064] 파장 가변 레이저(110)가 주파수에 선형 모드에서 작동하는 경우, 에탈론 검출부(140)에서 검출되는 출력에는 70개 이상의 협곡이 있다. 주파수 제어부(150)는 고정 에탈론(141)의 협곡간 간격, 즉 100 GHz FSR 간격을 이용하여 각 세그먼트의 구동 전류를 실시간으로 제어할 수 있다. 여기서, 각 세그먼트에서의 구동 전류는 선형 튜닝된 파장 가변 레이저(100)를 목표로 FSR 간격을 균등화하도록 제어된다.
- [0065] 주파수 제어부(150)는 주파수에 선형 모드에서 에탈론 검출부(140)의 출력에 포함된 고정 에탈론(141)의 통과 피크의 위치 정보를 사용하여 시스템 클럭을 기준으로 고정 에탈론(141)의 전송 피크 사이의 간격을 57.30 μ s로 유지하기 위해 V2의 파형에 변형을 추가하여 V3 파형을 생성할 수 있다. 도 8을 참조하면, 상부에 도시된 파형이 고정 에탈론(141)의 출력 파형이고, 하부에 도시된 파형이 V2 파형이다.
- [0066] 도 7에서, V2 파형이 0인 동안은 PZT로부터 전류가 흘러나오고(싱크), V2 파형이 1인 동안 전류는 PZT로 흘러들어간다(소스). 따라서, PZT 전압 파형은 톱니 모양으로 V2 파형이 0일 때 하강하고, 1일 때는 상승한다. PZT 전압이 하강에서 상승으로 바뀔 때 처음 ~300 s 동안 고정 에탈론(141) 출력이 다소 손상된 것으로 관측된다. 이는 구동 회로의 대역폭 제한으로 인한 것으로, 이 기간 동안은 고정 에탈론(141) 출력에 기반한 파장 가변 레이저(110)의 주파수 변화율 제어가 회피되어야 할 것이다. 따라서, 파장 가변 레이저(110)의 주파수 변화율에 대한 제어는 톱니파의 총 상승 시간 4.375 ms 중 처음 300 s가 경과한 시점에서 시작되는 것이 바람직하다.
- [0067] 또한, 주파수에 선형 모드에서 V3 파형은 V2 파형에 광주파수의 변화율, 즉 $dv(t)/dt$ 를 상수값으로 유지하는데 필요한 변형을 추가한 파형이다. 여기서, 주변 환경의 변화에 영향을 받지 않는 크리스탈 클럭을 기준으로 통과 피크 간 시간 간격을 측정하므로, 파장 가변 레이저(110) 출력의 주파수 변화율이 주변 환경 변화에 영향을 받지 않을 수 있다.
- [0068] 주파수에 선형 모드에서도 DC 오프셋부(152)은 DC 오프셋을 지속적으로 제어하기 위해 V1을 유지하여 스캔 시작점을 정해진 위치로 유지한다.
- [0069] 이와 같이, 전술한 전압에 선형 모드로 작동하기 위해서는 2개의 FGB(131, 132)가 필요하지만, 주파수에 선형 모드로 작동하는 경우에는 1개의 FBG(131)와 고정 에탈론 검출부(140)만이 사용된다.
- [0070] 주파수 제어부(150)에서 전압에 선형 모드와 주파수에 선형 모드의 구동 전환은 스위치(154)에 의해 수행될 수 있다. 즉, 스위치(154)가 전압 선형 구동부(151)를 선택하는 경우에는 전압에 선형 모드로 작동하고, 그렇지 않고 스위치(154)가 주파수 선형 구동부(152)를 선택하는 경우에는 주파수에 선형 모드로 작동할 것이다.
- [0071] 합산기(155)는 전압 선형 구동부(151)에서 출력되는 전압 파형 신호(V2), DC 오프셋부(152)에서 출력되는 DC 전압 신호와 주파수 선형 구동부(153)에서 출력되는 전압 파형 신호(V3)를 더하여 전압-전류 변환기(156)로 출력한다. 물론, 전압에 선형 모드에서, 전압 선형 구동부(151)에서 출력되는 전압 파형 신호(V2)와 DC 오프셋부(152)에서 출력되는 DC 전압 신호만이 유효해져서 합산기(155)는 이들만을 합산하여 출력하게 될 것이고, 주파수에 선형 모드에서는 주파수 선형 구동부(153)에서 출력되는 전압 파형 신호(V3)와 DC 오프셋부(152)에서 출력되는 DC 전압 신호만이 유효해져서 합산기(155)는 이 신호들만을 합산하여 출력하게 될 것이다.
- [0072] 전압-전류 변환기(156)는 합산기(155)에서 출력되는 전압 신호를 대응하는 전류 신호로 변환하여 파장 가변 레이저(110)의 파장 가변 필터(112)로 출력한다.
- [0073] 한편, 선형으로 튜닝된 파장 가변 레이저(110)의 선형성을 평가할 적절한 방법을 찾기 위해 공간섭 현상을 살펴

본다.

[0074] 광주파수가 $v(t) = v_o + (\gamma_o \pm \Delta\gamma)t$ (v_o 는 기준광 주파수, γ_o 는 광주파수 변화율, $\Delta\gamma$ 는 광주파수 변화율의 변동)인 파장 가변 레이저(110)의 출력이 간격 L을 두고 배치된 2개의 거울(반사율이 각각 R_1 과 R_2 임)에서 반사되는 경우를 가정한다. 진폭이 E_o 인 광이 거리 L을 왕복하는 시간을 τ 로 가정할 때 간섭광의 광출력 P_{out} 은 다음의 [수학식 1]과 같이 계산될 수 있다.

[0075] [수학식 1]

$$\begin{aligned} P_{out} &= \langle |E_1 + E_2|^2 \rangle \\ &= |E_o|^2 (R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos 2\pi [v(t) - v(t - \tau)]t) \\ &= |E_o|^2 (R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos 2\pi (\gamma_o \pm \Delta\gamma)\tau t) \end{aligned}$$

[0076]

[0077] 여기서, P_{out} 의 교류 성분은 중심 주파수가 $\gamma_o\tau$ 이고, 스펙트럼 폭은 $2(\Delta\gamma)\tau$ 인 정현파임을 나타낸다. 따라서, 광주파수가 $v(t) = v_o + \gamma_o t$ 인 파장 가변 레이저(110)의 출력을 간섭계로 보내면 간섭계의 출력은 주파수가 $\gamma_o\tau$, 스펙트럼 폭은 0인 정현파가 된다. 그러나, 광주파수가 $v(t) = v_o + (\gamma_o \pm \Delta\gamma)t$ 이면 간섭계 출력의 중심 주파수와 스펙트럼 폭은 각각 $\gamma_o\tau$, $2\Delta\gamma\tau$ 가 된다. 따라서, $2\Delta\gamma/\gamma_o$ 를 비선형성의 척도로 사용할 수 있다.

[0078] 광섬유에 내장된 두 개의 거울로 구성된 광섬유 페브리-페로 간섭계(fiber Fabry-Perot interferometric, FPPI)는 편광으로 인한 신호 약화의 문제 없이 안정적인 간섭 출력을 생성할 수 있다. 따라서, FPPI는 파장 가변 레이저(110)의 출력 주파수의 비선형적 변화를 측정하는 도구로 사용할 수 있다. 또한, P_{out} 의 스펙트럼 분석을 사용하여 파장 가변 레이저(110)의 출력의 스펙트럼 순도를 찾을 수 있다.

[0079] 전술한 바와 같이, 선형으로 튜닝된 파장 가변 레이저(110)의 선형성을 평가하기 위해 도 9에 도시된 바와 같이, 도 1에 도시된 구성에 제3 결합기(160) 및 선형성 평가부(170)를 더 추가할 수 있다.

[0080] 제3 결합기(160)는 제1 결합기(120)에서 출력되는 광을 입력받아서 에탈론 검출부(140)와 선형성 평가부(170)로 분기시킨다.

[0081] 선형성 평가부(170)는 제3 결합기(160)로부터 출력되는 광을 입력받아서 파장 가변 레이저(110)의 선형성을 평가한다.

[0082] 도 10을 참조하면, 선형성 평가부(170)는 미리 설정된 간격(L)으로 이격되어 입사되는 광을 반사시키는 2개의 거울(171, 172), 입력되는 광 신호를 대응하는 전기 신호로 변환하여 출력하는 포토다이오드(173) 및 제3 결합기(160)로부터 출력되는 광을 2개의 거울(171, 172) 쪽으로 출력하고, 2개의 거울(171, 172)에서 반사된 광을 포토다이오드(173) 쪽으로 출력하는 제4 결합기(174)를 포함한다. 여기서, 미리 설정된 간격(L)은, 예를 들어 약 1.5 cm일 수 있고, 2개의 거울(171, 172)은 반사율이 약 4%인 유전체 거울일 수 있으며, 이들은 광섬유 내부에 만들어 넣어진 것일 수 있다.

[0083] 도 10에서, 선형성 평가부(170) 내의 2개의 거울(171, 172)의 조합은 FPPI로 작동하며, 전술한 [수학식 1]에 따라 포토다이오드(174) 출력의 스펙트럼 분석을 통해 파장 가변 레이저(110)의 출력광의 주파수 변화율 측정에 기초한 파장 가변 레이저(110)의 선형성 평가가 가능하다.

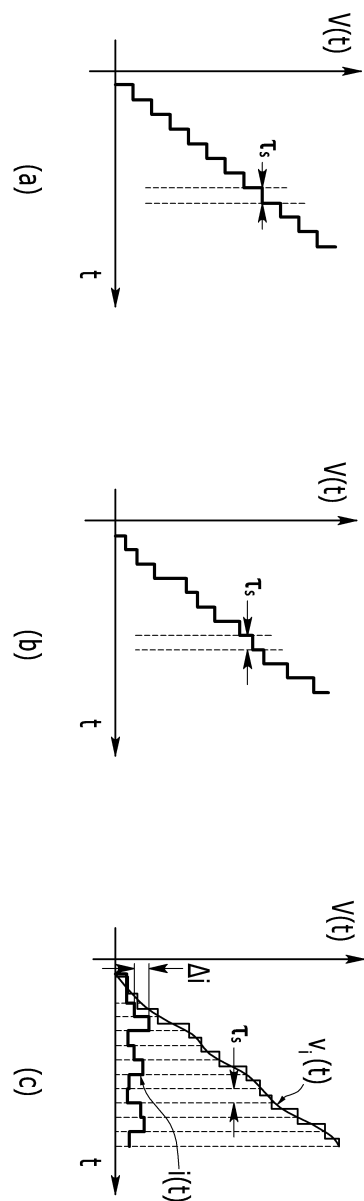
[0084] 도 11의 (a)는, PZT 전압이 선형적으로 증가할 때 포토다이오드(174)의 출력, 즉 FPPI 출력의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 포토다이오드(174) 출력의 스펙트럼은 전술한 파장 가변 레이저(110)의 출력 주파수 변화의 선형성에 대한 정보를 제공한다. 스펙트럼의 중심 주파수는 260 kHz이고, 대역폭은 약 25 kHz로 측정되었다.

따라서, 위에서 언급한 정의에 따라, 비선형성 정도는 약 9.6%이다.

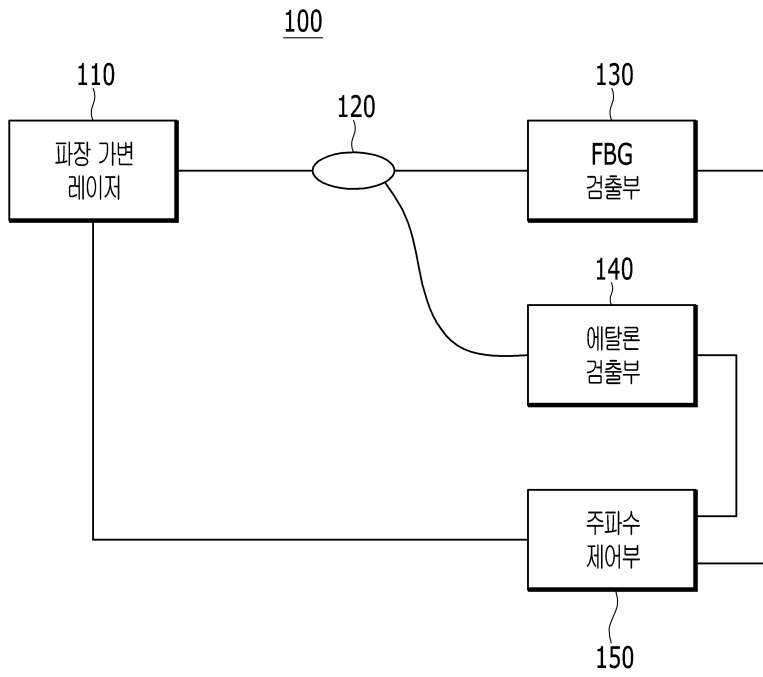
- [0085] 도 11의 (b)는 광주파수 변화율을 1.745210^9 Hz/s로 유지하기 위해 주파수에 선형 모드로 작동하는 경우의 포토 다이오드(174) 출력의 스펙트럼을 나타낸 것으로, 파장 가변 레이저(110) 출력의 주파수 변화율의 선형성이 크게 개선된 것을 확인할 수 있다. 스펙트럼 피크보다 낮은 주파수 영역의 스펙트럼 성분은 톱니파의 처음 300 s 동안의 출력광에 의한 것으로, 이 구간 동안은 구동 파형을 제어하지 않았기에 발생한 것이다. 따라서, 이 구간에서도 구동 파형을 제어한다면 스펙트럼 피크 이외 구간의 스펙트럼 성분은 발생하지 않을 것으로 예상할 수 있다
- [0086] 도 11의 (c)는 스펙트럼 피크 부근을 확대한 것으로, 주파수가 200 Hz인 PZT 구동 신호의 고조파 성분을 명확하게 보여주고 있다. 스펙트럼 피크는 262.77 kHz에 위치해있고, 스펙트럼 폭은 $2(\Delta\gamma) \sim 100$ Hz이며, 이는 제어되지 않는 경우의 $\sim 1/250$ 에 해당한다. 이로부터, 이 시스템이 의도된 작동을 수행하고 있음을 알 수 있다.
- [0087] 그러나, ~ 100 Hz의 비교적 넓은 스펙트럼 폭은 V2 파형에 대한 변형이 충분히 정확하지 않음에 기인한 것으로, 현재 시스템에 약간의 개선이 필요함을 시사한다. 구동 파형을 실시간으로 제어하면, 파장 가변 레이저(110)의 광 출력에 대한 PZT의 비이상적 효과를 대부분 배제할 수 있으며, 이들 비이상적 효과에는 환경 변화로 인한 크리프 및 드리프트까지 포함한다.
- [0088] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면, 간단한 구성으로 높은 튜닝 속도와 넓은 튜닝 범위를 갖는 선형 튜닝 파장 가변 레이저를 제공할 수 있다.
- [0089] 구체적으로, 선형 튜닝을 위해 추가되어야 할 광학 부품이 1개의 고정 에탈론과 1개의 FBG뿐이므로 값비싼 광학 부품의 사용이 최소화되어, 선형적으로 튜닝된 파장 가변 레이저를 위한 비용 효율적인 해결수단을 제공할 수 있다.
- [0090] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

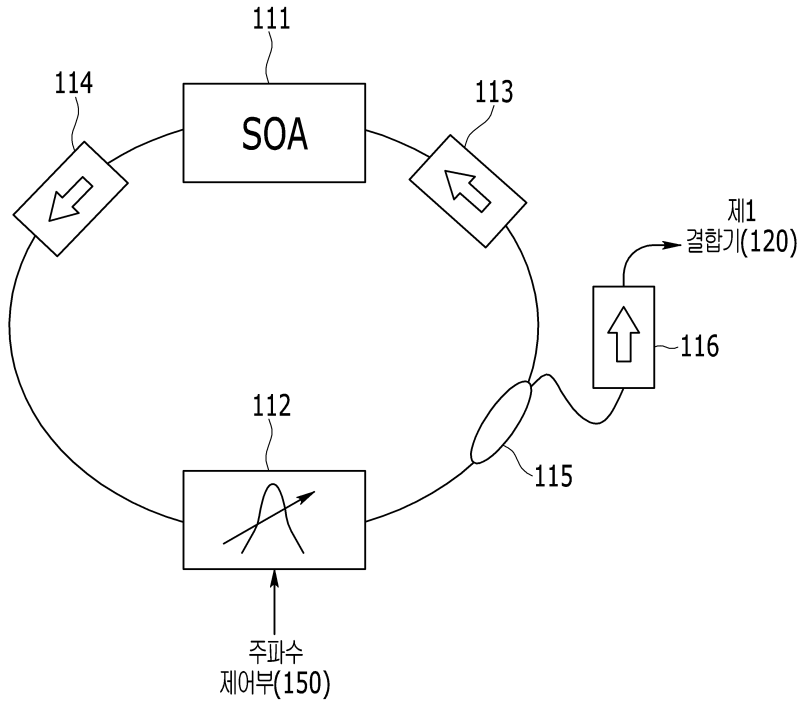
도면1



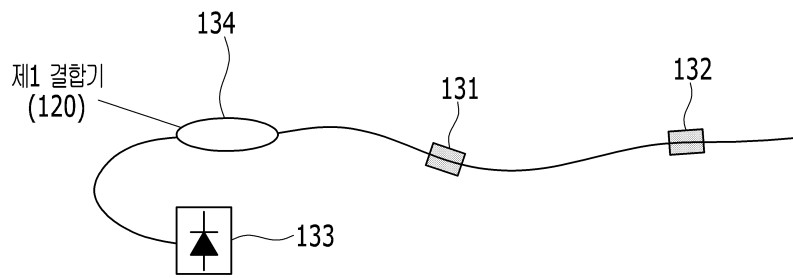
도면2



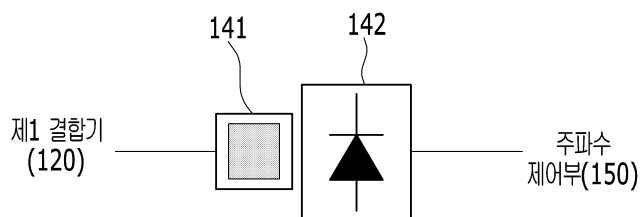
도면3



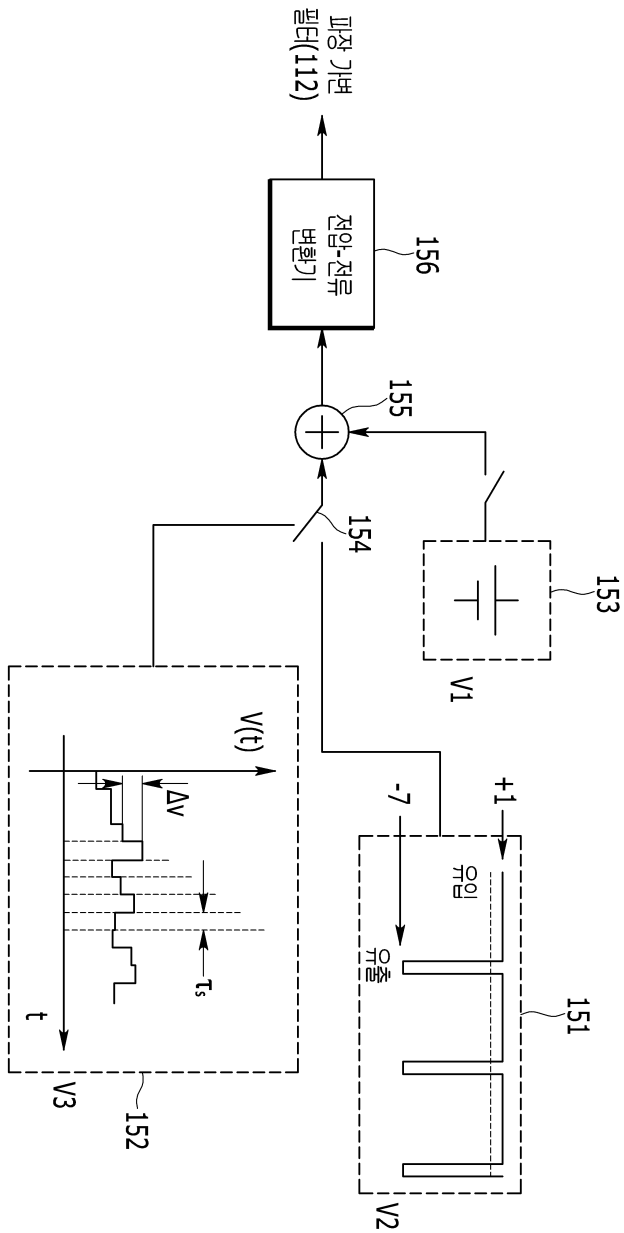
도면4



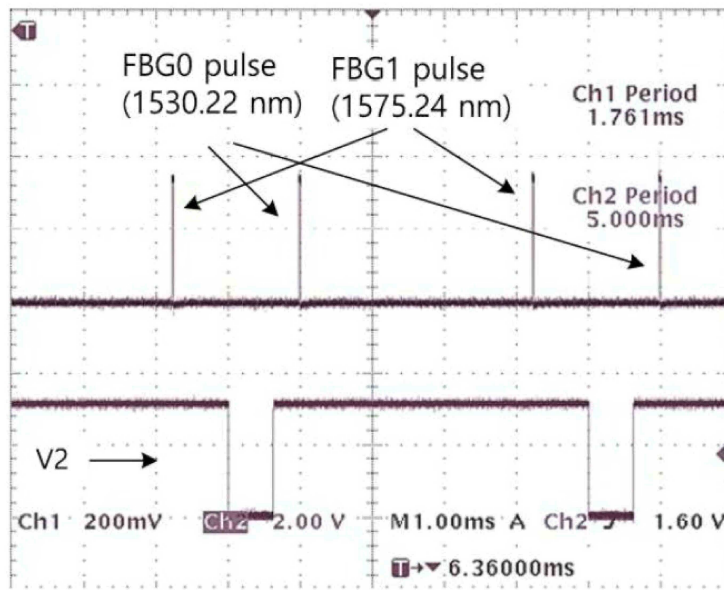
도면5



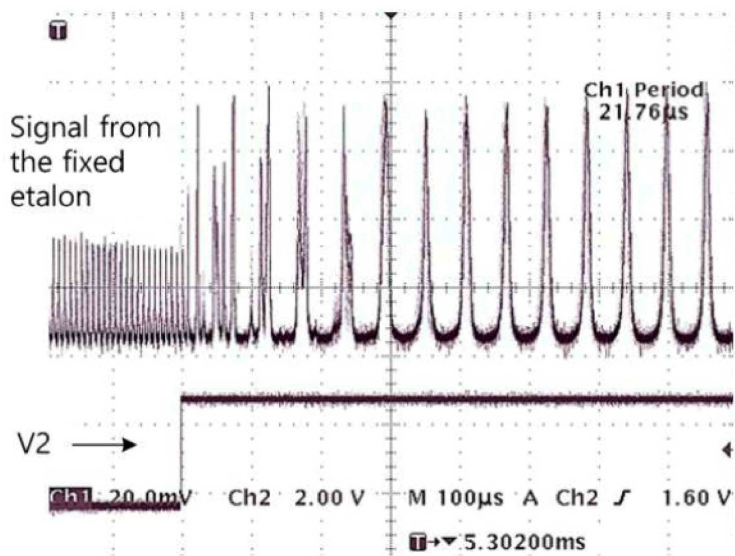
도면6



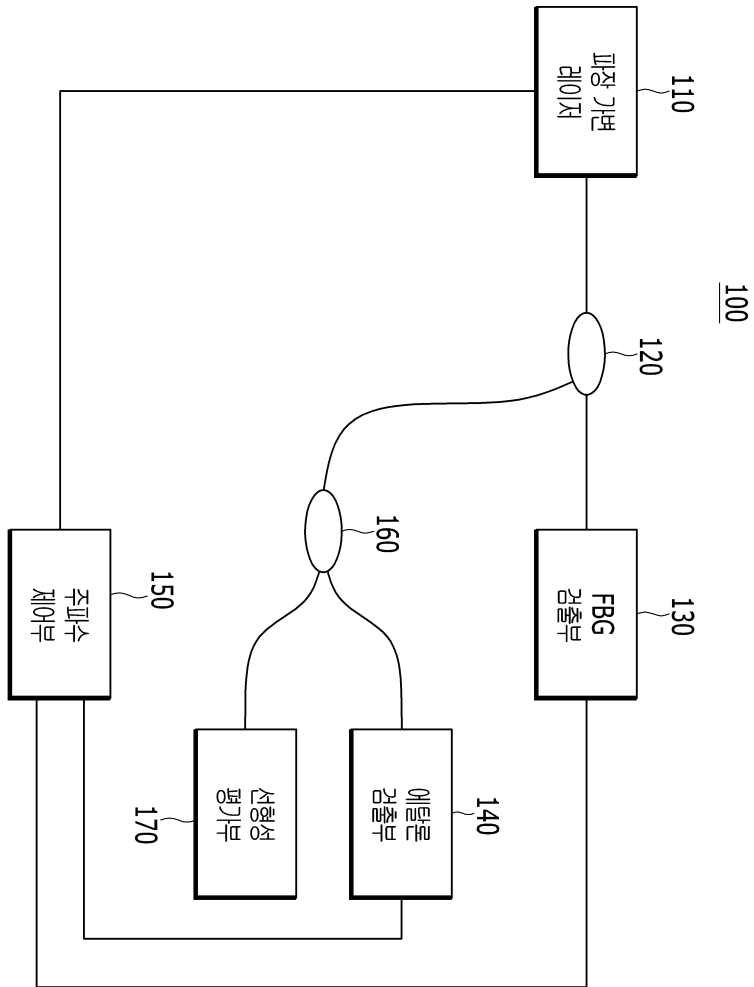
도면7



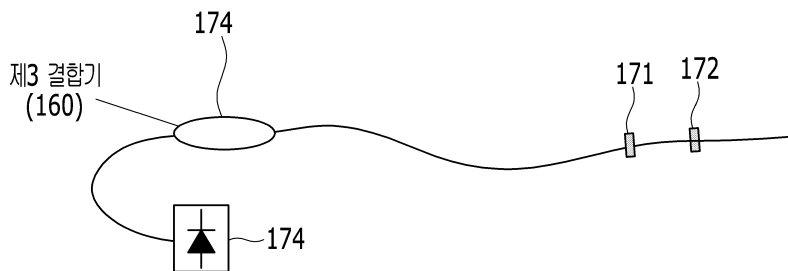
도면8



도면9



도면10



도면11

