



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년12월27일  
 (11) 등록번호 10-1690467  
 (24) 등록일자 2016년12월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01S 3/137 (2006.01) H01S 3/03 (2006.01)  
 H01S 3/08 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
 H01S 3/137 (2013.01)  
 H01S 3/031 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-0115477(분할)
- (22) 출원일자 2016년09월08일  
 심사청구일자 2016년09월08일
- (65) 공개번호 10-2016-0111350
- (43) 공개일자 2016년09월26일
- (62) 원출원 특허 10-2012-0105713  
 원출원일자 2012년09월24일  
 심사청구일자 2016년05월11일
- (30) 우선권주장  
 JP-P-2010-159505 2010년07월14일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US20040120368 A1  
 JP2009182562 A  
 JP2010147967 A  
 JP2009129955 A

- (73) 특허권자  
 세이코 엡슨 가부시키키가이샤  
 일본 도쿄도 신주쿠구 신주쿠 4초메 1반 6교
- (72) 발명자  
 니시다 데츠오  
 일본 나가노켄 스와시 오와 3초메 3-5 세이코 엡슨 가부시키키가이샤 내
- (74) 대리인  
 제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

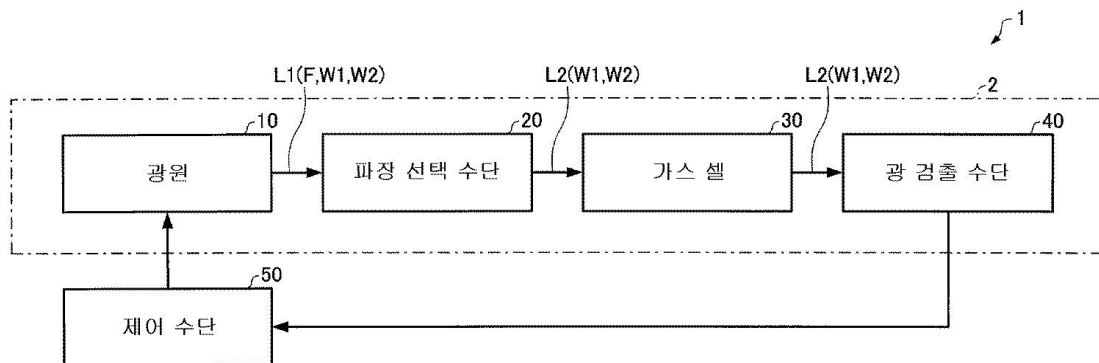
심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 **광학 모듈 및 원자 발전기**

**(57) 요약**

양자 간섭 효과를 이용하는 원자 발전기의 광학 모듈로서, 중심 파장을 갖는 기본파와, 서로 다른 파장을 갖는 제 1 측대파 및 제 2 측대파를 포함하는 제 1 광을 발생시키는 광원과, 상기 제 1 광의 상기 제 1 측대파 및 상기 제 2 측대파를 선택하여 투과시킴으로써, 제 2 광을 사출하는 파장 선택 수단과, 알칼리 금속 가스가 봉입되고, 상기 제 2 광이 조사되는 가스 셀과, 상기 가스 셀을 투과한 상기 제 2 광의 강도를 검출하는 광 검출 수단을 포함하는 광학 모듈.

**대표도**



(52) CPC특허분류  
*H01S 3/08004* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

양자 간섭 효과를 이용하는 원자 발진기의 광학 모듈로서,  
중심 파장을 갖는 기본파와, 상기 기본파의 강도보다 작은 강도를 갖고, 또한, 서로 상이한 파장을 갖는 상기 중심 파장의 제 1 측대파 및 제 2 측대파를 포함하는 제 1 광을 발생시키는 광원과,  
반사면을 구비하고, 상기 제 1 광이 입사되는 광학 소자와,  
상기 반사면에서 반사된 상기 제 1 광이 입사되고, 상기 제 1 측대파 및 상기 제 2 측대파와, 상기 제 1 측대파 및 상기 제 2 측대파보다 강도가 작은 상기 기본파를 포함하는 제 2 광을 사출시키는 파장 선택 수단과,  
알칼리 금속 가스를 봉입하고, 상기 제 2 광이 조사되는 가스 셀과,  
상기 가스 셀을 투과한 상기 제 2 광의 강도를 검출하는 광 검출 수단을 포함하는 광학 모듈.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
상기 파장 선택 수단은 에탈론인 광학 모듈.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,  
상기 에탈론은,  
상기 제 1 광을 반사시키고, 서로 대향하는 제 1 미러 및 제 2 미러와,  
상기 제 1 미러와 상기 제 2 미러의 사이에 배치된 기판(base plate)을 갖고,  
상기 기판의 재질은 화합물 반도체인 광학 모듈.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,  
기체(substrate)를 더 포함하고,  
상기 기체의 재질은 화합물 반도체이고,  
상기 광원은 반도체 레이저이고,  
상기 에탈론 및 상기 광원은, 기체에 형성되어 있는 광학 모듈.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,  
 상기 에탈론의 상기 기관은 상기 기체측으로부터 차례로 형성된 제 1 층, 제 2 층, 및 제 3 층을 갖고,  
 상기 제 1 층의 굴절률 및 상기 제 3 층의 굴절률은 상기 제 2 층의 굴절률보다 작고,  
 상기 제 2 층은 상기 제 1 광을 전파시키는  
 광학 모듈.

**청구항 6**

제 4 항 또는 제 5 항에 있어서,  
 상기 광원은 단면 발광형 레이저인 광학 모듈.

**청구항 7**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 광원은 면 발광형 레이저인 광학 모듈.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,  
 상기 파장 선택 수단은 광섬유 격자(fiber grating)인 광학 모듈.

**청구항 9**

청구항 1, 2, 3, 4, 5, 8 중 어느 한 항에 기재된 광학 모듈을 포함하는 원자 발진기.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 광학 모듈 및 원자 발진기에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근, 양자 간섭 효과의 하나인 CPT(Coherent Population Trapping)를 이용한 원자 발진기가 제안되어, 장치의 소형화나 저소비 전력화가 기대되고 있다. CPT를 이용한 원자 발진기는, 알칼리 금속 원자에 서로 파장(주파수)이 다른 2개의 공명광을 동시에 조사하면, 2개의 공명광의 흡수가 정지하는 현상(EIT 현상 : Electromagnetically Induced Transparency)을 이용한 발진기이다. 예컨대, 특허 문헌 1에는, CPT를 이용한 원자 발진기로서, 간섭성 광(coherent light)을 발하는 광원과, 알칼리 금속 원자가 봉입된 가스 셀과, 가스 셀을 투과한 광의 강도를 검출하는 수광 소자를 갖는 광학 모듈을 포함하여 구성된 원자 발진기가 기재되어 있다.

[0003] CPT를 이용한 원자 발진기에서는, 예컨대, 광원으로서 반도체 레이저가 이용된다. 광원으로서 반도체 레이저를 이용한 원자 발진기에서는, 예컨대, 반도체 레이저의 구동 전류를 변조함으로써 반도체 레이저로부터 출사되는 광에 측대파를 발생시켜, EIT 현상을 발현시키고 있다.

[0004] (선행 기술 문헌)

[0005] (특허 문헌)

[0006] (특허 문헌 1) 일본 특허 공개 공보 제 2009-89116 호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 그러나 구동 전류가 변조된 반도체 레이저로부터 출사되는 광에는, 측대파뿐만 아니라, EIT 현상에 기여하지 않는 중심 파장을 갖는 기본파(반송파)도 포함된다. 이 기본파가 알칼리 금속 원자에 조사되면, 알칼리 금속 원자가 흡수하는 광의 파장(주파수)이 변화되어(AC 슈타르크 효과), 원자 발진기의 주파수의 안정도를 저하시키는 경우가 있다.

[0008] 본 발명의 몇몇의 형태에 따른 목적의 하나는, 주파수 안정도가 높은 원자 발진기를 얻는 것이 가능한 광학 모듈을 제공하는 것에 있다. 또한, 본 발명의 몇몇의 형태에 따른 목적의 하나는, 상기 광학 모듈을 갖는 원자 발진기를 제공하는 것에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 본 발명에 따른 광학 모듈은, 양자 간섭 효과를 이용하는 원자 발진기의 광학 모듈로서, 중심 파장을 갖는 기본파와, 서로 다른 파장을 갖는 제 1 측대파 및 제 2 측대파를 포함하는 제 1 광을 발생시키는 광원과, 상기 제 1 광의 상기 제 1 측대파 및 상기 제 2 측대파를 선택하여 투과시킴으로써, 제 2 광을 사출하는 파장 선택 수단과, 알칼리 금속 가스가 봉입되고, 상기 제 2 광이 조사되는 가스 셀과, 상기 가스 셀을 투과한 상기 제 2 광의 강도를 검출하는 광 검출 수단을 포함한다.

[0010] 이러한 광학 모듈에 의하면, 파장 선택 수단인, 제 1 광의 기본파의 강도를 감소시키거나 또는 기본파를 소멸시킬 수 있다. 이에 의해, EIT 현상에 기여하지 않는 기본파가 알칼리 금속 원자에 조사되는 것을 억제 또는 방지할 수 있다. 따라서, AC 슈타르크 효과에 의한 주파수 변동을 억제할 수 있어, 주파수 안정도가 높은 발진기를 제공할 수 있다.

[0011] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 파장 선택 수단은, 에탈론일 수 있다.

[0012] 이러한 광학 모듈에 의하면, 파장 선택 수단을 간단한 구성으로 형성할 수 있다.

[0013] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 에탈론은, 상기 제 1 광을 반사시키고, 서로 대향하는 제 1 미러 및 제 2 미러와, 상기 제 1 미러와 상기 제 2 미러의 사이에 배치된 기관을 갖고, 상기 기관의 재질은, 화합물 반도체일 수 있다.

[0014] 이러한 광학 모듈에 의하면, 제 1 미러와 제 2 미러의 사이의 거리를 작게 할 수 있어, 장치의 소형화를 도모할 수 있다.

[0015] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 기체(substrate)를 더 포함하고, 상기 기체의 재질은, 화합물 반도체이며, 상기 광원은, 반도체 레이저이며, 상기 에탈론 및 상기 광원은, 기체에 형성되어 있을 수 있다.

[0016] 이러한 광학 모듈에 의하면, 에탈론 및 광원이 같은 기체에 형성되어 있기 때문에, 장치의 소형화를 도모할 수 있다.

[0017] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 에탈론의 상기 기관(base plate)은, 상기 기체측으로부터 차례로 형성된 제 1 층, 제 2 층, 및 제 3 층을 갖고, 상기 제 1 층의 굴절률 및 상기 제 3 층의 굴절률은, 상기 제 2 층의 굴절률보다 작고, 상기 제 2 층은, 상기 제 1 광을 전파시킬 수 있다.

[0018] 이러한 광학 모듈에 의하면, 기관을 광 도파로로 할 수 있다. 따라서, 파장 선택 수단으로부터 사출되는 제 2 광의 빔 직경을 제어할 수 있어, 제 2 광을 가스 셀에 효율적으로 조사할 수 있다.

[0019] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 광원은, 단면 발광형 레이저일 수 있다.

[0020] 이러한 광학 모듈에 의하면, 단면 발광형 레이저를 구성하는 층의 막 두께의 제어에 의해, 광원(단면 발광형 레이저)과 파장 선택 수단의 사이의 얼라인먼트를 할 수 있다. 또한, 예컨대, 같은 기체에 형성된 파장 변환 수단에 제 1 광을 입사시키기 위한 광학 소자가 불필요해진다. 따라서, 광원과 파장 선택 수단의 사이의 얼라인먼트 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0021] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 광원은, 면 발광형 레이저일 수 있다.

- [0022] 이러한 광학 모듈에 의하면, 면 발광형 레이저는, 단면 발광형 레이저와 비교하여, 이득을 발생시키기 위한 전류가 적기 때문에, 저소비 전력화를 도모할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 광학 모듈에 있어서, 상기 파장 선택 수단은, 광섬유 격자(fiber grating)일 수 있다.
- [0024] 이러한 광학 모듈에 의하면, 광섬유 격자는, 변형이 용이하기 때문에, 설계의 자유도를 향상시킬 수 있다.
- [0025] 본 발명에 따른 원자 발진기는, 본 발명에 따른 광학 모듈을 포함한다.
- [0026] 이러한 원자 발진기는, 본 발명에 따른 광학 모듈을 포함하기 때문에, AC 슈타르크 효과에 의한 주파수 변동을 억제할 수 있어, 주파수 안정도를 높일 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0027] 도 1은 본 실시 형태에 따른 원자 발진기의 기능 블록도,  
 도 2(a)는 알칼리 금속 원자의  $\Lambda$ 형 3준위 모델과 제 1 측대파 및 제 2 측대파의 관계를 나타내는 도면이며, 도 2(b)는 광원에 있어서 발생하는 제 1 광의 주파수 스펙트럼을 나타내는 도면,  
 도 3은 파장 선택 수단으로부터 사출된 제 2 광의 주파수 스펙트럼을 나타내는 도면,  
 도 4는 본 실시 형태에 따른 원자 발진기의 구성을 나타내는 도면,  
 도 5는 본 실시 형태에 따른 광학 모듈의 요부를 모식적으로 나타내는 단면도,  
 도 6은 단면 발광형 레이저를 이용한 본 실시 형태에 따른 광학 모듈의 요부를 모식적으로 나타내는 단면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0028] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대하여, 도면을 참조하면서 설명한다.
- [0029] 우선, 본 실시 형태에 따른 광학 모듈 및 원자 발진기에 대하여, 도면을 참조하면서 설명한다. 본 실시 형태에 따른 원자 발진기는, 본 실시 형태에 따른 광학 모듈을 포함한다. 도 1은 본 실시 형태에 따른 원자 발진기(1)의 기능 블록도이다.
- [0030] 원자 발진기(1)는, 광학 모듈(2)과, 제어 수단(50)을 포함한다.
- [0031] 광학 모듈(2)은, 광원(10)과, 파장 선택 수단(20)과, 가스 셀(30)과, 광 검출 수단(40)을 포함한다.
- [0032] 광원(10)은, 중심 파장(중심 주파수)을 갖는 기본파 F와, 서로 다른 파장을 갖는 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2를 포함하는 제 1 광 L1을 발생시킨다.
- [0033] 파장 선택 수단(20)은, 제 1 광 L1의 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2를 선택하여 투과시킴으로써 제 2 광 L2를 사출한다.
- [0034] 가스 셀(30)은, 알칼리 금속 가스가 봉입되어 있고, 가스 셀(30)에는, 제 2 광 L2가 조사된다.
- [0035] 광 검출 수단(40)은, 가스 셀(30)을 투과한 제 2 광 L2의 강도를 검출한다.
- [0036] 제어 수단(50)은, 광 검출 수단(40)의 검출 결과에 근거하여, 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2의 파장(주파수) 차이가, 가스 셀(30)에 봉입된 알칼리 금속 원자의 2개의 기저 준위의 에너지 차이에 상당하는 주파수와 같아지도록 제어한다. 구체적으로는, 제어 수단(50)은, 광 검출 수단(40)의 검출 결과에 근거하여, 변조 주파수  $f_m$ 을 갖는 검출 신호를 발생시킨다. 그리고, 광원(10)은, 이 변조 신호에 근거하여 소정의 주파수  $f_0$ 을 갖는 기본파 F를 변조하여, 주파수  $f_1=f_0+f_m$ 을 갖는 제 1 측대파 W1, 및 주파수  $f_2=f_0-f_m$ 을 갖는 제 2 측대파 W2를 발생시킨다.
- [0037] 도 2(a)는 알칼리 금속 원자의  $\Lambda$ 형 3준위 모델과 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2의 관계를 나타내는 도면이다. 도 2(b)는 광원(10)에 있어서 발생하는 제 1 광 L1의 주파수 스펙트럼을 나타내는 도면이다.
- [0038] 도 2(b)에 나타내는 바와 같이, 광원(10)에 있어서 발생하는 제 1 광 L1은, 중심 주파수  $f_0(=v/\lambda_0 : v$ 는 광의 속도,  $\lambda_0$ 은 레이저광의 중심 파장)을 갖는 기본파 F와, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 위쪽 사이드밴드에 주파수  $f_1$

을 갖는 제 1 측대파 W1과, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 아래쪽 사이드밴드에 주파수  $f_2$ 를 갖는 제 2 측대파 W2를 포함한다. 제 1 측대파 W1의 주파수  $f_1$ 은,  $f_1=f_0+f_m$ 이며, 제 2 측대파 W2의 주파수  $f_2$ 는,  $f_2=f_0-f_m$ 이다.

[0039] 도 2(a) 및 도 2(b)에 나타내는 바와 같이, 제 1 측대파 W1의 주파수  $f_1$ 과 제 2 측대파 W2의 주파수  $f_2$ 의 주파수 차이가, 알칼리 금속 원자의 기저 준위 1과 기저 준위 2의 에너지 차이  $\Delta E_{12}$ 에 상당하는 주파수와 일치하고 있다. 따라서, 알칼리 금속 원자는, 주파수  $f_1$ 을 갖는 제 1 측대파 W1과 주파수  $f_2$ 를 갖는 제 2 측대파 W2에 의해 EIT 현상을 일으킨다.

[0040] 여기서, EIT 현상에 대하여 설명한다. 알칼리 금속 원자와 광의 상호 작용은,  $\Lambda$ 형 3준위계 모델로 설명할 수 있는 것이 알려져 있다. 도 2(a)에 나타내는 바와 같이, 알칼리 금속 원자는 2개의 기저 준위를 갖고, 기저 준위 1과 여기 준위의 에너지 차이에 상당하는 파장(주파수  $f_1$ )을 갖는 제 1 측대파 W1, 혹은 기저 준위 2와 여기 준위의 에너지 차이에 상당하는 파장(주파수  $f_2$ )을 갖는 제 2 측대파 W2를, 각각 단독으로 알칼리 금속 원자에 조사하면, 광 흡수가 일어난다. 그런데, 도 2(b)에 나타내는 바와 같이, 이 알칼리 금속 원자에, 주파수 차이  $f_1-f_2$ 가 기저 준위 1과 기저 준위 2의 에너지 차이  $\Delta E_{12}$ 에 상당하는 주파수와 정확히 일치하는 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2를 동시에 조사하면, 2개의 기저 준위의 중첩 상태, 즉 양자 간섭 상태가 되어, 여기 준위로의 여기가 정지하여 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2가 알칼리 금속 원자를 투과하는 투명화 현상(EIT 현상)이 일어난다. 이 EIT 현상을 이용하여, 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2의 주파수 차이  $f_1-f_2$ 가 기저 준위 1과 기저 준위 2의 에너지 차이  $\Delta E_{12}$ 에 상당하는 주파수로부터 벗어났을 때의 광 흡수 거동의 급격한 변화를 검출하여 제어하는 것으로, 정밀도가 높은 발진기를 만들 수 있다.

[0041] 도 3은 파장 선택 수단(20)으로부터 사출된 제 2 광 L2의 주파수 스펙트럼을 나타내는 도면이다.

[0042] 제 2 광 L2는, 제 1 광 L1과 비교하여, 기본파 F가 소멸하거나 또는 기본파 F의 강도가 감소한 광이다. 도 3의 예에서는, 제 2 광 L2는, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 위쪽 사이드밴드에 주파수  $f_1$ 을 갖는 제 1 측대파 W1, 및 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 아래쪽 사이드밴드에 주파수  $f_2$ 를 갖는 제 2 측대파 W2만을 갖고 있다. 이와 같이, 광학 모듈(2)에서는, 파장 선택 수단(20)에 의해, 기본파 F의 강도를 감소시키거나 또는 기본파 F를 소멸시킬 수 있다.

[0043] 이하, 본 실시 형태의 원자 발진기의 보다 구체적인 구성에 대하여 설명한다.

[0044] 도 4는 원자 발진기(1)의 구성을 나타내는 도면이다.

[0045] 원자 발진기(1)는, 도 4에 나타내는 바와 같이, 광학 모듈(2)과, 전류 구동 회로(150)와, 변조 회로(160)를 포함한다.

[0046] 광학 모듈(2)은, 반도체 레이저(110)와, 파장 선택 소자(120)와, 가스 셀(130)과, 광 검출기(140)를 포함한다.

[0047] 반도체 레이저(110)는, 중심 파장을 갖는 기본파 F와, 서로 다른 파장을 갖는 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2를 포함하는 제 1 광 L1을 발생시킨다. 반도체 레이저(110)가 출사하는 레이저광(제 1 광 L1)은, 전류 구동 회로(150)가 출력하는 구동 전류에 의해 중심 주파수  $f_0$ (중심 파장  $\lambda_0$ )이 제어되어, 변조 회로(160)의 출력 신호(변조 신호)에 의해 변조된다. 즉, 전류 구동 회로(150)에 의한 구동 전류에, 변조 신호의 주파수 성분을 갖는 교류 전류를 중첩함으로써, 반도체 레이저(110)가 출사하는 제 1 광 L1이 변조될 수 있다. 이에 의해, 제 1 광 L1에는, 제 1 측대파 W1, 및 제 2 측대파 W2가 생성된다. 반도체 레이저(110)에 있어서 발생하는 광은, 가간섭성을 갖기 때문에, 양자 간섭 효과를 얻기 위해서 적합하다.

[0048] 도 2(b)에 나타내는 바와 같이, 제 1 광 L1은, 중심 주파수  $f_0(=v/\lambda_0 : v$ 는 광의 속도,  $\lambda_0$ 은 제 1 광 L1의 중심 파장)을 갖는 기본파 F와, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 위쪽 사이드밴드에 주파수  $f_1$ 을 갖는 제 1 측대파 W1과, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 아래쪽 사이드밴드에 주파수  $f_2$ 를 갖는 제 2 측대파 W2를 포함한다. 제 1 측대파 W1의 주파수  $f_1$ 은,  $f_1=f_0+f_m$ 이며, 제 2 측대파 W2의 주파수  $f_2$ 는,  $f_2=f_0-f_m$ 이다.

[0049] 파장 선택 소자(120)는, 제 1 광의 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2를 선택하여 투과시킨다. 즉, 파장 선택 소자(120)는, 제 1 측대파 W1 및 제 2 측대파 W2에 대한 투과율이 크고, 기본파 F에 대한 투과율이 작다. 이에 의해, 파장 선택 소자(120)에 입사한 제 1 광 L1의 기본파 F의 강도를 감소시키거나 또는 기본파 F를 소멸시켜,



제 2 광 L2로서 사출할 수 있다. 즉, 제 2 광 L2는, 제 1 광 L1과 비교하여, 기본파 F의 강도가 감소하거나 또는 기본파 F가 소멸하고 있다. 도 3의 예에서는, 제 2 광 L2는, 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 위쪽 사이드밴드에 주파수  $f_1$ 을 갖는 제 1 측대파 W1, 및 중심 주파수  $f_0$ 에 대하여 아래쪽 사이드밴드에 주파수  $f_2$ 를 갖는 제 2 측대파 W2만을 갖고 있다.

- [0050] 파장 선택 소자(120)는, 후술하는 바와 같이, 에탈론이더라도 좋고, 광섬유 격자이더라도 좋다.
- [0051] 가스 셀(130)은, 용기 내에 기체 상태의 알칼리 금속 원자(나트륨(Na) 원자, 루비듐(Rb) 원자, 세슘(Cs) 원자 등)가 봉입된 것이다. 가스 셀(130)에는, 제 2 광 L2가 조사된다.
- [0052] 이 가스 셀(130)에 대하여, 알칼리 금속 원자의 2개의 기저 준위의 에너지 차이에 상당하는 주파수(파장)를 갖는 2개의 광파(제 1 측대파 및 제 2 측대파)가 조사되면, 알칼리 금속 원자가 EIT 현상을 일으킨다. 예컨대, 알칼리 금속 원자가 세슘 원자이면, D1선에 있어서의 기저 준위 1과 기저 준위 2의 에너지 차이에 상당하는 주파수가 9.19263...GHz이기 때문에, 주파수 차이가 9.19263...GHz인 2개의 광파가 조사되면 EIT 현상을 일으킨다.
- [0053] 광 검출기(140)는, 가스 셀(130)을 투과한 제 2 광 L2를 검출하고, 검출한 광의 양에 따른 신호 강도의 신호를 출력한다. 광 검출기(140)의 출력 신호는 전류 구동 회로(150) 및 변조 회로(160)에 입력된다. 광 검출기(140)는, 포토다이오드이더라도 좋다.
- [0054] 전류 구동 회로(150)는, 광 검출기(140)의 출력 신호에 따른 크기의 구동 전류를 발생시켜 반도체 레이저(110)에 공급하고, 제 1 광 L1의 중심 주파수  $f_0$ (중심 파장  $\lambda_0$ )을 제어한다.
- [0055] 반도체 레이저(110), 파장 선택 소자(120), 가스 셀(130), 광 검출기(140), 전류 구동 회로(150)를 지나는 피드백 루프에 의해 제 1 광의 중심 주파수  $f_0$ (중심 파장  $\lambda_0$ )이 미조정되어 안정하다.
- [0056] 변조 회로(160)는, 광 검출기(140)의 출력 신호에 따른 변조 주파수  $f_m$ 을 갖는 변조 신호를 발생시킨다. 이 변조 신호는, 광 검출기(140)의 출력 신호가 최대가 되도록 변조 주파수  $f_m$ 이 미조정되면서 반도체 레이저(110)에 공급된다. 반도체 레이저(110)가 출사하는 레이저광은, 변조 신호에 의해 변조되고, 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2를 발생시킨다.
- [0057] 또, 반도체 레이저(110), 파장 선택 소자(120), 가스 셀(130), 광 검출기(140)는, 각각 도 1의 광원(10), 파장 선택 수단(20), 가스 셀(30), 광 검출 수단(40)에 대응한다. 또한, 전류 구동 회로(150), 변조 회로(160)는, 도 1의 제어 수단(50)에 대응한다.
- [0058] 이러한 구성의 원자 발진기(1)에 있어서, 반도체 레이저(110)가 발생시키는 제 1 광 L1의 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2의 주파수 차이가 가스 셀(130)에 포함되는 알칼리 금속 원자의 2개의 기저 준위의 에너지 차이에 상당하는 주파수와 정확히 일치하지 않으면, 알칼리 금속 원자가 EIT 현상을 일으키지 않기 때문에, 제 1 측대파 W1과 조사광 W2의 주파수에 따라 광 검출기(140)의 검출량은 매우 민감하게 변화한다. 그 때문에, 반도체 레이저(110), 파장 선택 소자(120), 가스 셀(130), 광 검출기(140), 및 변조 회로(160)를 지나는 피드백 루프에 의해, 제 1 측대파 W1과 제 2 측대파 W2의 주파수 차이가 알칼리 금속 원자의 2개의 기저 준위의 에너지 차이에 상당하는 주파수와 매우 정확히 일치하도록 피드백 제어된다. 그 결과, 변조 주파수는 매우 안정한 주파수가 되기 때문에, 변조 신호를 원자 발진기(1)의 출력 신호(클록 출력)로 할 수 있다.
- [0059] 도 5는 광학 모듈(2)의 요부(반도체 레이저(110) 및 파장 선택 소자(120))를 모식적으로 나타내는 단면도이다.
- [0060] 광학 모듈(2)은, 도 5에 나타내는 바와 같이, 기체(170)를 더 포함한다. 반도체 레이저(110) 및 파장 선택 소자(120)는, 기체(170)에 형성되어 있다. 이와 같이 반도체 레이저(110) 및 파장 선택 소자(120)가 일체로 형성되는 것에 의해, 장치의 소형화를 도모할 수 있다.
- [0061] 기체(170)의 재질은, 화합물 반도체이다. 구체적으로는, 기체(170)의 재질은, 예컨대, GaAs, InP, GaN 등의 III-V족 반도체나, ZnO, ZnSe 등의 II-VI족 반도체이다. 여기서는, 기체(170)의 재질이 제 1 도전형(예컨대 n형) GaAs인 경우 에 대하여 설명한다.
- [0062] 반도체 레이저(110)는, 제 1 반도체층(112)과, 활성층(114)과, 제 2 반도체층(116)을 포함하는 면 발광형 레이저이다.
- [0063] 제 1 반도체층(112)은, 기체(170)상에 형성되어 있다. 제 1 반도체층(112)은, 예컨대, n형(제 1 도전형)



$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층과 n형  $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 층을 교대로 적층한 분포 브래그 반사형(DBR) 반도체 미러이다.

- [0064] 활성층(114)은, 제 1 반도체층(112)상에 형성되어 있다. 활성층(114)은, 예컨대, GaAs 웰층과  $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$  배리어층으로 구성되는 양자 우물 구조를 3개 포갠 다중 양자 우물(MQW) 구조를 갖는다.
- [0065] 제 2 반도체층(116)은, 예컨대, p형(제 2 도전형)  $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 층과 p형  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 교대로 적층한 DBR 반도체 미러이다.
- [0066] p형의 제 2 반도체층(116), 불순물이 도핑되어 있지 않은 활성층(114), 및 n형의 제 1 반도체층(112)에 의해, pin 다이오드가 형성된다.
- [0067] 제 1 전극(118)은, 기체(170)의 하면에 형성되어 있다. 제 1 전극(118)은, 기체(170)를 사이에 두고, 제 1 반도체층(112)과 전기적으로 접속되어 있다. 제 1 전극(118)은, 반도체 레이저(110)를 구동하기 위한 한쪽의 전극이다.
- [0068] 제 2 전극(119)은, 제 2 반도체층(116)의 상면에 형성되어 있다. 제 2 전극(119)은, 제 2 반도체층(116)과 전기적으로 접속되어 있다. 제 2 전극(119)은, 반도체 레이저(110)를 구동하기 위한 다른 쪽의 전극이다.
- [0069] 제 1 전극(118)과 제 2 전극(119)에서, pin 다이오드에 순방향의 전압을 인가하면, 활성층(114)에 있어서, 전자와 정공의 재결합이 일어나고, 그 재결합에 의한 발광이 생긴다. 거기서 생긴 광이 제 2 반도체층(116)과 제 1 반도체층(112)의 사이를 왕복할 때에 유도 방출이 일어나, 광의 강도가 증폭된다. 광 이득이 광 손실을 상회하면, 레이저 발진이 일어나, 제 2 반도체층(116)의 상면으로부터 레이저광(제 1 광 L1)이 출사된다. 반도체 레이저(110)로부터 출사된 광 L1은, 프리즘(180)에서 반사되어, 파장 선택 소자(120)에 입사한다. 프리즘(180)은, 제 1 광 L1의 진행 방향을 바꿔, 제 1 광 L1을 파장 선택 소자(120)에 입사시키기 위한 광학 소자이다.
- [0070] 광학 모듈(2)에 있어서, 파장 선택 소자(120)는, 에탈론이다. 파장 선택 소자(120)는, 제 1 미러(121)와, 제 2 미러(122)와, 제 1 미러(121)와 제 2 미러(122)의 사이에 배치된 기관(123)을 포함한다.
- [0071] 파장 선택 소자(120)는, 간섭 작용에 의해, 입사한 광 중, 소정 파장의 광(제 1 측대와 W1 및 제 2 측대와 W2)을 투과시킨다. 제 1 미러(121)와 제 2 미러(122)의 사이의 기관(123)에 광이 입사하면, 간섭 작용에 의해, 기관(123)의 길이(제 1 미러(121)와 제 2 미러(122)의 사이의 거리) D 및 기관(123)의 굴절률에 따른 파장의 광이 선택적으로 파장 선택 소자(120)를 투과한다. 파장 선택 소자(120)는, 제 1 측대와 W1 및 제 2 측대와 W2에 대한 투과율이 크고, 기본파 F에 대한 투과율이 작다. 이에 의해, 파장 선택 소자(120)에 입사한 광 L1의 기본파 F의 강도를 감소시키거나 또는 기본파 F를 소멸시킬 수 있다. 따라서, 파장 선택 소자(120)는, 예컨대, 제 1 측대와 W1 및 제 2 측대와 W2만을 포함하는 제 2 광 L2를 사출할 수 있다.
- [0072] 제 1 미러(121)와 제 2 미러(122)는, 기관(123)을 사이에 두고, 서로 대향하고 있다. 제 1 미러(121) 및 제 2 미러(122)는, 예컨대,  $Ta_2O_5$ 막과  $SiO_2$ 막을 교대로 적층한 다층막으로 이루어진다.
- [0073] 기관(123)은, 기체(170)상에 형성되어 있다. 기관(123)은, 기체(170)측으로부터 차례로 형성된, 제 1 층(124), 제 2 층(126), 및 제 3 층(128)을 갖고 있다. 기관(123)은, 제 1 층(124)의 굴절률 및 제 3 층(128)의 굴절률은, 제 2 층(126)의 굴절률보다 작다. 따라서, 제 1 층(124) 및 제 3 층(128)은, 클래드층으로서 기능하고, 제 2 층은, 제 1 광 L1을 전파시키는 코어층으로서 기능한다. 즉, 기관(123)은, 제 1 광 L1을 전파시키는 광 도파로이다. 광학 모듈(2)에서는, 기관(123)이 광 도파로이기 때문에, 파장 선택 소자로부터 사출되는 광 L2의 빔 직경을 제어할 수 있어, 가스 셀(130)에 광을 효율적으로 조사할 수 있다.
- [0074] 제 1 층(124) 및 제 3 층(128)의 재질은, 예컨대, AlGaAs이며, 제 2 층(126)의 재질은, 예컨대, GaAs이다.
- [0075] 기관(123)의 재질은, 특별히 한정되지 않고, GaAs, InP, GaN 등의 III-V족 반도체나, ZnO, ZnSe 등의 II-VI족 반도체이더라도 좋다. 기관(123)의 재질로서, 예컨대, GaAs를 이용한 경우, 프리 스펙트럴 레인지(free spectral range)를 9.2GHz, 반값 전폭을 0.3GHz 정도로 하면, 기관(123)의 길이 D는 28.5mm 정도이다. 에탈론의 기관의 재질로서 일반적인  $SiO_2$ 를 이용한 경우, 기관의 길이는, 70.66mm 정도이다. 이와 같이, 기관(123)의 재질로서, 굴절률이 큰 화합물 반도체를 이용함으로써, 기관(123)의 길이 D를 짧게 할 수 있다.
- [0076] 또, 기관(123)은, 광 도파로를 형성하지 않더라도 좋다. 기관(123)은, 복수의 층(124, 126, 128)을 갖지 않고, 단층이더라도 좋다.

- [0077] 여기서는, 파장 변환 소자(120)가 에탈론인 경우에 대하여 설명했지만, 파장 변환 소자(120)는, 광섬유의 코어에 긴 방향으로 주기적인 굴절률 변화를 준 광섬유 격자이더라도 좋다. 광섬유 격자는, 광섬유를 이용하고 있기 때문에, 변형이 용이하여, 설계의 자유도를 향상시킬 수 있다.
- [0078] 광학 모듈(2) 및 원자 발전기(1)는, 예컨대, 이하의 특징을 갖는다.
- [0079] 광학 모듈(2)에 의하면, 파장 선택 소자(120)가, 제 1 광 L1의 기본파 F의 강도를 감소시키거나 또는 기본파 F를 소멸시킬 수 있다. 이에 의해, EIT 현상에 기여하지 않는 기본파 F가 알칼리 금속 원자에 조사되는 것을 억제 또는 방지할 수 있다. 따라서, AC 슈타르크 효과에 의한 주파수 변동을 억제할 수 있어, 주파수 안정도가 높은 발전기를 제공할 수 있다.
- [0080] 광학 모듈(2)에 의하면, 파장 선택 소자(120)가, 에탈론이다. 따라서, 간단한 구성으로 파장 선택 소자를 형성할 수 있다. 또한, 파장 선택 소자(에탈론)(120)의 기관(123)의 재질이 화합물 반도체이다. 따라서, 기관(123)의 재질을 SiO<sub>2</sub>로 한 경우와 비교하여, 기관(123)의 길이 D를 짧게 할 수 있어, 장치의 소형화를 도모할 수 있다.
- [0081] 광학 모듈(2)에 의하면, 파장 선택 소자(에탈론)(120) 및 반도체 레이저(광원)(110)가 기체(170)에 형성되어 있다. 이와 같이 파장 선택 소자(120)와 반도체 레이저(110)를 기체(170)에 일체로 형성함으로써, 장치의 소형화를 도모할 수 있다.
- [0082] 광학 모듈(2)에 의하면, 상술한 바와 같이, 파장 선택 소자(에탈론)(120)의 기관(123)이 광 도파로이다. 따라서, 파장 선택 소자(120)로부터 사출되는 광 L2의 빔 직경을 제어할 수 있어, 가스 셀(130)에 효율적으로 광을 조사할 수 있다.
- [0083] 광학 모듈(2)에 의하면, 광원(10)이 면 발광형 레이저이다. 면 발광형 레이저는, 단면 발광형 레이저와 비교하여, 이득을 발생시키기 위한 전류가 적기 때문에, 저소비 전력화를 도모할 수 있다.
- [0084] 원자 발전기(1)에 의하면, 광학 모듈(2)을 갖고 있다. 따라서, 상술한 바와 같이, 주파수 안정도를 높일 수 있다.
- [0085] 또, 상술한 실시 형태는 일례이고, 이들에 한정되는 것은 아니다.
- [0086] 예컨대, 상술한 도 5에 나타내는 반도체 레이저(110)는, 면 발광형 레이저이지만, 반도체 레이저는, 단면 발광형 레이저이더라도 좋다. 도 6은 단면 발광형 레이저를 이용한 광학 모듈(2D)의 요부를 모식적으로 나타내는 단면도이다. 이하, 도 6에 나타내는 광학 모듈(2D)에서, 상술한 도 5에 나타내는 광학 모듈(2)의 구성과 같은 구성에 대해서는 동일한 부호를 붙이고, 그 설명을 생략한다.
- [0087] 제 1 반도체층(112)은, 기체(170)상에 형성되어 있다. 제 1 반도체층(112)으로서는, 예컨대, 제 1 도전형(예컨대 n형) AlGaAs층 등을 이용할 수 있다.
- [0088] 활성층(114)은, 제 1 반도체층(112)상에 형성되어 있다. 활성층(114)은, 예컨대, GaAs 웰층과 AlGaAs 배리어층으로 구성되는 양자 우물 구조를 3개 포갠 다중 양자 우물(MQW) 구조를 갖는다.
- [0089] 제 2 반도체층(116)은, 활성층(114)상에 형성되어 있다. 제 2 반도체층(116)으로서는, 예컨대, 제 2 도전형(예컨대 p형)의 AlGaAs층 등을 이용할 수 있다.
- [0090] 예컨대, p형의 제 2 반도체층(116), 불순물이 도핑되어 있지 않은 활성층(114), 및 n형의 제 1 반도체층(112)에 의해, pin 다이오드가 구성된다. 제 2 반도체층(116) 및 제 1 반도체층(112)의 각각은, 활성층(114)보다 금지대폭(forbidden band width)이 크고, 굴절률이 작은 층이다. 활성층(114)은, 광을 증폭하는 기능을 갖는다. 제 1 반도체층(112) 및 제 2 반도체층(116)은, 활성층(114)을 사이에 두고, 주입 캐리어(전자 및 정공) 및 광을 가두는 기능을 갖는다.
- [0091] 반도체 레이저(110)에서는, 제 1 전극(118)과 제 2 전극(119)의 사이에, pin 다이오드의 순바이어스 전압을 인가하면, 활성층(114)에 있어서 전자와 정공의 재결합이 일어난다. 이 재결합에 의해 발광이 생긴다. 이렇게 생긴 광을 기점으로 하여, 연쇄적으로 유도 방출이 일어나, 광 강도가 증폭된다. 광 이득이 광 손실을 상회하면, 레이저 발진이 일어나, 레이저광이 생겨, 활성층(114)의 측면으로부터 레이저광(제 1 광 L1)이 출사된다.
- [0092] 반도체 레이저(110)로서 단면 발광형 레이저를 이용함으로써, 반도체 레이저(110)의 각 층(112, 114, 116)의 적층 방향에 대하여 수직으로 레이저광을 출사할 수 있다. 따라서, 각 층(112, 114, 116)의 막 두께의 제어에 의

해, 반도체 레이저(110)와 파장 선택 소자(120)의 사이의 얼라인먼트를 할 수 있다. 또한, 예컨대, 같은 기체 (170)상에 형성된 파장 변환 소자(120)에 레이저광을 입사시키기 위한 프리즘 등의 광학 소자가 불필요해진다. 따라서, 반도체 레이저(110)와 파장 선택 소자(120)의 사이의 얼라인먼트 정밀도를 향상시킬 수 있다.

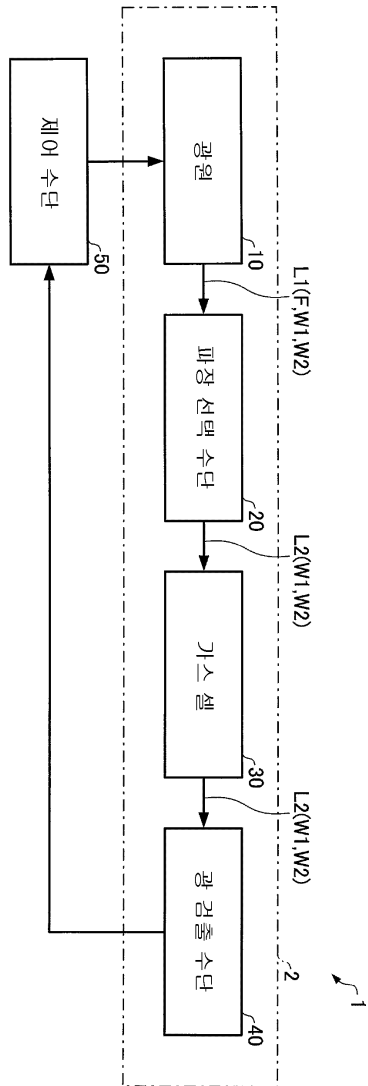
[0093] 상기한 바와 같이, 본 발명의 실시 형태에 대하여 상세하게 설명했지만, 본 발명의 신규 사항 및 효과로부터 실제적으로 이탈하지 않는 많은 변형이 가능한 것은 당업자는 용이하게 이해할 수 있다. 따라서, 이러한 변형에는 전부 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 한다.

**부호의 설명**

- |        |                |                |
|--------|----------------|----------------|
| [0094] | 1 : 원자 발진기     | 2 : 광학 모듈      |
|        | 10 : 광원        | 20 : 파장 선택 수단  |
|        | 30 : 가스 셀      | 40 : 광 검출 수단   |
|        | 50 : 제어 수단     | 110 : 반도체 레이저  |
|        | 112 : 제 1 반도체층 | 114 : 활성층      |
|        | 116 : 제 2 반도체층 | 118 : 제 1 전극   |
|        | 119 : 제 2 전극   | 120 : 파장 선택 소자 |
|        | 121 : 제 1 미러   | 122 : 제 2 미러   |
|        | 123 : 기관       | 124 : 제 1 층    |
|        | 126 : 제 2 층    | 128 : 제 3 층    |
|        | 130 : 가스 셀     | 140 : 광 검출기    |
|        | 150 : 전류 구동 회로 | 160 : 변조 회로    |
|        | 170 : 기체       | 180 : 프리즘      |

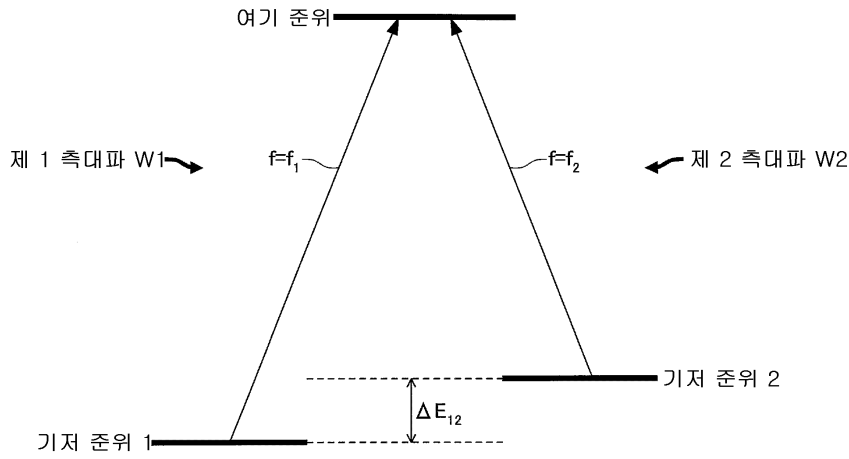
도면

도면1

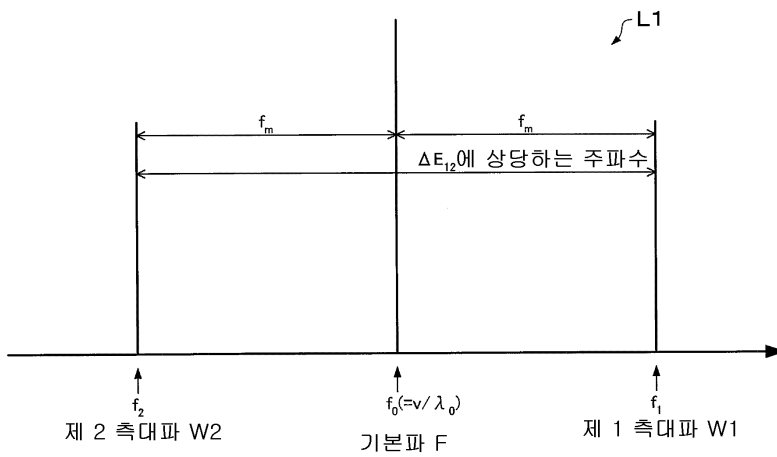


도면2

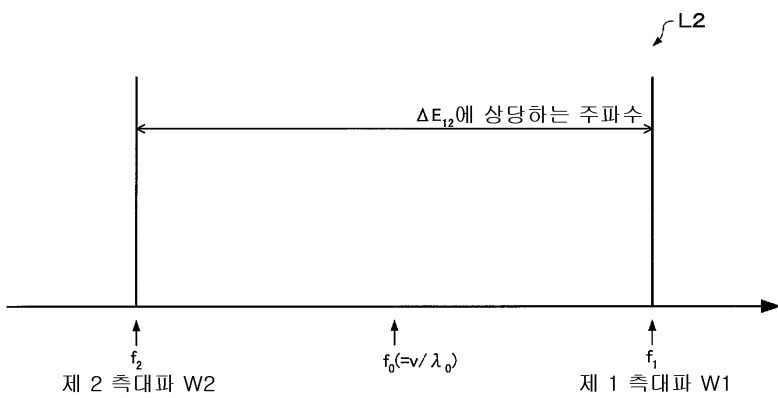
(a)



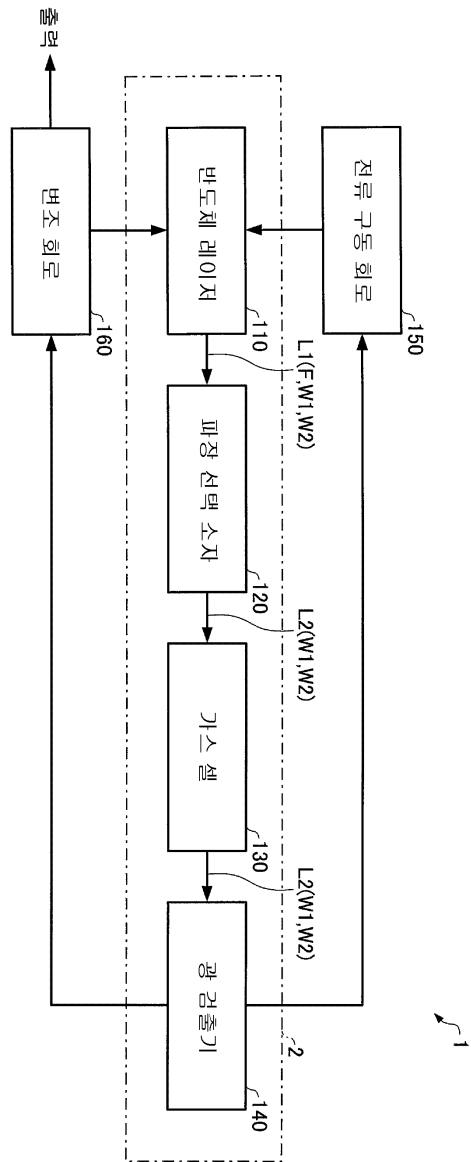
(b)



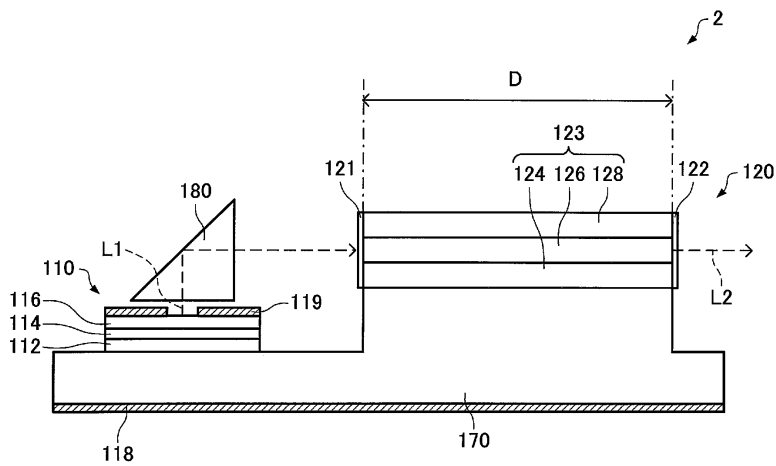
도면3



도면4



도면5



도면6

