(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[6]
H01S 3/25

(45) 공고일자 1999년11월01일
(11) 등록번호 10-0229051
(24) 등록일자 1999년08월13일

(21) 출원번호	10-1996-0706848	(65) 공개번호	특1997-0703634
(22) 출원일자	1996년12월02일	(43) 공개일자	1997년07월03일
번역문제출일자	1996년12월02일		
(86) 국제출원번호	PCT/US 96/02323	(87) 국제공개번호	WO 96/32766
(86) 국제출원일자	1996년03월11일	(87) 국제공개일자	1996년10월17일
(81) 지정국	AP ARIPO특허 : 말라위 케냐 EA EURASIAN특허 : 벨라루스 카자흐스탄 러시아 아르메니아 키르기즈 EP 유럽특허 : 오스트리아 스위스 리히텐슈타인 독일 덴마크 스페인 핀랜드 영국 룩셈부르크 네덜란드 포르투칼 스웨덴 국내특허 : 오스트레일리아 바베이도스 불가리아 브라질 캐나다 중국 체크 헝가리 일본 북한 대한민국 스리랑카 라트비아 몽고 마다가스카르 노르웨이 뉴질랜드 폴란드 루마니아 소말리아 슬로바키아 우크라이나 우즈베키스탄 베트남 에스토니아 그루지야 라이베리아 리투아니아		
(30) 우선권주장	8/422,486 1995년04월12일 미국(US)		

(73) 특허권자 옵티컬 컨셉츠, 인코오포레이티드 데이빗 웰치
미국 캘리포니아주 93436 롬폭 코머스 코트 432에이
(72) 발명자 비자이세카 자야라만
미국 캘리포니아 93117, 골레타, #204 데이븐포트 7170
(74) 대리인 나영환, 이상섭

심사관 : 고광석

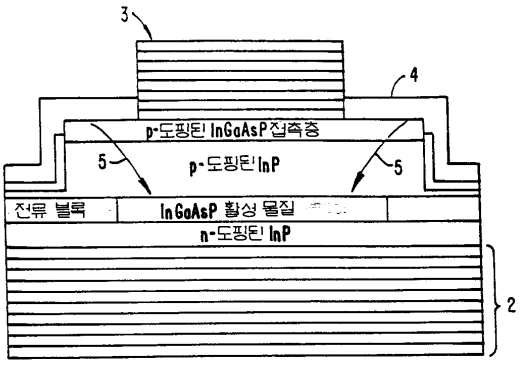
(54) 수직적으로 통합된 광학펌프를 갖는 장파장수직 공동표면 방출레이저

요약

본 발명에 따른 장파장 VCSEL은 전기적으로 펌핑된 더 짧은 파장 VCSEL에 결합되어 이 단파장 VCSEL에 의해 광학적으로 펌핑된다. 하부 VCSEL의 상단 표면으로부터 방출된 단파장 복사선은 장파장 VCSEL의 하부 미러를 통해 투과된다. 장파장 복사선의 장파장 VCSEL의 상단 표면으로부터 방출되는 것이 바람직하다. 2개의 VCSEL은 투명한 광학 접착, 웨이퍼-용융 공정 또는 금속간 본딩을 이용하여서로 결합되는 것이 바람직하다.

대표도

(종래 기술)



명세서

[발명의 명칭]

수직적으로 통합된 광학 펌프를 갖는 장파장 수직 공동 표면 방출 레이저

본 발명은 U.S. Army Strategic Defense Command에 의해 BMDO계약 번호 DASG60-94-C-0022하에서 미국 정부의 지원아래 만들어졌다. 미국 정부는 본 발명에 대해 어떤 권리를 가질 수 있다.

[배경기술]

VCSEL(vertical cavity surface emitting laser)은 갈륨비소(GaAs) 또는 인듐갈륨비소등과 같은 광학적으로 활성화되는 물질로 형성된 반도체 층이 금속 물질, 유전체, 에피택셜로 성장된 반도체 유전체 또는 이들의 조합으로 만들어진 높은 반사율을 갖는 층들로 형성되며 대부분 스택 형태로된 복수의 미러 사이에 삽입되어 구성된 반도체 레이저이다. 통상적으로, 이러한 미러 스택들중 하나는 반사적이기 때문에 공진공동(resonating cavity)에서 만들어진 간섭성 광의 일부를 투과시킬 수 있다. 이 공진공동은 미러 스택에 활성층을 삽입함으로써 형성된다.

레이저의 구성은 펌핑(pumping)전자가 분포 반전을 거쳐 효율적으로 유도양자로 변환되도록 하기 위해 공동내의 광학적 제한과 캐리어 제한을 필요로 한다. 공동내에 있는 반사된 전자기 에너지의 정재파는 전자기 모드로 상승하는 단면 특성을 갖는다. 바람직한 전자기 모드는 단일의 기본 모드 예컨대, 원통형 도파관의 HE_{11}모드이다. VCSEL로부터의 단일 모드 신호는 광섬유와 용이하게 결합하며, 확산이 적고, 공정중에는 고유한 단일 주파수가 된다.

VCSEL의 전체 이득 레이징 임계치(lasing threshold)에 도달하기 위해 VCSEL의 전체 손실과 같아야 한다. 그러나, VCSEL의 컴팩트한 특성에 의해, 이득매체는 매우 제한적으로 된다. 이러한 제한의 결과로서 효율적인 VCSEL 즉, 약 99.5%이상의 반사율을 제공하는 미러에 대한 필요성이 생기게 되었다. 미러는 활성영역과 동일한 에피택셜 단계에서 성장될 수 있기 때문에, 단파장의 VCSEL에서 보다 장파장의 VCSEL에서 이러한 필요성을 만족시키기 더 어렵다. 예컨대 980나노미터(nm)의 GaAs VCSEL에서, 미러는 GaAs 및 AlGaAs의 층을 교대로 적층한 교호층을 이용하여 성장될 수 있다. 이러한 2개의 물질 사이의 굴절율의 차는 0.6이 되기 때문에 적당한 미러를 형성하기 위해 요구되는 층은 거의 없다. 1300 또는 1550nm의 VCSEL에 사용되는 유사 미러 설계는 InP 및 InGaAsP의 교호층을 이용할 것이다. 그러나, 이러한 경우에 있어서, 굴절율 차는 약 0.23이 된다. 그 결과로서, InP/InGaAsP미러는 GaAs/AlGaAs미러와 동일한 굴절율을 얻기 위해 더 두꺼워야 한다. 그러나, 두께를 증가시키게 되면, 흡수 및 디프렉션 손실이 증가하고 결국 획득가능한 최대 반사율이 제한되므로 실제로는 유용하지 않다.

그러므로 유용한 장파장의 VCSEL을 형성하기 위해서, 미러는 증착 유전체나 격자 비정합 반도체로 형성되어야 한다. 제1도 및 제2도는 종래기술에서 개시된 2가지 가능한 미러 조합을 나타낸다. 이 2개의 구조는 모두 InP/InGaAs보다 더 큰 굴절율 차를 갖는 적어도 하나의 웨이퍼-용융 GaAs/AlAs미러(2)를 사용한다. 웨이퍼 용융은 공지된 기술이며 다른 격자 상수로 구성된 반도체는 기계적 압력 및 열을 가함으로써 원자적으로 간단하게 결합될 수 있다. 제1도에 도시된 구조는 상부미러로서 전기적 절연 유전체 미러(3)를 사용하는 반면 제2도에 도시된 구조는 상부 미러로서 제2 웨이퍼-용융 GaAs/AlGaAs 미러(2)를 사용한다.

제1도 및 제2도에 도시된 VCSEL구조는 전하 캐리어를 활성 영역에 전기적으로 주입하는 것과 관련하여 여러가지 문제점을 갖고 있다. 제1도에 도시된 구조는 절연 유전체인 상부 미러(3)를 구비하므로 금속 링 접촉부(4)와 주입 경로(5)를 따라 유전체 미러(3)의 둘레에 있는 주입부를 필요로 한다. 이러한 접촉부 및 주입부로 인해 제조 과정이 복잡하게 된다. 제2도의 구조는 금속 접촉부(6)를 이용하여 상부 미러(2)를 도전시키는 주입법을 이용한 것이다. 그러나 통상적으로 미러(2)는 저항성을 가지며, 중요한 저항성 발열을 초래하게 된다. InP 및 InGaAsP와 같은 물질의 광학적 효율성은 온도에 따라 급격히 감소된다는 것이 공지되었기 때문에, 저항성 발열은 장치의 출력 파워를 제한하게 될 것이다. 결국, 제1도 및 제2도에 도시된 구조와 다른 전기적으로 주입된 VCSEL은 광학 공동의 내부에 p 및 n 도우펀트(dopant)를 필요로 한다. 이 도우펀트는 출력파워를 극도로 제한하는 부가적인 광학 손실을 가져오게 된다.

전기적 펌핑에 대한 대안은 광학적 펌핑이다. 광학적 펌핑으로 복잡한 구조, 저항성 발열 및 도우펀트 주입 손실을 피할 수 있다. 860nm에서 동작하는 단파장 VCSEL에서 사용되었던 한가지 방법은 1990년 3월, IEEE Photonics Tech. Lett., 2(3) 156-158, McKaniel등에 의해, "Vertical Cavity Surface-Emitting Semiconductor Laser with Cw Injection Laser Pumping"이란 명칭으로 개시되었다. 여기에서는 단일의 단파장 VCSEL에 사용되는 펌프 공급원으로서 인-플레인(in-planc)반도체 레이저 장치를 사용하였다. Lin등에 의한 광학적 펌핑에 대한 상이한 방법으로 30쌍의 압축 스트레인(strain)양자 우물(well)과 장력 스트레인 장벽과 고정-모드 Ti-사파이어 레이저를 이용하여 광학적으로 펌핑된 Si/SiO_2절연미러로 구성된 장파장 VCSEL구조를 개시하였다. 이것은 1994년 6월 20일, Appl. Phys. Lett. 64(25), 3395-3397, 명칭은 "Photopumped Long Wavelength Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser Using Strain-Compensated Multiple Quantum Wells"이다. 상기의 또는 인-플레인 반도체 레이저, 다이(dye)레이저 또는 고체-상태 레이저 펌프를 이용한 다른 어떤 방법도 상업적인 VCSEL에 대해 실용적이지 못하다. 그러므로 실용적인 상업적 VCSEL은 인-플레인 반도체 레이저 이상의 명백한 상업적 이점을 가지도록 웨이퍼 규모로 제조되어 검사될 수 있어야 한다.

이로써, 웨이퍼 규모로 제조 및 검사가능하고 컴팩트하며 광학적으로 펌핑된 장파장 VCSEL이 필요하다는 것이 명백하다.

[발명의 개요]

본 발명은 단파장 VCSEL을 이용해 광학적으로 펌핑된 장파장 VCSEL을 제공한다.

간단히 말해서 본 발명에 따른 장파장 VCSEL은 전기적으로 펌핑된 더짧은 파장 VCSEL에 광학적으로 결합 및 펌핑된다. 밑에 있는 VCSEL의 상단 표면으로부터 방출된 단파장 복사선은 장파장VCSEL의 하부 미러를 통해 투과된다. 바람직한 실시예에 있어서, 장파장 복사선은 장파장 VCSEL의 상단 표면으로부터 방출된다. 2개의 VCSEL은 투명한 광학 접착제, 웨이퍼-용융 공정 또는 금속간 본딩을 이용하여 서로 결합시키는 것이 바람직하다.

특정 실시예에 있어서, 단파장 VCSEL은 980nm에서 복사선을 방출하고 장파장 VCSEL은 1300 또는 1550nm에서 복사선을 방출한다. 장파장 VCSEL은 웨이퍼-용융되고 도핑되지 않은 GaAs/AlAs 또는 AlGaAs/AlAs 미러 또는 SiO_2 및 TiO_2의 교호층이나 다른 절연체의 조합으로부터 형성된 절연체 미러를 채택한다.

1300이나 1550nm에서 복사선을 방출하는 장파장 VCSEL은 광섬유 통신 시스템에 특히 유용하다. 단일 장치로서 이러한 장파장 VCSEL은 적당한 파워 장치에서의 비용이 많이 드는 분포 피드백 레이저를 대체할 수 있다. 어레이에 있어서, 이러한 VCSEL은 광섬유의 리본을 이용하여, 또는 단일 광섬유에 파장 분할-멀티플렉싱한 여러 VCSEL에 의해 장거리 평행 데이터 전송의 가능성을 제시했다. 1 및 2차원 어레이 또한 자유 공간 광학 상호접속에 유용하다.

제2실시예에 있어서, 2개의 VCSEL은 기계적 스페이서(spacer)에 의해 분할된다. GaAs기판상에 직접 형성된 한 셋트의 GaAs마이크로렌즈는 펌프 VCSEL로 부터 장파장 VCSEL로 복사선을 집중시킨다. 이 실시예는 긴 직경인 단파장 VCSEL이 더작은 직경의 장파장 VCSEL에 이용될 수 있기 때문에 고출력 파워를 달성하는데 유용하다. GaAs마이크로렌즈는 상이한 재료의 이격된 마이크로렌지로 대체될 수 있다.

본 발명의 다른 특징과 장점은 첨부한 도면을 참조한 다음 실시예의 설명을 통해 더욱 명확해 진다.

[도면의 간단한 설명]

제1도는 상부 유전체 미러를 이용해 종래기술인 전기적으로 주입된 1300/1550nm의 VCSEL을 개략적으로 나타낸 도면

제2도는 2개의 웨이퍼-용융 GaAs/AlGaAs미러를 이용해 종래기술인 전기적으로 주입된 1300/1550나노미터의 VCSEL를 개략적으로 나타낸 도면.

제3도는 본 발명의 일반적 구조를 개략적으로 나타낸 도면

제4도는 한 쌍의 장파장 VCSEL을 광학적으로 접착제를 이용해 한 쌍의 단파장에 접합시킨 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면.

제5도는 한 쌍의 장파장 VCSEL을 웨이퍼-용융법을 이용하여 한쌍의 단파장 VCSEL에 접합시킨 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면

제6도는 장파장 VCSEL의 하부 미러가 단파장 VCSEL과 동일한 단계에서 성장하는 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면.

제7도는 본 발명의 다른 실시예를 개략적으로 나타낸 도면

제8도는 통합형 마이크로렌즈를 이용한 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면.

제9도는 장파장 VCSEL에 금속간 본딩을 이용하여 단파장 VCSEL을 합한 대체기술 나타낸 도면.

제10도는 장파장 VCSEL의 하단 및 상단 미러로 절연체를 이용한 본 발명의 실시예를 나타낸 도면

제11도는 측면 산화법을 이용한 실시예를 개략적으로 나타낸 도면

제12도는 GaAs/AlAs 미러와 SiO_2/TiO_2 미러에 대한 반사율을 나타낸 그래프

제13도는 본 발명에서 사용하기 적당한 특정 장파장 VCSEL을 개략적으로 나타낸 도면

제14도는 제13도에 도시된 실시예에 대한 바람직한 흡수재의 상세한 에너지대 역도.

제15도는 하나의 InGaAs 양자 우물에 대한 이득 곡선을 나타낸 구성도.

제16도는 본 발명의 특정 실시예에 대한 펌프 파워 대 출력 파워를 나타낸 구성도.

제17도는 한쌍의 장파장 VCSEL로부터의 장파장 복사선이 펌프 복사선의 방향과 반대 방향으로 전달되는 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면.

제18도는 장파장 VCSEL이 단파장 VCSEL로부터 약간 각진 것을 제외하고는 제17도에 도시된 것과 유사한 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면.

[실시예]

전하 캐리어를 활성 영역에 전기적으로 주입하는 대체 방안으로서는 바람직한 방출보다 더 짧은 파장에서의 광 주입이 있다. 주입된 광은 전자와 홀을 발생시키는 장파장 공동으로 흡수된다. 이어서, 이러한 전하 캐리지는 양자 우물 안으로 확산되어 더 긴 파장에서 재방출된다. 광학적 펌핑은 전기적인 접촉을 필요로하지 않으므로 제조가 간단해지고 저항성 발열이 발생하지 않는다. 게다가, 전하 캐리어는 광에 의해 주입되기 때문에 이 광은 미러를 통하여 주입될 수 있다. 전기적 펌핑 구조에서 미러가 전기적으로 절연된다고 가정하고, 미러 주위에서 주입이 행해져야 한다. 더욱이, 광학적 펌핑 구조에서 공동은 전기적 주입을 이용하는 VCSEL에서의 광학적 손실의 주 원인이 되는 도펀트가 없을 수 있다.

제3도는 본 발명의 일반적 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다. 이 도면과 연속적인 공정의 장치를 나타낸 제4도 내지 제7도, 제9도 내지 제11도, 제17도 및 제18도에는 2개의 장파장 VCSEL(40)을 광학적으로 펌핑하는 2개의 단파장 VCSEL이 도시되어 있다. 이러한 구성은 제한하려는 의도가 아니며, 제조 기술의 웨이퍼-규모 특성을 개략적으로 나타내기 위한 것이다. 이러한 동일한 기술은 하나의 장파장 VCSEL을 펌핑하는 하나의 단파장 VCSEL를 구성하는 단일 장치 또는 큰 1 및 2차원 어레이를 제조하는데 사용될 수 있다.

레이저(43)는 한쌍의 전기적으로 펌핑된 단파장 VCSEL이다. 이 단파장 VCSEL은 단파장 미러(32)사이에 삽입된 단파장 활성 영역(31)을 구비한다. 단파장 복사선은 VCSEL(43)의 상단 표면(33)으로부터 한쌍의 제2 VCSEL(40)의 하단 표면으로 방출된다. 이 VCSEL(40)은 상단 미러(37)와 하단 미러(36)사이에 삽입된 장파장 활성 영역(35)을 구비하는 한쌍의 장파장 VCSEL이다. 상단 및 하단 미러(36) 및 37)는 장파장 미러이다. 미러(36)는 VCSEL(43)에 의해 방출된 단파장 복사선에 대해 투명하다. 장파장 복사선은 상단 미러(37)로부터 방사된다. 장파장 복사선의 변조는 단파장 펌프 VCSEL을 변조시킴으로써 달성된다. 다

른 실시예에서, 변조는 장파장 VCSEL에 접촉함으로써 달성된다.

제3도 및 상기 연속적인 공정의 장치를 나타낸 도면은 원통형 위치를 형성하기 위해 수직적으로 에칭된 때의 단파장 VCSEL 하단 미러(32)와 장파장 VCSEL 상단 미러(37)를 도시한다. 이러한 위치는 초기 평면 웨이퍼를 많은 굴절률 인덱스 가이드(index guided)장치로 분할한다. 인덱스 가이딩은 본 기술분야에서 공지되었으며, 에칭, 측면 산화법, 임플랜테이션, 확산, 재성장 또는 선택적 성장에 의해 달성될 수 있다. 바람직한 실시예에서 단파장 VCSEL이 이득 가이딩(gain guided)되거나 열적 렌즈(thermally lensed)가 되더라도 단파장 및 장파장 VCSEL은 인덱스 가이드되어야 한다.

제3도의 광학적으로 펌핑된 구성은 웨이퍼 규모의 제조 및 검사 가능성과 비용이 덜 드는 VCSEL 및 2차원 어레이 제조와 같은 일반적인 VCSEL의 이점을 갖는다. 이것은 광학적 펌프로서 고체-상태, 다이 또는 인-플레인 반도체 레이저에 사용된 VCSEL과 대조적으로 중요하다. 이러한 후술한 방법을 채택한 광학적으로 펌핑된 VCSEL은 어레이 장치에 비실용적이며, 웨이퍼 규모 상에서 제조되거나 검사될 수 없다.

제4도는 본 발명의 일실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다. 장파장 VCSEL(40)은 하단면 상에 웨이퍼-용융되고 도핑되지 않은 GaAs/AlAs 미러(41)와, 상단면 상에 절연체 미러(42)를 채택한다. 절연체 미러(42)는 실리콘 2산화물인 SiO_2 및 티타늄 2산화물인 TiO_2의 교호층으로부터 형성된다. 또한 절연체 미러(42)는 다른 절연 물질을 이용하여 형성될 수 있다. 장파장 VCSEL(40)은 GaAs기판(45 및 46)사이에서 투명 광학 접착제에 의해 단파장 VCSEL(43)에 고착된다. 제5도는 장파장 VCSEL(40)의 GaAs기판(45)이 인터페이스(50)에서 단파장 VCSEL(43)의 GaAs기판(46)에 웨이퍼-용융된 것을 제외하고는 제4도에 도시된 것과 동일한 실시예를 나타낸 도면이다. 이 실시예는 파라시틱(parasitic reflection)이 감소될 수도 있는 광학 접착제에 대한 필요성을 제거한다. 제6도에 도시된 다른 실시예에 있어서, GaAs/AlAs 미러(41)는 VCSEL(43)과 동일한 에피택셜 단계에서 성장할 수 있으므로 인터페이스 위치에 광학 접착(44) 또는 웨이퍼 용융이 필요성이 제거된다.

제7도는 본 발명의 다른 실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다. 장파장 VCSEL(40)은 2개의 GaAs/AlAs 미러(61)사이에 삽입된 장파장 활성 영역(60)을 구비한다. 이 활성 영역(60)은 인터페이스(62)에서 미러(61)에 웨이퍼-용융된다. 이 실시예에서, 이중-용융된 구조는 광학 접착제(44)로 단파장 VCSEL(43)에 접착된다. 이 이중-용융된 구조는 제5도에 도시된 것과 같이 VCSEL(43)에 웨이퍼-용융될 수 있다.

제8도는 통합형 마이크로렌즈를 이용한 실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다. 상술한 실시예에서와 같이 다중 단파장 VCSEL(43)은 다중 장파장 VCSEL(40)을 광학적으로 펌핑하는데 사용된다. 그러나, 이 실시예에서 VCSEL의 어레이는 기계적 스페이서(70)에 의해 분리된다. VCSEL의 어레이 사이에는 VCSEL(43)으로부터 VCSEL(40)까지의 복사선을 집중시키는데 사용된 한 셋트의 GaAs마이크로렌즈(71)가 있다. 이 마이크로렌즈(71)는 단파장 VCSEL(도시됨)의 GaAs 기판(72)에 장파장 VCSEL(도시안됨)의 GaAs기판에 또는 상기 2개의 기판에 모두 직접 형성된다. 그러므로 큰 직경을 갖는 단파장 VCSEL은 더 작은 직경의 장파장 VCSEL을 광학적으로 펌핑하는데 사용될 수 있다. 이러한 구성으로 장파장 VCSEL에서 높은 파워 출력을 얻을 수 있다. 다른 실시예에서 마이크로렌즈(71)는 유리나 리플로우(reflow)가능한 중합체와 같은 GaAs가 아닌 물질로 형성된다. 이러한 다른 구성의 마이크로렌즈(71)는 장치의 다른 부분과 모놀리식으로 통합되지는 않는다.

제9도는 장파장 VCSEL(40)을 단파장 VCSEL(43)에 결합시키는 다른 기술을 나타낸 도면이다. 이 방법에서 2쌍의 VCSEL은 금속간 본딩을 이용하여 금속 인터페이스(75)에서 결합된다. 금속 인터페이스(75)에 있는 한 셋트의 윈도우(76)로 펌프 복사선이 통과할 수 있다. 마이크로렌즈는 이 윈도우에 결합될 수 있다(도시안됨). 다양한 금속이 본딩 금속에 사용될 수 있지만, 바람직한 실시예는 땜납을 함유하는 팔라듐(Pd) 또는 인듐(In)을 사용한다.

제10도는 VCSEL(40)이 절연체 미러(80 및 81)를 사용하는 본 발명의 실시예를 개략적으로 나타낸 도면이다. VCSEL(40)과 VCSEL(43)을 결합하기 위해 광학 접착제(44)를 이용함으로써 이 실시예는 웨이퍼 용융 공정을 필요로 하지 않는다. 다른 실시에에서 절연체 미러(81)는 본 기술분야에서 공지된 절연체-반도체 본딩을 이용하여 VCSEL(43)에 결합된다.

제11도에 개략적으로 도시된 본 발명의 실시예에서 장파장 활성 영역(60)은 절연체 미러(42)와 하단 미러(90)사이에 삽입된다. 이 미러(90)는 InP 및 InAlAs의 에피택셜로 성장하는 교호층에 의해 형성된다. 최종적인 미러를 형성하기 위해 구조체는 에칭되어, InAlAs 물질의 측면벽을 노출시키게 된다. 이어서, InAlAs에서의 알루미늄이 측면으로부터 산화되어 InAlAs 또는 InP보다 더 낮은 굴절율을 갖는 $In_WAl_XA_{sy}O_z$를 생성하게 된다. 그 결과로서, 낮은 반사율을 갖는 미러는 높은 반사율을 갖는 미러로 변환된다. 또한, 측면 산화법은 알루미늄 및 안티몬(Sb)를 함유하는 합성물로 달성될 수 있다.

제12도는 단파장 VCSEL(43)이 980nm에서 방출하고, 장파장 VCSEL(40)이 1550nm에서 방출하는 본 발명의 실시예의 2개의 특정 미러 설계에 대한 반사율 그래프를 나타낸다. 이 그래프(100)는 VCSEL(40)의 하단 미러에 적당한 GaAs/AlAs미러에 대한 반사 스펙트럼이다. 이 미러는 펌프 파장을 전달하고 VCSEL(40)의 장파장을 반사한다. 그래프(101)은 VCSEL(40)의 상단 미러에 적당한 SiO_2/TiO_2절연체 미러에 대한 반사 스펙트럼이다. 이 절연체 미러는 VCSEL(43')파장에서 전달 또는 반사하도록 설계될 수 있다. 만일 절연체 미러가 101에 도시된 것과 같이 이 파장에서 전달한다면, VCSEL(40)이 펌프 VCSEL(43)로부터 복사선의 하나의 통로만이 있을 것이다. 절연체 미러가 펌프 파장(도시 안됨)에서 반사한다면, VCSEL(40)은 펌프 VCSEL(43)로부터 복사선의 2개의 통로가 있을 것이다. 절연체 미러를 부분적으로 반사하도록 구성함으로써 흡수율을 증가시켜 펌핑 효율을 높이는 이중-통로 구성을 설계하는 것이 가능하다. 또한, 장파장 VCSEL의 상단 및 하단 미러가 펌프 파장에서 부분적으로 반사하도록 함으로써, 공진 펌프 흡수를 생성하고, 펌핑 효율을 높이는 것이 가능하다. 그러나 이러한 최종 구성은 실행시키기 어렵다.

제13도는 본 발명에 사용하기 적당한 특정 장파장 VCSEL을 개략적으로 나타낸 것이다. 2개의 격자 정합 InGaAs양자 우물(110)은 광학적 정재파의 2개의 피크상에 위치한다. 이러한 양자 우물 주위에 있는 4기(quaternary) InGaAsP물질(111)은 펌프 복사선을 흡수하여 전하 캐리어를 1550nm에서 재방출하는 양자 우

물안으로 집중시킨다. 이러한 물질의 흡수 계수는 약 1.5 × $10^{4}cm^{-1}$이 되고, 입사 복사선의 90%길이는 공동을 통해 2개의 통로로 흡수된다. 제13도는 장파장 공동이 펌프 횡 크기(113)보다 더 큰 횡 크기(112)를 갖는 것을 나타낸다. 이것은 펌프 복사선을 장파장 복사선으로 효율적으로 변환시키고, 장파장 VCSEL에 의해 단일 횡 모드 동작한다. 바람직한 실시예에 있어서, 장파장 VCSEL의 횡 크기(112)는 측면 굴절 인덱스 편차(즉, 인덱스 가이드)에 의해 한정된다. 인덱스 편차는 장치의 어떤 또는 모든 수직 층에서 한정되며, 화학적 에칭, 재성장, 임플랜테이션, 확산 디스오더링(disordering), 선택적 성장 또는 다른 기술에 의해 달성될 수 있다. 인덱스 가이딩은 반도체 레이저 기술분야에서 널리 공지되었다.

제14도는 제13도에 도시된 실시예에 대한 바람직한 흡수재 설계의 상세한 에너지 대역도이다. 이 도면의 수직축은 구조체에서의 수직 거리를 나타내며 반면, 수평축은 상대적인 에너지를 나타낸다. 그래프(114)는 평형 대역에 대한 수직 거리의 함수로서 에너지 레벨을 나타내었다. 그래프(115)는 전도 대역에 대한 수직거리의 함수로서 에너지 레벨을 나타내었다. 이 실시예에 있어서, 흡수재(111)는 내부 전계를 생성하기 위해 구성적으로 분류된다. 내부 전계는 양자 우물(110)에 모아진 광생성(photogenerated)전하 캐리어의 속도 및 효율성을 도와준다. 이 설계에 있어서, 흡수재(111)는 구성적으로 분류된 InGaAsP(116 및 117)이다. 부분(116)은 하단에 있는 1.15μm(마이크로미터) 대역간극 물질로부터 상단에 있는 1.3μm 대역간극 물질까지 분류된다. 부분(117)은 하단에 있는 1.3μm 대역간극 물질로부터 상단에 있는 1.15μm 대역간극 물질까지 분류된다. InP의 버퍼층(118)도 도시되어 있다. 제13도와 다음 계산이 격자 정합 양자 우물을 가정하고 있지만, 이상적인 양자 우물(110)은 주위에 있는 층들에 관하여 압축적으로 힘을 받아야 한다.

1550nm에서의 파워 대 980nm에서의 파워 바람직한 실시예에서 펌프 VCSEL의 파장은 다음가 같이 주어진다.

[식 1]

$P_{1.5}=(P_{.98} - P_{th})\eta i \eta_{coav}[T/(T+A)]$

여기에서 ηi=양자 우물에서 복사적으로 재조합하는 주입된 광자의 비 η_{coav}=980nm로부터 1550nm까지 에너지 손실

=980/1550=0.63

T=1550nm에서 출력 미러의 부분 전송

A=라운드트립(roundtrip)마다 흡수/산란/회절에 대한 광 손실비

P_{th}=임계치에 도달하기 위해 필요한 펌프 파워

임계치 펌프 파워는 제15도에 도시된 양자-우물 이득 곡선을 이용하여 계산될 수 있다. 임계치에 도달하기 위해 양자는 T+A인 라운드트립 손실과 라운드트립 이득이 같도록 제공되어야 한다. 공동에는 도펀트가 없으므로 라운드트립 흡수/산란/희절 손실은 약 0.1%로 매우 작을 수 있다. 0.3%의 출력 전달이 주어지면, 임계치 이득은 0.4%가 된다.

만일 2개의 양자 우물이 똑같이 펌핑하고 이중-통로 흡수에 대하여 공진 가능하다면, 각 양자 우물은 0.2%의 라운드트립 이득을 제공하여야 한다. 양자 우물폭이 80Å(angstrom)으로 주어지면, 이러한 요구는 1250 cm^{-1}의 유닛 길이에 대한 이득으로 변환될 수 있다. 이 값은 필요한 제15도를 이용하여 전류 또는 파워 밀도로 변화될 수 있다. 제15도는 양자 우물이 정재파 피크에 있을때, 2의 주기적 이득 보강을 포함하지 않으므로 유닛 길이에 대한 이득의 고유값은 1250/2=625cm^{-1}이 된다. 제15도에 따라 625cm^{-1}이득을 얻기 위해 270A/cm'를 필요로한다. 요구된 전체 전류 밀도는 2개의 양자 우물이 있기 때문에 540 A/cm^{2} 또는 동치이고, 흡수된 파워밀도는 680W/cm^{2}이다. 펌프 복사선의 85%가 흡수되었다고 가정하면, 임계치에 도달하기 위해 800W/cm^{2}이 필요하다. 이러한 파워가 10μm직경을 갖는 VCSEL에 균일하게 분포되면, 임계치에 도달하기 위해 요구된 전체 파워는 0.6mW가 된다. 어떤 주입된 캐리어는 광학 모드의 측면 외측으로 확산될 수 있기 때문에, 임계치에 도달하기 위해 필요한 주입된 캐리어의 수는 더 많게 된다. 그러므로, 손실된 캐리어에 대해 보상하기 위해 임계치 파워는 1.0Mw로 조정된다.

제16도는 ηi=0.85, ηcoav=0.63이라고 가정한 식1의 그래프이다. 제16도은 약 1mW의 출력 파워가 4mW의 980nm펌프 파워로 달성되는 본 발명의 특정 실시예를 나타낸다. 펌프 파워를 증가시키거나 흡수 효율을 향상시키거나 더욱 진보된 이득 매체를 이용함으로써, 출력 파워는 증가될 수 있다. 더 높은 출력 파워는 도8에 도시된 구성을 이용하여 달성될 수 있다.

제16도의 파워-아웃(out) 대 파워-인(in)그래프는 큰 파워 범위를 선형으로 도시하였다. 통상적인 전기적으로 펌핑된 VCSEL곡선은 발열에 의한 큰 구동 전류에서의 롤오버를 나타낸다. 이러한 효과는 광학적 펌핑 동안 발열은 전기적 펌핑동안 보다 덜 지속되기 때문에 제16에 도시하지 않았다. 예컨대 제4도에 도시된 구조체의 열적 임피던스는 1mW에 대해 약 1° K이다. 이것은 공동안에 덤핑된 1mW의 열로인해 1° K의 온도 상승을 가져온다는 것을 의미한다. 상기 논의된 예에서, 4mW펌프는 1mW의 장파장 출력을 생성하기 위해 요구된다. 남아있는 3mW가 열로 모두 변환된다 하더라도, 그 결과는 장파장 공동에서 3° K의 온도 상승을 가져올 것이다. 이와는 대조적으로 전기적으로 펌핑된 VCSEL에서, 수십도의 K온도 상승이 있을 것으로 예상된다.

본 발명의 다른 실시예에 있어서, 장파장 복사선은 펌프 복사선의 방향과 반대 방향으로 진행한다. 제17도는 이러한 실시예의 한가지 가능한 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다. 이러한 구성에 있어서, 단파장 활성 영역(31)은 단파장 미러(85 및 86)사이에 삽입된다. 미러(86)는 반드시 단파장 방출의 100%를 반사하여야 하지만 장파장 방출에 투명하여야 한다. 제18도에 개략적으로 도시된 다른 구성에 있어서, 장파장 VCSEL(40)은 단파장VCSEL(43)과 관련하여 약간 각이져 있다. 2가지 어레이가 각이져 있으므로,

장파장 복사선이 단파장 미러(86)를 통과하도록 한다.

본 발명이 비록 일부 특정 실시예에 대해서만 설명되었지만 적절한 변경을 가하여 다른 태양으로도 실시 가능하다. 즉, 첨부된 청구범위의 개념과 범위는 본 명세서에 개시된 실시예에만 한정되지 않는다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

제1미러와 제2미러 사이에 삽입된 장파장 활성 매체를 갖고, 제1파장에서 복사선을 방출하는 제1수직 공동 표면 방출 레이져(VCSEL)와,

전기적으로 펌핑되어 상기 제1파장 보다 더 짧은 제2파장에서 복사선을 방출하며, 상기 제 1 VCSEL을 광학적으로 펌핑하는 제 2 VCSEL을 구비하는 광학 장치.

청구항 2

제1항에 있어서 상기 제 2 VCSEL을 전기적으로 변조시키는 수단을 추가로 구비하며, 상기 제 2 VCSEL의 변조로 인해 상기 제 1 VCSEL이 변조되는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1VCSEL을 전기적으로 변조시키는 수단을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 4

제1항에 있어서 상기 제1 및 제2미러는 상기 제2파장에서 복사선을 투과시키는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제 1 미러는 상기 제2파장에서 복사선을 투과시키고, 상기 제2미러는 상기 제 2 파장에서 복사선을 반사하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL의 상기 제1 및 제2미러중 적어도 하나는 갈륨, 알루미늄 비소, 알루미늄 갈륨 비소 및 알루미늄 비소의 그룹으로부터 선택된 물질의 교호층으로 형성되며, 상기 교호층으로 형성된 상기 미러는 상기 장파장 활성 매체에 웨이퍼-용융된 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 7

제1항에 있어서, 적어도 하나의 상기 제1 및 제2미러는 절연체 미러인 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 8

제1항에 있어서, 적어도 하나의 상기 제1 및 제2미러는 인듐 인화물 및 인듐 알루미늄 비소 산화물의 교호층으로 형성된 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL은 상기 제2VCSEL에 웨이퍼-용융된 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 10

제1항에 있어서 상기 제1 및 제 2 VCSEL사이의 인터페이스에 있는 광학접착층을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL은 금속간 본딩을 이용하여 상기 제 2 VCSEL에 결합된 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 금속간 본딩은 땜납을 함유한 인듐으로 구성되는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL의 제1미러는 칼륨 비소 및 알루미늄비소의 교호층으로 형성되며, 상기 제1미러와 제 2 VCSEL은 단일 에피택셜 단계에서 성장하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 제1파장은 약 1300nm이며, 상기 제2파장은 약 980nm인 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 15

제1항에 있어서 상기 제1파장은 약 1550nm이며, 상기 제2파장은 약 980nm인 것을 특징으로 하는 광학 장

치

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL은 제1횡 크기를 갖는 제1광학 모드를 포함하고, 상기 제 2 VCSEL은 제2횡 크기를 갖는 제2광학 모드를 포함하며, 상기 제1횡 크기는 상기 제2횡 크기 보다 더 큰 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 제 1 VCSEL은 측면 굴절 인덱스 편차에 의해 한정된 광학 모드를 갖는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 측면 굴절 인덱스 편차는 화학적 에칭, 재성장, 임플랜테이션, 확산, 디스오더링 또는 선택적 성장으로 구성된 그룹으로부터 선택된 기술을 이용하여 형성된 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 19

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제 2 VCSEL사이에 삽입된 기계적 스패이서와,

상기 제1및 제 2 VCSEL사이에 삽입되며, 상기 제2VCSEL로부터의 복사선을 상기 제1VCSEL에 집중시키는 적어도 하나의 갈륨 비소 마이크로렌즈를 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 20

제1항에 있어서 상기 장파장 활성 매체는 복수의 제1의 제2파장 흡수층과 복수의 제2의 양자 우물층을 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 21

제1 및 제2미러 사이에 삽입된 장파장 활성 매체를 갖고, 제1파장에서 복사선을 방출하는 수직 공동 표면 방출 레이저(VCSEL)의 제1어레이와,

전기적으로 펌핑되어 상기 제1파장 보다 더 짧은 제2파장에서 복사선을 방출하며 상기 제1어레이를 광학적으로 펌핑하는 상기 VCSEL의 제2어레이를 구비하는 것을 특징으로 하는 광학 장치

청구항 22

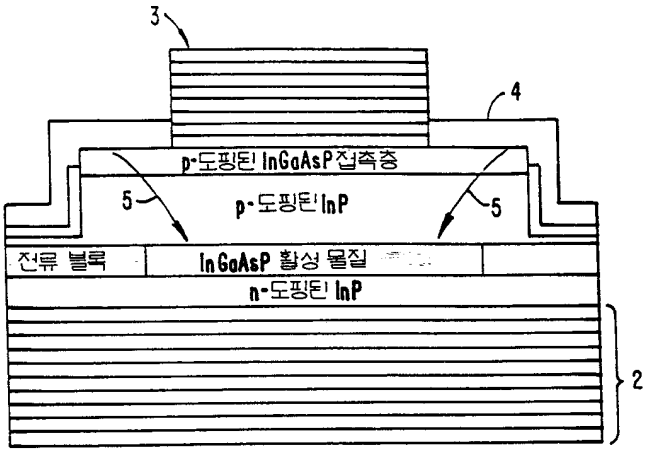
제1파장의 복사선이 제 1 VCSEL에 의해 방출되도록 하는 상기 제1VCSEL에서의 복사선 방출 유도 방법에 있어서,

제2VCSEL을 이용하여 상기 제1파장보다 더 짧은 제2파장에서 제1VCSEL를 복사선을 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 복사선 방출 유도 방법.

도면

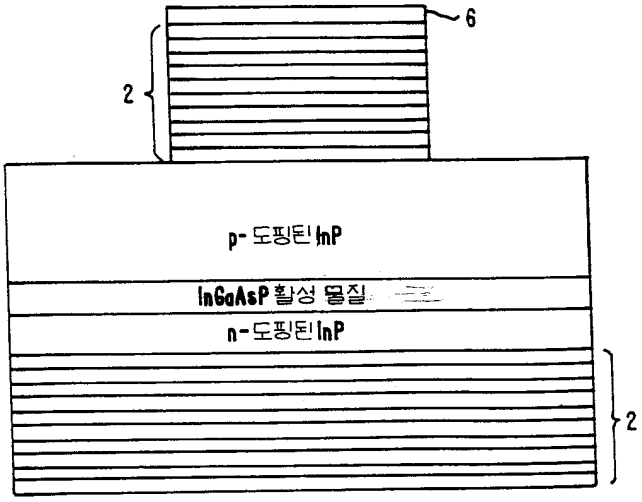
도면1

(종래 기술)

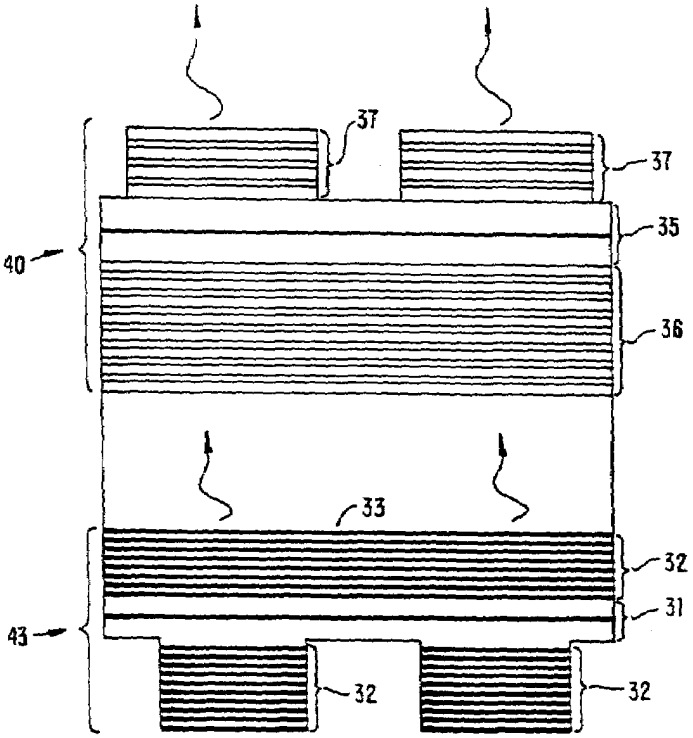


도면2

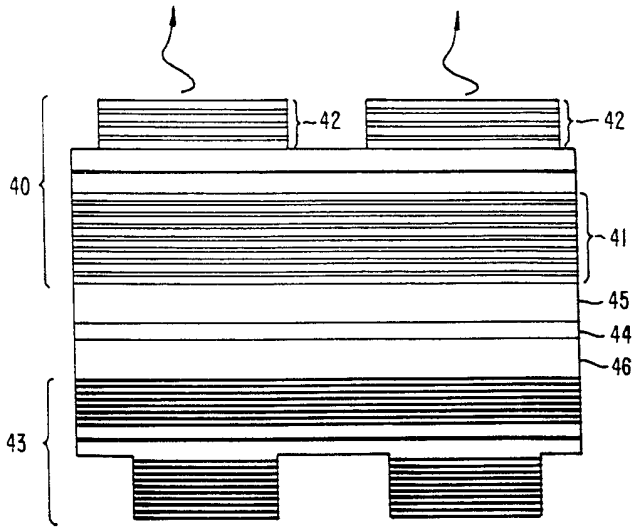
(종래 기술)


6
2
p-도핑된 InP
InGaAsP 활성 물질
n-도핑된 InP
2

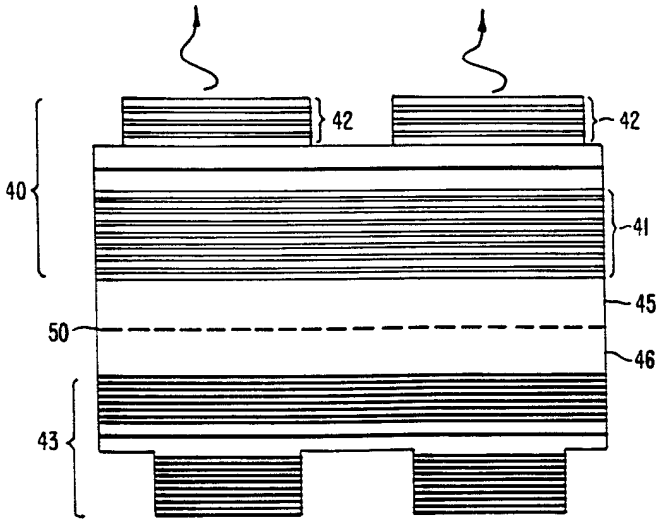
도면3


37
37
35
40
36
33
32
31
43
32
32

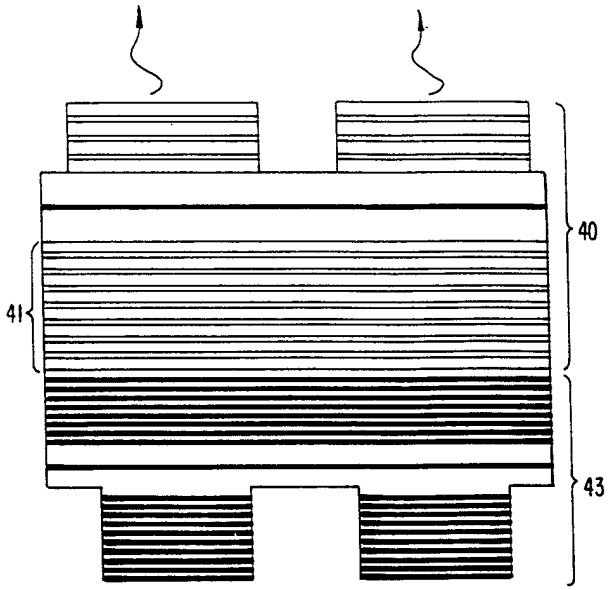
도면4



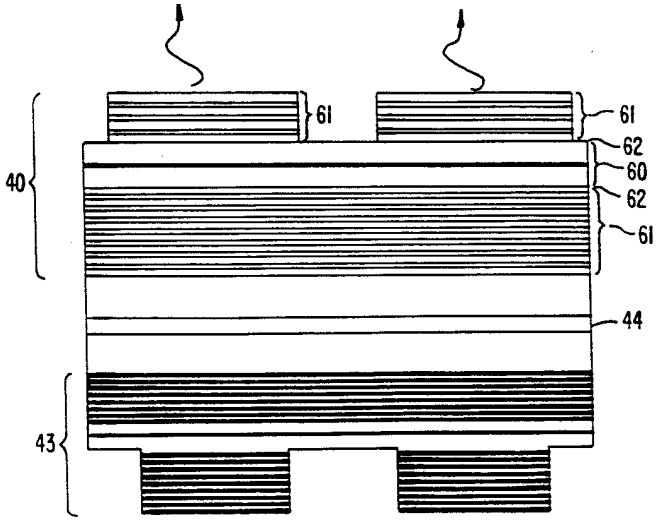
도면5



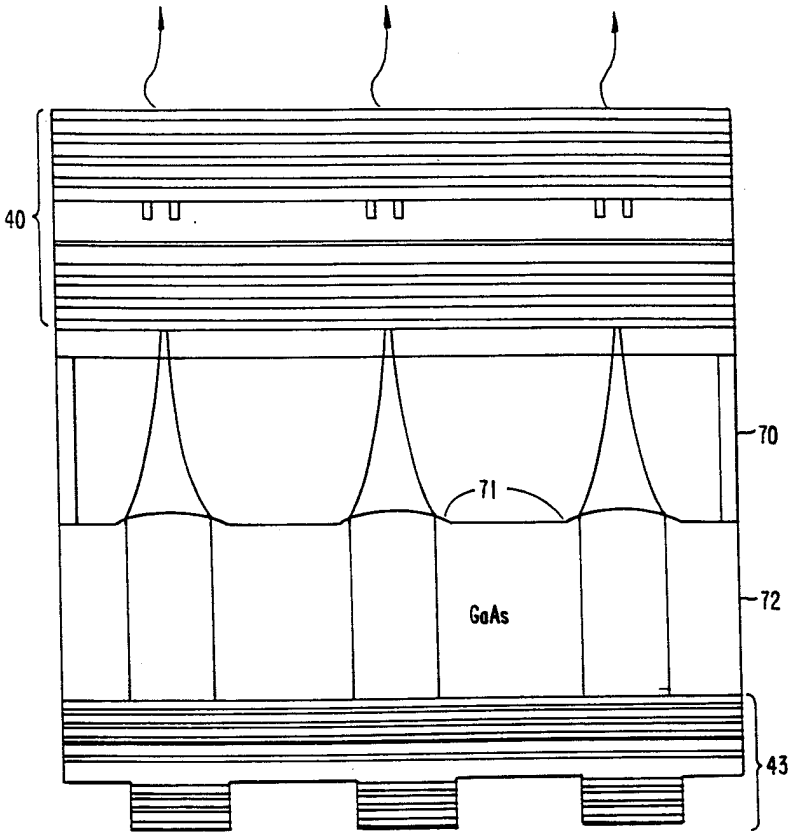
도면6



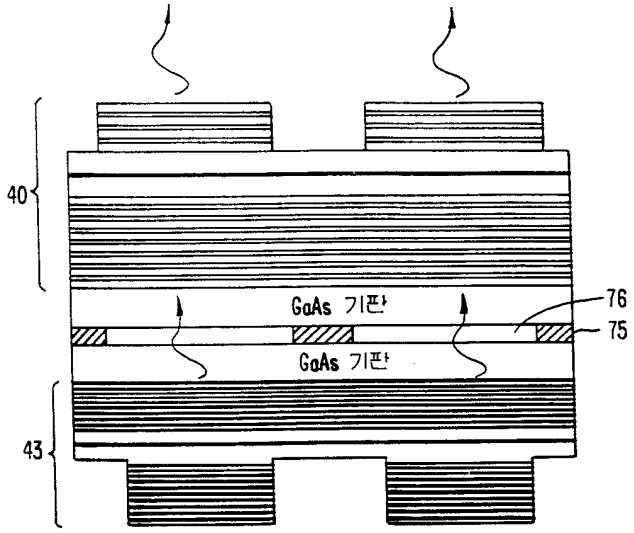
도면7



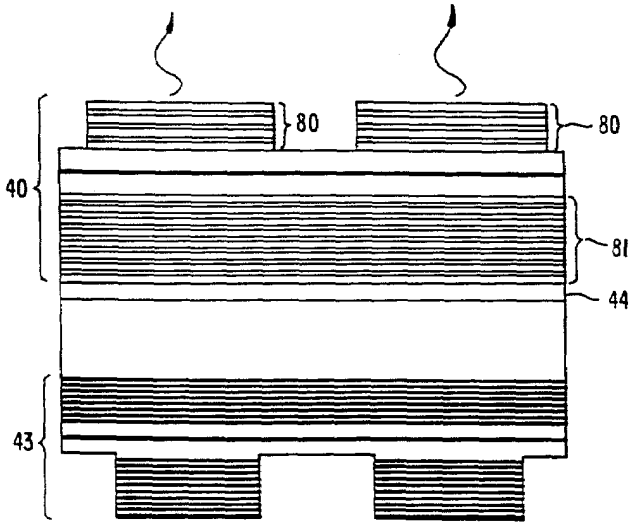
도면8



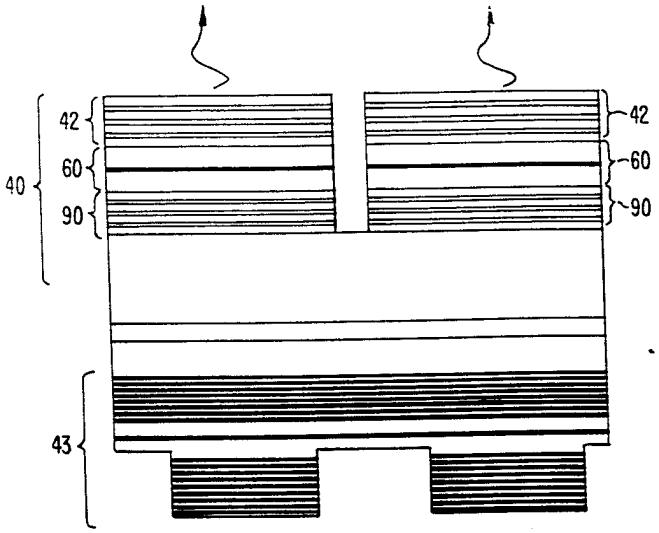
도면9



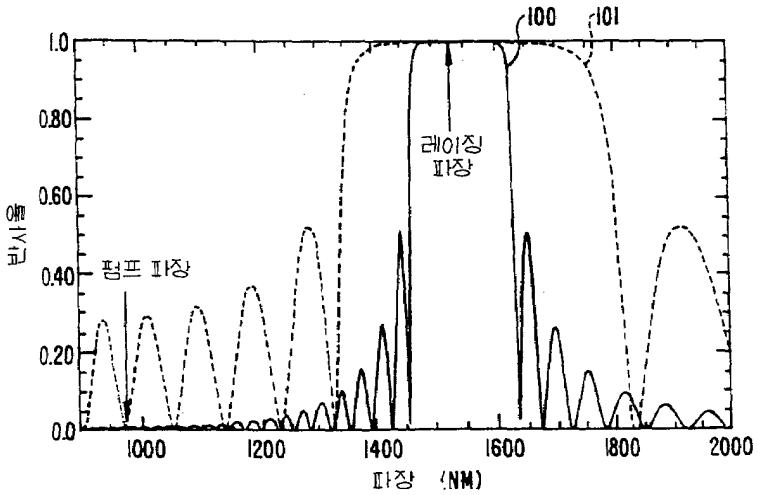
도면10



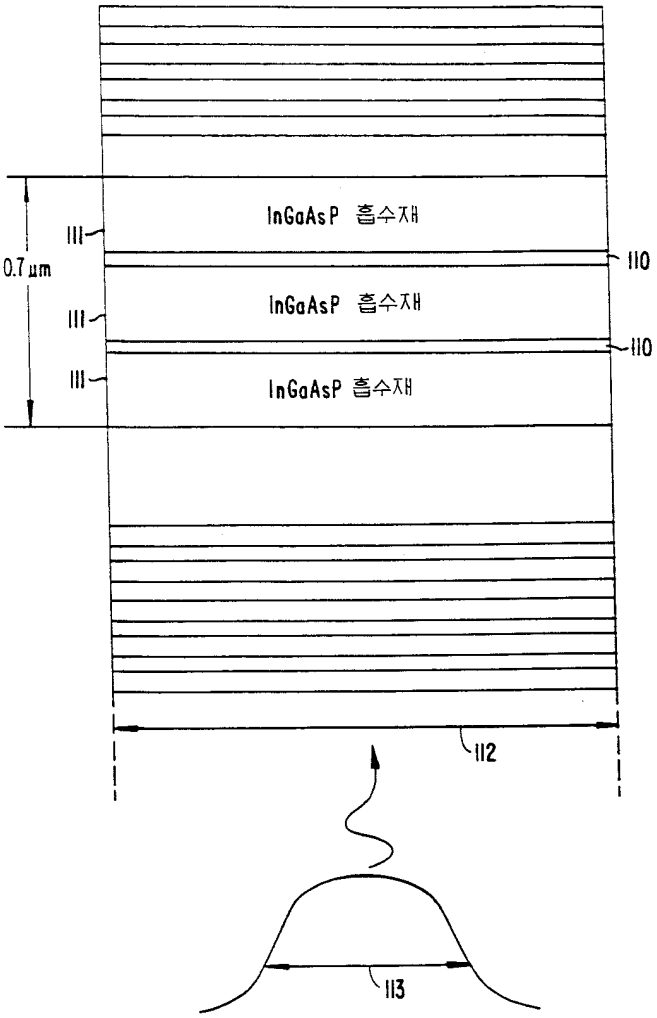
도면11



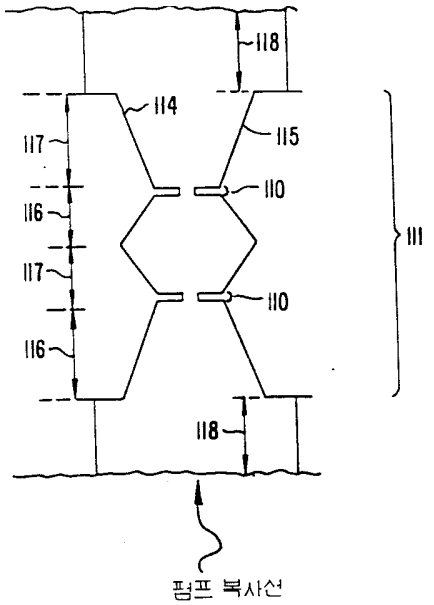
도면12


100
101
1.0
0.80
0.60
0.40
0.20
0.0
반사율
레이징 파장
펌프 파장
1000
1200
1400
1600
1800
2000
파장 (NM)

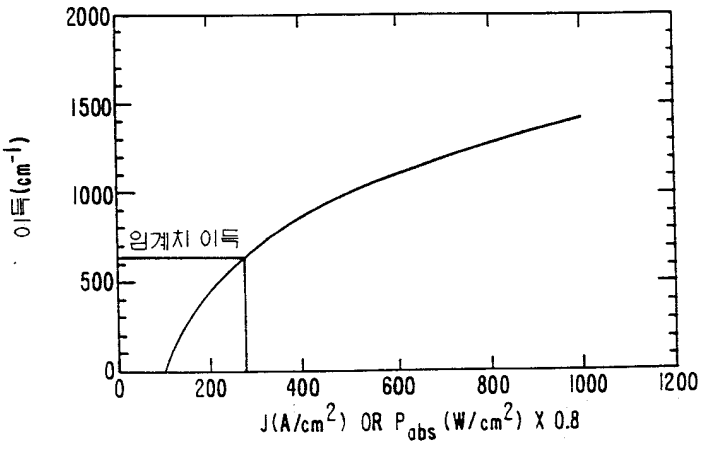
도면13


0.7 μm
111
111
111
InGaAsP 흡수재
InGaAsP 흡수재
InGaAsP 흡수재
110
110
112
113

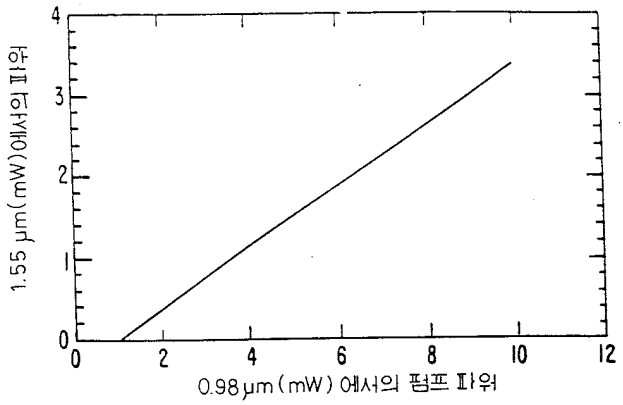
도면14



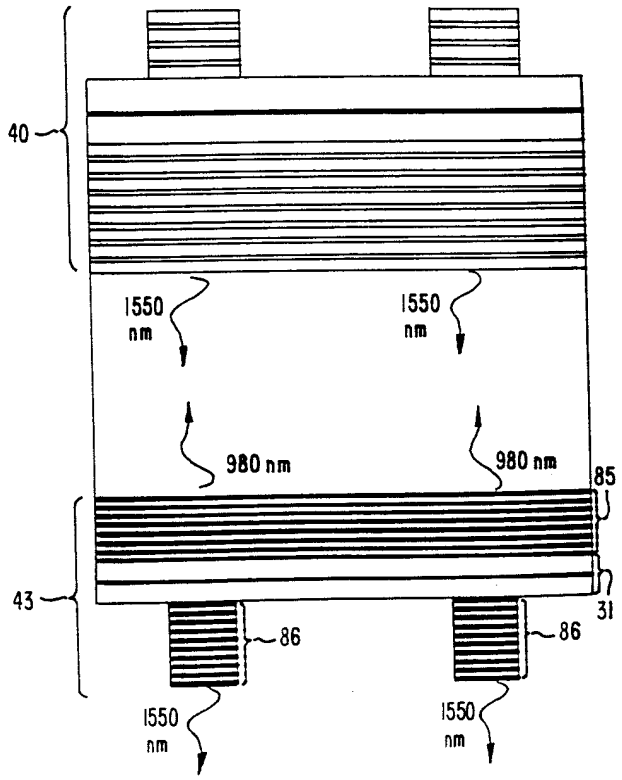
도면15



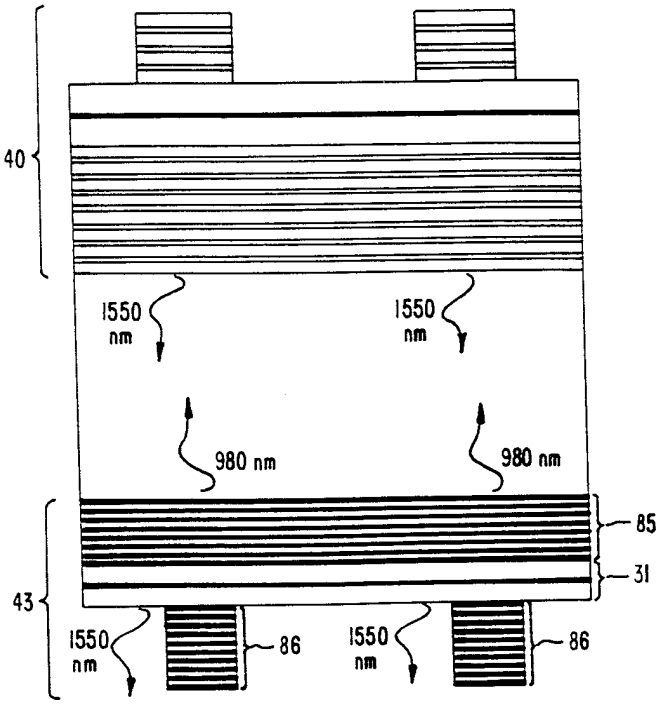
도면16



도면17


40
1550 nm
1550 nm
980 nm
980 nm
85
31
43
86
86
1550 nm
1550 nm

도면18


40
1550 nm
1550 nm
980 nm
980 nm
85
31
43
1550 nm
86
1550 nm
86