



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.
G02B 5/20 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0003801
(43) 공개일자 2007년01월05일

(21) 출원번호 10-2006-7012649
(22) 출원일자 2006년06월23일
심사청구일자 없음
번역문 제출일자 2006년06월23일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2003/014917 (87) 국제공개번호 WO 2005/064365
국제출원일자 2003년12월24일 국제공개일자 2005년07월14일

(71) 출원인 피렐리 앤 씨. 에스.피.에이.
이탈리아, 밀라노, 비아 가에타노 네그리 10

(72) 발명자 피에트라 줄리아
이탈리아 아이-27100 파비아 23 비아 데이 몰리니
고르니 지아코모 마리아
이탈리아 아이-20126 밀라노 비알레 사르카 222 피렐리 랩스

(74) 대리인 강용복
김용인

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 동조형 공진격자필터

(57) 요약

본 발명은 공진과장에서 광방사를 반사할 수 있는 동조형 공진격자필터에 관한 것으로, 상기 공진과장은 선택적으로 가변된다. 상기 필터는 회절격자(3), 평면 도파관(4) 및 필터의 동조를 허용하는 선택적인 가변 굴절률을 가지며, 도파관용의 동조형 클래딩층(5)을 형성하고 바람직하게는 LC 재료인 광투과성 재료를 구비한다. 회절격자(3)는 평면 도파관(4)에 대해 동조형 층(5)의 대향측상에 배치되어 이에 의해 상기 필터의 동조성에 큰 영향을 끼치지 않으며 필터응답의 소정 대역폭에 대한 격자 구조 파라미터를 맞출 수 있다. 본 발명의 공진구조(1)내에서, 코어층, 즉, 도파관(4)이 동조층 부근에 배치될 수 있고, 상기 코어층은 동조층 또는 상기 코어층과 동조층 사이의 개입된 비교적 얇은 중간층 중 어느 하나와 직접 접촉할 수 있다. 동조층(5)으로 코어층(4)의 접근은 전파모드가 동조층(5)으로 상당히 확장될 수 있어 상기 도파관(4)에서 기본 모드의 유효 굴절률이 상기 동조층(5)의 굴절률의 변화에 의해 효율적으로 영향받게 되는 것을 의미한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

레이저 방출 파장에서 방사를 방출하도록 구성되고, 복수의 공동모드를 갖는 외부공동을 구비하는 외부공동 동조형 레이저(60)에 있어서,

상기 외부공동은

상기 외부공동으로 광빔을 방출하는 이득매질(61)과,

상기 광빔을 공진파장에서 반사하는 동조형 광 공진격자필터(66;20;40)를 포함하고,

상기 필터는

회절격자와,

상기 회절격자와 광학적으로 상호작용하고, 상기 회절격자와 공진구조를 형성하는 평면 도파관(28;46) 및

상기 필터의 동조를 허용하기 위해 선택적인 가변 굴절률을 가지며 상기 평면 도파관의 동조형 클래딩층(30;43)을 형성하는 광투과성 재료를 구비하며,

상기 평면 도파관은 상기 회절격자와 상기 동조형 클래딩층 사이에 배치되는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 방출된 방사는 단일 길이방향 모드상에 있는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

선택된 파장격자의 대응 채널과 실질적으로 정렬된 복수의 통과대역을 형성하기 위해 상기 외부공동에 배열된 채널할당 격자소자를 더 구비하는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 광빔을 동조하기 위해 채널을 선택하도록 상기 통과대역 중 하나를 동조적으로 선택하기 위해 상기 동조형 공진격자 필터가 상기 외부공동에 배열되는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 5.

제 3 항 또는 제 4 항에 있어서,

상기 선택된 파장격자는 50GHz 또는 25GHz의 채널간격을 갖는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 동조형 공진격자필터는 광빔이 상기 평면 도파관의 주표면에 실질적으로 수직한 필터상에 충돌하도록 상기 외부공동에 배열되어 있는 외부공동 동조형 레이저 시스템.

청구항 7.

공진파장에서 광방사를 반사하는 광 공진격자필터(20;40)에 있어서,

저굴절률 영역(21;53)과 고굴절률 영역(22;50)을 포함하는 주기 구조를 가지며, 0.0026 이하인 커플링 효율 n_d 를 갖는 회절격자(23;52)와,

상기 회절격자와 광학적으로 상호작용하며, 상기 회절격자와 공진구조를 형성하는 평면 도파관(28;46) 및

상기 필터의 동조를 허용하도록 선택적인 가변 굴절률을 가지며, 상기 평면 도파관에 대한 동조형 클래딩층(30;43)을 형성하는 광투과성 재료를 구비하고,

상기 평면 도파관은 상기 회절격자와 상기 동조형 클래딩층 사이에 배치되는 광 공진격자필터.

청구항 8.

제 7 항에 있어서,

상기 광투과성 재료는 선택적인 가변 굴절률이 전기 신호에 의해 제어되는 액정 재료인 광 공진격자필터.

청구항 9.

제 7 항에 있어서,

상기 회절격자의 커플링 효율은 0.001 내지 0.002에 이르는 광 공진격자필터.

청구항 10.

제 7 항에 있어서,

상기 평면 도파관은 동조형 클래딩층의 가변 굴절률 및 상기 회절격자의 평균 굴절률 보다 더 큰 굴절률 n_c 를 갖는 층인 광 공진격자필터.

청구항 11.

제 10 항에 있어서,

상기 평면 도파관에 대해 회절격자와 마주보게 배치되는 버퍼층(24,47)을 더 구비하고, 상기 버퍼층은 회절격자의 평균 굴절률보다 낮은 굴절률 n_3 을 갖는 광 공진격자필터.

청구항 12.

제 7 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평면 도파관과 상기 회절격자 사이에 배치된 겹층(51)을 더 구비하고, 상기 겹층은 상기 도파관의 굴절률과 상기 회절격자의 평균 굴절률보다 더 낮은 굴절률을 갖는 광공진격자필터.

청구항 13.

제 11 항 또는 제 12 항에 있어서,

상기 평면 도파관은 실리콘 니트라이드(silicon nitride) 재료로 제조되고, 고굴절률 영역은 실리콘 니트라이드 또는 실리콘 옥시니트라이드(silicon oxynitride)로 제조되고 저굴절률영역과 버퍼층은 실리콘 디옥사이드(silicon dioxide)로 제조되는 광공진격자필터.

청구항 14.

제 12 항에 있어서,

상기 겹층은 실리콘 디옥사이드로 제조되는 광 공진격자필터.

청구항 15.

제 8 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광투과성 재료 양단에 전기신호를 인가하기 위해 광투과성 재료의 대향측상에 배열된 2개의 광투과성 전기도전층(26;42;29;44)을 더 구비하는 광 공진격자필터.

명세서

기술분야

본 발명은 특히 파장분할 다중화 광통신 네트워크에 적합한 동조형 공진격자필터에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 파장분할 다중화용의 외부공동 동조형 레이저에 동조형 미러로서 사용되는 동조형 공진격자필터에 관한 것이다.

배경기술

평면 도파관 격자에서의 가이드 모드(guided-mode) 공진효과는 이상적이거나 거의 이상적인 반사필터를 제조하는데 사용될 수 있다. 필터의 각각의 공진 파장과 동일한 입사 파장(또는 주파수)에 대해, 입사 방사는 공진 반사에 의해 억제되고, 장치를 통과하는 투과가 이루어지지 못하게 된다. 입사 파장의 다른 모든 값에 대해서, 장치는 실질적으로 투과적이다.

공진격자필터의 특성이 연구되어왔다. Applied Optics, vol. 34(1995), p.2414에 발표된 왕 에스.에스(Wang S.S) 및 알. 매그너슨(R. Magnusson)의 "Multilayer waveguide-grating filters"에서, 다중 박막층으로 구성된 공진 반사필터가 진지하게 연구되었다. J. Opt. Soc. Am. A(2000), p.1241에서 도날드 케이.제이. 등(Donald K.J. et al.)이 작성한 "Design considerations for narrow-band dielectric resonant grating reflection filters of finite length"에서, 공진격자 반사필터의 응답을 예측하기 위해 다중 산란(multiple-scattering) 간섭-도파관 접근법이 개발되었다.

일반적으로, 공진격자필터 구조는 도파관층에 있는, 일반적으로는 층을 지지하는 기관상에 있는, 고굴절률 영역과 저굴절률 영역을 갖는 회절격자를 구비한다. 도파관층 또는 코어층이 개개의 모드가 전파될 수 있는 공동으로서 사용된다. 도파관의 상단에 있는 격자는 입사 조명 평면파를 도파관내의 개개의 모드에 결합시킨다.

IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 33(1997), p.2038에 발표된 로젠블랫 디.(Rosenblatt D.) 등의 "Resonant Grating Waveguide Structures"에 설명된 바와 같이, 입사광빔으로 공진격자 도파관 구조가 조사되는 경우, 상기 빔의 일부는 바로 투과되고 일부는 회절된 후에 도파관층에 갇혀진다. 그런 후, 도파관층에 갇혀진 광의 일부는 외부로 다시 회절되어 투과된 광빔의 일부와 간섭하게 된다. 광빔의 특정 파장 및 각방향에서, 상기 구조가 "공진한다". 즉, 직접 투과된 필드와 회절된 기여(diffracted contribution) 간에 완전한 상쇄간섭이 발생하여 어떠한 빛도 투과되지 않는다. 공진의 대역폭은 깊이, 듀티 사이클(duty cycle)(스텝 폭 대 격자 주기의 비) 및 격자의 굴절률 상수 뿐만 아니라 도파관층의 두께와 같은 파라미터에 근거한다. 대역폭은 매우 협소하게 (0.1nm의 크기로) 설계될 수 있다.

Applied Physics Letters, vol. 77(2000), p. 1596에 발표된 지. 레비-유리스타(G. Levy-Yurista) 및 에이.에이. 프리젠프(A.A. Freisem)의 "Very narrow spectral filters with multilayered grating-waveguide structures"에서 공진 격자 도파관 구조가 설명되어 있으며, 상기 참조문헌에서 격자층은 에칭공정의 중단층으로도 또한 이용되는 버퍼층에 의해 도파관층과 분리된다. 도파관 및 격자층을 분리함으로써 고도로 그 두께를 최적화하고 조절할 수 있다고 언급되어 있다.

공진격자필터의 공진파장은 그 구조에서 다른 층들의 굴절률을 가변시킴으로써 제어될 수 있다. 이러한 굴절률의 변화로 인해 다른 위상 정합상태에 이르고 이에 따라 공진파장 이동(resonance wavelength shift)이 초래된다. 예컨대, 외부 전기장을 인가함으로써 굴절률 변화가 유도될 수 있다. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 37(2001), p. 1030에 발표된 두도비치 엔. 등(Dudovich N. et al)의 "Active Semiconductor-Based Grating Waveguide Structures"에서, InGaAsP/InP 재료를 사용하고 역전압 구성에 기초한 능동 격자 도파관 구조가 설명되어 있다.

동조형 광필터는 광통신, 특히, 파장분할 다중화(WDM)에 많이 응용된다. WDM 시스템에서, 다른 파장을 갖는 여러 채널들이 광섬유를 통해 전송되고, 각 채널은 다른 정보를 전달한다. 동조형 필터는 임의의 한 채널을 선택하고 필터하는데 사용될 수 있다. 늘어나는 광통신 트래픽을 수용하기 위해, 50GHz 및 궁극적으로는 25GHz의 채널 간격을 갖는 고밀도 WDM(DWDM) 시스템이 개발중에 있다. 50GHz 채널 간격을 갖는 DWDM 시스템은 일반적으로 $\pm 2.5\text{GHz}$ 의 주파수 정확도를 필요로 하는 반면에, 25GHz를 갖는 시스템은 일반적으로 $\pm 1.25\text{GHz}$ 의 주파수 정확도를 필요로 한다. DWDM이 더 협소한 채널 간격을 사용하는 경우, 필터의 통과 대역도 또한 다른 채널들과의 누화를 방지하기 위해 협소해져야 한다.

공진격자필터는 공진조건으로부터 발생된 비교적 큰 내재한 파장 선택성으로 인해 특히 WDM 시스템에 적용하기 위한 동조형 필터로서 적합하며, 이에 의해 원칙적으로 (이상적으로는 0.1nm 또는 심지어 그 미만까지 감소되는) 협소한 FWHM이 가능해진다.

The Proceedings of LEOS 2002, p. 825에 발표된 휴아 탄 등(Hua Tan et al.)의 "A tunable Subwavelength Resonant Grating Optical Filter"는 공진파장의 동조가 필터용 클래딩층으로서 배치된 액정(LC)층을 동조시킴으로써 달성될 수 있는 공진격자필터를 기술하고 있다. 17nm의 동조범위가 달성되는 한편, 시뮬레이션은 LC 필터가 55nm 동조 범위 및 0.1nm 대역폭을 달성하는 가능성을 갖는 것으로 나타났다.

동조형 광원으로서 레이저의 사용은 WDM 및 DWDM 시스템의 재구성(reconfiguration)을 크게 향상시킬 수 있다. 예컨대, 파장을 간단히 동조시킴으로써 다른 채널들이 노드에 할당될 수 있다.

다른 접근은 동조형 레이저, 분산 브래그 반사기(distributed Bragg reflector) 레이저, 이동식 탑 미러(mobile top mirror)를 갖는 VCSEL 레이저, 또는 외부공동 다이오드 레이저를 형성하는데 사용될 수 있다. 외부공동 동조형 레이저는 고출력 전력, 넓은 동조범위, 양호한 사이드 모드 억제 및 협소한 대역폭과 같은 여러가지 이점을 제공한다. 기계적으로 조절가능하거나 전기적으로 작동되는 공동내 선택기 소자(intracavity selector elements)와 같은 다양한 레이저 동조 장치가 외부공동 파장선택을 제공하기 위해 개발되었다.

레이저 공동의 파장 선택 및 동조는 능동 동조형 미러를 사용하여 수행될 수 있다. 미국특허 No. 6,215,928은 적어도 회절격자의 틈을 메우는 평면 도파관 및 클래딩 층상에 형성된 회절 격자를 포함하는 능동 동조형 미러를 기술하고 있다. 상기 클래딩은 전기광학적으로 동조될 수 있는 액정 재료로 형성될 수 있다. 공진파장은 전기광학적으로 제어되는 소자에 공급되는 전압 또는 전류를 가변시킴으로써 이동될 수 있다.

미국특허 No. 6,205,159는 액정 패브리-페롯(LC-FP) 간섭계에 전압을 변경시킴으로써 각각의 파장 세트에 동조되는 외부공동 반도체 레이저를 개시하고 있다. 동조될 수 있는 각각의 파장 세트는 고정 내부 에탈론(static intracavity etalon)에 의해 형성된다. 고정 내부 에탈론의 자유 스펙트럼 범위(Free Spectral Range, FSR)는 LC-FP 간섭계의 해상도 대역폭보다 더 크게 설계된다. 고정 에탈론의 FWHM 선폭은 외부공동 길이방향 모드 간격보다 더 적어야 한다.

본 출원인은 공진격자필터의 도파관 또는 격자 층의 두께 또는 격자 주기와 같은 구조 파라미터가, 예컨대, 100GHz 간격의 채널을 갖는 에르븀(erbium) C-대역에서 동작하는 WDM 시스템용 동조형 레이저에서의 동조형 소자로서 요구되는 바와 같이 비교적 큰, 예컨대, 30-40nm 이상의 동조범위와 FWHM에서 비교적 협소한, 바람직하게는, 100GHz(0.8nm) 이하의 대역폭을 갖는 필터를 달성하는데 있어 중요함을 주목했다.

일본특허 No. 63-244044는 편향소자 또는 초점렌즈를 제조하는데 사용될 수 있는 도파관 격자 소자를 기술하고 있다. 상술한 장치에서, 광은 도파관을 따라 측면으로 입사한다. LC 재료의 굴절률에서의 변화로 외부 인가 전압에 의해 출력광의 각도를 조절할 수 있는 광편향 각도에서의 변화가 유발된다.

마찬가지로, 미국특허 No. 5,193,130은 전압신호가 도파관층의 표면 부근에 있는 LC 층의 정렬방향을 변경시키는 광편향 장치를 개시하고 있다. 상술한 장치에서, 상기 도파관을 따라 전파되는 도파관 광은 2개의 광빔, 즉, LC로 방사되는 제 1 광 및 격자가 있음으로 인해 기판을 향해 방사되는 제 2 광으로 분리된다. 도파관 층의 외부로 방사된 광의 방향은 전압신호를 인가함으로써 변경된다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 공진 파장에서 광방사를 반사시킬 수 있는 동조형 공진격자필터에 관한 것으로, 상기 공진파장은 선택적으로 변할 수 있다. 상기 필터는 저굴절률 영역 및 고굴절률 영역을 갖는 주기 구조, 즉, 회절격자와 평면 도파관 및 상기 필터의 동조를 허용하는 선택적인 가변 굴절률을 가지며, 도파관용의 동조형 클래딩층을 형성하는 광투과성 재료를 구비한다. 상기 광투과성 재료는 바람직하게는 전기광학적 광투과성 재료, 더 바람직하게는 액정(liquid crystal, LC) 재료인 광투과성 재료이다.

공진격자필터의 광특성은 격자층의 두께, 도파관층의 두께 또는 격자의 저굴절률 영역 및 고굴절률 영역 사이의 비굴절률차(Index Contrast)와 같은 구조적 특징에 의해 지배된다. 본 출원인은 장치의 구조적 특성에 대한 적절한 선택으로 협소한 대역폭과 광범위한 동조성간의 유용한 트레이드 오프(trade-off)가 발생하는 것을 발견했다.

본 출원인은 평면 도파관에 대해 동조층의 대향측상에 회절격자를 배치함으로써 상기 필터의 동조성에 큰 영향을 끼치지 않으면서 필터응답의 소정 대역폭으로 격자 구조 파라미터를 맞출 수 있음을 발견했다. 다르게 말하면, 도파관 아래에 회절격자를 포함하는 공진구조는 대역폭 해상도에 필요로 하는 비교적 작은 커플링 효율(coupling efficiency)을 가지면서도 소정의 동조범위를 달성하는 적절한 격자구조의 선택시에 융통성을 허용한다. 이러한 공진구조내에서, 코어층, 즉, 도파관이 동조층 부근에 배치될 수 있고, 상기 코어층은 동조층 또는 상기 코어층과 동조층 사이의 개입된 비교적 얇은 중간층 중 어느 하나와 직접 접촉할 수 있다. 동조층으로 코어층의 접근은 전파모드가 동조층으로 상당히 확장될 수 있어 상기 도파관에서 기본 모드의 유효 굴절률이 상기 동조층의 굴절률 변화에 의해 효율적으로 영향받게 되는 것을 의미한다.

본 출원인은 비교적 협소한 대역폭을 나타내는 공진필터를 얻기 위해 커플링 효율이 비교적 낮은 격자가 바람직한 것을 알았다. 바람직하기로, (특히 50GHz 채널간격을 갖는 동조형 레이저 DWDM 시스템에 적합한) 약 0.6nm 이하의 FWHM의 대역폭을 달성하기 위해, 커플링 효율은 약 0.0026 이하이어야 한다. 보다 바람직하기로, 커플링 효율은 약 0.001 내지 0.002 사이로 이루어질 수 있다.

코어층이 상기 격자층과 동조층 사이에 삽입되는 공진격자구조를 제조함으로써, 동조범위가 격자 파라미터에서의 변화로 인한 영향을 덜 받는 것으로 검증됨에 따라 구조 파라미터들 중 일부의 제조 허용오차가 완화될 수 있다. 또한, 약한 격자를 달성하기 위해, 즉, 커플링 계수가 0.0026 이하인 작은 두께, 즉, 150-200nm 보다 작은 격자를 제조할 필요가 없다.

본 발명의 동조형 공진필터는 50GHz 및 25GHz 채널간격 설계를 갖는 DWDM 시스템용의 외부공동 동조형 레이저에서의 적용에 특히 적합하다. 본 발명의 동조형 격자필터는 전체 에르븀 C-대역(1530-1570nm)에 걸쳐 동조될 수 있다.

그 태양 중 하나로, 본 발명은 동조형 공진격자 필터를 구비하는 외부공동 동조형 레이저에 관한 것이다.

실시예

본 출원인은 도 1에 개략적으로 도시된 타입의 공진격자필터의 구조(또한 공진구조라고 함)를 연구하였다. 공진구조(1)는 도파관, 즉, 밑에 있는 클래딩층(5)상에 형성된 코어층(4)과 굴절률이 각각 n_L 및 n_H 인 저굴절률 영역(6)과 고굴절률 영역(7)을 포함하는 회절격자층(3)을 구비한다. 격자의 저굴절률 영역과 고굴절률 영역 간의 비굴절 차(refractive index contrast)는 아래와 같이 정의되며,

$$\frac{\Delta n_G}{n_G} = \frac{n_H - n_L}{[Fn_L + (1-F)n_H]}$$

여기서, n_G 는 격자의 굴절률의 평균값이고 F는 격자의 듀티 사이클이다.

클래딩층(2)이 격자(3)위에 형성되며, 상기 클래딩층은 동조형 재료, 바람직하게는, 비교적 넓은 선택가능한 굴절률 범위를 갖는 LC 재료로 형성된다. 코어층(4)의 굴절률 n_C 는 도파관을 따라 광모드의 가둠을 보장하기 위해 주변층보다 더 크다. 상기 클래딩층(5)은 선택적으로 기관(미도시)상에 성장될 수 있거나 기관 그자체일 수 있다(기관으로서 기능할 수 있다). 예컨대, 코어층(4)은 Si_3N_4 로 제조될 수 있고, 클래딩층(5)은 바람직하게는 Si 기관(미도시)상에서 성장된 (언도프된(undoped)) SiO_2 로 제조될 수 있다. 대안으로, 클래딩층(5)은 코어층이 성장되는 유리기관일 수 있다.

z축이 도파관의 주표면에 수직이게 필터의 주방향에 대한 직각좌표계(x,y,z)를 정의함으로써, 광빔이 구조(1)에 부딪히는 경우 광이 격자(3)에 의해 회절된다. 도 1에 도시된 예에서, 입사가 구조에 수직으로, 즉, z축 방향을 따른다. 격자는 바람직하게는 단지 0차 및 1차 회절 차수만이 도파관내에 전파되게 하도록 주기 Λ 로 설계된다. 다른 모든 회절차수는 사라진다. 0차는 z방향을 따라 다층구조를 가로질러 전파되는 반면에, 1차 회절차수는 주로 격자구조 및 코어 굴절률에 따른다. 회절각이 코어층(4)과 주변층 사이의 경계면(8 및 9)에 의해 형성된 임계각을 초과하면(본 접근법에서 격자는 작은 섭동으로서 취급되고, 이에 따라 경계면이 되는 것으로 고려됨), 회절차수는 x축을 따라 도파관내에 전파된다. 굴절률이 다른 2개의 층들 사이의 경계면의 임계각은 전반사가 발생하는 최소각, 즉, 도 1을 참조로 $\sin\theta_{1,3} = n_{1,3}/n_C$ 로 정의된다.

공진조건하에서, 입사광은 x축을 따라 코어층으로 전파되는 기본 모드에 결합된다. 정의된 전파상수 β 로 x축을 따라 전파하는 광은 주기적 섭동(격자)에 의해 회절되고 다시 도파관으로 나간다. 주기적 섭동은 다시 공진파장에서 z축을 따라 발생한 반사와 상기 광을 z방향으로 결합시킨다. 다른 모든 파장은 실질적으로 장치를 통해 투과된다. 공진에서, 정상파는 광이 내부 전반사에 의해 한정되는 공진공동과 같이 행동하는 도파관층에 만들어지고 결과적으로 에너지가 축적된다.

발생하는 공진에 대해, 격자-코어 경계면에서 접선방향, 즉, x 축을 따른 기본 모드의 β 값은 아래와 같이 주어지며

$$k_i^x + k_g = \beta$$

여기서, k_i^x 는 입사광의 파수의 x방향을 따른 성분이고, k_g 는 아래에 정의된 바와 같이 격자의 파수이며,

$$k_g = \frac{2\pi}{\Lambda} x$$

여기서 Λ 는 격자주기이다. 본 경우에서와 같이, 수직 입사는 $k_i^x=0$ 으로 간주된다. 따라서, 기본 모드의 전파상수와 격자 주기 사이의 관계는 아래와 같이 주어진다:

$$\beta = \frac{2\pi}{\Lambda} \sin \theta$$

도 1에서 광빔의 수직 입사가 도시되고 논의되었으나, 수직 입사 조건이 반드시 필요한 요건이 아니다. 각 θ 의 입사가 고려되는 경우, 공진조건은 특정한 공진파장 λ_0 및 각도 θ_0 에서 발생할 때 빔의 각방향을 또한 고려해야 한다.

상기 공진파장 λ_0 는 아래에 주어진 고유치 문제의 자명하지 않은 해인 것을 알게 된다:

$$\text{tg}(u \cdot t_c) = \frac{u(w_2 + w_5)}{u^2 - w_2 w_5}$$

여기서 t_c 는 도파관(코어) 두께이고, u 는 코어내에 전파하는 파의 모드 파라미터(modal parameter)이며, w_2 및 w_5 는 클래딩층(2 및 5)의 모드 파라미터이다(도 1). 모드 파라미터는 하기의 식으로 표현될 수 있다:

$$u = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda} n_c\right)^2 - \beta^2}$$

$$w_{2,5} = \sqrt{\beta^2 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} n_{1,3}\right)^2}$$

여기서 λ 는 입사광의 파장이다.

횡공진(transversal resonance)의 다중경로 간섭 접근법을 따라, 격자 및 도파관 파라미터의 함수로서 공진에서 구조의 특정 응답에 대한 대역폭의 해석적 표현을 도출할 수 있다. 코어층에서 제 1 굴절차수의 반사효율은 회절차수로 표현된 유효격자세기(effective grating strength), 즉, η_d 로 표현될 수 있다:

$$R(\lambda) = \frac{\eta_d^2}{\eta_d^2 + 4(1-\eta_d)\sin^2\phi(\lambda)/2}$$

여기서, $\phi(\lambda)$ 는 도파관 영역에서 회절차수에 의해 표현된 왕복 위상(round trip phase)이며 공동의 광경로와 결합되는 위상편이(phase shifts), 2개의 코어 경계면에서 2개의 경계면 반사 및 회절로 인한 커플링(coupling)을 포함한다. 따라서, 공진파장 λ_0 부근(및 θ_0 부근 각도)의 파장 λ 에서의 스펙트럼 행동은 일반적으로 로렌지안(Lorentzian)이다.

유효격자세기 η_d 는 격자의 커플링 효율을 회절차수로 표현하고, 파장, 회절차수, 입사회절각도 뿐만 아니라 격자 두께 t_G , 반사굴절상수 $\Delta n_G/n_G$ 및 격자 주기 Λ 와 같은 격자 파라미터에 따른다. 회절이 제 1 차에만 발생하는 경우, 커플링 효율은 제 1 차 회절효율에 해당하고 제 1 차 전파모드의 광출력 대 입사 광출력의 비로 표현될 수 있다. 기본적으로, 커플링 효율은 얼마나 유효하게 격자(커플러)가 공간의 단일 방향으로 광을 방향전환시키는가를 말해준다.

1/2 세기를 만드는 $\phi(\lambda)$ 에서의 변화는 하기의 FWHM 디페이징 대역폭(dephasing bandwidth)을 야기한다:

$$\Delta\phi_{FWHM} = 4 \sin^{-1} \left[\frac{\eta_d}{2\sqrt{1-\eta_d}} \right]$$

디페이징 대역폭은 하기와 같이 접선성분에서의 변화로서 또한 표현될 수 있다:

$$\Delta\lambda_{FWHM} = 4 \sin^{-1} \left[\frac{\eta_d}{2\sqrt{1-\eta_d}} \right] \cdot \frac{\Lambda}{k_0 \left| \frac{d\phi}{d\beta} \right|}$$

여기서 k_0 는 피크 파장 λ_0 에서 자유공간에서의 파수이고, $d\phi/d\beta$ 는 모드 디페이징비(modal dephasing rate)로서 정의되며 접선성분에 대한 위상의 변화율을 나타낸다. 모드 디페이징비는 아래와 같이 정의된다:

$$\left| \frac{d\phi}{d\beta} \right| = \frac{2\beta}{u} \left[t_c + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_5} \right]$$

일반적으로, 코어와 클래딩층 사이의 비교적 큰 굴절률 차로 인해 모달 디페이징비가 비교적 큰 값이 되고 이에 따라 FWHM에서는 대역폭은 비교적 작은 값이 된다(식 10 참조).

식(10)은 η_d 가 감소하고 모드 디페이징비가 증가에 따라 대역폭이 감소하는 것을 나타낸다. 따라서, η_d 값이 비교적 작은 격자를 갖는 구조가 비교적 협소한 스펙트럼 응답 대역폭을 나타낼 수 있다. 회절모드로의 커플링 효율 η_d 가 비교적 작은 것을 특징으로 하는 격자를 "약한" 격자라고 하며, 이는 전파하는 회절모드로 표현될 때 비교적 낮은 회절세기를 갖는 것을 나타낸다.

도 2a 및 도 2c는 3개의 다른 값의 코어 두께, 즉, $t_c=200\text{nm}$ (굵은 실선), 300nm (점선) 및 400nm (사각형이 있는 얇은 실선)에 대한 격자 두께 t_G 의 함수로서 도 1에 예시된 타입의 공진구조에 대한 FWHM에서 산출된 대역폭을 도시한 것이다. 상기 계산에서는 하기의 파라미터가 가정되었다: 코어층(4)의 굴절률 $n_c=1.96$ 인 한편 격자(3)의 클래딩층(5)과 영역(6)(낮은 굴절률 영역) 모두의 굴절률 $n_L=n_3=1.445$ 이다. 격자의 높은 굴절률 영역(7)의 굴절률은 도 2a 내지 도 2c의 도표에서는 3개의 다른 값을 취하고 있다. 도 2a는 격자 굴절상수 $\Delta n_G/n_G=0.26$ 이고, 도 2b는 $\Delta n_G/n_G=0.07$ 이며, 도 2c는 $\Delta n_G/n_G=0.04$ 이다. FWHM의 계산은 식(10)으로부터 도출되었다. 계산에서 기준 파장은 $1.55\mu\text{m}$ 이다.

일반적인 고려대상으로서, FWHM은 격자 두께 t_G 가 증가함에 따라 증하하는 것이 관찰된다. 그러나, 증가는 비교적 작은 굴절상수($\Delta n_G/n_G=0.07$ 및 0.04)의 경우에서보다는 비교적 큰 굴절상수($\Delta n_G/n_G=0.26$)의 경우에 훨씬 더 많이 나타나진다. $\Delta n_G/n_G=0.26$ 의 경우, t_G 에 따른 급격한 증가가 관찰된다. 예컨대 50nm 에서 80nm 로 격자 두께를 증가시키면 FWHM에서의 대역폭에 있어 인수 2보다 더 큰 증가가 초래된다(도 2a). 도 2a에는 도시되지 않았으나, $\Delta n_G/n_G=0.26$ 에 대해 약 200nm 의 격자 두께의 값은 20nm 의 FWHM이 된다. 반대로, $\Delta n_G/n_G=0.04$ 에 대해 격자 두께의 값이 약 200nm 이상이면 FWHM의 값도 0.5nm 보다 더 크게도 보장하지 않을 수 있다.

도 2a 및 도 2c에 도시된 결과로부터, 예컨대 50GHz 채널 간격을 갖는 DWDM 기기용 동조형 레이저에 필요로 하는 바와 같이, FWHM에서 비교적 낮은 대역폭을 가지기 위해, 즉, 약 0.6nm 이하이기 위해, 격자는 매우 작은 두께, 즉, 격자 비굴절 차가 비교적 큰 경우 30nm 이하 또는 비교적 작은 비굴절 차, 즉, 도시된 예에서 약 0.07 이하이게 t_G 를 갖도록 선택해야 하는 것으로 추론한다.

비교적 큰 굴절상수 $\Delta n_G/n_G$ (예컨대, 0.26)를 허용할 수 있는 두께가 수 십 nm(예컨대, 30nm)인 도 1의 공진구조에서 격자를 선택하는 제 1 선택은 특히 화학기상증착 또는 에칭과 같은 대부분의 기술들이 수 나노미터의 제조 허용오차를 갖는 것을 고려한다면 격자제조를 특히나 부담스럽게 한다. 한편, 많아야 0.05, 바람직하게는 0.03 내지 0.04로 이루어지는 낮은 비굴절 차를 선택함으로써 두께가 적어도 150-200nm인 격자의 제조를 가능하게 한다.

도 2a 및 도 2c는 코어 두께 t_c 의 증가가 격자 두께 및 격자 비굴절 차의 소정 값에 대한 FWHM의 감소를 유발하는 것을 나타낸다. 보다 상세하게, 비교적 큰 코어층의 두께 및/또는 클래딩층의 두께에 비해 코어의 큰 굴절률이 FWHM에서 비교적 낮은 대역폭을 만든다. 그러나, 큰 비굴절 차의 경우(도 2a), 400nm의 코어 두께에 대해, 40nm 미만의 격자 두께에 대해서만 0.5nm 이하의 FWHM에서의 대역폭이 얻어진다.

더 구체적으로, FWHM에서 낮은 대역폭을 갖는 스펙트럼 응답은 "약한" 격자, 즉, 비교적 작은 값의 커플링 효율 n_d 을 갖는 격자를 갖는 구조에서 구현될 수 있다. 약한 격자는 예컨대 얇은 격자 구조(작은 t_G) 또는 낮은 비굴절 차(작은 $\Delta n_G/n_G$)를 갖는 격자 구조 중 어느 하나를 선택함으로써 달성될 수 있다. 양 조건의 이행은 작은 값의 격자 세기에 대해서도 또한 안내될 수 있음이 이해된다.

격자의 작은 커플링 효율은 코어층과 격자층 사이에 갭층이라고도 하는 층을 삽입함으로써 달성될 수 있다. 갭층이 있음으로 인해 모드 필드와 주기 영역 사이의 중첩이 줄어들고, 이에 따라 필드의 회절효과가 약화된다. 도 3은 코어층과 격자층 사이에 있는 갭층(10)을 포함하는 공진구조(12)를 개략적으로 도시한 것이다. 상기 구조는 또한 동조형층(2)에 대해 덮개판(cover plate)으로서 작용하는 유리 시트(11)를 구비한다. 덮개판은 광투과성 재료가 LC 재료인 경우에 바람직하다. 동일한 참조번호가 도 1에 도시된 공진구조에 해당하는 공진구조의 소자들에 주어지며 상세한 설명은 생략한다.

도 4는 0nm(즉, 갭층이 없으며, 상기 구조는 도 1에 도시된 구조와 동일함)로부터 300nm에 이르는 두께가 다른 갭층 t_{gap} 에 대한 격자 두께 t_G 의 함수로서 도 3의 공진구조의 FWHM에서의 대역폭을 나타낸 것이다. FWHM의 계산은 식(10)으로부터 도출되었고, 여기서 구조 파라미터들은 $\Delta n_G/n_G=0.26$, $t_c=200nm$, $\Lambda=950nm$, $n_c=1.96(Si_3N_4)$ 및 $n_3=1.445$ (언도프된 SiO_2)로 가정하였다. 본 예에서, 갭층은 SiO_2 로 제조된다. $t_{gap}=0nm$ 에 대한 곡선은 $t_c=200nm$ 에 대해 도 2a에 나타난 곡선에 대응한다. 예컨대, 격자 두께 $t_G=30nm$ 에 대해, $t_G=30nm$ 에 대한 FWHM 값은 $t_{gap}=0nm$ 에 대한 값보다 더 작은 약 인수 1.7이다.

적절한 대역폭을 갖는, 예컨대, DWDM 기기와 호환될 수 있는 스펙트럼 응답을 갖는 것 이외에, 공진격자필터는 광범위한 동조성(tunability), 즉, 큰 동조범위를 나타내어야 한다. 바람직하기로, 동조범위는 에르븀 C-대역을 포함하는 동조 범위를 필요로 하는 기기에 대해 10nm 이상, 바람직하게는 적어도 30-40nm이다.

동조성은 공진격자필터에서 공진 파장의 이동을 의미한다. 공진파장을 이동시키기 위해, 고유치 문제의 해(solution)(식 5)가 이동되어야 한다. 공진조건을 변경시키는, 즉, 공진파장을 이동시키는 한가지 방법은 코어에서의 전파모드에 대해 유효굴절률 n_{eff} 에 영향을 끼치는 공진구조의 층 중 하나의 굴절률을 가변시키는 것이다.

제 1 근사를 위해, 공진 파장 λ_0 는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\lambda_0 = n_{eff}\Lambda$$

여기서, Λ 는 격자주기이다. 그런 후, 공진파장의 동조범위 $\Delta\lambda_0$ 는 다음과 같이 주어진다:

$$\Delta\lambda_0 = \Delta n_{eff}\Lambda$$

이는 전파모드의 $\Delta\lambda_0$ 와 유효 굴절률의 변화량 Δn_{eff} 간의 직접적인 비례를 나타낸다.

상기 코어층과 주기 구조(격자)는 동조층, 즉, 굴절률이 공진과장을 동시킴을 위해 변하는 층에 적합한 후보가 아니며, 이는 굴절률에서의 변화가 FWHM에서의 대역폭에 강하게 영향을 끼칠 수 있고 이에 따라 다른 공진과장에서 상기 구조의 스펙트럼 응답의 균일성을 방해할 수 있기 때문이다.

따라서, 공진 구조의 클래딩층의 굴절률을 가변시킴으로써 동조를 달성하는 것이 바람직하다. 도 1의 공진구조에서, 동조층은 광범위한 선택가능한 굴절지수를 갖는 액정(LC) 재료로 제조되는 것이 바람직하다. LC층의 굴절률 n_1 은 인가된 전기장에 응답하여 가변되고, 공진격자구조가 전기적으로 동조되게 한다.

본 출원인은 효율적인 동조성을 달성하기 위해 전파모드의 광모드 프로파일은 동조층을 상당히 중첩시키기 위해 공간적으로 확장되어야 하는 것을 관찰했다. 이런 식으로, 동조층의 굴절률 n_1 에서의 변화로 도파관내의 전파모드의 유효굴절률 n_{eff} 의 상당한 변화를 초래하게 된다. 도 5a 및 도 5b는 도 1에 도시된 타입의 공진구조의 다른 층들에 대한 광모드 프로파일의 2가지 예를 나타낸 것이다. 도 5a 및 도 5b에서, 공진구조는 또한 LC 재료를 덮기 위한 유리판을 구비한다. 모드 필드는 유한차분시간구역 (finite difference time domain) 기술에 기초한 상용 소프트웨어로 계산되었다. 기본 광모드의 진폭은 도 5a 및 도 5b의 상단부에 도시되어 있다. 시뮬레이션에서는 $\Delta n_G/n_G=0.26$, $t_c=200nm$, $\Lambda=950nm$, $n_c=1.96(Si_3N_4)$, $n_3=1.445$ (연도프된 SiO_2) 및 $t_G=30nm$ 의 구조 파라미터를 가정하였다. 동조형 클래딩층(LC 재료)의 굴절률 n_1 은 1.5 내지 1.7로 변한다. 도 5a에서는 $n_1=1.5$ 인 한편, 도 5b에서는 $n_1=1.7$ 이다. 공진구조의 기본 전파모드는 준가우시안이며 동조층까지 확장되는 "미부(tail)"를 띄며, 상기 미부는 상기 층으로 모드의 공간 중첩을 나타낸다. LC층에서 중첩 정도와 기본 모드의 곡선 형태는 도 5a 및 도 5b 간의 비교로부터 알 수 있는 바와 같이 굴절률 n_1 의 변화에 의해 영향받는다. $n_1=1.5$ 에 대해 산출된 유효 굴절률 n_{eff} 는 1.5995인 것으로 나타난 반면에, $n_1=1.7$ 에 대해서 n_{eff} 는 1.6505인 것으로 나타났다. 식 (13)으로부터, 48.5nm인 동조범위 $\Delta\lambda_0$ 를 도출할 수 있다.

기본 전파모드의 유효굴절률의 계산은 도 5a 및 도 5b의 예의 구조와 동일한 구조에 대해서도 또한 수행되었으며, 유일한 차는 격자 두께 t_G 가 상기 예에서 처럼 30nm 대신에 200nm이었다는 것이다. 유효굴절률의 변화는 22.9nm의 $\Delta\lambda_0$ 에 해당하며 도 5a 및 도 5b의 예에서 보다 2 더 작은 인수 미만인 0.02291인 것으로 계산되었다. 이는 도 1에 도시된 타입의 구조 내에서 코어층과 동조층 사이의 이격이 증가함에 따라 동조성을 향상시키기 위해 두께가 작은 격자가 바람직하며, 이에 의해 상기 동조층으로 기본 모드의 중첩에 영향을 끼칠 수 있음을 의미한다. 상기에서 관찰한 바와 같이, 이러한 작은 두께(예컨대, 30nm)를 갖는 격자는 종종 기술적으로 중요하다.

본 출원인은 격자층과 동조층 사이에 중간층이라고 하는 층을 삽입하는 것이 동조성에 영향을 끼칠 수 있는 것을 관찰하였다. 도 6은 격자층(3)과 동조층(2) 사이에 있는 중간층(13)을 포함하는 공진격자구조(14)를 개략적으로 도시한 것이다. 중간층은 코어층의 굴절률보다 작은 굴절률을 가져야 한다. 도 1에 도시된 공진격자필터에 대응하는 공진격자구조의 소자에 동일한 참조번호가 주어지며, 상세한 설명은 생략한다.

격자층과 동조층 사이의 중간층이 소정의 공진필터의 설계에 고려될 수 있다. 예컨대, 중간층은 동조층의 제어를 위해 전극으로 사용되는, 예컨대, 인듐주석산화물(ITO)로 제조된 광투과성 도전층일 수 있다. 대안으로, 중간층은 동조층을 형성하는 광투과성 재료를 하부층에 부착시키는 것을 향상시키기 위해 개입될 수 있다. 광투과성 재료가 LC 재료인 경우, 대신에 폴리마이드(polymide)로 제조된 중간층이 정렬층으로서 LC와 접촉하게 배치될 수 있다.

도 7에서, 도 6에 도시된 타입의 구조의 동조범위가 0nm(즉, 중간층 없음)에서 200nm에 이르는 중간층의 두께가 다른 값들에 대해 도파관(코어) 두께 t_c 의 함수로서 도시되어 있다. 동조범위는 유한차분시간구역 소프트웨어를 사용하고 식 13에 의해 계산되었다. 곡선의 계산시 고려된 구조적 파라미터는 $\Delta n_G/n_G=0.26$, $\Lambda=950nm$, $n_c=1.96$, $n_3=1.445$, $t_G=30nm$ 및 $\Delta n_1=0.2$ 이고, 여기서 n_1 은 1.5 내지 1.7에 이른다. 중간층은 이 예에서는 SiO_2 로 제조되는 것으로 취해진다. 결과는 코어 두께가 증가함에 따라 동조범위가 감소되는 것이 도시되어 있다. 또한, 소정의 코어 두께에 대해, 중간층의 두께가 증가함에 따라 동조범위는 감소한다.

도 7에 도시된 결과는 코어 두께 t_c 에 의해 및/또는 격자층과 동조층 사이에 위치한 중간층이 있음으로 인해 동조성이 상당히 영향받는 것을 명확히 나타낸다. 양 경우에서, 이는 도파관에서 전파모드의 중심이 동조층으로부터 더 멀어지게 되고(통상적으로, 기본 모드는 코어 중심 주위에 집중됨), 이에 따라 동조층에 현저히 중첩될 수 없어 유효 굴절률을 효율적으로 변화시킬 수 없다는 사실에 기인한다.

도 2a 내지 도 2c에 예시된 결과를 도 7에 나타난 결과와 비교함으로써, 본 출원인은 비교적 두꺼운 코어층이 스펙트럼 응답의 비교적 협소한 대역폭에 바람직한 반면에 비교적 얇은 코어층은 광범위한 동조성에 이점적인 것을 주목했다. 예로서, $\Delta n_G/n_G=0.04$ 및 $t_G=200\text{nm}$ 인 격자를 선택함으로써, 0.4nm 의 FWHM에서 대역폭을 갖기 위해 필요로 하는 코어 두께 t_c 는 약 220nm 가 된다. 그러나, 이러한 코어 두께는 25nm 의 동조범위를 의미한다(구조적 파라미터가 상술한 도면에 예시된 계산의 구조적 파라미터들과 동일한 것으로 가정됨). 이 동조범위는 예컨대 적어도 30nm 바람직하게는 적어도 40nm 의 동조범위가 요구되는 C-대역 파장영역에서 동작하는 DWDM 시스템의 기기에 적합하지 않을 수 있다.

본 출원인은 평면 도파관에 대해 동조층의 대향면에 회절격자를 배치함으로써 필터의 동조성에 상당한 영향을 끼치지 않고도 필터 응답의 소정 대역폭에 격자 구조 파라미터를 맞출 수 있는 것을 발견했다. 다르게 말하면, 격자층 및 동조층 사이에 배치된 도파관을 포함하는 공진구조가 대역폭 해상도에 필요로 하는 비교적 작은 커플링 효율을 갖는 한편 소정의 동조범위에 도달하는 적절한 격자구조의 선택시에 융통성을 허용한다.

코어층은 동조층 가까이에 배치될 수 있고, 상기 코어층은 동조층 또는 상기 코어층과 상기 동조층 사이에 하나 이상의 개입된 비교적 얇은 중간층 중 어느 하나와 직접 접촉할 수 있다. 중간층은 동조성에 상당한 영향을 끼치지 않게 하는 두께를 가져야 하며, 최대 허용된 두께는 굴절률과 도파관의 두께 및 중간층의 굴절률에 따른다. 예컨대, Si_3N_4 의 200nm 두께의 코어층과 ITO($n=1.9$)의 중간층에 대해, ITO의 두께는 40nm 이하이어야 한다. 동조층으로의 코어층 접근은 전파모드가 동조층으로 부분적으로 확장될 수 있어 유효 굴절률이 동조층의 굴절률의 변화에 의해 효율적으로 영향받게 됨을 의미한다.

도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 공진격자필터의 층구조를 개략적으로 도시한 것이다. 공진구조(20)는 저굴절률 영역(21) 및 고굴절률 영역(22)을 포함하는 굴절격자층(23) 위에 형성된 코어층(28)을 구비하고, 저굴절률 영역 및 고굴절률 영역 사이의 비굴절 차는 $\Delta n_G/n_G$ 이다. 격자층(23)은 버퍼층(24)위에 형성되며, 상기 버퍼층은 기판(25)상에 선택적으로 형성된다. 클래딩층(30)은 코어층(28)위에 형성되고, 상기 클래딩층은 동조형 광투과성 재료, 바람직하게는 비교적 광범위하게 선택가능한 굴절률을 갖는 LC 재료로 형성된다.

코어층(28)의 굴절률 n_c 는 도파관에서 광모드의 가둠을 확실히 하기 위해 주변층보다 더 크다. 굴절률 n_c 는 격자의 평균 굴절률 n_G 보다 더 크다.

동조형 재료의 굴절률은 외부 파라미터, 예컨대, 전압(V)의 인가에 의해 제공된 전기장 또는 온도(T)를 변경함으로써 가변될 수 있다. 클래딩층용의 적절한 동조형 재료는 굴절률 $n_1(V)$ [또는 $n_1(T)$]이 장치의 기능 및 동조성을 위해 관심있는 전체 전압(온도) 범위에서의 코어의 굴절률 보다 더 작게 유지되도록 선택된다.

동조층이 전기광학 재료를 구비하는 경우, 공진구조는 바람직하게는 LC 층의 대향면에 위치한 투명한 전기도전층(26 및 28)을 포함한다. 대안으로, 기판이 도전성이거나(예컨대 실리콘으로 제조된) 반도체성인 경우를 가정하여, 전기적 구조를 포함하기 위한 2개의 층은 층(29) 및 기판(25)일 수 있다. 바람직하기로, 유리판(31)이 LC층용의 덮개판으로서 배치된다.

도 8을 참조하면, 바람직한 실시예에서, 격자의 저굴절률 영역(21)이 버퍼층(24)의 재료와 동일한 재료로 제조된다.

선택적으로, 중간층(27)이 코어층위에 형성된다. 중간층은 특히 스퍼터링 또는 증착에 의한 제조시에 도전층(26)의 부착 및/또는 두께 균일성을 향상시킬 수 있다.

선택적으로, 클래딩층(30) 위의 반사방지코팅 및/또는 기판(25)과 버퍼층(24)(미도시) 사이에 반사방지코팅이 있을 수 있다.

회절격자가 직사각형 형태를 갖는 것으로 도시되어 있으나, 다른 형태도 격자가 도파관 영역에서 선택적인 방사의 커플링을 가능하게 하는 한 주기 구조가 고려할 수 있다. 회절격자는 도 8의 공진구조에서와 같이 일차원 또는 이차원적인 주기 섭동을 만들어야 한다. 격자의 주기성은 하나 또는 다수일 수 있고 입사광의 편광에 따르거나 무관할 수 있다.

동조형 클래딩(20)이 LC 재료와 같은 전기광학적 동조형 재료로 제조되는 경우, 전기 신호에 의해 파장 선택이 이루어진다. 공진파장은 전기광학적으로 제어된 재료에 인가되는 전압 또는 전류를 가변함으로써 이동될 수 있다. 전기광학적 재료

가 LC 재료인 경우, 필터의 기능을 위해 제공된 전기신호는 dc 스트레스로 인한 LC의 저하를 방지하기 위해 교류전압이다. 도체(도 9에서, 도전층 26 및 29)에 인가된 전압의 진폭에 따라, 동조형 필터는 소정의 파장 λ_0 에서만 방사를 반사시킨다. 다른 모든 파장에서의 방사는 공진필터를 통해 통과된다. 명백히 투과의 최소는 λ_0 에서 발생한다.

이론적으로 λ_0 에서의 반사도는 100%이나, 공진격자필터의 반사도는 일반적으로 입사광의 (작은) 일부분이 투과되게 하므로 70%-95%이며, 이는 예컨대 기관 또는 버퍼층에서 발생하는 손실에 기인한다.

LC 재료의 두께는 약 $5\mu\text{m}$ 이하, 더 바람직하게는 많아야 $2\mu\text{m}$ 이며, 바람직한 실시예에서는 약 $1\mu\text{m}$ 이다.

비록 바람직하지만, 동조형 클래딩은 전기광학적 재료로 제조될 필요는 없다. 예컨대, 폴리머와 같은 열광학 재료의 사용도 또한 고려될 수 있다. 동조형 클래딩을 형성하는 재료에 대한 요건은 외부 파라미터, 온도(T) 또는 전기장의 변화시에 비교적 광범위하게 변하는 굴절률을 가져야 한다는 것이다. 열광학 재료에 대해, 합당한 온도변화에 대한 수 나노미터의 동조성을 달성하기 위해, 열광학재료는 적어도 $10^{-4}/^\circ\text{C}$ 의 열광학 계수 dn/dT 를 가져야 한다. 대다수 종류의 LC 재료는 일반적으로 $1-2\text{V}/\mu\text{m}$ 이상인 전기장의 합당한 변화에 대해 수십 nm의 동조범위를 달성할 정도로 큰 전기광학 계수를 나타낸다. 전기광학적이거나 열광학적인 적절한 재료의 선택은 물론 필요로 하는 동조범위를 바탕으로 하는 적용에 따른다.

열광학 재료로 제조된 동조층의 경우, 도체만이 열 동조를 위해 필요로 하는 것임을 알아야 한다. 도 8을 참조하면, (도전층(26)이 아니라) 도전층(29)만이 필터를 동조하는데 필요할 수 있다. 또한, 덮개판(31)은 층(30)이 폴리머층인 경우 필요하지 않을 수 있다.

바람직한 실시예에서, 격자 주기 Λ 는 단지 제 1 차 회절이 도파관에서 발생되도록 선택된다. 즉, $\Lambda > \lambda_{\text{max}}/n_c$ 조건이 충족되어야 하고, 여기서 λ_{max} 는 대상 범위의 최대파장, 예컨대, 범위가 C-대역인 경우, $\lambda_{\text{max}} \sim 1570\text{nm}$ 이도록 선택된다. 바람직하기로, 격자 주기는 제 2 차 회절이 발생하지 않고 기본 전파모드와 제 1 차 회절모드 사이로 도파관에서 커플링이 있도록 선택되어야 한다. 이 마지막 조건은 아래의 관계식으로 표현될 수 있다:

$$\lambda < \min \left\{ \frac{2\lambda_{\text{min}}}{n_c}, \frac{\lambda_{\text{min}}}{\max[n_1, n_3]} \right\}$$

여기서, λ_{min} 은 대상범위의 최소 파장, 예컨대, 범위가 C-대역인 경우, $\lambda_{\text{min}} \sim 1530\text{nm}$ 이다.

예로서, $t_c=200\text{nm}$ 에 대해, Λ 는 800 내지 1050nm 까지 변할 수 있다.

도 9a 및 도 9b에서, 도 3 타입의 구조에 대한 성능과 도 8에 도시된 타입의 구조에 대한 성능 간의 비교가 예시되어 있으며, 양 구조는 동조층과 코어층 사이에 중간층이 없다. 도 3을 참조하면, 어떠한 층(10)도 있지 않으며 도 8을 참조하면, 어떠한 층(27 또는 26)도 있지 않다. 도 9a에서, FWHM에서의 대역폭은 도 3 타입의 구조("코어 위의 격자"로 표시된 사각형들이 들어있는 얇은 실선) 및 도 8에 예시된 타입의 구조("코어 아래의 격자"로 표시된 원들이 들어있는 굵은 실선)에 대한 격자 두께의 함수로서 도시되어 있다. 도 9b에서, 동조범위는 격자 두께의 함수로서 나타나 있다. 계산시에, 양 구조는 저굴절률 영역의 파라미터와 같이 $n_c=1.96$, $n_3=1.445$ 이고, $t_c=200\text{nm}$, $\Lambda=948\text{nm}$, $\Delta n_c/n_c=0.04$ 및 $n_c=1.5-1.7$ 의 파라미터를 갖는다. 두 구조의 차이는 물론 격자층의 위치이다. 코어층 위에 격자를 갖는 구조에 대한 도 9a의 도시된 데이터는 $t_c=200\text{nm}$ 에 대한 도 2c에 나타난 데이터에 해당한다. 도 9a의 결과는, 명확하게 임의의 상당한 격자두께에서, 코어층 아래에 배치된 격자를 갖는 구조의 FWHM에서의 대역폭이 코어층 및 동조층 사이에 격자를 갖는 구조의 FWHM에서의 대역폭보다 더 협소한 것을 명확하게 나타낸다. 또한, 도 9b는 동조범위가 코어 위에 격자층을 갖는 구조에 대해서보다 코어층 아래에 배치된 격자를 갖는 구조에 대해 상당히 더 큰 것을 나타낸다.

코어 아래에 있는 격자를 갖는 구조에 대한 동조범위가 격자 두께의 상당한 범위내에서 대략 일정하게 (약 45nm로) 유지되는 것을 주목하는 것이 중요하다. 대조적으로, 코어층 위의 격자를 갖는 구조에 대해서는 격자 두께의 의존성이 관찰된다. 이는 도파관 아래에 격자를 갖는 공진구조에서, 동조성은 예컨대 제조공정과 관련된 유한한 정확도에 기인한 격자 두께에서의 요동으로 인해 영향을 덜 받는다. 따라서, 격자의 제조 허용오차는 본 발명에 따른 구조의 경우에 완화될 수 있다.

도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 공진격자필터를 도시한 것이다. 공진격자필터(40)에서, 버퍼층(47)이 기판(49) 상에 형성된다. 고굴절률 영역(50)이 상기 버퍼층에 형성되어 두께 t_G 의 격자층을 형성하고 상기 격자층에는 저굴절률 영역(53)이 상기 고굴절률 영역 옆에 인접하여 상기 버퍼층의 영역에 부합된다. 선택적으로, 두께가 $t_{\text{갭}}$ 인 갭층(51)이 격자층 상에 형성되고, 상기 갭층은 바람직하게는 버퍼층과 동일한 재료로 제조된다. 갭층(51)(또는 격자층)상에, 코어층(46)이 형성된다. 상기 코어층상에 선택적인 중간층(45)이 형성될 수 있다. 상기 코어층상에 전기광학적으로 제어되는 동조층(43)이 형성된다. 상기 기판(49)과 상기 버퍼층(47) 사이에 선택적인 반사방지 코팅층(48)이 형성된다. 투명한 전기도전층(42 및 44)이 바람직하게는 LC 재료로 된 동조층의 대향면에 위치된다. 대안으로, 전기적 구조를 포함하는 2개 층은, 기판이 도전성이거나 반도체성인(예컨대, 실리콘으로 제조된) 경우, 층(42) 및 기판(49)일 수 있다. 유리와 같은 절연기판의 경우, 전기도전층이 기판상에(도 10에서, 선택층(48)에 해당하는 위치에) 성장될 수 있어 전기접촉이 도전층과 도전층(42)(또는 45) 사이에 이루어질 수 있다. 유리 덮개판(41)이 동조층(43)에 위치된다.

갭층은 바람직하게는 격자상의 기본 모드의 중첩을 감소시키기 위해 구조내에 포함될 수 있어, 이에 의해 격자 자체의 특성을 변경하지 않고도 격자의 커플링 효율을 감소시킬 수 있다.

바람직하게는, 본 발명에 따른 공진격자필터는 비교적 작은 회절 효율을 갖는 격자를 구비한다. 도 11은 도 10에 도시된 타입의 구조에 대해 결합된 파 방정식의 해를 기초로 한 상용 소프트웨어를 사용하여 산출된 바와 같이 커플링 효율 η_d 의 함수로서 FWHM에서의 대역폭을 도시한 것이다. 고려된 FWHM의 범위에서, η_d 에 대한 FWHM의 의존성은 1차 근사의 직선이 된다. 소정의 FWHM이 0.4nm인 경우, 커플링 효율은 0.0015가 되어야 한다. 약 0.001 내지 0.002에 이르는 커플링 효율은 약 0.2 내지 0.5nm의 FWHM에 상응한다.

본 출원인은, 여태껏 고려된 예들의 모든 공진구조에 대해, FWHM에서의 대역폭 곡선 대 커플링 효율이 상당히 변하지 않는 것을 주목했다. 계산시 격자 두께는 다른 $\Delta n_G/n_G$ 값들에 대해 동일한 커플링 효율을 가지도록 변해야 한다는 것을 알아야 한다. 예컨대, 0.0014의 커플링 효율은 $\Delta n_G/n_G=0.26$ 및 $t_G=25\text{nm}$ 인 코어 위에 격자를 갖는 공진구조에 의해, $\Delta n_G/n_G=0.04$ 및 $t_G=200\text{nm}$ 인 코어 아래에 격자를 갖는 공진구조에 의해, 또는 $\Delta n_G/n_G=0.04$, $t_G=50\text{nm}$ 및 $t_{\text{갭}}=100\text{nm}$ 인 코어와 갭층 아래에 격자를 갖는 공진구조에 의해 달성될 수 있다.

본 발명과 관련하여, 회절격자는 η_d 가 0.0026 이하인 경우 "약한", 즉, 비교적 작은 커플링 효율을 갖는 것으로 간주된다.

도 12a 및 도 12b는 0nm 내지 300nm에 이르는 갭층 $t_{\text{갭}}$ 의 두께가 다른 값들에 대해 도 10에 도시된 타입의 구조에 대한 격자 두께의 함수로서 FWHM에서의 대역폭과 동조범위를 각각 나타낸 것이다. $t_{\text{갭}}=0$ 을 나타내는 실선은 갭층이 없는 구조에 해당한다. 즉, 코어층이 격자층상에 바로 형성된다. 구조 파라미터는 저굴절률 영역의 파라미터와 같이 $n_c=1.96$, $n_3=1.445$ 이고, $t_c=200\text{nm}$, $\Lambda=950\text{nm}$, $\Delta n_G/n_G=0.26$ 및 $n_c=1.5-1.7$ 이다. 곡선은 적어도 0-300nm의 고려된 범위에서 갭층의 두께에 대한 동조범위의 비교적 약한 의존성만을 나타낸다. 갭 두께의 증가는 격자 두께의 증가에 대한 광성능 면에서 동일한 것으로 간주될 수 있음이 주목되어야 한다.

본 발명의 공진구조에서는 약한 회절격자를 얻기 위해 비교적 작은 두께, 즉, 150-220nm를 갖는 격자를 제조할 필요가 없다는 것이 주목되어야 한다. 한편, 비교적 얇은(예컨대, 50nm) 격자가 필요한 경우, 격자층의 형성은 양호하게 제어되고 재생될 수 있으며, 이는 증착공정에 의해, 예컨대, 플라즈마 화학기상증착(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD)에 의해 격자 두께를 형성할 수 있기 때문이다. 격자의 저굴절률 또는 고굴절률 영역을 재현하기 위해, 에칭단계가 일반적으로 필요하다. 현재의 에칭기술은 일반적으로 적어도 4-5nm의 절대적인 정확도를 띤다. 이는 코어층 자체가 에칭에 의해 영향받을 수 있기 때문에 격자층이 코어층 위에 배열되는 경우 문제가 될 수 있다.

비교를 위해, 격자 두께의 함수로서 동조범위가 도 3에 도시된 구조의 타입, 즉, 코어층 위에 배치된 격자층과 상기 코어층과 상기 격자 사이에 갭층을 갖는 구조의 타입에 대해 도 13에 도시되어 있다. 곡선은 0nm 내지 300nm에 이르는 갭층 $t_{\text{갭}}$ 의 두께가 다른 값들을 나타낸다. 구조 파라미터는 도 4에 나타난 계산의 파라미터와 동일하다. 주어진 격자 두께에 대해, 갭층의 두께를 증가시키기에 따라 동조범위의 상당한 감소가 관찰된다.

실시예 1

도 8을 참조하면, 버퍼층과 저굴절률 격자 영역은 굴절률이 1.445인 (언도프된) SiO_2 로 제조된다. 고굴절률 영역은 굴절률이 1.54인 SiO_xN_y 로 제조된다. 코어층은 굴절률이 1.96인 SiO_3N_4 로 제조된다. 격자 두께는 220nm이다. 동조층은 1.5 내지 1.7에 이르는 굴절률을 갖는 네마틱(nematic) LC로 제조된다. 격자 주기는 LC 재료의 굴절률 1.5에 대해 1526nm(C-대역의 하한)의 공진파장을 갖기 위해 948.5nm가 된다.

상기 구조는 반도체 장치의 제조를 위한 표준 기술을 이용함으로써 제조될 수 있다. 예로서, 버퍼층을 형성하기 위해 SiO_2 층이 PECVD에 의해 Si 기판상에 증착된다. 버퍼층의 표면은 실질적으로, 예컨대, 형성되는 고굴절률 격자 영역(22)에 대응하는 트렌치 영역(trench regions)을 형성하도록 건식 에칭에 의해 에칭된다. 트렌치는 실질적으로 SiO_xN_y 로 채워진다. 대안으로 SiO_xN_y 층이 버퍼층으로서 기판상에 증착된 후 저굴절률 영역에 해당하며 실질적으로 SiO_2 로 채워지는 트렌치가 그 표면에 형성될 수 있다.

그리고 나서 결과적으로 발생한 표면(즉, 격자 상부면)은 평평해진다. 연이은 단계에서, 코어층을 형성하기 위해 SiO_3N_4 층이 PECVD에 의해 증착된다. 두께가 40nm이하인 SiO_2 의 얇은 층이 PECVD에 의해 코어층에 선택적으로 증착될 수 있다. 또 다른 단계에서, 30nm 두께의 ITO층이 상기 코어층 또는 상기 얇은 SiO_2 층에 증착된다. LC 셀이 최종적으로 상기 구조의 상단에 조립되고 ITO층 및 유리판과 함께 종료된다.

공진구조의 동조범위는 약 40nm이다.

실시예 2

도 10에 도시된 타입의 구조를 참조하면, 버퍼층과 갭층은 굴절률이 1.445인 (언도프된) SiO_2 로 제조된다. 고굴절률 영역은 굴절률이 1.96인 SiO_3N_4 로 제조된다. 코어층은 굴절률이 1.96인 SiO_3N_4 로 제조된다. 격자 두께는 50nm이고, 코어 두께는 200nm이며, 갭층의 두께는 300nm이다. 동조층은 1.5 내지 1.7에 이르는 굴절률을 갖는 네마틱 LC로 제조된다. 격자 주기는 LC 재료의 굴절률 1.5에 대해 1526nm(C-대역의 하한)의 공진파장을 갖기 위해 950nm가 된다. 두께가 약 1mm인 유리판이 LC 셀을 덮는다. ITO로 제조되고 두께가 20nm인 투명한 도전층이 상기 LC 셀의 대향면상에 배치된다. 상기 코어층에 배치된 상기 ITO 층위에, 두께가 20nm인 폴리마이드층이 상기 LC 재료를 정렬시키도록 형성된다.

이 공진구조의 동조범위는 40nm이다.

상기 구조는 반도체 장치의 제조를 위한 표준 기술을 이용함으로써 제조될 수 있다. 예로서, 버퍼층을 형성하기 위해 SiO_2 층이 PECVD에 의해 Si 기판상에 증착된다. 실질적으로, 상기 버퍼층상에 SiO_3N_4 층이 증착된다. 상기 SiO_3N_4 층은 실질적으로, 예컨대, 형성되는 저굴절률 격자 영역에 대응하는 트렌치 영역을 형성하도록 건식 에칭에 의해 에칭된다. 상기 트렌치를 채우고 상기 격자상에 SiO_2 의 갭층을 형성하기 위해 SiO_2 층이 증착된다.

이 공정은 트렌치의 에칭 단계에서 고정확도가 반드시 필요하지 않으며 트렌치의 약간 과도에칭도 가능하다는 이점을 갖는다. 이 경우, 격자 두께의 정확도는 SiO_3N_4 의 고굴절률 영역의 증착공정에 의해 형성된다.

바람직한 실시예에서, 본 발명에 따른 공진격자필터가 외부공동 동조형 레이저에서의 동조소자로서 사용된다. 외부공동 동조형 레이저는 국제전기통신연합(ITU) 격자상의 임의의 채널에 대한 중심 파장을 발생시키기 위해 통신기기에서, 특히, WDM 및 DWDM 시스템용의 동조형 광원으로 적당하다.

도 14는 본 발명에 따른 동조형 공진반사필터를 구비하는 외부공동 동조형 레이저(60)를 개략적으로 도시한 것이다. 이득 매질(61), 바람직하게는 반도체 레이저 다이오드는 전면(front facet)(62) 및 후면(back facet)(63)을 구비한다. 전면(62)은 부분적으로 반사하고 외부공동의 엔드 미러(end mirrors) 중 하나로서 역할을 한다. 후면(63)은 반사도가 낮다. 일반적으로 반사방지 코팅(미도시)이 코팅된다. 조준렌즈(64)가 이득 매질에 의해 방출된 광빔을 ITU 채널 격자에 고정된 모드를 갖는 패브리 페롯(FP) 에탈론(65)에 수렴시킨다. FP 에탈론은 복수의 동일한 간격의 전송피크를 형성하도록 구성되고 배열되는 채널 할당 격자소자로서 기능을 한다. FP 에탈론(65) 이후로, 빔은 동조형 공진격자필터(66)에 충돌하며, 상기

공진격자필터는 외부공동의 다른 엔드 미러를 형성하고 이득매질 전면과 함께 공동의 물리적 길이 L_0 를 형성한다. 과장가 변필터(66)는 레이저 공동의 엔드 미러로서 사용되고 또한 동조형 미러라고도 한다. 동조형 미러는 에탈론 전송피크 중 하나를 선택함으로써 소정의 채널 주파수에 동조된다.

바람직한 실시예에서, 동조형 미러(66)는 전압 발생기(67)에 의해 공급된 인가 전압을 전기적으로 가변시킴으로써 동조된다. 인가 전압은 교류(AC) 전압이다. 레이저의 레이징 출력 과장은 동조형 미러의 공진 과장 λ_0 에 일치하도록 선택된다.

동조형 미러(66)는 본 발명의 실시예 중 하나에 따른 공진격자필터이다.

레이저 시스템은 바람직하게는 실질적으로 단일의 종모드 방사 및 바람직하게는 단일의 횡모드 방사를 야기하도록 설계된다. 종모드는 레이저 공동내에서 다수의 별개의 주파수에서 동시 레이징을 의미한다. 횡모드는 레이징 방사의 횡방향으로 빔강도 횡단면으로의 공간 변화에 해당한다. 일반적으로, 이득매질의 적절한 선택, 예컨대, 도파관을 포함하는 상용의 구 매가 가능한 반도체 레이저 다이오드가 하나의 공간 또는 횡모드 동작을 보장한다.

바람직한 실시예에서, 빔의 충돌은 실질적으로 동조형 미러의 도파관 면에 수직하다.

도 14의 레이저 시스템에서, 동조형 미러는 격자 에탈론의 피크들을 구별하는 간단한 동조소자로서 역할을 한다. 동조형 미러의 FWHM 대역폭은 격자 에탈론의 FWHM 대역폭 이상이다. 길이방향 단일모드 동작에 대해, 특정 채널 주파수에 해당하는 FP 에탈론의 전송피크는 하나의 공동모드를 선택, 즉, 전송해야 한다. 따라서, FP 에탈론은 각 채널 간의 이웃한 공동 모드를 억제시키는 FWHM에 의해 구분된 자유스펙트럼영역(FSR)으로서 정의되는 피네스(finesse)를 가져야 한다. 단일모드 레이저 방출에 대해, 길이방향 공동모드는 에탈론 전송피크 중 하나(동조형 미러에 의해 선택된 하나)의 최대값 너머로 지정되어야 한다. 이런 식으로, 지정된 주파수만이 에탈론을 통과하게 되고 다른 경쟁하는 이웃한 공동모드들이 억제되어 진다.

본 발명에 따른 레이저 시스템은 특히 ITU 50GHz 또는 25GHz 채널 격자상의 전체 C-대역에 걸쳐 빠른 스위칭을 제공하도록 설계되어 있다.

레이저 시스템이 50GHz 모드 간격용으로 설계되는 경우, 동조형 미러의 반사대역은 이웃한 채널들 사이에서 적어도 5dB의 소광비(extinction ratio)를 얻도록 약 0.6nm 이하이어야 한다. 바람직하기로 동조형 미러의 FWHM에서의 대역폭은 0.4nm 이하이어야 한다. C-대역에 걸친 레이저 시스템의 동조성은 적어도 40nm의 동조범위를 갖는 동조형 미러를 필요로 한다.

25GHz 채널간격을 갖는 DWDM 시스템용의 외부공동 레이저 소스에서 동조형 미러로서의 적용을 위해, 약 0.2nm 내지 0.3nm 사이로 이루어진 FWHM의 대역폭이 바람직하다.

0.2-0.3nm 미만의 FWHM의 대역폭은 레이저에서 미러의 정렬 및 제어를 더 어렵게 하기 때문에 레이저 시스템에서 바람직하지 못하다.

대안으로, 본 발명에 따른 공진격자필터는 WDM 및 DWDM 시스템용 동조형 애드/드롭(add/drop) 장치에 사용될 수 있다. 이러한 적용을 위해, 설계는 바람직하게는 -30dB 이하인 측면 모드의 소광비를 가지며 광범위한 동조 이외에 협소한 대역폭, 예컨대, 0.1-0.2nm 및 공진과장 주위의 낮은 측대역에 대해 맞추어져야 한다.

산업상 이용 가능성

본 발명의 상세한 내용에 포함됨.

도면의 간단한 설명

도 1 공진격자필터의 층구조와 통상적인 입사 방식에 대한 관련된 입사파 및 회절파의 간략한 예이다.

도 2a 내지 도 2c는 코어층의 두께의 다른 값들에 대한 회절 격자 두께의 함수로서 공진격자필터의 FWHM의 산출된 대역폭을 도시한 것이다. 도 2a에서 비굴절률차 $\Delta n_G/n_G$ 는 0.26, 도 2b에서는 0.07, 그리고 도 2c에서는 0.04이다.

도 3은 코어층과 격자층 사이에 "갭"층을 구비하는 공진격자필터의 층구조의 간략한 예이다.

도 4는 (갭층이 없는) 0nm로부터 (코어층의 두께 값이 모든 곡선에 대해 동일한) 300nm에 이르는 갭층의 두께가 다른 값들에 대한 회절격자 두께의 함수로서 도 3에 도시된 타입의 공진격자필터의 FWHM에서의 산출된 대역폭을 도시한 것이다.

도 5a 및 도 5b는 동조층의 굴절률 n_1 에 대한 2개의 다른 값들, 즉, $n_1=1.5(a)$ 및 $n_1=1.7(b)$ 에 대해 도 1 타입의 공진격자필터 구조의 다른 층들에 대한 정규화된 광모드 분산(실선)을 도시한 것이다.

도 6은 코어층과 동조층 사이에 "중간"층을 구비하는 공진격자필터의 층구조의 간략한 예이다.

도 7은 (중간층이 없는) 0nm로부터 200nm에 이르는 중간층의 두께가 다른 값들에 대한 코어층 두께의 함수로서 산출된 동조 범위를 도시한 것이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 공진격자필터의 층구조의 간략한 예이다.

도 9a 및 도 9b는 도 1 타입의 구조의 광특성과 어떠한 중간층도 갖지 않는 도 8에 도시된 타입의 구조의 광특성 간의 비교를 나타낸 것으로, 도 9a에서 FWHM에서의 대역폭은 격자 두께의 함수로서 도시되어 있는 반면에, 도 9b에서 동조범위는 항상 격자 두께의 함수로서 나타내진다.

도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 공진격자필터의 층구조의 간략한 예이다.

도 11은 회절격자의 "세기"에 대한 FWHM 의존성의 예인 커플링 효율의 함수로서 FWHM에서의 산출된 대역폭을 도시한 것이다.

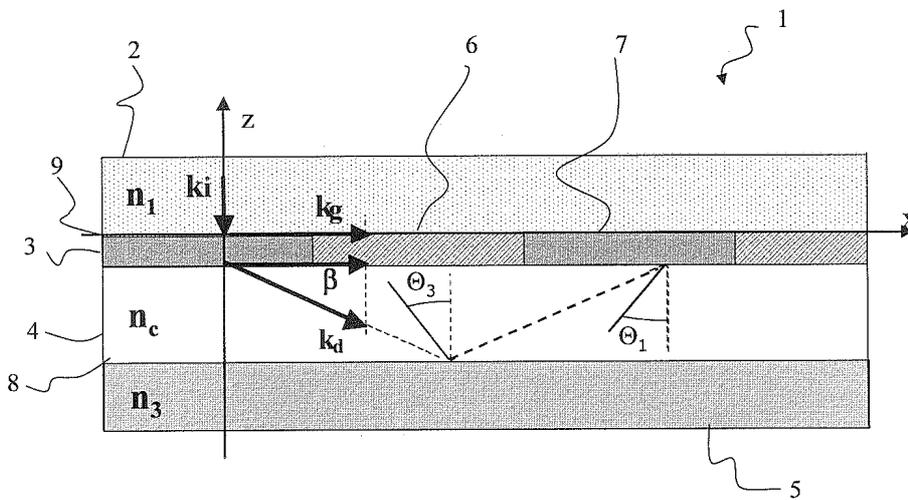
도 12a 및 도 12b는 갭층의 두께가 다른 값들에 대한 회절격자두께의 함수로서 도 10에 도시된 타입의 공진격자필터의 FWHM에서 산출된 대역폭(도 12a) 및 동조범위(도 12b)를 도시한 것이다.

도 13은 (갭층이 없는) 0nm로부터 300nm에 이르는 갭층의 두께가 다른 값들에 대한 도 3에 도시된 타입의 공진격자필터의 격자 두께의 함수로서 산출된 공진범위의 비교를 나타낸 것이다.

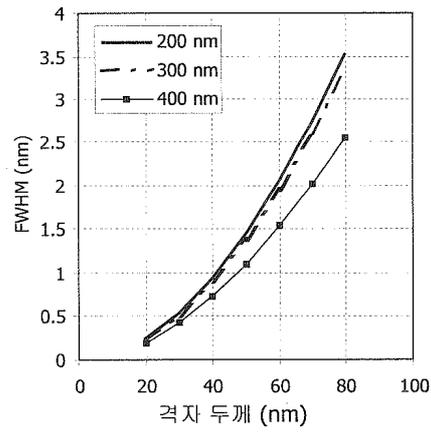
도 14는 본 발명의 실시예에 따른 공진격자필터를 포함하는 외부공동 동조형 레이저의 개략도이다.

도면

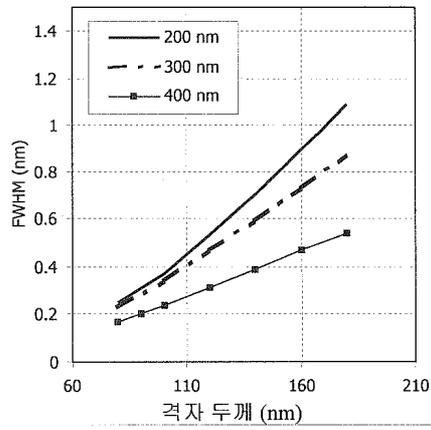
도면1



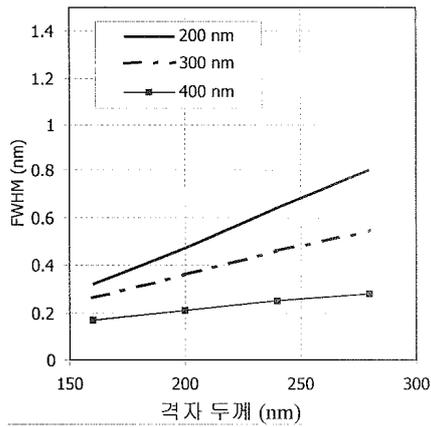
도면2a



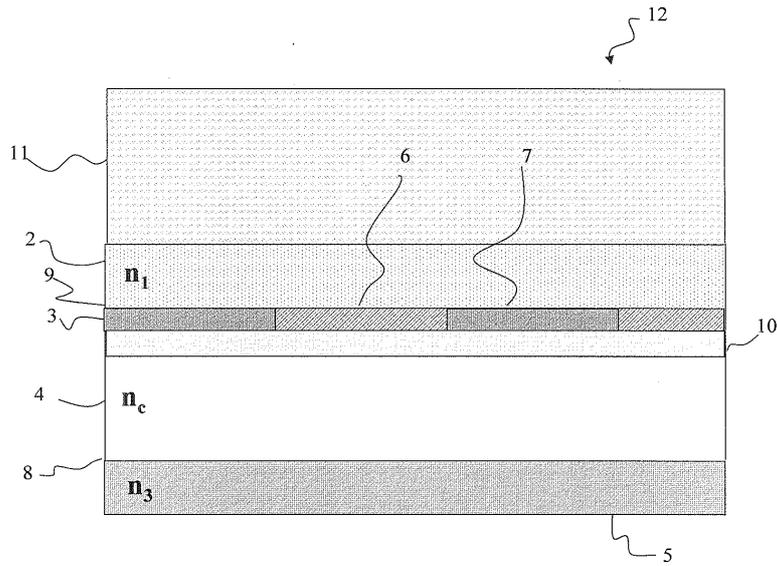
도면2b



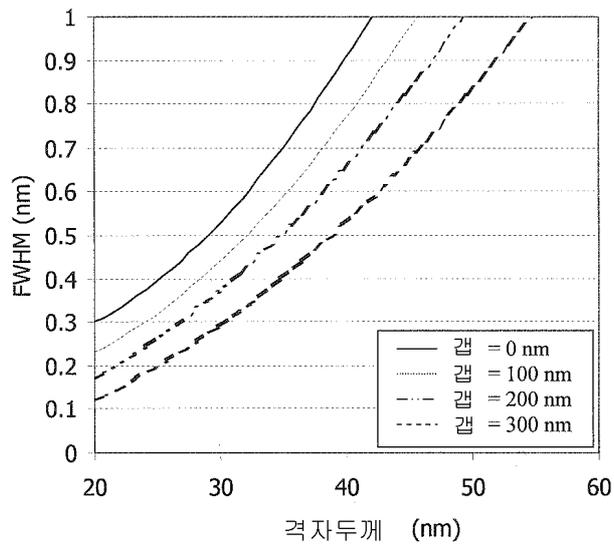
도면2c



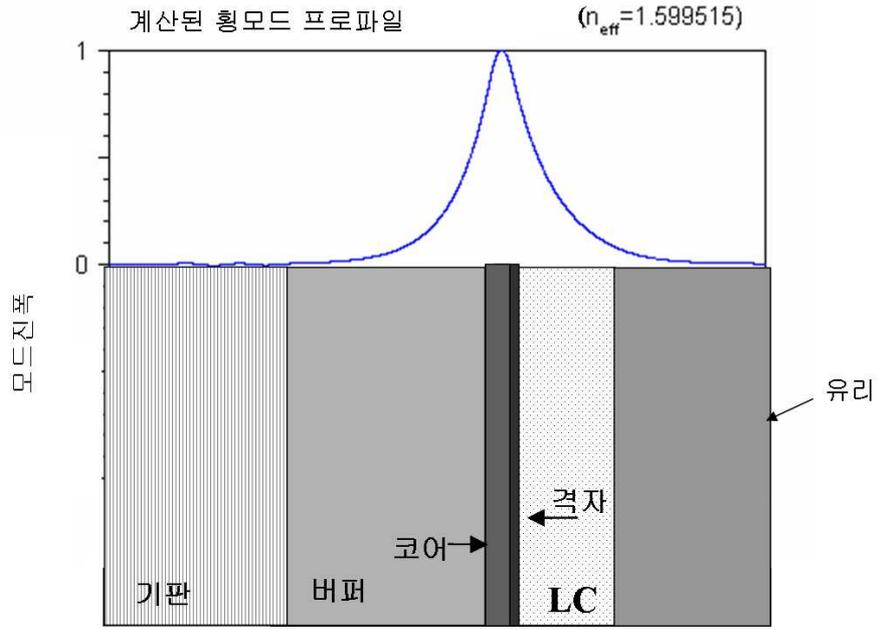
도면3



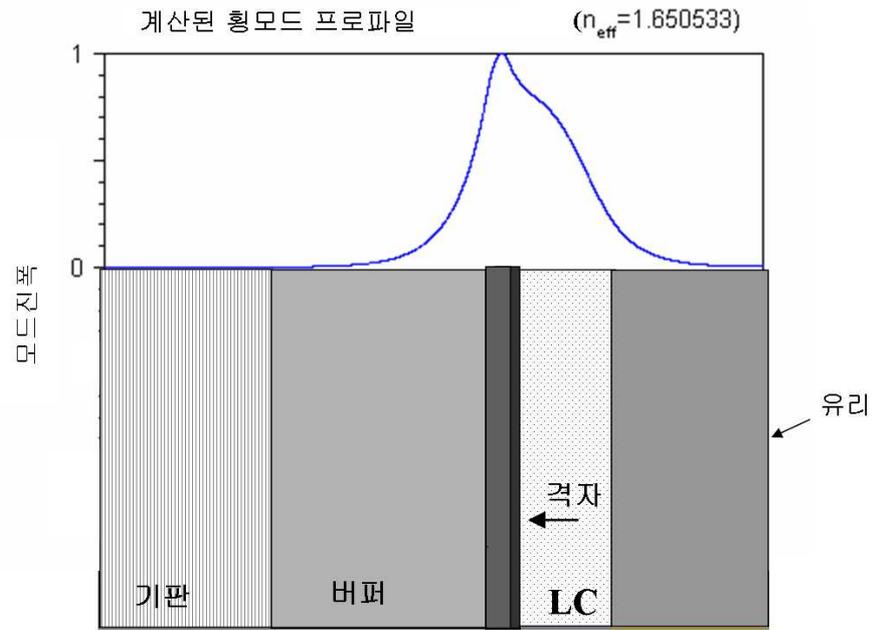
도면4



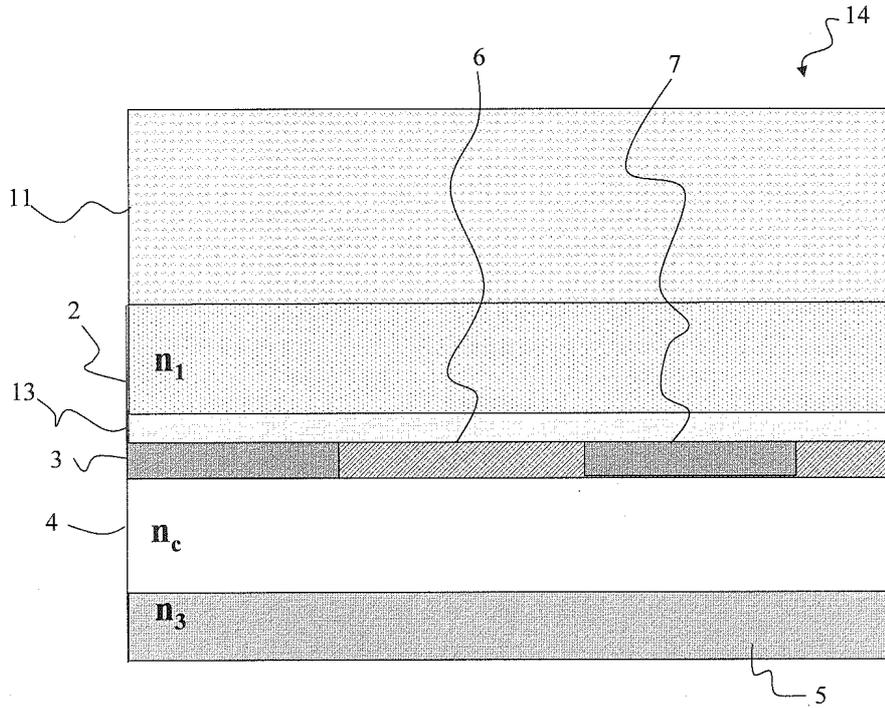
도면5a



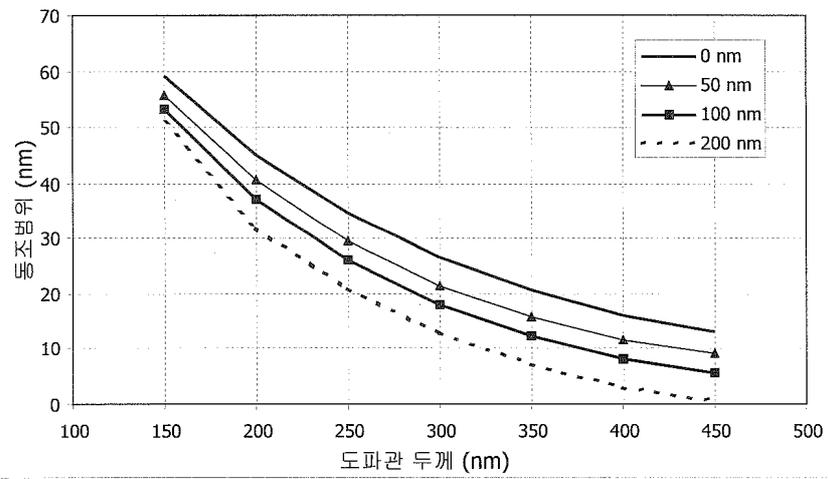
도면5b



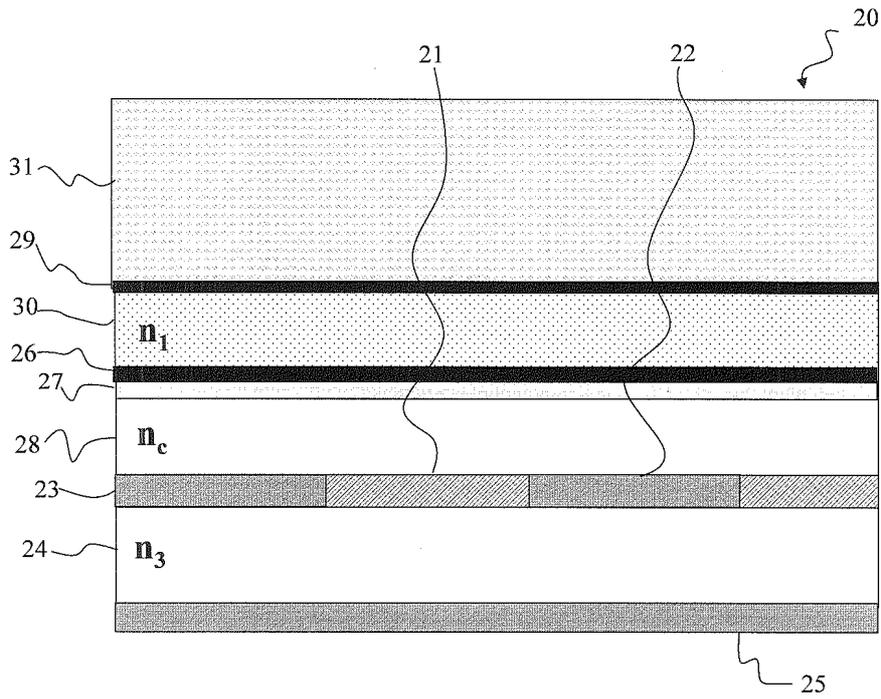
도면6



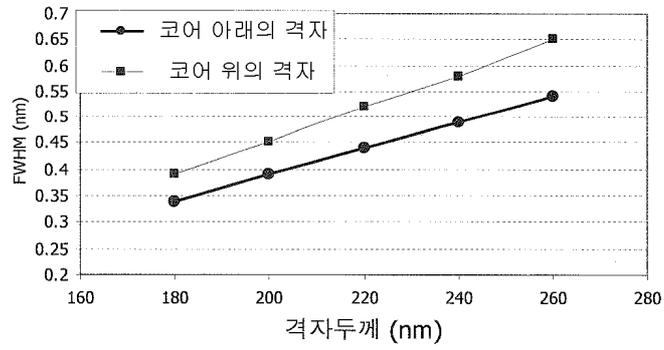
도면7



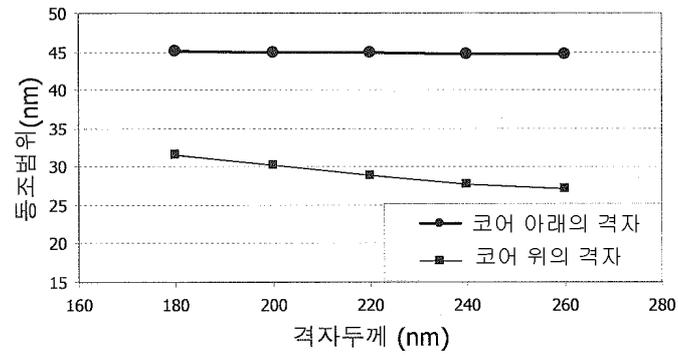
도면8



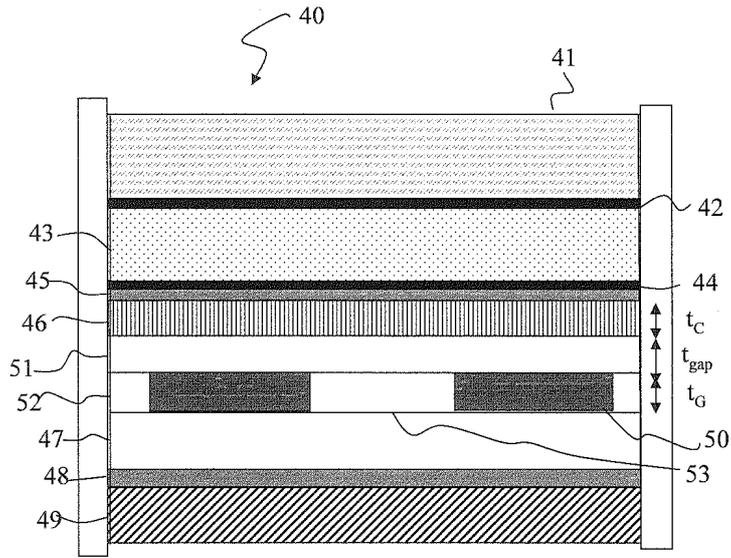
도면9a



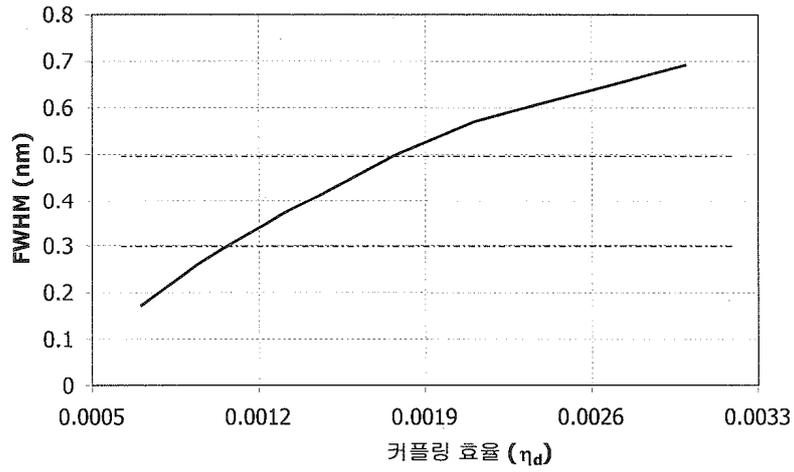
도면9b



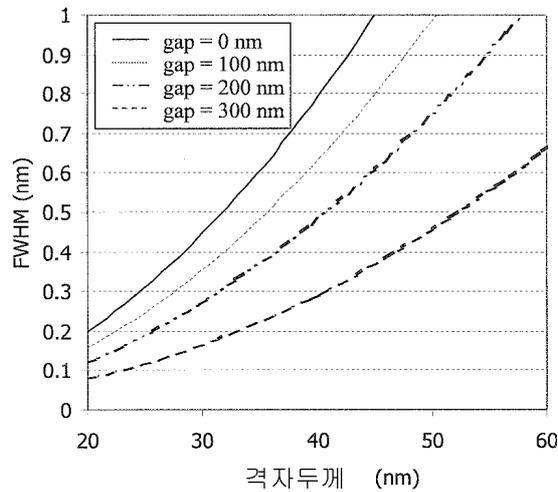
도면10



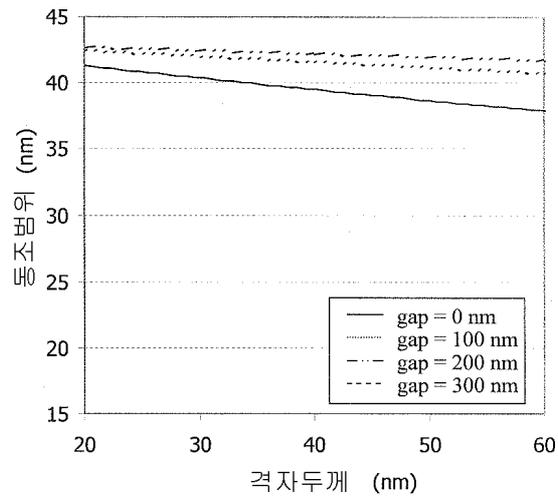
도면11



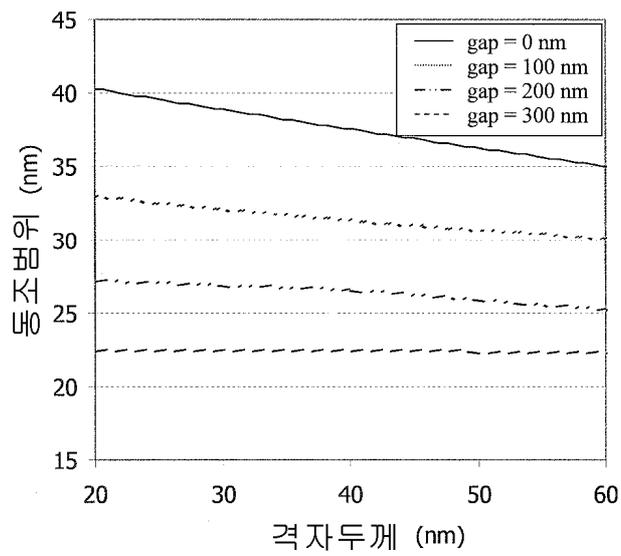
도면12a



도면12b



도면13



도면14

