



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0063700
(43) 공개일자 2009년06월18일

(51) Int. Cl.

H01S 5/30 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0131158

(22) 출원일자 2007년12월14일

심사청구일자 2007년12월14일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 공동 220번지 충남대학교

(72) 발명자

이동한

대전 유성구 가정동 236-2 과기대 교수아파트
12-402호

김남제

대전광역시 유성구 장대동 315-3 202호

(74) 대리인

권오식, 박창희, 김종관

전체 청구항 수 : 총 12 항

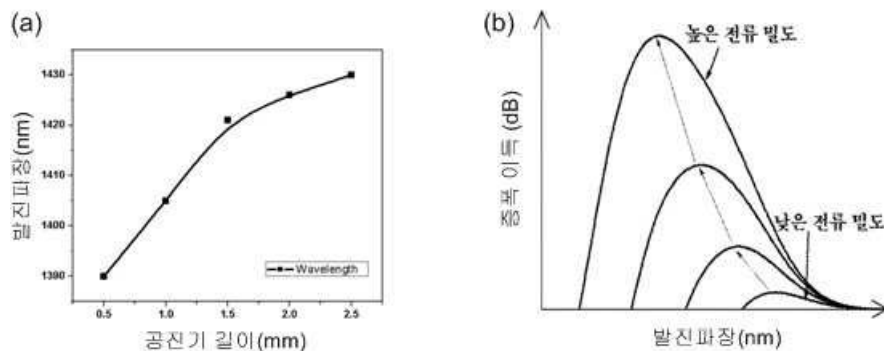
(54) 반도체 양자점 집적광소자

(57) 요약

본 발명은 반도체 집적광소자에 대한 것으로, 상세하게는 양자점이 형성된 에피택셜 웨이퍼 상에 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 양자점 반도체 광증폭기가 집적 결합되고, 활성층인 양자점군의 가우시안 상태밀도를 이용하여 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작파장 및 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작파장이 각각 독립적으로 조절되는 특징을 갖는다.

본 발명의 양자점 집적광소자는 양자점이 형성된 에피웨이퍼의 양자점 성장조건에 민감하지 않고, 재현성이 좋으며, 에피웨이퍼의 이용 효율이 높은 장점을 가지며, 단일한 에피웨이퍼의 한 평면상에 반도체 광증폭기(SOA)와 라만증폭용 반도체 레이저 다이오드(LD)가 집적되어 크기가 작고 경제적이며 안정적인 광소자 칩을 얻을 수 있으며, 집적된 광소자 칩과 광섬유와의 결합점이 대폭 줄어들어 실장이 용이하고, 광의 손실이 적은 장점이 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R0A-2004-000-10357-0

부처명 한국과학재단

연구사업명 국가지정 연구실 사업

연구과제명 비간접성 양자점 융합 광소자 개발 및 응용연구

주관기관 충남대학교

연구기간 2006년 07월 08일 ~ 2007년 09월 07일

특허청구의 범위

청구항 1

다수의 양자점을 갖는 하나 이상의 양자점 층이 형성된 반도체 기관 상에 상기 양자점 층을 활성층으로 하는 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드(Raman pump) 및 상기 양자점 층을 활성층으로 하는 양자점 반도체 광증폭기(SOA)가 직렬 또는 병렬로 결합된 양자점 집적광소자.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장은 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 활성층의 길이, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드에 인가되는 전류 밀도, 또는 이들의 조합에 의해 조절되며,

상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장은 상기 양자점 반도체 광증폭기의 활성층의 길이, 상기 양자점 반도체 광증폭기에 인가되는 전류 밀도, 또는 이들의 조합에 의해 조절되며,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장 및 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장은 각각 서로 독립적으로 조절되는 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작파장이 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장보다 짧은 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드는 상기 반도체 기관; 상기 반도체 기관 상부에 형성된 전도성인 제 1 크래드 층; 상기 제 1 크래드 층 상부에 형성되어 상기 하나 이상의 양자점 층을 포함하는 광도파로; 상기 광도파로 상부에 형성된 제 1 크래드 층과 상보적인 전도성을 갖는 제 2 크래드 층; 상기 제 2 크래드층 상부에 형성되어 금속과의 오믹 접촉(ohmic contact)을 이루는 오믹층; 및 금속층을 포함하고, 상기 광도파로 상부, 상기 광도파로 측면, 또는 상기 광도파로와 접하여 파장을 선택하는 브래그 격자가 구성되며,

상기 양자점 반도체 광 증폭기는 상기 반도체 기관; 상기 반도체 기관 상부에 형성된 전도성인 제 1 크래드 층; 상기 제 1 크래드 층 상부에 형성되어 상기 하나 이상의 양자점 층을 포함하는 광도파로; 상기 광도파로 상부에 형성된 제 1 크래드 층과 상보적인 전도성을 갖는 제 2 크래드 층; 상기 제 2 크래드층 상부에 형성되어 금속과의 오믹 접촉(ohmic contact)을 이루는 오믹층; 및 금속층을 포함하여 구성되며,

상기 직렬 또는 병렬로 결합은 상기 양자점 레이저 다이오드의 상기 광도파로와 상기 양자점 반도체 광 증폭기의 상기 광도파로의 직렬 또는 병렬 결합인 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기가 직렬로 결합되어 있는 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 양자점 레이저 다이오드의 상기 광도파로상에 형성된 브래그 격자는 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장을 반사하는 고 반사율의 브래그 격자이며, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기를 직렬 결합시키는 광도파로 상에 형성된 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드를 기준으로 상기 고 반사율의 브래그 격자가 형성된 측과 대응된 측에 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장의 빛을 반사하는 저 반사율의 브래그 격자가 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 8

제 4항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기의 입력부가 상기 광 도파로를 이용하여 병렬로 결합되어 있는 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 병렬 결합은 Y-브랜치 (Y-Branch)에 의한 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 10

제 8항에 있어서,

상기 병렬 결합은 방향성 결합기(directional coupler)에 의한 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 11

제 8항에 있어서,

상기 병렬 결합은 광 분기/결합 다중화기(add-drop multiplexer)에 의한 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

청구항 12

제 8항 내지 제 11항에서 선택된 어느 한 항에 있어서,

상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드를 기준으로 상기 병렬로 결합된 측과 대응된 측에 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장을 반사하는 고 반사율의 브래그 격자가 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 양자점 집적광소자.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

<1> 본 발명은 반도체 집적광소자에 대한 것으로, 상세하게는 특별한 에피 성장 방법을 이용하지 않고도 양자점의 상태밀도 특성을 이용하여 동작 파장이 다른 양자점 광증폭기와 양자점 레이저 다이오드를 한 평면상에 결합한, 제작이 용이하고 신뢰도가 높은 반도체 양자점 집적 광소자에 관한 것이다.

배경기술

<2> 최근 들어 사용되고 있는 광섬유증폭기보다 작고 경제적인 반도체 광증폭기 (SOA; Semiconductor Optical Amplifier, 이하 SOA)와 라만증폭용 반도체 레이저 다이오드(LD; Laser Diode, 이하 LD)를 결합한 하이브리드 광증폭기(이하 RAGCSOA)에 대한 연구가 활발하다[H. H. Lee, J. M. Oh, D. Lee, J. Han, H. S. Chung and K. Kim, "A variable-gain optical amplifier for metro WDM networks with mixed span losses: a gain-clamped semiconductor optical amplifier combined with a Raman fiber amplifier", IEEE Photon. Technol. Lett., 17, 1301 (2005)].

- <3> RAGCSOA는 신호광이 SOA로 입력되기 전에 더 짧은 파장의 LD에 의해 광섬유내에서 라만 증폭을 수행하고 증폭된 신호광이 SOA로 입력되도록 하는 구조로 라만 증폭기와 SOA의 장점을 결합하는 구조이다. 이의 바람직한 실시시스템 적용을 위하여 고출력 LD는 신호광에 라만 이득을 줄 수 있는 파장에서 비교적 높은 출력을 갖고 동작하여야 하며 SOA는 15 dB정도의 이득을 제공하여야 한다. 현재 라만-SOA 복합형 광증폭기는 라만 펌프용 LD와 SOA를 분리하여 제작한 후 각각의 소자를 광섬유 연결소자를 이용하여 연결하여 사용하기 때문에 가격이 상대적으로 높고 부피가 커지는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 제시된 방법이 두 개의 반도체 칩, SOA 칩과 LD 칩을 하나의 모듈로 실장하는 방법인데, 일 예로, SOA 칩의 경우 칩 외부에 SOA 동작에 필요한 전류를 흘려주기 위한 전극, 칩 내부의 양끝 단에는 SOA 칩에서 방출되는 빛을 광섬유에 입력하기위한 렌즈, 렌즈 사이에 위치한 아이솔레이터(isolator), 출력되는 광의 세기를 측정하기 위한 광전소자등이 구비되어야 하는 등, 그 제조가 복잡하며 렌즈에 의한 광손실 및 잡음의 증가 또한 발생하게 된다. 무엇보다도 두 개의 칩을 하나의 모듈로 실장하는 경우 더욱 정밀한 정렬이 요구되어 실장 비용이 많이 올라간다[대한민국 등록특허 제10-0395430-0000호, 라만 광섬유증폭기와 반도체 광증폭기의 결합장치]. 특히 SOA의 경우, 칩은 대량 생산이 가능하나 실장 과정이 어려워 소자경비의 대부분이 실장에 소요하는 것을 고려하면 가능한 실장 과정을 단순화하는 것이 중요하다.
- <4> 하나의 양자점 에피 웨이퍼를 이용하여 SOA와 LD를 한 평면 상에 집적할 수 있다면 칩과 광섬유와의 결합 부분이 입력단과 출력단에만 있어 기존의 SOA 실장에 비해 경비가 증가하지 않아 경제적이면서 성능이 우수한 라만 증폭과 SOA 증폭을 동시에 하면서 크기가 작고 우수한 성능의 광증폭 모듈이 가능하다.
- <5> 보통의 경우 에너지갭이 다른 두가지 이상의 소자를 한 평면상에 집적하기 위해서는 한 소자를 위한 부분을 먼저 성장시킨 후, 마스크를 이용한 에칭공정을 거쳐 부분적으로 제거한 후 조성 또는 물질이 달라지도록 에칭된 부분에 다시 성장시키는 방법과 반도체 에피면의 일부를 유전체로 막고 성장하여 열려 있는 부분의 성장 속도와 함유도를 다르게 하여 평면상에 위치에 따라 에너지갭이 다른 에피를 제작하고 이를 이용하여 각 소자를 집적하는 방법을 사용할 수 있다. 이러한 선택영역성장 방법을 이용한 반도체 집적소자의 한 단면을 도 1에 도시하였다.
- <6> 기존의 양자우물구조(Quantum well)를 이용한 소자의 경우 선택영역성장법을 이용한 집적 광소자가 일부 상용화되어 나오고 있지만 양자점(Quantum dot)을 위한 선택영역성장은 기존의 선택영역성장보다 어려운 점이 많다. 양자점 자체가 스트레인에 의해 생겨나는데 선택영역성장의 경우 유전체와 근접해 있는 부분의 성장이 빠르고 일부조성이 달라져 (예 Indium in InGaAs layer) 스트레인이 더욱 크게 걸리게 된다. 특히 도파로 소자를 만들기 위해서는 두께가 수 um 이상 성장되어야 하는데 에피 막의 두께가 두꺼워질수록 스트레인은 더 큰 문제가 된다. 또한 두께가 증가하면서 성장된 부분의 높이가 위치에 따라 크게 달라 공정을 위한 리쓰그래피(photolithography)를 정확하게 하기 어렵게 되고 성장 조건이 까다로워 재현성이 어려운 문제점 등으로 인해 상용화가 어렵다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <7> 상술한 문제점들을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 한 평면상에 에너지갭을 다르게 하기 위한 특별한 성장방법을 취하지 않고 보통 방법을 이용하여 성장한 하나의 양자점 에피웨이퍼를 이용하여 동작 파장이 다른 양자점 레이저 다이오드(LD)와 양자점 반도체 광증폭기(SOA)를 단일 웨이퍼 평면상에 집적한 양자점 집적광소자를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <8> 본 발명의 양자점 집적광소자는 다수의 양자점을 갖는 하나 이상의 양자점 층이 형성된 반도체 기판 상에 상기 양자점 층을 활성층으로 하는 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드(Raman pump) 및 상기 양자점 층을 활성층으로 하는 양자점 반도체 광증폭기(SOA)가 직렬 또는 병렬로 결합 및 집적되어 있는 특징을 갖는다.
- <9> 반도체 기판에 형성된 동일한 양자점층을 활성층으로 갖는 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드 및 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장은 각각 서로 독립적으로 조절되는 특징이 있다.
- <10> 상세하게는 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장은 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 활성층의 길이, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드에 인가되는 전류 밀도, 또는 이들의 조합에 의해 조절되며, 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장은 상기 양자점 반도체 광증폭기의 활성층의 길이, 상기 양자점

반도체 광증폭기에 인가되는 전류 밀도, 또는 이들의 조합에 의해 조절되는 특징이 있다.

- <11> 이때, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작파장이 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장보다 짧은 것이 바람직하다.
- <12> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작파장은 RAGCSOA용으로 사용할 때는 신호파장 대역보다 80 THz 내지 120 THz 짧은 것이 효과적인 라만증폭을 위해 더욱 바람직하며, 증폭 대역폭을 넓게 하는 목적으로는 양자점 반도체 광증폭기의 대역폭에 따라 30 THz 내지 80 THz 짧게 하는 것이 더욱 바람직하다.
- <13> 본 발명의 양자점 집적광소자는 동작 파장이 서로 달라야 하는 라만펌프용 레이저 다이오드와 반도체 광증폭기를 단일 웨이퍼 상에 집적하기 위해, 서로 다른 에너지 갭을 갖는 물질을 국부적으로 형성시키는 것이 아니라, 라만펌프용 레이저 다이오드 및 반도체 광증폭기의 활성층인 양자점 층의 양자점 상태밀도를 이용하여 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작파장이 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장보다 짧도록 조절하는 것이다.
- <14> 상세하게는 단일 기관상에 자연 성장된 양자점군의 상태밀도가 가우시안 함수 형태를 가지므로, 가해지는 전류가 증가함에 따라 증폭 이득이 최대가 되는 파장이 단 파장으로 점차적으로 이동하게 된다. 따라서, 활성층의 길이, 가해지는 전류의 양, 또는 이들의 조합을 이용하여 이득 파장 대역을 조절하여 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드 및 상기 양자점 반도체 광증폭기의 동작 파장을 각각 독립적으로 조절하는 것이다.
- <15> 또한, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 경우, 이득 파장대역이 비교적 넓기 때문에 브래그 격자(grating)를 이용하여 이득 파장대역에서 원하는 특정 파장을 선택하고, 상기 브래그 격자의 깊이를 조절하여 거울에서의 손실(mirror loss)을 조절하면 이득값을 조절할 수 있다.
- <16> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드는 상기 반도체 기관; 상기 반도체 기관 상부에 형성된 전도성인 제 1 크래드 층; 상기 제 1 크래드 층 상부에 형성되어 상기 하나 이상의 양자점 층을 포함하는 광도파로; 상기 광도파로 상부에 형성된 제 1 크래드 층과 상보적인 전도성을 갖는 제 2 크래드 층; 상기 제 2 크래드 층 상부에 형성되어 금속과의 오믹 접촉(ohmic contact)을 이루는 오믹층; 및 금속층을 포함하고, 상기 광도파로 상부, 상기 광도파로 측면, 또는 상기 광도파로와 접하여 파장을 선택하는 브래그 격자가 구성되며, 상기 양자점 반도체 광증폭기는 상기 반도체 기관; 상기 반도체 기관 상부에 형성된 전도성인 제 1 크래드 층; 상기 제 1 크래드 층 상부에 형성되어 상기 하나 이상의 양자점 층을 포함하는 광도파로; 상기 광도파로 상부에 형성된 제 1 크래드 층과 상보적인 전도성을 갖는 제 2 크래드 층; 상기 제 2 크래드 층 상부에 형성되어 금속과의 오믹 접촉(ohmic contact)을 이루는 오믹층; 및 금속층을 포함하여 구성되며, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광 증폭기의 상기 직렬 또는 병렬 결합은 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 상기 광도파로와 상기 양자점 반도체 광 증폭기의 상기 광도파로의 직렬 또는 병렬 결합인 특징이 있다.
- <17> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기가 직렬로 결합되어 있는 경우, 상기 양자점 레이저 다이오드의 상기 광도파로상에 형성된 브래그 격자는 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장을 반사하는 고 반사율의 브래그 격자이며, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기를 직렬 결합시키는 광도파로 상에 형성된 것이 바람직하다. 또한, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드를 기준으로 상기 고 반사율의 브래그 격자가 형성된 층과 대응된 층에 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장의 빛을 반사하는 저 반사율의 브래그 격자가 형성되어 있는 것이 바람직하다.
- <18> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기가 직렬로 결합되어 있는 경우, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기는 전기적으로 격리되어 있는 것이 바람직하다. 이때, 상기 전기적 격리는 상기 오믹층의 제거(식각에 의한 제거)에 의한 것이 바람직하다.
- <19> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기의 입력부가 상기 광 도파로를 이용하여 병렬로 결합되어 있는 경우, 상기 병렬 결합은 Y-브랜치(Y-Branch)인 특징이 있다.
- <20> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기의 입력부가 상기 광 도파로를 이용하여 병렬로 결합되어 있는 경우, 상기 병렬 결합은 방향성 결합기(directional coupler)인 특징이 있다.
- <21> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기의 입력부가 상기 광 도파로를 이용하여 병렬로 결합되어 있는 경우, 상기 병렬 결합은 광 분기/결합 다중화기(add-drop multiplexer)인 특징이 있다.
- <22> 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드와 상기 양자점 반도체 광증폭기의 입력부가 상기 광 도파로를 이용하

여 병렬로 결합되어 있는 경우, 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드를 기준으로 상기 병렬로 결합된 측과 대응된 측에 상기 라만증폭용 양자점 레이저 다이오드의 동작 파장을 반사하는 고 반사율의 브래그 격자가 형성되어 있는 것이 바람직하다.

효 과

- <23> 본 발명의 양자점 집적광소자는 양자점이 형성된 에피웨이퍼의 양자점 성장조건에 민감하지 않고, 재현성이 좋으며, 에피웨이퍼의 이용 효율이 높은 장점을 가지며, 단일 에피웨이퍼의 한 평면상에 반도체 광증폭기(SOA)와 라만증폭용 반도체 레이저 다이오드(LD)가 집적된 크기가 작고 경제적이며 안정적인 광소자칩을 얻을 수 있으며, 집적광소자칩과 광섬유와의 결합점이 대폭 줄어들어 실장이 용이하고, 광의 손실이 적은 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <24> 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 양자점 집적광소자를 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 도시된 구조는 과장되어 도시될 수 있다. 또한 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- <25> 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.
- <26> 본 발명에서는 기존의 반도체 양자우물구조(Quantum Well)를 이용한 광소자와는 달리, 단일한 웨이퍼 상에 자연 성장된 양자점 군의 상태밀도가 가우시안 함수 형태를 가지고 있기 때문에 주어진 전류 밀도가 증가함에 따라 증폭 이득이 최대가 되는 파장이 짧은 파장으로 이동한다는 양자점만의 특이한 특성을 이용하여, 단일한 웨이퍼 상에 집적된 양자점 반도체 레이저 다이오드와 양자점 반도체 광증폭기의 동작파장을 각각 서로 독립적으로 조절하는 특징을 갖는다.
- <27> 양자점 반도체 광증폭기 (Semiconductor Optical Amplifier using Quantum Dot, 이하 양자점 SOA)의 경우는 증폭하고자 하는 파장대역에 동작 파장이 맞도록 활성층의 길이, 인가 전류, 또는 이들의 조합을 이용하여 동작파장을 조절하고, 라만증폭용 양자점 반도체 레이저 다이오드(Quantum Dot Laser Diode for Raman Pumping, 이하 양자점 LD)의 경우 신호파장 대역보다 약 100 THz 정도 짧은 파장에서 발진이 되도록 활성층의 길이(공진기의 길이), 인가 전류, 또는 이들의 조합을 이용하여 동작 파장(발진 파장)을 조절하고, 브래그 격자들을 이용하여 파장을 선택하는 방법을 사용한다.
- <28> 본 발명의 양자점 집적광소자는 다수의 양자점을 갖는 하나 이상의 양자점 층이 형성된 양자점 에피웨이퍼(epi-wafer)에 집적되는데, 상기 에피웨이퍼에 형성된 양자점층이 양자점 LD 또는 양자점 SOA의 활성층으로 이용되는 것이다. 이때, 상기 양자점층이 형성된 에피웨이퍼는 리쓰그래피 공정 및 증착을 이용한 양자점 에피웨이퍼일 수 있으며, 격자 불일치층의 응력이완을 이용하여 양자점이 형성된(스트란스키-크라스타노브 성장방법) 양자점 에피웨이퍼일 수 있다. 양자점 에피웨이퍼는 통상의 제조방법을 이용하여 제조할 수 있다(대한민국 등록특허 제 10-0582510, 대한민국 등록특허 제 10-0540874, 대한민국 공개특허 제 2007-0045794등).
- <29> 도 2는 본 발명의 양자점 LD의 발진 파장 변화의 한 예를 도시한 것으로, 도 2(a)에 도시한 바와 같이 활성층 길이(공진기 길이)에 따라 동작 파장(발진 파장)이 40 nm 정도 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 도 2(b)에 도시한 바와 같이 양자점의 상태밀도가 가우시안 함수로 나타나고 이에 따라 최대 이득 파장이 전류의 증가에 따라 단 파장으로 점차적으로 이동하기 때문이다.
- <30> 기존에 많이 사용하고 있는 양자 우물구조(Quantum well)의 경우 스텝 평선(step-function)의 상태밀도를 가지고 있으므로 밴드 에지(band edge)부근에서 상태밀도와 증폭이득이 급격하게 증가하게 되고 그 이후로는 상태밀도가 같아 전류밀도 증가에 따른 발진파장의 변화가 작다. 도 2(a)의 경우 광역레이저(broad area laser)로부터 측정된 예인데 돌출부 도파관 형(ridge waveguide type)의 경우 캐리어 밀도(carrier density)가 더 크게 되어 동작 파장의 변화가 도 2(a)의 예보다 더 크게 된다. 이득 파장대역이 비교적 넓기 때문에 브래그 격자(grating)를 이용하여 원하는 파장을 선택할 수 있고 또한 격자의 깊이를 조절하여 미러 로스(mirror loss)를 조절하면 필요한 이득값이 달라지는 효과를 이용하여 원하는 파장에서 양자점 LD를 동작시킬 수 있다. 특히 여기 상태가 잘 분리된 양자점 군의 경우 여기상태의 위치가 조절된 양자점 에피웨이퍼를 이용하여 원하는 여기상태 파장에서 양자점 LD를 동작시킨다.

- <31> 도 3은 본 발명에 따른 양자점 집적광소자(100)의 일 블록도이다. 도 3의 일 예는 라만 펌프용 LD인 양자점 LD(110)와 양자점 SOA(130)가 직렬로 연결, 집적된 것이다. 라만증폭용 양자점 LD(110)의 동작 파장을 양자점 SOA(130)의 증폭대역보다 짧게 하기 위하여 활성층의 길이(공진기의 길이)가 양자점 SOA(130)보다 상대적으로 짧은 것이 바람직하며, 파장 선택을 위해 양자점 LD(110)의 동작 파장에서만 반사가 있고 신호증폭 대역에서는 반사가 거의 없는 고 반사를 브래그 격자(grating, 112)가 양자점 LD(110)와 양자점 SOA(130) 사이에 존재하는 것이 바람직하다.
- <32> 도 3과 같은 직렬형의 경우 양자점 SOA(130)와 양자점 LD(110)의 중앙에 전자 빔 리소그래피(e-beam lithography)나 홀로그래피(holography) 방법 등을 이용하여 원하는 양자점 LD(110)의 발진 파장에 맞는 주기적이고 반사율 브래그 격자(112)를 형성시킬 수 있으며, 이때, 고 반사율 브래그 격자는 큰 주기수를 갖는 것이 바람직하다.
- <33> 브래그 격자는 공정을 통하여 공간상에 주기적인 굴절률의 차이를 만들어 반사를 제공하는 것으로 원하는 파장에 맞는 주기를 갖는 경우 중심 파장에서는 높은 반사율을 가지고 다른 파장에서는 낮은 반사율을 가진다. 이때 굴절률의 차이가 큰 경우 넓은 영역에서 반사율을 갖게 되어 양자점 SOA의 동작에 영향을 주게 되므로 굴절률의 차이를 작게 하고 주기수를 늘려 원하는 파장에서 높은 반사율을 갖는 것이 바람직하며, 반사율은 주기수와 굴절률의 차이를 이용하여 조절 가능하다.
- <34> 브래그 격자의 제작은 리소그래피(lithography) 후에 선택적인 에칭을 통하여 제작하거나 광의 주기적인 흡수 손실을 이용하는 금속 격자(metal grating)등을 이용하여 제작할 수 있다. 브래그 격자는 상기 광도파로 상부, 상기 광도파로 측면, 또는 상기 광도파로와 접하여 형성될 수 있으며, 광도파로 상부에 형성되는 경우 상기 제 1 크래드 층과 상보적인 전도성을 갖는 제 2 크래드 층에 형성되는 것이 바람직하며, 상기 제 2 크래드층 중간까지 형성되어 있는 것이 더욱 바람직하다.
- <35> 상기 브래그 격자가 광도파로와 접하여 형성되는 경우, 도 5 또는 도 10과 같이 리지형의 광도파로와 접하며, 리지형 광도파로의 외부에 브래그 격자가 형성되는 것이 바람직하다(도 5의 grating 또는 도 10의 grating). 이때, 리지형 광도파로의 외부에 형성되는 브래그 격자는 손실을 주는 금속 회절격자로 구성되는 것이 바람직하다.
- <36> 한 예로 1550 nm 대역에서 동작하는 본 발명의 양자점 집적광소자의 경우 고 반사율 브래그 격자(112)의 반사 파장(양자점 LD의 동작파장)을 1460 nm에 맞추면 1550 nm에서는 매우 낮은 반사율을 갖게 되고, 주기수와 굴절률의 차이를 조절하여 1460 nm에서는 80% 이상의 반사율을 갖게 하는 것이 가능하다. 양자점 LD(110)의 다른 측면에는 광섬유(151, 152)를 통해 입력 또는 출력되는 신호대역에서는 반사가 거의 없고 양자점 LD(110) 동작 파장(발진 파장)에서는 작은 반사를 주는 반사 수단인 저 반사율 브래그 격자(111)를 사용하거나, 양자점 LD(110) 동작 파장(발진 파장)에서도 반사가 없게 하고 결합된 광섬유(151)에 반사 수단을 두어 동작 파장(발진 파장)을 선택할 수 있다.
- <37> 이 때 양자점 SOA(130)와 양자점 LD(110)의 전류밀도를 서로 다르게 독립적으로 조절할 수 있도록 양자점 SOA(130)와 양자점 LD(110)를 전기적으로 격리시키는 부도체(120)가 형성된다. 단일한 양자점 에피웨이퍼에 집적된 양자점 집적광소자(100)는 양자점 LD(110)와 양자점 SOA(130)의 각 끝단에 광섬유(151, 152)와의 결합점을 갖게 되는데, 결합점에서의 광손실을 최소화하기 위해 반사방지막(140)을 형성한다. 이 때 반사방지막은 도파로를 절단면에 경사지게 제작하고 필요하면 무반사 코팅을 추가하여 형성한다.
- <38> 도 3과 같이 직렬형으로 연결된 양자점 집적광소자(100)를 사용할 때 광신호대잡음비를 높게 하는 응용을 위해서는 양자점 LD(110)와 연결된 광섬유(151)가 입력단으로 사용되는 것이 바람직하며, 고출력, 고증폭이득이 필요한 응용에서는 양자점 SOA(130)와 연결된 광섬유(152)가 입력단으로 사용되는 것이 바람직하다.
- <39> 도 3과 같은 양자점 집적광소자(100)는 직렬형 구조이기에 양자점 LD(110)의 빛의 일부가 양자점 SOA(130) 영역으로 입력되게 되는데 이 파장에서 이득이 별로 없고 이득고정의 효과를 가질 수 있어 오히려 유리하다.(오정미, 이동한. "Effective gain clamping of semiconductor optical amplifiers by injecting broad-band self-generated amplified spontaneous emission" OFC, 2007.)
- <40> 도 4는 도 3을 기반으로 상술한 본 발명에 따른 직렬형 양자점 집적광소자의 일 구조도이며, 도 5는 도 3을 기반으로 상술한 본 발명에 따른 직렬형 양자점 집적광소자의 일 구조의 사시도이다. 도 5의 일 예에서 직렬 연결된 양자점 LD와 양자점 SOA는 불순물이 고농도로 도핑된 오믹층의 식각에 의해 전기적으로 분리된 경우이다.

- <41> 도 6은 본 발명에 따른 양자점 집적광소자(200)의 다른 블록도이다.
- <42> 도 6의 일 예는 라만 펌프인 양자점 LD(210)와 양자점 SOA(220)가 Y-브랜치 (Y-Branch)형으로 병렬 연결된 것이다. 도 3에서 직렬로 배치했던 양자점 LD(110)와 양자점 SOA(130)를 도파로를 이용하여 병렬로 배치하는 것이 구조적인 면에서 다른 점인데, 도 6과 같은 병렬형 구조도 양자점 LD(210)의 동작 파장(발진 파장)은 활성층의 길이를 짧게 하여 단파장으로 이동시키면서 병렬로 연결된 측과 대향되는 측에 양자점 LD(210)의 동작 파장에서 고 반사율을 갖는 브래그 격자(grating, 211)를 이용하여 파장을 고정하는 구조이다. 브래그 격자(211)에 의하여 장파장 영역은 매우 낮은 반사율을 갖게 되므로 양자점 LD(210)의 견지에서 매우 큰 캐비티 로스(cavity loss)를 갖는 것과 같아 발진하지 못하고 충분히 큰 반사율을 제공하는 브래그 격자(211)의 반사 파장에서 동작 하게 된다. 도 6과 같이 단일한 양자점 에피웨이퍼에 집적된 양자점 집적광소자(200)는 각 끝단에 광섬유(153, 154)와의 결합점을 갖게 되는데, 결합점에서의 광손실을 최소화하기 위해 반사방지막(140)을 형성한다. 도 6의 구조는 광섬유(153)을 통해 입력되는 신호광은 양자점 SOA(220)로 진행되고, 양자점 LD(210)로부터 발진하는 라만 증폭용 LD 광(동작 파장의 광)은 입력단(153)을 향해 신호광과 반대로 진행되도록 하는 구조이다. 이 구조가 갖는 장점은 양자점 SOA(220)와 양자점 LD(210)를 비교적 독립적으로 설계 제작할 수 있고 광로가 다르기에 서로의 빛에 의한 간섭이 크게 감소한다는 점이다. 긴 파장의 신호광이 양자점 SOA(220) 뿐만 아니라 양자점 LD(210)로도 들어 갈 수 있으나 큰 파장차이와 짧은 길이로 인해 양자점 LD(210)의 동작 파장(발진 파장)에 영향을 거의 주지 않는다. 양자점 SOA(220)와 양자점 LD(210)가 도파로를 통해 병렬로 연결되는 지점에는 거울(212)을 형성시키는 것이 바람직하며, 이 때 거울(212)은 신호 파장이 양자점 LD 영역으로 들어가는 것을 막는 역할을 하며, 구현의 한 방법으로 연결 부분의 식각 깊이를 증가시켜 제작할 수 있다.
- <43> 양자점 LD(210)와 양자점 SOA(220)가 병렬로 연결된 경우 도 7에 도시한 바와 같이 신호광에서의 반사를 극소화 하기 위해 집적광소자의 양 끝단에 7도 정도의 기울기를 주는데 도 7에 도시한 바와 같이 소자의 중간 부분에서는 절개한(cleaving) 단면에 수직으로 하여 개별 집적광소자를 나눌 때 소자의 숫자를 대폭 늘릴 수 있도록 하는 것이 바람직하다.
- <44> 도 8 내지 도 9은 양자점 LD와 양자점 SOA가 병렬 연결된 구조의 일 예이며, 도 8은 방향성 결합기(directional coupler)에 의해 병렬 연결된 구조의 예이며, 도 9는 광 분기/결합 다중화기(add-drop multiplexer)에 의해 병렬 연결된 구조의 예이다.
- <45> 상세하게는 도 8은 본 발명에 따른 양자점 집적광소자(300)의 또 다른 블록도이며, 도 6 내지 도 7과 같이 양자점 LD(310)와 양자점 SOA(320)를 도파로를 이용하여 병렬로 배치하는 것은 같으나 지수감쇠적 감쇠파(evanescent wave)가 도파로 사이의 거리와 길이에 의해 파장에 따라 다른 도파로로 이동하는 정도가 다르다는 원리를 이용하여 도 8의 점선과 같이 양자점 LD(310)의 동작 파장(발진 파장)의 빛만 출력을 위한 도파로 부분으로 보내고, 입력단(155)를 통해 입력된 신호광의 신호파장 대역은 양자점 SOA(320) 쪽으로 그냥 통과하도록 한 경우로 LD 빛의 광섬유로의 결합을 극대화할 수 있다. 따라서, 물리적으로 분리된 두 도파로가 양자점 LD(310)의 동작 파장의 지수감쇠적 감쇠파(evanescent wave)에 의해 광학적으로 결합되는 것이다.
- <46> 상세하게는 도 9는 본 발명에 따른 양자점 집적광소자(400)의 또 다른 블록도이며, 광 분기/결합 다중화기(add-drop multiplexer)의 원리를 적용한 예로 두 도파로가 어느 정도 떨어져 기본모드에서는 빛의 이동이 없다가 서로 근접한 두 도파로에 존재하는 브래그 격자(grating, 330)로 인해 양자점 LD(310)의 동작 파장(발진 파장)에 해당하는 특정 파장의 빛만 도파로 기본모드에서 여기모드로 바뀌어 옆의 도파로로 이동하기 쉽게 만드는 방법으로 특정 파장의 빛만 영향을 주고 나머지 파장 대역에는 영향을 거의 주지 않게 제작할 수 있다는 장점이 있다. 도 8 내지 도 9에 미도시 하였으나, 필요에 의해 도 6과 마찬가지로 미러가 형성될 수 있음은 물론이다.
- <47> 도 10의 일 예는 라만 펌프인 양자점 LD와 양자점 SOA가 Y-브랜치 (Y-Branch)형으로 병렬 연결된 구조의 일 사 시도이다.
- <48> 도 3 내지 도 10을 기반으로 설명한 직렬형 또는 병렬형의 양자점 집적광소자는 일반적인 광소자용 양자점 반도체 에피 웨이퍼 및 일반적인 광소자 공정 방법을 사용하여 제조 가능하다.
- <49> 통상의 광소자용 양자점 반도체 에피 웨이퍼는 하기의 표 1과 같은 구조를 갖는다. 통상적으로 InP나 GaAs와 같은 기판위에 결합(defect)의 수를 줄이기 위한 수 um 두께의 완충층(buffer layer)을 성장시키고, 광의 클래딩(cladding)으로 사용하게 될 n형-클래딩(cladding) 물질을 성장시킨다. 이후에 도파로 영역을 성장시키는데 InP의 경우 InGaAs나 InAlGaAs를 주로 사용하고, GaAs의 경우 AlGaAs 클래딩층에 GaAs 도파로를 주로 사용한다. 이 도파로 영역 사이에 InAs 혹은 InGaAs 양자점층을 여러층 성장시켜 광소자의 이득 물질로 사용하게 된다. 최

근 많이 사용되는 양자점의 경우 스트레인 에너지에 의해 자연 성장되는 방법을 주로 사용하며 광소자의 여러 특성들과 동작 파장은 이 이득 물질 층에 의해 주로 결정된다. 그 예로 양자우물을 이용한 경우나 양자점을 이용한 경우, 보통의 에피 웨이퍼 구조는 거의 동일하나 이득물질이 다른 이유로 소자의 특성은 물리적으로 매우 다르다. 도파로 영역의 성장 후에 다시 클래딩층을 성장시키며, 전기적으로 다이오드로 동작하게 하기 위해서 p형-클래딩 물질을 수 um 성장시킨다. 마지막으로 전극형성을 위해 불순물 농도가 매우 높은 오믹층을 성장시켜 광소자용 에피 웨이퍼를 제작할 수 있다.

<50> 이때, 상술한 바와 같이 본 발명의 양자점 집적 광소자는 양자점이 형성된 어떠한 광소자용 양자점 반도체 에피 웨이퍼를 이용하여도 무방하며, 불균일한 양자점 군을 갖는 에피웨이퍼를 이용하여도 무방하다.

<51> (표 1)

InP 기판의 경우		GaAs 기판의 경우	
InGaAs contant layer		GaAs contact layer	
InP p-type cladding		AlGaAs p-type cladding	
도파로 및 전기적인 배리어	반복	도파로 및 전기적인 배리어	반복
양자점 층 (InAs 혹은 InGaAs)		InAs 혹은 InGaAs 양자점 층	
InGaAsP 혹은 InAlGaAs 도파로 영역		GaAs 도파로 영역	
InP n-type cladding		AlGaAs n-type cladding	
InP buffer (n-type)		GaAs buffer (n-type)	
InP 기판 (n-type)		GaAs 기판 (n-type)	

<52> 통상의 광소자용 양자점 반도체 에피웨이퍼를 이용하여 본 발명의 집적 광소자를 제조할 경우, 도파로 영역과 소자의 활성(active) 영역은 리소그래피와 건식 및 습식 식각 방법을 이용하여 구현 가능하며 이 때 도파로 영역과 활성 영역의 식각 깊이는 목적에 따라 같이 하거나 다르게 할 수 있다. 또한 양자점 LD와 양자점 SOA를 전기적으로 독립시키기 위해서 양자점 LD와 양자점 SOA 사이의 전기전도도를 높이기 위해 해당 불순물이 다량 도핑된 반도체 영역(오믹층, 표1의 contact layer)을 제거하여 전기적으로 아이솔레이션(isolation)시키는 것이 필수적이다.

<54> 이후, 브래그 격자(grating)는 상술한 바와 같이 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)나 홀로그래피(holography), 보통의 광 리소그래피(optical lithography) 방법 등을 이용하여 격자 패턴을 만든 후에 식각 공정을 통하여 굴절률 차이를 구현하거나 금속 층(metal layer)등을 이용해 주기적인 흡수를 주는 금속 격자(metal grating)등을 구현할 수 있다. 이 방법들의 장점은 지수감쇠적 감쇠파(evanescent wave)와 브래그 격자(grating)의 커플링(coupling)을 이용하는 것으로 에피 층의 재성장 과정 없이 격자 형성 공정만을 통하여 구현할 수 있다는 점이다. 브래그 격자를 에칭 등의 방법으로 도파로의 측면 또는 상부에 구현하는 경우 상업용 광소자와 같이 클래딩 층만 재성장하여 매립형(BH) 구조로 제작하거나 리지형(ridge type) 광소자 공정과 같이 패시베이션(passivation) 및 전극 형성을 위한 메탈라이제이션(metalization) 공정을 수행하여 제조될 수 있다.

<55> 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 결합 구조와 같이 특정된 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

<56> 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<57> 도 1은 종래의 선택영역성장 방법을 이용하여 제조된 집적광소자의 일 예이며,

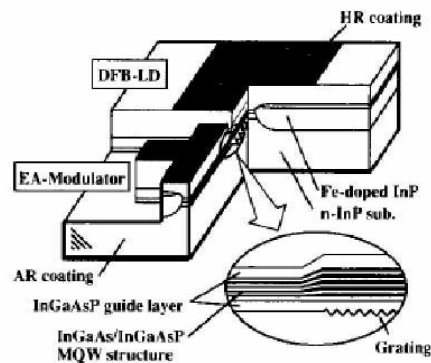
<58> 도 2는 본 발명의 양자점 LD의 발진 파장 변화의 한 예를 도시한 것이며,

<59> 도 3은 본 발명에 따른 직렬형 양자점 집적광소자의 일 블록도이며,

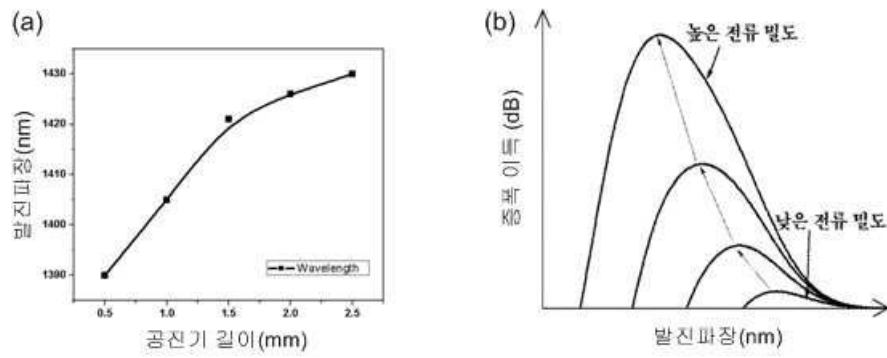
- <60> 도 4는 본 발명에 따른 직렬형 양자점 집적광소자의 일 구조도이며,
- <61> 도 5는 본 발명에 따른 직렬형 양자점 집적광소자의 일 구조의 사시도이며,
- <62> 도 6은 본 발명에 따른 병렬형 양자점 집적광소자의 일 블록도이며,
- <63> 도 7은 발명에 따른 병렬형 양자점 집적광소자의 일 구조도이며,
- <64> 도 8은 본 발명에 따른 병렬형 양자점 집적광소자의 다른 블록도이며,
- <65> 도 9는 본 발명에 따른 병렬형 양자점 집적광소자의 또 다른 블록도이며,
- <66> 도 10은 본 발명에 따른 병렬형 양자점 집적광소자의 일 구조의 사시도이다.
- <67> *도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명*
- <68> 110, 210, 310 : 라만 증폭용 양자점 레이저다이오드
- <69> 130, 220, 320 : 양자점 반도체 광증폭기
- <70> 111 : 저 반사율 브래그 격자
- <71> 112, 211, 311 : 고 반사율 브래그 격자
- <72> 330 : 선택적 광결합을 위한 브래그 격자
- <73> 140 : 반사방지막
- <74> 120 : 절연부
- <75> 151, 152, 153, 154, 155, 156 : 광섬유

도면

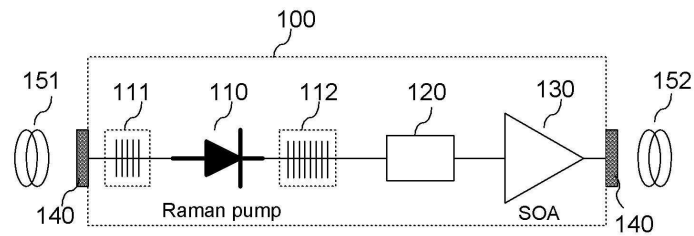
도면1



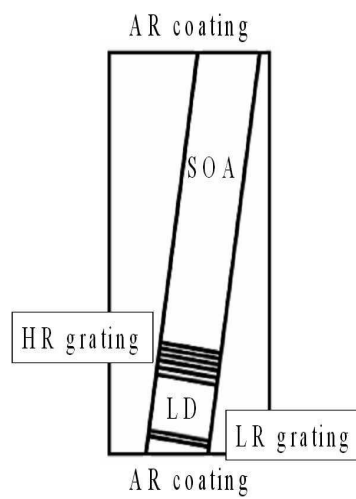
도면2



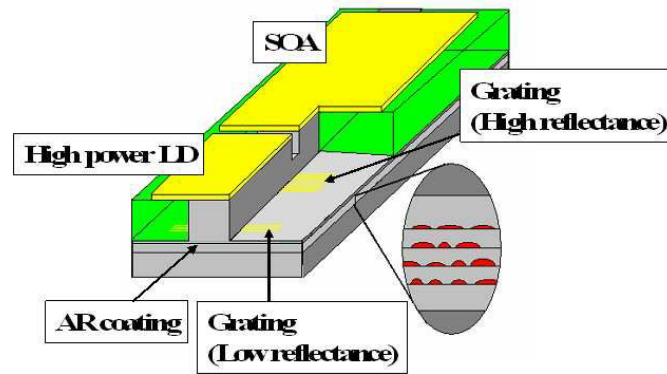
도면3



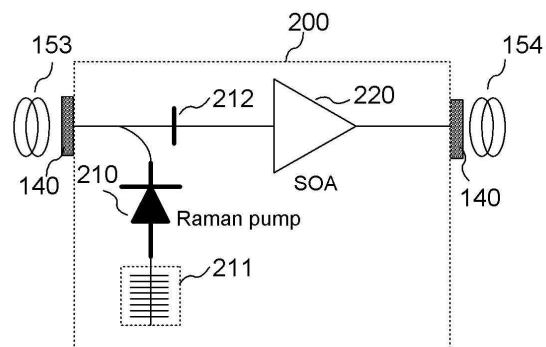
도면4



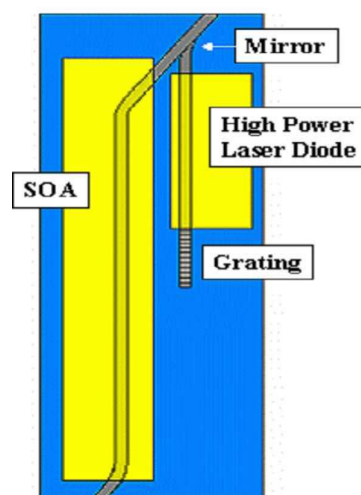
도면5



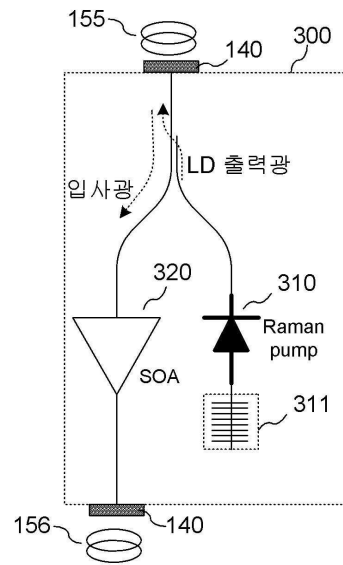
도면6



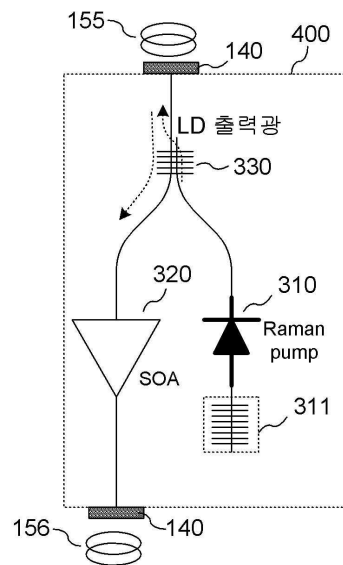
도면7



도면8



도면9



도면10

