

특허청구의 범위

청구항 1

발진시킴 레이저 광의 광 진행방향에 대하여 각각이 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간에 상기 광 진행방향을 따라 평행하게 병설된 복수의 V홈들을 갖는 홈이 형성되어 있는 반도체 기판을 구비하며;

상기 홈이 형성되어 있는 반도체 기판에는 각각의 상기 V홈의 위에 III-V족 화합물 선택성장층에 의해 복수의 양자 세선이 형성되고;

상기 복수의 양자 세선은, 상호간에 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 상기 광 진행방향을 따라 병설되어 있으며, 개별적으로는 각각 레이저의 스트라이프(stripe) 폭에 대응되고,

양자 세선을 따른 횡방향의 소수 캐리어의 확산을 억제하기 위해 그 양단이 폐쇄되어 있으며, 한정된 길이의 활성층 영역으로서 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 양자 세선을 상호간에 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 상기 광 진행방향을 따라 병설하는 대신에, 상기 복수의 양자 세선의 병설주기를 의도적으로 상기 1/4의 정수 배의 주기로부터 변위 시킴으로써, 도파로 모드를 안정화시키거나, 또는 발진 모드간의 분산 보상을 도모함으로써, 모드 로크(mode lock) 상태에서의 광대역 파장 발진 내지 단(短)펄스 발진을 가능하게 한 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 V홈은, GaAs (100) 또는 (311)A 기판 위의 [01-1]방향으로 형성된 한정된 길이의 V홈이고;

상기 양자 세선은, 상기 한정된 길이의 V홈 위에 성장시킨 GaAs 또는 InGaAs로 제조된 한정된 길이의 것이며;

상기 양자 세선을 덮도록 GaAs 또는 AlGaAs의 클래드 영역이 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 V홈은, InP(100) 또는 (311)A 기판 위의 [01-1]방향으로 형성된 한정된 길이의 V홈이고;

상기 양자 세선은, 상기 한정된 길이의 V홈 위에 성장시킨 InGaAs로 제조된 한정된 길이의 것이며;

상기 양자 세선을 덮도록 InAlAs의 클래드 영역이 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 흡이 형성되어 있는 반도체 기판은 흡이 형성되어 있는 III-V족 화합물 반도체 기판이며,

상기 양자 세션 대신에, 상기 양자 세션이 마치 분단된 것처럼, 복수개의 InGaAs 또는 InAs 양자점에 의해 상기 한정된 길이의 활성영역이 형성되고, 상기 활성영역을 덮는 GaAs 또는 AlGaAs의 클래드영역이 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 13

삭제

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 흡이 형성되어 있는 III-V족 화합물 기판은, GaAs(100) 또는 (311)A 기판이거나, InP(100) 또는 (311)A 기판인 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 특히 분포귀환(DBF) 반도체 레이저에 적용하는데 효과적인 양자 나노구조 반도체 레이저 및 각종 광 기능소자에 유용하게 응용될 수 있는 양자 나노구조 어레이의 개선에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 레이저에 있어서, 도파로의 진행방향으로 굴절률이나 이득(gain)의 주기 구조가 형성된 분포귀환 반도체 레이저는 발진파장을 정확하게 제어할 수 있다는 점, 그리고 패브리 페롯(Fabry-Perot) 레이저와 같이 벽개(cleavage) 공정이 불필요하여 집적화가 용이해진다는 점에서 앞으로의 파장 분할 멀티플렉싱(WDM) 동작에서 이용할 디바이스로서 매우 중요한 역할을 갖는다.

[0003] 이러한 분포귀환 반도체 레이저에 관하여, 우선적으로 문제가 되는 것이 그 제조공정의 간소화이다. 초기에는 기판으로부터 하부 클래드층, 하부 가이드층, 활성층 및 상부 가이드층을 제1회째의 결정성장공정에 의해 형성하고, 가이드층 위에 도파로내 파장에 대응된 그레이팅(grating)을 형성한 후에, 별도의 공정에 의해 제2회째의 결정성장을 수행하여, 주기구조를 갖는 가이드층 위에 상부 클래드층을 형성하였다(가령, 문헌1 : P.K.York, J.C. Connolly외, 「MOCVD regrowth over GaAs/AlGaAs gratings for high power long-lived InGaAs/AlGaAs lasers」, Journal of Crystal Growth 124(1992) 709-715).

[0004] 더욱이, 이러한 기본적인 공정들에 추가하여, 횡방향의 구속효과(confinement)를 얻기 위해서 스트라이프(stripe)를 광 도파로를 따라 이산화 실리콘 등을 마스크로 하여 에칭 등에 의해 형성하고, 제3회째의 성장에 의해 그 측면을 매립함과 동시에 전류 블록층을 형성하며, 이어서 선택적인 성장에서 사용된 이산화 실리콘 마스크를 제거하여 제4회째의 성장을 수행함으로써, 옴(ohmic) 접촉의 형성 및 기판의 평탄화를 수행하였다.

[0005] 이러한 여러 번에 걸친 리소그래피 및 결정성장은, 제조비용의 상승을 초래하고 산업에 대한 보급을 저해한다. 또한, 재성장 계면이 활성층의 근방에 있기 때문에, 재결합 전류 등이 증가하여 임계 전류가 증대되는 원인이 되기도 한다. 따라서, 이러한 방법은 원리적으로 한계가 있으며, 장치 그대로 계속 적용할 수 있는 방법은 되지 못한다.

[0006] 한편, 활성영역에 양자 세션이나 양자점(quantum dot)을 이용한 양자 나노구조 반도체 레이저에는, 당초 기대되어 있던 양자효과 이외에도 여러 커다란 장점이 있음이 판명되었다. 예컨대, 양자점에서는, 특히 점의 주변은 밴드 갭이 넓은 재료로 둘러싸여 있기 때문에, 디바이스 형상에 구애받지 않고 캐리어를 점 내에 가둘 수 있고, 결정성장조건을 변경시키는 것만으로도 제조비용의 증가를 초래하지 않으면서 기능의 추가를 꾀할 수도 있다. 이러한 장점은, 지금부터 본격적인 「파이버·투·홈(fiber to home)」의 시대로 접어들어 있어서, 여기서 이용되는 반도체 레이저 등을 구축하는데 매우 유리한 가능성을 나타내고 있다.

[0007] 이에 본 발명자들은 양자 세션의 제조공정 등에 관하여 지금까지와는 다른 방법을 단계적으로 모색해왔다. 일반적으로 약간 특성상의 관점에서 말하자면, 활성층으로서 양자 세션과 같이 밴드 갭이 좁은 재료를 전자의 드·브로이(de Broglie) 파장에 상당하는 수 nm의 크기의 클래드층을 형성하는 밴드 갭이 넓은 재료 내에 매립시킨 양자 나노구조는, 특정 에너지 준위에 전자계의 상태밀도가 집중되기 때문에 고성능의 광 디바이스를 실현하는데 적합하다. 따라서, 제조공정의 문제를 해소함에 있어서도, 이러한 구조의 실현도 목적으로 하는 것이 합리적이다. 즉, 양자 세션을 특정 규칙성을 가진 위치관계로 고밀도로 균일하게 집적할 때, 1회의 결정성장에 의해 이것이 실현될 수 있다면 이보다 더 나은 것은 없다 하겠으며, 이로써 파장 제어된 반도체 레이저나 초고속 고체 레이저의 자력(自勵)발진(self-starting oscillation)에 필요한 과포화 흡수체를 합리적으로 실현할 수가 있다.

[0008] 한편, 광을 반도체 도파로에 가두기 위해서는, 상하의 클래드층을 적어도 0.5 내지 1 μ m 정도의 두께로 형성할 필요가 있다. 이에 기판 위에 그레이팅을 형성하고, 그와 같은 두께의 하부 클래드층을 성장시킨 후에도, 상기 하부 클래드층의 표면에서 그레이팅을 만족할만한 형상으로 유지할 수 있다면, 클래드층의 그레이팅에 근접한 활성층을 1회의 결정성장에 의해 형성할 수 있게 되어, 분포귀환 반도체 레이저의 제작공정을 현저히 간소화할 수 있게 된다.

[0009] 이러한 관점에서, 본 발명자들은 먼저 문헌 2(Xue-Lun Wang외, 「Fabrication of highly uniform AlGaAs/GaAs quantum wire superlattices by flow rate modulation epitaxy on V-grooved substrates」, Journal of Crystal Growth 171(1997) 341-348)에서, (100)방위의 화합물 반도체기판에 (1-10)방향으로 스트라이프 패턴을 형성하고, 습식 에칭에 의해 V홈을 형성한 후, 그 위에 표면원자이동이 적은 Al이 조성에 포함된 AlGaAs, InAlAs를 성장시킴으로써, V홈 형상의 프로파일이 유지된 클래드층을 형성한 다음, 표면원자이동이 큰 Ga 혹은 In을 포함하는 GaAs, InGaAs를 공급함으로써, 초승달형상의 양자 세션을 형성하는 방법을 제안하였다. 이 때,

경사면이 서로 교차하는 (111)A면이 될 수 있다면, 화합물 반도체의 혼정(混晶)비(crystal mixing ratio)에 따라 적절한 결정성장온도를 설정함으로써, 상기 V홈의 형상을 양호하게 유지하면서 두께성장방향으로 1 μ m 이상 성장시킬 수 있게 된다.

[0010] 이는, 성장속도가 빠른 (100)면에 비하여 비교적 결정성장속도가 느린 (111)A면이 결정면의 경사각(θ)에 대하여 $\sin\theta$ 의 성장속도를 가질 때, 항상 일정한(stationary) 프로파일을 유지할 수 있게 되기 때문이다. 일반적으로 특정 면의 성장속도는 그 면의 화학적인 활성도와 주위로부터의 원료원소의 확산에 의존하며, 온도가 높을수록 결정면 방위에 따른 이방성이 소멸해 성장속도가 균일해지는 경향이 있다. 한편, 저온이 되면, (111)A면 등의 불활성적인 결정방위에서는 성장속도가 저하되기 때문에, 기판온도를 조절함으로써 일정한 주기의 반복구조를 형성할 수 있게 된다.

[0011] 그러나, 상기한 제안에서는 반복 주기, 즉 V홈의 병설간격(피치)이 마이크론 정도(the order of microns)로 제한된다. 만족할 만한 특성의 분포귀환 반도체 레이저를 제조하기 위한 목적과 관련하여 이러한 피치는 지나치게 성긴(coarse) 것이며, 서브마이크론(submicrons) 정도로 할 필요가 있다. 그러나, 기판표면에 부착된 Ga원자의 확산거리에 대하여 보다 짧은 주기를 갖는 서브마이크론의 그레이팅의 경우, 특정한 결정성장 프로파일을 유지하면서 성장시키는 것은 일반적으로 어렵고, 실제로 당초에는 무리였다.

[0012] 그 후, 본 발명자의 실험 및 연구의 결과, 어느 정도의 두께까지라면 기판 위에 성장시킨 AlGaAs층의 표면에서도 V홈의 단면형상을 양호하게 유지하는데 성공하였다.

[0013] 이는, 문헌 3(C. S. Son, T. G. Kim, X. L. Wang and M. Ogura, "Constant growth of V-groove AlGaAs/GaAs multilayers on submicron gratings for complex optical devices" J. Cryst. Growth, Vol. 221, No. 1/4, pp.201-207(Dec. 2000))을 통해 개시되어 있다.

[0014] 그리고, 가령 GaAs기판의 표면 위에 형성된 그레이팅의 프로파일이, 그 위에 형성되는 AlGaAs층의 어느 정도의 막두께까지 유지될 수 있는지는, 100nm정도의 AlGaAs층과 10nm정도의 GaAs층을 교대로 적층해보면 용이하게 판단된다. 상기 문헌(3)에서도, 표면에 0.38 μ m 피치로 V홈이 형성된 GaAs 기판 위에, 상대적으로 두꺼운 100nm정도의 AlGaAs층과, 상대적으로 얇은 10nm정도의 GaAs층을 교대로 복수층 적층한 경우가 개시되어 있으며, 그 결과, 적층 두께가 기판 표면으로부터 대략 1 μ m 정도까지이면 기판의 V홈 형상이 대체로 양호하게 유지되는 것으로 확인되었다. 상기 V홈의 바닥부분에 평행하게, 단면이 초승달형태인 GaAs 양자 세선이 형성된다. 그러나, 아직 상기 문헌의 개시지점에서의 기술로는 1 μ m를 초과하는 적층 높이에 도달하면, V홈 형상이 현저히 손상되었다.

[0015] 물론, 실제로 분포귀환 반도체 레이저 등을 제조할 때에는 클래드층으로서의 AlGaAs층은 1층이면 되고, GaAs 양자 세선도 수직 방향으로 1이상이어도 되지만, 상방 V홈 형상이 무너지지 않을수록, 하방 V홈 형상은 양호하고 그 안에 형성되는 양자 세선의 단면형상도 양호하다고 할 수 있으며, 이는, 단일층으로서 임의의 막두께로 형성되는 AlGaAs 클래드층의 상면에서도 양호한 그레이팅 형상을 유지할 수 있음을 증명하는 것으로서, 그 위에 형성되는 양자 세선도 양호한 것이 얻어지리라는 것을 의미한다. 더욱이, 양자 세선이 아닌, 연속된 면 형상의 양자 우물층으로 보이는 활성층이든지, 혹은 그 활성층의 두께나 폭이 V홈 그레이팅의 주기에 대응하여 기하학적으로 변조되거나 요철이 발생되지 않고 매우 균일하면서 평평한 면형상(시트형상)의 활성층이든지 간에, 그 아래의 그레이팅 구조가 고정밀도로 재현되어 있다면, 상기 양자 우물층 내의 굴절률 분포 등의 주기구조를 원하는 대로 높은 정밀도로 구축할 수 있으며, 마찬가지로 분포귀환형 반도체 레이저의 활성층 등으로서 매우 효과적으로 이용될 수 있다. 여기서는 설명을 간단히 하기 위해 우선은 양자 세선에 대해서만 설명한다.

[0016] 보다 높은 적층 두께까지 V홈 형상을 양호하게 유지하기 위하여, 그 후의 본 발명자의 계속된 연구와 실험을 통해 상기 문헌 3에 개시된 기술이 개선되어, 클래드층 두께를 적어도 1 μ m를 초과하도록, 바람직하게는 1.5 μ m에 육박하거나 이를 초과하도록 하여도, 그 표면에서 V홈 형상이 양호하게 유지되는 조건을 제시하는데 성공하였으며, 이는 이미 출원된 일본특허출원 제2000-404645호(일본특허공개공보 제2002-204033호)로서 개시되어 있다.

[0017] 상기 문헌에서는 기본적인 구성으로서, (100) GaAs기판 위에서 [01-1]방향으로 연장된 복수의 V홈을 GaAs기판의 표면에, 서브마이크론 오더의 피치로 각각의 측면이 (111)A면이 되도록 에칭하고, 표면산화막의 제거처리를 함으로써 V홈의 각도가 80도 이하가 되도록 한 후에, 680 $^{\circ}$ C 내지 720 $^{\circ}$ C의 범위 내에서 열 클리닝을 하여 GaAs기판 표면 위에 동일 재료인 GaAs의 버퍼층을 형성한다. 이와 같이 처리함으로써, 열 클리닝으로 인해 무더진 V홈간의 정수리부(apexes)의 무덤을 회복시킬 수 있으며, 그 위에 성장온도 670 $^{\circ}$ C 내지 685 $^{\circ}$ C의 범위 내에서 Al 조성비가 0.3 내지 0.6인 AlGaAs층이나, 또는 In 조성비가 0.05 내지 0.6인 InAlAs층을 클래드층으로서 성장시켜,

또한 GaAs 또는 InGaAs를 공급한다.

- [0018] 또한, 클래드층을 형성하는 AlGaAs층보다 Al조성비가 작은 AlGaAs 가이드층, 또는 클래드층을 형성하는 InAlAs층보다 In조성비가 작은 InAlAs 가이드층을 양자 세션 내지는 양자우물층을 형성하는 부분 위에 형성하고, 그 위에 상부 클래드층으로서 Al조성비가 0.3 내지 0.6인 AlGaAs층, 또는 In조성비가 0.05 내지 0.6인 InAlAs층을 더욱 성장시키는 것이, 본 발명을 이용한 디바이스의 제조에 있어서 실제적으로 바람직하다.
- [0019] 상기 방법에 의해, 물체의 적층구조의 높이 방향에서는 1 μ m를 충분히 초과하고 1.5 μ m에 이르는 정도까지, V홈 단면형상은 양호하게 유지시킬 수 있었다. 물론, 이러한 높이까지 V홈 형상을 유지할 수 있다는 것은 결국, 하방에서의 양자 세션의 형상 및 원래의 V홈 형상도 매우 양호하다는 것을 증명하는 것이며, 실제로 이것을 예컨대 분포귀환 반도체 레이저의 활성층 내의 매립 양자 세션으로서 이용해 보았더니, 매우 충분한 특성이 얻어졌다. 즉, 이러한 다층막의 반복 적층구조의 구축실험으로부터, 단일 클래드층으로서 AlGaAs층을 상기한 두께 범위까지 성장시켜도 그 표면에서의 그레이팅 형상은 기판 그레이팅에 정합되어 충분히 양호하게 유지될 수 있다는 것이 상기 기(既)출원된 발명을 통해 증명된 것이다. 그 위에 형성되는 양자 세션의 형상, 특성도 당연히 양호해진다. 물론, 그 상한 두께 미만의 AlGaAs 클래드층에서는 보다 좋은 결과를 기대할 수 있다.
- [0020] 이와 같이, 양자 세션 자체에 대해서는 본 발명자들의 노력에 의해 상당히 우수한 것을 제공할 수 있는 환경이 되었다. 그 제조방법도 간소하여, 1회의 선택성장예에 의해 고밀도 다중 양자 세션을 디바이스 구조의 원하는 위치에 양호한 형상, 특성으로 형성할 수 있게 되었다. 그러나, 이러한 우수한 양자 세션 구조도 그 응용에서 발전이 없다면 진실로 산업계에 공헌하였다고는 할 수 없는 것이다. 실제로 사용되는 것은 응용 디바이스이기 때문이다.
- [0021] 본 발명은 이러한 점을 감안하여 이루어진 것으로서, 특히 더욱더 수요가 기대되고 있는 양자 나노구조 반도체 레이저에 있어서, 항상 개선이 요망되고 있는 저 임계치화와 발진주파수의 안정화 중 적어도 하나, 바람직하게는 이들 모두를 보다 만족시킬 수 있는 것을 제공하고자 한다. 또한, 상기와 같은 취지에서, 양자 나노구조 반도체 레이저에 한하지 않고, 각종 변조기나 증폭기, 기타 각종 광 기능디바이스들로 발전시킬 수 있는, 주기적으로 배치된 한정된 길이의 양자 세션 내지 양자점을 이용한 양자 나노구조 어레이의 제공도 내재적인 목적으로 한다.

발명의 상세한 설명

- [0022] 본 발명에서는 상기 목적을 달성하기 위하여, 먼저 제 1 발명으로서, 발전시킬 레이저 광의 광 진행방향에 대하여 각각은 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간은 광 진행방향을 따라 평행하게 병설(並設)된 복수의 V홈을 갖는 홈이 형성되어 있는 반도체 기판을 구비하며, 상기 홈이 형성되어 있는 반도체 기판에는 각각의 V홈의 위에 III-V족 화합물 선택성장예에 의해 복수의 양자 세션이 형성되고, 이들 복수의 양자 세션은 상호간에 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 광 진행방향을 따라 병설되며, 개별적으로는 각각 레이저의 스트라이프 폭에 대응되는 한정된 길이의 활성층 영역으로서 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 양자 나노구조 반도체 레이저를 제안한다. 이로써, 저 임계치화와 발진 주파수의 안정화 중 적어도 하나, 바람직하게는 이들 모두를 종래 제공된 것에 비해 보다 만족시킬 수 있는 양자 나노구조 반도체 레이저를 제공할 수가 있다.
- [0023] 또한, 복수의 양자 세션을 서로 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 광 진행방향을 따라 병설하는 대신에 병설주기를 의도적으로 상기 1/4의 정수 배의 주기로부터 변위시킴으로써, 도파로 모드를 안정화시키거나 또는 발진 모드간의 분산 보상을 도모함으로써, 모드 로크(mode lock) 상태에서의 광대역파장 발진 내지 단(短)펄스 발진을 가능하게 할 수도 있다.
- [0024] 재질적으로 바람직한 구성도 제안할 수 있으며, 상기 V홈은 GaAs (100) 또는 (311)A 기판 위의 [01-1]방향으로 형성된 한정된 길이의 V홈이고, 양자 세션은 상기 한정된 길이의 V홈 위에 성장시킨 GaAs 또는 InGaAs로 제작된 한정된 길이의 것이며, 상기 양자 세션을 덮도록 GaAs 또는 AlGaAs의 클래드영역이 형성되어 있는 반도체 레이저로 구성하거나, 또는 V홈이 InP(100) 또는 (311)A 기판 위의 [01-1]방향으로 형성된 한정된 길이의 V홈이고, 양자 세션은 상기 한정된 길이 V홈 위에 성장시킨 InGaAs로 제작된 한정된 길이의 것이며, 상기 양자 세션을 덮도록 InAlAs의 클래드영역이 형성되어 있는 반도체 레이저로 구성할 수 있다. 이러한 반도체 레이저는 이득 결합형 또는 굴절률 결합형의 분포귀환 레이저로서 이용할 수 있다.
- [0025] 본 발명에서는 상기와 같이 각각이 독립적인 양자 세션이 아니어도, 마치 이들 양자 세션이 이웃하는 것들이, V홈간의 평평하거나 내지는 상방으로 만곡된 산 부분에서 연결되어, 결국에는 면형상(요철이 있다 하더라도)이

된 것처럼 보이는 구조도 제안한다. 이러한 경우에도 상기 재질의 예를 채용할 수 있다.

- [0026] 더욱이, 본 발명에서는 반도체 기판 위에 III-V족 화합물 선택성장예에 의해 형성되는 실효적인 레이저 발진부분인 소정 폭의 레이저 활성층은, 요철이 없는 평평한 시트형상인 반면, 발진시킬 레이저 광의 광 진행방향에 대해 직교하는 폭방향에서 상기 레이저 활성층에 연속되는 양측 부분에는, 그 발진시킬 레이저 광의 광 진행방향에 대하여 각각은 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간에 광 진행방향을 따라 상기 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 평행하게 병설된 V홈이 형성되어 있는 양자 나노구조 반도체 레이저도 제안한다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 양태로서, 발진시킬 레이저 광의 광 진행방향에 대하여 각각은 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간에 광 진행방향을 따라 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 평행하게 병설된 복수의 V홈을 갖는 홈이 형성되어 있는 III-V족 화합물 반도체 기판을 구비하며, 상기 홈이 형성되어 있는 반도체 기판에는, 상기 V홈 위에 임계막두께 이상의 InGaAs 또는 InAs를 성장시킴으로써 그 V홈의 오목한 부분에 InGaAs 또는 InAs 양자점이 각각의 오목한 부분에서도 복수개 형성되며, 이들 복수의 양자점을 레이저 활성영역으로 하고, 이것을 덮는 GaAs 또는 AlGaAs층을 클래드영역으로 한 양자 나노구조 반도체 레이저도 제안할 수 있다.
- [0028] 상기한 V홈의 구성이나, 그 양자점을 이용할 경우에도, 복수의 V홈의 병설주기를 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 하는 대신에 의도적으로 1/4의 정수 배의 주기로부터 변위시킴으로써, 도파로 모드를 안정화시키거나 또는 발진모드간의 분산보상을 도모함으로써, 모드 로크 상태에서의 광대역파장 발진 내지 단펄스 발진을 가능하게 할 수도 있다.
- [0029] 물론, 마찬가지로, 양자점을 이용할 경우에도 바람직한 기판 재료예가 있는데, 홈이 형성되어 있는 III-V족 화합물 기판은 GaAs(100) 또는 (311)A 기판이거나, InP(100) 또는 (311)A 기판이면 된다.
- [0030] 더욱이, 양자점을 제작한 구조체의 측면을 일부 식각(mesa etching)한 분포귀환 반도체 레이저도 제안할 수 있고, 양자점을 제작한 구조체의 광 진행방향을 따른 측면을 요철이 있는 측면으로 하여, 분포귀환형으로 한 반도체 레이저도 제안할 수 있다.
- [0031] 또, 양자점을 제작한 구조체에, 레이저 광이 통과하는 스트라이프 부분을 남기도록 그 측방을 따라, 광 진행방향 및 이와 직교하는 횡방향의 쌍방에 직교하는 상하방향을 따라서 상기 구조체를 관통하는 홈을 소정의 주기로 복수개 형성한 반도체 레이저도 제안한다. 여기서, 홈의 주기는 매질내 파장의 1/2로 하는 것이 대표적이다.
- [0032] 본 발명은 상기와 같은 양자 나노구조 반도체 레이저에만 한정되는 것은 아니고, 널리 각종 광 기능소자에 대한 응용을 도모할 수 있는 양자 나노구조 어레이를 제안할 수 있다. 예컨대, 통과하는 광의 광 진행방향에 대하여 각각은 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간에 광 진행방향을 따라 평행하게 병설된 복수의 V홈을 갖는 홈이 형성되어 있는 반도체 기판을 구비하며, 상기 홈이 형성되어 있는 반도체 기판에는 상기 V홈의 각각의 위에 III-V족 화합물 선택성장예에 의해 복수의 양자 세선이 형성되고, 이들 복수의 양자 세선은 상호간에 광이 통과하는 도파로층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 광 진행방향을 따라 병설되고, 개별적으로는 각각 양자 세선의 길이에 대응하는 한정된 길이의 도파로 영역으로서 형성되어 있는 양자 나노구조 어레이를 제안할 수 있다. 여기서도 복수의 양자 세선을 서로 도파로층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 광 진행방향을 따라 병설하는 대신에 의도적으로 상기 1/4의 정수 배의 주기로부터 변위시킴으로써, 도파로 모드의 안정화를 도모하거나 도파로 통과 광에 관한 분산보상을 실시할 수도 있다.
- [0033] 마찬가지로, 통과하는 광의 광 진행방향에 대하여 각각은 직교하는 방향으로 연장되고, 상호간에 광 진행방향을 따라 도파로층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 평행하게 병설된 복수의 V홈을 갖는 홈이 형성되어 있는 반도체 기판을 구비하며, 상기 홈이 형성되어 있는 반도체 기판에는, 상기 V홈의 위에 임계막두께 이상의 InGaAs 또는 InAs를 성장시킴으로써, 그 V홈의 오목한 부분에 InGaAs 또는 InAs 양자점이 각각의 오목한 부분에서도 복수개 형성되며, 이들 복수의 양자점을 도파로 영역으로 하고, 이것을 덮는 GaAs 또는 AlGaAs층을 클래드 영역으로 한 양자점 어레이도 제안할 수 있다. 그리고, 이역시 상기와 마찬가지로, 복수의 V홈의 병설주기를 도파로층의 매질내 파장의 1/4의 정수 배의 주기로 하는 대신에, 의도적으로 1/4의 정수 배의 주기로부터 변위시킴으로써, 도파로 모드의 안정화를 도모하거나 통과 광에 관한 분산 보상을 실시할 수도 있다.
- [0034] 본 발명에서는 각종의 광 집적회로를 구축하는데 있어서도 편리한 구조를 제공할 수 있으며, 예컨대 상술한 본 발명에 따른 양자 나노구조 반도체 레이저를 동일 기판 상에 복수로 병설하여 구성하고, 이들을 릿지(ridge)형 도파로에 의해 접속하여 어레이 구조화하면, 반도체 레이저 어레이로서뿐만 아니라 각 부분의 조건 내지는 릿지형 도파로 구조 내지 파라미터를 변경하는 등에 의해, 집적화된 다파장 광원으로서도 이용할 수 있다.

실시예

- [0045] 본 발명을 첨부한 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.
- [0046] 도 1에는, 본 발명에 따라 구성된 양자 나노구조 반도체 레이저의 하나의 바람직한 실시예로서의 분포귀환 반도체 레이저(10)의 구축예가 도시되어 있다. 기본적으로는 앞서 기술한 기(既)출원발명: 일본특허출원 제2000-404645호(일본특허 공개공보 제2002-204033호)에 개시되어 있는 제작 방법에 의해 전체 구조가 제작되어 있으며, 광 방출방향(I_s)에서 볼 때 다수의 V홈이 병설된 V홈 기관의 각각의 V홈 영역 내에, 대표적으로는 두께가 5-20nm이고, 레이저 광 방출방향(I_s)의 치수가 10-50nm이며, 레이저 광 방출방향(I_s)에 직교하는 방향의 치수(폭)가 0.5-2 μ m인 한정된 길이의 GaAs 또는 InGaAs 양자 세션(11)으로 이루어진 활성층이 형성되고, 이와 같이 서로 나란히 형성된 한정된 길이의 복수의 양자 세션(11)에서 그 병설 피치는, 레이저 광 방출방향(I_s)을 따라, 매질내 파장(λ)의 1/4의 정수배인 $n\lambda/4$ (n 은 정수), 예컨대 1/4 또는 3/4의 주기(0.15 ~ 0.5 μ m)로 되어 있다.
- [0047] 상기 양자 세션 배열의 주위는, 상하가 0.2 μ m 정도의 가이드층(13)과 두께 1 μ m 정도의 하부 AlGaAs 클래드층(12)과 상부 클래드층(14)에 의해 덮여 있다. 상하의 클래드층(14, 12)중 하나는 N형이고, 다른 하나는 P형이다. 또한, 그 양자 세션(11)의 단면형상은 마찬가지로 기(既)출원발명: 일본특허출원 제2000-404645호와 관련하여 기술한 바와 같이, 일반적으로는 초승달 형상이 된다. 클래드층(12, 14)은 GaAs에 의해 형성될 수도 있다.
- [0048] 제작 과정에 대해 조금 더 구체적으로 예를 들면, 상기한 바와 같이 매질내 파장 1/4의 정수배의 주기로 (100) 기관 위에 (1-10) 방향으로 한정된 길이의 V홈 그룹을 형성하고, 그 위에 예를 들어 Al조성비가 0.4 정도인 N형 AlGaAs 하부 클래드층(12)과, Al조성비가 0.2 정도인 도핑하지 않은 AlGaAs 가이드층(13)을 차례로 형성하며, 더욱이 In의 조성비가 0.1 정도인 InGaAs 양자 세션(11)을 형성한 후에, Al 조성비가 0.2 정도인 도핑하지 않은 AlGaAs 가이드층(13; 형성 후에는 양자 세션(11)을 덮는 일체의 부재와 같이 되기도 하므로, 도면에서는 상하의 가이드층을 모두 도면 부호 13으로 나타내고 있다)과, Al조성비가 0.4 정도인 P형 AlGaAs 상부 클래드층(14)을 연속적으로 성장시킨다.
- [0049] 본 발명에 따른 이러한 구조에서는, 주기적으로 배열된 양자 세션(11)의 양단이 폐쇄되어(closed) 한정된 길이로 되어 있기 때문에, 소수 캐리어의 횡방향의 확산이 억제되어, 종래에 비해 보다 낮은 임계치에 의해 레이저 발진을 실현할 수 있게 된다. 실제로, 본 발명자들의 실험을 통해 그 실증을 얻었다.
- [0050] 또, 기존의 제작 기술에서는, GaAs(100) 기관에 한하지 않고, GaAs(311) A 기관을 이용하여도 그 [01-1] 방향으로 V홈을 형성하는 실례가 있으므로, GaAs 또는 InGaAs 양자 세션(11)을 이러한 기관 위에도 형성할 수 있고, 또 InP(100) 또는 (311) A 기관을 이용하여 그 [01-1] 방향으로 한정된 길이의 InGaAs 양자 세션(11)을 형성할 수도 있으며, 이 또한 본 발명에 적용이 가능하다. 특히 InP 기관을 이용하였을 경우에는, 그 기관은 발진파장에 투과적이기 때문에, V홈 기관 위의 하부 클래드층을 얇게 할 수 있어, 1차 그레이팅 등, 주기가 짧은 V홈 어레이의 주기구조를 쉽게 유지할 수 있게 된다.
- [0051] 이하에서는, 도 1(B) 이후의 각 도면을 통해 본 발명의 다른 실시형태에 대해 설명하겠으며, 상기 도 1(B) 이후의 각 도면에서, 도 1(A)에서 이용된 것과 동일한 부호는 동일 내지 유사한 구성요소를 나타내는 것으로 하고, 그에 대한 설명은 생략하는 경우도 있다.
- [0052] 우선, 앞서 간략하게 설명한 바와 같이, V홈 그레이팅 위에, 각각 기하학적으로 서로 완전히 독립된 양자 세션(11)으로서 형성되어 있지 않아도, 가령 도 1(B)에 도시된 본 발명의 반도체 레이저(10A)와 같은 구조도 가능하다. 즉, 도 1(A)의 양자 세션에 대응되는 부분(11)의 광 방출방향 양측이, 인접하는 V홈 사이의 산 부분(평평하거나 상부로 만곡된)에서 얇은 활성층 부분(11a)을 통해 이웃하는 양자 세션 부분(11)과 연결되어 있는 것 같은, 연속된 면형상의 양자 우물층으로 보이는 활성층이라 하더라도, 상기 도 1(B)에 도시한 바와 같이, 상기 활성층(15)의 두께가 V홈 그레이팅의 주기, 즉 매질내 파장(λ)의 1/4의 정수배인 $n\lambda/4$ (n 은 정수), 예컨대 1/4 또는 3/4의 주기에 대응하여 변조하면, 도 1의 (A)에 도시된 반도체 레이저(10)와 마찬가지로의 기능, 효과를 나타낼 수 있으며, 이 점 또한 본 발명자에 의해 실험을 통해 확인되었다. 도면에서, 양자 세션 대응 부분(11)은 상대적으로 두껍고, V홈간의 산 부분(11a)은 얇아져 있다. 이러한 구조는 하부 클래드층(12) 내지는 하부 가이드층(13)에서 V홈의 형상이 무너지기 쉬운 경우에 특히 효과적인 구조이다. 또한, 이러한 연속활성층 구조라도, 레이저 발진에 관하여 실질적인 캐리어 구속작용을 지배적으로 미치는 영역이 오로지 상대적으로 두꺼운 활성층 부분(11)이라면, 역시 양자 세션의 병설 구조로 볼 수도 있다.

- [0053] 더욱이, 광 방출방향(I_s)에 직교하는 폭방향의 치수가, V홈 그레이팅의 주기에 호응하면서 광 방출방향(I_s)을 따라 변조하여도, 역시 마찬가지로 기능을 얻을 수 있어 저임계치로 발진을 얻을 수 있다.
- [0054] 상기 폭방향의 치수를 광 방출방향(I_s)을 따라 변조할 경우, 활성층 그 자체를 기하학적으로 굳이 변조시키지 않아도 됨을 알 수 있었다. 이에 관해 도 2(A), 2(B)에 따라 설명하면, 도 2(A)에 도시된 본 발명의 반도체 레이저(10B)는 실질적인 발진 부분이며 소정 폭(w_{15})을 갖는 활성층(15) 부분은 요철없이 균일하고 평평한 면형상(시트형상)의 활성층(15)으로 되어 있다. 그러나, 그 양측은, 이 경우에는 메사(mesa)형상과 유사한 산기슭 부분(완만하게 경사진 부분)으로 되어 있고, 여기에는 광 방출방향(I_s)을 따라 매질내 파장(λ)의 1/4의 정수 n 배인 $n\lambda/4$, 예컨대 1/4 또는 3/4 주기의 V홈 병설구조, 즉 V홈 그레이팅이 실시되어 있다. 활성층(15)과 그 양측의 부분(15a)만 발체하여 도 2(B)에 도시한 바와 같이, 레이저 발진에 기여하는 실질적인 활성층(15) 부분은 평평하지만, 폭(w_{15})의 상기 활성층(15)에 연속되는 양측의 완만하게 경사진 부분(15a)에는, V홈에 대응된 홈(15b)이 형성되는 형태로 되어 있는 것이다. 이러한 활성층 양측부에서 기하학적 변조 V홈 구조를 형성하여도, 그 양자우물층 내의 굴절률 분포 등의 주기구조를 정밀하게 원하는 대로 구축할 수 있으며, 마찬가지로 저임계치의 분포 귀환형 반도체 레이저를 얻을 수 있음을 알았다.
- [0055] 본 발명에서는 양자점도 이용할 수 있다. 즉, 도 1(A)에 도시된 반도체 레이저(10)에서도, 단면이 초승달 형상으로 도시된 양자 세션(11)은 제작 조건 등에 따라서는, 경우에 따라 마치 그 양자 세션이 잘게 분단된 것과 같은 형태로, 각 V홈 내에 복수의 양자점을 형성할 수도 있으며, 이러한 경우에도 물론 마찬가지로의 효과를 기대할 수 있다. 도 3은 이러한 경우의 개념도이며, 도 1(A)에 도시한 반도체 레이저(10)에서는 폭방향으로 연속된 물성영역으로서의 양자 세션(11)이었던 것이, 도 3에 도시된 반도체 레이저(10C)에서는 마치 그 폭방향으로 분단된 형태로 되어, 각 V홈 내에서 양자점(11')의 집합체로 되어 있다. 이러한 구조에서도, 도 1(A)에 도시한 본 발명의 반도체 레이저와 마찬가지로의 기능, 효과를 거둘 수 있다.
- [0056] 도 4는 본 발명의 다른 실시형태에 의한 양자 나노구조 반도체 레이저(20)를 도시하고 있으며, 여기에서는 역시 양자점(21)이 이용되고 있다. 앞서 설명한 V홈 기판의 위에 InGaAs의 In 조성이나 성장막두께를 증가시키고, 성장 온도를 낮게 설정하면, InGaAs 또는 InAs계 다중 양자점(21)을 V홈 위에 선택적으로 형성할 수 있다. V홈의 병설간격, 즉 밀도로 늘어난 양자점(21) 그룹의 광 진행방향을 따른 병설 간격은 앞에서 거론한 양자 세션을 이용하는 경우와 마찬가지로, 레이저 활성층의 매질내 파장의 1/4의 정수배 $n\lambda/4$ 로 한다. 단, 각각의 양자점(21)의 형상 자체는 도면에 개략적으로 도시한 바와 같이, 흩어져 있는 경우도 많다. 그리고, 이는 후술하는 바와 같이 오히려 중요하게 작용하는 경우도 있다.
- [0057] 그럼에도 불구하고, 앞서 기술한 양자 세션(11)의 경우도 그러하지만, 한정된 길이의 V홈은, 반드시 기판에 새겨진 홈형상이 선택성장에 의해 유지되는 것만은 아니며, 종래의 프로세스와 같이, 하부 클래드층을 성장시키고 가이드층 등을 형성한 후에, 성장 로(爐)로부터 일단 추출하여 한정된 길이의 V홈을 형성한 후 양자 세션이나 양자점을 형성하고, 이어서 상부 가이드층, 상부 클래드층의 형성 및 복수 회에 걸친 성장을 실시한 결과로 얻어지는 형상의 것도 사용할 수 있다. 두껍게 성장시킨 후에 형상을 유지하려면, 그레이팅의 주기를 길게 할 필요가 있기 때문에, 주기 0.2 μm 이하의 그레이팅의 경우, 형상을 보존하며 성장시키기가 어려워지지만, 본 발명에 의해 양단이 막힌 한정된 길이의 양자 세션에 의한 캐리어 산일(散逸, dissipation)을 방지하는 효과나, 필요한 곳에만 양자점을 형성함으로써, 광의 배 부분(anti-node of light)에만 활성층을 삽입하는 등의 기능이 유효하게 작용하여, 반드시 기판의 V홈 형상의 우수성에 구애받지 않아도 되는 경우도 있다.
- [0058] 그런데, 이러한 양자점(21)에서는 활성층의 전체 둘레가 큰 밴드 갭 에너지의 클래드층에 의해 에워싸인 구조가 되므로, 자동적으로 매립 구조가 실현되어 있는 것과 마찬가지로 된다. 따라서, 도 4에서 두꺼운 화살표(Cj)로 개략적으로 도시한 바와 같이, 전류 주입에 기초한 전자-정공쌍은 양자점 내에 정류(停留)되며, 가느다란 화살표(Ct, Ct)로 개략적으로 도시한 폭방향을 따른 등가적인 횡방향의 캐리어 확산 길이가 짧아지기 때문에, 주입된 캐리어의 산일(dissipation)을 방지할 수 있다. 이러한 구속 효과 자체에 대한 고찰은, 문헌 4 : J.K. Kim, T.A.Strand, R.L.Naone, and L.A. Coldren, "Design Parameters for Lateral Carrier Confinement in Quantum Dot Lasers", Appl. Phys. Letters. 74(19)(May 10, 1999) 2752-2754에서 확인할 수 있다. 따라서 이러한 효과를 이용하면, 양자점 그룹을 형성한 구조체의 스트라이프 부분을 메사-에칭(mesa-etching)하여 메사구조(22)로 하는 것만으로도, 매립구조를 필요로 하지 않으면서 간소한 제조 방법에 의해, 임계치가 낮고 발진 주파수가 안정된 분포귀환형 양자점 레이저를 실현할 수가 있다.
- [0059] 재질에 대해서도, 본 발명에 의한 구조를 실현할 수 있으면 제한은 없지만, V홈 위에 임계 막두께 이상의 InGaAs 또는 InAs를 성장시킴으로써 형성되는 InGaAs 또는 InAs 양자점이 현실적이며, V홈 기판은 GaAs(100) 또

는 (311) A 기판이거나, InP(100) 또는 (311) A 기판이 바람직하다. 본 발명의 다른 실시형태에서도 이 점은 마찬가지이다.

- [0060] 도 5는 본 발명에 따른 반도체 레이저의 바람직한 다른 실시형태(30)를 나타낸 것인데, 지금까지의 보고에서는, 이른바 SK 모드에 의한 결정 성장 방법을 이용함으로써, 평면형상으로 양자점을 매립한 양자점 레이저가 실현되어 있다(예컨대, 문헌 5: Z.Zou, D.L.Huffaker, S.Csutak, and D.G.Deppe, "Ground state lasing from a quantum-dot oxide-confined vertical-cavity surface-emitting laser", Appl. Phys.Letters 75(1). July 5 1999, p.22).
- [0061] 한편, 매립 재성장 프로세스를 생략하여, 표면으로부터 도파로의 측면에 요철의 금속 그레이팅 또는 포커스 이온 빔에 의한 선택 이온 주입을 실시함으로써, DFB 레이저를 제작하는 연구도 이루어졌다(예컨대, 문헌 6: H.Konig, S.Rennon, J.P.Reithmaier, and A.Forchel, "1.55 μ m single mode lasers with complex coupled distributed feedback gratings fabricated by focused ion beam implantation", Appl. Phys. Letters 75(11), September 1999 p.1491).
- [0062] 그러나, 양자 우물을 활성층으로 이용한 경우, 가공 계면에서의 캐리어 표면 재결합을 피하기 위하여, 도파로의 측면을 가공층을 얇게 설정할 필요가 있고, 그 때문에 파장 안정화가 충분히 얻어지지 않는다는 문제가 있다.
- [0063] 그런데, 본 발명에 따르면, 예컨대 상기 도 3을 통해 설명한 바와 같이, 본 발명에서 정의하는 조건의 V홈 기판 위에 하부 클래드층을 형성하고, 가이드층 내의 활성층에 매질내 파장의 1/4의 정수배가 되는 소정 주기로 배치된 양자점 그룹을 포함시켜 상부 클래드층을 형성함으로써, 소수 캐리어의 확산속도를 억제할 수 있게 될 뿐만 아니라, 이와는 또 다른 구조로서, 도 5의 양자 나노 구조 반도체 레이저(30)에 나타낸 바와 같이, V홈 기판(32) 위에 하부 클래드층(33)을 형성하고, 상하의 가이드층(34)내의 활성층에 양자점 그룹(31)을 형성하여 상부 클래드층(35)을 형성하는 동시에, 양자점(31)을 포함하는 구조체의 측면을 광 진행방향을 따라, 폭방향으로는 양자점을 관통하여 깊이 들어가도록 에칭한 측면 요철 구조를 형성하면, 양자점 그 자체가 무작위하게 위치하고 있는 경우에도, DFB형의 광 공진기를 구성할 수 있게 된다. 즉, 재성장 프로세스가 불필요하며, 임계치가 낮고 파장 안정성이 충분한 DFB 레이저를 실현할 수 있게 된다.
- [0064] 또, 도 5에서는, 대략 레이저용 전극(37)이 형성되어 있는 영역에 상당하는 반도체 레이저(30) 부분과 일련하여, 변조기용 전극(38)이 형성되어 있는 영역에 상당하는 변조기부(36)가 일체로 형성되어 있어, 하나의 광 집적회로(OEIC;39)를 구성하고 있다. 상기 변조기부(36) 구조 자체는 본 발명이 특별히 한정하는 것은 아니며, 임의의 적당한 공지된 구조이어도 된다.
- [0065] 앞서 언급한 바와 같이, 이른바 Fiber to home의 시대에 접어들면서, 광섬유 네트워크 상의 광신호를 자유롭게 제어하려는 필요성이 높아짐에 따라, 예컨대 주파수가 다른 반도체 레이저 어레이를 제작하여, 이들의 방출광을 자유롭게 스위칭, 교환하고자 하는 필요성 등이 대두되고 있다. 도 6은 본 발명에 따라 구성된, 2차원 포토닉스(photonics) 결정을 이용한 광 집적회로(49)의 모식도이다. 반도체 기판(42) 위에 하부 클래드층(43)을 형성하고, 그 위에 본 발명에 따라 상하의 가이드층에 끼인 소정의 주기, 즉 매질내 파장의 1/4의 정수배의 주기로 배치된 다수의 양자점그룹을 바람직하게는 높이 방향으로 복수층 적층하고, 상부 클래드층(45a), 표면층(45b)을 형성하며, 레이저 영역부분(40)에는 레이저용 전극(47)을 형성한다.
- [0066] 그런데, 상기 도 6에 도시한 실시형태에서 특징적인 것은, 적층 양자점층을 형성한 구조체에 대하여, 레이저 광이 통과하는 스트라이프 부분이 남겨지도록 그 측방을 따라, 광 진행방향 및 이와 직교하는 횡방향으로 직교하는 상하방향으로 관통된 홀(46)을 소정의 주기로 형성한 것이다. 주기는 가령, 매질내 파장의 1/2로 한다.
- [0067] 이와 같이 하면, 광 진행방향을 따라 뺀 홀의 라인(列)에서 좌우가 폐쇄된 스트라이프 부분이 도파로가 되고, 따라서 홀의 간격을 설계함으로써, 파장선택성을 부여하거나 특정한 도파로로 신호를 유도할 수 있게 된다.
- [0068] 즉, 레이저, 변조기, 분기, 필터 등이 2차원 포토닉스 광도파로에 의해 동일 기판 상에 접속되어 광통신에 필요한 OEIC(49)를 실현할 수 있다. 도시된 경우에는 변조용 전극(48)이 설치된 변조기가 일체화되어 있다.
- [0069] 이러한 실시형태에서 확인되는 바와 같이, 홀과 전극의 배치만으로 능동적인 광모듈을 실현할 수 있다는 것은 실용적으로도 가치가 높다. 또, 양자점을 이용하였을 경우, 표면 재결합이 크게 문제되지 않기 때문에, 추가 가공만으로 이차원적인 광회로를 형성할 수 있게 된다. 또, 홀(41)은 문자 그대로 공기로 채워진 빈 구멍이어도 되고, 적당한 굴절률 매체로 채워져도 된다. 홀들은 광회로의 관점에서 빈 구멍으로서 취급할 수 있으면 무방하다.

- [0070] 도 7은 본 발명을 이용한 다른 모놀리식(monolithic) OEIC(50)를 나타낸다. 적당한 기판 위에 공지된 기존의 기술에 따라 구축할 수 있는 릿지(ridge)형 광도파로(51)가 있고, 각각 광도파로가 되는 분기선로가 적절히 형성되어 있다. 각 분기 선로에는 도 1 내지 도 3을 통해 이미 설명한 본 발명의 반도체 레이저를 구축해 둔다. 일부는 설명을 위해 확대하여 개략적으로 도시하였는데, 앞서 설명한 양자 세션(11)이나 양자점(11'), 활성층(15) 등을 당해 반도체 레이저영역(10; 또는 10A, 10B, 10C)에 형성한다. 이로써, 이러한 OEIC(50)는 반도체 레이저 어레이가 되고, 또, 매질내 파장에 대해, 각각의 배치에 관한 주기 조건을 바꾸거나 릿지형 도파로의 구조나 파라미터를 바꾸는 등의 방법에 의해, 집적화된 다파장 광원으로써 이용할 수 있다. 실제로는, 본 발명에 따른 조건으로 V홈 그레이팅 구조의 적절한 위치에 반도체 레이저 부분이 미리 형성된 후에 릿지형 광도파로를 형성하면 된다. 본 발명에 따르면, 이러한 구조를 1회의 선택성장에 의해 V홈 위에 형성할 수 있다는 간이성, 편리성이 얻어진다.
- [0071] 물론, 도 3 내지 도 6에 따라 설명한, 본 발명의 반도체 레이저에서 이용되는 활성층 영역의 구성을 각 도파로에 설치하는 것도 불가능한 것은 아니다.
- [0072] 본 발명은, 한정된 길이의 양자 세션 내지 양자점의 배열에 관해 지금까지 기술한 양자 나노구조 반도체 레이저에서와 같은 배치 관계를 감안하여, 반도체 레이저에만 그치지 않고, 각종 「광 기능소자」에 응용할 수 있는 양자 나노구조 어레이도 제공할 수 있다. 즉, 광이 통과하는 도파로 영역에, 상기 도파로의 폭에 한정된 길이의 양자 세션을 담거나 양자점을 복수 형성하면서, 광 진행방향으로는 도파로 매질내 파장의 1/4의 정수배의 주기로 이들을 병렬한 구조의 한정된 길이의 양자 세션 어레이 내지 양자점 어레이로서 본 발명을 정의하여도, 이는 유용한 응용을 도모할 수 있는 것이다. 제작 재료예와 방법은 지금까지 본 발명의 양자 나노구조 반도체 레이저에 관해 설명한 것과 동일, 유사할 수 있다.
- [0073] 본 발명에 의한 양자 나노구조 어레이, 즉, 본 발명에 따른 주기구조를 갖는 한정된 길이의 양자 세션 내지 양자점의 배치구성에 따르면, 지금까지 설명한 바와 같이, 반도체 레이저에서는 상태밀도가 이산(離散)적이 되고 이득대역폭이 좁아지기 때문에, 주입 캐리어가 특정 발진 파장에 대응된 양자 레벨에 효율적으로 집중되며, 이 집중이 저임계치를 야기하게 되는데, 가령, 광 기능소자의 하나로서 변조기의 활성층에 직접 적용하면, 상태밀도가 이산적이 된다는 것은 이득이 로렌츠형(Lorentz type)의 샤프한 파장 특성을 가지게 된다는 것을 의미하며, 그 피크 위치의 변화가 억제되게 된다.
- [0074] 굴절률의 파장 특성은 광 이득의 미분이 되므로, 그 결과, 발진하는 이득의 중앙 부근에서는 체로가 되어, 캐리어 농도에 대해 굴절률이 변화하지 않게 된다. 일반적으로 굴절률의 캐리어 농도 변화를, 이득의 캐리어 농도 변화 알파 파라미터라고 하는데, 본 발명에 따라 배치된 한정된 길이의 양자 세션 어레이나 양자점 어레이에 의한 활성층에서는 상기 파라미터를 매우 작게 할 수 있기 때문에, 고속 변조가 가능해진다.
- [0075] 외부 변조에 의한 경우에도, 본 발명에 따른 양자 나노구조 어레이를 이용함으로써, 흡수 특성이 보다 급준(急峻)(steep)해지면, 바이어스의 변화에 따른 매 파장당 시간의 지연이 보다 적어지기 때문에, 흡수 특성의 양측 슬로프(slope)의 차이를 이용하여 전파속도가 느린 청색 성분을 먼저 송출하는 등의 조작을 효율적으로 실행할 수 있게 된다.
- [0076] 마찬가지로, 본 발명의 양자 나노구조 어레이를 광 증폭기의 활성층에 적용하면, 실제로는 상기 실시형태에서도 4에 개략적으로 도시한 부분에서 알 수 있듯이, 양자점의 크기에 편차가 예상되기 때문에, 이득이 존재하는 범위가 넓어지고(예컨대 100nm 정도), 그 결과, 광대역에 이르는 채널을 일괄하여 증폭시킬 수도 있게 된다.
- [0077] 모드 로크 레이저(mode lock laser)나 마하젠더(Mach-Zender)형 광 스위치에서는 과포화 흡수체를 이용하는데, 그 응답 속도는 광 통신대에 필요한 대역과 정확히 매치된다. 즉, 광통신에서는 10GHz 에서 100GHz 정도의 주파수 대역의 펄스 전송을 이용하며, 펄스폭으로 환산하면 10ps 에서 100ps가 된다. 따라서, 수 ps내에 원래의 상태로 복원되는 완화현상이 바람직해지는데, 이것이 양자점의 경우, 점(dot) 레벨로 다수의 캐리어를 포획하는 것이 양자 우물보다는 느려지기 때문에, 정확히 피코 초(picosecond) 영역이 된다. 이것이 지나치게 빠르면, 포화를 위한 광자(photon)의 수가 낭비되고, 지나치게 느리면 다음 펄스가 올 때까지 초기상태로 복귀되지 않는데, 이것은 정확히 적당한 시간 영역에 들어오는 것이다. 따라서, 본 발명의 배치구성에 의한 한정된 길이의 양자 세션 어레이 또는 양자점 어레이를 적용하면, 이러한 제어를 보다 효과적으로 수행할 수 있게 된다.
- [0078] 본 발명에 의해 구축되는 양자 나노구조 어레이는 주파변조기로서도 유효하게 적용할 수 있다. 3차 비선형 효과를 이용하여 펄프광과 신호광을 양자점에 입사하면, 각(角) 주파수 ω (펄프광) x 2 - ω (신호광)의 각 주파수(ω_c)에서 파장 변환이 이루어진다. 이러한 효과는 광과 나노구조 중의 양자 상태간의 간섭적인 상호작용에 의

해 생성되므로, 양자상태가 외부로부터 산란되지 않고, 위상 상태가 유지되었을 때 강하게 일어난다. 위상완화 시간은 T_2 라 불리며, 양자상태가 독립적인 양자점이 길어져, 비선형 효과가 강하게 나타난다. 본 발명에서는 그 한정된 길이의 양자 세선이나 양자점을 주기적으로 배열한 양자 나노 구조 어레이를 제공하기 때문에, 이른바 광의 배 부분에 세선이나 점을 일치시킬 수 있고, 적은 활성층 체적으로도 상기한 효과가 강하게 나타나도록 할 수 있으며, 또, 광의 군속도(group velocity)가 느려지기 때문에(재료 내에서 왕복한다고 할 수 있음), 광의 이득이나 흡수를 효과적으로 발생시킬 수 있다.

[0079] 즉, 이러한 각종 광 기능소자를 구축함에 있어서도, 본 발명의 양자 나노구조 어레이는 유효한 장치가 될 수 있는 것이다.

[0080] 그런데, 이상 상술한 모든 실시형태에서, 지금까지는 본 발명에 따른 양자 나노구조 반도체 레이저이든 양자 나노구조 어레이이든지 간에, 병설되는 한정된 길이의 양자 세선의 병설 주기 내지는 양자점이 그 안에, 또는 활성층이 그 위에 형성되는 V홀의 병설 주기는, 매질내 파장 1/4의 정수배였다. 그러나, 이를 의도적으로 레이저 활성층 내지 도파로층의 매질내 파장 1/4의 정수배의 주기로부터 변위시킴으로써, 도파로 모드를 안정화시키거나 반도체 레이저인 경우에는 그 활성영역내에서의 발진 모드간의 분산보상을 도모함으로써, 또한 외부 장작 미러 등의 도파로인 경우에는 통과 광에 관한 분산 보상을 도모함으로써, 모드 로크 상태에서의 광대역파장 발진 내지 단펄스 발진을 가능하게 할 수도 있다.

[0081] 후자의 분산 보상에 관해서는, 이미 일본특허출원 제2000-352614호에 그 최적화를 위한 바람직한 방법이 개시되어 있으므로, 본 발명의 구성에 의해 분산 보상을 도모할 때에는, 상기한 변위의 정도를 결정함에 있어서 상기 출원발명을 참고할 수 있다. 예를 들어, 어디까지나 일례이긴 하지만, 양자 세선 내지 V홀 주기를 매질내 파장 1/4로부터 변위시키는 정도에 따라 파장 분산(파장의 차이에 따른 광 전파속도의 차이)을 파장마다 변화시킬 수 있기 때문에, 많은 길이방향 모드(longitudinal mode)가 모두 동일한 속도로 전파되도록 하여, 다수의 파장이 동일 위상에서 동기하는(모드 로크) 상태를 생성시키며, 매우 짧은(2~30fs) 펄스 폭의 광 펄스(극단 펄스)를 효율적으로 발생시킬 수도 있다.

산업상 이용 가능성

[0082] 이상과 같이 본 발명에 따르면, 바람직하게는 1회의 선택성장에 의해 임계치가 낮고 발진주파수 안정화 특성이 우수한 반도체 레이저를 얻을 수 있다. 또한, 한정된 길이의 고밀도 다중 양자 세선이나 양자점을 디바이스 구조의 원하는 위치에 형성할 수 있으므로, 간단한 제작 프로세스에 의해 고도의 양자 나노구조 반도체 레이저나, 각종 광 기능소자에 대한 유익한 응용을 기대할 수 있는 양자 나노구조 어레이를 실현할 수가 있다.

[0083] 더욱이, 앞으로는 통신파장대가 확대되는 경향이어서 1.0~1.6 μ m의 파장대역이 중요해지고 있는데, 본 발명의 양자 나노구조 어레이(한정된 길이의 양자 세선 어레이나 양자점 어레이)를 이용함으로써 파장범위가 확대된다. 재성장이 불필요하기 때문에, 클래드층으로서 밴드 갭이 큰 AI 조성을 포함한 혼정(混晶)을 사용할 수도 있으므로, 동작 온도에 쉽게 영향받지 않는(T_0 가 높은) 레이저를 제작할 수 있게 되고, 일반 가정이나 자동차 등, 온도 조건을 면밀히 제어하기가 어려운 민생 용도에 적합한 파장 안정화 레이저를 실현할 수 있다.

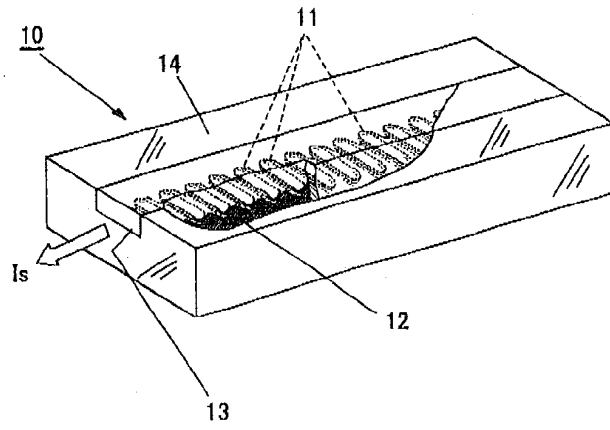
도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1(A)은 본 발명의 바람직한 제 1 실시형태로서의 반도체 레이저의 개략구성도.
- [0036] 도 1(B)는 도 1(A)에 개시된 본 발명의 반도체 레이저의 개선예에 대한 개략구성도.
- [0037] 도 2(A)는 도 1(A)에 개시된 본 발명에 따른 반도체 레이저의 다른 개선예의 개략구성도.
- [0038] 도 2(B)는 도 2(A)에 개시된 반도체 레이저에서의 활성층 부분을 일부 절취하여 개략적으로 설명하는 설명도.
- [0039] 도 3은 도 1(A)에 개시된 본 발명에 따른 반도체 레이저의 더욱 다른 개선예의 개략구성도.
- [0040] 도 4(A)는 본 발명의 바람직한 다른 실시형태로서의 반도체 레이저의 횡단면의 개략구성도.
- [0041] 도 4(B)는 도 4(A)의 4B-4B선을 따른 단면의 모식도.
- [0042] 도 5는 본 발명의 바람직한 다른 실시형태로서의 반도체 레이저의 개략구성도.
- [0043] 도 6은 본 발명의 또다른 바람직한 실시형태로서의 반도체 레이저의 개략구성도.
- [0044] 도 7은 양자 나노구조 반도체 레이저 어레이 내지 다파장 광원을 구성하는 본 발명의 바람직한 실시형태의 개략

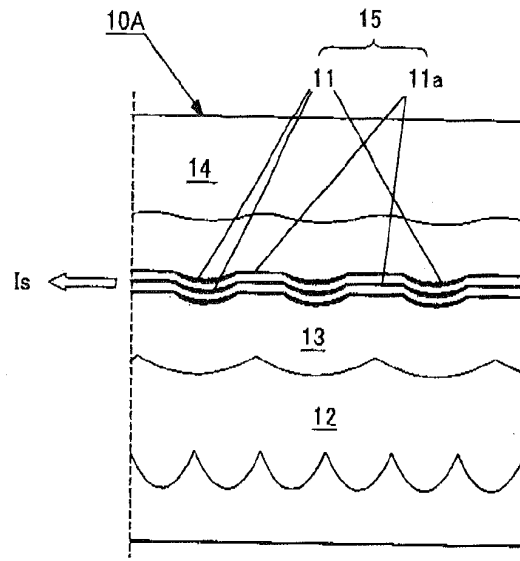
구성도.

도면

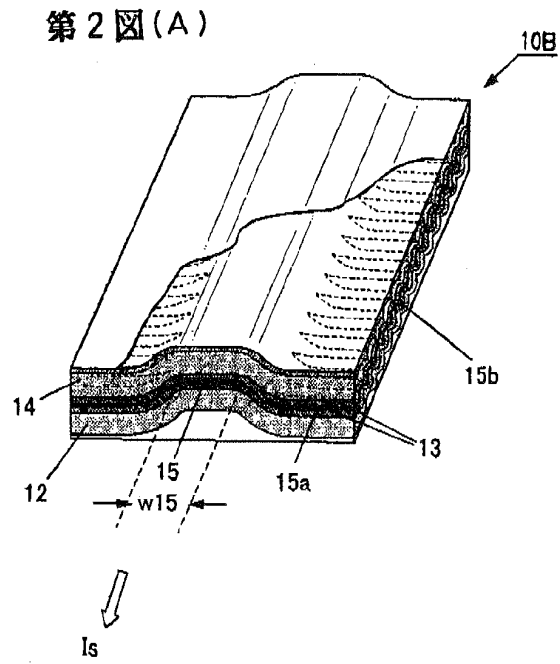
도면1a



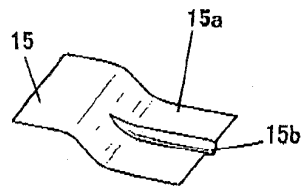
도면1b



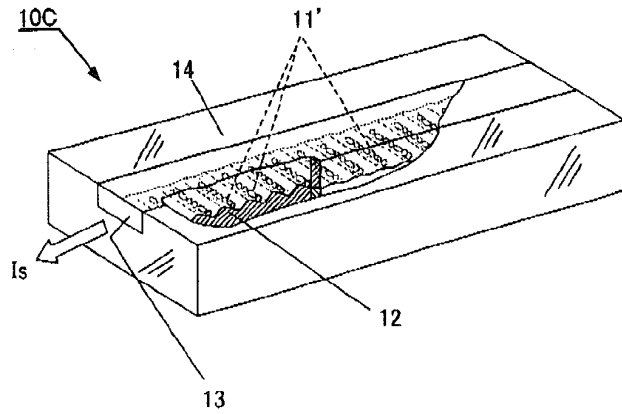
도면2a



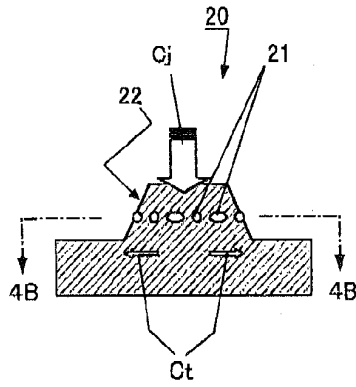
도면2b



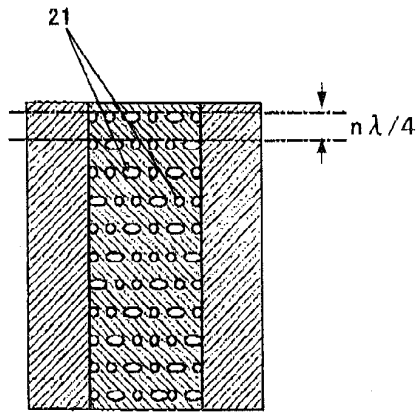
도면2c



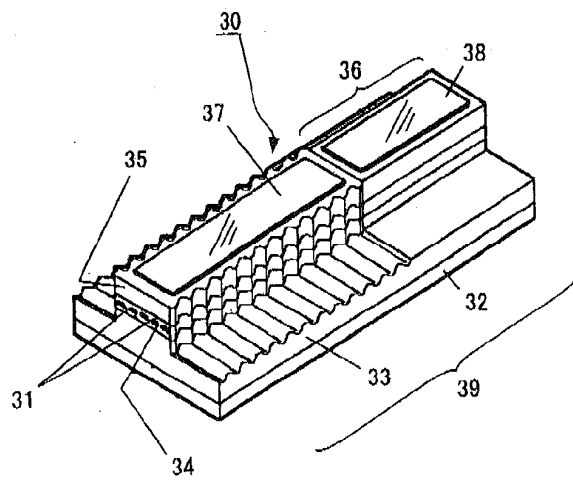
도면4a



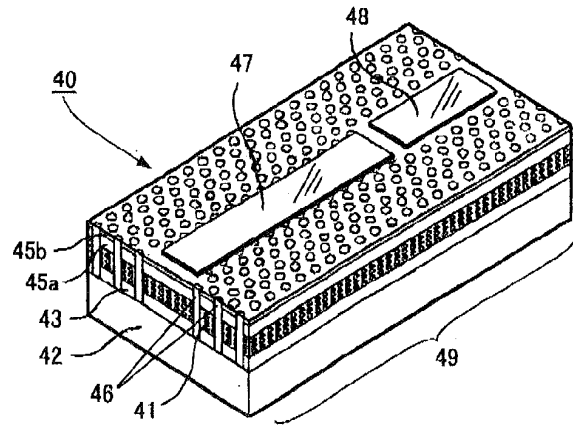
도면4b



도면5



도면6



도면7

