

V형 양자선 레이저의 전류 차단층에 대한 연구

A Study on Current Blocking Configuration of V-Groove Quantum Wire Laser

조태호, 김태근*

(Tae-Ho Cho and Tae-Geun Kim)

Abstract

In order to enhance current injection efficiency of V-groove inner stripe(VIS) quantum wire lasers, three different current configurations, n-blocking on p-substrate(VIPS), p-n-p-n blocking on n-substrate(VI(PN)nS), p-blocking on n-substrate(VINS) have been designed and fabricated. Among them VIPS laser showed the most stable characteristics of lasing up to 5 mW/facet, a threshold current of 39.9 mA at 818 nm, and an external differential quantum efficiency of 24 %/facet. The current tuning rate was almost linear 0.031 nm/mA, and the temperature tuning rate was measured to be 0.14 nm/°C.

Key Words : V-grooved quantum wire laser, Leakage current, External quantum efficiency, Stimulated emission

1. 서론

낮은 문턱 전류(threshold current)를 갖는 반도체 레이저는 단일칩내에서 저전력 동작, 광계산, 광신호처리 등의 우수한 특성을 갖기 때문에 이에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔다[1,2]. 반도체 레이저 구조에서 크기가 감소함에 따라 전자의 상대밀도 분포의 폭이 감소하고 레이저 등 소자 응용시 활성 영역(active region)의 체적을 크게 감소시킨다. 이 두 요소는 문턱 전류의 감소 및 광변조 등의 동적(dynamic)특성 향상에 크게 기여한다[3-5]. 최근 양자선을 이용한 레이저의 경우, 높은 미분 이득(differential gain)[6], 넓은 광변조 대역[7] 그리고 높은 특성온도 등 기존의 양자우물 레이저에 비해 매우 향상된 동적 특성을 갖는 것으로 보고되고 있다[8]. 특히 V자형 기판을 이용한 양자선 레이저의 제작은 계면의 안정성, 크기 조절

의 용이성, 간단한 제조 공정 등의 장점때문에 많은 주목을 받고 있다[9,10]. 그러나 지금까지 양자선 대한 대부분의 연구는 양질의 양자선 제작 및 물리적 해석 등에 제한되고 있으며, 양자우물 레이저에서와 같이 레이저의 특성 향상을 위한 소자구조 설계 등에 관해서는 폭넓은 연구가 진행되지 못하고 있다. 본 논문에서는 서로 다른 조합의 p-n 접합형 전류차단층, n-blocking on p-substrate(VIPS), p-n-p-n blocking on n-substrate(VI(PN)nS), p blocking on n-substrate (VINS)을 설계하고 이들 구조를 VIS(V-grooved inner strip)형 양자선 레이저에 집적하였을 때 각각의 소자 특성을 간단한 시뮬레이션과 실험을 통해서 평가하였다. 각 레이저의 특성을 효과적으로 비교하기 위하여 전류 차단층을 제외한 모든 소자의 파라미터 값들은 동일하게 설계, 제작하였고 불순물 농도 분포(doping profile)와 전류 차단층의 두께를 변수로 하고 소자의 간단한 직류 등가회로를 이용하여 누설전류의 크기를 조사 하였다[10]. 그 결과 세가지 구조중 VIPS구조의 양자선 레이저가 가장 우수한 특성을 보였으며, 실제 실험에서도 다른 구조에 비하여 약 5 mW/facet 정도의 높은 광출력 특성을 보였다.

* : 광운대학교 전자재료공학과
(서울시 노원구 월계동 광운대학교,
Fax: 02-943-5117.

Corresponding Author : tgkim@daisy.gwu.ac.kr
2003년 5월 22일 접수, 2003년 6월 10일 1차 심사완료,
2003년 6월 27일 최종 심사완료

2. 소자 모델링과 누설 전류

그림 1은 서로 다른 전류차단층(Current Blocking Layer) 구조를 갖는 (a) VIPS (b) VI(PN)nS (c) VINS 등의 VIS형 양자선(Quantum-Well Wire) 레이저의 단면도이다.

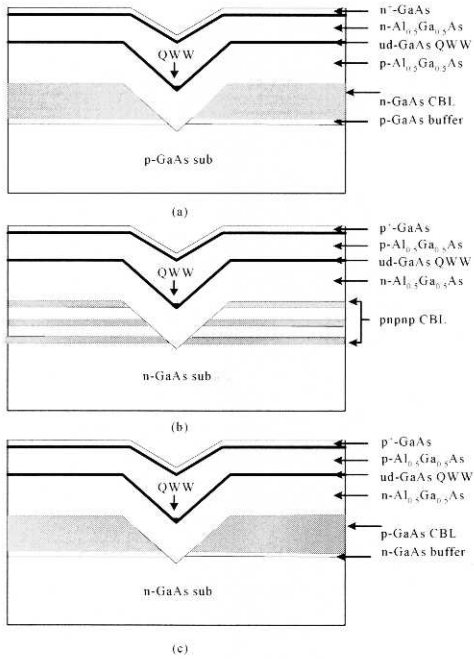


그림 1. 서로 다른 전류차단층(CBL) 구조를 갖는 (a) VIPS, (b) VI(PN)nS, (c) VINS VIS형 양자선(QWW) 레이저의 단면도.

Fig. 1. Schematic cross sections of the VIS QWW lasers with (a) VIPS, (b) VI(PN)nS, and (c) VINS.

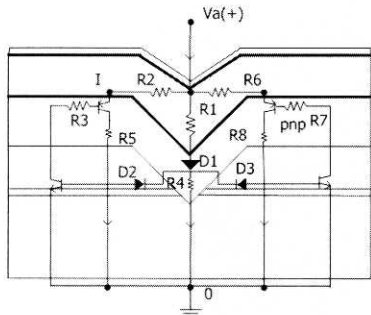


그림 2. 직류 등가회로 모델.
Fig. 2. DC equivalent circuit.

표 1(a). 저항 값.

Table 1(a). Resistor values.

| R1 | R2,R6 | R3,R7 | R4 | R5,R8 | Units |
|----|-------|-------|----|-------|-------|
| 45 | 25 | 15 | 50 | 20 | Ω |

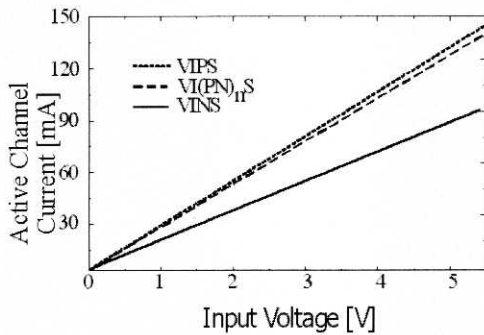
표 1(b). 다이오드 관련 파라미터.

Table 1(b). Parameters associated with diode.

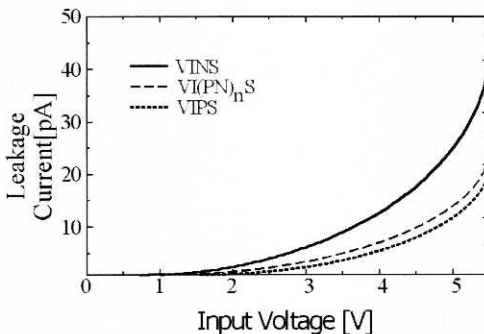
| Name | Model parameter | Units | Value |
|------|--|-------|---------|
| IS | Saturation current | A | 7.4E-19 |
| RS | Parasitic resistance | Ω | 10 |
| N | Emission coefficient | | 1 |
| TT | Transit time | sec | 0.1E-9 |
| CJC | Zero bias p-n capacitance | F | 2E-12 |
| M | Junction-gradient coefficient | | 0 |
| EG | Activation energy | eV | 11.1 |
| XTI | IS temperature exponent | | 3 |
| KF | Flicker noise coefficient | | 0 |
| AF | Flicker noise exponent | | 1 |
| FC | Forward bias depletion capacitance coefficient | | 0.5 |
| BV | Reverse breakdown voltage | V | 50 |
| IBV | Reverse breakdown current | A | 1E-10 |
| VJ | Junction potential | V | 0.6 |

전류 차단구조의 효율성을 비교하기 위하여, 그림 2와 같은 간단한 직류 등가회로 모델을 사용하여 바이어스 전압이 인가되었을 때 전류 차단층을 통한 활성 채널전류와 누설전류를 비교하였고 시물레이션에 관련된 소자 값들은 표 1에 나타내었다. 등가회로는 이상적인 p-n 접합소자, p-n-p-n 스위치, 저항으로 구성되었고, 그림 3(a)와 3(b)는

인가 전압에 따른 계산된 활성 채널전류와 누설전류의 변화를 보여준다. 그림 3으로부터 활성 채널전류는 선형적으로 증가하고 누설전류는 지수적으로 증가함을 알 수 있었으며, 최대 주입전류효과 ($I_{active}/I_{leakage}$)는 0.8부터 1.0V 사이에서 관찰된다. VIPS 구조에서의 누설전류는 VINS 구조보다 적은 것으로 보이며, 특히 인가 전압이 증가함에 따라 더 큰 차이가 나타난다. 한편 VI(PN)nS 구조는 VIPS 구조와 비슷한 정도의 누설전류를 보이는데, 이것은 차단구조의 다중 부분에서의 내부 전위장벽의 증가 때문인 것으로 생각된다. 그러나 여기서의 시뮬레이션은 단지 측면 방향에서의 누설 전류만을 고려하였기 때문에 실제로는 더 큰 누설전류가 측정될 것으로 예상된다.



(a)



(b)

그림 3. 서로다른 전류 차단층 구조, VIPS, VI(PN)nS, and VINS 양자선 레이저의 (a) 활성 채널전류 (b) 누설전류의 변화.

Fig. 3. The variety of (a) active channel and (b) leakage current passing through the CBL's of VIPS, VI(PN)nS, and VINS QWW lasers.

3. 결과 및 고찰

각각의 소자 특성 평가에 있어서 일반적으로 소자 두께, 도핑 정도, 채널 길이 등의 값이 같을 때 VINS 구조보다 VIPS, VI(PN)nS 구조의 전류 차단층을 갖는 양자선 레이저가 효과적인 전류 주입을 통하여 안정된 광특성을 보였다. VIPS와 VI(PN)nS 차단구조를 갖는 양자선 레이저의 대표적인 특성은 그림 4과 그림 6에 잘 나타나 있다.

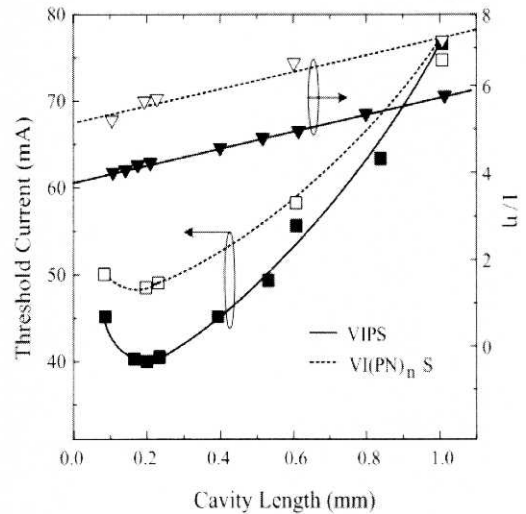


그림 4. 공진기 길이 변화에 따른 VIPS와 VI(PN)nS 양자선 레이저의 문턱전류와 외부 양자효율.

Fig. 4. The cavity length dependence of the threshold current and external quantum efficiency for the VIPS and VI(PN)nS QWW lasers.

그림 4는 0.1부터 1 mm까지 공진기 길이에 따른 VIPS(solid line)와 VI(PN)nS(dotted line) 양자선 레이저의 문턱전류, 외부양자 효율을 나타낸다. 두 레이저의 문턱전류와 양자효율은 거의 유사한 형태로 변하고, 150-250 μm 의 공진기 길이 안에서 39.8 mA의 가장 낮은 문턱전류값이 관찰된다. 공진기 길이가 400 μm 이상일 때는 문턱전류가 급격히 증가하는 경향을 보이는데, 이렇게 증가하는 원인은 현재 분석중에 있으나, 적층된 양자선간의 계면 불균일 때문인 것으로 생각된다. 또한 공진기 길이 증가에 따른 외부 양자효율은 선형적으로 감소한다.

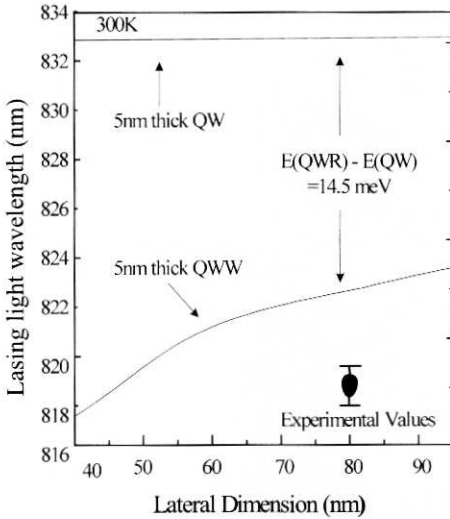
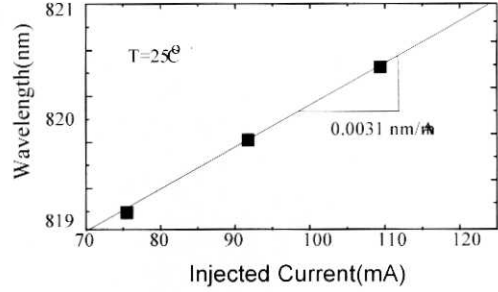


그림 5. 상온에서 측면길이에 따른 양자선 레이저와 양자 우물 레이저의 파장변화.

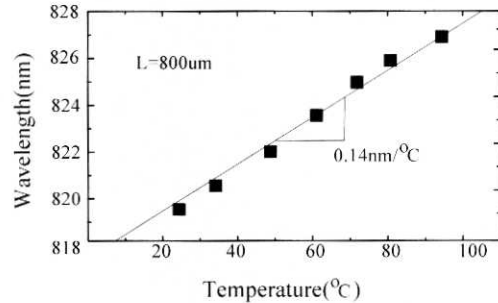
Fig. 5. The emission wavelength of QWW laser as function of lateral dimension at room temperature.

그림 5는 상온에서 측면길이 변화에 따른 양자선 레이저와 양자우물 레이저의 이론값(solid line)과 측정값(black circle)의 파장 변화를 보여준다. 두께가 5 nm이고 40부터 95 nm까지 측면길이 가변할 때 양자우물 레이저의 파장은 832.7 nm로 일정하였으며 양자선 레이저는 817.7부터 824.2 nm까지 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이렇게 증가하는 원인은 측면 길이가 작아짐에 따라 양자구속효율이 증가하였기 때문인 것으로 생각되며, 측면 길이가 80 nm 일 때 측정값은 양자선 레이저보다 4.5 nm 낮은 것을 관찰할 수 있었다.

그림 6는 800 μm의 공진기 길이를 갖는 VIPS 양자선 레이저의 주입전류와 온도변화에 따른 발진 파장의 변화를 보여준다. 그림 6(a)는 25 °C에서 주입전류에 따른 파장 변화를 나타내며 전류에 따른 파장 조절율(tuning rate)은 0.031 nm/mA로 평가된다. 그림 6(b)는 1 mW의 광출력에서 온도에 따른 파장 변화를 보여준다. 온도에 따른 파장 조절율은 0.14 nm/°C 정도로 관찰되는데 이것은 분포 캐환형(distributed feedback) 레이저와 비교할 때 다소 떨어지는 특성이나(~0.06 nm/°C) 양자우물 구조를 갖는 파브리페롯 (Fabry-Perot) 레이저와 비교하면(~0.25 nm/°C) 매우 향상된 특성이다.



(a)



(b)

그림 6. VIPS 양자선 레이저의 발진 파장 변화에 따른 (a) 주입전류 (b) 온도 변화.

Fig. 6. (a) Injected current and (b) temperature dependence of the lasing wavelength measured from VIPS QWW laser.

4. 결론

본 논문에서는 세가지 유형의 전류 차단층 구조, VIPS, VI(PN)nS, VINS를 갖는 VIS형 양자선 레이저의 특성을 등가모델을 이용한 시뮬레이션과 실험을 통하여 비교, 평가하였다. 그 결과 VIPS형 구조가 가장 우수한 특성을 보였으며 전형적인 소자 특성으로 광출력 14 mW/facet, 중심파장 819 nm, 문턱전류 39.9 mA, 외부양자효율 24 %/facet을 관찰하였다. 또한 전류 및 온도변화에 따른 파장변화는 각각 0.031 nm/mA와 0.14 nm/°C로 측정되었다.

감사의 글

이 논문은 MOST-Nano R&D program의 지원에 의해 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] P. S. Zory, "Quantum Well Lasers", New York: Academic, p. 462, 1995.
- [2] 이주신 "반도체 초격자", 전기전자재료학회논문지, 3권, 3호, p. 161, 1990.
- [3] Y. Arakawa and H. Sakaki, "Multidimensional quantum well lasers and temperature dependence of its threshold current." Appl. Phys. Lett., Vol. 40, p. 939, 1982.
- [4] 심종인 "광 통신용 반도체 레이저", 한국전기전자학회, 전기전자재료, 11권, 6호, p. 524, 1998.
- [5] 강기성, 채기병, 소대화 "광 변조기 제작을 위한 양자확산 및 자기정렬 방식에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 6권, 1호, p. 8, 1993.
- [6] S. Tiwari, G. D. Pettit, K. R. Milkove, F. Legoues, R. J. Davis, and J. M. Woodall, "High efficiency and low threshold current strained V-groove quantum-wire lasers." Appl. Phys. Lett., Vol. 64, p. 3536, 1994.
- [7] Y. Arakawa, "Waveguide Optoelectronics", Nato, ASI, Series, 1226, p. 123, 1990.
- [8] Y. Arakawa, K. Vakala, and A. Yariv, "Quantum noise and dynamics in quantum well and quantum wire lasers", Appl. Phys. Lett., Vol. 45, p. 950, 1984.
- [9] Y. Hasegawa, T. Egawa, T. Jimbo, and M. Umeno, "Vertically-stacked GaAs quantum wires grown on Si substrates by metalorganic chemical vapor deposition", J. Cryst. Growth, Vol. 145, p. 728, 1994.
- [10] T. G. Kim, S. M. Hwang, E. K. KIM, J. Jeong, S. K. Min, J. I. Jeon, S. J. Leem, and J. H. Park, "Fabrication of V-groove inner stripe quantum wire lasers"; IEEE Photon. Technol. Lett., Vol, 9, p. 2, 1977.