

V형 양자선 레이저의 전류 차단층에 대한 연구

조태호, 김태근
광운대학교

Performance of GaAs-AlGaAs V-Grooved Inner Stripe Quantum-Well Wire Lasers with Different Current Blocking Configurations

Tae-ho cho, Tae-Geun Kim
Kwangwoon Univ.

Abstract

V-grooved inner stripe (VIS)형 양자선 레이저의 전류 주입 효율을 높이기 위하여 세가지 서로 다른 전류 차단층 구조, n-blocking on p-substrate (VIPS), p-n-p-n blocking on n-substrate (VI(PN)_nS), p-blocking on n-substrate (VINS)를 설계, 제작하였다. 그 중 VIPS 구조는 다른 두 구조에 비하여 약 5 mW/facet 정도의 높은 광출력을 보였으며, 중심파장 818 nm, 문턱전류 39.9 mA, 외부양자효과 24 %/facet, 특성온도 92K의 특성을 보였다. 또한 전류 및 온도 변화에 따른 파장변화는 각각 0.031 nm/mA 와 0.14 nm/°C로 관찰되었다.

Key Words : V형 양자선 레이저, 레이저, 누설전류

1. 서론

낮은 문턱전류를 갖는 반도체 레이저는 단일칩 내에서 저전력 동작, 광계산, 광신호 처리 등의 우수한 특성을 갖기 때문에 이에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔다[1]. 반도체 재료는 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 특성 향상에 크게 기여한다[2],[3]. 최근 양자선을 이용한 레이저의 경우, 높은 미분 이득[4], 넓은 광변조 대역[5] 그리고 높은 특성온도 등 기존의 양자우물 레이저에 비해 매우 향상된 동적 특성을 갖는 것으로 보고되고 있다[6]. 특히 V자형 기판을 이용한 양자선 레이저의 제작은 계면의 안정성, 크기 조절의 용이성, 간단한 제조 공정 등의 장점때문에 많은 주목을 받고 있다[7]. 그러나 지금까지 양자선 레이저에 대한 대부분의 연구는 양질의 양자선 제작 및 물리적 해석 등에 제한되고 있으며, 양자우

물 레이저에서와 같이 레이저의 특성 향상을 위한 소자구조 설계 등에 관해서는 폭넓은 연구가 진행되지 못하고 있다. 본 논문에서는 서로다른 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 조사하였다[8]. 그 결과 세가지 구조 중 VIPS 구조의 양자선 레이저가 가장 우수한 특성을 보였으며, 실제 실험에서도 타 구조에 비하여 약 5 mW /facet 정도의 높은 광출력 특성을 보였다.

2. 소자 모델링과 누설 전류

그림 1은 서로 다른 전류차단층 구조를 갖는 (a) VIPS (B) VI(PN)_nS (C) VINS VIS형 양자선 레이저의 단면도이다.

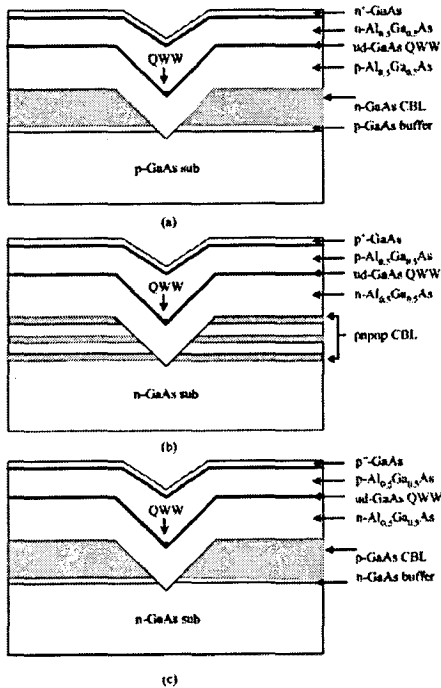


그림 1. 서로 다른 전류차단층 구조를 갖는 VIPS, VI(PN)_nS, VINS VIS형 양자선 레이저의 단면도

전류 차단구조의 효율성을 비교하기 위하여, 그림 2와 같은 간단한 직류 등가회로 모델을 사용하여 바이어스 전압이 인가되었을 때 전류 차단층을 통한 활성 채널전류와 누설전류를 비교하였다. 등가회로는 이상적인 p-n 접합소자, p-n-p-n 스위치, 저항으로 구성되었고, 그림 2(a)와 2(b)는 각각 계산된 활성채널전류와 누설전류의 변화를 보여준다. 그림 2로부터 활성채널전류는 선형적으로 증가하고 누설전류는 지수적으로 증가함을 알수 있으며, 최대 주입전류효과 ($I_{active}/I_{leakage}$)는 0.8부터 1.0V 사이에서 관찰된다. VIPS 구조에서의 누설전류는 VINS 구조보다 적은 것으로 보이며, 특히 인가

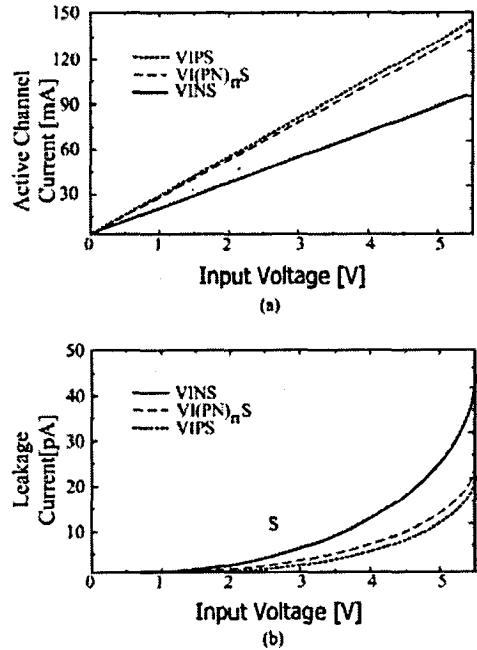


그림 2. 입력전압에 따른 활성채널전류와 누설전류의 변화

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.

3. 결과 및 고찰

각각의 소자의 특성 평가에 있어서 일반적으로 소자두께, 도핑정도, 채널길이 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 3과 그림 4에 잘 나타나있다. 그림 3은 0.1부터 1 mm 까지 공진기 길이 변화에 따른 VIPS (solid line)와 VI(PN)_nS (dotted line)

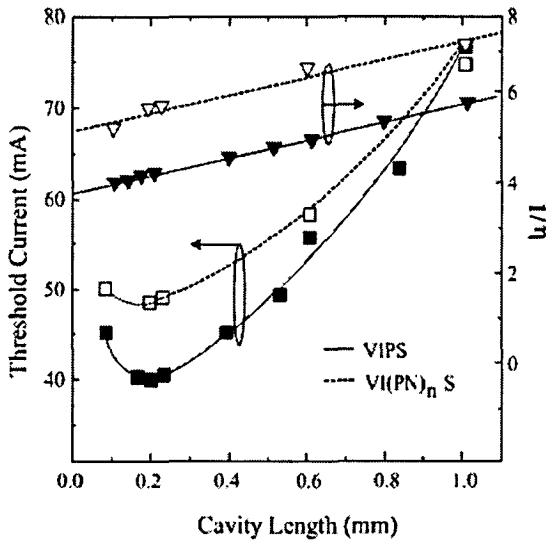


그림 3. 공진기 길이 변화에 따른 VIPS와 VI(PN)_nS 양자선 레이저의 문턱전류와 외부 양자효율

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 문턱 전류값이 관찰된다. 공진기 길이가 400 μm 이상일 때는 문턱전류가 급격히 증가하는 경향을 보이는데, 이렇게 증가하는 원인은 양자선 레이저의 사이가 균등하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 또한 공진기 길이 증가에 따른 외부 양자효율은 선형적으로 감소한다. 그림 4는 800 μm 의 공진기 길이를 갖는 VIPS 양자선 레이저의 주입전류와 온도변화에 따른 발진 파장의 변화를 보여준다. 그림 4(a)는 25°C 에서 주입전류에 따른 파장 변화를 나타내며 전류 조절율 (tuning rate)은 0.031 nm/mA로 평가된다. 그림 4(b)은 1 mW의 광출력에서 온도에 따른 파장 변화를 보여준다. 전류 조절율은 0.14 nm/°C 정도로 관찰되는데 분포 캐환형 (distributed-feedback) 레이저와 비교할 때 다소 떨어지는 특성이나 (~ 0.06 nm/°C) 양자우물 구조를 갖는 Fabry-Perot 레이저와 비교하면 (~ 0.25 nm/°C) 매우 향상된 특성이다.

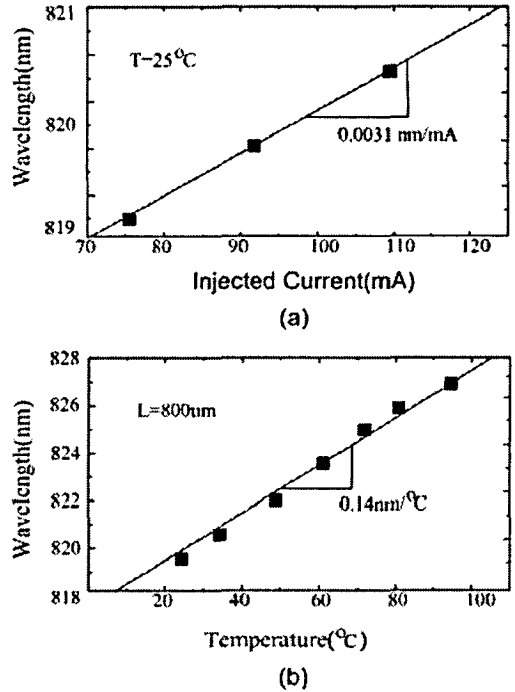


그림 4. VIPS 양자선 레이저의 주입전류와 온도 변화에 따른 발진파장의 변화

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 14mW/facet, 중심파장 819 nm, 문턱전류 39.9 mA, 외부양자효율 24 %/facet, 특성 온도 92K를 보였다. 또한 전류 및 온도 변화에 따른 파장변화는 각각 0.031 nm/mA와 0.14 nm/°C로 측정되었다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-20002-003-D00185)

참고 문헌

- [1] P. S. Zory, Quantum Well Lasers. New York: Academic, 1995, pp. 462-463.
- [2] Y. Arakawa and H. Sakaki, "Multidimensional quantum well lasers and temperature dependence of its threshold current." Appl. Phys. Lett., vol. 40, pp. 939-941, 1982.
- [3] Y. Arakawa and T. Takahashi, "Dynamic properties of quantum box lasers." Optoelectron., vol. 3, pp. 155-162, 1988.
- [4] 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, pp. 3536-3538, 1994.
- [5] Y. Arakawa, K. Vakala, and A. Yariv, "Quantum noise and dynamics in quantum well and quantum wire lasers." Appl. Phys. Lett., vol. 45, pp. 950-952, 1984.
- [6] Y. Arakawa, Waveguide Optoelectronics, Nato ASI Series 1226, 1990, pp. 123.
- [7] 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, pp. 728-733, 1994.
- [8] 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, pp. 2-4, 1977.