

# 불균일 두께를 가지는 양자 우물 구조의 캐리어 분포 특성

## Carrier Distribution in Non-uniform Thickness Quantum Well

박윤호, 강병권, 이 석, 우덕하, 김선호  
한국과학기술연구원 광기술연구센터

uno@kist.re.kr

최근 다른 두께로 조합된 양자 우물 구조를 이용한 연구가 다음과 같이 각각 다른 목적으로 진행되고 있다. 이러한 불균일 양자 우물 구조는 주로 광대역폭 반도체 광 증폭기를 위한 구조,<sup>1,2)</sup> 광대역폭 Superluminescent Diode에 적용하기 위한 구조,<sup>3)</sup> 광대역폭 및 온도 비의존성 면발광 레이저를 위한 구조<sup>4)</sup>로 이용되고 있으며 10여년 전에는 파장 조절 및 파장 스위칭을 위한 구조로 연구되었다.<sup>5,6)</sup> 이들 소자의 실현을 위해 우선 불균일 양자 우물 구조의 특성을 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서 사용한 양자 우물 구조는 그림 1과 같이 각 양자 우물의 두께가 다르게 분포되어 있다. 그리고 이 구조를 CBE로 성장하고 릿지형 반도체 레이저를 제작하여 공진기 길이와 주입전류에 따른 발광 파장 특성으로부터 불균일 양자 우물 구조에서의 캐리어 분포 특성을 유추하였다.

그림 2는 본 연구에서 제작한 LD의 I-L 특성으로서 그림에서 BB1의 경우는 그림 1의 a) 구조로서 P측으로부터 50Å, 50Å, 70Å, 90Å 순으로 배열되어 있는 구조이고, BB2의 경우는 그림 1의 b) 구조로서 a)와 반대로 P측으로부터 90Å, 70Å, 50Å, 50Å 순으로 배열되어 있는 구조이다. 제작한 LD의  $I_{th}$ 가 20~30mA인 일반 릿지형 구조에 비하여 조금 높은 것을 알 수 있는데, 이는 각 양자 우물 두께가 달라서 이득분포가 각각의 층에 분산되어 있기 때문이다. 또한, 그림에서 BB1(그림 1 a)의 경우가 BB2(그림 1 b)의 경우보다  $I_{th}$ 가 큰 것을 알 수 있는데 이는 양자 우물 구조에서 캐리어 메카니즘에 의한 광학적 특성을 가장 크게 좌우하는 것이 heavy-hole인데 그림 1 a)의 구조상 heavy-hole의 location이 P측에 있는 가장 얇은 층인 50Å의 양자 우물층으로 주입되지만 이들 캐리어 모두 재결합 발광 과정으로 전개되는 것이 아니라 어느 정도는 반대편의 90Å의 두꺼운 층으로 흡수되어 캐리어 효율이 전체적으로 좋지 않아  $I_{th}$ 가 크게 되는 것으로 생각된다.

그림 3은 공진기 길이에 따른 임계 전류치에서의 발진 파장을 나타내고 있다. 공진기 길이가 900 $\mu\text{m}$ 까지는 발진 파장이 1550nm에서 나오고 있으나 1200 $\mu\text{m}$ 에서 부터는 발진파장이 1570nm인 것을 알 수 있다. 이는 상대적으로 긴 공진기에서는 활성층의 두꺼운 우물층에서 동작하고 공진기 길이가 짧아질수록 얇은 우물층으로 천이하기 때문이다.<sup>7)</sup> 그리고 공진기 길이 300 $\mu\text{m}$ 이하에서는 발진하지 않았는데 이는 공진기의 길이가 짧게 되면 레이저의 이득 매체인 레이저 단면사이의 양이 작아지고 이득은 출력 결합 손실을 극복해야 하는데 300 $\mu\text{m}$ 이하에서는 이득이 출력 결합 손실 보다 작아서 발진할 수 없기 때문이다. 그러나 그림 1 b)의 경우는 p측에 두꺼운 양자 우물층이 위치하기 때문에 이득이 상대적으로 커서 300 $\mu\text{m}$ 이하의 짧은 공진기 길이에서도 발진이 가능하다.

그림 4는 공진기 길이 400 $\mu\text{m}$ 에서의 주입전류에 따른 발진파장 변화를 나타내고 있다. 임계 전류치에서는 1550nm 즉, p측의 50Å에 해당하는 파장이 나오는 것을 알 수 있다. 전류를 증가하면서 1560nm에서 하나 더 발진하는 것을 볼 수가 있는데 이는 hole들이 70Å 우물층으로 주입되면서 발진하는 것으로 볼 수 있다. 그리고 주입 전류 150mA에서는 1540nm에서 파장이 발진되는 것을 볼 수 있는데 이는 50Å 우물층에서 전도대의 두 번째 subband에서의 캐리어들이 재결합 발진하는 것을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구에서의 캐리어 분포 특성은 불균일 양자 우물 구조뿐만 아니라 일반적으로

사용하는 다중 양자 우물을 이해하고 설계하는데 중요할 뿐 아니라 이 구조를 이용하여 광소자를 제작할 경우 소자 설계시 아주 유용하게 사용되어 질 수 있다.

참고문헌

- 1) Y. H. Park, B. K. Kang, S. Lee, D. H. Woo, S. H. Kim, J.K.P.S., 36, 4, p.206-208, (2000)
- 2) Y. H. Park, B. K. Kang, S. Lee, D. H. Woo, S. H. Kim, '2000 IPRM p.423-426, (2000)
- 3) T. Yamatoya, S. Mori, F. Koyama, K. Iga, CLEO, P.Rim'99, FO6, p.1227-1228, (1999)
- 4) M. Kajita, K. Kurihara, H. Saito, T. Yoshigawa, Y. Sugimoto, K. Kasahara, Electron. Lett., 31, 22, p.1925-1927, (1995)
- 5) S. Ikeda, A. Shimizu, Y. Sekiguchi, M. Hasegawa, Appl. Phys. Lett. 55(20), 13, p.2057-2059, (1989)
- 6) S. Ikeda, A. Shimizu, T. Hara, Appl. Phys. Lett. 55(12), 18, p.1155-1157, (1989)
- 7) M. J. Hamp, D. T. Cassidy, B. J. Robinson, Q. C. Zhao, D. A. Thompson, M. Davies, IEEE Photonics Technol. Lett. 10, p.1380-1382, (1998)

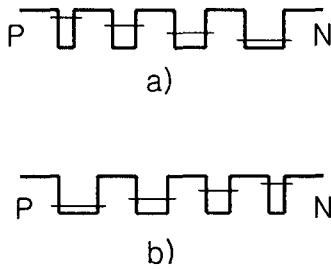


그림 1. 불균일 두께를 가지는 양자 우물 구조

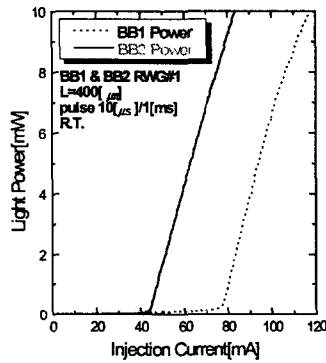


그림 2. 제작된 LD의 I-L 특성

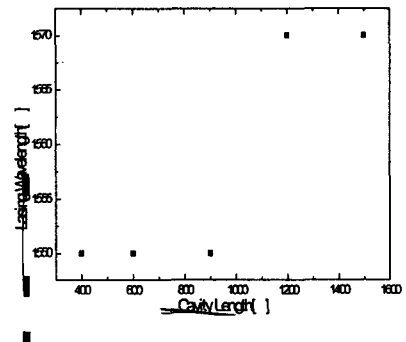
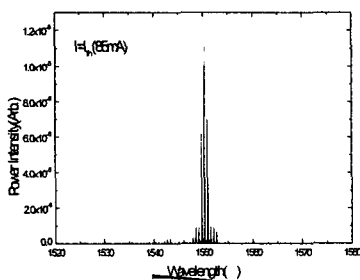
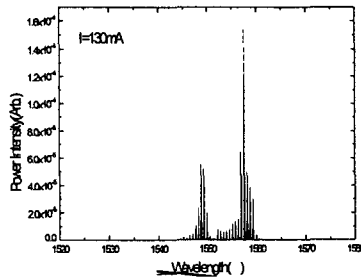


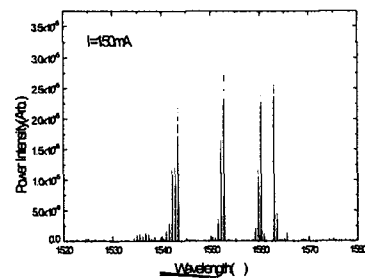
그림 3. 공진기 길이에 따른 발진 파장



a)  $I = I_{th}$



b)  $I = 130 \text{ mA}$



c)  $I = 150 \text{ mA}$

그림 4. 주입 전류에 따른 발진 파장