

Gain 개선 => effective Average Carrier Density - Parameters lists
 - Optimization, SCH

제5회 광전자공학 학술회의 논문 FC3-3

다중 양자 우물 레이저 다이오드에서 우물간 캐리어 전송이 LD 특성에 미치는 영향

Influences of interwell carrier transport on MQW LD characteristics

구자용, 최우영
 연세대학교 전자공학과

Abstract

We show that interwell carrier transport can significantly affect turn-on delays and modulation responses of MQW LD. According to our simulation results, a large interwell transport time can result in uneven hole concentrations in quantum wells and this makes turn-on delay larger and reduces modulation speeds of MQW LD.

레이저 다이오드(LD)의 직접 변조 속도를 향상시키기 위해서는 큰 차동이득(differential gain)을 갖는 레이저 구조가 필요하다. 이를 위해서는 MQW 구조가 사용되는데, 그 예로써 GaAs 계열에서는 4개의 QW로 40GHz[1], InP 계열에서는 20개의 QW를 사용하여 30GHz[2]의 변조속도를 얻을 수 있음이 보고된 바 있다. 그러나 우물의 개수가 많아질 경우 우물간 캐리어전송의 영향으로 성능저하가 생길 수 있으며 이에 대한 정확한 해석이 필요해진다.

실제로 다중 양자우물을 해석한 경우 캐리어의 분포에 대해 통계적인 방법[3], 또는 Poisson 방정식 등을 도입[4]하여, 홀과 전자의 분포를 해석하고 있다. 이러한 해석은 공간적으로 연속적인 캐리어의 농도를 알 수 있다는 장점이 있지만, 계산이 복잡하고 우물간의 캐리어 이동에 대한 자세한 정보를 주지 않는다는 단점이 있다.

보다 간편한 우물간 캐리어 전송 영향의 해석을 위해 본 논문에서는 캐리어 전송 효과가 홀 전송에 의해 주로 결정된다고 가정하고, 각 우물에서의 홀 농도가 고려된 LD 비율 방정식을 수치적으로 풀어 홀의 비균일적 분포 및 이로 인한 LD 성능에의 영향을 분석하였다. 이러한 가정은 유효질량이 가벼운 전자가 확산, 홀과의 Coulomb 상호작용 등으로 공간적으로 거의 균일하게 분포될 수 있기 때문에 가능한 것이며, 이는[3],[4]에서의 해석 결과와도 일치한다.

본 연구에서는 Nagarajan의 비율방정식[5]을 Runge-Kutta방법으로 적분하여 정상상태 해를 구하고, 선형 근사화 하여 주파수 응답을 구하였다.

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{I}{qV_{SCH}} - \frac{P_1}{\tau_s} - \frac{P_1}{\tau_n}$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{P_1(V_{SCH}/V_w)}{\tau_s} - \frac{P_1 - P_2}{\tau_c} - \frac{P_2}{\tau_n} - v_{eff}(P_2)(1 - \epsilon S)$$

$$\frac{dP_n}{dt} = \frac{P_{n-1} - P_n}{\tau_c} - \frac{P_n}{\tau_n} - v_{eff}(P_n)(1 - \epsilon S)$$

$$\frac{dS}{dt} = \Gamma v_{eff}(g(P_1) + \dots + g(P_n))(1 - \epsilon S)S - \frac{S}{\tau_p} + \frac{\Gamma \beta}{\tau_n}(P_1 + \dots + P_n)$$

위의 비율방정식에서 홀 전송은 P접합면으로부터 각 우물로 순차적으로 일어나고 있다고 가정하였으며, 우물간의 전송은 thermionic emission, barrier에서의 확산 및 다음 우물로의 포획, 터널링을 고려하여 $\tau_c = [1/(\tau_{ther} + \tau_{diff} + \tau_{cap}) + 1/\tau_{tun}]^{-1}$ 로 모델링하였고, 우물로부터 SCH로의 thermionic emission은 고려하지 않았다. LD 구조에는 In_{0.17}Ga_{0.23}As_{0.41}P_{0.19} (70Å, 1% compressive strained) 우물에, 두 가지의 물질(In_{0.52}Ga_{0.41}As_{0.36}P_{0.42}, In_{0.38}Ga_{0.33}Al_{0.11}As 70Å, 1% tensile strained)을 전위장벽으로 사용하여 비교하였다.

그림 1은 일정한 bias 전류를 인가했을 때 광출력의 시간에 대한 변화를 나타내고 있다. 전위장벽의 높이가 낮은 InGaAlAs barrier의 경우 더 빨리 정상상태에 도달하며 turn-on delay도 짧은 것을 볼 수 있다. 그림 2,3은 이 때 각 우물에서 홀 농도의 시간에 대한 변화를 보여주고 있다. 그림에서 높은 농도를 나타내는 선이 P접합에 가까운 우물(QW1)에 해당한다. InGaAlAs barrier의 경우(그림 2), 전류의 주입이 일어나면 모든 우물의 홀 농도가 동시에 증가하며, 정상상태에서도 우물간의 홀 농도가 비교적 균일한 것을 볼 수 있다. 그러나, InGaAsP barrier의 경우(그림 3), 우물간의 캐리어 전송이 일어나는 평균 시간이 길기 때문에 전류의 인가 후 N접합에 가까운 우물(QW6)의 농도는 오히려 더 낮아지는 경향을 보인다. 이 때 QW1-QW3에서 생성된 광자의 영향으로 QW4-QW6의 홀 농도가 높아지는 현상을 볼 수 있다.

이러한 우물간 캐리어 전송 문제는 주파수 응답에도 영향을 미치게 되어 그림 4에서 볼 수 있듯이 InGaAlAs barrier의 경우가 InGaAsP barrier의 경우보다 더 높은 변조속도를 갖게된다.

위의 결과에서 볼 수 있듯이 다중 양자 우물 구조에서는 우물간 캐리어 전송이 turn-on delay 특성 및 LD 변조 속도에 중대한 영향을 끼칠 수 있으며, 본 연구에서 시도된 새로운 방법은 이를 정확하고 간편하게 해석할 수 있다.

참고문헌

- [1]S. Weisser et al, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 8, No. 5, pp. 608-610, 1996
- [2]Y. Matsui et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, No. 1, pp. 25-27, 1997
- [3]H. Tsuchiya et al, Physica, vol. B227, pp. 411-414, 1996
- [4]N. Tessler et al, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 5, No. 3, pp. 291-293, 1993
- [5]R. Nagarajan et al, IEEE Appl. Phys. Lett., vol. 59, No. 15, pp. 1835-1837, 1991

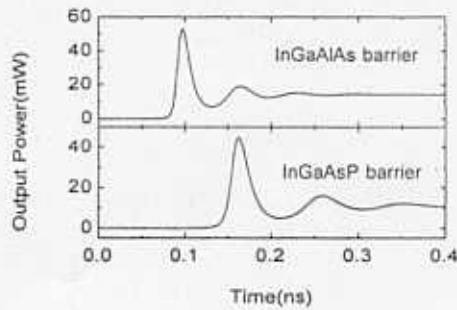


그림 1. Bias 전류(10mA) 인가시 광출력의 시간에 대한 응답

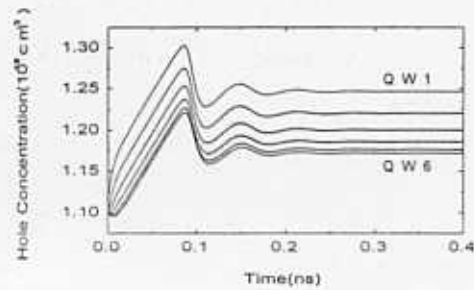


그림 2. Bias 전류(10mA) 인가시 우물에서 홀농도의 시간에 대한 변화 (InGaAsP/InGaAlAs 우물수:6)

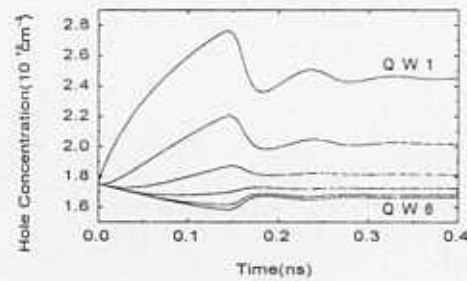


그림 3. Bias 전류(10mA) 인가시 우물에서 홀농도의 시간에 대한 변화 (InGaAsP/InGaAsP 우물수:6)

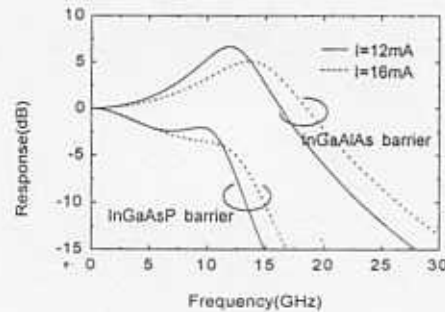


그림 4. Bias 전류 변화에 따른 주파수 응답