

GaInNAs 양자우물의 광이득 특성

Optical gain characteristics of GaInNAs quantum well

김창규, 이용희

한국과학기술원 물리학과

ckkim@bomun.kaist.ac.kr

1.3 μm 파장의 빛을 방출하는 GaInNAs 양자우물은 중·단거리 통신과 interconnection 시스템의 광원으로 주목받는 매질이다. 이 물질은 GaAs 기판 위에 성장 가능하므로 전기적·광학적 성질이 우수한 GaAs/AlGaAs 반사경을 이용할 수 있으며, 특히 전도 대역에서 에너지 장벽이 높아 전자의 손실이 적기 때문에 온도 특성이 우수할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 GaInNAs 양자우물의 광이득과 온도의존성을 계산하고, InGaAlAs와 InGaAsP 양자우물의 광이득과 비교하여 설명하였다.

GaInNAs의 밴드 구조는 Shan⁽¹⁾과 Hader⁽²⁾의 모델을 이용하여 계산하였다. 이 모델에서는 N의 에너지 준위가 GaInAs의 가전자 대역과는 서로 영향을 주지 않으며, 오직 GaInAs의 전도 대역과 상호 작용하여 GaInNAs의 전도 대역 에너지 준위들을 만들어낸다.

$$H = \begin{bmatrix} E_{\text{GaInAs}}(T) & V_{NM} \\ V_{NM} & E_N \end{bmatrix}$$

$E_{\text{GaInAs}}(T)$, E_N 은 GaInAs의 전도 대역과 N의 에너지 준위를, V_{NM} 은 이들 사이의 상호작용을 나타내는 항이다. 이 Hamiltonian을 이용하여 계산한 결과, 전도 대역의 밴드 모양이 가전자 대역의 밴드 모양에 보다 가까워지고, 전자의 유효질량도 정공의 유효질량과 비슷한 정도까지 증가한다. 따라서, 동일한 변형(1%)이 가해진 경우, GaInNAs의 미분이득이 가장 크게 나타났다. 이로부터 수직공진 표면광 레이저와 같이 큰 이득을 필요로 하는 응용분야에서 GaInNAs가 낮은 문턱전류와 고속 변조특성을 제공하는 장점을 갖는다.

각 물질의 온도특성을 알아보기 위해서, Barshni 모델에 따라 여러 온도에서 에너지 밴드와 광이득을 계산하였다. GaInNAs는 양자우물과 barrier 사이에 에너지 준위의 차가 크고, 이 중에서 80%가 전도대역에 가해지므로 다른 두 물질에 비하여 전자가 느끼는 에너지 장벽이 3배 이상이 된다. 이로 인하여 온도에 따라 문턱 전류밀도가 가장 적게 변하는 장점을 지닌다. 또한, 온도에 관계없이 항상 일정한 N 준위와 온도에 따라 변화하는 GaInAs의 전도대역이 상호작용⁽³⁾하여 만들어지는 에너지 준위는 GaInAs보다 온도의존성이 적기 때문에, 온도의 변화에 따른 파장의 변화도 적다. 수직공진 표면광 레이저의 경우 발진 파장은 공진 모드에 의해 결정되는데, 공진 모드와 최대 이득 파장 사이의 간격이 다른 물질에 비하여 적기 때문에 공진 모드에서 광이득의 감소가 적다. 이 두개의 장점이 합쳐져서 GaInNAs 수직공진 표면광 레이저의 온도 의존성을 크게 감소시킬 것으로 기대된다.

이 밖에도 GaInNAs의 굴절률이 높으므로, 측면광 레이저 구조에서도, 광 모드의 confinement factor를 향상시켜 광이득과 미분이득을 증가시키는 장점을 가지고 있다.

1. W. Shan, W. Walukiewicz, J. W. Ager III, E. E. Haller, J. F. Geisz, D. J. Friedman, J. M. Olson, and S. R. Kurtz, "Band anticrossing in GaInNAs alloys", Phys. Rev. Lett. 82, 1221 (1999)
2. J. Hader, S. W. Koch, J. V. Moloney, and E. P. O'Reilly, "Gain in 1.3 μm materials: InGaNAs and InGaPAs semiconductor quantum-well lasers", Appl. Phys. Lett. 77, 630 (2000)
3. I. Suemune, K. Uesugi, and W. Walukiewicz, "Role of nitrogen in the reduced temperature dependence of band-gap energy in GaNAs", Appl. Phys. Lett. 77, 3021 (2000)

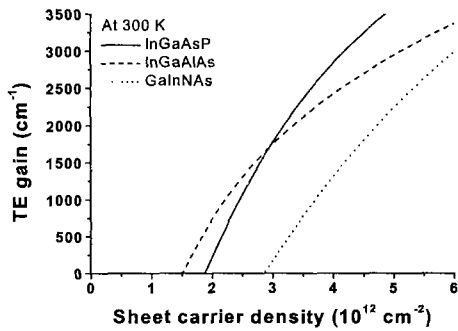


그림 1. 300K에서 전하밀도에 따른 최대 이득

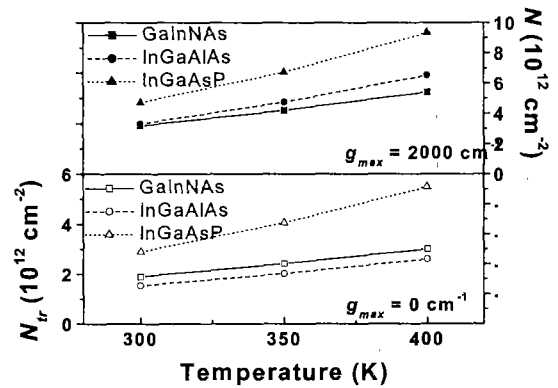


그림 2. $g = 0 \text{ cm}^{-1}$ 과 2000 cm^{-1} 일 때의 분극 전하밀도 변화

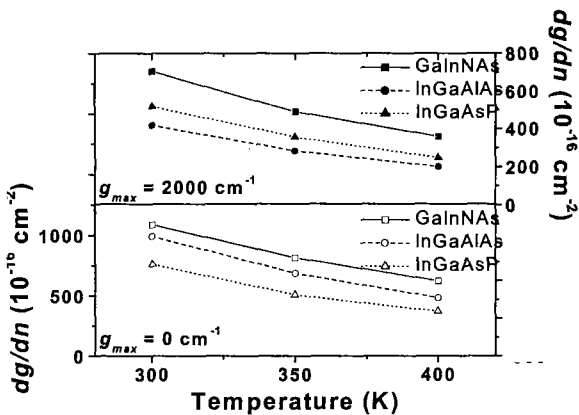


그림 3. $g = 0 \text{ cm}^{-1}$ 과 2000 cm^{-1} 일 때의 미분 이득 변화

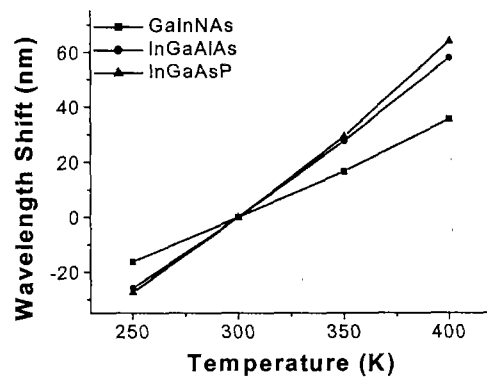


그림 4. 온도에 따른 최대이득 파장의 변화

F E