

Strain에 따른 AlGaN QW LD의 발광특성 해석

Analysis of emission spectrum of strained AlGaN QW LD

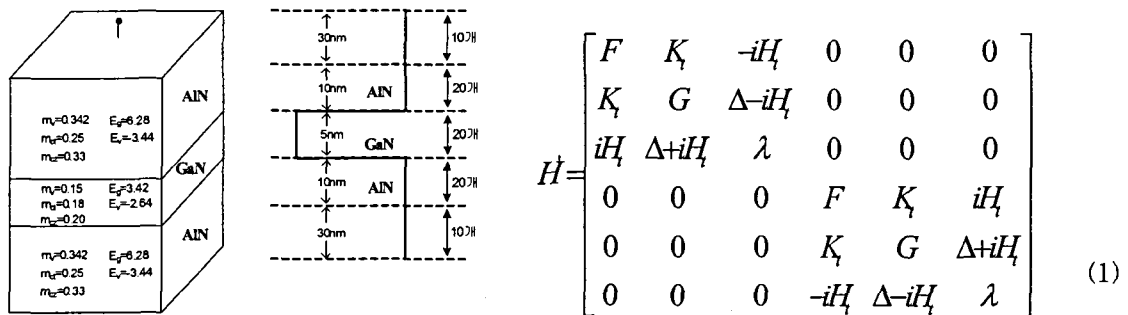
김종대, 이종창
 홍익대학교 전자전기 공학부
 nicelife30@mail.hongik.ac.kr

Abstract We have presented a comprehensive effective-mass Hamiltonian for strained Wurtzite semiconductors using $k \cdot p$ method and Kane's model. This theoretical groundwork provides a foundation for investigating the electrical and optical properties of wurtzite strained quantum-well lasers

넓은 band-gap을 가지는 GaN, AlN, InN 반도체와 이러한 3가지 이상의 물질로 구성된 반도체 화합물 들은 요즘 들어 상당한 관심을 받고 있으며, Nitride를 기본으로 하는 고휘도 blue-green LED와 blue-green LD (Laser Diode) 제작의 성공은 반도체의 성장과 특성, 전자부품의 응용연구에 집약적인 발전을 가져올 것이다. 이러한 3족 nitride들은 일반적으로 sapphire나 hexagonal 기판에서 Wurtzite Structure로 성장되기 때문에 Wurtzite Structure를 이해하는 것은 GaN를 기본으로 이루어진 광전자 물질이나 소자들의 전자적 광학적 특성을 이해하는데 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 $k \cdot p$ method를 기본으로 Wurtzite Structure에서 Strained QW을 해석하기 위한 Hamiltonian-matrix를 유도하였으며 crystal-field splitting energy와 spin-orbital energy, interband momentum -matrix elements과 같은 band-edge parameter를 정의하였다. 그리고, 6×6 Hamiltonian matrix을 정리한 후 이를 두 개의 3×3 matrix로 Block-Diagonalizaion하였다. 그리고 마지막으로 Conduction band에서의 E-k diagram과 Valence band의 intermixing 효과를 나타내었다.

본 연구에서 해석하기 위해 사용한 기본 구조는 그림.1 과 같다. 그리고 이러한 구조에서 Strain effect를 고려한 후 Block-Diagonalizaion을 해서 구한 Hamiltonian은 다음의 식(1)과 같다.



[그림.1] 본 연구의 기본구조

여기에서 각 parameter에 들어가는 k_z 값을 편미방하여 아래 식(2)처럼 정리하였다.

$$H' = \frac{\partial}{\partial z} H_{z2} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2} \left\{ H_{z1} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} H_{z1} \right\} + H_{z0} \tag{2}$$

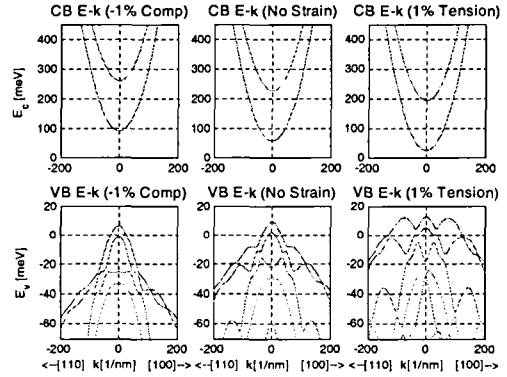
그리고 H' 과 식(3)을 이용하여 CB와 VB의 wave function과 E-k Diagram을 구하였다.

$$\langle \Psi_{c,v} | H_{c,v} | \Psi_{c,v} \rangle = E_{c,v} \langle \Psi_{c,v} | \Psi_{c,v} \rangle \quad (3)$$

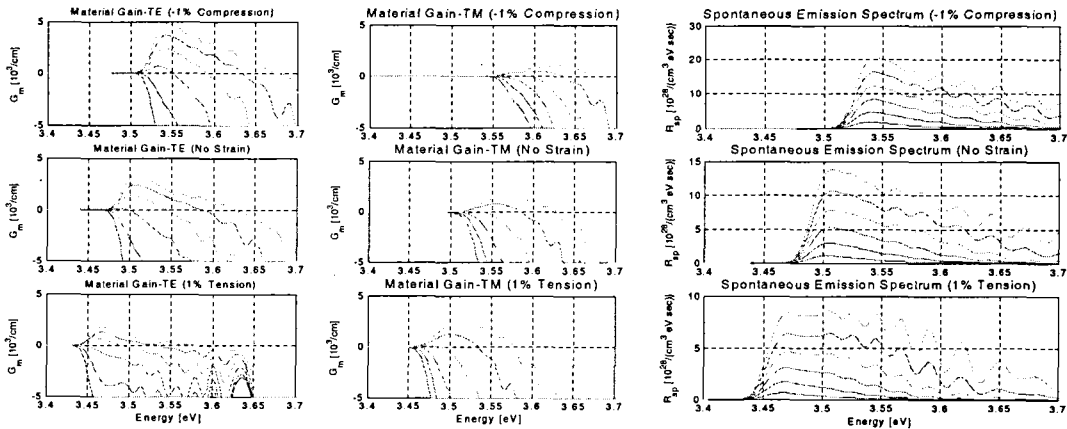
특히, VB에서 $6n \times 6n$ Hamiltonian matrix를 $3n \times 3n$ block diagonal matrix로 조정하면 다음 식(4)와 식(5)처럼 표현된다.

$$\begin{matrix} \dots & \dots & 3n-2 & 3n+1 & 3n+4 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & U_{h-2n-2}^{3 \times 3} & U_{h-2n-1}^{3 \times 3} & 0 & 0 & 0 & \dots & \Psi_{v/n-2}^{3 \times 1} \\ \dots & U_{h-1n-2}^{3 \times 3} & U_{h-1n-1}^{3 \times 3} & U_{h-1n}^{3 \times 3} & 0 & 0 & \dots & \Psi_{v/n-1}^{3 \times 1} \\ \dots & 0 & U_{hn-1}^{3 \times 3} & U_{hn}^{3 \times 3} & U_{h+n}^{3 \times 3} & 0 & \dots & \Psi_{v/n}^{3 \times 1} \\ \dots & 0 & 0 & U_{h+1n}^{3 \times 3} & U_{h+1n+1}^{3 \times 3} & U_{h+1n+2}^{3 \times 3} & \dots & \Psi_{v/n+1}^{3 \times 1} \\ \dots & 0 & 0 & 0 & U_{h+2n+1}^{3 \times 3} & U_{h+2n+2}^{3 \times 3} & \dots & \Psi_{v/n+2}^{3 \times 1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \quad (4)$$

$$L_v^{3n \times 3n} \cdot \Psi_v^{3n} = E_v \cdot M_v^{3n \times 3n} \cdot \Psi_v^{3n} \quad (5) \quad [\text{그림.2 Strain에 따른 CB,VB E-k diagram}]$$



윗 Formulation을 이용하여 CB와 VB에서의 여러 가지 Strain Effects에 따른 E-k Diagram을 구한 결과는 그림 2와 같다. 또한 Strain Effects에 따른 TE-mode와 TM-mode에서의 Material Gain의 변화(그림 3)와 Spontaneous Emission Spectrum(그림 4)은 다음과 같다.



[그림.3 Strain에 따른 Material Gain(TE,TM)] [그림.4 Strain에 따른 Spontaneous Emission]

참고문헌

- (1) S. L. Chuang, IEEE J.Quantum Electronics. Vol.32, No. 10, 1791 (1996)
- (2) Jong Chang Yi and Nadir Dagli, IEEE J. Quantum Electronics. Vol. 31, No.2, 208-218 (1995)
- (3) S. L. Chuang and C. S. Chuang, Phys. Rev. B 54, 2491 (1996)

