

ZnS_{0.24}Se_{0.76}의 photoreflectance 특성 연구

유재인* · 김동렬* · 이제훈**

*영남대학교 물리학과

**한국기계연구원 레이저응용시스템그룹

Study of the characteristic of ZnS_{0.24}Se_{0.76}/GaAs heterostructure by photoreflectance

J. I. Yu*, J. H. Lee* and D. L. Kim**

*Department of Physics, Yeungnam University, Kyongsan 712-749

**Korea Institute of Machinery & Materials Laser Application Group, Daejeon 171

Abstract

In this research, we investigated the characteristic of ZnS_{0.24}Se_{0.76}/GaAs heterostructure by using photoreflectance spectroscopy(PR). The oscillations observed above the 1.43 eV range were attributed Franz-Keldysh effect. The interface electric field of GaAs/ZnS_{0.24}Se_{0.76} is 2.153×10^4 V/cm.

1. 서 론

LED의 재료는 직접천이형(direct transition)과 간접천이형(indirect transition) 반도체로서 구별할 수 있다. 반도체 에너지 구조에서 전도대의 전자가 가전대의 정공과 결합할 때 에너지 방출하게 된다. 이 에너지는 주로 열이나 빛의 형태로 방출되게 된다. 간접천이형은 열과 진동으로서 수평천이가 포함되어 있어서 효율 좋은 발광

천이를 이루기에는 부적당하고, 직접천이형은 모두 발광으로 이루어지기 때문에 LED 재료로서 좋은 재료라고 할 수 있다¹⁾. 따라서 수직천이가 일어나는 에너지 폭은 반도체 결정 구조의 고유한 특성인 에너지갭(Eg)에 따라 결정하게 된다. 적색 LED의 경우에는 GaAs와 AlAs의 혼합 결정인 GaAlAs, GaAs와 GaP의 혼합 결정인 GaAsP가 주로 사용되어 왔다. 그리고 녹색 LED는 AlP와 GaP가 가장 좋지만 AlP

는 가장 산화하기 쉬운 원소로서 공기 중에서는 존재하기 어렵다. 이 발광영역에서는 처음부터 GaP 중심으로 구현되어 왔다. 반면에 청색 LED는 가장 실현하기 어려웠던 색으로 처음에는 SiC, GaN, ZnSe 등 세 가지 물질이 주목을 받았다. 그러나 SiC는 간접천이형 물질이고, ZnSe나 GaN는 직접천이형 반도체로서 SiC는 고휘도 LED 구현에는 적합하지 않은 물질로 판명되었다. GaN은 In의 조성비에 따라 적색에서 near UV까지 발광할 수 있는 InGaN의 박막 성장이 가능함에 따라 고휘도 청색 및 녹색 LED의 출현이 가능하게 되었지만 비용이 많이 드는 단점이 있다. II-IV족인 ZnSe는 ZnSe 기판을 이용해 ZnTe, CdS 등과의 다원계 박막 성장을 통해 고휘도 청색 및 녹색 LED를 구현하고 있으나, 소재의 신뢰성이 떨어져 문제점을 안고 있는 실정이다. 이에 문제점을 개선하려는 연구가 진행 중이다. 비용이 저렴한 장점에 ZnSe와 ZnSe와 관련된 재료들은 blue-green diode laser 등의 제작연구에도 현재까지 많이 연구하고 있다^{2,3,4)}.

본 연구에서는 molecular beam epitaxy (MBE)로 성장한 $\text{ZnS}_{0.24}\text{Se}_{0.76}/\text{GaAs}$ 의 photoreflectance 특성을 연구하고자 한다.

2. 실험

본 연구에 사용된 시료는 MBE법으로 n-GaAs 위에 에피층으로 $\text{ZnS}_{0.24}\text{Se}_{0.76}$ 를 3000 Å 성장하였다. 시료의 특성을 조사하기 위하여 비 접촉, 비파괴 특징을 가진 변조 분광법중의 하나인 Photoreflectance 법으로 측정, 분석 하였다. 이 실험의 측정 조건은 pump beam으로 He-Cd(442 nm) 레이저를 사용하였고, 주파수는 광 단속기를 사용하여 변조시켰다. 그리고 광원

으로는 250 W의 텅스텐-할로겐 램프를 사용하였으며, 초점거리가 0.27 m인 단색화 장치를 통하여 나온 probe 광을 시료에 입사시켜 이때 반사된 광을 실리콘 광 검출기로 검출하였다. 광 검출기에서 검출된 신호는 증폭기(pre-amplifier)를 통해 증폭 후 lock-in amplifier로 규격화된 변조 반사율($\Delta R/R$)을 구한 후 PC로 통해 스펙트럼으로 나타내었다.

3. 결과 및 논의

그림 1은 300 K에서 측정한 $\text{ZnS}_{0.24}\text{Se}_{10.76-x}/\text{GaAs}$ 의 PR 스펙트럼이다. 이 스펙트럼에서 3차 미분형태 방식(TDFF)으로 피팅한 결과 GaAs(E_g ; A)와 $\text{ZnS}_{0.24}\text{Se}_{0.76}$ 의 LH(light hole; B) 및 HH(heavy hole; C)의 에너지는 각각 1.42, 2.74, 2.95 eV 이었다. 1.423 eV 이상의 에너지 대역에서 관측된 신호(AR)는 Franz-Keldysh oscillations (FKOs) 신호들이 중첩되어 완만하게 나타난 결과로 보여지며 M. E. Constantino⁵⁾

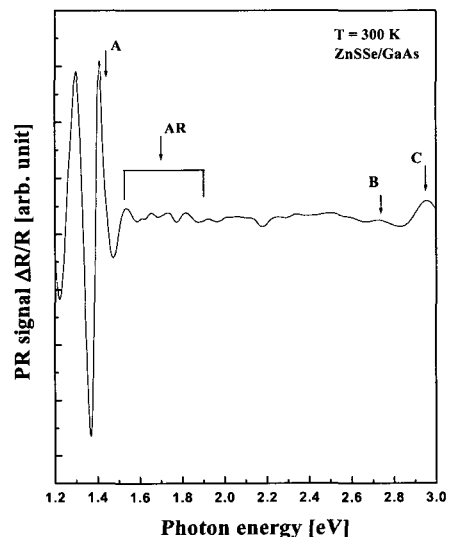


Fig. 1 PR spectrum of $\text{ZnS}_{0.24}\text{Se}_{0.76}/\text{GaAs}$ heterostructure

등도 이러한 신호를 관측하였다. 보통 반절연성 및 도핑 되지 않은 시료에서는 FKO 신호가 관측되지 않는데 이는 내부 전기장이 작기 때문이다. 따라서 여기서 관측된 FKO 신호는 계면 효과로 인해서 전기장이 증가되기 때문이다. 그림 2는 아래 식1를 이용하여 E_j 와 F_j를 구하여 그래프를 그린 것이다.

$$E_j = \hbar\Omega(F_j) + E_g \quad (1)$$

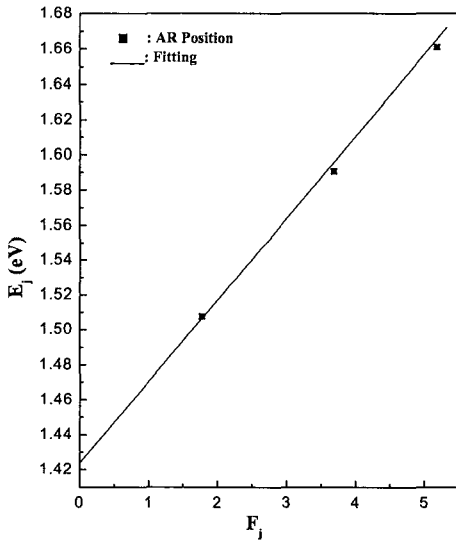


Fig. 2 Plot of E_j vs F_j from the Franz-Keldysh oscillations(FKOs)

여기서 $\hbar\Omega$ 는 접동특성 에너지이며, E_g는 밴드갭 에너지이다. 이를 사용하여 GaAs와 ZnS_{0.24}Se_{0.76}사이의 계면의 전기장을 구한 결과 2.153×10^4 V/cm 였다.

ZnS_{0.24}Se_{0.76}에서 LH 신호는 완만한 형태를 띠는 반면에 HH는 뚜렷하게 관측되었다. 이는 ZnS_{0.24}Se_{0.76}는 ZnSe 보다 격자 부정합이 더 크고 기판과의 strain 영향이 더 크기 때문이다.

그림 3는 ZnS_{0.24}Se_{0.76}에서 HH와 LH를 구하기 위해 피팅 한 스펙트럼이다. 여기서

사용한 피팅 식2 는 아래와 같다.

$$\frac{\Delta R}{R} = \text{Re} \sum_{j=1}^P C_j e^{i\theta_j} (E - E_{gj} + i\Gamma_j)^{-n} \quad (2)$$

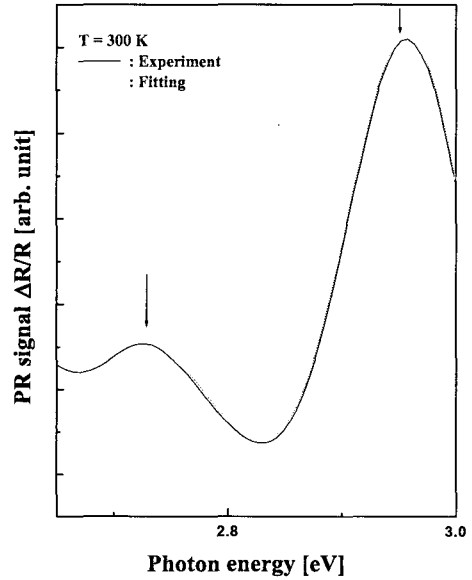


Fig. 3. Fitting graph about LH and HH in the ZnS_{0.24}Se_{0.76}/GaAs heterostructure

식 (2)에서 R은 반사(reflectance)이고 ΔR은 변조된 빔에 의한 반사에 의한 차이, E는 광 에너지, P는 스펙트럼의 데이터 총수를 나타낸다. E_{gj}, Γ_j, C_j, θ_j는 각각 밴드갭 전이 에너지, 평탄인자, 진폭 및 위상을 나타낸다. 또한 E_{HH}와 E_{LH}의 전이 에너지 계산은 아래의 식으로 나타낼 수 있다⁶⁾.

$$E_{HH} = E_g + \delta E_h - \delta E_s \quad (3)$$

$$E_{LH} = E_g + \delta E_h + \delta E_s$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\Delta_0 - \delta E_s - \sqrt{(\Delta_0 - \delta E_s)^2 + 8\delta E_s^2} \right] \quad (4)$$

여기서 δE_h , δE_s , Δ_0 는 각각 변형을 받지 않을 때의 가전자대의 에너지와 변형을 받았을 때의 가전자대의 에너지 및 가전자대의 spin-orbit splitting을 나타낸다. 보통 LH와 HH의 비율(I_{HH}/I_{LH})은 이론적으로 3이 나오는데⁷⁾, 본 실험값도 거의 근사한 3.02 였다.

그림 4는 변조빔 세기에 따른 PR 스펙트럼 세기를 나타낸 것이다 여기서 GaAs 및 ZnS_{0.24}Se_{0.76} 부근의 신호의 형태는 변하지 않는 반면 변조빔 세기가 증가 할 수록 스펙트럼의 세기는 증가하였다. 이는 변조빔 세기가 증가할 수록 시료의 밴드 휨이 커지고 이로 인해 전기장 값이 증가되기 때문이다.

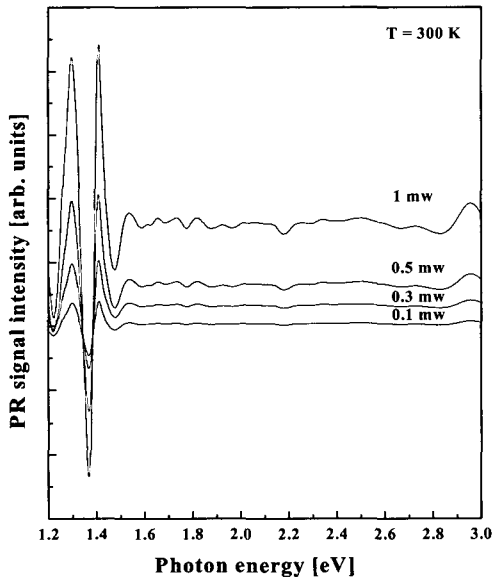


Fig. 4 PR spectra of ZnS_{0.24}Se_{0.76}/GaAs heterostructure as a function of laser power

4. 결 론

ZnS_{0.24}Se_{0.76}/GaAs를 상온에서 PR 방법으로 측정, 분석하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. ZnS_{0.24}Se_{0.76}의 스펙트럼을 3차 미분형태 방식(TDFF)으로 피팅한 결과 GaAs (E_g)와 ZnS_{0.24}Se_{0.76}의 LH(light hole) 및 HH(heavy hole)의 에너지는 각각 1.42, 2.74, 2.95 eV 이었다.
2. LH 신호는 완만한 형태를 띠는 반면에 HH는 뚜렷하게 관측 되었다. 이는 ZnS_{0.24}Se_{0.76}는 ZnSe 보다 격자 부정합이 더 크고 기판과의 strain 영향이 더 크기 때문이다.
3. LH와 HH의 비율(I_{HH}/I_{LH})은 3.02 였다.

참고문헌

1. G. Sun, K. Shahzad, J. M. Gaines, and J. B. Khurgin, Appl. Phys. Lett. 59, 316 (1991)
2. C. A. Zmudzinski, Y. Guan, and P. S. Zory, IEEE Photon. Technol. Lett. 2, 94 (1990)
3. J.J. Davies, D. Wolverson, O.Z. Karimov, I.J. Griffith, J. Crystal Growth. 214/215, 616(2000)
4. J. Goldberger, R. He, Y. Zhang, et al, Nature 422, 599 (2003)
5. M. E. Constantino, H. Navarro-Contreras, B. Salazar-Hernandez, M. A. Vidal, A. Lastras-Martinez, M. Lopez-Lopez and I. Hernandez-Calderon, J. Appl. Phys. 86, 425 (1999)
6. T. Tao, Y. Okada, S. Matsui, K. Ishida, and I. Fujimoto, J. Cryst. Growth. 81, 518 (1987)
7. S. Fujiwara, H. Morishita, T. Kotani, K. Matsumoto, and T. Shirakawa, J. Cryst. Growth. 186, 60 (1998)