

III-V 화합물반도체에서의 He-Ne Laser를 활용한 광 특성 연구

유재용[✉], 최경수, 최순돈

영남대학교 신소재공학과

The study of characteristic III-V compound semiconductor by He-Ne laser

Jae-Yong Yu, K.S. Choi, Son Don Choi

Department of Engineering material, Yeungnam University

Abstract

The optical properties of III-V compound semiconductor structure was investigated by photoreflectance (PR). The results show two signals at 1.42 and 1.73eV. These are attributed to the bandgap energy of GaAs, AlGaAs, respectively. Also, AlGaAs region showed weak signal. This signal is attributed to carbon or si defect.

Keywords: Photoreflectance(광반사), Laser(레이저), Semiconductor(반도체), Heterojunction(이종접합), GaAs (갈륨비소)

1. 서론

일반적으로 III-V족 화합물 반도체의 근간이 되는 소재는 GaAs가 많이 알려져 있다. 또한 이러한 GaAs 소재를 이종접합으로 구현한 AlGaAs, InGaAs 등의 소재도 많이 알려져 있다. 또한 이러한 화합물 반도체에서 중요한 것은 LED 등 광학 소자로 사용될 때, 소재의 광학적 특성이 중요하다. 따라서 화합물반도체의 광학적 특성을 좋게 하기 위하여, 후처리 공정을 추가하거나 소재 성장 시 결함(defect)을 줄이기 위한 공정 개선 등 여러 방법을 사용하고 있다¹⁻³.

그리고 반도체 시료의 광 특성을 연구하는데 사용되는 광 변조 분광법 중에서 특히 photoreflectance (PR)과 photoluminescence(PL) 등이 많이 사용되어 왔다. PR 법은 반도체의 특성을 연구하는데 있어서 비접촉적, 비파괴적이며 반도체 결정에서의 소수캐리어의 농도 및 표면 전기장의 변화 등을 측정하는데 용이하다.

본 연구에서는 화합물 반도체에서의 중요한 소재인 AlGaAs/GaAs 시료를 앞에서 언급한 PR 방법으로 광 특성을 분석하고자 한다.

2. 실험

본 연구에서 시료는 molecular beam epitaxy(MBE) 법으로 반절연성 GaAs(100) 기판 위에 성장온도(T_G) 600°C에서 성장된 AlGaAs 에피층의 구조인 AlGaAs/GaAs 구조의 샘플을 사용하였으며, 이 구조를 나타내면 Fig. 1과 같다.

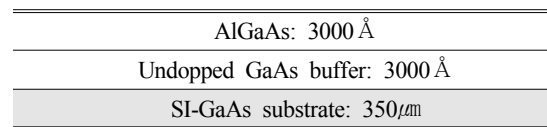
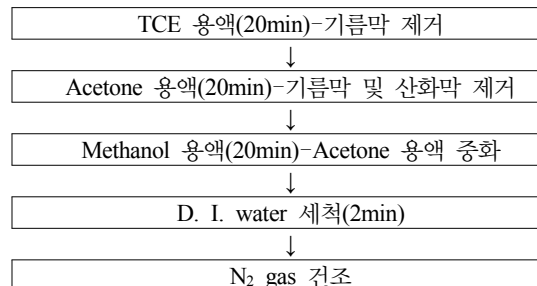


Fig. 1 AlGaAs/GaAs heterostructure.

또한 시료의 광 특성을 측정하기 위하여 측정 홀더에 맞게 7mm×7mm 으로 자른 뒤 흐르는 탈이온수로 절단시 묻은 조각들을 잘 제거한 다음, Table 1과 같은 순서로 세정을 하였다.

Table 1 세정 순서



투고일 : 2013년 2월 28일 심사완료일 : 2013년 3월18일
 게재승인일 : 2013년 3월 20일
 교신저자 : 유재용 ✉ yji5945@ynu.ac.kr

3. 실험 결과 및 분석

Fig. 2는 AlGaAs/GaAs 시료를 300K에서 측정 한 PR 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 주된 신호가 크게 두 개로 나타나는데, 1.42eV 부근에서 나타나는 신호의 근원은 GaAs에 의한 신호로 알려져 있고, 1.73eV 부근에서 나타난 신호는 AlGaAs에 의한 신호로 알려져 있다.

이 두 신호의 정확한 밴드갭 에너지를 알아내기 위하여 점선에서 나타난 것과 같이 third derivate function form(TDFF) 피팅을 하였으며, 그 결과 GaAs는 1.42eV, AlGaAs는 1.73eV의 밴드갭 에너지를 가지는 것을 알았다. 또한 AlGaAs의 신호가 GaAs 신호의 크기보다 30% 정도 작은 것을 볼 수 있다. 이는 AlGaAs/GaAs 이종접합구조에서 기판이 되는 GaAs 시료가 차지하는 비중이 크기 때문이며 펌핑 빔으로 사용되는 He-Ne laser(632.8nm)의 시료의 침투 깊이가 기판 소재의 상당부분 침투하기 때문에 AlGaAs 에피층의 신호보다 기판의 신호가 더 크게 관측 된다. 또한 신호의 형태에 있어서는 AlGaAs 신호가 대부분 GaAs 신호의 반전형태를 띠며 일부 shoulder 신호가 관측된다. 이 shoulder 신호를 통해 여러 결함 및 strain^{4,6}을 알 수 있다.

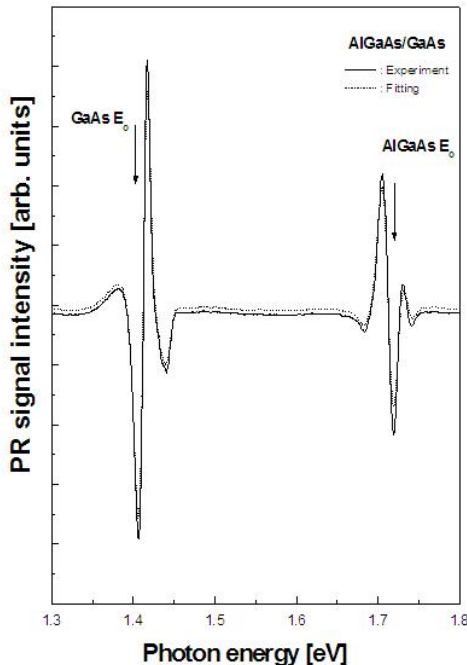


Fig. 2 PR spectrum of AlGaAs/GaAs in the 300 K.

Fig. 3은 PR 신호에서 GaAs 영역만 나타낸 스펙트럼이다. 여기서 1.38eV 부근에서 완만한 형태가

아닌 볼록 형태의 신호가 부각이 된 것을 볼 수 있다. 이는 고전기장 영역에서 나타나는 PR의 전형적 스펙트럼이다⁷⁻⁸. 또는 이종접합구조 시 lattice mismatch에 의한 strain 영향에 의해 나타나는 현상으로도 볼 수 있다. 이는 규명하기 위하여 TDFE 피팅과 가우스 함수를 이용하여 피팅 한 결과 후자에 더 가깝다는 것을 알 수 있었다. 보통 전자의 경우에는 굴곡 현상에 하나의 단순한 스펙트럼을 가져야 하는데, 후자의 경우에는 2개 이상의 신호가 중첩이 되어 나타나기 때문이다. 또한 1.45eV 부근에서 신호의 형태가 비대칭인 것을 볼 수 있으며, 신호의 deep 부분에서 shoulder 신호가 나타나는데 이는 기판인 SI-GaAs 소재에 AlGaAs 에피층을 성장할 때 나타나는 격자간의 미세한 정전기적 상호작용 즉 반발력에 의한 현상으로 보인다.

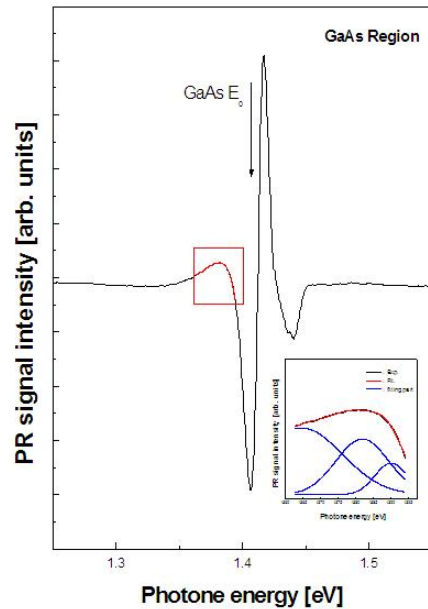


Fig. 3 GaAs region of PR signal in AlGaAs/GaAs heterostructure.

Fig. 4는 레이저 세기가 1-17mW 변화에 따른 AlGaAs/GaAs 시료의 PR 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 레이저 광의 세기가 증가할수록 PR 신호의 크기는 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 레이저 광의 세기가 증가 할수록 표면에 형성되는 전기장이 고전기장으로 변형되고 이는 반사율 차이를 크게 하므로 PR 신호가 크게 나타난다⁹⁻¹¹. 또한 AlGaAs 에피층에서 Al의 조성비를 구하기 위하여 아래 식을 사용하여 구한 결과 조성비는 25% 였다¹⁴⁻¹⁵.

$$E_g(x) = 1.424 + 1.427x + 0.041x^2 \quad (0 < x < 0.45)$$

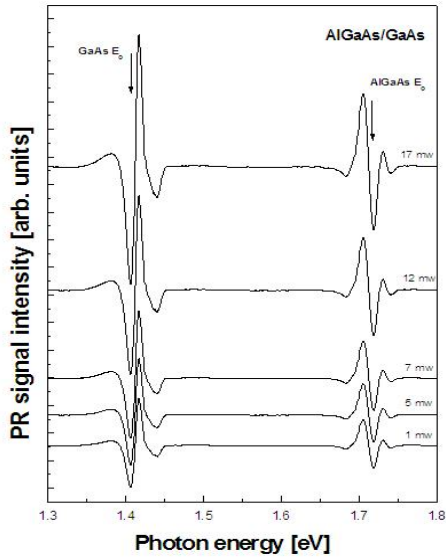


Fig. 4 PR spectra of AlGaAs/GaAs by the laser intensity (1~17 mW).

Fig. 5는 PR 신호에서 AlGaAs 영역만 나타낸 스펙트럼이다. 여기서 1.681eV 부근과 1.698부근에서 weak 신호가 관측 되었으며 이를 규명하기 위하여 TDFP 피팅을 하였다. 그 결과 이 두 신호의 원인은 소재의 성장 시 의도하지 않은 카본 또는 실리콘 관련 defect 신호로 보인다.

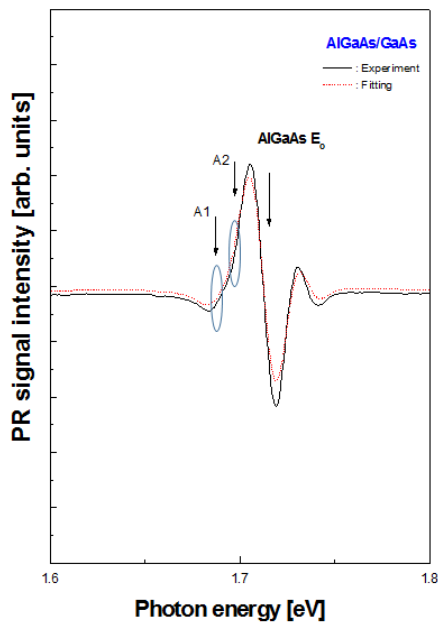


Fig. 5 AlGaAs region of PR signal in the AlGaAs/GaAs heterostructure.

Fig. 6은 열처리 온도에 따른 AlGaAs/GaAs 소재의 PR 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 열처리 온도가 증가할수록 신호의 세기가 감소하다가 다

시 증가 후 소멸되는 현상을 볼수 있다. 이러한 변곡점이 되는 온도는 그림에서 보는바와 같이 500℃이다. 이는 보통 소재의 성장 온도가 500℃이기 때문이다. 그리고 온도가 증가하여 1000℃에서는 신호가 소멸되는 현상이 발견되는데 이는 고온으로 갈수록 As가 증발 되면서 Ga가 상대적으로 증가하면서 발생하는 현상이다. 이는 소재가 반도체에서 금속화로 전이되기 때문에 반도체의 특성을 잃어가기 때문이다¹²⁻¹³.

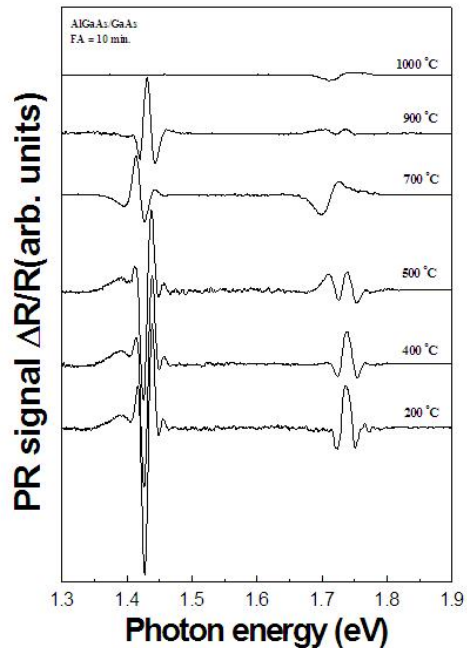


Fig. 6 PR spectra of AlGaAs/GaAs by the annealing.

4. 결론

AlGaAs/GaAs heterostructure 시료를 PR 측정을 통해 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) AlGaAs/GaAs의 밴드갭 에너지를 구한 결과 GaAs 및 AlGaAs는 각각 1.42, 1.73eV였다.
- 2) AlGaAs 영역에서 1.681eV 부근과 1.698 부근에서 weak 신호가 관측 되었으며 이 두 신호의 원인은 소재의 성장 시 의도하지 않은 카본 또는 실리콘 관련 defect 신호로 보인다.

References

- 1) H. Kito, H. Eisaki, A. Iyo, J. Phys. Soc. Jpn.

- 77, 063707 (2008).
- 2) X.H. Chen, T. Wu, G. Wu, R.H. Liu, H. Chen, D.F. Fang, *Nature (London)* 453, 761 (2008).
 - 3) J. Yang, Z.-C. Li, W. Lu, W. Yi, X.-L. Shen, Z.-A. Ren, G.-C. Che, X.-L. Dong, L.-L. Sun, F. Zhou, Z.-X. Zhao, *Supercond. Sci. Technol.* 21, 082001 (2008).
 - 4) C. Wang, L. Li, S. Chi, Z. Zhu, Z. Ren, Y. Li, Y. Wang, X. Lin, Y. Luo, S. Jiang, X. Xu, G. Cao, Z. Xu, *Europhys. Lett.* 83, 67006 (2008).
 - 5) C. de la Cruz, Q. Huang, J.W. Lynn, J. Li, W. Ratcliff II, J.L. Zarestky, H.A. Mook, G.F. Chen, J.L. Luo, N.L. Wang, P. Dai, *Nature (London)* 453, 899 (2008).
 - 6) I.I. Mazin, D.J. Singh, M.D. Johannes, M.H. Du, *Phys. Rev. Lett.* 101, 057003 (2008).
 - 7) M.A. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igari, W. Warta, *Solar cell efficiency tables(version 28)*, *Progr. Photovoltaics: Res. Appl.* 14, 455 (2006).
 - 8) N.J. Ekins-Daukes, K.W.J. Barnham, J.P. Connolly, J.S. Roberts, J.C. Clark, G. Hill, M. Mazzer, *Strain-balanced GaAsP/InGaAs quantum well solar cells*, *Appl.Phys. Lett.* 75, 4195 (1999).
 - 9) J.J. Lion, W.W. Wong, *Comparison and optimization of the performance of Si and AsGa solar cells*, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 28, 9 (1992).
 - 10) T.V. Torchynska, G.P. Polupan, *III-V material solar cells for space applications*, *Quant. Electron. Optoelectron.* 5, 63 (2002).
 - 11) C. de la Cruz, Q. Huang, J.W. Lynn, J. Li, W. Ratcliff II, J.L. Zarestky, H.A. Mook, G.F. Chen, J.L. Luo, N.L. Wang, P. Dai, *Nature (London)* 453, 899 (2008).
 - 12) I.I. Mazin, D.J. Singh, M.D. Johannes, M.H. Du, *Phys. Rev. Lett.* 101, 057003 (2008).
 - 13) M.A. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igari, W. Warta, *Solar cell efficiency tables(version 28)*, *Progr. Photovoltaics: Res. Appl.* 14, 455 (2006).