

레이저를 이용한 화합물 반도체연구

Investigation of compound semiconductor
by using laser

이 승 원, 최 용 팀, 권 오 대
포항공과대학 전자전기공학과

Abstract

Investigation of GaAs/AlGaAs QW was carried out by using PL and Absorption Spectroscopy.

In order to get high resolution (0.76 meV) and low noise, proper experimental system was set-up.

From measurements, we have deduced the properties of GaAs/AlGaAs QW, such as the residual impurity, well thickness, crystal quality, interface abruptness and well thickness uniformity. Also we can obtain other properties such as sub-band absorption by using Absorption Spectroscopy.

1. 서 론

대량의 정보를 고속으로 통신하거나 처리해야 할 정보화시대의 소재재료로서 III-V족 화합물 반도체의 연구가 진행되어 왔으며, 특히 광통신에 관계되는 발광소자, 수광소자, 광변조 및 광스위치와 광컴퓨터 및 광신호처리에 사용되는 병렬형 광소자 또는 초고주파에서 사용되는 고속 트랜지스터 등의 개발을 목표로 연구가 진행되어 왔고, 최근에는 각각의 소자의 효율성을 높이기 위하여 여러종류의 소자를 한 chip 위에 집적화하는 Opto-Electronic Integrated Circuit (OEIC) 에 관한 연구로 관심이 모여지고 있다. [1]

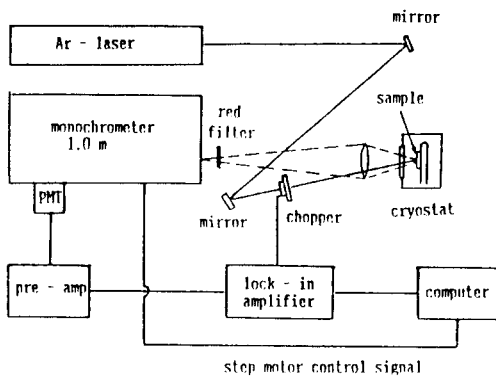
레이저를 이용한 화합물 반도체의 연구는 크게 두가지로 생각할 수 있는데, 첫째는 분광학으로서 흡수 및 발광되는 에너지를 관찰함으로써 금지대폭, 결정의 질, donor 및 acceptor 준위의 비교에 의한 불순물의 종류 및 양의 측정, sub-band의 에너지 준위 등을 알아 내는 물성분석이며, 둘째는 광화학(Photo-chemical)현상을 이용하여 증착, 에칭, doping, epitaxy, annealing등을 하는 공정이다. [2]

본 논문에서는 레이저 물성분석 중 PL(Photo-luminescence)과 Absorption Spectroscopy를 이용하여 최근 광소자 개발에서 주목되는 GaAs/AlGaAs Quantum-Well의 분석에 관하여 논하겠다.

2. GaAs/AlGaAs QW의 PL 및 Absorption 분석

Photoluminescence는 반도체의 e-h 재결합을 수반한 광학적 성질을 측정하는 기본적인 방법으로 천이 에너지 측정에 의한 에너지 준위의 결정, 고순도 반도체의 acceptor 준위 에너지의 측정에 의한 불순물의 분석, bound exciton의 FWHM 측정에 의한 결정질의 비교분석 등에 이용되어 왔으며, 최근에는 Quantum Well의 well층의 두께측정, 경계면의 급준성 및 기하구조 그리고 Multi Quantum Well (MQW)에서 각층들의 균일성 등을 측정하는데 이용되고 있다. [3]

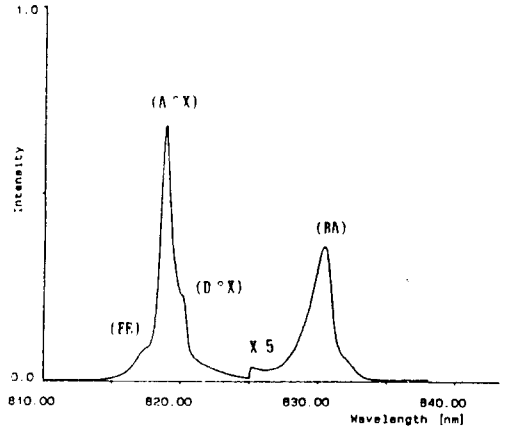
[그림 1]은 본 실험실에 설치된 PL 측정장치의 개략도이다. 일반적으로 Spectroscopy의 분해도는 시료자체의 분해능과 측정 장치의 분해능에 의해서 결정되는데 시료의 선풍은 온도를 낮춤으로써 가능하며 Helium 펌프를 이용한 폐쇄형 cryostat을 사용하면 10 k 정도까지 낮출 수 있으며 극저온 상태의 고분해 분광이 필요한 경우에는 개방형 cryostat을 사용하여 2K 까지라도 시료의 온도를 낮추기도 한다.



[그림 1] Photo-Luminescence 측정을 위한 실험장치의 개략도

측정장치의 분해능은 monochrometer의 분해능에 의해 결정되며, 선풍 $\Delta\lambda$ 는 monochrometer의 분산과 slit의 폭의 곱으로 나타나는데, 본실험실의 촛점거리가 1 m인 monochrometer의 분산은 $8\text{nm}/\text{\AA}$ 이고 slit의 폭은 $500\ \mu\text{m}$ 로 하였으며 따라서 $\Delta\lambda$ 는 4\AA ($0.76\ \text{meV}$) 였다. 분해능을 높이기 위하여 slit의 폭을 줄이면 검출기에 투입되는 luminescence의 양이 감소하여 sensitivity 및 noise 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위해서 검출기로는 Hamamatsu의 multi-Alkalian R955 Photomultiplier를 사용하였으며 chopping frequency가 200 Hz인 light chopper와 lock-in-amp 를 사용하여 noise를 제거하였다. 또 pumping 레이저에 의한 시료의 온도상승을 막기위해 pumping power를 $1\ \text{mW}/(10\text{W}/\text{cm}^2)$ 정도로 하였다.

[그림 2]는 고순도 GaAs 결정의 Bound exciton 및 Band to Acceptor(BA) 천이를 나타내는 PL spectrum ($T=12\text{K}$)



[그림 2] 고순도 GaAs bulk의 ($T=12\text{K}$) PL spectrum (X5)는 5배 확대된 비율

으로 exciton peak는 주peak인 Acceptor Bound exciton (A^0x)외에 Free Exciton (FE)과 DonorBound exciton (D^0x)으로 생각되고 3개 peak의 합으로 보이며, BA peak는 $1.494\ \text{eV}$ 에 있는 것으로 보아 carbon acceptor에 의한 것으로 생각되며 또(A^0x)의 FWHM이 $2\ \text{meV}$ 이하로 결정질이 양호함을 알 수 있다.

(W에서의 방출에너지 준위는 다음과 같은 식으로 표시되는데 E_g 는 GaAs의 에너지 갭, E_{ne} 는 conduction bound의 n번째 에너지 준위, E_{mh} 는 valance band의 m번째 에너지, 준위 E_{ex} 는 exciton의 binding 에너지이다.[4]

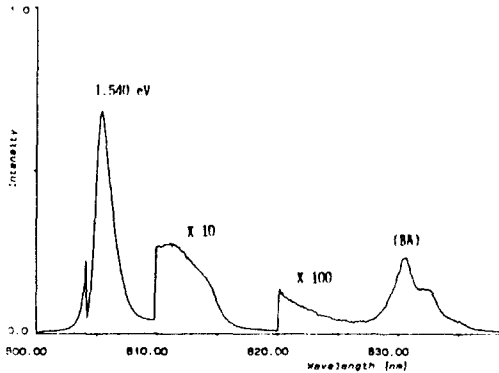
$$E_{nm} = E_g + E_{ne} + E_{mh} - E_{ex} \dots\dots(1)$$

위의 방출에너지를 결정하는 요소중 E_{ne} , E_{mh} , E_{ex} 은 모두 well 두께의 함수이며 따라서 위의 관계로 부터 PL peak의 에너지를 알면 well의 두께를 환산해 낼 수 있다.

또 well의 두께에 fluctuation이 있으면 각각의 well에서 나오는 luminescence의 파장변화에 따라 peak가 broad 해지므로 이 broadening 정도로 부터 각각 well 두께의 균일성도 알아낼 수 있다.

[그림 3]은 GaAs/AlGaAs MQW의 PL spectrum으로 peak가 1.540eV 에 있어 well층의 두께가 100\AA 임을 알 수 있으며

FWHM이 작은 것으로 보아 MQW를 이루고 있는 각각의 well의 두께가 균일함을 알 수 있다.



[그림 3] GaAs/AlGaAs MQW의 PL spectrum

(X10) (X100)은 각각 10배 100배로 확대된 비율
1.540 eV에 주 peak가 있고 1.494 eV에 carbon의 BA peak가 있다.

PL에 의한 분석은 보통 $n=1$ 천이만이 관측되므로, 여러 sub-band의 에너지준위 관찰 및 특히 흡수에 의해 소자의 특성이 결정되는 경우에 입사광의 에너지 변화에 따른 흡수계수의 측정은 반도체의 연구에 여러가지 정보를 줄 수 있다.

흡수계수의 측정방법은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 광을 시료에 직접 투과시켜 투과되는 광의 양을 측정하여 환산하는 방법과 (Absorption spectroscopy), [5] 둘째는 luminescence되는 광량이 흡수되는 광량에 비례함을 이용하는 Photoluminescence Excitation Spectroscopy(PLS) [3], 셋째는 p-i-n 광 검출기 구조에서 흡수되는 광량에 비례하여 증가되는 광전류의 측정으로부터 흡수계수를 환산해내는 방법 (Photo current Spectroscopy)이다. [6]

특히 Photo-current spectroscopy는 시료에 전장을 변화시켜 가면서 흡수계수를 측정할 수 있으므로 Quantum Confined Stark Effect, Electroreflectance 등의 실험과 연관된다. [5][7]

입사광의 에너지 변화에 따른 흡수계수 측정을 위해서는 파장가변 광원이 있어야 하는데 일반적으로는 텅스텐 lamp의 광을 monochrometer로 분광시켜 사용하거나 dye laser 등을 사용하여 왔으며 GaAs의 분석 영역에서는 Ti : sapphire tunable laser가 파장가변 영역도 넓고 효율도 좋아 앞으로 많이 쓰일 것으로 예상된다. [8] 또 high power의 pulse laser를 사용하면 흡수의 포화 현상을 관찰할 수 있으며, sub-pico second의 mode-locked 된 pulse laser를 사용하면 반도체내에서 생기는 transient effect 등에 관한 연구도 수행할 수 있다.[9]

3. 결 론

PL 및 Absorption Spectroscopy를 이용하여 GaAs/AlGaAs QW의 특성을 조사하였으며, PL 측정을 하기위한 실험장치에 관하여 간단히 설명하였다.

측정 분해도를 4 \AA (0.76 meV)로 하여 GaAs bulk 및 MQW을 PL로 관찰한 결과, 잔류불순물의 종류, 결정의 질 및 QW의 well층의 두께, 각 well의 급준성과 균일성을 알아낼 수 있었다. 또 Absorption Spectroscopy를 측정하면 sub-band absorption 등 추가로 필요한 정보를 얻을 수 있다.

4. 참고문헌

1. 권오대 외, "OEIC용 GaAs계 광스위치 개발", 과학기술처, (1989).
2. R.M. Osgood Jr., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 75, 3, (1987).
3. C. Weisbush et al., Solid State Commun., 38, 709, (1981).
4. C. Weisbush, "semiconductors and semimetals Vol. 24", p.53, (1987).
5. D.A.B. Miller et al., Phys. RevB, 32, 1043, (1985).
6. D.Yamanaka et al., "Modulated Semiconductor Structures", 250, (1986).

7. Y.Kan et al., "GaAs and Related Compound", 435, (1986).
8. "Spectra-Physics Review", No.3, p.6,(1989).
9. D.S. Chemla et al., J. Opt. Soc. Am. B, Vol.2, 1155, (1985).