

ZnTe 결정 및 ZnCdTe 양자우물구조에서의 결맞는 포논진동

Coherent phonon oscillations in bulk ZnTe and ZnCdTe MQW

윤석찬, 임용식*, 이기주, 오은순, 김대식, 안경원, 이재형, 이동한**
 서울대학교 물리학과, *전국대학교 물리학과, **충남대학교 물리학과
 sdlkfwpeorup@photon.snu.ac.kr

대표적인 II-VI족 극성 반도체 결정인 ZnTe[001]와 ZnCdTe MQW에서 시료의 에너지 띠보다 낮은 에너지의 펄스초 티타늄 사파이어 레이저를 이용하여 결맞는 포논을 발생시키고 그 특성을 관찰하였다. 결맞는 포논의 신호는 그림1)과 같이 반사 및 투과형 전기 광학적 샘플링(Reflective/Transmissive Electro-Optic Sampling: REOS/TEOS)방법과 여기-탐사광 방법⁽¹⁾으로 시간 영역에서 측정하였다.

이 연구에 사용된 반도체 시료인 ZnTe[001] 결정과 Zn_{0.67}Cd_{0.33}Te MQW의 에너지 띠는 각각 2.25eV와 1.99eV이며, 여기광원으로 사용된 레이저의 펄스폭은 약 50fs이었으며 중심파장은 800nm(~1.55eV)였다. ZnCdTe MQW에서는 약 3.4THz(116cm⁻¹)의 two phonon 모드만이 관측되었으며, ZnTe[001] 결정에서는 동일한 two phonon 모드와 함께 6.25THz의 종방향 광학적(LO) 포논 모드가 맥놀이 신호로 관측되었다. 그림 2)는 ZnTe[001] 결정에서 여기광의 여러 가지 편광 방향에 대한 결맞는 포논의 진동 신호를 보여준다. 포논 모드의 여기광의 편광 의존성을 알아보기 위하여 그림 3)에서와 같이 시간 영역의 신호를 푸리에 변환한 주파수 영역의 신호들로부터 측정된 LO 모드와 two phonon 모드의 진폭과 위상을 여기광의 편광방향의 함수로 나타내었다. [100] 편광방향(45°)에서 매우 약한 결맞는 LO 포논 모드의 진동자 세기는 여기광 편광각도가 $[\bar{1}10]$ 방향(0°) 또는 [110]방향(90°)일 때 최대 값을 나타내었고, [100]방향을 중심으로 편광각의 변화는 결맞는 포논 진동들 사이에 π 만큼의 위상차를 발생시켰다. 이러한 특성은 포논 진동의 라만 선택율과 잘 일치하는 것으로 포논의 발생기저가 순간 증폭 라만 산란(Impulsive Stimulated Raman Scattering: ISRS)⁽²⁾임을 확인할 수 있다. 그러나 ZnTe 결정에서 two phonon 모드는 LO 모드와 유사한 라만 선택율에 따르는 성분과 함께 라만 선택율과 무관한 진동성분을 보였다. ZnTe 결정에서는 라만선택율에 의존하는 성분이 두드러진 데 반하여, ZnCdTe MQW에서는 매우 강렬한 two phonon 모드만이 관측되었고 라만선택율에 의존하는 성분과 그에 무관한 성분의 진동자 세기는 거의 유사하였다. 이는 two phonon 모드진동을 발생시키는 두개의 one phonon들의 가능한 결합 중에 라만선택율을 따르는 LO 모드와 이에 무관한 TO 및 Acoustic 모드들의 상대적인 기여를 나타낸다. 이 점은 CW Raman 실험에서는 관측하기 어려운 위상에 민감한 펄스초 시분해 라만분광법이 갖는 독특한 장점을 보이고 있다.

또한 그림 4)에서와 같이 여기광의 세기에 따른 광학적 포논 모드의 위상이완시간의 변화를 측정하였다. 포논의 위상이완율 $1/T_2$ 은 다음과 같이 밀도 소멸율 $1/T_1$ (population decay rate)과 순수 위상이완율 $1/T_{2pd}$ (pure dephasing rate)의 합으로 주어진다.

$$1/T_2 = 1/(2T_1) + 1/T_{2pd} \quad (1)$$

ZnTe 결정의 LO 모드와 ZnCdTe MQW의 two phonon 모드들의 위상이완시간(T_2)은 낮은 침투출력에 비해 높은 침투출력에서 각각 약 1.6 배와 2배정도 빨라짐을 관측할 수 있었다. 이들 시료에서

여기광의 에너지가 반도체 에너지 띠보다 훨씬 낮더라도 여기 펄스의 침투 출력이 커지면 이광자 흡수에 의해 자유 여기자(전자나 양공)가 발생될 수 있으며, 이러한 자유 여기자와 결맞는 포논들의 상호작용에 의해 포논 진동모드들의 위상이완시간 변화를 예상할 수 있다. 따라서 그림 4)에서와 같이 ZnTe 결정의 LO 모드와 ZnCdTe MQW의 two phonon 모드들의 위상이완율은 여기광의 출력세기의 제곱에 비례함이 관측되었고 이는 이광자 흡수 가정과 일치한다.

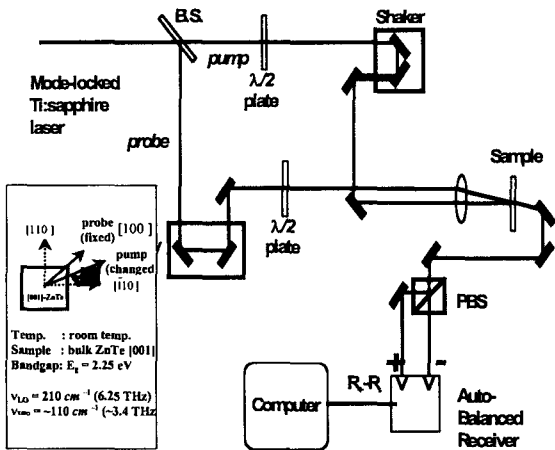


그림 1) 실험 장치(투과 전기 광학적 샘플링)

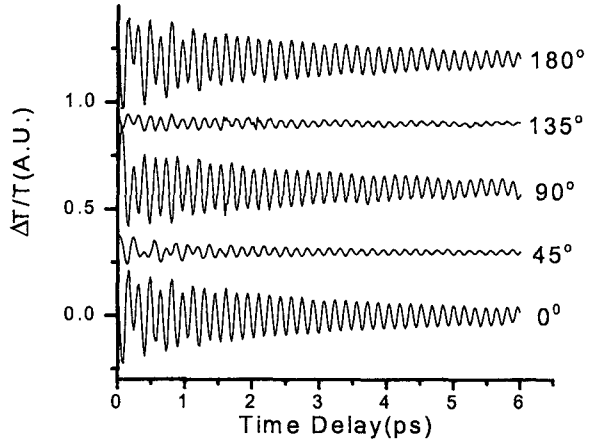


그림 4) ZnTe[001]에서 여기광의 편광 방향(각도)에 따른 포논 신호,

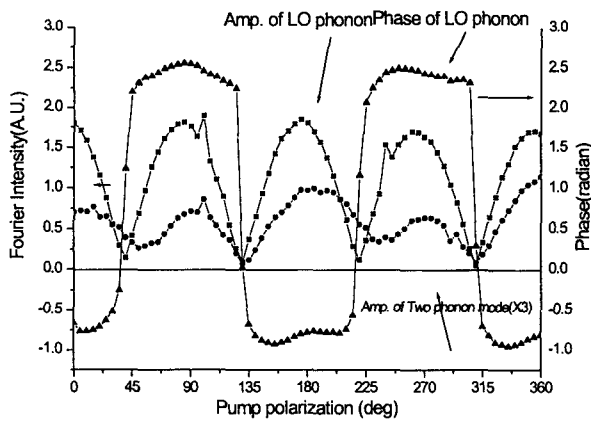


그림 3) ZnTe[001]의 두 포논 모드(LO, Two-Phonon)의 여기광의 편광에 대한 포논의 세기와 위상의 의존

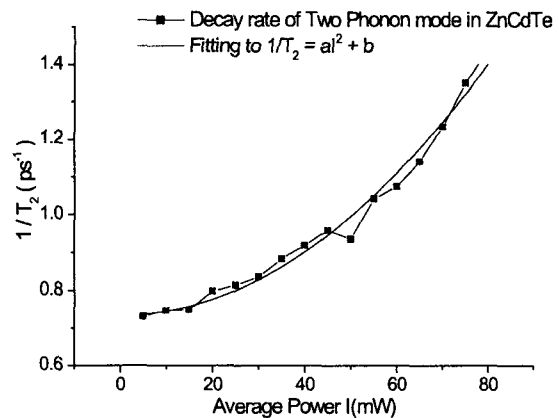


그림 4) 여기광의 세기에 따른 ZnCdTe MQW Two phonon 모드의 위상이완율 변화

Reference

1. A. Laubereau, D. von Linde, and W. Kaiser, Phys. Rev. Lett. **28**, 1162 (1972)
2. K. J. Yee, Y. S. Lim, T. Dekorsy and D. S. Kim, Phys. Rev. Lett. **86**, 1630 (2001);
K. J. Yee, K. G. Lee, E. Oh, D. S. Kim and Y. S. Lim, Phys. Rev. Lett. **88**, 105501 (2002).

T
A