

펨토초 티타늄 사파이어 레이저를 이용한 ZnSe, ZnTe 결정에서 생성된 결맞는 포논의 특성

Characteristics of coherent phonons in bulk ZnSe, ZnTe crystals generated by a femtosecond Ti:Sapphire laser

윤석찬, 이기주, 김대식, 이재형, 장준성, *임용식
 서울대학교 물리학과, *건국대학교 응용물리학과
 sdlkfwpeorup@photon.snu.ac.kr

대표적인 II-VI족 극성 반도체 결정인 ZnSe[001], ZnTe[001]에서 시료의 에너지 띠보다 낮은 에너지의 펨토초 티타늄 사파이어 레이저를 이용하여 결맞는 포논을 발생시키고 그 특성을 관찰하였다. 결맞는 포논의 신호를 그림1에서와 같이 여기-탐사광 방법⁽¹⁾과 투과형 전기 광학적 샘플링(Transmissive Electro-Optic Sampling: TEOS)방법으로 시간 영역에서 직접 측정하였다.

여기서 사용된 반도체 시료인 ZnSe[001] 결정과 ZnTe[001] 결정의 에너지 띠는 각각 2.69eV와 2.25eV이며, 여기광원으로 사용된 레이저의 펄스폭은 약 50fs이었으며 중심파장은 800nm(~1.55eV)였다. ZnSe[001] 결정에서는 7.5THz(250cm⁻¹)의 종방향 광학적(LO) 포논 모드만이 관측되었으며, ZnTe[001] 결정에서는 6.25THz의 LO 포논 모드와 약 3.4THz의 two phonon 모드가 맥놀이 신호로 관측되었다. 그림 2는 ZnTe[001] 결정에서 여기광의 대표적인 편광 방향에 대한 결맞는 포논의 진동 신호를 보여준다. 포논 모드의 여기광 편광 의존성을 알아보기 위하여 측정된 시간 영역의 신호를 푸리에 변환한 다음, 그림 3에서와 같이 주파수 영역에서의 LO 모드와 two phonon 모드의 진폭과 위상을 여기광의 편광 방향의 함수로 나타내었다. [100] 편광방향(45°)에서 매우 약한 결맞는 LO 포논 모드의 진동자 세기는 여기광 편광각도가 [110]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 있었다. 그러나 two phonon 모드는 LO와 약간 다른 의존성을 보인다. 여기광의 에너지가 시료의 에너지 띠보다 작을 경우에는 결맞는 포논의 발생기저가 ISRS이고, 에너지 띠보다 클 경우에는 그 발생기저가 이동 여기와 표면전기장 가림 효과⁽³⁾ 임이 밝혀져 있다⁽⁴⁾.

또한 그림 4에서와 같이 ZnSe 결정에서 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.

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

포논 모드의 위상이완시간 (T_2)은 그림 4와 같이 여기광의 첨두출력에 비례하여 빨라지며, 낮은 첨두출력에 비해 높은 첨두출력의 경우 위상이완시간이 약 2배정도 빨라짐을 관측할 수 있었다. 여기광의

에너지가 반도체의 에너지 띠보다 훨씬 낮은 경우에도 여기 펄스의 침투출력이 커지면 비선형 이광자 흡수에 의해 자유 여기자(전자나 양공)가 발생할 수 있으며, 이러한 자유 여기자와 결맞는 포논들 사이의 상호작용에 의해 포논 위상이완시간 변화를 예상할 수 있다. 이 경우 발생하는 자유 여기자의 밀도는 여기광 침투출력의 제곱에 비례하는데, 측정된 위상이완시간의 변화가 그림 4에서와 같이 여기광의 침투출력 세기의 제곱에 비례함을 알 수 있으며 이는 이광자 흡수 가정과 잘 일치한다.

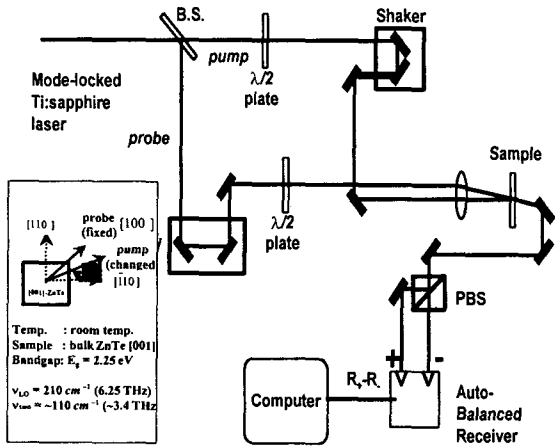


그림 1. 실험 장치(투과 전기 광학적 샘플링)

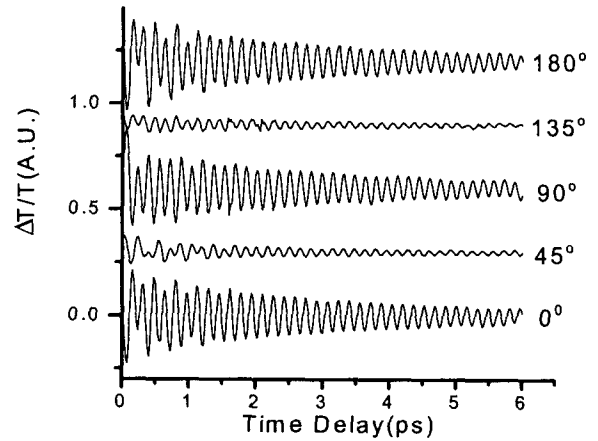


그림 2. ZnTe[001]에서 여기광의 편광 방향(각도)에 따른 포논 신호,

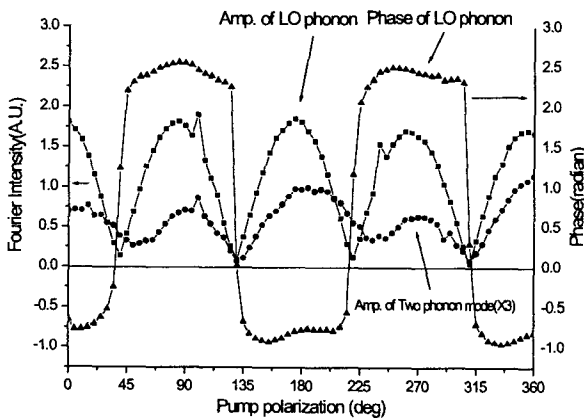


그림 3. ZnTe[001]의 두 포논 모드(LO, Two-Phonon)의 여기광의 편광에 대한 포논의 세기와 위상의 의존

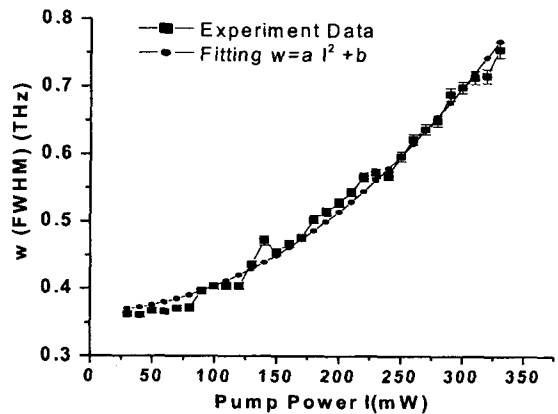


그림 4. 여기광의 세기에 따른 ZnSe[001] LO 포논의 위상이완시간의 변화($1/T_2 \propto w$).

Reference

1. A. Laubereau, D. von Linde, and W. Kaiser, Phys. Rev. Lett. 28, 1162 (1972).
2. W. A. Kutt, W. Albrecht, H. Kurtz, IEEE J. Quant. Elect. QE-28, 2434 (1992).
3. H. J. Zeiger, J. Vidal, T. K. Cheng, E. P. Ippen, G. Dresselhaus, M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. B 45, 768 (1992).
4. K. J. Yee, Y. S. Lim, T. Dekorsy, D. S. Kim, Phys. Rev. Lett. 86, 1630 (2001).