

비선형 광학 단결정 KNbO_3 를 이용한 광 파라메트릭 진동자의 제작 및 특성 Fabrication and Characterization of Optical Parametric Oscillator using KNbO_3 Crystals

임민호, 김민수, 김중현, 윤춘섭
KAIST 물리학과
csyoon@mail.kaist.ac.kr

광 파라메트릭 진동자(optical parametric oscillator, OPO)는 가시광선 영역에서 중적외선 영역에 이르기까지 매우 넓은 파장 가변 범위를 가지며, 시료의 각도 또는 온도를 변화시킴으로써 손쉽게 원하는 파장을 생성시킬 수 있다. 이러한 장점들로 인해 OPO는, 유기염료의 사용으로 인해 유지 및 관리에 어려움이 따르는 색소 레이저, 제한된 범위의 근적외선 파장만을 제공하는 Ti:sapphire 레이저에 비해서, 매우 폭넓은 응용 가능성을 갖고 있다. 1965년 Giordmaine 등이 LiNbO_3 결정을 이용하여 처음으로 OPO 구현에 성공한 이후, 현재에 이르기까지 LiNbO_3 , KH_2PO_4 , $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$, KTiOPO_4 , LiB_3O_5 , KNbO_3 등의 비선형 광학 결정에서 펄스, 연속파 등의 다양한 레이저 광원들을 이용한 OPO 연구들이 보고되고 있다. 그러나 아직도 OPO의 동작 특성 및 변환효율의 예측과 관련된 이론적 바탕이 충분히 정립되어 있지 않으며, 실험적으로도 충분한 특성 파악이 이루어지지 못한 상태이다.

본 연구에서 사용된 KNbO_3 는 다른 무기 비선형 광학 물질들에 비해 매우 높은 감도지수(figure of merit, d_{eff}/n^3)를 가지므로 낮은 펌프 세기에서도 충분히 높은 파장변환 효율을 기대할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 강유전 분역(domain) 분포와 이에 의한 빛의 산란이 파장변환 응용에 큰 걸림돌이 되어 왔다. 이러한 이유로 KNbO_3 OPO에 대해 연구 보고는 소수에 불과하며^[1-4], 여타의 OPO 연구에서와 마찬가지로 동작 특성의 분석이 충분히 이루어지지 못하고 있다. 이 연구에서는 본 연구실에서 성장시킨 단일 분역 KNbO_3 단결정을 이용하여 근적외선 영역의 파장을 발생시키는 단일 공진(singly resonant) OPO를 제작하고, 펌프의 문턱 세기(threshold intensity) 및 빔의 종단면 모양(profile), walk-off에 의한 효과 등의 특성을 분석하였다.

본 연구에서 제작한 KNbO_3 OPO의 장치도는 Fig. 1과 같다. KNbO_3 시료는 $\theta = 22^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ 의 방향으로 절단하였으며, 길이는 9.5 mm였다. OPO의 펌프 광원으로는 Nd:YAG 레이저(9 ns, 10 Hz)의 2차 조화파(532 nm)를 이용하였고, input coupler와 output coupler의 signal에 대한 반사율은 각각 >99%, $\approx 70\%$ 이다. 제작된 type I KNbO_3 OPO를 θ 방향으로 각도 tuning하여, signal 0.767~0.919 μm , idler 1.262~1.710 μm 의 tuning 범위를 얻었으며, 측정된 tuning 곡선은 계산 결과와 매우 잘 일치하였다(Fig. 2). 한편 $\theta = 22^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ 방향에서 펌프 에너지를 변화시키면서 OPO 출력 에너지를 측정한 결과(Fig. 3)로부터, 본 연구에서 제작한 OPO의 펌프 문턱 에너지가 6 mJ임을 알 수 있었으며, 펌프 에너지 13.2 mJ에서 최대 13.5%의 변환 효율을 얻었다. CCD 카메라로 펌프의 종단면을 측정한 결과(Fig. 4), 펌프의 walk-off에 의한 효과를 확인할 수 있었는데 측정된 walk-off 방향은 이론적 계산과 일치하였다.

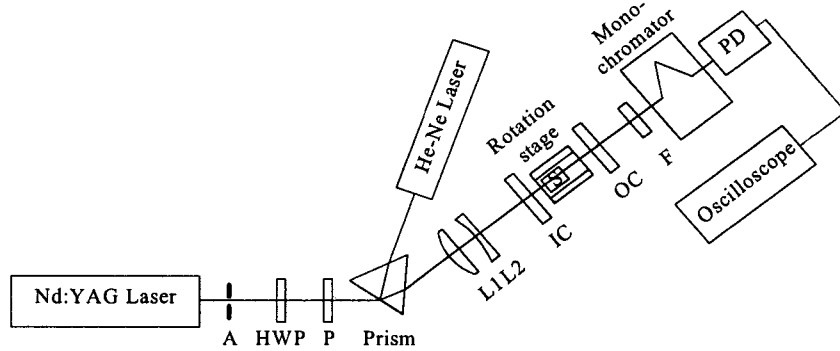


Fig. 1. Schematic of the experimental setup for OPO.

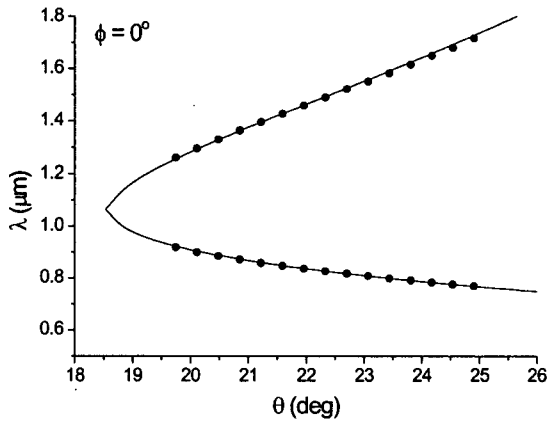


Fig. 2. Tuning curve of KNbO_3 OPO (closed circles: experiments, solid line: theory).

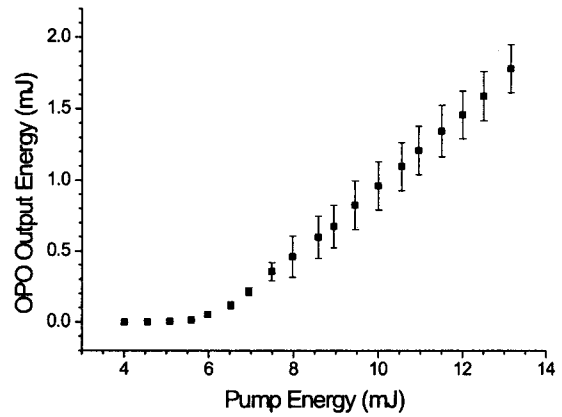


Fig. 3. OPO output energy.

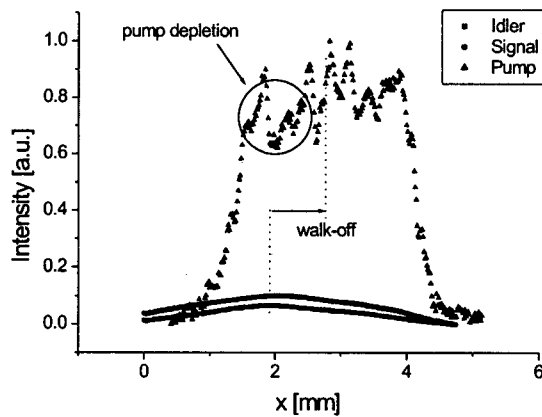


Fig. 4. Pump beam profiles at $(I_p)_{in} = 12$ mJ.

1. V. A. D'yakov, V. I. Pryalkin, and A. I. Kholodnykh, *Sov. J. Quantum Electron.* 11, 433 (1981).
2. K. Kato, *IEEE J. Quantum Electron.* QE-18, 451 (1982).
3. W. R. Bosenberg and R. H. Jarman, *Opt. Lett.* 18, 1323 (1993).
4. R. Urschel, A. Fix, R. Wallenstein, D. Rytz, and B. Zysset, *J. Opt. Soc. Am. B* 12, 726 (1995).