

제2종 위상정합용 KTiOPO_4 와 고리형 공동을 이용한

제2고조파 발진

Second harmonic generation with a type II phase-matched KTiOPO_4 and an external ring cavity.

김경범 · 박주현 · 노재우

인하대학교 물리학과

kbkim@physics.inha.ac.kr

제2종 위상정합조건에서 KTP 내부에서는 정상광선과 이상광선의 포인팅 벡터의 방향이 달라 복굴절 현상이 나타난다. 이러한 현상은 진동수 변환을 할 때, 단일 경로(single pass) 출력 변환 효율 저하와 동시에 공동을 이용한 진동수 변환 과정에서 정상광선과 이상광선을 동시에 공명시킬 수 없는 원인이 되어 변환효율이 급격히 떨어지는 현상이 생긴다. 이를 해결하기 위해 공동 내부에 있는 KTP의 온도와 각도를 조정하여, 두 광선이 동시에 공명을 할 수 있게 하여 변환효율을 향상시켰고, 그 과정은 다음과 같다.

결정면에서 광선이 수직으로 입사하는 경우, 정상광선과 이상광선은 복굴절 현상에 따라 각기 다른 경로를 진행하며, 이때 두 경로사이의 각 ρ 는 벗어남 각(walk off angle)이라고 불리며 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\rho = \tan^{-1} \left[\left(\frac{n_o}{n_e} \right)^2 \tan \phi_o \right] \pm \phi_o$$

ϕ_o 는 정상광선의 KTP 결정 내에서 진행각도, n_o 는 정상광선의 굴절률, 그리고 n_e 는 이상광선의 굴절률이다. 위 식에서 알 수 있듯이 정상광선과 이상광선은 서로 다른 광경로 길이를 경험하므로 같은 길이의 공동에서 동시에 공명되지 않는다(그림1(a)). 또한, 정상광선과 이상광선이 결정 내에서 충분히 겹쳐지지 않기 때문에 출력 변환에 손실이 발생한다. 한편 근원파를 결정면에 대해 입사각 θ 로 입사시키는 경우 정상광선과 이상광선의 파수벡터 방향은 스넬(Snell)의 법칙에 따라 결정된다.

KTP에서 $n_o > n_e$ 이므로 $\phi_o < \phi_e$ 이다(그림1(b)). 그러나, 이상광선은 벗어남 각 ρ 의 값에 따라 실제 진행 방향이 결정되므로 그림과 같은 상황에서 $(\phi_e - \rho)$ 로 결정된다. 즉, 이상광선과 정상광선의 벗어남 각이 줄어들게 된다. 한편 광선의 진행경로가 바뀌게 되면 위상정합조건이 맞지 않게 되므로 결정의 온도를 변화시켜 이를 조정해주어야 한다. KTP의 경우 굴절률의 온도 계수가 양의 부호를 가지므로 결정의 온도를 올리고, 입사각을 그림과 같이 조정하여 벗어남 각을 줄일 수 있다. 또한, 두 광선의 광경로 길이 차이가 이에 따라 변화되므로 결국 이중공명조건을 만족시키면서 벗어남 각을 줄여 변환 효율을 증가시키는 것이 이론적으로 가능함을 알게 되었다.

위의 결과로 제2고조파 발진을 위한 실험장치는 그림2와 같이 진동수 안정화된 Nd:YAG 레이저, KTP 비선형 단결정과 고리형 외부 공동 등으로 장치를 구성하였다⁽¹⁾. 모아진 가우시안 광선에 의한 제2고조파 발생에 관한 이론⁽²⁾으로 KTP에 모아지는 근원파의 빔허리를 복굴절인자로 최적화시켜 계산한 이론적 단일경로 변환 효율을 측정된 실험값과 비교하였고 광손실률이 작은 경우 δ 표기 방법을 사용하여⁽³⁾ 앞서 측정된 단일경로 근원파의 공동 내부 power P_c 를 계산하여 그로부터 이론적인 제2고조파 변환출력을 구하였다.

본 실험에서는 진동수 안정화된 Nd:YAG 레이저에서 나오는 318 mW의 근원파를 입사시켜 약 26.1mW의 제2고조파 출력을 얻었다. 또한 실험적으로 측정한 모드결합(mode coupling)을 고려하였을 때, 실험적인 측정값은 계산된 이론값과 잘 일치함을 보였다(그림3). 따라서, KTP와 같이 벗어남 각을 갖는 결정에서도 적절한 실험 설계와 변수 조정을 통해 높은 효율의 제2고조파 발생이 가능함을 보였다.

참고문헌

[1] Jaewoo Noh, "Efficient Second Harmonic Generation from Nd:YAG Laser", J. Kor. Phy. Soc., 30, 54 (1997).
 [2] G. D. Boyd and D. A. Kleinman, "Parametric Interaction of Focused Gaussian Beams", J. Appl. Phys., 39, 3597 (1968).
 [3] Siegman, LASER, (University Science Books, Mill Valley, California, 1986).

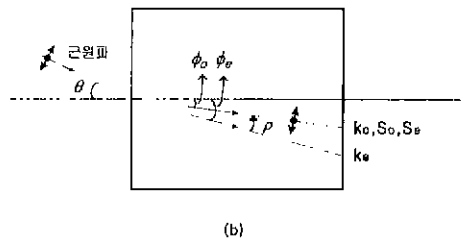
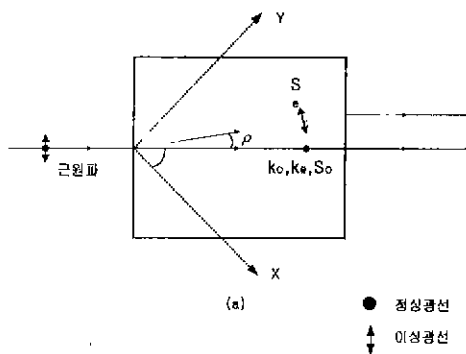


그림 1. 온도와 입사각 변화에 따른 KTP 위상정합조건 변화 (k_o : 정상광선의 파수벡터, k_e : 이상광선의 파수벡터, S_o : 정상광선의 포인팅 벡터, S_e : 이상광선의 포인팅 벡터, ϕ_o : 스넬의 법칙에 의한 정상광선의 굴절각, ϕ_e : 스넬의 법칙에 의한 이상광선의 굴절각)
 (a) 상온에서 위상정합조건 ($\Delta k = 0$) 하에서 정상광선과 이상광선의 벗어남 각(ρ)
 (b) 60도에서 위상정합조건 변화와 그로 인한 근원파의 입사조건 변화.

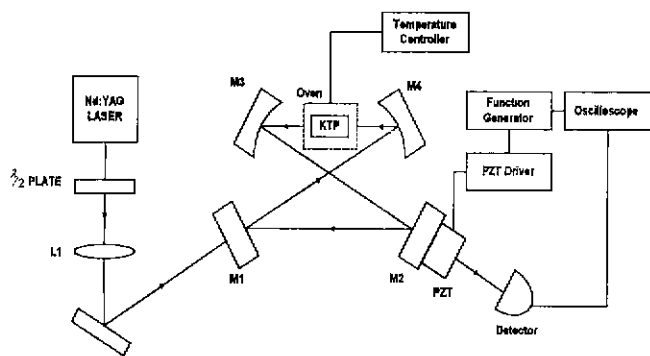


그림 2. 제2고조파 발생을 위한 실험 장치도

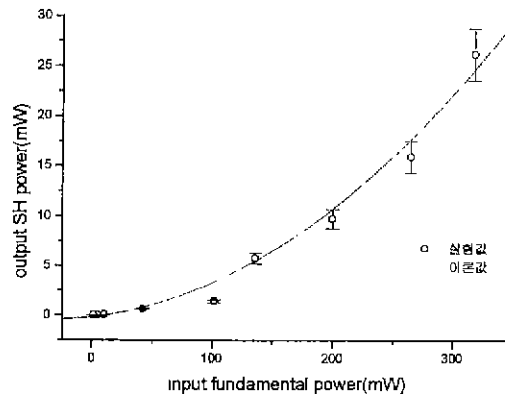


그림 3. 근원파 입력값 변화에 따른 제2고조파의 출력값 변화

