

# 주기적으로 분극 반전된 LiNbO<sub>3</sub> 결정의 2차 조화파 발생

## High-order Second Harmonic Generations in Periodically Poled Lithium Niobate(PPLN) crystal

유난이, 노정훈, 강석경, 변상철, 김홍기, 차명식  
 부산대학교 유전체물성연구소  
 mcha@hyowon.pusan.ac.kr

1962년 Armstrong 등에 의해 second harmonic generation(SHG)의 이론이 완성된 후 SHG 효율을 높이기 위한 방법으로 비선형성이 큰 물질의 개발과 더불어 위상정합(phase matching)을 만족시키는 여러가지 방법이 연구되었다.<sup>1</sup> 특히 위상정합의 경우 지금까지는 복굴절을 이용하는 방법이 널리 사용되었으나 이 경우 입사광의 파장이 제한적이고, 많은 무기물 결정에서 비선형광학계수의 가장 큰 텐서성분인  $d_{zzz}$ 를 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 반면 유사위상정합(quasi-phase matching:QPM)은 비선형광학계수( $d_{zzz}$ )의 방향을 결맞음 길이(coherence length)마다 구역반전(domain inversion)시켜주어 2차 조화파의 진폭을 길이방향으로 계속 증가시키는 방법으로 구역반전된 길이를 조절하면 거의 모든 파장에 대해 비임계 위상정합( $d_{zzz}$  사용)이 가능하고, 2차 조화파가 기본파의 전파경로에서 벗어나는 walk-off 현상이 없어 SHG 전환효율을 극대화할 수 있다. QPM은 비선형광학의 초기에 Bloembergen 등에 의해 복굴절 위상정합보다 먼저 제안되었으나 실현상의 어려움으로 1990년 초반부터 강유전체 결정에 적용되었으며 특히 PPLN(periodically poled LiNbO<sub>3</sub>) 결정은 무기물중 가장 큰 비선형광학계수( $d_{zzz}=34$  pm/V)를 사용하여 반도체 레이저의 SHG에 의한 청색 레이저 발생, OPO(optical parametric oscillator), 펄스 압축 등 다양한 응용성을 가지고 있다.<sup>2,3,4</sup>

QPM 조건( $\Delta k=0$ )은 아래식과 같이 기본파와 2차 조화파 사이의 파수벡터 부정합에 격자벡터를 가감하여 영으로 만들어 준다.

$$\begin{aligned} \Delta k &= k_2 - 2k_1 - K_m \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} (n_{2\omega} - n_\omega) - \frac{2\pi}{\Lambda} m \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $k_1, k_2, K_m$ 은 각각 기본파, 2차 조화파, 격자의 파수 벡터이고,  $\lambda$ 는 기본파의 파장,  $n_\omega, n_{2\omega}$ 는 기본파와 2차 조화파의 굴절율이다.  $\Lambda$ 는 분극반전 주기이고 차수  $m=1, 2, 3 \dots$  값을 가진다. Duty cycle이 1:1이면 QPM을 만족하는  $m$ 은 홀수값만 가지나, 그렇지 않을 경우에는  $m$ 이 짝수 일때도 QPM 조건을 만족 한다.

본 연구에서는 PPLN 결정의 여러가지 차수( $m=1 \sim 6$ )의 QPM 조건에 대한 2차 조화파 발생에 관해 조사 하였다. 기본파로는 Q-switching 된 Nd:YAG 레이저(10 ns 펄스폭, 10 Hz)의 3차 조화파인 355 nm 광으로 pumping 한 OPO를 사용하였으며 파장은 1516 nm ~ 836 nm 까지 변화 시켰다. 실험

에서 사용한 PPLN 결정의 두께는 0.5 mm, 길이는 15 mm 이고, 주기는 1500 nm 의 기본파에 대해 QPM 을 만족하는( $m=1$ ) 18.1  $\mu\text{m}$  로 디자인 하였다. 그러나 duty cycle 이 매질의 전 영역에 걸쳐 일정 하지 않았으므로 짝수 차수( $m=2,4,6$ )의 QPM 조건에 해당하는 2차 조화파를 얻을 수 있었다. 그림 1은 기본파의 파장에 대해 QPM을 만족하는 차수  $m$  을 나타낸다.

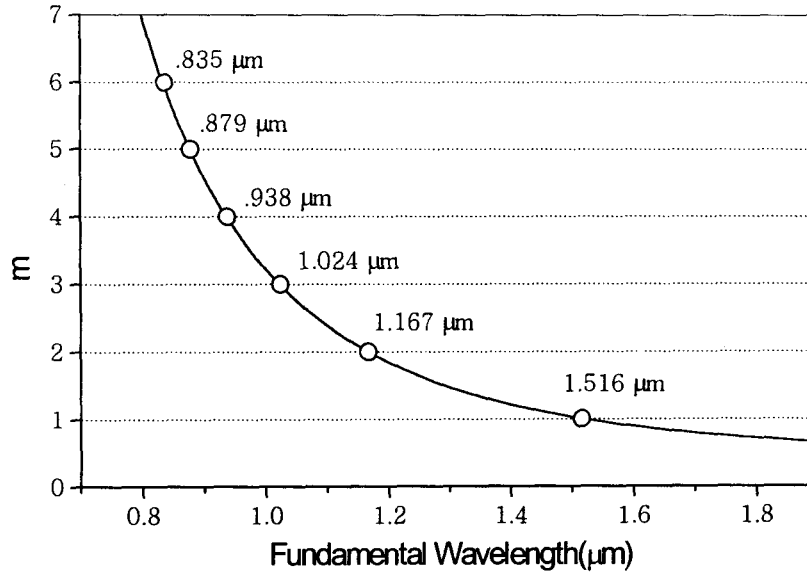


그림 1. 기본파의 파장에 대해 QPM 조건을 만족하는 차수( $m$ ).

○ : 실험, — : (1)식에 의한 이론 값

기본파의 파장에 따라  $m=1\sim 6$  을 만족하는 2차 조화파를 얻을 수 있었으며, 짝수 차수의 QPM 도 만족하므로, 이 결정의 duty cycle 이 빛의 진행 방향에 대해 일정하지 않고 어느 정도 오차를 가짐을 알 수 있다. 실선은 (1)식에 의해 계산된 값이며 이론과 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때 굴절을 분산은 참고문헌 [5]에 의한 값을 사용 하였다. 또한 생성된 2차 조화파와 기본파의 합 주파수 발생에 의한 3차 조화파 발생도 관찰할 수 있었다.

평균 주기가 18.1  $\mu\text{m}$  인 PPLN 결정에서 기본파의 파장에 따른 QPM 조건을 만족하는 차수  $m=1\sim 6$  에 대한 2차 조화파를 얻었으며, 짝수 차수의 2차 조화파가 관측되는 것으로 보아 분극반전된 duty cycle 이 일정하지 않음을 알 수 있었다.

[참고문헌]

1. J. Armstrong, N. Bloembergen, J. Ducuing, and P. Pershan, Phys. Rev. 127, 1918 (1962).
2. D. H. Jundt, G. A. Magel, M. M. Fejer, and R. L. Byer, Appl. Phys. Lett. 59, 2657 (1991).
3. M. A. Arbore, O. Marco, and M. M. Fejer Opt. Lett. 22, 865 (1997).
4. L. E. Myers, R. C. Eckardt, M. M. Fejer, and R. L. Byer, Opt. Lett. 21, 591 (1996).
5. Dieter H. Jundt, Opt. Lett. 22, 1553 (1997).

