

군속도 일치를 통한 광대역 2차 준위상 정합 조화파 발생

Broad Band Quasi-Phase-Matched Second Harmonic Generation through Group Velocity Matching

유난이, 노정훈, 차명식, S. Kurimura*, T. Taira*

부산대학교 유전체 물성 연구소

*Laser Center, Institute for Molecular Science, Okazaki, Japan

mcha@pnu.edu

강유전성 단결정 LiNbO_3 , LiTiO_3 , KTiOPO_4 등에 DC 전기장을 이용한 수 μm 주기의 분극반전 기술이 실현된 후 준위상정합(quasi phase matching)을 이용한 다양한 파장변환 방법이 연구되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 특히 무기물 단결정중 비선형 계수가 가장 큰 LiNbO_3 를 주기적으로 분극 반전시켜 원하는 임의의 파장에서 비입계 위상정합이 가능하고 흔히 사용되어 왔던 복굴절을 이용한 위상정합에서 사용하지 못했던 d_{33} 성분을 사용할 수 있게되어 고효율의 파장변환이 많은 연구자들에 의해서 실현되고 있다. 또한 LiNbO_3 에 MgO 를 첨가하여 congruent LiNbO_3 에 비해서 광손상 문턱을 10배 이상 높일 뿐만⁽⁴⁾ 아니라 광굴절 효과도 줄여서 2차 조화파를 효율적으로 발생시키는 연구가 보고되고 있다.

그러나 파장에 따른 물질의 급격한 굴절을 분산 때문에 fs영역의 빠른 펄스의 경우 입사된 기본파와 생성된 2차 조화파의 군속도가 심하게 차이나 temporal walk-off 가 생기고 생성된 2차 조화파의 변환 효율도 크게 떨어지게 되는 단점을 가지고 있다. 실제로 길이가 10 mm인 PPLN(periodically poled LiNbO_3) 시료의 경우 기본파의 파장이 1.55 μm 주변에서 준위상정합을 통한 2차 조화파의 대역폭이 1.3 nm로 매우 좁게 나타나고있다.

광 펄스의 2차 조화파 생성에 있어서 파장에 따른 위상속도변화와 군속도와의 관계를 살펴보면

$$\frac{d(\Delta k)}{d\lambda} = \frac{4\pi c}{\lambda^2} \delta \quad (1)$$

여기서 파수벡터 부정합인 $\Delta k = k_2 - 2k_1$ 로 정의되고, λ 는 기본파의 파장, temporal walk-off parameter $\delta = 1/v_{g1} - 1/v_{g2}$ 로 정의되며, v_{g1} 와 v_{g2} 는 기본파와 2차 조화파의 군속도 이다.

위 식 (1)를 살펴보면 기본파와 생성된 2차 조화파의 군속도가 일치하는 경우($\delta = 0$) 파장에 따른 위상 부정합(Δk)은 거의 일정한 값을 가지게 되고, 이는 생성된 2차 조화파의 대역폭이 매우 넓게됨을 뜻한다.

본 연구에서는 MgO 가 첨가된 LiNbO_3 를 이용하여 기본파의 파장이 1.55 μm 부근인 통신대역에서 물질의 급격한 굴절을 분산을 줄여서 군속도 일치와 함께 d_{31} 를 이용한 새로운 형태("type-I")의 준위상정합을 통해 넓은 대역폭의 2차 조화파를 생성시켰다.

실험에 사용된 시료는 DC 전기장을 이용한 폴링방법으로 만든⁽⁵⁾ 길이가 10 mm이고, 두께가 0.5 mm인 MgO 가 5 mol% 첨가된 PPLN 이고 분극반전의 주기는 20.1 μm 이다. 기본파의 파장가변을 위해서 Q-switched Nd:YAG laser의 3차 조화파인 355 nm를 β -barium borate 단결정에 입사시켜 만든 OPO(optical parametric oscillator)를 이용하였으며, type-I 위상정합을 위해 시료의 y축에 편광된 빔을

x축을 따라 입사시켰으며 시료의 위치에서 CCD 카메라로 얻은 빔의 직경은 약 226 μm 정도였다. 또한 시료의 온도 조절을 위해서 열전소자를 이용한 냉각장치로 0.1 $^{\circ}\text{C}$ 범위 내에서 조절하였다.

그림 1은 Sellmeier's equations을 통해서 얻은 파장에 따른 coherence length($l_c = \lambda/2$, λ :QPM주기)이다. 계산에 사용한 Sellmeier's eq.는 실온에서의 MgO 5 mol%에⁽⁶⁾ 온도에 따른 굴절률 변화는 congruent LiNbO₃의 계수를⁽⁷⁾ 이용하였다. 그림 1의 온도가 26.3 $^{\circ}\text{C}$ 인 경우 $l_c = -10.05 \mu\text{m}$ 로 x축의 수평선과 접선을 이루어 기본파의 파장이 1.56 μm 주변에서 매우 넓은 2차 조화파의 대역폭이 예상된다. 그림 2는 기본파의 파장을 변화시키면서 얻은 2차 조화파의 세기를 나타낸 것이다. 15.9 $^{\circ}\text{C}$ 에서 얻은 2차 조화파의 파장대역폭은 43 nm로 기존의 d_{33} 를 이용한 1.3 nm에 비하여 매우 넓은 대역폭을 얻었으며 이러한 균속도 일치와 더불어 새로운 준위상정합 방법은 100 fs 정도의 매우 빠른 펄스의 변환에 효율적인 방법이 될 것으로 기대한다.

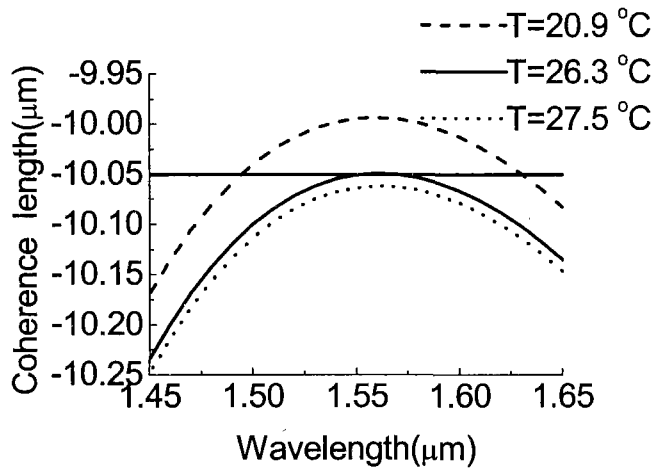


그림 1. 파장에 따른 coherence length

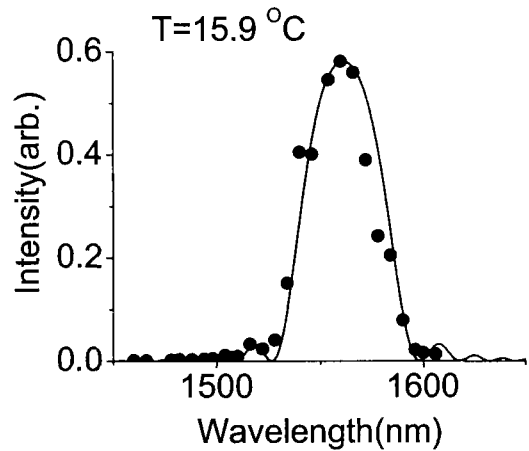


그림 2. 파장에 따른 2차 조화파의 세기

●: 측정, —: 이론

참고문헌

- (1) G. D. Miller, R. G. Batchko, W. M. Tulloch, D. R. Weise, M. M. Fejer, and R. L. Byer, Opt. Lett. **22**, 1834 (1997).
- (2) T. Hatanaka, K. Nakamura, T. Taniuchi, H. Ito, Y. Furukawa, and K. Kitamura, Opt. Lett. **25**, 651 (2000).
- (3) S. V. Popov, S. V. Chernikov, J. R. Taylor, Opt. Commun. **174**, 231 (2000).
- (4) D. A. Bryan, R. Gerson, and H. E. Tomaschki, Appl. Phys. Lett. **44**, 874 (1984).
- (5) M. Nakamura, M. Kotoh, H. Taniguchi, and K. Tadatomo, Jpn.J. Appl. Phys. **38**, L512 (1996).
- (6) D. E. Zelmon, D. L. Small, and D. Jundt, J. Opt. Soc. Am. B **12**, 3319 (1997).
- (7) G. J. Edwards, and M. Lawrence, Opt. Quant. Electron. **16**, 373 (1984).

