

주기적 분극반전된 LiNbO₃ 결정의 제작과 유사위상정합 2차조화파 발생

Fabrication of periodically poled lithium niobate and quasi-phase matched second harmonic generation

노정훈, 김홍기, 전옥엽, 차명식, 김봉기*, 이범구*
부산대학교 유전체물성연구소, *서강대학교 물리학과
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 만족 시키는 여러가지 방법이 연구 되었다. 특히 위상정합의 경우 지금까지는 복굴절을 이용하는 방법이 널리 사용되었으나 이 경우 입사광의 파장이 제한적이고, 많은 무기물 결정에서 비선형광학계수의 가장 큰 텐서 성분인 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 분극반전 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 LiNbO₃) 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 있다¹. 최근 초고속 광통신을 위한 전광소자에 구역반전된 물질을 사용하려는 시도가 있었다².

본 연구에서는 광통신 파장대인 $1.55\mu\text{m}$ 파장에서 2차조화파가 발생하도록 상온에서의 전기장에 의한 LiNbO₃ 결정의 주기적인 분극 반전을 구현하고 이 시료의 광학적 특성을 조사하였다.

실험에서 사용한 LiNbO₃ 기판은 직경 3인치, 두께 0.5mm인 z-cut, single domain, congruent 결정으로 Crystal Technology사에서 구입하였다. 결정의 +z면에 건조 후 두께가 $2\mu\text{m}$ 이상 될 수 있도록 photoresist(Hoechst사의 AZ-5214)를 spin coating하고, 90°C에서 1시간 동안 softbake한 다음, grating vector 방향이 결정의 X-축과 평행하도록 pattern mask를 밀착하여, 25W 수은 램프로 약 30cm 거리에 60분간 노광하였다. 노광후 전용 현상액(AZ 312 MIF)을 사용하여 상온에서 1분간 현상하고 즉시 증류수에 충분히 세척한 다음 150°C 진공분위기에서 1시간 정도 postbake하였다. 준비된 기판에서 필요한 부분만을 액체전극(LiCl 포화용액)에 접촉하고 전류를 수100 μA 정도로 제한하면서 12kV의 전압을 가하여 분극반전되는 면적에 해당되는 전하량이 될 때까지(이 시료의 경우는 약 0.3초) 전압을 인가한 다음 약 8kV의 전압을 수초간 유지하여 새로 분극 반전된 도메인을 안정시킨후 전압을 제거하였다. 그림 1은 이와 같이 얻은 시료의 면을 HF로 에칭한 후 찍은 현미경 사진으로서 duty 비(분극반전된 길이: 반전되지 않은 길이)가 거의 1:1인 양호한 시료임을 알 수 있다. 2차조화파 실험을 위한 $1.55\mu\text{m}$ 파장

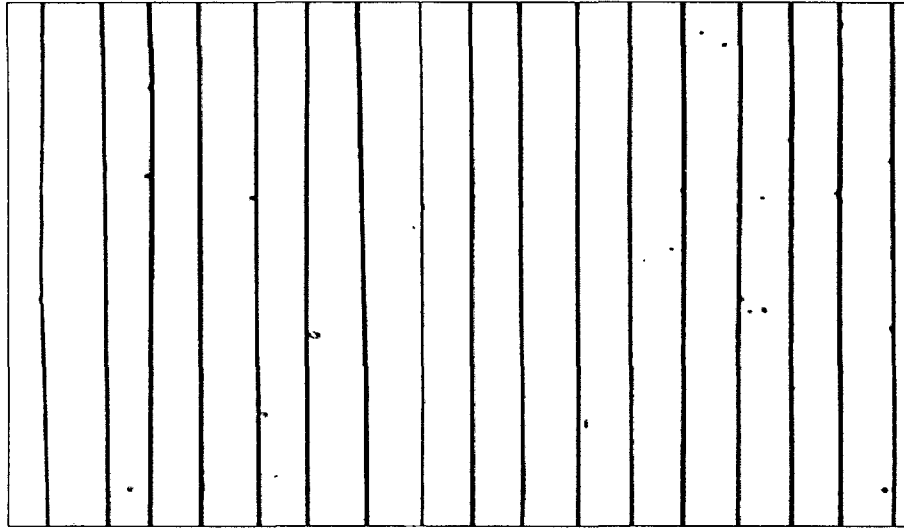


그림 1. 주기적으로 분극반전된 LiNbO₃ 결정의 현미경사진.(주기=18.5 μ m)

대는 OPO 를 사용하여 얻었으며, 그림 2에서 기본파의 파장에 따른 2차조화파의 세기를 보여주고 있다. 결정의 길이는 10mm 였고, 18.5 μ m 주기는 150 $^{\circ}$ C 에서의 유사위상정합 조건이므로 상온에서는 이보다

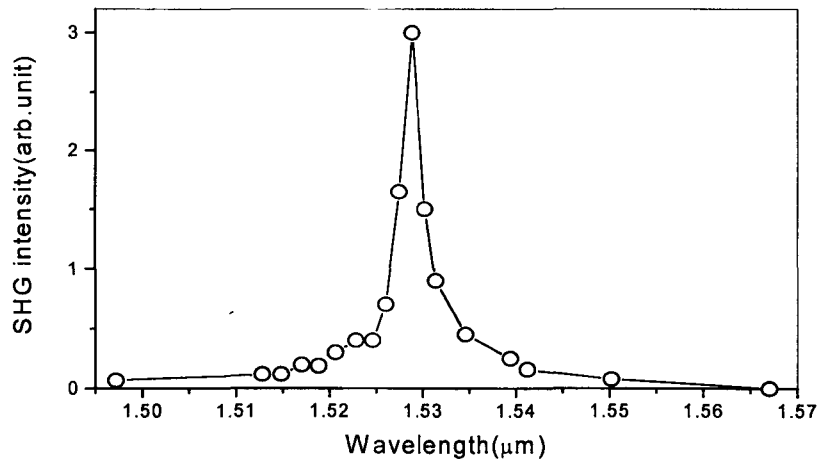


그림 2. 기본파의 파장에 따른 2차조화파의 세기.(위상정합 파장=1.53 μ m)

짧은 1.53 μ m 에서 유사위상정합을 만족함을 보이고 있다. 최대 에너지 변환 효율은 30% 였으나, OPO 의 band 폭(2nm)이 PPLN 의 폭(0.3nm) 보다 크기때문에 실제 변환효율은 더 클 것으로 기대된다.

[참고문헌]

1. D. H. Jundt, G. A. Magel, M. M. Fejer, and R. L. Byer, Appl. Phys. Lett. 59, 2657 (1991).
2. M. Cha, Opt. Lett. 23, 250 (1998).