

# BaTiO<sub>3</sub> 광굴절 결정에서 공간 전하장의 감쇄 진동

## Damped Oscillation of Space Charge Field in a BaTiO<sub>3</sub> Photorefractive Crystal

이상조, 성기영, 김기현, 곽종훈

영남대학교 물리학과

[sjlee@physics.yeungnam.ac.kr](mailto:sjlee@physics.yeungnam.ac.kr)

광굴절 결정은 실시간 홀로그램 기록 소자, 영상 증폭, 광교환, novelty filter 등의 다양한 광정보 처리 영역에서 사용되어진다. 광굴절 결정이 가지고 있는 여러 물리적인 현상들은 이미 잘 설명되어져 있지만, 아직까지 이해되지 않은 현상들도 적지 않다. 이동격자(grating translation technique) 방법을 사용한 광굴절 결정의 이광파 혼합실험에서 발견되는 공간 전하장의 감쇄 진동도 그 중의 하나이다.

광굴절 결정에 공간적으로 주기적인 빔을 입사하게 되면 광굴절 격자와 광흡수 격자가 동시에 존재하게 된다. 광흡수 격자는 광굴절 격자와 함께 여러 광굴절 결정, 예를 들어 GaAs:Cr, BSO, LiNbO<sub>3</sub>:Fe, SBN, BaTiO<sub>3</sub>, InP:Fe 등과 광굴절 양자 우물 다이오드 그리고 광굴절 복합체 등에서 발견된다.[1-3] 이러한 격자들의 형성에 관한 물리적인 해석은 Kukhtarev 등의[4] band conduction model에 기초한 물질 방정식을 이용하여 여러 연구자들에 의해 보고되었다.[2,3] 전하 운반자들은 광자를 흡수할 수 있는 밝은 영역에서 생성되어 어두운 영역으로 이동하게 되고 포획된다. 그리고 분리된 전하들에 의해서 공간 전하장이 형성되게 되는데 이로 인해 굴절률 변조가 일어나게 되고 결과적으로 광굴절 격자를 형성하게 된다. 전하 이동에 따라 광굴절 격자는 입사하는 빔의 간섭 패턴에 대해 공간적인 위상 변위를 가지게 된다. 이러한 입사하는 빔에 대한 상대적인 위상 변위 효과는 두 빔 사이에 에너지 전이를 일으키게 된다. 흡수율 변화는 다양한 포획 준위들(deep and/or shallow trap centers)에 기인한다. 따라서, 격자들의 입사하는 빔 패턴에 대한 상대적인 위상과 격자 진폭에 관한 정보는 홀로그램 격자 생성에 관한 물리적인 정보뿐만 아니라 광굴절 매질의 고유 특성을 나타내는 주요 변수들이다.

광흡수 격자는 이광파 혼합실험에서 입사하는 두 빔 사이의 에너지 전이와 무관하므로, 순수한 광굴절 격자와 순수한 광흡수 격자를 분리하는 것은 대단히 중요한 일이다. Sutter 와 Günter 등은[5] 격자 이동 방법(grating translation technique)을 사용하여 혼합 격자들의 위상과 진폭을 각각 구하였다. 하지만, Sutter와 Günter 등이 사용한 방법은 매질의 반응시간 보다 매우 짧은 영역에서 적용할 수 있는 것으로, 매질의 반응시간보다 충분히 큰 경우에 대한 표현으로는 적절하지 않다. Refregier 등은[6] BSO 광굴절 결정에 외부 전기장을 인가하여 확산에 의한 효과보다 drift에 의한 효과가 지배적일 때, 입사하는 한쪽 빔을 piezoelectric transducer를 이용하여 변조시키는 이광파 혼합실험을 통하여 광굴절 매질의 이득률을 특정한 조건에서 증폭시킬 수 있음을 보였다.

본 논문에서는 광굴절 결정의 이광파 혼합실험에서 빔 패턴이 이동할 때 관측되는 공간 전하장의 감쇄 진동을 설명하기 위해, 광굴절 결정 내부에 형성되는 공간 전하장을 광굴절 물질 방정식을 이용해 구하고, 혼합 격자에 대한 이광파 혼합의 근사적인 해석해와[7] 결합하여 BaTiO<sub>3</sub> 광굴절 결정에서 이광파 혼합 신호의 감쇄 진동 현상을 설명하였다.

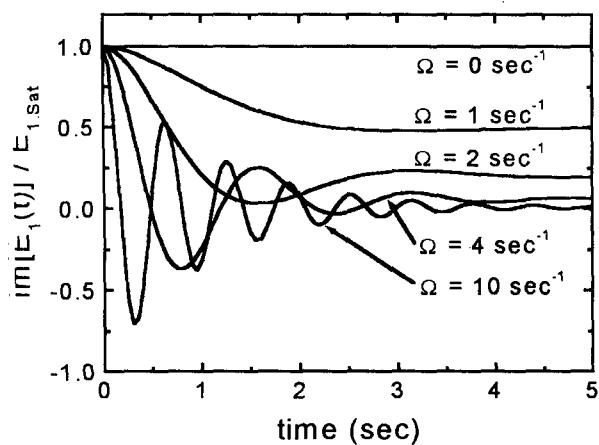


그림 1. 이동 주파수에 따른 공간 전하장의 허수부.

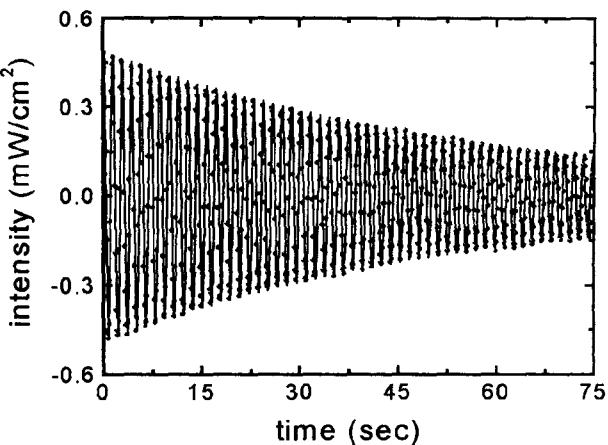
그림 2. 이광과 혼합에서 두 투과 빔의 강도 차.  
(점: 실험, 실선: 이론)

그림 1은 입사하는 두 빔 사이의 에너지 전이를 발생시키는 광굴절률 격자와 관계되는 공간 전하장의 허수부,  $Im[E_1]$ 을 정상 상태의 공간 전하장  $Im[E_{1,Sat}]$ 로 나눈 값을 여러 속도 주파수  $\Omega$ 에 대해서 나타낸 그림이다. 편의상 특성시간  $\tau_g = 1 \text{ sec}$ 로 두었다. 빔 패턴의 속도가 빠를수록, 다시 말해서  $\Omega$ 가 큰 값을 가질수록, 정상상태에서의 공간 전하장의 허수부 값은 감쇄 진동함을 알 수 있다. 빔 패턴의 속도가 증가함에 따라 정상상태에서의 공간 전하장의 허수부 크기가 작아지는 것은 입사하는 빔에 대해 광굴절이 반응할 수 있는 시간이 충분하지 않기 때문이다. 따라서 공간 전하장이 정상상태에 도달한 후에도 빔 패턴이 이동하면 공간 전하장 즉, 광굴절 격자들이 지위점을 알 수 있다.

그림 2는  $BaTiO_3$  광굴절 결정의 이광과 혼합 실험으로부터 얻은 두 투과 빔의 강도 차를 나타내고 있다. 광굴절 격자에 대한 광흡수 격자의 진폭 비  $\xi \approx -3 \times 10^{-2}$ 로 나타났으며, 특성시간  $\tau_g = 56 \text{ sec}$ 로 나타났다. 시간이 지남에 따라 강도 차의 진폭이 작아짐을 확인 할 수 있고 이는 이론적으로 구한 광굴절 결정에서 빔 패턴이 이동함으로서 나타나는 공간 전하장의 감쇄 진동으로 잘 설명되어야 할 수 있음을 알 수 있다.

- [1] S. L. Clapham *et al.*, Opt. Comm., **74**, 290 (1990).
- [2] R. B. Bylsma *et al.*, Opt. Lett., **13**, 853 (1988).
- [3] K. Walsh *et al.*, Opt. Lett., **12**, 1026 (1987).
- [4] N. V. Kukhtarev *et al.*, Ferroelectrics, **22**, 949 (1979).
- [5] K. Sutter and P. Günter, J. Opt. Soc. Am. B **7**, 2274 (1994).
- [6] Ph. Refregier *et al.*, J. Appl. Phys. **58**, 45 (1985).
- [7] C. H. Kwak and S. J. Lee, Opt. Comm., **183**, 547 (2000).