

이중 첨가된 LiNbO₃ 결정을 이용한 홀로그래프 기록

Holographic recording in doubly doped lithium niobate crystals

임기수

충북대학교 물리학과

kslim@trut.chungbuk.ac.kr

광굴절 단결정을 이용한 홀로그래프 저장은 일반적으로 Fe 혹은 Ce 과 같이 한 가지 종류의 이온이 첨가된 재료를 사용해왔다. 그러나 저장된 홀로그래프 정보를 재생할때 지워지지 않도록 정착화를 위해 사용된 열이나 전기장 대신 자외선을 이용한 방법이 최근에 시도되고 있다⁽¹⁾. 이 방법은 모든 것을 광으로 처리할 수 있는 장점이 있으나 2광자 기록방법⁽²⁾과는 달리 두 가지 종류의 이온 첨가물이 필요하므로 전하의 이동이나 트랩과정이 더욱 복잡할 수밖에 없다. 특히 LiNbO₃ 재료는 photovoltaic 특성이 매우 강하여 다른 광굴절 재료와 구별된다. congruent Mn,Fe:LiNbO₃ 에 대한 실험 결과[1]와 stoichiometric LiNbO₃ 에서의 작은 polaron과 쌍 polaron에 의한 기록과 재생실험결과⁽³⁾의 발표는 있으나 2중 첨가물의 LiNbO₃에 대한 이론적 접근은 아직 알려진 바 없다. 본 연구에서는 Mn,Ce:LiNbO₃ 와 Fe,W:LiNbO₃에서의 홀로그래프 기록특성을 연구하였고 photovoltaic 효과를 고려한 홀로그래프의 형성과 소멸과정에 대한 수치해석을 이용하여 결과의 설명을 시도하였다.

사용한 결정은 0.015wt%Mn, 0.005wt%Ce:LiNbO₃ (Li:=48.6)와 0.015wt%Fe, 0.005wt%W:LiNbO₃ (Li:=49.7) 으로서 Czochralski법으로 성장 후 950°C에서 2시간 동안 아르곤 가스를 사용한 환원과정을 거쳐 Mn²⁺, Ce³⁺ 과 Fe²⁺, W 의 농도를 증가시켰고 그 결과 흡수스펙트럼의 변화는 그림 1, 2와 같다. Ce과 Mn의 흡수가 중첩되어 나타나므로 홀로그래프 기록에 사용되는 Ce의 흡수영역을 분리해 내기 어렵다. 약 2시간 동안의 360 nm의 자외선 광을 조사시켜 Mn²⁺에서 Ce³⁺로 전하이동에 의한 농도변화를 시도한 결과 그림 3과 같은 광유도 흡수 스펙트럼을 얻을 수 있었고 이로부터 LiNbO₃ 내부에서의 Ce³⁺의 흡수영역을 분리해 낼 수 있었다. bleaching은 기록광으로 사용하는 아르곤 레이저의 488 nm 혹은 514 nm 로 가능하였다. 이러한 과정은 홀로그래프 기록하는 동안 회절효율에 영향을 미치므로 광유도 흡수의 형성과 소멸에 대한 시간적 거동을 자외선의 세기와 기록광의 세기의 함수로 측정하였다. 이러한 자외선 광의 조사는 Mn²⁺과 Ce³⁺의 상대적 농도를 변화시킬 수 있으나 성장시에 첨가한 Mn과 Ce의 농도를 초과할 수는 없다. 360 nm의 자외선광의 세기에 따라 514 nm의 기록광에 의한 회절효율은 그림 4와 같이 sensitivity가 크게 증가하였으나 nonvolatile 특성은 확인되지 않았다.

633 nm의 기록광을 사용할 경우 자외선으로 인한 초기의 sensitivity 증가가 크게 나타났으나 곧 다시 감소하였다. Fe,W:LiNbO₃의 경우는 자외선 조사가 회절효율을 오히려 감소시키는 결과를 나타내었고 역시 nonvolatile 특성은 나타나지 않았다. 이러한 원인 분석을 위해서는 LiNbO₃에서의 W의 흡수영역이 전혀 알려진 바 없어 W에 대한 분광학적인 연구가 필요할 뿐 아니라 stoichiometric 시료에서는 쌍 polaron과 작은 polaron의 역할도 고려해야만 한다. nonvolatile 기록을 위해서는 초기의 적정 도핑농도와 자외선 조사 광의 세기와 시간, 자외선과 기록광의 흡수계수, 기록광의 세기, 격자 간격 등을 고려해야 하므로 적정조건을 찾기 위한 수치해석을 수행하였다. LiNbO₃ 는 photovoltaic 전류가 확산전류보다 크게 나타나는 강유전체이므로 열린 회로에 대한 전하의 이동을 고려하여 두 종류의 center 에 대한 유효 방정식을 이용하였다. 실험조건에 따른 내부 전기장의 위상변화와 회절효율의 시간적 거동을 확인할 수 있었다. 그러나 최근 발표된 Fe:LiTO₃ 에서의 polaron과 단일 center와의 상호작용⁽⁴⁾ 등은 고려하지 않았다.

References

- [1] K. Buse, A. Adibi, and D. Psaltis, Nature 393, 665 (1998).
- [2] Y.S. Bai, R.R. Neurgaonkar, and R. Kachru, Opt. Lett. 22, 334 (1997).
- [3] L. Hesselink, S. S. Orlov, A. Liu, A. Akella, D. Lande, R. R. Neurgaonkar, Science 282, 1089 (1998).
- [4] J. Imbrock, D. Kip, and E. Kratzig, Opt. Lett. 24, 1302 (1999).

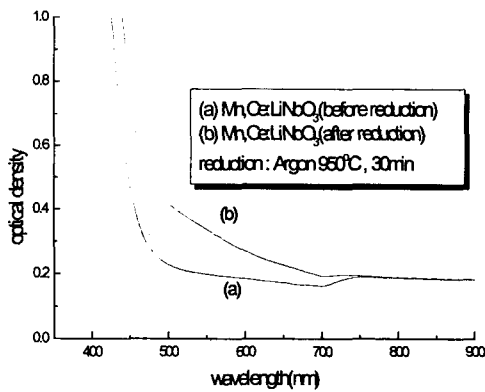


그림 1 (a) as-grown Mn,Ce:LiNbO₃
(b) reduced Mn,Ce:LiNbO₃

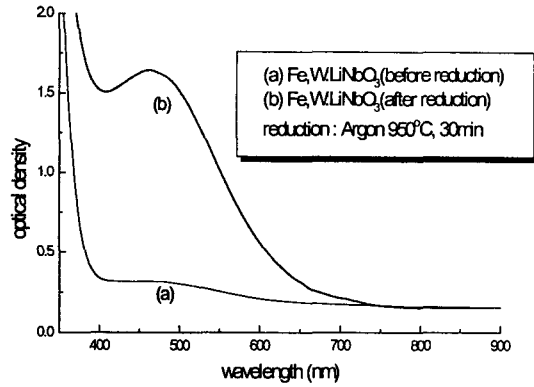


그림 2 (a) as-grown Fe,W:LiNbO₃
(b) reduced Fe,W:LiNbO₃

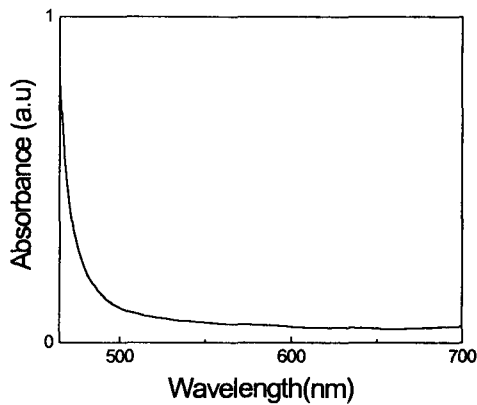


그림 3. UV-induced absorption in Mn,Ce:LiNbO₃

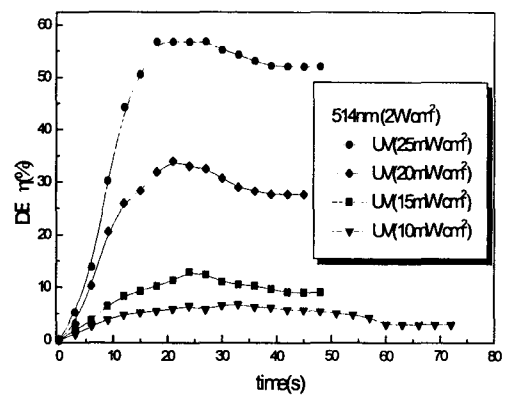


그림 4. Buildup of diffraction efficiency in Mn,Ce:LiNbO₃ under UV gated recording