

열고정에 의한 광굴절 LiNbO_3 결정에서의 굴절률 역전

The reversal of photorefractive index in LiNbO_3 by thermal fixing

박남기*, 김경엽, 양병춘, 이병호
 국가지정 홀로그래피 기술 연구실
 서울대학교 전기공학부
 byoungho@plaza.snu.ac.kr

최근에 광연결(optical interconnection)을 위한 목적으로 LiNbO_3 (0.03 mol% Fe doped) 결정에 광굴절(photorefractive) 도파로를 기록하는 방법이 소개되고^(1, 2) 있는데 제작 방법과 원리는 다음과 같다. 17mW 출력의 He-Ne 레이저광을 렌즈로 통과시켜 빔의 크기를 줄인 후 초점은 LiNbO_3 크리스털에 입사하는 반대편 면에 맞추어 입사시킨다. 그림 1에서 +y 방향으로 초점이 입사면을 통과할 때까지 크리스털을 이동시켜 도파로를 만든다. 이 때 이동하는 방법은 10ms 노광시킨 후 15 μm 씩 불연속적으로 움직여 나간다. 이렇게 함으로써 이미 새겨진 도파로를 지우는 효과를 최소화 할 수 있다. 이렇게 도파로가 만들어지는 원리는 가우시안 세기분포를 가지는 레이저광이 LiNbO_3 에 입사하면 중앙에는 음의 굴절률 변화가, 광축의 양쪽 주변에서는 양의 굴절률 변화가 발생하는데 양의 굴절률 변화를 보이는 지점은 광섬유의 코어처럼 빛을 인도할 수 있게 된다. 그런데 매질 내에서 굴절률 변화가 일어나는 이유는 빛의 입사로 인한 확산과 photovoltaic 효과에 의해 전자의 공간적 분포가 바뀌고 이로 인하여 새로 형성된 공간 전자장의 분포가 electro-optic 효과를 일으켰기 때문이다. 하지만 레이저광이 입사한 중앙이 아니라 상대적으로 좁은 영역인 양쪽에 굴절률이 양인 구간이 생기므로 불편한 점이 많다. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 기존에 홀로그램이 지워지는 것을 방지하기 위하여 사용되었던 열고정(thermal fixing) 방법⁽³⁾을 적용했다. 도파로가 기록된 LiNbO_3 를 150 $^\circ\text{C}$ 에서 10분간 가열한 후 상온으로 천천히 냉각시키고 여기에 Ar 레이저광을 평행광으로 만들어 균일한 세기로 쬐어준다. 이 과정동안 겪게되는 전자의 재배치는 그림 2와 같다. 우선 이 온도에서는 양성자의 이동도가 전자보다 크기 때문에 가열되는 동안 양성자가 움직여 전하를 중성화시킨다. 균일한 빛의 조사에 의해 전자가 다시 여기되므로 크리스털 속에서 전자의 패턴은 지워진다. 하지만 전자를 중성화시켰던 양성자의 공간적 분포는 그대로 남아 있어 굴절률이 역전된다. 그림 3은 He-Ne 레이저의 빛을 약하게 하여 도파로 주위를 균일하게 비추었을 때 관찰한 사진으로 (a)는 열고정 이전의 도파로의 모습이고 (b)는 열고정 후의 모습이다. 밝고 어두운 부분의 위치가 바뀌었음을 알 수 있고 이것은 굴절률이 역전되었다는 증거가 된다. 이로써 기존의 광굴절 도파로와 달리 가우시안 빔으로 새긴 가운데 부분을 도파로로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 빛에 의한 소멸도 방지할 수 있게 된다.

References

1. K. Itoh, O. Matoba, and Y. Ichioka, "Fabrication experiment of photorefractive three-dimensional waveguides in lithium niobate," *Optics Letters*, vol. 19, no. 9, pp. 652-654, 1994.

2. O. Matoba, K. Itoh, and Y. Ichioka, "Nonuniform and off-axis structures for photorefractive waveguides in lithium niobate," *Optical Engineering*, vol. 35, no. 8, pp. 2175-2181, 1996.

3. K. Buse, S. Breer, K. Peithmann, S. Kapphan, M. Gao, and E. Krätzig, "Origin of thermal fixing in photorefractive lithium niobate crystals," *Physical Review B*, vol. 56, no. 3, pp. 1225-1235, 1997.

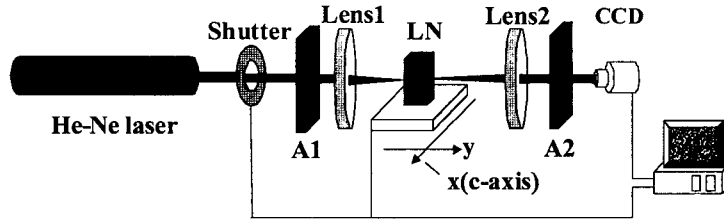


그림 1. 실험 구성도(A: attenuator, LN: lithium niobate)

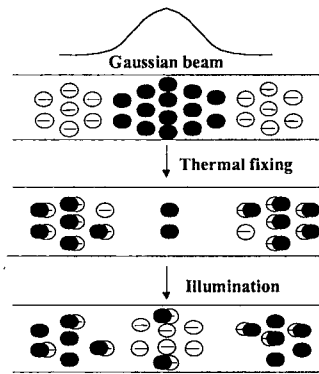
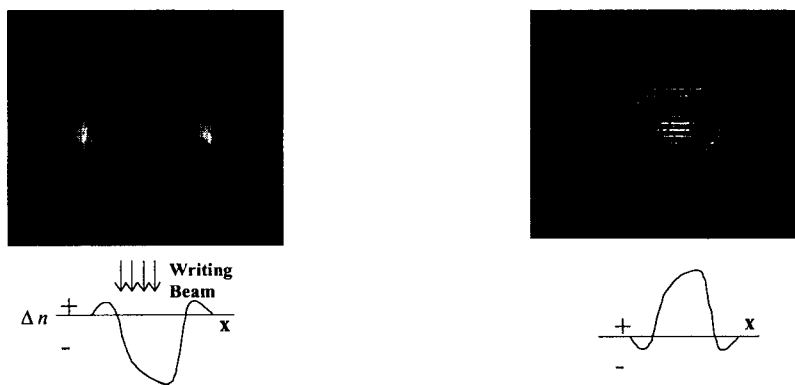


그림 2. 열고정 과정 동안의 전하 분포 변화



(a) 도파로만 새긴 후

(b) 열고정 및 균일한 조사 후

그림 3. 평면파를 입사시켰을 때 굴절률 변화를 보여주는 CCD 이미지