

광 도파로 제작을 위한 양자 교환 방식에 관한 연구

(A study of proton exchange method for optical waveguide fabrication)

윤 형 도 *
채 기 병
강 기 성
소 대 화

명지대학교 전자공학과
명지대학교 전자공학과
상지전문대학 전자과
명지대학교 전자공학과

Hyung - do Yoon *
Kee - Byung Chae
Ki - Sung Kang
Dae - Wha Soh

MYONG JI UNIV.
MYONG JI UNIV.
SANG JI COLLEGE,
MYONG JI UNIV.

Abstract

In this study, a single optical modulator which is fabricated on X-cut LiNbO₃ substrate by using proton exchange method is described. It is well-known that the proton exchange method is characterized by index change of the single optical modulator. As a results, it is found that the single optical waveguide varied widely with controlling diffusion process. The diffusion process was used to optimize the fabrication of the single optical modulator. On the other hand, the process was used to provide another performance improvement and it reduced the fabrication process.

I. 서론

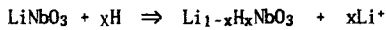
21세기 이후의 차세대 정보 통신 기술은 광 전자 공학 기술에 근거한 고속화, 대량화에 따른 고속 광신호의 전달 수단으로 photo diode를 이용한 광신호의 전기적 신호 변환, 그리고 laser diode를 이용한 광신호의 변환 등 광범위한 주파수대역 및 광 신호의 특유한 장점들이 광 소자 및 집적회로와 광 시스템 개발로써 구현되게 되어지고있다. 집적 광학 소자를 만들기 위해서는 광파의 전계에 대한 영향을 나타내는 전기 광학 상수 (electro - optic coefficient)가 큰 물질이 유리하다. 따라서 uniaxial ferroelectric crystal인 리튬 나이오베이트 (LiNbO₃)는 이러한 조건을 만족시키며 도파 손실이 낮은

광 도파로를 만들기에 적합하다. LiNbO₃ 기판위에 단일 광도파로를 만들고 전극을 통하여 전계를 인가하면 전기 광학 효과에 의해서 광 도파로의 굴절율에 변화를 줄수 있다. 1) 광 변조기는 광 도파로의 형태에 따라 단일 광도파로(optical single waveguide), 가지형 도파로 (branching waveguide), 마하-젠더 간섭계(Mach-Zehnder Interferometer)2), 방향성 결합기(directional coupler), X-스위치등으로 구별 할수 있다. 따라서 본 실험에서는 광 변조기를 제작하기 위하여 X-cut LiNbO₃ 기판에 양자 교환을 이용한 확산 방식과 자기 정렬 방식으로 전극을 형성 하였다. 그러므로써 양자교환 방식에서는 어닐링 효과에 의해 굴절율 및 출력이 변화되는 광 도파로의 특성을 알수 있었다. 또한 자기정렬 방식의 전극을 형성 함으로써 기존의 전극 형성 단점을 보완하며 전계효율을 향상 시키고, Image Reversal 공정을 이용하여 도전성을 높여 줌으로 광 변조기 제작을 위한 간단화 및 최적화로 단일 광 도파로를 형성 할 수 있었다.

II. 실험 방법.

LiNbO₃ 기판위의 굴절율을 증가시켜서 손실이 적은 광도파로를 만드는 방법으로는 타이타늄 내부확산(titanium indiffusion)과 양자 교환(proton exchange)공정을 대표적으로 들수 있다. Titanium-indiffusion⁴⁾ 공정은 광도파로를 만들려는 부분에 Ti를 필름 형식으로 올려뒤에

고온에서 수시간 동안 표면확산 시키면 깊이 방향으로 확산되어 들어간다. 따라서 굴절율이 증가되고 광 도파로가 형성 된다.⁵⁾ 이때 Ti 두께와 폭, 내부 확산 시간과 온도, 그리고 확산시키는 방향에 따라 광 도파로의 굴절율 분포가 결정 된다. 양자교환 공정은 LiNbO₃ 기판위에 광 도파로를 만들려는 부분만 열려있도록 금속 마스크를 만들고, 다음 LiNbO₃ 기판을 산이나 수화물 속에 담궈서 가열하면 LiNbO₃의 Li⁺ 이온과 산이나 수화물에서 공급되는 H⁺이온이 양자 교환을 일으키게 되고 반응이 일어난 표면의 굴절율이 증가 하게 된다. 이 경우에 양자 교환이 일어나는 화학 반응식은 다음과 같이 쓸수 있다.



본 실험에서는 benzoic- acid 를 사용하였으며, 양자교환을 위해 필요한 온도는 150°C에서 245°C로 하였다. 따라서 Diamond saw를 이용하여 시편을 10×6 mm 정도 되게 자른후 TCE, Acetone 및 Methanol에 순차적으로 담궈서 끓이고 표면을 면봉으로 닦아 내었다. 그리고 sputter를 이용하여 100Å 정도의 Cr을 코팅 한후 양자 교환이 이루어 질 도파로를 형성 하기위하여, PR 작업을 거친후 레이저 리소그래픽 방식으로 도파로부분의 PR을 제거한후 Cr-7(Cr etchant)을 이용하여 광 도파로를 Fig.1.과 같이 patterning 하였다. 양자교환에 필요한 Ampoule을 제작하기 위하여 내경이 10mm인 pyrex tube를 torch로 가공하여 LiNbO₃시편과 벤젠산(C₆H₅COOH)을 넣어서 가공한다.

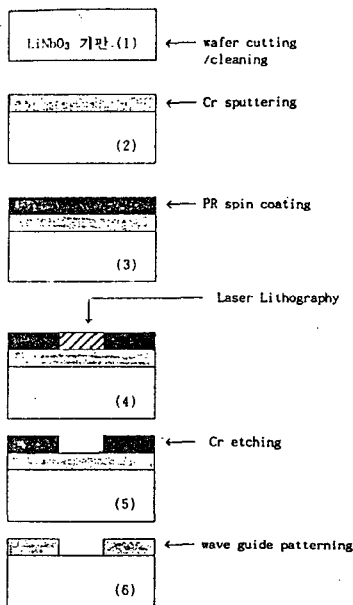


Fig.1. A single waveguide for proton exchange process.

Fig.2.에서는 Ampoule 을 150°C oil bath에 넣어서 수십 분 정도 기다리면 아랫쪽의 벤젠산이 녹아서 액체 상태가 된다. 이때 Ampoule을 뒤집어서 40 - 60분 정도 넣어두면 기판표면에서 양자 교환이 일어난다. 그 다음 Ampoule을 식힌후 LiNbO₃ 시편을 꺼내어 입 출력단의 단면을 사포 (#1500)로 갈아낸후 약 0.3 μm 입자 굵기를 갖는 polishing pad에 갈아서 깨끗하게 만든다. 표면에 밀집되어있는 양자 (H⁺)들을 깊이 방향으로 확산하기 위하여 어닐링을 한후, 형성된 광 도파로의 굴절율 분포를 결정하게 된다. 본 실험에서는 전극의 도전성을 높이고자 자기 정열 방식으로 제작되어진 Cr 전극위에 Au를 코팅하기 위하여 Image Reversal 공정 방식을 선택하여 전극을 형성하였다.⁶⁾ 전극에 Au를 올리기 위한 Image Reversal 공정 방식은 LiNbO₃ 기판이 투명하므로 Back Illumination을 이용하여 Cr위에 Au를 sputtering한후 Lift-off하여 전극을 형성 하였다.

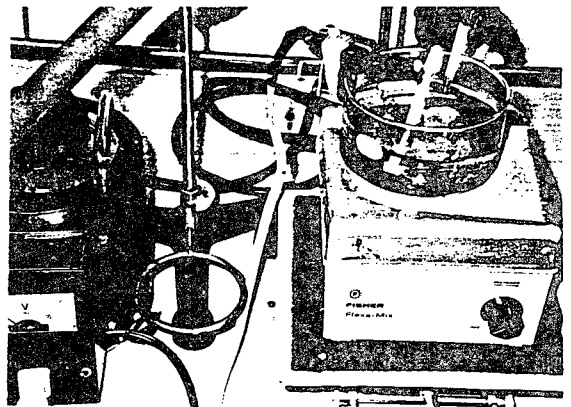
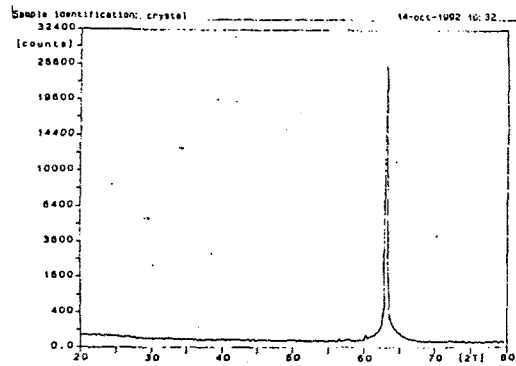


Fig.2. Oil bath system for proton exchange.

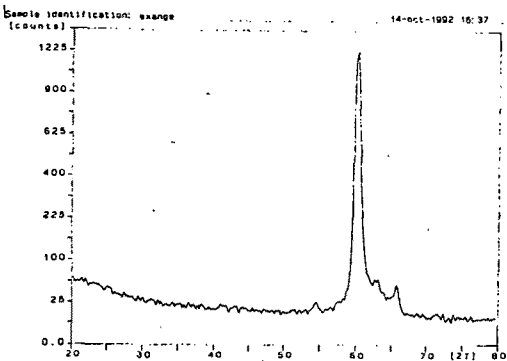
III. 결과 및 고찰

본 실험에서는 단일 광 도파로를 제작 설계하기 위하여 시뮬레이션⁷⁾한 결과를 X-cut LiNbO₃ 기판에 적용하여 양자교환 수행하였다. 양자교환 및 양자확산을 하기 위하여 이용된 Cr패턴을 직접 전극으로 이용하므로 전극을 형성하기 위한 align과정이 요구되지 않는다. 기존의 전극형성의 단점은 도파로의 edge와 전극의 edge 부분이 정확히 align 되지 않으므로 전체효율이 아주 적게 나타났다. 본 실험에서는 이러한 align과정이 요구되지 않으므로 전극으로 이용되는 Cr이 광도파로와 최대한 밀착되므로 전체의 효율을 높이는데 매우 적절한 방식이다. 따라서 전극의 도전성을 높이고자 Cr전극 위에 Au를 코팅하기 위하여 Image Reversal공정방식을 선택하여 전극을 형성하였다. Cr전극 위에 Au를 올리기 위한 Image Reversal공정방식은 Back Illumination방식을 이용하여 Cr위에 Au를

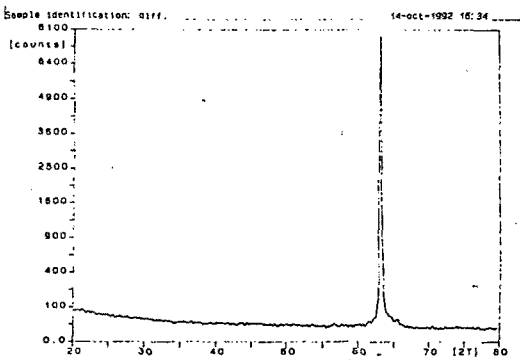
sputtering_한후 Lift-off 방식으로 전극을 형성하였다. Fig. 3. 에서는 X-cut LiNbO₃기판을 양자교환후 확산된 도파로에 대한 X-Ray 회절분석을 나타냈다. (a)에서는 LiNbO₃단결정에 대한 분석으로 63.06°부근에서의 peak를 형성하여 균일한 스트레인을 확인할수 있으며, (b)에서는 기판에 도파로를 형성한후 oil bath에서 150°C로 2시간 양자교환된 샘플의 X-Ray 분석 결과이다. 여기서는 60.3° 부근에서 peak를 나타내고 있다. 또한 (c)에서는 양자교환 후 O₂분위기에서 450°C로 30분정도 diffusion한 샘플로서 63.04° 부근에서의 peak를 나타내고 있다. 따라서 (d)에 나타낸 바와 같이 결정 기판의 peak는 양자교환 과정



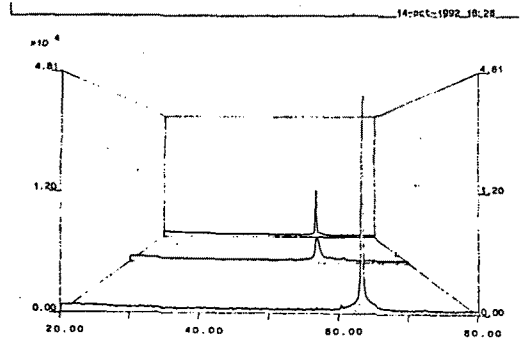
a) LiNbO₃ crystal



b) proton exchanged sample



c) diffused sample



d) LiNbO₃ crystal, proton exchange, diffusion

Fig. 3. X-Ray diffraction analysis

에서의 2θ에 나타나는 peak의 이동현상으로 diffusion을 수행 함으로써 안정된 결정 구조를 형성함을 고찰할수 있었다. Fig. 4.는 a-step측정 결과로서 제작되어진 광도파로의 형성 과정과 확산 깊이를 확인하기 위하여a-step을 이용하여 확인한 결과이며 양자교환에 의하여 양자확산 되어진 확산 깊이를 확인 하였다. 또한 Fig. 4.에서 채널폭이 4μm 정도를 형성된 것을 확인할수 있다. Fig. 5.

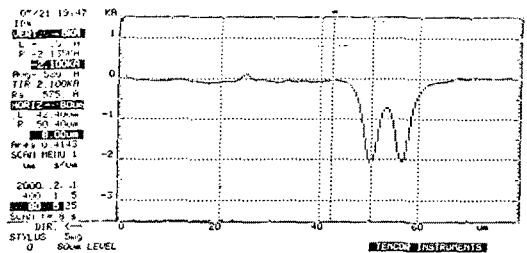
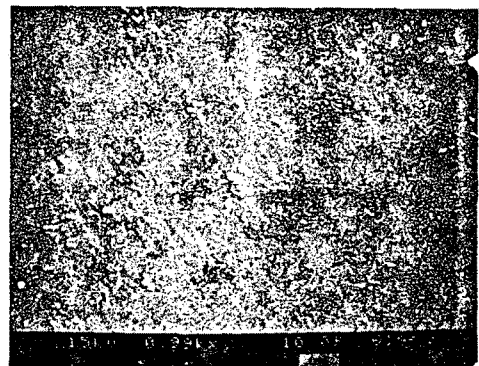
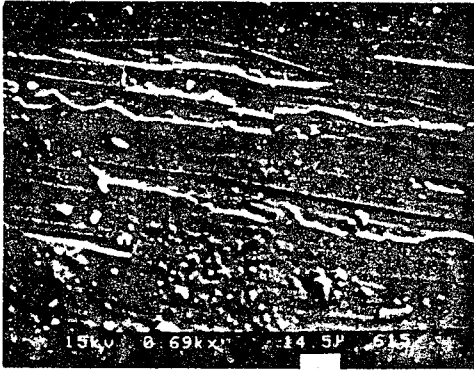


Fig. 4. Waveguide depth profile using a-step

에서는 LiNbO₃기판에서 도파로를 형성하기 위한 기판의 결정 표면과 양자확산후의 표면 사진을 각각 (a)와 (b)에 나타냈으며, Fig. 6.에 양자확산된 광도파로로서 폭이 4μm 인 사진으로 균일하게 형성된 것을 볼수 있다.



a) LiNbO₃ substrate



b) diffused surface

Fig.5. SEM photography of sample

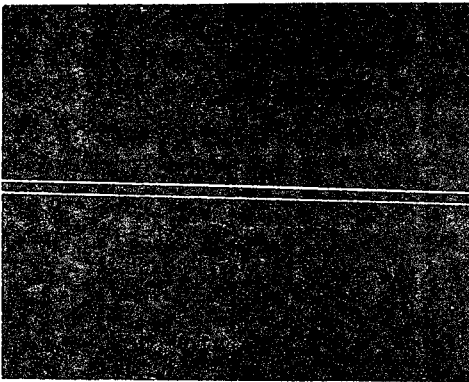


Fig.6. Picture of waveguide

IV. 결 론

X-cut LiNbO₃기판을 사용한 광도파로 제작을 위하여 양자교환 공정을 수행한 결과, 양자교환을 한후 확산과정에서 양자밀도의 변화에 의한 도파로 굴절을 변화를 조절할

수 있었으며, X-Ray 분석 결과 확산후 표면의 결정 형성이 안정하게 이루어짐을 관찰할수 있었다. 따라서 LiNbO₃기판을 이용한 양자 확산 방식의 광 변조기 제작에 있어서 양자교환 및 확산 조건이 광 변조기 도파로의 굴절을 결정과 밀접한 관계가 있으며, Image Reversal 방식으로 전극을 형성 하므로써 전극의 효율성을 높이고 공정 과정의 간단화를 기할수 있을 것으로 기대된다.

Reference

1. A. L. Dawar, S. M. Al-shukri, and R. M. De La Rue, " Guided-wave acoustooptic interaction in proton exchanged Y-cut LiNbO₃. " Appl.Phys.Lett., Vol. 48, pp,1579-1581,1986
2. V. Ramaswamy, M. D. Divino, and R. D. standly, "Balanced bridge modulator switch using Ti-diffused LiNbO₃ strip waveguide," Appl.Phys.Lett., Vol,32, pp,664-646,1978.
3. Lar Thylem, " Integrated optics in LiNbO₃ : Recent developments in devices for telecommunications" J Lightwave Technol., Vol,6, pp,847-861,1988.
4. R. V. schmidt and I-P. Kaminow, "Metal diffused optical waveguide in LiNbO₃. " Appl.Phys.Lett, Vol25, p p. 458-460, 1974
5. Neyer, W. Mevemkamp, L. Thylem, and B. Lagerstram, "A beam propagation method analysis of active and passive waveguide crossing," J.lightwave Technol., +Vol LT-3, pp. 635-642, 1985
6. 강기성, 박정철, 장용용, 소대화 : " X-스위치 광 도파로의 이론적 해석 ", 한국 통신학회 학술 발표회 논문집 Vol.10, No.2 pp.296-302, 1991
7. 소대화, 강기성, 채기병, 장용용: " X-스위치 광 변조기의 설계 및 분석", 한국 전기 전자 재료 학회 논문지, Vol.4권3호, pp 249-258, 1991