

# 측면 완충영역을 갖는 LiNbO<sub>3</sub> 자기정렬 리지 광도파로의 제작

조영보, 정형기, 신상영  
한국과학기술원 전자전산학과

## LiNbO<sub>3</sub> Self-aligned Ridge Waveguide with Dielectric Side Buffers

Young-Bo Cho, Hyung-Gi Jung and Sang-Yung Shin  
Dept. of EECS, Korea Advanced Institute of Science and Technology  
Email : whdud@eeinfo.kaist.ac.kr

### Abstract

A simple fabrication method of self-aligned ridge waveguides with dielectric side buffers is demonstrated on +Z-cut LiNbO<sub>3</sub>. The ridge waveguide is fabricated by a combination of the annealed proton exchange process and the proton-exchanged wet etching technique. The self-aligned process is achieved by wet etching of aluminum.

### I. 서론

초고속 통신 시스템에서 전기 신호를 광 신호로 바뀌 주는 광변조기는 핵심적인 소자이다. 가장 많이 사용되는 LiNbO<sub>3</sub> 광변조기의 경우 초고속 광변조를 위하여 진행파형 전극을 사용한다. 진행파형 전극에서는 광파와 마이크로파가 함께 진행하며 변조하므로 두 파간의 위상 속도를 일치시켜야 한다. 이를 위하여 초고속 광변조기에 리지(ridge) 광도파로 구조들이 사용되고 있다. 리지 광도파로를 사용하면 광파와 마이크로파의 위상 속도 정합을 이룰 수 있고, 두 파간의 중첩을 향상시켜 구동전압(V<sub>π</sub>)을 감소시킬 수 있다[1]. 일반적인 리지 광도파로 제작 공정은 정렬 공정을 포함한다. 정렬 공정은 공정 자체가 비교적 복잡하고 정렬 오차가 발생하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자기정렬 리지 광도파로가 제안되었다 [2]-[4]. 그러나, 지금까지 보고된 자기정렬 리지 광도파로는 리지 형태로 인한 손실이 비교적 크다. 이들 구조는 모두 광도파

역과 리지의 식각 옆면이 맞닿아 있으므로 리지의 옆면과 Y 분기점에서의 산란 손실이 증가하기 때문이다. 이에, 본 논문에서는 그림 1 과 같이 광도파 영역과 리지의 식각 옆면 사이에 완충영역을 갖는 자기정렬 광도파로를 제안하고 구현하였다.

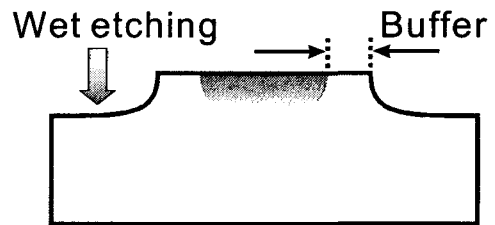


그림 1 측면 완충영역을 갖는 자기정렬 리지 광도파로의 단면 구조

### II. 제작 및 측정 결과

#### 1. 습식 식각

도파로 제작시 원하는 깊이까지 LiNbO<sub>3</sub> 를 식각하는 공정이 필요하다. 식각 방법은 크게 건식 식각 방법과 습식 식각 방법이 있다. 건식 식각 방법은 높은 식각률을 얻을 수 있지만 식각 옆면이 거칠고 고가의 장비를 필요로 한다는 단점이 있다[5]. 습식 식각 방법은 건식 식각보다 식각률이 낮으나 비교적 높은 식각률을 얻을 수 있고 저가에 구현할 수 있으며 식각면이 깨끗

하다는 장점을 가지고 있다[6]-[7]. 이 논문에서는 습식 식각을 이용하였다. 습식 식각은 양자교환 된 영역의  $\text{LiNbO}_3$  만이  $1\text{HF} : 2\text{HNO}_3$  혼합 용액에 식각되는 특성을 이용한다 [6].  $\text{LiNbO}_3$ 는 결정 구조를 갖는 물질이므로 결정 방향에 따른 식각 특성이 달라진다. 그러므로 도파로 제작에 앞서  $\text{LiNbO}_3$ 의 결정 방향에 따른 식각 특성을 조사하였다. -Z 면의 경우 양자교환 하지 않은 부분도 식각 용액에 불규칙하게 식각되는 현상이 나타났으므로 양자교환을 통해 식각 깊이를 조절하기에 적합하지 않았다. +Z 면의 경우는 양자교환 하지 않은 부분은 식각되지 않았으므로 식각 깊이를 양자교환 시간으로 조절 가능하였다. 그림 2 는 +Z 면  $\text{LiNbO}_3$ 를  $220^\circ\text{C}$  벤젠산 용액에서 양자교환 후  $40^\circ\text{C}$ 의  $1\text{HF}:2\text{HNO}_3$  식각액에 4 시간 식각하였을 경우, 양자교환 시간과 식각 깊이의 관계를 나타내었다. 식각 깊이는 양자교환 시간의 제곱근에 비례하였으며, 그 식각률은  $0.8\mu\text{m}/\sqrt{\text{hour}}$ 였다. 이것은 확산 현상에 기인하는 양자교환 깊이의 변화와 잘 부합하는 결과이다. 그림 3

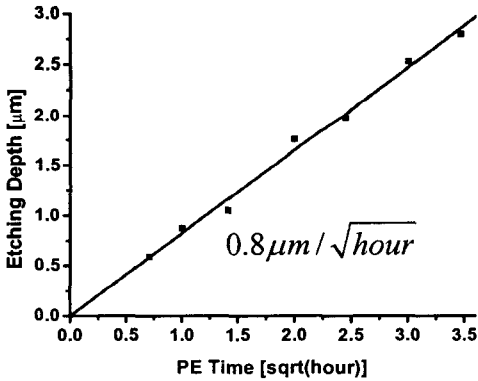


그림 2 +Z 면  $\text{LiNbO}_3$  양자교환 시간에 따른 식각 깊이

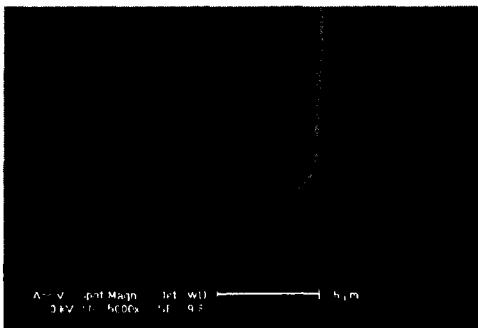


그림 3  $2.5\mu\text{m}$  식각된 시편의 SEM 사진

은  $2.5\mu\text{m}$  식각한 시편의 SEM(Scanning electron micrograph) 사진이다. 식각된 면과 마스크 된 면이 깨끗함을 확인할 수 있다.

## 2. 도파로 제작 공정

도파로 제작 과정을 그림 4에 나타내었다. 먼저, 알루미늄을 양자교환 마스크로 사용하여 양자교환 도파로를 형성한다. 이후에 포토레지스트(Photoresist : PR)를 코팅한 후 후방에서 UV를 조사하고 현상하면 알루미늄 마스크 위의 PR만 남게 된다 [2]. 이 시편을 알루미늄 식각 용액에 담그어 도파로 형성 시에 사용했던 알루미늄 마스크의 개구부를 원하는 폭만큼 넓혀준다. 이것은 그림 4(c)에 나타나 있다. 제한한 자기 정렬 공정의 핵심이 되는 이 과정을 통하여 광도파로와 리지 옆면 간의 완충 영역을 확보할 수 있다. 그림 4의 (d), (e)와 (f)에 식각을 위한 크롬과 금 마스크를 형성하는

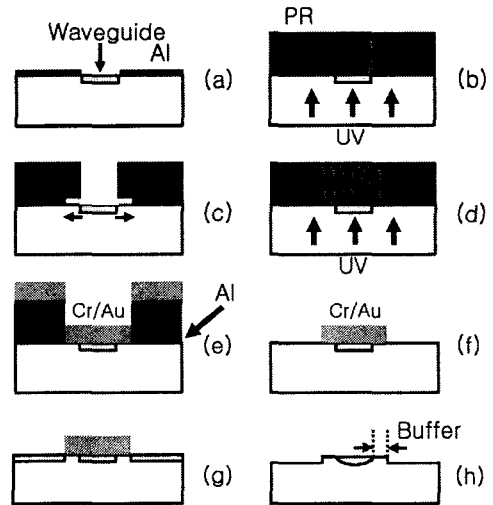


그림 4 완충영역을 갖는 자기정렬 리지 광도파로의 제작 공정

- (a) 양자교환을 이용한 광도파로 형성
- (b) PR 코팅과 후방 UV 조사
- (c) 광도파로 마스크의 개구부 확장
- (d) PR 코팅과 후방 UV 조사를 통한 자기정렬
- (e) 크롬과 금 증착으로 습식 식각 마스크 형성
- (f) PR과 알루미늄 제거
- (g) 양자교환된  $\text{LiNbO}_3$  식각
- (h) 후처리

공정을 나타내었다. 이 공정에서 PR 을 다시 코팅한 후 후방 UV 조사를 이용하여 자기정렬을 수행하면, 알루미늄 마스크를 반전한 형태의 식각 마스크를 형성할 수 있다. 크롬과 금은 알루미늄 식각 용액에 식각되지 않으므로 습식 식각 마스크인 크롬과 금 만을 남긴 채 알루미늄을 선택적으로 제거할 수 있다. 형성된 마스크를 사용하여 습식 식각을 수행한 후 열처리 하면 자기정렬 리지 광도파로가 완성된다.

### 3. 알루미늄 습식 식각

완충 영역의 폭을 조절하기 위해서는 알루미늄의 식각률을 알 필요가 있다. 식각 용액의 온도를 증가시킬수록 알루미늄의 식각률이 증가하나 35°C 이상의 온도에서는 미세한 기포가 발생하여 식각면이 불균일해지

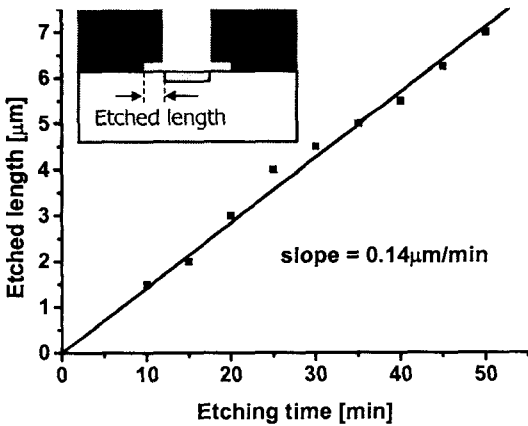


그림 5 알루미늄 식각률

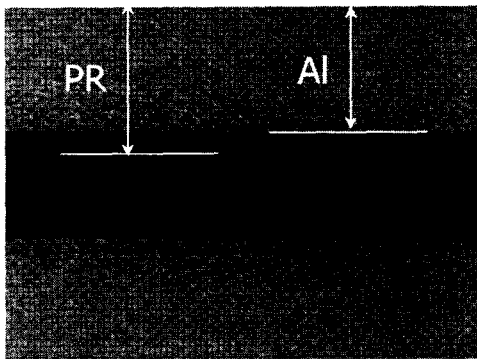


그림 6 습식 식각된 알루미늄 마스크 현미경 사진

는 현상이 발행한다. 그림 5 는 식각 용액의 온도를 30°C 로 유지시켰을 때 알루미늄 식각 특성을 실험적으로 보여주는 그래프이다. 식각되어 넓어진 개구면의 폭 변화는 식각 시간에 비례하였으며 알루미늄의 식각률은 0.14 μm/min 이다. 그림 6 은 광 도파로 폭이 7 μm 인 시편을 알루미늄 식각 공정 후 위에서 본 현미경 사진이다. 투명한 PR 아래에 알루미늄이 균일하게 3 μm 식각되어 있는 것을 확인할 수 있다

### 4. 측정 결과

제작된 도파로의 특성 비교를 위하여 완충 영역을 갖는 자기정렬 리지 광도파로와 일반 양자교환 광도파로를 하나의 기판에 동시에 제작하였다. 그림 7 은 제작된 리지 광도파로의 SEM(Scanning electron micrograph) 사진이다. 완충 영역의 폭은 2.5 μm 이고, 리지의 높이는 1.6 μm 이다. 광 도파로의 손실 측정에 사용된 측정 장치는 그림 8 에 나타나 있다. 이때, 광원은 1.55 μm 파장을 갖는 레이저 다이오드를 사용하였다. 전파손실

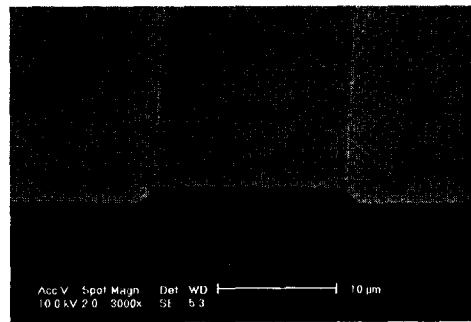


그림 7 제작한 자기정렬 리지 광도파로의 SEM 사진 (리지 높이 : 1.6 μm, 완충영역 폭 : 2.5 μm )

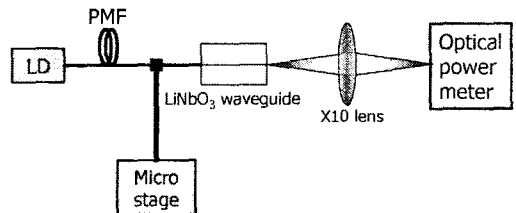
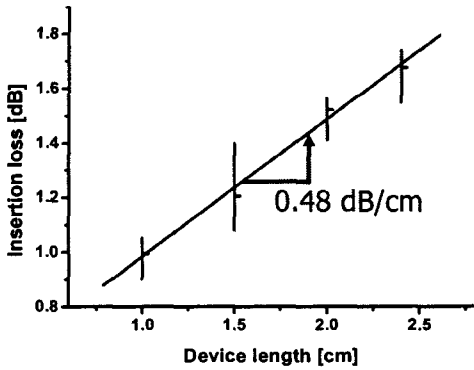


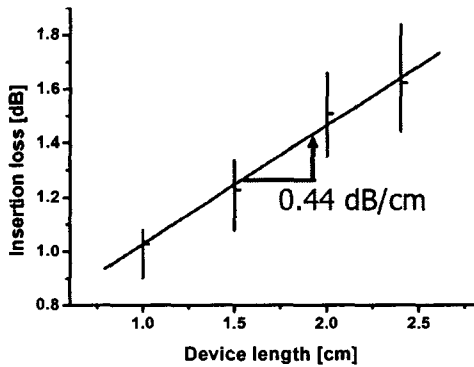
그림 8 측정 장치 개념도

측정 결과는 그림 9 와 같다. 리지 광도파로의 경우 평균 전파 손실은 0.48 dB/cm 이고 Y 분기점에서의 추가 손실은 0.55 dB 였다. 일반 양자교환 광도파로의 경우 전파 손실은 0.44 dB/cm 이고 Y 분기점에서의 추가 손실은 0.54 dB 였다. 그러므로 리지 형태로 인한 추가 손실이 아주 작음을 확인할 수 있다.

총 영역 폭은 2.5  $\mu\text{m}$  이고 리지 높이는 1.6  $\mu\text{m}$  이다. 전파 손실은 0.48 dB/cm 였으며 Y 분기점에서의 추가 손실은 0.55 dB 였다. 이 자기정렬 광도파로 구조는 공정상에 발생하는 정렬 오차와 리지의 측면에서 발생하는 산란 손실을 동시에 줄일 수 있다.



(a)



(b)

그림 9 전파 손실 측정 (a) 리지형 광도파로 (b) 일반 양자교환 광도파로

### III. 결론

본 논문에서는 측면 완충 영역을 갖는 자기정렬 리지 광도파로를 제작하였다. 제작된 리지 광도파로의 완

### 참고 문헌

- [1] K. Noguchi and K. Kawano, "Proposal for Ti:LiNbO<sub>3</sub> optical modulator with modulation bandwidth more than 150 GHz," *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 18, pp. 1759-1761, 1992.
- [2] H. J. Lee and S. Y. Shin, "Lithium niobate ridge waveguides fabricated by wet etching," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 268-269, 1995.
- [3] Wen-Ching Chang, Chao-Yung Sue, et.al., "A novel self-aligned fabrication process for nickel-indiffused lithium niobate ridge optical waveguides," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 17, No. 4, pp. 613-610, 1999.
- [4] Y. S. Yim, S. Y. Shin, "Lithium niobate integrated-optic voltage sensor with variable sensing ranges," *Opt. Comm.*, vol. 152, pp. 225-228, 1998.
- [5] 양우석 외, "Mach-Zehnder 형태의 Ti 확산 LiNbO<sub>3</sub> 광도파로의 플라즈마 식각 특성," *Photonics Conference*, pp.301-302, 2002.
- [6] F. Laurell, J. Webjorn, G. Arvidsson, and J. Holmberg, "Wet etching of proton-exchanged lithium niobate-A novel processing technique," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 1606-1609, 1992.
- [7] W. L. Chen, R. S. Cheng, J. H. Lee, and W. S. Wang, "Lithium niobate ridge waveguides by nickel diffusion and proton-exchanged wet-etching," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 1318-1320, Nov. 1995.