

양자확산 LiNbO₃ 채널 광도파로를
이용한 차단형 광변조기

김종성^o, 손 영 성, 이 형 재, 신 상 영
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Cutoff Modulator Using a Proton-Diffused
LiNbO₃ Channel Waveguide

Jong-Sung Kim, Yung-Sung Son, Hyung-Jae Lee, and Sang-Yung Shin
Department of Electrical Engineering, K A I S T

ABSTRACT

An electro-optic cutoff modulator with self-aligned electrode that utilizes a single-mode proton-diffused well-guided channel waveguide in a X-cut Y-propagating LiNbO₃ substrate is reported. The self-aligned electrode is formed during proton diffusion process of itself. Nearly linear voltage-intensity relationship has been observed. Over 90 % modulation has been achieved with applied voltage of 25 V.

전기광학효과(electro-optic effect)를 이용하는 변조기는 여러가지 형태로 연구되어 왔으며 이러한 소자의 장점은 빠른 속도와 낮은 구동전력이다. 현재 가장 널리 연구되고 있는 소자는 Mach-Zehnder 간섭계와 방향성결합기 구조이다. 이들의 출력은 가해지는 전압에 따라 정현파적으로 변한다. 광변조기에서 on/off 소멸비(extinction ratio), 즉 변조도(modulation depth)는 중요한 요소이다. 도파광과 전극에 의해 가해지는 전계 간의 상호작용에 의해 변조도가 좌우되므로 전극의 정렬은 소자의 성능에 큰 영향을 준다 [1]. 한편 채널 광도파로의 굴절율을 전기광학적으로 줄여서 변조시키는 차단형 변조기(cutoff modulator)는 구조가 간단하고 제작이 간편하여 좀더 안정된 결과를 기대할 수 있다. 또한, 차단형 광변조기는 가해지는 전압에 따라 광출력이 선형적으로 변하는 특성을 지니므로 선형변조가 가능하다. 현재까지 발표된 차단형 광변조기는 티타늄 확산방식으로 채널 광도파로를 차단조건에 가깝게 제작하고 전압을 가해 광출력을 소멸시키는 형태가 주를 이룬다 [2, 3].

이런 방법으로 제작된 차단형 광변조기는 8 V의 전압으로 15 dB의 소멸비를 얻었다. 또한 양자교환 후 annealing하는 방법으로 같은 형태의 차단형 광변조기를 제작하여 7 V의 전압으로 15 dB의 소멸비를 얻었다 [4]. 양자교환방식으로 제작한 광도파로는 632.8 nm 파장에서 광손상을 입지 않는 장점을 지닌다. 최근에는 Y-cut LiNbO₃ 양자교환 광도파로의 소극(depolarization)을 이용하여 TE 도파모드를 TM 기판모드로 바꾸는 전기광학 스위치에 관한 결과도 발표되었다 [5]. 그러나 이러한 차단형 광변조기의 삽입손실(insertion loss)은 10 dB이상으로 크다. 이렇게 큰 삽입손실은 주로 모드의 모양과 크기가 광섬유의 모드와 달라 생기는 결합손실과 도파손실에 기인한다. 도파손실은 광도파로의 유효굴절율을 차단조건에 가깝게 제작하였으므로 일반적인 광도파로에 비해 복사손실(radiation loss)이 크기 때문이다. 따라서 현재까지 발표된 차단형 광변조기는 삽입손실이 커서 실제 소자로서의 가치는 지니지 못하였다. 그러나 차단형 광변조기는 구조가 간단하고 기본적으로 전기광학효과에 의한 도파모드의 특성변화를 관찰할 수 있으므로 여기서 얻어지는 결과를 Mach-Zehnder 간섭계나 방향성결합기 구조의 소자 제작에 적용할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 차단형 광변조기와는 달리 잘 도파되는 조건의 양자확산 광도파로에 자기정렬된 전극에 의한 차단형 광변조기를 제작하고 광변조 특성을 측정하였다.

양자확산 채널 광도파로를 이용한 차단형 광변조기의 제작과정은 그림 1과 같다 [6]. 기본공정은 광도파로 제작과정과 같으나 금속마스크 패턴을 전극으로 사용하기 위해 그대로 남겨놓는 것 만 다르며, 제작순서는 다음과 같다.

1. 금속마스크 채널패턴을 X-cut LiNbO₃ 기판위에 lift-off 기법으로 형성한다.

본 논문은 한국과학재단 1989년도 목적기초연구 과제의 일부로 수행되었음

2. LiNbO_3 기판과 안식향산 가루를 모래시계 모양으로 가운데 부분을 잘록하게 가공한 유리관의 위아래 부분에 각각 넣어 분리시켜 밀봉한다.
3. 밀봉된 유리병을 도가니에 넣어 150°C 로 가열한다.
4. 설정한 온도에 도달한 후 유리병을 뒤집어 액체상태의 안식향산 용액속에 기판을 담그어 양자교환시킨다.
5. 일정시간(1 - 2 시간) 양자교환 후 도가니에서 꺼내 다시 뒤집어 식힌 후 꺼낸다.
6. 양자교환된 기판을 세척하고 기판에 포토레지스트를 입힌다.
7. 기판을 뒤집어 자외선을 쬐어 양자교환에 사용한 금속마스크를 그대로 사용하여 자기정렬된 클래딩패턴을 형성한다.
8. 포토레지스트를 현상한 후 SiO_2 를 sputtering으로 증착한 후 lift-off 기법으로 자기정렬된 클래딩을 형성한다.
9. SiO_2 클래딩을 형성한 기판을 400°C 로 유지되는 도가니에 넣고 산소 기체 분위기에서 양자교환 조건에 따라 일정시간(10 - 100 분) 동안 양자확산시켜 광도파로를 제작한다.
10. 금속마스크는 자기정렬된 평행전극으로 사용되며 silver epoxy로 gold wire를 bonding하여 변조기를 제작한다.

제작한 차단형 광변조기의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 채널의 폭이 $4 \mu\text{m}$ 인 차단형 광변조기의 특성을 파장 632.8 nm에서 측정하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보면 전압에 따라 광출력이 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다. 35 V의 전압에서 소멸비가 21 dB(99.3 % 변조)이상이고 25 V에서 90 % 이상의 변조도를 얻었다. 채널폭을 줄이면 구동전압을 낮출 수 있다. 전극이 자기정렬되어 있으므로 구조적으로 소자의 제작에 반복성이 있으며 신뢰도가 높다. 여기서 얻어지는 결과는 Mach-Zehnder 간섭계나 방향성결합기 구조의 광변조기 소자 제작에 기초자료로 활용할 수 있으며 같은 제작과정으로 여러가지 형태의 자기정렬된 전극구조를 지닌 소자의 제작이 용이한 장점을 지닌다.

결론으로, 양자확산방식으로 제작된 LiNbO_3 채널 광도파로를 이용하여 자기정렬된 전극구조의 차단형 광변조기를 제작하고 광변조특성을 측정하였다. 측정결과 전압에 따라 광출력이 거의 선형적으로 변하는 것을 관찰하였고, 35 V의 전압에서 21 dB 이상의 소멸비를 얻었다.

References

- [1] C. M. Kim and R. V. Ramaswamy, "Overlap integral factors in integrated optic modulators and switches," *J. Lightwave Technol.*, **7**, pp. 1063 - 1070, 1989.
- [2] A. Neyer and W. Sohler, "High-speed cutoff modulator using a Ti-diffused LiNbO_3 channel waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, **35**, pp. 256 - 258, 1979.
- [3] P. R. Ashley and W. S. C. Chang, "Improved mode extinction modulator using a Ti in-diffused LiNbO_3 channel waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, **45**, pp. 840 - 842, 1984.
- [4] R. Chen and C. S. Tsai, "Thermally annealed single-mode proton-exchanged channel-waveguide cutoff modulator," *Opt. Lett.*, **11**, pp. 546 - 548, 1986.
- [5] R. T. Chen, "Electro-optic depolarization switch on y-cut LiNbO_3 proton-exchanged channel waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, **54**, pp. 2628 - 2630, 1989.
- [6] Yung-Sung Son, Jong-Sung Kim, and Sang-Yung Shin, "Fabrication of proton - diffused LiNbO_3 waveguides with self-aligned SiO_2 -cladding," in *Tech. Dig. 7th Int. Conf. Integrated Optics and Optical Fiber Communication*, Kobe, Japan, July 18 - 21, 1989, Paper 19D3-2.

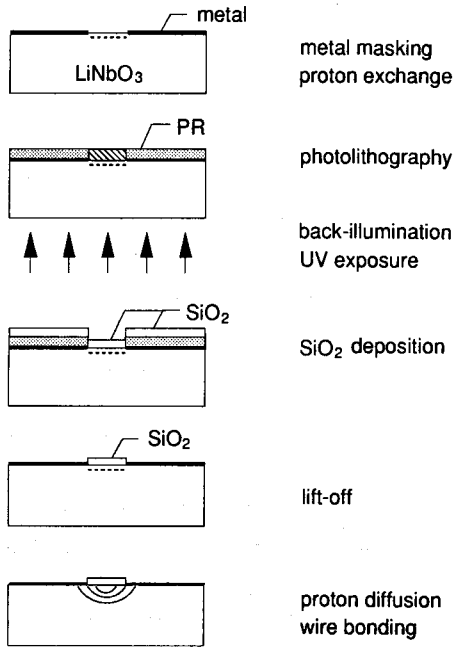
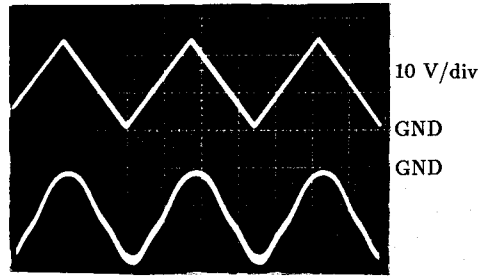
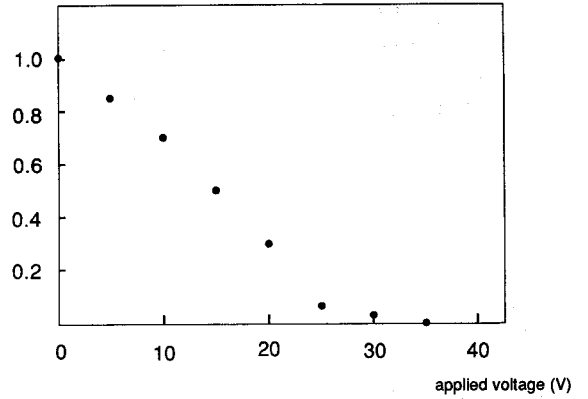


그림 1. 양자확산 LiNbO₃ 채널 광도파로를 이용하는 차단형 광변조기의 제작과정



(a)

normalized intensity



(b)

그림 3. 4 μm 채널폭을 가진 차단형 광변조기의 변조특성

(a) 삼각파 전압에 대한 광출력

(b) 전압에 따른 광출력 특성

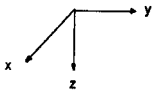


그림 2. 제작한 차단형 광변조기의 개략도