

자기정렬된 SiO₂ 클래딩을 이용한 LiNbO₃ 광도파로의 제작

Fabrication of Proton-Diffused LiNbO₃ Waveguides with Self-Aligned SiO₂-Cladding

손영성*, 김종성, 신상영
한국 과학 기술원 전기 및 전자공학과

ABSTRACT

A new fabrication method of proton-diffused LiNbO₃ channel waveguides with self-aligned SiO₂-cladding structures are reported, which provides easy control of mode pattern shapes and sizes.

양자교환(Proton Exchange) 방식으로 LiNbO₃ 기판에 광도파로를 제작하는 방법은 이미 확립되어 있는 Ti 내부확산 방식에 비해 상대적으로 제작공정이 단순하다. 양자교환은 이상굴절률(extraordinary refractive index)만을 증가시키고 정상굴절률(ordinary refractive index)은 감소시키므로 좋은 성능의 편파기(polarizer)를 제작할 수 있다[1]. 그러나, 순수한 안식향산(benzoic acid)에 의해 양자교환된 광도파로는 도파손실이 크고, 도파모드의 크기와 모양이 경섬유에 잘 맞지 않으므로 결합손실이 크다. 그리고, 시간이 지남에 따라 굴절률이 변하는 불안정한 특성을 나타내므로 소자의 신뢰성을 떨어뜨린다[2]. 또한, 전기광학특성을 감소시켜 전극에 의해 동작되는 경스위치/변조기등의 제작에 제한요인이 된다. 그러나 최근에 이러한 결함을 보완하기 위해 양자교환후 보다 높은 온도에서 annealing 하는 방법인 annealed-proton exchange(APE) 방식이 개발되었다[3,4]. 이 방식으로 제작한 광도파로는 도파손실이 작고(0.15 dB/cm),

전기광학특성이 그대로 유지된다. 게다가 우수한 편광특성(polarization extinction)을 지니며(>60 dB), 25 ~ 150°C에서 시간이 지남에 따라 안정된 특성을 보인다. 따라서, APE 방식은 Ti 내부확산방식에 비해 우수한 성능을 지닌다. 본 논문에서는 APE 방식의 장점을 좀더 향상시키기 위해 자기정렬된 SiO₂ 클래딩을 이용하여 양자확산(proton diffusion)방식에 의한 LiNbO₃ 광도파로 제작방법을 새로이 제안하였다. 광도파로의 제작과정을 기술하고 이 방법으로 제작된 광도파로의 모드패턴의 크기와 모양을 조절할 수 있음을 보였다.

양자확산방법은 양자교환 후 좀더 높은 온도에서 양자확산시키는 과정으로 이루어져 있다. 따라서 자기정렬된 SiO₂클래딩을 제외한 기본적인 과정은 APE 방식과 유사하다. 기판 위에 포토레지스트를 입히고 기판의 아랫면으로 노출을 주어 감광시켜서 자기정렬된 SiO₂클래딩 패턴을 형성시킨다. 이 방법은 별도의 정렬(alignment) 없이 양자교환된 영역외에 정확히 SiO₂클래딩 패턴을 얻을 수 있다. 이 방법은 사용하는 광원이 투과되는 기판에는 모두 적용이 가능하다. 예로 유리를 기판 재료로 하는 광도파로 제작에서도 이 방법을 그대로 사용할 수 있다. 또한 이 방법을 응용하면 클래딩 뿐만 아니라 자기정렬된 평행한 전극을 제작할 수 있다. 이렇게 해서 만들어진 SiO₂클래딩이 확산과정에서 하는 역할은 다음과 같다. 양자확산이 이루어질 때, 횡방향으로의 양자확산을 클래딩에 의해 표면에서의 외부확산과 기판내에서의 내부확산으로

나눌 수 있다. 즉, 클래딩이 없는 곳에서는 주로 표면 방향으로 양자가 외부확산되고 클래딩이 있는 곳에서는 외부확산이 억제되어 기판내부로의 확산이 증진된다. 따라서, SiO₂ 클래딩은 양자가 옆면으로 확산되는 것을 크게 제한시키는 역할을 한다. 또한, 양자를 보존하는 효과를 지니므로 양자교환시키는 비율을 기존의 양자교환방식에 비해 낮출 수 있다. 결과적으로 횡방향과 길이방향으로의 양자확산 정도가 각각 제어되므로 모드의 모양을 조절할 수 있다.

광도파로의 제작과정은 그림 1에 나타내었다. 금속마스크 채널패턴을 Z-cut LiNbO₃ 기판에 lift-off기법으로 형성한다. LiNbO₃ 기판과 안식향산 가루를 모래시계모양으로 가운데 부분을 잘록하게 가공한 유리관의 외아래 부분에 각각 넣어 분리시켜 밀봉한다. 밀봉된 유리병을 도가니에 넣어 150 °C로 가열한다. 설정한 온도에 도달한 후, 유리병을 뒤집어서 액체상태의 안식향산에 기판을 담그어 양자교환시킨다. 일정시간(1 - 4시간) 양자교환시킨 후 도가니에서 꺼내 다시 뒤집어 식힌 후 꺼낸다. 양자교환된 기판을 세척하여 기판표면에 포토레지스트를 입힌다. 기판을 뒤집어 놓고 자외선을 쬐어 양자교환에 사용한 금속마스크를 그대로 사용하여 자기정렬된 클래딩 패턴을 형성시킨다. 포토레지스트를 현상한 후 SiO₂를 sputtering으로 증착시켜 클래딩을 형성시킨다. 포토레지스트를 lift-off기법으로 제거하여 자기정렬된 SiO₂클래딩을 형성시킨다. 형성된 SiO₂클래딩은 양자확산과정에서 마스크로 작용한다. SiO₂클래딩을 형성한 기판을 산소 분위기에서 400 °C에서 1 시간내지 수시간 동안 확산시킨다.

이러한 방법으로 SiO₂ 클래딩의 폭이 3 μm인 채널 광도파로를 제작하고 파장 632.8 nm에서 측정하였다. 광도파로의 near-field pattern을 그림 2에 나타내었다. 모드패턴의 aspect ratio는 양자교환을 2, 4 시간 동안 시킨 후 양자확산을 1시간 시킨 경우에 각각 1.33, 1.25 이다. 이같은 현재 발표된 값에 비해 개선된 것으로 SiO₂클래딩에 의한 효과로 여겨진다. 그림 2에서 보면 모드의 크기가 현저하게 다르게 나타난다. 이는 양자교환시간의

차이에 의한 양자농도의 차이에서 비롯된 결과이다. 따라서, 제작과정에서 양자교환, 양자확산 시간과 SiO₂ 클래딩의 폭을 매개변수로 활용하면 다양한 모양과 크기의 모드패턴을 얻을 수 있을 것이다.

결론으로, 자기정렬된 SiO₂ 클래딩을 이용하여 양자확산방식에 의한 LiNbO₃ 광도파로 제작방법을 새로이 제안하고 채널 광도파로를 제작하였다. 제작한 광도파로의 모드패턴을 측정하여, 이 방법으로 모드패턴의 모양과 크기를 조절할 수 있음을 보였다.

References

1. P.G. Suchoski, T.K. Findakly, and F.J. Leonberger, *Opt. Lett.* **13**, 172(1988).
2. A. Yi-Yan, *Appl. Phys. Lett.* **42**, 633(1983).
3. A. Loni, R.M. De La Lue, and J.M. Winfield, in *Digest of Topical Meeting on Integrated and Guided-Wave Optics* (Optical Society of America, Washington, D.C., 1988), Paper MD3.
4. P.G. Suchoski, T.K. Findakly, and F.J. Leonberger, *Opt. Lett.* **13**, 1050(1988).

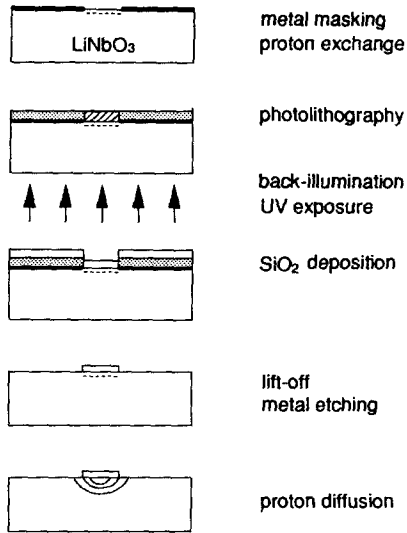
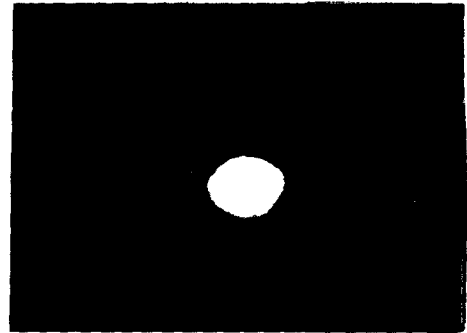


Fig.1 Fabrication procedure of proton-diffused LiNbO₃ waveguides with self-aligned SiO₂-cladding



(a)



(b)

Fig.2 Near-field patterns of the waveguides,

(a) 2 hours PE and 1 hour PD

(b) 4 hours PE and 1 hour PD