

## 고온 양자교환법으로 제작된 평판 도파로의 굴절률 분포 결정

### Determination of refractive index profile for a planar waveguide fabricated by HTPE method

신명진, 조현주, 이재철, 유재승\*, 문흥기\*

고등기술연구원, \*국방과학연구소

mjshin@iae.re.kr

고온 양자교환법을 이용하여 LiNbO<sub>3</sub> 기판에 1550nm 파장을 도파 시키는 평판 도파로를 제작하고 프리즘 커플링 방법을 사용하여 도파 모드를 측정하였다. 633nm 파장에 대하여 프리즘 커플링 방법으로 측정된 여러 개의 도파모드를 inverse WKB 방법으로 곡선 맞춤하여 제작된 평판 도파로의 표면 굴절률과 깊이에 따른 굴절률 분포를 결정하였다.

일반적으로 LiNbO<sub>3</sub>에 Ti 확산법이나 양자 교환 후 열처리 기법으로 만들어진 도파로의 굴절률 분포는 표면으로부터 점차적으로 굴절률 증가량이 감소하는 언덕형 굴절률 분포를 가지고 있다. 이러한 점진적인 굴절률 분포를 갖는 도파로의 모드 방정식은 계단형 굴절률 분포를 가지는 도파로와는 달리 쉽게 풀리지 않는다. 그러므로 굴절률의 변화가 천천히 선형적으로 변하는 WKB 근사를 사용하여 고유치 방정식(eigenvalue equation)을 풀어야 한다. 표면에 수직인 방향을  $z$  라고 할 때  $x$  방향으로 손실 없이 진행하는 TE 모드에 대한 파동방정식을 WKB 근사를 사용하여 간략화하면 다음과 같다.<sup>(1,2)</sup>

$$\int_0^{z_m} [n^2(z) - n_m^2]^{1/2} dz = \frac{4m-1}{8}, \quad m=1, 2, \dots, M$$

이 때  $z_m$ 은  $n(z_m) = n_m$  으로  $m$ 차 도파모드  $n_m$ 의 도파 깊이를 의미하며,  $z_0 = 0$  이고,  $n_0 = n(0)$ 로 표면 굴절률을 의미한다. 이와 같은 굴절률 분포를 가지는 도파로를 프리즘 커플링 방법으로 도파 모드를 측정하면 굴절률이 깊이에 따라 변하므로 도파 모드( $n_m$ )의 간격이 일정하지 않게 나타난다. 이것을 깊이에 대하여 수많은 조각으로 나누고 측정된 모드의 굴절률과 비교하여 고유치 방정식의 적분 구간의 합이 최소가 되도록 곡선맞춤 하였다.

본 연구에서는 한 번의 양자교환만으로 LiNbO<sub>3</sub>의 결정상 변화 없이 적당한 굴절률 변화와 굴절률 분포를 얻을 수 있는 고온 양자교환법(high temperature proton exchange, HTPE)을 사용하여 1550nm 대역에 대한 평판 도파로를 제작하였다. LiNbO<sub>3</sub>의 양자교환을 위한 양자원으로 스테아릭 산(stearic acid, SA)을 사용하였고 굴절률 조절을 위해 리튬 스테레이트(lithium stearate, LS) 첨가물을 사용하여

양자원의 농도를 조절하였다. 양자 교환 후 제작된 평판 도파로는 633nm에서 rutile 프리즘을 사용하여 프리즘 커플링 각도를 측정하고 이로부터 각 도파모드의 유효 굴절률을 결정하였다. 그림 1은 LS 0.50% 농도에서 8시간과 10시간 양자교환 하여 평판 도파로를 제작하고 633nm에 대하여 프리즘 커플링 한 세기 그래프이다. 양자교환 시간에 따라 각각 5개의 모드를 얻었으며 inverse WKB 방법으로 표면 굴절률 변화량과 굴절률 분포를 예측한 결과를 그림 2에 나타내었다.

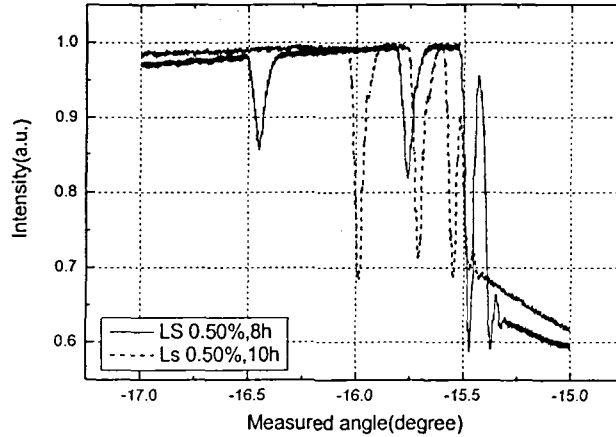


그림 1 633nm 광원에 대한 프리즘 커플링 결과

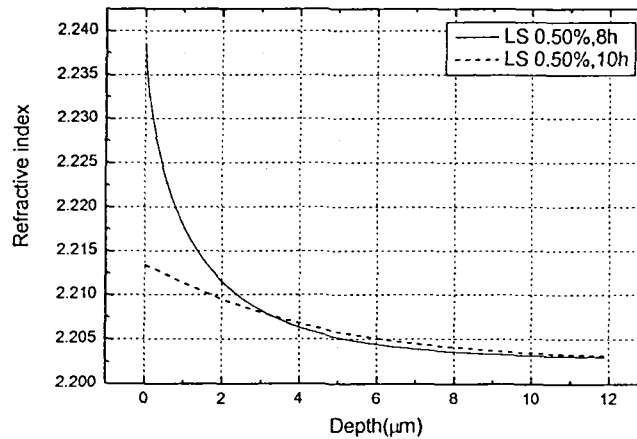


그림 2 633nm 파장에 대한 평판 도파로의 굴절률 분포

1. J.M. White and P.F. Heidrich, "Optical waveguide refractive index profiles determined from measurement of mode indices: a simple analysis", Appl. Opt. **15**, 151 (1976).
2. Yuri N. Korkishko, Vyacheslav A. Fedrov, Oksana Y. Feoktistova, "LiNbO<sub>3</sub> optical waveguide fabrication by high temperature proton exchange", Journal of Lightwave Technology **18**, 562 (2000).