

The Discussion of Glass Waveguide formed by Ion-exchange (이온교환 방법에 의한 유리도파로 특성 고찰)

박정일*, 김봉재, 박태성, 정홍배
(광운대학교 전자재료공학과)

J.I. Park*, B.J. Kim, T.S. Park, H.B. Chang
(Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon Univ.)

Abstract

We fabricated Ag ion-exchange glass waveguide. Generally, ion exchange glass waveguides are suitable for passive integrated optical components such as directional and star couplers. Its advantages include low loss, ease of fabrication, and low material cost. So, we fabricated Ag ion-exchange glass waveguides in AgNO₃ melt solution from 2 mole %. And we used Sodalime glass as a substrate in the fabrication process.

As the results, we observed multivalent ion-exchange in a typical sodalime glass. Diffusion coefficient and depth are predicted by actual experimental data of Stewart. The exchange rate in silver-ion-exchanged waveguides are compared to the exchange time of waveguide fabrication.

서론

광도파로에 의해 제작되는 WDM소자, 방향성 결합기, Star Coupler 등 광수동소자는 경제성, 동작의 안정성, 소형화, 대량생산의 잇점으로 인해 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 이온교환 유리 도파로는 제작이 간단하고 값싼 공정으로 양질의 도파로를 제조할 수 있는 장점이 있다. 이온교환 방법은 초기에 이온반경이 큰 이온이 유리내의 작은 이온반경을 갖는 이온과 교환되므로써 발생하는 유리 표면의 압축성 Stress를 이용한 유리의 강도향상을 목적으로 이용되었으나 현재는 광통신 및 집적광학의 발전과 함께 저손실 도파로를 이용한 광분파 및 합성기 등 수동소자

로의 연구가 진행되고 있다. 이온교환에 의한 도파로의 제작은 Li⁺, Cs⁺, Rb⁺, K⁺, Ag⁺ 그리고 Tl⁺와 같은 1가의 알칼리 이온과 유리내의 Na⁺ 이온이 교환되므로써 유리 표면에 굴절율을 변화시켜 도파로를 형성하게 된다. 굴절율 변화는 두 효과의 조합에 의해서 발생되는데,¹⁾ 첫째는 Li⁺ 이온과 같은 작은 이온이 Na⁺, K⁺ 같은 큰 이온과 교환되므로 유리 표면에 충전구조를 발생시켜 굴절율을 증가시키며, 둘째는 electronic polarizability가 큰 이온(Tl⁺, Cs⁺, Ag⁺, Rb⁺, K⁺)이 작은 polarizability를 갖는 이온(Na⁺)과 교환되므로써 굴절율 변화를 발생시킨다. 두 효과 중에서 굴절율 변화는 electronic polarizability에 더 의존하게되며 두 효과의 함수로서 변화되는 굴절율 변화량은 식(1)로서 나타낸다.

$$\Delta n = \frac{(n^2 + 2)^2}{6n} \frac{4\pi}{3V} \sum_i \Delta Q_i \alpha_i \quad (1)$$

여기서 V는 체적이며, ΔQ_i는 교환된 i type의 이온 개수, α_i는 electronic polarizability 이다. 이온교환의 교환이온으로서 potassium 이온²³⁾과 은 이온⁴⁵⁾이 많은 연구가 되고 있다. 은 이온교환에 의한 장점⁶⁾은 높은 굴절율 변화로 인하여 강한 모드 구속을 하게된다. 이것은 bending 손실을 감소시키고, 도파로 윗부분에 grating과 같은 구조들과 모드들간의 상호작용에 있어서 evanescent field를 증가시킬수 있다. 이러한 이온들의 교환율은 활성화 에너지, 이동도, 유리조성, 온도 등의 다양한 파라미터 등에 의존하게 된다. 은 이온교환은 은 이온의 source로서 AgNO₃를 사용하는데 이것의 melting point는 212°C 이다. 따라서 대부분의 은 이온교환의 온도범위는 210°C ~ 300°C이며 많은 연구자들이 이 범위에서 은 이온교환에 의한 도파로 제작 특성

을 보고 하였다⁴⁾.

본 논문에서는 기판으로 sodalime 유리와 교환이온으로 은 이온을 사용하였다. 이온교환 온도는 300°C, AgNO₃는 2mole%⁹⁾로 했으며 교환시간에 따른 의존성을 관찰 하였다 또한 STEWART⁷⁾ 등의 실질적 data에 의해 얻은 수식을 이용하여 도파로 depth를 예측 하였다.

도파로 제작

도파로 제작에 있어서 기판은 일반적인 soldalime 유리를 사용하였으며 교환될 은 이온의 source로서 AgNO₃를 사용하였다. 그림 1은 이온교환 과정을 나타내고 있다.

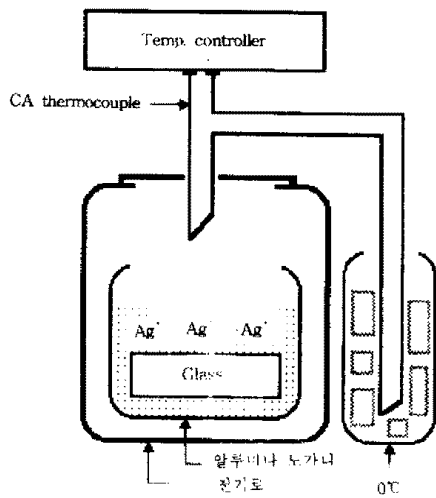


그림 1. 이온교환 장치도

온도 조절은 ±1°C의 오차를 갖는 CA thermocouple을 사용하였다. 유리 기판을 이온교환 시키기전에 이온교환 이하온도에서 10분정도 예열을 한 후 이온교환을 시켰다. 이러한 과정은 유리의 온도와 용융염의 온도차에 의한 유리 표면에서의 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해서이다. 첫번째 유리 기판은 300°C에서 30분 유지 시킨후 제거 하였으며, 이온교환 시간에 따른 의존성을 관찰하기 위해 두번째 기판은 60분을 유지시킨 후 제거하여 공기중에서 냉각 시켰다. 냉각된 기판은 초음파 세척기로 세척한후 증류수로 씻어 공기중에서 건조 시켰다.⁸⁾

측정 및 결과

300°C의 2mole% AgNO₃ 용융염에서 이온교환된 유리 기판의 교환정도를 확인하기 위하여 EDAX를 사용하여 분석 하였다. 그림 1은 이온교환을 하기전 일반 유리 기판의 함유 원소들을 나타낸다. 그림 2,3 은 이온교환 시간에 따른 교환정도를 보여주며, 이온교환 시간을 60분으로 했을 경우 그림 3에서처럼 potassium의 peak는 전혀 나타나지

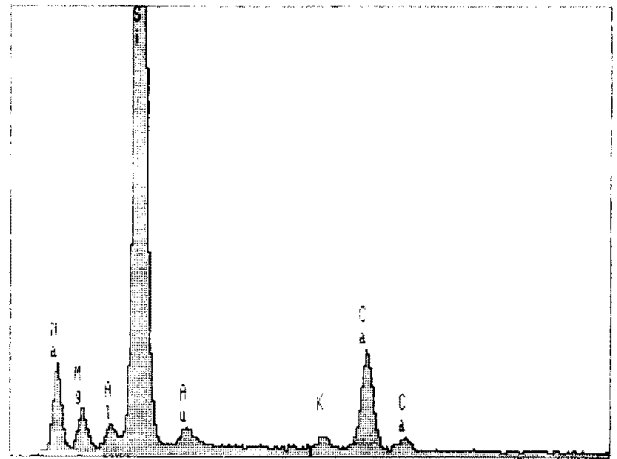


그림 2. 이온교환전 일반 유리 표면에서 함유 원소들

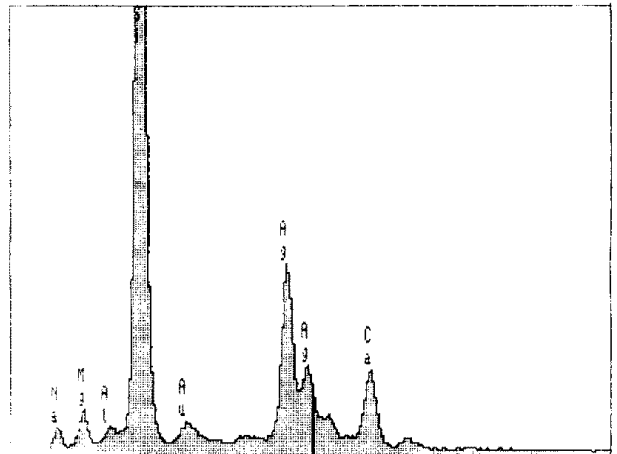


그림 3. 300°C에서 30분간 이온교환한 유리 표면에서의 함유 원소들

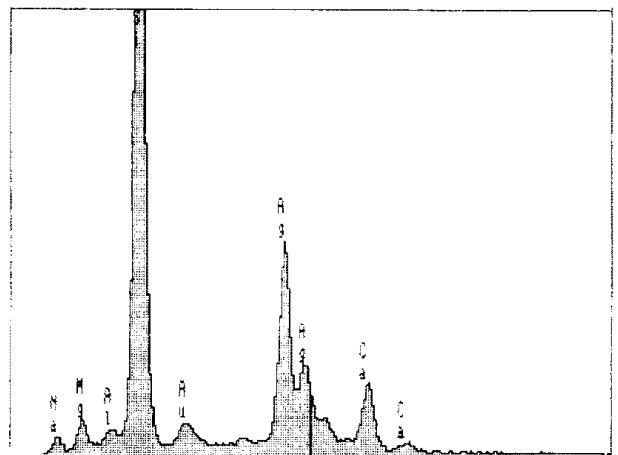


그림 4. 300°C에서 60분간 이온교환한 유리 표면에서의 함유 원소들

않았다. 표 1은 이온이 대부분 sodium 이온과 교환되었음을 나타내고 있다. 이온교환을 30분했을 때 12.877 wt%의 이온이 교환되었으며 60분의 경우는 15.404 wt%로 이온교환 시간 증가에 따라 교환량이 2.527 wt% 증가 하였다. 하지만 이 이온은 sodium 이온 뿐만 아니라 potassium 이온과 미량의 다가 이온과도 교환됨을 관찰할 수 있었다.

표.1 이온교환전과 교환후의 유리표면에서의 Wt%에 따른 원소의 함유량

Elemt.	Sodalime (Wt%)	Ion exchange			
		30min (Wt%)	비 고 (Wt%)	60min (Wt%)	비 고 (Wt%)
K	0.847	0.395	↓		↓
Na	11.775	5.478	↓	6.297	4.003 ↓ 7.772
Si	7.2	66.211	↓	5.789	66.696 ↓ 5.304
Al	1.088	1.025	↓	0.063	0.887 ↓ 0.201
Ca	8.826	0.158	↓	0.668	6.572 ↓ 2.254
Mg	2.494	2.323	↓	0.171	2.101 ↓ 0.393
Ag		12.597	↑	15.404	↑

이것은 sodalime 유리에서 다가 이온들의 교환이 발생한다는 JOSEPH⁶⁾ 등의 실험 결과와 일치한다. 또한 STEWART⁷⁾ 등의 실질적 실험 data에 의하여 얻은 식(2)를 이용하여 이온교환 시간에 따른 도파로 깊이를 예측 하였다.

$$d = 1.19 \times 10^4 \times t^{1/2} \exp[-(1.02 \times 10^4)/T] \mu\text{m} \quad (2)$$

여기서 t는 이온교환 시간(min.)이며, T는 Kelvin degree 이다. 식(2)에 따른 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2. 이온교환 시간에 따른 확산계수와 확산깊이

Ion exchange time	Diffusion coefficient	Diffusion depth
30 min.	$4.2 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$	8.885 μm
60 min.	$4.2 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$	12.565 μm

REFERENCE

[1] T. Findakly, Optical Engineering, Vol.24, NO.2, 244(1985)
 [2] S. Iraj Najafi, Appl. Optics, Vol.27, NO.17, 3728(1988)

[3] Peter G. Noutsios and Gar Lam Yip, Appl. Optics, Vol.31, No.25, 5283(1992)
 [4] T. G. Giallorenzi, E. J. West, R. Kirk, R. Ginther, and R. A. Andrews, Appl. Optics, Vol.12, NO.6, 1240(1973)
 [5] Ramu V. Ramaswamy and S. Iraj Najafi, IEEE J. Quantum Electronics, Vol.QE-22, NO.6, 883(1986)
 [6] W. J. Wang, S. Hokanen, and S. I. Najafi, J. Appl. Phys., 74(3), 1529(1993)
 [7] G. Stewart, C. A. Millar, P. J. R. Laybourn, C. D. W. Wilkinson and R. M. Delarue, IEEE J. Quantum Electronics, Vol. QE 13, NO.4, 192(1977)
 [8] Joseph E. Gortych and Dennis G. Hall, IEEE J. Quantum Electronics, Vol. QE 22, NO.6, 892(1986)
 [9] Keon - Ho Yoo, J. Optical Soc. Korea, Vol.3, No.3, 198(1992)