

이온교환 채널 도파로의 도파 특성

박정일*, 박태성, 천석표, 정홍배
(광운대학교 전자재료공학과)

The Propagation Characteristics of the Ion-exchange Channel Waveguide

J.I. Park*, T.S. Park, S.P. Chun, H.B. Chung
(Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon Univ.)

Abstract

In this paper, we performed theoretical computer calculation for ion-exchange embedded channel waveguide using Field Shadow Method.

Using the parameters of $\Delta n=0.09, 0.009, w=8\mu m, d=8.854, 8.189\mu m$, we decided the waveguide characteristics. The dispersion curves showed the optimal fabrication conditions of the waveguides. We observed each of the 3-D field distributions in the various waveguides.

도파로의 폭을 $8\mu m$, 길이를 $8\mu m$ 정도로 고려 하였다. 이러한 도파로 각 영역에서의 굴절률 형태를 다음과 같이 가정³⁴⁾하였다.

$$n^2(x) = n_c^2 - n_1^2/2 \quad ; x > 0 \quad (1)$$

$$n_1^2/2 \quad ; 0 > x > -a$$

$$n_c^2 - n_1^2/2 \quad ; x < -a$$

$$n^2(y) = n_2^2/2 \quad ; |y| < b/2 \quad (2)$$

$$n_c^2 - n_2^2/2 \quad ; |y| > b/2$$

$$n^2(x,y) = n^2(x) + n^2(y) \quad (3)$$

eq.3에 의해 주어진 $n^2(x,y)$ 에 대해 변수 분리법을 사용하여 scalar wave eq.를 풀면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d^2X/dx^2 + [n^2(x)k_0^2 - \beta^2]X = 0 \quad (4)$$

$$d^2Y/dy^2 + [n^2(y)k_0^2 - \beta^2]Y = 0 \quad (5)$$

eq.4에서 $n^2(x)$ 대신 eq.1을 치환하면 다음의 eq.들을 얻을 수 있다.

$$d^2X/d\xi^2 - (V_1^2 - \mu^2)X = 0 \quad ; \xi \geq 0 \quad (6)$$

$$d^2X/d\xi^2 + \mu^2X = 0 \quad ; -1 \leq \xi \leq 0$$

$$d^2X/d\xi^2 - (V_2^2 - \mu^2)X = 0 \quad ; \xi \leq -1$$

여기서

$$\xi = \frac{x}{a}, \quad V_1 = k_0 a (n_c^2 - n_1^2)^{1/2}$$

$$V_2 = k_0 a (n_c^2 - n_2^2)^{1/2}, \quad \mu = a (k_0^2 n_c^2/2 - \beta^2)^{1/2}$$

따라서 우리는 각 영역에 대한 scalar wave eq.의 해를 얻을 수 있다.

$$X(x) = A \exp[(V_1^2 - \mu^2)^{1/2} \xi] \quad ; \xi \geq 0 \quad (7)$$

$$B \exp(i\mu_1 \xi) + C \exp(-i\mu_1 \xi) \quad ; -1 \leq \xi \leq 0$$

$$D \exp[(V_2^2 - \mu^2)^{1/2} \xi] \quad ; \xi \leq -1$$

여기서 A,B,C,D는 경계 조건으로 부터 결정되는 상수들이다. 위의 식(7) 함수 X(x)는 $\xi=0$ 에서 연속이라는 경계 조건을 적용하여 graphical solution으로 전파상수 값을 결정하는 transcendental eq.를 얻을 수 있다. 그러므로 Silver 이온교환된 도파로 깊이가 $8.854\mu m$ 라고 할 때 발생하는 전파상수 값 β_1 은

I. 서론

고도의 정보화 사회로 변화함에 따라 광대역의 대량 정보통신 및 고속 정보처리가 가능한 광통신망의 구현을 위하여 Filter, Coupler, Isolator 등의 광수동부품의 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 이러한 광수동부품의 근간이 되는 기술은 도파로 제작기술이라 할 수 있다.

이온교환 유리 도파로는 1가의 알칼리 이온이 유리내의 Sodium 이온과 교환되므로서 유리 표면에 도파로를 형성하게 된다. 표 1은 Potassium 이온과 Silver 이온이 Sodium 이온과 이온교환 될 때의 일반적인 굴절률 변화량과 이러한 값에 영향을 미치는 이온들의 파라미터¹⁾들을 나타내고 있다.

표 1. 이온교환 파라미터

Ion	Electronic Polarizability ($\lambda=D$) [Å]	Ionic radius [Å]	Salts	Melting Point [°C]	Decomposition Point [°C]	Index Increase
Na ⁺	0.41	0.95	NaNO ₃	307	380	-
Ag ⁺	2.4	1.26	AgNO ₃	212	444	0.09
K ⁺	1.33	1.33	KNO ₃	334	400	0.009

이온교환에 의한 유리 도파로 제작 방법은 간단하고 값싼 공정으로 대량생산을 할 수 있다는 장점으로 인해 N×N 광결합기, 방향성 결합기, WDM 소자 등 광수동소자로의 용용에 적합하다.

특히, 광신호를 결합·분리 하는데 이용하는 커플러 기술²⁾은 집적 광학기술의 기반 기술이 되며 이의 접근을 위해 본 연구에서는 Silver 이온과 Potassium 이온의 이온교환에 의한 굴절률 변화와 채널 도파로에서 도파로 폭과 깊이에 따른 도파로 특성을 분산관계 식을 이용하여 해석하고 채널 도파로의 도파 특성을 이해하기 위해서 도파로 내부 Field 분포 형태를 고찰하고자 한다.

II. 이론

일반적으로 단일모드 광 Fiber의 반경은 2~5 μm 정도이다. 따라서 광 Fiber와의 접속시 손실을 줄이기 위해 embedded 채널

그림 1을 통하여 얻을 수 있다.

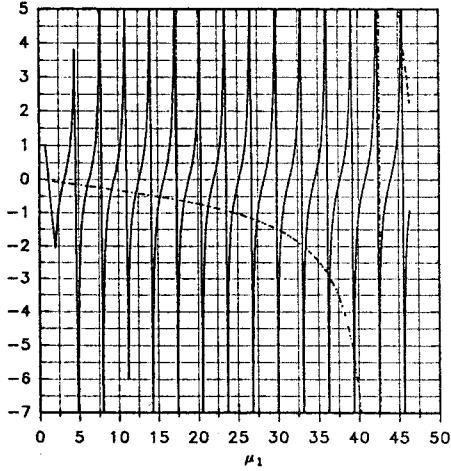


그림 1. β_1 을 구하기 위한 graphical solution

함수 $Y(y)$ 의 경우도 비슷한 방법에 의하여 transcendental eq. 을 유도하면 다음과 같다. 또한 그림 2를 통하여 모드가 대칭인 경우에 대한 전파상수값 β_2 를 구할 수 있다.

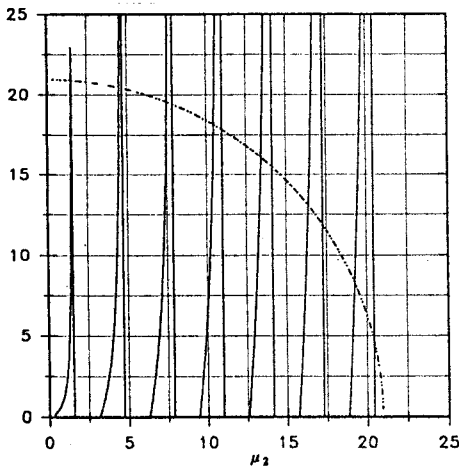


그림 2. 대칭인 경우 β_2 를 구하기 위한 graphical solution

$$\mu_2 \tan \mu_2 = (V_3^2 - \mu_2^2)^{1/2} \quad ; \text{대칭인 경우}$$

$$\mu_2 \cot \mu_2 = -(V_3^2 - \mu_2^2)^{1/2} \quad ; \text{비대칭인 경우}$$

평면 도파로들의 전파상수와 실효 굴절율은 채널 도파로의 전파상수와 실효 굴절율을 결정⁴⁾한다.

$$\beta^2 = \beta_1^2 + \beta_2^2$$

$$N^2 = N_1^2 + N_2^2$$

그러므로 우리는 도파로 설계에 있어서 적정 제작 조건을 결정할 수 있는 분산관계식은 다음과 같다.

$$P^2 = 1 - \frac{\mu_1}{V_2^2} - \frac{\mu_2^2}{V_3^2}$$

III. 결과 및 고찰

채널 도파로 해석은 BPM, Effective Index Method, FEM 그리고 Field Shadow Solution Method 등이 있다. 본 논문에서 우리는 graphical solution으로 전파상수 값을 쉽게 구할 수 있는 Field Shadow Method를 이용하여 이온교환 유리 도파로를 해석하였다. 그림 4와 5는 순수한 Silver 이온과 Potassium 이온을 이용하여 도파로를 제작할 때 원하는 모드수를 발생시키기 위하여 고려해야 할 분산곡선들이다.

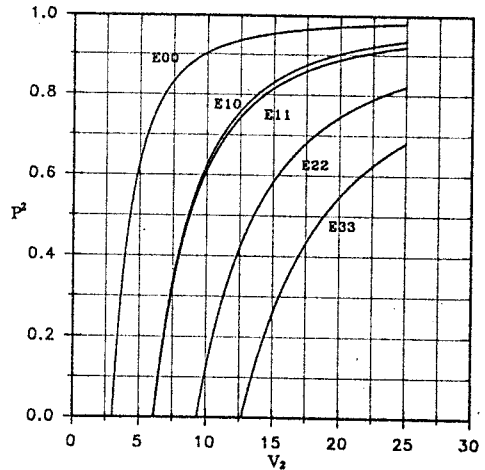
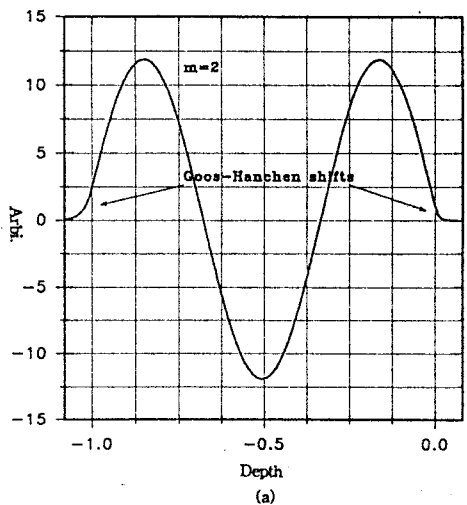


그림 3. Silver 이온교환 도파로 제작 조건에 따른 Dispersion curves

도파로의 길이는 Silver 이온교환의 경우 $8.854\mu\text{m}^3$, Potassium 이온교환의 경우 $8.189\mu\text{m}^3$ 로 고려하였다. 또한 채널 도파로의 도파 특성과 방향성 결합기 제작에 있어서 중요한 의미를 갖는 Goos-Hanchen Shift 영역을 관찰하기 위하여 2-D 및 3-D의 Field 분포를 고찰하였다.



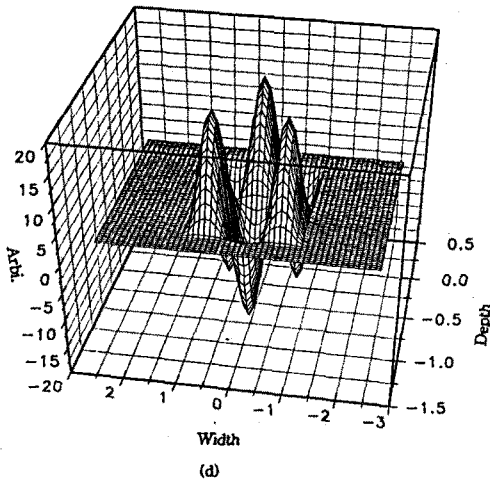
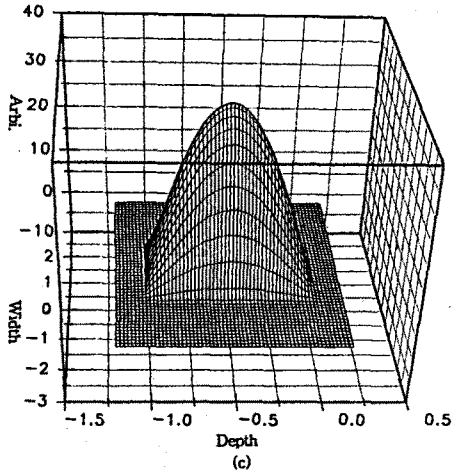
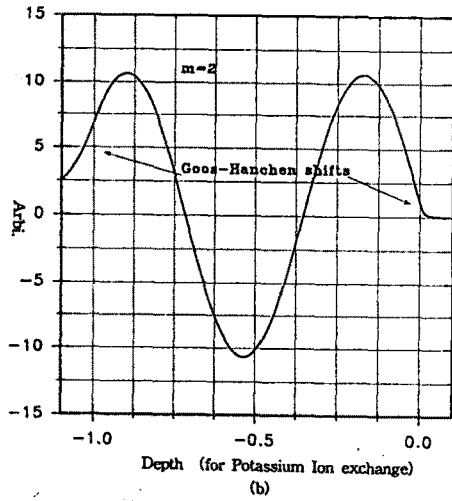


그림 4 (a),(b) : 2-D Field Distributions, (c),(d) : 3-D Field Distribution, [$E_0(c)$, $E_{12}(d)$]

그림 4에서 알 수 있듯이 본 연구에서 가정된 조건하에서 제작된 도파로들은 다중모드가 발생하였으며, Goos-Hanchen Shift 영역은 도파로와 기판의 경계면에서 더 크고 Silver 이온교환의 경우 보다 Potassium 이온교환의 경우가 더 크게 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 실제적 채널 도파로를 제작하기에 앞서 컴퓨터 계산을 수행하였다. 컴퓨터 계산의 결과로서 본 논문의 가정하에서 제작된 도파로들은 다중 모드가 발생되었으며, Goos-Hanchen Shift 영역은 Silver 이온교환의 경우보다 Potassium 이온의 경우가 크게 나타났다. 따라서 이온교환에 의한 단일 모드 도파로를 제작하기 위해서는 도파로와 기판의 굴절율차를 줄여야 하며, 방향성 결합기 제작을 위해서는 Silver 이온 보다 Potassium 이온을 사용하는 것이 유리하다. 또한 이온교환 도파로와 기판의 굴절율 차를 줄이기 위해서는 순수한 Silver 이온과 Potassium 이온 보다 Sodium 이온과 혼합된 source를 사용하는 것이 유리할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. T. Findakly, Optical Engineering, vol.24, No.2, 244 (1985)
2. E. A. J. Marcattili, The Bell System Tech. Journal, 12072-2102 (1969)
3. A. Ghatak and K. Thyagarajan, Optical Electronics, Cambridge university Press (1989)
4. Theodor Tamir, Gided-Wave Optoelectronics, vol.26, Springer series in Electronics and Photonics (1988)
5. G. Stewart, C. A. Millar, P. J. R. Laybourn, C. D. W. Wilkinson and R. M. Deiarue, IEEE J. Quantum Electronics, vol. QE-13, No.4, 192 (1977)
6. W. J. Wang, S. Honkanen and S. I. Najafi, J. Appl. Phys., 74(3) (1993)