

논문 2006-43SD-2-4

## 실리카 2층 Slab 도파로를 위한 고유방정식의 개선된 알고리즘

## (An Improved Algorithm of Eigenvalue Equation for Silica Double Layer Slab Waveguides)

지 유 강\*, 박 종 란\*\*, 윤 중 현\*\*\*, 박 수 봉\*

(yoo-kang Ji, jong-ran Park, jung-hyun Yun, and soo-bong Park)

## 요 약

본 논문에서는 실리콘 상의 2층 실리카 도파로에서 새로운 고유치 방정식을 도출하여, 프리즘 커플러로 굴절률과 박막의 두께를 결정하는 방법을 나타내었다. 도출된 고유치 방정식의 알고리즘은 반복 파라미터가 4개의 변수에서 3개의 변수로 감소되어질 수 있으므로 Ref.[5]의 방정식의 해보다 보다 좋은 장점을 갖으며, 또한 본 논문에 얻어진 평균 에러는 약  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  이하였다.

## Abstract

In this paper, we derive a novel eigenvalue equation of double silica layers on silicon only for TE mode and present the method as an example how to use it to determine the refractive indices and thicknesses with prism coupler. Our method to solve eigenvalue equation have good merit rather than [5] in that the equation is real and iteration parameters can be reduced from four to three. The average magnitude of the errors is less than  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  approximately

**Keywords** : 고유방정식, 굴절률, 실리카, Slab 도파로

## I. 서 론

급변하는 정보통신 환경에서 데이터 통신 용량을 증가시키기 위한 방법으로 WDM, 광분배기, 열 광학 스위치 등과 같은 싱글모드 광도파로 소자가 이용되고 있다.<sup>[1],[2]</sup> 이런 소자들은 대부분 수동소자로서, 실리콘 기판 상에 만들어 지며, 실리카는 실리콘 기판 상에서 수동소자로 실현하기 위한 좋은 재료이다.<sup>[3],[4]</sup>

실리콘 기판 상에 실리카 광소자를 제작할 때, 버퍼층은 실리콘기판의 고 굴절률(3.4이상)로부터 도파로 코어를 분리하기 위해 충분한 두께로 증착하는데, 일반적으로 싱글 모드로 지지하기 위해서는 버퍼층과 코어층의 실제적인 두께는 각각 17-20 $\mu\text{m}$ 와 6-8 $\mu\text{m}$  정도로 한다.<sup>[5]</sup>

박막의 굴절률과 두께를 결정하기 위해 현재 많은 방법들과 장비들이 사용되고 있으며 각각의 측정 방법에 따라 장단점을 갖는다. 집적광학에서 굴절률과 두께를 측정하기 위한 장비들 중에서는 프리즘 커플링 방법을 주로 사용하고 있으며, 이에 관한 이론을 바탕으로 실리콘 상에서 실제적인 실리카 이중 Slab 도파로 해석을 위한 새로운 고유치 방정식을 도출하고, 이렇게 도출된 고유치 방정식이 전형적인 실리카 이중 Slab 도파로의 굴절률과 두께를 결정하는데 매우 효율적으로 사용될 수 있다는 가능성을 보이고자 한다.

\* 정희원, 동신대학교 정보통신공학과  
(Dept. of Information & Communication Eng. Dongshin University)

\*\* 정희원, 동강대학 전기전자과  
(Dept. of Electrical & Electronic Dongkang College)

\*\*\* 정희원, 조선대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Eng. Chosun University)

※ 이 논문은 동신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자 : 2005년10월13일 수정완료일 : 2006년2월2일

실리콘 상의 실리카 이층 Slab 도파로 해석을 위한 최적의 고유치 방정식이 본 논문의 고유치 방정식의 알고리즘과 ref.[5]의 것이 같다는 것을 보임으로서 이를 증명한다.

## II. 이 론

그림 1은 실리콘 상의 Slab 도파로의 개략도이며, 이는 두개의 유전체 재료로 구성되는데 각각 코어 층의 두께  $t_c$ 와 굴절률  $n_c$ , 그리고 버퍼 층의 두께  $t_b$ 와 굴절률  $n_b$ 이다. 버퍼층은 광통신의 파장 범위로 흡수되지 않는 실리콘의 고 굴절률 ( $n_{Si}$ )로 부터 코어 층을 분리한다. 그러나 실리콘의 흡수는 파장에 의존하기 때문에 도파로는 단일 모드로 동작되며, 코어 층과 버퍼 층 사이의 비굴절률 차  $\Delta\%$  는 약 0.3-0.8%이다.

그러므로 코어와 버퍼층의 두께  $t_c$ 와  $t_b$ 는 각각  $7\mu\text{m}$ 와  $20\mu\text{m}$ 가 요구된다. 이미 알고 있는 두께와 굴절률로부터 정확한 모드 굴절률은 ref.[6]에 기술된 고유치 방정식의 해로부터 결정되어 질 수 있다. 그림 1의 좌표에서 각 층의 수직 전파상수는 다음과 같이 정의된다.

$$k'_{x1} = k_o \sqrt{N^2 - n_o^2} \quad (1.1)$$

$$k_{x2} = k_o \sqrt{n_c^2 - N^2} \quad (1.2)$$

$$k'_{x3} = k_o \sqrt{N^2 - n_b^2} \quad (1.3)$$

$$k_{x4} = k_o \sqrt{n_{Si}^2 - N^2} \quad (1.4)$$

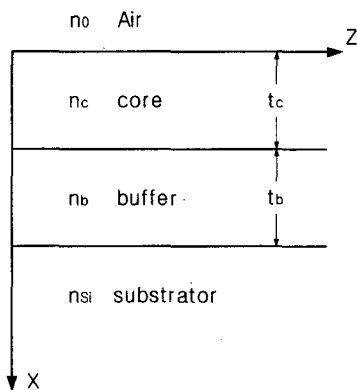


그림 1. 도파로의 기하학적 좌표  
Fig. 1. The coordinate for waveguide geometry used in suggest calculations.

여기서,  $k_o$  는  $k_o = 2\pi/\lambda_o$ 에 의해 파장  $\lambda_o$ 의 항에서 정의된 자유공간의 파수이며,  $N$ 은 코어층에서  $Z$ 성분의 파수  $K_z$ 로  $k_z = k_o N$ 의 관계를 갖는 모드 굴절률이다. ( $Re(n_{si})$ 는  $Re(n_c)$ 보다 큰 경우  $t_b$ 는 유한 값이며, 광전력은 버퍼를 통해서 기관으로 방사되어질것이다.  $Z$ 성분과시간의존성  $\exp[i(k_z z - \omega t)]$ 에 의해 실리콘 기관영역에서 장(field)은  $\exp(ik_{x4}x)$ 에 의해 주어진  $X$ 성분 의존성을 가져야 한다. 여기에서  $Re(k_{x4}) > 0$ 이며 전자기 경계조건의 결과로써 고유방정식은 다음과 같다.

$$F = (\hat{k}_{x4} + ik'_{x3})(U + V) + (\hat{k}_{x4} - ik'_{x3})(U - V) \exp(-2k'_{x3}t_b) = 0 \quad (2)$$

여기서,

$$U = \cos(k_{x2}t_c) + (\hat{k}_{x1}/k_{x2})\sin(k_{x2}t_c) \quad (3)$$

$$V = -(k_{x2}/\hat{k}_{x3})\sin(k_{x2}t_c) + (\hat{k}_{x1}/\hat{k}_{x3})\cos(k_{x2}t_c) \quad (4)$$

그리고,

$$\hat{k}_{x1} = \begin{cases} k'_{x1} & \text{TE mode} \\ (n_c/n_o)^2 k'_{x1} & \text{TM mode} \end{cases} \quad (5)$$

$$\hat{k}_{x3} = \begin{cases} k'_{x3} & \text{TE mode} \\ (n_c/n_b)^2 k'_{x3} & \text{TM mode} \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{k}_{x4} = \begin{cases} k_{x4} & \text{TE mode} \\ (n_c/n_{si})^2 k_{x4} & \text{TM mode} \end{cases} \quad (7)$$

이다.

## III. 고유방정식 유도

ref.[5]의 알고리즘에 따라서 4가지의 미지 값 ( $n_c$ ,  $n_b$ ,  $t_c$ ,  $t_b$ )은 최소자승치가 최소가 될 경우에 결정된다. 즉, 파라미터 ( $n_c$ ,  $n_b$ ,  $t_c$ ,  $t_b$ )이 2층 박막의 파라미터 ( $n'_c$ ,  $n'_b$ ,  $t'_c$ ,  $t'_b$ )의 값에 접근할 때에 최소화 된 식은 다음 식(8)과 같다.

$$\text{LMS}(n_c, n_b, t_c, t_b) = \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m [\text{Re}(N_k^{\text{calc}}) - N_k^{\text{meas}}]^2 \quad (8)$$

윗 식(8)을 최소화 하면 최초 4개의 값 ( $n_c, n_b, t_c, t_b$ )은 4개의 불확실한 변수가 되며  $\text{Re}(N_k^{\text{calc}})$ 과  $\text{Re}(N_k^{\text{meas}})$ 은 각각 계산되고 측정된  $k$ -th 모드 굴절률의 실수부를 나타낸다. 식(8)에서 ( $n_c, n_b, t_c, t_b$ )가 주어지면 식(2)로부터  $\text{Re}(N_k^{\text{calc}})$ 를 얻을 수 있으며 파를 강하게 감쇄하기 위한 복소 해는 식(8)의 알고리즘을 사용하여 접근 시킬 수 있다.

그러나 계산시간을 최소화 하고 알고리즘을 간단히 하기 위해서는 모드 굴절률의 허수부를 0으로 함으로써 실측에 접근시킨다. 이 접근법의 타당성과 그것의 적용 범위는 ref.[5]에 잘 설명되어 있으며, 본 논문의 범위 또한 단지 이 영역으로 제한하였다. 만약 모드 굴절률의 허수부를 무시하면, 새로운 고유치 방정식을 도출할 수 있으며, 이 고유치 방정식의 타당성은 다음 절에서 기술할 것이다. TE 모드에서 전자기파의 해와 경계조건을 적용하여 새로운 고유치 방정식 유도 해는 각각의 영역에서 다음과 같다.

$$E_{y1} = A \exp(K_{x1}x) \quad (9)$$

$$E_{y2}(x) = B \cos(k_{x2} + \phi) \quad (10)$$

$$E_{y3}(x) = C \exp(k_{x3}x) + D \exp(-k_{x3}x) \quad (11)$$

TE 모드에서 평판박막의 경계조건에 의해  $E_{y1}$ 와  $H_{z1} \propto (\partial E_{y1} / \partial x)$ 는 연속이어야 하며 경계조건을 적용하면 다음 식과 같다.

$x=0$  에서

$$B \cos \phi = A \quad (12)$$

$$-BK_{x2} \sin \phi = ak_{x1} \quad (13)$$

그리고  $x=t_c$ 일 때

$$B \cos(k_{2x}t_c + \phi) = C \exp(k_{3x}t_c) + D \exp(-k_{3x}t_c) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} -Bk_{2x} \sin(k_{2x}t_c + \phi) &= k_{3x}[C \exp(k_{3x}t_c) \\ &- D \exp(-k_{3x}t_c)] \end{aligned} \quad (15)$$

식(12)와 식(13)으로부터

$$\tan \phi = \frac{k_{1x}}{k_{2x}} \quad (16-1)$$

그리고 식(14)와 식(15)로부터 다음을 얻을 수 있다.

$$\tan(k_{2x}t_c + \phi) = \frac{k_{3x}}{k_{2x}} \quad (16-2)$$

$$\frac{C \exp(k_{3x}t_c) - D \exp(-k_{3x}t_c)}{C \exp(k_{3x}t_c) + D \exp(-k_{3x}t_c)}$$

본 논문에서 실리콘 기판은 완벽한 전위벽(conducting wall)과 같이 작용한다고 가정하면 실리콘 기판과 버퍼층의 경계에서 또 다른 경계조건은 식(17)과 같다.

$$\begin{aligned} C \exp[k_{x3}(t_c + t_b)] + D \exp[-k_{x3}(t_c + t_b)] \\ = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

위의 식(15), (16) 그리고 식 (17)로부터 식(18-1)을 얻을 수 있으며,

$$\begin{aligned} k_2 t_c - \tan^{-1} \left( \frac{k_{1x}}{k_{2x}} \right) - \tan^{-1} \\ \left( \frac{k_{3x}}{k_{2x}} \frac{1 + \exp(-2k_{3x}t_c)}{1 - \exp(-2k_{3x}t_c)} \right) - n\pi = 0 \end{aligned} \quad (18-1)$$

비슷하게 버퍼 모드에서의 결과는 다음 식 (18-2)와 같다.

$$\begin{aligned} k_2 t_c - \tan^{-1} \left( \frac{k_{1x}}{k_{2x}} \right) - \tan^{-1} \\ \left( \frac{k_{3x}}{k_{2x}} \frac{1}{\tan(k_{3x}t_c)} \right) - n\pi = 0 \end{aligned} \quad (18-2)$$

여기에서  $n=0, 1, 2, \dots$

위의 두개의 식(18)은 완벽한 전위 벽의 경우에 얻어 지므로, 실리콘 기판은 그 벽과 같이 생각한다.

IV. 에러체크

실리콘 상의 2층 실리카 박막을 위해 계산된 모드 굴절률의 차는 0.63-1.60 $\mu\text{m}$ 의 파장의 범위에서 약 1.44에서 1.46이므로 실제적인 코어와 클래드층 간의 비굴절률 차  $\Delta\%$  는 약 0.3-0.8 %이며, 버퍼층의 굴절률  $n_b$ 의 범위에서는  $n_c(1-0.008) \leq n_b \leq n_c(1-0.003)$ 로써  $n_c$ 의 향으로 나타낼 수 있다. 그림 2는 코어층과 버퍼층의 굴절률이 각각 1.455와 1.444 이고  $t_b=10 \mu\text{m}$ 일 때 코어 두께의 함수로써 식(2)와 식(18)에 의해 얻어진 모드 굴절률 에러이다.

여기에서 에러는 평균편차(Average of Deviation: AD)로 정의한다. 즉,

$$AD(n_c, n_b, t_c, t_b) = \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m |N_k^{cact} - N_k^{meas}| \quad (19)$$

이다.

여기서,  $k$ 는 모드 수이고  $N_k^{c2}$ 와  $N_k^{c18}$ 는 각각 식(2)와 식(18)에 의해 계산된 모드 굴절률이다. 식(8)과 달리 우리가 원하는 모드 굴절률의 절대치의 차는 간단하기 때문에 식(19)에서와 같이 자승기호는 제거한다.

평균편차는  $n_c=1.455$ ,  $n_b=1.444$  그리고  $t_b=10\mu\text{m}$ 의 특별한 경우에  $10^{-5}$  이하이다. 이제 앞에서 기술하였던 특별한 도파로에서 평균편차를 계산함으로써

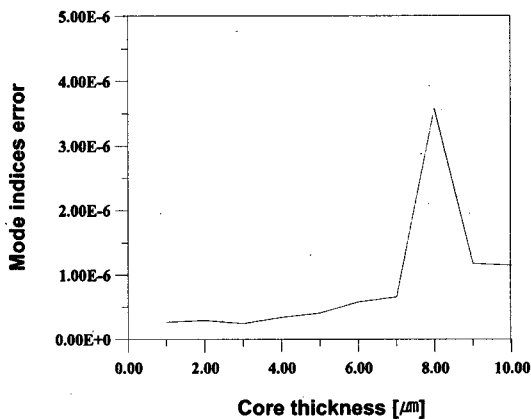


그림 2. 코어 두께에 따른 모드 굴절률 에러  
Fig. 2. Mode indices error as a function of core thickness.

식(18)의 일반성을 보인다. 일반성을 보이기 위해, 먼저  $t_b$ 를 고정하고  $(n_c, n_b)$ 의 면에서 평균편차를 검사한다.

$(n_c, n_b)$ 의 평면은 그림 3에 나타내었다. 여기에서 계산 격자 간격은  $n_c$ 와  $n_b$ 측에서 각각  $\Delta n_c = 0.002$ 와  $\Delta n_b = 0.0014$ 이다.

$t_b$ 는 상수일 때 모든 평균편차(average of all deviation; AAD)의 량으로 정의한다. 즉,

$$AAD(t_b) = \frac{1}{ALP} \sum_{k_c=0}^{m_c} \sum_{k_b=0}^{m_b} AD(n_c, n_b, t_c, t_b) \quad (20)$$

이다.

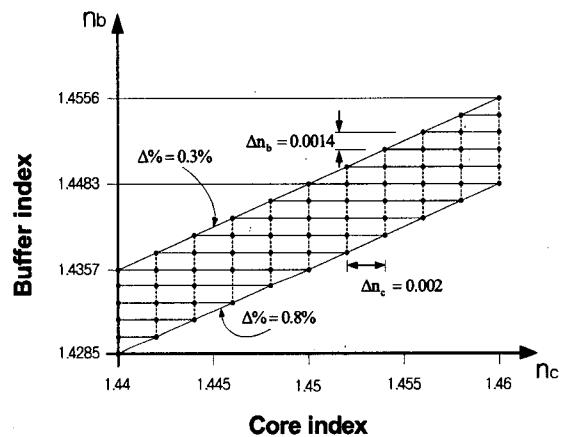


그림 3. 평균편차에 대한 연산 영역  
Fig. 3. The domain of calculation for average of all deviation (AAD)and calculating point.

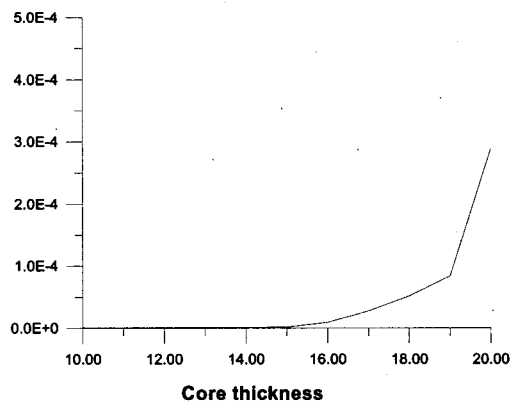


그림 4. 평균편차의 최대 값 그래프  
Fig. 4. Graph shown in maximum value of AAD( $t_b$ ).

여기에서  $ALP$ 는 그림 3에서 모든 격자 포인트의 수이다. 그리고  $m_c=11$ 와  $m_b=6$ 는 각각  $n_c$ 와  $n_b$ 에 따른 격자 포인트의 수이다. 그림 4는  $AAD(t_b)$ 의 그래프를 도시 하였다.

그림 4에서 보인 것과 같이  $AAD(t_b)$ 의 최대값은  $1 \times 10^{-5}$ 이하이다. 이  $AAD(t_b)$ 의 최대 값은 실제적인 뷰 포인트 동안 충분히 작다.

## V. 프리즘 커플러에 개선된 알고리즘 적용

식(8)에서 보인 것과 같이,  $(n_c', n_b', t_c', t_b')$ 를 결정하기 위해 4개의  $(n_c, n_b, t_c, t_b)$ 의 값을 반복해야 한다. 그러나 새로운 고유치 방정식을 사용하면, 4개의 값  $n_c, n_b, t_c, t_b$ 로부터 3개의  $(n_c, n_b, t_b)$ 값으로 줄일 수 있다. 식(18-1)과 식(18-2)로부터 다음 식(21)을 얻을 수 있다.

$$t_c = \frac{1}{k_2} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{k_{1x}}{k_{2x}} \right) + \tan^{-1} \right] \quad (21-1)$$

$$\left( \frac{k_{3x}}{k_{2x}} \frac{1 + \exp(-2k_{3x}t_b)}{1 - \exp(-2k_{3x}t_b)} \right) + n\pi$$

$$t_c = \frac{1}{k_2} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{k_{1x}}{k_{2x}} \right) + \tan^{-1} \right] \quad (21-2)$$

$$\left( \frac{k_{3x}}{k_{2x}} \frac{1}{\tan(k_{3x}t_c)} \right) + n\pi$$

이제 3개의 변수  $(n_c, n_b, t_b)$ 와 정수  $n$ 을 위해 식(21)에서  $t_c(n)$ 처럼  $t_c$ 로 나타내며 3개의 변수  $(n_c, n_b, t_b)$ 는 각각  $(n_c', n_b', t_b')$ 에 수렴해 간다. 식(21)에서  $t_c(n)$ 의 모든 값은  $n$ 에 관계없이  $t_c'$ 에 수렴해지며  $i$ -th 와  $j$ -th 모드 동안에 다음 식(22)와 같다.

$$|t_c(i) - t_c(j)| \approx 0 \quad (22)$$

식(8)의 방법과 같이,  $(n_c', n_b', t_c', t_b')$ 을 결정하기 위해 식(23)과 같이 정의 한다.

$$\Delta(n_c, n_b, t_b) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m |t_c(i) - t_c(j)| \quad (23)$$

여기에서  $m+1$  은 총 모드의 수이다. 식(1)에서 정의된 모드 굴절률  $N$ 은 식(21)에 포함되고, 그것은 각 정수  $n$ 에 따라 다르다. 모드 굴절률은 프리즘 커플러로 측정하였다. 이 측정된 모드 굴절률에 의해 도파로 파라미터  $(n_c', n_b', t_b')$ 를 결정할 수 있다.  $\Delta(n_c', n_b', t_b', i, j)$  값을 최소화 하기 위한  $(n_c', n_b', t_b')$ 를 다시 나타내었다. 측정된 모드 굴절률을 위해  $(n_c, n_b, t_b)$ 를 반복함으로써  $(n_c', n_b', t_b')$ 를 구할 수 있으며 모든 정수  $n$ 에서 모든  $t_c$ 는 식(21)에  $(n_c', n_b', t_b')$ 를 치환함으로써 간단히 구해진다. 마지막으로 식(21)에 의해 모든  $n$ 동안에 값의 평균으로  $t_c'$ 를 결정한다.

예로써 ref.[5]에서 이미 발표된 데이터들을 사용하여  $(n_c', n_b', t_c', t_b')$ 를 본 논문에서 제안한 고유치 방정식을 사용하여 결정하였다. 계산 결과는 표 1과 표 2에 나타내었다.

ref.[5]와 제안된 방법의 에러 평균은 각각 3.0과 2.4였다.  $(n_c', n_b', t_c', t_b')$ 의 최종데이터는 표 2에 나타내

표 1. ref. [5] 와 제안된 방법의 연산 결과

Table 1. Calculation result of ref. [5] and our method.

$m$	$N_{meas}$ From Ref[5]	$N_{cacl}$		$N_{cacl} - N_{meas}$	
		Ref[5]	Acq. data	Ref[5]	Acq. data
0	1.454013	1.454027	1.454010	1.4	-0.3
1	1.451158	1.451222	1.451279	6.4	12.1
2	1.450427	1.450393	1.450422	-3.4	-0.5
3	1.449236	1.449213	1.449210	-2.3	-2.6
4	1.447563	1.447541	1.447551	-2.2	-1.2
5	1.445297	1.445270	1.445300	-2.7	0.3
6	1.442541	1.442527	1.442545	-1.4	0.4
7	1.439442	1.439482	1.439457	4.0	1.5

표 2. 측정된 박막 파라미터의 연산 결과

Table 2. Calculation results of thin film parameter for the measured.

	$n_c'$	$t_c'$	$n_b'$	$t_b'$	Average fitting error
Ref. [5]	1.4558	7.0	1.4515	19.7	3.0
Suggest Method	1.4558	6.8	1.4516	19.8	2.4

었으며, 표 2에서 보는 바와 같이 이러한 연산 방법의 정확성을 검증할 수 있었다.

모든 결과는 ref.[5]에서와 같았으며, 고유치 방정식의 해를 구하기 위해 새로이 본 논문에서 제안된 방법은 ref.[5]보다 더 우수한 장점을 가지고 있으며, 기존의 상용화된 기기들이 사용하는 방정식에 비해 반복 파라미터가 4개에서 3개로 감소되므로 측정 속도 향상을 기대할 수 있었다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 TE 모드에서 실리콘 상의 2층 실리콘 도파로에서 새로운 고유치 방정식을 도출하여, 프리즘 커플러로 굴절률과 박막의 두께를 결정하는 방법을 나타내었다. 모든 결과는 Ref.[5]와 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문의 도출된 고유치 방정식의 해는 반복 파라미터가 4개의 변수에서 3개의 변수로 감소되어질 수 있으므로 Ref.[5]의 방정식의 해보다 보다 좋은 장점을 갖는다. 평균 자계의 에러는 식(2)에 의해 얻어진 모드 굴절률과 차이를 보였으며, 본 논문에서 식(18)에 의해 얻어진 평균 에러는 대략  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 으로 TE 모드(일반적으로  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ) 보다 크다는 것을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kawachi, M., and Jinguji, K.: "Planar lightwave circuits for optical signal processing", Proc. OFC'94 FB3, pp.281-282, 1994.
- [2] Adar, R., Serbin, M. R., and Mizrahi, V.: "Less than 1dBper meter propagation loss of silica waveguides measured using a ring resonator", J. Lightwave Technol., pp.1369-1372. 1994.
- [3] C. H. Henry, G. E. Blonder, and R. K. Kazarinov, "Glass waveguides on silicon for hybrid optical packaging", J. Lightwave Technol., vol. 7, pp. 1530-1539, 1989.
- [4] M. Kawachi, "Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optic components", Optical and Quantum Electronics, vol. 22, pp391-416, 1990.
- [5] J. Aarnio, P. Kersten and J. Lauckner, "Determination of refractive indices and thicknesses of silica double layer slab waveguides on silicon", IEEE Proc-Optoelectron., vol. 142, No. 5, October 1995.
- [6] W. Stutius and W. Streifer, "Silicon nitrid films on silicon for optical waveguides", Applied Optics, vol.16 No. 12, December 1977.

### 저 자 소 개



**지 유 강(정회원)**  
 2000년 동신대학교 정보통신공학과 공학사  
 2002년 동신대학교 대학원 정보통신공학과 공학석사  
 2006년 동신대학교 대학원 정보통신공학과 공학박사

<주관심분야: 광시스템, 영상통신, 임베디드시스템>



**박 종 란(정회원)**  
 1982년 조선대학교 전자공학과 공학사  
 1986년 숭실대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
 2006년 동신대학교 대학원 정보통신공학과 공학박사

1988년~현재 동강대학 전기전자과 교수  
 <주관심분야: 광통신, 광시스템, 반도체>



**윤 중 현(정회원)**  
 1993년 조선대학교 전자공학과 공학사  
 1995년 조선대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
 1999년 조선대학교 대학원 전자공학과 공학박사

2003년~2005년 동신대학교 정보통신공학과 겸임 교수

2003년~현재 (주)지피텍 기술이사  
 <주관심분야: 광통신, 광시스템 설계, 초고주파, 반도체 >



**박 수 봉(정회원)**  
 1982년 조선대학교 전자공학과 공학사  
 1984년 조선대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
 1995년 조선대학교 대학원 전기공학과 전자공학전공 공학박사

1986년~현재 동신대학교 정보통신공학과 교수  
 <주관심분야: 광통신, 광시스템 설계, 영상처리, 영상통신 >