

論文98-35D-10-13

광통신용 taper형 광 결합기의 해석

(Analysis of taper-foremd optical coupler for the optical communication)

金善燁*, 盧信來**, 孫東熙***, 姜英鎭*

(Sun Youb Kim, Shin Rae Roh, Dong Hee Shon, and Yung Jin Kang)

요 약

단일모드 광섬유와 박막도파로 소자들 사이의 효율적인 광전송은 집적광학 시스템의 실현을 위해서 가장 기본적으로 풀어야 하는 필수적인 과제중의 하나인데, 이 때 광섬유와 도파로를 직접 접속시키는 방법은 접속면에서의 필드분포의 불일치로 인해 많은 양의 광전력이 반사되고 발산이 예상된다. 따라서 본 연구에서는 박막도파로와 광섬유의 접속시 경계면에서의 필드분포의 불일치를 피하기위해 uniform 형과 taper 형의 결합 구조를 박막도파로위에 성장시켜 접속시키는 구조를 제안하고 해석하였다. 시뮬레이션 결과 이들 구조가 광섬유로부터 결합도파로 안으로 광파가 전송되면 이후에 박막도파로로 효율적으로 광결합이 일어남을 보였고, 특히 taper 형태의 결합구조가 uniform 형태의 결합구조보다 결합효율 및 소자 제조측면에서 훨씬 더 바람직한 구조임이 증명되었다.

Abstract

Efficient power transmission from a single mode fiber to a thin-film waveguide devices is one of the most fundamental and inevitable subject that should be first solved toward the realization of the integrated optic system. In this paper, fiber-waveguide coupling structure is considered and the large mismatch of field profiles at the fiber-waveguide interface is well avoided by using to the coupling guide which is intentionally developed on the top of the thin-film guuide. From the simulation, the taper-type structure are shown to be easier realizeable than the uniform one, since optical coupling between the guides in the latter has a stronger tolerance to the deviation of waveguide parameters.

I. 서 론

최근 정보통신량의 급증추세에 따라 광통신의 중요

* 正會員, 圓光大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Wonkwang Univ.)

** 正會員, 井仁大學 情報通信科

(Dept. of Telcomm., Jungin College)

*** 正會員, 群長大學 電子通信科

(Dept. of Elec. Communication, Kunjang College)

※ 본 논문은 1997학년도 원광대학교 교비지원에 의해서 연구되었음.

接受日字:1998年9月7日, 수정완료일:1998年9月24日

성이 날로 더해지고 있다. 그러한 추세중 광통신시스템은 소형화, 집적화를 통해 시스템의 전반적인 성능을 향상시키려는 연구가 활발히 진행되고 있고, 또한 광통신망의 경제적 구성과 다양한 서비스를 할 수 있도록 isolator, circulator, switch, modulator, detector, splitter, TDM, WDM등의 광 집적회로가 급격한 발전을 보이고 있다. 이에 따라 광 가입자망에서 사용되어질 광 집적회로 소자와 광전송로인 광섬유, 그리고 광원인 레이저등의 소자들이 상호 효과적으로 연결되어질 필요가 생겼으며, 이때 구조적인 도파로의 불연속성 문제가 매우 중요하게 대두 되었다. 그 중 모두가 박막도파로로 구성되는 광집적회로 소자 사이

의 접속은 두 소자의 단면의 크기가 서로 비슷하고, 또한 두소자를 같은 기판위에 접속할 수 있으므로 비교적 쉬우나, 형태와 크기가 서로 다른 광섬유와 광 집적회로 소자의 박막도파로의 광파의 전송은 광섬유 축과 도파로 축에서의 정렬(alignment) 문제가 컷 어려움으로 대두된다. 최근까지 발표되었던 몇가지 제안과 실험적 결과는 어떻게 광섬유와 도파로를 알맞은 곳에 고정시키느냐 하는 것이었다^[1-4].

광전력 전송효율에 좀 더 민감한 영향을 미치는 다른 요인으로는 박막도파로와 광섬유의 축의 정렬뿐 아니라 광섬유와 도파로가 butt-joint 형태로 접속되었을 때 이들의 단면 크기 차이에 의하여 접속된 접촉면에서의 광 필드분포 특성의 불일치이다^[5-7].

따라서 본 연구에서는 박막도파로에 광섬유를 butt-joint 형태로 접속시키고자 할 때에 광전력 결합효율을 증대시키기 위하여 박막 도파로위에 광섬유와 직경이 같은 결합도파로를 새롭게 성장시킨 광섬유-도파로 결합구조를 제안하고 해석하였다. 해석방법은 인접해 있는 병렬 도파로들간의 광전력 결합원리에 기초를 두고, 비교적 크기가 큰 결합도파로로 인해서 처음에는 광섬유로부터 결합도파로 안으로 광파가 전송되고 이후에 박막 도파로로 효율적으로 광결합이 일어남을 보였다. 그러나 새롭게 성장시킨 결합도파로가 uniform 형태일때는 결합도파로와 박막도파로와의 사이에서 광전송효율은 sine/cosine 형태로 나타나게 되는데 이런 전송효율의 변화는 결합도파로에서 박막도파로로 전송된 광파가 다시 결합도파로로 전송됨으로써 나타나는 현상으로서 이는 소자 제조과정시 매우 엄격한 요구조건이 뒤따르게 되므로 이를 극복하기 위한 방법으로 새롭게 성장시킨 결합도파로의 형태를 taper 형태로 구성하여 결합도파로에서 박막도파로로 전송된 빛이 다시 결합도파로로 전송되는 현상을 극복함으로써 항상 거의 일정한 결합효율을 얻을 수 있는 구조를 제안하였다.

II. 광섬유와 박막도파로간의 접속

두 개의 광소자들의 접속면에서 광전력 전송은 관련된 소자들에 의해 제한되는 필드분포의 특성에 크게 좌우된다. 박막 도파로와 단일모드 광섬유의 butt-joint 접속을 그림 1에 나타내었다.

그림 1은 광섬유와 박막 도파로와의 접속시 가장

통상적인 방법으로서 박막 도파로의 입력측에 광섬유가 직접 접속되어 있는 경우로 광섬유 코어의 직경이 박막도파로의 두께보다 훨씬 크므로 두 소자간의 필드 분포의 불일치로 인한 많은 양의 광전력이 반사되고 발산되리라는 것을 예상할 수 있다.

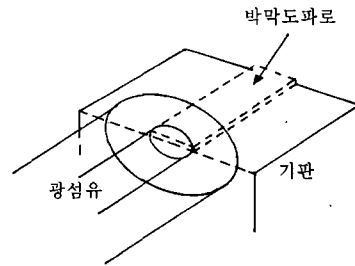


그림 1. 광섬유와 박막도파로간의 직접 접속
Fig. 1. Butt-joint connection of optical fiber with thin-film waveguide.

1. uniform 형태의 결합구조 와 taper 형태의 결합구조

그림 2는 위와 같은 단점을 제거하기 위해 광섬유와 접속시킬 결합도파로를 박막도파로의 위에 성장시킨 구조이다. 이 때 결합도파로의 두께는 광섬유의 코어의 직경과 같도록 하여 두 소자간의 필드분포의 불일치 문제를 해결할 수 있도록 하였다. 그러므로 광섬유로부터 입사된 광전력은 크기가 큰 결합도파로로 입사되어 결합도파로와 박막도파로사이의 광결합을 통해 광전력이 박막도파로로 전송된다. 이때 결합도파로와 박막도파로사이의 광파의 전송과정에 대한 해석은 두 도파로 모두를 2차원 도파로 형태로 근사화시켜서 광학적 간섭과정인 결합모드(coupled mode) 이론으로 해석하였고, 재료면에서도 손실이 없다고 가정하였으며 TE mode에 대해서 연구하였다. 또한 같은 방법으로 TM mode에 대해서도 연구할 수 있다.

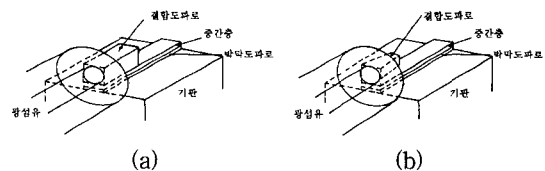


그림 2. 박막도파로 위에 (a) uniform 형태 (b) taper 형태로 결합도파로를 새롭게 성장시킨 결합도파로와 광섬유간의 접속

Fig. 2. (a) Coupling a fiber to a uniform-type coupling guide grown above the thin-film waveguide (b) Connecting a fiber to a taper-type coupling guide grown above the thin-film waveguide

그림 2의 (a)와 같은 uniform 형의 결합구조에서 광전력의 전송효율은 전파방향에 따라 sine/cosine 형태로 변화하게 되는데 이런 전송효율의 변화는 도파로 굴절율의 아주 작은 편차에 대해서도 매우 민감하므로, 소자 제조과정에서 항상 일어날 수 있는 편차를 고려한다면 만족할 구조라 할 수 없게된다. 그러므로 이런 특성을 극복하기 위해 본 논문에서는 그림 2의 (b)와 같이 결합도파로를 taper 형으로 구성하여 이 결합구조의 광전력 전송특성을 해석하였으며 그 결과를 결합도파로가 uniform 형태일 경우와 비교하였다.

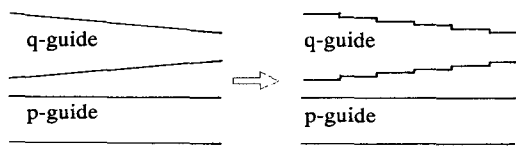


그림 3. 연속적인 계단모양의 작은 도파로 세그먼트로 근사된 taper 형태의 결합구조
Fig. 3. Structure of a taper-formed coupling guide system approximated by succession of stepped small guide segments.

그림 2의 (b)와 같은 taper 형의 결합구조의 해석은 결합도파로를 그림 3과 같이 연속적인 계단모양의 작은 도파로 세그먼트(segment)들로 근사시킬 수 있으며 각각의 세그먼트들내에서 두 도파로들은 5층 슬랩(slab)구조를 이루게 된다. 이 경우 두 도파로사이의 광전력의 전달과정은 결합모드 이론을 이용하여 설명할 수 있는데 Yariv와 Marcuse에 의해 발표된 고전적 결합모드 이론은 도파로 q에서 도파로 p로의 결합계수와 도파로 p에서 도파로 q로의 결합계수가 같아야 한다는 다소 대략적인 가정으로부터 얻어진 결과이므로^[8,9], Hardy와 Sterifer, Chung등이 결합도파로들이 서로 동일하지 않거나 결합이 더욱 강해졌을 때는 이러한 가정이 적절치 못하며 실제 존재하는 비직교 cross term이 포함되도록 수정되어야 한다고 지적하였다^[10,11]. 따라서 여기서는 후자의 방법을 이용하여 연구하였다.

그림 4는 결합도파로와 박막도파로를 2차원 도파로로 근사화시킨 구조이며, 본 연구에서는 이 구조를 perturbation feedback method를 이용하여 해석하였으며 TE mode인 경우 도파로에서의 필드분포는 식 (1)과 같고 전파상수는 식(2)와 같다^[12]

$$E_x(x) = \begin{cases} A \cos(x_g x) & |x| \leq w/2 \\ A \cos(x_g w/2) \exp(-q_x(|x| - w/2)) & |x| \geq w/2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\beta^2 = \beta_1^2 + \Delta\beta^2 \quad (2)$$

여기서,

$$\beta_1^2 = n_g^2 k_0^2 - x_x^2 - x_y^2$$

$$\Delta\beta^2 = \frac{k_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x, y)|^2 \delta n^2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x, y)|^2 \delta n^2 dx dy}$$

$$= \left[1 + \left(\frac{k_0^2 (n_1^2 - n_2^2)}{x_x} - 1 \right)^{1/2} \left(\frac{x_x g \pm \sin x_x g}{1 \pm \cos x_x g} \right) \right]^{-1}$$

$$* \left[1 + \left(\frac{k_0^2 (n_1^2 - n_2^2)}{x_y} - 1 \right)^{1/2} \left(\frac{x_y g \pm \sin x_y g}{1 \pm \cos x_y g} \right) \right]^{-1}$$

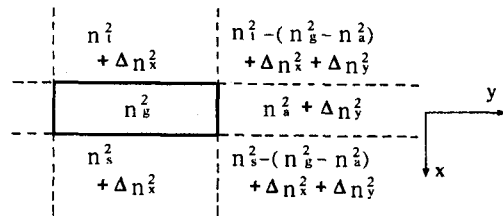


그림 4. 결합도파로와 박막도파로를 섭동배환방법으로 근사화시킨 구조
Fig. 4. Equivalent guide structure approximated by a perturbation feedback method.

그림 5는 결합구조에서 결합도파로가 taper형태인 경우 두 도파로의 작은 세그먼트의 슬랩구조를 보이고 있다. 이런 두 도파로 상황에서 Hardy와 Sterifer가 제시한 수정된 결합모드방정식은 식 (3)과 같으며 이 때 각각의 도파로에 대한 결합모드방정식은 식 (4)와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

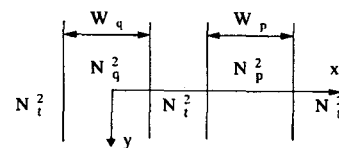


그림 5. taper 형태의 결합도파로 구조에서 두 도파로의 작은 세그먼트의 슬랩 구조
Fig. 5. Slab structure of the small guide segment of the taper-formed coupling guide with thin-film guide.

$$\frac{dU(z)}{dz} = i[B + P^{-1}K]U(z) \quad (3)$$

$$\begin{cases} \frac{dU^p(z)}{dz} = iC_{pp}U^p(z) + iC_{pq}U^q(z) \\ \frac{dU^q(z)}{dz} = iC_{qp}U^p(z) + iC_{qq}U^q(z) \end{cases} \quad (4)$$

여기서 복소수로 정의된 $U^p(z)$ 과 $U^q(z)$ 은 각각 도파로 p 와 q 의 고유모드의 필드세기와 위상관계를 포함하고, C_{ij} 는 결합계수이다^[13].

그림 6은 연속된 도파로 세그먼트를 보이고 있는데 이 세그먼트안에서 광파가 입력지점 z_1 에서 출력지점 z_2 로 전파될 때 거리 dz 과 세그먼트 출력에서의 크기는 식 (5)와 같이 결정된다.

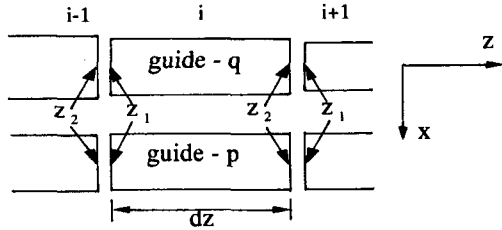


그림 6. 연속된 두 도파로 세그먼트의 입력면(z_1)과 출력면(z_2)
Fig. 6. The input facet(z_1) and output facet(z_2) of two successive guide segments.

$$\begin{cases} U^p(z_2) = U^p(z_1)\cos(\Psi dz) + i\left[\frac{C_{pq}}{\Psi}U^q(z_1) + \frac{A}{\Psi}U^p(z_1)\right]\sin(\Psi dz)\exp(i\Phi dz) \\ U^q(z_2) = U^q(z_1)\cos(\Psi dz) + i\left[\frac{C_{qp}}{\Psi}U^p(z_1) - \frac{A}{\Psi}U^q(z_1)\right]\sin(\Psi dz)\exp(i\Phi dz) \end{cases} \quad (5)$$

여기서,

$$\begin{cases} \Phi = (C_{pp} + C_{qq})/2 \\ \Delta = (C_{pp} - C_{qq})/2 \\ \Psi = \sqrt{\Delta^2 + C_{pq}C_{qp}} \end{cases}$$

2. 세그먼트 도파로들 사이에서의 광전송

그림 7은 두 개의 연속된 도파로 세그먼트의 접촉면을 보이고 있다. 세그먼트 i 의 전계는 $E^p(i), E^q(i)$ 이고 세그먼트 $i+1$ 의 전계는 $E^p(i+1), E^q(i+1)$ 이다. 그리고 도파로 폭의 변화가 충분히 작다는 가정하에서 광전력의 반사와 방사를 무시하면 두 세그먼트의 접촉면에서는 경계조건은 필드의 연속성에 의해 식 (6)과 같이 주어진다^[14].

$$\begin{cases} U^p E^p(i) + U^q E^q(i) = V^p E^p(i+1) + V^q E^q(i+1) \\ U^p H^p(i) + U^q H^q(i) = V^p H^p(i+1) + V^q H^q(i+1) \end{cases} \quad (6)$$

도파로 p 는 $W_{p1} = W_{p2}$ 인 uniform 도파로이므로, 세그먼트 $i+1$ 에서의 고유모드의 크기 V^p 와 V^q 는 세그먼트 i 에서의 고유모드의 크기 U^p 와 U^q 에 의해 식

(7)과 같이 결정된다.

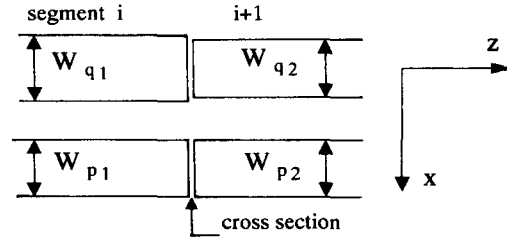


그림 7. 두 개의 연속적인 세그먼트 도파로 사이의 접촉면에서의 광전송
Fig. 7. Light wave transmission at the interfaces of two successive guide segments.

$$\begin{bmatrix} V^p \\ V^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{I^{pq}(i, i+1) - I^{pp}(i+1, i+1)I^{qq}(i, i+1)}{1 - I^{pp}(i+1, i+1)I^{qq}(i+1, i+1)} \\ 0 & \frac{I^{qp}(i, i+1) - I^{qq}(i+1, i+1)I^{pp}(i, i+1)}{1 - I^{pp}(i+1, i+1)I^{qq}(i+1, i+1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U^p \\ U^q \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서, $I^{pq}(i, i+1)$ 은 세그먼트 i 에서의 도파로 x 방향의 전계성분과 세그먼트 $i+1$ 에서의 도파로 y 방향의 자계성분의 중첩적분으로서 식 (8)과 같이 주어진다.

$$I^{pq}(i, i+1) = \iint E^p(i)H^q(i+1) + H^p(i)E^q(i+1) dx dy \quad (8)$$

taper 형태의 결합도파로에서 코어 폭의 변화가 완만한 경우, 연속적인 도파로 세그먼트들의 접속면에서의 광전력의 전송은 adiabatic process로 취급할 수 있는데, 전송계수는 각각에 대응되는 세그먼트들에서의 광의 직교모드들을 균일화함으로서 계산된다. 앞에서의 식 (3)의 결합방정식에서 계수행렬 $[B + P^{-1}K]$ 가 Hermitian이 아니기 때문에 벡터 $U(z)$ 에 의한 고유모드들은 직교가 아니므로 직교로 만들기 위해서 식 (3)을 다음과 같이 변형시킨다.

$$P \frac{dU(z)}{dz} = i[PB + K]U(z) \quad (9)$$

그리고 벡터 $U(z)$ 을 $P = Q^+ Q$ 에 의해 결정되어지는 Q 를 갖는 새로운 벡터 $W(z) = QU(z)$ 로 대체하면 결과적으로 다음과 같은 결합모드 방정식이 얻어진다^[15].

$$\frac{dW(z)}{dz} = iQ^{+1}[PB + K]Q^{-1}W(z) \quad (10)$$

이때 $Q^{+1}[P^{-1}B + K]Q^{-1}$ 의 계수행렬은 직교상태가 되므로 식 (10)의 방정식은 Hermitian이 된다. 그리고 벡터 $W(z)$ 으로 표현되는 고유모드들도 직교를

이루게 된다. 식 (3)의 행렬 P 를 식 (11)과 같이 가정하면 $P=Q^+Q$ 의 정의에 의해서 행렬 Q 를 식 (12)와 같이 쓸 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} 1 & x \\ x & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{(\sqrt{1+x}) + \sqrt{1-x}/2}{(\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x})/2} & \frac{(\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x})/2}{(\sqrt{1+x} + \sqrt{1-x})/2} \\ \frac{(\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x})/2}{(\sqrt{1+x} + \sqrt{1-x})/2} & \frac{(\sqrt{1+x}) + \sqrt{1-x}/2}{(\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x})/2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

그리고, 각각의 직교모드들을 균일화시킴으로써 $W_2 = W_1$ 이 되고, 세그먼트 접속면의 양쪽에서의 광전력은 식 (13)과 같다.

$$Q_2 V = Q_1 U \quad (13)$$

따라서 뒤쪽의 세그먼트에서 고유모드의 행렬 V 는 식 (14)와 같이 계산된다.

$$\begin{bmatrix} V^p \\ V^q \end{bmatrix} = 1/2 \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{1+x_1}{1+x_2}} + \sqrt{\frac{1-x_1}{1-x_2}} & \frac{\sqrt{1+x_1}}{1+x_2} - \frac{\sqrt{1-x_1}}{1-x_2} \\ \sqrt{\frac{1+x_1}{1+x_2}} - \frac{\sqrt{1-x_1}}{1-x_2} & \frac{\sqrt{1+x_1}}{1+x_2} + \frac{\sqrt{1-x_1}}{1-x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U^p \\ U^q \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서,

$$x_1 = I^{pp}(i, i)$$

$$x_2 = I^{pp}(i+1, i+1)$$

그림 9와 같은 구조에 대하여 결합도파로 q로 단위 광전력이 여기되었을 때, 도파로 p에서의 광전력은 식 (15)에 의해 계산된다.

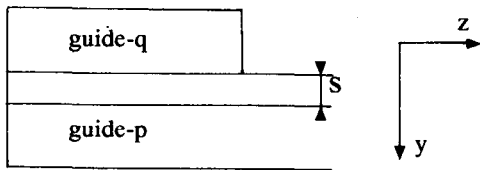


그림 8. 광섬유-도파로 접속 구조
Fig. 8. Fiber-waveguide connection structure.

$$P_q(z) = \left| \int [E(x, z) H^{p*}(x) + E^p(x) H^*(x, z)] ds \right|^2 \quad (15)$$

여기서 $E(x, z)$ 와 $H(x, z)$ 는 접속기에 의해 전송되는 전자계이고 $H^p(x)$ 와 $E^p(x)$ 는 도파로 p에서 고유모드에 대한 전자계이며, 식 (15)에 결합모드 이론을 적용하여 광전력을 계산하면 식 (16)과 같다.

$$P^p(z) = |U^p(z) + U^q(z) I^{pp}(z, z)|^2 \quad (16)$$

또 같은 방법으로 접속기에서의 전체 광전력을 구하면 식 (17)과 같다.

$$P_{tot}(z) = \left| \int [E(x, z) H^*(x, z) + H(x, z) E^*(x, z)] ds \right|^2 = |U^p(z)|^2 + |U^q(z)|^2 + I^{pp}(z, z) |U^{p*}(z) U^q(z) + U^p(z) U^{q*}(z)| \quad (17)$$

III. 전산모의실험

본 연구에서 고려한 광섬유-도파로 접속을 위한 결합 구조는 그림 9와 같다. (a)는 결합도파로가 uniform인 경우이고, (b)는 taper의 경우로서 각각의 결합도파로의 입력면의 폭과 두께를 필드 특성에 의한 편차를 피하기 위해 단일모드 광섬유와의 코어의 직경과 같은 $10 \mu m$ 가 되도록 설계하여 폭이 $10 \mu m$, 두께가 $1.5 \mu m$ 인 박막도파로와의 광 결합현상에 대하여 고려하였다.

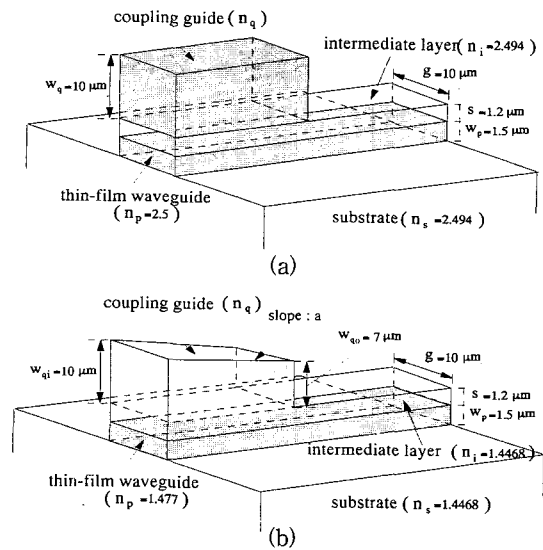


그림 9. 광섬유-도파로 접속 구조 (a) uniform 형태 (b) taper 형태
Fig. 9. Fiber-waveguide connection structure. (a) uniform-type coupling structure (b) taper-type coupling structure

그림 10은 그림 9의 (a) 같이 결합도파로가 uniform형 일 경우 결합도파로의 굴절율의 변화에 대한 결합효율을 보이고 있다. uniform형의 경우에는 결합효율이 sine/cosine 형태로 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 광파가 일정한 거리를 전파한 후에는 다시 광파가 박막도파로에서 결합도파로로 결합되는 현상을

나타낸다. 그러므로 결합길이의 결정시에 결합도파로의 길이가 엄격히 선택되어야 함을 알 수 있으며, 또한 결합도파로의 굴절율이 어떤 요인들에 의해 편차가 발생하게 되면 결합길이도 더 길어지고 효율도 저하됨을 알 수 있는데, 이는 집적광학에서 바람직하지 않은 현상이다.

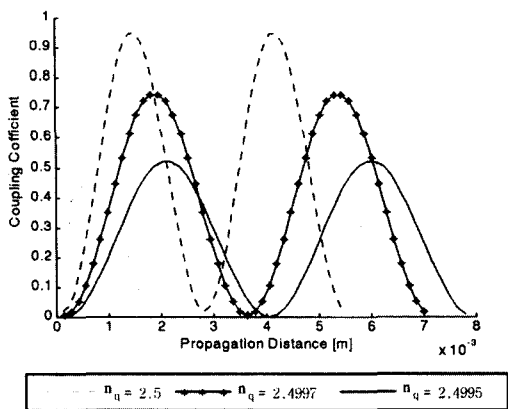


그림 10. uniform형 결합도파로의 굴절율 변화에 따른 결합효율의 변화

Fig. 10. Variation of coupling efficiency caused by deviations n_q in uniform-form coupling structure.

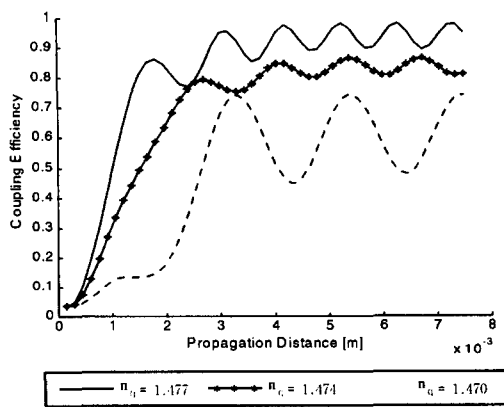


그림 11. taper형 결합도파로의 굴절율 변화에 따른 결합효율의 변화

Fig. 11. Variation of coupling efficiency caused by deviations n_q in taper-form coupling structure.

그림 11은 그림 9의 (b)와 같이 결합도파로의 입력층의 크기(w_{in})를 $10\mu m$, 출력층의 크기(w_{out})를 $7\mu m$ 로 하여 결합도파로의 굴절율 n_q 를 변화시켰을 경우 결합효율의 변화를 나타내었다. 이 경우에는 광

파가 박막도파로로 전송된 후에는 uniform 형의 경우와는 다르게 더 이상 위쪽의 결합도파로로 다시 결합되지 않고 높은 결합효율이 광파가 임의의 거리를 전파한 후에도 계속 유지됨을 알 수 있다. 이러한 특성은 taper 형 결합구조는 도파로 굴절율 편차에 대한 관용성도 커지고 접속기의 결합길이 결정도 용이하다는 장점이 있음을 알 수 있다.

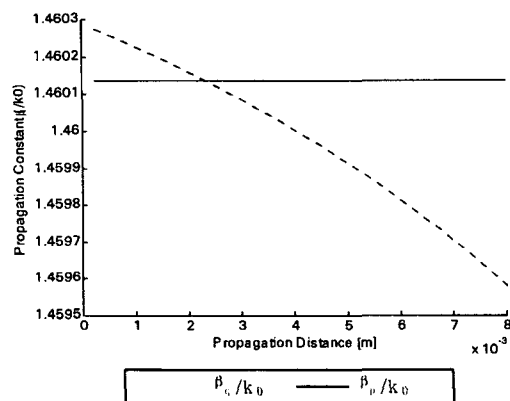


그림 12. taper형 접속기에서 전파길이에 따른 각 도파로의 전파상수

Fig. 12. Propagation constant of coupling guide and thin-film guide varies propagation distance in taper-form connector.

그림 12는 taper형 결합구조 전파거리에 따른 결합도파로와 박막도파로의 전파상수의 변화를 보이고 있다. 이 때 taper형 결합도파로의 기울기는 0.003이다. 그림에서 보듯이 박막도파로는 도파로 폭이 일정하기 때문에 전파상수 β_p 는 항상 일정 일정한 값을 갖고, 결합도파로의 전파상수 β_c 는 도파로 폭이 줄어들며 따라 전파상수도 감소됨을 알 수 있다.

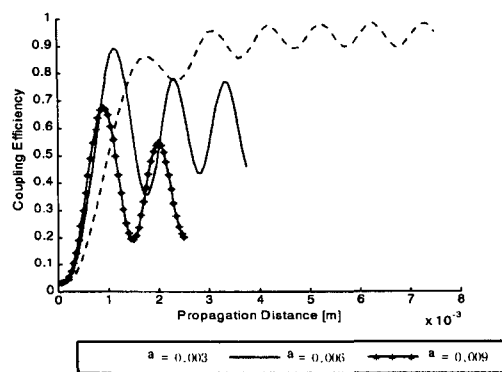


그림 13. taper 기울기 변화에 따른 결합효율의 변화
Fig. 13. Coupling efficiency changes with the variation of taper slope.

그림 13은 taper의 기울기 a 가 변화함에 따라 taper형 접속기의 결합효율이 변화됨을 보이고 있다. 결합도파로의 기울기 $a=0.003$ 으로 코어 폭이 완만한 변화를 갖을때 최대효율은 곡선의 세번째 피크치에서 나타난다. 이러한 최대효율을 얻기 위해서는 상대적으로 긴 결합길이가 요구된다. 또한 taper의 기울기가 증가함에 따라 최대효율은 첫번째 피크치로 옮겨가면서 결합효율은 떨어지는데 이것은 β_p 와 β_c 의 신속한 분리에 의해 짧은 결합영역내에서는 광전력의 전송이 충분히 수행될 수 없기 때문이며 이러한 경우에는 결합도파로의 경사도가 적절한 값으로 주어지면 보다 높은 효율을 얻을 수 있다.

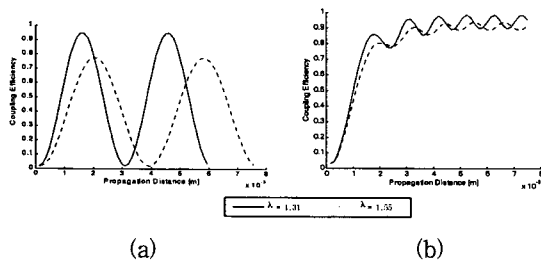


그림 14. 파장에 따른 결합효율의 변화 (a) uniform 형태 (b) taper 형태

Fig. 14. Coupling efficiency varies. (a) in the uniform-type coupling structure (b) in the taper-type coupling structure.

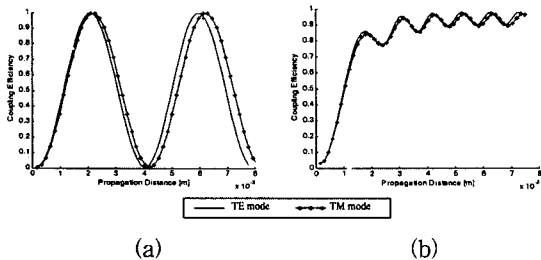


그림 15. TE 모드와 TM 모드에 대한 결합효율의 변화 (a) uniform 형태 (b) taper 형태

Fig. 15. Coupling efficiency varies both TE and TM mode. (a) in the uniform-type coupling structure (b) in the taper-type coupling structure

그림 14는 파장 $1.3 \mu\text{m}$ 와 $1.55 \mu\text{m}$ 에 대한 uniform 형과 taper 형의 결합도파로와 박막도파로사이의 결합효율의 변화를 나타내었다. uniform 형인 경우는 각 도파로의 전파상수들이 입력파장에 의존하기 때문에 전파거리에 따른 결합효율이 크게 변화할 뿐만아니라 결합길이도 변화하게 되나 taper 형의 경우는 결합효

율의 변화가 작기때문에 taper 형태가 uniform 형태보다 더 넓은 대역폭을 갖음을 알 수 있다.

그림 15는 TE 모드와 TM 모드에 따른 효율의 변화를 보이고 있다. uniform 형태의 결합 구조는 두 모드에 대해서 각 도파로의 고유모드가 서로 다르므로 전파거리의 변화에 따라 결합효율의 불일치가 필연적이나 반면에 taper형 결합구조는 입력된 광의 편광모드에 대해 효율이 독립적임을 알 수 있다.

IV. 결 론

논문에서는 광 가입자망에서 사용되어질 광 집적회로 소자와 광전송로인 광섬유의 접속시에 두 소자간의 두께와 폭의 차이로 인한 광필드분포의 불일치로 인해 예상할 수 있는 낮은 광 전력의 전송효율을 피하기 위해 광 집적회로상의 박막도파로상에 의도적으로 광섬유와 두께와 폭이 동일한 결합도파로를 uniform 형태와 taper 형태로 성장시켜, 두 구조와 박막도파로간의 결합효율을 각각 시뮬레이션하였다.

시뮬레이션 결과 uniform 형태의 결합구조는 파장, 편광, 굴절율등의 파라미터에 따라 결합 효율과 결합 길이가 급격히 변하는데 비해 taper 형태의 결합구조는 앞의 파라미터의 영향을 크게 받지 않을 뿐만아니라, 광집적회로소자의 중요한 파라미터인 결합길이도 광이 어느정도 진행된 후에는 거의 일정하게 유지되므로 보다 실용적인 소자임을 확인할 수 있었다.

따라서 광섬유와 접속이 필요한 광가입자망에서 사용되어질 소자들이 본 논문에서 제안한 taper 형태의 결합구조를 갖는다면 보다 적은 광손실을 갖을 수 있으므로 집적광학 시스템의 실현에 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J.Guttmann, O.Krumpholz, and E.Pfeiffer, "Optical fiber-stripline-coupler", Applied Optics, vol. 14, no. 5, pp. 1225-1227, May, 1975.
- [2] J.Noda, O.Mikami, M.Minakata, and M.Fukuma, "Single-mode optical-waveguide fiber coupler", Applied Optics, vol. 17, no. 13, pp. 2092-2096, July, 1978.
- [3] C.H.Bulmer, S.K.Sheem, R.P.Moeller, and

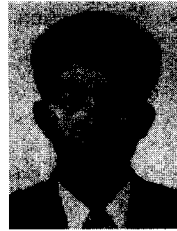
- W.K.Burns, "High-efficiency flip-chip coupling between single-mode fibers and LiNbO₃ channel waveguides", *Applied Phys.Letts.* vol. 37, no. 4, pp. 351-353, August, 1980.
- [4] Y.Yamada, M.Kawachi, M.Yasu, and M.Kobayashi, "High-silica multimode channel waveguide structure for minimizing fiber-waveguide-fiber coupling loss", *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. LT-4, no. 3, pp. 277-282, March, 1986.
- [5] J.C.Campbell, "coupling of fibers to Ti-diffused LiNbO₃ waveguides by butt-joint", *Applied Optics*, vol. 18, no. 12, pp. 2037-2040, June, 1979.
- [6] M.Fukuma and J.Noda, "Optical properties of titanium-diffused LiNbO₃ strip waveguides and their coupling-to-a-fiber characteristics", *Applied Optics*, vol. 19, no. 4, pp. 591-597, February, 1980.
- [7] P.D.Bear, "Microlenses for coupling single-mode fibers to single-mode thin-film waveguides", *Applied Optics*, vol. 19, no. 17, pp. 2906-2909, September, 1980.
- [8] A.Yariv, "Coupled-mode theory for guided-wave optics", *IEEE J.Quantum Electron.*, vol. QE-9, no. 9, pp. 919, september, 1973.
- [9] D.Marcuse, "Coupled-mode theory for anisotropic optical waveguides", *Bell syst. Tech. J.*, vol. 54, no. 6, pp. 985, 1975.
- [10] A.Hardy and W.Streifer, "Coupled mode solutions of multi-waveguide system", *IEEE J.Quantum Electron.*, vol. QE-22, no. 4, pp. 528-534, April, 1986.
- [11] S.L.Chuang, "A coupled mode formulation by reciprocity and a variational principle", *J.Lightwave Technol.*, vol. LT-5, no. 1, pp. 5-10, January, 1987.
- [12] A.Kumar, K.Thyagarajan and A.K.Ghatak, "Analysis of Rectangular-Core Dielectric Waveguide : an Accurate Perturbation Approach", *Opt. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 63-65, 1983.
- [13] A.Hardy and W.Streifer, "Coupled-mode equations for multi-mode waveguide systems in isotropic or anisotropic media", *Opt.Lett.*, vol. 11, no. 11, pp. 742-744, November, 1986.
- [14] K.Morishita, S.Inagaki and N. Kumagaki, "Analysis of discontinuities in dielectric waveguides by means of the least squares boundary residual method", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-27, no. 4, pp. 310-315, April, 1979.
- [15] H.A.Haus and W.P.Huang, "Mode coupling in tapered structures", *J.Lightwave Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 729-730, April, 1989.

저 자 소 개



金 善 燁(正會員)

1993년 2월 원광대학교 전자공학과 공학사. 1995년 2월 원광대학교 전자공학과 공학석사. 1998년 2월 원광대학교 전자공학과 박사과정 수료. 주관심분야는 광집적소자, 광도파로 해석



盧 信 來(正會員)

1962년 10월 20일. 1990년 2월 원광대학교 전자공학과 공학사. 1993년 2월 원광대학교 전자공학과 공학석사. 1996년 8월 원광대학교 전자공학과 박사과정 수료. 1996년 3월 ~ 현재 정인대학 정보통신과. 주관심분야는 광통신시스템, 광디바이스, 광파이버센서



孫 東 熙(正會員)

1989년 2월 원광대학교 전자공학과 공학사. 1991년 2월 원광대학교 전자공학과 공학석사. 1996년 2월 원광대학교 전자공학과 박사과정 수료. 1995년 3월 ~ 현재 군장대학 전자통신과 조교수. 주관심분야 광집적소

자, 광도파로 해석

姜 英 鎮(正會員)

1974년 2월 광운대학교 무선통신공학과 공학사. 1980년 2월 건국대학교 전자공학과 공학석사. 1989년 2월 건국대학교 전자공학과 공학박사. 1993년 1월 ~ 1994년 1월 일본 동경공업대학 객원연구원. 1981년 3월 ~ 현재 원광대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 광 집적소자, 광 통신시스템