

BPM 시뮬레이션에 의한 방향성결합형 광 변조기 설계 및 분석

正會員 姜其成*, 蘇大和**

Design and analysis of a directional coupling optical modulators based on BPM simulation

Ki Sung Kang*, Dae Wha Soh** Regular Members

要 約

코히어런트 광 통신의 구현 및 실용화에 접근하기 위한 광 변조방법과 장거리통신을 위한 고속의 광 변조기 제작을 위하여 광 변조기의 최적설계를 위해 광 전송이론(BPM)을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 선택된 광원으로는 DFB 레이저($\lambda = 1.5(\mu\text{m})$) 파장을 이용하였으며 도파로폭은 $d_1=d_2=5(\mu\text{m})$, 도파로의 굴절율 $n_1=n_2= 2.25$, 기판의 굴절율 $n_3=2.2$, 도파로 사이의 간격 $W=5(\mu\text{m})$, 그리고 전계에 의한 굴절율 변화를 위하여 인가전압 ($\sim 18\text{V}$)에 의한 변화를 주었을때 최적의 고속 광 전송과정을 확인할 수 있었다. 따라서 최적의 파라미터들을 광 변조기 제작에 이용하였을때 공정과정과 전극형성 과정을 더욱 효율적이며 간단하게 제작할 수 있는 조건을 구하였다.

ABSTRACT

Optimum conditions for the optical coupling phenomenon were studied through the BPM simulation technique for the design of a coherent directional optical modulator which consists of the directional coupler. The parameters used in the simulation were $1.5[\mu\text{m}]$ wavelengths for light source, $5[\mu\text{m}]$ of waveguide width, 2.25 of waveguide refractive index, 2.2 of substrate refractive index, $5[\mu\text{m}]$ of gap between waveguides and $18[\text{V}]$ of applied voltage respectively. Therefore, the optical paramaters will become efficient and easy using the electrode process to the optical modulator fabrication.

*상지전문대학 전자과

Dept. of Electronics, Sang Ji Coll.

**명지대학교 전자공학과

Dept. of Elec. Eng., Myung Ji Univ.

論文番號 : 95127-0330

接受日字 : 1995年 3月 30日

I. 서 론

집적광학은 광 도파로에 진행되는 광을 이용하여 하나의 기판위에 여러개의 도파로를 집적하여 광학소자를 구성하는 기술로써 1958년 레이저 발진기의 가능성에 대한 이론의 제시와 함께 코히어런트 광을 이용하는 광통신의 새로운 개념으로 등장하였다.

1960년 휴즈연구소에서 합성루비 결정체를 이용한 간섭성을 지닌 코히어런트(coherent)광을 발견하였다. 1962년 MIT 링컨연구소 및 IBM 연구진들은 GaAs를 이용한 반도체레이저에 관한 연구를 발표함에 따라 통신용의 필수조건인 광의 연속발전이 실온에서 동작이 되는 연구가 계속 진행 되어졌다¹⁾. 1960년도 초에 실험적으로 밝혀진 유전체층을 따라서 광이 전반사를 통하여 도파 된다는사실은, 기판상에 증착된 얇은유전체 박막을 이용하여 수동, 능동 광 소자의 연구개발을 촉진시켰다²⁾. 1970년대말 GaAs 2중 헤테로구조와 스트립 전극구조를 이용하여 저손실 광 파이버의 실현과 실온에서 연속발전이 가능한 반도체레이저와 광 파이버 통신이 현실화 되었다.

집적광학(integrated optics)의 역사는 1969년 벨 연구소의 Miller 가 광 IC 개념을 발표함으로써 시작되었다. 1970년대초에 여러종류의 결정체가 집적광학의 재료로 검토되었으며, 그 중 SiO₂, KH₂PO₄, LiNbO₃, LiTaO₃, GaAs 등이 집적광학 재료로 많이 이용되고 있다. 그후 수(μ m)단위를 갖는 광 소자들이 현재까지 연구되어 지고 있다. 대표적으로 광 변조기, 모드변환기, RF스펙트럼분석기, 광 검파기들이 연구되었다. 이들 기능소자들은 하나의 칩상에 집적화하고자 하는 집적 광학 소자로 개발되어지고 있다³⁾.

광통신에 있어서 광원 (laser diode), 광 섬유 (전송매체), 광 검출기(photo detector) 를 필수적인 요소로 꼽고 있다. 이러한 필수적인 요소와 시스템을 구축하기 위해서는 광을 제어하는 기능소자로 광 결합기, 광 분파기, 광 변조기, 렌즈, 프리즘 등이 요구되고 있다. 이러한 수동 및 능동 소자들을 정밀하게 배열하여 단일 칩상에 광 소자들을 박막형태로 집적화하여, 효율적인 광통신을 운영하는데 있어서 초미구조의 광 변조기는 필수적이다.

현재는 광손실과 변조전압을 감소시키며 대역폭⁴⁾을 향상시키기 위한 실험과 컴퓨터 시뮬레이션에 대한 연구가

활발히 진행되고 있다. 광 변조기는 광도파로의 형태에 따라서 단일 광 도파로 (optical single waveguide), 가지형도파로(branching waveguide), 마하젠더간섭계형 (Mach-Zehnder interferometr) 방향성결합기 (directional coupler), X-스위치(intersecting waveguide)등의 기본적인 몇가지 유형으로 분류된다.

본 연구에서는 코히어런트 광 변조를 위한 광 변조기를 제작하기 위하여 그 전단계로써 광 전송이론⁵⁾ (Beam propagateion Method) 에 의한 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 도파로의 크기와 광원, 그리고 도파로사이의거리, 굴절율변화, 전압등을 파라미터로 하여 결합현상의 최적화를 위한 조건에 대하여 연구하였다.

II. 방향성결합기의 광 전송이론

광 전송이론(BPM)에 의한 광 변조기의 모델링은 두개의 도파로 사이의 결합에 관한 수식으로 해석이 되고 있다. 또한 최근 중요한 연구분야로써 광원과 도파로간의 결합이론이 필수적으로 요구되고 있다⁶⁾. 따라서 실제 제작시 얻을 수 있는 효율적인 광학 소자의 성능을 결정하는 여러 변수들의 변화에 대하여 도파로 사이의 거리 (gap), 도파로폭(d₁, d₂), 도파로의 굴절율(n₁, n₂)등의 변화에 따른 전력 전달비와 결합과정을 BPM을 이용하여 제시되는 구조를 분석, 비교함으로써 광 통신 소자의 집적화에 따른 성능향상의 연구분야의 중요성이 제시되고 있다.

광 전송방식에서 단일 광도파로 및 X-switch, 방향성 결합형 광변조기에서와 같이 도파로 내에서 광의 법이 진행되는 광파의 전송형태는 다음식과 같이 스칼라 파동방정식으로 표현된다.

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) E(x, y, z) + k_0^2 n^2(x, y) \cdot E(x, y, z) = 0 \quad (2-1)$$

여기서 E(x,y,z)는 전계 횡단방향 성분이며, ∇_{\perp}^2 은 횡단전위차이고 굴절율 n(x,y,z)을 광도파로의 진행 방향에 수직성분인 x, y에 대하여만 변화된다고 생각하면, z= Δz 만큼 진행한 후의 (2-1)식의 해는 z=0에서의

해를 사용하여 (2-2)식으로 나타낼수있다²¹⁾.

$$E(x, y, z = \Delta z) = \exp(-j\Delta z [\frac{\nabla_t^2 + k_0^2 n^2(x,y,z)}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n^2)^{1/2} + k_0 n}]) E(x,y,z) \quad (2-2)$$

여기서 우변의 제곱근 항은 (2-3)식과 같이 다시 쓸 수있다^{21,22)}.

$$[\nabla_t^2 + k_0^2 n^2]^{1/2} = \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n^2)^{1/2} + k_0 n} + k_0 n \quad (2-3)$$

만약 우변의 제 1항에서 도파로의 기관부분의 굴절율을 n_s 라하면, (2-3)식은 다시 (2-4)식으로 표현된다.

$$[\nabla_t^2 + k_0^2 n^2]^{1/2} \approx \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n_s^2)^{1/2} + k_0 n_s} + k_0 [(n_s/n_s) - 1] \quad (2-4)$$

여기서 $k_0 = \omega/c$ 이며, ω 는 광의 각주파수, c 는 광속이고, n_s 는 공기중의 굴절율, n_s 는 기관의 굴절율이다. 따라서 근사식은 굴절율 $n(x,y,z)$ 가 코어와 클래딩 사이에 매우 작은 변화에 따른 조건에 의해 식 (2-4)의 우변 마지막항은 무시될 수 있으므로, 결과적으로 (2-3)식과 같이 된다. 여기서 다음과 같이 z 의 양의 방향으로 진행되는 전계만을 고려하면, 전계의 시간적 변화율은 $\exp(j\omega t)$ 로 나타낼 수 있으므로, 전계 E 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(x, y, z) = \epsilon(x, y, z) e^{-j\omega t} \quad (2-5)$$

(2-5)식을 다시 (2-2)식에 대입하여 근사식을 다시 쓰면

$$E(x, y, \Delta z) = \exp[-j\Delta z [\frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n_s^2)^{1/2} + k_0 n_s} + \chi(x, y)]] \epsilon(x, y, 0) \quad (2-6)$$

여기서 $\chi(x, y) = k_0 n_s (n/n_s - 1)$ 이며, 또한 (2-6)식은 (2-7)식과 같이 쓸수있다.

$$E(x, y, \Delta z) = \exp \left[-j \frac{\Delta z}{2} \left\{ \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n_s^2)^{1/2} + k_0 n_s} \right\} \right] \exp(-j\Delta z \chi) \cdot \exp \left\{ -j \frac{\Delta z}{2} \cdot \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 n_s^2)^{1/2} + k_0 n_s} \right\} \epsilon(x, y, 0) + O(\Delta z)^3 \quad (2-7)$$

광 전송방식 알고리즘에서 $z=0$ 로 부터 시작된 광파를 알면 $z = z_0 + \Delta z$ 까지 진행 한 광파를 반복적인 적용에 따라 계속적으로 도파로내의 광의 진행을 알수 있다¹⁴⁾.

또한 (2-7)식 에서 ∇_t^2 이 k_0^2 에 대해 횡단방향으로 손실 되어가므로 인하여 무시 할 수 있다면 수치적 해석상 (2-8)식으로 변형할 수 있다^{21,22)}.

$$E(x, \Delta z) = \exp\{-jk_0 n_s \Delta z\} \exp\left\{ \frac{-j \Delta z}{4k_0 n_s} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} \cdot \exp \left[-j \frac{k_0 n_s \Delta z}{2} \left\{ \frac{n^2(x, z + \Delta z/2)}{2} - 1 \right\} \right] \cdot \exp \left\{ -j \frac{\Delta z}{4k_0 n_s} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} E(x, z) + O(\Delta z)^2 \quad (2-8)$$

여기서 광의 전송방향이 Y축일경우 $E(x, z)$ 는 x방향만을 고려한 전계이므로 $E(x, z=0)$ 을 알면 $E(x, z=\Delta z)$ 을 알수 있게 되어 (2-8)식의 반복적인 적용에 따라 도파로 내의 광의 진행을 알 수 있다.

III. 방향성 결합형 광변조기

두개의 평행한 도파로 사이에서 발생하는 결합현상을 고찰하기 위하여, 그림 3-1과 같이 결합 광 도파로를 나타냈다. 여기서 방향성 결합기의 결합현상은 $z=0$ 인 입력부에서 한쪽 광도파로에 전송되는 광 출력이 z 축을 따라 진행하면서 다른쪽 광 도파로로 천이되는 현상이다^{8,9)}. 이러한 천이현상은 평행한 두개의 광도파로 내에 존재할 수 있는 전파모드가 서로 중복되어 발생하는 것으로 방향성결합 (directional coupling)이라고 한다¹⁰⁾.

결합모드 방정식은 방향성결합기, 광 스위치, 광 변조기 등과 같은 소자들을 해석하는데 유용하며, 널리 이용되므로 기하학적 변화에 의한 전파상수(β)의 변화와 도파로 사이의 전력이 상호 변화되어 결합 미분방정식에 대한 이론적 해석은 다음과 같은 두개의 결합 미분방정식으로 나타낼 수 있다⁹⁾.

$$\frac{dE_1}{dz} = j\beta_1 E_1 + k_1 E_2 \tag{3-1}$$

$$\frac{dE_2}{dz} = k_2 E_1 + j\beta_2 E_2 \tag{3-2}$$

$$\beta_1 = \beta_1' - k_1, \beta_2 = \beta_2' + k_2 \tag{3-3}$$

여기서, β_1' 와 β_2' 는 각 도파로의 전파상수이고 $k(k_1, k_2)$ 는 결합계수이다. 결합모드 이론은 미분 방정식의 해 이므로^{11,12)}

$$E_1 = Ae^{jz}, E_2 = Ae^{jz} \tag{3-4}$$

여기서, 평행한 두 광 도파로내에 존재하는 전파모드의 위상부정합계수(phase mismatch coefficient)를 라고 하면, (3-1)식과 (3-2)식에서 두 모드간의 중첩현상에 의한 결합계수 k 가 결정된다. 식(3-1), (3-2)식을 $E_1(n_1)=1, E_2(n_2)=0$ 의 조건에 대하여 구하고, 이를 다시 평행한 두 광도파 내에 존재하는 광출력을 $P(n_1) = W_1, P(n_2) = W_2$ 로 나타내면, 다음과 같은 식이 성립된다²³⁾.

$$P(n_1) = P_1 \frac{k^2}{k^2 + \delta^2} \sin^2 [(k^2 + \delta^2)^{1/2} L] \tag{3-5}$$

$$P(n_2) = P_1 - P(n_1) \tag{3-6}$$

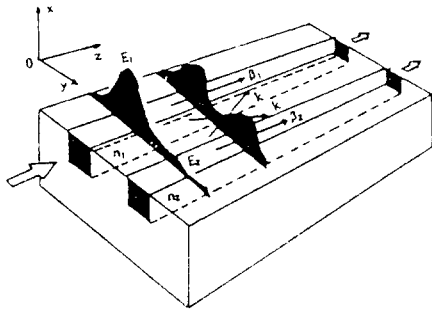


그림 3-1. 결합형 광 도파로의 모델
Fig. 3-1. Model of coupling type optical waveguide.

여기서 P_1 는 광도파로의 입력을 나타낸 것이다.

(3-5)식으로 부터 도파로 W_1 에서 도파로 W_2 로 전달되는 광 출력 관계는 $\delta=0$ 일때 도파로 W_1 에서 도파로 W_2 로 완전히 전달될 수 있는 광 출력으로써

$$\frac{|P(n_2)|}{P_1} = \frac{k^2}{k^2 + \delta^2} \tag{3-7}$$

이 된다.

일반적으로 이용되고 있는 결합모드 이론을 적용하면, 전기적으로 스위칭될 수 있는 방향성 결합형 광 변조기를 구현할 수 있다. LiNbO₃ 기판을 이용하여 평행한 두개의 광 도파로를 그림 3-2와 같은 구조의 방향성 결합기로 나타낼 수 있다. 전극은 외부전계가 도파로에 인가될 수 있도록 도파로 위에 배치될 수도 있으며, 또한 도파로 밖에 배치될 수도 있다. 이러한 구조로 제작된 소자의 도파로 굴절율은 전기광학적 효과에 의하여 변화될 수 있고^{13,14)}, 각 도파로 사이의 전파상수의 차이는 인가전압에 의하여 발생될 수 있다. 입력단 P_{11} 으로 입사되는 광은 인가된 전압에 의해 P_{01} 혹은 P_{02} 로 나오게 된다. 그러므로 위상 부정합계수 δ 가 0 일때 완전한 변화가 나타나게 된다. 따라서 $\sqrt{k^2 + \delta^2}L$ 로 정의된 전기결합범위가 $\pi/2$ 의 정수의 곱일때, P_{11} 으로 들어가는 광원은 P_{02} 로 나오게 되므로 교차상태(\times) 표시한다. 따라서, 이때 결합길이 L 은

$$\Delta=0 \text{ 일때 } |L| = (2n+1) \frac{\pi}{2} \tag{3-8}$$

이다. 여기서 n 은 정수, Δ 는 전파상수차이다. 그러나 광원이 P_{11} 으로 들어가 P_{01} 로 나올때를 직선교차(=)로

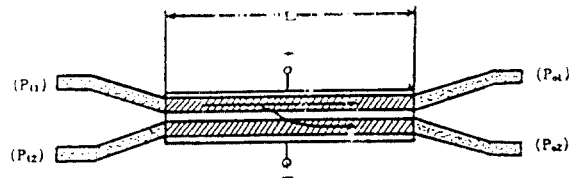


그림 3-2. 방향성 결합기의 기본구조
Fig. 3-2. Basic structure of directional coupler.

표시하고 Δ 가 0 이 아닐때 결합길이가 π 의 정수배인 아래식을 만족하면 직선교차 상태가 될 수 있다.

$$\sqrt{|k^2 + \Delta^2} L = n\pi \tag{3-9}$$

여기서 n 은 정수이다.

IV. BPM 프로그램 구성

광 전송 모델의 기본 프로그램을 구성하여, 시뮬레이션을 수행하므로써 광의 진행 방향으로 굴절율변화에 의한 광파의 분포를 볼 수 있도록, 컴퓨터를 이용한 실험 방법으로 각파라미터의 설정에 의한 프로그램 흐름도를 그림4-1에 나타내었다.

광 전송방식(BPM) 이론을 이용한 프로그램 구성은 첫째, 파라미터 설정을 하기 위하여 두께가 1[mm]인 LiNbO3 기판의 폭과 길이를 $X1\ 55(\mu m) \times Z1\ 5000(\mu m)$, 도파로 길이방향으로 계산간격 Δz 는 $0.1(\mu m)$, 광원의 파장($\lambda=1.5(\mu m)$), 기판 굴절율($n_e=2.2022$), 그리고 Ti를 열확산시켰을때 도파로의 광파의 전계변화량은 단일광 도파로에서는 0.001 에서 0.01까지 변화시켜 단일모드의 조건을 적용하여 도파로의 굴절율이 변화하는 단일모드 조건을 만족하도록 선정하여 시뮬레이션 하였다.

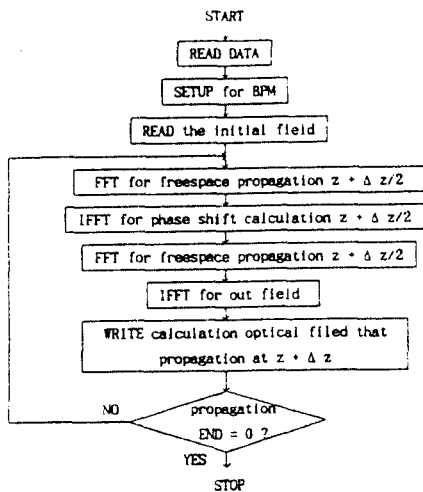


그림 4-1. BPM이론을 이용한 프로그램 구성의 흐름도.
Fig. 4-1. Flowchart of program structure using BPM theory.

둘째, 광 도파로의 좌표 설정 및 구조 설정으로 광 전송방식(BPM) 알고리즘에서 광 도파로의 좌표는 기판의 절단 방향에 따라 변하게 된다. 즉 x-cut LiNbO3 기판은 기판의 깊이방향이 x 방향이며 z방향으로 광의 모드가 진행하게 구성한다. 또한 y축 으로 절단된 기판은 깊이방향이 y 방향이며, z 방향으로 광의 모드가 진행하게 구성되고, z축 절단 기판은 깊이방향이 z 방향이 된다.

셋째, 광 전송방식 알고리즘 및 FFT-서브루틴은 전계의 fourier 변환과 역 fourier 변환을 반복적으로 수행하게 된다.

전기 광학 효과를 이용하는 집적광학 소자의 시뮬레이션을 위해서는 기판 내부의 전계 계산을 필요로 한다. 본 연구에서 평행 전극에 대하여 전계를 계산하려고 한다. 전계를 구하는데 사용한 방법은 정전위에 대한 Laplace 방정식의 수치해석적인 해를 사용하였다. 그림 3-2와 같은 전극구조에서의 전계를 구하는 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

- 1) $y=0$ 에서 전위 $\phi_0(y=0)$ 를 추측한다.
- 2) 전위 ϕ_0 를 Fourier 변환한다 .
- 3) x방향 공간주파수 ν_x 에 비례하는 $f(\nu_x)$ 로 곱하고,
- 4) Fourier 역변환하면 D_y 가 주어진다.
- 5) 전극이 없는 부분에서 D_y 의 경계조건을 적용한다.
- 6) D_y 를 Fourier 변환한다.
- 7) $f(\nu_x)$ 로 나눈다.
- 8) Fourier 역변환하면 $\phi_0(y=0)$ 가 구해진다.
- 9) 전극 경계조건을 적용하고, 전위 ϕ_0 를 Fourier 변환한후 4)단계로 되돌아 가서 같은 단계를 반복하면 아주 빨리 원하는 $\phi_0(y=0)$ 에 수렴한다.

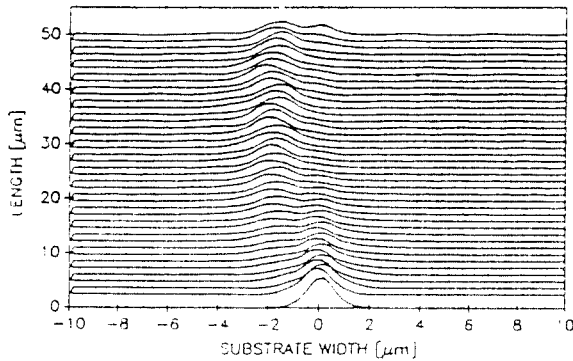
일단 $\phi_0(y=0)$ 가 구해지면 수식적으로 모든 점에서 전계가 구해진다. 여기서 Fourier 변환도 FFT-서브루틴을 이용한다.

본 연구에서는 위와 같은 방법으로 구성된 프로그램을 RC-3240에서 실행시켜 data file을 얻은 다음 SUN 3/80 과 7445A-plotter를 이용하여 그래픽하였다.

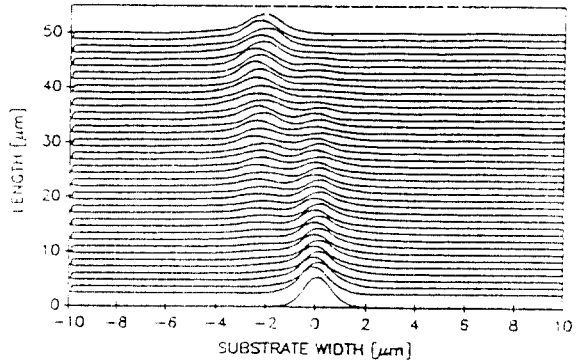
V. 결과 및 고찰

5.1 방향성 결합기에 대한 시뮬레이션

광 전송방식 이론¹⁵⁾을 이용하여, 방향성결합기의 도파로 부분 굴절율 변화에 따른 입사 광원의 진행을 확인



(a) gap = 0.5(μm)



(b) gap = 1.0(μm)

그림 5-1. 갭 변화에 대한 비대칭 방향성결합기의 시뮬레이션 결과

($n_1=2.25, n_2=2.24, n_3=2.2, d_1=1.0(\mu\text{m}), d_2=1.5(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$)

Fig. 5-1. Simulation results of non-symmetry directional coupler at gap change ($n_1=2.25, n_2=2.24, n_3=2.2, d_1=1.0(\mu\text{m}), d_2=1.5(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$).

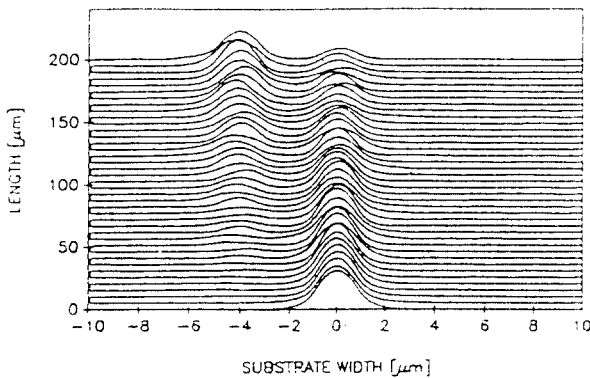


그림 5-2. 시뮬레이션 결과($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=2.0(\mu\text{m}), d_2=2.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=200(\mu\text{m}), \text{gap}=2.0(\mu\text{m})$)

Fig. 5-2. Simulation results($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=2.0(\mu\text{m}), d_2=2.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=200(\mu\text{m}), \text{gap}=2.0(\mu\text{m})$).

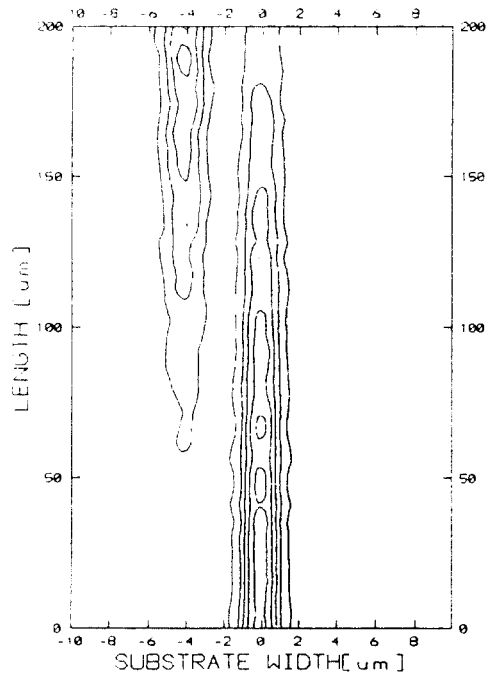


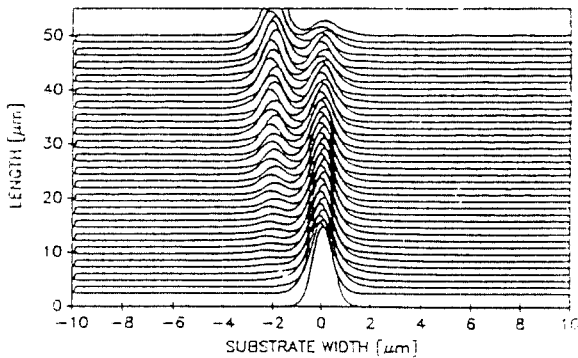
그림 5-3. 그림 5-2에 대한 등고선도($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=2.0(\mu\text{m}), d_2=2.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=200(\mu\text{m}), \text{gap}=2.0(\mu\text{m})$)

Fig. 5-3. Contour to Fig. 5-2($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=2.0(\mu\text{m}), d_2=2.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=200(\mu\text{m}), \text{gap}=2.0(\mu\text{m})$).

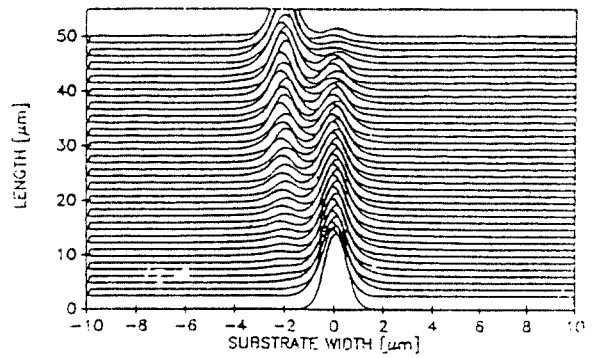
위하여 파장(λ)의 변화에 대한 결합길이의 변화, 그리고 방향성결합기의 양 도파로의 굴절율 차에 의한 결합길이의 변화등을 고찰하였다¹⁶⁾. 먼저, 그림 5-1에서는 가장 기본적인 조건에서의 실험결과로서, 파라미터 설정을 위한 비대칭인 도파로 1과 도파로 2의 굴절율 및 도파로 폭의 변수를 각각 도파로 1의 굴절율(n_1)은 2.25, 도파로 2의 굴절율(n_2)은 2.24, 기판의 굴절율(n_3)은 2.2, 도파로 사이의 $gap = 0.5(\mu m)$, 도파로 1의 폭(d_1)은 $1.0(\mu m)$, 도파로 2의 폭(d_2)은 $1.5(\mu m)$, 기판의 폭(w)은 $20(\mu m)$, 파장은 $1.5(\mu m)$, z 방향의 중첩 상수(Δz)는 $0.1(\mu m)$, 도파로의 길이(L)는 $50(\mu m)$ 인 방향성결합기와 또한 같은 조건에서 $gap=1.0(\mu m)$ 인 경우의 결합현상을 비교하였다. 시뮬레이션 결과 겹의 조건에 따라 천이길이가 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

그리고 그림 5-2는 제작과정 중 n_1 과 n_2 의 굴절율 차이에 따른 공정의 어려움을 감안하여 도파로 1과 도파로 2의 굴절율을 일치시켜, 대칭적으로 제작하기 위하여 $n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=2.0(\mu m)$, $w=20(\mu m)$, $\lambda=1.5(\mu m)$, $\Delta z=0.1(\mu m)$, $L=200(\mu m)$, $gap=2.0(\mu m)$ 로 실험한 결과를 나타냈다. 또한, 그림 5-3은 그림 5-2의 조건에 따라 나타나는 결합현상을 굴절율의 상태에 따른 광전송 과정을 확인하기 위한 등고선도의 형태로 나타낸 것으로서, 방향성결합기에 대한 시뮬레이션 결과이다.

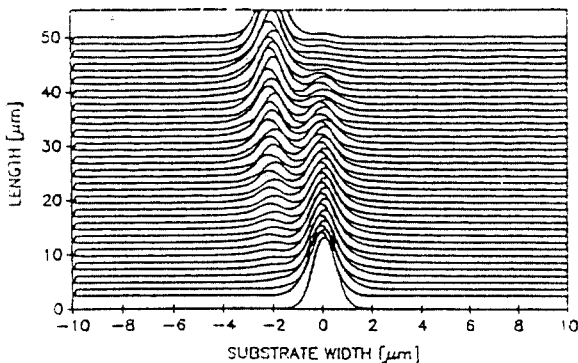
그림 5-4에서는 파장 $\lambda=1.0(\mu m)$ 에서 $1.5(\mu m)$ 사이의 변화값에 따른 굴절율 $n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, 도파로 폭 $d_1=d_2=1.0(\mu m)$, 도파로 겹은 $1.0(\mu m)$, 그리고 기판의 폭은 $20(\mu m)$ 에서 $\Delta z=0.1(\mu m)$, 도파로 길이를 $50(\mu m)$ 에 대한 실험 결과이다. 그림 5-5는 그림 5-4의



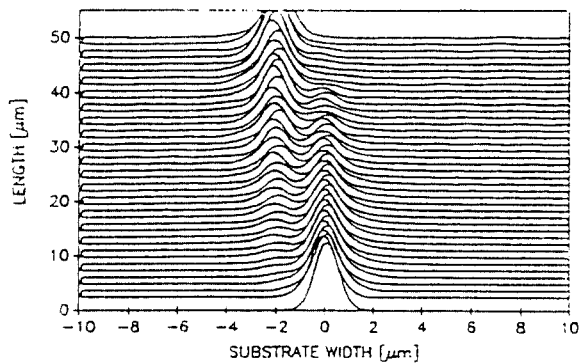
(a) $\lambda=1.0(\mu m)$



(b) $\lambda=1.1(\mu m)$



(c) $\lambda=1.2(\mu m)$



(d) $\lambda=1.3(\mu m)$

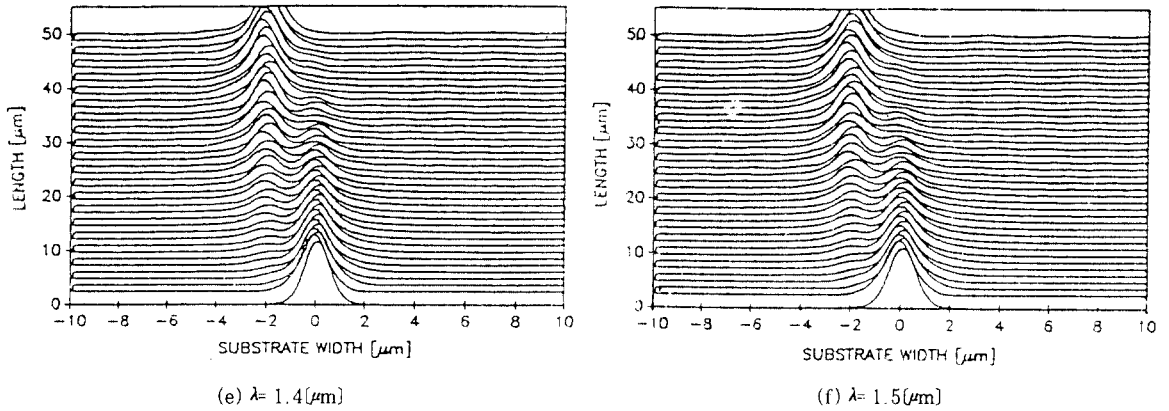


그림 5-4. 파장 변화에 의한 시뮬레이션 결과($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=1.0(\mu\text{m}), d_2=1.0(\mu\text{m}), \text{gap}=1.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-4. Simulation results by wavelength variation ($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=1.0(\mu\text{m}), d_2=1.0(\mu\text{m}), \text{gap}=1.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$).

조건에 대한 방향성결합기의 결합현상을 등고선도로 나타낸 것이다. 결국 파장의 변화는 주어진 도파로 폭의 범위내에서 그림 5-4의 (f)의 경우에서 완전한 결합 모드를 볼수있는 결과로 보아 1.5(μm)의 파장을 갖는 DFB(distributed feedback) 레이저^{17,18)}를 광원으로 사용함에 따라 결합길이에 따른 천이길이가 짧아짐을 시뮬레이션 결과로 부터 확인 되었다.

또한, 그림 5-6은 갭의 변화에 따른 실험결과로서, (a)의 경우 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m})$ 에서 갭을 1.0(μm)로 했을때의 완전한 결합모드가 200(μm)에서 나타난 결과를 나타냈으며, (b)경우 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m})$ 에서 갭을 2.0(μm)로 했을 경우 완전한 결합모드가 600(μm)에서 나타난 결과를 보였다. 그리고 (c)에서 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m})$ 일때 갭을 3.0(μm)로 함으로써 1000(μm)에서 완전한 결합모드가 형성됨을 보여주며, 갭의 변화에 대한 결합길이의 실험결과로 부터 도파로 사이의 갭의 크기가 증가함에 따라 방향성 결합이 이루어 지는 거리가 증가함을 알 수 있다. 또한, 그림 5-7은 $n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=4.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=4(\mu\text{m})$ 일때 그림 5-6와 비교하여 보면 도파로폭과 갭이 증가함에

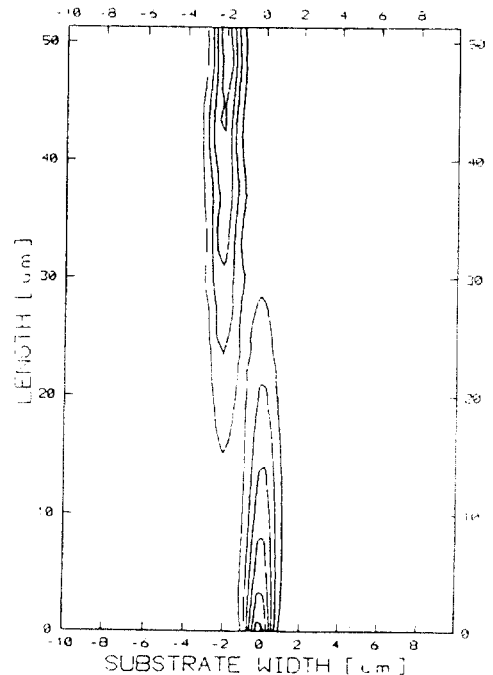
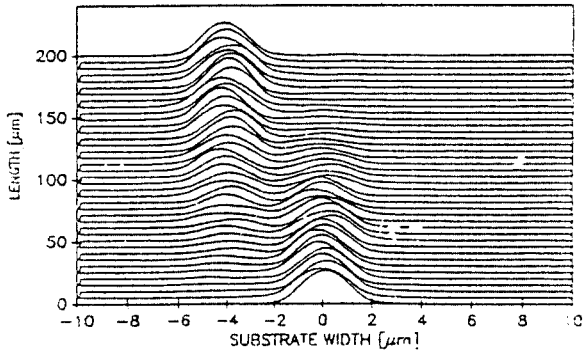
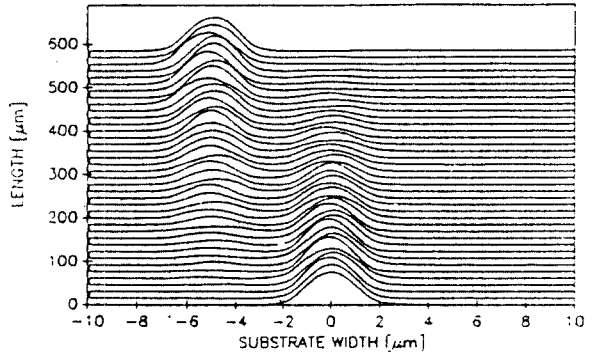


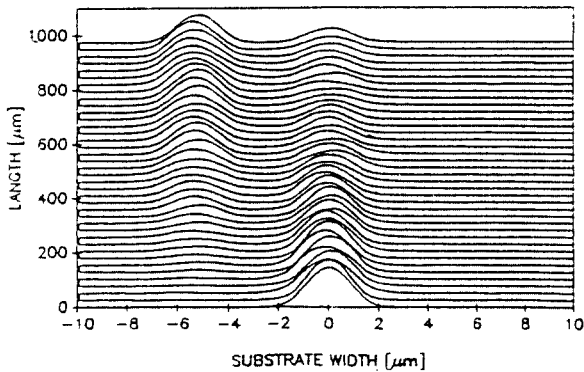
그림 5-5. 광 전송 등고선도($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=1.0(\mu\text{m}), \text{gap}=1.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$ 에서 $\lambda=1.5(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-5. Optical propagation contour ($\lambda=1.5(\mu\text{m})$ at $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=1.0(\mu\text{m}), \text{gap}=1.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), L=50(\mu\text{m})$).



(a) gap = 1.0(μm)



(b) gap = 2.0(μm)



(c) gap = 3.0(μm)

그림 5-6. 갭 변화에 대한 시뮬레이션 결과($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=3.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1\text{ m}$)

Fig. 5-6. Simulation results by various gap($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=3.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$).

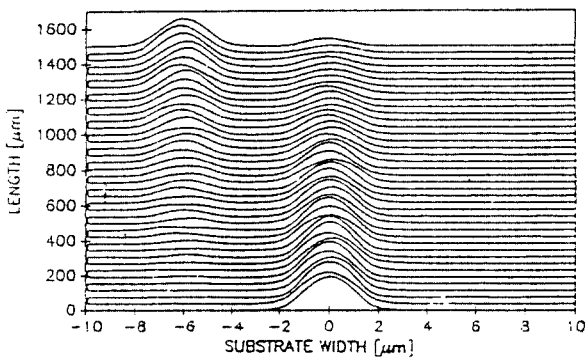


그림 5-7. 시뮬레이션 결과($n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=4.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, gap=4.0(μm))

Fig. 5-7. Simulation results($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=4.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, gap=4.0(μm)).

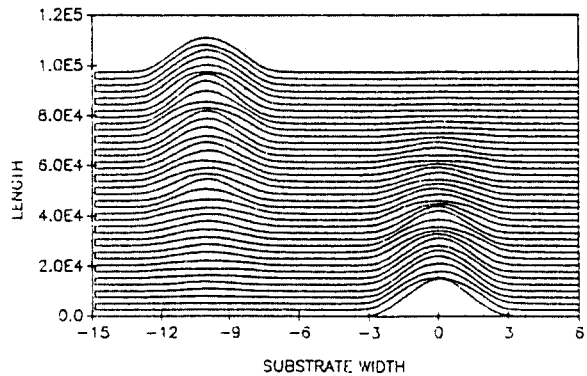


그림 5-8. 시뮬레이션 결과($n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=5.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, gap=5.0(μm))

Fig. 5-8. Simulation results($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=5.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, gap=5.0(μm)).

따라 결합길이가 증가하는것을 확인할 수 있다.

결과적으로, LiNbO₃ 기판에 방향성 결합형 광 변조기를 제작함에 있어서 실용상 제작기술 및 여러가지 조건에 따라 규격화된 장비에서의 공정을 감안했을 경우 도파로 1과 도파로 2 및 도파로 사이의 갭을 실제 제작에 접근할 수 있다. 그러므로 같은 크기로 가정했을 경우 지금까지의 시뮬레이션 결과에 따라 $d_1=d_2=5.0(\mu\text{m})$ 그리고 갭을 $5.0(\mu\text{m})$ 로 형성한 방향성 결합형 광 변조기를 제작 할 수 있도록 설계하였으며, 또한 시뮬레이션 결과를 그림 5-8와 같이 확인 하였으며, 도파로폭 및 갭의 증가에 따라 결합길이가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5-9은 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=5.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$ 일때 그림 5-8과 비교하면 갭의 차이에 따라 결합길이가 변화관계를 확인할 수 있다.

본 연구에서는 실제의 광 도파로를 제작한후 도파로의 안정과 품질을 조절을 위하여 열처리를 할경우 도파로폭 (d_1, d_2)의 증가와 갭의 감소에 따른 출력특성 변화를 확인하기 위하여 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=6.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$ 일때의 결과를 그림 5-10과 같이 확인하였다. 그림 5-10에서도 광 도파로의 증가와 갭의 감소에 따라 결합 길이가 변화되어 지는것을 그림 5-9와 그림 5-10과 비교하여 보면 결합길이의 차가 다소 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 갭이 좁을수록 결합길이가 짧아지므로 스위

칭 속도가 빠르고, 소자의 길이도 줄일 수 있는 우수한 광 변조기 제작이 가능하다.

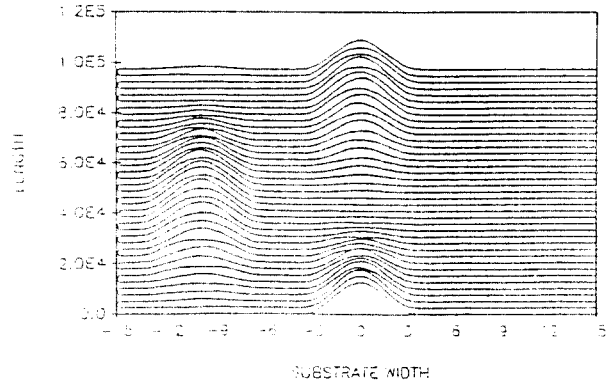


그림 5-10. 시뮬레이션 결과($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=6.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$)

Fig 5-10. Simulation results($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=6.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$)

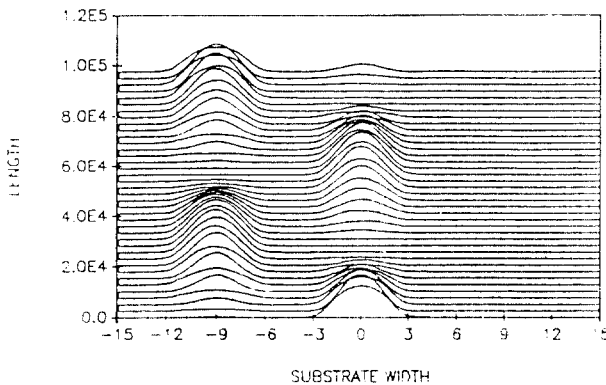


그림 5-9. 시뮬레이션 결과($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=5.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$)
Fig. 5-9. Simulation results($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=5.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \text{gap}=4.0(\mu\text{m})$).

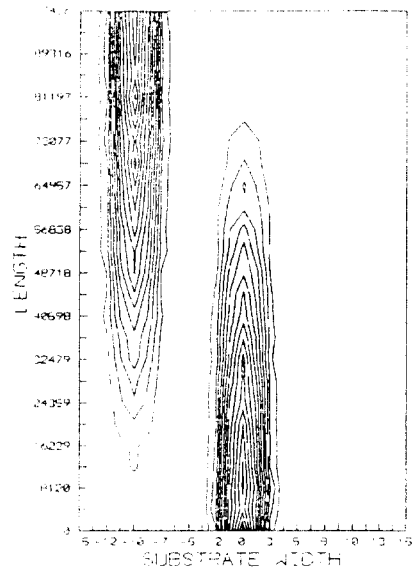


그림 5-11. 광 전송 등고선도($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=5.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=5.0(\mu\text{m})$)

Fig. 5-11. Optical propagation contour ($n_1=2.25, n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=5.0(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=5.0(\mu\text{m})$).

그림 5-11, 5-12 및 5-13에서는 그림 5-8, 5-9 및 5-10의 조건에 대한 광 파의 전송을 확인하기 위하여 등고선도 변화를 관찰하였다. 결과적으로 본 실험에서 제작 할 수 있는 소자의 크기를 도파로 폭과 갭을 최적의 조건 $5(\mu\text{m})$ 로 설계하여 제작에 응용할 수 있을 것으

로 기대된다. 앞으로 광 통신 에서의 실용성을 고려하여 선폭(line width)이 좁은 DFB 레이저($\lambda = 1.5(\mu\text{m})$) 파장을^{19, 20)} 가정했을 경우의 최종 시뮬레이션 결과를 그림 5-8, 5-9 및 5-10와 같은 파라미터로 설계하여 소자의 제작에 적용 할수있다.

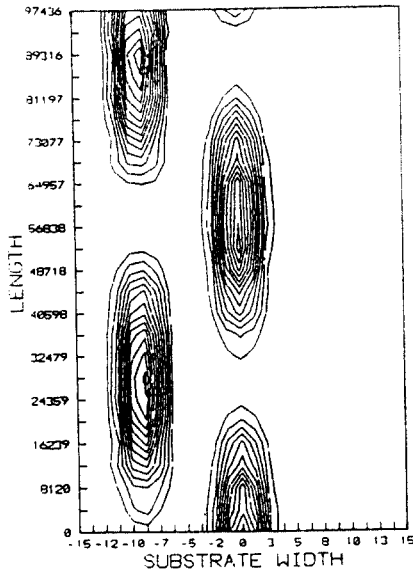


그림 5-12. 광 전송 등고선도($n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=5.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=4.0(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-12. Optical propagation contour($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=5.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=4.0(\mu\text{m})$).

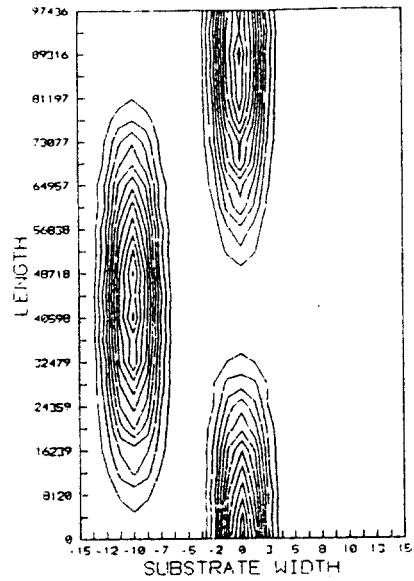
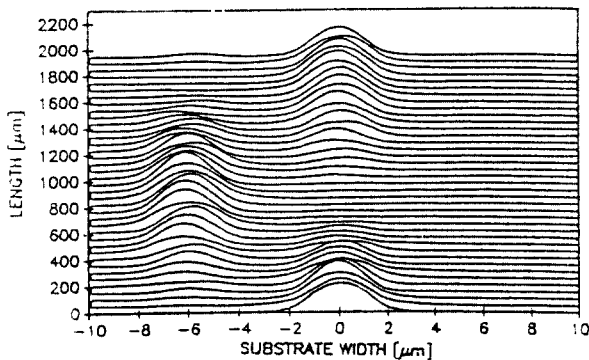
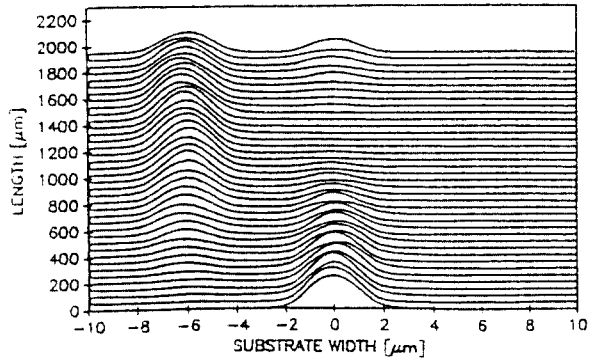


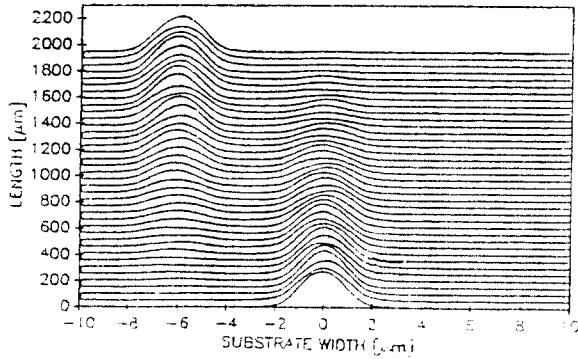
그림 5-13. 광 전송 등고선도($n_1=n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=6.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=4.0(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-13. Optical propagation contour($n_1=2.25$, $n_2=2.25$, $n_3=2.2$, $d_1=d_2=6.0(\mu\text{m})$, $w=30(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=4.0(\mu\text{m})$).



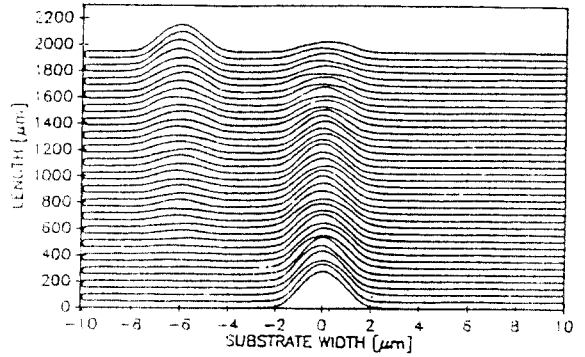
(a) $n_1=2.23$, $n_2=2.23$



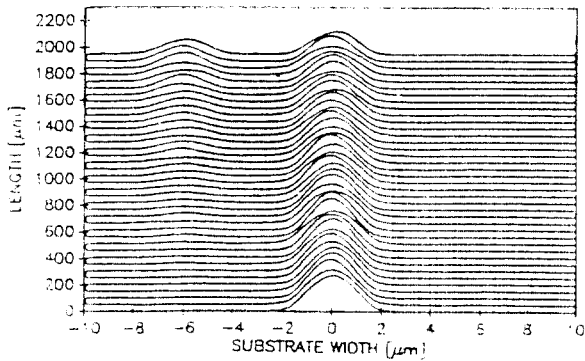
(b) $n_1=2.24$, $n_2=2.24$



(c) $n_1=2.25, n_2=2.25$



(d) $n_1=2.26, n_2=2.26$



(e) $n_1=2.27, n_2=2.27$

그림 5-14. $n_1=n_2=2.23 \sim 2.27$ 사이의에서의 굴절률의 최적화 조건 ($n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m})$)

Fig. 5-14. Optimization condition of refractive index between $n_1=n_2=2.23$ to 2.27 ($n_3=2.2(\mu\text{m}), d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m})$).

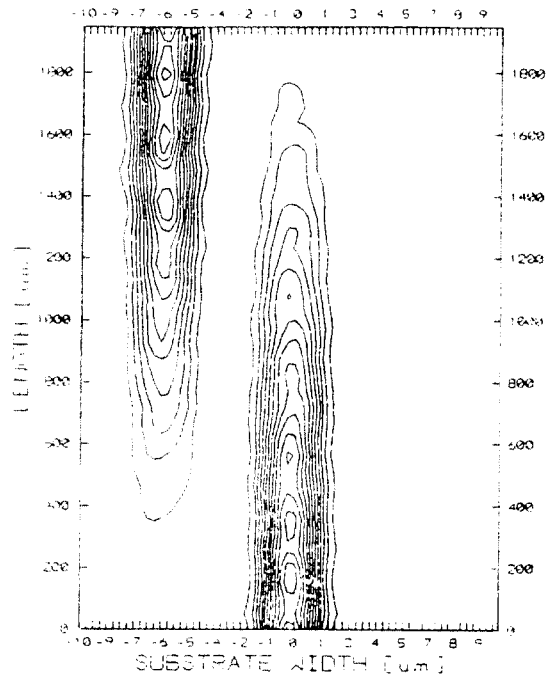


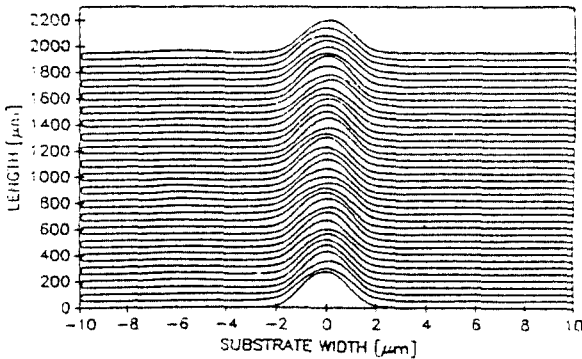
그림 5-15. 등고선도($n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m}), n_1=2.25, n_2=2.25$)

Fig. 5-15. Contour line($n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m}), n_1=2.25, n_2=2.25$).

전압을 인가할경우 방향성결합기의 결합현상을 관찰하기 위하여 방향성결합기의 각 파라미터를 실험방법에서 논의된 여러가지 방법의 시뮬레이션 결과에 의하여 먼저 굴절율의 최적화를 위한 파라미터를 다음과 같이 결정하였다. 그림 5-14에서 나타난 시뮬레이션 결과는 도파로 n_1 및 n_2 의 굴절율 변화를 2.23 에서 2.27 까지의 범위에서 2.25 일때 결합길이 2000(μm)에서 완전한 결합현상을 보이고 있다. 또한, 그림 5-15에서는 최적조건 2.25인 (c)에 대한 등고선도를 나타냈다.

또한, 최적조건의 굴절율 2.25에서 전압을 인가하였을 경우의 실험결과를 그림 5-16에 나타냈다. 그림 5-16에서는, 전압을 인가하지 않은 그림 5-14의 (c)에서 전압을 인가했을 경우 n_1 의 도파로의 광 전송 출력이 n_2 로 진행되는 결과를 관찰할 수 있었다. 여기서 18[V]의 전압을 인가했을 경우 n_2 의 굴절율 변화는 2.251($\Delta n=0.001$)이며, 그림 5-17에서는 그림 5-16에 대한 동일한 조건의 등고선도를 나타냈다.

결과적으로, 최적의 굴절율은 기판의 굴절율 2.2. 도파로의 굴절율을 2.25로 했을 경우 전압 18[V]를 인가하므로 방향성결합형 광 변조기 최적의 스위칭 특성을 확인하였다. 따라서, 그림 5-18에서는 $n_1=n_2=2.25$ 인 경우 (a)에서 전압을 인가하지 않은경우의 광 전송과정을 (b)에서 전압을 18[V]를 인가했을경우 전극의 길이 3500(μm)에서 전압의 영향에 의한 굴절율 변화에 의하



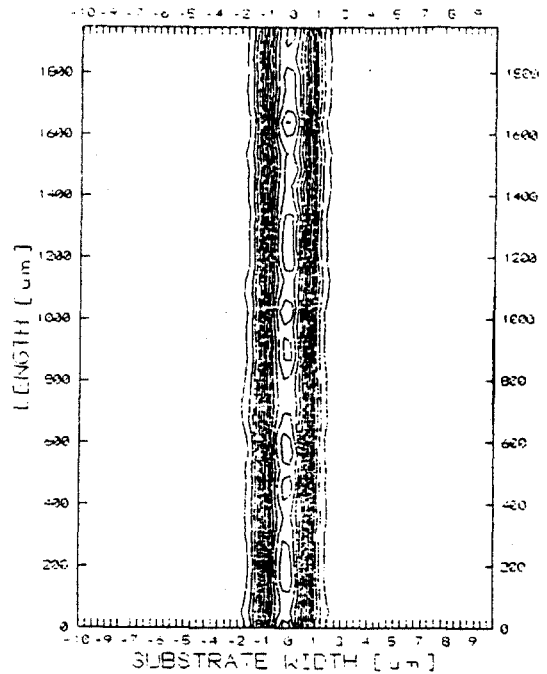
applied voltage: 18[V]

그림 5-16. 최적조건 $n_1=n_2=2.25$ 에서 전압변화에 의한 광 전송과정

Fig. 5-16. Optical propagation process by voltage change at $n_1=n_2=2.25$ under optimization condition of refractive index.

여 n_2 에서 n_1 으로 광 출력이 전달되는 시뮬레이션 결과를 종합적으로 4000(μm)의 소자에서 나타난 실험결과를 보였다. 또한, 그림 5-18에 대한 동일조건의 등고선도를 그림 5-19에 나타냈다.

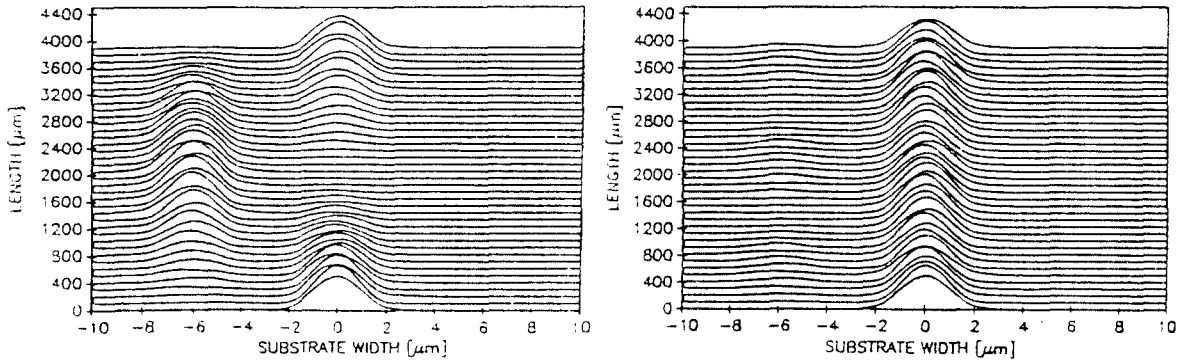
앞에서 방향성 결합기에 대한 시뮬레이션 결과의 추이를 종합해 보기 위해서 도파로간의 갭 변화에 대하여 결합길이의 변화추이를 도식화 하였다. 그림 5-20은 도파로의 굴절율 $n_1=n_2=2.25$, 기판의 굴절율 2.2일때 도파로 폭 $d_1=d_2=3.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$ 에서 $\lambda=1.5(\mu\text{m})$ 그리고 $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$ 일때 갭과 결합길이의 관계를 나타낸 추이도로서 갭이 증가됨에 따라 결합길이도 증가하는 경향을 볼 수 있다. 따라서 스위칭 속도가 빠른 최적의 결합길이를 갖는 광 변조기를 제작하기 위해서는 갭이 좁고 결합길이가 짧은조건으로 제작하여야 한다. 위의 결과를 종합하여 보면 갭이 2.0(μm)이고 결합길이가 600(μm)일때 가장 균일한 분포관계가 나타났다.



applied voltage: 18[V]

그림 5-17. 전압에 의한 등고선도($n_3=2.2$, $d_1=d_2=3.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=3.0(\mu\text{m})$, $n_1=n_2=2.25$)

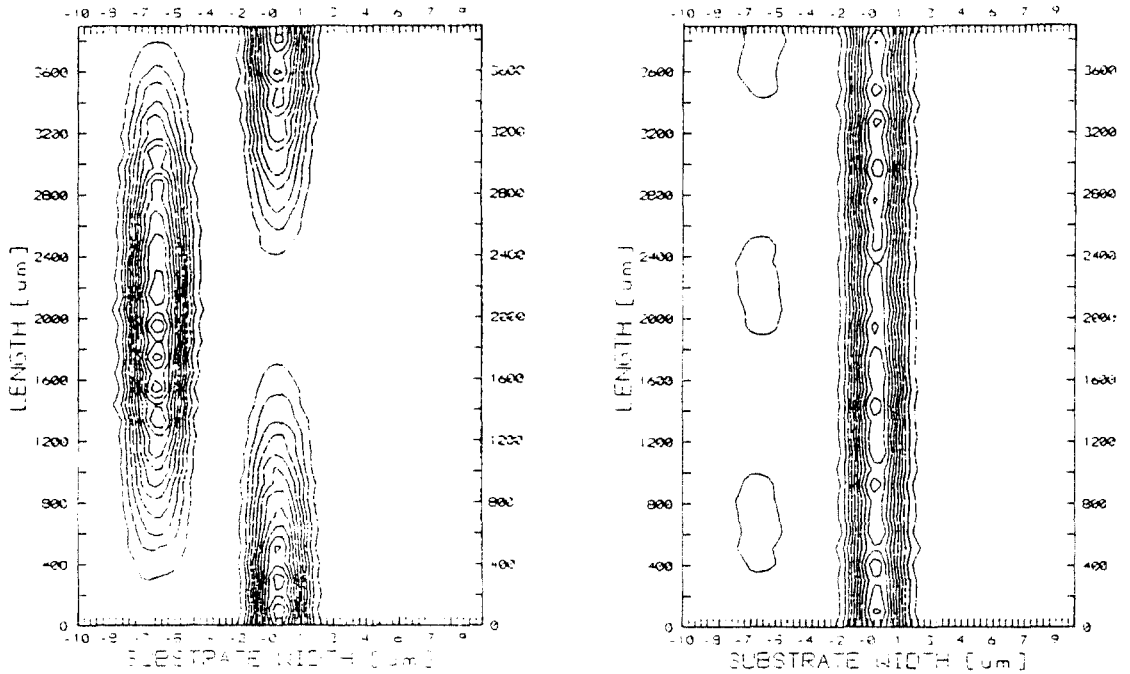
Fig. 5-17. Contour plot by voltage($n_3=2.2$, $d_1=d_2=3.0(\mu\text{m})$, $w=20(\mu\text{m})$, $\lambda=1.5(\mu\text{m})$, $\Delta z=0.1(\mu\text{m})$, $\text{gap}=3.0(\mu\text{m})$, $n_1=n_2=2.25$).



(a) voltage off at $L=3500(\mu\text{m})$

(b) applied voltage at $3500(\mu\text{m})$

그림 5-18. 전압에 의한 방향성결합기의 결합현상($n_1=n_2=2.25$, $L=4000(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-18. Coupling effect of directional coupler by voltage. ($n_1=n_2=2.25$, $L=4000(\mu\text{m})$).



(a) voltage off at $L=3500(\mu\text{m})$

(b) applied voltage at $L=3500(\mu\text{m})$

그림 5-19. 그림 5-18의 등고선도
 Fig. 5-19. Contour of Fig.5-18.

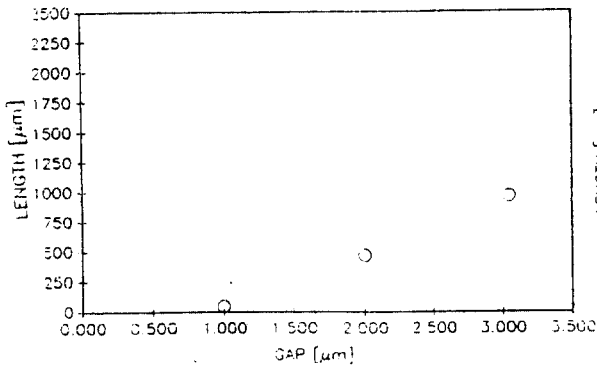


그림 5-20. 방향성 결합기의 갭과 결합길이의 관계 ($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-20. Relation gap of directional coupler and coupling length ($n_1=n_2=2.25, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), w=20(\mu\text{m}), \lambda=1.5(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m})$).

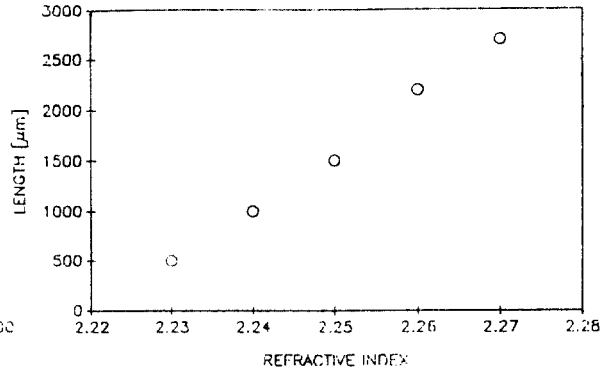


그림 5-21. 굴절율과 결합길이의 관계 ($n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m})$)
 Fig. 5-21. Relation between refractive index and coupling length ($n_1=n_2, n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m})$).

그림 5-21에서는 도파로 1과 도파로 2의 조건을 일치시킨 경우에서 굴절율 변화에 따른 결합길이의 변화추이를 나타낸 것으로써, $n_3=2.2, d_1=d_2=3.0(\mu\text{m}), \text{gap}=3.0(\mu\text{m}), \Delta z=0.1(\mu\text{m}), w=30(\mu\text{m})$ 일때 도파로의 굴절율 변화에 대하여 결합길이의 변화 추이는 굴절율이 증가함에 따라 결합길이도 증가하는 관계로 나타남을 알 수 있다. 광도파로에서 굴절율변화에 따른 결합길이 조절은 도파로폭, 깊이, 갭에 따라 조절되며 또한, 제작된 광 변조기의 전극두께 및 넓이, RF 신호에 의한 도파광의 전파속도의 차에의해 결정된다.

또한, 그림 5-22은 도파로 폭과 갭의 변화에 따른 결합길이의 관계를 도식화하였다. 각각의 경우에서 $n_1=n_2=2.25, n_3=2.2$ 일때 방향성결합기의 결합현상은 도파로 폭의 증가에 따라 결합길이가 증가하였고, 갭의 증가에 대해서도 결합길이는 증가하여 나타남을 확인하였다. 따라서 갭과 도파로 폭의 변화에 따른 최적의 결합길이도 확인하였다.

VI. 결 론

본 연구에서는 광변조기의 전송특성을 BPM 으로 해석하여 도파로의 중요변수에 따른 결합현상을 확인하고, 실제제작 공정에 의한 개선방안을 고려하여 실험한 시뮬레이션 결과를 제작공정에 이용하기 위하여 각 파라미터

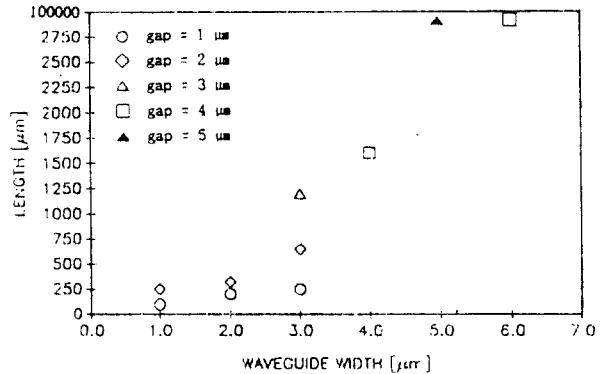


그림 5-22. 도파로 폭과 결합길이의 관계
 Fig. 5-22. Relation of coupling length and waveguide width.

를 다음과 같이 결정하였다.

1) BPM 시뮬레이션 결과로부터 방향성 결합현상이 발생하는 경우에 단일모드 광도 파로에서 도파로의 폭, 갭 및 굴절율이 증가함에 따라서 그 결합길이는 증가하였고, 인가파장이 증가하면 결합 길이는 감소하였다. 이때의 광전송율은 90[%]이상임을 확인하였다.

2) 방향성결합기에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과의 파라미터로부터 방향결합현상이 이루어지는 경우, 도파로의 폭과 도파로의 거리가 증가하면 광 결합의 길이도 증가하였다.

3) 방향성 결합기의 도파로폭과 도파로 갭을 대칭적으로 일치 시키게하여, 도파로1의 폭과, 도파로2의 폭을 각각 $4(\mu\text{m})$, 도파로 사이의 거리를 $4(\mu\text{m})$, 그리고 소자의 길이를 $1600(\mu\text{m})$ 로 시뮬레이션한 결과 $900(\mu\text{m})$ 에서 완전한 결합현상을 확인하였으며, 또한 도파로 1,2의 폭을 $5(\mu\text{m})$, 도파로사이의 거리 $5(\mu\text{m})$, 소자의 길이 $100000(\mu\text{m})$ 일때 완전한 결합현상이 $60000(\mu\text{m})$ 로 도파로 폭과, 갭, 그리고 소자의 길이에 따라 결합현상의 차이가 있음을 관찰하였다.

4) 최적화된 파라미터의 도파로에 전극을 형성하여 18(V)의 전압을 인가하였을 경우에 전계에 의한 굴절률의 변화는 0.001 이었으며, 방향성결합기의 광 전송 과정의 결합현상 즉 스위칭현상을 확인하였다.

따라서 LiNbO_3 기판을 이용하여 방향성결합기, 마하젠더 간섭계형 변조기 및 X-switch 형 광 변조기 등의 제작에 시뮬레이션결과로부터 얻어진 파라미터들을 이용함으로써 공정과정과 전극의 형성과정에 있어 더욱 효율적이며, 간단하게 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- H. Yasaka, Y. Yoshikuni, Y. Nakanokoe, "Optical frequency stabilization and line width reduction of a multi electrode DFB laser with current feedback," Reprint with permission from electron. lett., vol. 23, No. 21, pp.1161-1162, 1987.
- S. Kobayashi, Y. Yamamoto, M. Kimura, "Direct frequency modulation in AlGaAs semiconductor laser," J. of Lighthwave technology., vol. Lt-7, No. 6, pp.582- 590, 1982.
- T.C Koch, J.E. Bowers, "Nature of wavelength clipping in directly modulation semiconductor laser," Electronics Lett., Vol. 20, No. 25/26 pp.1038-1039, 1984.
- 김창민, "집적광학 기술의 발전동향," 한국통신학회지 제 10권, 제8호, pp.51-53, 1993.
- Chang Min Kim, R.V.Ramaswamy, "WKB analysis of asymmetric directional couplers and its application heoptical switches," J.of Lighthwave technology., vol. Lt-7, No. 6 pp.1108-1118, 1988.
- Chang Min Kim, R.V. Ramaswamy, "Modeling of grade-index channel waveguides using nonuniform finite difference method," J.of Light wave technology, Vol. LT-7, NO. 10, pp.1581-1589, 1989.
- J.A Fleck and M. D. Feit, "Beam propagation in uniaxial anisotropic media," J. Soc. Vol. 73, pp.920-926, 1983.
- R.C.Allferness, C.H.Joyner, L.Buhl, S.K.Korotky, "High-speed Traveling Wave directional coupler switch/modulator for $\lambda=1.32 \mu\text{m}$," IEEE J of Quantum electronics, Vol. 19, pp.1339-1341, 1983.
- M.Goodwin, C.Stewart, "Proton exchanged optical waveguides in Y-cut Lith-ium niobate," Electronics Lett., Vol. 19, No. 6, pp.476-478, 1983.
- 김영권, 광 공학, 경문사, pp.347-372, 1990.
- T.R.Ranganath,S. Wang, "Suppression of LiO_2 out-diffusion from Ti diffused LiNbO_3 optical waveguides," Applied Physics Lett., Vol. 30, No. 8, pp.376-379, 1977.
- 장용용, 채기병, 강기성, 소대화, "X-스위칭 광변조기의 설계 및 분석," 한국전기전자재료학회지 제 4권, 3호, pp.249-258,1991.
- J.L.Jackel, C.E.Rice, J.J Veselka, "Proton exchange for high index wave-guides in LiNbO_3 ," Applied Physics Lett., pp.607-609,1982.
- A.Campari, C.Ferrari, G.Mazzi, C.Summonte, S.M.Al-shukri, A.Dawar,R.M.D e La Rue, A.C.Gnutt, "Strain and surface damage induced by exchange in Y-cut LiNbO_3 ," J.Soc, Vol. 58, No. 12, pp.4521-4524, 1985.
- 소대화, 강기성, 채기병, 장용용, "BPM 알고리즘을 이용한 LiNbO_3 광 스위치 전계분포와 굴절률 변화의 연구," 한국전기전자 재료학회 춘계발표회 논문집 pp.38-42, 1991.
- Ki Sung Kang, Dae Wha Soh, "A study on the fabrication of LiNbO_3 high speed optical modu-

- lation using BPM computer simulation." Proceedings of the international conference computer technology and applications. shenyang, china. pp.489-497, 1994.
17. K.K.Wong, "High performance proton exchange LiTaO3 devices for integrated optical sensor applications," SPIE, vol. 1177, Integrated Optics and Opto-electronics, 1989.
 18. A.L.Dawar, S.M.Shukri, and R.M.Delarue, "Guided-wave acoustooptic interaction in Proton-exchanged Y-cut LiNbO3," Appl. Phys. Lett., vol. 48, pp.1579-1581, 1986.
 19. J.E.Watson, M.A. Milbrodt, and T.C.Rice, "A polarization independent 1x1 guided-wave optical integrated on LiNbO3," J.Light Wave Technol, vol. LT-4, pp.1717-1721, 1986.
 20. 박진우, 외, "광 통신 다중화 기술," 한국통신학회지 제 10권, 제8호, pp.36-39, 1993.
 21. M.Erman, N. Vodjdani, P. Jarry, D. Graziani, H.Pinhas, "Optical and El-ectrooptical Analysis of GaAs Inverted Rib Phase Modulators Grow by Va-por Phase Epitaxy," J.Light Wave Technol, vol. LT-4, pp.1524-1527, 1988.
 22. F.Koyama, K.Iga, "Frequency Chirping in External Modulators" J.Light Wave Technol, vol. LT-4, pp.87-99, 1988.
 23. 박찬협, "양자교환공정에 의한 LiNbO3에서의 방향성 결합 스위치 제작." 경북대학교 대학원 석사학위논문.



姜 其 成(Ki Sung Kang) 정회원

1986년 2월 : 관동대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

현재 : 상지전문대학 전자과 조교수.

*주관심 분야 : 기능성재료, 코히어런트 광통신, 반도체재료

蘇 大 和(Dae Wha Soh)

정회원

1972년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
 1975년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1987년 2월 : 경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1994년 3월 : 중국 동북대학교 전자공학과 연구 및 겸임교수
 현재 : 명지대학교 전자공학과 교수.

*주관심 분야 : 기능성재료, 코히어런트 광통신, 반도체재료