

論文98-35D-1-10.

LiNbO₃의 스트레인광학 효과를 이용한 모드변환형 광여파기 제작에 관한 연구

(A Study on the Fabrication of Mode Convertible Optical Filter Utilizing Strain-Optic Effect in LiNbO₃)

朴錫鳳*, 鄭洪植**

(Suk-Bong Park and Hong-Sik Jung)

요 약

Ti:LiNbO₃ 채널형 광도파로와 스트레인광학효과를 이용하여 0.63μm 파장영역에서 동작하는 편광모드 변환기를 구현하였다. 전단 스트레인을 생성하고, 위상정합을 구현하기 위해서 300°C 온도에서 증착된 주기형 SiO₂ 박막패드를 이용하였다. 광도파로 옆에 전극을 배열하여 편광모드 변환(즉 위상정합)이 일어나는 파장을 전기광학효과에 의해서 가변시킬 수 있는 가변파장형 광여파기를 최종적으로 구현하였다. 광도파로의 채널폭이 7μm, 350개의 SiO₂ 주기 패드로 제작된 소자에 대해서, 21°C에서 최대변환 효율이 측정되었으며, 30V 전압이 인가하였을 경우 최대 변환효율이 46°C에서 측정되었다. 또한 주기 패드의 갯수가 변환효율에 영향 미치는 것을 실험적으로 확인하였다.

Abstract

Polarization mode converters have been produced by utilizing Ti:LiNbO₃ channel waveguide and strain-optic effect. Shear strain for periodic perturbations of optical channel waveguides and phase matching can be obtained by an evaporated periodic SiO₂ thin film at 300°C. The electrodes located on the either side of waveguide provide a means to electro-optically tune the wavelength for maximum polarization conversion via the electrooptic effect. The maximum conversion efficiency was observed at 21°C for V_T=0 and 46°C for V_T=30V for the device having 7μm waveguide width and 350 periodic pads. The dependence of the number of pads on conversion efficiency was observed experimentally.

I. 서 론

광전송시스템은 데이터 전송용량의 증대가 요구됨에

따라 기술적, 경제적 한계를 극복하며 점차적으로 변화되고 있다. 초기의 직접변조에 의한 전기적 시분할 다중화방식(TDM:Time Division Multiplexing)은 선폭이 좁은 DFB 레이저와 외부변조방식의 개발에도 불구하고 광의 분산등 시스템의 제한적 요소가 있어 10Gbit/s 이상의 데이터 전송은 어렵다. 그러나 정보화 사회로 발전되면서 대단히 큰 전송과 처리용량을 요구하게 되어 좀더 유용하고 효율적인 통신 시스템을 요구하게 되었다. 이런 막대한 광 대역폭의 사용에 대한 요구는 현재 구현된 광통신 시스템보다 성능향상과

* 學生會員, ** 正會員, 弘益大學教 電子電算工學科 (Dept. of Electronic and Computer Eng., Hong-Ik University)

※ 본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 반도체 분야 교육부 학술연구조성비(96-E-4017)에 의해 수행되었음.

接受日字:1997年8月7日, 수정완료일:1997年12月31日

단순화를 유지하는 효율적인 통신시스템으로 구축할 필요성이 요구되며, 전송용량의 한계를 극복하기 위해서 WDM(Wavelength Division Multiplexing)과 같은 대용량 전송방식이 고려되고 있다. WDM 전송 시스템에서 빠른 동조속도로 원하는 채널선택을 목적으로 하는 가변광필터 (Tunable Optical Filter)는 향후 100Gbps급 WDM, HDWDM, CMC 등 광전송방식에 반드시 필요한 핵심소자이며, 이러한 광필터의 성능 향상은 광전송시스템의 성능과 직접 연관되어 다양한 광다중방식의 발전을 가능케 하는 요소가 된다 [1]-[2].

광섬유를 이용한 가변 광필터는 Fabry-Perot 간섭계 또는 Mach-Zehnder 간섭계 형태로 제작되었으며, 낮은 삽입손실과 적은 편광 의존성과 같은 장점을 가지고 있지만 파장가변속도가 msec 정도로 늦다 [3]. 한편 광도파로를 이용해서 개발된 가변 광여파기는 Ferroelectric 물질의 전기광학효과(electrooptic effect), 음향광학효과(acoustooptic effect) 등을 이용하고 있다. 이러한 필터들의 동작은 광파의 편광모드 결합에 의존하고 있으며, 연속적으로 전기에너지를 공급받아야만 동작이 가능하다 [4]-[7].

본 논문에서는 Ferroelectric 물질들이 가지고 있는 광학적 성질들 중에서 스트레인광학효과(strain-optic effect)를 이용할 경우, 적절한 결정축에 인가된 스트레인에 의해서 off-diagonal 굴절률이 생성되어 편광모드 결합이 일어나는 현상을 이용하여 편광모드 변환형 광여파기를 구현하였다 [8]-[9]. Ti:LiNbO₃에 형성된 채널형 광도파로 표면에 300°C 온도에서 SiO₂ (Silicon Dioxide)를 증착하여 주기적인 패드 모양으로 만들 경우, 상온에서 박막과 LiNbO₃ 표면의 열팽창계수가 다르기 때문에 전단변형(shear-strain)이 유도되며, 이 변형은 광도파로를 통과하는 TE, TM 편광모드의 결합을 야기시켜서 편광모드 변환기의 기능을 수행하게 된다. 이어서 전기광학효과를 이용하여 모드의 굴절률을 바꿀 수 있도록 도파로 양옆에 전극을 배열하여 동작 파장을 가변시킬 수 있는 모드변환형 파장가변 광여파기를 구현하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다.

제 2장에서는 LiNbO₃의 스트레인광학 효과와 편광모드 결합을 이론적으로 검토하였으며, 3장에서는 제작공정을, 4장에서는 실험결과를 검토, 분석한 다음, 결론을 5장에 실었다.

II. 스트레인광학 효과와 편광모드 결합

스트레인광학 효과를 이용한 편광모드 변환기는 스트레인광학 섭동(perturbation)에 의해서 구동되는 소자다. 따라서 일반적인 모드결합을 검토한 다음, 스트레인광학 효과에 의한 모드결합을 고려하기로 하겠다. 서로 다른 속도정수를 갖는 광파, $a(z, x, t)$, $b(z, x, t)$ 를 고려하자. 여기서 언급된 z 는 결정축과 무관하며, 직교 좌표중에서 진행방향만 나타낸 것이다.

$$a(z, x, t) = A \cdot \exp(i \cdot (\omega t \pm \beta_a \cdot z)) \cdot f_a(x) \quad (1a)$$

$$b(z, x, t) = B \cdot \exp(i \cdot (\omega t \pm \beta_b \cdot z)) \cdot f_b(x) \quad (1b)$$

여기서 A, B는 정규복소진폭(normalized complex amplitude)을 나타내며, 섭동이 존재하지 않는 광도파로에서는 진행방향 z 와는 무관하다. 그러나 스트레인에 의해서 생성된 섭동이 존재할 경우, a, b 모드간에 전력의 상호교환이 일어나며, 따라서 진폭 A, B는 더 이상 상수가 될 수 없으며, 진행방향 z 에 따라 광파간에 상호교환이 일어난다. 이러한 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dA}{dz} = -i\mu_a \cdot \exp[-i \cdot (\beta_a - \beta_b) \cdot z] = \mu \cdot B \cdot \exp(-i \cdot \Delta \cdot z) \quad (2a)$$

$$\frac{dB}{dz} = -i\mu_b \cdot \exp[-i \cdot (\beta_a - \beta_b) \cdot z] = \mu \cdot A \cdot \exp(-i \cdot \Delta \cdot z) \quad (2b)$$

위 두 식에서 μ_a , μ_b 는 결합정수(coupling coefficient)를 나타내며, Δ 는 $(\beta_a - \beta_b)$ 로 위상속도 부정합을 나타낸 상수이다. 모드 a, b 사이에서 전력의 완전 상호교환을 위해서 두 모드의 위상속도 정수가 같아야 한다. 식 (2)로부터 모드결합을 정성적으로 고찰하면 다음과 같다. a는 섭동에 의해서 직교편파를 야기시키고, 이 편파는 모드 b를 구동시키게 되며, 다시 모드 b는 섭동에 의해서 직교편파를 생성시키고, 모드 a를 구동시키게 된다. 일반적으로 LiNbO₃와 같은 이방성 결정을 이용할 경우 두 직교편파의 속도정수가 다르므로, 모드결합 효율은 떨어지게 된다. 본 연구에서는 스트레인이 주기적으로 생성되도록 하여서 위상정합을 실현하였다.

앞서 언급된 일반적인 모드결합 개념을 LiNbO₃의 스트레인광학 텐서와 주기적인 스트레인 섭동과 관련시켜 고찰하면 다음과 같다.

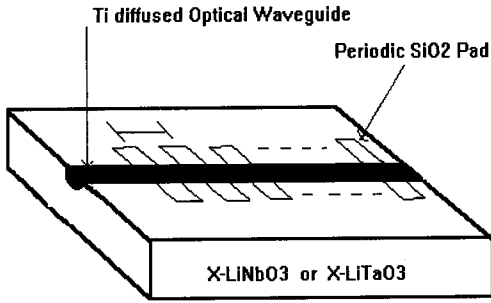


그림 1. 주기형 유전체 박막을 이용한 편광모드 변환기 구조

Fig. 1. Schematic diagram of polarization mode converter with periodic dielectric film.

그림 1은 본 연구에서 활용한 LiNbO₃를 이용한 편광모드 변환기의 구조다. Ti 확산으로 제작된 단일모드 광도파로에 1.5-2μm 두께의 SiO₂ 박막을 그림 1과 같이 주기적으로 형성한다. 이 경우에 주기형 박막과 기관간의 열팽창계수가 다르기 때문에 스트레인이 발생되며, 특히 주기적 구조로 부터 나타나는 전단스트레인(shear-strain)의 섭동(perturbation)에 의하여 LiNbO₃ 굴절률 텐서에서 n₅가 새롭게 생성되어 광도파로를 따라 진행하는 두 직교 편광모드간에 결합이 일어나게 된다. LiNbO₃의 스트레인광학계수(strain-optic coefficient)의 텐서 matrix는 다음과 같다^[9].

$$\begin{bmatrix} \Delta[\frac{1}{n^2}]_x \\ \Delta[\frac{1}{n^2}]_y \\ \Delta[\frac{1}{n^2}]_z \\ \Delta[\frac{1}{n^2}]_{yz} \\ \Delta[\frac{1}{n^2}]_{zx} \\ \Delta[\frac{1}{n^2}]_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & 0 & 0 \\ P_{12} & P_{11} & P_{13} & -P_{14} & 0 & 0 \\ P_{31} & P_{31} & P_{33} & 0 & 0 & 0 \\ P_{41} & -P_{41} & 0 & P_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{44} & P_{41} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{P_{11}-P_{12}}{2} & P_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x \\ S_y \\ S_z \\ S_{yz} \\ S_{zx} \\ S_{xy} \end{bmatrix} \quad (3)$$

특히 그림 1과 같은 구조에서는 전단스트레인 S_{xy}가 생성되어, Δ(1/n²)_{xz} 성분이 새롭게 나타나게되며, 이 성분은 x, z축 방향으로 편향된 광모드 즉 TE, TM 모드를 서로 결합시키게 된다. 따라서 굴절률 텐서중에서 n₅가 생성되며, 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$n_5 = \Delta(\frac{1}{n^2})_{xy} = -(\frac{n^3}{2}) \cdot P_{41} \cdot S_{xy} \quad (4)$$

위 식에서 n=(n_on_e)^{1/2}로 정의되며, n_o, n_e는 LiNbO₃

의 정상(ordinary)과 비정상(extraordinary) 모드의 굴절률이다. S_{xy} 값은 일반적으로 음의 값을 갖기 때문에 궁극적으로 n₅는 양의 값이된다. 따라서 굴절률 타원체 (index ellipsoid) 식은 다음과 같이 변형된다.

$$[\frac{1}{n_o^2}]_x \cdot x^2 + [\frac{1}{n_o^2}]_y \cdot y^2 + [\frac{1}{n_e^2}]_z \cdot z^2 - (\frac{n^3}{2}) \cdot P_{41} \cdot S_{xy} \cdot xz = 1 \quad (5)$$

위 식에서 xz항은 스트레인에 의해서 변형된 굴절률 타원체의 결정축이 기존의 결정축 x, y, z와 같지 않음을 의미하며, 이것은 두 직교편파가 서로 결합하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

주기적인 형태로 유전체 박막을 배열하여, 스트레인이 주기적으로 발생시키는 이유는 다음과 같다. LiNbO₃는 결정축 방향에 따라 굴절률이 다른 복굴절(birefringence) 결정이기 때문에 x, z 결정축 방향에 따라 편향된 TE, TM 모드의 유효굴절률이 다르며, 따라서 전파속도 또한 달라지게 된다. 이러한 현상을 위상부정합(phase mismatch)이라 일컫는다. 그러나 TE, TM 모드간에 결합이 효과적으로 일어나기 위해서는 위상이 정합되어야 하며, 이를 인위적으로 구현하기 위해서 Bragg 조건이 만족될 수 있도록 그림 1과 같은 주기적인 구조를 이용한다. Bragg 조건식은 다음과 같다^[4].

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\Delta n} \quad (6)$$

여기서 λ는 입사광파의 파장이며, Δn은 TE, TM 모드의 굴절률차이며, LiNbO₃의 경우에는 ~0.08의 값을 갖는다. 특히 주기 Λ와 Δn 값이 정해질 경우, 모드 변환은 특정파장에 대해서 일어나게 되고, 궁극적으로 파장 여파기로서 활용될 수 있다. 한편 Δn은 결정의 조성비와 주위 온도에 따라 달라질 수 있기 때문에 적당한 주기로 유전체 박막을 제작한 후에 나타날 수 있는 미세한 위상부정합은 온도 또는 입사광파의 파장을 변화시켜서 조절할 수 있다. LiNbO₃의 위상정합에 필요한 주기를 표 1에 요약하였다.

표 1. 파장에 따라 위상 정합에 필요한 주기
Table 1. Period for phase-matching with material and wavelength.

물질 파장	λ=0.63μm	λ=1.32μm	λ=1.55μm
LiNbO ₃	Λ=7.8μm	Λ=16.5μm	Λ=19.4μm
LiTaO ₃	Λ=157.5μm	Λ=330μm	Λ=387.5μm

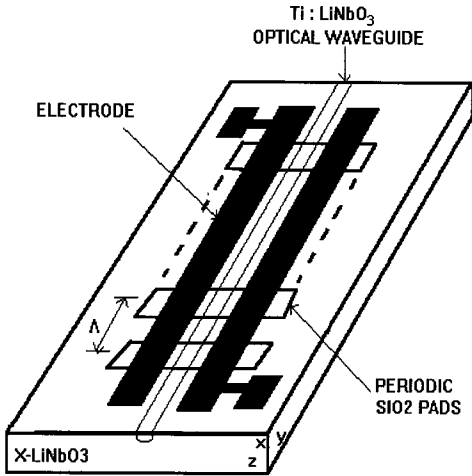


그림 2. 편광모드 변환기 (그림 1)에 전극구조를 배열한 모드결합형 파장가변 광여파기
 Fig. 2. Schematic diagram of mode-coupled wavelength tunable optical filter with electrode structure.

그림 2와 같이 도파로 양옆에 전극을 배열할 경우 전기광학효과(electro-optic effect)에 의해서 모드변환이 가장 효율적으로 일어날 수 있는 파장을 선택적으로 가변시킬 수 있게 된다. 즉 고정된 주기 Λ 에 대해서 Δn 값이 변하게 되면, 이에 대응해서 파장 λ 도 바뀌어야 된다. 따라서 인가전압에 의해서 모드변환이 일어나는 파장을 가변시킬 수 있게 된다. 전극에 적당한 전압 V_T 를 인가시키면, Z 축 방향으로 생성된 전기장 E_z 가 TE, TM 모드 각각에 대한 유효굴절률을 변화시키게 된다. 이때 각 모드에 대한 굴절률 변화량은 다음과 같다.

$$\Delta n_i = -\frac{1}{2} (n_i^3) \cdot r_{33} \cdot E_z = -\frac{1}{2} (n_i^3) \cdot r_{33} \cdot \left(\frac{V_T}{g}\right) \quad (8)$$

여기서 r_{33} 는 전기광학계수, g 는 전극의 간격이다. 첨자 i 가 1일 경우 Δn_1 은 TM 모드에 해당되는 굴절률 변화량이며, 이에 대응해서 유효굴절률과 전기광학계수는 n_o, r_{13} 로 바뀐다. 한편 첨자가 3일 경우 Δn_3 은 TE 모드에 해당되는 굴절률 변화량이며, 이에 대응해서 유효굴절률과 전기광학계수는 n_e, r_{33} 로 바뀐다. 위상정합하에서 모드변환이 최대가 되었을 경우 전압으로 파장을 가변시킬 수 있는 파장 변화율은 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda}{dV_T} = \frac{1}{2} [\Gamma_{TE} \cdot (n_3^3) \cdot r_{33} - \Gamma_{TM} \cdot (n_1^3) \cdot r_{13}] \cdot \left(\frac{\lambda}{g}\right) \quad (9)$$

여기서 Γ_{TE}, Γ_{TM} 은 TE, TM 모드와 전계간에 중복(overlap) 되는 정도를 나타내는 상수이며, 광도파로와 전극구조에 따라 약 0.3 - 0.5 정도의 값을 나타낸다.

III. 제작공정

$\lambda=0.63\mu\text{m}$ 파장영역에서, 단일모드형 채널 광도파로를 제작하기 위해서, $1.2\text{ cm} \times 1.6\text{ cm}$ 크기의 X-cut LiNbO₃ 기판위에 400Å의 Ti(titanium)을 E-beam 증착기로 증착한 다음, 사진식각공정과 습식식각을 이용하여 채널 패턴을 형성하고, 1025°C 온도에서 8시간 동안 확산하였다. 3, 5, 7, 8, 9 μm 폭의 채널 3개씩을 1조로하여 광도파로를 제작하였다. 고온 확산시 Li(lithium)의 outdiffusion 때문에 나타나는 기생도파로를 억제하기 위해서 wet-O₂ 분위기에서 확산을 수행하였으나, outdiffusion을 완전히 억제하지는 못하였다. End-fire 결합시스템을 이용하여, 제작된 도파로의 도파 실험을 수행하기 위해서, 도파로의 양 입사 단면을 optical-grade 수준으로 연마하였다. 이어서 PE-CVD 증착장비를 이용하여 표 2와 같은 조건하에서 1.5 μm 두께의 SiO₂를 300°C 온도에서 증착한 후, 사진식각공정(photolithography)과 HF와 NH₄F를 함유하고 있는 7:1 Buffered Oxide Etchant(B.O.E)를 사용한 습식식각으로 주기 패드를 형성하였다. 이 공정단계에서 그림 1과 같은 편광모드 변환기가 제작되었다. 이어서 파장가변 광여파기를 제작하기 위해서 진공증착기로 증착시킨 2000Å Al(aluminium)을 이용하여 그림 2와 같이 도파로 양옆에 전극을 배열하였다. 전 공정에서 3개의 photomask를 사용하였으며, 그림 3은 최종적으로 제작된 소자의 사진이다.

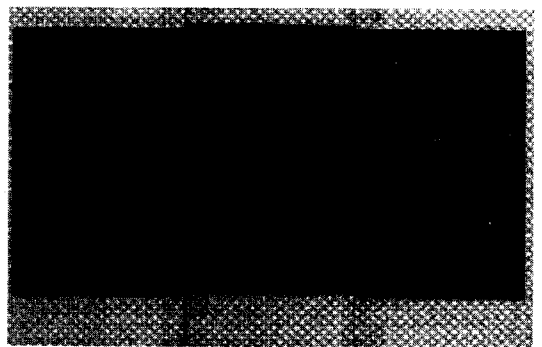


그림 3. 제작된 소자의 사진
 Fig. 3. Photograph of the fabricated device.

표 2. PE-CVD의 SiO₂ 증착조건Table 2. SiO₂ Deposition conditions of PE-CVD.

Deposition Temperature	300°C
Process Pressure	800 mTorr
RF forward Power	10 W
Gas	N ₂ O: 1420 sccm, 5% SiN ₄ /N ₂ : 160 sccm N ₂ : 240sccm
Deposition Time	60 mins

IV. 모드 변환실험 및 검토

온도변화와 인가전압에 따른 편광모드 변환 실험을 수행하기 위해서, 그림 4와 같이 두 개의 편광모드분리기(PBS: polarized beam splitter)를 이용하여 End-Fire 실험장치를 구성하였다. 식 (6)의 Bragg 조건에서 계산된 주기 Λ 가 photomask 설계 및 제작 공정 과정에서 미세한 오차가 발생한다. 이러한 오차는 편광모드간에 미세한 위상부정합을 야기시키게 되며, 궁극적으로는 모드변환 효율을 나쁘게 한다. 그러나 이러한 위상부정합은 파장을 가변시키거나, 편광모드의 복굴절률을 조절하므로써 보상 가능하다. 본 연구에서는 TEC(Thermo Electric Cooler)를 이용하여, 온도변화로 위상정합을 시도하였다. LiNbO₃는 $d(n_e - n_o)/dT = 3.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 비율로 온도에 따라 복굴절률이 변하기 때문이다^[10].

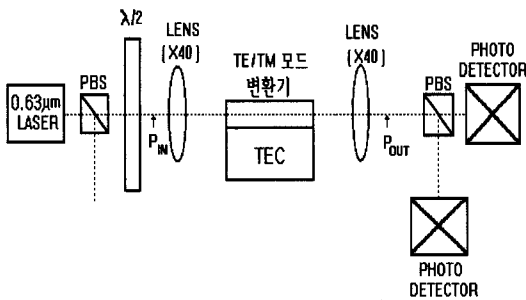


그림 4. End-Fire 결합시스템을 이용한 실험장치의 구성도

Fig. 4. Schematic diagram of experimental set-up using End-Fire coupling system.

그림 5는 7 μm 폭의 광도파로와 350개의 SiO₂ 주기 패드로 제작된 소자를 0.63 μm He-Ne 레이저와 결합

하여, 측정된 변환효율(conversion efficiency)을 정규화시킨 것이다. 측정시 TE 모드를 입사시켜서, 출력되는 TM 모드를 측정하였다. 전압을 인가하지 않은 경우에는 21°C에서 최대 변환효율이 측정되었으며, 30V 전압을 인가한 경우에는 최대 변환효율이 46°C에서 관찰되었다. 따라서 인가전압에 따라 전기광학효과에 의해서 복굴절률, Δn 이 변하게 되며, 따라서 위상정합이 일어나는 온도 또한 변하는 것을 알 수 있다.

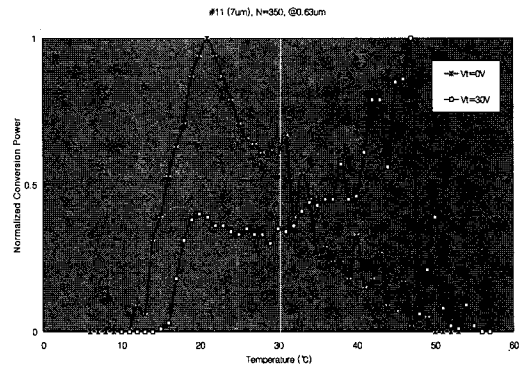


그림 5. 인가전압과 온도변화에 따른 정규화된 변환 효율

Fig. 5. Normalized conversion efficiency versus temperature change with the tuning voltage.

한편 인가전압에 따라 변경된 위상정합 조건은 식 (6)에서도 알 수 있듯이 파장을 가변시켜서 정합을 시도할 수 있다. 따라서 모드변환이 최적으로 일어나는 파장을 전압에 의하여 가변시킬 수 있기 때문에 본 소자는 편광모드 변환형 가변파장 광여파기로서 활용될 수 있다.

모드 변환이 최대로 일어나는 온도에서 좌우 비대칭과 변환효율에 나타나는 작은 요동들은 다음과 같은 여러 가지 원인 때문에 기인된다. 첫째로는 제작된 채널형 도파로가 단일모드가 아니고 멀티모드 성격을 나타내기 때문에 같은 편광 모드간에 파워 결합이 유발될 수 있으며, 이로인해 TE/TM 편광모드 결합에 약간의 요동이 일어나게 된다. 둘째 이유로는 고온에서 Ti을 확산할 경우, LiNbO₃의 기판에서 Li 분자가 기판 밖으로 빠져나와 기판의 굴절률을 증가시켜, 원하는 평면형 광도파로가 형성된다. 이러한 현상을 outdiffusion이라 한다. 이렇게 생성된 광도파로는 이상광파 모드(extraordinary mode)만 도파시키게 된다. 따라서 TE 모드가 입사 광파일 경우, Ti 확산으

로 형성된 채널형 광도파로부터 인접해 있는 기생도파로 때문에 부분적인 광파의 손실을 겪게되고, 변환효율 또한 나빠지게 된다. 본 실험에서는 outdiffusion을 억제시키기 위하여 확산을 O₂-wet 분위기에서 수행하였으나, 완전히 없애지는 못하였다. 마지막으로 측정시 소자에 대한 온도 분포가 균일하지 않기 때문에 이러한 현상들이 야기될 수도 있다.

그림 6은 5 μ m 폭의 광도파로와 350개의 패드로 제작된 소자이데, 광도파로가 단일모드에 가깝게 동작되기 때문에 변환효율이 비교적 좌우 대칭으로 측정되었다. 그림 7은 350, 400개의 주기패드를 갖는 소자의 변환효율을 비교해서 나타낸 것으로, 주기패드의 갯수가 많을수록 모드변환이 온도 또는 파장에 영향을 받음을 알 수 있었다.

V. 결론

Ti:LiNbO₃ 채널형 광도파로와 스트레인광학효과를 이용하여 편광모드 변환기를 구현하였으며, 인가 전압에 따른 복굴절률 변화로 나타나는 위상부정합을 파장을 가변시켜서 위상정합을 구현할 경우 파장가변형 광여파기로 활용할 수 있음을 확인하였다. 300°C 온도에서 증착된 SiO₂를 위상정합에 필요한 주기로 박막패드를 제작하여, 편광모드 결합에 필요한 전단 스트레인을 생성시켰다. 5, 7 μ m 폭의 광도파로와 350개의 SiO₂ 주기패드로 제작된 소자를 0.63 μ m He-Ne 레이저와 결합하여 변환효율을 측정하였다. 7 μ m 폭의 경우 전압을 인가하지 않았을 때에는 21°C에서 최대 변환효율이 측정되었으며, 30V 전압을 인가한 경우에는 최대 변환효율이 46°C에서 관찰되었다. 광도파로의 다중모드 특성, outdiffusion 그리고 온도분포의 불균일함 때문에 측정된 변환효율 데이터에 비대칭성과 요동 등이 관찰되었으며, 이러한 문제점들을 보완 할 경우 더 좋은 실험 결과들을 기대할 수 있으리라 생각된다. 주기패드 갯수에 따른 변환효율을 비교한 결과, 주기패드의 수가 많을수록 모드변환이 온도 또는 파장에 민감하게 영향을 받고 있음을 또한 알 수 있었다.

감사의 글

※ 본 연구를 수행하는데 여러가지 도움을 주신 전자부품종합연구소의 윤형도, 박광범 연구원님께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Charles A. Brackett, et al, "A scalable multiwavelength multihop optical network: a proposal for research on all-optical networks," Journal Lightwave Technol., vol. 11, no. 56, pp. 736-753, May 1993.
- [2] L. D. Garrett, et al, "Performance of 8-Channel OEIC Receiver Array in 8 x 2.5 Gb/s WDM Transmission Experiment," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 9, no. 2, Feb. 1997.
- [3] D. A, Smith, et al, "Polarization-

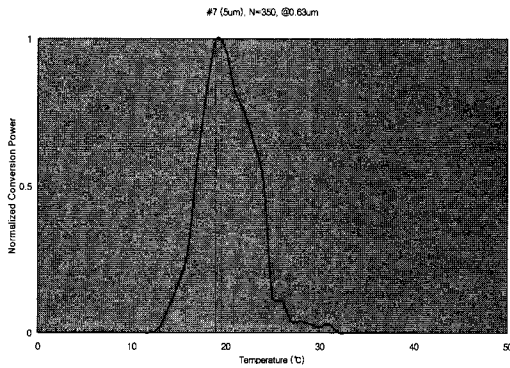


그림 6. 온도변화에 따른 정규화된 변환효율
Fig. 6. Normalized conversion efficiency versus temperature change.

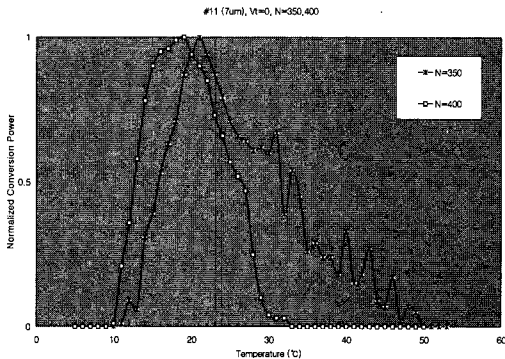
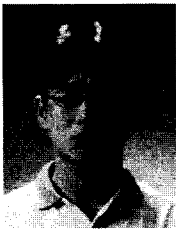


그림 7. 주기패드의 갯수와 온도변화에 따른 정규화된 변환효율의 비교
Fig. 7. Comparison of normalized conversion efficiency versus temperature change with number of pads.

- independent acoustooptically/fiber Fabry-Perot filter with finesse over 2000," IEEE Photonics Technol. Lett., no. 5, pp. 188-191, 1993.
- [4] Heisman, F., Buhl, L.L., and Alferness, R.C.: "Electro-optically tunable narrow-band Ti:LiNbO₃ wavelength filter", Electron. Lett., vol. 23, pp. 572-574., 1988.
- [5] Heffner, B.L., Smith, D.A., Baran, J.E., Yi-Yan, A., and Cheung, W.K., "Integrated-optic acoustically tunable infrared optical filter", Electron. Lett., vol. 24, pp. 1562-1563, 24.
- [6] W. Warzanskyi, F. Heismann, and R.C. Alferness, "Polarization-independent electro-optically tunable narrow-band wavelength filter," Appl. Phys. Lett. 53(1), 4 July 1988.
- [7] D.A. Smith, J.E. Baran, K.W. Cheung, and J.J. Johnson, "Polarization-independent acoustically tunable optical filter," Appl. Phys. Lett., 56(3), 15 Jan. 1990.
- [8] K. Yamanouchi, K. Wakazono, and K. Shibayama, "Optical Surface Wave Mode Converters and Modulators Utilizing Static Strain-Optic Effects," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-16, No. 6, jun. 1980.
- [9] 鄭洪植 외 1명, "LiNbO₃의 스트레인광학 효과를 이용한 광도파로 및 전기광학 변조기 제작에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제 33권, A편, 제 8권, 1996년
- [10] Booth, R.C., Daymond-John, B.E., Sturges, P.E., and Wilson, M.G.F. "Temperature tuning of LiNbO₃ electro-optic waveguide TE/TM mode converters", Electron. Lett., vol. 20, pp. 1045-1047, 1984.

저자 소개



朴錫鳳(正會員)

1971년 12월 3일생. 1995년 2월 홍익대학교 전자전산공학과 졸업(공학사). 1995년 9월 ~ 1998년 2월 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 석사과정졸업예정. 주관심분야는 광집적회로소자 설계 및 제작임



鄭洪植(正會員)

1959년 6월 25일생. 1982년 2월 ~ 1984년 8월 서강대학교 전자공학과 및 대학원 졸업(공학사, 공학석사). 1984년 8월 ~ 1988년 12월 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 1989년 3월 ~ 1990년 2월 일본 신기술사업단 연구원(Nishizawa's Terahertz Project). 1990년 3월 ~ 현재 홍익대학교 전자전산공학과 부교수. 주관심분야는 광집적회로소자 설계 및 제작, 광대역 광변조기 및 스위치, 광통신 시스템 연구 등임