

論文97-34D-4-11

전기광학 폴리머 립 광도파로를 이용한 편광과 파장에 무관하게 동작하는 디지털 광스위치

(Polarization-Independent and Wavelength-Insensitive Digital Optical Switch with Electro-Optic Polymer Rib Waveguides)

李 相 信 *, 申 相 永 *

(Sang-Shin Lee and Sang-Yung Shin)

요 약

본 논문에서는 립 광도파로를 갖는 전기광학 폴리머 디지털 광스위치를 반응이온식각 공정을 이용하여 제작하였다. 제작된 소자는 전기광학 폴리머를 이용한 소자로서는 최초로, 입력광의 편광에 무관하게 동작할 뿐만 아니라 1.3 mm와 1.55 mm 파장대에서 파장에 무관하게 동작한다. 립 광도파로의 식각 깊이와 애스펙트 비를 조절하여 TE와 TM 두 편광에 대하여 모두 우수한 도파 특성을 갖도록 설계하였다. 특히, 식각 깊이를 조절하여 립 광도파로의 도파 모드 분포를 변화시킴으로써 분기 영역에서 최적의 모드 결합 조건을 얻고자 하였다. 측정된 누화는 -16 dB 이하이고, 각 출력 포트의 소멸비는 16 dB 이상이다.

Abstract

An electro-optic polymer digital optical switch with rib waveguides is designed and fabricated by using the RIE method. Polarization-independent and wavelength-insensitive operation is demonstrated at the wavelengths of 1.3 mm and 1.55 mm, for the first time in electro-optic polymer-based devices. The rib waveguides have been designed to achieve good guiding properties for both TE and TM polarizations by controlling the etching depth as well as its aspect ratio. Especially the etching depth is controlled to change the guided mode profiles of the rib waveguide and thus to achieve an optimum coupling in the branch. The measured crosstalk is better than -16 dB and the extinction ratio of each output port is greater than 16 dB.

I. 서 론

스위칭용 광소자는 광통신 시스템과 네트워크 등을 구현하기 위해서는 필수적이다. 이 소자를 현장에서 실제로 응용하기 위해서는 입력 광의 편광과 파장에 무관하게 동작하는 특성이 요구된다. 첫째로, 앞으로 파

장분할다중화 (wavelength division multiplexing: WDM) 기술이 광통신 시스템에서 광범위하게 사용될 것으로 예상되기 때문에 파장에 무관한 동작 특성이 중요하다. 둘째로, 편광유지 광섬유 대신에 보통 단일 모드 광섬유가 전송매체로서 사용되어 전송 중에 편광 상태가 유지되지 못하기 때문에, 편광에 무관한 동작 특성도 필요하다. 위의 두 요건을 충족시킬 수 있는 도파로(guided-wave)형 집적광학소자로서 디지털 광스위치가 연구되어 왔다. 이 스위치의 장점으로는 파장에 무관하게 동작하고 인가전압에 대하여 주기적이지 아닌

* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)
接受日字: 1997年1月15日, 수정완료일: 1997年4月4日

디지털 특성을 가지며 제작공정의 영향을 적게 받는다는 것 등이 있다. 지금까지는 주로 리튬나이오베이트(LiNbO₃) 결정^[11]이나 반도체^[21] 등의 무기물(inorganic) 재료나 열광학 폴리머(thermo-optic polymer)^[31] 등의 유기물(organic) 재료 등을 이용하여 구현되었다. 열광학 폴리머를 이용한 디지털 광스위치는 낮은 구동 전압과 낮은 누화(crosstalk) 특성을 갖는 장점이 있는 반면에, 동작 대역폭은 수 kHz 미만으로 매우 좁다. 이는 기본적으로 속도가 느린 열광학현상(thermo-optic effect)을 이용하기 때문이다. 무기물 재료를 이용한 소자의 경우에는, 광파와 마이크로파 사이의 속도 부정합(velocity mismatch)이 커서 고속 동작에 불리하고 광섬유와의 결합 손실이 크다는 단점이 있다.

최근에, 전기광학 폴리머(electro-optic polymer)를 이용한 도파로형 집적광학소자에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다^[41]. 이러한 소자는 스핀 코팅된 다층구조의 도파로로 이루어져 있으며, 광표백(photobleaching)^[51] 방법이나 반응이온식각(reactive ion etching: RIE) 방법^[61]을 이용하여 저렴한 가격으로 손쉽게 제작할 수 있다. 그리고, 실리콘(Si)이나 갈륨비소(GaAs) 등의 다양한 기판을 사용할 수 있기 때문에 다른 집적전자회로나 광소자와의 결합이 용이하다. 더욱이, 마이크로파와 광파 간의 속도 부정합이 작고 유전상수(dielectric constant)도 작기 때문에 고속 동작에 유리하며, 또한 광섬유와의 결합시 굴절률 차이로 인한 반사 손실(Fresnel reflection loss)이 매우 작다. 결과적으로 위에서 언급한 장점에 비추어 볼 때, 전기광학 폴리머를 이용한 디지털 광스위치는 수십 GHz 이상의 넓은 대역폭을 가질 수 있으며 광섬유와의 결합시 작은 결합 손실을 갖는 우수한 스위칭 소자가 될 것이다. 한편 본 논문의 저자 등은, 광표백 광도파로를 갖는 전기광학 폴리머 디지털 광스위치를 제작하였다^[71]. 그러나, 이 소자는 파장에는 무관하게 동작하지만, 광표백 방법에 의한 광도파로는 폴링에 의해 유발되는 복굴절로 인하여 TE 모드를 도파시키지 못하고 TM 모드만을 도파시키기 때문에, 소자의 특성이 입력 광의 편광에 따라 변하는 문제점이 있다.

RIE 방법은 폴리머 광도파로를 제작하기 위하여 많이 이용되어 왔으며, 광표백 방법에 비하여 다음과 같은 장점을 지니고 있다. 첫째로, 과도한 자외선 조사(illumination)로 인한 폴링된 폴리머의 비선형효과의

감소가 없다. 둘째로, RIE 공정에 의해 만들어진 폴리머 광도파로는 TE와 TM 두 모드를 동시에 도파시킬 수 있도록 설계가 가능하다. 즉, 폴리머 물질을 전기광학효과를 갖도록 하기 위해서는 폴링 공정이 필수적인데, 이로 인한 복굴절을 극복하기에 충분한 유효 굴절률 변화를 폴리머를 물리적으로 식각함으로써 얻을 수 있다. 셋째로, 화학적인 변화에 의한 것이 아니라 폴리머를 식각을 하기 때문에 도파로의 특성이 훨씬 안정적이다.

본 논문에서는 파장 및 편광에 무관하게 동작하는 전기광학 폴리머 디지털 광스위치를 유효굴절률 방법(effective index method)과 유한차분법 빔전파 방법(finite difference beam propagation method: FD-BPM)^[81]을 이용하여 설계하였다. 그리고, 설계된 소자를 RIE 공정을 이용하여 제작하였다. 폴링 이후에 TE와 TM 두 편광에 대하여 동일하고 우수한 도파 특성을 갖도록 폴리머 릿(rib) 광도파로를 설계하였다^[91]. 이를 위해, 식각 깊이(etching depth)와 애스펙트비(aspect ratio)를 (코어층(core layer)의 두께와 도파로 폭의 비) 조절하였다. 특히, 식각 깊이를 조절하여 광도파로의 도파 모드 분포를 변화시켰으며, 이리 통하여 분기 영역에서 두 도파로 간의 모드 결합을 최적화함으로써 스위칭 성능을 향상시켰다.

II. 소자의 동작원리 및 설계

본 논문에서 제안한 전기광학 폴리머 디지털 광스위치의 구조가 그림 1에 도시되어 있다. 이 소자는 RIE 공정으로 형성된 선형 Y 분기 광도파로와 스위칭용 전극으로 이루어져 있다. 도파로의 폭 w 는 6 mm이고, 분기각(branch angle) qB 는 0.06°이다. 기본적으로 디지털 광스위치의 동작원리는 모드진화현상(modal evolution effect)에 근거한다^[10]. 모드진화란 광의 진행 방향을 따라서 구조가 변하는 분기 광도파로에서 각 지점에서 국부정규모드(local normal mode)가 겪는 모양의 변화를 의미한다. 이 모드진화의 정도는 인가 전압에는 비례하고 분기각에는 반비례 한다. 결합모드이론(coupled mode theory)에 의하면, 모드진화현상을 이용한 소자의 경우에 광파위의 스위칭 성능은 분기를 이루는 두 광도파로 사이의 결합 세기(coupling strength)에 의존한다^[10]. 전계가 인가되지 않았을 때에는 입력 광파위가 두 출력 포트에 균등하게

나뉘어진다. 전계가 인가되면 전기광학효과를 통하여 분기의 두 팔(arm)에 양(positive)과 음(negative)의 굴절률 변화가 생기게 되므로 광파위는 증가된 팔로 스위칭 된다.

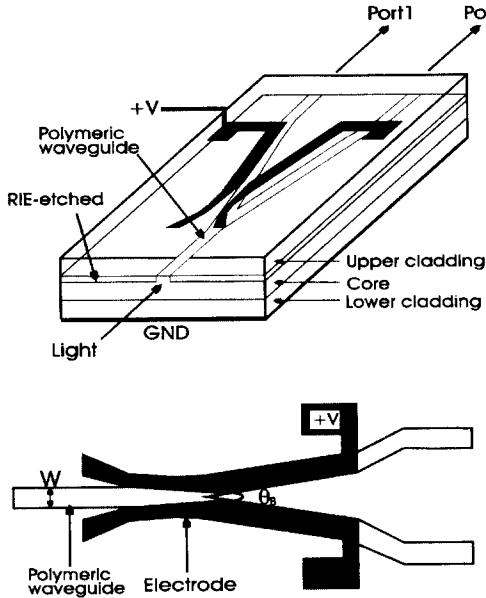


그림 1. 릿 광도파로를 갖는 전기광학 폴리머 디지털 광스위치의 구조
 Fig. 1. Configuration of the polymeric digital optical switch with rib waveguides.

편광에 무관하게 동작하는 소자를 구현하기 위해서는 편광에 무관한 단일 모드 도파 특성을 갖는 도파로가 필수적이다. 이를 위해 RIE 공정에 의해 형성되는 폴리머 릿 광도파로의 도파 특성을 조사하였다. 전기광학 폴리머로 능동 소자를 제작하기 위해서는 고온에서 폴리머에 강한 전계를 인가하여 비선형성을 갖도록 하는 폴링 공정이 필수적이다. 그림 2(a)는 RIE 공정에 의해 형성된 폴리머 광도파로의 단면 구조를 보여준다. 폴링하기 이전과 이후, TM과 TE 두 편광에 대한 유효굴절률 분포가 그림 2(b)와 2(c)에 각각 도시되어 있다. 그림 2(a)에서 d_c 는 코어층의 두께, d_e 는 식각 깊이, w 는 도파로의 폭이다. Δn_{TM1} (> 0)과 Δn_{TE1} (< 0)는 각각 도파 영역에서의 TM과 TE 모드에 대한 유효굴절률 변화를 나타낸다. 그리고 클래딩 영역에서의 TM과 TE 모드에 대한 유효굴절률 변화는 각각 Δn_{TM2} (> 0)와 Δn_{TE2} (< 0)이다. 이로부터 폴링에 의한 복굴절 (poling-induced birefringence)은 Δn_{TE1}

$$= -0.5 \Delta n_{TM1}, (i = 1, 2) \text{ 로서 표현된다.}$$

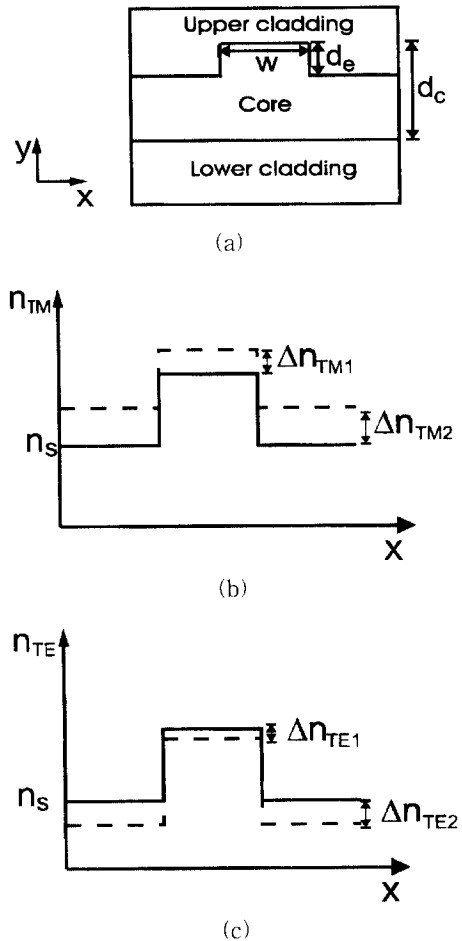


그림 2. RIE 방법을 이용하여 제작된 광도파로의 구조와 폴링에 의한 복굴절을 포함한 굴절률 분포 (a) 단면구조 (b) TM 모드에 대한 굴절률 분포 (c) TE 모드에 대한 굴절률 분포
 Fig. 2. Structure of a waveguide fabricated by RIE and its refractive index profile with the poling-induced birefringence (a) Cross-sectional view of the rib waveguide (b) Refractive index profile for TM mode (c) Refractive index profile for TE mode.

RIE에 의한 광도파로는 베리드 (buried) 형과 릿 (rib)형의 두 가지로 나뉘어진다. 첫째로, 코어층이 완전히 식각된 ($d_e = d_c$) 베리드형의 경우, TE와 TM 두 모드에 대한 도파 특성이 폴링에 의한 복굴절로 인하여 불가피하게 서로 달라지게 된다. 즉, 폴링 이후에 TE 모드의 구속력은 약해지고, 반면에 TM 모드의 구속력은 강해진다. 또한, 식각 후에는 도파로가 될 극히

일부분에만 코어층이 남게 되고 대부분은 클래딩층으로만 이루어지기 때문에, 하부 클래딩층(lower cladding layer), 코어층, 상부 클래딩층(upper cladding layer) 으로 이루어진 세 폴리머층을 통하여 폴링할 경우의 방전전압 (breakdown voltage)이 감소된다. 이것은, 효과적인 폴링을 수행하기 위해서는 클래딩층의 전기적 저항이 코어층의 것보다 작아서 폴리머층의 전체 저항이 감소하기 때문이다^[11]. 둘째로, 코어층이 부분적으로 식각된 ($d_e < d_c$) 릿 도파로의 경우, 식각 깊이와 애스펙트 비(d_e/w)를 조절하여 TE와 TM 두 편광에 대하여 동일한 도파 특성을 얻을 수 있다. 또한, 주어진 도파로 폭과 두께 하에서 식각 깊이를 변화시켜 도파모드 분포를 조절함으로써, 분기 영역에서 두 도파로 간의 모드 결합을 최적화 하여 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 한편, Wang 등에 의하여 보고된 소자의 경우에는^[6], 세 폴리머층 대신에 하부의 두 폴리머층만을 폴링한 후, 폴링된 코어층 폴리머를 식각하여 릿 광도파로를 형성하였다. 그러나 이후 상부 클래딩층과 전극을 만들때 폴링된 폴리머에서 비선형효과의 감쇠(relaxation)가 일어날 수 있기 때문에 폴리머의 열적 특성에 민감하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 세 폴리머층에 걸쳐 폴링된 릿 광도파로를 이용하여 편광에 무관한 도파 특성을 갖는 광도파로를 만들고자 한다.

폴링에 의한 불균질이 존재할 때의 릿 광도파로의 도파 특성을 실험적으로 조사하였다. 일반적으로, 릿 광도파로의 클래딩층의 전기적 저항이 코어층에 비하여 작기 때문에, 코어층에 걸리는 폴링 전계의 세기가 전체 두께를 고려하여 계산한 평균적인 전계의 세기보다 강하다. 따라서, 그림 2에서 알 수 있듯이, 코어층의 두께가 식각 깊이만큼 감소되었기 때문에 도파 영역에서보다 측면 클래딩 영역에서 폴링 전계의 세기가 강하게 된다. 그러므로 폴링에 의한 불균절로 인하여 TM 모드의 구속력은 약간 감소하지만, TE 모드의 구속력은 거의 변하지 않는다. 결국, 릿 도파로의 경우 폴링에 의한 불균질이 있을지라도 식각 깊이를 조절하여 두 편광에 대하여 거의 동일하고 우수한 단일모드 도파 조건을 얻을 수 있다. 이 사실은 본 논문에서 실험적으로 검증되었다. 그림 3(a)와 3(b)는 각각 TM과 TE 두 편광에 대한 횡방향 도파모드 분포를 보여준다. 이때, 식각 깊이는 0.54 mm이고 TM과 TE 두 편광의 $1/e^2$ 모드크기는 각각 8.4 μm 와 8.2 μm 이다. 두

편광에 대한 전파손실의 차이는 약 3 dB 미만이다.

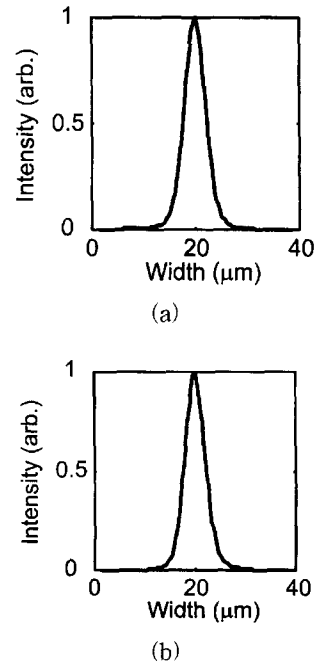


그림 3. 릿 광도파로의 횡방향 도파모드 분포 (a) TM 모드 (b) TE 모드

Fig. 3. Lateral guided mode profiles of the rib waveguide (a) For TM mode (b) For TE mode.

다음으로, 최적의 전극 구조를 설계하기 위하여 빔전파 방법을 이용하여 전극구조에 따른 소자의 스위칭 성능을 조사하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이, 분기 영역에서 효과적으로 모드진화를 유발시키고, 누화의 원인이 되는 원하지 않는 정규모드 간의 결합을 억제하기 위하여 테이퍼된 영역 이전부터 점진적으로 전극을 도입하였다.

III. 소자의 제작 및 특성 측정

광도파로의 코어층으로 사용되는 전기광학 폴리머는 PMMA 주축에 Disperse Red 1 (DR1) 염료 분자가 축쇄결합되어 있는 형태의 비선형 폴리머이다 [poly (disperse red 1 methacrylate-co-methyl methacrylate): PMMA-DR1]. PMMA-DR1에서 DR1 염료분자(chromophore)의 농도는 10 mer%이다. 이 전기광학 폴리머는 미국의 IBM-Almaden Research Center로부터 구매 하였다. 클래딩층 (cladding la-

yer) 으로는 미국의 Master Bond사에서 공급하는 자외선 경화 에폭시 (UV-curable epoxy)의 일종인 UV-15을 사용하였다. 프리즘 결합 방법을 이용하여 측정된 PMMA-DR1과 UV-15의 굴절률은 1.3 μm 파장대에서 각각 1.542와 1.512였다. 또한, 소자의 신뢰성을 결정짓는 요소인 폴리머 물질의 성질에 관한 보고에 의하면, PMMA-DR1의 전기광학 계수가 유리 천이 온도인 131 $^{\circ}\text{C}$ 보다 훨씬 낮은 상온에서 2 개월에 걸쳐 약 5% 미만 정도 감소한다고 보고되었다^[12].

전기광학 폴리머 디지털 광스위치의 제작 과정에 대한 개략도가 그림 4에 도시되어 있다. 먼저 실리콘 기판에 절연층으로서 SiO_2 를 1.0 μm 가량 되도록 열산화(thermal oxidation) 방식을 이용하여 성장시킨다. 그 위에 Au/Cr 금속을 진공 증착(thermal evaporation)시켜 하부전극을 형성한다. 광도파로의 하부 클래딩층으로 UV-15을 3.1 μm 의 두께가 되도록 스핀 코팅하고 진공 상태에서 자외선에 노출시켜 경화시킨다. 코아층으로는 PMMA-DR1을 두께가 2.7 μm 가 되도록 스핀 코팅하여 형성한다. 다음, 표준 리소그래피(lithography) 공정과 산소플라즈마(oxygen plasma)에 의한 RIE 공정을 도입하여 전기광학 폴리머를 식각함으로써 코아층 립을 형성한다. 이때, 식각 깊이는 0.54 μm 이다. 상부 클래딩층도 2.6 μm 두께의 UV-15을 스핀 코팅하여 형성한다. 각각의 폴리머층을 스핀 코팅한 후 용매(solvent)를 제거하기 위해 고온에서 충분히 베이킹(baking) 한다. 상부 전극은 Au를 진공 증착시켜 형성한다. 코아층 폴리머에 전기광학효과를 유발시키기 위하여 113 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 대류오븐에서 3층 구조의 폴리머층에 900 V의 전압을 인가하여 전계 폴링을 수행한다. 그리고, 립 광도파로 마스크 패턴과 전극 마스크 패턴을 정렬하여 스위칭용 전극을 만든다. 이 경우, 광표백 공정과는 달리 식각으로 인하여 도파 영역과 클래딩 영역 사이에 뚜렷한 경계가 형성되기 때문에, 별도의 정렬용 표시 없이도 정렬이 가능하다. 마지막으로, 입출력 단에 광을 결합을 시키기 위해 실리콘 기판을 클리빙(cleaving) 하여 단면을 형성한다.

그림 5는 립 광도파로의 클리빙된 단면의 주사전자현미경 사진(scanning electron micrograph: SEM)을 보여준다. 실리콘 기판 위에 있는 4층은 각각 SiO_2 , UV-15, PMMA-DR1, 그리고 UV-15을 나타낸다. UV-15으로 이루어진 하부와 상부 클래딩층이 클리빙 도중에 약간 찢어지거나 벗겨졌음을 알 수 있다.

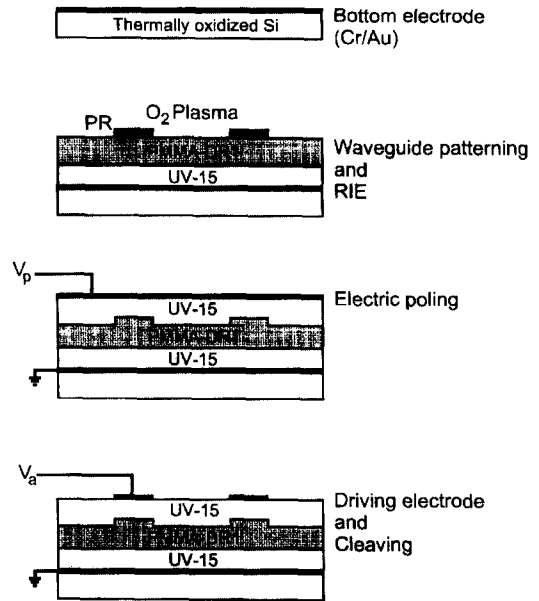


그림 4. 전기광학 폴리머 디지털 광스위치의 제작과정

Fig. 4. Fabrication procedure for the electro-optic polymer digital optical switch.

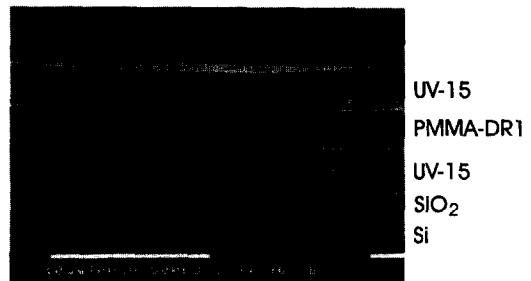


그림 5. 립 광도파로의 클리빙된 단면 구조의 주사전자현미경 사진

Fig. 5. Scanning electron micrograph of the cleaved facet of the polymeric rib waveguide.

제작된 디지털 광스위치의 특성을 측정하기 위한 장치의 개략도가 그림 6에 도시되어 있다. 광원으로는 1.3 μm 와 1.55 μm 파장대의 다이오드 레이저를 사용하였으며, 광의 편광 상태를 회전시키기 위하여 $\lambda/2$ 판(plate)을 이용하였다. 대물렌즈로 광을 집속하여 소자의 입력 단에 결합시켰다. 이때, 두 출력 포트의 광 파워는 광검출기(photodetector)로 측정하였으며, 도파모드의 분포는 적외선 카메라 (IR vidicon)로 관찰하였다. 그림 7에는 Y 분기형 폴리머 광도파로의 출력

도파모드 분포 사진이 도시되어 있다.

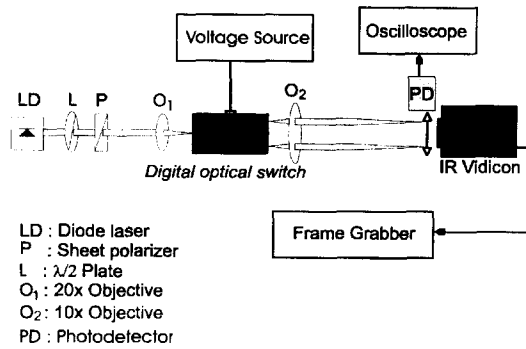


그림 6. 측정 장치

Fig. 6. Measurement set-up.

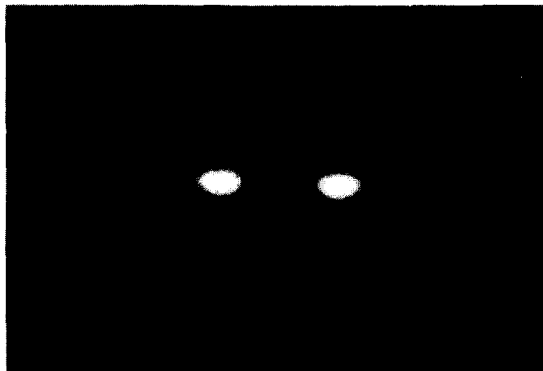


그림 7. 제작된 분기형 폴리머 광도파로의 도파모드 분포 사진

Fig. 7. Photograph of the guided mode profiles of the polymeric Y-branch waveguide.

제작된 소자의 하부 접지 전극과 상부의 두 전극 중 하나에 전압을 인가한 채, TM 또는 TE 편광된 광을 결합시켜 전달 특성을 측정하였다. 그림 8과 9는 각각 TM 모드와 TE 모드에 대한 광출력 특성을 보여 준다. 예상대로, 제작된 광스witch는 두 편광에 대하여 모두 인가전압에 따라 디지털 응답 특성을 나타냈다. 또한, 스위칭 특성도 1.3 μm 와 1.55 μm 의 두 파장대에서 거의 동일하였다. TM 모드와 TE 모드에 대한 구동 전압은 각각 ± 35 V와 ± 110 V였다. 두 편광에 대한 구동 전압이 약 3배 정도 차이가 생기는 이유는 각 편광에 대한 전기광학계수 (r_{33} 와 r_{13})의 값이 3배 정도 차이가 나기 때문이다. 그림 8과 9에서 제작된 광스witch의 스위칭 특성이 비대칭적인 것에 대한 원인은 다음과 같다고 생각된다. 첫째로, Y자형 분기형 광도파로의 두 팔이 제작상의 오차로 인하여 대칭적으로 형

성되지 못하였다. 둘째로, 기판상의 불순물로 인하여 폴리머 코팅이 기판 전 표면에 걸쳐서 균일하게 되지 못하고, 이로 인하여 전계 폴링 수행시 인가된 전계가 두 도파모에 동일하게 걸리지 못하여 굴절률 분포 및 전기광학특성이 서로 달라지게 되었다.

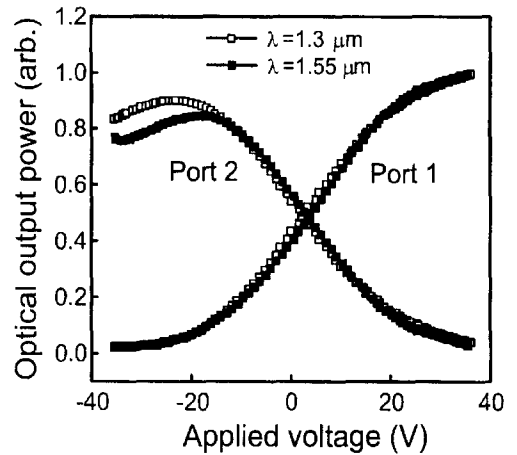


그림 8. 제작된 디지털 광스witch의 TM 모드에 대한 전달 특성 측정 결과

Fig. 8. Measured transfer characteristics of the fabricated digital optical switch for TM polarization.

그림 10은 편광에 무관하게 동작할 수 있도록 충분한 전압이 인가되었을 때, 1.3 μm 파장대에서 TM 모드와 TE 모드에 대한 전달 특성을 동시에 보여준다. 편광과 파장에 무관한 동작 특성을 얻을 수 있는 최소 전압인 ± 110 V가 인가되었을 때, 누화와 소멸비 (extinction ratio)에 대한 측정 결과는 다음과 같다. 누화는 TE 모드의 경우에는 -16 dB이고, TM 모드의 경우에는 -21dB이다. 각 출력 포트의 소멸비도 16 dB 이상이였다. 결과적으로, 제작된 전기광학 폴리머 디지털 광스witch는 1.32 μm 와 1.55 μm 파장대에서 1 dB 미만의 누화 변화를 가지면서 파장에 무관하게 동작할 뿐만 아니라, 입력 광의 편광에도 무관한 스위칭 특성을 갖는다. 이러한 편광 및 파장에 무관한 특성은 전기광학 폴리머를 이용한 능동 소자로는 최초로 논문에서 실현되었다. 한편, 상부의 두 전극을 부호가 서로 다른 전압원으로 이용하여 푸쉬풀 (push-pull) 전극 형태로 구동하였을 때, 편광 및 파장에 무관한 동작을 얻기 위한 스위칭 전압은 약 ± 50 V이하로 감소 되었다.

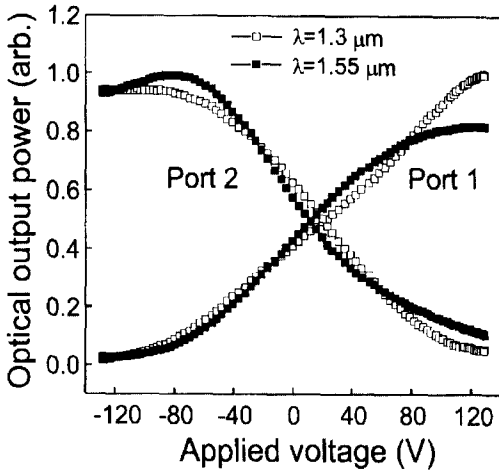


그림 9. 제작된 디지털 광스위치의 TE 모드에 대한 전달 특성 측정 결과
 Fig. 9. Measured transfer characteristics of the fabricated digital optical switch for TE polarization.

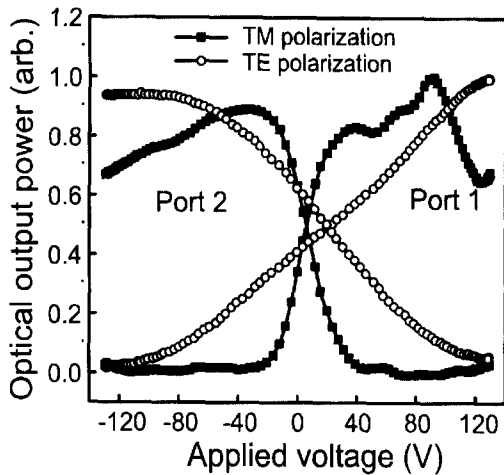


그림 10. 제작된 디지털 광스위치의 1.3 μm 파장대에서의 TM 모드와 TE 모드에 대한 전달 특성 측정 결과
 Fig. 10. Measured transfer characteristics of the fabricated digital optical switch for TE and TM polarizations at 1.3 μm.

한편, 그림 10에서 TM편광의 경우 전압이 높아짐에 따라 광파워가 감소하는 것을 알 수 있는 있다. 이에 대한 원인은 다음과 같다. 전압이 충분히 커지게 되면 전기광학효과에 의한 굴절률 변화도 커져서 제작된 분기형 도파로는 기본모드 뿐만 아니라 고차모드도 도파하게 된다. 이때, 고차모드는 분기영역에서 복사(ra-

diation)되어 손실되기 때문에 광파워가 전체적으로 감소하게 된다.

본 논문에서 사용된 전기광학 폴리머인 PMMA-DR1의 폴링 특성에 관한 자료에 의하면 수행된 폴링 조건 하에서의 전기광학계수는 약 5 pm/V이다. 지금까지 가장 우수한 성능을 갖는다고 알려진 비선형 폴리머인 DANS를 사용한다면 구동 전압이 약 1/6 이하로 감소될 것이다. 그러나 이 폴리머는 현재 상용으로 판매되지 않고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 립 광도파로를 갖는 전기광학 폴리머 디지털 광스위치를 설계하고 제작하였다. 제작된 소자는 전기광학 폴리머를 이용한 소자로서는 최초로, 입력 광의 편광에 무관하게 동작할 뿐만 아니라 1.3 μm와 1.55 μm 파장대에서 파장에도 무관하게 동작하였다. 립 광도파로의 식각 깊이와 애스펙트비를 조절하여 TE 와 TM 두 편광에 대하여 모두 우수한 도파 특성을 갖도록 하였고, 특히 식각 깊이를 조절하여 소자의 성능을 향상시켰다. 측정된 누화는 -16 dB 이하였고, 각 출력 포트의 소멸비는 16 dB 이상이였다.

참고 문헌

- [1] Y. Silberberg, P. Perlmutter, and J. E. Baran, Digital optical switch, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 51, pp. 1230-1232, 1987.
- [2] M. N. Kahn, J. E. Zucker, T. Y. Chang, N. J. Sauer, and M. D. Divino, Design and demonstration of weighted-coupling digital Y-branch optical switches in InGaAs/InGaAlAs electron transfer waveguides, *J. Lightwave Technol.*, vol. 12, pp. 2032-2039, 1994.
- [3] R. Moosburger, G. Fischbeck, C. Kostorzewa, and Petermann, Digital optical switch based on oversized polymer rib waveguides, *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 544-545, 1996.
- [4] E. V. Tomme, P. P. V. Daele, R. G. Baets, and P. E. Lagasse, Integrated optic devices based on nonlinear optical polymers, "

- IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, pp. 778-787, 1991.
- [5] M. B. J. Diemeer, F. M. M. Suyten, E. S. Trommel, A. McDonach, J. M. Copeland, L. W. Jenneskens, and W. H. G. Horsthuis, Photoinduced channel waveguide formation in nonlinear optical polymers, *Electron. Lett.*, vol. 26, pp. 379-380, 1990.
- [6] W. Wang, D. Chen, H. R. Fetterman, Y. Shi, W. H. Steier, and L. R. Dalton, 40-GHz polymer electrooptic phase modulators, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 638-640, 1995.
- [7] Sang-Shin Lee, Seh-Won Ahn, and Sang-Yung Shin, Electro-optic polymer digital optical switch with photobleached waveguides and a self-aligned electrode, accepted for publication, *Optics Communications*, 1997.
- [8] Y. Chung and N. Dagli, An assessment of finite difference beam propagation method, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 26, pp. 1335-1339, 1990.
- [9] K. Chiang and W. Wong, Rib waveguides with degenerate polarized modes, *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1098-1099, 1996.
- [10] W. K. Burns, M. M. Howerton, and R. P. Moeller Performance and modeling of proton exchanged LiTaO₃ branching modulators, *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 1403-1408, 1992.
- [11] H. Ling, W. Holland, and H. Gordon, dc electrical behavior of polymers used in electro-optic devices, *J. Appl. Phys.*, vol. 70, pp. 666-6673, 1991.
- [12] J. I. Thackara, J. C. Chon, G. C. Bjorklund, W. Volksen, and D. M. Burland, Polymeric electro-optic Mach-Zehnder switches, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 67, no. 26, pp. 3874-3876, 1995.

저 자 소 개



李相信(正會員)

1968년 9월 5일생. 1991년 2월 한국과학기술원 과학기술대학 전기 및 전자공학과 졸업(학사). 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정 졸업(석사). 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 졸업(공학박사). 1997년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 부설 정보전자연구소 연수연구원 (postdoctoral researcher). 주관심분야는 폴리머 및 리튬나리오베이트 광도파로 소자 등임.



申相永(正會員)

1946년 9월 14일생. 1968년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1973년 Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, NY, 전기물리(석사). 1976년 Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, NY, 전기물리(박사). 1975년 ~ 1977년 Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, NY, 연구원. 1978년 ~ 현재 한국과학기술원 교수. 1986년 ~ 1987년 Optical Science Center, University of Arizona, Visiting Scholar. 주관심분야는 집적광학 소자, 레이저 다이오드의 동력학, 그리고 광연결 등임.