

### 3 차원 광연결용 수직방향 광도파로 열광학 스위치

김기홍\*(한국과학기술원 전자전산학과), 신상영(한국과학기술원 전자전산학과),  
최두선(한국기계연구원 지능형 정밀기계연구부)

#### Vertically Integrated Waveguide Thermo-Optic Switch for Three-Dimensional Optical Interconnection

Ki-Hong Kim(Dept. of Electrical Eng., KAIST), Sang-Yung Shin(Dept. of Electrical Eng., KAIST),  
Doo-Sun Choi(Division of Intelligent Precision Machining, KIMM)

#### ABSTRACT

We propose and fabricate a vertically integrated waveguide thermo-optic switch. It controls the optical path between two vertically stacked waveguide. As a first step, we fabricate polymeric waveguides. The measured propagation loss is ranged from 0.3 dB/cm to 0.4 dB/cm at the wavelength of 1.55  $\mu\text{m}$ . We fabricate the proposed vertically integrated waveguide thermo-optic switch to demonstrate its preliminary feasibility. The measured crosstalk is better than -10 dB. The power consumption is about 500 mW. Further effort is necessary to improve its performance.

**Key Words :** Integrated optics(집적광학), Optical interconnection(광연결), Optical waveguide(광도파로), Polymer(폴리머), Vertical tapering(수직방향 테이퍼링), Thermo-optic(열광학), Optical switch(광스위치)

#### 1. 서론

최근 3 차원 광연결에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1],[2]. 3 차원 광연결은 수직방향 테이퍼링에 의해 다층 구조로 위치한 광도파로나 광 기능 소자를 연결시켜주는 방법으로, 집적광학 소자의 집적도를 높일 수 있고, 크로스오버 손실(crossover loss)을 없앨 수 있다. 이러한 다층 광도파로 구조를 소자의 제작에 응용하면 소자의 집적도가 향상되어 소자의 소형화에 기여할 수 있다.

폴리머 재료를 사용한 소자의 연구도 활발히 진행되고 있다 [1]-[4]. 폴리머 재료는 스핀 코팅에 의해 다층 박막 형성이 가능하고, 간단한 건식 식각 공정에 의해 광도파로 제작이 가능하기 때문에 다층 광도파로 구조의 구현에 적합하다. 특히, 폴리머 재료는 높은 열광학 계수를 가지고 있으므로 이를 이용하여 기능성 소자의 구현이 용이하다.

본 논문에서는 폴리머 재료를 사용하여 수직방향 광도파로 열광학 스위치를 제안하고 구현하였다. 제안한 소자는 폴리머의 열광학 효과를 이용하여 다층 광도파로간의 광경로를 제어하는 소자로서 3

차원 광연결에서 필수적인 기능을 담당한다.

#### 2. 동작 원리

본 논문에서 제안한 수직방향 광도파로 열광학 스위치는 폴리머의 열광학 효과를 이용하여 다층구조 광도파로 간의 스위칭 역할을 담당하는 소자이다. 소자의 구조는 그림 1 과 같다. 출력측의 광도파로는 다층 구조로 위치하였고, 위쪽 광도파로의 두께( $H_1$ )가 아래쪽 도파로의 두께( $H_2$ )보다 크다. 출력측의 광도파로간에 수직방향 테이퍼링에 의해 형성된 광도파로에 의해 연결되어 있다. 광도파로 위쪽에 열을 발생시키기 위한 전극이 위치한다. 제안한 소자의 동작 원리는 Y-분기 광도파로의 모드 진화 현상(mode evolution effect)에 바탕을 둔다 [5]. 점진적인(adiabatic) Y-분기 광도파로에서 입력측에 입사된 빛은 유효 굴절율이 큰 출력 광도파로 쪽으로 진행한다. 전극에서 열이 발생하지 않을 때 입력단자에서 입사된 빛은 광도파로의 두께가 큰 출력 단자 1 로 진행한다. 전극에서 열이 발생하면 위쪽 광도파로의 굴절율이 낮아져서 입력단자에 입사된 빛

은 출력 단자 2로 스위칭된다. 제안한 수직방향 광도파로 열광학 스위치는 다층 구조로 놓인 광도파로 간의 광경로를 제어하는 소자로써, 3차원 광연결에서 기본적인 기능을 제공하는 소자중의 하나이다.

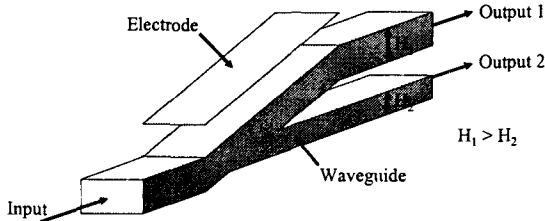


Fig. 1 Configuration of the proposed vertically integrated waveguide thermo-optic switch

### 3. 제작 및 측정 결과

#### 3.1 폴리머 광도파로

수직방향 광도파로 열광학 스위치를 제작하기 위하여 먼저 폴리머 광도파로 제작이 필요하다. 광도파로 제작시 사용한 재료는 Zen Photonics사에서 상용화된 폴리머를 사용하였다. 코어와 클래딩으로 사용한 폴리머는 ZP1370M 과 ZP2145M 이고, 각각의 굴절율은 각각 1.548, 1.485 였다. 사용한 폴리머의 장점은 전파 손실이 작고, 열적 안정성이 크며, 복굴절율이 작다 [6].

제작한 폴리머 광도파로의 단면 구조는 그림 2와 같다. 단면적이 큰 림 채널 광도파로(oversized rib channel waveguide) 구조이다. 이 구조는 코어층과 클래딩층 사이의 굴절율 차이가 큼에도 불구하고 단일 모드 광도파로로 동작한다[7]. 또한, 폴리머 박막의 열적 경화 과정에서 발생할 수 있는 굴절율의 변화에 민감하지 않기 때문에 폴리머 광도파로의 제작이 용이하다.

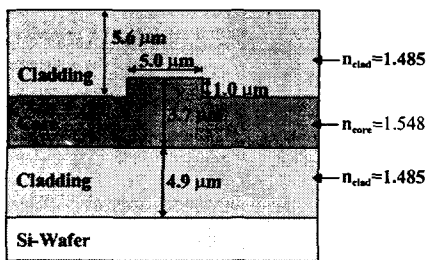


Fig. 2 Cross-section of the oversized rib channel waveguide

컷백(cut-back) 방법을 사용하여 제작한 폴리머 광도파로의 전파 손실을 측정하였다. 1.55 μm 광원

을 사용하여 전파 손실을 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다. TE 모드의 경우 0.4 dB/cm, TM 모드의 경우 0.3 dB/cm 로 측정되었다. 컷백시 소자의 단면 절개(cleaving)에 의해 측정하였다. 절개면의 상태와 측정시의 오차에 의하여 광도파로 길이에 따라 선형적인 영역에서 약간 벗어난 부분을 볼 수 있다.

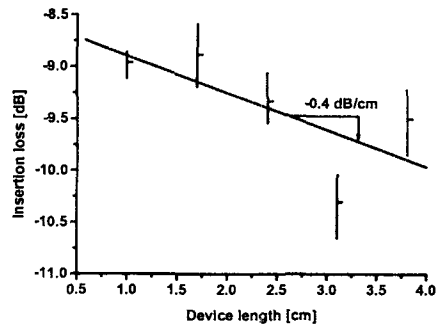


Fig. 3 (a) Measured propagation loss of the polymeric waveguide with TE polarization

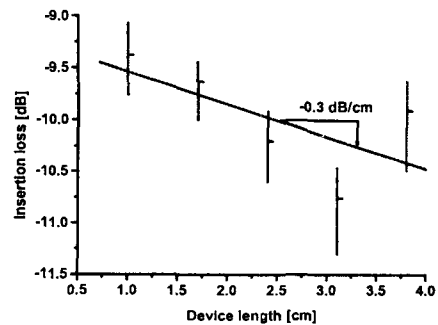


Fig. 3 (b) Measured propagation loss of the polymeric waveguide with TM polarization

#### 3.2 수직방향 광도파로 열광학 스위치

제안한 수직방향 광도파로 열광학 스위치를 구현하기 위해서 수직방향 테이퍼링(vertical tapering)의 형성은 필수적이다. 그림 4와 같이 새도우 마스크(shadow mask)를 이용한 건식 식각을 통하여 수직방향 테이퍼링을 형성하였다[1],[8]. 그림 4에서 새도우 마스크와 폴리머 박막 사이의 간격 Space 를 조절함에 의해 수직방향 테이퍼링의 각도를 조절할 수 있다.

제작한 수직방향 광도파로 열광학 스위치의 출력측의 광도파로 구조는 그림 5와 같다. 그림 2에서 설명한 단면적이 큰 림 채널 광도파로가 다층으로 놓인 구조이다.

제작한 광스위치의 모드 관측과 광특성을 측정

하기 위해 그림 6 과 같은 측정 장치를 꾸렸다. 광원은 1.55  $\mu\text{m}$  와 1.3  $\mu\text{m}$  레이저 다이오드를 사용하였다. 레이저 다이오드에서 나온 빛은 반파장판(half-wave plate)과 편광기(polarizer)를 통하여 원하는 선편광의 빛으로 조절한 후 20 배 렌즈를 통하여 폴리머 광도파로의 입사면에 입사시킨다. 폴리머 광도파로를 통과하여 나온 빛은 10 배 렌즈를 통하여 출력 된다. CCD 카메라를 통하여 제작한 광스위치의 모드를 관측하고, 파워미터(powermeter)를 이용하여 스위치의 전달 특성과 시간 응답 특성을 측정한다.

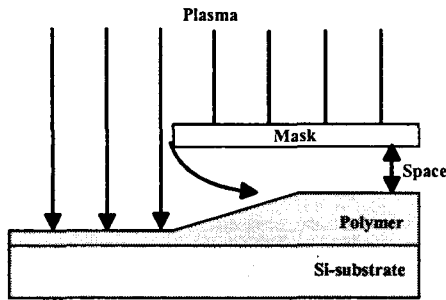


Fig. 4 Forming of a vertical tapering using shadow mask and reactive ion etching

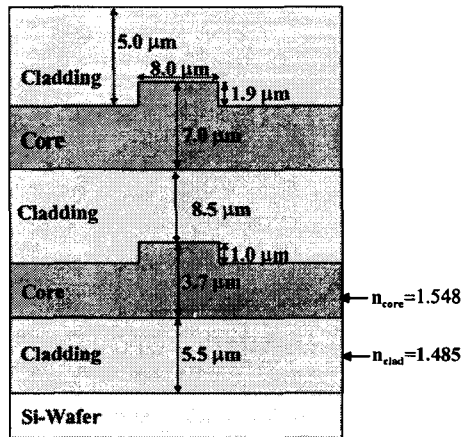


Fig. 5 Output cross-section of the fabricated switch

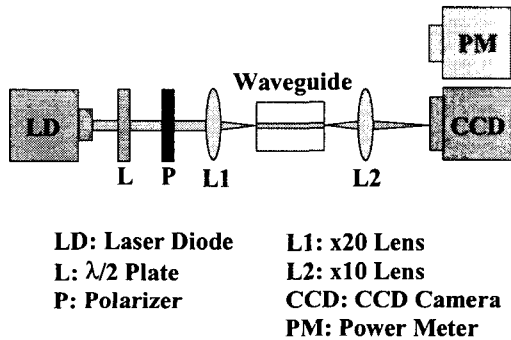


Fig. 6 Measurement set-up

제작한 광스위치의 열을 가하지 않았을 때와 열을 가했을 때의 모드 사진은 그림 7 과 같다. 열을 가하지 않았을 때 출력 단자 1 로 빛이 진행하였다 열을 가했을 때 출력 단자 2 로 빛이 스위칭되어야 하는데, 현재의 결과는 출력 단자 1 의 빛이 사라졌지만, 출력단자 2 로 스위칭되어 진행하지 않았다. 이에 대한 이유는 다음과 같다. 제작 공정상에서 열발생 전극이 수직방향 테이퍼링의 시작전부터 위치하였는데, 여기서 발생한 열에 의해 입력단자로 입사된 빛이 차단(cutoff) 되었기 때문이다. 전극의 위치를 변화 시켜서 다시 제작함에 의해 문제를 해결할 수 있을 것이다.



Fig. 7 Mode profile of the fabricated switch when the electrode is (a) unheated and (b) heated

제작한 광스위치의 전달 특성은 그림 8 과 같다 전극에서 열이 발생하지 않아서 출력 단자 1 로 빛이 진행할 때 누화(crosstalk)가  $\approx 10$  dB 미만이었다. 전극에서 열이 발생하여 출력 단자 2 로 빛이 스위칭 되었을 때 역시 누화가  $\approx 10$  dB 미만이었다 앞에서 설명했듯이 출력 단자 2 로 스위칭 되었을 때 광 손실이 발생했다. 광스위치의 소모 전력은 500 mW 정도였다. 제작한 광스위치의 시간 응답 특성은 그림 9 와 같다. 위쪽 구형파 신호는 전극에 가한 전기적인 신호이고, 아래쪽 신호가 제작한 광스위치의 시간 응답이다. 측정된 스위칭 시간은 10 msec 미만이었다.

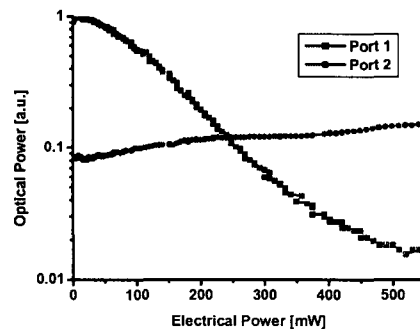


Fig. 8 Transfer characteristics with respect to the applied electric power

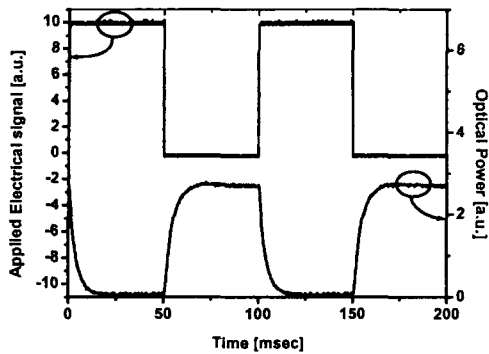


Fig. 9 The measured switching time response

#### 4. 결론

폴리머 재료를 사용하여 수직방향 광도파로 열광학 스위치를 제안하고 제작하였다. 제안한 소자는 폴리머의 열광학 효과를 이용하여 다층으로 쌓인 광도파로 간의 광경로를 제어하는 소자이다. 이는 3 차원 광연결에서 필수적인 기능이다.

먼저 폴리머 광도파로를 제작하였다. 단면적인 큰 단일모드 채널 광도파로 구조를 가졌다. 측정된 광도파로의 전파 손실은 1.55  $\mu\text{m}$  파장에서 0.3 dB/cm 에서 0.4 dB/cm 사이였다.

제안한 수직방향 열광학 스위치를 제작하였다. 측정된 누화는  $\approx 10$  dB 미만이었다. 스위칭시 소모 전력은 500 mW 정도 였다. 측정된 스위칭 시간은 10 msec 미만이었다. 제작한 소자의 문제점은 스위칭시 광 손실이 발생한다는 점이다. 이는 소자의 제작 과정에서 열을 발생시키는 전극의 위치가 수직방향 테이퍼링보다 먼저 위치했기 때문이고, 전극의 위치를 조절함에 의해 스위칭시 광손실을 줄일 수 있다. 또한, 소자의 누화, 소모 전력등의 성능을 더욱 향상시키기 위하여 노력이 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행중이다. 이에 관계자 여러분들께 감사한다.

#### 참고문헌

1. Sean M. Garner, Sang-Shin Lee, Vadim Chuaynov, Antao Chen, Araz Yacoubian, William H. Steier, and

- Larry R. Dalton, "Three-Dimensional Integrated Optics Using Polymers," IEEE J. Quantum Electron., vol. 35, no. 8, pp. 1146~1155, 1999.
2. N. Keil, C. Weinert, W. Wirges, H. H. Yao, S. Yilmaz, C. Zawadzki, J. Schneider, J. Bauer, M. Bauer, K. Losch, K. Satzke, W. Wischmann, and J. V. Wirth, "Thermo-optic vertical coupler switches using hybrid polymer/silica integration technology," Electron. Lett., vol. 36, no. 5, pp. 430~431, 2000.
3. Muynghyun Lee, Yoo Hong Min, Suntak Park, Jung Jin Ju, Jung Yun Do, and Seung Koo Park, "Fully Packaged Polymeric Four Arrayed 2x2 Digital Optical Switch," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, no. 5, pp. 615~617, 2002.
4. U. Siebel, R. Hauffe, J. Bruns, and K. Petermann, "Polymer Digital Optical Switch with an Integrated Attenuator," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13, no. 9, pp. 957~959, 2001.
5. William K. Burns and A. Fennner Milton, "An Analytic Solution for Mode Coupling in Optical Waveguide Branches," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-16, no. 4, pp. 446~454, 1980.
6. Technical information of Zen Photonics polymer
7. R. Moosburger, G. Fischbeck, C. Kostrzewa and K. Petermann, "Digital optical switch based on 'oversized' polymer rib waveguides," Electron. Lett., vol. 32, no. 6, pp. 544~545, 1996.
8. Min-Cheol Oh, Wol-Yon Hwang, Hayng-Mok Lee, Seon-Gyu Han and Yong-Hyub Won, "Electrooptic Polymer Modulators Operating in Both TE and TM Modes Incorporating a Vertically Tapered Cladding," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, no. 9, pp. 1232~1234, 1997.