

2x2 폴리머 열광학 스위치

Polymeric 2x2 Thermo-Optic Switch

김기홍, 오태원, 송현채, 신상영
한국과학기술원 전기 및 전자공학과
kihong@eeinfo.kaist.ac.kr

광스위치는 광통신 및 광교환 시스템에서 광 경로 제어를 위한 소자로써 누화 특성이 좋고, 스위칭 시 소모 전력이 작아야 한다. 프로텍션 스위칭(circuit protection switching)시에는 아무런 전력 소모 없이 초기 경로를 가진 스위치가 바람직하다. 기존의 전력 소모 없이 초기 경로를 가지는 스위치는 실리카 물질과 비대칭적 X-분기 광도파로를 사용하여 구현되었다⁽¹⁾. 그러나 실리카 스위치는 열광학 계수가 작기 때문에 스위칭 할 때 전력 소모가 큰 단점이 있다. 최근에 열광학 스위치는 폴리머를 재료로 하여 많이 제작되었다^{(2),(3)}. 폴리머의 열광학 계수는 실리카에 비해 10배 정도 더 크다. 대부분의 폴리머 열광학 스위치는 대칭적 Y-분기 광도파로를 사용하여 제작되었기 때문에 모든 스위칭 상태에서 전력 소모가 필요하다. 본 논문에서는 4개의 비대칭적 Y-분기 광도파로가 직렬(cascade)로 연결된 구조를 갖는 2x2 열광학 스위치를 제안한다. 이 스위치는 전력 소모 없이 초기 경로를 가지며, 누화 특성을 향상시킨 구조이다.

제안하는 2x2 열광학 스위치의 구조는 그림 1과 같다. 4개의 비대칭적 Y-분기 광도파로가 직렬(cascade)로 연결된 구조이다. 스위치의 동작은 모드 진화 현상(modal evolution effect)에 기반을 두고 있다⁽⁴⁾. 전력 소모가 없는 초기 상태에는 입력 단자 1로 입사된 빛은 출력 단자 2로 진행하고, 입력 단자 2로 입사된 빛은 출력 단자 1로 진행한다 (Cross 상태). 4개의 전극에 동시에 열을 발생시키면, 스위치는 반대로 동작한다 (Bar 상태). 비대칭적 Y-분기 광도파로를 직렬 연결함으로써 스위치의 누화 특성을 향상시킬 수 있다. 그러므로, 제안하는 스위치는 초기 상태에 아무런 전력 소모 없이 Cross 상태를 유지할 수 있고, 누화 특성을 향상 시킨 구조이다. 스위치의 단면구조는 단면적이 큰 릿 채널 광도파로(oversized rib channel waveguide) 구조이다⁽⁵⁾. 단면 구조는 그림 2에 나타내었다. 이러한 구조의 장점은 코어와 클래딩의 굴절률 차가 큼에도 불구하고 단일 모드 조건을 만족시킬 수 있다는 점이다. 이로 인해 코어와 클래딩 물질의 선택 폭이 넓어진다. 코어의 두께는 $5.4 \mu\text{m}$, 식각 깊이는 $1.5 \mu\text{m}$ 이다.

광도파로를 제작하기 위해 사용한 폴리머는 상용화되었고 열적으로 안정된 열경화성 폴리머를 사용하였다. 코어와 클래딩 물질로써 각각 Photo-BCB(Photosensitive Benzocyclobutene, $T_g > 350^\circ\text{C}$)와 PFCB(Perfluorocyclobutane, $T_g > 450^\circ\text{C}$)를 사용하였다. O_2 와 CF_4 를 이용한 반응 이온 식각 공정에 의해 릿(rib) 채널 광도파로를 형성하였다. 열 증착(thermal evaporation)과 습식 식각(wet etching)에 의해 전극을 형성하였다.

제작된 2x2 열광학 스위치는 $1.55 \mu\text{m}$ 파장에서 측정되었다. 인가한 전기적인 전력에 대한 스위치의 전달 특성을 그림 3에 나타내었다. 제작된 스위치가 편광 무의존하게 동작함을 볼 수 있다. 열을 가하지 않은 Cross 상태와 4개의 전극에 열을 가한 Bar 상태 모두 -25 dB 이하의 누화 특성을 가졌다. 스위칭 시 4개의 전극에서 소모된 전력은 약 350 mW 이다. 입력 단자 1에 빛을 입사 시켰을 때 출력 단자 2에서의 스위칭 시간 응답 특성을 그림 4에 나타내었다. 스위칭 응답 시간이 1.5 msec 미만으로 측정되었

다. 4개의 전극에 열을 가한 후 식을때의 시간이 길기 때문에 이 시간이 전체적인 스위칭 시간을 좌우하였다. 직선 광도파로와 비교한 소자의 추가 손실은 약 1.3 dB 였다.

참고 문헌

1. Martin Hoffmann, Peter Kopka, and Edgar Voges, "Thermo-optical Digital Switch Arrays in Silica-on-Silicon with Defined Zero-Voltage State", *IEEE J. Lightwave Technol.* vol. 16, no. 3, pp. 395-400 1998.
2. 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.
3. H.-C. Song, S.-Y. Shin, W.-H. Jang, and R.-H. Rhee, "1x4 thermo-optic switch based on a 4-branch waveguide," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 18, pp. 813-815, 1999.
4. William K. Burns and A. Fenner Milton, "An Analytic Solution for Mode Coupling in Optical Waveguide Branches", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-16, no. 4, pp. 446-454, 1980.
5. Richard A. Soref, Joachim Schmidtchen, and Klaus Petermann, "Large Single-Mode Rib Waveguides in GeSi-Si on Si-on-SiO₂," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, no. 8, pp. 1971-1974, 1991.

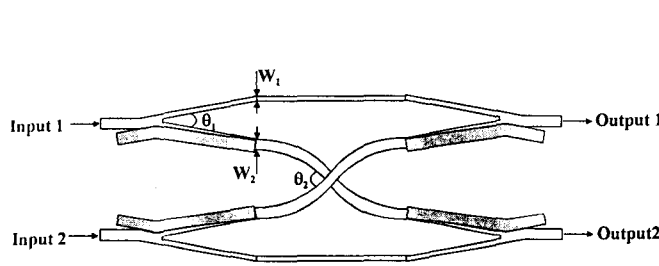


그림 1. 2x2 열광학 스위치의 평면구조

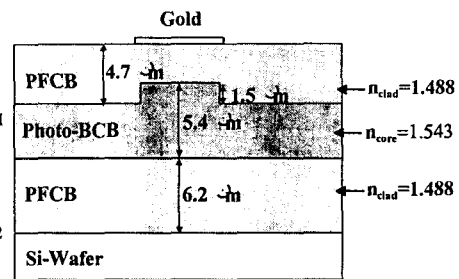


그림 2. 2x2 열광학 스위치의 단면 구조

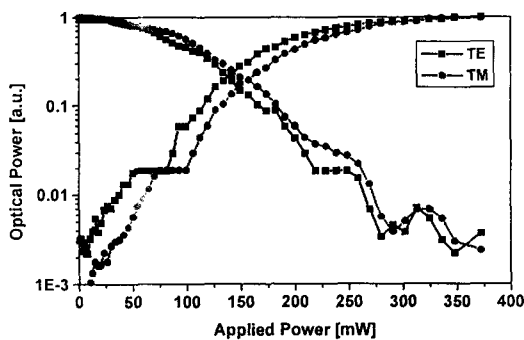


그림 3. 인가한 전기적인 전력에 따른 스위치의 전달 특성

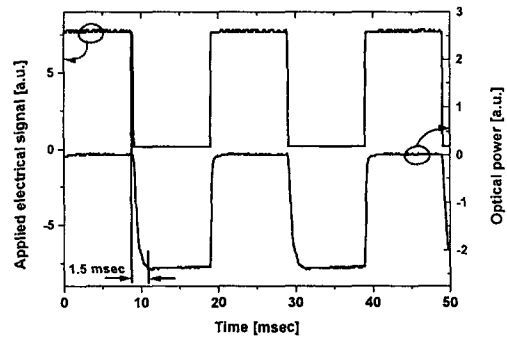


그림 4. 스위칭 응답 특성