

# MMI를 이용한 빠른 응답특성의 소형 열광학 스위치

## Small-Dimensional Thermo-optic MMI Switch with Improved Response-time

이진표\*, 홍종균, 이상선

한양대학교 전자통신전파공학과 광전자 연구실

jineel23@daum.net

실리콘 기판 위에 제작되는 실리카 물질은 낮은 가격, 파이버와의 높은 결합 효율 그리고 고집적화의 장점으로 PLC(Planar Light Circuit)에 사용되고 있다. PLC 광소자 중에서 열 광학 스위치(Thermo-optic switch)는, N×N 매트릭스 스위치와 Add/drop multiplexer 등 비교적 낮은 속도를 갖는 광 신호 처리를 위해 중요한 소자이다.

기존의 열 광학 스위치의 경우, 방향성 결합기를 사용한 Mach-Zehnder 구조로써, 위상 제어단에서 두 도파로 간의 광 전력 교환을 막기 위해 방향성 결합기의 양쪽 끝단에 굽은 도파로를 이용한다. 하지만 광 전력 손실을 막기 위해 굽은 도파로의 곡률반경을 크게 해줌으로써 소자의 길이가 길어지고, 그로인해 제작상의 오차와 도파로 내에서의 광 전력 손실을 가져올 수 있다. 이러한 소자들이 수십 개에서 수백 개의 요소 소자들로 집적되어질 경우 스위칭에 대한 소비 전력과 전체 크기는 더욱 중요한 고려대상이 된다. 다중모드 간섭(MMI: Multi-Mode Interference)<sup>(1)</sup> 효과를 이용한 광소자는 PLC 분야에서 광신호의 분리, 결합을 위한 기능의 소자로서 널리 사용되고 있으며, 편광상태와 파장에 덜 민감한 출력 특성 및 광 대역폭과 제작 허용오차가 크며, 크기가 소형화될 수 있는 장점으로 인하여 이에 대한 관심이 증가하는 추세이다. 본 논문에서는 다중모드 간섭기를 적용하여 소형의 PLC 도파로형 저전력, 빠른 응답속도의 열 광학 스위치를 제작하였다.

그림 1과 같이, 본 스위치는 두 개의 MMI 2×2 결합기, 그리고 그 사이에 두 개의 위상 제어용 단일 모드 도파로로 구성되어 있다. 스위치의 구조는 상단 클래드의 단면적을 좁게 함으로서 열의 소비를 줄이고, 열이 실리콘 기판으로 쉽게 빠져나가도록 제작하였다.<sup>(2)(3)</sup> 실리콘 기판에 14 $\mu$ m 깊이의 하단 클래드를 형성한 후, 코어층으로 SiO<sub>2</sub>-Ge을 3 $\mu$ m 쌓았고, 코어와 클래드의 인덱스 차는 1.2%로 하였다. 그리고 상단 클래드는 하단 클래드와 같은 인덱스를 사용하였고, 깊이는 4 $\mu$ m로 하였다. 다음으로, 열전달의 효율성과 굽은 도파로를 배제하기 위해, 위상 제어단의 두 단일모드 도파로 사이에 9 $\mu$ m 깊이로 에칭하여 공기층을 형성하였다. 그리고 Cr과 Au 박막으로 각각 히터와 전극을 형성하였다.

마하젠더 구조에서 스위칭 작용을 위해서는 도파로 내를 진행하는 광파의 위상을 변화시켜야 하며, 이를 위하여 비결정질(amorphous)인 실리카 물질의 경우에는 열 광학 효과를 이용한다. 입력된 광파는 다중모드 간섭기의 쌍간섭 현상에 의해 분파되고, 두개의 파는 위상 제어단의 두개의 단일모드 도파로를 각각 전파한다. 이때 두 단일 모드 도파로 중 하나에서, 도파하는 광파의 위상을 180° 만큼 변화시켜 주면 스위칭 동작을 하게 된다.

본 스위치는 유기모드 해석법에 의하여 위상변위단의 단일모드 도파로와 다중모드 간섭기의 폭을 설계하였고, FD-BPM을 이용한 전산모의 실험 결과에 의하여 다중모드 도파로 내에서 파의 전파되는 경향을 파악하여 최적화된 다중모드 간섭기를 설계하였다. 그림 3은 열광학 스위치의 전산 모의 실험결과

이고, 그림 4는 스위칭 전과 후에 대한 제작된 열 광학 스위치의 히터에 인가되는 전력의 변화에 대한 출력되는 광파의 변화에 대한 그래프 이다.

제작된 소자의 크기는 폭  $45\mu\text{m}$ , 길이  $5.5\text{mm}$  이고, Cr 히터의 저항은  $2.54\text{k}\Omega$  으로 측정 되었고, 위상변위단의 구조적 특징에 기인하여 낮은 소비전력과 빠른 속도의 스위칭을 구현할 수 있었다. 그림 5는 스위치의 응답속도를 측정한 결과이며, 응답속도는  $222\mu\text{s}$ 로 나타났다. 본 스위치의 특성은  $227\text{mW}$ 의 소비 전력,  $13.7\text{dB}$ 의 소광비,  $3.96\%$ 의 분극 의존도로 측정되었다.

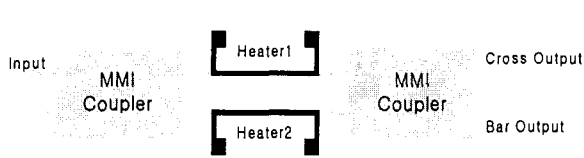


그림.1 MMI를 이용한 PLC 도파로형 MZI 스위치 구조

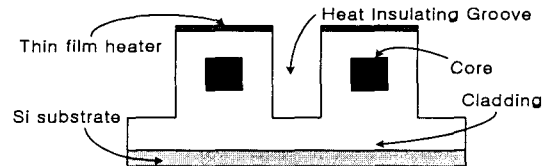
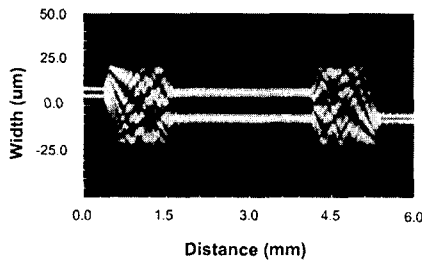
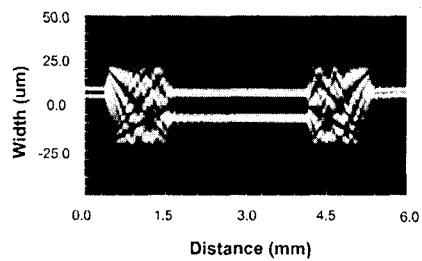


그림.2 열전달 형태를 고려한 위상 변위단의 단면 구조



(a) 위상 제어가 없는 경우



(b) 위상 변위단에  $180^\circ$ 의 위상 변화를 주었을 경우

그림.3 MMI를 이용한 MZI 스위치의 전산 모의실험 결과

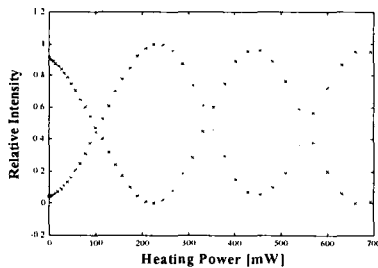


그림.4 히터에 가해지는 전력의 변화에 따른 출력 변화

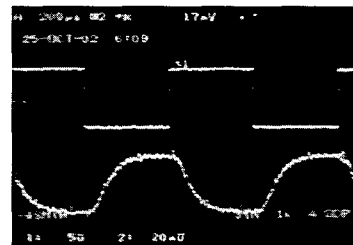


그림.5 외부입력에 따른 스위칭 특성

### Acknowledge

이 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환인 '나노소재기술개발사업'의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] M. Bachmann, P. A. Besse, and H. Melchior, "Overlapping-image multimode interference couplers with a reduced number of self-images for uniform and nonuniform power splitting," Appl. Opt., vol. 34, no. 30, pp. 6898-6910, 1995.
- [2] R. Kasahara, M. Yanagisawa, A. Sugita, T. Goh, M. Yasu, A. Himeno, and S. Matsui, "Low-Power Consumption Silica-Based  $2 \times 2$  Thermo-optic Switch Using Trenched Silicon Substrate," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, pp. 1132-1134, Sept. 1999.
- [3] Q. Lai, W. Hunziker, and H. Melchior, "Low-Power Compact  $2 \times 2$  Thermo-optic Silica-on-Silicon waveguide Switch with Fast Response," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, pp. 681-683, May 1998.