

마이크로머시닝 기술과 MEMS 광스위치 응용

이 종 현
(광주과학기술원 기전공학과)

Micromachining Technologies and its application to MEMS Optical Switch

Jong Hyun Lee

Abstract

With the great demand for WDM (Wavelength Division Multiplexing) optical communications, optical switches are expected to become one of the dominant components in future networks. Conventional mechanical switches suffer from poor reliability and large size; however, many micromachined optical switches with moving mirrors have been proposed for high scale OXC (Optical Crossconnect) or ADM (Add/Drop Multiplex) because of the low power consumption and high reliability of these switches. In this paper, we introduce the technological trends of optical switches using MEMS, related micromachining technologies and their characteristics.

Key Words : MEMS, Micromachining, Optical, Switch, Vibration, Creep, Characteristic

1. 서 론

최근 정보통신 사회에 이르러 서로 다른 지식 및 정보의 결합으로 새로운 연구분야가 대두되고 있으며, 이에 따라 과학기술분야에서도 기계공학, 전자공학, 광학 및 반도체 기술이 결합된 광 MEMS (Optical Micro Electro Mechanical Systems)에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 고에서는 최근 인터넷의 폭발적인 수요로 광대역 광통신 부품의 고성능화 및 저가격화의 필요성이 제기되면서, 이 분야의 새로운 견인 역할을 맡고 있는 MEMS 광스위치 기술과 응용 부품 그리고 관련된 제작 및 측정 기술 등을 살펴 본다.

2. MEMS 광스위치 기술 동향

통신의 대용량화를 위한 구체적인 대안으로 개발되고 있는 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 광통신 기술은 Fig. 1에 보인 바와 같이, 핵심기능이 optical layer에서 이루어지는 OXC (Optical Cross Connect) 시스템의 역할이 더욱 중요해질 것으로 예측된다.⁽¹⁾ 여기에 응용 가능한 대용량 광스위치 기술로는 현재 MEMS 액츄에이터(actuator)로 구동되는 미소 반사경 (micro mirror) 기술이 유일한 대안으로 제시되고 있다.⁽²⁾

MEMS 기술을 이용한 광스witch는 pass/drop, bypass NxN 2-dim digital, NxN 3-dim analog 스위치의 4가지로 나눌 수 있으며, 구동방법 및 입출력 광섬유(optical fiber)의 갯수에 따라 구조가 변화된다.

Pass/drop 광스witch는 파장선택형 ADM 모듈의 스위칭 소자로 사용되며, 미소 반사경을 평행이동 하거나 또

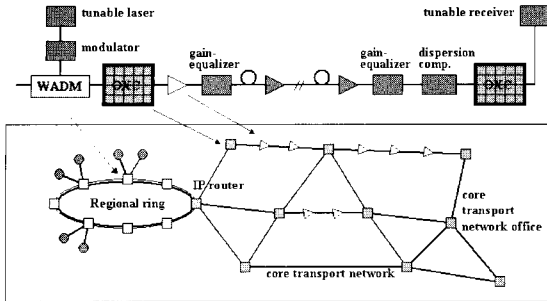


Fig. 1 Application of optical MEMS technologies to telecommunication networks (2000 Optical MEMS)

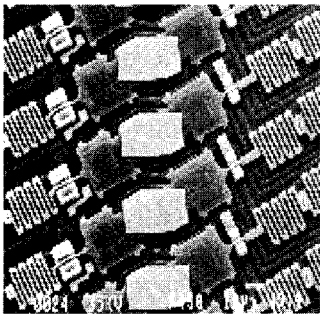


Fig. 2 Tilt micromirror array of 16 channel (Bell lab)

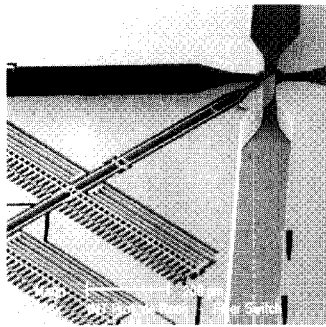


Fig. 3 SEM photograph of the 2x2 bypass optical switch with a micromirror and U-shaped grooves for fiber alignment

는 Fig. 2와 같이 기울임으로써 다채널의 광신호의 방향을 변경한다.

Fig. 3은 실리콘으로 구현한 2x2 bypass 광스위치로서 반사경 1개로 광로를 변경하는 간단한 구조를 가지고 있으나, 액츄에이터가 작동된 상태에서 반사경의 두께로 인하여 오프셋(offset) 손실이 발생한다는 단점이 있다.⁽³⁾

다음은 OXC용 광스위치 기술로서, 미소 반사경의 구조 및 구동 원리에 따라 다음의 2가지 종류로 따라 다음

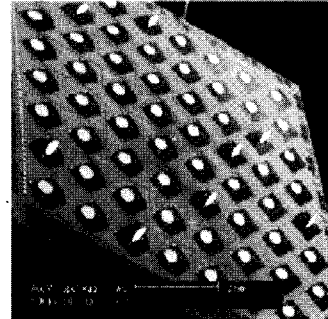


Fig. 4 Free-space micromachined optical switch of 8x8 matrix layout (AT&T)

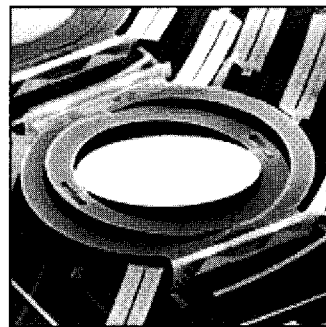


Fig. 5 Three-dimensional optical crossconnect with 2-axis gimbal structures (Lucent)

의 2가지 종류로 나뉜다. 첫번째는, 입력 빛 출력 광섬유의 갯수를 각각 N개라고 할 때, 2차원으로 배열된 N^2 개의 미소 반사경을 on/off의 digital로 구동하는 방법이며, 다른 하나는 N개의 반사경 2조를 analog 방식으로 구동하여 3차원으로 광신호를 전달하는 방법이다.⁽⁴⁾

AT&T에서는 Fig. 4에 보인 바와 같이, 실리콘 표면 가공(surface micromachining) 기술로 제작된 미소 반사경을 SDA(Scratched Drive Actuator)를 이용하여 수직으로 세움으로써 광경로를 변환하는 방법을 사용한다. 이 방식은 2차원의 긴 광경로(optical path) 때문에 포트(port) 수에 한계가 있다.

Agilent와 NTT에서는 마이크로 채널(micro channel) 안에 유체를 밀어 넣었을 때 굴절율이 정합되어 광이 투과하는 스위치를 구현하였다. 반대로 기포부분이 들어오면 전반사를 일으켜 광신호는 투과하지 못하고 다른 도파로(waveguide)로 전달된다.⁽⁵⁾ Fig. 5에는 대용량 OXC 스위치용으로 Lucent(현재는 Agere systems)에서 개발한 3차원 matrix 스위치의 구조를 보였다.⁽⁶⁾ Fig. 6은 OMM에서 개발한 OXC 시스템으로 N개의 반사경 array 2조가 마주보도록 설계함으로써 별도의 반사경을 필요하지 않다는 특징이 있다.⁽⁷⁾

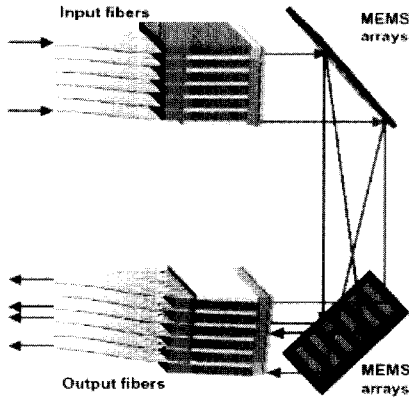


Fig. 6 Optical crossconnect with 3-dim analog electrostatic actuators (OMM)

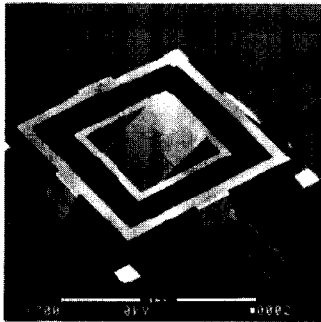


Fig. 7 Levitation of an optical micromirror using scratch drive actuator (OMM)

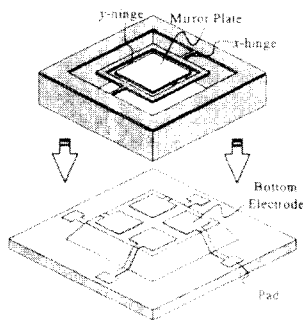


Fig. 8 Air-gap formation for optical crossconnect (LG)

이와 같은 미소 반사경의 작동에 있어서 일정 각도 이상을 회전하게 하려면, 반사경과 바닥면사이의 거리를 확보하여야 한다. Lucent에서는 Fig. 5에 보인 바와 같이, 두 재료의 경계면에서 발생하는 잔류 응력 (residual stress)에 의해 힌지가 회전되면서 자체 부양되는 기술을 개발하였다. Fig. 7은 OMM이 개발한 기술로서, 정전력 및 마찰력을 이용한 4방향의 SDA (Scratch Drive

Actuator)를 이용하여, 반사경을 부양시키는 방식을 보여준다.⁽⁷⁾ 한편, LG에서는 Fig. 8과 같이, 반사경 및 구동회로를 상부 기판 위에 제작하고, back etch 방법으로 반사경의 아래면을 제거한 후, 별도로 제작한 하부 기판과 결합하는 방식을 개발하였다.⁽⁸⁾

3. MEMS 제작 공정 기술

MEMS에 있어서 가장 간단한 형태는 구조층 (structural layer), 희생층 (sacrificial layer) 및 기판(substrate)으로 이루어진 SOI (Silicon On-Insulator) 구조이다.

Fig. 9는 SOI 웨이퍼를 이용한 제작 공정을 보인 것으로서, DRIE (Deep Reactive Ion Etching) 공정을 사용하여 구조층을 식각한 후, 구조물의 가변을 위한 release 공정을 수행한다. 이와 같은 공정으로 제작된 MEMS 구조체는 단층 평면(planar)의 간단한 구조를 가지고 있어서, 마스크 1장으로 제작을 완료할 수 있다.

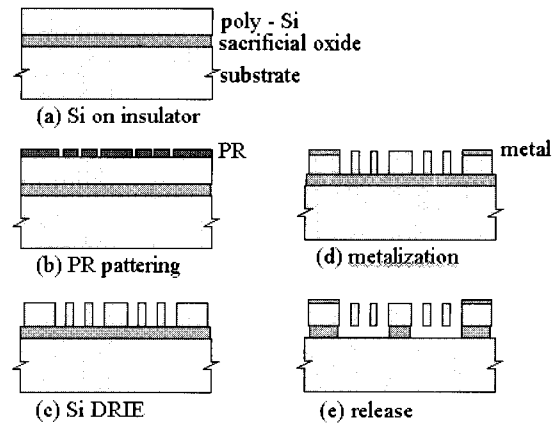


Fig. 9. MEMS fabrication using SOI wafer

Fig. 9와 같이 MEMS 구조체가 제작되었을때, 광스위치의 역할을 위해서는 미소 반사경이 반사율이 높은 금속으로 증착되어야 하며, 반사경이 수평으로 놓인 경우에는 sputtering이나, evaporation과 같은 기존 방법으로 증착이 가능하다. 그러나 Fig. 3과 같이 거울면이 수직인 경우에는, 입출력 광섬유 혹은 다른 광학요소를 정렬을 동일면상(in-plane)에서 수행할 수 있기 때문에 정렬 과정이 매우 간단해지나, 기존 공정으로는 거울면의 거칠기 및 금속 두께의 불균일로 인한 문제점이 발생한다. 최근에 차세대 집적회로에 있어서 낮은 저항 및 electromigration의 Cu MOCVD 관심을 받고 있으며⁽⁹⁾,

이 공정은 작은 흡을 균일하게 채우는 특성이 있으므로 수직 거울의 측면에 효과적으로 금속을 입히는데 사용될 수 있다.⁽¹⁰⁾

Fig. 10에는 MOCVD에 의한 Cu박막의 표면 거칠기 (21~27 nm)를 나타내었으며, 입사각 22.5° 와 45°에서 표면 거칠기에 의한 산란 손실은 0.12dB 보다 작다. 공정온도 215°C이하에서는 step coverage가 90%이상이었으며, 이 값은 100nm의 두께를 갖는 박막에 있어서 약 0.05°이하의 기울임 오차를 갖는 것을 의미한다.

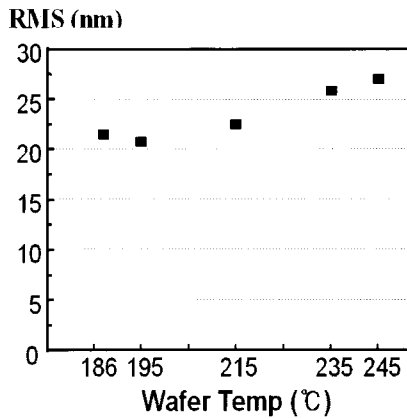


Fig. 10 Roughness of Cu surface deposited by MOCVD

Fig. 11은 1550nm의 파장에서 Cu의 복소 굴절계수인 0.625+8.25i를 가지고 예측된 Cu 반사면의 반사율을 나타낸다.⁽¹¹⁾ 반사율은 입사각 22.5° 와 45° 에 대해서 0.9 이상의 값을 보였으며, 이와 같은 높은 반사율은 박막의 평탄도 및 고밀도에 기인한다.

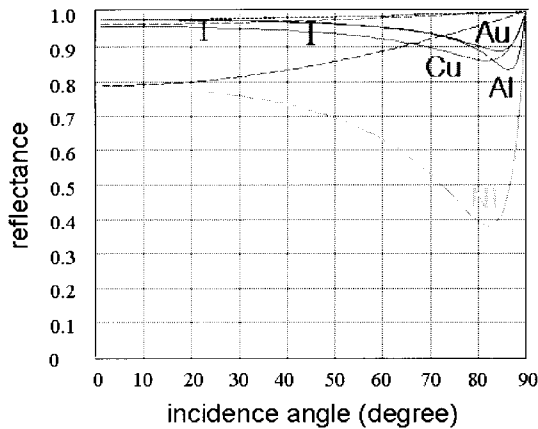


Fig. 11 Reflection characteristics of Cu thin film

4. MEMS 광소자의 특성

제작된 MEMS 광소자의 기계적 안정성을 확인하기 위해 측정해야 할 항목으로는 응답특성, 외부의 vibration 및 shock에 의한 성능의 변화량 및 creep 특성 등이 있다.

먼저, 광스위치 및 광감쇠기의 시간 응답 특성은 소자의 동작 속도를 결정하는 중요한 인자로서, Fig. 12에 광감쇠기에 사용된 정전 구동형 마이크로 액츄에이터의 특성을 보였다. 그림에서 보인 바와 같이 90%를 기준으로 한 반응시간은 1 msec 이하로서 critical damping 응답 특성을 가진 것을 알 수 있다. 마이크로 액츄에이터의 감쇠계수는 사용된 index matching oil의 점성도(viscosity)에 따라 결정되므로 이에 대한 적절한 설계가 요구된다.

외부 진동에 따른 삽입 손실의 변화 시험은 시편의 X, Y, Z 축 방향으로 인위적으로 가진하는 방법을 이용한다. 가진 신호는 10Hz ~ 10kHz 범위 내에서 sine 형태를 가지며, G (중력가속도) 단위의 peak-to-peak 값으로 측정된다. 그림 13에 나타낸 바와 같이, Z 축에 대한 진동에 가장 민감한 변화를 보이며, 이때 삽입손실의 변화량은 약 0.3 dB 이하를 나타내고 있다.⁽¹²⁾ 외부 충격에 대한 강인도는 각 방향에 대하여 shock tester를 이용한 충격 시험을 통하여 확인할 수 있다. 이에 대한 보편적인 요구규격은 500G 이하에서 성능 변화가 없어야 하며, 미세 거울은 3000G까지 파괴가 일어나지 않아야 한다.

이 실험에서 shock에 의한 피로 (fatigue)도 측정되며, 수십 회 이상의 반복 실험을 통하여 그 변화량을 측정한다.

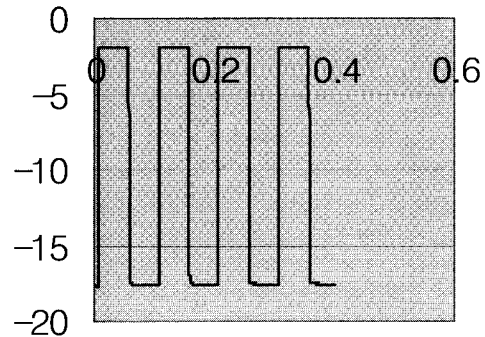


Fig. 12 Optical response of an optical attenuator according to step-input (x-axis [sec], y-axis [dB])

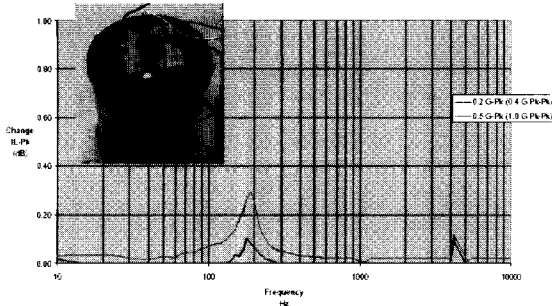


Fig. 13 Vibrational characteristic of an optical matrix switch⁽¹³⁾

진동특성과 직접적인 관련은 부족하지만, 광소자의 안정성을 확인하기 위해서는 creep 특성에 대한 시험이 요구된다. Fig. 14에 그 측정 예를 보였으며, 10개 이상의 시편에 대하여 수주간에 걸쳐 동작 온도에서 요구되는 구동 범위에 대하여 연속적으로 실험하여 측정한다.⁽¹³⁾ 이때 측정된 마이크로 미러의 반복 전과 후의 삽입손실 변화량이 0.1 dB 정도 이하이면 양호하다고 판단을 내릴 수 있다.

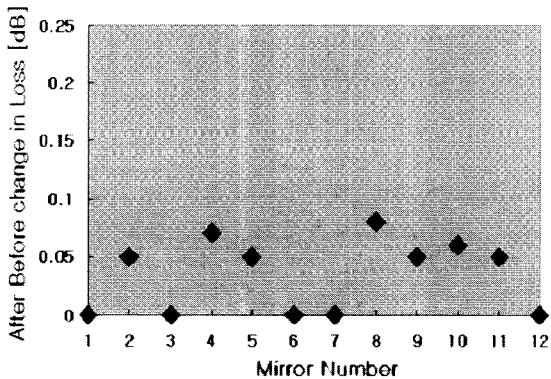


Fig. 14 Variation of the insertion loss after accelerated creeping test for a matrix optical switch⁽¹³⁾

참 고 문 헌

- (1) E. L. Goldstein et al., IEEE/LEOS, 2000 Int. Conf. Optical MEMS, pp.27~28 (Aug. 2000).
- (2) L. Y. Lin et al., IEEE J. Selected Topics Quantum Electronics, vol.5, no.1, pp.4~9 (Jan./Feb. 1999)
- (3) C. Marxer et al., J. MEMS, vol.6, no.3, pp.277~285 (Sept. 1997).
- (4) <http://www.omminc.com/technology>
- (5) J. E. Fouquet et al., Proc. IEEE LEOS, pp.169~170 (Dec. 1998)
- (6) <http://www.lucnet-optical.com>, 1999.
- (7) OMM Presentation material (2001).
- (8) J. H. Lee et al., Optical MEMS, pp.127~128 (2001).
- (9) Naik et al., Thermal chemical vapor deposition of copper from hexafuloro-acetylacetonate Cu(I) vinyltrimethylsilane, J. Crystal Growth, vol.193, pp.133~147 (1988).
- (10) T. S. Kim et al., Optical MEMS, pp.99~100 (2001).
- (11) Handbook of Optics, vol. II, chap. 35, Ed. M.Bass, McGraw Hill (1995).
- (12) <http://www.omminc.com/technology>.
- (13) V. Aksyuk et al., Proc. Optical MEMS 2001, Okinawa, pp.127~128 (Sept. 2001).