

MEMS 광소자 기술 및 산업 응용

이 글에서는 최근 인터넷의 폭발적인 수요로 광대역 광통신 부품의 고성능화 및 저가격화의 필요성이 제기되면서, 이 분야의 새로운 견인차 역할을 맡고 있는 Optical MEMS 기술 및 응용 분야를 살펴 본다. **이 중 현**

노경사회의 지식은 말이나 글로 전수되었으며, 산업화사회에서는 과학기술과 관련된 많은 발견과 발명으로 전문지식이 대우를 받는 시대가 되었다. 최근 정보통신 사회에 이르러 서로 다른 지식 및 정보의 결합으로 새로운 연구분야가 대두되고 있으며, 이와 같은 큰 흐름에 따라 과학기술분야에서도 기계공학, 전자공학, 광학 및 반도체 기술이 결합된 광 MEMS(optical Micro Electro Mechanical Systems)에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 글에서는 최근 인터넷의 폭발적인 수요로 광대역 광통신 부품의 고성능화 및 저가격화의 필요성이 제기되면서, 이 분야의 새로운 견인차 역할을 맡고 있는 optical MEMS 기술 및 응용 분야를 살펴 본다.

광통신의 대용량화를 위한 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 통신은 획기적인

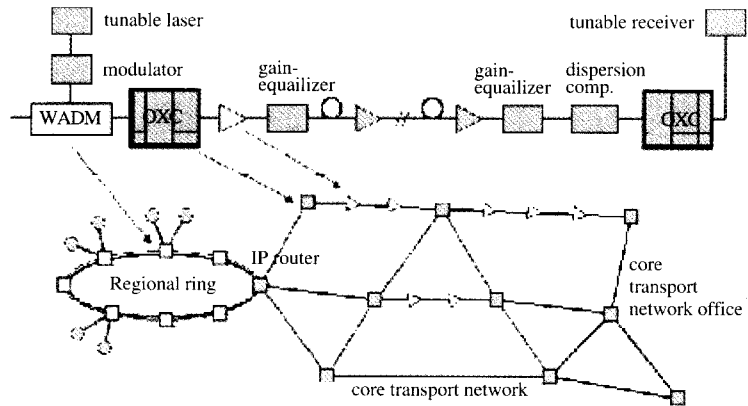


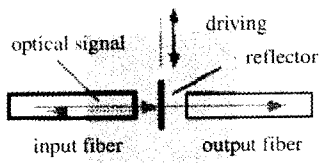
그림 1 광MEMS 기술의 통신 네트워크에의 응용 (2000)Optical MEMS

기술 개발과 표준화로 전송속도가 상당히 높아져 있다. 이제는 그림 1에 보인 바와 같이, 네트워크의 원활한 운영에 관한 연구개발이 필요한 시기로서 핵심기능이 optical layer에서 이루어지는 OXC(Optical Cross Connect) 시스템의 역할이 더욱 중요해질 것으로 예측된다. 여기에 응용 가능한 대용량 광스위치 기술로는 현재 MEMS 액츄에이터(actuator)로 구동되는 미소 반사경

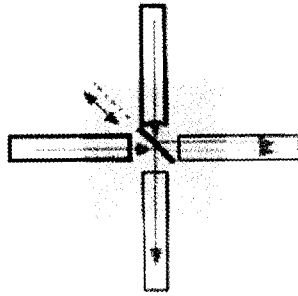
(micro mirror) 기술이 유일한 대안으로 제시되고 있다.

그밖에 파장선택이 가능한 ADM (add/drop multiplexer), 증폭률 등화기(gain-equalizer), 파장가변형 레이저의 고성능화를 위하여 MEMS 기술을 이용한 광스위치, 가변 광감쇠기(VOA : Variable Optical Attenuator), 광필터 (tunable optical filter) 및 레이저의 파장 가변화 소자 등이 개발되고 있다.

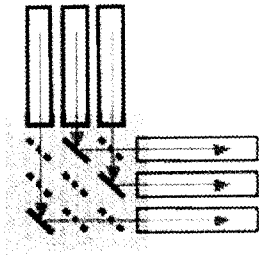
• 이 중 현 | 광주과학기술원 기전공학과, 부교수 / e-mail : jonghyun@kjst.ac.kr



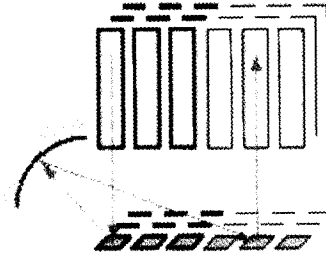
(a) pass/drop



(b) 2x2 bypass



(c) NxN 2-dim digital



(d) NxN 3-dim analog

그림 2 MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조

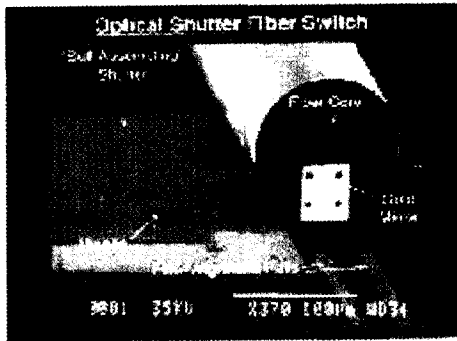


그림 3 직선이동 미러를 이용한 MEMS형 pass/drop 광스위치

MEMS형 광스위치 기술 분석

MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조는 그림 1 (a)~(d)과 같이 패스/드롭(pass/drop), 바이패스 (bypass), NxN 2-dim digital, NxN 3-dim analog 스위치의 네 가지로 나눌 수 있으며,

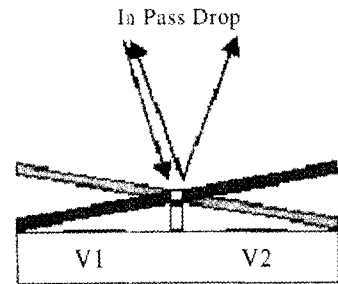
각 방법은 입력 및 출력 광섬유(optical fiber)의 갯수에 따라 구조가 변화된 것이다.

MEMS형 광스위치에서 빛의 방향을 변화시키는 스위칭 원리는 대부분 미소 반사경의 구동 기술을 사용하며, 반사경의 정밀한 이동을 위한 액츄에이터는 동일한 기관 위에 만들어진다. 여러 가지 구동방식 중에서 정전력 방식은 구동력이 작으나 제작의 용이성 및 낮은 소모전력의 장점을 가지고 있어 가장 많이 사용되고 있다. 그밖에 전자력(electro magnetic force) 또는 열(thermal) 구동 방식을 이용할 수 있으나 차폐 및 소모 전력 등에 대

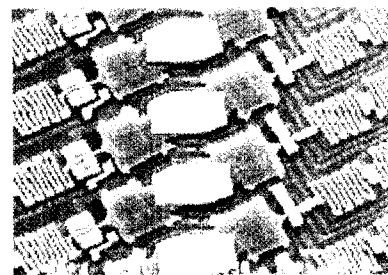
한 검토가 이루어져야 한다. 이하 본 장에서는 MEMS형 광스위치의 구조에 따른 기술 동향과 응용을 살펴 본다.

그림 2(a)의 Pass/drop 광스witch는 광신호를 다른 광섬유로 전달하거나 또는 같은 광섬유로 되돌리는 기능을 가지고 있으며, 파장선택형(wavelength selectable) ADM 모듈의 스위칭 소자로 사용된다. 작동 원리는 그림 3과 같이 미소 반사경을 평행 이동하거나 그림 4와 같이 기울임으로써 다채널의 광신호의 방향을 변경한다.

그림 5는 실리콘으로 구현한 2x2 bypass 광스위치의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진으로서 반사경 1개로 광로를 변경하는 간단한 구조



(a)



(b)

그림 4 16 channel tilt mirror array(Bell lab.)

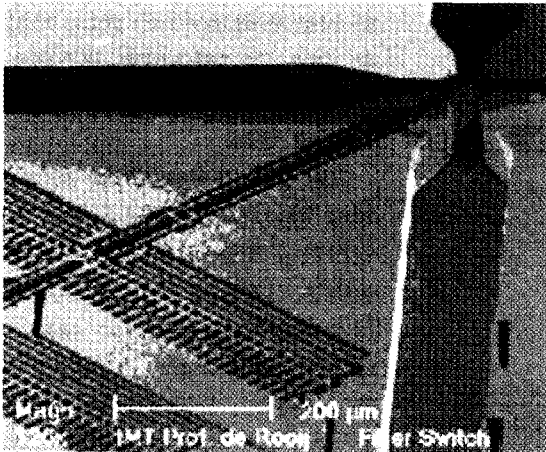


그림 5 광섬유 정렬용 홈(groove)과 수직 반사경을 가진 2x2 바이패스 광스위치의 SEM 사진

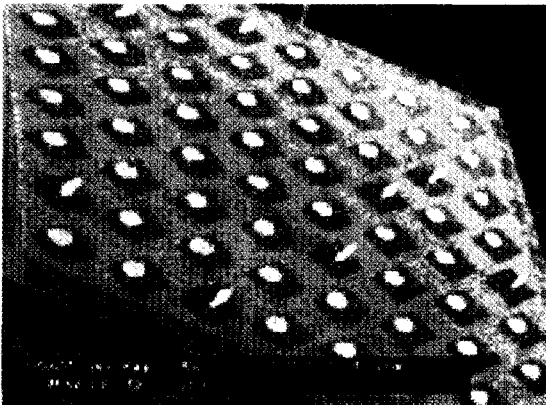


그림 6 8x8의 FS-MOS(Free Space Micromachined Optical Switch)

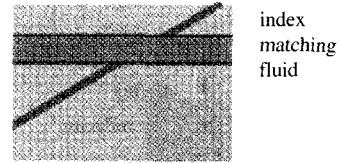
를 가지고 있으나, 액츄에이터가 작동된 상태에서 반사경의 두께로 인하여 옵셋(offset) 손실이 발생한다는 단점이 있다. 한편, 그림에서 광섬유의 간격을 줄임으로써 손실을 최소화하기 위하여 광섬유의 끝 부분을 가늘게 가공하였음을 보여준다.

다음은 OXC의 핵심 기술로서 파장, 데이터 전송률(data rate) 및 신호 규격(signal format)에 의존하지 않아 “광신호의 투명성(optically transparent)”을 가진

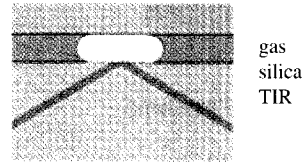
MEMS형 광스위치 기술을 살펴본다. OXC 광스위치의 핵심요소는 실리콘으로 만들어진 미소 반사경(micromachined mirror) 소자이며, 주요 기능은 입력 광섬유에서 나온 광신호를 미소 반사경에서의 반사를 이용하여 입의 출력 광섬유로 회전을 분배하는 것이다. 이 스위치는 전송을 위한 미소 반사경의 구조 및 구동 원리에 따라 다음 두 가지 종류로 나뉜다. 첫 번째는, 입력 및 출력 광섬유의 갯수를 각각 N 개라고 할 때, 그림 1(c)와 같이, 2차원으로 배열된

N^2 개의 미소 반사경을 on/off의 digital로 구동하는 방법이며, 다른 하나는 그림 1(d)와 같이, N 개의 반사경 2조를 analog 방식으로 구동하여 3차원으로 광신호를 전달하는 방법이다.

AT&T에서는 그림 6에 보인 바와 같이, 3-poly 이상의 실리콘 표면가공(surface micromachining) 기술로 제작된 미소 반사경



(a) Transmittance



(b) reflectance

그림 7 Bubble 구동을 이용한 matrix 광스위치

을 SDA(Scra-tched Drive Actuator)를 이용하여 수직으로 세움으로써 광경로를 변환하는 방법을 사용한다. 이 방식은 칩(chip) 위에서 간단하게 구현할 수 있다는 장점이 있으나, 2차원의 긴 광경로(optical path) 때문에 포트(port) 수에 한계가 있으며, 현재 단일 칩으로는 최대 32 포트까지 가능할 것으로 예측되고 있다.

Agilent와 NTT에서는 2차원 반사경의 on/off 개념과 동일하나, 그림 7과 같이, 마이크로 채널(micro channel) 안에 유체를

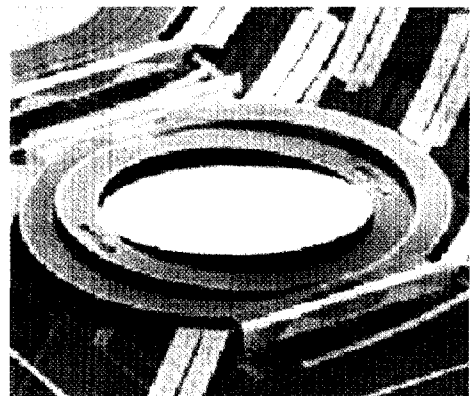


그림 8 2-axis 짐발을 갖는 3차원 OXC용 미소반사경의 구조(Lucent)

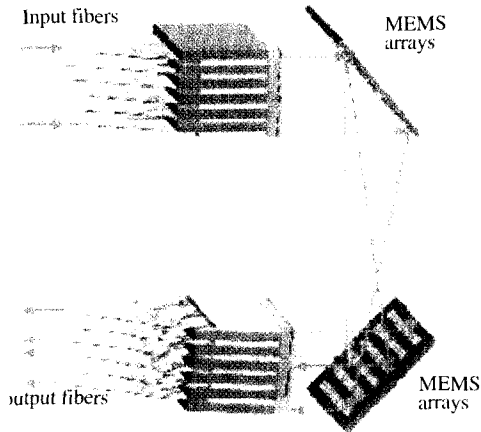


그림 9 3차원 analog 구동을 이용한 OXC 스위치의 구조 (OMM)

밀어 넣었을 때 굴절률이 정합되어 광이 투과하는 스위치를 구현하였다. 반대로 기포부분이 들어오면 전반사를 일으켜 광신호는 투과하지 못하고 다른 도파로(waveguide)로 전달된다. 이 방법은 마찰 구동이 아닌 유체의 이동이므로, 마모로 인한 성능의 열화는 적을 것이나 삽입 손실 증가 및 제작의 어려움이 예상된다.

그림 8에는 대용량 OXC 스위치용으로 Lucent(현재는 Agere systems)에서 개발한 3차원 매트릭스(matrix) 스위치의 구조를 보였다. 이 방식은 미소 반사경을 이용하여 광경로를 변경시

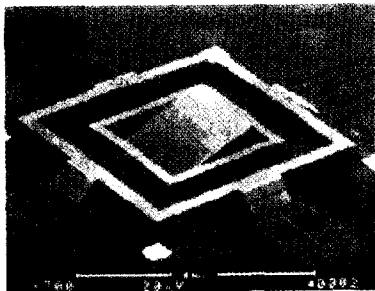


그림 10 SDA에 의한 부양 (OMM)

킨다는 면에서는 2차원 di-gital 방식과 유사하나, 필요한 반사경수가 $2N$ 개로서 포트수가 많아질수록 제어해야 하는 반사경의 수가 현격하게 줄어든다. 그림 9에 보인 각 미소 반사경은 두 개의 짐발(gimbal)에 연결된 N 개의 반사경 array 2

조로 구성되어 있으며, 임의의 신호 전달을 위하여 각 반사경의 각도가 2차원으로 제어된다. 이 방식은 광경로의 차이가 크지 않기 때문에 1,000 개 이상의 포트를 가진 OXC 스위치의 경우에도 높은 균일성(uniformity)으로 인하여 6dB 이하의 삽입 손실이 예상된다. 그러나 이 기술의 상용화를 위해서는 복잡한 3차원 광섬유 정렬(fiber alignment) 기술 및 채널사이의 비차폐(nonblocking) 구동 알고리즘(algorithm)

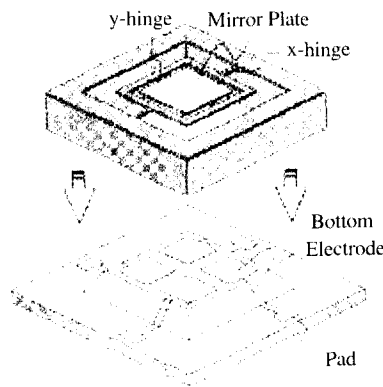


그림 11 반사경 회전각 확보를 위한 air gap 형성방법 (LG)

등이 해결되어야 한다.

이와 같은 미소 반사경의 작동에 있어서 일정각도 이상을 회전하게 하려면, 반사경과 바닥면사이의 거리를 확보하여야 한다. Lucent에서는 그림 8에 보인 바와 같이, 반사경을 제조한 후 두 재료사이의 경계면에서 발생하는 잔류 응력(residual stress)에 의해 반사경에 부착된 힌지가 회전되면서 자체 부양되는 자체 조립(self assembly) 공정을 개발하였다. 그림 10은 OMM이 개발한 기술로서, 정전력 및 마찰력을 이용한 4방향의 SDA(Scratch Drive Actuator)를 이용하여, 반사경을 부양시키는 방식을 보여준다. 이 방식에서는 미세한 단위 구동을 누적하면 두 개의 힌지가 회전하면서 반사경이 바닥면으로부터 부양되며, 이로써 미소 반사경의 2차원의 구동각을 확보할 수 있다.

한편, LG에서는 그림 11과 같이, 반사경 및 구동회로를 상부 기판 위에 제작하고, 백에치(back etch) 방법으로 반사경의 아래면을 제거한 후, 별도로 제작한 하부 기판과 결합하는 방식을 개발하였다. 이 방식은 습식 식각으로 제작된 두 기판을 결합하면 자동

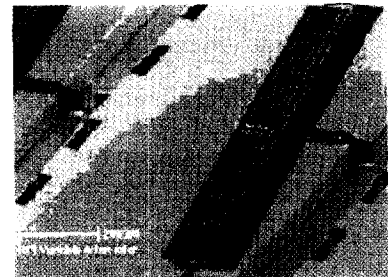


그림 12 MEMS형 광감쇠기

적으로 정렬이 되며, 하부 기판의 식각 높이 혹은 상부 기판의 두께 조절 등으로 반사경과 바다 전극 간의 간격을 결정할 수 있다.

MEMS형 가변 광감쇠기

광 네트워크(optical network)에서 광원과 광증폭률의 불균일, 전송거리의 장단에 따른 전송 손실의 차이, 광섬유 접속부의 수, 광분기 결합수와 성능에 따라 광신호의 크기가 일정하지 않을 수 있다. 이 경우, 검출기의 포화 또는 채널사이의 혼신율(crosstalk) 문제로 인한 전송신호의 오

차가 발생하며, 이 문제를 해결하기 위하여 가변형 광감쇠기(VOA : Variable Optical Attenuator)가 필요하다. 이와 같은 가변형 광감쇠기에 나이프 엣지(knife edge)의 위치를 정밀하게 조절하여 광신호의 크기를 제어하는 MEMS 기술을 응용할 경우, 사용 파장에 따라 감쇠량이 변하지 않는다는 장점과 함께 높은 안정성을 얻을 수

MEMS형 파장가변 광필터

있다. 그림 12의 광감쇠기는 정전형(electrostatic) 콤(comb) 구동기를 이용한 것으로, 광스위치에서 사용되는 미소 반사경의 연장선상에 있는 기술을 사용한 것이다. 삽입손실과 최대 감쇠량은 각각 1.5dB와 57dB이며, 나이프 엣지는 광축과 8(기울어져 후면 반사(backreflection)를 최소화하고 있다. 그밖에 일정 두께의 박막을 구동하는 방식이 있으나 파장의존성을 가지고 있다.

파장가변형 필터 및 레이저 기

상의 반사율이 가능한 1/4 파장의 박막 DBR (distributed Bragg Mirror)로 구성하였다. 사용된 재료는 AlAs(AlOx)-GaAlAs이며, 선폭 0.5 nm에서 파장가변 범위가 59 nm에 이른다.

유사한 원리를 이용한 다른 예로는, 외부 공진기(external-cavity)를 갖고 있는 반도체 레이저의 파장 변경을 위하여 미소 반사경의 위치를 정전력 구동의 콤 액추에이터로 조정하는 MEMS 기술을 들 수 있으며, 그림 14에 관련 소자의 구조를 보였다.

그밖에 변조기(modulator), 분산보상기(dispersion compen-



그림 13 에어 브릿지형 광필터의 구조

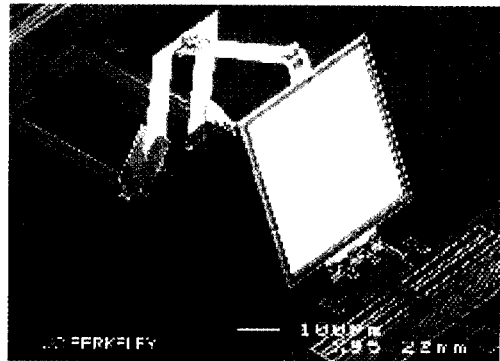


그림 14 레이저의 파장가변을 위한 미소 반사경 및 MEMS 액추에이터

차는 발생하며, 이 문제를 해결하기 위하여 가변형 광감쇠기(VOA : Variable Optical Attenuator)가 필요하다.

이와 같은 가변형 광감쇠기에 나이프 엣지(knife edge)의 위치를 정밀하게 조절하여 광신호의 크기를 제어하는 MEMS 기술을 응용할 경우, 사용 파장에 따라 감쇠량이 변하지 않는다는 장점과 함께 높은 안정성을 얻을 수

는 WDM 광통신의 핵심 요소 기술이나, 기존의 방법에서는 5~8nm의 선폭조절에 머무르고 있다. 최근 FP(Fabry Perot) 간섭을 응용한 MEMS형 광필터가 개발되어, 보다 좁은 선폭과 넓은 파장의 가변특성을 얻고 있다.

그림 13은 에어 브릿지(air bridge)를 이용한 파장가변형 광필터의 구조를 보인 것으로, 높은 성능을 얻기 위하여 99.65% 이

sator), 지연 소자(delay line) 및 광섬유 능동정렬 등 MEMS 기술의 다른 응용 예가 많이 있다.