

1. 머리말

농경사회의 지식은 말이나 글로 전수되었으며, 산업화사회에서는 과학기술과 관련된 많은 발견과 발명으로 전문지식인이 대우를 받는 시대가 되었다. 최근 정보통신 사회에 이르러 서로 다른 지식 및 정보의 결합으로 새로운 연구분야가 대두되고 있으며, 과학 기술 분야에서도 기계공학, 전자공학, 광학 및 반도체 기술이 결합된 초소형 정밀기계 기술(MEMS : micro electro mechanical systems)에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근, MEMS 기술의 새로운 도전 분야의 하나는 광통신 기술의 발전과 더불어 더욱 고성능이 요구되는 WDM(wavelength division multiplexing) 광통신용 부품 기술이다. 그림 1에 보인 바와 같은 광 네트워크의 원활한 운영을 위해서는 핵심 기능이 optical layer에서 이루어지는 OXC(optical cross connect) 시스템의 역할이 더욱 중요해진다.⁽¹⁾ 여기에 응용 가능한 대용량 광스위치 기술로서는 현재 MEMS actuator로 구

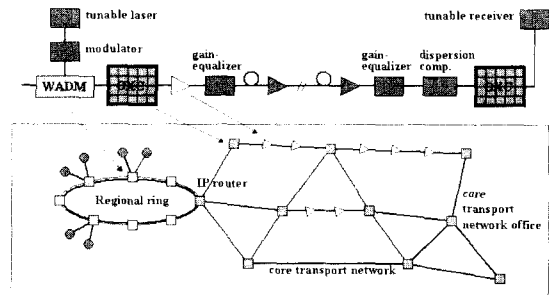


그림 1 MEMS 기술의 광통신 네트워크에의 응용
[Optical MEMS 2000]

동되는 미소 거울(micro mirror) 기술이 유일한 대안으로 제시되고 있다.⁽²⁾ 그밖에 wavelength-selectable add/drop multiplexer,⁽³⁾ gain-equalizer, 파장가변형 laser 등의 고성능화를 위하여 MEMS 기술을 이용한 광스위치와 가변 광감쇠기(VOA : variable optical attenuator) 등의 수동 소자가 많이 응용되고 있다.

이 글에서는 최근 인터넷의 폭발적인 수요로 인하여 표 1에 보인 광대역 광통신 부품의 고성능화 및 저가격화의 필요성이 제기되면서, 이 분야의 새로운 견인차 역할을 맡고 있는 광통신 MEMS 소자의 구조 및 진동 특성을 분석한다.

* E-mail : jonghyun@kjist.ac.kr

표 1 광통신용 회로 스위칭 기술 및 특성 비교

Switch	Fiber connect	Thermo-optics	Liquid crystal	MEMS
Loss	low	low	high	low
Crosstalk	small	large	large	small
Speed	ms ~ s	μ s	μ s	~ 0.1 ms
WDL	none	large	large	none
PDL	none	large	large	none
Latch up	possible	none	none	possible
Cost	high	med.	high	low

* WDL : wavelength dependent loss
PDL : polarization dependent loss

2. MEMS형 광스위칭 기술

MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조는 그림 2(a)~(d)와 같이 pass/drop, bypass, $N \times N$ 2-dim digital, $N \times N$ 3-dim analog 스위치의 4가지로 나눌 수 있으며, $1 \times N$ 는 $N \times N$ 과 구조가 유사하므로 여기에 포함시켜 생각한다. 광스위치에 대한 각각의 구조는 입력 및 출력 광 파이버(fiber)의 갯수에 따라 변화된 것으로, 응용 광모듈의 특성과의 밀접한 관계를 가진다.

MEMS형 광스위치에서 빛의 방향을 변화시키는 스위칭의 원리는 대부분 금속이 증착된 미소 반사경의 구동 기술을 사용하며,⁽⁴⁾ 다중반사 현상을 응용한 MARS (mechanical anti-reflection switch) 기술을 사용하는 경우도 있다. 반사경의 정밀한 이동을 위한 구동구조체(actuator)는 같은 기관 위에 만들어진 후 희생층의 제거를 통하여 만들어지며,⁽⁵⁾ 구동력으로는 정전력, 전자기력 및 열(thermal) 방식 등이 이용된다.

먼저, 정전력 방식은 구동력은 작으나 재현성 및 차폐효과가 우수하여 가장 많이 사

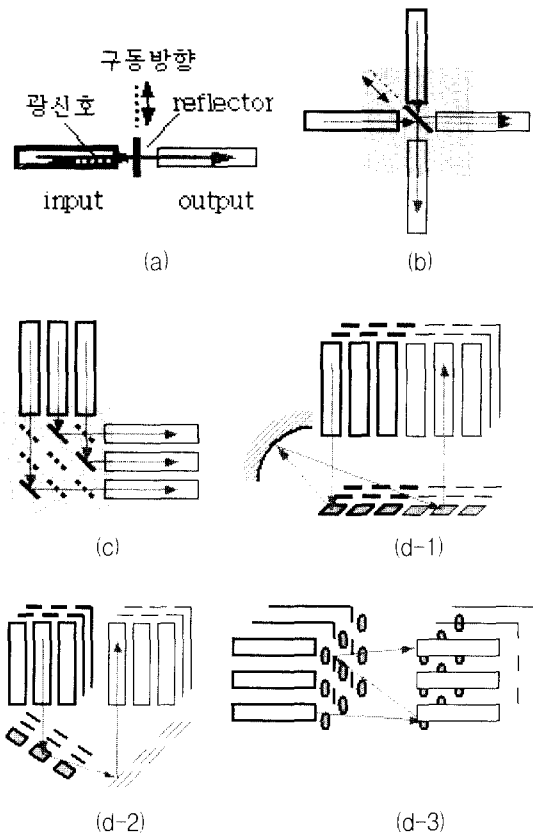


그림 2 MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조, (a) pass/drop, (b) 2×2 bypass, (c) $N \times N$ 2-dim digital, (d) $N \times N$ 3-dim analog 광스위치의 3가지 형태.

용되고 있으며, 현재 angstrom 단위까지 제어가 가능하여 양산에서 제일 적합한 구동 방법으로 고려되고 있다. 전자기력(electromagnetic force)을 이용하는 방법은 선형적으로 큰 힘을 낼 수 있는 반면, 제작이 어렵고 hysteresis 특성이 있다는 단점이 있으며, 특히 외부로부터의 차폐를 고려하여야 한다. 열구동 방식은 bubble jet 또는 열탄성(thermoelastic)의 원리를 이용한 것으로, 소모 전력이 크다는 문제점이 있으나,

latch-up 구동을 통하여 어느 정도 이를 해소할 수 있다.⁽⁶⁾ 이하 본 장에서는 MEMS 형 광스위치의 구조에 따른 기술 동향과 응용에 대하여 살펴 본다.

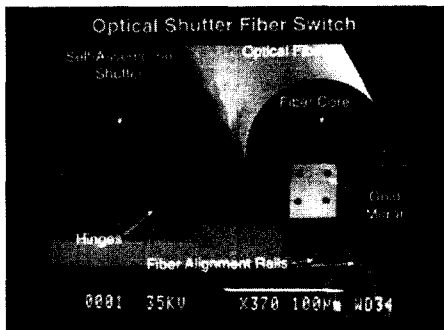
2.1 Pass/drop Optical 스위치

이 스위치는 광신호를 다른 회이버로 그대로 전달하거나 또는 같은 회이버로 되돌리는 기능을 가지고 있다. 작동 원리는 그림 3(a)와 같이 미소 반사경을 평행 이동하거나 그림 3(b)와 같이 기울임으로써 광신호의

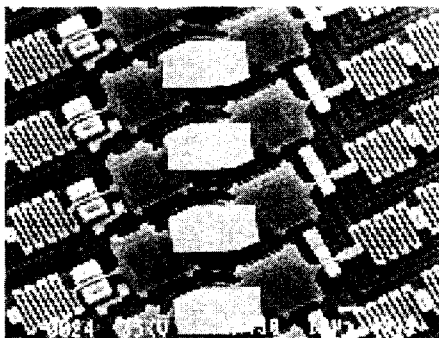
방향을 변경한다. 이 경우에 16개 채널의 간격은 1.6 nm이며, pass 및 drop channel의 손실은 각각 7 dB와 12 dB, 그리고 pass/drop의 contrast는 15 ~ 20 dB 정도이다.⁽³⁾

2.2 2×2 Optical Bypass 스위치

이 스위치에는 그림 4에 보인 바와 같이, 광신호를 서로 어긋나게 보내는 reflection (또는 bypass)과 그대로 진행하는 transmission mode의 2가지가 있으며, 4개의 마이크로 반사경을 사용한다. 그림 5에 실제



(a)



(b)

그림 3 미소 거울의 구동을 이용한 pass/drop 스위치. (a) 반사경을 평행 이동하는 경우 (Bell lab.), (b) 16 ch의 반사경을 기울이는 경우⁽³⁾

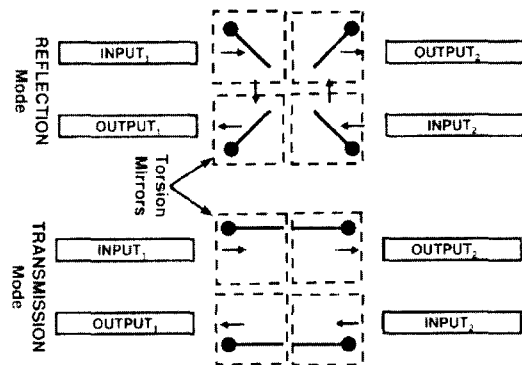


그림 4 2×2 bypass 스위치의 reflection 및 transmission mode⁽⁷⁾

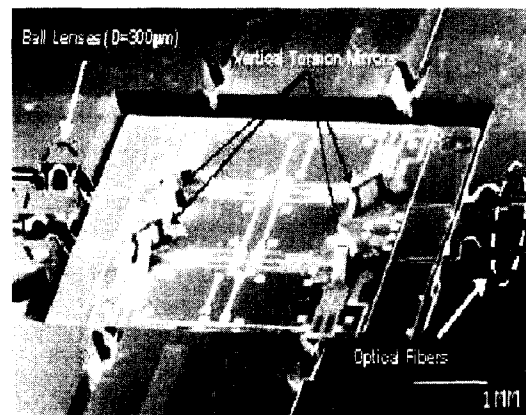


그림 5 수직 거울의 비틀림 회전을 이용한 2×2 FDDI용 광스위치⁽⁷⁾

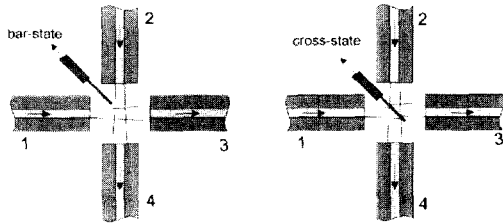


그림 6 수직 거울 1개의 수평이동을 이용한 2x2 bypass 광스위치의 원리

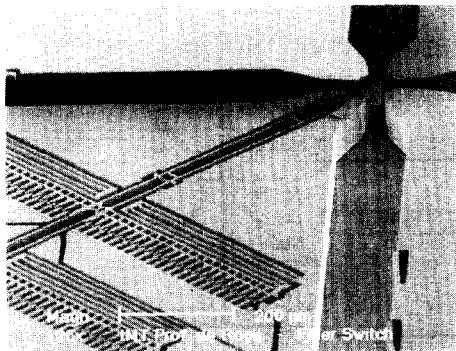


그림 7 끝이 가늘게 가공된 광화이버를 정렬하기 위한 groove와 수직 거울의 SEM 사진⁽⁸⁾

제작된 소자의 SEM 사진을 보였으며, 스위칭 속도는 1 ms이고, collimation lens를 사용하는 경우, 1 mm의 거리에서 2.5 dB의 손실을 보인다.

그림 6은 1개의 반사경을 이용한 2x2 bypass 스위치로서, 그림 5의 bypass 광스위치와 동일한 기능을 수행할 수 있다.⁽⁸⁾ 다만, cross state의 광스위치에 있어서 반사경의 두께로 인하여 화이버 2, 3번 사이에 offset이 발생한다는 단점이 있다. 이로 인하여 추가적인 1 dB의 손실이 발생하며 전체적으로는 최고 2.8 dB의 손실 특성을 가진다. 그림 7은 그림 6의 구조를 실리콘으로 구현한 소자의 SEM 사진으로, 화이버의 간

격을 줄임으로써 손실을 최소화하기 위하여 화이버의 끝 부분을 가늘게 가공하였음을 보여준다.

2.3 N x N Scaleable 광스위치

MEMS형 OXC 스위치의 핵심 요소는 실리콘으로 만들어진 미소 거울(micro-machined mirror) 소자이며, CMOS 공정기술로 제작된 실리콘 구조층에 금속 박막을 입혀 사용한다. OXC 스위치의 주요 기능은 입력 화이버에서 나온 광신호를 collimating lens와 미소 거울을 이용하여 임의의 다른 화이버로 회선을 분배하는 것이며, 전송을 위한 미소 거울의 구조 및 구동 원리에 따라 다음의 2가지 종류로 나뉜다.

첫번째는, 입력 및 출력 화이버의 갯수를 각각 N개라고 할 때, 그림 2(c)와 같이 2차원으로 배열된 N^2 개의 미소 거울을 on/off의 digital로 구동하여 임의의 입력 화이버로부터 임의의 출력 화이버로 광신호를 연결하는 방법이다.⁽²⁾ 다른 하나는 그림 2(d)와 같이, N개의 반사경 2 set을 analog 방식으로 구동하여 N개의 2차원 위치를 맞춤으로써 3차원으로 광신호를 전달하는 과정을 이용한다.⁽⁹⁾ 이러한 기술을 연구하고 있는 기관으로는 Lucent, Xros, HP 및 NTT 등이 있으며, 여기에서는 MEMS형 OXC 스위치 기술 분석과 함께 관련 기술동향을 파악하고자 한다.

(1) 2-dim digital OXC 스위치

먼저, AT&T에서는 그림 8에 보인 바와 같이, 3-poly 이상의 실리콘 표면가공(surface micromachining) 기술로 제작된 미소 거울을 SDA(scratched drive actuator)를 이용하여 수직으로 세움으로써

광경로를 변환하는 방법을 사용한다.⁽²⁾ 이와 같은 digital 구동 방식은 dynamic add/drop, $1 \times N$ 스위치 및 customized mirror configuration을 chip위에서 간단하게 구현할 수 있다는 장점이 있으나, 2차원의 광로 (optical path) 때문에 scaling up에는 한계가 있다. 즉, port 수에 비례하여 광 경로가 커지므로 collimator와 반사경의 정렬 오차에 대한 규격이 매우 엄격해지며, 그림 9에 보인 바와 같이, 6 dB 정도 삽입 손실을 기준으로 할 때 단일 chip으로는 32

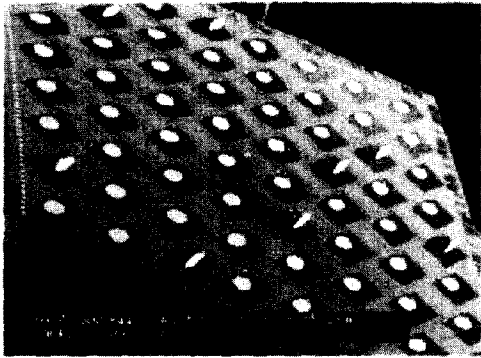


그림 8 8x8의 FS-MOS free space micromachined optical switch⁽¹²⁾

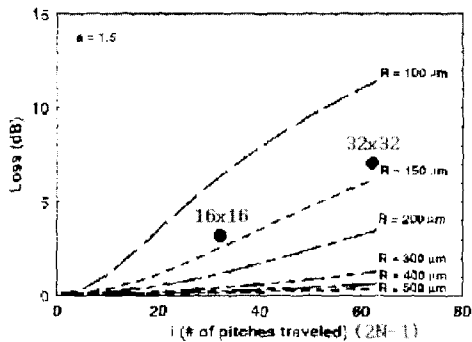


그림 9 반사경의 크기 및 갯수에 따른 삽입 손실 예측 (a)는 반사경의 반경과 Gaussian beam waist의 비율이며, N은 입력 또는 출력 화이버의 개수임⁽¹²⁾

port가 최대일 것으로 판단된다. 2차원 digital 구동 방식에서 발생하는 삽입손실의 주요 원인은 collimating lens의 coupling loss, Gaussian beam의 전파에 따른 반산, 반사경의 각도 오차 등에 기인하며, 현재까지 16x16 스위치에서 4 dB 이하의 삽입 손실을 보이고 있다. 이 방법은 100볼트, 500 MHz의 구동전압이 별도로 필요하며, 또한 거울의 위치 및 각도 오차가 광 경로에 큰 영향을 주기 때문에 정확한 위치 결정을 위한 피드백(feedback) 제어가 필요하다.

이와 함께, 2차원 반사경의 on/off 개념과 동일하나, 반사경의 구조 및 구동 방법이 전혀 다른 연구도 진행되고 있다. 그림 10과 같이, IIP(현재의 Agilent)와 NTT에서는 micro channel 안에 유체를 밀어 넣었을 때 굴절률이 정합되어 광이 투과하는 스위치를 구현하였다.⁽¹⁰⁾ 반대로 기포부분이 들어오면 전반사를 일으켜 광신호는 투과하지 못하고 다른 waveguide로 전달된다. IIP의 스위치는 bubble inkjet와 같은 원리로 구동되며,

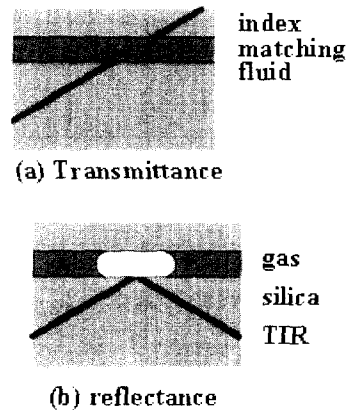


그림 10 Bubble 구동을 이용한 matrix 광스위치, (a) Transmittance, (b) Reflectance⁽¹⁰⁾

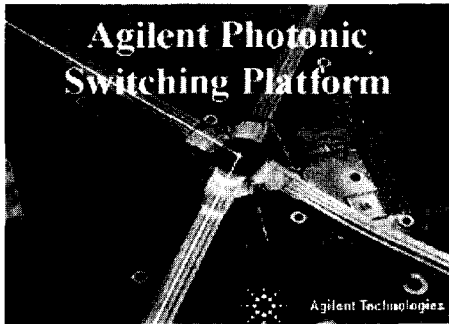


그림 11 실리콘 히터가 부착된 trench 구조를 갖는 PLC(planar lightwave circuit)형 bubble 광스위치⁽¹⁰⁾

trench당 0.1 dB, 화이버 사이에는 3.2 dB, 그리고 32×32에서는 6 dB 이상의 삽입 손실이 예측된다. 그림 11에 matrix bubble 스위치의 구조를 보였으며, 이 방법은 마찰 구동이 아닌 유체의 이동이므로, 마모로 인한 성능의 열화는 적을 것이나 삽입 손실 증가 및 제작의 어려움이 예상된다.

(2) 3-dim analog OXC 스위치

그림 2(d-1)와 12는 대용량 OXC 스위치로 사용하기 위하여 Lucent (현재는 Agere systems)에서 개발하고 있는 3차원 matrix 스위치의 전체적인 구조를 보인 것이다.⁽¹¹⁾ 이 소자의 작동 방법은 미소 반사경을 이용하여 광경로를 변경시킨다는 면에서 2차원 digital 방식과 그 원리가 매우 유사하나, 필요한 거울수가 2 N개로서 port 수가 많아질수록 제어해야 하는 반사경의 수가 현격하게 줄어든다는 특성이 있다. 그림 13에 보인 바와 같이 이 방법은 2개의 gimbal에 연결된 N개의 반사경 array 2 set으로 구성되어 있으며, 임의의 신호 전달을 위해서는 각 거울이 2차원으로 N개의 위치제어가 가능하여야 한다.

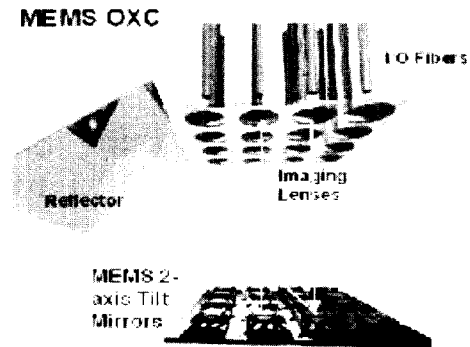


그림 12 3차원 analog 구동을 이용한 Lucent OXC 스위치의 구조⁽¹¹⁾

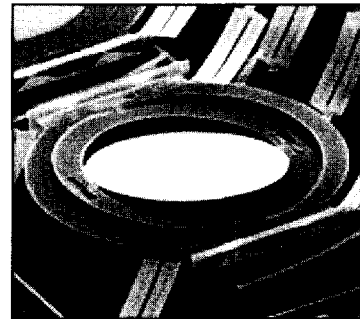


그림 13 2axis gimbal 구조를 갖는 Lucent의 3차원 OXC용 미소거울의 구조⁽¹¹⁾

반면에 이 방식은 scale up에 따라 광경로의 차이가 크지 않다는 장점이 있어서, 1000개 이상의 port를 가진 OXC 스위치의 경우에도 높은 uniformity로 인하여 6 dB 이하의 삽입 손실이 예상된다. 그러나 장기간의 안정한 구동을 위해서는 closed loop 제어의 analog 구동과 함께 3차원 alignment 기술 개발이 뒤따라야 한다.

한편, Xros에서도 2000년에 3차원 analog 방식의 OXC 스위치 기술을 개발 중이라고 발표하였다.⁽¹²⁾ Lucent 기술과의 차이는, 그림 2(d-2)의 가운데에 보인 바와 같이, N개의 반사경으로 이루어진 2개의 반사경 set

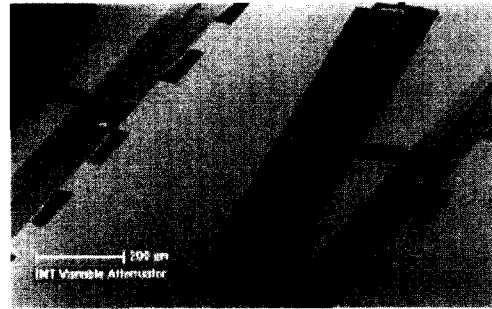
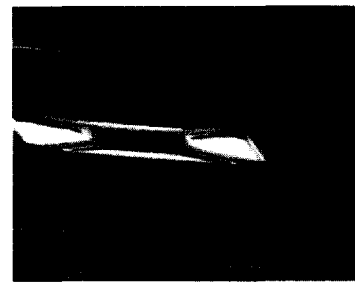
표 2 3차원 digital 구동을 이용한 Xros OXC의 목표규격⁽¹²⁾

Specifications	Typical	Max.
Switching speed	< 2.5 ms	< 5 ms
Insertion loss	< 1.8 dB	< 3.0 dB
Crosstalk	< -60 dB	< -55 dB
Uniformity	0.2 dB	0.5 dB
Back reflections	< -55 dB	< -52 dB
PDL	< 0.1 dB	< 0.15 dB
PDL uniformity	< 0.05 dB	< 0.1 dB

이 같은 평면 위에 있지 않다는 점이다. 따라서 별개의 reflector를 필요로 하지 않는 대신, 반사경의 정렬이 상대적으로 어려워진다는 단점이 있다. 표 2는 해당 OXC 스위치에 대한 목표 규격으로, 스위칭 용량에 비하여 삽입 손실이 상당히 작다는 특징이 있다. 그밖에 그림 2(d-3)의 오른쪽과 같이 반사경 set이 서로 마주보도록 배치하는 경우 구동 미러의 회전각 범위와 화이버의 정렬 면에서 유리하다는 것을 알 수 있다. 한편, 이 기술의 상용화를 위해서는 복잡한 3차원 광섬유 정렬(fiber alignment) 기술 및 채널 사이의 비차폐(non-blocking) 구동 알고리즘(algorithm) 등이 선결되어야 한다.

3. MEMS형 광감쇠기 기술

Fiber-optic network에서 source power와 광증폭률의 불균일성으로 인하여 광신호의 크기가 일정하지 않을 경우, 검출기의 포화 또는 채널사이의 crosstalk 문제로 인한 전송신호의 오차가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 광감쇠기가 필요하며, MEMS 기술을 이용한 가변형 소자는 knife edge의 위치를 정밀하게 조절하여 광신호의

그림 14 MEMS 기술을 이용한 가변형 광감쇠기의 SEM 사진⁽¹³⁾그림 15 Modulator 개념을 이용한 X형 VOA의 SEM 사진⁽¹⁴⁾

크기를 제어하는 방법을 이용한다. 그림 14의 광감쇠기는 정전형(electrostatic) comb 구동기를 이용한 것으로, 광스위칭에서 많이 사용되는 미소 반사경 기술의 연장선상에 있는 기술을 사용하였다. 여기서 knife edge가 광축과 8° 기울어지게 하여 -37 dB의 작은 backreflection을 얻었으며, 또한 삽입 손실과 최대 감쇠량은 각각 1.5 dB와 -57 dB의 특성을 보인다.⁽¹³⁾

이와는 달리 MARS 개념을 이용한 VOA 기술도 보고되고 있다. 그림 15는 평판형의 air gap 간격이 조절되는 다중 반사를 응용한 VOA로서 최대 31 dB의 감쇠를 얻고 있다.⁽¹⁴⁾ 또한 그림 16으로부터 전체 삽입손실은 1550 nm에서 3 dB, PDL(polarization

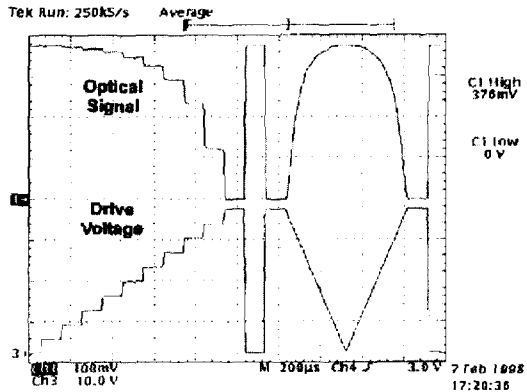


그림 16 구동전압(lower trace)에 대한 광감쇠기의 특성⁽¹⁴⁾

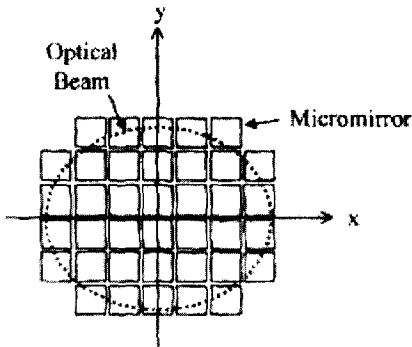


그림 17 광스위치를 이용한 programmable 광감쇠기의 구조⁽¹⁵⁾

dependent loss)은 0.06 dB 이하임을 알 수 있다. 반응속도는 1.1~2.8 us로서 비교적 빠른 편이지만, 파장에 따라 다른 입력 전압을 사용해야 한다는 단점이 있다. 그밖에 그림 17에 보인 바와 같이, 여러 개의 미소 반사경을 이용한 programmable 광감쇠기에 대한 연구도 진행되고 있다. 여기에 구체적으로 소개된 광소자 외에도 파장가변형 필터,⁽¹⁶⁾ modulator, dispersion compensator, delay line, 파장가변형 laser, active alignment⁽¹⁷⁾ 등 다른 응용예가 많이 있다.

656 · 한국소음진동공학회지 · 제11권 제6호, 2001년

4. 광 MEMS 소자의 진동특성

4.1 MEMS 광소자의 진동 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, 그림 18에 광감쇠기에 사용된 정전 구동형 마이크로 액추에이터의 특성을 보였다. 그림에서 보인 바와 같이 90%를 기준으로 한 반응시간은 1 msec 이하로서 critical damping 응답 특성을 가진 것을 알 수 있다. 마이크로 액추에이터의 감쇠계수는 사용된 index matching oil의 점성도

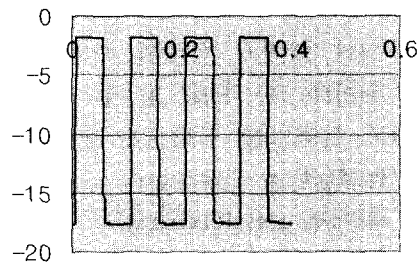


그림 18 광감쇠기의 step input에 따른 광출력 응답 곡선(x축 [sec], y축 [dB])

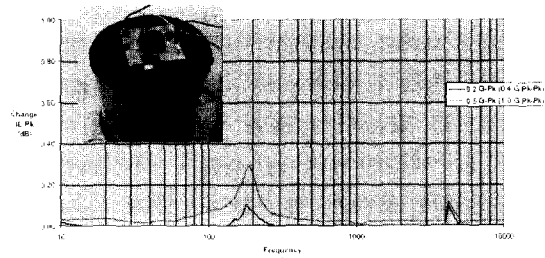


그림 19 외란에 대한 matrix 광스위치의 운용중 진동특성⁽¹⁸⁾

(viscosity)에 따라 결정되므로 이에 대한 적절한 설계가 요구된다.

외부 진동에 따른 삽입 손실의 변화 시험은 시편의 X, Y, Z축 방향으로 인위적으로 가지는 방법을 이용한다. 가진 신호는 10 Hz ~ 10 kHz 범위 내에서 sine 형태를 가지며, G(중력가속도) 단위의 peak-to-peak 값으로 측정된다. 그림 19에 나타난 바와 같이, Z축에 대한 진동에 가장 민감한 변화를 보이며, 이때 삽입손실의 변화량은 약 0.3 dB 이하를 나타내고 있다.⁽¹⁸⁾ 외부 충격에 대한 강인도는 각 방향에 대하여 shock tester를 이용한 충격 시험을 통하여 확인할 수 있다. 이에 대한 보편적인 요구규격은 500 G 이하에서 성능 변화가 없어야 하며, 미세 거울은 3000 G까지 파괴가 일어나지 않아야 한다. 이 실험에서 shock에 의한 피로(fatigue)도 측정되며, 수십 회 이상의 반복 실험을 통하여 그 변화량을 측정한다.

4.2 Leaf Spring의 진동 및 구동특성

양단 구속 보 형태의 leaf 스프링을 갖고 기관에 대해 수평하게 진동하는 마이크로 공진 구조체는 내재된 비선형 진동 특성을 갖고 있어 특정 구동 주파수 범위 내에서 진동의 진폭에 도약 현상이 일어나는 불안정한 주파수 응답 특성을 갖는다.⁽¹³⁾ 이의 해석을 위하여 마이크로 공진기에 대한 집중 질량 모델에서 비선형 항을 모델링 하면 운동 방정식은 식 (1)로 표현된다.

$$\ddot{x} + \frac{b_{eq}}{m_{eq}} \dot{x} + \omega_c^2 x + \alpha x^3 = \frac{F_x}{m_{eq}} \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

한편, 탄성 변형을 하는 보는 휨 변형과 인장 변형의 합으로 표현되며, 비선형 항의 계수 α 는, 인장 변형을 진동 변위 x 에 대

해 직선 인장으로 가정하였을 때, $\alpha = \frac{E t_c w}{m_{eq} l^3}$ 로 나타낼 수 있다. 식 (1)은 x 가 증가할수록 스프링 상수가 커지는 경성 스프링을 나타낸 것으로 Duffing의 방정식으로 알려져 있다. 여기서 초기 가정해 $A \sin \omega t$ 를 대입하고 반복법을 이용하면, 다음과 같이 주파수 ω , 힘의 크기 F_x 및 진폭 A 와의 관계를 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{F_x}{m_{eq}} \right)^2 = \left[(\omega_c^2 - \omega^2) A + 0.75 \alpha A^3 \right]^2 + \left(\frac{b_{eq}}{m_{eq}} \omega A \right)^2 \quad (2)$$

그림 20은 식 (1), (2)로부터 계산된 진동의 진폭을 도시한 그림이다. 실제 비선형 공진 구조체의 주파수 응답 특성을 실험적으로 측정해 보면 주파수가 변화함에 따라 갑자기 진폭의 크기가 변하는 도약 현상이 A, B의 두 곳에서 발생한다. 주파수를 증가시킬 경우에는 A점에서 갑자기 진폭이 감소하

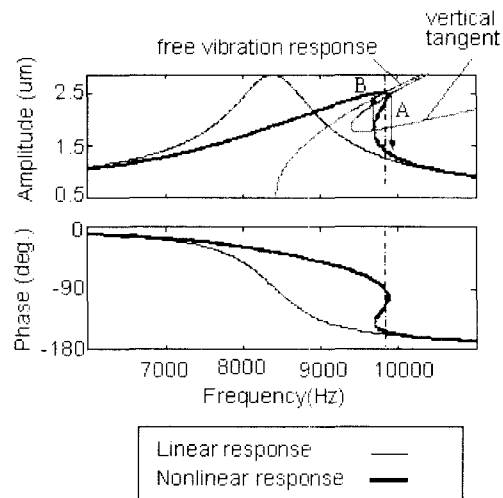


그림 20 양단 구속 leaf 스프링을 가진 미소공진체의 비선형 진동 특성

고, 주파수를 감소시킬 경우에는 B점에서 갑자기 진폭이 증가한다. 이러한 비선형성에 대한 동역학적 모델을 수립하면, 공진기의 불안정한 응답을 피할 수 있는 구동 영역을 선택하여 안정한 특성을 얻을 수 있으나 또는 비선형 공진 현상을 이용한 고감도 센서에 응용할 수 있다.

이번에는 광스위치의 latch-up 구동에 이용되는 arch beam 구조의 진동 특성을 분석해 본다.⁽⁶⁾ 초기의 빔 형태는 식 (3)으로

$$v_0(x) = h \sin^2\left(\frac{\pi x}{l}\right), \quad 0 < x < l \quad (3)$$

가정하였으며, l 과 h 는 각각 빔의 길이와 arch의 높이를 나타낸다.

그림 21에는 arch 구조를 갖는 실리콘 미립의 진동모드와 FEM으로 예측된 공진주파수를 도시하였다. 여기서 h 가 작을 때는 첫

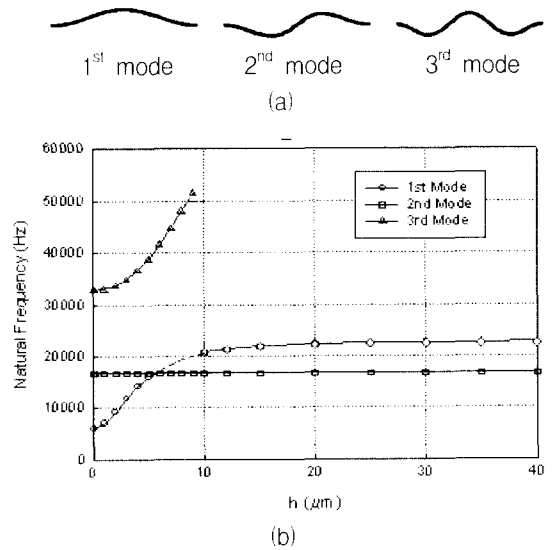


그림 21 폴리실리콘으로 제작된 arch형 leaf spring의 높이 (h)에 따른 진동모드의 특성 변화 (폭 = $\mu\text{m}3$, 길이 = 1600 μm , $E = 132$ GPa). (a) 진동 모드, (b) 공진주파수

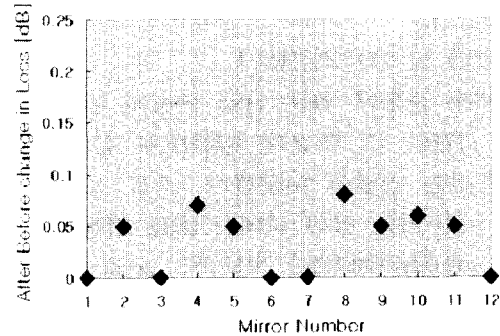


그림 22 마이크로 미러에 대한 가속 creeping 시험 후의 삽입손실 변화량⁽²⁰⁾

번째 공진모드의 주파수가 첫번째 공진모드보다 작지만, h 가 커짐에 따라 첫번째 공진모드의 주파수가 더 커지며 최종적으로 일정한 값에 도달함을 볼 수 있다. 또한 공진 주파수는 빔의 길이 l 에 반비례하며, arch의 높이가 10 μm 이상일 때의 첫번째와 두번째 공진주파수는 h 에 무관하게 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. 특히 두번째 공진모드의 주파수는 h 에 전혀 영향을 받지 않는다는 특이성을 가진다.

4.3 MEMS 광소자의 Creep 특성

진동특성과 직접적인 관련은 부족하지만, 광소자의 안정성을 확인하기 위해서는 creep 특성에 대한 시험이 요구된다. 그림 22에 그 측정 예를 보였으며, 10개 이상의 시편에 대하여 수주간에 걸쳐 동작 온도에서 요구되는 구동 범위에 대하여 연속적으로 실험하여 측정한다.⁽²⁰⁾ 이때 측정된 마이크로 미러의 반복 전과 후의 삽입손실 변화량이 0.1 dB 정도 이하이면 양호하다는 판단을 내릴 수 있다.

5. 맺음말

MEMS 광소자는 스위치, 감쇠기 및 필터

등 초기 연구단계에서, 이제는 OXC 스위치, add/drop, active equalizer 등 보다 상품 가치가 높은 모듈 개념의 연구단계로 넘어가고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 기술의 필요성에 맞추어 핵심 광소자인 matrix 광스위치와 가변형 광감쇠기에 대한 구조를 분석하고 현재까지 도달한 성능 및 특성을 기술하였다. 또한 MEMS 광소자를 설계할 때 고려해야 할 진동 특성으로서 마이크로 액추에이터의 damping 및 구동 특성과 외란에 의한 성능변화 등을 분석하였다.

현재까지는 광통신용 논리 소자가 충분히 개발되지 않았기 때문에 광소자의 특성이 통신 시스템의 성능에 영향을 줄 수 있다. 반면에 광통신 소자를 사용하는 시스템 개발자들이 가장 우려하는 점은 소자의 안정성이다. MEMS 연구자들은 기계적 미세한 구성요소가 움직이는데도 불구하고 본질적으로 성능과 안정성면에서 우수하다는 것을 인식하고 있지만, 현재까지 충분한 검증이 이루어지지 않은 상태이다. MEMS는 신기술인 반면 시스템 개발자는 일반적으로 보수적이기 때문에 MEMS 소자의 외란 및 구동 특성과 함께 발열 등에 의한 광소자의 특성 변화를 고려하여 설계하여야 한다.

후 기

본 연구는 과학기술부와 한국전자통신연구원에서 지원한 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Goldstein, E. L. et al., 2000, IEEE/LEOS, Int. Conf. Optical MEMS, pp. 27 ~ 28.
- (2) Lin, L. Y. et al., 1999, IEEE J. Selected Topics Quantum Electronics, Vol. 5, No. 1, pp. 4 ~ 9.
- (3) Ford, J. E. et al., 1999, J. Light-wave Technology, Vol. 17, No. 5, pp. 904 ~ 911.
- (4) Lee, J. H. et al., 2001, Proc. Optical MEMS 2001, Okinawa, pp. 127 ~ 128.
- (5) Lee, J. H. et al., 1998, Sensors & Actuators, A64, pp. 27 ~ 32.
- (6) Lee, J. H. et al., 1999, SPIE, Vol. 3876, pp. 274 ~ 279.
- (7) Huang, L. S. et al., 1998, SPIE, Vol. 3513, pp. 135 ~ 143.
- (8) Marxer, C. et al., 1997, J. MEMS, Vol. 6, No. 3, pp. 277 ~ 285.
- (9) <http://www.omminc.com/technology>
- (10) Fouquet, J. E. et al., 1998, Proc. IEEE LEOS, pp. 169 ~ 170.
- (11) <http://www.lucnet-optical.com>, 1999.
- (12) 25th OFC, Tutorial, p. 169(March 2000).
- (13) Marxer, C. et al., 1999, IEEE PTL, Vol. 11, No. 2, pp. 233 ~ 235.
- (14) Ford, E. et al., 1998, J. Lightwave Technol., Vol. 60, No. 9, pp. 1663 ~ 1670.
- (15) Ford, J. E. 1998, J. Lightwave Technol., Vol. 60, No. 9.
- (16) Le Dantec, J. R. et al., 1999, IEEE J. Selected Topics Quantum Electronics, Vol. 5, No. 1, pp. 111 ~ 114.
- (17) Ming, L. F. et al., 1997, Transducers, pp. 319 ~ 322.
- (18) <http://www.omminc.com/technology>
- (19) Hong, Y. S. 1998, Proc. KSPE, pp. 896 ~ 899.
- (20) Aksyuk, V. et al., 2001, Proc. Optical MEMS 2001, Okinawa, pp. 127 ~ 128.