

# 특 집

## MEMS의 기술 동향

김 용 권 교수  
서울대학교 전기공학부

### 1. 머리말

최근에 MEMS (Microelectromechanical Systems)라는 용어가 여러 학문 분야와 응용 분야에 자주 쓰이고 있다<sup>1)</sup>. MEMS 기술을 개략적으로 정의하면 아주 작은 기계 구조물을 제작해서 응용할 수 있는 모든 분야에 응용하는 것이라고 할 수 있다. 따라서, 꼭 이것은 MEMS 기술이고 이것은 MEMS 기술이 아니라고 정의할 수도 없고 그럴 필요도 없다. 중요한 것은 MEMS 기술은 응용 분야가 아니고 제작 기반기술이며, 여러 분야의 지식과 기술이 없이는 제대로 활용되는 MEMS 응용 제품을 제작할 수 없다.

본 기술해설에서는 MEMS에 대해서 간단히 소개하고, 제작 기술보다는 응용을 중점적으로 기술한다.

### 2. MEMS의 소개

MEMS (Microelectromechanical Systems)란 반도체 공정, 특히 집적회로 기술을 응용한 마이크로머시닝 기술을 이용하여  $\mu\text{m}$  단위의 초소형 센서나 액추에이터 및 전기 기계적 구조물을 제작 실험하는 분야이다. 마이크로머시닝 기술에 의하여 제작된 미세 기계는 mm 이하의 크기 및  $\mu\text{m}$  이하의 정밀도를 구현할 수 있다. 1970년대에는 반도체 제작 기술 및 주변회로를 내장한 집적화된 센서를 개발하기 시작하여, 1980년대 초반에는 스프링, 캔틸레버 등의 미세 기계 요소 등을 제작하였다. 1980년대 후반에는 마이크로 집게, 모터, 기어 등의 기관에서 분리된 미세 구조물을 제작하였으며, 1990년대에 이르러서는 센서, 논리회로 및 액추에이터가 집적화된 형태로 발전되고 있다.

마이크로머시닝 기술의 장점은 초정밀 미세 가공을 통하여 소형화, 고성능화, 다기능화, 집적화가 가능하며 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 것이다. 아울러,

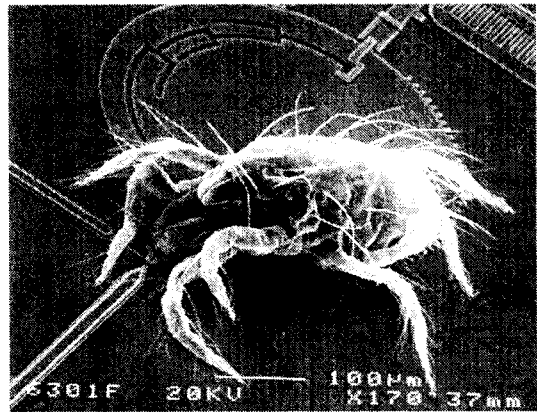


그림 1. MEMS 기술로 제작한 톱니바퀴

Fig. 1. Microfabricated Gear.

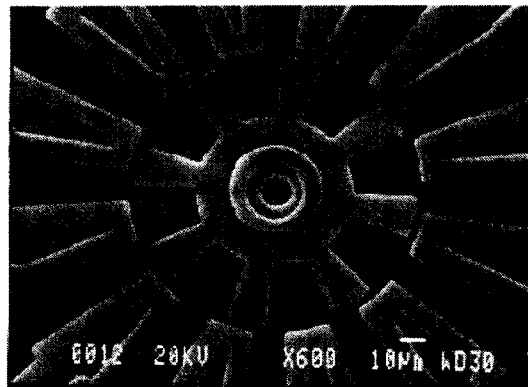


그림 2. MEMS 기술로 제작한 모터

Fig. 2. Microfabricated Motor.

일체화된 집적 시스템의 구현 가능으로 조립 필요성이 감소되며, 일괄공정으로 제작되므로 값싸게 양산할 수 있다. 그림 1은 미국 Sandia National Labora-

tories에서 제작된 마이크로 톱니바퀴 위에 진드기가 올라간 모습을 전자주사현미경으로 찍은 모습이다. 그림 2는 미국 MCNC MEMS Tehchnology Applications Center에서 제작한 마이크로 모터의 모습이다. 그림 1과 2에서 가운데의 톱니바퀴의 크기는 100 - 200  $\mu\text{m}$  정도이고, 이는 사람 머리카락 하나 또는 두 개의 굵기에 해당한다.

### 3. MEMS의 응용

현재 연구중인 응용 분야로는 자기 헤드, 프린터 헤드 등의 정보화 기기 분야, 세포 조작, 진단 및 수술, 인공장기 등의 의료기기 분야, 센서, 자율 제어 시스템과 같은 제어계측기기 분야, 광섬유 통신, 광 스위치, 가변 초점 거울, 마이크로 렌즈 등의 광학 기기 분야, 필터, 노즐, 밸브, 모터 등의 극소형 기계 등을 들 수 있다. 무인 우주선이나 미사일 등에 응용하는 우주 산업, 군수 산업 등에서의 중요도가 커지고 있으며, 자동차 및 각종 가전 제품으로의 응용은 이미 시작되었다. 표 1과 2는 유럽공동체 (EC, European Commission)의 NEXUS (Network of Excellence in Multifunctional Microsystems)가 1996년에 발간한 MEMS/MST(Micro System Technology) 보고서 중, 현존하는 MEMS 제품과 앞으로 출현할 MEMS 제품의 종류와 시장을 예측한 표이다. 표에서 관련 산업은 저자가 기입한 것이다. MEMS 현존하는 MEMS 제품은 MEMS 기술이 아니더라도 존재하는 제품이지만 MEMS 기술을 가미해 부가가치를 높인 제품이다. 앞으로 출현할 MEMS 제품은 기존 기술로는 제작하기 어렵고 MEMS 기술이 있어야만 생산이 가능한 제품이며, 이런 제품은 새로운 시장을 창출하며 높은 가격으로 판매할 수 있는 제품이다.

MEMS 기술은 표에서 열거한 정보, 통신, 자동차, 항공, 방위, 의료, 생명공학 등 다양한 산업 제품의 핵심기술이다. MEMS 기술로만 제작되어 응용되는 제품은 극히 일부이지만, MEMS 기술을 이용해서 제품의 기능을 향상시키거나 새로운 제품을 창출하는 예는 쉽게 들 수 있다. MEMS 기술은 다른 분야의 기술에 접목하여 커다란 상승효과를 낼 수 있는 기반기술이다.

이하, 화상 표시장치, 광통신, 정보저장장치, 밀리미터파 소자, Lab on a chip에 응용하기 위하여 연구된 사례를 간략히 소개하겠다.

표 1. 현존하는 MEMS 제품 시장

(단위: 날개-백만개, 시장-백만불)

	1996		2002		관련 산업
	날개	시장	날개	시장	
Hard disk drive heads	530	4,500	1,500	12,000	정보
Inkjet printer heads	100	4,400	500	10,000	정보
Heart pace makers	0.2	1000	0.6	3,700	의료
In-vitro diagnostics	700	450	4,000	2,800	의료
Hearing aids	4	1,150	7	2,000	의료
Pressure sensors	115	600	309	1,300	자동차 일반
Chemical sensors	100	300	400	800	안전 일반
Infrared imagers	0.01	220	0.4	800	방위 일반
Accelerometers	24	240	90	430	자동차 항공
Gyroscopes	6	150	30	360	자동차 항공
Magnetoresistive sensors	15	20	60	60	일반
Micro-spectrometers	0.006	3	0.150	40	측정
Totals		14,330		34,400	

표 2 앞으로 출현할 MEMS 제품 시장

(단위: 날개-백만개, 시장-백만불)

	1996		2002		관련 산업
	날개	시장	날개	시장	
Drug delivery systems	1	10	100	1,000	의료
Optical switches	1	50	40	1,000	광통신
Lab on chip (DNA, HPLC)	0	0	100	1,000	의료, 생명
Magneto optical heads	0.01	1	100	500	정보
Projection valves	0.1	10	1	300	가전
Coil on chip	20	10	600	100	통신, 일반
Microrelays	-	0.1	50	100	통신, 일반
Micromotors	0.1	5	2	80	일반
Inclinometers	1	10	20	70	일반
Injection nozzles	10	10	30	30	정보
Anti-collision sensors	0.01	0.5	2	20	자동차
Electronic nose	0.00	0.1	0.05	5	안전, 일반
Totals		107		4,200	

### 3.1 화상표시장치

크기가 수십  $\mu\text{m}$  인 마이크로 미러를 화상의 화소 수 만큼 제작해서 개별적으로 마이크로 미러를 구동하면 화상을 구성할 수 있다. 그림 3과 같이 마이크로 미러를 화소 수, SVGA급이면  $800 \times 600$  개를 제작한다. 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작하고 마이크로 미러의 재질은 알루미늄이다. 미러는 정전력 또는 압전력에 의해서 회전하거나 기울어진다. 그림 1은 정전력에 의해서 구동하는 텍사스 인스트루먼트사에서 개발한 마이크로 미러의 예<sup>[2]</sup>이다. 미러 판은 빛을 반사하고 미러 판 아래의 회전 스프링이 비틀어지면 미러 판이 이에 의해 기울어진다. 이에 따라 그림 4와 같이 미러 판에 반사한 빛의 경로가 바뀌며, 스크린에 한 점이 밝게 되며 각 미러들을 제어하면 화상을 이루게 된다. 현재 마이크로 미러 어레이를 이용한 프로젝터가 시판되어 판매되고 있으며, 국내에서는 대우전자<sup>[3]</sup>와 삼성전자<sup>[4]</sup>가 개발하고 있다.

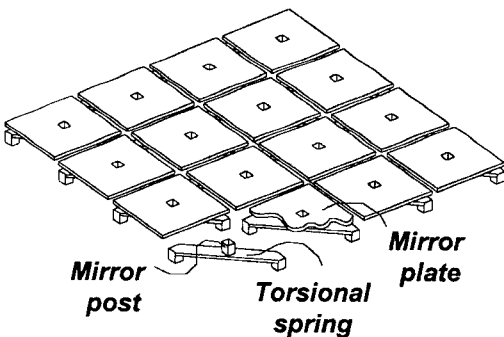


그림 3. 화상표시장치용 미러 어레이

Fig. 3. Mirror Array for Display.

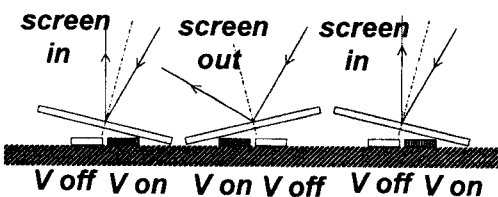


그림 4. 미러어레이를 이용한 화상표시장치의 동작원리

Fig. 4. Scheme of display using mirror optical.

### 3.2 광통신

마이크로 미러, 렌즈, 빔 스플리터, 광 도파로, 광 화

이버 장착대 등을 마이크로머시닝 기술로 제작하면 광 통신의 광 스위치, 광 신호 교환기, Attenuator 등에 응용할 수 있다. 그림 5는  $3 \times 3$  Micro Optical Cross Connect의 개념도를 보이고 있다. 크기가 빔 직경의 두 배 정도인 마이크로 미러(대개  $100 - 200 \mu\text{m}$ )를 2차 원적으로 배열하고 미러를 각각 구동하여 광 신호를 반사시키려는 미러만을 누워있는 상태에서 일으켜 세워 입력 광 화이버로부터의 광신호를 출력 광 화이버로 반사시켜 보낸다. 따라서,  $n$  개 입력 화이버의 입력 신호 각각을  $n$  개 출력 화이버로 1:1로 보낼 수 있어 자유로이 신호를 교환할 수 있다. 아직 마이크로머시닝 기술로 제작한 Micro Optical Cross Connect가 상용화된 제품은 시판되지 않고 있으나, 현재 미국의 AT&T 연구소<sup>[5]</sup> 등에서 연구를 하고 있고, 국내의 산업체와 대학에서도 연구를 진행하고 있다.

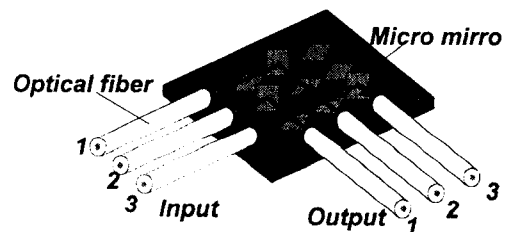


그림 5. 마이크로 광 신호 교환기의 개념도

Fig. 5. Schematic drawing of micro optical cross connect.

### 3.3 정보저장장치

정보저장 장치는 고 기록 밀도화, 소형화, 고속화가 요구되고 있어서, 마이크로머시닝으로 제작된 마이크로 액추에이터가 정보저장 장치에 응용되고 있다. 자기 헤드<sup>[6]</sup>나, 광픽업 헤드<sup>[7]</sup>, 광자기 헤드, Probe를 움직이는 마이크로 액추에이터는 고 기록밀도 정보저장 장치에는 필수적인 핵심 소자로 인식되어 있다. 그림 6은 광 기록 장치용 픽업 액추에이터의 개념도를 보이고 있다. 광 트랙 피치는  $1 \mu\text{m}$  내외이므로 트랙 추종을 위해서는 마이크로미터 이하의 제어가 필요하다. 2차 액추에이터를 마이크로 미러를 이용해서 레이저 빔이 트랙을 따라가도록 제어한다. 이 때 마이크로 미러는 충분한 변위각과 빠른 동특성이 요구된다. 그림 7은 광픽업 마이크로 액추에이터 구조의 예를 보이고 있다. 미러를 회전시켜 광 경로를 변화시키고 미러는 아래의 전극에 전압을 인가해서 구동시킨다.

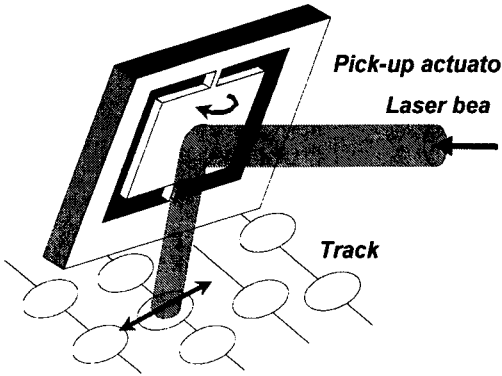


그림 6. 광기록 장치용 픽업 액추에이터의 개념도  
 Fig. 6. Schematic drawing of pick-up actuator for optical disk drives.

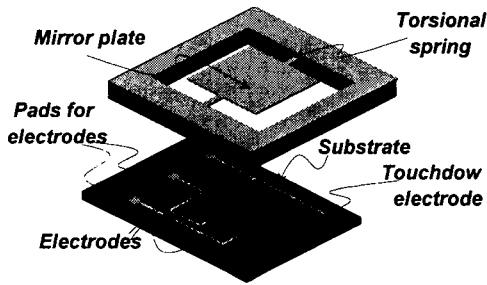


그림 7. 광기록 장치용 픽업 액추에이터의 구조(예)  
 Fig. 7. Structure of pick-up actuator for optical disk drives.

3.4 밀리미터파 소자

밀리미터파는 주파수가 수 - 수십 GHz 대역의 파를 일컬으며, 무선 정보통신에서 사용되며, 앞으로 사용될 주파수 영역이다. 마이크로 액추에이터 또는 마이크로 구조물을 이용하면 신호 전송선, 마이크로 인덕터, 가변 정전용량 소자, 마이크로 스위치 등을 제작할 수 있다. 이들을 적절히 이용하면 LC 공진기, 위상 변조기, 중심 주파수 가변 필터, Voltage-Controlled Oscillator 등을 소형으로 성능이 좋게 일괄공정으로 제작할 수 있다. 그림 8은 마이크로머시닝으로 제작한 가변 정전용량 소자를 이용하여 중심 주파수를 변화시킬 수 있는 필터의 회로도<sup>[8]</sup>이다. 그림 9는 가변 정전용량 소자의 개념도이고, 가동 전극과 고정 전극에 전압을 인가하면 정전력에 의해 가동 전극이 기판 쪽으로 가까워진다. 두 전극 사이의 거리가 변화함에 따라 정전용량

값이 변화하고 이에 따라 필터의 중심 주파수가 변화한다.

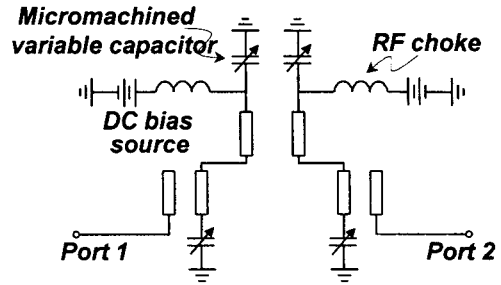


그림 8. 이극 공진기를 이용한 중심 주파수 가변 필터의 회로  
 Fig. 8. Topologies of tunable two-pole resonators filter.

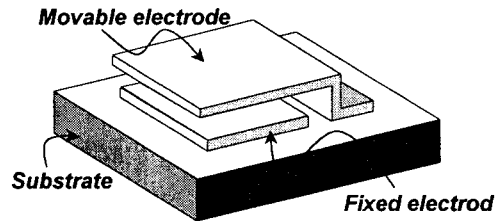


그림 9. 마이크로 가변 정전용량소자의 개념도  
 Fig. 9. Schematic drawing of micromachined variable capacitor.

3.5 Lab on a chip

마이크로 밸브, 펌프, 유체 통로 등을 하나의 칩 위에 제작해서 시료의 분리, 반응, 분석 측정을 손바닥만한 크기의 기기로 할 수 있게 해서 의료나 생명 공학에 응용하는 Lab on a chip(LOC) 기술이 있다. LOC는 응용이라고 하기보다는 기술이라고 해야 적당하나 이것도 하나의 시스템을 이루므로 응용으로 분류해서 설명하기로 한다. LOC는 DNA chip, Protein chip, Micro Total Analysis System, Microchemical System 등에 응용한다. 그림 10은 LOC를 구성하는 기술을 나타내고 있다. 여기서 MEMS 기술이라고 할 수 있는 분야는 Microfluidics, Microfabrication 정도라고 생각할 수 있으나 이것 없이는 시스템이 이루어지지 않기 때문에 핵심 기술이라 하겠다. LOC 기술은 유전자 분석의 핵심 기술로서 수많은 응용에 사용되고 있다<sup>[9]</sup>.

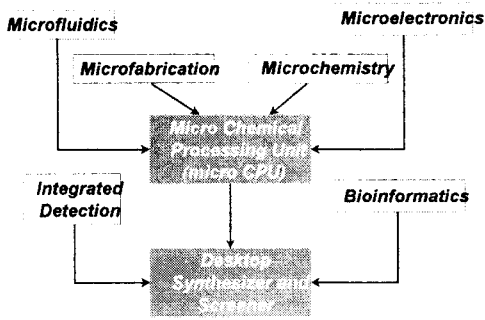


그림 10. LOC 기술을 구성하는 기술

Fig. 10. Technologies comprising Lab on a chips.

이외에도 MEMS 기술로 요소 부품을 제작해서 전기, 전자, 기계, 항공, 자동차, 방위, 의료, 생명공학 분야에 응용하는 제품을 제작할 수 있다.

#### 4. 맺음말

MEMS 기술은 미세 구조물을 제작하는 기술이며, 이는 종래의 기계 가공 기술에 버금가는 21세기의 가공 기술로 자리 매김하리라고 생각한다. MEMS 기술은 응용 분야가 아니고 제작 기반기술이며, 따라서, MEMS 기술로 제작되는 미세 구조물의 응용은 마치 성능 좋은 컴퓨터가 제작되면 다양한 소프트웨어가 개발되듯이 매우 다양하게, 그리고 상상하기조차 힘든 곳에도 적용되리라고 생각한다. 따라서, 여러 분야의 지식과 기술이 없이는 제대로 활용되는 MEMS 응용 제품을 제작할 수 없기 때문에 다른 분야와의 협동 연구 및 정보 교환이 매우 중요한 분야이기도 하다.

#### 참고문헌

- [1] 예를 들면, Special Issue: Integrated Sensors, Microactuators, and Microsystems (MEMS), Proceedings of the IEEE, Vol.86, No.8, 1998, pp.1529-1787.
- [2] L.J. Hornbeck, "Current Status of Digital Micromirror Device (DMD) for Projection Television Applications," International Electron Devices Technical Digest, 1993, pp.381-384.
- [3] 황규호 등, "투사형 화상표시장치를 위한 초소형 구동거울," 대한전기학회 MEMS 연구회 학술발표

회 논문집, 1998, pp.69-77.

- [4] Hoseong Kim et al., "Fabrication and Deflection Measurement of Micromirrors Supported by a S-shape Girder," Proceedings of SPIE, Vol. 3633, San Jose, USA, January, 27-29, 1999, pp.139-147.
- [5] L.Y. Lin et al., "Free-Space Micromachined Optical Switches for Optical Networking," IEEE Jour. of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.5, No.1, 1999, pp.4-9.
- [6] Bong-Hwan Kim et al., "MEMS Fabrication of High Aspect Ratio Track-Following Micro Actuator for Hard Disk Drive Using Silicon on Insulator," IEEE International Conference on MEMS, Orlando, USA, January 17-21, 1999, pp.53-56.
- [7] M. Sekimura et al., "Electrostatic Torsion Mirror," Technical Digest of the 16th Sensor Symposium, Kawasaki, Japan, June 2-3, 1998, pp.167-170.
- [8] Jae-Hyoung Park et al., "A Tunable Millimeter-Wave Filter Using Coplanar Waveguide and Micromachined Variable Capacitors", The 10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Sendai, Japan, June 7-10, 1999, pp.1272-1275.
- [9] Carlos H. Mastrangelo et al., "Microfabricated Devices for Genetic Diagnostics," Proceedings of the IEEE, Vol.86, No.8, 1998, pp.1769-1787.

#### 著 者 紹 介



#### 김 용 권

1983년 서울대 전기공학과 졸업  
 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학 석사)  
 1990년 동경대학교 전기공학과 졸업(공학 박사)  
 1990년-1992년 일본 히타치제작소 중앙연구소 연구원

1992년-1996년 서울대 전기공학부 조교수

1996년-현재 서울대 전기공학부 부교수

전공 분야 : MEMS 및 전기기기, 전기학회 편집위원