

# 마이크로 머시닝 기술 동향과 MEMS에의 응용

박 정 호\*, 성 영 권\*\*

(\* 고려대 공대 전기공학과 조교수, \*\* 동 대학교 교수)

## 1. 서 론

MEMS는 Micro Electro Mechanical System의 약칭으로써 주로 집적회로(IC) 가공기술에 근거를 두어 제작한 미세 기계구조와 전기적 부품을 결합한 mm이하의 소형장치 혹은 그러한 장치들의 집합체를 의미한다. MEMS와 마이크로 센서, 마이크로 액츄에이터, 마이크로 머시닝 등의 용어들은 각각 목적과 적용 범위에 따라서 구별이 될 수 있다. 마이크로 머시닝이라 함은 mm이하의 미세구조물을 실현하는 기술로서 마이크로 센서와 마이크로 액츄에이터를 실현하기 위한 기본이 되는 가공기술을 의미한다. 이 경우 전형적인 미세구조의 크기는 mm이하의 크기가 되고 nm이하의 정밀도를 실현할 수 있게 된다.

마이크로 센서는 입력된 외부의 물리, 화학적, 광학적 신호를 전기적 신호로 변환시켜서 인식, 분석이 가능하도록 하는 소자를 말한다. 한편 마이크로 액츄에이터는 입력된 전기적 신호를 외부에 필요한 형태의 물리적 신호로 변환시키는 소형 구동 장치를 의미한다. 센서와 액츄에이터는 한가지 신호를 다른 종류의 신호로 변환시키는 것이므로 트랜스듀서(transducer)라고 통칭하기도 한다. MEMS는 이러한 센서중 특히 물리적 센서와 액츄에이터 그리고 신호 전달을 위한 논리회로 등을 집적화한 형태를 의미한다. MEMS에 쓰이는 재료로는 실리콘이 압도적으로 많이 쓰이는데 그 이유는 지난 30년간 개발된 집적회로(IC)의 가공기술을 이용하여 2차원 혹은 3차원의 미세구조를 구현할 수 있기 때문이다. 실리콘은 전통적인 기계적 절삭도구로 구조형성을 하기 힘들지만 화학적 식각법등을 이용한 마이크로 머시닝으로 여러가지 모양을 실현할 수 있다. 실리콘을 MEMS에 적용할 때의 장점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 물질이 풍부하고 microelectronics에 사용되는 기본 물질로서 용이하게 구할 수 있다.
- 2) 전기적 성질에 대한 많은 연구가 이루어져서 전기적 특성이 잘 알려져 있다.

- 3) 기계적으로 강철과 비등한 탄성을 가지고 기계적 hysteresis가 없다.
- 4) 높은 열전도도와 작은 열팽창율을 가지고 있다.
- 5) 집적회로에 쓰이는 재료이기 때문에 논리회로와의 집적화가 용이하다.

MEMS의 응용분야는 압력센서, 가속도 센서, 유량 센서 등 자동차 부품으로 사용되는 마이크로 센서들을 비롯하여, 마이크로 기어, 마이크로 모터 집계 등 미세한 기계구조물들을 구동시키는 마이크로액츄에이터등을 기본적으로 들 수 있다. 그리고 의료분야에서는 적용분야가 증가하는 추세를 보이고 있는데 세포조작, 생체 내 진단 및 수술, 인공 장치 등의 의료기기에의 응용이 그 예들이다[1-4].

## 2. 마이크로 머시닝 기술동향

현재 활용되는 마이크로 머시닝 기술은 화학적 선택적 식각기술을 이용한 몸체 가공법(bulk micromachining)과 표면 가공법(surface micromachining) 그리고 구조적인 다양성과 3차원적 구조를 실현하기 위해 개발된 실리콘 접합법(silicon fusion bonding)과 LIGA 등으로 나눌 수 있다. 이 모든 기술들은 집적회로 기술인 ion implantation, photo lithography, diffusion, epitaxy 그리고 박막 형성 등을 이용하여 실현할 수 있다.

### 2.1 몸체 가공법(bulk micromachining) [5-7]

몸체 가공법에서는 실리콘과 같은 기판의 몸체를 선택적으로 식각하여 원하는 기계적 구조물을 형성하는 방법으로 마이크로 센서의 초기 개발단계인 1970년대에 주로 사용되었고 그러므로 가장 성숙된 가공법으로 아직도 널리 사용되고 있다. 몸체 가공법을 이용하여 성공적으로 개발된 MEMS의 예로는 실리콘 가속도계, 유량센서, 잉크젯 노즐, 마이크로 밸브 등을 들 수 있고 그 외에도 여러가지 미세

구조물을 제조하는데 사용되어 왔다.

몸체 가공법에서는 식각법이 가장 중요한 기술이 되는데, 결정체의 방향에 따른 식각률의 차이에 따라 등방성(isotropic) 식각법과 비등방성(anisotropic) 식각법으로 나눌 수 있다. 등방성 식각이란 식각율이 모든 방향에 대해서 동일한 것이며 비등방성 식각이란 단결정의 방향에 따라 식각율이 다른것을 말한다. 실리콘의 경우에는 <100> 방향과 <111> 방향의 식각률의 비율이 100:1 정도까지 가능하기 때문에 비등방성 미세 구조물을 만드는데 비등방성 식각이 많이 사용된다. 식각법과 병행하여 중요한 것은 미세 구조물 치수의 정확한 조절을 위해서 식각을 정밀하게 정지 시키는 기술이다. 이 정지 기술은 etch-stop이라고 불리는데 몸체 식각에서는 주로 고농도의 ( $>5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ) 의 boron층의 낮은 식각율을 이용하거나 p-n접합을 이용한 전기화학적(electro chemical)방법을 이용하여 식각정지를 실현하고 있다. 그림 1에 나타나 있는 압력 센서는 몸체 식각법을 이용하여 제작한 것으로서 이 경우에는 p형 실리콘 기판위에 n형 실리콘 단결정을 입혀서 비등방성 식각을 이용하여 식각을 하고 p-n 접합의 전기화학적 특성을 이용하여 etch-stop을 하여 외부의 자극(압력)에 민감하게 반응을 보이는 얇은 단결정 실리콘막을 형성한 것이다. 이 전통적인 몸체 가공법의 단점은 미세구조물의 치수가 비등방성 식각에 의해서 결정되므로 식각에 필요한 mask의 크기가 원하는 구조물의 크기보다 더 커야 한다는 것과 오랜 식각 시간이 요구된다는 것 그리고 그에 따르는 정밀도의 감소 등이다.

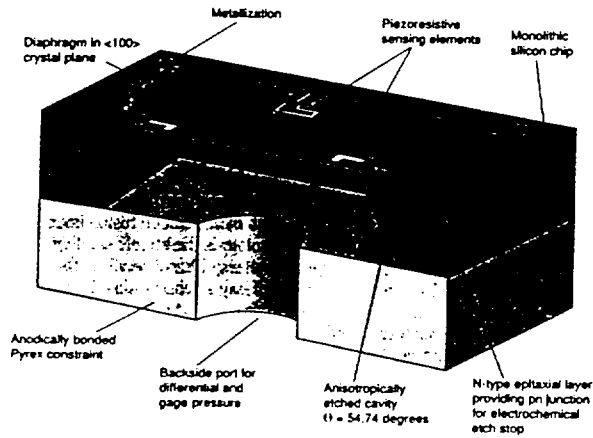


그림 1. p-n 접합의 전기화학적 식각특성을 이용한 몸체 가공법으로 제조한 압력센서의 3차원 단면도[1]

## 2.2 표면 가공법(Surface micromachining) [8]

몸체 가공법의 단점들을 다소 보완하고, 몸체 가공법으로는 실현하기 힘든 구조물들의 제작을 위해 표면가공법이 1980년대에 개발되기 시작했다. 이 표면 가공법은 실리콘 기판을 식각하는 몸체 가공법과는 달리 표면에 구조층(structural layer)

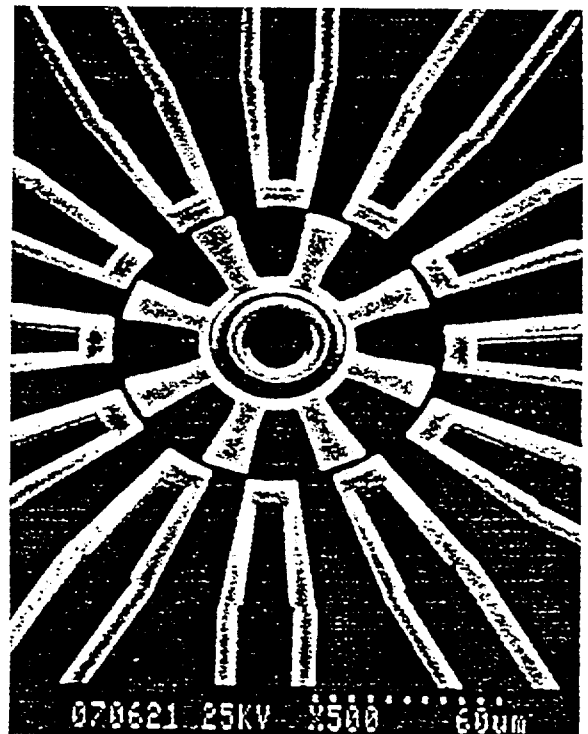
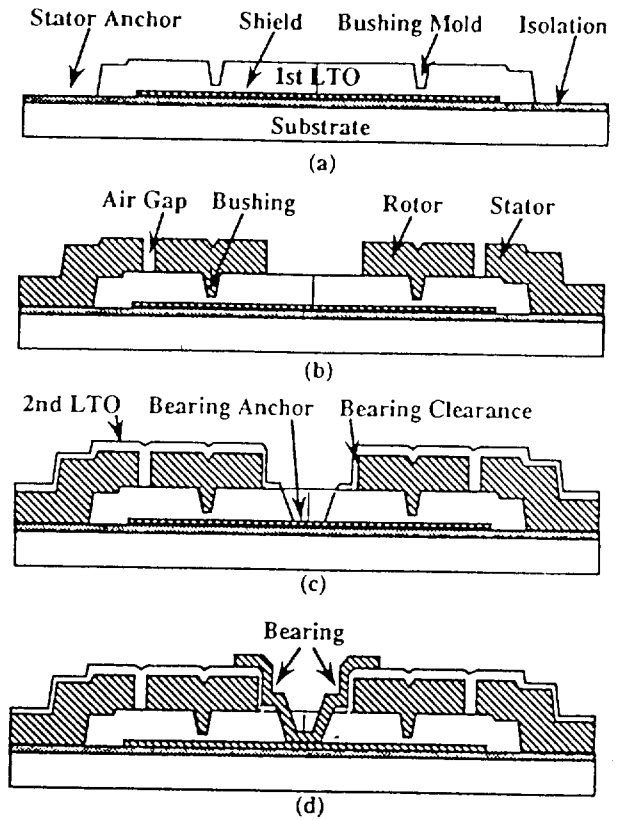


그림 2. (a) 마이크로 모터의 공정과정을 나타낸 도식적 단면도 (b) 지름이 100 μm, air gap이 2.5μm인 마이크로 모터의 SEM 사진[4]

과 희생층(sacrificial layer)을 증착하고 희생층을 식각하여 남는 막으로 미세 구조물을 제작하는 기술이다. 구조층과 희생층으로 쓰이는 박막재료로는 다결정 실리콘, silicon oxide, silicon nitride 등이 있으며 이러한 박막들은 구조층과 희생층 뿐만 아니라 외부자극을 감지하는 역할이나 전기적 연결을 담당하기도 한다. 희생층의 선택이 표면 가공법에서 기본이 되는데, silicon dioxide와 같이 실리콘이나 silicon nitride와 구별해서 주로 습식식각으로 선택적으로 식각을 할 수 있는 물질을 희생층으로 선택한다. 이 표면 가공법으로 희생층을 식각하게 되면 남게 되는 구조층은 기판이나 하부의 다른 구조층과 독립되어서 자유로운 평면 운동이나 수직운동을 할 수 있는 미세 구조물이 되는 것이다.

표면 가공법은 매우 간단하면서도 다방면으로 용도가 있는 유력한 기술이다. 현재 개발되는 마이크로 액츄에이터 중 대부분이 표면 가공법을 이용하여 제작이 되고 있다고 해도 과언이 아닐 정도이다. 그 몇가지 예로, 마이크로 모터(그림 2)가 대표적인 것이고 마이크로 집게(그림 3), 마이크로 프로브(그림 4), 수평형 가속도계(그림 5) 그리고 digital HDTV projection display를 위한 마이크로 거울의 집합체(그림 6) 등을 들 수 있다.

특히 1993년에 발표된 마이크로 거울을 이용한 digital HDTV projection display는 전부 42만개의 마이크로 거울을 배열하여 각각 각도나 회전의 횟수를 addressing circuitry로 조절할 수 있는 것으로서 표면 가공법을 이용한 미세 구조물 제작의 실질적 결실이라고 할 수 있다. 그 외에도 표면 가공법의 장점과 높은 lateral aspect ratio(기판표면에서 길이와 너비의 비율이 큰 경우)와 여러층의 구조층과 희생층을 이용하여 압력센서, 가속도계, 공진기 등도 개발하

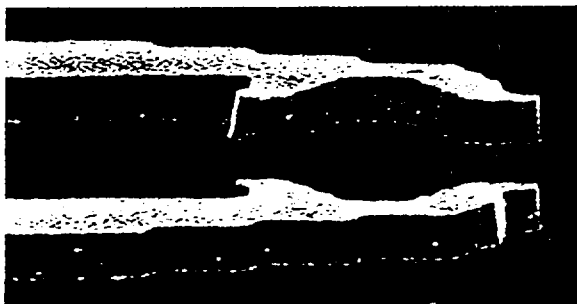
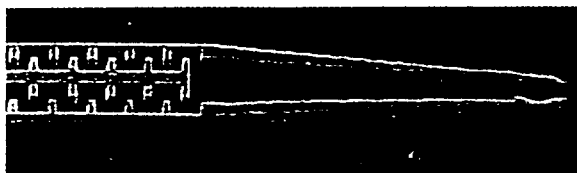


그림 3. 표면 가공법을 이용하여 Berkeley Sensor and Actuator center에서 다결정 실리콘 구조층으로 제작한 마이크로 집게[9]

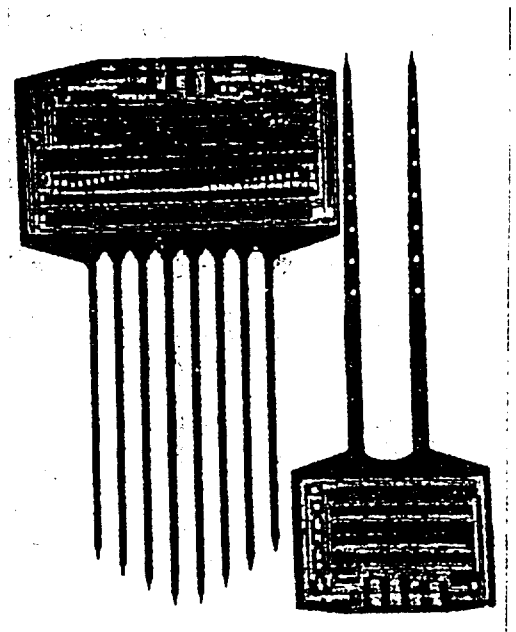


그림 4. 마이크로 프로브 중 한 종류의 SEM 사진[10]



그림 5. 수평형 공진자형 마이크로 센서/액츄에이터의 SEM 사진[4]

고 있다. 하지만 표면 가공법에도 단점과 해결해야 할 문제점들이 있다. 구조층으로 사용되는 대표적인 물질인 다결정 실리콘은 미세 구조 제작을 위해 기계적으로 최적의 조건을 갖도록 박막형성 조건을 선택하므로 전기적 소자를 제조하기에는 최적 조건이 아닐 수도 있는 것이다. 그리고 일반적으로 공정은 간단하나 수  $\mu\text{m}$ 이상 두께로 증착하기 어려워 두꺼운 구조물의 제작이 어렵고 또한 구조물의 두께가 수  $\mu\text{m}$ 이하로 제작이 될 때 두꺼운 구조물에서는 예상하지 못한 stress로 인해 미세구조물에 생길 수 있는 tension과 compression을 제거해서 원치 않는 구조물의 파괴를 방

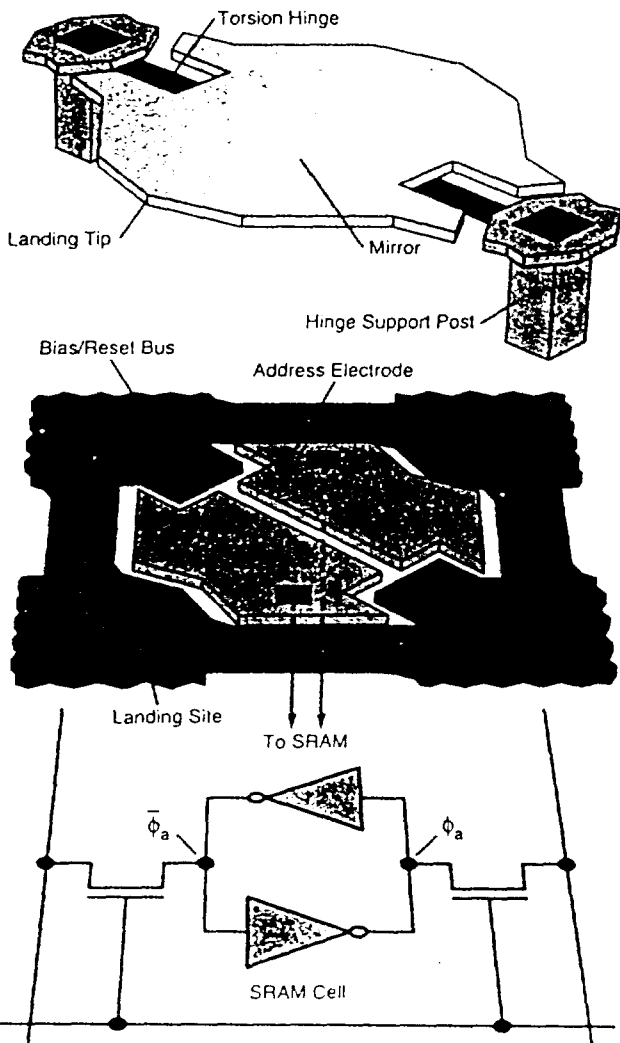
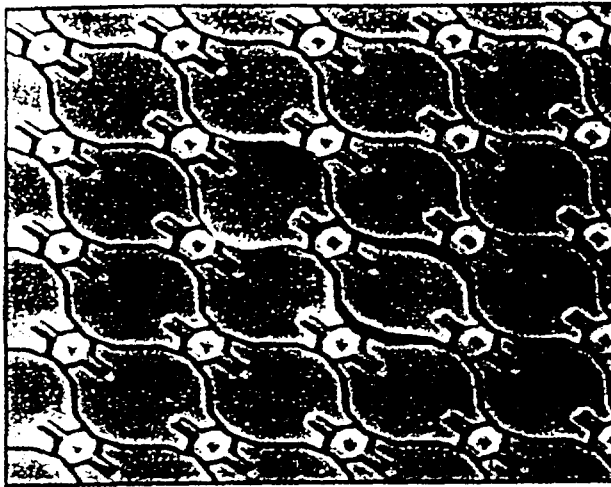


그림 6. 디지털 마이크로 거울의 집합체의 SEM 사진과 그 거울 하나의 세부 구조[11]

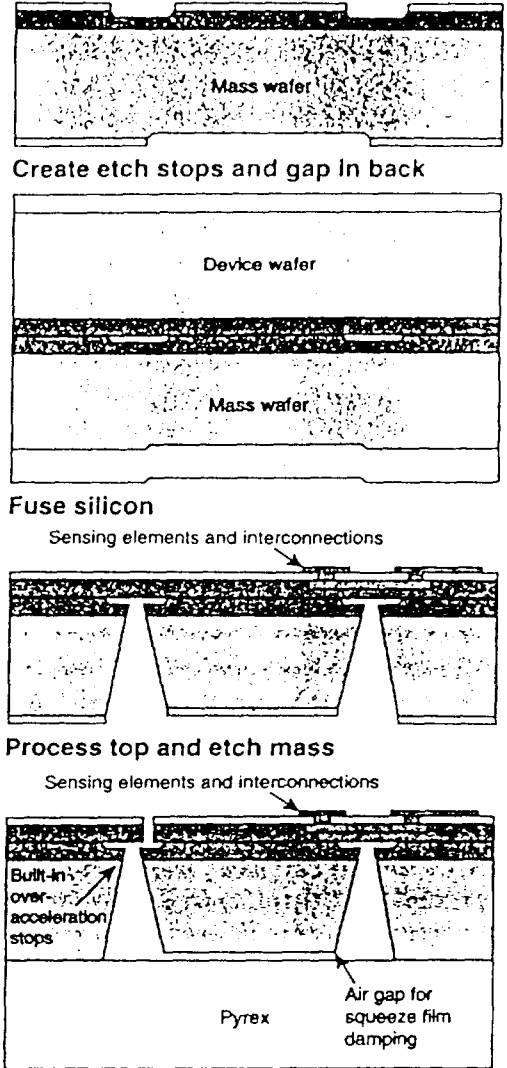


그림 7. 실리콘 접합법(SFB:Silicon Fusion Bonding)과 전통적인 몸체식각을 이용하여 가속도계를 만드는 과정을 나타낸 단면도 과정[12]

지해야 한다. 구조물의 크기가 점점 작아지고 복잡해짐에 따라 표면의 마찰력과 표면 장력도 고려해야 하고 구조물과 기판표면의 접촉면에 접촉력을 생성시키는 Van der Waals force 그리고  $\mu\text{m}$ 단위의 공간에서 구조물들이 움직일 때 생기는 마이크로 크기의 입자들도 고려해야 한다.

### 2.3 실리콘 접합법 (Silicon Fusion Bonding)

Silicon Fusion Bonding은 고온에서 두개의 실리콘 기판을 원자와 원자간에 생기는 결합력을 이용하여 붙이는 기술로서 두 장의 실리콘을 직접 결합시키기도 하고 사이에 silicon dioxide를 두고 결합시키기도 한다. 처음에는 SOI (silicon-on-insulator)구조를 만들어서 집적회로의 성능과

신뢰도를 높이기 위해 개발이 된 기술인데 이 기술이 MEMS의 구조제작에 이용이 됨으로 물체 식각법만으로 제작이 되던 미세 구조물에 정교함을 더해주고 die의 크기를 소형화할 수 있게 되었다.

실리콘 접합법의 장점은 두장의 단결정 기판이 원자간 결합을 이용하여 접합할 경우 기판과 위에 놓이는 미세구조물이 기계적, 전기적으로 동일한 성질을 가지게 된다는 점이다. 이 기술은 1100℃ 정도의 고온에서 접합이 이루어지므로 집적회로의 공정이 시작되기 전에 행해져야 한다. 성공적인 실리콘 접합법의 가장 중요한 부분은 결합이 없는 표면 처리과정이다. 표면에 작은 입자가 있을 경우 불안정한 접합이 이루어지고 그 불안정한 접합 부분에서부터 접합의 불연속이 점점 퍼지게 되기 때문이다.

이러한 단점이 해결이 되면 실리콘 접합법이 마이크로 머시닝 기술로서 각광을 받을 가능성이 크게 된다. 이미 미국의 NOVA Sensor라는 회사는 실리콘 접합을 이용한 브릿지 형태의 자동차 에어백용 가속도계를 제작해서 판매를 하고 있다.

이 기술에서 단순한 몸체 가공법과 표면 가공법에 비교해서 알 수 있는 장점은 위에 기술한 것 외에도 몸체 가공법으로는 제작할 수 없는 구조물을 제작할 수 있다는 것과

표면 가공법보다 두꺼운 구조물을 제작할 수 있다는 점이다. 최근에 실리콘 접합법의 단점을 보강하기 위한 많은 연구가 진행되면서 실리콘 웨이퍼 공급자들이 실리콘 접합법으로 실리콘 웨이퍼를 접합시켜서 판매하기도 한다. 아직은 가격이 높은 편이나 구매자가 늘어나고 기술적인 문제가 해결이 되면 MEMS의 응용에 크게 기여하게 될 것이다. 그림 7은 실리콘 접합법을 이용하여 가속도 센서를 만드는 과정을 도식으로 나타낸 그림이다.

### 2.4. LIGA

LIGA는 독일어의 세단어를 줄인 약자로 (Lithographie, Galvanoformung, Abformung; 영어로는 Lithography, Electroforming, Molding), 사진 인쇄술, 전기도금술 그리고 주형법을 조합하여 미세 구조물을 제작하는 기술을 의미한다. LIGA공정은 표면가공법의 장점을 그대로 살리면서 표면 가공법으로는 수  $\mu\text{m}$  이상이 되는 구조층을 증착하기 어려운 단점을 해결하는 기술로서 X-ray Lithography를 이용하여 수평으로는 수  $\mu\text{m}$ ; 수직으로는 1000 $\mu\text{m}$ 까지의 큰 수직적 aspect ratio를 갖는 구조물을 실현하게 한다. 또 다른 장점은

표면가공법으로 제작한 마이크로 모터는 작동시키는데 높은 전압이 필요한 반면 LIGA 공정으로 제작한 금속 구조물을 낮은 전압을 사용하여 움직일 수 있다는 점이다.

LIGA 공정은 다음과 같이 진행된다(그림 8). 먼저 도전체 기판에 수백  $\mu\text{m}$  두께의 X-ray용 photoresist를 입히고 mask를 통해서 X-ray에 노출시켜 패턴을 형성한다. 그 후에 패턴형성이 된 resist사이의 공간에 선택적으로 몇 테두리까지 전기도금으로 금속을 채운다. 그 후 Resist를 제거하면 전기도금으로 채워진 금속은 금속 모형으로 남게되어 그 자체로 미세구조물이 될 수도 있고 혹은 금속 모형에 polyimide나 플라스틱 수지 혹은 세라

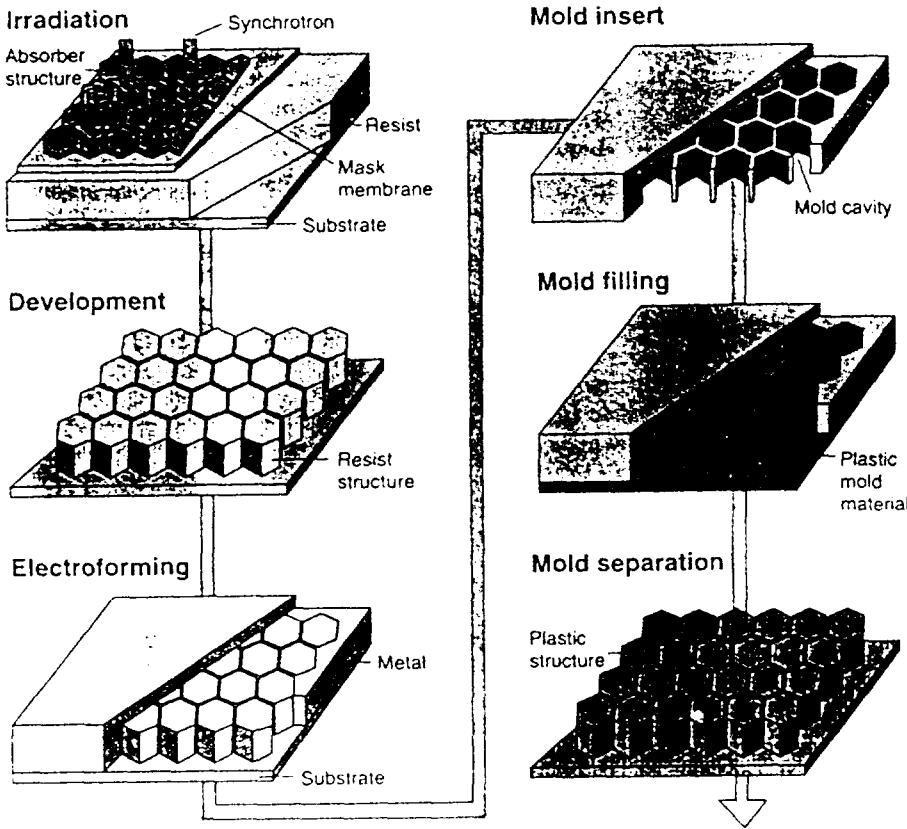


그림 8. 금속이 선택적으로 X-ray에 의해 패턴 형성이 된 구겨운 photoresist에 도금되어 도전체인 기판에 증착되는 LIGA 공정을 보여주는 순서도[1]

믹 가루반죽 같은 낮은 점도의 물질을 채워서 굳힌 후 꺼내게 되면 원래의 photoresist 패턴의 구조물을 얻을 수 있게 된다. 후자의 경우에는 금속 모형을 주형틀로 쓰이게 되는 것이고, 또한 금속 모형에서 얻어진 플라스틱 구조물도 금속 모형의 모양을 만들어내기 위한 주형틀로 쓰일 수도 있게 된다. 이러한 주형틀의 사용으로 동일한 구조물을 반복 생산할 수 있으므로 대량생산이 가능해진다. LIGA공정을 이용하여 제조된 기계구조물로는 표면 가공법으로 제작된 것들과 유사한 것들로 마이크로 모터, 마이크로 코넥터, 조인트, 스프링, 베어링, 기어 등이 있다. LIGA공정에 표면 가공법에서 쓰이는 회생막의 이용을 적용시키면 LIGA구조물을 기판에서 분리시켜서 다른 LIGA구조물에 조립시킬 수 있게 된다. 그림 9는 이러한 회생층과 LIGA공정을 이용하여 제작된 기판에서 분리될 수 있는 마이크로 기어와 자기적 마이크로 모터들의 사진이다.

LIGA 공정의 가장 큰 단점은 파장이 짧고 평행광에 가까운 X-ray를 만들어 낼 수 있는 Synchrotron과 같은 시설이 필요한 것이다. 현재 세계적으로 Synchrotron 수는 손꼽을 정도로 소수이어서 유럽에서와 미국에서도 몇몇 Synchrotron이 있는 곳에서야 개발이 진행이 되어 왔다. 다행히 국내에는 최근에 포항공대에 Synchrotron이 설치되어서 LIGA에 관한 연구가 가능하게 되었다. 이 Synchrotron의 필요성이란 단점을 극복하기 위해 최근에는 재래식 집적회로 공정을 이용하여 LIGA공정과 비슷한 결과를 가져올 수 있도록 개발을 하였다. Polyimide를 X-ray photoresist를 대신하여 사용함으로써 X-ray의 사용 필요성을 제거할 수 있게 되

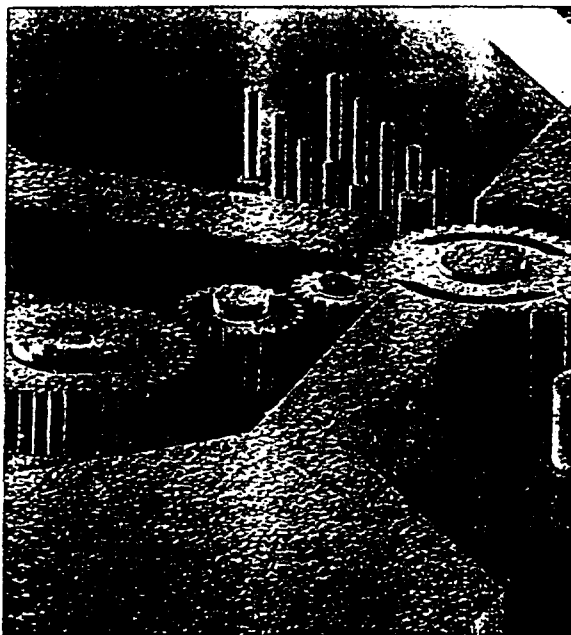


그림 9. 회생층 LIGA 공정으로 제작된 마그네틱 마이크로 모터와 마이크로 기어들의 SEM 사진[1]

었는데, 이 방법은 LIGA보다는 정밀도가 떨어지고 수직 두께에도 제한을 갖지만 유용한 기술이 될 것으로 예상된다.

### 2.5 SOI (Silicon-On-Insulator) 기술

이 기술은 아직도 개발이 진행되고 있는 것인데 silicon dioxide를 실리콘 기판속에 넣어서 SOI구조를 형성하여 silicon dioxide를 etch-stop을 위해 사용하는 것이다. 가장 대표적인 기술로는 SIMOX(separation by ion implantation of oxide)라는 기술로서 실리콘 기판에 산소 이온을 변화된 이온주입방법으로 주입시킨 후 높은 온도에서 어닐링하여서 주입된 산소이온이 실리콘과 반응하여서 내부에 Silicon dioxide 층을 형성하는 기술이다. 이 때 표면에 남게되는 얇은 단결정 실리콘층은 계속해서 수  $\mu\text{m}$  부터 수십  $\mu\text{m}$ 까지 단결정 Silicon 성장을 가능케하는 기반층이 된다. 이러한 SOI 구조물에 KOH등을 사용한 습식식각을 행하면 식각용액이 Silicon dioxide에 도달하면서 식각속도가 현저히 감소하여 효과적인 etch-stop을 구현할 수 있다. 이 기술은 또한 선택적으로 산소이온을 주입함으로써 패턴이된 silicon dioxide를 실리콘 기판 중간에 삽입할 수도 있게 된다[13].

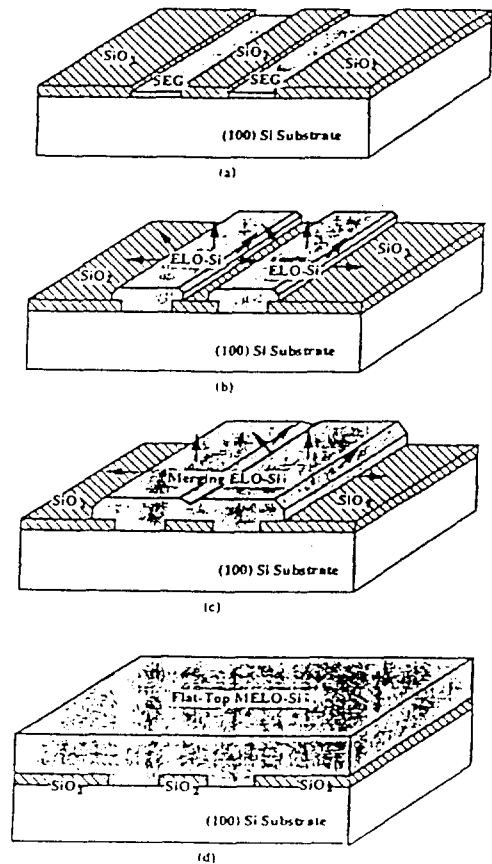


그림 10. 여러가지 선택적 실리콘 증착(Selective epitaxial growth of silicon)단계의 도식적 단면도[14]

SOI 구조를 이룰 수 있는 다른 기술은 SEG-Si (Selective epitaxial Growth of Silicon)으로 이것은 실리콘 기판을 silicon dioxide로 입힌 후 패턴을 하여서 단결정 실리콘을 키우고 싶은 부분을 노출시킨 후 성장조건을 조절하여 단결정실리콘이 silicon dioxide mask위에서는 증착이 되지 않고 노출된 기판으로 부터만 성장 시키는 기술이다. 이 조건이 유지되고 선택적 성장이 계속될 경우 실리콘의 성장은 마스크인 silicon-oxide의 높이를 넘게되어 수직방향과 수평방향으로 동시에 진전하게 되어 silicon dioxide위로도 단결정 실리콘이 성장하게 되며 이 경우에는 ELO-Si(Epitaxial Lateral Overgrowth of silicon)이라 부른다. 이 SEG-Si도 초기에는 주변소자와 silicon dioxide로 분리된 소자를 제조하기 위해 개발이 되었으나 MELO-Si의 형태로 마이크로 머시닝에 적용이 되어 얇은 단결정 실리콘막 등 여러 가지 구조물을 만드는 가능성을 보여주고 있다(그림 10)[14, 15].

이 외에도  $Al_2O_3$ 를 이용한 SOI구조, 그리고 porous실리콘을 이용한 SOI구조등 여러가지 새로운 구조들이 개발이 되어서 MEMS의 발전에 기여하고 있다.

### 3. MEMS의 응용 분야

현재 실리콘 센서를 가장 많이 요구하고 사용하는 분야는 역시 자동차 산업이다. 주로 사용되는 종류는 압력 센서, 가속도계, 유량센서, 가스센서 등이다. 지난 30여년동안 마이크로 머시닝 기술이 지속적으로 개발되어서 극소형의 2차원 및 3차원 구조를 구형할 수 있게 되고 이 구조물을 이용한 마이크로 센서나 마이크로 액츄에이터 등 부품 및 시스템을 제작할 수 있게 되었다. MEMS의 적용범위도 점점 확산되어서 초기에는 단순히 기계적인 자극을 전기적인 반응으로 변환하는 Electromechanical Sensor가 주류를 이루었으나 점점 확산되어 기계 및 자동차분야, 의료분야, 항공우주분야, 기타 산업분야 및 일반소비자 제품등으로 적용범위가 넓어졌다.

#### 3.1 자동차 분야

1970년대의 석유파동이후 미국에서는 자동차 연비를 높이는 장기계획을 세우고 미국 내에서 판매되는 모든 차량에 대해 연비와 배기가스에 대한 규칙을 강화하기 시작하였다. 이러한 요구에 부응하기 위해 자동차의 공기대 연료의 비율을 최적화하기 위한 압력센서에 대한 개발이 미국의 3대 자동차회사에서 시작되었다. 그 중에 GM사의 자회사인 Delco 전기회사는 최초로 양산체제로 저가의 압력센서를 제작하기 시작했고 현재는 자동차에 장착하는 압력센서를 매년 100만개 이상을 생산하는 세계 최대의 실리콘 압력센서 생산업체가 되었다. 포드사와 크라이슬러사도 자체내의 압력센서를 개발하고 있으며 현재 세계 전체로 볼 때 매년 2천 5백만 개의 신호변환회로가 집적되어 패키징된 연비조절 압력 센서가 개당 약 10분의 가격으로 생산되고 있다. 압력센서의 용도는 앞으로도 자동차산업에서 배기가스의 조절과 관련하여 연료, 오일, 수압, 공기

흡입량 조절 등에 이용될 수 있고 20세기말경에는 자동차 산업분야에서만 5억불정도의 시장 규모를 예상하고 있다.

자동차 산업에서 최근 크게 각광을 받고 있는 또 한가지는 가속도계(Accelerometer)이다. 자동차의 안정도에 관한 관심이 높아지면서 정면 충돌시 운전자와 승객을 보호하기 위한 안전장치로 에어백의 설치를 법규화 하면서 에어백의 발전을 위하여 사용되는 자동차용 가속도계에 대한 연구가 시작되었다. 기존의 기계적인 가속도계에 비해 실리콘 가속도계는 소형화, 대량생산, 가격의 저렴화를 가져올 수 있으므로 미국의 3대 자동차 회사가 모두 과감한 투자를 하여 마이크로 머시닝을 이용한 실리콘 가속도계의 개발을 활발히 진행하고 있다. 가속도 센서의 적용범위는 또한 차량 차체제어, 높이 제어, 승차감 향상 등을 위하여서도 사용될 수 있으므로 자동차 종합제어 시스템 개발을 위해 기여를 하게 될 것이다. 가속도 센서는 압력센서와 함께 자동차 산업에서 중요한 위치를 차지하게 될 것이고 시장규모도 확장될 것이다.

#### 3.2 의료분야

의료분야에서 MEMS의 적용범위는 자동차 산업보다 더 광범위하지만 자동차 부품과 같이 동종의 부품이 대량생산되어야 하는 경우가 적기 때문에 산업체의 호응도는 아직 자동차 산업에 못 미치고 있다. 의료분야에서 MEMS의 적용분야는 주로 생체내의 화학적, 생물학적 변화를 정밀 진단, 분석하는 기기와 생체 내에서 치료를 담당하는 극소형 의료기기 등으로 들 수 있다. 한 예로 혈압을 재는 소형 의료기기 등의 가격 절감과 환자의 안전을 위해서 일회용 의료기기의 개발이 요구되던 중 실리콘 센서의 적용으로 기본적인 의료기기 생산에 파격적인 생산 가격 절감과 생산량 증가를 가져왔다. 미국에서는 환자의 혈관 내에서 혈압을 재는 의료기기의 가격이 지난 10여년 사이 미화 60불에서 10불로 판매가격이 내려가고 연 생산량은 4만개에서 1천 7백만 개로 늘어난 것으로 나타났다.

의료분야에서 쓰이는 MEMS의 적용범위는 그 외에도 아주 다양하다. 세포나 세포부품 또는 마이크로 부품을 인체 내에서 조작하는 세포조작기, 세포나 용액의 미소량 조절과 주입을 위한 마이크로 주입기, 혈관이나 신경 등 아주 미세한 부분에 대해 수술을 행할 수 있는 초소형 원격조정 수술기, 혈관내부의 구조 관측이나 각종 계측을 할 수 있는 소구경 내시경, 인체생체막을 이용하여 약재를 넣어 원하는 위치에서 약품 투여를 할 수 있는 마이크로 캡슐, 생체 안에 매입하는 초소형 인공 의료 보조기관, 그리고 생체내의 각종 화학적 생물학적 요소를 계측, 진단, 및 치료할 수 있는 초소형 진단 및 의료기기 등을 들 수 있다.

#### 3.3 기계적 부품 분야

실리콘 마이크로 머시닝을 이용하여 제조되는 순수 기계적 부품에 관한 시장은 아직 미소한 편이다. 그러나 최근에 실리콘 마이크로 밸브를 비롯하여 여러가지 기계적 부품들

이 생산되고 있고 마이크로 모터, 마이크로 펌프 등에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

특히 최근에 AFM(Atomic Force Microscope)를 위하여 실리콘 마이크로 머시닝을 이용해 개발한 프로브는 (그림 11) AFM의 기능을 상당히 향상시켰다. 표면 식각을 이용하여 제작한 표면 공진자는 (그림 5) 압력, 가속도 등 기타 물리적 변화에 대한 변화를 공진 진동수의 변화로 감지할 수 있는 마이크로 센서의 역할도 하고 전기적 신호를 기계적 변화로 변화시켜주는 마이크로 액츄에이터 역할을 하는 유용한 기계적 구조물이다.

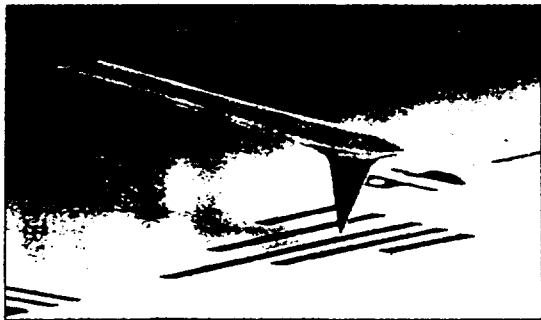
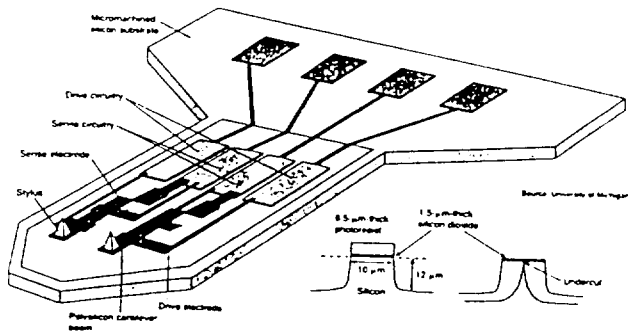


그림 11. AFM을 위한 마이크로 프로브의 도식도와 프로브 끝부분의 SEM 사진[1]

### 3.4 기타 산업용, 소비자용 부품 분야

실리콘 센서들은 위에 기술한 몇 가지 외에도 모두 열거할 수 없을 정도의 다양한 기술분야에서 계측과 제어에 사용되고 있다. 각종 스프레이용 제품들 압력계측과 조정용 제품, 콤프레셔, 냉동기기, 발열과 통풍 그리고 에어컨 기기, 수면의 계측기기, 압력과 전류의 상호변환기기 그리고 전화선의 누전 검출기 등의 몇 가지 산업용 기기들의 응용분야이다. 이와 마찬가지로 소비자용 부품에서 MEMS가 차지하는 시장 범위가 현재는 작은 편이지만 급속도로 확대되고 있는 실정이다.

## 4. 결 론

본 고에서는 MEMS제작의 기본이 되는 마이크로 머시닝

기술의 최근 동향과 MEMS에의 적용범위에 대해서 논하였다. MEMS 연구 및 개발에는 여기서 언급함 마이크로 머시닝 기술을 이용한 제조공정 외에도 운동기구의 기계적 해석, 마이크로 센서 및 액츄에이터와 신호처리를 할 수 있는 제어, 계측용 집적 회로와의 결합, Assembly를 위한 극미세 구조의 접합기술, 적합한 박막 및 기판의 선정에 위한 재료기술, 극미세 구조 및 표면 등의 계측, 평가 기술과 이들을 위한 이론적인 분석, 설계기법 등의 제반기술에 대한 연구가 동시에 필요하다.

마이크로 머시닝 기술과 MEMS의 연구에 대한 국외 동향은 현재 미국, 일본, 유럽에서 활발히 연구개발이 진행되고 있음을 보여준다. 미국에서는 지난 30년 동안 꾸준히 여러 대학연구소와 회사들에서 연구를 진행시켜 왔고, 최근 10여년 전부터는 미국 국립과학재단(NSF)에서 지속적으로 MEMS 연구를 지원해 왔고 ARPA(Advanced Research Projects Agency)에서는 MEMS개발계획에 매년 미화 8백만 불을 지원하고 있다. 유럽에서는 유럽공동체가 공동으로 투자를 계획하고 매년 미화 5천 5백만 불에서 2억불까지의 경비를 MEMS 연구개발에 투자하면서 진행하고 있다. 비용의 반은 정부의 지원이고 나머지 반은 산업체 특히 자동차 산업 부문에서 지원을 하는 형태로 되었다. 그 중 특히 지원이 활발한 나라들은 현재 독일, 네덜란드, 스위스, 프랑스, 영국과 스웨덴 순서로 되어있다.

일본의 경우는 1991년부터 통상성(MITI: ministry of International Trade and Ministry)의 대형과제로 10년간 미화 2억 5천 만불을 MEMS의 연구비로 투입하여 추진하고 있으며 교육부와 MRC(micromachine research center)라는 기관에서도 역시 연구비를 투입하여 모두 합치면 매년 미화 2천 만불~3천만 불까지의 연구비지원이 되는 상황이다. 그 외에도 일본의 산업체에서도 역시 MEMS연구에 상당히 관심을 보이면서 매년 미화 4천 5백만 불에서 7천만 불까지의 투자를 하고 있다.

이러한 세계적 추세를 볼 때에 한국에서의 MEMS 연구에 대한 지원은 상대적으로 미흡한 것을 알 수 있고 현재 국내의 학교 연구소에서 연구를 시작한 시기도 선진국에 비해서 늦은 편이기 때문에 앞으로 국가적인 차원에서 그리고 산업체에서 MEMS 연구에 많은 관심과 지원이 필요함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Bryzek, K. Petersen and W. Mc Culley, "Micro-machines on the march," IEEE Spectrum, May, Vol. 31, pp. 20~31, 1994.
- [2] 서울대학교 반도체 공동 연구소, "마이크로 머시닝 기술 및 응용에 관한 연구," 연구제안서, 1993. 12.
- [3] 전국진, 최준림, 한동철, "마이크로 머시닝 기술 및 응용," 물리학과 첨단 기술, 2(1), pp. 41~45, 1993.
- [4] M. Mehregany, W.H. Ko, A.S. Dewa, C-C. Lin, "In-



roduction to Microelectromechanical Systems and the Multiuser MEMS Processes," Case Western Reserve University, Aug, 1993.

- [5] D.B. Lee, "Anisotropic Etching of Silicon," J. Appl. Phys. 40. pp. 4569~4574, 1969.
- [6] T.N. Jackson, M.A. Tischler, and K.D. Wise, "An electrochemical p-n junction etch-stop for the formation of silicon microstructure," IEEE Electron Device Letters, EDL-2, pp. 44~45, 1981.
- [7] A. Bohg, "Ethylenediamine-pyrocatechol-water mixture show etching anomaly in boron-doped silicon," J. Electrochem. Soc., 118, pp. 401~402, 1971.
- [8] H. Guckel, D.W. Burus, "Fabrication Techniques for Integrated Sensor Microstructures," IEEE International Device Meeting, pp. 176~179, 1986.
- [9] C-J. Kim, A.P. Pisano, R.S. Muller, "Overhung Electrostatic Microgripper," 1991 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '91), Digest of Technical Papers, pp. 610~613, June, 1991.
- [10] C. Kim, S.J. Tanghe, K.D. Wise, "Multi channel Neural Probes with On Chip CMOS Circuitry and High Current Stimulating Sites," the 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '93), Digest of Technical Papers, pp. 454~457, June, 1993.
- [11] L.J. Hornbeck, "Current status of the Digital Micromirror Device (DMD) for Projection Television Applications," IEDM, pp. 381~384, Dec, 1993.
- [12] K. Peterson, D. Gee, F. Pourahmadi, R. Craddock, J. Brown and L. Christel, "Surface Micromachined Structures Fabricated with Silicon Fusion Bonding," Transducers '91, Digest of Technical Papers, pp. 397~399, June, 1991.
- [13] B. Diem, M.T. Delaye, F. Michel, S. Renard, G. Delapierre, "SOI (SIMOX) as a substrate for surface micromachining of Single Crystalline Silicon Sensors and Actuators," the 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '93), Digest of Technical Papers, pp. 233~236, June, 1993.
- [14] J.J. Pak, A.E. Kabir, G.W. Neudeck, J.H. Logsdon, D.R. DeRoo, S.E. Staller, "A Micromachining Technique for a Thin Silicon Membrane Using Merged

Epitaxial Lateral Overgrowth of Silicon and SiO<sub>2</sub> for an Etch-stop", 1991 International Conference on Solid-state Sensors and Actuators (Transducers '91), Digest of Technical Papers, pp. 1028~1031, June, 1991.

- [15] J.J. Pak, A.E. Kabir, G.W. Neudeck and J.H. Logsdon, "Fabrication of a Bridge-Type Piezoresistive Accelerometer Using Merged Epitaxial Lateral Overgrowth of Silicon", to be published.

## 저 자 소 개



**박정호(朴政浩)**

1960년 2월 5일생. 1985년 미국 Purdue Univ., 전기전자공학부 졸업. 1988년 동 대학원 전기전자공학부 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기전자공학부 졸업(공학박). 1992~95년 미국 Intel사에서 근무.

현재 고려대 공대 전기공학과 조교수. 주관심분야: 마이크로 머시닝과 MEMS에의 응용에 관한 연구, ASIC에 관련된 Silicon Device/Process/Reliability에 관한 연구.



**성영권(成英權)**

1933년 1월 18일생. 1956년 일본 오사카대 전기공학 졸업. 1961년 동 대학원 졸업(석사). 1964년 동 대학원 전기공학 졸업(공학박). 1966.3~67.2 한양대 공대 전기공학과 부교수. 1981.9~82.8 日本 東北大 電子通信研究所 招聘教授.

현재 고려대 공대 전기공학과 교수 및 산업대학원 대학원장. 주관심분야: Si 반도체 Processing 및 Micromachining 응용, Laser & Plasma CVD, 박막공학 및 센서.