

◆특집◆ Micro Machining

# 실리콘 마이크로머시닝 기술과 산업용 MEMS

조영호\*

## Silicon Micromachining Technology and Industrial MEMS Applications

Young-Ho Cho\*

**Key Words** : Micromachining (마이크로머시닝), Bulk-micromachining (기판미세가공), Surface-micromachining (박막미세가공), Microelectroforming (미세전주가공), MEMS (미소기전집적시스템)

### 1. 서론

최근 첨단 미세가공기술로 주목을 받고 있는 실리콘 마이크로머시닝 기술과 이를 기반으로한 산업용 MEMS 개발현황을 소개한다.

전반부에서는 마이크로머시닝 기술의 종류를 소개하고 각각의 기술에 대해 기술근원, 미세가공 원리와 기본 가공공정을 간략히 요약한 후 기전 집적형태의 마이크로머시닝과의 연계성을 고려한 시스템적인 측면에서의 기술특성을 상호 비교한다. 또한 가공의 양산성, 재현성, 조립성 측면에서 마이크로머시닝의 가공성을 조명함과 동시에 향후 발전 방향을 전망한다.

이어 후반부에서는 마이크로머시닝 기술의 산업화 응용 소개와 함께 관련 MEMS기술의 발전동향을 분석해 본다. 이와 더불어 MEMS 기술의 산업화 방안과 관련 기술의 성숙요건을 정리해 본다.

### 2. 마이크로머시닝 기술의 개요

20세기 집적회로 제조기술 (microelectronics fabrication technology)의 발전은 전자부품의 경박단소화 개발의 원동력이 되었다. 1940년대 트랜지스터의 개발은 근 50여년간 핵심 전자부품으로 자리를 지켜오던 진공관을 퇴진시킨 이래, 1960년대 SSI (Small-Scaled Integration) 시대에서 1990년대 VLSI (Very Large-Scaled Integration) 시대로 발전하면서 전자부품의 크기와 집적도 뿐만 아니라 동작 속도, 가격면에서 각각 1000배 이상의 향상을 이룸과 동시에 전자제품의 경박단소(輕薄短小)화 개발을 주도해왔다.

현재 집적회로 제조기술로 가공할 수 있는 반도체 구조물의 최소크기는 원자단위 (atomic scale)까지 가능하나 실용화 기술로서의 양산성, 경제성, 재현성을 고려한다면 마이크로미터 ( $\mu\text{m}$ )단위 정도라 할 수 있고, 2000년대 초고집적 반도체 (256 Mbit)의 경우  $0.25\mu\text{m}$ 로 세밀화 되고 있다.

한편 1960년대 집적회로 제조기술을 응용한 미세구조물 가공기술 - 즉 마이크로머시닝 기술이 처음 시도되었고, 1980년대 중반 움직이는 미세기계 구조물 개발을 계기로 새로운 개념의 기계-전자 복합시스템인 MEMS가 등장하게 되었다. 이러한 마이크로머시닝 기술은 기계부품의 경박단소화 개발을 가능케 함으로써, 향후 기계-전자 복합제품의 경

\* 한국과학기술원 기계공학과 마이크로머시닝 및 마이크로시스템 연구실

Tel. 042-869-3038, Fax. 042-869-3050

Email mems@kaist.ac.kr

마이크로 관성센서, 마이크로 액추에이터 및 마이크로 감응시스템 응용연구에 관심을 두고 있다.

박단소화 개발에 필요한 핵심기술로 주목 받고있다.

### 3. 마이크로머시닝 기술의 분류

노광전사(Lithography) 공정을 기반으로 한 마이크로머시닝기술은 1960년대에 개발된 "기판미세가공(bulk-micromachining) 공정," 1980년대 초반에 개발된 "박막미세가공(surface-micromachining) 공정," 그리고 1980년대 중반에 개발된 X-ray를 이용한 "LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 공정 과 UV를 기반으로한 , 미세전주(microelectroforming) 공정" 등으로 대별할 수 있다. 여기서는 UV를 기반으로한 마이크로머시닝 기술 - 즉 기판 미세가공, 박막 미세가공 및 미세전주 가공에 관해 기술한다.

#### 3.1 기판미세가공 (Bulk-micromachining)

기판미세가공 공정은 1960년대 초 미국 Bell Laboratory에서 개발[1]한 미세가공기술로서, 재질의 결정방향에 따른 이방성 화학적식각 (anisotropic chemical etching)을 이용하여 기판자체를 가공하는 기술이다.

기판미세가공 공정에서는 불순물을 기판에 침투시키거나 내식성 피막 혹은 전기화학적 경계층 (electrochemical junction)을 이용하여 식각을 조절하거나 정지시키며, 질화실리콘 등 식각 정지면을 이용해 기판을 절단 하거나 질화실리콘 박막을 형성하는데 주로 사용된다.

이러한 기판미세가공법은 1960년대 이후 지금까지 반도체 센서[2]에 주로 응용되어 왔으며, 가공공정이 집적회로 제조공정과 상이한 관계로 간단한 전자요소 (저항체, 콘덴서등) 이외는 기계요소와 일석 동시제작 하는데 한계가 있다.

#### 3.2 박막미세가공 (Surface-micromachining)

박막미세가공법은 1980년대 초 미국 버클리대 (UC-Berkeley)에서 집적회로 제조기술을 응용한 미세구조물 제작에 성공[3]한 이래, 다양한 미세기계요소[4] 및 기전집적 시스템[5] 제작기술로 발전하면서 제품기술로서의 가능성을 보이기 시작하였다. 박막미세가공법은 전술한 기판미세가공법과는 달리 기판 자체를 가공하는 것이 아니라, 기판위의 박막 소재를 가공하는 기술로서, 이때 기판은 미세

기계 제작을 위해 단순히 박막을 지지하는 역할만 한다.

특히 박막미세가공법은 집적회로제조기술에 기반을 두고있어 미세기계 요소와 전자회로를 하나의 칩상에서 동시에 제작한 기계-전자 집적형태의 마이크로머신 실현을 가능케 하였다.

박막미세가공법의 단위공정(unit process)은 Table 1에 정리한 바와 같이 박막을 형성하는 공정 (deposition), 노광전사를 통해 패턴을 박막위로 옮기는 공정(lithography), 박막위에 전사된 미소기계를 가공하는 박막가공공정(patterning), 그리고 미소기계소재의 물성을 조절하기 위한 처리공정 (treatment)등 크게 4가지로 구성되며, 각 단위공정마다 다양한 종류의 세부공정이 존재한다.

Table 1 Surface-micromachining process

Unit process	Types
Deposition	CVD
	Eevaporation
	Sputtering
	Epitaxy
	Oxidation
Lithography	UV
	E-beam
	X-ray
Patterning	Wet etching
	Dry etching
Treatment	Implantation
	Diffusion
	Annealing

한편 박막가공(patterning)에 사용되는 식각법은 Table 1에 표시한 바와 같이 크게 두가지로 분류할 수 있다. 먼저 물질선택적 등방성 화학식각법을 이용하는 경우, 감광제는 식각되지 않고 감광제가 없는 부분의 산화막만 선택적으로 식각된다. 한편, 건식식각의 경우, 플라즈마등 고에너지 이온을 이용하여 감광제가 없는 부분의 산화막을 수직으로 식각 할 수 있다. 마이크로머신 제작시 수직단면 가공이 요구되는 경우가 많아, 주로 건식식각을 이용하여 미세 기계구조물을 가공하고 있다.

여기서 한가지 유의하여야 할 점은 마이크로머신을 위한 박막미세가공 공정과 집적회로 제조공정과 유사성과 차이점이다. 즉 박막미세가공법은

집적회로 제조기술을 기반으로 발전한 것으로, 두 기술 모두 상호공정의 호환성이 있으나 공정자체가 반드시 일치하는 것은 아니라는 것이다. 이는 가공소재 및 재료의 특성 차이와 가공하고자 하는 미세구조물의 기하학적 특징 차이에서 기인하며, 이러한 마이크로머신 제작을 위한 박막미세가공법의 공정 특이성 때문에 실제 마이크로머신 제작경험과 이로부터 얻은 공정 Know-how가 마이크로머신의 개발 성패 및 시기단축의 관건이 된다.

### 3.3 미세전주가공 (Microelectroforming)

앞서 설명한 기관미세가공법 및 박막미세가공법 이외 UV 노광전사 (lithography)와 전기도금 (electroplating)을 이용한 특수 가공기술로서 미세전주가공법을 들 수 있으며, 이 가공기술은 종래의 주물 가공과 흡사한 면이 많다.

먼저, UV선을 이용하여 감광제로 된 두꺼운 전주벽을 형성한 후 주물방식을 이용하여 미소기계 부품을 가공하는 방식이고, 미세전주가공은 노광전사를 이용하여 특수 감광제를 노광하여 전주벽을 형성한 후 전기도금으로 미소기계 부품을 제작하는 방식으로, 특히 고 단면비를 가진 미소기계부품 제작에 유리하다.

그러나 미세전주가공은 고단면비를 가진 단위 미소부품가공에 매우 유리한 미세가공기술이나, 기전 복합시스템 측면에서 볼때 집적회로 제조기술과의 공정 호환성 결여로 별도의 조립공정이 필요하다는 단점이 있다.

## 4. 마이크로머시닝 기술의 특성비교

앞서 소개한 마이크로머시닝 기술이 실용화 양산기술로 성숙하기 위해서는 제품기술 측면에서의 가공성, 실용성 및 경제성이 검토되어야 한다. 이러한 제품기술 측면에서 마이크로머시닝 기술의 가공성을 비교 분석하기로 한다.

하나의 가공기술이 실용성과 경제성을 갖춘 제품기술로 활용되기 위해서는 가공가능 소재의 다양성, 물성치의 균질성·재현성, 가공치수의 정밀성·재현성, 가공단면의 기하학적 특성 (고단면비), 양산가공시의 집적도, 조립성과 함께 가공의 경제성등이 종합적으로 검토되어야 한다.

### 4.1 소재 다양성

기관미세가공에 사용되는 기관 소재는 주로 실리콘과 수정 등 극히 한정되어 있으며, 미세전주가공의 경우는 사용가능 재료가 전기도금이 가능한 금속으로 제한되어 있다. 반면 박막미세가공은 반도체 및 세라믹 (다결정 실리콘, 산화실리콘, 질화실리콘, PSG, PZT, ZnO, ZrO<sub>2</sub>, DLC 등)과 텅스텐, 몰리브덴, 니켈, 구리, 금, 은, 알루미늄, 탄탈륨 등의 금속, 그리고 폴리이미드, 아크릴 수지 등의 고분자 화합물에 이르기까지 가공가능한 소재의 폭이 매우 넓다.

### 4.2 물성의 균일성 및 재현성

기관 기관미세가공의 경우 기관자체가 미소기계의 소재가 되므로 재료 물성의 균질성과 재현성 측면에서 매우 우수한 반면, 박막미세가공의 경우 박막형성 도중 소재의 전기적 성질과 기계적 성질을 동시에 조절해야 하므로 특별한 주의를 요함과 동시에 기존 집적회로 제조공정의 개선이나, 전·후 처리공정이 추가로 요구된다. 한편, 미세전주가공의 경우 재료물성이 전해용액의 온도, 성분비, 불순물농도, pH 등에 민감하기 때문에 물성의 균질성 및 재현성 유지를 위하여서는 매우 엄격한 공정조건 유지가 필수적이다. 따라서 물성의 균질성 및 재현성 측면에서 볼때, 실리콘 기관의 경우 전위 (dislocation) 밀도가 100개/cm<sup>2</sup> 인데 반해 금속의 경우 10<sup>8</sup>개/cm<sup>2</sup> 정도이므로 실리콘 기관 자체를 소재로 사용하는 것이 매우 유리하다.

### 4.3 치수 정밀성 및 재현성

마이크로머시닝의 가공오차 및 치수의 재현성은 양산기술로서 아주 중요한 요인이 되며, 박막미세가공의 경우는 우수한 편이다. 미세전주법의 경우 폴리이미드 등 고분자 화합물 가공정도에 따라 치수의 정밀성과 재현성이 결정되므로, 미세한 구조물을 제작할 경우 두꺼운 폴리이미드층으로 구조물을 정의하는데 난점이 있다. 한편, 습식 기관미세가공법은 가공치수가 식각방지층 및 식각시간의 조절에 전적으로 의존하게 되어 치수의 정밀성과 재현성 유지에 난점이 있다.

### 4.4 고단면비 가공

고단면비 구조물가공 측면에서는 일반적으로 미세전주법, 기관미세가공법, 그리고 박막미세가

공법 순으로 우수하나, 전술한 바와 같이 이 최소선 폭을 고려할 경우 가공우수 순서가 달라질수 있다.

#### 4.5 양산성

단위 미세구조물의 양산성에 관하여서는 집적도 관점에서 볼때, 박막미세가공법, 미세전주법, 기관미세가공법 순으로 유리하며, 특히 습식 기관 미세가공법은 양산시 오히려 불리해지는 경우도 있다.

#### 4.6 집적성 및 조립성

미세전주법이나 기관미세가공법은 제한적인 기·전 집적만 가능한 반면, 박막미세가공법은 미세기계와 다양한 전자회로의 동시 집적가공이 가능하다.

#### 4.7 기술분석 및 전망

이상의 제품기술측면에서 분석한 마이크로머시닝 기술을 비교 요약하면 다음과 같다. 기관미세가공법의 최대 장점은 물질치의 균질성과 재현성을 유지할 수 있다는데 있고, 박막미세가공법은 가공 가능 소재가 다양하고 치수재현성, 양산성, 기전집적성에는 매우 유리하나 고단면비 가공에 한계가 있다. 한편 미세전주법은 모든면에서 비교적 무난한 반면, 소재의 제약이 가장 큰 결점이고 시스템적인 측면에서는 여러가지 제약이 많아 일부 단품가공 혹은 단품가공을 위한 하나의 공정으로 응용되고 있다.

여기서 한가지 유의할점은 최근 기술선진국에서 관심이 고조되고 있는 '기·전 집적시스템(MEMS: Micro Electro Mechanical Systems)' 혹은 '마이크로머신'의 탄생에 있어서 기계·전자요소의 동시가공이 가능한 박막미세가공법이 결정적인 산과 역할을 담당하였다는 점이다. 이러한 박막미세가공법은 1980년대 중반 다양한 미소기계요소 가공기술로 발전하면서 본격적인 연구가 시작되었고, 마이크로머신이라는 용어를 탄생과 함께 폭넓은 산업분야에 걸친 다양한 응용예[5]를 통하여 제품기술로서의 실용성과 경제성을 입증해오고 있다.

또한 집적회로 제조기술의 발달이 20세기 마이크로일렉트로닉스 혁명의 원동력이 되었던듯이, 박막미세가공법은 기·전집적 마이크로머신 발전을 통하여 21세기 포스트 일렉트로닉스 시대를 향한 핵심 기술로 성장하고 있으며, 향후 고집적 반도체 제조

기술과 상호보완적인 형태로 발전해 나갈 것으로 전망된다.

### 5. 산업용 MEMS 특성

근래 과학기술의 발전이 인류의 삶과 사회경제적 활동에 미치는 영향은 날로 증대되고 있다. 최근 기술선진국의 연구개발 역시 이러한 사회경제적인 요구에 부응하기 위해 고부가가치 첨단제품의 경박단소화 기술개발에 집중하고 있으며, 제품의 극소화를 통해 성능(속도, 기능) 및 가격 경쟁력의 향상은 물론 에너지와 자원의 경제적 활용을 동시에 추구하고 있다.

MEMS 기술의 산업화는 자동차, 항공우주 분야에서의 고성능 감지센서 및 전장시스템 개발에서 시작되어, 최근 광 및 무선통신 분야에서의 극소형 스위치와 분배기 응용제품 개발로 이어지고 있다.

이러한 산업용 MEMS 제품개발에 필연적으로 요구되는 과학기술은 광기전복합제품의 극소화와 다양한 형태의 미소에너지 활용 기술 - 즉, 극미소 에너지의 생성, 처리, 분석, 표시, 저장, 검색 및 전달 기능의 고성능화, 저립화, 저전력소모화 기술 - 에 관한 것이다. 이 중 전기신호를 정보의 매체로 한 미소전기에너지의 정보화 활용기능은 20세기 전자혁명의 원동력이었던 집적회로 및 반도체기술에 의한 전자제품의 소형화를 통해 이미 실현된 바 있다. 이에 1980년대 중반 MEMS 기술이 탄생한 이래 기술선진국의 연구 및 기술개발 노력은 미소 광기전 집적부품, 미소구조물을 이용한 반도체 집적센서, 미소구조물 구동을 위한 마이크로 액추에이터 등의 복합요소 개발에 집중되어 왔다.

산업용 MEMS 제품개발의 핵심은 미소영역에서의 물리현상 및 물성에 관한 과학적 기초지식에 근거하여 주어진 기능 및 성능사양을 만족시킬 수 있는 미소기능요소의 설계 및 제작기술을 확보하고 이를 실험적으로 검증하는데 있다. 또한 MEMS 기술은 기초과학과 응용공학 간의 기술영역 및 특성에 관한 차이로 인해 다음과 같은 전문성을 요한다. 첫째, 미소영역에서 발생하는 물리적 현상에 관한 이해와 크기 축소에 따른 에너지 변환원리의 특성변화에 대한 공학적 설명. 둘째, 미소재료의 기계적, 전기적, 열적, 광학적 물성에 관한 실험자료의 확보와 분석, 그리고 물성의 재현성 유지와 영향인자와의 연계성 추출. 셋째, 미소가공 공정

에 관한 지식과 경험, 공정에 따른 미소구조의 형상 (2차원화), 크기, 소재 및 가공공차에 관한 제한 조건의 이해를 요한다.

따라서 MEMS 기술개발은 과학기술적 관점에서 볼 때, 미소영역에서의 물리현상에 관한 과학적 지식을 근거로 한 미소에너지의 정보화 활용 및 공학적 구현에 관한 것으로, 기계, 전자, 재료 등 응용 공학과 물리, 생물, 화학 등의 기초과학간의 고도의 기술융합을 통한 초분야적 혁신기술 창출을 요한다. 특히 MEMS의 관심영역인 마이크로미터의 세계는 지금까지 나노미터 영역을 대상으로 발전한 공학,과 기존 밀리미터 이상의 영역을 대상으로 개발된 공학,과의 융합지대로서 미소물리현상의 특성, 미소재료의 물성 및 거동특성에 관한 원천적 연구가 미흡한 분야이다. 미래 산업용 MEMS 제품 개발을 위해서는 미소물리현상의 원리와 특성을 실험적으로 분석하고, 새로운 작동원리의 발굴과 극소형 부품의 성능 한계극복 및 기술 고도화를 실현시킬 수 있는 원천적 공학기술의 창출이 필요하다.

## 6. MEMS 기술의 산업화 현황

최근 미국, 일본, 유럽 등 기술선진국에서는 MEMS에 근거한 고부가가치 첨단제품의 극소화 개발을 활발히 전개되어 왔으며, 기존 복합부품의 극소화 및 집적화 그리고 기존 제품시장의 확장파 신 제품시장의 창출을 추구하고 있다.

현재 기술선진국에서는 MEMS 기술개발을 위하여 국가적인 차원의 대형연구개발 사업을 추진하고 있다. 먼저 MEMS기술의 발생지인 미국의 경우, NSF, DARPA, DOD, DOE 등에서 추진하는 기술개발 사업을 통해 집적화된 미소감지소자 개발에 주력하고 있으며, 이 중 제품화가 비교적 단시일 내 진행된 가속도계의 경우 미국이 국제시장의 60%를 선점하고 있는 상태이다. DARPA에서는 1997년 12월부터 극소형 비행체(MAV: Micro Air Vehicle) 개발을 위하여 6개의 기술개발과제를 각각 3년간 65-300만불 규모로 신규지원하고 있으며, 무게 7g의 극소형 비행체는 미소센서를 이용한 관성항법장치와 무선송수신기를 탑재하고 있다. 한편 TI(Texas Instrument)사에서는 반사형 대화면을 위한 미소거울화소(DMD: Digital Micromirror Display)개발을 추진하고 있으며, Analog Devices사에서는 가속도계 등 집적화된 관성센서 개발에 주력하고 있

다.

유럽의 MEMS 프로그램은 독일, 스위스, 네덜란드, 프랑스에서 각각 활발히 진행되고 있으며, 지금까지 국제경쟁력을 유지해 오고 있는 소재기술과 의료기 관련산업의 기반을 이용하여 생체 및 화학센서 개발과 성분분석시스템 개발에 집중하고 있다.

한편 지금까지 축소 지향적 제품기술의 선두를 유지하던 일본의 경우, 표면미세가공 기술은 동 기술 발생지인 미국에 비해 떨어지며, 실용적 기술개발 활동 역시 마이크로시스템 분야의 투자를 급속히 증대시킨 유럽에게 추월을 당하고 있는 실정이다. 따라서 일본의 극소화 기술개발은 MEMS기술의 근원인 표면미세가공 기술에 기초를 두고 있다. 기 보다, 전통적 기계가공의 정밀화 및 습식 기판미세가공에 근거한 기계요소 크기축소에 치중한 결과로 독자적 미세가공기술과 양산성 있는 미소감지소자 기술수준이 미국이나 유럽에 비해 상대적으로 취약한 상태이다.

현재 국의 MEMS 연구기관은 약 320여 개가 있으며, 이 중 대학 및 연구소의 숫자가 전체의 30%, 기업체가 70%를 각각 차지하고 있다. 특히 미국과 일본의 경우 기업체의 수가 대학 및 연구소의 수보다 월등히 많으며, 미국 기업체의 경우 MEMS관련 Venture의 수가 많은 편이고 일본은 기존 전기 및 전자관련 기업체의 참여가 많다. 한편 유럽의 경우는 대학 및 연구소의 숫자가 기업체 수보다 오히려 많은 편인데, 이는 유럽에서의 MEMS연구는 전문화된 연구소를 중심으로 추진되고 있기 때문이다.

최근 일본과 유럽에서는 MEMS 학과를 신설하여 MEMS기술의 산업화를 대비하여 전문화된 기술개발과 인력양성을 꾀하고 있다. 최근 국의 학계에서의 MEMS관련 학술활동 또한 급속히 확대되고 있으며, 기계, 전자, 재료 및 광학 관련 저명학회에서의 MEMS 관련 국제학술지 발간과 국제학술회의 개최가 크게 증대되고 있다.

우리나라에서도 1995년부터 국가선도기술개발사업(G7)인 초소형정밀기계기술개발 사업을 통해 산업용 MEMS 연구를 진행해 오고 있으며, 주로 상품화를 위한 기술개발 사업을 지원하고 있다. G7 산업용 제품기술분야에서는 압력센서, 자이로 등 미소감지소자 개발, 반사형 대화면용 정전구동 미소거울 개발을 추진하고 있으며, 기반기술분야에서

는 미세가공기술과 소재기술에 중점을 두고 있다. 이외에도 가속도계, 마이크로자이로 및 관성감지모듈 개발, 마이크로 펌프 및 밸브, 그리고 아날로그 방식의 반사형 대화면용 압전구동 미소거울 개발 등을 들 수 있다.

## 7. 산업화 발전방안

MEMS 기술의 산업화 목표는 연구기관의 기술, 인력 및 시설에 관한 기반을 활용하여 기술투자의 결과로서 산업용 제품 및 관련 핵심기술의 개발, 전문인력의 양성, 논문 및 특허 등 지적소유권 창출을 극대화 하는데 있다.

### 7.1 목표 및 범위설정

MEMS 기술개발의 목표는 국내의 기술개발 현황과 제품시장 동향분석을 토대로 기술적용 제품 및 관련 산업분야에 관한 수요와 연구자원 (인력, 기술 및 시설 기반)을 근거로 이루어져야 하며, 특히 국내 주력산업 및 전략 제품에 관한 기술개발 초점을 맞추어야 할 것이다. 이러한 이유로 국내 기술개발의 목표와 대상을 결정함에 있어서 기술선진국 기술개발사례의 단순채택은 지양해야 하며, 국내 관련 산업 및 기술기반을 토대로 이루어져야 한다. MEMS의 특성상 위험부담이 있더라도 신제품 및 창의적 신기술 개발이 절실히 필요한 분야이나, 현재 국내 여건에 비추어 볼 때 이를 추진하기에는 현실적인 어려움이 많다. 이러한 기술개발 환경내에서는 국외연구의 모방 및 재현을 위한 연구가 불가피한 실정이나, 연구자들의 열의와 추가적인 노력을 기대 할 수는 있을 것이다. 연구대상의 선정은 연구자 혹은 기술공급자의 관심보다 수요자 입장에서 필요한 기술을 개발함이 바람직하며, 기술개발의 범위는 제품의 성능 및 부가가치 향상에 핵심이 되는 MEMS 부품의 개발에 집중하고, 그 외 부가적인 부품과 시스템적인 기술은 기 보유 상태이거나 별도개발을 추진할 수 있는 대책 마련이 필요하다.

### 7.2 추진체계 및 방법

MEMS 기술개발은 마이크로미터 영역에서의 원리와 물리적 현상, 미소재료의 물성과 거동 특성, 미소에너지간의 상호작용 등에 근거한 기술개발 시도인 관계로 집중적이고도 장기적인 기술개발 노력

과 지원을 필요로 한다. 기술개발 체계는 정량적 목표사양 달성을 위한 연도별 목표사양을 정하되 타당성 있는 기술적 근거에 의해 나누는 것이 바람직하다. 효율적인 기술개발을 위해서는 참여 연구기관 및 연구책임자의 전문성과 기술배경이 매우 중요하며, 개인적인 친분관계만을 고려한 역할분담은 기술개발의 성공가능성 및 전체적인 연구환경조성에 매우 악영향을 미치게 되므로 철저히 배제되어야 한다. 연구기관별 세부목표 간의 연계성이 단순하면서 뚜렷하고 최종목적과의 관계가 잘 드러나도록 최선을 다하는 것이 필요하다.

### 7.3 연구조직 구성 및 운영전략

MEMS 기술의 산업화를 위하여서는 기계, 전자, 재료 등 공학분야 연구인력과 물리, 생물, 화학 등의 과학분야 연구인력이 연합된 학제적인 연구집단 구성과 체계적 역할분담이 필요하다. 또한 연구집단내 전문인력들 간의 폭넓은 기초과학적 지식의 공유에 힘쓰고, 미소영역에 관한 과학기술적 문제해결을 위해 적극적이고 집중력 있는 초분야적 (transdisciplinary) 협동연구를 전개하여야 한다. 따라서 MEMS 기술개발은 과학과 공학, 그리고 학문과 기술간의 틈새영역에 뿌리를 둔 기술혁신성 연구개발 성격이 강한 관계로 단순한 다분야간의 공동연구가 아니라 연구책임자를 중심으로 한 집중성 있는 연구방향 설정과 기술개발 활동의 전개, 그리고 다분야 연구원들간의 초분야적 기술개발 협력 및 추진체계가 필요하다.

### 7.4 자원 활용

산업용 MEMS 기술개발은 미소영역에서의 물리현상 및 동작원리를 검증하고, 그리고 이를 이용한 신기술 창출을 위해서는 창의적 아이디어의 구현과 새로운 기술의 검증 및 실험적 확인이 빈번히 요구된다. 따라서 새로운 실험적 시도의 수용 유연성이 있는 연구시설에서 연구를 수행할 수 있어야 기술개발의 기동성과 성공률을 높일 수 있다.

## 8. 맺음말

노광전사를 기반으로하는 마이크로머시닝 기술을 기술근원에 따라 기판미세가공법, 박막미세가공법, 미세전주가공 등 크게 3가지로 분류하였으며, 각각의 기술에 대한 소개와 함께 가공원리 및 특성

을 상호 비교분석 하였다.

이들 마이크로머시닝 기술중 특히 박막미세가공법은 집적회로 제조기술을 기반으로 개발된 것으로서, 1980년대 말 마이크로미터 크기의 미소기계요소와 이들의 작동에 필요한 전자회로를 하나의 칩 상에서 동시가공한 새로운 형태의 기·전 복합시스템 (즉, 기계-전자 집적형태의 마이크로머신)을 탄생케했다. 또한 박막미세가공법은 기계-전자 복합시스템의 소형화, 경량화, 다기능화, 고속화, 고신뢰도, 저전력소모를 이룸으로써 제품의 성능향상과 가격의 저렴화를 동시에 꾀할수 있다는 장점이 있어 기계-전자 복합제품의 경박단소화를 촉진하는 원동력이 되고있다. 이러한 박막미세가공법은 이미 실용성 및 양산성이 입증된 집적회로 제조기술을 기반으로 하고 있어 공정의 양산성 (재현성 및 안정성)을 갖춘 실용적인 제품기술로 성장하고 있다.

MEMS 기술은 21세기 고부가가치 첨단제품이 필요로 하는 극소형 고성능 첨단기기의 창출을 가능케 하며, 기존 기전복합제품에 관한 기술의 한계를 극복할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 또한 MEMS 연구는 미소영역에서의 작동원리 및 물리적 현상에 관한 심층적 이해와 미소재료의 물성에 관한 실험적 분석 및 자료 축적을 통해 마이크로미터 영역에서의 새로운 작동원리의 발굴, 과학과 공학간의 기술적 연결고리 발견, 과학과 기술의 융합지역에서의 신기술 창출 및 새로운 연구분야의 개척에 기여할 수 있다.

이러한 미소 물리현상의 원리와 검증된 구현방법의 제시는 고부가가치 기전복합제품에서 필요로 하는 핵심부품의 성능과 부가가치 향상을 통해 제품의 경쟁력 향상을 꾀함은 물론, 21세기 첨단 산업분야에서 요구되는 정보의 검색, 기록, 저장, 표시 기술의 고도화와 극소형, 고성능, 고속, 저전력소모형 첨단제품 개발에 기술적인 돌파구 (breakthrough)를 제공하는데 기여할 수 있을 것으로 전망된다. 또한 기존제품의 성능향상과 부가가치 극대화를 통한 국제경쟁력 향상은 물론, 독자 신 기술과 특허 그리고 이를 응용한 신제품 창출을 통해 자동차, 정보통신, 가전, 컴퓨터, 의료 및 환경기기 등 미래 고부가가치 산업분야에서의 신시장 개척과 새로운 business 창출이 가능하다.

그러나 현재 국내 MEMS기술의 산업화를 위해 필요한 것은 훌륭한 연구주제 뿐만 아니라 선량한 양심과 진지한 연구열의를 지닌 전문인력이 기술개발에 적극적으로 참여하고, 이들의 연구성과와 기여도가 공정하게 인정을 받으며, 각자의 전문성과 역량에 따라 서로 도우며 연구할 수 있는 연구환경을 마련하는 것이라 사료된다. 무엇을 하느냐도 보다도 누가, 어떻게, 왜 라는 물음에 답을 구하는 것이 더 중요할지도 모른다.

## 참고문헌

1. D.L. Klein and D.J. D'Stefan, "Controlled Etching of Silicon in the HF-HNO<sub>3</sub> System," J. Electrochem. Soc. Vol. 109, pp. 37-42, 1962.
2. 조영호, "자동차용 반도체 집적센서 및 마이크로 액추에이터," 한국자동차공학회지, 제14권, 제3호, pp. 12-25, 1992.
3. R.T. Howe and R.S. Muller, "Polycrystalline Silicon Micromechanical Beams," Extended Abstract, Electrochemical Society Meeting, Montreal, PQ, Canada, pp. 184-185. May 1982.
4. L.-S. Fan, Y.-C. Tai and R.S. Muller, "Pin Joints, Gears, Springs, Cranks and other Novel Micromechanical Structures," Tech. Digest, Transducers'87, Tokyo, Japan, pp. 849-852, June 1987.
5. 조영호, "미소 기계-전자 집적시스템의 응용과 실제," 대한기계학회지, 제32권, 제7호, pp. 588-603, 1992.