

초소형 정밀기계 소개 및 국내외 기술동향

최근에 들어와서 반도체 공정에 기반을 둔 미세가공기술을 이용한 초소형 정밀기계의 연구개발이 매우 활발하게 진행되고 있으며, 미세가공기술을 사용하여 모든 기계 구조물을 μm 의 매우 높은 정확도로 제작할 수 있다. 파이버, 홀, 노즐, 다이어프램 등의 작은 기계부품들에 대한 정밀기계들을 초소형기계로 대체할 수 있다. 기존의 기계적 제작 방법은 비용, 시간, 공정의 복잡성 면에서 대량 생산이 어려웠고 가격이나 용량의 측면에서도 일반 산업용 센서로서 사용되는데 제한이 많았다. 이러한 특징을 갖는 기존의 센서에 비해 초소형 정밀기계 기술로 제작된 센서는 여러가지 면에서 장점을 갖는다.

그래서 본고에서는 21세기를 앞두고 국내외적으로 매우 활발히 진행되고 있는 초소형 정밀기계에 대한 소개 및 기술현황을 알아본다.

백 경갑*, 주 병권, 김 희중, 오 명환
대전대 전자통신공학부*, KIST 정보재료소자연구센터

- 목 차 -

1. 초소형 정밀기계의 소개 및 국내외 기술동향
2. 자동차분야의 초소형 정밀기계
3. 의료분야의 초소형 정밀기계
4. 우주항공분야의 초소형 정밀기계
5. 정보통신분야의 초소형 정밀기계
6. 에너지 및 환경분야의 초소형 정밀기계

개요

초소형 정밀기계란 반도체 공정 중 미세가공 (micromachining) 기술로서 대개 단위의 구조물을 제작하고 이를 이용하여 센서, 액추에이터, 신호 변환시스템 등의 응용시스템을 설계, 제작하고 최종 단계로 제작된 구조의 기계-전기적 시험까지 포함하는 총체적 기술을 말한다. 이를 대신하여 다른 나라에서는 MEMS(Micro ElectroMechanical Systems : 미국), Micromachine 또는 Micro-mechatronics(일본), Microsystem(유럽)으로 부른다. 초소형 정밀기계기술은 마이크로 전자공학의 공정기술과 재료를 밑바탕으로 기계-전기적인 소자를 제작한다. 예를 들어, 미세가공기술로 제작된 마

이크로구조물의 질량체, 스프링 등 기계적인 구성 요소들은 마이크로 전자공학의 집적화된 CMOS 소자와 비슷한 크기를 가지거나 하나의 개별 시스템이 수천 개까지의 단위 구조물로 구성될 수도 있다. 초소형 정밀기계는 하나의 특정한 소자나 응용이 아닐 뿐만 아니라 또한 몇몇 단위 공정이나 재료로 정의될 수도 없다. 넓은 의미의 초소형 정밀기계는 다양한 목적을 갖는

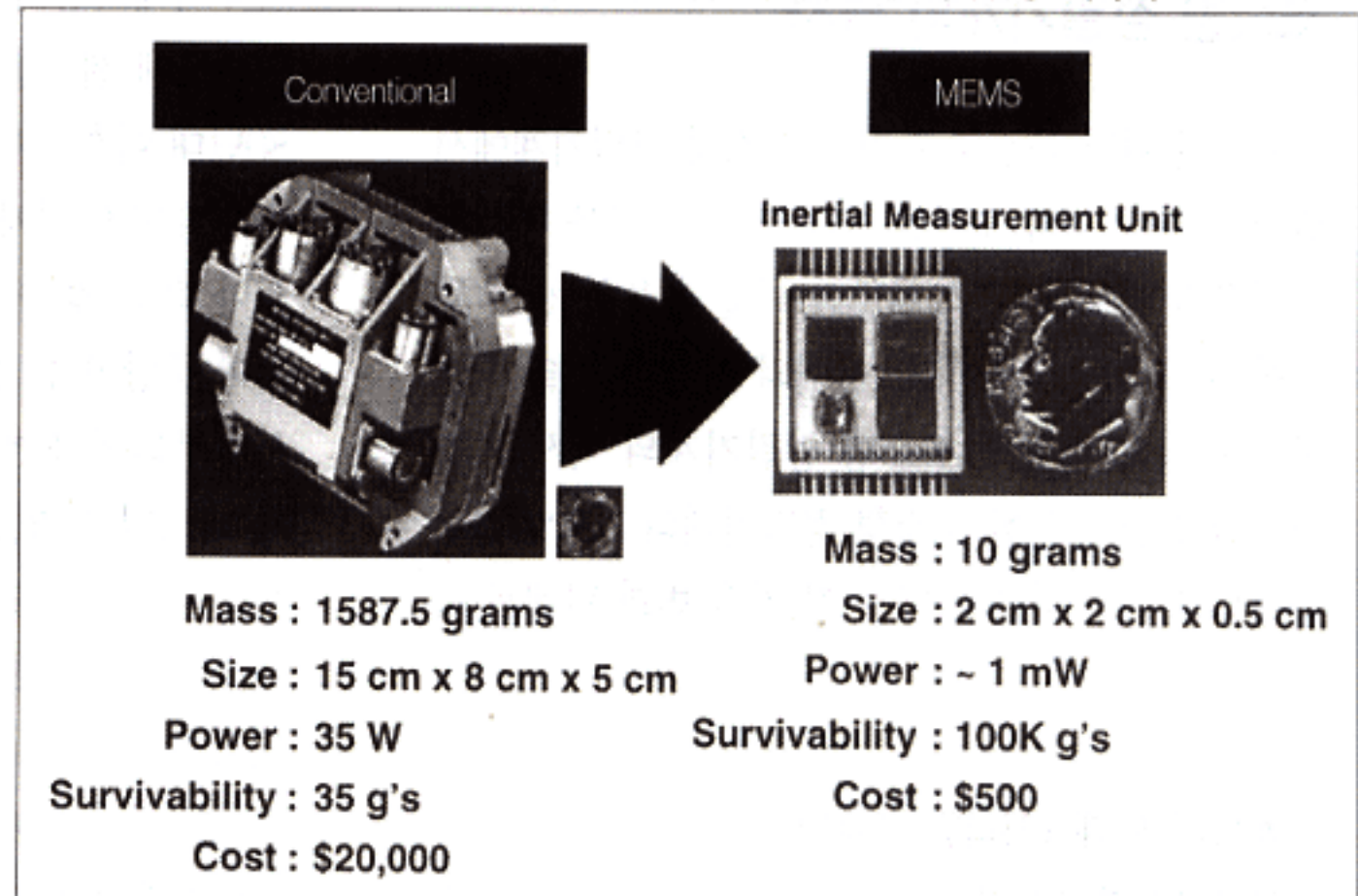
집적화된 기계-전기 시스템의 설계 및 제작 과정에 마이크로 전자공학의 여러 장점들을 활용하여 제작하고자 하는 총체적 기술이며 접근 방법이다.

초소형 정밀기계 기술에 의한 시스템들은 마이크로 전자공학의 장점을 계승하므로 여러 면에서 우수한 특성을 보인다.

우선 용어가 의미하는 바대로 초소형 정밀기계 기술로 제작된 시스템은 크기가 작다. 안정성 및 성능향상을 위한 전기 회로부 및 제어 회로부를 포함하는 가속도 센서나 자이로스코프 같은 복잡한 관성 센서도 하나의 실리콘 웨이퍼 상에 집적화되어 모놀리틱 칩으로 제작될 수 있는 장점이 있다. 시스템이 단위로 미세화되는 것은 부피나 질량이 제한 요소가 되어 전체 성능에 영향을 줄 수 있는 분야이나 기존 센서들의 경우 부착이 불가능하였던 분야까지 응용이 가능토록 한 장점이 있다. 집적화 센서는 초소형 정밀기계 기술 중 CMOS 공정과 호환성을 갖는 미세가공기술로서 가능하다. 둘째, 반복적인 대량 생산이 가능하다.

이러한 특징은 CMOS 단위 공정 중 사진식각술 및 대량 생산의 기초가 되는 공정의 표준화 및 일괄

그림 1. 기존의 기술로 만들어진 관성소자와 초소형 정밀기계 기술로 만들어진 관성소자의 비교



공정에 의해 가능하다.

하나의 실리콘 웨이퍼 위에 수백 개 단위 구조물의 제작이 가능하고 따라서 같은 크기와 물리적 성질을 가질 수 있는 동일 소자가 대량으로 생산되는 것이다. 셋째, 내구성이 좋다. 초소형 정밀기계 기술에 주로 사용하는 재질은 금속이나 실리콘계 재료이고 특히 기계적 구조물로서 다결정실리콘을 사용하는 경우가 빈번하다. 한번 기계 구조물을 이룬 다결정실리콘은 반복 운동에 의한 물리적 성질의 변화가 거의 없으며 일정한 온도 범위에서 반복 운동에 의한 내구성이 뛰어나다. 넷째, 시스템의 소형화로 인해 전력소비가 적어 오랜 시간 동안 작동 가능하고 열 발산 등 외부 소자에 끼치는 영향이 극소화될 수 있다.

앞서 열거한 여러 장점으로 인해 초소형 정밀기계 기술을 응용하여 제작한 시스템은 기존의 시스템에 새로운 기능을 부여할 수 있을 뿐만 아니라 지금까지 비용이나 공간적 제한에 의해 생각하지 못했던 새로운 응용을 창출할 수도 있을 것으로 기대된다. 그림 1은 기존의 관성소자와 초소형 정밀기계 관성소자를 비교한 실례이다.

초소형 정밀기계의 역사

이러한 여러 특징을 가지는 초소형 정밀기계에서 현재 기술 흐름의 주류를 이루고 있는 것은 미세가공기술의 새로운 공정 개발과 이를 응용한 센서 및 각종 시스템의 개발이다. 현재의 이러한 기술적 변화의 추이와 더불어 초소형 정밀기계의 역사를 반도체 공정을 응용한 초소형 정밀기계의 개발이라는 측면으로 보면 다음의 몇 가지 기술 변화 단계로 나눌 수 있다.

■ 발견 단계 (1947~1960)

1947년 바이폴라 트랜지스터가 발명된 이후 반도체 소자의 여러 특성들을 규명하는 과정에서 압전현상이 발견되면서 반도체 소자가 압력센서 등으로도 사용될 수 있음이 밝혀졌다. 이러한 압전현상의 발견은 단순한 압력센서 개발의 가능성만이 아니라 반도체 소자가 새롭게 응용될 수 있는 가능성의 효시가 될 만한 사건이었고 이에 대한 다양한 연구가 이루어졌다.

■ 기초 기술의 발전 단계 (1960~1970)

이전에 발견된 기초 센서들의 성능을 개선하기 위해 여러가지의 제작 방법이 제안되었다. 개선된 제작 방법으로 인해 향상된 성능의 센서가 개발되었다. 이로써 반도체 센서에 대한 상업화와 시장이 형성되기 시작한 단계이다.

■ 일괄공정 단계 (1970~1980)

앞서 단계에서 개발된 여러 공정기술들을 하나의 웨이퍼 상에서 일괄공정할 수 있도록 통합화하는 단계이다. 이런 일괄공정이 가능함으로써 전체 시스템의 크기를 상당히 줄이고 제작비용도 현저히 낮추었다. 뿐만 아니라 여러 불안정한 요소를 줄임으로서 시스템의 안정도도 높였다.

■ 미세가공 단계 (1980~현재)

반도체 센서를 제작하는 초소형 정밀기계 기술은 80년대 이후로 미세가공의 시대로 접어들었다. 70-80년대까지 전자회로의 집적화 기술은 소자의 집적도나 속도, 성능 등 많은 면에서 비약적인 발전을 가져와 중앙 연산 장치인 마이크로프로세서는 주변 센서로부터의 신호를 받아서 충분히 빨리 연산 결과를 내보낼 수 있을 정도까지 진보되었다. 따라서 이 시점 이후로는 전체 시스템의 성능을 향상시키기 위해 기존의 마이크로프로세서를 제작하는 공정 기술로서 충분히 높은 정도의 가격 대 성능비를 갖는 마이크로센서의 개발이 필요해지는 단계가 되었다.

이러한 마이크로센서를 제작할 때, 그 핵심 기술은 미세가공을 통해 설계 목표치를 갖는 미세구조물을 제작해내는 것이다. 미세구조물에는 빔(beam) 구조, 얇은 막(diaphragm) 구조, 캔틸레버(cantilever) 구조, 빗살형 구동(comb drive) 구조, 도랑형(trench) 구조, 광학적 성질을 만족하는 마이크로미러(micromirror) 등 수없이 많은 형태가 있다. 이렇게 여러 형태의 구조물 조합을 어떻게 목적하는 바에 따라 설계하고 배치하여 제작하느냐 하는 것이 현재의 기술적 과제이다. 초소형 정밀기계 기술은 다양한 재료, 공정 절차와 제작 기술들로 이루어진 선택 가능한 집합들 중에서 제작하고자 하는 구조물의 성질에 꼭 맞는 재료 및 특성을 가려내는 작업이기도 하다. 미세구조물을 구체적으로 제작하는 미세가공기술은 크게 bulk micromachining 기술과 surface micromachining 기술로 나눌 수 있다.

미세가공기술

초소형 정밀기계 시스템의 제작시, 구조물을 형성하는 기반 개념은 기존 반도체 CMOS 회로 제작 시에도 볼 수 있는 식각 공정이다. CMOS 회로 집적화의 핵심 연구 분야는 시스템의 집적화를 위해

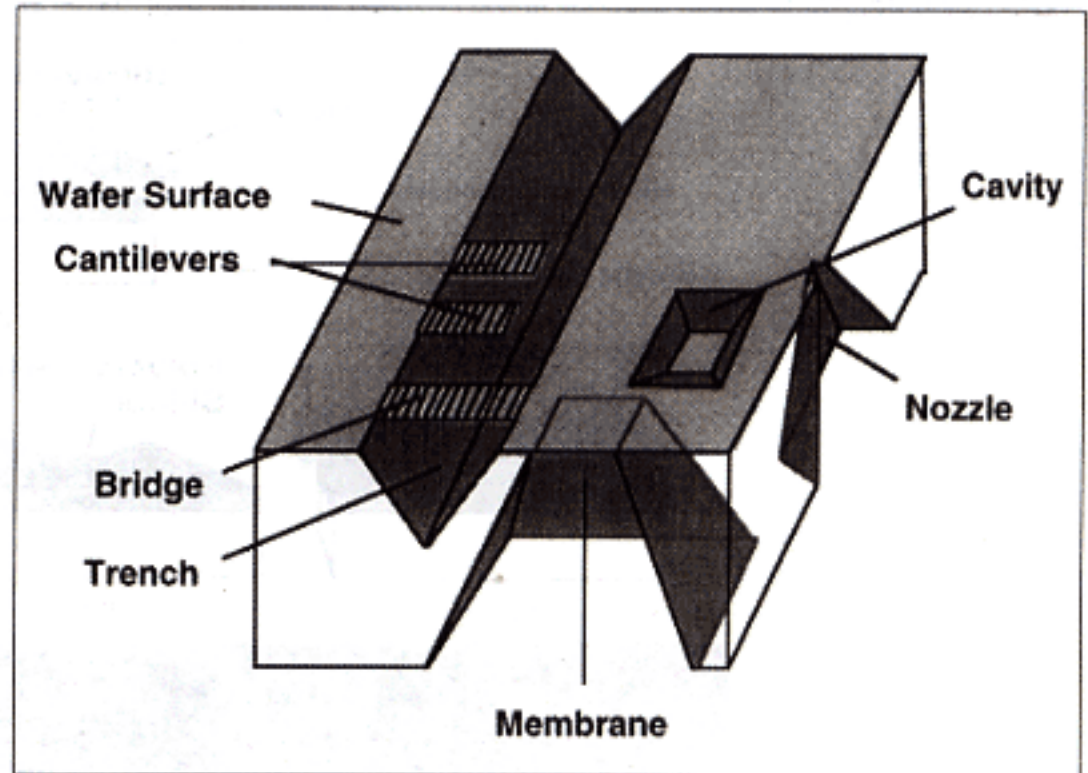
얼마나 가깝게 식각된 도선을 배치할 수 있느냐 하는 것이다. 현재 활발한 연구가 이루어지고 있는 것은 $0.1\mu\text{m}$ 의 간격을 갖는 식각층의 형성이다. 이에 비해 초소형 정밀기계 시스템은 구조물 제작을 위해 대개 $1\mu\text{m}$ 이상의 간격을 갖는 식각층의 제작을 필요로 한다. 따라서 미세가공기술 중 표면 미세가공 기술에서는 마이크로 전자공학에서 CMOS 회로 집적화를 위해 이미 한 세대 전에 사용된 반도체 장비들이 초소형 정밀기계 구조물을 제작하는데 이용될 수 있다. 이러한 반도체 미세가공기술은 앞서 언급한 대로 크게 다음의 두 가지로 나뉜다.

벌크 미세가공기술

벌크 미세가공기술은 초소형 정밀기계 시스템 개발 초기에 주류를 이룬 미세가공 방식이다. 이 미세가공기술은 벌크 상태의 실리콘 웨이퍼를 웨이퍼 표면에 대해 특정한 방향성을 갖는 식각 공정으로 구조물 형태를 만드는 방법이다. 실리콘 웨이퍼에 대해 미세가공을 하므로 도랑형 구조, 얇은 막(diaphragm) 구조 등을 만들 수 있다. 한편, 벌크 미세가공기술은 입체적인 구조물 제작을 위해서 실리콘-실리콘간 접합(Si-Si bonding)이나 실리콘-유리간 접합(Si-Glass bonding)이 필요한 가공법이다.

그러나, 벌크 미세가공기술은 상대적으로 복잡한 공정 절차와 접합 공정 등 고비용의 제작 절차를 갖는다. 또한 제작할 수 있는 구조물의 형태가 비교적 단순하며 수 μm 정도의 정밀한 구조물 제작이 난해하므로 원하는 시스템의 제작이 제한되어 있다. 공정의 복잡성과 구조물의 제한 등으로 인해 구조물 제작의 웨이퍼당 수율이 작은 점 외에도 신호처리용 CMOS 전자회로 제작과 공정의 호환성을 가지지 못하는 점은 벌크 미세가공기술의 큰 단점으로 작용

그림 2. 벌크 미세가공기술을 이용하여, 단결정 실리콘위에 형성될 수 있는 모든 기계구조물을 갖춘 임의의 소자.
실리콘의 절정방향에 따라 모든 구조물들이 동일한 각도로 식각되었음을 알 수 있다.



하고 있다. 따라서 이 미세가공기술은 70 ~ 80년대, 압력 센서나 유속 센서, 진자형 가속도 센서의 제작 등에 많이 사용되었고 현재 상용화된 초소형 정밀기계 센서의 주된 제작 방법이기도 하다. 그림 2는 벌크 미세가공기술을 이용하여, 단결정실리콘 위에 형성된 기계구조물을 말해준다.

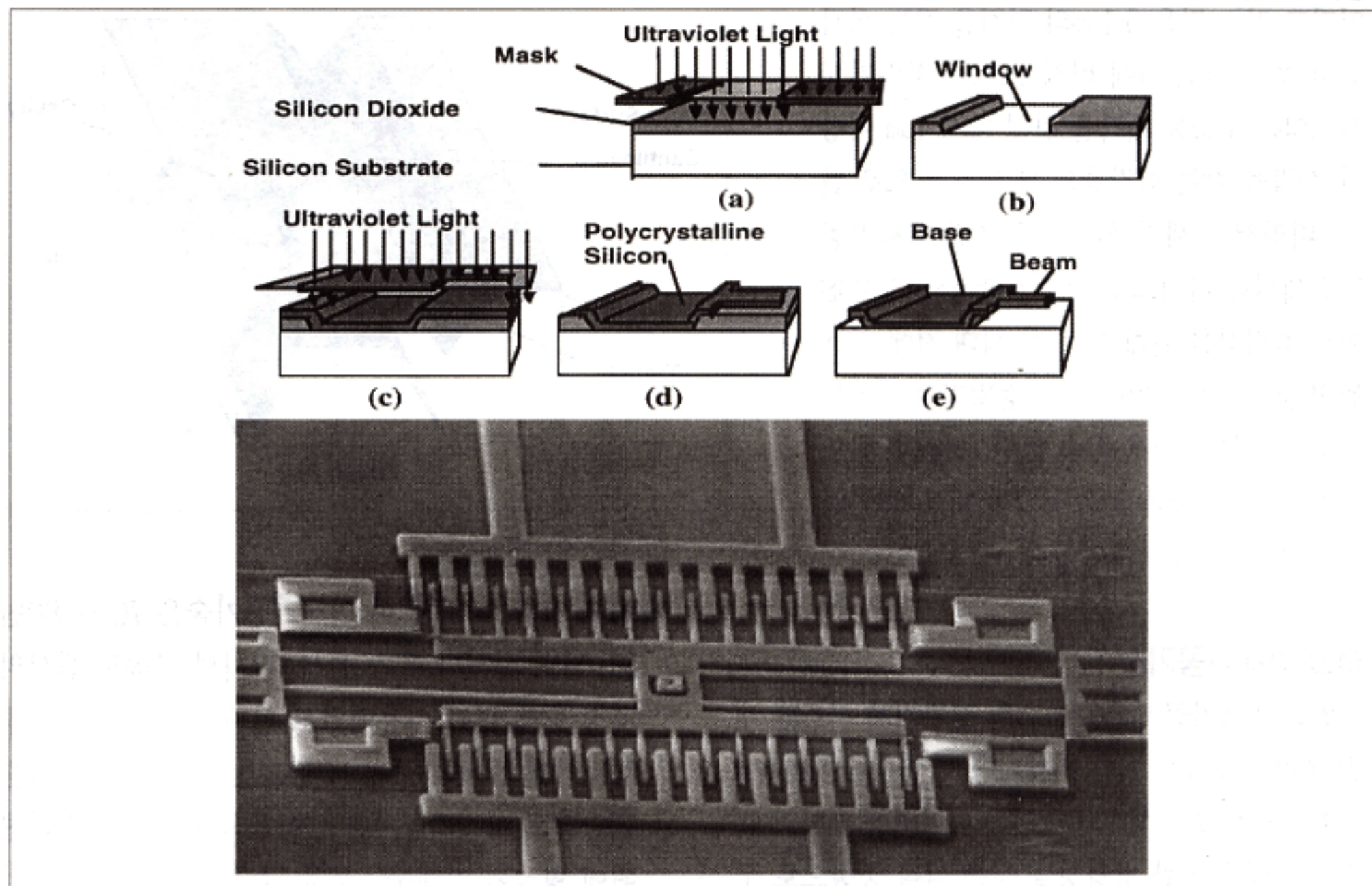
표면 미세가공기술

미세가공기술 중 표면 미세가공기술은 현재 초소형 정밀기계 시스템 제작의 주류를 이루는 공정 방법이다. 이러한 이유는 벌크 미세가공기술에 비해 표면 미세가공기술이 공정의 간편성 및 CMOS 공정과의 호환성, 구현할 수 있는 구조물의 다양성과 정교한 구조물이 가능한 점들에 기인한다. 특히 CMOS 공정과의 호환성은 제작한 구조물의 감지나 제어 회로 등 신호 처리 회로부를 같은 모놀리틱 칩상에 구현 가능하게 하므로 집적화 센서 등 더욱 진보된 시스템의 구현과 가격 및 성능 향상을 가져올 수 있는 장점을 갖는다.

표면 미세가공기술은 반도체 공정기술 중 박막 증착 기술, 사진식각술, 식각 기술 등의 주요 단위 공정으로 구성된다.

그림 3. 일반적인 표면 미세가공기술의 흐름도.

첫째, 패턴과 식각공정을 이용하여 희생층(SiO_2)위에 단일 캔틸레버 빔을 만든다(a, b). 다음으로 구조적 재료(다결정실리콘)를 전체 표면에 증착한다. 캔틸레버 빔과 베이스의 형태로 다결정실리콘의 패턴을 뜨고 식각한다(c, d). 마지막으로 남아있거나 밑에 깔려있는 SiO_2 를 제거하면 다결정실리콘은 움직이게 된다(e). 모양을 갖춘 다결정실리콘의 한 부분이 베이스를 형성하는 기판에 붙게 된다. 아래 그림은 위의 공정을 거쳐 만들어진 come-drive resonator의 측면에 대한 SEM 사진이



• 박막 증착 기술

초소형 정밀기계 시스템의 전기 및 기계적 구조물이 될 여러 구조물 층을 쌓는 공정으로서 벌크 미세가공기술과 표면 미세가공기술의 구분 기준이 되는 공정이다. 박막이 될 수 있는 재료는 구현하고자 하는 구조물의 목적에 따라 달라진다. 박막 증착을 위한 주요한 공정으로서는 다음 3가지의 공정기술을 들수 있는데 먼저 화학 기상 증착법(CVD: Chemical Vapor Deposition)이 있다.

화학 기상 증착법은 반응기에 주입된 기체들이 가열된 기판 위에서 화학반응을 통하여 박막을 형성하는 공정으로서 반도체 층(Si, GaAs, SiC), 절연막(SiO_2 , Si_3N_4), 금속막(u, Al) 등의 박막을 형성하는 대표적 방법이다. 화학 기상 증착법은 반응기 내부의 온도, 압력, 활성화 에너지 공급 방법, 반응

온도 등에 의해 구분되며 생성층에 따라 열분해, 환원, 산화, 질화 등의 여러 화학 반응이 선택될 수 있다.

박막 증착 기술 중 응용성이 높은 대표적인 예가 LPCVD와 PECVD이다. LPCVD는 반응기 내부의 압력을 낮추어 유체의 확산 계수가 커지도록 한 박막 형성 공정이다.

확산 계수가 크기 때문에 기판의 불순물 농도의 영향에 의한 자동도핑과 패턴천이가 거의 일어나지 않으므로 고집적 회로소자의 얇은 에피층 성장 등에 필수적인 공정이다. LPCVD는 Si-에피층 뿐만 아니라 다결정실리콘층, 산화 실리콘 및 질화 실리콘층 형성시에도 사용되는 대표적인 박막 증착 공정이다. 이중 LPCVD 등의 증착법으로 형성된 다결정실리콘층은 기계-전기적인 특성이 널리 알려

저 있어 현재 초소형 정밀기계 구조물을 제작하는데 사용되는 주된 재료이다. 다결정실리콘은 전기적으로 약간의 저항을 가지지만 캐리어를 갖는 불순물을 도핑시켜 줌으로써 더욱 우수한 전도율을 부여할 수 있고 화학적 처리로 기계적 스트레스에 압저항 및 압전성 등의 전기적 특성을 가지게 할 수 있으므로 신호 검출에도 유리한 면이 있다. 더불어 동적 구조물로서 제작되었을 때, 적절한 내구성과 탄성을 가지므로 가속도 센서나 압력 센서 등의 기계적 구조물로도 좋은 성능을 보여준다. 이외에 LPCVD로 증착될 수 있는 산화실리콘층은 식각시 제거되는 희생층(sacrificial layer)이나 부도체, 스트레스 감쇠 등의 용도로 사용되고 질화실리콘층은 passivation 층이나 LOCOS 공정 등에 사용되는 용도를 갖는다. 한편, LPCVD 공정은 고온을 필요로 하므로 저온 유지가 필수적일 때는 조성 조정과 불순물 함유 등의 단점을 갖는 PECVD 공정을 이용할 수 있다.

• 사진식각술

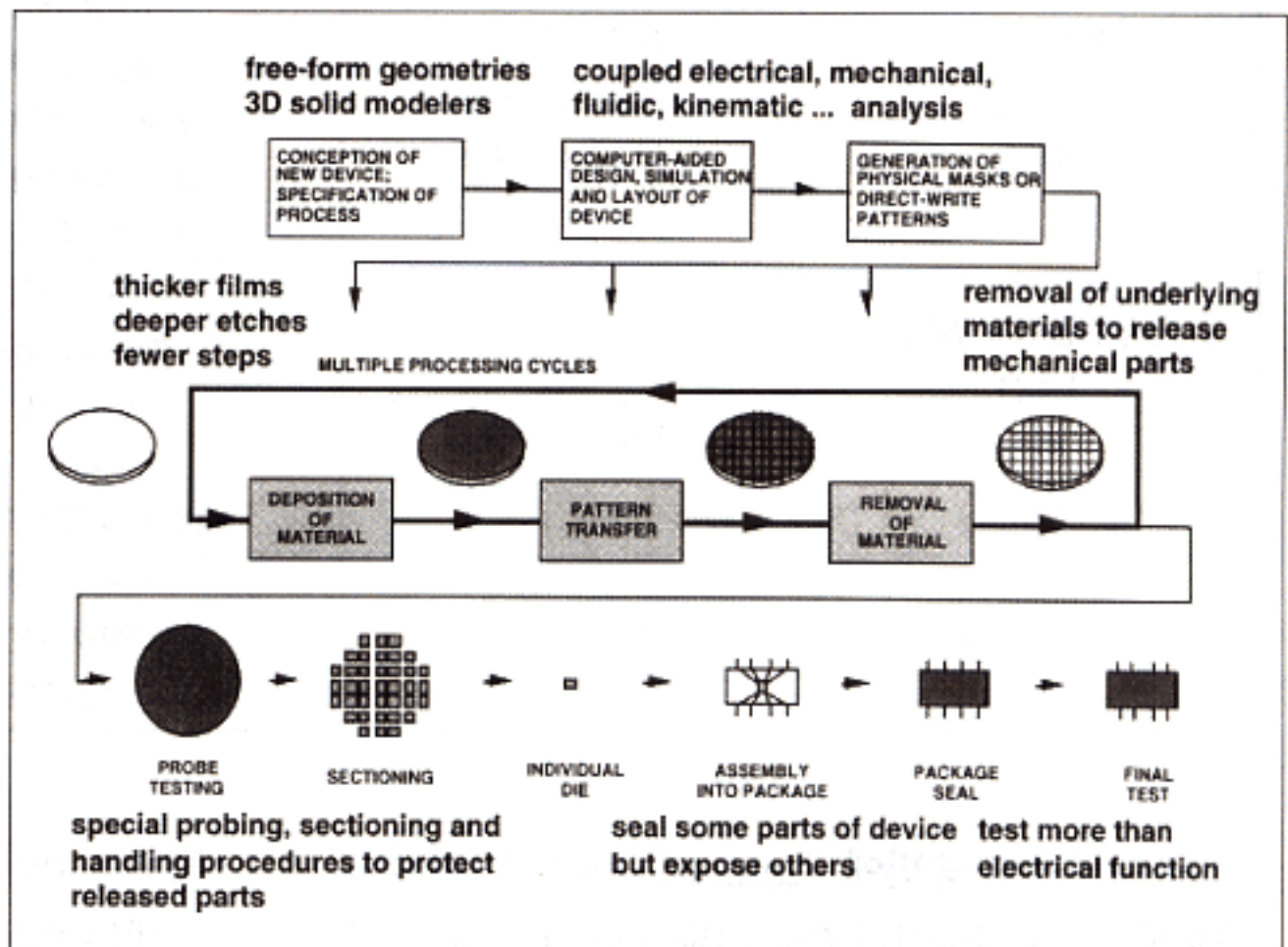
반도체 웨이퍼에 만들고자 하는 형태를 담은 마스크로 빛을 통과시켜 그 형태를 마스크로부터 감광제로 옮기는 작업으로서 감광제 도포, 감광제 베이킹(bake), 정렬 및 노출(alignment & exposure), 현상 및 검사 등의 세부 공정으로 구성된다.

• 식각 기술

식각 기술은 전극의 형성, 희생층의 제거 등 증착된 박막을 설계된 구조물의 형태로 만들기 위해 박막상의 불필요한 부분들을 제거해 내는 공정이다. 식각 기술은 제거하고자 하는 형태와 박막의 재료

그림 4. 대표적인 집적회로와 초소형 정밀기계 소자의 제조공정 흐름도.

첫번째 공정단계에서는 공정사양결정, 소자설계, 마스크 레이아웃이 포함된다. 다음으로는 소자 제작, 여러 장의 재료 증착 및 재료의 패턴 제거이다. 마지막으로 웨이퍼를 검사하고 각각의 소자로 분할하여 패키징한 다음 테스트한다. 막의 두께, 식각 깊이, 기계구조물의 장치 등의 차이에도 불구하고 두 기술은 증착·사진식각술·식각 세이클에서 동일한 장비와 재료를 사용한다. 초소형 정밀기계 공정과 집적회로공정 사이의 커다란 차이는 전자설계도구와 시뮬레이터, 분할/패키징/테스트에서 일어난다.



에 따라 건식 식각과 습식 식각으로 구분된다. 습식 식각은 제거하고자 하는 박막층을 식각 용액에 노출시켜 제거하는 방법이고 건식 식각은 제거하고자 하는 재료와 반응성을 갖는 식각 가스(etchant gas)를 일정한 온도, 압력하에서 주입하여 불필요한 박막층을 제거하는 방법이다.

건식 식각은 구조물 전체가 에칭 용액으로 침수되지 않으므로 재료의 특성 보호를 위해 습식 식각이 불가능한 경우에 사용될 수 있고 플라즈마 식각(Plasma etching), 이온 반응성 식각(Reactive ion etching), 이온 빔 밀링 등이 있다. 그림 3은 일반적인 표면 미세가공기술의 흐름도이다. 그림 4는 대표적인 집적회로와 초소형 정밀기계 소자의 제조공정 흐름도이다.

국내외 기술동향

미국에서 초소형 정밀기계 분야의 최초의 대학연

표 1. 미국, 일본, 유럽의 초소형 정밀기계에 대한 기술동향

	미국	일본	유럽
구조 관련 기술 센서, 액추에이터, 에너지원, 설계 등	UC-Berkeley, MIT, Utah 대학, Stanford 대학, AT&T, NOVA 등	Tohoku 대학, Tokyo 공대, Tokyo 대학, Nagoya 대학, Kyushu 공대, Philips, MITI 기계공학연구소, MITI 국립 계량 연구소 등	Fraunhofer 연구소, Twente 대학, LETI, Siemens 등
공정 관련 기술 첨가, 재형성, 제거, 배치 등	MIT, Wisconsin 대학 등	Tokyo 대학, Tohoku 대학, Mie 대학, Seiki 대학, MITI 기계공학연구소 등	Fraunhofer 연구소, Messerschmidt, KfK, STEAG, Imperial 대학 등
시스템 및 제어 관련 기술	Michigan 대학, MIT, IBM 등	Tokyo 대학, MITI 전자기술연구소, MITI 기계공학연구소 등	Neuchatel 대학 등

구는 1960년대 중반에 Stanford 대학에서 시작되었으며, 이를 뒤이어 Case Western Reserve 대학, University of California(Berkeley), University of Wisconsin, MIT, University of Michigan, University of Utah 등에서 중요한 연구들이 진행되었다. 실제로 미국 내의 센서 개발은 주로 학교에서 시작되어 상업화 노력은 비교적 서서히 진행되었다.

이 분야는 1980년대 중반에 이르러서 University of California(Berkeley)와 University of Wisconsin에서 표면 미세가공기술이 개발되면서 실리콘 기술로 실현될 수 있는 추가적인 다양한 마이크로 구조물이 가능해지면서 상당히 진전되었다. 특히 1988년 미국의 시사 주간지 TIME의 표지에 Berkeley에서 개발한 micromotor가 선보이면서 센세이션을 일으켰다. 이런 새로운 소자들의 대부분은 microactuator들이었으며, 결과적으로 sensor, actuator와 전자회로를 결합시켜서 전체적인 초소형 정밀기계 시스템을 단일 칩의 수준까지 만든다는 개념이 출현되었다. "MEMS"라는 전문용어가 발전해 가는 sensor-actuator 분야의 한 부분을 설

명하기 위해 생겨난 것은 1980년대 후반이었다. 1980년대는 많은 새로운 소자의 시제품들이 실현되었고 상업화에 상당한 노력을 하였다. 1980년대 동안에 많은 국제적, 지역적 학회들의 개최와 함께 반도체 마이크로 전자공학을 중심으로 하지만 기계공학, 로봇공학과 다양한 여러 학문 분야로 출현하게 되었다. 1990년대는 혼성 또는 단일 형태로 실현되는 집적 초소형 정밀기계들을 만들기 위해 소자와 제어 전자회로를 결합시키며, 여러 응용 요구에 맞도록 실용화하는 것에 전념하고 있다. 미국에서는 초소형 정밀기계 부품들을 항공, 우주산업, 전자산업 및 기타 소비재에 사용할 전망이다.

일본의 초소형 정밀기계 연구에 대한 뿌리는 실리콘 센서의 연구에서 찾아볼 수 있다. microsensor와 이들의 패키징, 그리고 마이크로 구조물을 만드는데 반도체 공정에 기반을 둔 미세가공기술을 사용한다. 센서연구에서 초소형 정밀가공 연구로 전환하게 된 큰 계기는 일본의 동경에서 열린 "International Conference Solid-state Sensors and Actuators(Transducers-87)"이다. 이 회의에서는 gear와 sliding stage에 대한 표면 미세가공기술의 프리

프리젠테이션이 가장 두드러졌다. 더욱이 mass flow control에 대한 집적화된 servo system과 정전기 액츄에이터와 같은 능동 소자가 몇몇 미국, 유럽, 일본의 연구자들이 보고하였다.

일본의 초소형 정밀기계에 관한 연구는 미국의 연구성향에 비해서 다양하다는 특징을 갖는다. 즉, 미국의 연구가 주로 실리콘을 재료로 해서 센서나 액츄에이터를 집적화시키는 데 주안점을 두고 있는 반면, 일본에서는 금속재료 또는 기능재료도 이용하고 있으며 mm 정도 크기의 기계까지도 초소형 정밀기계라고 분류하고 있다.

유럽에서는 초소형 정밀기계 부품들이 대부분 의료공학 분야, 제조, 분석 및 생산기술 분야에 사용될 전망이다. 초소형 정밀기계 소자들이 많은 제품의 경쟁력을 좌우하기 때문에 이것은 광범위한 산업분야에서 전략적 중요성을 갖는다. 유럽의 연구 기관들과 대학들은 이 분야에서 기초연구와 제품개발에 우수한 상태에 있다. 기초연구 결과를 연구기관으로부터 산업체로 이전하는 활동은 유럽 공동체와 국가정부로부터 지원을 받는다. 표 1에 미국, 일본, 유럽에서 행해지고 있는 초소형 정밀기계에 대한 자세한 정보를 나타낸다.

국내의 경우, 초소형 정밀기계 관련 기술개발은 전자부품연구소(KETI)가 총괄/주관하고 있는 과기처 선도기술사업(G7)을 중심으로 이루어지고 있으며, 국가적인 차원의 기술개발사업을 활발하게

그림 5. 초소형 정밀기계 산업의 세계시장규모의 예측.

유체유지 및 제어, 광시스템, 대량정보저장시스템의 non-sensor 시장 부분이 2000년경에는 전체시장의 약 1/2을 차지할 것으로 예상된다.

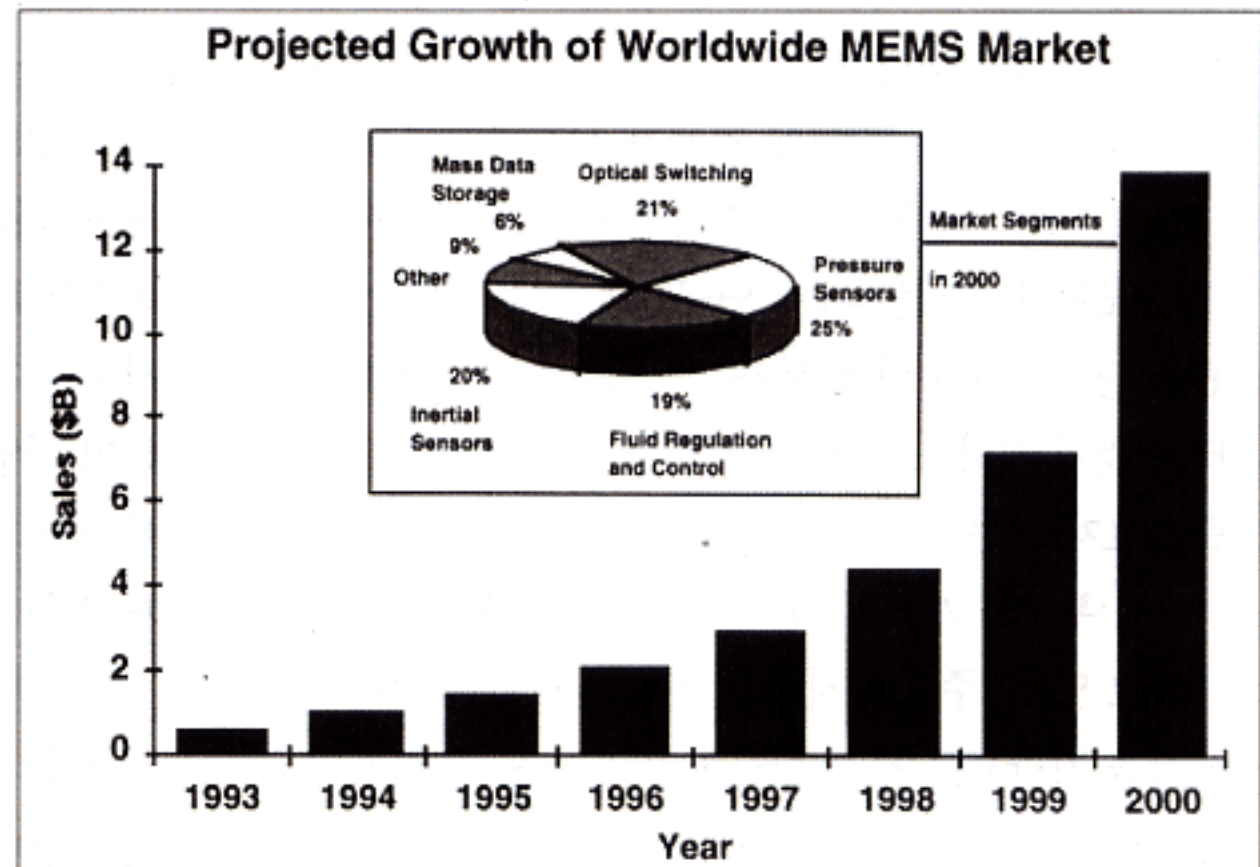
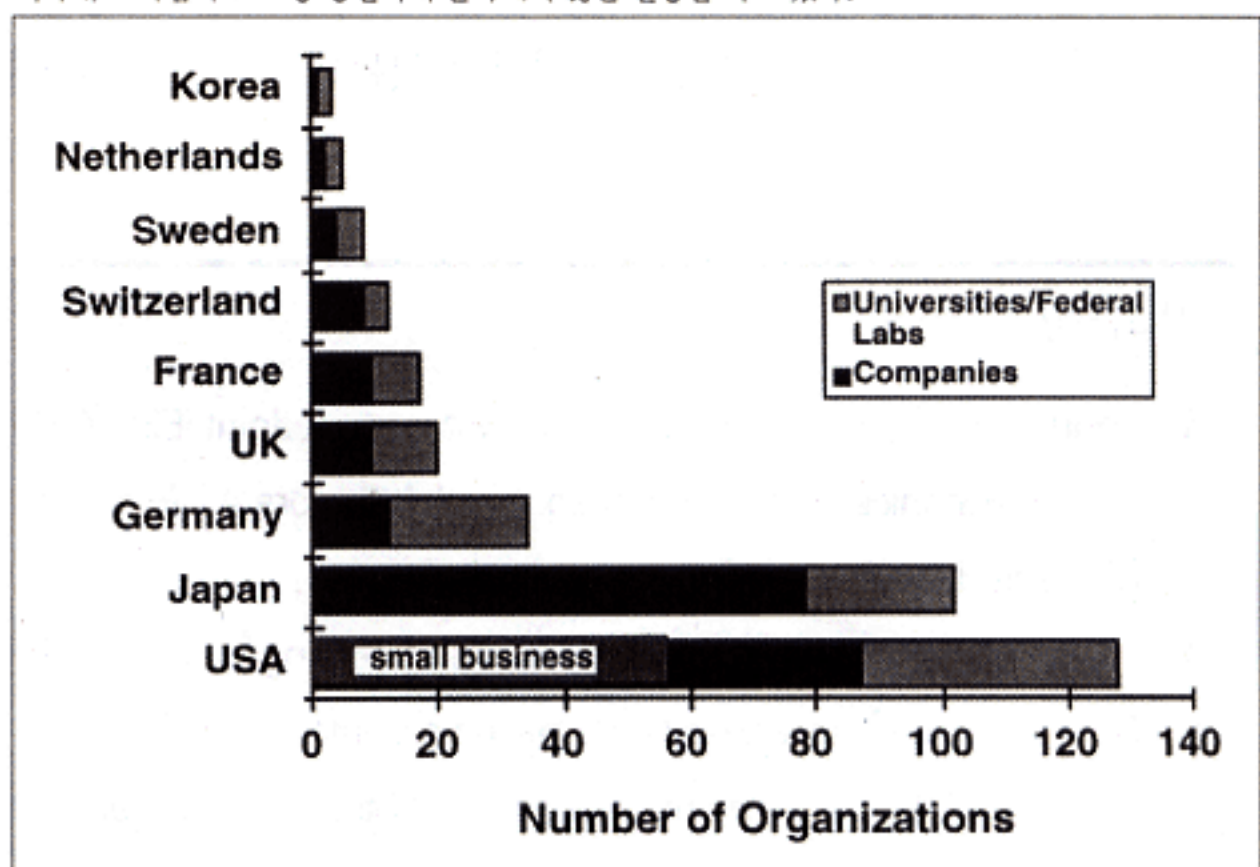


그림 6. 초소형 정밀기계 산업분야에서 활동중인 각 나라의 기구 분포.

미국내 소기업이 초소형 정밀기계 분야에서 많은 활동을 하고 있다.




진행하고 있다. 더욱 자세한 내용은 앞으로 연재될 시리즈에서 언급하는 것으로 한다. 초소형 정밀기계 산업분야는 몇가지 응용을 제외하고는 전반적으로 미래형 기술이라 할 수 있으며, 아직 초기상태이며 실리콘 센서 분야를 제외하고는 아직 실용화되지 못하고 있다. 그러나, 실리콘을 위주로 하는 미세가공기술은 상당히 발전되어 있으며, 창조적인 응

용만 있다면, 얼마든지 상품화를 할 수 있다고 본다. 잉크젯 프린터 헤드, 에어백 센서, 압력센서 등은 세계적으로 굉장히 큰 시장으로 성장하였다. 이를 제외한 분야에는 약 50여개 업체가 시장경쟁에 참여하고 있으며, 대부분은 중소기업에서 대기업 사이의 규모이다. 이 분야에서 연구개발을 하고 있는 기관은 정부투자나 민간 투자기관 혹은 공동 출자 형태의 것이 많다. 소규모 신생업체는 틈새시장에 진출하고자 하는 경향이 강하고 이들은 설계와 개발만하여 부품의 가공은 OEM으로 가공전문업체에 의뢰하고 있다. 주요한 시장을 차지하고 있는 자동차 시장을 기반으로 하는 실리콘 미세가공 센서와 미세 구조물 및 마이크로 로봇을 포함하여 광부품 산업, 디스플레이 산업, 의료기기 산업등 각종 산업 분야에서 미세가공기술을 응용한 초소형 정밀기계 시장은 거대하게 성장하고 있다.

최근에 많은 기업이 이 분야에 참여하고 있는데

이 기업들은 기업간의 합병이나 연합 형태를 통해 다가오는 성장 산업분야에서의 입지를 강화하기 위한 전략을 구사하고 있다. 이러한 노력은 수년 동안에 활성화되어 온 센서 산업 분야에서 특히 두드러지며, 다른 분야는 수백만 달러의 연구 개발비를 지속적으로 들여 제품 개발에 박차를 가하고 있다. 센서 분야를 제외하고 현재까지 미세가공기술을 이용하여 상업화된 것은 노즐, 밸브, 펌프와 같은 분야에 한정되고 있다. 이는 기술 난이도와 응용분야의 개척 등의 어려움을 말해주고 있다.

이 산업에 참여한 업체는 새로운 응용을 개발하기 위한 노력을 지속하고 있으며 의료분야나 공정 산업분야에서도 시장이 증대되고 있으며 주요한 성장분야로 예측된다. 그림 5는 초소형 정밀기계 산업분야의 세계시장의 규모를 말해준다. 그림 6은 초소형 정밀기계 산업분야에서 활동중인 각 나라의 기구 분포를 말해준다. 

[참고문헌]

1. "Journal of Microelectromechanical Systems," A Joint IEEE/ASME Publication.
2. "Micromechanics Section in Sensors and Actuators A," Elsevier Sequoia.
3. "Micromachine Devices," Cahn's Publishing Co.
4. "Journal of Micromechanics and Microengineering," Institute of Physics Publishing.
5. "Micromachine," Japanese Micromachine Center.
6. "Journal of Intelligent Material Systems and Structures," Smart Materials & Structures Research Center, University of Maryland.
7. "Biomedical Microdevices," U of CA at Berkeley, Kluwer Academic Publishers.
8. William Trimmer, "Micromechanics and MEMS," IEEE Press, 1997.
9. Richard S. Muller, Roger T. Howe, Stephen D. Senturia, Rosemary L. Smith, and Richard M. White, "Microsensors," IEEE Press, 1991.
10. Marc Madou, "Fundamentals of Microfabrication," CRC Press, 1997.
11. W. Menz and P. Bley, "Mikrosystemtechnik fur Ingenieure," VCH, 1993.
12. Sergej Fatikow and Ulrich Rembold, "Microsystem Technology and Microrobotics," Springer.
13. Gregory T. A. Kovacs, "Micromachined Transducers Sourcebook," WCB/McGraw-Hill.