

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 동향

신 상 모
전자부품 종합기술 연구소

이 글에서는 요즘 신문이나 텔레비전을 통해서 인체 내부를 돌며 검사 및 치료를 하는 마이크로 로봇 등의 차세대 첨단기술로서 일반 국민들에게 소개되기도 하며, MEMS, 마이크로머신, 마이크로시스템, 혹은 초소형 정밀기계 등으로 불리는 기술과 이 기술에 대한 각국 (미국, 일본, 유럽, 한국)의 기술 동향을 소개한다. 이에 이어서, 현재 과거의 선도기술개발사업 (소위 G7사업) 으로서 진행되고 있는 초소형 정밀기계 기술개발 사업에 대한 소개를 한다. 이 분야에 종사하지 않는 보통 사람들을 위해 가급적 쉬운 말로 풀어 쓰도록 노력하였다. 이 글에서 다루고 있는 크기의 기본 단위는 마이크로미터 (천분의 일 밀리미터) 이며, 사람의 머리카락의 직경이 약 100 마이크로미터 (0.1mm) 내외이다. 초소형 기계나 초소형 부품들은 대개 이 머리카락의 직경정도이며, 머리카락속에 모터나 기어 등이 들어있다고 생각해도 크게 틀리지 않을 것이다.

I. 개 요

1. MEMS(Micro Electro Mechanical System) 와 Micro Machining : 어휘의 정의

무엇보다도 먼저 MEMS란 말에 대한 정의부터 하자. MEMS란 Micro Electro Mechanical System 의 영어 두문자를 따서 만든 조어 (acronym) 이다. *MEMS, Micro System, Micro Machine, Micro Mechatronics* 등이 거의 동의어로서 혼용이 되고 있다. 우리말로 번역하면 초소형 시스템이나 초소형 기계를 의미하고 있다. 우리말의 과학기술어로서는 아직 정식으로 논의를 거쳐 선정된 단어는 없지만, 현재 선도기술사업으로 진행되고 있는 기술개발 과제명은 초소형 정밀기계 기술개발이라 부르고 있다.

MEMS라는 표현은 주로 미국에서, Micro

System 은 주로 유럽에서, 그리고 Micro Machine 및 Micro Mechatronics 은 주로 일본에서 사용되고 있다고 해도 과언이 아니다. 다음 항의 관련된 학회의 설명에서 나와 있듯이, system 뿐만이 아니라, micro structures, sensors, actuators, machines, and robots 를 포함한 것들이 연구 개발의 대상이 되고 있다.

이런 동의어들이 어떤 초소형 대상물을 지칭하는 데에 비해, 이러한 초소형 대상물을 만드는 가공기술을 표현하는 말도 있다. Micro-machine 의 machine이 '기계'를 의미하는 명사도 되지만, '가공하다' 라는 의미의 동사도 된다. 따라서, *micro machining* 이라는 표현을 초소형 대상물을 가공하는 기술로서 사용하고 있다. 우리말로로는 종종 미세가공, 또는 초정밀가공 등의 단어로 번역되어 사용되고 있다. 가공 표면의 거칠기가 초정밀 이라기 보다는 피가공체가 아주 작다는 뜻으로 사용되고 있어서, 전통적인 기계공학에서 말하는 정밀도가 높은 가공과는 뜻이 다르다.

2. 이 분야의 국내외 학회와 학회지
어떤 분야의 전문가들이 어디서 어떻게 활동하는

국제학회, 워크샵

Conference/Workshop명	관련 학회 및 논문 게재	비고
IEEE International Conference on Solid-State Sensors and Actuators	Transducers Digest of Technical Papers	81년부터 2년마다 홀수 해 6월에 열림 6회, 91년 San Francisco; 7회, 93년 Yokohama; 8회, 95년 Stockholm; 9회, 97년 Chicago 10회, 99년 Sendai
IEEE Solid-State Sensors and Actuators Workshop	IEEE Electron Devices Society Technical Digest	2년마다 짝수 해 6월에 미국 South Carolina주의 Hilton Head 섬에서 열림. 미국 내 종사자에게서만 논문을 받음
IEEE MEMS Workshop : An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines, and Robots	IEEE Robotics & Automation Society ASME Dynamic Systems & Control Division Proceedings	매년 1, 2월에 열림. 96년 San Diego 97년 Nagoya 98년 Heidelberg

가를 보면, 그 분야에 대한 간접적인 이해를 할 수 있다. MEMS 분야에 종사하는 사람들은 현재 다음과 같은 학회에서 주로 활동하고 있다. 전공분야별로 보면, 아무래도 전자공학 배경을 가진 사람들이 많지만, 여러 다양한 응용 가능성 때문에 기계, 재료, 화학, 물리, 생물학, 약학, 의학의 배경을 가진 사람들이 많이 생겨나고 있어 소위 간학문(間學問) (interdisciplinary science) 적인 성격이 아주 강하다.

학회지로서는

- IEEE Transactions on Electron Devices 의 Sensors and Actuators Section
- Journal of Microelectromechanical Systems (IEEE/ASME joint publication)
- The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan 의 E편 (Sensors and Micromachines)
- Sensors and Materials (Japan)

등이 있다.

국내에는 현재 대한 전기공학회와 대한 기계학회에 각각 MEMS관련 연구회가 있다. 또 한국센

서학회가 있는데, 이 학회에서도 부분적인 MEMS를 다루고 있다. 국제적으로도 지금까지는 주로 위 표에 나와있는 학회가 위주로 활동이 되었으나, 화학, 물리, 재료, 의학, 생물, 약학, Display 등에 관련된 학회에서 MEMS와 관련된 산하 학회가 조직되고 있다.

3. MEMS의 역사와 MEMS의 정의의 변화

위에서 MEMS라는 말의 정의와 이 분야의 종사자들이 어떤 학회에서 활동하고 있는가를 살펴보았다. 이번에는 MEMS가 어떻게 태동되었는가를 살펴봄으로써 MEMS가 무엇인지 알아보자.

일단 위에서 MEMS (system)을 만드는데 필요한 기술을 micro machining이라고 하였다. Micro machining에는 여러 가지 도구, 재료, 방법들이 있지만, 현재 이 분야에 종사하는 많은 연구자들의 대부분은 silicon을 대상으로 하고 있으므로 일단 silicon에 관계된 것부터 살펴보자.

Germanium을 대신한 silicon이 반도체 집적회로의 대상으로 자리잡을 1960년대 초, 물리학자들은 silicon의 기계 전기적인 특성에 관심을 쏟았다. 그 중의 하나가 piezo resistivity이며, 이 성질을 이용해서 silicon pressure sensor를 만들기 시작했다. 이 pressure sensor는 압력을 잴 수 있는 약 50 micro meter 정도의 얇은 막 (diaphragm)이 필요했는데, 이 막은 3차원 구조물이라 할 수 있으며, silicon single crystal을 화학적으로 이방성 에칭 (anisotropic etching)을 하여 얻어졌다. 물론 여기에는 반도체 집적회로 (IC) 공정에 사용되는 doping 그리고 특히 공정의 특징인 mask와 lithography를 이용했음은 물론이다.

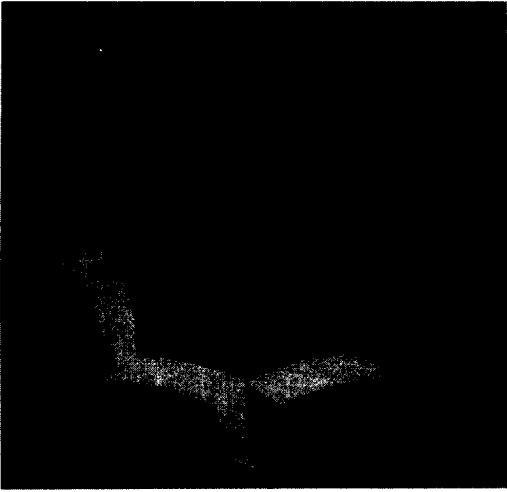
1970년대에는 이러한 이방성 에칭 공정을 이용한 여러 가지 device가 연구되었다. IEEE Transactions on Electron Devices의 1978년 10월 특집호에는 이방성 에칭 공정이 자세히 소개되었고, 이를 이용한 3차원 구조를 가진 Semiconductor Device Structures의 다양한 응용 (Si, GaAs를 이용한 광학디바이스, 잉크젯, 홀로그래피 등)이 잘 나타나있다 (1).

이처럼 반도체 기판 자체를 에칭하여 3차원 구조

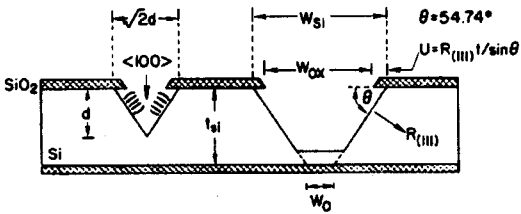
를 만드는 것을 micro machining이라고 하고, 1980년대 중반에 출현한 surface micro machining과 구별하기 위해 bulk micro machining이라고 부른다. Surface micro machining은 기판은 손대지 않고 기판 위에 증착된 희생박막 (sacrificial layer)을 에칭해서 박막으로 된 3차원 구조물을 만드는 것을 말한다.

반도체 집적회로(semiconductor integrated circuit) 제조공정(fabrication process)을 이용하여 만든 3차원적인 기계 전기적인 구조물로 된 sensors and actuators를 아직 시스템적인 개념은 포함되지 않았지만, MEMS의 원조라고 할 수 있다. 반도체집적회로도 multi-layer thin film을 deposition하거나, etching해서 3차원적으로 만들기 때문에 3차원적인 구조물이 아니냐 하겠지만, MEMS와는 다르다. MEMS에서 말하는 3차원적인 구조물이라는 것은 반도체집적회로에 비해서 3차원적인 높이 또는 두께가 훨씬 크다. 그러므로, MEMS에서 semiconductor IC는 3차원이 아닌 2차원적인 구조로 본다. 또한 MEMS의 3차원적인 구조물은 구조성분이 기계적으로 움직이기 위한 빈 공간이 있다.

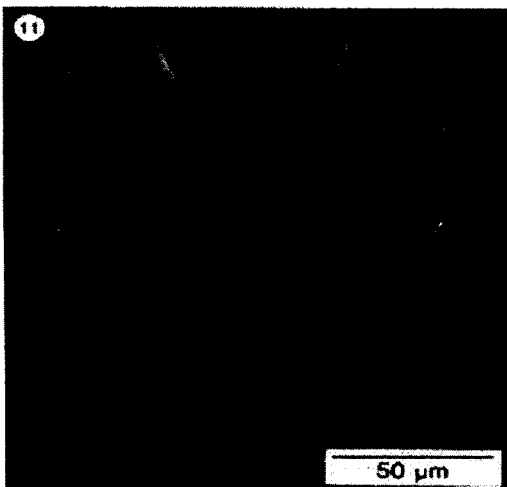
이 외의 micro machining 기술에는 LIGA, laser micro machining, electro discharge micro machining 등이 있는데, 이러한 기술들은 선도기술개발사업으로 선정된 초소형정밀기계기술 개발 사업에 포함되어 있으므로, 관련된 연구과제에 자세히 언급되었다. 일단 여기서는 지금까지 설명한 micro machining 기술로 만들어진 micro parts의 예 몇 가지를 그림으로 소개하겠다. 그림 1은 실리콘 기판을 이방성 식각을 사용 마이크로머시닝한 예이며, 그림 2는 실리콘 기판의 단면도로서 이방성 식각이 어떻게 되는가를 설명한 개념도이다 (2). 그림 3은 LIGA라는 micro machining 기술로 만든 micro gear의 전자현미경 사진인데, 기어의 직경이 머리카락 직경보다 훨씬 작은 점을 유의하기 바란다. 그림 4는 같은 기술로 제작된 micro filter를 머리카락과 대비하였다(3).



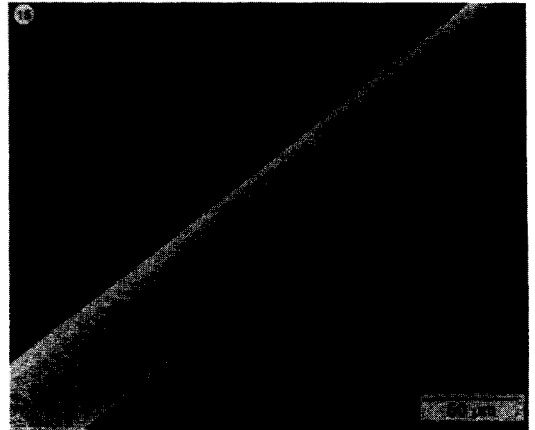
〈그림 1〉 실리콘 기판을 이방성 식각을 사용 마이크로머시닝한 예



〈그림 2〉 실리콘 기판의 단면도로서 이방성 식각의 개념도



〈그림 3〉 LIGA기술로 만든 micro gear 의 전자현미경 사진



〈그림 4〉 LIGA기술로 제작된 micro filter를 머리카락(직경 약 0.1mm)과 대비한 사진

NEMS에 대한 좀 더 자세한 소개는 다음 항목 II의 국의 기술동향 중, 미국의 기술동향에서 언급하기로 하자. 그리고, MEMS에 대한 전반적인 쉬운 소개를 원하는 독자에게는 동경대 Fujita 교수가 쓰고, 서울대 김용권 교수가 번역한 ‘마이크로머신의 세계’ 라는 책 (4)을 추천하고 싶다.

4. 반도체 제작기술과 micro machining 기술의 비교

위에서 micro machining 과 micro machine 또는 MEMS의 손쉬운 정의를 살펴보고, 반도체기술에서 파생되었다고 하였다. 다음 표에는 반도체기술과 MEMS 기술의 탄생배경, 특색, 제품으로서의 역할, 투자규모, 현재까지 개발된 상품 등을 비교해 일반인의 이해를 돕고자 하였다.

II. 국내의 기술동향

실리콘 기판을 선택적으로 에칭하여 구조물을 만드는 반도체 몸체 미세가공기술(bulk micro machining)을 기본으로 하여 발달하기 시작하였고 1970년대에 실리콘 압력센서가 상용화되면서 최근에 와서 가속도센서가 실용화되었다. 센서분

〈표 1〉 초소형 정밀기계 기술 (MEMS) 과 반도체 기술의 비교

비교항목	반도체 기술	초소형 정밀기계 기술
탄생 배경	1960년대 초반 반도체의 회로 집적화로 탄생	1980년대 중반 반도체 기술에서 파생
특색	좁은 면적에 많은 회로를 얇게 2차원적으로 집적화	아파트 건설 공사처럼 3차원적으로 공간을 마련하고 전기선처럼 회로를 배열
제품에서의 역할 제품에의 응용	<ul style="list-style-type: none"> ● 인간의 두뇌 (기억 및 정보처리) 에 상당 ● 정보통신 컴퓨터등에 집중적으로 응용 	<ul style="list-style-type: none"> ● 인간의 감각기관 (눈, 코, 귀, 피부) 및 손발의 역할 ● 자동차, 디스플레이를 포함한 가전 등의 기간산업과 앞으로 다가올 항공, 우주 산업, 의료, 생물, 제약산업에까지 응용
산업 및 경제에 미친 영향	80년대 및 90년대 세계적 경쟁의 각축장, 한국의 수출 주력상품	2010년대 경제 및 경쟁력에 파급효과 및 다양한 상품으로 주력산업 가능
투자의 규모와 기업의 규모와의 관계	16배가의 경우 1조원 이상의 시설투자 대기업형 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 100억 내의 시설투자 ● 중견기업에 적당 ● 공동시설이 있는 경우 중소기업도 가능 ● 미국과 유럽에서는 이 기술을 기반으로 한 벤처 기업들이 많이 생기고 있으며, 실리콘밸리에는 1996년에만 약 15개의 벤처 기업이 생겨났다고 한다
현재까지 개발된 상품	메모리소자, 마이크로프로세서, 비메모리소자	잉크젯 프린터 헤드, 자동차 에어백용 충돌감지 센서, 압력센서 등은 세계적인 상품으로 이미 시장을 형성하고 있다.

야의 실용화를 필두로 최근에는 표면미세가공기술 (surface micro machining), LIGA 기술 등의 가공기술 및 응용분야도 확대되어 초소형 로봇등에 응용되는 micro motor, micro gear, HD TV 로 사용 가능한 micro mirror array, 광통신에 응용되는 광 커넥터 등 다양한 시장 창출이 기대되기 때문에 선진국에서는 앞 다투어 연구 개발에 대한 투자를 하고 있으며 개발에 박차를 가하고 있다.

1. 미국의 기술동향

여러 분야의 MEMS 제품들의 개발을 지원하기 위해 미국 내에서는 정보교환, MEMS를 위한 공동기술 개발, 학생 교육 등을 하기위한 기반구조를 마련하였다. 정부 기관들은 MEMS의 중요성을 인식하여서 기반구조를 세우는데 지원을 하여왔다. NSF(National Science Foundation)는 micro machining 을 위한 우수 센터 설립과 학회 참석

학생의 지원 등을 통하여 미국의 MEMS 발전에 큰 도움을 주었다. 다른 정부기관 예를 들면 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), NIH(National Institute of Health), DOE(Department of Energy), NASA(National Aeronautics & Space Administration)과 DOD (Department of Defense)등은 모두 그들의 특별한 요구를 발전시키기 위해서 대학들의 MEMS 연구를 지원해왔고 또한 학술회의에 참석하는 학생들을 지원하여 왔다. 국립 연구기관에서는 환경용 센서개발을 위한 MEMS 분야에 많은 연구가 있었으며, 물, 공기와 토양 감시를 위한 센서들이 개발되었다. 미국 내에 MEMS와 MEMS관련 활동을 위한 전체 자금지원 규모는 정확하게 알려져 있지 않지만 대학에 대한 지원 자금만 연간 약 2,000만 불 정도로 예상된다. MEMS 기술은 미국 내에서 대학과 연구 기관들의 더 확대된 노력과 함께 계

속적으로 발전되고 있다. 이 기술의 상업화는 기업체들이 MEMS 제품들에 의해 얻어지는 가치를 인식해야 하는 필요성으로 인해 서서히 진행되고 있다. 현재까지 상업화는 잉크젯헤드 자동차와 의료산업의 다량의 센서시장에 있었다.

이 분야의 최초의 대학연구는 1960년대 중반에 Stanford 대학에서 시작되었으며, 이를 뒤이어서 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 미세가공(surface micro machining)이 개발되면서 실리콘 기술로 실현될 수 있는 추가적인 다양한 미세구조가 가능해지면서 상당히 진전되었다. 특히 1988년 미국의 시사 주간지 TIME 의 표지에 Berkeley에서 개발한 micro motor 가 선보이면서 센세이션을 일으켰다. 이런 새로운 소자들의 대부분은 micro actuator 들이었으며, 결과적으로 sensor, actuator 와 전자회로를 결합시켜서 전체적인 미세기기 시스템을 단일 칩의 수준까지 만든다는 개념이 출현되었다. "MEMS"라는 전문용어가 발전해가는 sensor-actuator 분야의 한 부분을 설명하기 위해 생겨난 것은 1980년대 후반이었다. 1980년대는 많은 새로운 소자의 시제품들이 실현되었고 상업화에 상당한 노력을 하였다. 1980년대 동안에 많은 국제적, 지역적 학회들의 개최와 함께 반도체 마이크로일렉트로닉스를 중심으로 하지만 기계공학, 로봇공학과 다양한 여러 학문분야로 폭 넓게 영역을 넓히면서 현저하게 중요한 분야로 출현하게 되었다. 1990년대는 혼성 또는 단일 형태로 실현되는 집적 마이크로 시스템들을 만들기 위해 소자와 제어전자회로를 결합시키며, 이러한 마이크로 시스템들을 여러 응용 요구에 맞도록 실용화하는 것에 전념하고 있다.

2. 일본의 기술동향

일본의 경우 통산성(MITI: Ministry of International Trade & Industry)이 주도가 되어 마이크로머신 프로젝트라는 이름하에 국가적 차원에서 지원되고 있다. 통산성 내에 정부산하 연구소를 관리하기 위한 공업기술원(AIST: Agency for Industrial Science and Technology)을 1948년에 설립하였으며 1964년부터 민관 R&D 프로젝트 개발에 관여해왔다. 이 기관은 "Large-Scale Project(National R&D Program)"라고 명명된 국책사업을 추진해 왔는데 그 대표적인 것이 바로 Moonlight Project, 미래산업을 위한 기반기술과제 등이다. 마이크로머신 프로젝트도 일본 통산성 공업기술원이 담당하는 대형 공업기술원 연구개발제도에 의해서 1991년부터 시작되었다. 이 프로젝트에 1991년부터 십년 간 총 250 억엔을 지원하기로 하고, 우선 1991년에는 2900 만엔을, 1992년에는 8억 5600 만엔을 지원하였으며 23개의 회사가 마이크로머신 프로젝트에 참여하고 있다.

AIST의 연구개발비를 지원 받는 3개의 국가연구소인 전자기술 종합연구소 (ETL: Electro Technology Laboratory), 기계기술연구소(MEL: Mechanical Engineering Laboratory), 계량연구소(NRLM: National Research Laboratory of Metrology)와 AIST산하에 프로젝트의 기업체 참여를 권장하는 신에너지 산업기술 총합개발기구(NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization)가 있다. 또한 1992년 1월에는 마이크로머신의 기반 기술을 확립하는 것을 목적으로 재단법인 "마이크로머신 센터(MMC: Micro Machine Center)"를 설립하고 NEDO (신에너지/산업기술총합개발기구)와 연구위탁 계약을 맺었다.

마이크로머신 프로젝트의 일부는 미국에서 주로 집중적으로 연구되고 있는 반도체공정을 이용한 lithography-based MEMS에 관한 개발이며, 큰 비중을 차지하고 있는 부분이 마이크로머신 개발이다. 즉, 기존의 크고 비싼 기계가 할 수 있는 많은 일을 마이크로머신으로 대체할 수 있다는 생각에서 출발한다.

통신성 산하기관 외에 대학으로는 동북대학교 Esashi 교수 실험실에서 가속도센서, 공진센서, 진공센서 등의 마이크로 센서 및 마이크로 밸브, 마이크로 펌프 등 마이크로 액츄에이터를 연구하여 상당수의 디바이스가 상업화에 성공하고 있고, 동경대학교의 Fujita 실험실에서도 유사한 연구를 하고 있다. 산업체로는 NTT, 마쯔시다, 미쯔비시, 히다찌, 도시바, 산요, 소니, 오므론, 요코가와 전기 등을 들 수 있다. 일본의 MEMS에 관한 연구의 특징은 미국의 연구 성향에 비해서 다양하다는 것이다. 즉, 미국의 연구가 주로 실리콘을 재료로 해서 센서나 액츄에이터를 집적화시키는 데 주안점을 두고 있는 반면, 일본에서는 재료로서 실리콘 뿐만 아니라 금속재료 또는 기능재료도 이용하고 있으며 밀리미터 정도 크기의 기계까지도 마이크로머신이라고 분류하고 있다.

3. 유럽 MEMS 관련 연구 동향

1994년 3월에 연구와 기술개발을 위한 새로운 유럽공동체 기반 프로그램이 유럽의회에 의해서 통과되었다. 이 프로그램의 기간은 5년간(1994 - 1998)이고 전체예산은 123억 ECU이었다. 이 공동체 기반 프로그램은 4가지 사업과 많은 특수한 연구 개발 프로그램을 포함하고 있으며 유럽의 산업 경쟁력을 증가시키고 생활의 질을 높이면서 상당한 경제성장을 유도할 것이다. 이 프로그램내에서 MEMS 기술은 다음과 같은 제목으로 몇몇 분야에서 언급되었다.

- Information and communication technology
- Industrial technology
- Supporting technological developments through networks

ESPRIT(Activity 1/I)의 계획 내에 유럽 프로젝트의 한 예로 NEXUS(Network of Excellence in Multifunctional Microsystems) ESPRIT No. 7217을 들 수 있다. 이것은 주로 유럽의 기관들에 의해 시작되었으나 곧 산업체도 참가하였다. 현재는 거의 150개 협력체가 이 network에 참여하고 있다. 이 network의 목적은 유럽 내에 micro system 기술에 관련된 R&D 연구소와 산업체간의

정보교환의 증진으로 시작되었으며 협력 업체간의 상호방문, 공동연구 콘소시움의 형성, newsletter 발간 및 workshop 개최 등의 활동을 하였다. 1994년에는 NEXUSEAST라고 불리는 중동부 유럽국가로의 확대가 시작되었다. 여기서 Bulgaria, Czech, Poland, Romania와 Slovakia 등으로부터 10개 이상의 연구실을 포함한 동부 유럽 대학과 서부 유럽 대학간의 협력이 시작되었다.

유럽 각국의 국가적 연구지원 프로그램중에서 다음의 몇몇 특수한 활동은 마이크로 시스템 기술에 전적으로 기여하고 있다. 독일의 연구개발성(German Ministry of Research and Development)은 마이크로 시스템 기술을 위해 1990년부터 1994년까지 270 Mil. DM(약 180 Million \$) 이상을 지원하였다. 이 기간동안 400개 이상의 개별적인 산업적 연구 과제들과 약 50개의 협동 연구 과제들이(산업체와 연구기관에서 260명 이상이 참여) 시작 진행되었다. 이러한 협동 연구 과제들의 총예산은 약 228 Mil. DM(약 160 Million \$)이었고, 이중의 약 50%는 산업체에서 소비되었다. 이들 협동연구과제 활동은 1994년부터 1998년까지 계속되어지고 있다.

프랑스에서는 국가적 micro system 기술 추진그룹(LETI 와 LAAS 가 참여)이 1992년 4월에 결성되어 1993년 중반에 연구부, 국방부와 통상부에 의해 과제공모가 이루어졌다. 또한 영국에서는 1993년 6월에 결성된 Micro Engineering Common Interest Group이 연구를 조정하고있다. LIGA 분야의 그룹은 1993년 봄에 GEC Rutherford Appleton Laboratories (Lithography), British Telecom 마이크로머시닝(광학 시스템) 등이 결성하였다. 이태리에서는 1992년에 마이크로시스템 추진그룹이 결성되었다. 스페인에서는 1994년 말에 스페인 산업의 관심을 촉진시키기 위해 마이크로 시스템 기술의 실행 프로그램인 GAME가 시작되었다.

미국에서는 마이크로 메카닉 부품들이 항공, 우주산업, 전자산업 및 기타 소비재에 사용될 전망이다 반면에 유럽에서는 이것들이 대부분 의료공학 분야, 제조, 분석 및 생산기술 분야에 사용될 전망이

다. 마이크로 시스템 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.

4. 국내 기술 동향

국내에서 MEMS 관한 연구개발이 시작된 것은 1980년대 후반부터라고 말할 수 있다. 표준과학연구원과 한국과학기술연구원(KIST), 경북대 등에서 실리콘에칭에 관한 기초적인 실험이 시작되었고 실리콘 마이크로머시닝을 이용한 압력센서에 관한 연구개발이 시작되었다. 처음에 주로 진행된 연구분야는 실리콘 마이크로머시닝과 이것을 이용한 센서개발에 국한되었으며, 압력센서, 가속도센서, 유량센서 등에 관한 연구가 경북대의 센서기술연구소, 아주대, 연세대, 서울대 등 주로 대학의 연구기관을 통해 이루어졌다.

본격적인 연구개발에 대한 필요성이 증대되고 관심이 집중되기 시작한 것은 최근의 일로써 미국이나 유럽, 일본 등의 선진국에서 국책과제로서 반도체 산업이후 최고의 미래산업으로 보고 대규모 투자를 하고 있는 시점에 우리나라도 더 이상 늦으면 안 된다는 자각에서 출발하였다.

1993년에 대한전기학회 내에 MEMS와 관련된 연구개발을 진행 중이거나 관심이 있는 학계나 산업체, 그리고 연구소의 관계 연구인력이 연구회를 조직하고 활발한 학회 활동을 통해 정보교류와 산업체와의 유대관계를 넓히고 있다. 또한 자동차 에어백용 가속도계에 관한 연구과제가 회사 및 한국과학기술원(KAIST)에 의해 도출되어서 이에 관한 연구가 진행 중이며, 세포융합기구, 펌프, 세포의 위치 감지기 등의 과제와 관련 있는 연구 과제가 1993년도 학술진흥재단 및 과학재단의 연구 과제로 선정되어 대학의 연구 기관을 중심으로 연구되고 있다. FED 기술은 서울대학을 중심으로 소자 및 집적화에 관한 연구가 이루어지고 있다.

기업체에서도 MEMS분야의 중요성을 인식하기

시작하면서 대학이나 연구소와의 공동연구를 통하여 압력센서, 가속도센서 등을 상품화하기 위하여 노력하고 있으나, 아직 상품화 단계에는 이르지 못하고 있다.

상기에 언급된 것처럼 국내에서 MEMS분야에 대한 연구는 학계, 연구소, 기업 등에서 소수의 인원이 산발적으로 진행되어 왔으며 연구개발의 체계적인 추진을 할 수 있는 정부차원의 지원 및 구심체가 없었기 때문에, 전반적으로 국내기술수준은 국외기술수준보다 매우 취약하였다. 따라서 초소형 정밀기계 가공기술개발에 대한 정부차원의 관심 및 체계적이고 지속적인 지원이 절실히 요구되었다.

1995년 3월 전자부품연구소는 통상부에 MEMS를 선도기술개발사업의 후보사업으로서 제안을 하였다. 1995년 11월까지 전자부품연구소, MEMS 연구회, 기타 산학연 관련자들이 모여 이 기술에 대한 공동연구기획을 하여, 과기처 선도기술사업 기획평가단으로부터 후보과제로 지정을 받았다. 1995년 12월부터 1차년 사업을 시작으로 2001년 9월까지 5년 10개월에 걸쳐 정부 415억원, 민간 415억 포함 830억원을 투자하는 사업으로 출범하였다. 현재 국내 MEMS관련 기술개발은 전자부품연구소가 총괄 주관하고 있는 이 사업을 중심으로 이루어지고 있으며, 미국, 일본, 유럽에 이어 국가적인 차원의 기술개발사업을 활발하게 진행하고 있다. 현재는 1단계 3년을 마무리하는 평가작업과 2단계 3년을 준비하는 기술기획을 준비하고 있다.

III. 국내의 시장동향

마이크로 머신 산업분야는 몇가지 응용을 제외하고는 전반적으로 미래형 기술이라 할 수 있으며, 아직 초기상태이며 실리콘 센서 분야를 제외하고는 아직 실용화되지 못하고 있다. 그러나, 실리콘을 위주로 하는 마이크로머시닝 기술은 상당히 발전되어 있으며, 창조적인 응용만 있다면, 얼마든지 상품화를 할 수 있다고 본다. 그 예가 표1에서 제

시되었다. 잉크젯 프린터 헤드, 에어백 센서, 압력센서 등은 세계적으로 굉장히 큰 시장으로 성장하였다. 이를 제외한 분야에는 약 50여 개 업체가 시장경쟁에 참여하고 있으며, 대부분은 중소기업에서 대기업 사이의 규모이다. 이 분야에서 연구 개발을 하고 있는 기관은 정부투자나 민간 투자기관 혹은 공동 출자 형태의 것이 많다. 소규모 신생 업체는 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 마이크로머시닝 기술을 응용한 마이크로머시머리 시장은 거대하게 성장하고 있다.

최근에 많은 기업이 이 분야에 참여하고 있는데 이 기업들은 기업간의 합병이나 연합 형태를 통해 경쟁자와의 동맹 뿐만이 아니라 상품의 다양화를 통해 다가오는 성장 산업분야에서의 입지를 강화하기 위한 전략을 구사하고 있다. 이러한 노력은 수년 동안에 활성화 되어 온 센서 산업 분야에서 특히 두드러지며, 다른 분야는 수백만 달러의 연구 개발비를 지속적으로 들여 제품 개발에 박차를 가하고 있다. 센서 분야를 제외하고 현재까지 마이크로머시닝 기술을 이용하여 상업화된 것은 노즐, 밸브, 펌프와 같은 분야에 한정되고 있다. 이는 기술의 난이도와 응용분야의 개척 등의 어려움을 의미한다. 이 산업에 참여한 업체는 새로운 응용을 개발하기위한 노력을 지속하고 있으며 의료분야나 공정산업분야에서도 시장이 증대되고 있으며 주요한 성장분야로 예측된다.

표 2에 나타난 바와 같이 1995년을 기준으로 MEMS 시장규모는 139억 달러에 이르고 2000년까지는 연구 개발의 발전에 힘입어 시장은 977억 달러에 이를 전망이다.

표 3는 지역별 시장 분포를 나타낸 것으로서 미국이 가장 큰 시장을 형성하고 있으며 유럽과 아시아 및 기타 지역이 비슷한 비율을 차지하고 있다. 이러한 추세는 2000년까지 계속될 전망이다.

시장경쟁은 센서 시장에서 가장 심하며 그외의 시장은 아직 초기 단계로서 주요한 경쟁적요소는 사업적인 활용성과 가격이다. 가격은 생산량이 증대되지 않으면 떨어지기 어려우나 아직 시장은 가격이 비싼 관계로 성숙되지 못하고 있으므로 이에 대한 해결책이 복잡하고도 중요한 문제가 되고 있다.

1995년에 소개된 마이크로로봇 시장을 제외하고는 이 시장은 성장하고 있는 분야로서 향후 10년 안에 많은 경쟁사가 출현하고 시장은 급세기 말에는 포화될 전망이다. 특히 가속도센서나 압력센서와 같은 것은 지속적으로 강한 시장을 이룰 것으로 전망되나, 신상품에 대한 연구 개발이 사업성패의 중요한 역할을 하게 될 것이다. 센서분야가 매출이 큰 분야임에도 불구하고 새로운 회사는 정보통신 분야나 디스플레이, 마이크로 로봇이나 마이크로 구조물 시장에 참여하게 될 것이다.

〈표 2〉 MEMS 세계 시장예측 단위 (10억불)

	1995년	2000년
Pressure Sensor	3.4	3.4
Accelerometer	2.7	75.3
Fluid regulation & Control	2.6	6.6
Optical Switching	3.0	5.0
Mass data storage	1.0	2.1
Other	1.2	5.4
Tota	13.9	97.7

source : Market Intelligence

〈표 3〉 MEMS 지역별 세계시장

년도	U.S.(%)	Europe(%)	Asia/ROW(%)
1995	59.4	20.1	20.5
1996	58.2	21.2	20.6
1997	57.8	21.4	20.8
1998	57.6	21.5	20.9
1999	57.4	21.6	30
2000	57.1	21.7	30.2

source : Market Intelligence

IV. 초소형 정밀기계 기술개발 사업 소개

여기서는 1995년 말부터 5년 10개월간 약 정부 415억원 민간 415억원 도합 830억원을 투자하여 진행중인 선도기술개발 사업내의 연구과제 개발 현황에 대해 살펴보자. 이 사업에 대한 자세한 내용은 전자부품연구소에서 발간한 초소형 정밀기계 기술개발 기획 보고서 (5) 를 참조하거나 전자부품연구소의 사업담당자(0333-610-4105) 에게 문의하기 바란다.

1. 공통기반분야

① 실리콘 미세가공을 위한 SOI 및 Isolation 기술 개발

각종 기기들의 경막 단소화 추세와 정밀을 요구하는 환경이 구축되고 있는 현재 사회에서 반도체와 더불어 센서 및 액츄에이터는 필수적인 기술이며 현재는 인체용 의료 기기 및 정밀 기기 등에 일부가 사용되고 있으나 앞으로 초소용기기의 수요는 대폭 증가 될 것이라 판단된다. 국내의 경우 초소형기기에 대한 연구는 기초기술 개발 등 매우 초보적인 단계에 있으나 일본 등 선진 기술국의 경우 상당부분을 제품화에 성공하였고 특히 SOI 기판을 이용한 반도체기술의 경우 국내에서는 연구된 바 없으나 외국의 경우 수년 전부터 이를 이용한 반도체 제품이 개발되었기 때문에 곧 SOI 웨이퍼를 이용한 초소형 전기기기의 개발이 이루어 지리라 판단된다.

특히, 가전제품 및 자동차분야에서 응용이 확대되고 있는 추세이기 때문에 향후 시장규모는 충분하다고 판단된다.

SDB, SIMOX, ZMR 등의 SOI 웨이퍼를 사용하는 기술은 원래 SOI의 사용 용도인 반도체분야에서도 새로운 기술로써 아직 제품화에 이르고 있지 못한 실정이고 미세구조물에 응용한 경우는 현재까지 거의 보고되지 않고 있다. 따라서 미세구조물에 응용한 기술을 보유하게 될 경우 선진 기술국과 기술력 차를 줄이는 것은 물론 기술 우위에까지 이를 수도 있음. 또한 ZMR 구조의 SOI 개발에 성공

할 경우 이를 이용한 스마트 기능의 전력반도체 집적회로 등에도 활용될 것으로 기대된다. 또한 SOI 웨이퍼 가공의 활용 및 평가 기술의 확보는 미세구조물 뿐 아니라 마이크로 센서 기술에도 매우 유용할 것으로 기대된다. 현재 SOI 웨이퍼의 국내 수요는 몇몇 기업의 차세대 메모리 반도체용으로 한정되어 있어 수요의 전량을 주문 수입에 의존하고 있는 형편이다. SDB, SIMOX 웨이퍼의 경우 1장 당 200\$ 이상의 고가이기 때문에 소량, 다양한 웨이퍼를 요구 하는 연구 측면에서의 구입은 매우 어려운 형편이다. 따라서 이의 기술 확보는 수입대체 및 국내생산을 가능하게 할 수 있을 것이다.

SOI 웨이퍼의 미세구조물 설계방법은 각 마이크로 센서 및 액츄에이터 개발의 기반기술로 활용될 것이고 ZMR을 이용한 SOI 웨이퍼의 개발은 새로운 SOI 소재로써 미세구조물 및 스마트 전력집적회로 등의 응용에 활용될 것으로 기대되며 이는 차세대 제품기술로써 확보될 전망이고 가전 및 자동차용 고성능 SOI 마이크로 센서 등이 집적된 시스템설계에도 활용될 수 있으리라 기대한다.

② LIGA 기술개발

마이크로 가공기술의 장점은 지금까지의 2차원 정적 구조를 넘어 3차원 동적 구조를 만들어 낼 수 있다는 데 있다. 이런 장점 때문에 지금까지 구현하기 어려웠던 분야의 개척이 가능해 질 수 있으며 명실상부한 미래형 첨단 기술로 주목을 받을 수 있게 되었다.

반도체 가공기술을 이용한 bulk micro machining과 surface micro machining 기술은 2차원 미세구조물 가공하는 기술이고, 3차원 미세구조물의 제작은 LIGA(Lithographie, Galvanofornung, Abformung : Lithography, Electroforming, Molding) 기술을 이용하여 가능하다. 이들 두 방법 외에 eximer laser, molding, plating, single-point diamond machining과 electro-discharge machining 등이 있다.

LIGA 가공기술은 100-1000 μm 의 높이를 가지면서도 1 μm 이하의 분해능을 가지는 미세구조물을 만들 수 있어 의료분야, 항공우주 분야, 통신분야

등 고 부가 가치를 창출할 수 있는 가능성이 충분하여 대단히 주목을 받고 있다. LIGA 가공기술은 현재 금속이나 플라스틱 부품을 제조하기 위해 많이 이용되고 있는 주조와 같은 방법이며 주조물의 크기가 매우 작다는 점만 다르다. 주조물의 틀은 수백 μm 의 두꺼운 resist에 X-ray mask를 통해 X-ray를 쬐인 후 현상하여 만들어지며, 이와 같이 만들어진 resist의 주조물에 금속을 채운 후 resist를 제거하여 최종 미세구조물을 만들게 된다. 미세구조물을 되풀이 하여 제작하기를 원하면 금속의 최종 미세구조물을 금형으로 하여 플라스틱 주조물을 찍어 내거나, 반대로 플라스틱 틀을 만든 후에 금속을 주입하면 계속적으로 만들 수 있다.

LIGA 공정은 3차원 가공과 high aspect ratio의 구조물의 제작에는 반도체 가공기술에 비해 월등히 유리한 장점을 가지고 있으나 X-ray lithography를 위해서는 2~2.3 GeV의 에너지를 얻을 수 있는 synchrotron이 필요하기 때문에 몇몇 국가에서만 독점적으로 기술 개발이 이루어지고 있었다. 그러나 최근 포항공대의 방사선 가속기의 가동은 국내에서도 이 기술의 개발을 가능하게 하는 동기를 제공하였다.

LIGA 기술을 이용할 때 창출될 수 있는 시장은 매우 방대할 것으로 예측되며 LIGA 기술을 가장 효과적으로 이용 수 있는 분야중의 하나가 광부품에의 응용일 것으로 생각된다. 그 이유는 광부품의 가장 기본적인 필수 요건인 광섬유 정렬이나 연결을 LIGA 기술에 의해 쉽게 구현할 수 있기 때문이다. 그러나 아직까지 LIGA 기술을 이용하여 광부품을 제작하거나 판매한 예가 없어 그 시장을 조사할 수는 없으나 지금까지 조사된 미국 및 일본의 광부품 시장을 그 예로 들면 그 시장 규모를 짐작할 수 있을 것이다. 광부품 전체 시장 규모는 미국 시장의 경우 1988년부터 1994년까지 연간 시장 증가율이 평균 17%를 나타내고 있으며(예상치도 포함), 일본 시장의 경우 1990년 현재 전년 대비 15% 정도의 고성장을 보여주고 있다. 최소한 같은 추세로 성장한다고 가정할 때 2000년대의 미국 시장 및 일본 시장은 각각 36억달러와 1600억엔 규모를 갖게 될 것으로 예상된다. 여기

에 유럽 및 기타 지역의 통계는 빠진 상태이지만 개략적인 예상은 전체 세계 시장의 1/3 정도를 차지할 것으로 보고 있다. 미래의 광통신 발전을 예견해 보거나 가입자의 폭발적인 증가를 고려해 볼 때 그 어느 부품보다도 광분기를 위한 부품의 증가가 필연적으로 나타날 것을 예상할 수 있다.

현재의 LIGA process는 5 μm -수mm의 제품을 제조할 수 있으며 종횡비를 최대 300까지 할 수 있고 재료에 대한 제한이 거의 없는 기술로서 공정 자체에 대한 연구개발은 거의 완료되어 정착된 상태이며 현재는 주로 X-선용 포토레지스트 개발, 특수 기능성 재료 개발 및 이의 응용에 관한 연구가 수행되고 있다. 특히 기존의 가공법에 의해서는 제작이 불가능하거나, 제조단가가 매우 상승하거나 할 때 이에 대한 대체기술로서 LIGA process의 중요성이 점차 인식되고 있는 추세이다.

LIGA 기술은 크게 보아 그 자체 기술의 확보에 따른 장점도 갖추고 있지만 이를 이용한 응용분야에 적용됨으로써 제조 공정을 간단히 한다던가, 양산성을 높인 다던가, 새로운 개념의 상품 개발조차 가능해 진다는 장점을 함께 가지고 있다. 향후 적용 가능성이 있는 예를 세분하여 응용분야별로 정리하면 다음과 같으며 응용분야의 다양성을 볼 때 타분야에의 기술적 파급과 매우 큼을 알 수 있다.

LIGA 기술은 한 분야의 기술로 이루어지는 것이 아니라, 학문적으로는 재료, 전자, 전기, 화학, 기계 및 시스템 등 복합적인 지원이 있어야 가능하며 이에 따라 이러한 분야의 발전도 함께 기대할 수 있다. 학문분야와 마찬가지로 산업간에서도 상호간의 협력 증진 및 산업의 융합화를 유도할 수 있는 분야이다. 이러한 이유로 볼 때 부존자원이 부족한 우리 나라의 실정에 적합한 차세대 신기술 산업이며, 신기술의 상품화 및 수출확대로 21세기 선진국 진입을 위한 최대 유망 기술 산업이라 할 수 있다.

③ 레이저빔 응용 가공 기술 개발

종래의 기계가공공정으로는 실현할 수 없는 극소형 및 초정밀도의 기계구조 또는 센서 및 액투에이터 등의 미세구조물을 반도체 집적회로 가공 기술 또는 고에너지빔 가공 등을 이용하여 구현하

는 기술로서 고에너지 빔 중에서 엑사이머 레이저는 248nm 또는 193nm의 deep-UV영역에서 충분한 강도와 좁은 밴드너비를 가진 광원으로서 마이크로 이하의 패턴 해상 뿐만 아니라 열손상이 거의 없는 미세가공이 가능하므로 근년에 들어서 미세가공 및 초정밀가공분야에서 응용범위가 급격히 확대되고 있다. Nanotechnology 기술확보를 위한 필수 단계이며 미세 정밀부품가공을 위해 고 정밀도 확보가 필요하다.

정보, 통신, 광응용기기, 의료분야 등의 미세기기 응용증가와 더불어 제조기술 확보가 시급하며 제품의 소형화 및 박형화 추세에 따른 박막제품의 증가로 인하여 박막의 생성 및 제거와 같은 미세가공기술 확보가 시급하다.

21세기 초에 실현될 256MB의 초고집적 반도체 생산을 위해 0.2 μ m의 선폭 가공기술 확보가 필요하며 고집적 PCB 기판을 제조하기 위해서 through via의 가공시 기계적 방법은 제어 및 정밀도 때문에 0.2mm이하로 천공을 할 수 없어 레이저로 대체하고 있는 실정이다.

또한 산업전반에 걸쳐 엄청난 신규 시장을 창출하는 최대 유망 기술 산업으로 대두될 것으로 예상되며 21세기 초 마이크로머신의 시장규모 20~30조정도로 추산되고 있으며 세계적으로 연구가 시작된 지 얼마 되지 않아 충분히 경쟁력 확보가 가능하다. 가공기술은 모든 산업의 기초기술로 설계, 조립을 결정하는 중요한 요소이며 제조단가를 결정함. 정밀가공기술은 국가의 산업 틀을 형성하는 중요한 인자이지만 한 업체에서 단독으로 수행하기에는 경제적, 기술적으로 어려움이 많아 국가주도에 의해 수행되어야 하며 특히 첨단 가공기술은 연구개발에 위험성이 많아 비교우위기술을 확보하고 있는 국가와 연계하여 연구하는 것이 바람직하다.

반도체 가공기술과 기존의 정밀가공기술은 유사하며 또 정밀한 부품을 제작할 수 있는 방법으로 기계가공에서 엑사이머 레이저 가공을 택해 이 방법에 의해 제작할 수 있는 노즐(spinning nozzle, ink jet printer nozzle 등), 박막(3차원 혹은 2차원)가공 등을 통한 optical switch, 커넥터 가공기

술 등을 확보하여 이 기술의 특성을 분석하고 특성에 알맞은 응용분야를 확장하고자 한다.

두 가지 방법에 의해 미세구멍의 최소직경 및 aspect ratio에 대한 연구, 표면상태에 대한 연구를 동시에 취할 수 있기 때문에 두 가지 방법에 의한 미세가공기술을 개발하고자 한다. 또한 다른 반도체가공방법은 재료의 제한이 있는 반면 엑사이머 레이저를 이용한 재료가공기술은 재료의 제한이 없는 것이 공통점으로 정밀기기를 개발하는데 유리한 장점을 갖고 있다.

Printed Circuit Board의 천공은 기계적인 방법, Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저를 이용한 방법, 엑사이머 레이저를 이용한 방법 등이 이용된다.

Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저를 이용하면 두꺼운 재료를 천공시킬 수 있으나 빔 spot 크기의 제한으로 박막에 작은 구멍을 천공하는 데는 적합하지 않다. Multichip module technology based on laminate(MCM-L)은 저가이고 고집적 회로를 형성할 수 있으나 0.3mm 이하의 천공을 하는 기술이 필요하다. 미세 천공을 위한 대표적인 방법으로는 ① Direct laser writing ② Projection ablation ③ Contact mask 등이 이용되고 있다. 각각의 방법은 특징에 따라 사용용도가 다르며, 본 과제에서는 드릴링(천공) 뿐만 아니라 grooving도 가능한 direct laser writing에 의한 방법을 택하기로 한다. 그러나 나머지 두 가지 방법도 광학 시스템을 조금 바꾸면 할 수 있는 방법들이다.

레이저 가공기술은 마이크로 내시경 카테타 그루브 가공, 카테타 외벽의 배선용 Wiring, 고정밀 로타리 엔코더 슬릿트 디스크 가공, 압전소자 미세 그루브 가공, 광커넥터 가공, 다층회로기판 드릴링 등에 활용할 수 있다.

④ 미세 방전 가공기술 개발

마이크로 머신 요소가공을 위한 마이크로머시닝에로의 접근방법은 크게 두 가지로 나뉘어 진다. 첫째로 집적회로 제조용 반도체 제작공정을 응용한 리소그래픽 미세 가공기술을 이용한 실리콘의 마이크로 머시닝 방법을 들 수 있다. 이미 이 방법을 사용하여 마이크로 모터, 정전 마이크로 액츄에이터(electrostatic micro actuator) 등의 미소 마

이코로 머신요소의 제작에 성공한 사례가 보고되고 있으며 현재 세계적으로 어느 정도의 수준에 이르러진 것으로 생각되어진다. 현재 이용이 가능한 실리콘 마이크로 머시닝의 주요 제조공법으로는 ‘몸체가공법(bulk micro machining)’, “표면 마이크로머시닝(surface micro machining)” 그리고 구조적인 다양성과 3차원적 구조를 실현하기 위해 개발된 ‘실리콘접합법(silicon fusion bonding)’ 등을 들 수 있다. 그러나 이들 공정은 가공재료가 실리콘 등의 특정 재료에 한정됨으로 인해 실리콘 마이크로 머신 요소가 지니야 할 만큼의 충분한 강성을 지니기 어렵고 내마모성과 마찰특성이 떨어지고 또한 평면 디바이스를 형성할 수 있는 재료두께가 기껏해야 수 μm 에 이르는 등 여러 가지로 적용에 제약이 따르므로 깊이를 요구하는 3차원의 입체형상을 지니는 마이크로 머신의 요소 가공에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서는 투과성이 없는 단파장 SOR(Synchrotron Orbital Radiation)의 노광을 이용하여 높이 수백 μm 까지의 구조가공을 용이하게 행할 수 있는 ‘LIGA(Lithographie Galvanoformung und Abformung)’ 프로세스를 깊이 있는 3차원 구조 가공에 응용할 수 있다. 그러나, 방사광의 발생장치가 비싸고 이 방법 역시 마스크를 통한 SOR의 노광 방식을 사용하고 있으므로 깊이만 깊을 뿐 2차원 평면가공법에서 벗어나지 못하는 이유로 가공 가능한 형상에 한계가 있다.

둘째로는 기존의 연삭가공, 절삭가공, 방전가공 등의 전통적인 기계가공의 극미세화 및 초정밀화 기술을 사용하여 종래의 시스템을 소형화하는 기술을 들 수 있다. 이들 가공방법의 특징은 아직까지 그 가공물의 크기가 전술한 실리콘 마이크로머시닝에 비해 상대적으로 크고 공작물의 고정등에 여러 제약조건이 존재하지만 그 가공물의 재질에 한계가 없고 3차원 입체구조물을 가공하는 데에는 최적의 가공 방법이다. 마이크로 절삭가공의 예로 가장 잘 알려져 있는 기술이 미세초정밀 위치결정이 가능한 초정밀 가공기에서 매우 날카로운 절삭날을 가진 다이아몬드 공구를 사용하여 서브마이크론(sub-micron) 단위로의 절삭을 수행하는 ‘다

이아몬드 선삭기술(diamond turning)’이다. 이를 이용하여 400 μm 직경의 캔의 제작에 대한 보고가 있으며 그 외에도 여러 미세 마이크로머신의 요소 제작에 성공한 사례가 최근 활발히 보고되고 있다. ‘마이크로 방전가공(micro electro discharge machining)’은 마이크로 이하의 정확도를 제공하는 정밀기구의 제어기술 및 방전에너지(discharge energy)를 10^{-7} J 이하로 극도로 작게 제어하는 기술 등을 접목하여 미소 드릴링 및 미소밀링을 수행함으로써 복잡한 형상의 3차원 입체 미세 구조물을 가공을 가능하게 하는 방법으로 최근 일본에서 활발히 연구되고 있다.

마이크로 방전가공에 있어서 기본 메커니즘은 공구전극과 가공물을 절연성 액체에 담그고 서로 마주 향하게 설치하고 전압을 인가한 후, 이 상태에서 공구전극을 가공물에 접근시켜서 이들간의 거리(극간거리)를 충분히 작게 하면 액의 절연이 깨져서 아크방전이 발생하게 되는데, 이때 발생하는 에너지를 가공에 사용하는 것이다. 전원으로는 트랜지스터 회로와 RC회로를 대부분 사용하고 펄스전류를 사용하기 때문에 아크는 단시간에 소멸한다. 방전에 의한 열로 방전이 일어난 부분이 녹음과 동시에 증발해서 가공물에 작은 크레이터(crater)가 발생한다. 이상의 과정을 차례차례 되풀이 함으로써 다수의 방전이 전극전체에 걸쳐 무작위(random)로 일어나면 전극 끝면의 형상이 가공물에 그대로 전사됨으로써 가공이 된다. 이 과정에서 가공물 뿐만이 아니라 전극자체에도 가공이 일어나는 데 방전이 진행됨에 따라 전극의 소모량(마모량)을 줄이는 여러 연구가 진행중이다. 특히 미세방전가공의 경우에는 다음과 같은 주의점과 가공기술을 고려해야 한다.

첫째는 가공치수에 대응해서 매우 작은 전극을 사용해야 하므로 미세한 전극의 개발방법에 대한 연구가 병행되어야 한다.

둘째로 크레이터가 가공치수에 비해 충분히 작은 것이 필요하므로 방전에너지를 10^{-7} J 정도로 작게 제어를 해야 한다.

셋째로 공구의 주축회전 정밀도가 좋아야 한다. 둥근 구멍가공에서는 진원도 확보나 가공속도의

항상을 위하여 3,000~6,000rpm 정도로 전극을 회전시켜야 하는데 이 경우 주축의 회전정밀도는 가공정밀도에 직접적으로 영향을 미치므로 매우 중요하다.

넷째로 전극의 처짐제어기술이다. 전극의 길이는 큰 치수의 가공에서는 문제가 되지 않지만 미세가공에서는 전극의 직경이 매우 작으므로 이에 대한 강성의 급격한 감소를 야기시킴으로써 구멍 치수에 비교한 전극의 처짐 영향이 커지게 된다. 방전가공시의 전극에 가해지는 외력은 다른 가공에 비하여 상대적으로 매우 작으나 방전시의 충격이나 기포의 팽창 및 유동으로 인한 가로방향의 힘으로 인하여 긴 전극을 사용하는 경우 불안정한 가공이 발생할 수 있다.

다섯째, 전원의 제어기술이 필요하다. 방전가공 시에는 펄스 형태의 전원을 인가하게 되는 데, 이때 인가되는 전류의 피크값 $I_{sub p}$ 와 펄스폭 τ 의 곱이 크레이터의 크기를 지배하게 되므로 마이크로 가공 시에는 그 값을 $200\mu C \sim 100pC$ 로 작게 유지하여야 한다. 극성은 전극축을 음, 공작물을 양으로 전원을 걸어줌으로써 공구의 소모를 피하여야 한다. 이는 마이크로 방전가공에서는 펄스폭이 매우 작으므로 전자에 의한 가공이 지배적인 데에 기인한다. 마이크로 가공시의 펄스폭은 $\mu s \sim ns$ 정도를 유지해야 하므로 전원회로로서는 콘덴서 회로 특히 RC회로가 유리하며 이 경우 펄스폭의 최소화를 위하여는 펄스폭과의 비례관계에 있는 양극간의 부유용량 $C \cdot'$ (stray capacitance)와 리드선의 인덕턴스 L 을 줄여야 한다. 이를 위하여 전극을 장치본체로부터 절연하여 전기 표면적 감소로 인한 $C \cdot'$ 의 감소 전략을 사용하는 것이 유용하다.

여섯째, 이송기구의 정밀한 위치 제어이다. 미소 방전가공에서는 극간거리를 수 μm 정도로 유지한 상태로 극간의 평균전압이 설정값에 접근하도록 서보기구로 제어하여야 한다. 극간거리가 작으므로 이송기구 안내부의 매끈함이나 직진성이 매우 중요하다. 또한 아주 근소한 가로진동오차는 그 만큼 구멍의 측면을 가공하게 됨으로 가공 정밀도에 치명적인 손상을 가하게 된다. 그러나 비금속의 방

전가공에서는 전극이 밀어 붙여지고 있기 때문에 자연적인 이송이 걸려 복잡한 이송제어의 필요성이 상대적으로 금속의 방전가공보다 작다.

일곱번째, 미소한 전극의 제작기술이다. 지름 100~200 μm 정도의 전극을 제작할 때에는 절삭, 연삭, 전해연삭, 방전가공 등의 방법을 이용할 수 있으나 수 μm 치수의 제작 시에는 블록전극을 사용한 역방전에 의한 방전가공 성형이 재료에 대한 제한이 거의 없고 가공력도 가해지지 않으므로 주로 사용된다. 그러나 이 방법은 블록전극의 소모에 의한 치수관리가 번거롭다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 와이어방전연삭법(WEDG)이 개발되었다. 이것은 성형용 전극으로 블록전극대신에 와이어 전극을 천천히 주행시키고 와이어 외주에서 전극을 가공함으로써 전극소모를 막고 여러 가지 형태의 보다 가는 전극을 성형할 수 있다.

이와 같은 방전가공의 이점의 하나로 가공이 가능한 재질의 제약이 별로 없다는 것을 들 수 있다. 금속은 물론이고 금속끼리의 합금, 탄소와 강철 및 탄화텨스텐 합금, 유리, 루비, 다이아몬드 등의 가공에 가능하다. 가공 가능한 구멍의 깊이는 구멍 지름 5배까지는 용이하며 그 이상은 깊을수록 고도의 가공기술이 필요하게 된다. 와이어 방전연삭법에 의해 대단히 가는 축의 가공이 가능하여 축형상의 미소부품 제작이 가능하며 실제 일본의 마쓰시타연구소에서 초소형 공기터어빈 축을 이 방법으로 가공한 사례가 있다.

지금까지의 방전가공에 대한 내용들을 정리해보면, 마이크로머시닝의 접근방법은 집적회로 제조용 반도체 제작공정을 응용한 리소그라픽 미소가공기술과 기존의 전통적인 기계가공의 극미세화 및 초정밀화 기술을 사용한 미세가공으로 나눌 수 있으며 각각의 기술의 장점을 살려 제작하려 하는 미소 부품의 특성에 따라 적절한 가공법을 사용함으로써 마이크로머신의 주요 부품을 제작할 수 있다.

본 과제에서는 마이크로 방전기술에 관한 연구를 수행함으로써 마이크로 머신의 부품 가공을 위한 요소가공기술의 확립을 목표로 하고 있다. 또한 본과제의 연구를 통하여 얻을 수 있는 전반적인

마이크로 가공에 의한 기술적 영향은 그 파급효과가 매우 크다 하겠으며 예를 들면 이송기구의 제어는 다른 초정밀 가공기술의 기반기술이 되며 전원의 제어에서 파생되는 기술은 ECM, ELID 연삭 등의 전원제어기술로 적용이 가능하다. 그 영향의 구체적인 예는 다음과 같다.

첫째, 마이크로 방전가공 시스템의 구성 기술을 통하여 다른 초정밀 가공기 설계의 기초 노하우(know-how)의 습득이 가능하다. 마이크로 가공 및 초정밀 가공은 시스템의 성능이 그 가공의 정밀도를 좌우하므로 시스템설계에 관한 기술습득의 중요성은 매우 크다 하겠다.

둘째, 미세 초정밀 위치 결정 및 이송기술이다. 모든 초정밀 가공의 기초는 공구와 공작물사이에 정확한 상대운동에 의하여 가공이 이루어지므로 이 과제에서 수행하는 미세초정밀 위치결정 및 이송기술에 관한 기술습득은 기타 여러 가지 초정밀 미세가공의 기초가 될 것이다.

셋째, 방전 전원 및 제어기구 제작이다. 미세방전가공에서 얻을 수 있는 10⁻⁷ J까지의 극소방전에너지 제어 기술은 ELID 연삭 등의 전기화학가공기술에 대한 커다란 파급효과를 가져올 것으로 기대된다.

넷째, 미세간극 측정 기술이다. 주축의 회전정밀도 측정 및 FTS(fast tool servo)등에서는 미세간극에 대한 측정이 반드시 이루어져야 하는데 본 과제의 미세 간극측정 기술이 유용하게 이용될 것으로 전망된다.

그 밖의 미소 방전가공실험을 통한 절삭조건 데이터는 앞으로의 미세방전가공에 대한 가이드역할을 하는 데에 있어서 그 응용효과가 매우 클 것으로 생각되며 앞으로 주요 가공대상이 될 마이크로 머신의 부품의 미소 가공능력의 획득이라는 매우 큰 의미를 가지게 될 것이다. 또한 전술한 산업 및 의료 분야에서 널리 쓰이게 될 마이크로 머신의 기초요소 기술인만큼 사회, 문화적 요구를 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 생각되며 마이크로 머시닝 기술보유로 인하여 국제적으로 다른 기술선진국과 동등한 위치에서의 기술경쟁을 가능하게 함으로써 경제 및 산업의 발전에 크게 기여할 것으

로 판단된다.

산업이 고도화 및 인간의 고령화가 진행됨에 따라 마이크로 머신에 대한 요구는 더욱더 커지게 될 것이며 결과적으로 마이크로 부품의 가공에 대한 수요가 증가할 것이다. 또한 기계기능의 복잡화와 고성능화가 진행됨에 따는 고정밀 부품가공에 대한 필요성 역시 증가할 것으로 예측된다. 이에 따라 마이크로 부품가공 및 마이크로머신 제작에 관련된 산업과 정밀가공에 의한 고부가가치 생성을 목적으로 하는 정밀가공 산업이 유망한 분야로 떠오를 것이다. 따라서 이에 관련된 미소 정밀가공에 관한 기초기술의 개발이 더욱더 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 미세가공 접합 및 패키징 기술 개발

반도체와 세라믹 기술을 이용하여 제작된 소자들이 급속하게 집적화·복합화되고 있으나, 이 소자들을 활용한 다기능화 및 입체화의 요구를 만족시키기 위해서는 기존의 평판기술만으로는 한계가 있어왔다. 미세가공접합 및 패키징 기술은 이러한 한계성을 뛰어 넘어, 소자와 패키징 재료를 이용한 3차원의 미세구조를 형성하여 기능을 고도화하고, 일률적으로 제작된 소자를 응용에 따라 다양하게 할 수 있으므로 상품의 가치를 크게 높일 수 있다. 또한 제작된 소자 자체 뿐만 아니라 이 소자가 사용되는 시스템도 역시 경쟁력이 높아져 각 분야 산업기술의 고도화에 큰 역할을 하게 된다.

경제·산업분야에서 기간산업과 사회간접자본 뿐만 아니라 첨단기술에서의 우위를 확보·유지하기 위해서는 기존기술로 제작되는 상품의 가치를 높이기 위한 노력이 필요하다. 미세가공접합 및 패키징 기술은 첨단기술로서 최근 미국과 일본등지에서 이 기술을 이용한 제품들이 생산되기 시작하고 있으나, 아직 기술의 안정화를 위한 연구투자를 계속하고 있는 상태이다. 그러므로 그간 축적된 연구인력과 경험을 바탕으로 이와 관련된 기술의 KNOW-HOW를 가진다면 기술도입에 의한 비용 및 부작용을 막을 수 있고, 첨단산업에서의 핵심기술을 보유함으로써 파급되는 산업계에서의 효과는 지대할 것으로 판단된다.

현대사회는 경제와 기술이 지배하는 구조로써

경쟁력 있는 기술을 가지는 국가만이 경제를 안정화 시킬 수 있으며 선진국의 대열에 오를 수 있다. 미세가공접합 및 패키징 기술은 첨단산업에 없어서는 안될 핵심기술로서, 기술력을 이용한 분야에서 경제의 고도화에 이바지할 것이다. 또한 이것은 요소기술으로써 우주항공, 환경 뿐만 아니라 인간의 오감을 뛰어넘는 기능을 위한 감성기술에 응용될 수 있어 사회문화 전반에 걸쳐 직접간접으로 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

접합기술은 접합하고자 하는 재질의 선택과 공정의 개발이 중요하지만, 무엇보다도 접합 후에 잔류응력 등의 영향으로 인한 특성변화를 최소화할 수 있도록 모든 조건이 연구되어야 한다. 실제로 GLASS의 양극접합은 고전계와 온도의 영향을 줄일 수 있도록 조건들을 하향하여 연구되어야 하며, 직접접합은 표면처리기술과 청정도에 크게 영향을 받으므로 잔류응력과 VOID를 최소화할 수 있는 연구가 필요하다.

반도체와 세라믹으로 제작된 소자의 시장규모는 이미 수요가 공급을 넘어선 상태를 유지하고 있으며, 기능이 고도화되고 입체화된 미세구조 소자들의 등장이 요구되는 현재 미세가공기술의 확보는 앞으로 필연적이라 할 수 있다. 또한 적용 시스템의 고기능화가 가능하므로 앞으로 그 응용범위 역시 크게 확대되리라 판단된다.

미세가공접합기술을 이용하여 센서, 액츄에이터, 광소자, POWER SWITCHING 소자 등의 개발에 직접적으로 응용될 수 있으며, 또한 FRIT GLASS를 이용하여 접합기술을 사용하고 있는 PDP (Plasma Display Panel), FED(Field Emission Display)를 비롯한 DISPLAY 분야의 패키징에도 적용 가능하여 첨단기술분야에의 파급효과가 클 것으로 예상된다.

양극접합과 직접접합의 응용이 가장 활발한 압력센서와 가속도센서로 대표되는 기계량 센서의 경우 1995년 국내시장규모는 3,200억원(한국표준과학연구원)정도이므로 최근 10년간의 평균증가율 25%를 감안한다면 접합기술의 수요는 센서의 응용만으로도 아주 높은 것으로 판단된다. 그리고, GLASS를 패키징에 응용하고 있는 Display의 경

우 국내 연간 매출액이 약 1조원에 달하므로, 이와 연관된 영상표시장치분야에의 적용까지 포함한다면 그 응용에 의한 시장은 대단히 방대할 것으로 예상된다.

양극접합기술과 직접접합기술을 반도체 소자의 제조에 직접 사용할 수 있고, 특히 압력 및 가속도 센서와 차세대 평판 디스플레이의 패키징 기술에 응용될 수 있으므로, 첨단기술제품의 제작에 활용될 수 있다. 본 연구에서는 접합기술의 개발과 함께 현재 연구중인 반도체 압력센서와 가속도 센서의 패키징 연구에 활용하여 그 적합성과 특성변화의 추이를 연구할 예정이다.

⑥ 자기변형 박막가공 및 응용기술 개발

재료는 그 사용용도에 따라서 구조재료와 기능재료로 크게 나눌 수 있으며, 최근 들어 다양한 기능을 가진 소재에 대한 요구가 증대됨에 따라 기능재료에 대한 관심이 점차 커지고 있다. 그 중에서도 최근에는 (80년대 말이나 90년대 초) 기능재료의 특성을 고도화 시킨 지능(intelligent 또는 smart) 재료가 많은 관심의 대상이 되고 있다. 지능재료란, 외부의 환경을 감지하는 센서의 기능과 이에 적절히 대응하는 액츄에이터의 기능을 동시에 가지고 있어서 스스로 외부의 환경에 대처하는 능력을 가진 재료이다. 정보통신, 멀티미디어, 휴먼로봇 및 생명과학이 산업을 주도할 것으로 예상되는 21세기에는 인간의 두뇌, 신경 및 오감에 해당하는 기능을 보유하는 디바이스들이 중요한 역할을 할 것으로 생각되며, 따라서 지능재료가 차지하는 비중 또한 매우 클 것으로 예상된다. 자기변형재료를 비롯하여 형상기억합금, 전자유동유체 등 현재 개발된 지능재료들은 대부분 벌크형으로써 물리적 기능과 역학 기능을 상호 변환하는 기능에 한정되어 있는데, 지능재료가 가지고 있는 고유의 기능을 충분히 발휘하고 고집적·고기능화된 디바이스에 적용하기 위해서는 박막 형태의 지능재료들이 산업적으로나 기술적으로 매우 중요한 위치를 차지할 것이 확실시된다.

자기변형재료란, 자화상태에 따라 길이가 변하는 재료를 일컫는데, 대부분의 자성재료가 이러한 자기변형 현상을 보이지만, 강자성재료

(ferromagnets)와 페리자성재료 (ferrimagnets)를 제외한 자성재료들의 자기변형치는 매우 작기 때문에 실용적인 측면에서는 중요하지 않다. 강자성재료와 페리자성재료의 경우에 있어서도 1970년대 초까지는 최대자기변형치가 50 ppm (재료의 길이가 1 m일 때 길이 변화가 50 μm) 정도로서, 유사한 기능을 가진 압전재료의 변형치 보다 상당히 작았기 때문에 그리 큰 관심을 끌지는 못하였다. 그러나 1970년 초에 획기적인 제2세대 자기변형재료인 희토류계 합금이 개발되면서부터 상황은 크게 변하였다. 대표적인 제2세대 자기변형 합금들로서는 TbFe₂와 Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe₂를 들 수 있는데, 이들의 자기변형치는 약 2000 ppm 정도로서, 기존의 자기변형 재료보다는 40배 정도 높고 압전재료보다도 10배 가량 높다.

희토류계 자기변형재료는 이미 언급한 높은 자기변형 외에도, 다른 유사한 성질을 가진 재료에 비하여 에너지 밀도가 높고, 변형에 요구되는 반응시간이 짧으며, 사용시간과 횟수에 따른 특성의 열화가 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특성으로 인하여 디바이스에 적용 시, 디바이스의 소형화가 용이하고 넓은 주파수 영역에서 사용이 가능하게 된다. 이외에도 낮은 전압에 의해 구동되기 때문에 회로의 설계 및 작동이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 희토류계 자기변형재료의 주된 응용분야는 액츄에이터로서, 이는 구체적으로 미소위치제어, 연료분사기, 정밀밸브, 소나, 지질탐사용 음파발진소자, 액티브 제진, 마이크로 밸브 및 펌프 등에 활용될 수 있다. 이외의 응용분야로는 공명센서 및 표면음파소자(surface acoustic wave devices) 등을 들 수 있으며, 최근에는 마이크로 이동 로봇(micron scale mobile robot)에의 응용가능성까지 제기되고 있다. 희토류계 자기변형재료를 디바이스에 응용하는 경우 이미 언급한 재료 특성으로 인하여 다른 재료에서는 얻기 어려운 독특한 장점을 가지게 된다. 이러한 장점을 구체적으로 이해하기 위하여 마이크로밸브에의 응용을 예로 들어보자. 희토류계 자기변형재료를 이용한 마이크로 밸브는, 제어의 분해능이 수 nm로 매우 작고 비접촉 방식에 의해 제어되므로 초정밀제어가

가능하고, 또한 에너지 밀도가 높아 출력이 크기 때문에 밸브의 제어가 유체의 압력에 거의 무관하게 된다. 따라서 이러한 밸브는 매우 정확한 유속의 제어가 요구되는 의학이나 정밀화학 분야 등에 긴요하게 응용될 수 있을 것이다.

희토류계 자기변형재료가 개발된 지는 25년 정도 경과하였으나 초기에는 벌크 형태로서 주로 군사적인 목적에 사용되었기 때문에 광범위한 연구가 이루어지지 않았으나, 1980년대 후반부터 이 재료의 중요성이 재인식되기 시작하면서 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 초기의 연구경향과는 달리 최근의 연구는 벌크보다도 박막형태의 재료에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 미국, 유럽 및 일본을 중심으로 기초 물성 및 디바이스화를 위한 응용 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근에는 이에 대한 연구활동이 매우 활발하여 희토류계 자기변형재료만을 위한 국제학술회의를 정기적으로 개최할 것을 추진 중에 있을 정도이다 (1996년 11월 미국에서 국제학술회의를 개최하는 것이 확정되었음). 그러나 국내의 경우 희토류계 자기변형재료에 관련된 연구는 매우 미미한 실정이다. 이러한 국내의 연구상황은 희토류계 자기변형재료가 기능재료로서 다가오는 21세기의 핵심재료중의 하나임을 고려할 때 개선되어야 할 것으로 생각되며, 따라서 이 재료에 대한 연구가 시급히 요청된다.

자기변형의 자기장 민감성은 지금까지의 많은 연구를 통하여 크게 향상되었으나, 새로운 아이디어를 적용하여 계속 연구하면 더욱 더 향상될 여지는 큰 것으로 생각된다. 이는 다양한 합금설계(반금속 합량 포함)와 합금타게트의 사용을 포함한 다양한 증착 조건 및 후 열처리 기술을 개발함으로써 달성될 수 있을 것으로 생각된다. 화학적(부식성) 및 기계적(파괴) 성질은 지금까지 거의 연구되지 않았는데, 수년간 집중적인 연구를 수행한다면 디바이스에 적용하였을 때 결정적인 문제를 야기하지는 않을 것으로 생각된다.

2. 산업응용분야

① Yaw Rate Sensor 개발

동적인 물체의 각속도를 측정하는 Yaw Rate 센서 또는 Gyroscope는 각종 역학 센서 (가속도, 압력, Air-flow, 충격 센서)와 같은 감지 기능 뿐만 아니라 Actuator의 구동을 통한 물리적 응답을 측정하는 소자이므로 기술적으로 한 차원 높은 반도체형 센서이다.

Micro machining (MEMS) 기술을 이용한 반도체 Yaw Rate 센서 개발에서 신호처리회로의 일체화를 통하여 자동차용 ASIC 기술 개발의 기반 구축이 가능하다.

자동차 부품 산업에서 핵심 부품(센서 및 반도체 Chip...)의 국산화율을 높여 줌으로써 자동차 국산화를 향상과 독자 System 개발이 기반을 확보할 수 있다. (자동차 전자화 추세에 따른 부품 국산화 필요성 절실) 또한, 현재 생성되기 시작한 반도체 센서 시장의 조기 진출을 통하여 차세대 반도체 산업의 하나인 마이크로 메카트로닉스 산업에서의 주도적 역할이 가능하며 자동차 센서 시장 참여를 통한 기업의 매출액 증가 및 외화 절감이 가능하다.

기존 고가의 광학적 방식에서 MEMS 기술을 이용한 반도체 방식으로 개발한 경우 저가의 Gyroscope 공급이 가능하다.

자동차용 에어백용 실리콘 충격센서, Suspension용 가속도 센서, 엔진용 압력센서 등이 상품화가 이루어졌고, GM, Ford, Chrysler(미국), Siemens(독일), SCEM(스위스), Sagem(프랑스) 등은 자동차용 가속도계나 각속도계의 연구가 진행 중이다.

각속도계의 연구는 일본에서 캠코더의 손떨림 방지용 및 독일의 Benz 자동차 회사에서 Stability control system용으로 사용되고 있다. MEMS 기술을 이용한 Yaw rate 센서의 연구는 최근에 활발히 진행되고 있어 향후 자동차 안전성과 산업응용 분야의 편리성을 제공할 것이다.

1995년부터 Bosch사에서는 VDC(Vehicle Dynamic Control) system을 생산하기 시작하였다. 이 시스템의 중요한 부분은 Yaw Rate 센서이다. 자동차에 적용하기 위한 이 센서의 중요한 기본적인 요구 사항은 양산성, 재현성 등이다.

Bosch사에서 개발한 Yaw rate 센서의 기본은 8개의 압전체를 이용한 "Vibrating cylinder"의 개념을 도입한 센서이다. 이 센서는 1995년 초부터 양산할 예정이다.

MEMS 기술을 이용한 Yaw rate 센서 개발에 대한 논문은 Delco에서 1995년 SAE에 발표한 LIGA공정과 0.8 μ m CMOS 공정을 이용한 Surface Micromachined Angular Rate 센서와 Murata에서 1995년 IEEE에 발표한 박막 Polysilicon resonator로 구성된 Micromachined Vibrating Gyroscope 등 몇 편에 불과하다.

현재 몇몇 선진 외국에서 제품화된 Yaw Rate 센서는 아직 대부분 광학식 또는 압전체를 이용한 것이 대부분이며, MEMS 기술을 이용한 Yaw Rate 센서 개발은 초기 단계이다.

MEMS 기술 개발은 LIGA 공정 또는 polysilicon을 이용한 Surface-micro machining 개발이 주로 이루어지고 있으며 기본적인 구조 제작 및 작동은 이미 기존의 MEMS 기술로 실현 가능한 것들이다. 그러나 현재까지 VDC system에서의 요구 사항이 정확히 정의되어 있지 않은 관계로 사양을 기준으로 한 센서 개발이 이루어지지 않은 상태이며, 보다 정확한 기계적, 물리적 해석을 통한 연구는 진행되지 않았다. 또한 제품화를 목적으로 한 Yaw rate 센서의 Micro machining 기술 개발은 이루어져 있지 않은 것으로 판단되며 현재까지 연구는 거의 1축 Yaw rate 센서 개발에 국한되어 있다.

앞으로 자동차에서 ABS와 TCS의 결합된 system인 VDC(Vehicle Dynamic Control) system이 보편화될 것이며 이 시스템에서 Yaw Rate 센서는 필수적이며, 자동차에 적용하기 위한 sensor의 기술적인 요구 사항은 small size, Mass producibility, 온도, EMI, 진동 등의 외부 환경에 대한 안정성, low cost 등이다. 따라서 MEMS 기술을 이용한 반도체 센서가 반드시 요구될 것이다. 그러므로 현재 연구 단계인 반도체 Yaw Rate 센서는 system의 개발 전에 제품화 될 것이 분명하다.

그리고 향후에는 Controller Network가 승용차

에서 중요한 역할을 할 것이므로 다음 단계의 Yaw Rate 센서는 Controller Area Network가 구비된 센서가 필요로 할 것이며, 이러한 센서는 다음과 같은 system에도 적용될 것이다.

- ① Navigation system
- ② Suspension control system
- ③ Rear wheel steering system

3. 광/멀티미디어 기술 분야

① 마이크로 미러 어레이(MMAD, Micro-Mirror Array for Display)의 개발

마이크로머시닝 기술과 MEMS를 이용하여 정보를 미세하게, 빠르게, 소모전력이 적게 기록하거나 판독하는 정보 기기에 응용하거나, 기기 자체를 소형으로 얇게 제작하고 화소 수를 늘리며 대형화면을 제공하는 멀티 미디어 기기에 응용하려는 연구가 진행 중이다.

멀티 미디어 기기로는 기기를 얇게 만들어서 벽걸이형 TV를 제작하려는 FED에 관한 연구, 화소 수를 HD-TV급으로 늘리고 100인치 정도의 화면을 제공하는 투사형 화상 표시 장치에 관한 연구가 산업체와 대학을 중심으로 진행 중이다. 투사형 대형 화상표시장치에는 핵심 부품으로 마이크로 미러 어레이를 제작하여 대형 화면 표시 장치를 제작하려는 연구가 진행 중에 있다. 대형 화면 표시 장치에서는 화소 수가 HD-TV급이 되어야 고운 화상을 볼 수 있다.

마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작한 것은 시스템의 부품이므로 잠재 시장을 가지고 있으며 마이크로머시닝 기술로 제작한 부품을 채용하여 제품의 부가가치가 상승 정보 기기는 사회가 정보화 시대로 진입하면서 계속적으로 시장이 커지리라 전망한다. 멀티 미디어 기기분야에서는 2000년대에 대형화면 표시장치가 새로운 시장을 창출할 것으로 전망된다. 대형 화면 표시 장치는 반사형이 시장을 석권하고 있으며 텍사스 인스트루먼트사가 내년부터 제품을 내놓기 시작하므로 시장이 3-4년 내에 성숙될 전망이다. 현재 세계적으로 텍사스 인스트루먼트사 이외의 회사가 반사형 화상 표시 장치에 참여한 예가 없는 실정이다.

MMAD를 이용하여 100 인치 이상의 대형화면을 표시하는 투사형 화상 표시 장치를 구성할 수 있고 현재의 LCD 투사장치는 화면이 어두워서 실내의 조명을 어둡게 하고 사용하나 MMAD를 이용한 투사장치는 화면이 밝으므로 일반 밝기의 실내에서도 사용할 수 있다. 또한 일반 및 HD-TV급의 화상을 표시 컴퓨터의 화상 표시 장치 및 레저나 게임용 화상 표시 장치, 레이저 TV의 레이저의 스캐너로서 사용될 수 있다.

② 고집적 초소형 하드디스크 개발

미래사회는 정보화 사회로서, 수많은 자료로부터 필요한 정보를 얻고, 또 이를 이용하는 것으로 특징지을 수 있을 것이다. 이에 따라 자료 자체의 저장에 대한 요구도 막대하게 될 것이며, 컴퓨터의 활용과 관련하여 하드디스크의 경우, 같은 용량(대략 1GByte)을 가지되 그 크기를 줄이는 데에는 재래식으로는 그 한계가 있다. 그 한계의 원인은 기억물질 자체의 크기보다는 기억된 정보를 읽고 쓰기 위한 헤드의 크기와 구동 때문이다. 그런데 MEMS 기술을 써서 하드디스크의 크기를 약 20mm x 20mm 로 줄이고, 그 용량은 20G Byte 이상으로 하기 위한 연구가 선진국에서는 거의 완성 단계에 와 있다. 하드디스크 시장의 막대한 크기를 생각할 때, 우리나라도 이에 대한 연구를 하루 빨리 시작하여야 만이 기술경쟁에서 살아남을 수 있을 것이다. 또한, 이러한 초소형 하드디스크를 만드는 데에 사용되는 MEMS 기술을 보면, 마이크로 구조물 및 마이크로 액츄에이터를 만드는 것이 주된 내용으로서, 이로 인해 파급될 MEMS 응용분야에서의 발전을 크게 기대할 수 있을 것이다.

초소형 HDD 기술은 마그네틱 헤드, 액츄에이터 등 마이크로 구조물을 만드는 것이 주된 내용으로, MEMS의 핵심기술이고 현재 컴퓨터 산업은 매우 큰 규모를 이루었고, 앞으로 그 규모가 더 커질 것으로 기대 된다. 이러한 컴퓨터에서 HDD는 정보를 기록하는 주 기억장치로서 매우 중요하다. 또한, 노트북 컴퓨터와 같은 컴퓨터의 소형화는 초소형 HDD를 요구하고 있다.

이미 현대 사회는 정보화 사회이고, 정보의 사회적 역할은 더욱 커지고 있다. 이러한 정보화 사회

에서 컴퓨터를 이용한 정보 통신과 정보의 저장은 매우 중요하며, 정보의 저장에 있어서 소형이면서 고밀도 정보 기억장치의 중요성이 더욱 커지고 있다.

현재HDD 기술에서는 헤드와 액츄에이터의 소형화, 헤드와 디스크 사이의 띄움 거리 및 위치정밀도 유지에 있어서 한계가 있다.

이러한 HDD 기술의 한계는 마이크로 액츄에이터, 마이크로 집필 등의 MEMS 기술로 극복될 것으로 전망된다.

4. 의료분야

① 초소형 작동형 내시경 개발

초정밀기계가공 기술과 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술이 빠른 속도로 발달하면서 종래의 가공방법과 고전적인 공학이론으로는 불가능한 장비의 개발이 가능해지면서 인간의 상상력의 한계를 넘어서는 첨단 기계, 장치들이 속속 선보이고 있으며, 이러한 첨단 장비의 활용이 기대되는 것이 마이크로로봇을 이용한 의료 응용 분야이다.

정밀 기계가공과 MEMS기술의 의학응용은 기술 발달적 개발단계에 따라서 다음의 발달 과정을 나타내게 될 것으로 보인다.

이 분야는 기존의 마이크로머시닝과 MEMS 기술의 활용여하에 따라서 광범위한 활용이 즉시 기대되는 분야이다. 미국, 일본 등의 선진국을 비롯해서 우리나라에서도 최근의 의료분야는 non-invasive surgery등의 신기술의 발달로 환자에게 최소한의 부담을 주면서 병변들을 효과적으로 제거하는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 시도는 내시경(Endoscope)의 발달과 함께 하고 있다. 내시경을 이용한 수술의 예는 최근 몇 년 사이에 폭발적인 증가 추세를 보이고 있으며, 새로운 내시경 시스템의 수요와 이에 따르는 시장형성이 점차로 진행중이다.

이에 본 연구과제에서는 MEMS 기술과 미세기계가공기술을 접목하여 의학의 전반 분야에서 널리 이용 가능한 초소형 작동형 내시경(Micro Active Endoscope/Laparoscope)을 개발하고자

한다. 이는 직경 2 mm의 소형 내시경을 형상기억 합금이나 Active Polymer등을 이용하여 작동형으로 개발하고, 환자의 환부 지혈, 혈관봉합, 약물 전달 등이 가능하도록 micro tweezer, micro needle, micro pump, micro valve, micro gripper등을 시스템화 하고자 한다. 이러한 소형의 작동식 내시경은 작동형 초소형 내시경으로 만으로도 의학전반에서 진단기기로서 활용이 가능하며, MEMS 기술과 레이저 치료기술 등을 접목한 각종의 처치시스템과 조합하여 산부인과, 방사선과, 일반외과, 정형외과, 기관지내과 등에서 초소형 내시경을 이용한 非血管의 手術機器(non-invasive surgery system)로서 다양한 활용이 기대된다.

본 연구신청서에서 다루고자 하는 과제도 이러한 마이크로머시닝과 마이크로로봇의 기술을 활용하여 새로운 진단, 치료 장비를 개발하여 즉시 현장에 투입할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 아울러, 전액 수입으로 대체되고 있는 기존의 내시경의 국산화도 서둘러서 수입대체효과도 누리면서, 국내에서 일천한 내시경산업의 활성화와 마이크로머시닝을 이용한 고부가 의료기기를 개발하고자 한다.

MEMS 기술을 이용한 장비를 환자의 혈액 흐름 내에 노출시키거나 환자의 신체내에 이식하는 기술은 새로운 진단방법, 치료방법의 개발을 목적으로 의미 있는 시도가 된다. 이때, MEMS 기술과 LIGA process를 포함하는 고에너지 가공 공정 등이 널리 활용될 수 있다. 특히, MEMS에서 주로 이용하는 silicon이 생체적합성(biocompatibility) 측면에서 그 안정성이 완전히 검증되지 않은 시점에서, stainless steel등의 생체안정성이 확인된 생체재료를 고에너지 가공기술을 이용하여 미세가공하는 것이 필요하다.

본 과제도 이러한 2단계의 마이크로 머신의 의료응용의 성격도 일부 가지고 있게 된다. 실제로, 본 과제에서 개발하려는 초소형 작동형 내시경은 기존의 내시경이 신체에 존재하는 공간 - 소화기내, 기도내, 자궁내, 복강내 등 -을 관찰하고 기본적인 처치를 하는 데에 반해서, 직경 2 mm의 작동형 내시경은 혈관 내에 삽입이 가능해서 심혈관

계 질환, 뇌출혈 등의 질환에도 획기적인 진단, 치료법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 이렇게 작은 기계가 혈관 내로 삽입되기 위해서는 혈액적합성과 생체적합성이 매우 중요하며, 특히, 혈관을 뚫고 들어갈 때 발생하는 혈전(Thrombus)의 형성을 막을 수 있는 방법을 아울러 개발해야 하는 어려움이 존재한다. 따라서, 본 과제의 성공적인 수행은 비단 의료기기 뿐 아니라, 의공학 등의 관련 학문들의 상호발전에도 큰 기여를 할 것으로 보인다.

마이크로로봇을 이용한 의료기기의 전망을 매우 밝다. 특히, 작동형 초소형 내시경은 진단, 처치 등으로 그 활용범위를 넓혀 나갈 것으로 기대된다. 일반외과, 흉부외과, 진단방사선과, 치료방사선과, 산부인과, 비뇨기과등으로 활용범위를 다양화할 수 있어 폭 넓은 활용이 가능하다. 특히, 마이크로머신을 응용한 산업의 증대는 미국이나 유럽보다는 일본과 한국을 중심으로 한 한국에서 높은 경쟁력을 가지고 있는 것으로 평가되고 있어 전망이 더욱 밝다.

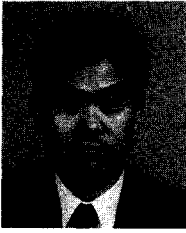
독일에서 분석한 시장규모의 증가예측에 의하면 2000 년의 시장규모는 1995년에 비해서 미국에서는 300 % 성장을, 유럽에서는 350 % 성장을 기대하는데 반해서, 한국과 일본을 포함하는 아시아에서는 800 % 이상의 고도성장이 가능할 것이라고 보고하고 있다. 이는 우리의 마이크로머신과 관

련한 산업의 경쟁력이 매우 높음을 반증하는 것이며, 의료용 마이크로머신의 전망도 이러한 보고 이상으로 밝을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] Special Issue on Three Dimensional Semiconductor Device Structures, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol ED-25, No. 10, Oct. 1978.
- [2] Ernest Bassous, Fabrication of Novel Three-Dimensional Microstructures by the Anisotropic Etching of (100) and (110) Silicon, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol ED-25, No. 10, pp 1178-1185, Oct. 1978.
- [3] Introduction for The LIGA Technique form Microparts, Brochure, Microparts, Inc., Germany, 1993.
- [4] 마이크로머신의 세계, H. Fujita, 김용권 역, 대영사, 서울, 1995
- [5] 전자부품연구소, 초소형 정밀기계기술개발 기획보고서, 통상산업부, 1995

저 자 소 개



申 相 模

1953年 12月 24日生

1975年 2月 서울대학교 금속학과 졸업(학사)

1987年 5月 University of Illinois at Urbana-Champaign 재료공학과 졸업(박사)

1992年 2月 University of Minnesota 경영대학원 졸업(MBA)

1975年~1980年 7月 국방과학연구소 연구원

1980年 8月~1985年 10月 Illinois 대학 Materials Research Laboratory 연구원

1983年 8月~1985年 8月 Laserage Technology, Inc. 기술자문

1985年 10月~1992年 7月 Honeywell Sensor and Systems Research Center 수석연구원

1992年 8月~현재 전자부품연구소 수석연구원, 마이크로머신 센터장

주관심분야: 기술경영, 기술기획, 상품전략, 센서, 액츄에이터, 마이크로머신