

## 자기 마이크로머신용 재료 연구동향

김희중

한국과학기술연구원 금속연구부, 서울 136-791

(1995년 10월 27일 받음)

### I. 서 론

최근 급속도로 발전하고 있는 첨단산업의 배경에는 반도체를 중심으로 한 디지털 전자기술(Electronics)이 자리잡고 있음은 주지의 사실이다. 이러한 전자 및 정보기술 이후, 즉 포스트 일렉트로닉스(Post-electronics)시대를 겨냥한 새로운 돌파구로서 기대되고 있는 21세기 기술의 주도권을 잡을 기술이 어떤 기술이 될 것인가는 매우 흥미로운 질문이다. 현재 시점에서 볼 때 반도체를 매개로 한 20세기 정보전자혁명을 대신할 새로운 기술혁명으로 대두하고 있는 것이 마이크로혁명이며, 이 마이크로혁명을 주도할 기술로서 세계적인 주목을 끌고 있는 기술 중의 하나가 초소형 미소기계, 즉 마이크로머신(Micro-machine)이다.

현재 '반도체를 능가할 수 있는 차세대 메카트로닉스(Mechatronics)혁명'이라 평가되고 있는 마이크로머신 기술은 과거 꿈으로나 가능하던 공상과학의 세계를 현실로 만들어 주는 경이로운 기술이며, 나아가 분자기술을 응용한 생체로봇, 생체컴퓨터 등 이른바 나노기술(Nano-technology)의 신세계로 향하는 입구라 할 수 있다. 이 기술은 기계공학, 전자기술은 물론 물리학, 생물학, 화학, 재료공학 등 광범위한 분야의 기술이 총망라되어야 개발이 가능하며, 그 실현을 위해서는 매크로 한 세계와는 판이하게 다른 물리현상 등 마이크로한 세계의 특수성을 이해해야 함은 물론 에너지공급, 재료, 데이터통신, 구조조립 등 많은 기술적 난제를 극복해야 한다.

마이크로머신기술은 현재 일부 전문가를 제외하고는 일반은 물론 자기학분야의 연구자들에게도 별로 익숙하지 않은 분야이다. 그러나 이 기술의 미래 영향력이나 가능성, 필요성을 고려할 때 이제는 자기분야 연구자들도 이 분야에 관심을 가져야 할 것으로 생각하여 본고에서는 먼저 최근 마이크로머신의 기술동향을 개괄적으로 소개하고, 다음으로 마이크로머신에 사용되는 주요 재료들과 자성재료가 주도적인 기능을 하는 자기마이크로머신(Magnetic Micro-machine)에 사용되는 자성재료들에

관해 소개하고자 한다.

### II. 마이크로머신의 기술개발 동향

#### 1. 마이크로머신의 기술태동

마이크로머신이란 '초정밀 가공기술을 이용하여 가공된 마이크로 단위의 칩(chip) 모양의 기계장치'라 정의되고 있다.

80년대 들어 초고집적회로(VLSI)의 급속한 발전에 따라 마이크로 가공기술의 눈부신 발전이 이루어졌으며, 이에 자극을 받아 종래부터의 정밀기계 가공기술분야에서도 이를 활용하여 초정밀 소형기계를 개발하려는 움직임이 일기 시작하였다. 초기에 이 움직임은 정밀가공수단을 보유한 전자공학자들에 의해 시작되었지만 점차 기계공학과 계측제어분야의 연구자들과 기업으로 확산되어 마침내 기계 자체를 사용하는 각종 주변영역의 연구자들의 관심을 끌게 되었다.

이러한 기술분야에 있어 원조라 할 수 있는 미국에서는 이 분야를 통칭하여 'MEMS(Micro Electro Mechanical System)', 즉 '미소전기기계시스템'이라 부르고 있다. 일본에서는 마이크로 가공기술을 이용하여 새로운 기계를 제작하는 입장에서 '마이크로머신'이란 용어를 폭넓게 사용하고 있다. 그외에도 이 기술분야를 두고 각 분야의 연구자들은 각각 Micro Robot, Micro Actuator, Micro Mechanics, Micro Mechatronics, Micro Mechanism, MIMS(Micro Intelligent Motion System), Micro Teleoperator, MOMS(Micro Opto Mechanical System) 등으로 다양하게 부르고 있다.

마이크로머신의 기술혁신은 1987년 미국 버클리대학의 연구자들이 직경 수백 마이크로미터의 초소형기어, 축, 베어링 등의 미소부품을 제작함으로써 시작되었다. 이 미소부품들은 실리콘 기판 위에 실리콘 미세가공(Silicon micro-machining)기술을 사용하여 미크론단위의 기계구조를 형성한 것이다. 다음 해 역시 버클리대학 BSAC(Berkely Sensor and Actuator Center)의 R. Muller

교수팀은 정전기의 힘으로 회전하는 지름 120 마이크로미터의 극소형 모터를 개발하였으며(1, 2), 이 모터는 회전하는 세계 최초의 개발품이 되었다. 이 개발에 관한 보고는 미국 과학기술계는 물론 전세계에 충격을 주어 90년대 마이크로머신 연구의 활성화를 이루는 데 크게 기여하였다.

2. 국내외 연구개발 및 산업동향

마이크로머신에 대해 본격적인 연구가 시작된 것은 불과 10년 정도이며 현재 이 분야에 대한 연구의 중심은 마이크로 메커니즘(micromechanism)에 관한 연구이다. 현재 연구의 대부분은 아직 전체시스템으로서의 마이크로머신 또는 마이크로로봇에 대한 연구가 아니고 미소한 모터나 센서 등 개발요소에 관한 시험제작 연구이다. 현 시점의 연구개발 능력을 비교해 보면 이 분야의 개척자인 미국을 100이라 할 때 일본은 약 80, 유럽은 약 60 정도에 해당하고 있다고 평가되고 있다. 그러나 미국이 이 분야를 산발적으로 연구해 온 데 비해 일본은 1991년 통산성 주도의 대형 국책프로젝트로 기획하여 1992년부터 범국가적 차원의 연구개발을 추진하고 있고 이미 반도체를 중심으로 부품소자의 소형화에 대한 경험과 능력이 깊이 축적되어 있으므로 향후에는 기술선두를 놓고 치열한 기술 경쟁이 벌어질 것으로 예상되고 있다.

가. 미국

현재 이 분야의 선두주자인 미국은 버클리대학을 필두로 MIT, Stanford, Michigan대 등 주로 대학을 중심으로 실리콘 마이크로머신기술, 실리콘기관 위에서의 LIGA공정기술 등 기초적 연구가 추진되고 있으며, 참여 기업들의 수도 점차 증가하고 있다.

버클리대학은 AT&T사의 지원을 받아 최초의 정전모터를 제작한 이래 마이크로머신에 있어서 최대의 문제라 할 수 있는 마찰계수의 축정을 미소정전 리니어 액츄에이터(linear actuator)를 이용하여 행하고 있다. MIT에서는 IC제조용 프로세스방식을 이용하여 직경 100마이크론의 poly-silicon 마이크로모터의 제조에 성공하여 분당 15,000 rpm의 고속 회전을 실증한 바 있다. Wiscosin Madison대에서는 55마이크론의 내경의 톱니바퀴를 가진 3차원 입체구조물을 제작하였으며, 이 대학은 특히 실리콘보다 내구성이 훨씬 강한 니켈을 새로운 소재로 개발하였다.

미네소타대학에서는 실리콘 칩위에 화학감지기와 밸브, 펌프를 조립한 미세구조를 개발하여 당뇨병 환자용 인슐린 투여기의 가능성을 열었다. 카네기 멜론대에서는 초소형모터로 움직이는 머리카락 정도의 얇은 회전날을 개발하고 동맥경화증 환자의 혈관내 프라그 제거에 응용을 추진하고 있다. 조지아공대(GIT), 신시내티대에서는

Table 1. 미국 실리콘 밸리의 MEMS 산업성장 동향

| Item   | Year      |           |           |            |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|  | 1980      | 1985      | 1990      | 1995       |
| Number of active commercial organization                   | 3         | 5         | 12        | 33         |
| Number of MEMS sensor companies                            | 3         | 5         | 6         | 11         |
| Number of sensor electronics companies                     | 0         | 0         | 2         | 4          |
| Number of MEMS non-sensor companies                        | 0         | 0         | 4         | 18         |
| Number of active academic R&D centers                      | 2         | 2         | 1         | 3          |
| Commercial employment (people)                             | 130       | 160       | 420       | 950        |
| Sales Volume   | \$ 9M     | \$ 11M    | \$ 36M    | \$ 110M    |
| Sales of sensor companies                                  | \$ 9M     | \$ 11M    | \$ 33M    | \$ 100M    |
| Sales of non-sensor companies<br>(including R&D contracts) | 0         | 0         | \$ 3M     | \$ 10M     |
| Sales /employee, Sensor companies                          |           |           |           |            |
| - Average  | \$ 69,000 | \$ 69,000 | \$ 83,000 | \$ 115,000 |
| - Best   | \$ 70,000 | \$ 75,000 | \$ 95,000 | \$ 135,000 |

주로 자성재료를 이용한 마이크로 모터, 펌프, 밸브 등을 활발히 연구하고 있다.

이 MEMS분야의 연구를 위해 미국과학재단(NSF)은 1988년부터 연구비를 약 20개 기관에 지원하고 있으며, 1996년에는 미 국방성 산하의 Advanced Research Projects Agency(ARPA)에서도 5,000만불의 연구비를 3년 동안 지원하는 프로젝트를 추진하고 있다. 국가연구소로는 NASA, Air Force Institute of Technology 등이 이 분야의 연구에 참여하고 있다.

미국 기업들은 대학에 비해 아직 활발한 연구가 진행되지 않고 있지만 루카스 노바센서사, Intellisense Corp, Kulite Semiconductor Products, Eaton Corp, Parker Hannifin Corp, Ford Microelectronics Inc, Solarex Corp, Bell Mead Reseach, Advanced Cardiovascular Systems, TiNi Alloy Co 등의 전문기업들과 AT&T, IBM, Westinghouse, Honeywell, Hewlett-Packard 등의 대기업들이 연구개발에 참여하고 있다.

Table I에는 미국의 MEMS분야 기술개발을 주도하고 있는 실리콘 벨리의 MEMS분야 성장동향을 대표적으로 나타내었다. 이 표를 보면 1980년에 3개에 불과하였던 기업수가 1995년에는 33개로 증가하였는데 그 중 센서기업들보다는 비센서기업들의 참여가 90년 이후 활발해졌음을 보이고 있다. 종업원수는 80년 130명에서 95년에는 950명으로 증가하였고 매출액은 80년 900만불에서 95년에는 1.1억불로 증가하였음을 볼 수 있다. 종업원 1인당 평균 매출액은 80년 69,000불에서 95년에는 115,000불로 2배 가까이 증가하였으며, 95년에 가장 많은 종업원 1인당 매출액을 보인 기업은 135,000불 규모였다.

학술면에서는 미국전기전자학회(IEEE)와 미국기계학회(ASME)가 공동으로 관련 학술지인 MEMS Journal을 발간하고 있으며 국제규모의 학술대회를 해마다 개최함으로써 이 분야의 선두를 지키기 위한 노력을 기울이고 있다.

**나. 일본**

일본의 마이크로머신 연구는 1987년 도쿄에서 개최된 마이크로머신 관련 국제회의에 자극을 받아 시작이 되었으며, 1991년 나라에서 개최된 '제4차 MEMS 국제학술회의'를 열면서 범국가적인 기술개발을 추진하기 시작하였다.

1991년 마이크로머신에 필요한 광범위한 요소기술을 종합적으로 연구개발하기 위해 동산성 산하의 공업기술원 주관의 대형공업기술개발제도의 신규과제로 결정하고 1991년부터 10년간 총 250억엔을 투자하는 초대형 국책 프로젝트를 출범시켰다. Table II에는 이 프로젝트의 개

요를 정리하여 나타내었다.

이 프로젝트의 전반 5년간은 미세가공기술 등 요소기술을 연구하고 후반 5년간은 응용제품을 시제작할 예정이다. 응용제품으로는 인체를 절개하지 않고 진단, 검사, 수술할 수 있는 의료용 마이크로머신과 발전기나 플랜트의 배관계, 항공기 엔진의 내부 등 협소한 공간에서 검사나 보수를 할 수 있는 산업용 마이크로머신의 두 가지를 목표로 하고 있다. 또한 후생성이 1990년부터 착수한 '신의료기술개발 연구사업'에서도 마이크로머신분야가 선정되어 연구를 추진 중에 있다.

Table II. 일본의 마이크로머신 국책프로젝트의 개요

| 항 목   | 내 용  |
|-------|--|
| 과 제 명 | 마이크로머신기술 연구개발계획<br>(Large Scale Project on Micro machine Technology)   |
| 연구기간  | 1992-2001(10년)   |
| 연구비   | 총 250억엔 (제1기 5년 : 100억엔, 제2기 5년 : 150억엔)   |
| 주 관   | 재단법인 Micro-machine센터(1992년 1월 설립)  |
| 참여기관  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국공립기관 : 기계기술연구소, 전자기술종합연구소, 개량연구소, NEDO등</li> <li>○ 기업 : 파낙, 미쓰비시중공업, 가와사끼중공업, 히다찌, 도시바, 일본전장, 일본전기공업, 히다찌제작소, 미쓰비시전기, 산요전기, 혼다제작소</li> </ul> |
| 연구목표  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수십 <math>\mu</math>m-수 mm급 미소기능요소기술</li> <li>○ 에너지 공급기술</li> <li>○ 시스템 제어기술</li> <li>○ 평가기술</li> <li>○ Total System기술</li> </ul>              |
| 응용분야  | 발전 플랜트 보수, 생체진단 및 치료, 시계, 카메라 등 정밀기계의 Micro Factory기술 등  |

일본에서의 마이크로머신기술에 관한 연구성과들의 예를 들면 다음과 같다. 도시바사에서는 초소형 유체구동소자펌프를 개발하였으며, 이를 초소형의 유압밸브나 초소형의 로봇 팔에 응용하고자 노력하고 있다. 동경대에서는 초소형의 외연기관으로서 스텔링(stirling)엔진과 형상기억합금 박판을 이용한 로봇 암의 제작에 성공하였고, 실리콘을 이용한 마이크로밸브를 개발하고 있다. NTT사

는 사방 0.5 mm의 집적화 광학식 마이크로 위치결정장치를 개발하였으며, 이는 마이크로머신의 이동은 물론 수만분의 1 mm 정도의 극미세 동작까지도 조절할 수 있다.

파낙(FNAUC)사는 나노미터(nm) 단위의 초정밀가공이 가능한 NC5축 마이크로 방전가공기의 개발과 인간의 근육과 같이 유연한 동작을 하는 초소형 로봇용 구동기구, 즉 액츄에이터(actuator)의 개발을 추진 중이다. 이 회사는 세계 최고 수준인 자사의 메카트로닉스기술에 마이크로머신기술을 융합시킨 전혀 미지의 제조기술을 탄생시킬 계획이다.

그외에 각 대학, 국립연구소, 민간기업들은 정전형 리니어 액츄에이터, 마이크로 압력센서, 압전 임팩트 구동기구를 이용한 micro manipulator, 형상기억합금 액츄에이터를 이용한 능동 내시경 등의 제조기술이 개발되고 있다.

특히 일본이 강점으로 내세우는 분야는 마이크로머신에 에너지를 공급하는 동력원인 액츄에이터분야이다. 액츄에이터는 마이크로머신 개발의 성패를 좌우하는 중요한 기술이다. 동북대학에서는 외부로부터의 빛을 전기신호로 바꾸는 5V 출력의 미소 광전변환기를 개발하고 있다. 이는 기존의 배선으로 전력을 공급하는 LSI와 전혀 다른 것이며, 향후 새로운 방식의 전원 출현을 예고하는 것이다.

다. 유럽

유럽은 마이크로머신분야에서 다소 뒤늦게 연구개발을 시작하였으나 최근에는 매우 중요한 연구결과들을 속속 발표하고 있다. 그 중 가장 선두에 있는 국가는 전통적으로 기계기술이 우수한 독일로서 프라운호퍼(Fraunhofer)연구소, 베를린공대, 칼스루에(Karlsruhe) 원자핵연구소 등이 그 중심이다. 프라운호퍼연구소에서는 이미 미소구조의 진동센서와 초소형의 마이크로액츄에이터를 제조하였다. 마이크로머신에서 중요한 기술인 LIGA프로세스를 고안해 낸 칼스루에연구소에서는 이 프로세스를 이용하여 니켈제의 공기터빈을 제조하였다. 독일정부는 이 분야의 연구를 위해 연방연구기술부에서 새로운 마이크로시스템기술의 지원프로그램을 추진 중에 있다.

네델란드에서는 Twente대학을 중심으로 각지에 마이크로머시닝시설을 만들어 주로 센서분야를 연구하고 있다. 프랑스, 스위스, 스웨덴 등에서도 최근 이 분야의 연구가 활성화되기 시작하고 있다.

라. 한국

우리나라에서는 90년대 들어 이 분야에 관심을 갖기 시작하여 한국과학기술연구원(KIST), 전자부품종합연구소(KETI), 기계연구소(KIMM) 등의 출연연구소, 서울대, 경북대, KAIST 등의 대학에서 요소기술에 대한

Table III. 선도기술개발사업의 연구과제 내용

| 연구분야            | 과제명                            | 연구기관               |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 산업응용분야          | High Grade 서보 가속도계             | KETI               |
|                 | Yaw Rate 센서                    | 만도기계 중앙연구소         |
|                 | 압전산화물 박막이용 가속도소자               | 동양중앙연구소            |
| 기반기술분야          | 실리콘 미세가공을 위한 SOI 및 Isolation기술 | 서울대, 동서공대          |
|                 | LIGA기술                         | KETI               |
|                 | 레이저 빔 응용 가공기술                  | KIMM               |
|                 | 미세방전 가공기술                      | 서울대, KIMM          |
|                 | 미세가공 접합 및 패키징기술                | KIST, 경북대, 고등기술연구원 |
|                 | 자기변형박막 가공 및 응용기술               | KIST               |
| 마이크로로봇 / 의료응용분야 | 초소형 작동형 내시경                    | 메디슨부설연구소           |
| 광/멀티미디어 응용분야    | 평면형 광집적 회로기술                   | ETRI               |
|                 | 마이크로 미러 어레이                    | 삼성전자기술총괄           |
|                 | 고집적 초소형 하드디스크                  | 고등기술연구원            |

산발적인 연구가 추진되었다. 90년대 중반 들어 삼성, LG 등에서 MEMS연구팀이 구성되었으며, 반도체, 동양화학, 대우, 메디슨 등의 기업들이 최근 연구개발에 참여하였다.

1995년 정부가 주도하는 선도기술개발사업에 이 분야의 연구과제가 추가되었으며, KETI가 주관기관이 되어 현재 1차년도 연구사업을 추진 중에 있다. 다음의 Table III에는 현재 추진 중인 연구과제들을 나타내었다.

이 분야는 마이크로전자기술, 정밀기계기술, 신소재기술 등 다양한 전문분야가 복합되어 있는데 우리나라에서는 반도체를 중심으로 한 전자부품기술, 기계기술 및 소재기술의 기반이 어느 정도 확립되고 있고, 현재 우리나라 주력산업의 지향방향이 이 분야와도 잘 대응되므로 향후 이 분야는 일본과 유사하게 국가 주도의 연구개발사업으로 보다 확대되어 나갈 가능성이 크다.

### 3. 마이크로머신의 응용분야

마이크로머신기술이 21세기의 중요한 미래기술이 될 것이라 예상은 이 기술이 최근 '마이크로혁명'이라 불릴 정도로 광범위하게 마이크로화 되는 시스템, 부품소자의 추세에 잘 합치되고 다분야 기술이 융합되어 있으며 소프트웨어가 중요시 된다는 기술적 속성과 더불어 이의 응용분야가 의료복지산업, 전자통신산업, 메카트로닉스산업, 우주항공산업 등 여러 첨단기술산업에 광범위하게 있다는 전체에서 출발하고 있다. Fig. 1에는 현 시점에서 예상되고 있는 마이크로머신의 응용분야를 나타내었으며 그 응용분야가 광범위하다는 것을 쉽게 인식할 수 있다.

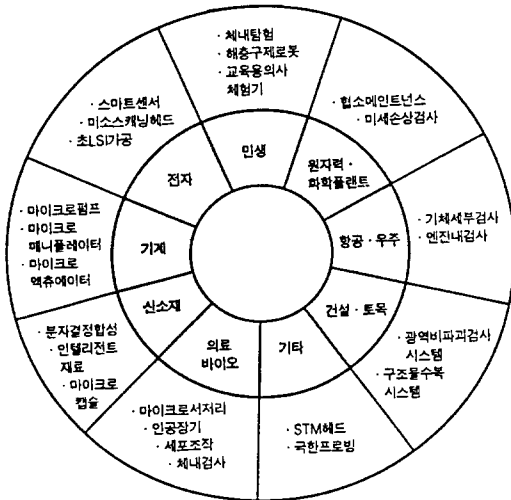


Fig. 1. 마이크로머신의 응용분야

SEMI에서 1995년 조사한 자료에 따르면 2000년경 마이크로머신의 응용분야로서 가장 중시되는 분야는 자동차분야이며 의료분야, 압력제어분야, 일반산업분야, 소비자분야 순으로 되고 있다. 이를 보다 구체적인 제품으로 살펴 보면 압력센서가 2000년에 가장 크게 산업화 되고 그 뒤를 이어 관성센서, 유체제어시스템, 광학 스위치, 대량 정보저장장치 등이 될 것으로 전망되고 있다.

### 4. 마이크로머신의 시장동향

마이크로머신은 이제 응용이 시작되고 시장이 창출되는 단계일 뿐만 아니라 신제품 개발에 따라 시장형성이 비약적으로 이루어질 수도 있기 때문에 시장의 예측이 매우 곤란하다. 따라서 시장조사 및 예측자료는 많이 보

Table IV. 2000년의 마이크로머신 시스템 시장전망

| 종 류            | 추정단가 (불) | 세계시장규모 (억불) | 비 고   |
|----------------|----------|-------------|---|
| 의료용 압력센서류      | 10-20    | 8.5         | 일화용 혈압센서  |
| 자동차부품용 압력센서류   | 10-20    | 25.0        | 엔진흡기관 압력측정<br>연료 압력측정<br>유압측정<br>타이어 압력측정                       |
| 에어백용 가속도센서     | 10       | 7.0         |   |
| 자동차용 관성센서류     | 10-20    | 4.2         | 현가장치 가속도측정<br>브레이크시스템<br>항법장치                                   |
| 기타 관성센서류       | 10-100   | 15.9        | 스마트병기용 관성센서<br>인공심장용 Pacemaker<br>기계상태 감지<br>Motion Control     |
| 유체제어용 펌프 및 밸브류 | 5-100    | 26.1        | 의료용 약물공급장치(DDS)<br>산업용 밸브<br>유량 측정기<br>Ink / Bubble Jet Printer |
| 광학 스위치류        | 25-1000  | 30.1        |   |
| 대용량 정보저장       | 30       | 10.4        | Rigid Disk Drive<br>Optical Disk Drive<br>Flash Memory          |
| 기 타            |          | 11.9        | 각종 분석기<br>Display<br>혈액 산소센서<br>기타 의료장비<br>온도 센서                |

고되어 있지 않다. 그 중 1994년 Systems Planning Corporation (SPC)과 1995년 SEMI에서 조사한 시장 자료들을 보면 1994년의 마이크로머신 시장은 9-10억불 규모이며 해마다 시장이 급속히 성장하여 2000년에는 약 140억불의 시장이 될 것으로 전망하고 있다. Table IV에는 SPC사가 예측한 2000년의 시장전망을 주요 응용제품 별로 나타내었다. 이 표를 보면 2000년에 자동차부품용 및 의료용 압력센서류가 약 33.5억불 규모로 가장 크고 자동차용 관성센서, 에어백용 가속도센서, 기타 관성센서 등의 관성센서류가 27.1억불, 유체제어용 펌프 및 밸브류 26.1억불, 광학스위치류 30.1억불, 대량정보저장장치 4억불, 기타 11.9억불로서 구성되고 있음을 알 수 있다. 한편 이 마이크로머신을 사용한 전체 시스템의 시장은 2000년에 약 980억불 규모가 될 것으로 예상하고 있다.

일본의 경우 경제기획청이 발간한 '2010년 기술예측연구회 보고서'에 의하면 마이크로머신의 본격적인 실용화 시기는 대략 2010년 전후로 예상하고 있으며, 관련시장 규모는 일본만 해도 수천억엔에 달할 것으로 추정하고 있다. 이 자료에서도 초기에는 주로 센서 위주의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 또한 이 자료에서는 마이크로머신의 실용화 기대시의 수준을 100이라 한다면 현재의 연구개발 수준을 10 이하로 보고 있다.

이러한 마이크로머신산업에서 주도적 역할을 할 기업들은 초기에는 유사한 공정기술을 확보하고 있는 기존의 반도체기업들이 가장 큰 생산자가 되지만 장기적으로는 첨단기술을 개발, 생산하는 전문기업이 가장 큰 공급자가 되고 다음을 반도체기업들과 센서기업들이 차지하게 될 것으로 전망하고 있다.

### 5. 마이크로머신의 특징 및 향후 과제

마이크로머신기술을 경쟁제품인 다른 부품소자나 소형 시스템기술과 비교해 보면 다음과 같은 특징이 있다.

- 소형이면서 경량이다.
- 적은 비용으로 제작이 가능하다.
- 신뢰성과 성능이 우수하다.
- 배치 (Batch)형 생산이 가능하다.
- 기능성과 타소자와의 집적이 가능하다.
- 에너지 소비가 적다.
- IC 제조공정과 유사하여 이 분야 축적기술의 활용이 가능하다.

한편 마이크로머신이 시장에 진입하기 위하여 해결해야 할 향후 과제들을 살펴 보면 다음과 같다.

- 응용분야의 확대
- 생산 및 공정에 관련된 과제의 해결
- 패키징기술의 확립
- 성능의 구현에 의한 관심 고조
- 제조경비의 감소
- 설계 및 모델링 도구의 개발
- 시장 개척
- 기반기술 및 시설의 정비
- 재료문제의 해결
- 표준화 및 연구비의 조달

### 6. 마이크로머신의 요소기술

마이크로머신을 개발하기 위해 필요한 기술은 매우 광범위하다. 마이크로머신이 필요로 하는 미소단위 기구나 기능의 과학적 해명, 부품의 가공방법이나 조립방법의 연구, 동력원의 연구, 마이크로머신에 탑재한 미소센서나 미소제어회로의 연구, 부품이 정확히 만들어졌는지를 조

Table V. 마이크로머신의 요소기술

| 기술 분야        | 기술 내용  |
|--------------|--|
| 요소<br>디바이스기술 | - 기구, 기능요소<br>- 가공법<br>- 기구집적법<br>- 에너지 공급법            |
| 재료기술         | - 신재료 탐색, 제작<br>- 안정성, 환경적합성 평가                        |
| 시스템기술        | - 운동제어기술<br>- 자율, 분산기술<br>- 지적커뮤니케이션기술<br>- 시스템화기술     |
| CAD 기술       | - CAD시스템<br>- 기술데이터베이스                                 |
| 실증모델<br>기술   | - 산업용 마이크로머신시스템<br>- 의료용 마이크로머신시스템<br>- 바이오용 마이크로머신시스템 |
| 제측 평가기술      | - 제측기능<br>- 성능평가                                       |
| 지원공통기술       | - 마이크로 마찰학, 유체공학, 동력학<br>- 마이크로 전열공학, 광학, 재료학, 계측공학 등  |

Table VI. Comparison of Typical Micro-Machining Technologies

|                         | Material                        | Mass Production | Integration | Machining Freedom               | Thickness    | Accuracy |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------|---------------------------------|--------------|----------|
| Surface Micro-machining | Thin Film of Poly-Si, etc       | ◎               | ◎           | 2-D                             | ~ μm         | ~ 0.2 μm |
| Bulk Micro-machining    | Si Single Crystal, Rock Crystal | ○               | ○           | 3-D (crystal orientation)       | 500 μm       | ~ 1 μm   |
| LIGA                    | Metal, Ceramic, Plastic         | ○               | △           | 3-D (projection of 2nd pattern) | 1 mm         | ~ 0.1 μm |
| Lost Wafer              | Si Single Crystal               | ◎               | ○           | 2-D                             | 20 μm        | ~ 0.2 μm |
| Beam Machining          | Metal, Plastic, Semiconductor   | ○               | △           | 3-D                             | 100 μm       | ~ μm     |
| Laser Machining         | "                               | △               | △           | 3-D                             | 100 μm       | ~ 1 μm   |
| Arc Machining           | Metal, Conducting Materials     | △               | ×           | 3-D                             | ~ mm         | ~ 1 μm   |
| STM Machining           | Atom                            | ×               | ?           | 2-D                             | Atomic level |          |

Note : ◎ (Very good), ○ (Good), △ (Possible), × (Impossible)

사하는 계속평가기술의 연구 등이 필요하며, 이 기술을 산업분야나 의료분야에 어떻게 응용할 것인가에 관한 연구도 필요하다. 이러한 마이크로머신의 요소기술 체계를 종합하여 Table V에 나타내었다.

이 표에서 보면 재료관련기술은 재료기술 및 요소디바이스기술 중의 마이크로가공법이 주요한 요소기술임을 알 수 있다. 가공법으로는 연삭, 전해, 방전과 같은 일반적 가공기술, 이온 및 전자를 이용한 빔가공기술, IC가공법, LIGA공정 등을 들 수 있으며, Table VI에 이러한 마이크로머신기술들의 특징을 종합하여 나타내었다.

### III. 자기 마이크로머신의 종류 및 특징

자기 마이크로머신이란 특별한 정의는 되어 있지 않으나 자기력을 이용하여 감지하거나 구동을 하는 초소형의 정밀 장치라 할 수 있으며, 자기력에 의해 구동하는 마이크로 밸브, 펌프, 모터, 릴레이와 같은 자기 액츄에이터, 베어링 및

센서들이 여기에 속한다고 할 수 있다. Table VI에는 지금까지 개발되어 있는 여러 마이크로 액츄에이터의 특징들을 비교하여 나타내었다. 이 표를 보면 자기 액츄에이터는 다른 액츄에이터에 비해 동작범위가 크고 회전 가능하며, IC와의 집적화 가능성이 있고 구동전류도 비교적 작은 장점이 있어 mm급 마이크로머신에 널리 이용되고 있음을 알 수 있다. 반면 응답속도와 발생력은 그다지 좋은 편이 아니다.

현재 자기 마이크로머신에 관련된 연구개발을 추진하고 있는 기관들을 살펴보면 미국에서는 U. C. Berkely, Minnesota대, Georgia Tech., Cal. Tech., Cincinnati대 등이 있고, 일본에는 NTT, Mitsubishi, Tohoku대 등이 있으며 유럽에는 독일의 Fraunhofer연구소, 스위스의 SFIT 등이 이 분야에 참여하고 있다. 우리나라에서는 아직 자기 마이크로머신에 대한 직접적인 연구개발이 없지만 KIST에서 자기변형재료, Permalloy막막 등 관련 자성재료에 관한 연구개발을 추진 중에 있다. 다음에는 중요한 자기 마이크로머신들에 관해 간단히 소개한다.

Table VII. 각종 Micro Actuator의 비교

| 종류             | 동작범위<br>(상대변위)                | 회전형의<br>가능성 | 응답속도      | 발생력                             | IC와의 집적화<br>가능성 | 구동전압,<br>전류, 전력 | 특기사항                            |
|----------------|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| 정전형            | 大                             | ○           | 中·高       | 小(수 gf)                         | 高               | 5-100 V         | 직경 60 $\mu\text{m}$ 의<br>모터가 회전 |
| 압전적응형          | 小<수십 $\mu\text{m}$<br>(0.1 %) | ×           | 高-100 kHz | 大<br>(400 kgf/cm <sup>2</sup> ) | 難               | 10-100 V        | Creep, Hysteresis               |
| 압전바이모르프        | 中-0.5 mm                      | ×           | 中-1 kHz   | 中-수십 gf                         | 可能              | 5V              | Creep, Hysteresis<br>大          |
| 초음파모터          | 大                             | ○           | 中         | 大                               | 可能              | 5V              | 소형화 제한                          |
| 형상기억합금         | 大                             | △           | 小·中       | 大                               | 可能              | 10 mW           | 방열 필요                           |
| 열팽창            | 小                             | ×           | 小         | 大                               | 可能              | 0.1-1 W         | 방열 필요                           |
| 바이메탈형<br>(열팽창) | 中                             | ×           | 小·中       | 小                               | 可能              | 10-30 mW        | 방열 필요                           |
| 조전도형           | 大                             | ○           | 中·高       | 小                               | 難               | 0.1-0.3 A       | 부상식(마찰없음)<br>냉각 필요              |
| 자기형            | 大                             | ○           | 中         | 中                               | 可能              | 0.5-1 A         | mm급 machine에<br>이용              |

1. 마이크로 자기밸브

마이크로 자기밸브는 원리상 연자성, 영구자석, 자기변형 재료를 박막화하여 만들 수 있다. Fig. 2에는 실리콘을 에칭하여 만든 격막(diaphragm) 위에 연자성이 우수한 Permalloy (81Ni-19Fe)박막을 입히고 그 위에 자기 인덕터(inductor)를 붙인 구조의 자기밸브를 나타내었다. 밸브의 동작은 자기인덕터에 전류를 가해 유도자기장을 만들면 실리콘 격막상의 Permalloy박막을 끌어 당기게 되어 valve seat이 열리고 전기를 차단하면 자기장이 없어 밸브가 닫히게 된다.

영구자석박막을 이용하여 밸브를 시작할 예는 아직 발표되고 있지 않지만 Fig. 3와 같이 실리콘 격막 상에 영구자석의 어레이를 만들고 아래에는 앞의 그림과 같은

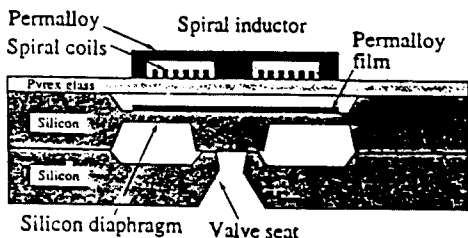


Fig. 2. Schematic diagram of a prototype magnetic microactuator providing vertical actuation

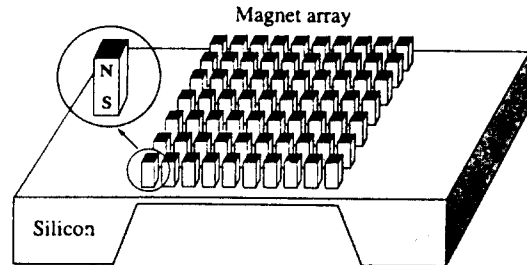


Fig. 3. Schematic diagram of electroplated magnet arrays on a silicon membrane

valve seat을 배치하고, 그 위에 인덕터를 배치하여 자기장을 형성하면 격막을 이동시킬 수 있으므로 자기밸브를 만들 수 있다.

자기변형(magnetostriction) 재료는 자장을 가하면 길이가 수백-수천 ppm 정도 변하는 자성재료이므로, 연성이 좋은 실리콘이나 폴리이미드와 같은 격막의 상하에 자기장에 따라 각각 +, -로 길이가 변화하는 자기변형 박막을 입히면 자기장에 따라 바이메탈(bimetal)과 같이 휘게 할 수 있으므로 마이크로 밸브를 만들 수 있다.

2. 마이크로 자기펌프

마이크로 자기펌프는 그 동작방식에 따라 상하 또는 좌우



로 동작하는 양방향방식과 회전형방식으로 나눌 수 있다.

양방향 마이크로펌프는 앞의 마이크로 밸브와 유사한 구조로 만들 수 있으므로 역시 연자성박막, 영구자석박막, 자기변형박막을 사용하여 제조할 수 있다. 즉 자기력에 의해 구동하는 액츄에이터와 밸브를 결합하면 기체나 액체를 흡입하고 배출하는 마이크로 펌프의 제작이 가능하다. Fig. 4에는 Permalloy 연자성박막을 이용하여 1개의 흡입밸브와 2개의 배출밸브를 가진 마이크로 자기 펌프를 시작한 예를 나타내었다. 가운데의 흡입구에서 앞의 밸브를 열어 기체나 액체를 흡입한 후 중간 밸브를 닫고 양쪽의 밸브를 열면서 중간 밸브를 강하게 닫으면 챔버 내에 있는 기체나 액체를 외부로 보낼 수 있게 된다. 영구자석박막을 이용한 펌프도 유사한 방식으로 만들 수 있다. 또한 자기변형박막을 이용하여 바이메탈과 같이

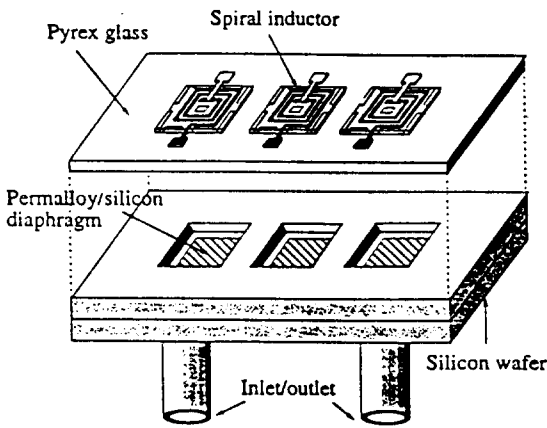


Fig. 4. Schematic diagram of a magnetically driven bidirectional micropump

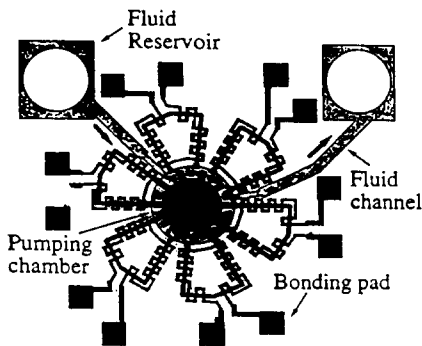


Fig. 5. Schematic diagram of a rotary micropump

2방향으로 회계 만들면 역시 기체나 액체를 이동시킬 수 있는 펌프의 제작이 가능하다.

회전형 마이크로펌프는 회전하는 회전자(rotor)를 이용하여 기체나 액체를 이동시키는 방식이므로 회전력을 제공할 수 있는 구조이어야 한다. 현재는 대부분 전자석 원리를 활용하고 있으며, permalloy박막을 미세가공하여 로터와 고정자(stator)를 만들어 한쪽에서 다른 쪽 방으로 기체나 액체를 가압하여 보내는 형태의 마이크로 펌프를 구성한 예를 Fig. 5에 나타내었다.

### 3. 마이크로 자기모터

마이크로 모터는 마이크로머신분야에서 최초로 구동하는 모습을 보여 준 기계요소이다. 그 원리는 앞의 Fig. 5의 회전형 마이크로펌프의 중간에 위치한 예에서 보듯이 고정자와 회전자를 만들어 회전자를 돌리는 것이다. Fig. 6

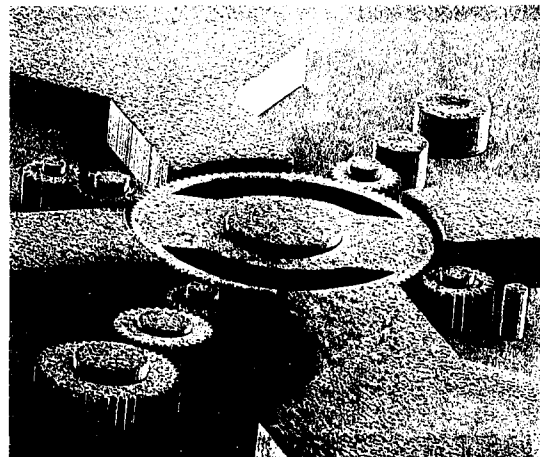


Fig. 6. 여러 치차가 연결된 마이크로 자기모터 모양

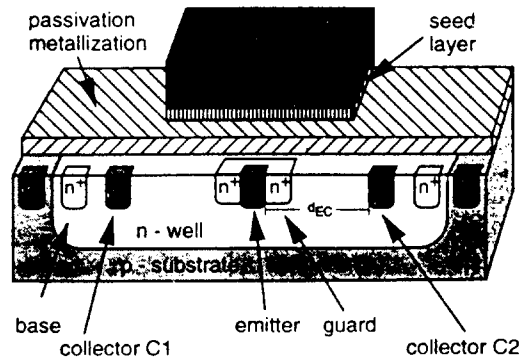


Fig. 7. Schematic cross section of a magnetotransistor with suppressed side wall injection(SSIMT) fabricated in CMOS technology

에는 마이크로펌프에 치차가 연결된 초소형 마이크로 모터의 시작품을 나타내었다.

4. 기타 자기마이크로머신

현재 반도체로서 널리 이용되는 CMOS 위에 자성박막을 배치하면 자속을 집중할 수 있어 자계를 측정할 수 있는 센서인 자기 트랜지스터(Magneto-transistor)를 제작할 수 있으며 Fig. 7에 그 일례를 나타내었다. 이 센서는 종래의 자계센서에 비해 감도가 훨씬 양호한 것으로 보고되고 있다.

그 이외에 마이크로 릴레이, 베어링 등도 제작할 수 있다고 알려지고 있지만 여기에서는 설명을 생략한다.

Ⅳ. 자성재료 연구동향

마이크로머신용 재료로는 크게 구조체용 재료와 기능 재료로 나눌 수 있다. 구조체용 재료의 주요한 요구조건은 다음과 같다.

- 고강도, 고인성 등 양호한 기계적성질을 가질 것
- 비중이 낮아 경량일 것
- 내부식성, 내환경성 등 안정성이 좋을 것
- 미세가공에 의해 마이크로 구조를 용이하게 만들 수 있을 것
- 마이크로 프로세서나 센서와 집적화가 가능할 것

- 경제적으로 대량생산이 가능하고 기본재료의 공급이 용이할 것

이러한 여러 구조적 특성을 잘 만족하는 재료는 반도체 소재인 실리콘이며, 현재 마이크로머신 개발의 대부분은 실리콘을 구조체로 하여 이루어지고 있다. 그러나 실리콘은 취약성이 있고 내마모성이 좋지 않아 반복적인 마찰이 있는 기계부품으로의 사용은 곤란하다. 이러한 경우에는 금속계인 W, Mo, Ni, Cu 등과 같은 재료들이 사용되고 있다. 특히 내마모성이 클 것이 요구되는 용도에는 질화 실리콘 또는 다이아몬드상 카본(DLC)과 같은 고경도와 윤활특성을 겸비한 박막을 피복하기도 한다.

연성이 아주 좋을 것이 요구되는 마이크로머신의 구조 재료로는 Polyimide와 같은 고분자재료들도 사용되고 있다.

기능재료는 대부분 센서나 액츄에이터 기능을 보유한 재료들이 사용되고 있으며, 다음의 조건들을 만족할 필요가 있다.

- 양호한 기능성과 성능을 가질 것
- 박막 및 후막을 제조하기 용이할 것
- 기계적특성이 좋을 것
- 장기적으로 성능 열화가 작을 것
- 구동에 필요한 에너지가 작을 것

현재 기능재료로서 많이 사용되고 있는 재료는 수정,

Table VIII. MEMS Materials and Its Characteristics

| Material                       | Application          | Process               | Characteristics                           |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|---|
| Si                             | Structure & Actuator | Semiconductor Process | Light, Hard, Cheap Microfabrication       |
| W, Mo                          | Structure            | ~                     | Anti-corrosion, Strong                    |
| Ni, Cu, Au                     | Structure            | Electroplating        | Thick (>0.1 mm) Structure by LIGA process |
| Polyimide                      | Structure            | Semiconductor Process | Simple Deposition, Flexible               |
| Rock                           | Actuator             | Anisotropy Etching    | Piezoelectric, Insulator                  |
| Crystal                        | ~                    | Semiconductor Process | Piezoelectric                             |
| ZnO                            | ~                    | Thick Film Process    | Large Piezoelectric                       |
| PZT                            | ~                    | Semiconductor Process | Shape Memory                              |
| NiTi                           | Lubrcating           | ~                     | Hard, Lubrication                         |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | Film                 | ~                     |   |
| DLC                            | ~                    | ~                     |   |

산화아연, PZT 등의 전자기능 세라믹박막, 형상기억합금박막 및 자성박막과 후막 등이다. 그러나 원리적으로 보면 전기, 열, 광학, 자기, 기계, 화학 기능들을 상호 변환할 수 있는 재료, 즉 스마트(smart)재료들은 기본적으로 마이크로머신용 기능재료로 사용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. Table VIII에는 여러 마이크로머신용 재료들의 응용분야, 제조공정, 특성을 정리하여 나타내었다.

다음에는 본고의 주제인 마이크로머신의 기능재료로서 사용되는 박막 및 후막형의 자성재료들에 관해 한정하여 살펴보기로 한다.

### 1. 연자성 박/ 후막재료

연자성재료는 여러 가지 종류가 있으나 마이크로머신용으로 사용되는 재료는 거의 대부분 Ni-Fe계인 Permalloy합금의 박막 및 후막재료들이다. Permalloy가 이 분야에 널리 사용되는 이유는 다음과 같다.

- 투자율(permeability)가 양호하여 적은 전류로 쉽게 자화되므로 전력소모가 극히 적다.
- 내식성과 내환경성이 양호하고 장기신뢰성이 좋다.
- 현재 HDD의 박막자기헤드, 마이크로 자기소자로서 사용되고 있어 증착기술 및 미세가공기술이 잘 확립되어 있다.
- MOS형 반도체와 정합성이 좋아 동시에 집적할 수 있다.

현재 주로 사용되는 조성은 81 % Ni-19 % Fe의 자기변형이 0인 2원계합금이 주로 사용되고 있으며, 이보다 투자율이 더욱 높은 Supermalloy (79Ni-16Fe-5Mo) 합금도 연구되고 있다. 제조방법은 직류(DC), 교류(RF), Ion Beam 방식의 Sputtering법으로 박막을 제조하고 있으며, 후막은 주로 전해도금(Electroplating)방법으로 제조하고 있다. 응용분야는 마이크로 밸브, 펌프, 모터, 릴레이를 비롯하여 자계센서 등을 들 수 있으며, 자성재료 중 마이크로머신에 가장 널리 이용되고 있다.

향후 박막제조 및 가공기술의 개발이 이루어진다면 Permalloy보다 포화자속밀도가 더욱 높은 철계 및 코발트계 연자성 박막 및 후막재료가 마이크로머신용에 가세할 것으로 전망된다.

### 2. 박/ 후막 영구자석재료

벌크(bulk)형의 영구자석은 현재 모터, 펌프 등에 광범위하게 사용되는 재료이므로 이 재료를 박막 및 후막형으로 제조하면 마이크로머신에 사용할 수 있다는 것을 쉽

게 유추할 수 있다.

영구자석 박막/후막재료는 원리상 마이크로 모터, 펌프, 릴레이, 밸브, 비접촉 마이크로 베어링 및 자계센서로 응용할 수 있다. 그러나 현재 영구자석 특성이 뛰어난, 즉 최대자기에너지적(BH)max 값이 높은 Sm-Co, Nd-Fe-B 재료를 Sputtering방법 및 Flash Evaporation 방법으로 박막화 하면 두께방향으로 포화시키는 데 매우 큰 자장이 필요하여 소형기계로 사용하기 곤란할 뿐만 아니라 두꺼운 후막을 제조하기 곤란하다고 알려지고 있다. 따라서 보다 낮은 자장에서 자석 특성이 우수하고 후막을 쉽게 형성할 수 있는 재료를 찾기 위한 노력이 이루어지고 있다.

이 중 하나가 현재 컴퓨터용 하드디스크에 사용되는 Co-P계 자성체를 응용하는 방안이다. Co-Ni-Mn-P재료는 도금방법으로 쉽게 후막을 형성할 수 있고 보자력도 500 Oe 이상의 재료를 얻는 것이 가능하다. 또한 유도형(inductive) 요소와 조합하여 저전력으로 왕복운동을 하는 마이크로머신을 쉽게 만들 수 있다. 이 영구자석 후막 재료를 실리콘 격막 상에 만든 예를 Fig. 3에 나타내었다. 현재 극소형의 40 μm × 40 μm × 50 μm의 자석소자를 수천개 제조하였다는 연구결과가 제시되고 있다.

마이크로머신용 영구자석재료는 아직 개발 초기단계에 있는 재료이므로 향후 보다 작은 자석들을 집적하는 연구, 성능이 우수한 새로운 박막 및 후막을 제조하는 연구 등 재료공학분야에서 연구개발할 여지가 많이 남아 있는 분야이다.

### 3. 자기변형재료

자기변형(Magnetostriction)재료는 자장을 가하면 재료의 치수가 변하는 재료로서 종래부터 수중 음파탐지용 소나, 자동촉점장치 등에 사용되어 왔다. 그러나 종래의 자기변형재료는 그 길이 변화가 10 ppm 내외로 크지 않아 응용에 제한을 받아 왔는데 80년대 들어 그 길이 변화가 1000 ppm을 상회하는 초자기변형(Giant Magnetostriction)재료가 개발됨으로서 다시 응용분야를 확대해 가고 있다. 현재 개발된 초자기변형재료는 Tefenol로 불리는 Tb-Fe 재료를 비롯하여 Sm-Fe 등 희토류원소와 철이금속으로 구성되는 합금들이 주종이다.

자기변형재료를 박막 및 후막으로 제조하면 마이크로머신에 응용할 수 있으며 현재 마이크로 밸브, 펌프, 위치제어기(positioner), 걸는 로봇, 초소형 비행기계, SAW 디바이스 등이 개발 대상으로 등장하고 있다.

응용재료는 앞에 언급한 Tb-Fe, Sm-Fe 이외에 3원계 합금으로 Tb-Dy Fe 등의 재료가 있으며, 주로 실리콘

콘 및 폴리이미드 기판 상에 DC, RF 및 Ion Beam Sputtering, Vacuum Flash Evaporation 방법 등을 이용하여 박막으로 제조되고 있다.

이 재료의 장점은 매우 큰 변형량을 가지고 있고 발생하는 에너지밀도가 크며 비접촉식 제어가 가능할 뿐만 아니라 양호한 주파수 대응성이 있다는 것이다. 또한 이 재료는 자장에 의해 구동되므로 경합재료인 형상기억합금이 열구동방식이므로 가열기가 필요한 점, 필히 전극들이 내장되어야 하는 압전재료 사용방식에 비해 구조가 간단한 장점이 있다. 이 자기변형재료로 마이크로 밸브를 제작한 예를 보면 유압과 유체의 양에 관계 없이 매우 정확한 유량의 제어가 가능한 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8에는 연성이 좋은 폴리이미드의 상부에는 자기변형이 (+)인 Tb-Fe 박막, 하부에는 자기변형이 (-)인 Sm-Fe 박막을 증착하여 외팔보(cantilever)로 구성된 후 자장에 의해 작동하는 모양을 나타내었다. 자장을 길이방향에 평행하게 가하면 상부 박막은 길이가 늘어나고 하부 박막은 길이가 줄어 들므로 외팔보는 아래로 휘게 된다. 반면 폭방향으로 자장을 가하면 반대로 외팔보는 상부로 휘게 되므로 상하로 움직이는 구동장치를 만들 수 있다.

자기변형 박막 및 후막재료도 아직 연구개발의 초기단계에 있으므로 마이크로머신에 응용하기 위해서는 재료

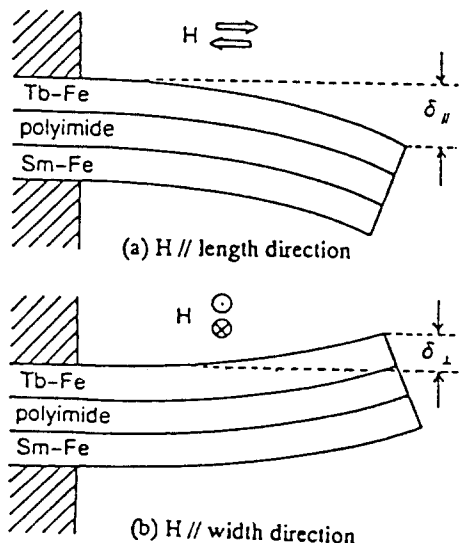


Fig. 8. Actuation behavior of a magnetostrictive bimorph cantilever

성능 향상, 박막 및 후막의 안정적인 제조기술 확립 등 재료분야에서 연구해야 할 분야가 많이 남아 있다.

#### 4. 기타 자성재료

초전도체도 광의로 보면 자성재료에 속한다. 이 초전도 재료를 사용하여 Table VI에 나타낸 장치 중 초전도 모터 등 초전도형 액츄에이터를 제조할 수 있다. 최근 개발되고 있는 산화물계 고온초전도체 박막은 SQUID와 같은 극소 자계측정장치 및 전자디바이스로 사용되고 있지만 향후 마이크로머신 분야에도 상당한 응용이 예상된다.

아직 응용사례가 보고되지는 않고 있지만 자성과 반도성을 겸비한 자성반도체, 온도변화에 따라 자성의 현저한 변화를 응용하는 열구동형 자성재료, 자기탄성을 가진 자성재료 등도 향후 마이크로머신에 응용할 수 있는 잠재력을 보유하고 있다고 생각된다.

### V. 결 론

이상에서 마이크로머신에 대해 개략적인 기술 및 시장 동향, 핵심요소기술과 자기현상을 응용하는 마이크로머신들 및 이에 사용되는 중요 자성재료들을 간단하게 살펴 보았다.

마이크로머신은 그 응용분야와 성장성, 기술파급효과 등을 고려해 볼 때 차세대 유망기술분야임이 확실하므로 반도체 등 전기기술과 정밀기계기술 기반이 상당히 확보되어 있는 우리나라에서 적극적으로 육성해야 할 분야라고 생각된다.

마이크로머신은 기술속성 상 다분야의 협력연구개발이 필요하고 응용분야가 광범위하므로 응용분야에 적합한 설계 및 제조기술 개발이 필수적이고 그 크기가 매우 작으므로 컴퓨터를 이용한 simulation기술 개발도 중요하다.

현 단계에서 볼 때 마이크로머신의 기술개발은 주로 전기 전자분야 및 기계분야 전문가들이 주도해 왔으므로 사용재료들은 이미 오래전에 개발되어 특성이 확립된 재료들이 대부분이다. 따라서 재료 성분과 제조공정을 제어하여 최적의 기능과 성능을 나타내는 재료들을 개발하여 마이크로머신에 제공할 필요가 매우 크다고 생각된다. 이를 위해 새로운 재료의 탐색 노력과 더불어 전해도금, 건식 증착공정, 마이크로가공기술 등의 재료분야 핵심요소기술들을 개발해야 한다.

자성재료는 앞에 살펴 본 바와 같이 마이크로머신의 핵심재료의 하나이며 향후 많은 기여가 예상되는 재료이다. 따라서 국내에서도 마이크로머신용 자성재료에 보다 많은 연구개발 노력을 기울일 필요가 있다.

### 참고문헌

- [1] L. S. Fan et al. : Sensors and Actuators, 20 (1989) 41
- [2] Y. C. Tai et al. : Sensors and Actuators, 20 (1989) 49
- [3] Proceedings on Micro Electro Mechanical System, IEEE, 1993년, 1994년, 1995년, 1996년판
- [4] "Smart Materials Fabrication and Materials for Micro Electro Mechanical Systems", edited by A. P. Jardine et al., Materials Research Society, Volume 276, 1992
- [5] 藤田博之, "マイクロマシンの世界", 工業調査會, 1992年
- [6] 신한종합연구소, "마이크로혁명이 오고 있다", 도서출판 다운, 1993년
- [7] "マイクロマシンが見えてきた", エレクトロニクス, 1994年, 9月