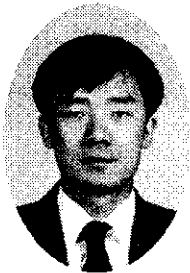


압전특성의 마이크로액추에이터 응용 연구



김 대 승
(한국과학기술연구원 책임연구원)



오 명 환
(한국과학기술연구원 연구위원)



박 종 호
(지능형 마이크로시스템 연구사업단 단장)

1. 서 론

1980년대 후반 이후 Microelectronics 분야의 공정기술 및 장치기술의 비약적인 발전으로 기존의 전기적 특성을 갖는 소자로서 만의 마이크로 다바이스 개념에서 벗어나 센서나 혹은 액추에이터와 같은 transducer 기능을 포함한 Micro Electro Mechanical System (MEMS)으로 발전되어지고 있다. 기존의 전자 제품의 심장에 해당하는 실리콘 칩으로부터 이제는 우주선이나 혹은 자동차 등에 압력센서, 가속도 센서 등으로 아주 작은 기계적 부품으로 적용되어 지고 있는 것이다. 이러한 미세 가공기술은 [1] 기존에 존재하는 기계 소자를 기계적 정밀도가 뛰어나면서 보다 작고, 가벼우며 빠른 부품으로의 생산을 가능하게 하며, [2] 잉크젯 노즐과 같은 부품의 batch process에 의한 대량생산을 가능하게 하고, [3] 기계 구조물과 제어 회로를 동일한 재료와 공정을 이용하여 제조함으로써 통합된 형태의 부품의 생산을 가능하게 하며 [4] 센싱, 계산, 액추에이션을 포함한 완벽한 시스템의 저렴한 대량생산을 용이하게 한다. [1]

이와 같은 MEMS 기술을 이용한 소자의 구동(actuation)을 위하여 형상기억합금(Shape Memory Alloy), 압전세라믹 재료(Piezoelectric Materials), 자성재료 (Magnetic Materials) 등 다양한 재료 및 물리적 원리가 적용되어 지고 있다. 표 1은 이들 액추에이터들의 특성을 비교한 것으로 전자기, 정전

기, 압전성을 이용한 액추에이터가 빠른 액츄에이션을 가능하게 하고 파워 소비도 작은 장점이 있음을 알 수 있다. 특히 마이크로 압전 액추에이터의 경우 일초에 수천회의 사이클로 구동되어진다. 본 글에서는 구동효율이 높고, 구동속도도 빠르며 구동 토크가 큰 압전재료의 MEMS 부품 응용 및 연구 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 압전특성의 개요

압전(piezoelectricity)특성은 pressure electricity 라는 어귀에서 나온 말로 Quartz, Rochelle Salt, Tourmaline과 같은 자연산 단 결정으로부터 BT(Barium Titanate), PZT(Lead Zirconate Titanate), ZnO, Al₂O₃ 등 세라믹 재료에 이르기까지 특정 결정 그룹(non-centrosymmetric)에서 발생되어진다. 어떤 기계적인 압력이 이들 재료에 인가 될 때 압력에 비례하여 전위차가 발생하며, 역으로 재료에 전계를 가할 때 기계적인 모양의 변화가 초래되며 이를 각각 압전효과 또는 역압전효과라고 부른다. 통상적으로 분극을 가지고 있는 강유전체 재료는 재료가 갖는 모양에 대하여 특정 방향으로 압전효과와 정도가 증가되도록 할 수 있으며, 이것은 특정 방향으로 압전효과가 초래되도록 설정함으로써 가능하다. 이와 같은 공정을 Poling 이라고 부르며 일정한 온도에서 어느 정도 크기 이상의 전계를 가함으로써

표 1. 액추에이터 구동 재료와 물리적 특성 비교

Actuator Method and Devices	Voltage (Volts)	Work per Unit Vol (J/cm ³)	Typical Response (millisec)	Temperature Sensitivity	Power Use	Ref #
Electromagnetic (Theoretical)	100	0.9	<<1	No	Very Low	[2]
Electrostatic (Theoretical)	100	0.4	<<1	No	Very Low	[2]
Thermomechanical Micro valve	12	0.02	100	Yes	Medium	[3]
Phase Change Micro valve	15	4	300	Yes	Medium	[4]
Piezoelectric Micro valve	90	0.02	<20	No	Low	[5]
Piezoelectric Meander line actuator	2	0.01	<1	No	Low	[6]
Shape Memory Micro valve	5	6	30	Yes	{Medium	[7]

이루어진다. 일단 폴링이 완전히 이루어지면 이 폴링 전압보다 낮은 전압에 대하여 압전체의 모양이 변하게 된다. 즉 폴링 전계와 같은 극성을 가진 전압이 인가될 경우 폴링축에 수평 방향으로 팽창이 일어나게 되며, 반대로 역방향의 전계가 가해질 경우 수축하게 된다. 마찬가지로 압전체를 폴링축에 평행한 방향으로 압축하게 되면 폴링전계와 같은 극성을 갖는 전압이 발생하고 반대로 인장응력을 가하면 반대방향의 전압이 발생하게 된다. 이상의 정적(static)인 모양의 변형과 관련된 특성이외에 압전체가 반복적으로 변하는 전계나 혹은 스트레스를 주기적으로 받으면 기계적인 공진이 발생하며 이를 동적(dynamic) 특성이라고 한다. 이처럼 정적인 특성은 주로 압전상수(d_{33} 혹은 d_{31})와 permittivity로 그 특성이 표시된다. 전기기계 결합계수 k 는 정적인 압전특성과 동적인 압전특성을 나타내는 특성으로 전기적인 에너지 형태로부터 기계적인 형태로 변화된 에너지의 양과 관련된 유용한 표현이다 (K^2 =변화된 저장에너지/인가된 저장 에너지). 공진주파수에서 작동하지 않을 경우 효율은 굉장히 낮아지며, 적당히 매칭이 될 경우 90%이상의 효율을 보이기도 한다. 주로 동적인 작동에서 중요한 인자중의 하나는 기계적 혹은 전기적 손실과 관련된 기계적품질계수(Q_M)이다. 이 값은 약 3dB에 해당하는 주파수차이와 최대 진폭값의 역수의 곱으로 high power 응용의 경우 고려되어야 될 인자이다. 통상적으로 압전액추에이터의 응용을 위해서는 공진주파수보다 아주 낮은 주파수로 작동되어지는 변위를 고려한 경우 d_{33} 값이 큰 재료의 선정 및 이의 평가가 중요하게 되고, 교류전계를 가하여 재료의 공진을 이용한 소자인 경우 전기기계결합계수와 품질계수가 큰 재료의 선정이 중요하다.

3. 압전, 박 후막의 마이크로 시스템 응용

3.1 압전 박,후막 증착 방법

대표적인 압전 재료인 $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ (PZT)를 기준으로 페로브스카이트 구조를 갖고 있고 벌크에서 우수한 압전 특성을 가지고 있어, 초고집적화 산업에 적용 가능한 박막 재료로 활발히 연구되어지고 있다. 박막과 후막 공정연구에서 PZT는 FRAM (ferroelectric random access memory), DRAM (dynamic random access memory), high value capacitor, infrared devices, SAW delay lines, sensors, actuators, electro-optic displays, and ferroelectric field-effect transistors 등의 연구에서 상당한 진척을 보이고 있고, 최근에는 MEMS 소자에 연구되는 등 폭넓은 활용 가능성을 가지고 있다.[8, 9] PZT에 La, Al, Mn, Nb, Fe, Co 등의 물질들을 첨가하여 Pb, Zr, Ti 등의 원자를 치환시키거나 과잉 첨가하는 등 벌크에서 부분적인 특성을 향상시키는 연구가 지속되어왔고, 현재는 초고집적화 산업에서는 벌크의 전기적 특성을 최대한 유지하면서 박막, 후막화 시키는 연구들이 지속되고 있다.

이러한 PZT 박막 증착 방법에는 MBE (molecular beam epitaxy)[10], MOD (metal organic decomposition)[11], CVD (chemical vapor deposition)[12], Sputtering[13], Sol-Gel[14], PLD (pulsed laser deposition)[15] 등이 있으며, 응용분야와 목적에 따라 적절한 제조 방법이 선택되어지고 있다. 박막 증착 장비의 경우에는 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있지만 막의 두께를 증가시키는 면에서 어려움이 있고, 후막 제조 장비의 경우에는 막 두께를 쉽게 증가시킬 수 있지만 벌크

의 전기적 특성을 유지하는 측면에서 어려움을 겪고 있다. 또한 박막 증착 장비는 수천 Å의 두께 범위를 갖고 있고, 후막 제조 장비는 수십 μm의 두께 범위를 갖고 있어 초고집적화 산업에서 수 μm의 소자를 필요로 할 경우 명확한 증착 및 제조 방법 등에 대한 연구 결과가 명확히 드러나지 않았다. 통상적인 후막 제조 방법은 스크린 인쇄법, roll coating법, dipping법, 닥터 블레이드 법 및 테이프 캐스팅법 등인데, 이중 가장 널리 적용되고 있는 방법은 스크린 인쇄법을 이용한 후막 제조이다. 이는 스크린 인쇄법이 비교적 쉽고 값이 저렴하며, MEMS 공정과의 적합성 및 높은 양산성 등의 장점을 가지고 있기 때문이다. 스크린 인쇄법에 의한 후막의 제조 공정은 크게 ink(paste) formulation, screen printing, firing(sintering) 등의 3가지 공정을 거치게 된다. ink(paste)는 기본적으로 organic vehicle (solvent + organic binder), 특성구현 물질인 압전체 powder 및 필요시 glass계 또는 mineral계 binder로 구성되게 된다. ink가 기판에 screen(stencil) printing되면, 건조과정에 의해 휘발성 유기물이 제거되고, firing 또는 소결 과정에서, 먼저 낮은 온도영역에서 비휘발성 유기 binder의 burn-out이 일어나며, 최종적으로 목표 소결 온도에서 압전체 입자들이 소결되어 압전체 후막을 형성하게 된다. 따라서 압전체 후막의 특성은 이러한 전 공정의 변수에 의해 영향을 받게 된다. ink의 상태에 따라 공정변수(인쇄성, 소결성 등) 및 최종 후막의 특성이 많이 좌우되므로 이의 제조는 특히 중요하다.

3.2 압전후막의 MEMS 액추에이터 응용

압전후막을 이용한 액추에이터 구현을 위하여 필수적으로 압전후막의 증착 연구를 빼 놓을 수 없다. 후막을 형성하기 위하여 그리고 입힌 후막을 MEMS 소자에 응용하기 위하여 가장 많이 이용되어지고 있는 MEMS 구조물 재료인 Si 웨이퍼 위에 일단 성공적으로 증착이 가능해야 한다. 앞에서 언급하였지만 압전후막은 스크린프린팅 방법으로 증착할 경우 특별한 후막의 패터닝 및 가공 공정이 필요 없기 때문에 공정이 간편하므로 저렴한 가격에 압전방식을 이용한 MEMS 소자를 구현 할 수 있다. Koch 등은 70μm 두께의 실리콘 멤브레인을 만들고 이 위에 AgPd를 비롯한 5가지의 상,하부전극 사이에 PZT 압전후막(약 100μm)을 갖는 액추에이터를 제작하고, 아래 그림 1(a) 과 같이 2개의 알루미늄 벨브를 갖는 하이브리드 형태의 펌프를 제조하였다.[16] PZT 압전막은 스크린 프린팅 방법으로 증착하였으며 약 950℃의 온도에서 열처리하였다. 이 연구를 통하여 이 후막의 압전상수 값이 Au cermet을 하부전극으로 사용하였을 경우 약 103 pC/N의 압전상수 값을 보임을 보고하였고 펌프로 만들었을 때 변형률이 450-650 nm_{pp}(at 100V_{pp})의 displacement 값을 보임을 보고하고 있다. 이와 같은 형태의 펌프는 그림 1 (b) 처럼 멤브레인위에 형성된 압전막에 U₀에 해당하는 전계를 가할 때 막의 변형에 의하여 형성된 멤브레인 하부

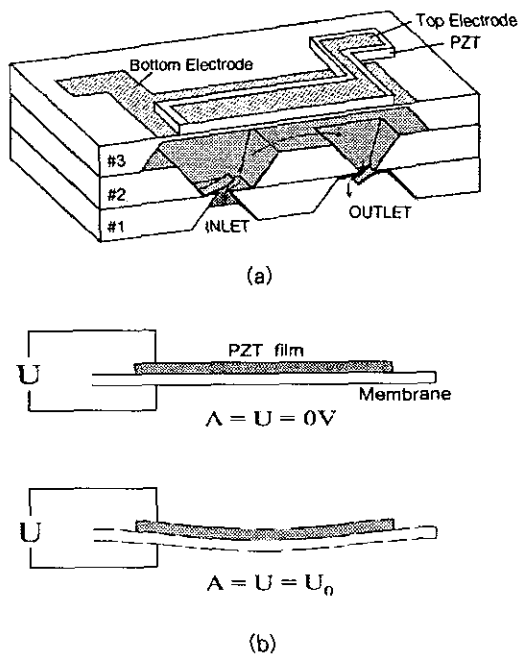


그림 1. (a) PZT 구동 다이아프램 펌프와 (b) PZT 구동 다이아프램의 구동원리

챔버의 체적변화가 발생 유체의 펌핑이 가능하게 된다.

이 압전후막을 이용한 액추에이터 응용의 가장 대표적인 것으로 잉크젯 프린터 헤드를 들 수 있다.[17] 오피스에서 사용 가능한 잉크젯 프린터로서 drop-on-demand 형태의 잉크젯 프린터가 가장 적합한 것으로 알려져 있으며 구동방법에 따라 열분사방식으로 일본의 캐논과 Hewlett Packard 제품을 들 수 있고 압전액추에이터 방식으로 일본의 세이코엡슨, 샤프, 마쓰시타, 미국의 Tecktronix 등을 들 수 있다. 이들은 바로 다이아프램위에 압전물질을 위치시켜 압전물질의 변형에 의하여 잉크를 분사 프린팅하는 방식이다. 프린터의 속도를 증가시키고 인쇄 질을 높이기 위한 방법으로 토출되는 잉크의 양이 수 pico litter 로 점차 작아지고, 잉크를 분사하는 펌프의 수가 증대되면서 점차 펌프의 크기도 작아져 MEMS 기술에 의하여 96x3 개 또는 그 이상에 해당하는 어레이 형태로 만들어지고 있다. 이 과정에서 다이아프램에 올라가는 압전물질의 크기도 점차 작아져야 하고 따라서 패터닝불한 고 밀도 압전 후막의 증착이 필수적이다.

또 다른 응용물로 그림 2에 보여져 있는 바와 같이 호흡을 통한 약물주입 치료를 위한 smart inhaler를 들 수 있다. 이러한 호흡기를 통한 흡입에 의한 약물치료 방법은 약물의 투약에 있어서 가장 빨리 작용하는 non-invasive한 방법으로서 점차 중요시되고 있다. 이 방법은 천식의 처치를 위하여 가장 폭넓게 이용되어 지며, 당뇨병치료를 위한 인슐린 요법으로서도 대단

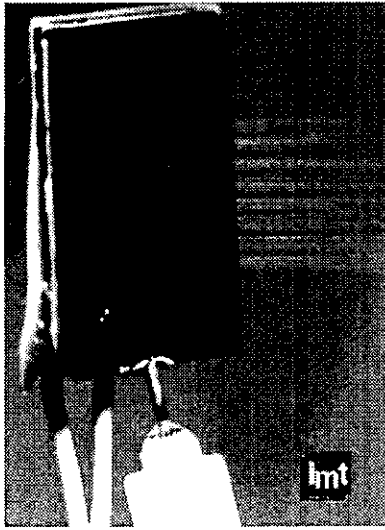


그림 2. Smart Inhaler

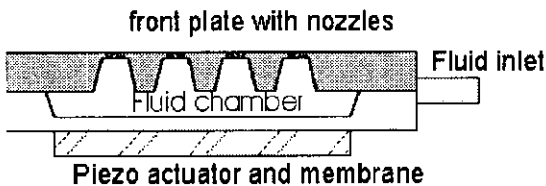


그림 3. 다이어프램과 그위에 형성된 압전 막, 그리고 액적을 만들 액체들이 담겨질 챔버 및 미세 노즐로 형성된 smart inhaler 의 단면도

히 신뢰성있는 방법으로 적용되어지고 있다. 현재의 기술은 그림 3에 보여진 바와 같이 미세 액적을 만들기 위한 액체가 통과하는 챔버와 이들 챔버의 체적변화를 유발하기 위한 다이어프램과 압전체로 이루어진 구동부, 그리고 반대면에 형성된 미세 노즐로 구성되어 있다. 이 압전후막에 전계가 가해지면 압전막의 구동에 따라 미세한 크기의 액적들이 형성되어 흡입할 경우 허파의 미세한 끝단 부분까지 도달되어 치료의 효과를 높도록 작용한다.

3.3 압전박막의 MEMS 액추에이터 응용

압전 박막중 ZnO 박막은 미세 기계 구조물에 응용을 위한 전기기계 요소로서 아주 안정적인 재료이다. 이 물질은 강유전체 재료와 다르게 폴링이 필요 없어 공정이 간단하고 기계적 에너지로의 변환이 효율적인 장점이 있지만 압전상수(d_{31})값은 작아 변위를 이용한 소자 응용에는 제한적인 단점이 있다. 표 2는 PZT, ZnO, AlN과 같은 대표적인 압전박막의 압전상수, Force, current response, Voltage response, Coupling 상수 등을 비교한 것이다. 대체로 PZT의 경우 압전상수 값이 커

표 2. 압전물질의 특성 비교

특성	PZT	ZnO	AlN
압전상수(d_{33})	90 ~ 100	10~12	3.4~3.9
Force, current response : e_{31} (C/m ²)	-8.5 ~ -6.5	-0.7	-1.0
Voltage response (GV/m)	-1.8 ~ -1.2	-7.2	-1.2
Coupling coefficient (kp,f) ²	0.11 ~ 0.13	0.06	0.11

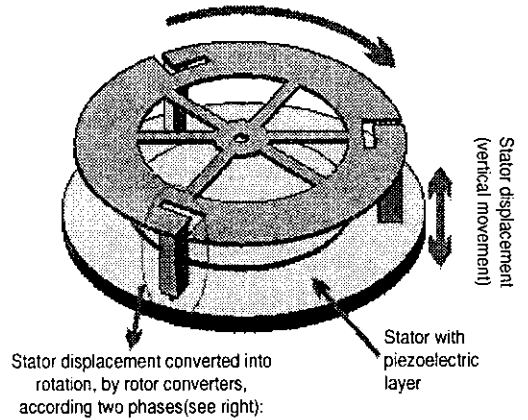


그림 4. 울트라소닉 모터의 개념도

Force나 Torque 등 액추에이터가 내는 에너지면에서 우수한 반면에 유전손실이나 혹은 결합계수 등이 중요한 소자의 경우에는 PZT 보다 AlN이나 혹은 ZnO가 훨씬 유리하다는 것을 보여준다. 대표적인 압전 MEMS 소자중의 하나인 초음파 모터의 경우를 예로 들면 다음과 같다. 그림 4에 초음파 모터의 기본 구조가 도식적으로 보여져 있다. 이것은 압전박막이 압전된 stator 위에 static wave가 발생되고 이것을 회전운동으로 바꾸어주는 방법을 이용한 것이며 이러한 회전운동은 rotor에 붙어 있는 수직 다리에 의하여 이루어진다. 즉 압전막에 의하여 스테이터가 상,하로 진동을 하게 되고 이러한 진동에 의하여 로터에 붙어 있는 다리가 상,하 운동을 회전운동으로 바꾸어주어 가능한 것이다. 이러한 원리를 MEMS 소자로 구현한 결과가 그림 5에 나타나 있다. 그림에서 직경 3.5 mm 그리고 두께 20 μ m의 실리콘 stator 멤브레인 위에 압전물질 ZnO 5 μ m가 입혀져 있으며, 공진성을 좋게 하기 위하여 스테이터 중심부위에 앵커 되어져 있고 전기의 공급을 위하여 기판에 스프링형태로 연결되어 있음을 알 수 있다. [18-19]

다른 형태의 압전 박막 응용 물로는 대우전자 TMA 팀에서 연구한 디스플레이 시스템을 들 수 있다. 이 기술은 대면적의 아주 밝은 프로젝션 디스플레이를 구현하려는 Reflective-type

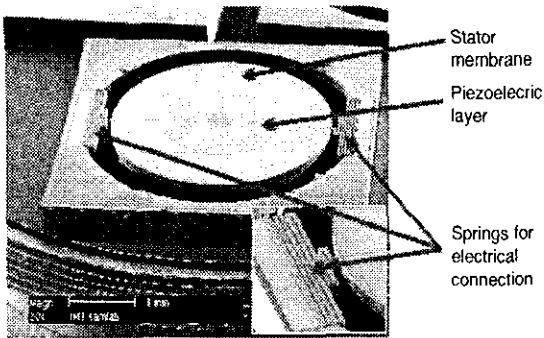


그림 5. MEMS 공정에 의하여 제조된 울트라소닉 모터의 stator 사진

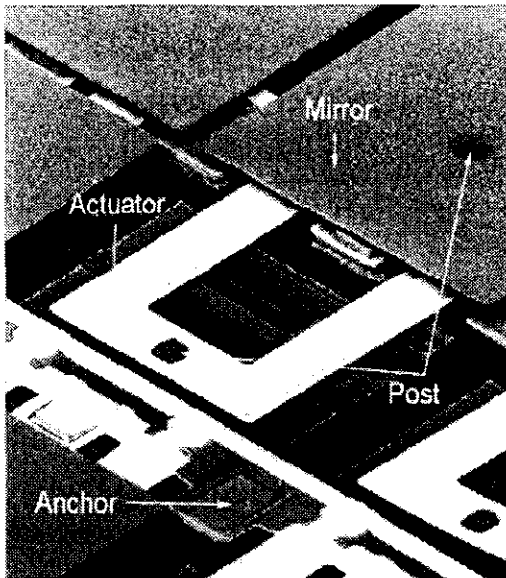


그림 6. 대우전자의 TMA 디스플레이 시스템의 미소 거울과 하부 액추에이터를 나타낸 사진

spatial light modulator (SLM) 의 하나로 Texas Instruments (TI)의 Digital Micro-mirror Device (DMD) 와 유사한 기술이다. 차이점은 DMD의 경우 개개의 미소 거울들이 정전기적 힘에 의하여 기울어짐으로써 픽셀들이 켜지고 꺼지는 원리를 이용한 것인 반면에 TMA는 미세가공된 압전액추에이터가 개개의 거울에 부착되어 개개의 거울의 각도를 조절함으로써 grey level을 조정하도록 한 것이다. TMA 에 사용한 압전액추에이터는 PZT 박막을 이용한 것으로 그림 6에 보여져 있는 바와 같이 사각형 미러의 중심에 포스트로 거울아래 하부층에 형성되어 있는 액추에이터 부위에 연결되어져 있고 이 PZT 액추에이터가 인가 전압(0-10V)에 따라 변형됨에 따라

상부의 미러의 각도가 변하도록 제작한 것이다. 이 방법을 이용하여 최근에 XGA급의 TMA 디스플레이 시스템을 발표하였다. 대우의 기술은 2층 구조 형태로 만들어진 상태에서 동시에 회생층을 릴리즈 시켜 3차원적인 구조물을 구현하는 독보적인 기술과 압전액추에이터 박막을 증착하고 열처리시 발생하는 600-700℃의 높은 온도에도 불구하고 견디는 하부 CMOS를 구현한 기술에 있다.

4. 결 론

압전 박막과 후막의 증착 기술 또는 이들 막들의 MEMS 소자 구현 기술은 단순히 실리콘이나 혹은 유리와 같은 구조물을 이루는 재료의 가공이외에 여러 MEMS 공정중 또는 디바이스 구현을 위한 공정중 압전막에 미치는 다양한 영향의 면밀한 평가 및 이를 해결하기 위한 기술의 개발 등 재료적인 시각의 접근이 필요하다. 본 글에서는 이들 박,후막을 이용한 MEMS 응용물 몇가지를 여러 논문과 인터넷에 올라 있는 사이트들로부터 인용된 소자들 위주로 설명하였으며 이 이외에도 optical device, RF 통신 소자, 저장장치, 다양한 목적의 공진응용 디바이스 등 액추에이터 뿐 아니라 각종 센서에 이르기까지 보다 다양한 분야의 마이크로 디바이스에 응용되어 지고 있다. 또한 재료적으로도 열거된 세라믹 박,후막 이외에 각종 폴리머 또는 폴리머-세라믹 복합 재료들의 필름도 관심의 대상이 되고 있다.

참 고 문 헌

- (1) R. Santilli, "Will microengineering affect your business?". Computing & Control Engineering Journal, 93~97, April (1995)
- (2) Busch-Vishniac I J - The Case for Magnetically Driven Microactuators - Sensors and Actuators A 33, p. 207, (1992)
- (3) Jerman H - Electrically Activated, Normally-Closed Diaphragm Valves - Transducers '91. Proceedings of the IEEE Conference on Solid-State Sensors and Actuators, San Francisco, CA, USA, p. 1045, (1991)
- (4) Product literature for Silicon Microvalves. Redwood MicroSystems, Menlo Park, CA, USA, c (1993)
- (5) Esashi M, Shoji S, Nakano A - Normally-Closed Microvalve and Micropump Fabricated on Silicon Wafer - Sensors and Actuators, vol 20, nos 1 and 2, (1989)
- (6) Robbins W P, Polla D L, Tamagawa T, Glumac D

E. Judy J W - Linear Motion Microactuators Using Piezoelectric Thin Films - Transducers '91, Proceedings of the IEEE Conference on Solid-State Sensors and Actuators, San Francisco, CA, USA, pp. 55. (1991)

- [7] Ray C A, Sloan C L, Johnson A D, Busch J B, Petty B R - A Silicon-Based Shape Memory Alloy Microvalve - Proceedings of the Spring Materials Research Society Conference, San Francisco, CA, USA, (1992)
- [8] W.I.Kinney, W.Shepherd, W.Miller, J.Evans, and R.Womack, Int. Electron Devices Meet. IEDM Tech.Dig., Washington, D.C., (IEEE, New York), 1987, pp 850
- [9] G. H. Haetling, Ferroelectrics, Vol.75, 25-55 (1987)
- [10] K. Yoshino, T. Shimizu, K. Maeda, T. Ikari, A. Fukuyama, P. J. Fons, A. Yamada and S. Niki, Solar Energy Materials and Solar Cells, 50, Issue 1-4, 127~132 (1998)
- [11] Cheng-Hsiung Lin, Wen-Dung Hsu and I-Nan Lin, Appl. Sur Sci, 142, Issue 1-4, 418~421 (1999)
- [12] S. T. Kim, J. W. Kim, S. W. Jung, J. S. Shin, W. J. Lee and S. T. Ahn, Mater. Chem. and Phys., 45, Issue 2, 155~158 (1996)
- [13] L. H. Chang and W. A. Anderson, Thin Solid Films, 303, Issue 1-2, 94~100 (1997)
- [14] Shannigrahi, S.R.; Choudhary, R.N.P.; Acharya, H.N., J. of Materials Science Letters, 18, Issue 5, 345~348 (1999)
- [15] Jyrki Lappalainen, Johannes Frantti and Vilho Lantto, Applied Surface Science, 142, Issue 1-4, 407~412 (1999)
- [16] M. Koch, N. Harris, A. G. R. Evans, N. M. White, A Brunnschwiler, Sensors and Actuators A 70, 98~103 (1998)
- [17] W. R. Wehl, "Ink-jet Printing: The Preventive Sate of the Art" 1989 IEEE pp. 2-46~2-52.
- [18] G.-A. Racine et al: (1993): Hybrid ultrasonic micromachined motors: MEMS '93 Proceedings: pp. 128~132
- [19] L. Dellmann et al: (2000): Micromachined piezo-electric elastic force motor: MEMS '00 Proceedings: pp. 52~55.

저 자 약 력

성명 : 김 태 송

❖ 학 력

1982년 연세대학교 세라믹공학과(공학사)
1984년 한국과학기술원 재료공학과(공학석사)
1993년 한국과학기술원 재료공학과(공학박사)

❖ 경 력

1994년 한국과학기술연구원 선임연구원
1997년-1998년 미국 미네소타대학 전기과 Post Doc.
현재 한국과학기술연구원
마이크로시스템연구센터 책임연구원

성명 : 오 명 환

❖ 학 력

1965년 서울대학교 전기공학과(공학사)
1972년 서울대학교 전기공학과(공학석사)
1979년 프랑스 Paul Sabatier 대학(공학박사)

❖ 경 력

1967년-1980년 연구원, 선임연구원, 책임연구원
1986년-1987년 미국 University of North Carolina
 객원교수
1996년-2000년 한국과학기술연구원 연구조정부장,
 부원장 역임
1995년-현재 "차세대 평판표시장치 기반기술개발"
 G-7 연구개발사업단장
 대한전기학회, 한국정보디스플레이학회,
 한국 전기전자재료학회 부회장, 차기회장
 한국과학기술연구원 연구위원

성명 : 박 종 오

❖ 학 력

1978년 연세대학교 기계공학과(공학사)
1981년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사)
1987년 독일 Stuttgart 대학 (공학박사)

❖ 경 력

1987년-현재 한국과학기술연구원 책임연구원
2000년-현재 지능형마이크로시스템 개발사업단 단장