

마이크로 압력센서 개발동향 및 그 전망

박 효 덕, 김 건 년, 이 유 진

전자부품연구원 마이크로머신연구센터

I. 개 요

지난 반세기동안 진행된 반도체 공정기술의 혁신적인 발전은 집적회로나 마이크로컴퓨터의 개발뿐만 아니라 센서산업의 발전에도 지대한 영향을 주어 종래의 크고 복잡한 구조의 기계식 센서가 3차원 미세가공 기술을 이용하여 실리콘 웨이퍼 상에 대량으로 제작되는 초소형, 경량의 전자식 반도체센서로 대체되어 가고 있다. 또한 시스템의 전자화추세와 더불어 마이크로 프로세서와의 집적이 용이하고 보다 효율적이면서 지능화된 시스템 제어가 가능한 실리콘 센서가 각광을 받고 있다.

실리콘 압력센서는 선진국에서 실리콘 미세가공 기술을 이용하여 제작된 최초의 센서로서 1980년대부터 상품화되어 자동차의 MAP(Manifold Absolute Pressure)센서로서 응용되기 시작하였다. MAP 센서는 현재도 전체 실리콘센서 시장중 가장 큰 점유율을 보이며, 1990년 대부터는 주변회로와 센서가 동일 칩 상에 집적되어 저가격화 및 고성능화된 압력센서가 실차에 적용되고 있다. 향후, 실리콘 압력센서의 자동차 수요는 MAP센서 이외에도 타이어압, 브레이크압, 오일압, 에어컨압 등으로 계속 확대 적용될 전망이고 이렇게 되면 자동차 한대당 적어도 5~8개의 실리콘 압력센서가 필요함으로 막대한 수요가 예상된다.

자동차 다음으로 큰 실리콘 압력센서의 시장은 의료용으로 일회용 혈압계가 가장 큰 시장을 형성하고 있고, Vital Sign Monitor, Eye

Surgery, Hospital Beds, Blood Analysis, Inhalers, Kidney Dialysis Machines, Infusion Pumps/Drug Delivery Systems, Medical Drilling Equipment 등에 일부 적용되고 있으며 향후, 그 시장은 더욱 커질 전망이다. 또한, 실리콘 압력센서는 종래의 기계식 센서보다 고정밀도 및 우수한 감도 때문에 산업계측 분야에서 공기, 가스 혹은 액체의 유량, 유속, 수위, 음향강도, 온도, 가속도 측정용으로 응용되고 있는 추세이고 이외에도 가전용, 군수용, 우주/항공용 등 산업 전 분야에 걸쳐 실리콘 압력센서의 적용이 가속화될 것으로 예측된다.

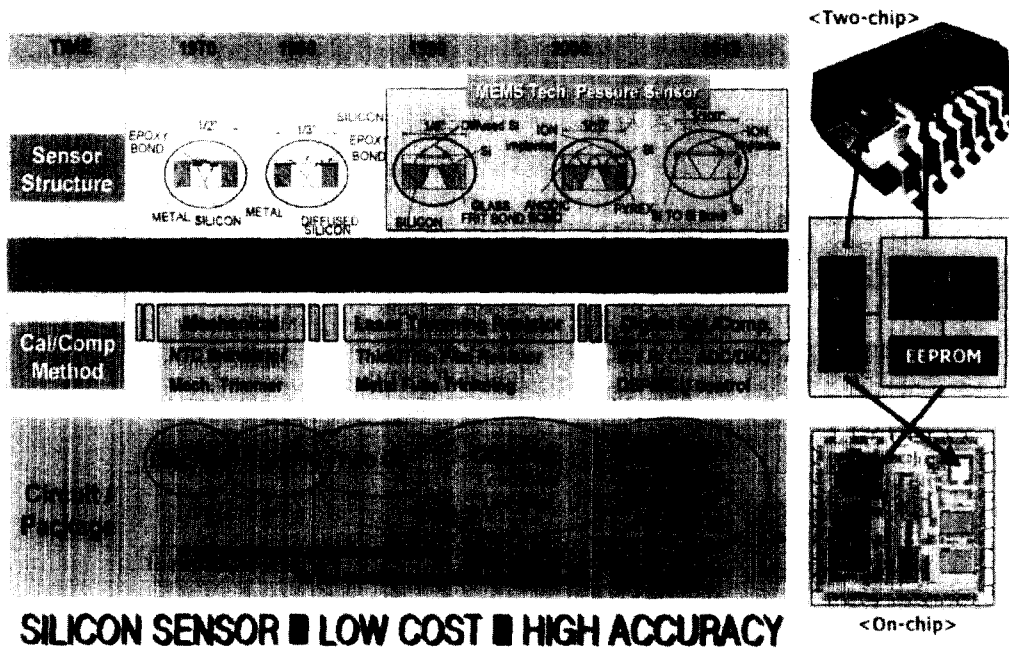
II. 선진국 개발동향

미국에서는 1950년대부터 Bell Technology Lab을 중심으로 Honeywell, Westinghouse 등지에서 실리콘 압력센서 제조에 핵심기술인 실리콘 식각기술에 관한 기초 연구를 시작하여 1970년대부터 Stanford Univ., Case Western Reserve Univ., U. C. Berkely, Univ. of Michigan, MIT, Univ. of Wisconsin을 중심으로 실리콘 센서에 대한 연구개발이 활발하게 이루어졌고 이를 토대로 Honeywell, Kulite Semiconductor, GM Delco, Motorola, Ford, IC Sensor, Lucas Nova sensor, Foxboro ICT 등의 업체에서 실리콘 압력센서가 상품화되어 \$수~\$수백의 가격으로 판매되고 있다.

일본에서는 1992년 1월 마이크로머신센터가

<표 1> 실리콘 센서의 기술개발 역사

- **1950~1960 Discovery Period**
 - 1954 : Smith discovers piezoresistivity at Bell Labs
 - 1958 : Discrete silicon strain gages commercially available
- **1960~1970 Commercialization and Market Development**
 - 1961 : Integration of strain gages into silicon diaphragm(Kulite)
 - 1966 : Mechanically milled cavity introduced(Honeywell)
 - 1970 : Isotropic micromachined window introduced(Kulite)
 - 1970 : First piezoresistive acceleration sensors developed(Kulite)
- **1970~1980 Cost Reduction and Application Expansion**
 - 1971 : Sensors employing anodic bonding introduced(Kulite)
 - 1974 : First high volumn hygrid sensor(National Semiconductor)
 - 1976 : Anisotropic micromachined windows introduced(Kulite)
 - 1976 : First under-hood automotive(Honeywell)
 - 1977 : First silicon capacitive pressure sensor demonstrated(Stanford Univ.)
 - 1978 : Bossed silicon diaphragms introduced(Endevco)
 - 1979 : Passive on chip temperature compensation(Kulite)
 - 1979 : Ion implantation of strain gages(Honeywell)
- **1980~1990 Micromachining and Rapid Market Growth**
 - 1982 : First disposable medical transducer(Foxboro/ICT, Honeywell)
 - 1982 : Active on chip signal conditioning(Honeywell)
 - 1985 : Polysilicon diaphragm sensor by additive process(Wisconsin Univ.)
 - 1987 : Si-Si and Si-SiO₂ lamination implemented into sensor designs(NovaSensor)
 - 1988 : SFB based acceleration sensor with 1000 : 1 overload protection(NovaSensor)
 - 1990 : Introduction of SenStable : new superstable piezoresistive process/design(NovaSensor)



<그림 1> 실리콘 센서의 기술개발 동향

설립되어 마이크로머시닝 기술을 확립하고 이 기술을 산업전반에 걸쳐 전파시키고 이 기술을 이용하여 산업체가 상품화시킬 수 있도록 도와주며 마이크로머신 기술 분야의 국제적 협력과 공동연구를 촉진시키는 중추적 역할을 수행하고 있다. 미세가공된 센서는 Fujikura, Fuji, Hitachi, NEC, Sanyo 등에서 실용화되었고, 동경대학, 동북대학 등에서 연구개발이 활발하게 이루어지

고 있다.

독일, 프랑스, 영국, 네덜란드, 스위스 등의 유럽에서도 미세가공된 센서가 실용화되어 사용되고 있으며, 국가적인 과제로서 미세가공 관련 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 먼저 독일의 연구 개발성은 마이크로시스템 기술을 위해 1990~1994년까지 270 Mil DM 이상을 지원하였고 1998년까지 협동연구과제가 진행될 전망이

<표 2> 각국의 실리콘 압력센서의 생산업체 현황

	업체명	응용분야
미 국	Nova Sensor, EG&G, Sensym, Foxboro/ICT, Endevco, Silicon Microstructure, Motorola	의료/산업용
	Kulite Semiconductor, Next sensor, Sentir, Rosemount, Dressor Industry	의료/산업용
	Ford, Delphi	자동차
	Honeywell	우주항공
	Analog Device	자동차
일 본	Denso, Hitachi, Mitsubishi	자동차/산업용
	Fujikura, Sumitomo, Matsushida, Kopal	자동차/산업용
유 럽	Bosch, Siemens	자동차
	Siemens, SensoNor, CSEM	자동차/산업용

	자동차용	의료용	산업용
Low Pressure (1~20kPa)	Fuel tank	Drug injection	Air flow Gas pressure Fluid level
Medium Pressure (20~700kPa)	EGR	Blood pressure	Manometer Pneumatic control Process control Portable gauge
	Tire pressure	Angioplasty	
	MAP	Infusion pump	
	Altimeter	Kidney analysis	
High Pressure (700~3500kPa)	Boost pressure	Inter Uterine	Hydraulic Process control
	Oil pressure	Medical instrument	
	Aircon pressure		
	Brake pressure		

<그림 2> 압력범위별 압력센서의 응용분야

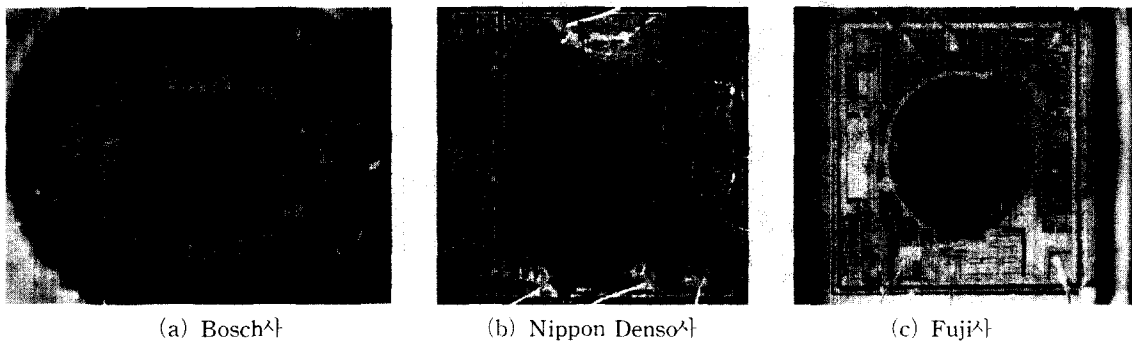
다. 프랑스에서는 국가적 마이크로시스템 기술 추진 그룹이 1992년 결성되어 1993년 중반에 연구부, 국방부와 통상부에 의해 과제공모가 이루어졌다. 영국에서도 1993년 Microengineering Common Interest Group이 연구 활동을 하고 있다. 독일의 Technical Univ. of Berlin, 네덜란드의 Univ. of Twente, 스위스의 Neuchatel 대학, Munich대학 등에서 센서 및 액츄에이터에 대한 연구를 하고 있으며, 독일의 Bosch사, Siemens사, 스위스의 SCEM사, 프랑스의 Sagem사, 노르웨이의 SensoNor사 등에서 실리콘 압력센서를 공급하고 있다.

III. 자동차용 압력센서

자동차용 압력센서의 경우 자동차라는 특수한 환경 속에서 사용되고 센서 성능이 탑승자의 안전과 직결되는 경우가 다반사로 내환경성 및 고신뢰성이 요구된다. 엔진제어를 위한 MAP센서(중압용), 에어컨압 제어를 위한 에어컨 압력센서(고압용), 타이어압 제어를 위한 타이어압 센서(중고압) 등이지만 향후에는 적용분야가 점차적으로 증가하여 오일압 센서(고압), 연료탱크 압력센서(저압), 연료레벨 센서 등으로 확대될 전망이다. 이들 압력센서는 적용분야의 압력범위, 온도범위, 전기적 출력전압 범위 등의 특수사항을 만족하는 설계가 요구 되어진다. 현재 자동차

용 MAP 센서를 생산하고 있는 업체로는 미국의 GM Delco(압저항형), Ford(용량형), ISS(압저항형), Motorola(압저항형) 등과 일본의 Fuji Electric, Nippondenso, 유럽의 SensoNor, Bosch, Siemens 등이 있으며, 이들 업체는 대부분 자동차부품회사와의 전략적인 제휴로 제품 공급을 하고 있기 때문에 영세한 중소기업체의 시장진입은 어려운 상황이다. 국내의 경우에는 선진사에서 센서칩을 공급받아 조립, 생산하는 수준이다.

MAP 센서는 신호처리회로가 내장된 One-Chip 형태로써 센서와 신호처리회로가 일체화된 On-Chip센서 혹은 센서와 신호처리회로가 하나로 패키징된 One-Package형태이며, On-Chip센서인 경우는 바이폴라 공정이 사용되고 Two-Chip센서인 경우 ASIC칩은 CMOS공정으로 제작된 칩이 사용되고 있다. MAP센서에서 고려할 핵심기술은 온도보상기술로서 바이폴라 공정을 이용하는 경우 Thick Film 혹은 Thin Film을 이용하여 온도보상을 수행하고 있으며, Bosch사에서는 Switched Current를 이용하여 온도보상을 수행하고 있다. CMOS공정을 이용하는 경우는 EPROM 혹은 EEPROM을 이용한 온도보상을 수행하고 있으며, 향후에는 CMOS ASIC칩을 이용한 EEPROM이 내장된 Two-Chip센서가 종래의 On-Chip센서보다 가격경쟁력이 있고 디지털 트리밍을 수행함으로써 별도의 트리밍 장비가 필요 없고 패키징 후에 트리밍을 수행함으로써 패키징으로 인한 센서특성 변화가



〈그림 3〉 선진사의 자동차용 압력센서

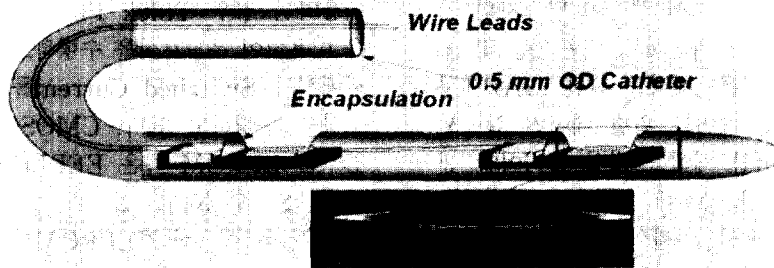
발생하지 않는 장점을 갖기 때문에 기존 센서를 대체할 것으로 전망된다. 현재 일본의 Fuji전기에서는 기존의 바이폴라 On-Chip형 MAP센서를 CMOS EPROM 센서로 대체할 계획이며 기존의 바이폴라 공정을 이용한 센서는 에어컨압센서 등에 적용할 예정이다.

IV. 의료용 압력센서

생체 계측을 위한 의료용 센서는 일반 환경 하에서 동작하는 센서들에 비해 소형경량, 센서 재료의 생체간 직접적인 정보교환이 가능, 미소한 생체신호에 대해 우수한 감도, 장기간 체내에서 내장될 경우에도 물리화학적 내구력이 있어야

하며, 무독성이어야 한다.

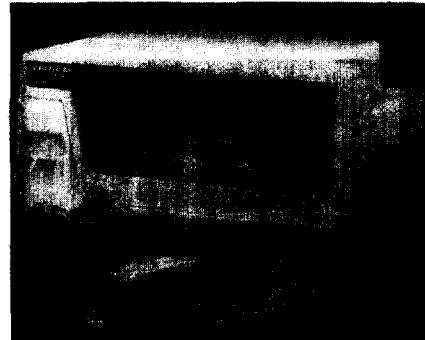
1983년 이래로 MEMS 기술을 이용한 압력센서의 제작이 효율적이며 가격 대 효율비가 뛰어나서 1회용 혈압 센서제품으로 상용화되었다. 매년 2,000만 개가 넘는 혈압센서가 수술과 중환자 집중치료에 사용되고 있다. MEMS 공정을 적용하여 제작공정을 개선하면 저가의 혈압 센서를 상품화하여 대량으로 생산할 수 있을 뿐만 아니라 새로 개발되고 있는 미세 가공 기술은 예기치 못한 수준으로까지 센서 및 시스템을 소형화하고 있다. 미세가공 기술로 제작된 폭 0.4mm인 압력센서 칩은 초소형 도뇨관과 조립되어 사용되고 있다. <그림 4>과 같이 세계에서 가장 작은 압력센서인 Catheter-Tip 압력센서는 심장으로 들어가서 심장의 여러 지역에서의 압력을 조사하는데 이는 심장병의 진단 시 중요하게 사용된다.



<그림 4> Medical Catheters에 적용된 압력센서



(a) TRW Nova Sensor사의 혈압센서



(b) Kinney Dialysis Machine

<그림 5> 선진사의 의료용 압력센서

이외에도 자궁압 측정, 뇌압 측정, 약물 주입 용, 의약 운반 시스템, 인슐린 펌프, 호흡계 등에 응용되고 있으며, 이중 혈압계가 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 혈압센서 생산업체로 TRW Nova Sensor, Sensym, Motorola가 미국시장을 주도하고 있다. 일회용 혈압계가 주류를 이루고 있고 Sensym에서는 Nonevasive 초소형 어레이 압력센서를 개발하였다. 의료용 압력센서는 자동차용 압력센서와 달리 off-chip 형태로 이용하여 가능하다. 특히 특수한 패키지가 요구된다. 일회용 혈압계용인 경우 정사각형 다이어프램 구조로서 15~20 μm 의 다이어프램 두께가 사용되고 있으며 세라믹 패키지 위에 thick film을 이용하여 온도보상을 수행하고 있다. 1982년부터 시장에 도입되기 시작한 실리콘 혈압센서는 1997년 현재 년수요량이 17백만개 이상으로 증가되었다.

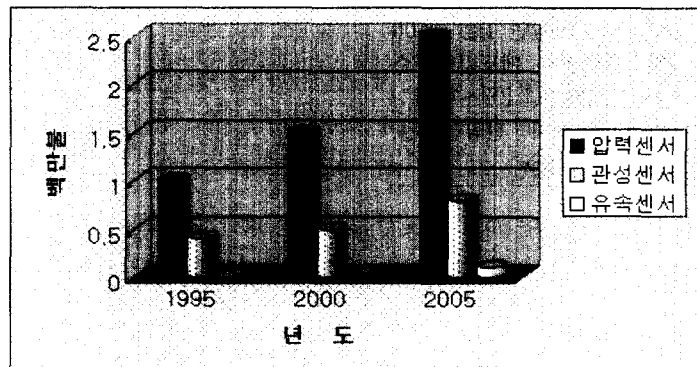
V. 산업용 압력센서

산업용 센서는 제조설비, 생산공정, 안전관리 등 공장자동화에 필수적으로 채택되는 센서로서 고정밀도와 고신뢰성을 요구한다. 압력센서는 압력뿐만 아니라 유량(flow), 유체레벨(fluid level), 음향강도(acoustic intensity) 등 실생활에 필요한 다양한 물리량을 감지할 수 있기 때문에 산

업 전반에 걸쳐 가장 많이 사용되고 있다. 반도체 공정기술 및 집적회로 기술의 발달에 따라 실리콘 압력센서의 성능이 기존의 기계식 압력센서 이상의 성능을 갖게 되었을 뿐만 아니라 배치프로세싱에 의한 대량생산으로 저가의 제품을 공급할 수 있게 됨에 따라 산업용 압력센서는 기계식에서 실리콘 압력센서로 대체되어 있는 추세이다. HVAC 시스템, 소용량의 유체 레벨측정, 등에는 2psi 이하의 저압센서가 적당하다. 중/저압센서의 응용에는 고도측정, 공정 제어, 유압제어 등이 포함되며 250psi 이상의 압력센서의 적용에는 콤프레서, 산업 파이프 시스템 등이 있다.

VI. 전 망

새로운 기술로 새로운 수요를 끊임없이 창출할 것으로 기대되며 꾸준히 성장하고 있는 MEMS 분야에 있어 압력센서는 MEMS의 쌀이라고 할 만큼 기본적인, 필수적인 센서이다. 1995년 예측된 자료에 의하면 전 세계 MEMS 시장의 60% 이상을 차지하는 실리콘센서 중에서도 단연 압력센서가 <그림 6>에 나타난 바와 같이 1.5백만불 이상의 압도적인 판매액을 차지하고 있다. 또한 향후에도 지속적으로 증가할 전망이어서 수많은 업체가 다양한 종류의 실리콘 압력센서를 개발 및 생산, 판매하고 있다.



<그림 6> 세계 실리콘센서 시장^[1]

참고 문헌

- (1) *Sensor Business News 1995*, Brazk's
Forcast Commercial MEMS Market

저자 소개



朴孝德

1960년 11월 24일생, 1993년 2월
경북대학교 전자공학과 공학박
사, 1986년 3월~1993년: 경북
대학교 센서기술연구소 전문연구
원, 1993년 11월~현재: 전자부
품연구원 수석연구원 마이크로머
신 센터장, 국가지정연구실 과제책임자, 나노공정산업
화지원 센터장, <주관심 분야: NEMS 기술, 센서기
술>



金建年

1968년 11월 22일생, 1991년 2월
아주대학교 제어계측공학과 공학
사, 1993년 2월 아주대학교 제어
계측공학과 공학석사, 1993년 2
월~현재: 전자부품연구원 마이
크로머신연구센터 선임연구원,
<주관심 분야: NEMS 기술, 센서기술>



李裕進

1972년 11월 25일생, 1995년 2월
서울대학교 금속공학과 공학사,
1997년 2월 서울대학교 금속공학
과 공학석사, 1997년 1월~2000
년 2월: 현대전자 메모리연구소
주임연구원, 2000년 2월~현재:
전자부품연구원 마이크로머신연구센터 전임연구원,
<주관심 분야: NEMS 기술, 센서기술>