

자동차용 반도체 집적센서 및 마이크로 액츄에이터

Micromachined, Solid-State Integrated Sensors and Actuators for Automotive Applications

조 영 호
Young - Ho Cho



조 영 호

- 1957년 8월 10일생
- 미세기전집적시스템(MEMS)의 설계, 제작 및 최적화 연구와 미세감응시스템 및 마이크로 메카트로닉스 응용제품개발
- 정회원, 한국과학기술원

1. 머릿 말

최근 기술선진국의 자동차업계에서는 첨단 기술을 기반으로한 자동차용 전장기능시스템을 개발, 참가함으로써 치열한 국제기술시장에서 자사제품의 경쟁력 강화와 함께 부가가치의 극대화를 동시에 꾀하고 있다. 이러한 견지에서 최근 관심이 고조되고 있는 대표적인 전장기능시스템으로는 에어백(airbag), 전자식엔진제어시스템, 고성능제동시스템(ABS), 전자식현가(suspension) 및 조향(steering) 시스템 등을 들 수 있다.

이들 전장기능시스템의 효과적인 작동과 설계된 기능논리의 성공적 실현을 위해서는 자동차 운행상태 및 기능시스템 자체의 동작상태에 관한 정확하고도 신뢰성 높은 정보를 제공해 줄 수 있는 고성능 센서개발이 필수적인 선결과제 중의 하나로 지적되고 있다. 전장기능시스템용 센서를 개발함에 있어서, 일

반계측용 센서와는 달리, 자동차라는 특수한 환경내에서 작동의 신뢰성을 유지할 수 있는 고성능 센서를 보다 값싸게 만드는데 그 핵심이 있다.

이러한 관점에서 볼때, 근래 전자제품의 기술혁신을 이룩한 직접회로 제작기술을 기반으로 하여 물리량 감지를 위한 미세구조물(microstructures)과 감지신호의 보정, 증폭, 처리를 위한 전자회로를 동시에 제작, 하나의 칩(chip)으로 집적시킨 반도체 직접센서의 등장은 센서의 소형화, 다기능화, 고성능화와 함께 제작경비의 저렴화를 동시에 이룰 수 있다는 점에서 크게 주목받고 있다.

본 연구에서는 우선 자동차 전장품 시장팽창의 배경과 요인을 추적함으로써 자동차 전장기능시스템과 센서의 중요성을 입증하고, 전장기능시스템 구성에 필요한 센서의 종류, 시장 및 요구특성을 분석한다. 그후, 자동차용 센서의 요구특성을 만족시킬 수 있는 제작기술으로써 두 종류의 반도체 미세가공(micromachining) 기술을 소개하고, 이들 각각의 기술이 내포하고 있는 특성을 비교, 정렬한다.

이어, 반도체 미세가공 기술에 의해 제작된 자동차용 반도체 센서와 마이크로 액츄에이터들을 소개하고, 일련의 개발예를 통하여 각각의 형태와 기능면에서의 발전경향을 진단하며, 나아가 관련 핵심기술의 중요성과 기술발전의 방향의 전망을 통하여 조기술 확보의

필요성과 관련업계의 역할, 그리고 기술 성숙 요건을 제시한다.

2. 자동차 전장품과 센서

근래 자동차에서 전장품(automotive electronics)이 차지하는 비중이 날로 증가하고 있다. 최근 한 보고자료¹⁾에 의하면, 자동차 전장품의 국제시장 규모가 1990년 현재 250억불에 달하고, 1995년까지 350억불 수준으로 늘어날 것이 예상되고 있다.

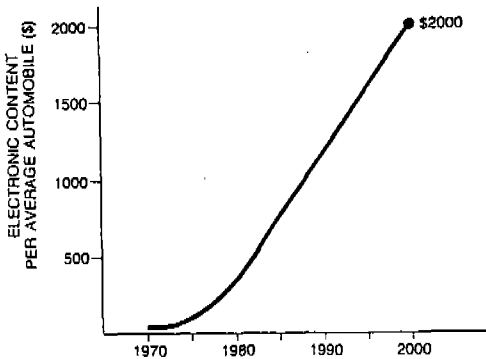
이러한 자동차 전장품 시장팽창의 이면에는 크게 두가지 요인(driving forces)이 있는데 그 하나는 배기가스(emission), 연료 경제성(fuel economy), 승객 안전장치(occupant protection) 등에 관한 법적 규정의 강화이고, 다른 한 요인으로는 자동차의 품질, 신뢰성, 사용 및 운전편의성 등에 대한 소비자 선호도 증가를 들 수 있다. 따라서, 근래 자동차 전장품 시장 팽창의 주된요인은 자동차 생산대수의 증가에 있다기 보다, 날로 엄격해지는 자동차 관계 법적규정과 자동차 기능에 대한 소비자의 선호를 충족시키기 위한 전장기능시스템 첨가의 필요성 증대와 이로인한 전장품의 고급화 및 고성능 부품 수요의 급증에 있다고 볼 수 있다. 이러한 사실을 뒷

받침해 주는 단적인 예로 자동차 대당 전장품 가격의 증가(Fig.1)를 들 수 있다. 즉, 1970년 25불에 지나지 않았던 자동차 대당 전장품 가격이 1984년에는 585불²⁾, 1990년에는 872불¹⁾로 계속 증가하였고, 1995년에는 1,400불²⁾ 수준으로 증가하여 2000년에 가서는 대당 2,000불¹⁾ 수준에 이를 것으로 전망되고 있다.

2.1 근래 자동차의 요구특성과 전장기능 시스템

자동차 관련 법적규정의 수준 및 소비자 만족도를 평가하는 척도를 종합해 볼때 Table 1에 보인바와 같이 크게 4가지로 분류할 수 있으며, 이러한 성질들이 근래 국제시장에서 요구되는 자동차의 특성으로 대두되고 있다.

최근 기술선진국의 자동차 업계에서는 이러한 요구특성을 만족시키기 위하여 첨단기술을 기반으로 한 전장기능시스템을 개발, 첨가함으로써 치열한 국제기술경쟁 시장에서 자사제품의 경쟁력을 향상시킴과 동시에 부가가치 극대화를 꾀하고 있다. 이러한 견지에서 최근 관심이 고조되고 있는 대표적인 자동차 전장기능시스템의 종류와 자동차 요구특성(Table 1)과의 연관관계를 도시하면 Table 2와 같다.



Automotive electronics content will reach \$2000 by the year 2000.

Fig.1 Dollar content of electronics per average US vehicle²⁾

Table 1 Required features for modern automobiles

- safety, reliability
- comfort, convenience
- performance, driveability
- environmental protection

Table 2 Application of automotive electronics systems

application	purpose of application			
	safety reliability	comfort convenience	performance driveability	environmental control
airbag activation	✓			
electronic engine / emission control			✓	✓
traction control (anti-locking braking system)	✓		✓	
suspension control (active / semi-active)	✓	✓	✓	
steering control (4 wheel steering) navigation		✓		
obstacle detection	✓	✓	✓	
diagnostics (on-board warning)	✓	✓		✓
climate control		✓		

2.2 자동차 전자기능시스템의 구성과 센서의 중요성

자동차 전자기능시스템의 구성(Fig.2)은 전자장 부품의 기능을 기준으로 볼 때 운행상태를 파악하는 센서부, 센서로부터 공급되는 정보를 기준으로 기능제어 판단을 하는 전자제어부(ECU), 그리고 ECU의 판단에 의해 실제 기능제어를 담당하는 액츄에이터부 등 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 예를들어, 전자식 엔진제어시스템(Fig.3)의 경우에 전체 전자기능시스템이 13개의 센서와 10개의 액츄에이터 그리고 1개의 프로세서(ECU)로 구성되어 있다고 볼 수 있다.

이러한 전자기능시스템에서 ECU에서의 기능작동에 관한 모든 판단은 센서로부터 공급

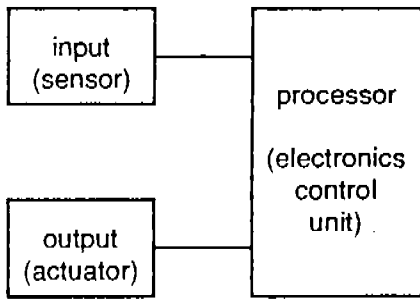


Fig.2 Functional components of an automotive electronics system

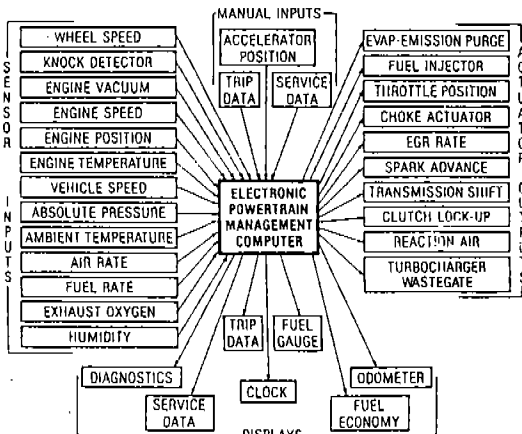


Fig.3 Electronic powertrain management³⁾

Table 3 Sensor market for North American automobiles⁵⁾

year	market (US \$)	sensor unit (EA)
1990	803.6 million	85.1 million
1996	1803.9 million	173.3 million
CAGR*	14.4 %	12.6 %

*CAGR: Compounded Annual Growth Rate.

되는 정보를 기준으로 이루어지므로, 전자기능시스템의 효과적인 작동과 주어진 기능의 성공적 실현을 위해서는 자동차 운행상태 및 기능시스템 자체의 동작상태에 관한 정확하고 신뢰도 높은 정보를 ECU에 제공해 줄 수 있는 고성능센서 개발이 필수적인 선결과제중의 하나이다. 이러한 이유에서 최근 전자기능시스템용 센서개발에 관한 관심이 날로 증대되고 있으며, 자동차업계에서의 센서수요 또한 급증하고 있다. 즉, 1990년대 중반 자동차용 센서의 국제시장 규모는 35 억불⁴⁾ 수준으로 추정하고 있으며, 북미산 자동차에 관한 시장조사(Table 3)에서도 연평균 센서시장규모 및 센서수요 증가율을 각각 14.4%와 12.6%로 예상하고 있다.

2.3 자동차용 센서의 종류 및 요구특성

자동차 전자기능시스템(Table 2) 구성에 필요한 주요센서들을 측정대상 물리량(measurand)에 따라 분류하면 Table 4에 제시한 바와 같다. 이러한 자동차용 센서들은 일반 계측용 센서와는 달리, 응용분야가 자동차라는 특수성 때문에 Table 5와 같은 특성이 공통

Table 4 Automotive sensor measurands in electronics system

System measurand	airbag adjustment	engine control	traction control	suspension control	steering control
acceleration	✓	✓	✓	✓	✓
velocity	✓	✓	✓	✓	✓
position/angle	✓	✓	✓	✓	✓
pressure	✓	✓	✓	✓	✓
mass flow	✓	✓	✓	✓	✓
force/torque	✓	✓	✓	✓	✓
orientation	✓	✓	✓	✓	✓
temperature	✓	✓	✓	✓	✓
chemicals/gas	✓	✓	✓	✓	✓

Table 5 Automotive sensor requirements

- low-cost
- reliability
- robustness in harsh environment
- high-performance

적으로 요구되며, 자동차용 센서 개발에서의 핵심은 자동차라는 특수한 환경^{6,7)}에서 높은 성능과 신뢰도를 유지할 수 있는 센서를 보다 값싸게 만드는 데 있다.

한편 센서의 작동원리, 구조 및 형태 뿐만 아니라 성능, 가격에 이르기까지 거의 모든 특성이 센서가공 기술에 의해 좌우되는 바가 크므로, 자동차용 센서를 개발함에 있어서 설계이전 단계부터 특정 가공기술의 선정이 필요하며, 그 이후 센서 개발의 모든 단계에서는 선정된 가공기술을 바탕으로 모든 결정이 이루어져야 한다. 따라서 자동차용 센서의 가공기술을 결정함에 있어서 가장 중요한 판단의 기준은 선정된 가공기술을 기반으로 센서를 설계, 제작하였을 때 자동차용 센서의 요구특성(Table 2)을 어느 정도까지 실현시킬 수 있는가 하는 것이 된다.

3. 미세가공기술 (Micromachining Technology)

근래 자동차용 센서 제작을 위한 가공기술과 그로 인한 센서형태의 변천 과정을 살펴보면, 기계가공기술에 의한 감지구조물과 별도제작된 감지회로를 전선으로 연결하여 구성한— 이른바 기계—전자 접속형태의 센서에서, 반도체 미세가공기술(micromachining technology)^{8,9)}을 기반으로 한 반도체형 센서로의 전환이 이루어져 왔음을 알 수 있다. 그 대표적인 예로서 자동차용 위치센서(position sensor)와 압력센서(pressure sensor)의 반도체화를 들 수 있다.

먼저 위치센서의 경우 1960년대 말경 기계식 접촉(mechanical contact) 감지 방식에서 반도체식 부접촉 감지 방식인 Hall effect 센서로 발전하였고, MAP (Manifold Absolute Pressure) 센서의 경우 1970년대 Cadillac Seville와 Ford EEC(Electronic Engine Control) 등에 사용되던 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) 방식의 기전접촉식 센서에서 1983년 Ford EEC IV에서 Motorola의 반도체식

SCAP(Silicon Capacitive Absolute Pressure) 센서를 사용한 이래 현재 MAP 센서의 대부분이 반도체형 센서로 전환이 완료된 상태이다.

이러한 센서가공방식의 변환은 반도체 미세가공에 의한 센서가 종전의 기계식 가공에 의한 센서에 비해 크기, 성능, 신뢰성 및 가격면에서 뛰어나 Table 5에 보인 자동차용 센서의 요구특성을 더욱 잘 만족시켜 주기 때문이다.

이처럼 날로 중요성을 더해가는 반도체 미세가공 기술은 크게 나누어 기판가공(bulk-micromachining)기술과 표면 혹은 박막가공(surface-micromachining)기술의 두가지 기술로 구별할 수 있으며, 이들 두 가공기술의 차이점을 설명하기 위해 각각의 가공기술에 의한 외팔보 제작공정을 Fig. 4와 Fig. 5에 예시하였다.

Table 6 Micromachining technology comparison

	bulk-micromachining	surface-micromachining
birth year	1940's	1980's
object to be machined	substrate	thin film on the substrate
machining principles and characteristics	direction-dependent (anisotropic) chemical etching; isotropic chemical etching	anisotropic; dry etching; material-selective chemical etching
etch-stop	diffused or buried layer; electrochemical passivation	passivation film
system approach	hybrid system	unitarial system

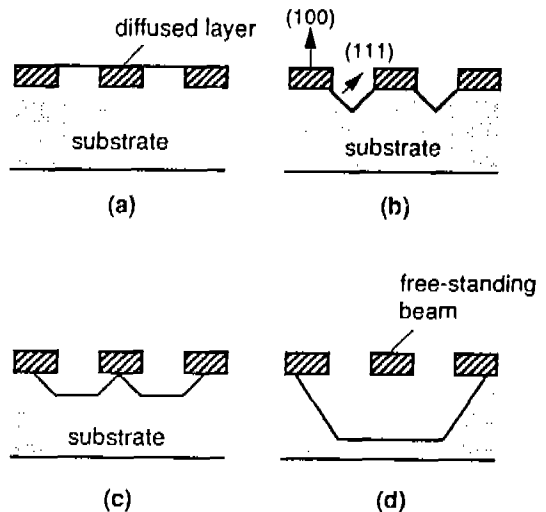


Fig. 4 Bulk-micromachining of a free-standing beam: a cross-sectional view

먼저, 기관가공기술은 1960년대 초 미국 Bell Laboratory에서 개발¹⁰⁾한 미세가공 기술로서, Fig.4에 보인바와 같이 화학적 식각(chemical etching)을 이용하여 기판(substrate) 자체를 가공함으로써 센서용 미세구조물을 만드는 기술이다. 여기서 사용하는 화학적 식각은 기판재질의 결정면 방향에 따른 이방성 식각(anisotropic etching)¹¹⁾이나 결정면 방향과 무관한 등방성 식각(isotropic etching)¹⁰⁾에 기초를 두고 있으며, 내식성이 강한 불순물층이나 전기화학적 접점(junction)을 이용하여 식각을 조절한다.

한편 박판 가공기술은 원래 집적회로(IC) 제작을 위한 기술로서, 1980년대 UC Berkeley에서 미세기계구조물 제작에 응용^{12,13)}한 이래, 센서를 위한 미세구조물^{8,9)} 뿐만 아니라 의료, 수술기, 전자, 통신, 정밀기기, 반도체 제조장비 등 다양한 분야의 제품개발¹⁴⁾과 신제품 창출 등 응용잠재력을 지닌 기술¹⁵⁾로 주목받고 있다. 박막가공기술은 기관가공 기술과는 달리 기판자체를 가공하는 것이 아니라, 기판위의 박막소재를 가공하여 미세구조물을 제작하며(Fig. 5), 이때 기판은 단순히 박막구조물을 지지하는 기초역할만 한다. 박막가공기술에 응용되는 식각법은 플라즈마 등을 이용한 건식식각(dry etching)과 박막재질에 따른 선택적 화학식각(material-selective chemical etching)의 조합으로 이루어지며, 내식성이 강한 재질의 박막을 이용하여 식각을 조절한다. Fig.6은 이러한 미세가공 기술에 의해 제작된 반도체 센서의 크기를 나타내는 것으로써, 센서 크기가 오히려 IC chip 보다 작음을 보여준다.

이러한 두 종류의 반도체 미세가공 기술의 특성을 정리하여 Table 6에 비교하였으며, 그중 박막가공기술의 가장 큰 장점은 미세감지 기계구조물의 제작공정이 직접회로 제작공정과 동일(compatible)하여 기계구조물과 전자회로의 동시제작이 가능하므로, 기계·전자복합시스템을 하나의 칩(chip)으로 집적시킬 수 있다는데 있다.

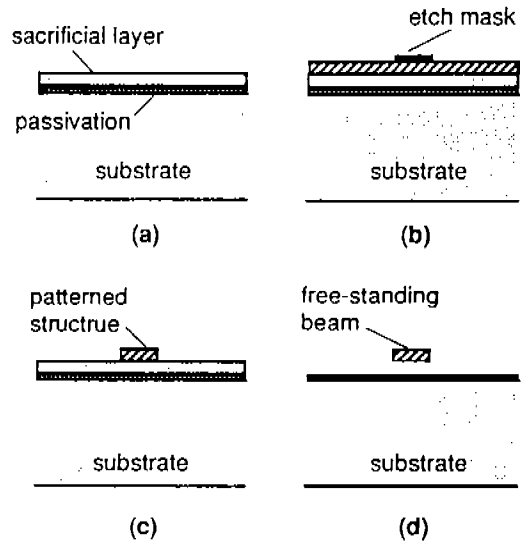


Fig.5 Surface-micromachining of a free-standing beam: a cross-sectional view

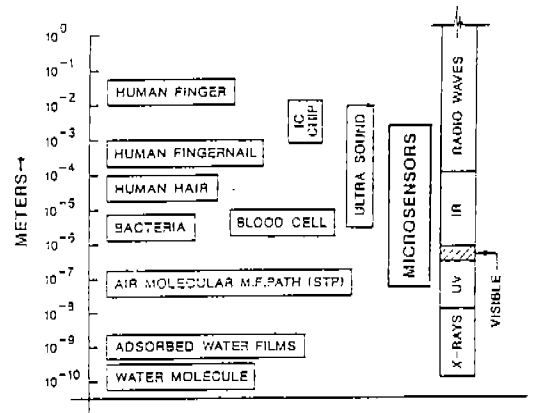


Fig. 6 Comparative scale of microsensors¹⁶⁾

4. 반도체 미세 액튜에이터 (Solid-State Microactuators)

반도체 미세가공기술로 제작된 여러가지 미세액튜에이터들(microactuators)중 자동차와 관련이 있는 것으로는 공진모터, 밸브 및 펌프 등을 들 수 있다. 여기서는 이들 액튜에이터의 개발 예를 통하여 실제 제작에 사용된 미세가공기술과 그로인한 액튜에이터의 성능과 특징을 소개하고 나아가 이들 미세액튜

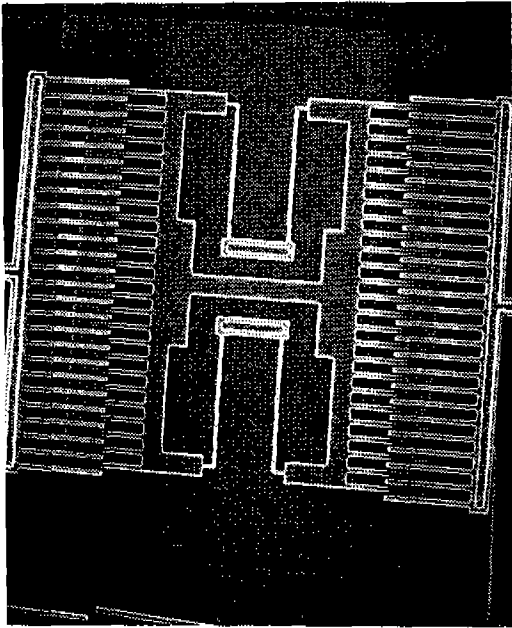


Fig. 7 A micromachined polysilicon resonant-structure micromotor¹⁷⁾, powered by Interdigitated comb drive

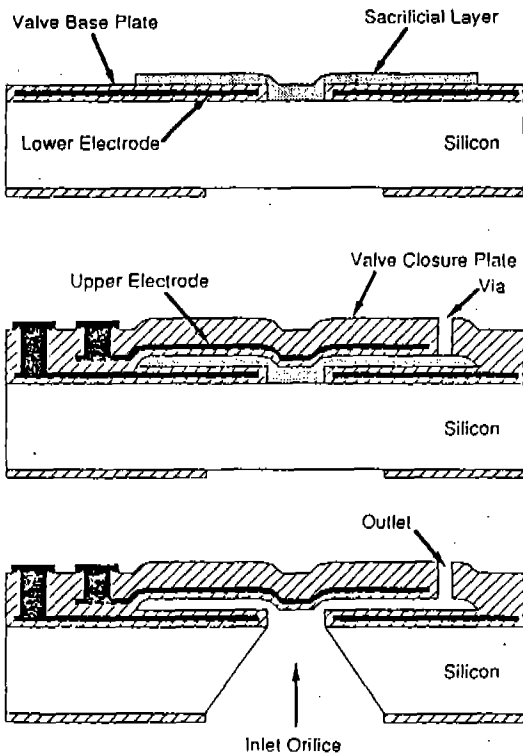


Fig. 8 A micromachined silicon microvalve¹⁸⁾

에이터와 자동차용 센서와의 연관성을 제시하고자 한다.

Fig. 7은 박막가공기술에 의해 제작된 정전 공진모터(electrostatic resonant micromotor)의 전자현미경(SEM) 사진으로써, 빗살모양의 구조물(comb structure) 사이에서 발생하는 정전력(electrostatic force)을 이용하여 구조물 전체를 공진주파수로 구동시킴으로써 큰 진폭의 운동을 발생시키는 액츄에이터의 한 예이다. 사진의 정전공진모터 구동부는 $2\mu\text{m}$ 두께의 다결정 실리콘을 소재로하여 박막가공기술에 의해 제작되었으며, 빗살의 폭과 간격이 각각 $2\mu\text{m}$ 씩이고, 전체크기가 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 정도로 전체구동부의 공진주파수가 약 67kHz 이다. 이러한 정전공진모터는 미세구조물 구동을 위한 동력장치로 사용될 뿐만 아니라, 공진주파수 변화를 통해 가속도, 압력, 온도 등 주위물리량 변화를 측정하는 공진센서(resonant sensor)로 응용되기도 하며, 뒤에 소개할 반도체 집적 에어백 센서 등에서 서어보 동력장치 역할을 담당하는 등 광범위한 응용분야를 내포하고 있다.

Fig. 8은 미국 Honeywell 사에서 제작한 미세밸브(microvalve)로써, 약 $1\mu\text{m}$ 두께의 밸브에 정전력을 가하여 유체의 흐름이나 압력을 조절할 수 있게끔 설계, 제작되었다. 먼저 밸브와 전극 등 주요부를 박막가공기술로 제작한 후, 밸브 통로(입구)는 실리콘 기판 자체를 기판가공기술을 이용하여 가공한 것이다.

Fig. 9는 독일의 Fraunhofer 에서 개발한 정전펌프(electrohydrodynamic pump) 로써, 그리드(grid)모양의 두 전극사이에 전위차를 두고 쿨롱 인력(Coulomb force)을 이용하여 에타놀, 아세톤 등과 같은 극성유체의 흐름을 발생시킨다. 이러한 펌프는 먼저 기판가공기술로 전체 크기 약 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 의 기판을 가공하여 그리드 모양의 전극을 만든다음, 두개의 그리드 판을 $250\mu\text{m}$ 간격으로 접합(bonding)한 것으로, 1분당 14ml의 유체를 펌프할 수 있다.

Fig.10은 서로다른 세종류의 기체를 흡입, 혼합하여 배출할 수 있는 기체 혼합으로써, 사진의 상·하, 그리고 우측변에 4개씩 배열된 미소밸브를 정전력으로 작동시켜 각각 서로다른 세종류의 기체를 흡입한 후, 중앙에서 혼합하여 좌측 배출구로 혼합기를 배출한다. 이 기체 혼합기는 모두 박막가공기술로 제작되었으며, 크기 $100\sim 400\ \mu\text{m}$, 두께 $1.2\sim 4\ \mu\text{m}$ 의 밸브를 전위차 $50\sim 75\text{V}$ 로 작동시킬 때 분당 $12\sim 640\text{ml}$ 의 기체를 혼합시킬 수 있다.

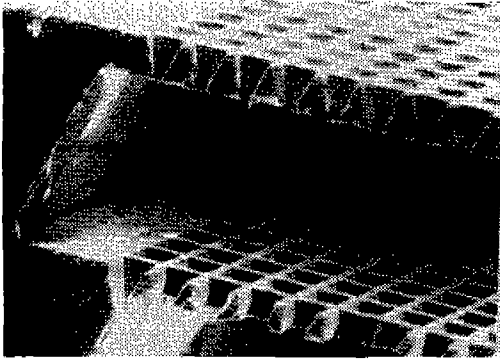


Fig. 9 An electrohydrodynamic micro-pump¹⁹⁾

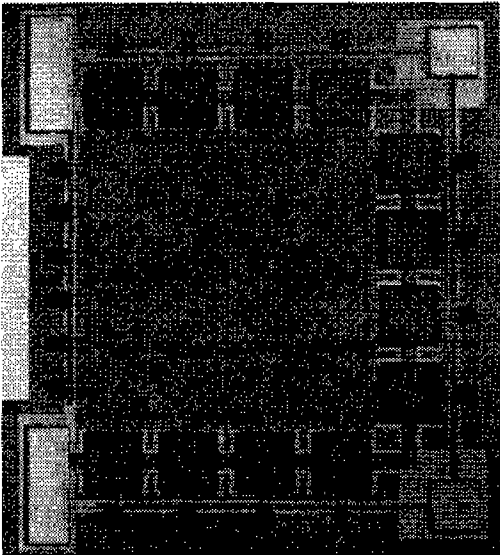


Fig.10 A surface-micromachined mechanical membrane pump²⁰⁾

위에서 소개한 미소밸브와 펌프들(Fig.8.9. 10)은 자동차의 연료분사장치 등에 응용될 수 있을 뿐 아니라 고성능 개스센서의 흡입장치로도 사용된다. 밸브와 펌프를 응용한 센서의 한 예로는 Fig.11의 가스분석기를 들 수 있는데, 이러한 가스분석기는 주위의 기체를 밸브나 펌프로 흡입하여 분석함으로써 감지의 성능과 효율 향상을 꾀하고 있다.

따라서 반도체 미세가공에 의한 미세공진 모터(Fig.7)나 미세밸브(Fig.8) 그리고 펌프(Fig.9. 12) 등은 미세액츄에이터(micro-

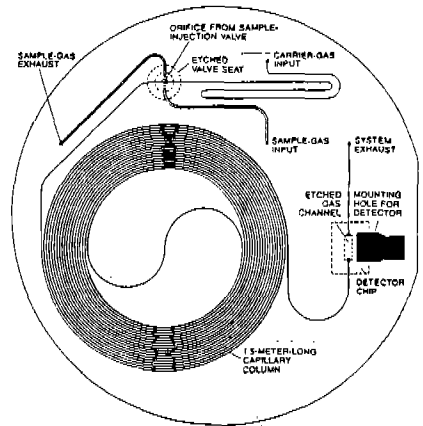
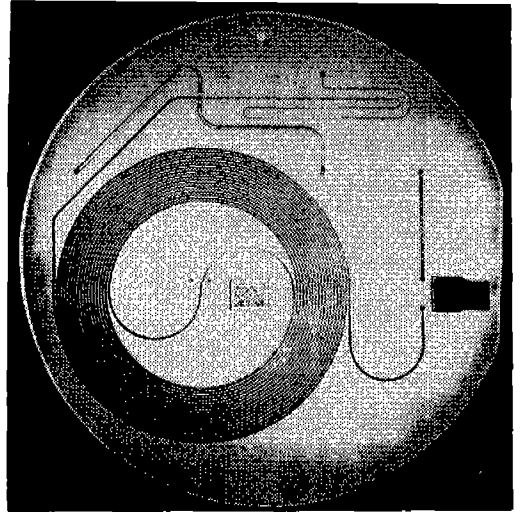


Fig.11 A gas chromatography²¹⁾ equipped with grooves and valves

actuator) 들로써 각각 독자적인 기능을 담당하기도 하지만, 고성능센서에서 서어보 동력장치나 흡입기등의 주요부품으로도 응용되고 있다.

5. 반도체 집적센서 (Solid-State Integrated Sensors)

자동차 전장기능시스템 구성에 필요한 주요센서들 (Table 4) 중, 시장의 규모나 기술의 중요성 등의 요인에 의해 비교적 관심이 크다고 할 수 있는 압력센서, 가속도계, 유량계에 관해 살펴보기로 한다.

5.1 압력센서 (Pressure Sensors)

자동차용 압력센서는 연료압력과 연소실 및 기관(manifold) 압력을 측정하는 등 전자식 엔진제어시스템 작동에 있어서 중추적인 역할을 담당하고 있을 뿐 아니라, 타이어 공기압 측정과 브레이크 오일 및 변속기오일 압력 측정 등 다방면에 걸쳐 사용되고 있어 자동차용 센서 중 가장 큰 시장규모를 차지하고 있다.

압력센서의 일반적인 작동원리는 압력차에 의한 박판의 변형을 측정하는 것으로, 가장 간단한 예로 기관가공기술에 의한 압저항형 압력계의 구조를 도시하면 Fig.12와 같다. 그림의 압력계는 기관가공기술에 의해 제작된 박판위에 저항체(resistor)를 설치함으로써, 박판양면의 압력차에 의한 박판변형을 저항체의 저항변화로 나타낸다. 이러한 초기의 단순압력 센서에 NMOS 증폭회로와 온도보정을 위한 저항체를 첨가하여 한단계 발전시킨 것

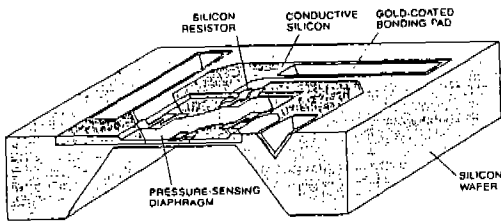
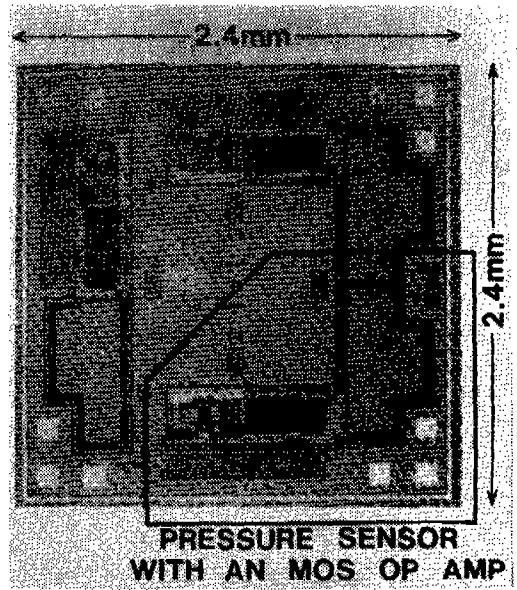
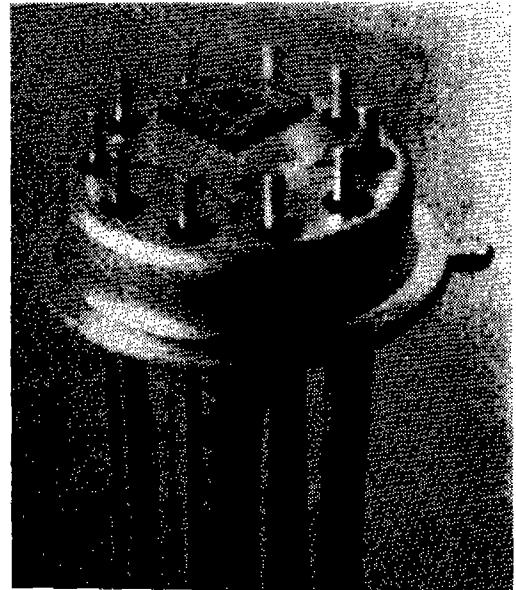


Fig.12 Cross section of a silicon pressure sensor



(a) NMOS integrated silicon pressure sensor.



(b) The pressure sensor, bonded to the glass plate, and mounted on a TO-5 header with a pressure-inlet tube.

Fig.13 A plezoresistive pressure sensor²⁾, Integrated with an NMOS circuit

이 Fig.13의 압력센서이고, 1991년 Berkeley Sensor & Actuator Center 에서 개발한 압력센서(Fig.14)는 박막가공기술을 이용한 것으로 압력센서와 함께 온도보정을 위한 온도센서, NMOS 회로와 A/D converter 까지 집적시켜 모두 하나의 chip 으로 만듦으로써 압력센서의 소형화, 다기능화, 고성능화와 함께 제작경비의 절감을 꾀하였다.

이러한 일련의 압력센서 개발예를 살펴볼 때, 온도센서 등의 보조센서를 이용한 압력측정의 정확성과 신뢰성향상, 그리고 여러가지 기능의 전자회로의 집적을 통한 소형화 및 다기능화 추세를 관찰할 수 있다.

5.2 가속도계 (Accelerometers)

자동차용 가속도계는 압력센서의 반도체화 이후, 최근들어 가장 큰 관심이 집중되고 있는 센서로써, 전자식 엔진제어시스템(knock 센서), ABS, 에어백, 전자식현가시스템 등 거의 대부분의 주요 전장기능시스템의 핵심요소로 주목받고 있다.

스트레인 게이지를 기반으로하는 기존의 기존 접속식 가속도계에서 견고성, 신뢰성 그리고 노이즈 측면에서 많은 문제점이 제기된 이래, 이를 보완하기 위한 센서로써 1970년대 말경 기관가공 기술에 의한 실리콘 가속도가 개발되었다. Fig.15는 1979년 Stanford 대학에서 개발한 저항형(piezoresistive) 실리콘 가속도계로써, 기관가공기술에 의한 질량과 외팔보 형태의 스프링으로 구성되어 있으며 전체크기는 약 $2 \times 3 \times 0.6 \text{ mm}$ 이고 가속도 측정범위는 $0.001 \text{ g} \sim 50 \text{ g}$ (100 Hz bandwidth) 이다. 한편 1980년대 중반 UC - Berkeley 에서 기관가공기술과 박막가공기술을 동시에 이용한 압전형(piezoelectric) 실리콘 가속도계(Fig.16)가 개발되었다. 이 가속도계는 종전의 기관가공기술에 의한 질량, 외팔보 등의 구조물에 박막가공 기술에 의한 FET(Field Effect Transistor) 감지회로를 집적시킨 것으로, $\pm 50 \text{ g}$ (200 Hz bandwidth) 의 가속도 측정범위를 가진다.

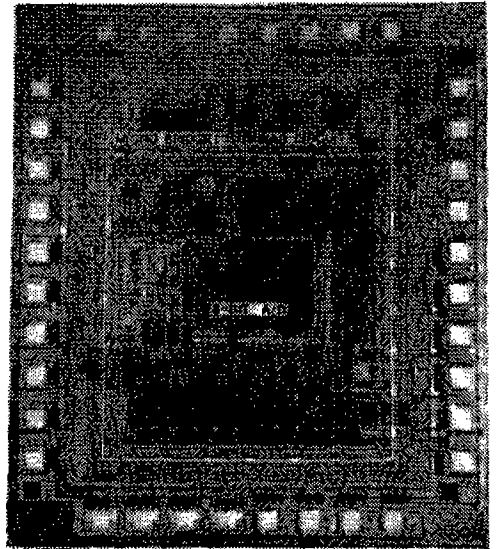


Fig.14 An absolute pressure sensor²³⁾, Integrated with a microbridge temperature sensor, NMOS bias circuits, and an 8-bit A/D converter



Fig.15 A batch-fabricated silicon accelerometer²⁴⁾

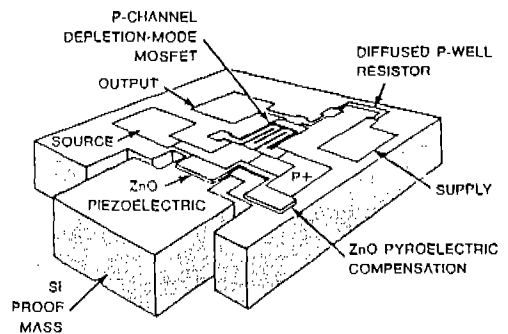
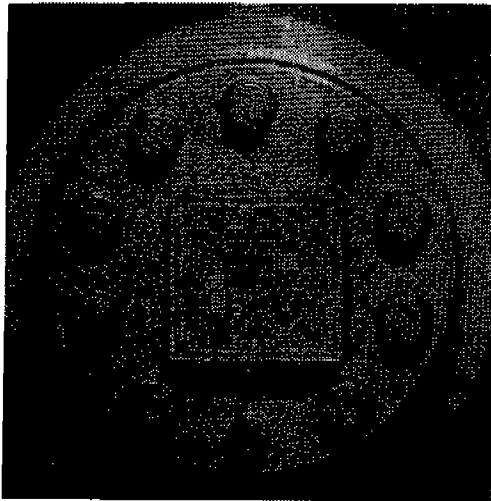


Fig.16 A silicon piezo-FET accelerometer²⁵⁾, Integrated with on-chip detection circuit

1991년 미국 Analog Device 에서는 세계 최초의 박막가공 기술에 의한 에어백 가속도계 (Fig.17) 을 개발함으로써 질량, 스프링 등 미세구조물 뿐만 아니라 증폭회로, 보정회로 및 자체진단기능까지 모두 하나의 칩으로 집적화 시키는데 성공하였다. 이 가속도계는 Fig.17(b)와 같은 빗살모양의 구조물을 이용하여 정전용량형(capacitive)감지와 Fig.7의 미세구동기능을 결합시킴으로써 폐회로제어(closed-loop control)방식에 의한 force-balancing 시스템을 구현시킨 것이다.



(a) The accelerometer mounted on a TO-5 can.

이상과 같은 일련의 가속도계 개발에를 통하여 볼 때, 압력센서 경우와 마찬가지로 감지를 위한 미세구조물과 전자회로의 집적을 통한 센서의 다기능화 및 고성능화 경향이 지배적이며, 센서내에 액츄에이터를 내장시킴으로써 폐회로 제어를 실현시킴과 동시에 성능 향상을 꾀하고 있음을 알 수 있다.

5.3 유량계 (Flow Sensors)

자동차용 유량계는 전자식 엔진제어시스템에서 공기 및 연료 등의 유량을 측정하는데 사용되며, 반도체 미세가공 기술에 의한 유량계는 크기가 작아 유체의 흐름에 큰 저항을 주지 않고 측정할 수 있다는 장점이 있다.

Fig.18과 Fig.19는 각각 Ford와 Siemens에서 개발한 자동차용 반도체 유량계로써

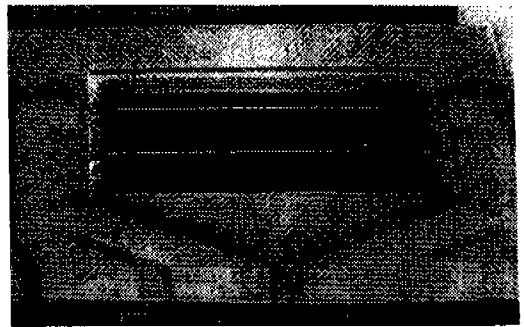
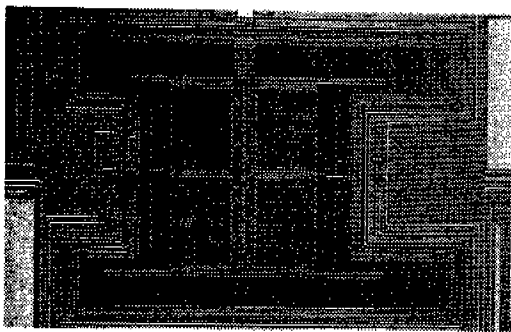


Fig.18 A micromachined silicon mass-air-flow sensor²⁸⁾



(b) A close-up of the interdigitated sensing element on the airbag accelerometer.

Fig.17 A surface-micromachined airbag accelerometer^{26,27)}

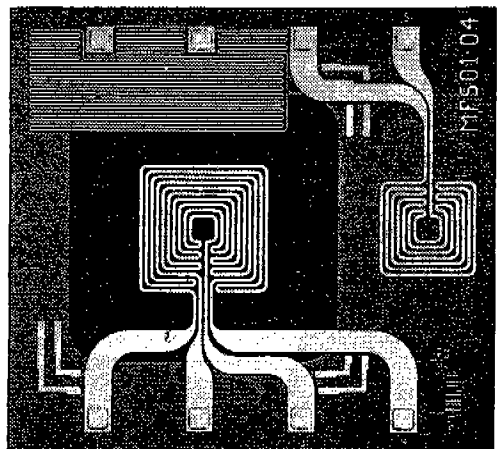


Fig.19 A surface-micromachined silicon hot film anemometer²⁹⁾

측정원리는 모두 열선(hot-wire) 방식을 채택하고 있으나, Fig.18의 열선은 기관가공기술에 의해 제작되었고 Fig.19의 경우는 박막가공기술에 의해 제작한 것이다. Fig.19의 유량계는 박막가공기술을 이용하여 박막형 열선을 제작함과 동시에 온도센서를 집적시킴으로써, 기관가공기술에 의한 열선(Fig.18)이 내포하고 있는 내구성의 문제—즉 유체중의 먼지나 입자 등에 의해 파손되기 쉽다는 단점—를 보완함과 동시에 센서의 크기 및 전력소모의 최소화와 함께 온도보정을 통한 유량측정의 정확성 향상을 꾀하였다. 또한 TAB (Tape Automated Bonding)³⁰⁾ 방식을 통해 패키징(packaging)의 경제성과 편의성을 향상시킨 점도 주목할 만 하다.

6. 자동차용 반도체 센서의 형태 및 제작기술의 발전경향

앞서 소개한 자동차 반도체 센서의 개발예를 통하여 센서의 주요특성과 형태 그리고 관련 기술의 발전경향을 진단해 보면 다음과 같은 기능의 집적화 경향을 볼 수 있다.

- 1) 센서와 회로와의 집적(Sensor with on-chip circuitry)
- 2) 센서와 보조센서와의 집적(Sensor with auxiliary sensors)
- 3) 센서와 액츄에이터와의 집적(Sensor with actuators)

센서와 회로의 집적은 압력센서(Fig.13, 14)와 가속도계(Fig.16, 17) 등의 예에 소개한 바와 같이, 감지를 위한 미세구조물에 감지회로, 보정회로, 신호처리회로 등을 첨가함으로써 감지의 신뢰성과 정확성 향상을 꾀할 수 있다는 장점을 지닌다. 센서와 보조센서와의 집적은 압력센서(Fig.14)와 유량계(Fig. 19)의 경우 온도보정을 위한 온도센서의 첨가 등이 그 구체적인 예이다. 센서와 액츄에이터의 집적은 개스분석기(Fig.11)의 경우 개스센서와 밸브의 조합, 그리고 에어백 가속도계(Fig.17)의 경우 빗살모양 정전액츄에

이터의 조합을 들 수 있으며, 최근 반도체 센서의 작동이 개회로(open-loop)방식에서 폐회로(closed-loop)방식으로 발전함에 따라 액츄에이터를 이용한 센서 서어보동력장치 응용이 늘어가고 있다.

자동차용 센서에 있어서, 이러한 기능집적을 통한 고성능화의 경향은 앞서 언급한 북미산 자동차에 대한 센서시장조사(Table 3)에서도 유출할 수 있다. 즉 센서의 시장증가율(14.4%)이 갯수증가율(12.6%)보다 앞서고 있음이 기능집적을 통한 센서의 고급화의 한 예라 볼 수 있다.

한편 자동차 전장기능시스템(Fig.2) 측면에서 볼 때, 지능형(intelligent or smart)센서³¹⁾의 출현과 함께 센서와 논리회로(logic), 프로세서, 기억장치 등 ECU와의 집적이 가속화되고 있으며, 전장기능시스템 간의 집적(Fig.20)에 의해 지능형 센서 사이의 정보교환 및 접속(interface)의 중요성이 증대되고 있다.

이러한 자동차 전장기능시스템 및 센서에서의 집적화 경향은 기능요소 집적을 통한 작동의 정확성, 신뢰성, 성능 및 가격경쟁력 향상에 그 목적이 있으며, 기능 집적화 이면에는 감지를 위한 미세구조물과 전자회로와의 집적화를 가능케 한 박막가공 기술의 발전이 중요한 원동력이 되고 있음을 주목할 필요가 있다.

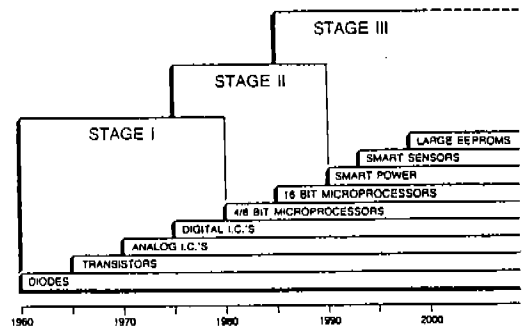


Fig.20 Three evolutionary stages in automotive electronics³²⁾, distinguished by the type of semiconductor devices

7. 맺음 말

후 기

최근 기술선진국의 자동차 업계에서는 첨단 기술을 기반으로 한 자동차 전장기능시스템이 첨가료, 자동차 관련 법적규정 준수와 소비자 선호도 만족을 통한 제품경쟁력 향상과 함께, 부가가치의 극대화를 동시에 꾀하고 있다. 이러한 자동차 전장기능시스템의 성공적 실현을 위하여서는 자동차 특성에 부합하는 기능논리 개발과 함께 기능논리에 정확하고 신뢰도 높은 정보를 제공해 줄 수 있는 고성능, 저가, 고신뢰도 센서 개발이 중요한 관건이다.

자동차 핵심전장 기능시스템과 센서를 개발함에 있어서 자동차의 정적, 동적특성에 관한 이해가 우선적으로 필요하며, 이러한 관점에서 볼 때 최근 기술선진국의 자동차 업계와 같이 국내 각 자동차 회사마다 자사제품 특성에 부합되는 전장시스템과 센서개발에 중점을 두어야 할 것이다.

또한, 제작기술의 발전으로 박막가공기술에 의한 미세감지구조물과 전자회로, 보조센서, 액츄에이터 등의 기능요소들의 집적이 가능하게 되었고, 자동차용 센서의 소형화, 다기능화, 제작경비의 저렴화와 함께 전장기능시스템간의 집적화 경향이 지배적이다. 이와같은 제작기술의 발전추세에 비추어 볼 때, 앞으로 자동차 전장기능 시스템과 센서 제작에 있어서 IC 제작기술을 응용한 박막가공기술의 수요증대와 함께 전자회사의 역할이 날로 증가할 것으로 예상된다.

이러한 자동차 전장기능시스템과 센서관련 첨단 핵심기술의 확보 및 국제기술 경쟁력 향상을 위해서는 기계, 전자, 재료, 전산 등 복합적인(interdisciplinary) 전문기술을 갖춘 인력양성과 전자 및 자동차 회사의 공동 연구를 통한 복합기술의 창의적 종합이 요구되며, 나아가 관련제품 및 산업으로의 응용을 통한 기술응용력 개발에 중점을 두어야 할 것이다.

본 원고를 위하여 전자현미경 사진을 보내 준 동료들과 여러 참고문헌의 저자들에게 감사의 뜻을 표하며, 원고의 내용을 자동차공학회지와 1992년 차체, 차량 동력학부문 강연회를 통하여 소개할 수 있게끔 모든것을 배려하여 주신 한국과학기술원 신현동 교수님과 이정권 교수님께 깊이 감사드립니다.

또한 원고정리에 많은 도움을 준 한국과학기술원 기계기술연구소의 변영주양과 인쇄되어 나오기까지 여러모로 수고하여주신 자동차공학회 여러분들께 고마움을 전한다.

참 고 문 헌

1. R.H. Grace, "Semiconductor Sensors and Microstructures in Automotive Applications," SAE International Automotive Engineering Congress, Detroit, Michigan, U.S.A., pp.245-260, Feb. 1991.
2. J.G. Rivard, "Automotive Electronics in the Year 2000," International Congress on Transportation Electronics, Convergence '86, Dearborn, Michigan, U.S.A., pp.20-22, Oct. 1986.
3. J.G. Rivard, "Electronic Engine Controls in the USA," in W.A. Kaiser and W.E. Proebster (Eds.), Electronics to Microelectronics, North-Holland, pp.586-590, 1980.
4. S.McClelland, "Motoring towards Automotive Sensors," Sensors Review, Vol.8, pp.195-197, 1988.
5. Market Intelligence Research Corporation, New and Emerging Markets for Automotive Sensors in North America, Mountain View, California, U.S.A., March 1990.
6. R.Press, "Requirements for Automotive Sensor," Sensors, pp.56-61, Sept. 1987.

7. Igarashi and T. Takeuchi, "Automotive Sensors," Proc. 2nd Sensor Symposium, The Institute of Electrical Engineers of Japan, pp.149-156, Nov. 1982.
8. R.T. Howe, R.S. Muller, K.J. Gabriel and W.S.N. Trimmer, "Silicon Micromechanics: Sensor and Actuators on a Chip," IEEE Spectrum, pp.29-35, July 1990.
9. K.D. Wise, "Micromechanical Sensors, Actuators, and Systems," Micromechanical Sensors, Actuators and Systems, DSC-Vol.32, The ASME Winter Annual Meeting, Atlanta, Georgia, U.S.A., pp.1-14, Dec. 1-6, 1991.
10. D.L. Klein and D.J. D'Stefan, "Controlled Etching of Silicon in the HF-HNO₃ System," J. Electrochem. Soc., Vol.109, pp.37-42, 1962.
11. R.M. Finne and D.L. Klein, "A Water-Amine-Complexing-Agent System for Etching Silicon," J. Electrochem. Soc., Vol.114, pp.965-970, 1967.
12. R.T. Howe and R.S. Muller, "Polycrystalline Silicon Micromechanical Beams," Extended Abstract, Electrochemical Society Meeting, Montreal, PQ, Canada, pp.184-185, May 1982.
13. L.-S. Fan, Y.-C. Tai and R.S. Muller, "Pin Joints, Gears, Springs, Cranks and other Novel Micromechanical Structures," Tech. Digest, Transducers '87, Tokyo, Japan, pp.849-852, June 1987.
14. Y.-H. Cho, "Micromachine: Recent Development in Micro Electro Mechanical Systems with Their Potential Applications," Submitted to Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, March 1991.
15. Transforming the Decade: 10 Critical Technologies, The New York Times, Jan. 1991.
16. K.S. Udell, A.P. Pisano, R.T. Howe, R.M. White and R.S. Muller, "Microsensors for Heat Transfer and Fluid Flow Measurements," Proc. 1st World Conf. Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Dubrovnik, Yugoslavia, Sept. 4-9, 1988.
17. Y.-H. Cho, "Optimal Structural Design of Resonant-Structure Micromotors," Presented at the IAB (Industrial Advisory Board) Meeting, Berkeley Sensor & Actuator Center, University of California at Berkeley, Berkeley, California, U.S.A., Sept. 1989.
18. T. Ohnstein, T. Fukiura, J. Ridley and U. Bonne, "Micromachined Silicon Microvalve," IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop (MEMS '90), Napa Valley, California, U.S.A., pp.95-98, Feb. 11-14, 1990.
19. A. Ritcher and H. Sandmaier, "An Electrohydrodynamic Micropump," MEMS '90, Napa Valley, California, U.S.A., pp.99-104, Feb. 11-14, 1990.
20. J.W. Judy, T. Tamagawa and D.L. Polla, "Surfacemachined Micromechanical Membrane Pump," MEMS '91, Nara, Japan, pp.182-186, Jan. 30-Feb. 2, 1991.
21. S.C. Terry, A Gas Chromatography System Fabricated on a Silicon Wafer using Integrated Circuit Technology, Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, California, U.S.A., 1975.
22. H. Tanigawa, T. Ishihara, M. Hirata and K. Suzuki, "MOS Integrated Silicon Pressure Sensor," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-32, No.7, pp.1191-1195, July 1985.
23. C.H. Mastrangelo, Thermal Applications of Microbridges, Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, Berkeley, California, U.S.A., Jan. 1991.
24. L.M. Roylance and J.B. Angell, "A Batch-Fabricated Silicon Accelerometer," IEEE Trans. Electron Devices, Vol.26, No.12, pp.1911-1917, Dec. 1979.
25. R.S. Muller, P.L. Chen and A.P. Andrew, "Integrated Silicon PI-FET Accelerometer with

- Proof Mass," Sensors and Actuators, Vol.5, pp.119-126, 1984.
26. R.S. Payne and K.A. Dinsmore, "Surface Micromachined Accelerometer: A Technology Update," SAE International Automotive Engineering Congress, Detroit, U.S.A., pp.127-135, 1991.
27. L. O'Connor, "MEMS: Microelectromechanical Systems," Mechanical Engineering, ASME, pp.40-47, Feb. 1992.
28. C.H. Stephan and M. Zanini, "A Micromachined Silicon Mass-Air-Flow Sensor for Automotive Applications," Transducers '91, San Francisco, California, U.S.A., pp.30-33, June 23-27, 1991.
29. R. Sulouff, R. Cook and L. Ang, "Silicon Micromachined Hot Film Anemometer for Automotive Applications," Microstructures, Sensors and Actuators, DSC-Vol.19, The ASME Winter Annual Meeting, Dallas, Texas, U.S.A., pp.119-128, Nov.25-30, 1990.
30. G.L. Ginsberg, Electronic Equipment Packaging Technology, Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A., Chap.4, 1992.
31. F. Heintz and E. Zabler, "Application Possibilities and Future Chances of Smart Sensors in the Motor Vehicle," SAE 890304.