

자동차용 마이크로센서의 전망과 기술현황

두 민 수

(만도기계(주) 중앙연구소 센서연구실)

1. 서 론

오늘날 전기전자공학의 눈부신 발전은 자동차 부문에서 예외는 아니어서 지난 몇년간 자동차의 전자화는 대단히 괄목할 만한 성장을 해왔으며, 이러한 새로운 전자 제어 시스템들의 자동차 탑재율은 앞으로 더욱더 가속화 될 전망이다.

여기서 자동차 전자화의 가속원인을 살펴보면,

* 각국 정부(특히 미국)의 자동차에 대한 규제 강화—연비향상, 매연감소, 자동차의 안정도 강화

* 편안하고 안전한 자동차를 원하는 소비자의 욕구증대

등을 들 수 있다.

이에 따라 좀더 새롭고 정교한 센서의 요구가 증대되고 있으며, 센서와 액츄에이터들은 가장 큰 폭으로 성장하고 있는 품목 중의 하나가 되었다. 일반적으로 자동차 전자시스템의 전자제어 유니트

(ELECTRONIC CONTROL UNIT ; E.C.U.)들은 적어도 3-4개의 센서들을 필요로 하게되는데 향후 5-10년 이내에 자동차들은 10개이상의 E.C.U. MODULE들을 갖게 될 것으로 전망되며, 따라서 향후에는 자동차 1대당 수십개의 센서가 필요하게 될 것이다. 이에 필요한 센서들은 표 1.에 정리하였다. 표 1.에서 사용된 약어는 다음과 같다.

ACS = AIR CONDITIONING SYSTEM

BC = BRAK CONTROL

DS = BRAKING SYSTEM

ISC = INFORMATION SYSTEM & COMMODITIES

NS = NAVIGATION SYSTEM

PC = POWERTRAIN CONTROL

SC = SUSPENSION CONTROL

SF = SAFETY FEATURES

SS = STEERING SYSTEM

표 1. 자동차용 센서

센서명	감지대상	적용시스템
ACCELERATION	BODY OSCILLATION	SC
	BODY VERTICAL ACCELERATION	SC
	BODY HORIZONTAL ACCEL.	SC
	CRASH DETECTION	SF
	KNOCK DETECTION	PC
ANGLE	STEERING POSITION	SS-SC

CHARGE	BATTERY CHARGE STATUS	PC-ISC
CO OR SMELL	AIR QUALITY	ACS-ISC
DIRECTION	NAVIGATION	NS-ISC
FUEL COMPOSITION	METHANOL IN FUEL	PC
	WATER IN FUEL	ISC
HEIGHT	SUSPENSION HEIGHT	SC
ICE	PRESENCE OF ICE ON ROAD	ISC-SF
INCLINATION	BODY TRIM	SC-BC
INERTIAL	NAVIGATION	N
INTRUSION	ANTITHEFT PROTECTION	SF
LAVEL	ABS OIL	BC-ISC
	BRAKES LIQUID	BC-ISC
	COOLING LIQUID	PC-ISC
	ENGINE OIL	PC-ISC
	FUEL	PC-ISC
	GEAR OIL	PC-ISC
	WINDSHIELD LIQUID	ISC
	HEADLIGHT CLEAING LIQUID	ISC
	SERVOBRAKE LIQUID	ISC
MASS FLOW	ENGINE INTAKE AIR	PC
	TREATED AIR	ACS
	FUEL	PC-ISC
OBSTACLE	REAR OBSTACLE DETECTION	SF-ISC
	WINDOW INTRUSION	SF
OIL STATUS	ENGINE OIL CONDITION	ISC
OXYGEN	EXHAUST GAS COMPOSITION	PC
POSITION	ACCELERATOR PEDAL	PC-ISC
	BUTTERFLY	PC-ISC
	CRANKSHAFT	PC
	CAMSHAFT	PC
	MIRRORS	ISC
	SEATS	ISC
	WHEELS	SC-SS
PRESSURE	AIR, BAROMETRIC	PC-ISC
	AIR, INTAKE MANIFOLD	PC-ISC
	AIR, DAMPERS	SC-ISC
	AIR, TIRES	SF-BS-ISC
	CYLINDERS	PC
	FREON	ACS
	FUEL	PC
	GAS, E.G.R.	PC
	OIL, ABS	BS

	OIL, BRAKES	BS
	OIL, DAMPERS	SC
	OIL, ENGINE	PC-ISC
	OIL, GEAR	PC-ISC
RADAR	OBSTACLE DETECTION	NS-SF
RAIN	INTENSITY OF THE RAIN	SF
PROFILE	ROAD PROFILE/CONDITIONS	SC
SPEED/POSITION	ENGINE R.P.M.	PS-ISC
	WHEEL R.P.M.	BS-ISC
	STEERING SPEED	SC-SS
TWILIGHT	EXTERNAL LIGHT INTENS.	SF-ISC
RADIATION	SOLAR RADIATION IN PASSENGER COMPARTMENT	ACS
START OF COMBUSTION	S.O.C. INSIDE CYLINDERS	
TEMPERATURE	AIR, EXTERNAL	PC
	AIR, INTERNAL	PC-ISC
	AIR, TREATED	PC-ISC
	BATTERY	ACS
	EXHAUST GASES	PC-SF
	EXHAUST RECIRCULATED GAS	PC
	FUEL	PC
	GEAR OIL	PC-ISC
	HEAT EXCHANGER	PC
	ENGINE OIL	PC-ISC
	SEATS	ISC
	TIRES	SF-ISC
TORQUE	ENGINE TORQUE	PC
	STEERING TORQUE	SC-SS
HUMIDITY	INTERNAL/EXTERNAL	ACS-ISC
VOICE RECONNAISSANCE	VOICE	ISC

2. 자동차의 전자화 및 자동차용 센서

자동차 전자 시스템들의 E.C.U는 그림 1.에서 보는 바와 같이 센서들을 통하여 시스템이 처한 여러 환경으로 부터 다양한 정보를 수집하고 판단한 후 적절히 액츄에이터를 동작시켜 그 기능을 수행하게 된다.

80년대까지만해도 이러한 전자 시스템들은 그 종류도 많지 않았으므로 전용의 STAND-ALONE

MODULE에 그 MODULE만이 사용가능한 센서와 액츄에이터를 부착하여 사용하였으며 다른 시스템 MODULE과는 거의 상호연관이 없었다.

따라서 이에 사용되는 센서들도, 기계식이거나 또는 단순히 잡음에 대한 신호의 비가 높은 TRANSDUCTION ELEMENT TYPE이 주종이었으며, 센서 신호의 증폭이나 선형화 등은 E.C.U의 MICRO-PROCESSOR가 직접 수행하였다.

그러나 전자화된 시스템이 증가하고 그 기능이 다

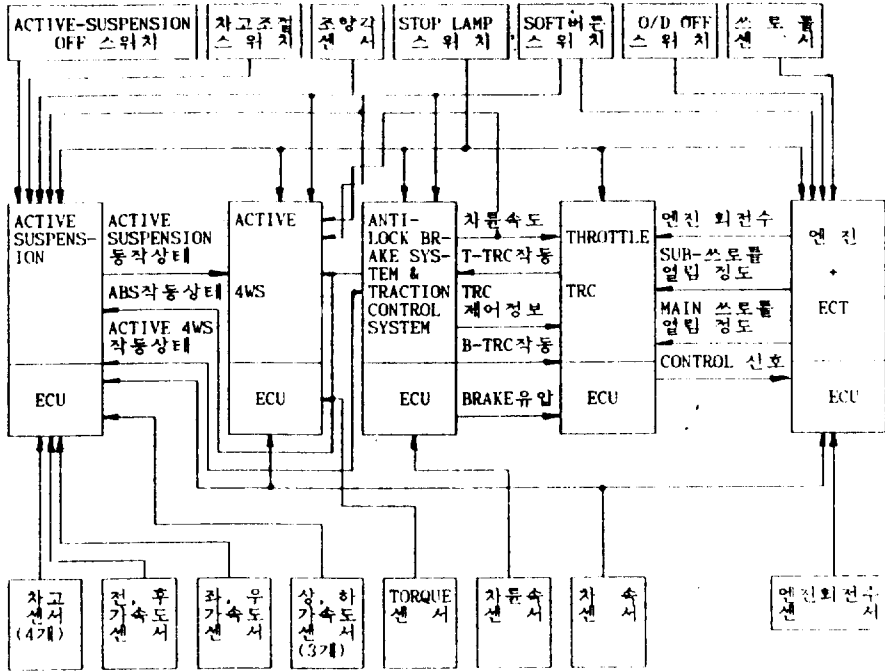


그림 1. 일본 도요다 자동차의 전자화된 차시 시스템

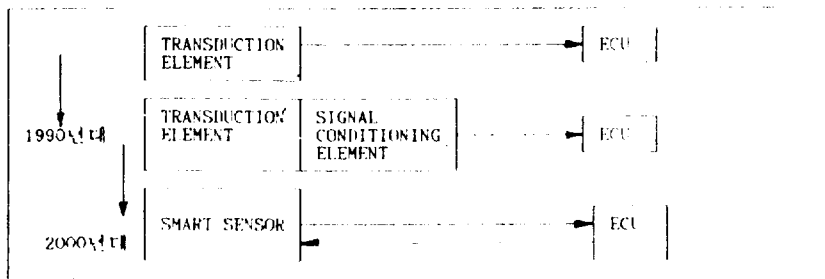


그림 2. 센서의 SMART화 경향

양화 됨에 따라 MICRO-PROCESSOR의 광복합 만 한 성장에도 불구하고 센서의 신호를 처리하는데 MICRO-PROCESSOR는 많은 처리시간 및 메모리를 소모하게 된다. 그러므로 MICRO PROCESSOR의 부담을 줄이기 위해서 잘 정형화된 센서의 신호를 제공하는 것이 중요하게 되었다. 즉 센서의 'SMART'화가 필요하게 된다. 이러한 점들을 만족시키기 위하여 센서들은 점차 기계식에서 전자식 센서 특히 마이크로 센서로 바뀌어가고 있으며, 이에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

이러한 SMART센서는 이론적으로는 가능할지라

도 센서가 사용되는 주변환경에 대한 제약(센서의 SIZE, 가격, 신뢰성 요구등) 때문에 자동차용으로 생산되기에는 많은 어려움이 있다. 이에 가장 적절한 기술이 실리콘을 이용한 센서기술과 박막/후막 기술을 이용한 센서 기술 즉 마이크로 센서 기술이라 하겠다. 이러한 마이크로 센서들은 현재의 자동차 시스템에서는 극히 제한적으로 사용되고 있으나 여러가지 장점 때문에 그 사용빈도가 급격히 증가하리라 예상된다. 향후 자동차의 전자시스템에 사용될 마이크로 센서류를 표2과 표3에 표시하였다. 여기서 "EXPERIMENTAL"이란 센서 그자체의 개

표 2. 실리콘을 이용한 자동차용 센서의 현황

TYPE OF SENSOR	PRINCIPLE	CURRENT SITUATION
ACCELERATION	PIEZORESISTIVE	EXPERIMENTAL
OPTICAL	MICROMACHINED STRUCTURE ELECTRO OPTICAL PROPERTIES OF SILICON DIODES AND TRANSIS- TORS	PRODUCTION
POSITION	HALL EFFECT	PRODUCTION
PRESSURE	PIEZORESISTIVE MICROMACHINED STRUCTURE	PRODUCTION
TEMPERATURE	TEMPERATURE DEPENDANCE OF V_{be} VOLTAGE OF NPN TRANSISTOR	PRODUCTION
ACCELERATION	CAPACITIVE MICROMACHINED STRUCTURE	EXPERIMENTAL
AIR FLOW	MICROMACHINED TEMPERATURE SENSITIVE ELEMENT	EXPERIMENTAL
CHEMICALS	MOSFET, ELECTRONIC CHARGE VARIATION ON GATE AREA	EXPERIMENTAL
HUMIDITY	CAPACITOR WITH POLYMERIC MEMBRANE	EXPERIMENTAL
INCLINATION	PIEZORESISTIVE MICROMACHINED STRUCTURE	EXPERIMENTAL
LEVEL	TEMPERATURE SENSITIVE ELE- MENT	EXPERIMENTAL

발이 진행중이거나 또는 센서는 개발이 완료되었으나 자동차 장착을 위해 장착 실험중인 센서를 의미함.

3. 실리콘을 이용한 마이크로 센서의 기술 현황

실리콘은 표4에서 보는 바와 같이 센서로 사용되기에 우수한 물성을 갖고 있어 센서의 감지소자로서 다양하게 이용되고 있다.

이러한 실리콘을 센서소자로 이용함으로써 얻게되

는 장점은 반도체 공정을 이용할 수 있기 때문에 대량생산이 가능하며 소자 하나 하나가 균일한 성능을 유지하여 센서의 신뢰성을 높일 수 있고 가격이 싸며 작은 크기로 센서를 생산할 수 있다는 점 등이다. 그리고 실리콘은 동일 CHIP상에 신호처리 부를 같이 실장할 수 있어 'SMART' 센서의 구현이 대단히 용이하다.

그러나 아직은 극복해야 할 몇가지 단점도 남아 있다. 첫째는 센서의 전기적 신호부분이나 접합부분 등을 주변의 오염물질로부터 보호해 주어야 하며, 둘째는 자동차용 센서의 사용환경 조건인 $-40^{\circ}\text{C} \sim +300^{\circ}\text{C}$ 정도의 약조건 하에서도 사용가능 해야

표 3. 박막/후막 기술을 이용한 자동차용 센서의 현황

TYPE OF SENSORS	PRINCIPLE	CURRENT SITUATION
ACCELERATION	PIEZORESISTIVITY OF THICK FILM RESISTOR	PRODUCTION
AIR FLOW	Pt HOT FILM ANEMOMETER	PRODUCTION
LEVEL	POTENTIOMETRIC	PRODUCTION
OXYGEN EXHAUST GAS	CONDUCTANCE VARIATION OF SEMICONDUCTOR OXIDES	PRODUCTION
POSITION	POTENTIOMETRIC	PRODUCTION
PESSURE	PIEZORESISTIVITY OF THICK FILM RESISTOR	PRODUCTION
PRESSURE	CERAMIC THICK FILM CAPACITANCE	PRODUCTION
CHEMICAL	CONDUCTANCE VARIATION IN SEMICONDUCTOR OXIDES	EXPERIMENTAL
HUMIDITY	CAPACITIVE WITH POLYMERIC DIELECTRIC	EXPERIMENTAL
OXYGEN (EXHAUST GAS)	SOLID ELECTROLITIC CELL	EXPERIMENTAL
POSITION	MAGNETORESISTANCE	EXPERIMENTAL

표 4. 실리콘의 물리·화학적 효과

신호 영역	능동 효과	수동 효과
Radiant	Photovoltaic effect	Photoconductivity
Mechanical	Piezoelectric effect	Piezoresistivity
Thermal	Seeback effect	Thermoresistive effect
Magnetic	Peltier effect	Hall effect
Chemical		Magnetoresistance Electrolytic conduction

한다는 점이다. 이러한 단점에도 불구하고 실리콘을 이용한 마이크로 센서는 앞으로 가장 유망한 센서입

에는 틀림이 없으나 적어도 당분간은 다른 기술과 비교하여 낮은 수율과 높은 제조 비용 때문에 이를 극복하기 위한 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

여기에서 실리콘을 이용한 자동차용 반도체 타입 마이크로 센서로서 가장 활발히 개발되고 있는 가속도 센서와 압력센서의 기술 현황을 기술하고자 한다.

3.1 고온용 마이크로 압력 센서

자동차에는 고온에서 사용되는 센서가 많이 필요하다. 실리콘을 사용한 반도체타입 마이크로 센서에서 가장 많이 이용되고 있는 PIEZORESISTIVE 타입 센서들은 대략 125°C정도로 그 사용상의 제한을 받게 된다.

즉 온도가 상승할 때 일어나는 P-N 접합의 전기

적 절연 때문에 특별히 설계되어도 175°C 이상을 넘기가 어렵다.

CAPACITIVE 타입 센서들은 P-N 접합과 같은 문제는 없으나 반대로 주변 회로가 온도에 제한을 받게 되어 같은 결과를 초래하게 된다.

이러한 문제의 해결책으로 가장 활발히 진행되는 연구가 SILICON ON ISOLATION(SOI) 기술이다. [5]이러한 기술을 바탕으로 적어도 1990년대 후반까지는 엔진 몸체에 직접 장착하여 사용할 수 있는 고온용 압력 센서의 개발이 이루어지리라 기대된다.

3.2 오염된 환경에서 사용 가능한 압력센서

일반적으로 가속도 센서를 제외한 대부분의 물리 화학 센서들은 정확한 측정을 위하여 센서를 측정하려는 외부 환경에 직접 노출시켜야 한다.

특히 자동차용의 압력센서들은 먼지, 오일, 휘발유의 오염물질에 직접 노출이 필요하다.

이를 극복하기 위해 사용되는 기술은, 측정하려는 오염 유체와 센서사이에 얇은 금속박막 아이이프렘을 만들고 그 안에 실리콘 오일과 같은 전달물질을 주입시켜 압력을 전달시키는 간접적인 방법을 주로 사용하고 있다.

이 금속 다이아프렘은 주로 316스테인레스강이 사용되고 있다. 이러한 종류의 압력센서들은 상대적으로 가격이 고가여서 현재는 주로 트랙터나 대형트럭 등 비 포장 도로용 차량에 국한하여 사용되고 있으나, 향후에는 차량의 자기 진단기능 등에 필수적으로 필요한 엔진오일 및 연료의 양과 압력측정, 그리고 에어컨의 냉매 압력측정 등에 광범위하게 사용될

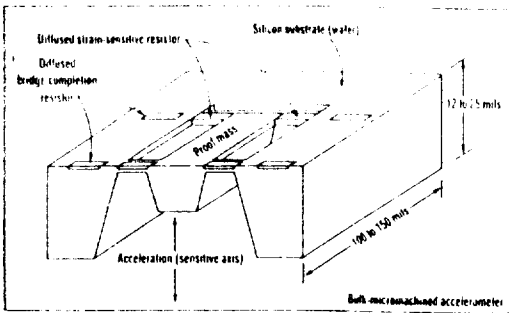


그림 3. BULK MICROMACHINING을 이용한 가속도 센서의 구조

전망이다.

3.3 가속도 센서

가속도센서는 압력센서에 비해 현재로는 그 시장 규모가 1/5~1/10로 적으나 가장 활발하게 개발이 진행되고 있는 마이크로 센서이다.

기존의 압전세라믹을 이용한 PIEZO-ELECTRIC 타입의 가속도 센서에 비해 실리콘을 이용한 가속도 센서의 장점은 다음과 같다.

- DC 출력 가능
- LOW OUTPUT IMPEDANCE
- REPEATABILITY
- OVER RANGE STOPS

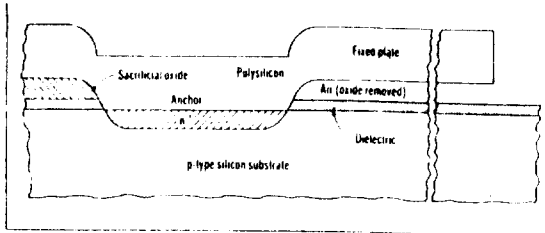


그림 4. SURFACE MICROMACHINING을 이용한 가속도 센서의 구조

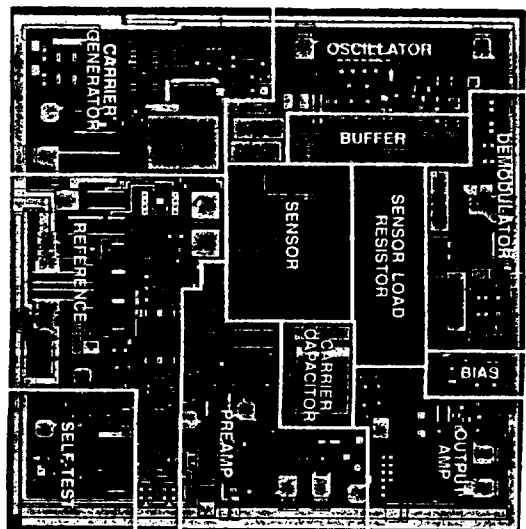


그림 5. ANALOG DEVICE사의 가속도 센서

실리콘을 이용한 가속도 센서의 개발방향은 크게 STRAINGAGE 원리를 이용하는 PIEZO-RESISTIVE 방식과 CAPACITIVE 방식으로 대별되며 이들을 구현하기 위한 구조물 제작 방법으로는 BULK MICROMACHINING 기술과 SURFACE MICROMACHINING 기술 등이 적용되고 있다.

전자의 대표적 회사는 "IC SENSORS", "NOVA SENSOR" 등이나 자동차용으로는 1991년 "LUCAS-NOVA SENSORS"사가 자동차 SMART SUSPENSION용($\pm 2g$ RANGE)의 가속도 센서 및 AIR-BAG SYSTEM용($\pm 50g$ RANGE)의 가속도 센서 2종류의 시작품을 개발하여 자동차 탑재시험을 하고 있다. 이들센서들은 가속도 감지부만 BULK MICROMACHINING 기술을 이용하여 그림 3과 같은 구조물을 만들고 신호처리부는 별도의 회로를 제작하여 접목시킨 HYBRID 형태들이다.

후자의 대표주자는 "ANALOG DEVICE"사로서 SURFACE MICROMACHINING 기술을 이용한 CAPACITIVE 타입의 가속도 센서를 AIR-BAG SYSTEM용($\pm 50g$ RENG)으로 1991년 첫 출시하여 자동차 탑재 시험 중이다.

ANALOG DEVICE사의 가속도 센서는 SURFACE MICROMACHINING 기술을 이용하여 웨이퍼 표면에 그림 4와 같은 미세진동구조를 만들고 그 주변에 BI-COMS 기술을 이용하여 그림 5와 같이 센서의 신호처리부를 같이 실장한 이른바 "SMART" 센서를 구현하였다.

차세대 자동차에는 전자제어 시스템을 예를 들면 AIR-BAG 시스템이나 SMART SUSPENSION 시스템들의 보급이 확대되리라 예측된다.

특히 AIR-BAG 시스템의 경우 미국에서는 정부규제로 장착이 의무화 될 예정이며 현재 이에 사용되는 기계식 CRASH 센서 등이 전자식의 실리콘마이크로 센서로 대체되리라 예견되기 때문에 마이크로 가속도 센서의 수요는 급속히 증대될 전망이다.

4. 결 론

자동차의 전자화가 급속히 진행됨에 따라 이에 사용되는 자동차용 센서의 역할은 점점 더 중요시 되고 있다.

특히 반도체 타입 마이크로 센서들은 다음과 같은 장점 때문에 차세대의 자동차에서 가장 널리 사용되리라 예측되며 아마도 1990년대가 이들 마이크로 센서의 분기점이 될 전망이다.

반도체 타입 마이크로 센서의 장점은

-높은 신뢰성을 갖으며 소자개개가 성능이 균일하다.

-대량 생산이 가능하며 크기가 작다.

-MICROPROCESSOR와 신호교환이 용이하다.

만도기계(주) 중앙연구소에서는 자동차의 전자화에 대응하여 여러가지 전자화된 자동차시스템들이 연구개발되고 있다. 개발중인 주요 시스템들을 살펴보면,

- ECS(ELECTRONIC CONTROLLED SUSPENSION)

- EPS(ELECTRONIC CONTROLLED POWER STEERING)

- ABS(ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM)

- AIR-BAG SYSTEM

- ACTIVE SUSPENSION

- 전기자동차

등이 상공부 공기반 자금 등 정부 지원 자금 및 자체 투자로 활발히 연구가 진행중이며 이러한 전자 시스템들에 소요되는 여러가지 자동차용 센서들이 본 센서 연구실에서 시스템과 병행하며 개발되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] FRANCIS GESLOT "THE ROLE OF SENSORS IN FUTURE AUTOMOTIVE APPLICATIONS" SAE PAPER. 901132
- [2] ROGER H. GRACE "SEMICONDUCTOR SENSORS AND MICROSTRUCTURES IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS" SAE PAPER. 910495
- [3] RIVARD J.G. "AUTOMOTIVE ELECTRONICS IN THE YEAR 2000" MICHIGAN OCTOBER. 1986
- [4] MARKET INTELLIGENCE RESEARCH CORPORATION, "NEW AND EMERGING MARKETS FOR AUTOMOTIVE SENSORS IN NORTH AMERICA", MARCH, 1990
- [5] MALLON J. BRYZEK J., "SENSORS IN EXTREME ENVIRONMENTS" PROCEEDINGS

OF SENSOR EXPO '89, CLEVELAND

- [6] WEIJIE YUN ROGER T. HOWE "SILICON MICROFABRICATED ACCELEROMETERS: A PERSPECTIVE ON RECENT DEVELOP-

MENTS" PROCEEDINGS OF SENSOR EXPO '90. CHICAGO

- [7] 양상식 "실리콘 마이크로 소자와 의용공학", 대한 의용생체공학 추계 학술대회 논문집 1991



두민수(杜珉秀)

1959년 6월 2일생. 1983년 한양대 공대 기계공학과 졸업. 1985년 한양대 대학원 기계공학과 졸업(석사) 1985~1991년 금성정밀(주) 연구소 근무.

현재 만도기계(주) 중앙연구소 센서연구실 선임연구원