

마이크로 박막 센서의 기술동향

오명환*, 주병권**

(*KIST 이공학연구원장, **동 연구원)

본고는 일본 Paress Journal사에서 간행된 <'90 박막응용전자 디바이스> 지(1) 및 최근의 마이크로 센서 관련 보고(2-4)들을 토대로 박막형 마이크로 센서의 최신 관련기술 및 연구동향을 요약, 정리한 것이다.

1. 서 언

센서는 전자제어시스템에 있어서 신호처리소자, 액츄에이터 소자 및 인간/기계 연결용소자 등으로 응용되는 매우 중요한 기본 소자이다. 가전제품으로부터 자동차, 항공기, 인공위성, 로봇 등 이르기까지 각 분야에서 편리성, 기능성, 안전성, 쾌적성 그리고 에너지 절약성 등을 추구하는 과정에 이르러 종래에 볼 수 없었던 센서에 관한 새로운 요구가 급증하고 있다. 전자동 세탁기의 세탁량 센서, 수위 센서, 오염도 센서, 건조도 센서나 조리용 자동오븐의 익힘정도 센서, 미각 센서 등이 있고 자동차의 경우, 각종 전자제어시스템이 급격히 실용화되고 있어 가속도 센서, 방위 센서, 장애물 센서, 분진 센서, 가스 센서 등 매우 다양한 종류의 센서들이 개발되고 있다. 이러한 센서들은 기본적으로는 비교적 간단한 원리의 물리량/전기변환장치로 이해되는 경우도 있지만 검출감도나 정밀도의 향상, 센서의 소형화, 센서기능의 복합화 등 가지각색의 요구들을 만족시키기 위해서는 검출부를 구성하는 재료나 센서자체의 구조에 있어서 보다 많은 연구가 필요하게 된다. 이중에서도 특히 센서재료의 박막화와 최근 관심의 대상이 되고 있는 마이크로머시닝 기술(5) 및 웨이퍼의 직접접합을 이용한 3차원 미세

구조의 형성기술(5,6) 등은 센서의 새로운 변혁을 주도하는 핵심기술이 될 것으로 생각된다. 이에 본고에서는 주로 센서용 기능성 특수 박막재료 및 표면 마이크로머시닝 기술을 기초로한 센서 소자의 최신기술에 관하여 언급하고자 한다.

2. 소자 기술

2.1 온도 센서, 적외선 센서

그림 1은 두께 3um로 La가 첨가된 $PbTiO_3$ (PLT) 박막의 초전성을 이용한 고감도 적외선 센서의 구조도이다(7). 스퍼터링법으로 형성한 PLT박막을 이용하면 poling처리를 하지않더라도 $6.5 \times 10^{-8} C/cm^2K$ 정도의 높은 초전계수와 $D^* = 6 \times 10^8 cmHz^{1/2}$ W의 높은 성능지수를 얻을 수 있다. 기판으로는 백금 박막이 형성되어 있는 MgO단결정상에 PLT박막을 형성하고 Ni-Cr전극을 형성한 후 폴리이미드막을 도포한다. 다음에 MgO단결정부를 식각, 제거하면 소자가 완성된다.

그림 2는 다이아프램의 표면에 형성되어 니켈박막으로부터의 복사온도를 측정하는 센서이다(8). 브릿지 회로를 구성하는 2개의 박막저항사이에 적외선 차폐막이 도포된 니켈 박막저항이 있으며 소자의 응

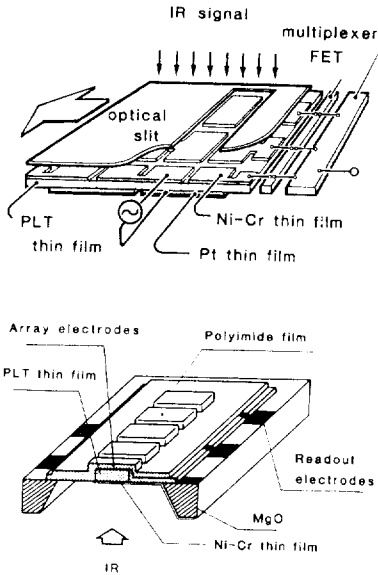


그림 1. 2차원초전형 적외선 센서의 구조도(7)

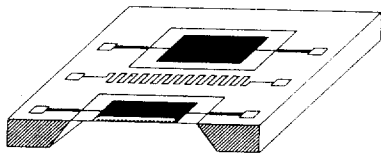
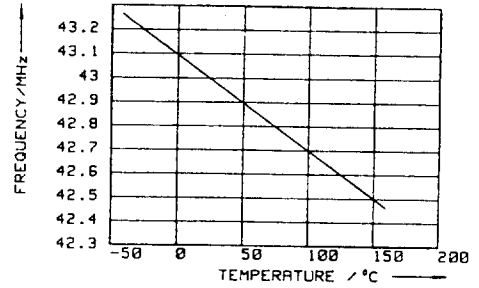


그림 2. 박막형 열량 센서의 구조도(8)

답속도는 다이아프램의 두께에 의존하여 10ms~60ms 정도를 얻을 수 있다.

박막 열전대로서 Cr-Cu/Pd 박막을 이용한 예도 있다. 이 센서는 특히 수소가스의 농도에 대해서도 감응하여 새로운 온도-수소가스 복합센서로서의 응용이 기대되고 있다(9). 또한, SiGe 결정박막도 큰 Seebeck 계수를 보이고 있어, 이의 응용을 위해 막의 형성조건과 열 기전력간의 관계가 조사되고 있으며 이와 같은 Seebeck 효과가 뛰어난 박막들을 이용하여 열전대의 어레이구조인 thermopile형 센서의 연구도 매우 활발하다(10).

직선성이 우수한 온도센서로서 표면탄성파(SAW) 소자에 있어서 전파지연시간의 온도의존성을 이용한 것도 있다. 그림 3은 LiNbO₃ 기판상에 SAW 소자를 구성하여 온도에 따른 주파수 특성을 조사한 데이터이다(11). 온도계수는 -92.13ppm/K로 -10°C에서 +155°C까지의 온도범위에서 비직선성은 0.2°C



$TC_0 = -92.13 \text{ ppm/K}$	regressionsfunction
regr.-coefficient	$y = 4.3894E+7 +$
$r = .999985$	$-3962.8 X$

그림 3. SAW 온도센서의 특성(11)

정도이다.

2.2 자기 센서

자기감응소자는 주로 홀 효과와 자기저항효과를 동작원리로 하고 있다. 홀효과를 이용할 경우 자기 센서의 성능은 재료내에서의 전하이동도에 크게 의존한다. 초박막적층기술에 의해 반도체 초격자를 형성하여 전자의 이동을 높여 이를 자기센서로 이용할 수도 있으며 최근에는 분자선 에피택시(MBE) 기술등에 의해 AlGaAs/GaAs계나 AlAs/GaAs계의 2차원 전자가스의 이용이 활발히 검토되고 있다. 그림 4는 2차원 전자가스층에 dual-drain 구조를 형성한 저장용량 자기센서의 단면도를 보인 것으로 자기 감도는 약 48%/T 정도를 얻을 수 있다(12).

강자성박막을 이용한 자기저항소자는 온도의존성이 적은 잇점으로 인해 이미 자기센서로서 실용화된 상태이며, 현재는 전원회로, 신호처리회로, 증폭회로 등을 단일칩으로 집적화시킨 지능형센서가 추진 중에 있다. 그 외에도 2차원 및 3차원 자기벡터센서 등이 연구되고 있는데 이들은 벌크형 반도체 소자의 범주에 속한다.

한편, 최근에 이르러 자기저항효과의 이방성이 큰 permalloy 박막이 주목되고 있는데 이의 화학양론비는 Ni_{0.81}Fe_{0.91}이다. 이를 이용한 것으로 실온에서 120°C의 온도범위에서 0.5°의 각도 분해능을 갖는 센서가 발표된 바 있다(13).

이외에도 낮은 범위의 자기측정을 위해서는 고온 초전도박막을 이용한 초전도 양자간섭소자(SQUID)가 잘 알려져있다. 이 분야에서는 재료조성외에도

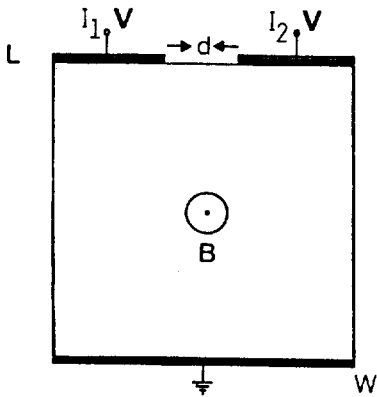
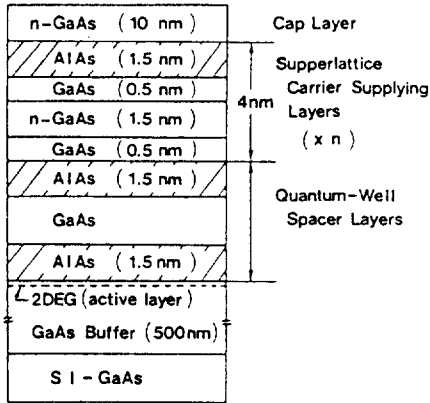


그림 4. 양자우물형 dual-drain 자기센서의 단면구조 및 평면도(12)

박막의 형성방법 및 그 미세가공기술에 관해서도 연구가 활발한데 특히 이온 빔이나 레이저 빔 등을 이용한 미세가공기술이 앞으로 박막 초전도체 자기센서의 제조에 있어서 주요기술이 될 전망이다.

2.3 압력, 힘, 가속도 센서

표면 마이크로머시닝 기술과 웨이퍼 직접접합기술은 초소형 3차원 구조를 갖는 새로운 센서의 제조를 가능케하고 있다. 특히 이 기술들을 이용한 진동형 센서의 등장이 활발한데 그림 5의 경우 진동식 압력 센서의 구조도 및 공정도의 일례를 보여주고 있다(14, 15). 실리콘 다이아프램상에 표면 마이크로머시닝 기술을 사용하여 진공 공동(vacuum cavity)과 그 내부에 'H'형 진동자를 형성한다. 이때 입력신호에 따른 다이아프램의 변위가 공진주파수의 변화로 나타나게 되며 gauge factor는 3000, 압력측정범위는 0~100KPa, 감도의 온도계수는 5ppm/°C 정도가 얻어진다. 유사한 소자로 진동자를 다결정 실리콘 박막 발열체로 구성한 경우도 있다(16).

한쪽 면만의 lithography를 이용한 표면 마이크로머시닝에 의해 집적화 압력센서를 실현한 마이크로 다이아프램형 압력센서에 관한 보고도 있다(17). Si₃N₄막으로 이루어진 다이아프램상에 형성된 다결정

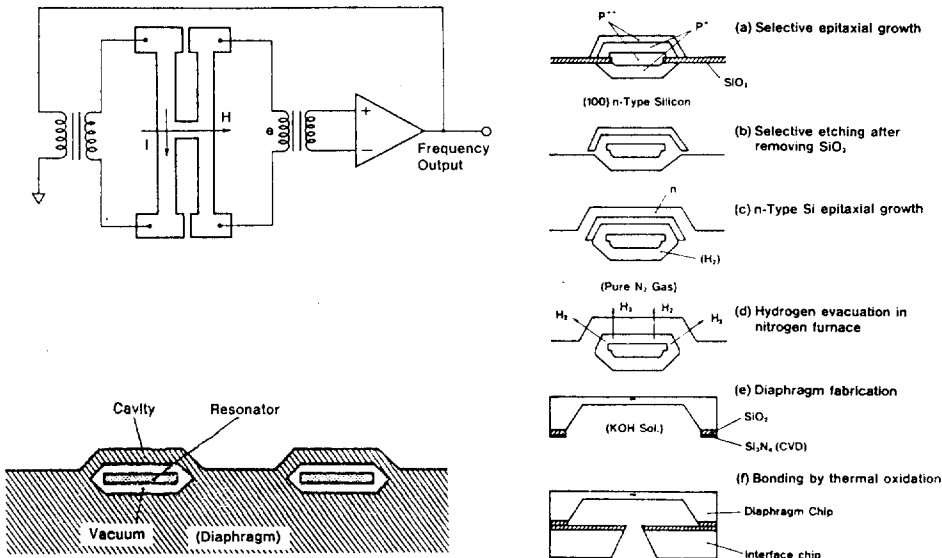


그림 5. 진동형 센서의 개념도 및 제조공정(14, 15)

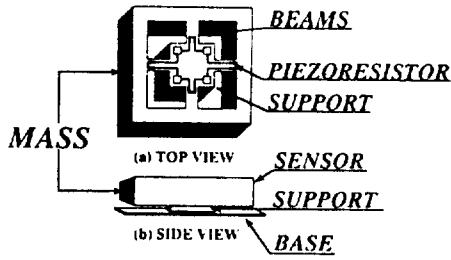


그림 6. 압저항형 가속도 센서의 개념도[19]

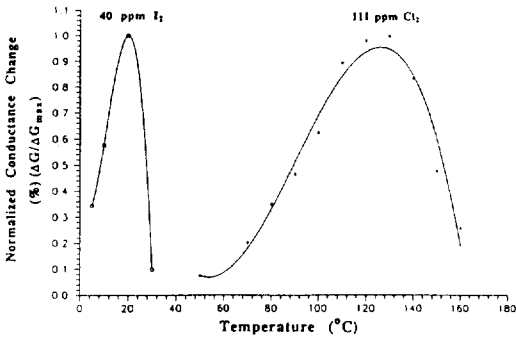


그림 7. phthalocyanine 박막의 막온도와 전도도간의 관계[23]

실리콘 스트레인 게이지들로 브릿지 회로를 구성하고, 압력에 따른 저항의 변화를 전압변화로 검출한다. 이와 같은 구조를 따른 압력센서 어레이도 개발되고 있는데, 32×32개의 마이크로 다이아프램 압력센서가 250 μ m의 간격으로 매트릭스 구조로 배열되어 촉각센서 등으로 이용되고 있다[18].

대부분의 경우 가속도 센서는 캔틸레버형 기판상에 반도체 압저항 게이지들을 구성한 구조를 띄고 있다. 최근, 센서 칩의 중앙부에 가속도에 감응하는 추(mass)를 배치한 구조의 센서가 보고된 바 있다[19]. 그림 6은 그 개념도로 센서 칩의 크기와 중량은 각각 7.5mm², 6mg이고 동작 영역은 1000mg까지이다. 또한, 미국의 Analog Devices사는 측정범위 50g 정도의 표면 마이크로머시닝을 이용한 에어백용 집적화 가속센서를 제품화하기 시작하고 있다[3]. 이는 다결정 실리콘으로 이루어진 가변 평행판 캐패시터 구조에 의해 동작하며 센서부와 함께 주변 신

호처리부가 내장되어 있는데, 사용온도 범위는 -50°C~125°C, 허용오차는 3%이내, 최대 충격량은 2000g 정도, 비선형성은 0.5%, 그리고 가격은 소자당 5달러선이다.

2.4 가스 센서

가스센서는 일반적으로 감지될 가스를 선택적으로 받아들이는 리셉터 기능과 그 농도를 전기신호로 변환하는 트랜스듀서 기능을 함께 보유한다. 최근 새로운 박막 리셉터가 보고되고 있는데, 약 870°K로 가열된 30~100nm 두께의 sputtered-TiO₂ 박막이 10⁻²⁰이상 1기압까지의 산소가스 분압에 대해 우수한 리셉터로 작용함이 알려졌다[20]. 또한, Fe(CN)₆⁴⁻ 이온을 첨가한 전기화학적으로 중합된 polypyrrole 박막이 암모니아에 대해 100ppm에서 10⁶ppm에 이르기까지 매우 넓은 농도 영역에서 감응하는 것이 발견되었다[21]. 이외에도 두께 1 μ m 정도의 phthalocyanine박막은 NH₃, CO, CO₂, CH₄, H₂O, H₂S, SO₂, NO, C₆H₁₄ 등에 감응하는 것으로 나타났으며[22] Langmuir-Blodgett(L-B)법으로 제조된 phthalocyanine 박막의 경우 30°C의 막온도에서는 I₂에 감응하고 120°C에서는 Cl₂에 감응한다[23]. 그림 8은 박막의 온도와 각각 흡착에 의한 전도율 변화를 보인 것이다.

각종의 마취가스에 대한 SnO₂박막의 감응도도 조사된 바 있다[24]. 그림 8은 센서의 구조와 특성평가방법을 설명한 것이며 이로서 ethyl-ether, forane, halothane, ethrane 등의 측정이 가능하다.

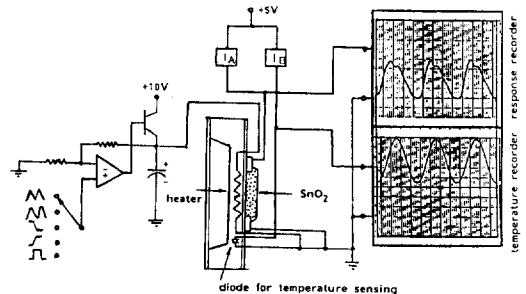


그림 8. 마취가스 감지용 센서의 구조와 특성측정회로[24]

2.5 흐름 센서

표면 마이크로머시닝에 의해 초소형 흐름센서의 개발이 활기를 띠고 있다. 그림 9는 (110)실리콘 기판상에 비등방성 식각기술로 'V'형 구조를 형성하고, 이 위에 0.7 μ m 두께의 p형 다결정 실리콘 박막으로 된 마이크로 브릿지가 제조된 mass flow 센서의 일레이다(25). 이는 브릿지를 통과하는 전류의 흐름이 응력을 발생하고 이로인한 브릿지의 고유진동수가 기체의 유량에 따라 변화하는 특성을 이용하고 있다. 즉, 유체에 의한 열손실이 브릿지의 응력을 변화시키고 이는 고유진동수의 변화를 초래한다. 이때 고유진동수는 85KHz로 0~10sccm의 유량변화에 대해 0.8KHz의 진동수 변화가 얻어진다. 금후 상술한 일례를 이용하여 각각의 사용목적에 대응하는 구조의 흐름센서가 출현하리라 생각된다.

3. 재료 기술

센서용 재료로서 최근 초박막화와 다층화 경향이 크게 나타나고 있다. 일반적으로 물질의 두께를 원자나 분자수준으로까지 낮추면 벌크 특성과는 현저히 다른 성향들이 존재한다. 즉, 물질내를 흐르는 전자의 운동 등이 2차원적으로 되어 양자효과가 동시에 표면 혹은 계면에서의 산란현상이 매우 큰 영향력을 발휘하게 된다. 또한, 이러한 초박막을 주기적으로 적층하여 인공적으로 물질의 주기구조를 변환시킬 수 있어 새로운 전자 물성효과를 지니게 할 수도 있다. 이와 같이하여 특정 파장의 광에 감응하는 수광부를 만들거나 매우 높은 감도의 자성 감응

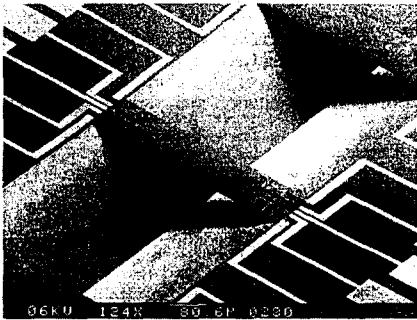


그림 9. 박막 마이크로 브릿지 구조의 흐름센서의 모양(25)

막을 제조하는 것이 가능해진다.

아울러 향상된 기계적 특성을 보유했던 새로운 재료들이 표면 및 벌크가공된 미세 구조들에 증착, 성장되고 있다. 실리콘다이아프램상에 플라즈마 CVD로 다결정 다이아몬드 박막을 증착한 구조가 IC센서에 응용되고 있는데 물리 화학적 내구성이 강하고 마모가 없는 이 재료들은 열팽창을 이용한 구동부로도 쓰인다. 이외에도 다공질 실리콘이나 여러 능동박막들, 특히 압전재료들은 감지용은 물론 액츄에이터의 여기부로서의 역할도 하며 또한 형상기억합금을 센서에 응용하기 위한 연구도 활발하다.

종래에는 자연에 존재하는 재료들의 물성을 이용하여 원하는 특성의 센서를 실현하여 왔으나, 앞으로는 원하는 기능을 갖는 재료를 설계하여 이를 소자에 적용하는 방향으로 연구가 진행될 것이다. 이러한 관점에 의해 초격자 박막은 물론, L-B 막으로 대표되는 초박막, 초미립자막, 초전도박막 등의 센서 응용도가 급속히 증가할 것이다.

4. 결 론

최근의 센서기술개발 동향을 한마디로 표현한다면 "집적화 센서의 추구"이다. 온도보상이나 증폭 등의 기능을 갖는 신호처리회로를 센서와 일체화하는 LSI 기술, 입력의 2차원 분포나 3차원 자기벡터의 검출 등을 위한 마이크로 센서 어레이용 집적화 기술, 또는 마이크로 액츄에이터와 센서를 일체화하는 표면 마이크로 센서 어레이용 집적화 기술, 또는 마이크로 액츄에이터와 센서를 일체화하는 표면 마이크로 머시닝 기술 등 마이크로 일렉트로닉스의 총체적 결합이 강력히 추진되고 있다. 향후로는 신재료 기술에 의한 리셉터 기능이나 트랜스듀서 기능의 진보와 함께 퍼지-컴퓨터용 VLSI와의 일체화 등도 점진적으로 이루어져 쾌적도 센서, 아름다움 측정용 센서, 짜증스러운 감지용 센서, 피로도 센서 등 종래에는 없던 새로운 개념의 집적화 센서 시대가 도래될 전망이다.

참 고 문 헌

- (1) Press Journal 편집부, '90 박막응용전자 디바이스, pp.307-312, (1990)
- (2) 오명환, "차세대용 실리콘 마이크로센서의 최신기

- 술동향," 월간 전자부품, pp. 146-158, (1990, 10)
- [3] 오 명환외, "IC 기술을 이용한 자동차용 실리콘 가속센서," 월간 전자부품, pp. 150-155, (1991, 10)
- [4] 오명환외, "산업전자에 응용되는 실리콘 IC 센서," 월간 경영과 자동화, pp. 22-29, (1991, 11)
- [5] K.E.Petersen, "Silicon as a Mechanical Material," Proceed. of IEEE, vol. 70, no. 5, pp. 420-457, (1982)
- [6] P.W.Barth, "Silicon Fusion Bonding for Fabrication of Sensors, Actuators and Microstructures," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 919-926, (1990)
- [7] R. Takayama et al., "Pyroelectric Infrared Array Sensors Made of c-Axisoriented La-modified PbTiO₃ Thin Films," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 508-512, (1990)
- [8] W. Lang et al., "A Thin-Film Bolometer for Radiation Thermometry at Ambient Temperature," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 473-477, (1990)
- [9] M. Baciocchi et al., "Cu/Pd Thin-Film Thermopile as a Temperature and Hydroge Sensor," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 631-635, (1990)
- [10] 오명환외, "실리콘 Thermopile 집적센서의 기술동향," 전자공학회지, vol. 16, no. 6, pp. 90-99, (1989)
- [11] J. Neumeister et al., "A SAW Delay-line Oscillator as a High-resolution Temperature Sensor," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 670-672, (1990)
- [12] A. Nathan et al., "Low-frequency Noise in Modulation-Doped AlAs/GaAs Superlattice Dual-drain Magnetic Sensors," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 776-779, (1990)
- [13] K.J.M. Eijkel et al., "A Thin-film Magnetoresistive Angle Detector," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 795-798, (1990)
- [14] K.Ikeda et al., "Silicon Pressure Sensor Integrates Resonant Strain Gauge on Diaphragm," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 146-150, (1990)
- [15] K.Ikeda et al., "Three-dimensional Micromachining of silicon Pressure Sensor Integrating Resonant strain Gauge on Diaphragm," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 1007-1010, (1990)
- [16] H. Guckel et al., "The Application of Fine-grained, Tensile Polysilicon to Mechanically Resonant Transducers," Sens. and Actuat. vol. A21-A23, pp. 346-351, (1990)
- [17] S.Sugiyama et al., "Micro-diaphragm Pressure Sensor," IEDM 86, pp. 184-187, (1986)
- [18] S.Sugiyama et al., "Tactile Image Detection Using a 1k-element Silicon Pressure Sensor Array," Sens. and Actuat., vol. A21-23, pp. 394-400, (1990)
- [19] K.Yamada et al., "A Novel Silicon Accelerometer with a Surrounding Mass Structure," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 308-311, (1990)
- [20] U. Kirner et al., "Low and High Temperature TiO₂ Oxygen Sensor," Sens. and Actuat., vol. 103-107, (1990)
- [21] J.P.Blanc et al., "Study of the Action of Gases on a Polypyrrole Film," Sens. and actuat., vol. B21, pp. 130-133, (1990)
- [22] C. Hamann et al., "Gas and Humidity Sensors Based on Organic Active Thin Films," Sens. and Actuat. vol. B1, pp. 142-147, (1990)
- [23] H.Y.wang et al., "Phthalocyanine Langmuir-Blodgett Film Microsensors for Halogen Gases," Sens. and Actuat., vol.B1, pp. 138-141, (1990)
- [24] O.Wu et al., "Micro-gas Sensor for Monitoring Anesthetic Agents," Sens. and Actuat., vol. B1, pp. 183-187, (1990)
- [25] S.Bouwstra et al., "Resonating Microbridge Mass Flow Sensor," Sens. and Actuat., vol. A21-A23, pp. 332-335, (1990)

오명환(吳明煥)



1943년 6월 10일생. 1965년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1972년 동 대학원 졸업. 1979년 프랑스 Paul Sabatier Univ. 전기공학과 졸업(공학박). 1976~79년 프랑스 CNRS Lab., Genie Electrique 연구원. 1986~87년 미국 North Carolina Univ. 객원연구원. 현재 KIST 이공학연구단장(책임연구원). 당학회 편집이사

주병권(朱炳權)



1962년 12월 2일생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 1988년 서울시립대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 KIST 이공학 연구단 응용전자 연구실 연구원, 고려대 대학원 전자공학과 박사과정