

## 반도체 센서 기술 동향

李 德 東

慶北大學校 電子工學科 教授

### I. 서 론

첨단 과학기술의 핵심분야 기술 또는 메카트로닉스 시대의 첨병기술로 일컬어지고 있는 센서 기술의 중요성이 최근 크게 부각됨에 따라 그 기술개발에 대한 산업계 및 일반의 관심이 날로 높아가고 있다. 소위 3차 산업혁명의 불꽃이 정보화·자동화 산업에 의해 힘차게 일게 됨에 따라 센서 기술은 현시대가 요구하는 필수 중점기술로 대두되고 있으며, 특히 센서 기술은 21세기의 중핵기술로서 기술전반의 고도화와 지능화를 실현하기 위한 원천기술로 인식되고 있다. 이러한 시대 및 사회적 배경에 미루어 센서 기술 및 그 동향을 살펴 보는 것은 매우 의미있는 일이라 생각된다.

센서가 과학·기술면에 이용되어 온 역사는 오래지만 “센서”라는 말은 비교적 최근인 1960년대부터 사용되기 시작하였다. 더구나 센서 과학 또는 센서 기술이라는 말은 극히 최근에 명명된 학문·기술분야로서 다학문적이고 복합기술적인 구조와 바탕을 가지고 있기 때문에 응용면에서는 어느 기술분야보다 활발하나 기술체계면에서는 아직 태동기에 있다고 해야 할 것이다. 인류가 고심해 온 여러 기술이 센서의 정의에 적용해 볼 때 기실 그것이 센서 기술이거나 이 기술이 부분적으로 포함되어 있다는 사실과 센서 기술에 해당되는 부분을 끄집어 내어 총체적으로 정리될 수 있는 현황을 비추어 볼 때 센서 기술은 어쩌면 시작은 있어도 끝이 없는 기술분야가 아닌가 생각된다.

인간의 존재의 보호와 안전 및 편의를 위해 필수 불가결한 요소로서의 센서는 보호·파수꾼 역할에서 각종 물리·화학량을 검지 정량하는 계측기능과 산업

자동화를 실현하는 제어기능 및 우리 인류의 미래를 바꾸어 놓을 지능화 기능에 이르기까지 그 종류 만큼이나 다양한 기능을 갖고 있다. 센서를 순수 기능면에서 살펴볼 때 우리 인간이 갖고 있는 오감의 기능을 보완·확장한 인조감각기관이며 나아가 오감을 초월한 제육감의 감지 기능도 갖고 있는 것이다. 이와 같은 감지기능은 외계로부터의 각종 신호를 받아들여 측정 가능하며 편리한 전기적인 신호로 바꾸어 줌으로써 수행되는 것이라 할 수 있다.

센서의 종류는 만물의 수요만큼이나 많은 것이어서 이를 일일이 열거하기란 불가능하다. 그러나 몇가지 기준에 따라 동질적인 것은 묶어 대분류를 하고 있다. 그 중 센서를 구성하는 재료에 따라 분류하는 방법이 종종 채택되고 있다. 즉, 외계의 물리량이나 화학량을 측정가능한 전기적 신호로 변환시킬 수 있는 기능을 갖춘 물질로서 어떤 것을 사용하느냐에 따라,

- (1) 반도체 재료 센서(반도체 센서)
- (2) 금속 재료 센서
- (3) 유전체 재료 센서
- (4) 유기 재료 센서
- (5) 복합 재료 센서

등으로 분류한다. 이 중 가장 큰 관심이 집중되고 있는 유형이 반도체를 이용한 소자로서 산화물 반도체, 결정 반도체 및 복합 반도체 등이 모물질로 쓰이고 있다. 그러므로 위의 분류에서 반도체 센서라 하면 반도체적인 성질을 갖는 모든 결정, 다결정 및 비결정 재료 센서를 포함하게 된다. 그러면 왜 반도체 센서가 다른 재료의 센서에 비해 현대 기술사회에서 각광을 받게 되었는지를 개조식으로 다음과 같이 설명

될 수 있다. 즉 반도체 센서는

- (1) 소형·경량화의 용이
- (2) 응답속도가 빠름
- (3) 선택성 부여가 상대적으로 용이
- (4) 고감도 실현
- (5) 경제적임
- (6) 집적화/지능화 가능

등의 조건을 갖추고 있기 때문이다.

반도체 센서에서도 무수히 많은 종류가 있으나 검출방식에 따라 물리 센서와 화학 센서로 2대분하며 이는 물리량이나 화학량등 피측정량 자체에 의한 분류보다는 이들 양과 소자 사이의 상호작용에 근거를 둔 것이다. 현재 센서의 신생아격인 생물 센서는 화학 센서에 포함시키고 있다. 반도체 센서는 그 모질인 반도체 재료의 개발이 진전됨에 따라 더욱 다양화되고 고기능화될 전망이다.

본 해설에서는 반도체 센서 기술의 동향을 알아보기 위해 센서 기술의 현황을 개괄적으로 기술하고 장래의 동향을 살펴보기로 한다.

## II. 반도체 센서 기술의 현황

### 1. 반도체 센서의 분류(개발중인 것을 중심으로)

반도체 센서를 소개하는 일이 너무 막연하다 할 정도로 그 내용이 광범위하기 때문에 요약할 위해 그 종류를 먼저 언급하고 중요한 몇 가지를 강조하여 설명하기로 한다.

센서를 분류함에 있어 인간의 오감기관에 대응시키고 기타는 육감 영역으로 분류하는 방법이 자주 적용되고 있다. 오감에 관한 한 우리 인간은 센서에 비해 불완전한 점이 많다고 보며, 지능화 면에서 센서는 인간에 비해 너무나 유치하다.

센서를 분류하는 다른 방법으로는 이용목적별(자동화, 공해, 기능고도화, 안전등)로, 센싱상황(인 프로세스, 포스트 프로세스), 측정방식(온라인, 오프라인), 접촉방식(접촉, 비접촉), 피측정량과 상호작용(물리, 화학), 재료의 종류에 의한 분류법 등이 있다. 그러나 현재 일반에 통용되고 있는 반도체 센서의 분류로는 피측정 대상에 따르는 것으로 이를 표 1에 나타내었다. 이 표에 나타낸 각 센서는 구체적인 검지 대상에 따라 각각 또다시 분류되나 지면관계상 생략하기로 한다.

이 표에서 센서 용도는 대표적인 것만 나타내었으며 재료 역시 많이 쓰이는 것만을 나타내었다. 이

들 센서는 현재 실생활과 산업면에 많이 쓰이고 있으며 각 센서에 대해 활발한 연구 개발이 각국에서 전개되고 있다.

### 2. 반도체 센서 기술 현황

#### 1) 센서의 용도 현황과 장래

그림 1은 센서의 용도분야의 구성비를 좌표로 나타내어 본 것이다.

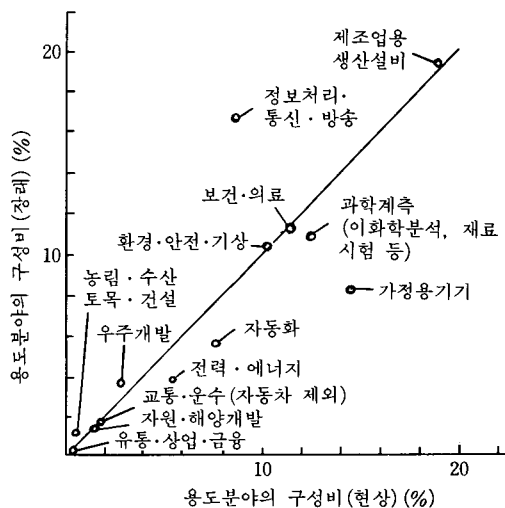


그림 1. 용도분야의 현상 및 장래

이 그림은 용도의 상대적인 무게비를 대체적으로 나타낸 것으로 세로축은 장래의 구성비율을, 가로축은 현재의 구성비율을 나타내어 그 기울기로서 용도의 증감을 알 수 있게 나타낸 것이다. 기울기를 보이는 직선상의 응용분야는 전체적으로 용도 비율이 변화하지 않음을 나타내고 있다. 현재 센서의 용도는 생산설비에서 가장 높게 나타나 있고 이러한 경향은 미래에도 지속될 것으로 생각된다. 그리고 정보처리·통신·방송 등의 분야에서는 장래 그 용도가 60% 이상 증가될 전망이며, 가정용 기기에 응용되는 센서의 비율은 상대적으로 낮아질 것으로 보인다. 또한 보건 및 의료, 환경·안전, 자원개발 등의 분야에서 그 용도는 변화가 없을 것으로 예측하고 있다.

2) 검지 목적과 수단으로서의 반도체 센서  
반도체 센서를 이용하는 목적은 기계량, 전기량, 자

표 1. 반도체 센서의 분류

센서	효과	재료	용도
광센서	광기전 효과	Si, a-Si, 2-6속 film/Si-IC, 3-5-6 속 film/Si-IC, 형광체/Si-IC	고체자의 가시 이미지 센서
		Si-IC, Pt or Ir/Si-IC, 2-6속 Si-IC, HgCdTe, InSnTe	고체가시광 이미지 센서
		Au-ZnS, Ag-ZnS, Si, Ge, InP, GaAs, InSb, InAs	광기전 셀
		Si-IC, 유기컬러 필터/Si-IC	컬러 센서
	광도전 효과	Se-As-Te, PbO	출상관자의
		Se <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , PbO, CdTe, PbO-PbS, a-Si	촬상관가시
		ZnS-CdTe, Si-ZnCdTe	촬상관적외
		CdS, CdSe, ZnO, Se	광도전 셀
초전효과	PbTiO <sub>3</sub> /Si, PVF <sub>2</sub> /Si	적외 센서	
자기 센서	홀 효과	Si-IC, InSb, InAs, Ge, GaAs	회전 검출
	자기저항효과	Ni-Co/Si-IC, InSb, InAsBi	무접촉 키스위치
압력센서	압전효과	ZnO/Si-IC, PVF <sub>2</sub> , Si-IC	유량, 유속, 하중
	피에조저항효과	Si, Si-IC, Ge, GaP, InSb, InAsBi	
가스 센서	흡착에 의한 저항 변화	세라믹스 Si-IC, SnO <sub>2</sub> , 기타 금속산화물	가스 검지, 정량, 의료, 방재산업
	흡착에 의한 일함수변화	메탈/FET	
	가스크로마토그래프	Si-IC	가반형 가스분석기
습도 센서	흡착에 의한 저항, 용량변화	폴리머/Si-IC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Si-IC	표면의 흡습현상
가속도 센서	피에조저항효과	Si-IC	
	압전효과	ZnO/Si-IC	
화학 센서	FET의 게이트 전압변화	무기 필름/Si-IC	pH, Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , 효소, 호르몬, 향원, 향체 등의 검출
	게이트 콘트롤 다이오드	생체관련 필름/Si-IC	
온도 센서	열기전력	Si-IC	더모파일
	BIP 트랜지스터의 온도특성	Si-IC	온도계
유량 센서	BIP 트랜지스터의 온도특성	Si-IC	가스, 액체의 유량 측정
감열 다이리스트	열여기전류의 온도특성	Si-IC	온도제어
방사선 검출기	광도전효과	Ge, Si	
초음파 센서	압전효과	ZnO/Si-IC, PVF <sub>2</sub> /Si-IC	초음파 CT, 접촉자

기량, 온도, 빛, 습도, 화학량, 생물량, 음향, 방사선 등을 검지 정량하는 것이라 할 수 있다. 이들 양을 이용하는 빈도를 상대적 비로 나타내 보인 것이 그림 2이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 기계적인 양을 검지 대상으로 하는 경우가 상대적으로 가장 많고(30%) 이러한 경향은 장래에도 변화가 없을 것으로 추측하고 있다. 꺾은 금으로 이어진 선군은 각 무계의 중심점을 이어나간 것이며, 목적에 따른 검지량의 현재와 장래의 경향이 대체적으로 예측된다. 한편, 현재

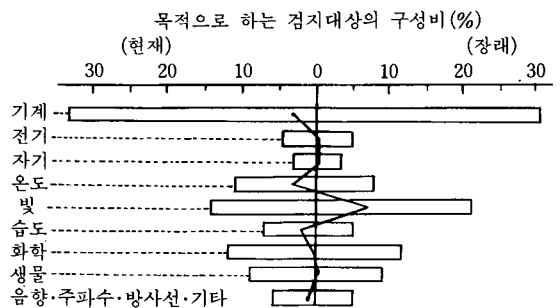


그림 2. 목적으로 하는 검지대상

물리량이나 화학량을 검지하는 수단으로 이용되는 양은 ① 전자파·빛, ② 열·온도, ③ 전기·자기, ④ 가스·습도·기타 화학적 성분, ⑤ 기계적 응력이나 변형 및 변위, ⑥ 방사선, ⑦ 기타로 분류될 수 있다. 현재 검지수단으로 주로 이용되는 대상은 전자파나 빛이 가장 많다고 볼 수 있으며, 화학센서가 차지하는 비율도 앞으로 점차 증가해 갈 것이다. 주지하는 바와 같이 기계량을 측정하기 위해서는 전자파나 빛을 많이 이용하고 있으며 이는 자동화로 연결되기 때문에 기계량-전자파의 결합관계는 더욱 밀접해질 것으로 추측된다.

### 3) 반도체 센서 기술의 과제

현재 반도체 센서의 기술적 과제를 대별해 보면 다음과 같다.

- ① 센서 특성 : 감도, 검출한계, 응답속도, 간섭
- ② 센서의 신뢰성 : 정밀 및 반복성, 내환경성
- ③ 센서의 보수성 : 보수의 편리성
- ④ 센서의 생산성 : 공정의 경제성
- ⑤ 센서의 선택성 : 검지대상에 따른 선택도
- ⑥ 센서의 다기능·집적화
- ⑦ 센서의 지능화

반도체 센서 기술의 첫번째 관건은 무엇보다 요구에 만족하는 특성을 얻는 것이고 신뢰성있게 동작하여 내환경성과 정밀성·반복성이 높아야 할 것이다. 센서의 보수성, 선택성 그리고 신뢰성 등은 구조문제와 함께 생산성을 결정짓는 중요한 요소가 되며 이들 조건이 부합되어 경제성을 갖추어야 실제 응용이 가능하다는 점에서 위의 기술적 과제들은 상호 밀접한 연관을 맺고 있다. 화학센서의 경우에는 물리 센서와 또 다른 조건으로 선택성이 그 응용에서 매우 중요하다.

선택성 부여가 실현되면 전자회로의 기본지식으로 감도를 보상해 줄 수 있기 때문에 이는 안정도와 더불어 감도에 우선하는 구비조건이라 할 수 있다.

센서 응용 분야중 계측 분야가 차지하는 비율이 매우 높음을 그림 1에서 보았다. 센서가 갖는 신호변환 기능을 이용하여 각종 양을 계측하고 있으나 앞으로는 2개 이상의 양을 동시에 계측해야 할 필요성이 증가함에 따라 한 개의 소자로 복합적인 기능 또는 여러개의 소자를 단일 칩에 올려 2개 이상의 양을 동시에 측정할 수 있는 복합/다기능 센서의 개발이 시도되고 있으며 이는 센서의 지능화의 첫 걸음이라 할 수 있다. 센서를 다기능·복합기능화 하는 일은 현재의 센서 기술에서 부각되는 중요과제의 하나

이다.

반도체 센서 기술은 현재 집적회로 기술을 중심으로 한 첨단기술과 융합되어 하나의 시스템기술로 발전되고 있으며, 다양한 센서류의 형태 역시 첨단기술과의 접목에 적합한 것으로 탈바꿈해 가고 있어 세라믹형 → 후·박막형 → MOS형으로 형태적 진화 과정이 빠른 속도로 진행되고 있음을 실감하고 있다. 그리고 현재 각국에서 센서의 고기능화를 위해 새로운 기능성 재료와 기판 재료를 개발하고 있으며, 신재료 기술의 개발은 센서 기술뿐 아니라 제반 관련기술에 미치는 파급효과가 클 것으로 보인다. 이와 같은 신재료의 개발에는 화학·물리·전기전자공학은 물론 재료공학에 이르기까지 다양한 학문분야의 전문인력이 효율적으로 투입될 때 가능하기 때문에 현재 반도체 센서 기술의 관건이라 할 수 있는 재료개발 기술은 각 학문영역 및 학·연·산간의 협력체제가 근본적으로 이루어져야 할 것이다.

### 4) 센서와 자동화 기술

센서라는 명칭이 부여된 것은 최근의 일이지만 엄청난 수요와 해야 할 수 없이 많은 종류가 있기 때문에 실제로 알고 보면 상당히 오래전부터 여러 분야에서 많은 종류의 센서 소자가 응용되어 왔고, 인식하지 못하였던 기술분야가 센서 기술과 직·간접으로 연관되어 있음을 보고 놀라게 된다. 센서는 「어떤 양의 절대치나 변화를 정보수집계에 유용한 입력 신호로 변환하는 장치」라는 정의로부터 그 용도의 핵심은 양의 측정에 있음을 알 수 있다. 측정(계측)은 과학기술 전반에 절대적이고 기본적인 과정이다. 주지하는 바와 같이 현대는 학문·기술적으로 메카트로닉스 시대라 불리고 있다. 그리고 메카트로닉스 시대는 센서 없이는 형성될 수 없다는 사실도 자주 강조되고 있다. 메카트로닉스 시대에서 기술중 가장 두드러진 특징이라면 자동화 기술을 들지 않을 수 없듯이 이는 어떤 형태든 계측을 전제로 하지 않으면 안된다. 생산공정에 있어서 자동화(FA)는 그 과정에서의 물리적 또는 화학적인 양의 계측이 요구에 맞게 행해지고 이를 제어기능계통과 연결시킴으로써 가능하다. 생산 가공에 있어서 계측기술에 필요한 연구과제를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 센서가 담당하는 계측분야의 역할이 광범위하다는 것을 알 수 있다.

생산가공에서 빼놓을 수 없는 것이 산업용 로봇이다. 현재의 기술현황은 아직 초기단계라 할 수 있지만 그것이 갖는 큰 장점, 즉 극한 상황에 대한 인



RITE(signal processing in the element) 센서가 소개되고 있는데 센서 элемент 내에서의 신호의 지연과 적분을 취하여 S/N 비를 월등히 향상시킨 소자가 등장하게 될 것이다.

그리고 단결정 Si CCD에 대하여 LAE(large area electronics)의 가능성이 있는 비정질 실리콘을 사용한 CCD의 개발이 진행되고 있다. 앞으로 광 센서의 고성능화로 로봇트 시각기능의 요구에 최대한 접근해갈 것으로 생각된다.

(2) 압력센서

압력 센서는 최근 들어 개발연구가 매우 활발히 전개되고 있는 센서로서 그 연구인력충도 매우 두터워지고 있다. 현재의 동향은 Si를 이용하여 그 왜저항 효과와 집적회로 제조기술을 결합하여 그 다기능화, 집적화, 지능화를 지향하고 있다. 압력 센서의 집적화는 현재 온도보상회로 및 직선성 보상 회로의 집적화를 비롯하여 증폭회로의 집적화에 의해 매우 빠른 템포로 실현되고 있다. 또한 최근 마이크로 머시닝 기술과 집적화 기술의 융합으로 압력센서 또는 가속도 센서가 다양하게 고안되고 있다. 압력센서로는 로봇트의 측각기능을 수행할 수 있는 소자이다. 그림 4는 압력센서의 대표적 구조를 보인 것이다.

압력 센서는 소위 윈 포인트 센서로서는 상당히 발전되어 있으며, 불완간에 인텔리전트 센서로서 고밀도 측각센서 개발이 기대되고 있다. 그림 5는 고밀도 측각 센서의 구조를 보인 것이다.

(3) 화학 센서

앞으로 대표적인 물리 센서 2가지에 대해 간략히 최근의 기술동향을 알아 보았다. 화학 센서는 그것이 구비해야 할 조건이 물리 센서보다 까다롭다. 즉, ①안정도, ②선택성, ③감도, ④감지영역, ⑤복귀성, ⑥응답속도, ⑦보존성, ⑧신뢰성, ⑨복합성, ⑩경제성 등이 그것이다. 물리 센서는 전자만을 취급

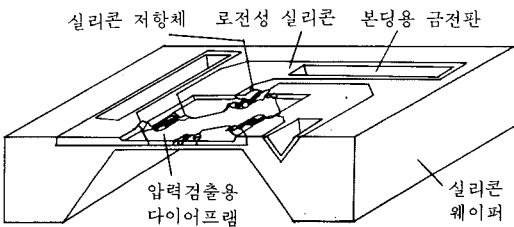


그림 4. 압력 센서의 구조

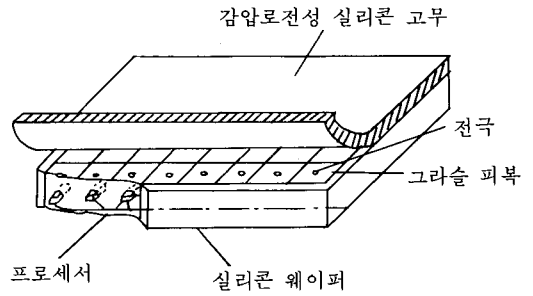


그림 5. 인텔리전스 기능을 가진 고밀도 측각 센서

하면 되는데 화학 센서는 소자표면 상호작용과 이온 등 매우 복잡한 기구가 포함된다. 특히 바이오 센서에는 대사(metabolism)라는 기능도 있어 좀더 많은 고려인자가 있다고 본다. 물고기의 신선도를 감지하는 효소 센서가 그 예이다.

이온 센서는 용액 중의 각종 이온을 검지정량하는 소자로서 현재 MOSFET를 이용한 집적화소자, 즉 ISFET 개발연구가 활발히 전개되고 있다. 특히 ISFET 소자는 생의학적 응용에 큰 관심이 모아지고 있어 그 고기능화·정교화의 실현이 기대되고 있다. ISFET형 소자는 이온감지에 뿐만 아니라 생물학적 감지용, 습도 감지용 및 가스감지용 등으로 응용할 수 있는 형태의 소자이다.

그림 6은 ISFET와 MOSFET를 비교하여 나타낸 것이다. 이온 센서의 고기능화로 그 연구개발의 궁극목표인 인공미각기능을 실현하기 위해 현재 정력적인 탐구가 계속되고 있다.

가스 센서는 매우 다양한 종류와 용도를 갖고 있

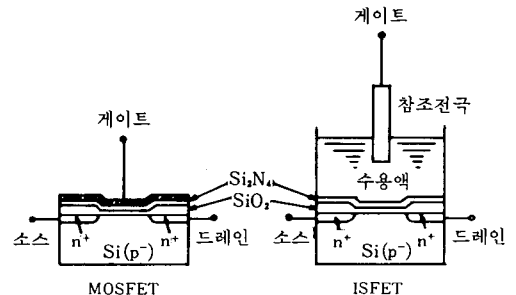
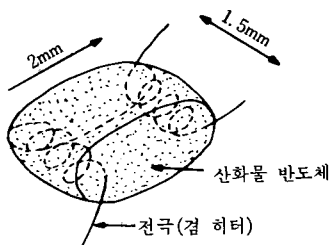


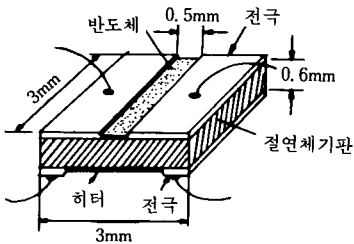
그림 6. ISFET와 MOSFET의 비교

으며, 또한 특성 제어의 까다로움이 특징이라 할 만큼 기구 역시 다양한 인자를 포함하고 있다. 가스가 일상생활은 물론 산업용, 군사용, 의료용 및 방재용 등에 널리 쓰이고 이들 각 용도에 대해 특정 가스를 검지정량할 수 있는 소자의 개발이 활발히 전개되고 있다.

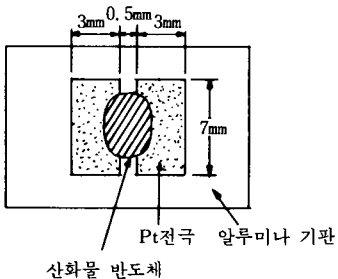
가스감지소자의 형태에는 여러가지가 있으며, 현재 사용 또는 개발되고 있는 대표적인 소자 구조를 그림 7에 나타내었다.



(a) 소결형 소자



(b) 박막형 소자



(c) 후막형 소자

그림 7. 반도체 가스 센서의 소자 구조

이 밖에 습도 센서는 전기저항 변환식과 용량 변환식이 응용되고 있는데 대부분이 세라믹형이다. 습도 센서는 정밀공업, 전자공업, 식품공업 및 섬유공업에

서 생산관리나 품질향상을 위해 습도 제어의 필요성이 인식되기 시작하면서 현재 큰 관심을 갖고 연구되고 있다. 습도 센서의 형태도 다양하며 소결형, 후막형 및 박막형이 소개되고 있으며, 각종 금속산화물과 금속, 혹은 복합산화물체가 현재 많이 연구되고 있다. 그러나 신뢰성의 결여라는 문제점이 있어 새 원리에 입각한 방법의 고안으로 새로운 습도 센서의 개발이 요망된다.

### Ⅲ. 반도체 센서 기술의 동향(장래상)

앞으로의 센서 기술의 동향을 센서 재료, 제조기술 및 고기능화에 초점을 맞추어 개괄적으로 기술해 보기로 한다.

#### 1. 센서 재료

앞으로의 센서 재료 개발 동향은 대체로 다음 3가지의 특징을 가질 것으로 믿어진다. 즉,

- (1) 센서 재료의 복합화
- (2) 동적인 재료의 창출
- (3) 신 기능 재료의 창출

이들 각각에 대해 간단히 알아 보기로 한다.

#### 1) 센서 재료의 복합화

현재 개발되고 있는 반도체 센서는 주로 단일 재료 중심으로 되어 있으나 앞으로는 대부분의 센서가 복합된 재료를 모놀리틀로 쓰게 될 것이며 현재 이미 복합재료 사용이 시도되고 있다. 실제 특성의 면에서 반도체 재료와 금속 재료를 복합할 때 서로의 장점들이 있기 때문에 감도나 선택성을 향상시킬 수 있는 경우가 많다. 따라서 반도체 센서 기술에서 사용되는 재료는 비단 반도체 재료뿐만 아니라 금속재료와 유기재료가 복합된 재료의 개발이 그 필요성에 의해 다각도로 이루어질 전망이다. 그리하여 보다 새롭고 우수한 기능을 갖는 센서가 개발될 것이다.

#### 2) 동적인 재료의 창출

현재까지 개발되어 있는 대부분의 물리 센서나 상당부분의 화학 센서류는 시간에 따른 함수관계가 뚜렷이 나타나지 않는 정적재료(靜的 材料)로 구성되어 있다. 그러나 예를 들면 형성기억 합금재료 같은 것은 시간의 함수관계를 나타내는 재료라 할 수 있고, 이를 동적재료(動的 材料)라 부르고 있다. 특히 바이오 센서가 그 사용범위를 넓여가고 그 재료에 대한 개발연구가 진행됨에 따라 메타볼리즘 효과를 이용한 센서가 다중 출현함에 있어 동적재료의 개발이 중요한 과제로 대두될 것으로 전망된다.

### 3) 신기능 재료의 창출

지금까지 센서 제작에 있어서 주된 경향은 재료 자체의 성질을 찾아 이를 소자에 응용해 보자는 재료 성질에 우선한 것이었다고 볼 수 있다. 그러나 최근 들어 기존의 재료의 성질을 그대로 이용한다는 소극적인 자세에서 “이와같은 성질을 가진 센서를 설계 제작하고 싶다. 그러면 어떤 기능성 재료를 설계가 공해야 하는가?”하는 적극적인 사고와 자세로 소위 재료 설계의 사상이 일고 있다. 다시 말하면 신재료 개발을 위한 신사고가 센서 기술에 채택되기 시작한 것이다. 지금까지 기능 재료를 창출하는 방법으로는 양자 역학적인 퍼텐셜 주기 구조를 근거로 한 것이었으나 앞으로는 새로운 주기 퍼텐셜을 인공적으로 만들어냄으로써 신기능 재료를 만들어 보자는 발상이다. 예를 들면 인공 초격자구조 즉, 다층극 박막구조에 의해 새 에너지대 구조를 가진 신기능 재료를 설계하여 우리가 바라는 센서를 만들고자 하는 것이다. 초격자구조를 사용하면 임의의 금지대폭의 설계를 할 수 있고, 이를 광 센서 분야에 응용할 수 있다. 그리고 운동량 공간에서 에너지대 구조의 설계도 가능하다. 이것이 이루어지면 캐리어 유효질량의 제어, 캐리어 이동도 설계가 가능하여 자기 센서용 신재료의 창출이 실현될 수 있다. 또한 반도체와 금속 사이의 초격자에 의해 BCS 이론에 따르지 않는 고온초전도 재료로 고온 동작용 SQUID형 센서가 제작될 수 있을 것이다.

신기능 재료의 설계 창출은 센서 기술의 미래와 위상을 결정지우는 중요한 과제임을 강조하고 싶다.

## 2. 제조기술

센서기술에서 가장 두드러진 변혁이 센서제조 기술에서 이룩될 것으로 믿어진다. 이는 모든 소자들이 점차 소형·경량화되고 복합·다기능화 및 다층구조화를 지향함에 따라 반도체 센서도 이와 같은 특징을 갖출 수 있도록 뒷받침 할 수 있는 제조기술이 응용·개발될 것이다. 소위 첨단 반도체 제조기술과 고기능 감지막 형성기술이 조화를 이룰 때 집적화 센서 시스템 개발이 본격화 되리라 본다. 여기에 최근 큰 관심이 모아지고 있는 마이크로머시닝 기술이 적용되면 매우 다양한 센서 소자나 센서 시스템이 출현하리라는 희망은 매우 크다.

앞으로 미세 기계소자(micro-mechanical device) 조립기술에 큰 진전이 있을 것으로 믿어진다. 미세 기계소자의 예로서 밸브, 스프링, 노즐, 코빅터, 프린

터용 헤드등과 힘, 압력, 가속도 및 화학농도 등을 조사하는 센서가 그것이다. 그림 8은 가스크로마토그래피와 같은 복잡한 장치들 하나의 실리콘 웨이퍼 위에 실현시키는 구성도를 예시한 것이다. 이를 이용하여 이미 미국 Microsensor Technology Inc.에서 휴대용 가스크로마토 그래피를 제작 시판하고 있다. 그리고 앞으로 온도 센서나 압력 센서 그리고 이온 및 가스센서 등을 하나의 칩위에 집적시킨 다기능 센서 개발의 출현도 소자 제작의 새로운 양상으로 대두될 것이다. 그리하여 센서 VLSI 시대가 불변한 도래하리라 기대하고 있다.

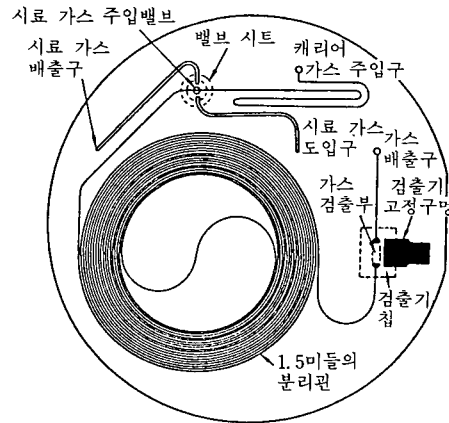


그림 8. 2인치 실리콘 웨이퍼상에 형성된 가스 크로마토 그래피의 구성도

## 3. 스마트화와 인공지능 로봇트

센서 기술의 궁극적인 목표는 우리 인간이 갖고 있는 오감기능을 더욱 확장·보완하여 고성능 인공감각기관을 개발하는데 있다고 하겠다. 차세대에 도래할 것으로 기대하는 인공지능을 갖춘 로봇트 시대를 실현하기 위하여는 오감기능 및 육감기능을 갖춘 고성능 센서의 개발이 선행되어야 할 것이다. 고성능 센서의 조건은 여러가지가 있겠지만 생체에 가까운 센서 또는 그 이상의 신뢰도를 갖는 센서의 구현이라 할 수 있다. 인공지능 센서를 만들기 위해 개개 센서의 고성능화는 물론 센서의 다기능화와 복합화를 이룩하고 동시에 컴퓨터(두뇌)와의 결합체 형성이 불가결하다. 그림 9는 센서의 다기능·복합화 개념을 간단한 도식으로 나타낸 것이다. 센서와 컴퓨터가 한



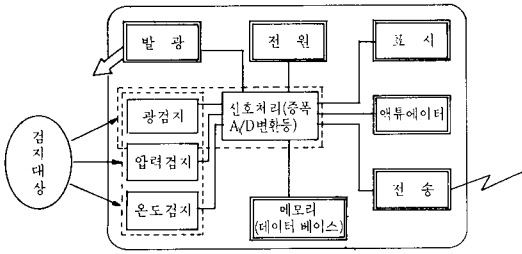


그림 9. 센서의 복합화·다기능화의 개념도

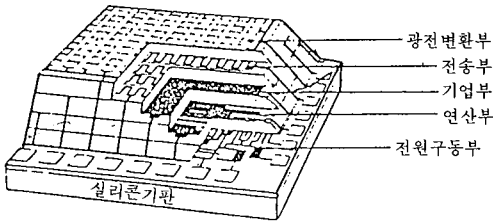


그림 10. 인공세포(모놀리식 스마트 센서의 개념도)

시스템을 이름으로써 센싱한 신호를 변환하여 그 데이터를 기억하고 축적하며, 해석·처리하여 필요로 하는 데이터를 변형하여 정보를 추출할 수 있다.

그림 10은 인간의 망막에 해당하는 인공세포인 스마트 센서의 개념도를 보인 것이다. 이와 같이 현재의 스마트 센서는 센서와 컴퓨터와의 조합에 의한 하이브리드형이나 앞으로 그림 10과 같은 모놀리식형이 될 것이다. 스마트 센서의 또다른 예로 다종의 가스를 검지하여 인식함으로써 냄새를 구별할 수 있는 smell sensor의 구조모형을 그림 11에 나타내었다.

스마트 센서의 형성에는 센서와 변환기 및 마이크로 프로세서의 유기적인 결합 기술이 관건이 되고 있다. 그림 12는 센서의 스마트화를 위한 결합 형태를 단계별로 나타낸 것이다.

센서의 궁극적인 형태는 인공세포이고 센서기술의 최종목표는 그 고기능·다기능과 스마트화에 의한 인공지능 로봇의 개발에 있다. 이를 실현하기 위해서는 센서 관련 과학기술자는 물론 거의 모든 분야 과학·기술인의 노력과 지혜가 집적되어야 할 것이다.

#### IV. 결 론

지금까지 반도체 센서 기술의 현황과 동향에 대해

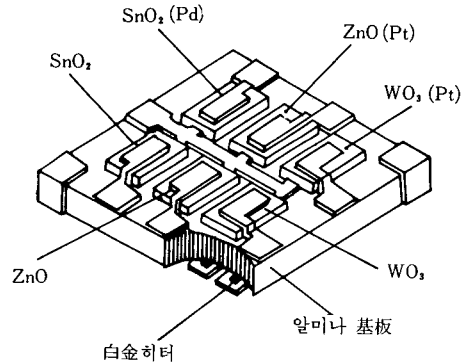


그림 11. 집적화 smell sensor

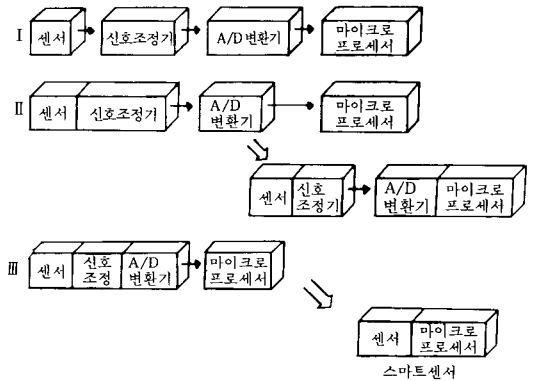



그림 12. 스마트 센서의 결합형태

개괄적으로 소개하였다. 센서가 각종 생산 기술분야는 물론 우리의 일상생활에 이르기까지 다양하게 사용되어 왔으나 이를 중심으로 한 학문·기술분야가 형성되기 시작한 것은 극히 최근의 일이다. 이는 센서 기술이 다양한 기초과학을 뿌리로 하고 여러 응용과학 및 기술을 기조로 하여 형성되는 다학문·복합기술이기 때문에 관련학문 및 기술의 융합과 집적이 체계적으로 이루어지는 데는 필연적으로 긴 시간이 필요했기 때문인 것으로 생각된다. 다양한 센서중 반도체 센서가 갖는 시대적 기술적 요구에 부응하는 적합성 때문에 반도체 센서 기술의 개발연구가 최근 크게 주목을 받고 있다.

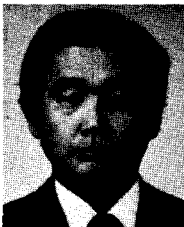
반도체 센서 기술은 현시대와 사회가 정보화·자동화 시대로 탈바꿈해 감에 따라 이를 가능하게 하는 핵심요소 기술로 인식되고 있으며, 국내·외 여러

라가 국가적 차원에서 그 개발연구에 주력하고 있다. 센서 응용은 현재 우리 생활의 안전과 보호라는 차원에서 우리의 편의와 행복추구라는 보다 높은 차원으로 도약해 가는 단계에 있다고 생각된다. 즉 반도체 센서 기술은 날로 고도화해 가는 집적회로 제조기술 및 시스템 기술과의 융합·집적을 이룸으로써 생산·사무·가정의 자동화 기술을 본격화할 것으로 믿어진다. 그리고 센서 기술의 궁극 목표라 할 수 있는 고성능 인공감각기관을 실현하기 위해 지속적으로 줄기찬 노력이 경쟁적으로 이루어지게 될 것이다. 그리하여 21세기에는 걸어 다니며, 사고력과 창조력을 갖춘 인공지능 로봇트가 출현할 것으로 기대된다. 반도체 센서 기술은 차세대 첨단기술로서 그 기술수준 여하가 앞으로 기술선진국 여부를 결정짓는 바로미터가 될 것임을 간과해서는 안 될 것이다.

#### 參 考 文 獻

- [1] 高橋清, 센서技術入門, 工業調査會, 1978.
- [2] 清山哲郎 等, 化學センサー その基礎と應用, 講談社, 1981.
- [3] 황규섭, 센서활용기술, 기전연구소, 1985.
- [4] 片岡照榮 等, 센서ハンドブック, 培風館, 1986.
- [5] 한국표준연구소, 센서개발을 위한 사전조사연구, 과학기술처 연구보고서, 1988.
- [6] T. Seiyama, et al., "A new detector for gaseous components using semiconductive thin films," *Anal. Chem.*, vol. 34, pp. 1502-1503, 1962.
- [7] N. Taguchi, *U.S. Patent*, 3,695,848, 1972.
- [8] 李德東 等, "半導體 가스感知素子の製造 및 그 電氣의 特性," 電子工學會誌, 第15卷 第5號, pp. 46-50, 1976.
- [9] M. Nitta and M. Haradome, "Thick-film CO gas sensors," *IEEE Trans.*, vol. ED-26, no. 1, pp. 247-249, 1979.
- [10] S.R. Morrison, "Semiconductor gas sensor," *Sensors and Actuators*, vol. 2, pp. 329-341, 1982.
- [11] N. Yamazoe, Y. Kurokawa and T. Seiyama, "Effects of additives on semiconductor gas sensors," *Sensors and Actuators*, vol. 4, pp. 283-289, 1983.
- [12] Duk-Dong Lee, Byung-Ki Shon and Dong-Sung Ma, "Low power thick film CO gas sensors," *Sensors and Actuators* vol. 12, pp. 441-447, 1987.
- [13] Duk-Dong Lee and Wan-Young Chung, "Gas-sensing characteristics of SnO<sub>2-x</sub> thin film with added Pt fabricated by the dipping method," *Sensors and Actuators*, vol. 20, pp. 301-305, 1989.
- [14] Duk-Dong Lee and Dong-Han Choi, "Thick-film Hydrocarbon gas sensors," *Sensors and Actuators*, vol. B1, pp. 231-235, 1990.
- [15] 한국과학기술연구원, 센서 기능 및 공정고도화 기초연구, 과학기술처 연구보고서, 1989.
- [16] Dennis Schuetzle et al. ed., *Fundamentals and Applications of Chemical Sensors*, American Chemical Society, 1986. 

#### 筆 者 紹 介



李 德 東

1942年 12月 21日生

1966年 경북대학교 물리학과 (이학사)

1974年 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

1984年 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1979年 11月~1980年 2月 Stanford大 전기공학과

1981年 8月~1982年 8月 Cornell大 전기공학과

1987年 7月 1日~7月 30日 일본 규슈대 종합이공학 연구소

1989年 12月~1990年 3月 플로리다대 화학공학과

1988年 1月~1989年 1月 대한전자공학회 반도체·재료 및 부품연구회 위원장

1974年~현재 경북대학교 전자공학과 교수