

# 半導体 変換素子の 展望 (上)

## The Prospect for Semiconductor Conversion Element

李 根 喆  
本 협회 편수위원

### 1. 序 論

1945년 미국의 Barden과 Schockley에 의하여 트랜지스터가 발명된 이래로 반도체 전자장치는 전기와 전자회로의 관계를 근본적으로 변혁하여 우리 생활에 많은 변혁과 풍요를 가져 왔다.

최근에는 정보처리수단으로서 뿐만아니라 인간의 감각과 신경 한걸음 더 나가서 인간의 두뇌 역할까지 맡게 되었다.

특히 컴퓨터와 통신분야를 결합한 정보통신 산업은 정보의 기억과 분류, 계산, 검색 및 전송등을 포함하는 것으로서 법률과 의약, 생체과학, 도서관, 출판, 은행, 예약시스템, 경영관리, 교육과 방위등에 응용되고 있다.

또한 반도체 전력용 제어소자인 사이리스터는 다이오드와 함께 전력의 개폐와 변환 및 제어에 혁신적인 발전을 가져왔으며 이것들은 반도체의 실리콘과 게르마늄의 PN접합기술로서 행하여지고 있다.

한편 트랜지스터나 다이오드의 응용은 한계점에 도달한바 최근에는 대규모집적회로(VLSI)와 컴퓨터의 주변장치 그리고 기억요소인 전하결합소자(CCD), 자기버블장치(MBD) 및 버케트브리게이드장치(BBD)가 이미 출현하여 반도체기술개발에 대한 밝은 미래를 약속하고 있으며 앞으로 10년간은 실리콘기술과 그 소자가 전력전자공업을 지배할 것으로 전망하고 있다.

### 2. 半導体 變換素子の 原理

우리가 흔히 발견할 수 있는 모래로부터 금과같이 귀중하고 값비싼 반도체소자를 만들 수 있는데 이 실리콘단결정은 결합이 없는 고순도이어야 되며 그 정제과정과 사용기구가 매우 복잡하다.

그런데 많은 반도체중에서 실리콘이 각광을 받는 이유는 제조기술상의 장점 즉 선택, 확산, 표면 불활성화, 온도특성, 누설전류 및 케리어(전자, 정공)의 이동도가 양호하며 역방향시 전류가 적고 고역내압을 만들 수 있으며 120°C까지 특성이 변하지 않기 때문이라고 한다.

한편 반도체변환소자의 역할에 대하여 고찰할 때 가장 기본적인 것은 전기전도도라는 사실을 이해할 필요가 있다.

즉 원자가 집합하여 결정을 만드는 경우 불연속된 에너지순위 (Energy Level)가 모여서 에너지대 (Energy Band) 즉 가전자대 (Valence Band)와 금지대역 (Forbidden Band) 및 전도대역 (Conduction Band)를 이루게 되는데 반도체에서는 얼마간의 금지대역폭을 갖고 있으나 금속에서는 금지대역이 존재하지 않아서 전자가 자유로이 다닐 수 있는 것이 금속과 반도체의 차이점이 된다.

N형반도체 이것은 4가의 실리콘 또는 질마늄에 3가의 불순물 (Ga, In, B)을 첨가해서 만드는데 어느 정도 외부에서 에너지를 주면 전자가 금지대

역을 넘어서 전도대에서 자유전자로서 운동을 하게 된다.

이 경우에 마이너스의 캐리어인 전자의 이동도를  $\mu_n$ , 플러스의 캐리어인 정공의 이동도를  $\mu_p$ 로 표시하고 전계  $\epsilon$ 를 가하면 두 캐리어는 서로 반대방향으로 운동하게 되며 부호가 서로 반대이므로 두 캐리어에 의한 전류는 같은 방향이 된다.

즉 전체전류밀도를  $J$ 라 하면  $J = (nU + pU_p)q\epsilon = \sigma E$ 가 되는데 여기서  $n$ 은 전자의 밀도,  $f$ 는 정공의 밀도,  $q$ 는 전자의 전하량으로서 반도체의 도전율을  $\sigma$ 로 표시하면 Ohm의 법칙에 따라서  $J = \sigma \epsilon$

〈표 - 1〉 반도체에 의한 물리량의 변환방식

변환방식	현 상	소 자	재료 (특징)
전기 $\rightleftharpoons$ 전기	정류작용 (AC $\rightarrow$ DC)	정류기, 다이오드	Si, Ge, Se
	트랜지스터 작용 (증폭, 발전, 변조)	트랜지스터 (바이폴라, MOS, FET)	Si, Ge
	스위치, 발전 (On-Off, DC $\rightarrow$ AC)	터널다이오드, 전다이오드 비정질다이오드	Si, GaAs, 유리반도체
	기 역	각종트랜지스터, CCD, MBD BBD	Si
광 $\rightleftharpoons$ 전기	광도전 (광 $\rightarrow$ 전기)	광도전필 { 적외 적외 방사선	Pbs, InSb, Hg-Te-Cd, Cds, CdSe, Ge, Si
	전자방사 (광 $\rightarrow$ 전기)	광전관	Sb-Cs
	광기전력 (광 $\rightarrow$ 전기)	광전기, 태양전지, 원자전지 광다이오드, 광트랜지스터	Se, Si, GaAs, Cds
	발광 { 진성 (전기 $\rightarrow$ 광) 접합	전계발광소자 발광다이오드	Zns, ZnO Gap (Eg = 2.3eV), GaPAs
	레이저	반도체레이저다이오드	GaAs
	PEM (자계) (광 $\rightarrow$ 전기)	광검출소자	Si, InSb (적외)
자기 $\rightleftharpoons$ 전기	자기저항효과 (자기 $\rightarrow$ 전기)	자기저항소자	InSb ( $\mu = 78000$ ), InSb ( $\mu = 33000$ )
	Hall효과 (자기 $\rightleftharpoons$ 전기)	Hall 소자	Ge, InSb, InAs
	Ettinghausen 효과	실용성이 없음	
열 $\rightleftharpoons$ 전기	온도에 의한 저항변화	서어미스터	금 속
	Seebeck 효과	열발전소자	Ge-Si, AgSbS <sub>2</sub>
	Peltier 효과	전자냉동소자	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
힘 $\rightarrow$ 전기	피에조저항효과	피에조저항소자	Ge, InSb (밴드구조)
	접합에 있어서 피에조효과	감압다이오드 (금속-반도체, 헤테로 접합 감압트랜지스터)	Ge, Si
분위기 $\rightarrow$ 전기	표면의 흡착현상 { 벌크 접합	{ 수분계 { 가스검출기	{ Ge 금속산화물

가 된다. 위 식에 결국 반도체의 도전율  $\sigma$ 는  $\sigma = (NUn+PU_p)q$ 로 정의된다.

종래에 반도체변환소자라고 하면 주로 계측제어 기술에서 측정하려는 물리량을 전기량으로 변환하는 것을 의미 하였으나 최근에는 정보처리분야에서 입출력단계에 까지 넓게 사용되고 있다.

변환소자를 대별하면 변환능률과 취급할 수 있는 파위가 문제가 되는 에너지변환소자와 입출력 간의 비례성이나 주파수특성이 중요시 되는 신호변환소자로 구별할 수 있다(표 1 참조).

여기서는 광전변환소자와 열전변환소자 및 압전변환소자에 한하여 원리와 재료등을 간단히 설명하고자 한다.

## 2-1 光電變換素子

광을 전기로 변환하는 광전변환의 주역은 반도체에 광을 조사하였을 때 발생하는 캐리어(전자, 정공)로서 광트랜지스터나 광다이오드, 광전지(Solar Cell)등도 결국은 광에너지에 의한 여기 현상을 이용한 것이다.

보통 광에 의한 캐리어의 여기는 금지대역 중에 상당하는 에너지에 의하여 전자와 정공의 쌍이 되는 경우가 많으며 반도체의 종류에 따라서 파장감도가 다르다(표 2 참조).

그리고 광여기된 캐리어를 외부회로에 도출하는 방법과 반도체의 종류에 의하여 여러 종류의 광센서가 개발되어 있으며 광검출방식을 물리적 기구로 분류하면 일반적으로 다음과 같다.

- (1) 외부광전효과(광전자방출)
- (2) 내부광전효과(광도전효과, 광기전력효과)
- (3) 열전효과

〈표 - 2〉 고속도광센서의 특징

광센서재료	파장영역 ( $\mu\text{m}$ )	양자효율 (광감도) (%)	응답시간	비 고
SiN <sup>+</sup> P	0.4~1	~40	130PS	APD (Avalanche Photo diode)
Si PIN	0.4~1.2	>90	7NS	PIN
Si PIN	0.6328	>90	100PS	0.6328 $\mu\text{m}$ 에 적응 응시진 것
GeN <sup>+</sup> P	0.4~1.55	50	120PS	APD
GaInAsP/InP	0.9~1.2	45	150PS	APD
GaAs N <sup>+</sup> nP <sup>-</sup>	0.7~0.9	30	150PS	APD

### (4) 초전효과(焦電効果)

#### (5) 기타

등이다. 이중에서 (3),(4)는 광에너지에 의하여 물체의 온도가 상승한 결과 일어나는 전기적효과를 말한다.

광이란 가시광(파장0.38~0.78 $\mu\text{m}$ )의 것으로서 광응용센서를 위한 광원으로는 레이저와 발광다이오드(LED)가 주역을 맡고 있으며 광센서의 재료로서 InSb, HgCdTe등이 사용되고 있다.

한편 새로운 원리에 의한 광센서로서는 1973년도 노벨물리학상을 받은 영국의 Josephson이 개발한 것인데 이 현상은 2개의 초전도체가 얇은 절연막으로 쌓여져 경계를 이루고 있을 때 양자간에 전위차가 없어도 직류전류가 흐르며 또한 바이어스전압을 걸면 전압에 비례하는 주파수의 교류전류가 발생한다는 것으로서 응용범위가 매우 넓다. 주로 표준전압발생기, 미소자속, 전압, 전류측정기, 계산기소자, 마이크로파발전기등에 사용되고 있으며 현재 조셉슨점접기는 전자천문학분야에 실용화되고 있다.

이외에 포톤, 드래그효과에 의한 점출기와 비선형광학 효과를 갖는 유전체의 원적외선의 파라메트릭효과를 이용한 원적외 검출소자가 있다.

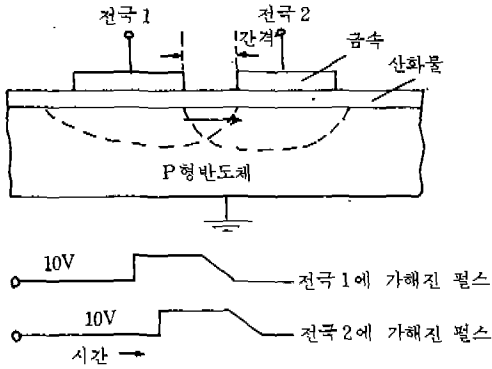
### (가) 電荷結合素子와 磁氣터블에 의한 센서

電荷結合素子(CCD)와 포토다이오드를 이용한 반도체화 촬상장치는 카메라의 형상을 하나의 센서헤드와 제어장치로서 구성한 것으로서 점, 선, 면 등을 비점적으로 측정할 수 있는 것이다. 더우기 높은 정확도와 고속으로서 점출할 수 있어 그 응용범위가 매우 넓다.

전하결합소자는 1969년 미국의 Bell전화연구소의 Smith氏등에 의하여 발표된 것으로서 최근 IC제조 기술의 진보와 더불어 실용화에 들어갔다.

원리는 하나의 실리콘칩상에 집적회로기술을 응용하여 연속적으로 전송전극을 만든 것으로서 입력 신호를 소정의 주기로 샘플링하고 입력신호량에 비례하는 전하군을 소자내에서 이동시킴으로써 시간의 지연등 여러가지 효과를 발생시키는 새로운 소자이다.

구조를 보면 그림 1에서 여러개의 금속산화물 반도체의 커패시터(MOS Capacitor)를 밀집상태로 모은 것으로서 전극 1에 펄스를 가하면 처음에는 반



(그림-1) 전하결합소자의 동작원리

도체표면에 공핍영역이 생기고 시간이 경과하면 이 공핍층영역에서 격자의 열진동에 의하여 발생하는 전자-정공쌍층 전자가 반도체의 표면에 모여서 반전층을 형성한다.

펄스를 가했을 때 부터 반전층이 형성될 때까지의 시간은 반도체내의 불순물의 농도와 온도에 따라서 결정되며 잘 처리된 실리콘의 경우 실내에서 이 시간은 2~3 정도가 된다.

격자의 열진동에 의하여 발생한 전자는 반도체에 빛을 비추지 않을 때 생기는 전자이므로 여기서는 암전류라고 한다. 그런데 반전층이 형성되기 전에 외부에서 빛을 조사하거나 또는 다른 전기적인 방법으로 전자를 공핍층에 투입하면 이 전자는 반도체표면에 모여 저장되며 암전류가 서서히 합쳐지게 된다.

전극 2에 그림과 같이 펄스를 가하면 전극 1에 있던 전자들은 전극 2로 이동하는데 이 현상을 전하결합이라고 하며 이 경우에는 전극 1에 있던 전자의 몇%가 전극 2로 이동하느냐가 문제인데 이것을 이동효율이라고 부른다. 응용으로는 이미지센서와 각종 필터, 디지털-아날로그컨버터등에 사용되고 있다.

또한 최근에 정보공학의 하드웨어로서 磁氣버블(Magnetic Bubble)이 주목을 받고 있으며 이것은 磁氣센서를 비롯해서 대용량기억장치, 논리회로, 디스플레이 및 녹음헤드등에 이용되고 있다. 재료로서는  $3R_2O_3$ ,  $5Fe_2O_3$ 와 같은 인공강자성 화합물이 이용되고 있으며 버블이란 수직자화막에 나타나는 작은 원통상자구(磁區), 다시 말하면 거품(泡)이라고 말할 수 있으며 일반 반도체와는 특이한 성질을 갖고 있다.

이외에 조셉슨소자를 이용한 자기센서로서 SQUID(Superconducting Quantum Interference Devices)가 있는데 이것은 조셉슨 접합을 포함한 초전도링이 자속변화에 대하여 자속양자(磁束量子)를 단위로서 동기적인 응답을 나타내므로 지어진 이름인 것으로서 극저온에서 자화율의 측정과 암석의 잔류 자기 측정 및 생체 자기 측정 등에 응용되고 있다. 이외에 최근에는 의학적으로 磁氣心臟學의 새로운 학문분야로 발전되고 있다.

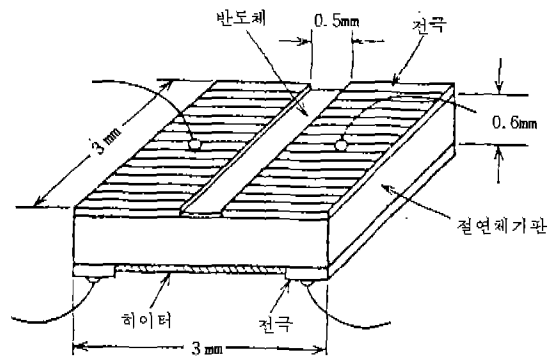
(나) 半導體에 의한 가스센서

현재 사용되고 있는 가스검출방법은 (1) 용액도전 방법과 정전위전해방법등의 전기화학적 방법 (2) 적외선흡수법 및 간섭법등의 광학방법 (3) 접촉연소법 반도체법등의 전기적 방법 (4) 가스크로마토그래피 등으로 분류되나 여기서는 (3)번에 의한 방법만을 설명하고자 한다.

가스센서의 원리는 반도체표면에 가스흡착에 따르는 반도체의 도전율변화를 검출하는 것으로서 대표적인 구조는 그림 2와 같다.

일반적으로 ZnO, SnO<sub>2</sub> 등의 n형반도체에 수소, 탄화수소 및 알콜등의 전자공여성(電子供與性)분자 즉 환원성가스가 흡착하면 흡착분자로부터 반도체에 전자적인 전이가 일어나서 n형반도체의 전자밀도가 증가하여 도전율이 증가한다.

또한 산소등의 전자흡인성분자(산화성가스)가 흡착하면 전자가 감소해서 도전율이 저하되는데 NiO 등의 정공을 캐리어로 하는 P형반도체에서는 n형과 반대로 전자공여성분자는 도전율을 저하 시키고 전자흡인성분자는 도전율을 증대시킨다.



(그림-2) 반도체가스센서의 구조

〈표-3〉 각종 반도체가스 센서

검출재료도재물질	첨가물질	검출가스	사용온도(℃)
SnO <sub>2</sub>	PdO, Pd	CO, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , 알콜	200~300
SnO <sub>2</sub> + SnCl <sub>2</sub>	Pd, Pt, 천이금속	CO, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	200~300
SnO <sub>2</sub>	PdCl <sub>2</sub> , SbCl <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CO	200~300
SnO <sub>2</sub>	PdO + MgO	환원성가스	150
SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub>	LPG, CO <sub>2</sub> , 도시가스, 알콜	250~300
SnO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , CU	알콜, 아세톤	250~400
SnO <sub>2</sub>	희토류	알콜계 가연성가스	
SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	환원성가스	500~800
SnO <sub>2</sub>	천이금속	환원성가스	250~300
SnO <sub>2</sub>	카오린, Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WO <sub>3</sub>	탄화수소계 환원가스	200~300
ZnO		환원성 및 산성가스	
ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ag <sub>2</sub> O	알콜, 아세톤 기타	250~400
ZnO	Pd, Pt	가연성가스	
(LnM)BO <sub>3</sub>		알콜, CO, NO <sub>2</sub>	270~390
(WO <sub>3</sub> , MoO, CrO등) + (Pt, Ir, Rh, Pb등)		환원성가스	600~900
n형과 p형산화물의 결합		환원, 산화가스	600~900
M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - ZrO <sub>2</sub>	M = SC, Yb, Y, Sm, La	배기가스	600~900
Pb(Zr, Ti)O <sub>3</sub>		배기가스	600~900
Zirconia		배기가스	600~900
BaTiO <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub> , ZnO, 희토류	배기가스	
WO <sub>3</sub>	Pt, 천이금속	환원가스	
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ag	NO <sub>2</sub>	
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pt	가연성가스	
Carbon		환원성가스	
감온페라이트		H <sub>2</sub> , 도시가스	

표 3은 현재 발표된 센서를 나타내며 그림 2와 같이 센서의 가스식별능력을 도모하기 위하여 도재재료에 기타 재료를 첨가하고 있으며 히이터를 부착하여 동작온도를 향상시키고 있다. 이것은 검출부에 부착하는 기름이나 먼지등을 연소시켜서 가스의 흡수와 탈착을 신속히 행하기 위한 것이다.

반도체가스센서의 장점은 장치가 간단하고 가격이 저렴하며 응답이 빠르고 감도가 높으나 열화(劣化)가 빠르고 소자간의 특성변화가 크다는 것인데 이러한 결점을 개선하기 위하여 현재 연구를 진행하고 있다.

특히 반도체가스센서 중 실용화되고 있는 SnO<sub>2</sub>계와 ZnO계를 간단히 설명하면 현재 시판되고 있는 SnO<sub>2</sub>소자는 사용온도 범위가 넓고 검출특성이

우수하므로 프로판, 메탄, 수소, 알콜, CO, H<sub>2</sub>S 등의 가연성 가스나 NO<sub>2</sub> 등의 축정에 사용되고 있다.

또한 최적 작동온도는 보통 200~400℃로서 가스에 따라 다르나 프로판에 대해서는 약 300℃이다. 제작시에는 소결체를 사용하는 것이 일반적이나 최근에는 미소한 실리콘침상에 10~10<sup>10</sup>A의 SnO<sub>2</sub>의 초미립자를 증착성형하고 가열용 히이터 및 온도검지 소자를 내장시킨 소자를 시작(試作)하고 있다.

〈다음호에 계속〉