

센싱 디바이스 調査의 概要

1. 序 言

최근 센서와 일렉트로닉스와 의 결합이 점차로 강하여지고 있다. 인류의 역사가 이루어진 과정을 보면 제 1 차 산업혁명에 있어서는 機械의 도입에 따라 筋肉勞動의 代替를 이루고 작업량의 증가에 대응하였다. 제 2 차 산업혁명은 센서를 가진 頭腦勞動의 代替와 擴大를 기하여 왔다. 물론 센서만으로 頭腦를 대신할 수는 없으나 센서로서 感을 가진 신호를 함께 制御하지 않으면 안된다.

센서 디바이스에 대하여는 特性이 대폭 개선된 새로운 原理를 가진 센서가 수없이 개발되었으며 마이크로 컴퓨터도 가져왔다. 지금까지 나타난 各種 情報信號를 電氣信號로 의 變換 制御技術에 대한 研究開發 동향을 조사할 필요성이 커졌다. 따라서 本稿에서는 日本에서의 技術開發 동향을 소개하므로써 業界開發 努力에 參考 資料를 제공코자 한다.

2. 半導體 센서

반도체 재료를 쓴 材料는 기능적으로 보면 材料의 종류가 극히 많으며 최근의 진전도 뚜렷하다. 여기에는 다시 半導體센서를 機能的인 관점에서 光센서, 力學量센서, 霧圍氣센서의 3 가지로 크게 大別된다. 다시 그것은, Si, Ge, III-V族 化合物, II-VI化合物, 其他의 材料로 細分된다.

(1) 半導體 光센서

반도체센서는 최근에 진전이 특히 뚜렷한 分野로서 많은 要求에 대응하기 위한 研究開發이 활발하다. 이 分野의 技術동향을 보면

- ① 集積化
- ② 大面積化
- ③ 長波長化로 集約된다.

① 積集化

대규모한 集積化의 例는 單結晶 실리콘을 중심으로 하여 이루어지고 있는 이미지 센서에서 볼 수 있다. 一次元 이미지 센서는 4096 畫素 (A, B, 원고를 16本/mm의 高解像度로서 읽어 낼 수 있음.) 小型 카메라用으로서 開發이 이루어지고 있는 二次元 이미지 센서는 800×800畫素의 것이 最尖端이다. 현재의 半導體 微細加工 技術은 2 μ m 정도로서 금후 이것 이상의 細密 이미지 센서를 개발하는 것은 半導體 메모리 256KD RAM 이상의 製法技術이 필요하다. 또한 固體撮像 디바이스는 컬러 카메라화를 목표로 하고 있으며 컬러 필터에도 여러 종류의 시험이 이루어지고 있으며 차츰 性能向上이 이루어지고 있다.

② 大面積化

密着型의 이미지 센서를 目標로 한 大面積化의 시험은 아몰화스 Si와 II-VI化合物을 대상으로 하여 이루어지고 있다.

大面積化가 부득이한 단결정 실리콘으로 할 수 없는 分野를 커버할 수 있는 것으로 기대가 모아지고 있다. 또한 아몰화스 Si 材料를 쓴 光센서의 大面積化로서는 一次元 이미지 센서, 二

次元 이미지 센서, 攝像管, 電子寫眞感光板이 개발되고 있다. 어떠한 센서도 아몰화스 Si의 特徵을 가지고 있으며 종래에 없는 새로운 機能을 附加시킨 장치의 실현이 가능하게 되었다. 현재 經時 變化라는 공통의 문제를 가지고 있으나 그 本質이 밝혀진다면 차차 실용화의 날도 멀지 않았다고 생각된다.

한편 II-VI 半導體로서는 cds系가 主流로서 지금까지는 2048素子密着型 一次元 라인 센서가 실현되었다.

③長波長化

지금까지 光센서의 대부분이 單結晶 Si와 Ge, II-VI化合物 등으로 形成됨에 따라 III-V化合物 半導體를 재료로 하기 때문에 실용화되는 것은 아직 적었다. 그러나 最近의 光화이버 성능의 비약적 진보와 그 低損失 領域의 長波長化 경향에 따라 1.2~1.6 μm 의 感度を 가진 光센서를 III-V化合物로서 실현하려는 연구, 개발이 성행하고 있다. 특히 GaAs와 InP를 基판으로 한 三元系, 四元系混晶으로 된 포토 다이오드에 연구가 집중되고 있다. 또한 受光素子和 FET와의 集積디바이스도 開發되고 있다. 또한 波長이 긴 赤外 영역에서는 赤外 이미지 센서로서 Si-CCD의 感光部에 쇼트키 接合을 이용한 구조의 것이 II-化合物 HgCdTe를 쓴 것의 개발이 중심이 되고 있다. 이러한 赤外線 이미지 센서의 開發은 디바이스화에 용이한 3~5 μm 帶로부터 이루어진 리니어 센서로서 100~200畫素정도로 실용화 단계에 달하고 있다. 또한 10 μm 帶는 미국을 중심으로 1990年頃에 실용화 단계에 들어갈 것으로 보여진다.

(2)半導體力學量센서

力學量 센서로서는 歪 등의 力學量과 半導體의 物性과의 關係를 直接 이용하는 것 이외에 近接센서, 變位센서, 位置센서 등을 이용하고 있는 磁氣센서도 포함하고 있다. 실리콘을 쓴 力學量 센서로서는 歪계이지가 있어 최근의 동향은 온도보상 등의 回路를 모노리식에 一體化하여 集積화하는 方向에 있다. 한편 化合物 半導體를 이용하는 것은 高電子 移動度를 활용한 磁氣 센서가 있으며 특히 높은 온도까지 사용할 수 있는 센서로서는 종래의 InSb와 GaAs 홀素子가 注目되고 있다.

(3)半導體霧圍氣 센서

霧圍氣 센서로서는 放射線, 溫度, 개스, 溫度센서의 조사 결과를 정리하였다. 이 분야에는 극히 多種類의 材料가 등장하고 있으나 Si 신호 처리회로와의 集積화를 지향하는 분야에는 센서部를 될 수 있는대로 Si로서 形成하려고 하는 움직임이 강하다. Si, Ge 半導體 放射線 센서는 실용화 된 이래 약20년이 경과하였으나 최근은 고순도 Si, Ge 센서, 表面處理法 방사선 손상 등이 연구되고 있다. 기타 X線을 검출하는 이미지 센서와 α 線과 β 線을 동시에 別個로 測定할 수 있는 방법이 개발되고 있다. 반도체를 이용한 온도센서는 벌크의 저항변화, 다이오드와 트랜지스터의 특성변화를 이용하는 것이 있다. 최근은 Si 擴張저항식 온도센서와 같이 급속히 진보한 IC 技術을 이용한 것이 많다.

개스·溫度센서의 분야에도 SiMOS 技術을 이용한 集積形센서가 주목된다. 이 대표적 예가 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MOSFET}$ 를 이용한 CFT(Charge Flow Transistor) 온도센서와 感개스部, 加熱 히타部, 온도센서部가 複合化된 集積화 초미립자 개스센서가 있다.

3. 세라믹 센서

세라믹센서 材料는 세라믹 본래의 특질로서 가지고 있는 耐熱, 耐食, 耐摩耗性에 덧붙여 최근의 화인 세라믹스화 가운데 그 우월한 센서 기능을 유감없이 발휘하고 있다. 검출되고 있는 정보도 개스, 이온, 光, 位置, 熱, 電磁界로 다채롭게 되어 있어 그 진보가 눈에 띈다. 表1은 機能別로 분류된 세라믹 센서의 예를 나타내었다. 세라믹 센서 材料에 요구되는 성능으로서의 이전은 다이내믹 렌지가 넓고 응답속도가 빠르고 선택성이 우수하다. 精度가 좋아져야 할 필요로부터 생각하여 본다면 최근에는 이러한 성질은 본질적 문제가 되지 않는다. 뒤에 보수할 수 있기 때문에 적어도 반드시 어떤 조건에서도 확실히 반응해 그것이 오래 잘 이어질 것이 필요하다는 생각이 바뀌어지고 있다. 즉 최근 센서에 필요한 성능은 적어도 확실한 정보(출력)를 내보고 그것이 신뢰성, 수명이 우수하다는 점이다.

① 温度 센서

지금까지 세라믹 온도 센서라면 대부분 서미스터를 찾았으나 금후 온도센서로서 유망한 것은 안정화 실코니아 酸素 센서를 쓰고 있다. 일반적으로 세라믹 온도 센서는 $P = P_0 \exp(B/T)$ 로서 나타나는 것과 같은 出力特性이 指數 關數로 변화하는 것에 대하여 실코니아는 起電力 $E = \frac{RT}{4F} \cdot I_n(P_1/P_2)$ 로서 나타나 起電力이 절대온도에 비례하고 있다. 1,000K에서 산소캐스의 壓力比 P_1/P_2 가 한자리만 달라도 50 mA의 起電力이 발생한다. 安定化 실코니아를

쓴 온도센서는 耐久性이 있어 딱딱한 세라믹스의 특징을 가지고 있음과 함께 그 특성변화는 리니어로 되어 있어 절대치의 計測을 할 수 있는 특징이 있다. 기타 온도센서로서는 無電效果를 이용한 PZT 세라믹 非接觸 온도센서 등이 상세히 보고되었다.

② 캐스, 温度센서

세라믹의 특징이 가장 좋게 생기는 분야는 캐스센서이다. 현재 센서 材料로서 SrO_2 , ZnO 와 In_2O_3 가 쓰여지고 있다. 캐스센서는 분위기 중에 포함되는 임의의 캐스를 선택적으로 檢知하는 것이기 때문이다.

表 1. 센서로서 '쓰여지고 있는 세라믹의 例(1)

	出力	効 果	材料例(形態)	備 考	
(1) 温度 센서	抵抗變化	캐리어濃도의 温度變化	(NTC) NiO, FeO, CoO, MnO, CoO-Al ₂ O ₃ , SiC, (벌크, 厚膜, 薄膜)	温度計, 바로메터	
		半導體-金屬相轉移	(PTC) 半導體 BaTiO ₃ (燒結體)	過熱保護센서	
	磁化變化	스핀磁性-常磁性轉移	VO ₂ , V ₂ O ₃	温度스위치	
		起電力	酸素濃淡電池	Mn-Zn系 珪라이트	温度스위치
(2) 位置 센서	反射波의 波形變化	壓電效果	安定化 실코니아	高温耐食性温度計	
			PZT: 치탄酸 실콘酸鉛	魚群探知器·探傷器·血流量計	
(3) 光 센서	可視光	起電力	焦電效果	LiNbO ₃ , LaTaO ₃ , PZT, SrTiO ₃	赤外線檢出
		反스트르크스則	LaF ₃ (Yb, Er)	赤外線檢出	
		波數通倍效果	壓電體, Ba ₂ NaNb ₅ O ₁₅ (BNN), LiNbO ₃		
		계획光	ZnS (Cu, Al), Y ₂ O ₃ S (Eu)	컬러TV 브라운管	
		熱계획光	CaF ₂	X線모니터	
(4) 캐스 센서	抵抗變化	可燃性캐스接觸燃燒反應熱	Pt觸媒 / 알미나 / Pt線	可燃性캐스濃度計, 警報器	
		酸化半導體의 캐스吸脫着에 의한 電荷移行	SnO ₂ , In ₂ O ₃ , ZnO, WO ₃ , γ-Fe ₂ O ₃ , NiO, CoO, Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , LaNiO ₃ , (La, Sr) CoO ₃ , (Ba, Ln) TiO ₃	캐스警報器	
		캐스熱傳導放熱에 의한 서미스터의 温度變化	서미스터	高濃度캐스用센서	
	起電力	高温固體電解質酸素濃淡電池	TiO ₂ , CoO-MgO	自動車排氣캐스센서	
(5) 湿度 센서	抵 抗	吸濕이온傳導	安定 실코니아 (ZrO ₂ -CaO, -MgO, -Y ₂ O ₃ , -La ₂ O ₃ 등)	排氣캐스센서 (렌덤센서)	
			트리아 (ThO ₂ , -Y ₂ O ₃)	溶鋼, 溶鋼中 溶存酸素分析計	
	誘電率	吸濕에 의한 誘電率變化	안정화 실코니아	CO, 酸欠, 不完全燃焼센서	
(6) 이온 센서	抵 抗	起電力	인燃燒酸素센서	이온濃淡센서	
		게이트吸着效果 MOSFET	AgX, LaF ₃ , Ag ₂ S, 유리薄膜, CdS, AgI	이온敏感性 FET (IFSET)	

그래서 可燃性, 不燃性 개스에 대한 센서의 반응성을 파악하는 것이 중요하다. 그러나 현

재로는 半導體 개스 센서는 可燃性개스에 대하여 酸素 存在下에서 산소를 개재시켜 間接

表 2. 센서用金屬料材⁽²⁾

機能分類	金屬材料	應用(센서·센서要素)
電氣抵抗材料		
測溫抵抗材	Pt, Cu, Ni, W (細線, 箔, 薄膜)	溫度센서, 流速센서
歪抵抗材	Ni, 망간인, 콘스탄탄, 애드밴스, 니크롬V, 니크롬카르마, Pt-Ir 합금 (線, 箔, 薄膜)	歪계이지, 로트셀
強磁性磁氣抵抗體	파마로이, Ni-Co 합금 (薄膜)	磁界센서, 磁氣漏브檢出器
포텐쇼메이터卷線材	망간인, 콘스탄탄, 애드밴스, 니크롬V	포텐쇼메이터·位置·角度센서
導電材料		
導體材	Cu, Al, Ag, Au, Pt, Ni, Cr, Ti, Ta, W (線, 板, 薄膜, 印刷導體等)	計器·磁芯 등의 코일, 리드線, 壓電體·半導體· 誘電體 電極
接點材	Ag, Ag 합금, Cu-Pd 합금, Rh, Ru	리드리레이, 마이크로스위치, 바이메탈 溫度 스위치
超傳導材	Pb, Nb	SQUID, 高感度磁束計, 心磁計, 赤外線·마이크 로波檢出
電氣化學/物理化學電極	Pt, Ag, Pd, Hg, 스테인레스鋼	pH計, ZrO ₂ 酸素센서, 醱素센서
熱電對材料	Pt-13Rh/Pt, Pt-10Rh/Pt, 크로멜-이루멜, Cu-콘스탄탄, 크로멜-콘스탄탄, Fe-콘스탄탄, Pt-30Rh/Pt-6Rh, Ir/Ir -40Rh, W-5Re/W-26Re, 크로멜/Au-Fe 0.07	熱電對溫度센서, 熱電型保護리레이, 電力計, 傳熱式真空計
熱電對		
補償導線	Cu-2Ni, Cu, Cu-30Ni	
磁性材料		
軟質磁性材	78.5Ni 파마로이 (PA) 45~50Ni 파마로이 (PB) Mo-파마로이 (PC), 더블함	리레이, 磁氣철드 리레이 磁氣헤드, 高感도리레이, 磁氣철드 라친리레이, 리드스위치
半硬質磁性材	49Co-2~5V-bal Fe	磁氣回轉센서
왕카드라이어	10V-52Co-38Fe, 50Ni-50Fe	마이크로폰, 振動센서, 可動코일計器, 픽업
永久磁石(硬質磁性材)	알니코프, 布土類-코발트系 (Sm-Co)	
感溫磁性材料		
整磁合金	Mo-파마로이, 모넬, 서모함	計器磁石(磁束溫度補償)
磁氣相轉移合金	Fe-Ni-Co-Si系	溫度리레이
磁歪材	硅素鋼, Ni, 파마로이	로트셀, 感磁性光화이버
彈性材	Cu-Ni-Mn, Cu-Be, Ni-Span C, SUS316	壓力計受壓膜 受壓베로즈, 알톤관
抵膨張材	인발(안바)	바이메탈, 서모스타트
形狀記憶材	Ni-Ti, Cu-Al-Zn, Cu-Al-Ni, Cu-Sn, Cu-Zn, 他	서모스타트발브, 定溫度開閉器
耐食材	各種스테인레스鋼, 모넬, 靑銅	오리류우즈, 다핀, 벤츄리관
耐熱材	스테인레스鋼, 하즈데로이, 안코넬	熱電對시즈
封着材	42合金, 46合金, 52合金, 426合金 코발, 無酸素Cu	센서-패케이지
觸媒材	Pt, Pb, Ag, Ni	개스센서
水素貯藏材	LiNi ₃ H _{6~7} , FeTiH _{1.5~1.95} , VH _{1~2} , NbH _{1~2} , Mg ₂ NiHx	水素서모스타트
水素透過材	Pd	水素센서
光學材	Al, Ag, Au, Cr	밀러, 光學휠터, 光吸收體
低融點材	Bi 합금	溫度휴즈

反應을 可逆的으로 行하는 것이 확인되었기 때
문이다. 금후는 反應性의 解明과 함께 각각의
개스에 가장 적합한 触媒의 探索이 중요하 과
제이다. 세라믹의 전기적 성질이 온도에 따라
變化하는 것을 이용한 온도센서는 오늘날에는
産業用, 家電用에 우수한 特性을 가진 것이 공
급되고 있다. 현재 온도센서 재료로서는 Al₂
O₃, MgCr₂O₄系, ZnO系, TiO₂系가 있어 感湿
特性은 이온 吸着에 따른 抵抗率의 變化, 또는
용량치의 變化를 이용하는 것이 많다.

금후 개스, 온도센서는 素子로서 IC化, 複
合化의 傾向이 있다고 생각한다.

예를 들면 SnO₂ 등에는 感개스 特性의 것이
感湿特性이 있어 가열온도의 콘트롤에 의한 温
度 개스의 複合센서와 溫度檢知 機能을 가진 材
料와의 複合素子도 검토되고 있으며 SnO₂ 系,
MgCr₂O₄-TiO₂系의 複合센서, 水酸 아파다이
트 感湿素子和 ZnO厚膜의 複合素子 등이 報告
되었다.

기타 최근 급격한 발전을 보이고 있는 光화이
버 센서에 관하여 조사된 결과를 상세히 언급
하고 있다.

4. 센서用 金屬材料

금속재료는 센서의 구성상 여러가지의 형태
로 쓰여지며 그 기능을 맡고 있는 것, 구조를 이
루는 것, 그것을 보호·안정을 맡고 있는 것등

무엇이나 불가결의 역할을 담당하고 있다.

金屬材料에는 센서用 기능재료로서 여러 가
지 화제를 보였으나 지금까지 기계적 또는 電磁
的 센서에는 대단히 많은 것이 사용된다. 表2
는 센서用 金屬재료와 센서 디바이스를 재료기
능의 분류에 대응시켜 보여주는 것이 있다.

① 센서의 變換機能을 맡는 것.

② 센서 및 액체로서 變換機能을 함께 담당
하는 것.

③ 센서의 變換機能을 發現시키기 위한 構造
·機構를 형성하는 것.

이러한 材料는 센서의 구성에 따라 板材, 線
材, 箔材 등 여러가지 형태로서 사용된다. 또
한 각각의 용도에 요구되는 材料特性을 주기 위
하여는 高純度化, 成分添加, 特殊加工, 熱處理
또는 表面處理에 施用하고 있다. 이와 같은 金
屬材料는 同質의 것으로 個個의 디바이스에 맞
게 최적화시켜 쓰고 있다.

최근에는 아몰화스合金, 形狀記憶合金, 金屬
超微粒子, 金屬水素化合物 등의 새로운 金屬재료
가 크게 크로즈 업되고 있음에 따라 그것에 따
른 新機能의 활용이 기대된다.

5. 有機센서 材料

지금까지 實用 센서의 대부분은 無機材料를
이용한 디바이스로 되어 있다. 그러나, 이것은
有機材料가 센서材料로서 不利하다는 것들의

表 3. 化學센서에 利用되는 有機材料

入 力	出 力	利用되는 効果	센서材料
湿 度	抵 抗	吸湿에 의한 抵抗變化	高分子電解質, 熱處理高分子誘電體, 無機物分散포리머
	容 量	吸湿에 의한 誘電率變化	셀로스系高分子膜
	抵 抗	吸湿에 의한 急峻한 抵抗變化	炭素粉分散吸湿性樹脂
	電 流	트랜지스터 特性의 變化	MOS-FET+吸湿性高分子
	共振周波數	振動子負荷의 變化	水晶振動子+포리아미드
개스分子	抵 抗	개스吸着에 의한 導電率의 增加	有機半導體 CFT素子+포리아미터졸
		다이오드 特性의 變化	홀로세인 후나존 등
		反應熱에 의한 抵抗變化	CuCl ₂ -PPAN膜
	共振周波數	振動子負荷의 變化	水晶振動子+有機薄膜
電 流	개스의 選擇의 透過, 電氣化學反應	개스透過性高分子膜+電極系	
이 온	起 電力	選擇의 膜內輸送	環狀페트차드含有포리아미드
有機分子 高 分子	(起 電力) 電 流	選擇의 生體反應	酵素膜, 微生物膜, 抗體膜+電極

미하지는 않는다. 오히려 有機센서 材料의 有用性은 점차 높아지고 있다. 이 경향은 有機센서 材料에 대한 다음 두가지의 기대가 있다.

① 無機材料에는 지금 얻어질 수 없는 기능을 有機材料에 기대한다.

② 有機材料의 특성을 살려 無機材料의 결점을 극복할 기대가 있다.

有機材料의 센서에는 物理現象을 이용한 것과 分子識別 기능을 이용한 化學센서가 있다. 물리현상을 이용할 有機材料는 無機材料와 競合狀態에 있는 것이 많으나 PVDF (포리푸스화 비리텐)와 같은 有機材料의 특성이 생기는 예도 차차 나타나고 있다. 한편, 분자식별 기능에서도 無機材料보다도 有機材料에 우월한 점이 많이 인정되고 있다. 특히 生體材料의 分子識別 기능은 無機材料로서 代替할 수 없으나 表 3은 化學센서에 이용되는 有機材料를 보여주고 있다. 지금까지 有機材料센서를 電磁氣센서, 光센서, 溫度센서, 力學量센서, 化學센서로 분류하여 조사하였다. 이 가운데 특히 주목되는 것은 化學센서의 일종으로 되어 있는 바이오센서가 있다. 바이오센서 가운데에도 가장 빨리 실용단계에 달한 것이 산소센서이다. 1970年代中에는 구리코스 센서가 시판된 것과 같다. 酵素센서의 지금까지 연구는 分子認識 部位에 있는 酵素膜의 특성 향상에 중점이 주어지고 있으나 최근에는 대단히 많은 酵素 센서가 實用段階에 달하였다. 有機센서 材料의 분야에도 Si-

FET와의 複合化가 활발히 이루어지고 있다. 예를 들면 이온 電極에 前置 增幅器의 MOS FET를 一體化한 기능과 구조를 가진 새로운 이온 센서와 FET 등 반도체 디바이스에 酵素 또는 抗體를 도입해 바이오센서의 微小化, 多機能化를 지향한 바이오 케미칼(酵素FET센서)에 그 예를 볼 수 있다.

6. 結 語

과거의 센싱 디바이스의 조사와 이번 조사를 비교하면 센서의 集積化, 多機能化에의 경향이 보다 명확하여졌다.

이에 따라 센서 材料에 대한 인식에도 변화가 나타나고 있다. 결국 될 수 있는 한 Si 디바이스(論理, 增幅, 演算)과 集積化(複合化)로서 쉬운 센서材料가 개발되고 있다.

이 경향은 금후에도 계속되어 최종적으로는 원칩 인테리젠트 센서가 실현될 것이다.

한편 반도체 이외의 분야에는 安定化 실코너, PVDF, 形狀記憶合金 등의 新材料開發이 행하여져 Si없는 새로운 기능성 재료로서 주목을 받고 있다. 금후에도 세라믹스, 有機材料의 분야에는 新材料 또는 新機能의 발견이 기대된다. 앞으로도 센싱 디바이스의 高機能化, 프로세스, 新센서, 高信賴化技術, 인터페이스, 信號處理에 관한 조사활동이 계속되어야 할 것이다.

