

日本の 新素材 開発と 今後の展開

1. 尖端技術과 新産業革命

大学の 연구실로부터 공업계를 분리시켜서 생각해 보면 최근의 공업계 동향은 일종의 産業革命이라 느껴지며 尖端技術이라는 낱말이 많이 쓰여지고 있다. 이 말은 무엇을 뜻하고 있는 것일까? 종전의 重工業은 이제 필요없게 되었는가? 工学部の 졸업생은 어떠한 성질의 기술자가 될 것인가? 불가사의한 일이 너무도 많다. 최근 2, 3년 이같은 의문을 풀어 줄 만한 책을 읽어 왔다. 이들 책을 집약하여 尖端技術이라는 것을 일람표로 한 것이 表 1이다.

먼저 종전의 중공업이 일본의 장래에 있어서 대단히 중요하다는 것을 강조하면서 이 表 1의 尖端技術의 내용을 잘 살펴보면 다음과 같은 특징이 있는 것을 알 수가 있다.

(1) 表 1의 7개 분류에 직접 대응하는 学科, 教育体系가 없다. 두, 세개의 전문분야가 관련하여 이른바 中間領域의 분야로서 여러 분야간의 협력이 필요해진다.

(2) 종전, 공업계의 핵심을 이루었던 鉄綱, 金

屬工業, 造船, 重電 등과 같은 大型 設備産業은 포함하지 않는다.

(3) 表 1의 7개 분야는 각각 독립해서 발달하는 것이 아니라 서로 의존하면서 발달한다. 따라서 기술자에게는 넓은 전문성이 필요해진다.

(4) 表 1의 7개 분류 제 2項에 다음 분야는 모두 제 1의 材料工學의 발달에 의존하고 있다. 그리고 尖端技術도 요구되는 재료는 소형으로 특수한 기능성을 가진다. 또 구조 재료의 경우에도 종전에 없는 듯한 성질을 요구받기 때문에 新素材로서 새로운 개발이 요구된다.

表 1 尖端技術一覽表

大 分 類	具 体 的 实 例
材 料 工 學	新金屬, New Ceramic, 有機材料와 이들의 複合材料(Amorphous 合金, 形状記憶合金, 超電導材料, 新半導體合金, Ceramic Engine, 機能性高分子)
Electronics	OA用, FA用 新Computer, 画像処理Pattern 認識, 光通信, 光Computer, Video Disk, 薄形TV, 新形Facsimile, Laser 計測, laser 加工
Sensor 技術	物理센서(光센서로서의 Amorphous Si, Se 와 Photo Diode, 圧力 Sensor, 磁氣 Sensor) 化学 Sensor(Gas Sensor로서의 酸素 Sensor, 湿度 Sensor, Ion Sensor, Bio Sensor)
Energy	各 新形原子炉, Uranium 濃縮, 再処理, 核融合, MHD發電, 地熱發電, 太陽光發電, 燃料電池, 水素 Energy, 石炭處理, 海洋 Energy, Biomus
Life Science	遺伝子工學, 細胞融合, Bioreactor, Interferon, Laser 医療, 人工臟器, 人工血液, Soft 農藥, 新加工食品
産業用 Robot 와 FA	FA와 Robot (自動溶接, Robot에 의한 電子部品組立, TV回路基板組立, Robot搬送 System, 部品の Machining과 自動車組立, 汎用板金加工
기 타	宇宙産業(Space shatl, Space Coroni, 次世代 Rocket)와 新海洋産業(海中通信, Mangan 団塊, 海水 Uranium 回收, 海洋微生物 등)

이상과 같은 특징은 종전의 공업과는 상당히 다른 성질이다. 종전에는 주로 외국에서 개발된 대형설비에 도입되어 품질관리를 하고 質이

높은 제품을 대량으로 생산해 나아가는 식으로
 업계가 발전해 나아가는 방법이였다. 鐵鋼社는 鐵鋼이외는 만들지 않고, 銅社는 銅만을
 만들었고 시멘트회사는 시멘트를 만드는 등 공
 업분야는 독립해서 기술을 발달시켜 서로의 교
 류에 의한 기술상의 移轉은 거의 없었다. 최근
 에는 「모든 회사가 모든 제품을 만든다」는 느낌
 이 있을 정도로 少量多品種의 개발을 연구하고
 있다. 예를 들면 시멘트회사는 옛날에 시멘트
 만을 대량으로 만들고 있었는데 최근에는 BaT-
 iO₃, SrTiO₃, PZT, LiTaO₃ 각종 磁性 Ferrite
 LaB₆, Si₃N₄, TiB₂ 등의 Electronics 材料를
 만들어 市販하고 있다. 마찬가지로 대형 鐵鋼
 社에도 半導體 製造에 나서 일부에서는 이미
 Lead Frame 등의 Electronics 材料를 제조판
 매하고 있다. 이와 같은 예는 일일이 헤아릴 수
 없을 정도이다. 그러면 이른바 機能材料와 新
 素材란 무엇을 뜻하고 있는 것일까.

2. 機能材料와 新素材란 무엇인가?

日本真空超材料研究所의 伊藤昭夫所長은 電
 總研時代로부터 機能材料의 조사연구를 오랫동안
 하고 있으나 機能材料를 다음과 같이 定義
 하고 있다.

「Energy(物質까지 포함)의 質的·量的 變換
 을 하는 작용을 가진 물질」 한마디로 말하면 光
 을 電氣로 바꾸는 素材材料를 有機材料라고 하
 며 앞으로 상세하게 말하게 될 Carbon 纖維를
 Carbon matrices로 메운 이른바 C/C Compo-
 sit와 같은 새로운 構造材料를 新素材라고 한다.

그러나 工業界에서는 이같은 구별을 하지않
 고 尖端技術에 關連하는 새로운 素材는 모두 新
 素材 내지 新機能材料라고 부르고 있다. 新素材
 와 機能材料의 구별도 없다.

이들 새로운 材料에 關한 책을 참고로 하여
 일람표로 만든 것이 表 2이다.

이 表 2의 분류방법은 애매하여 右쪽은 재료
 의 사용하는 방법, 즉 어떠한 목적으로 사용하
 는가 라는 분류이며 左쪽은 재료의 종류에 의
 한 분류이다. 이 表의 第 1項이 Sensor 材料까
 지를 廣義의 Electronics 材料라고 하며 尖端材
 料의 중심으로 하고 있는 것이다.

表 2 機能材料·新素材 一覽表

大 分 類	具 体 例
Electronics 材料	合金半導體, 化合物半導體, Socepson 素子, 超導電導材料, Condenser용 Ceramic, 圧電素子, 有機金属材料, IC基板材料, 3次元回路素子
磁 性 材 料	新磁性合金, Amorphous 磁性材料, Soft Ferrite, 磁氣 Head材料, 磁性流体, 珪素鋼板, Bond 磁石, 磁氣記錄材料, 磁氣 Bable Memory 材料
Electronics 材料	發光 Diode, Laser Diode, Electromick 材料, 液晶, 光 Fibre材料, Laser 發振材料, 光變調素子, 受光素子, 光導電材料, 螢光體材料
Sensor 材料	薄膜磁氣 Sensor材, Amorphous合金, Hall 素子, PTC, Thermo Ferrite, 圧電素子用 半導體, Photo Transistor, Gas Sensor 用 半導體와 固體電解質, Ion Sensor材, Bio Sensor材
Energy 關 聯 材料	太陽電池用 Amorphous 金屬, 燃料電池材, 水素貯藏合金, 原子炉, 核融合炉用材料, Uranium 分離材料, Gasturbin用 超耐熱合金, 超電導 Energy 貯藏材, 耐火合金
機 械 關 聯 材料	形狀記憶合金, 超塑性材料, 新彈性材料, 新耐食材料, 極低溫材料, 超耐熱性 Fibre, 超硬工具材料, Bearing 合金
Plastic 材料	Plastic 光 Fibre, 吸收分離膜, Pori Carbonate樹脂, 光·熱硬化性樹脂, Photoresist, Uranium 回收樹脂, Super 纖維, 合成紙, 有機超電材料
Ceramics材料	Engine部品用 Ceramics, Turbin Blade 用 Ceramics, 透明圧電 Ceramics, Alumina, Zirconium, Magnesia 등과 같은 New Ceramics, Gas Senser用 Ceramics, 切削加工유리
新 金 屬 材 料	Amorphous 合金, 形狀記憶合金, 超強力材, 1方向凝固合金, 表面合金, 纖維強化合金, 磁性流体로서의 超微分, 超塑性合金, 超微粒子, 半導體合金
生 體 材 料 (Life Science)	人工血管, Coragen 薄膜, 可食性 Film, 人工赤血球, 人體用合金材料, 齒用材料, 人工臟器, 그 接合材, X線과 γ線の 檢出材料, 磁氣誘導抗癌劑

機能材料와 新素材에 關한 책이 많이 출판되
 어 있으나 分類에 關한 통일적인 定說이 없다.
 日進月步로 새로운 素材가 나오기 때문에 이의

분류방법을 分類學的으로 생각하는 것은 그다지 중요하지 않을지도 모른다.

3. 新素材의 開發 背景

이상과 같은 新素材와 작은 새로운 機能材料의 開發이 대단히 왕성해진 원인은 복잡한 여러가지 원인이 겹쳐져 있어 단순히 무엇이다라고 말할 수가 없다. 예를 들면,

(1) 重工業設備産業이 일으킨 公害에 의한 重工業에 대한 不信感

(2) IC의 성공에 의한 超微量 물질의 경이적인 작용에 의한 Impact效果

(3) Opt Electronics 등의 새로운 Electronics 工業의 발달에 의한 新素材에 대한 큰 Needs.

(4) 表 1 과 같은 尖端技術은 전혀 새로운 재료를 필요로 하고 있다.

(5) 美·蘇 超大国間의 군사연구속에서 개발된 새로운 Seeds의 민간으로서의 擴散

(6) 산업혁명이래의 근대공업이 지구의 자원을 상당히 황폐시켰다. 그리고 앞으로는 이른바 Clean 한 새로운 기술로 인류의 행복을 바란다는 사고방식 등이 산업계의 사상을 바꾸어 온 것이 아닌가 생각된다.

新素材는 왜 발달하느냐 라는 질문에 대해 각기의 尖端技術분야에서 수요가 있기 때문이라는 대답은 일견 그럴듯한 말인것 같으나 그렇게 단순하지 않은 것 같다.

가끔 새로운 기술이 태어날 때는 Needs Oriented라든지 Seeds Oriented 라는 말을 하고 있으나 尖端材料의 발전은 Seeds Oriented 부문도 상당히 있을 것으로 생각된다.

예를 들면 表 3 에는 Electronics 材料의 예를 그 제조방법과 더불어 제시하고 있는데 이것만을 보면 Needs와 Seeds의 관계를 알 수가 없다.

그래서 表 4 와 같이 어떠한 Needs가 구체적으로 있으며 어떠한 새로운 기술이 발달되어 왔는가라는 식으로 정리하여 본다.

이와 같이 Needs와 그것이 驅動力이 되어 생긴 새로운 기술의 관계를 잘 알 수 있는 예는 그다지 많지 않으며 이러한 새로운 성능과 불가사의한 기능을 가지는 새로운 재료, 즉 新素

表 3 Electronics 材料의 一覽表

材 料	具 体 例	製 造 方 法
IC, MOS IC LSI用 材料	Mo/SiO ₂ /Si, GaAs, 시리사이드, 基板材料: Al ₂ O ₃ , SiC	PVD, CVD, 이온注入
磁 性 材 料	Fe ₈₁ B _{13.5} Si _{3.5} C ₈ , (Fe ₇ CO ₂ Ni) ₉₂ Zr ₁₀ , Tb ₂₅ Fe ₇₅ 등, BaFe ₁₂ O ₁₉ , Mn-Zn Ferrite, Mn-Mg Ferrite 등	Single-roll, Twin-roll 등, 析出法
Optelectric 材 料	光 Fibre: SiO ₂ , 光 Diode: Amorphous 등, 發光素子: GaAs 등, 光 Switch: LiNbO ₃ , PLZT 등	CVD, PVD, MOCVD
Sensor 材 料	光 Sensor: CdS 등, 磯氣 Sensor: InSb 등 溫度 Sensor: BaTiO ₃ , NiO 등 Gas Sensor: CaO-stabilized ZrO ₂ , SnO ₂ , ZnO 濕度 Sensor: Li-doped ZnO	Plasma 溶射, 燒結, 蒸着
Laser 材 料	半導體 Laser: Al _x Ga _{1-x} As/GaAs 固体 Laser: Al ₂ O ₃ (Cr ³⁺) YAG (Nd ³⁺) 등.	LPE (Liquid phase epitaxy) MOCVD, MBE
超電導材料	Josephson 素子: 鉛合金 (Pb, In, Au) NbTi, Nb ₃ Sn, V ₃ Ca	
Condenser Resister Varister	BaTiO ₃ Ni-Cr, C, SnO ₂ , 基板材料: Ceramics ZnO	Hotpress 燒結 그린시트 燒結
기 타:		
配線材料 接点材料	Au, Al, Ni合金, Ta, W, Mo Pt, Ru, Ph, Pd, Os, Ir, Ag	

材를 개발했으나 사용방법이 없다—— 즉 Needs가 없다——는 것이 대단히 많다.

Needs 開發도 없이 新素材를 만들어 이의 연구를 심화시키면서 市場開發을 하고 있는 예가 대단히 많을 것으로 생각된다.

예를 들면 새로운 機能性 金屬材料에 대해 그와 같은 사례를 들어본다. 새로운 金屬材料의 연구개발관계 해설과 책을 많이 쓰고 있는 제1 인자는 東京工業大學의 田中良平교수이다.

다음에 田中良平선생이 쓴 몇가지 해설을 한테 모아 要約하면서 이의 Needs에 대해 생각해

본다. (HK Mook 21-新素材百科, p. 29, 日刊工業(1983)과 未來를 여는 新素材, 森出版 등)

(a) 高強度材料: 강하면서 加工性이 좋은 Dual Phase Steel을 引張강도 60~80kg/mm²를 가진다. 마르에이지鋼은 280kg/mm²를 가진다. 渾海船, Rocket의 motor Case, Uranium 濃縮機 등에 사용된다고 하고 있으나 실제로 어느 정도의 양의 재료가 사용되고 있으며 이의 信賴性은 어떠한 것인가 라는 정보가 부족하다.

(b) 超耐熱合金: 1方向凝固並列結晶材가 Jet Engine 材料로서 사용되고 있다. 高効率 Gas Turbine의 材料로서도 연구, 개발되고 있다.

表 4 高密度集積回路化에 따른 製造技術·材料의 進歩例

項 目	Needs	技術·材料의進歩
Patterning 技術	微細化	光露光→電子Beam露光, X線露光
	Sidgedging 防止	濕式化學 Edging→Dryedging (反應性 Spatering)
不純物制御 技術	濃度·分布의精密制御	擴散法→이온注入法
	損傷回復	電氣炉加熱→瞬間 Anile (Flush光, Laser)
膜形成技術	再擴散防止 Step Coverage改善	CVD法→Plasma CVD法 (低溫加工)
電極·配線 材 料	低抵抗化	多結晶Si→金屬실리사이드, 高融點金屬(Mo, W)

또 Co와 Ni을 Base로 한 Super Alloy가 사용되고 있다.

이와 같은 정보는 조금씩이나마 연간 매상에 대한 定量的 Data가 그다지 나와 있지 않다.

(c) 極低溫材料: Linear Motor Car나 核融合, 磁氣冷凍 등에서 極低溫이 필요한 데 高Mangan, Crome鋼 등이 高韌性으로 磁性을 띄지 않는 材料로서 유망하다.

그러나 앞으로의 기술에 사용될 것이라고 일컬어지고 있으나 그렇다면 언제부터 일본에서 정식으로 사용될 것인가가 애매하다.

(d) 形狀記憶合金: 수십종 발견되었으나 商品化된 것은 Nickel-Titanium合金과 Cu-Zn-Al合金 정도 뿐이며 현재는 用途開發이 중요하다.

(e) 制振合金: 振動과 音を 흡수하는 合金은 東芝에서 개발된 12% Cr과 Al을 포함하는 鋼의 사이렌타로이가 精密機械部品 등에 실용화되고 있다. 鋼板사이에 Plastics를 낀 制振鋼

板은 防音壁과 기타의 構造材料로서 사용되고 있다. 또 多孔質 Aluminium板이 東北新幹線에서 採用되고 있다.

(f) 超電導材料: Va₃ Ga 등의 재료는 低溫에서 電氣抵抗이 Zero이며 Energy와 수송, 의료 등에 新분야를 열 것이라고 기대되고 있다.

(g) Amorphous 合金: 磁性材料로서 VTR의 磁氣 Head와 Transformer에 선행하여 실용화되고 있다. 이 분야도 용도 개발이 문제가 되고 있다.

(h) 水素貯藏用金屬材料: 水素를 대량으로 흡수하는 合金으로 水素 Gas를 저장하기 위해 사

表 5 Sensor로서 사용되는 半導體의 例 (機械技術研究所, 尾崎省太郎에 의한)

Sensor	效 果	材 料 例	用 途
光 S e n s o r	光起電效果	Si, a-Si, 2-6屬膜 / Si IC, 3-5-6屬膜 / Si IC, 螢光體 / Si IC	固体紫外可視 Image Sensor
		Si IC, Pt or Ir / Si IC, 2-6屬 Si IC, HgCd Te, InSnTe	固体可視光 Image Sensor
		Au-ZnS, Ag-ZnS, Si, Ge, InP, GaAs, InSb, InAs	光起電 Cell
		Si IC, 有機 Color Filter / Si IC	Color Sensor
		Se-As-Te, PbO	撮像管紫外
	光導電效果	S ₂ Se ₃ , PbO, CdTe, PbO-PbS, a-Si	撮像管可視
		ZnS-CdTe, Si-ZnCdTe	撮像管赤外
		CdS, CdSe, ZnO, Se	光導電 Cell
		焦電效果	PbTiO ₃ / Si, PVF ₂ / Si
	磁器 Sensor	Hall 效果	Si IC, InSb, InAs, Ge, GaAs
磁氣抵抗效果		Ni-Co / Si IC, InSb, InAsBi	
圧力 Sensor	圧電效果	ZnO / Si IC, PVF ₂ / Si IC	
	Piego 抵抗效果	Si, Si IC, Ge, GaP, InSb, InAsBi	

Sensor	효과	재료 예	용도
Gas Sensor	흡착에 의한 저항 변화	Ceramic, Si IC, SnO ₂	
	흡착에 의한 작업 함수 변화	Metal / FET	
	Gas Chromatograph	Si IC	可搬形 Gas 分析機
湿度 Sensor	흡착에 의한 저항 변화	Polima / Si IC, Al ₂ O ₃ / Si IC	表面의吸湿現象
加速度 Sensor	Piezo 抵抗效果	Si IC	
	压電效果	ZnO / Si IC	
化学 Sensor	FET의 Gate 電圧变化	無機 Film / Si IC	pH, Na ⁺ , K ⁺ , 酵素, Hormone
	Gate Controldiode	生体関連 Film / Si IC	抗原, 抗体 등의 檢出
温度 Sensor	熱起電力 Bipolar transistor 的 温度測定	Si IC	Therono File
		Si IC	温度計
流量 Sensor	Bipolar transistor 的 温度特性	Si IC	Gas 液体의 流量測定
感熱 사이리스터	熱勵起電流의 温度特性	Si IC	温度制御
放射線 檢出器	光導電效果	Ge, Si	
超音波 Sensor	压電效果	ZnO / Si IC, PVF ₂ / Si IC	超音波 CT 接觸子

용한다. 合金의 종류로서는 Mg과 Ca을 主成分으로 하는 것과 Fe, Ti을 Base로 하는 것 등이 있다.

이상과 같은 새로운 金属材料는 이른바 尖端金属材料와 機能性 金属材料로서 현재 왕성한 연구를 하고 있으나 모두가 구체적인 용도 개발이 앞으로의 중요한 과제로 되어 있다.

이와 같이 用途 開發이 불충분하고 新素材만이 先行하여 개발되는 일이 많다.

이 글의 처음에 「중전의 중공업은 장래에도 일본에는 대단히 중요하다」는 것을 강조했는데 그 이유는 이른바 尖端技術만으로 얻어지는 경제적 효과에 대해서는 아직 不確定的인 요소가 너무 많기 때문이다.

예로 새로운 機能材料가 차례로 발견되고 있지만 그 재료의 化学的 安定性, 機械的 性質, System化 했을 때의 作動安定性, 寿命 등에

대한 評價가 無에 가까운 것이 上記의 不確定 要素의 하나라 생각되고 있다.

4. 新素材의 今後의 展開

新素材와 機能材料의 今後의 展開를 예상하는 것은 곤란하지만 表 1의 「Sensor 技術」에 사용되는 素子의 재료를 예로 들어 몇가지 考察해 본다.

機械技術研究所의 尾崎省太郎씨는 工業調查會編 「Sensor 活用技術」(1984年版)에서 FA Sensor의 總說을 발표하고 있는데 이 가운데서 다음 表 5와 表 6과 같은 Sensor用 素子材料의 일람표를 만들었다.

이 표를 잘 보면 여러가지 재료를 생각하고 있는데 이 가운데는 吸湿性이 강한 것, 化学的으로 不安全한 것, 欠陥構造의 制御가 어려운 것 등을 볼 수가 있으며 이 제조기술이 걱정되며 또 Sensor를 Assembly로 하는 기술, System化 할 때의 材料의 보호문제, 使用조건, 作動安定性, 誤作動의 可能性 등 未解決이 대단히 많은 것으로 생각되고 있다.

여담이지만 이와 같은 것을 생각하여 최근 著者는 「Electronics 材料의 物理化学的 研究會」라는 연구회를 만들었으며 日立, 東芝, 日本電氣, 松下, Alps, 東京 Electron 등 Maker가 회원으로 가입했다.

이상과 같은 사정을 생각하면 新素材의 今後의 展開는 한편에서 더욱더 새로운 材料가 발견될 것이고 또 한편에서 위에서 말한 新素材의 使用방법의 연구, 평가의 연구 그리고 用途 開發을 더욱더 열심히 하지 않으면 안된다고 생각된다.

이번의 「急進展하는 Electronics 新素材」의 특집호에서 여러 분야의 일본의 제1인자들이 여러가지 새로운 재료에 대해 치밀한 해설을 하고 있는데 이는 시대에 부응한 좋은 기획이라고 생각한다.

뭐니해도 尖端技術의 중심이 되는 것은 Electronics이며 이를 지탱하는 材料를 개발하지 않고서는 이의 장래도 크게 발전하지 않을 것이라 생각하며 이 方面의 加急의 發展을 본다.

表 6 Sensor로서 사용되는 Ceramic의 例 (機械技術研究所 尾崎省太郎에 의한)

	出力	效果	材料例(形態)	備考
温度 Sensor	抵抗变化	Carrier 濃度の 温度变化	(NTC) NiO, FeO, CoO, MnO, CoO-Al ₂ O ₃ , SiC (Bulk, 厚膜, 薄膜)	温度計, Barometer
		半導體 = 金屬相轉移	(PTC) 半導體, BaTiO ₃ (燒結体)	過熱保護 Sensor
	磁気变化	Fery 磁性 - 常磁性轉移	VO ₂ , V ₂ O ₃	温度 Switch
	起電力	酸素濃淡電池	Mn-Zn系 Ferrite	温度 Switch
位置· 速度 Sensor	反射波의 波形变化	压電効果	安定化 Zirconium	高温耐食性温度計
	起電力	焦電効果	PZT : Titanium酸 Zirconium 酸鉛	魚群探知器, 探傷器, 血流量計
光 Sensor	可視光	反스토크스則	LiNbO ₃ , LiTaO ₃ , PZT, SrTiO ₃	赤外線檢出
		波数通倍効果	LaF ₃ (Yb, F)	赤外線檢出
	螢光	波数通倍効果	压電体, Ba ₂ NaNb ₅ O ₁₅ (BNN), LiNbO ₃	Color TV Braun管
		螢光	ZnS (Cu, Al), Y ₂ O ₃ S (Eu)	X線 Monitor
Gas Sensor	抵抗变化	可燃性 Gas 接触燃燒反応熱	ZnS (Cu, Al)	熱螢光線量計
		酸化半導體의 Gas 吸脱着에 의한 電荷移行	CaF ₂	熱螢光線量計
		Gas熱伝導放熱에 의한 Therm- ister 温度变化	Pt触媒/Alumina/Pt線	可燃性 Gas濃度計, 警報器
		氧化物半導體의 化学量論的变化	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, Lu)TiO ₃ 등	Gas 警報器
	起電力	高温固体電解質酸素濃淡電池	Thermister	高濃度 Gas用 Sensor
	電氣量	高温固体電解質酸素濃淡電池	TiO ₂ , CoO-MgO	自動車排氣 Gas Sensor
温度 Sensor	抵抗	吸湿 Ion 伝導	安定 Zirconium (ZrO ₂ -CaO, -MgO, -Y ₂ O ₃ , -La ₂ O ₃ 등) 토리아 (ThO ₂ , -Y ₂ O ₃)	排氣 Gas Sensor (람다센서), 溶鋼·溶鋼中溶存酸素分析計, CO·酸欠·不完全燃燒 Sensor
		氧化物半導體	安定化 Zirconium	린 燃燒酸素 Sensor
	誘電率	吸湿에 의한 誘電率变化	LiCl, P ₂ O ₅ , ZnO-Li ₂ O	湿度計
Ion Sensor	起電力	固体電解質膜濃淡電池	TiO ₂ , NiFe ₂ O ₄ , MgCr ₂ O ₄ + TiO ₂ , ZnO, Ni Ferrite, Fe ₃ O ₄ , Colloid	湿度計
	抵抗	Gate吸着効果 MOSFET	Al ₂ O ₃	湿度計
Ion Sensor	起電力	固体電解質膜濃淡電池	AgX, LaF ₃ , Ag ₂ S, 유리薄膜, CdS, AgI	Ion濃淡 Sensor
		Gate吸着効果 MOSFET	Si (Gate材 H ⁺ 用 : Si ₃ N ₄ /SiO ₂ , S ²⁻ 用 : Ag ₂ S, X ⁻ 用 : AgX, PbO)	Ion 敏感性 FET (IFSET)

