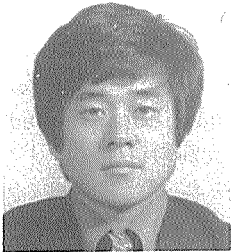


電子部品 및 素材工業을 위한 材料技術의 發展



李 載 星

漢陽工大 金屬材料工學科
助教授 / 理博

재료의 제조기술에는
초고압, 초고온, 초고진공,
초급냉 등 극한기술이 전보다
더욱 증가 추세로 연구되고 있어
이 방면에 새로운 재료 개발가능성이
매우 높으며 또한 무중력상태의 개발과
합성도 큰 성과를 올릴 것으로
생각되며 파급 분야는 전자
뿐 아니라 관련업계에도
영향을 미칠 것이다.

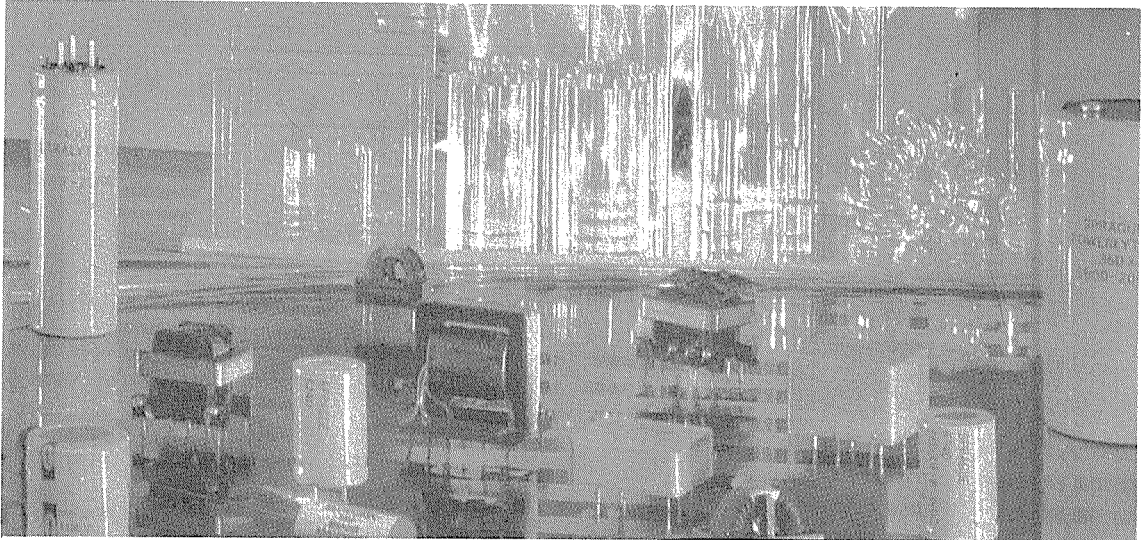
80年代에 들어오면서 半導體 集積回路를 중심으로 한 電子工業 技術은 급속한 발전을 이루어왔다. 뿐만 아니라 이 기술은 여타 전문산업 분야에까지 영향을 주면서 오늘날의 産業構造를 변화시키고 있다. 즉 光通信 및 機械技術과 결합한 새로운 分野가 創出되고 있으며 앞으로는 生命工學과도 결합하여 Bioelectronics 라는 새로운 기술분야가 개척될 전망이다. 이와 같이 현대는 전자공학의 기술을 중심으로 한 일종의 전자산업혁명의 시대라고 말할 수 있겠다. 이러한 전자기술을 뒷받침하고 있는 것은 의심할 여지없이 재료의 기술이다. 材料技術이란 넓은 의미로 새로운 素材, Process 및 製法の 개발과 大量 生産技術을 포함한다.

電子機器와 System의 技能面에서, 情報處理, 記錄, 記憶의 再生産 등의 기능을 발휘하는 데 필요한 部品 및 Device를 구성하는 재료는 그 機器의 성능을 좌우한다. 현재 사용되고 있는 전자재료는 그 數나 量이 무척 방대하지만 대부분이 실리콘(Si) 및 化合物 半導體를 중심으로 한 반도체 재료, 기록, 기억용 磁性材料 및 세라믹스(Ceramics)가 주를 이루고 있다. 그외에도 놀라운 속도로 개발되고 있는 光半導體, 光 fiber, 液晶材料 등도 이미 實用化 단계에 있다.

이상과 같이 尖端産業으로써 先進國家들이 앞을 다투어 개발경쟁을 벌이고 있는 전자기술분야는 필수적으로 新素材 개발에 그 역점을 두고 있다. 따라서 本稿에서는 최근 발표된 新素材에 관한 Topics 및 研究論文 등을 引用, 拔萃하여 先進各國들의 새로운 전자재료 기술을 특히 부품소재 및 응용에 주안점을 두어 그 현상을 살펴보고자 한다.

1. 實用化되고 있는 材料

현재 高密度化, 低消費 電力化, 低價格化에 박차를 가하고 있는 반도체 집적회로는 Si의



전자기술을 뒷받침하고 있는 것은 의심할 여지없이 재료의 기술이다.

MOS memory에서는 이미 256Kbit가 개발되었으며 현재는 1M bit에 도전하고 있다. 素材제작 면에서도 現行 $2\mu\text{m}$ 를 넘어서 $0.5\mu\text{m}$ 를 요구하고 있다. 아울러 製作工程 면에서도 高密度集積化함으로써 生産性이 높아졌고 가격도 저렴화되었다. 소재인 Si 單結晶의 계속적인 기술개발에 있어서 主目標은 결함이 없고 最大直徑을 갖는 Si 단결정의 生産이다. 현재 引上法에 의해 제조되는 단결정은 5 인치 직경에 轉位(dislocation)가 없는 것이 가능하지만 열처리 공정에서 결함이 발생하는 약간의 문제가 남아있다. 결함의 主原因은 열처리과정에서 혼입되는 酸素이다. 이러한 산소의 농도를 낮추기 위한 방법으로서 2,000 G 이상의 磁場을 가해 주는 物理的인 방법이 실현되어 큰 효과를 보고 있다. Si 단결정 개발을 위한 大直徑化와 高集積化 외에도 單結晶面의 平坦加工 및 高精密度 技術에도 改善研究가 진행되고 있다.

현재는 Si보다 GaAs가 각광을 받고 있는데 그 理由는 첫째 電子移動도가 Si에 비해 5~6 배 정도 크고 둘째는 半絶緣性 結晶을 얻을 수 있기 때문이다.

GaAs는 高速性, 高周波特性을 갖고 있는 III-V族 化合物 半導體의 대표적인 것으로서 Si의 Bipolar Transistor의 6GHz에 비해 5배나 큰 30GHz를 갖고 있고 출력면에서도 고출력을 얻을 수 있다. III-V族 化合物 半導體는 주기

율표의 IIIb족(B, Al, Ga, In)과 Vb족(N, P, As, Sb)의 2 개이상의 원소를 조합한 化合物로 현재 응용되고 있는 것은 GaAs, InP, GaP등 비교적 높은 순도를 얻을 수 있는 二元化合物과 GaAs, InP의 格子에 整合을 이루는 GaAlAs, InGaAsP 등의 多元化合物이다. 이들 化合物의 結晶成長法으로는 크게 HB法(Horizontal Bridgman)과 LEC法(Liquid Encapsulated Czochralski)의 2 가지로 大別된다. 예로서 GaAs 결정 성장을 위한 HB法은 석영관내의 저온부에 As 금속을 놓고 GaAs의 용점(1238°C)보다 높은 고온부에 Ga를 넣으면 As 증기가 고온부에서 Ga에 흡수되어 석영관을 따라 이동, Ga 금속선단으로부터 온도가 강하되어 GaAs 결정이 성장하도록 하는 것이다. 이때 金屬先端部分에 結晶成長方位를 결정하기 위해 일반적으로 Seed결정을 넣는다. 한편, LEC法은 원료에 B_2O_3 등의 封止劑를 넣어 가열하면 첨가한 封止劑가 녹고 高壓의 질소 및 아르곤가스로 V족 금속의 蒸發을 방지한다. 가스압력은 GaAs의 경우 3~5 기압 정도이다. 석영관내의 온도가 融點에 도달되어 원료가 용융상태로 되면 Seed결정과 접촉되면서 서서히 回轉함과 동시에 棒狀의 單結晶으로 引上되어 成長한다. 최근 발표된 HEMT(高電子移動度 Transistor)는 12.8ps의 傳搬遲延時間을 기록함과 동시에 소비전력면에서도 Si MOSFET의 150배 정도로

高集積化가 가능하다. 그러나 아직은 기술개발에서 Si보다는 뒤떨어지고 있는 실정이다. LEC法에 의해 제조되는 HEMT는 직경이 2인치, 전위밀도가 100개/cm² 정도이며 素材結晶内에 불순물의 확산이 어렵고 산화피막의 형성이 힘들며 소재자체가 軟하다는 단점이 있으나 微細化工技術이 이루어짐에 따라 Si에 비해 급속히 개발이 진행될 전망이다.

磁氣記錄材料는 VTR로부터 컴퓨터의 주변 기억장치에 이르기까지 광범위하게 이용되어 光磁氣記錄, 垂直磁氣記錄 등 高密度記錄이 주요과제가 되고 있다. 재료면에서는 Ferrite와 Cobalt 變成酸化鐵의 針狀結晶을 Polyester의 基板에 적당한 結晶제와 함께 塗布하는 것이 主를 이루고 있다. 그러나 記錄密度面에서 塗布形은 한계가 있다. 密度를 높이는 것은 磁區를 가능한 작게하여 磁化를 크게 하는데 있지만 여기서 발생하는 反磁界의 영향을 피하게 하는 磁性膜을 薄膜으로 하는 것이 더 유효한 방법이다. 현재의 기술로는 박판 두께의 한계가 0.5 μm이지만 蒸着形에서는 0.08 μm가 실용화 단계에 있고 0.03 μm까지 실용가능할 것이다. 증착형 재료로는 Fe, Co 등이 사용되고 있고, 현재 Co-Ni合金이 실용단계에 있다. 光磁氣記錄에는 Gd-Fe-Tb合金의 薄膜을 이용하여 2×10⁷ bit/cm²의 面密度가 가능하다. 이것은 현재 사용되고 있는 磁氣 디스크의 약 10배정도의 高密度이다.

세라믹스(Ceramics)는 원래 構造材料에 응용되던 것이 이제는 전자기재료로도 응용되어 IC기판 및 Package에 이용되고 있다. 더 나아가 요즈음에는 그 특성을 이용하여 誘電體, 壓電體, 磁性體 및 半導體 材料로 이용되고 있다. 예로서 압전체에는 二成分系의 PET(PbTiO₃-PbZrO₃)와 보다 개발된 三成分系의 PCM(PbNb_{1/3}·ZnY₃O₃-PbTiO₃-PbZrO₃) 등이 사용되고 있으며 자성체에는 Ferrite, 반도체에는 ZnO Varistor, 반도체 BaTiO₃ 등이 사용되고 있다. 최근에는 표면층의 특성을 이용한 센서(Sensor) 재료로도 개발이 되고 있다. 대표적인 것으로는 ZnO系의 可燃性 가스센서 및 MgCr₂O₄-TiO₂系의 세라믹스-온도센서 등이다. 이외에도 세라믹스 재료는 앞으로 Autoelectr-

onics, Mechatronics, Bioelectronics 등 새로운 분야에서 보다 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

2. 開發中에 있는 材料

현재에는 光Fiber와 반도체 레이저(Laser)와같은 단순히 光通信뿐 아니라 光記錄, 光센서를 포함한 모든 光技術 材料의 개발이 한창이다. 實用化 단계에 있는 석영계의 光Fiber에서는 1.55 μm띠에서 0.2dB/km의 것을 얻을 수 있다. 이외에 短距離통신용에는 重水素化 PMMA Plastic Fiber가 10dB/km(680 μm)로 손실이가장 적으며 光에너지를 傳送하는 탄산가스 레이저用 적외광 Fiber도 ZnSe 등을 소재로 하여 개발이 한창 진행중에 있다. 반도체 레이저는 GaAs와 AlGaAs의 2 중구조 P-n접합이 실용에서 연속발진에 성공(1970년)한 이래 실용화 연구가 활발하여 최근에는 수명이 10만시간으로 추정되고 있다. 또한 InGaAsP계의 레이저도 개발중에 있으며 이의 수명도 前者와 비슷하다. 한편, 受光素子로는 0.8 μm띠의 Si, 1 μm띠의 Ge, 외에 InGaAsP계의 것이 사용된다. 그러나 반도체 레이저 및 受光素子の 개발이 순조롭게 진행되고 있지만 Si에 대응할 만큼의 量産性과 集積化에는 아직도 많은 문제점이 남아 있다. 이와 더불어 上記한 化合物 半導體 재료의 기술에는 基板 結晶成長 기술과는 달리 MBE法, MOCVD法 등 薄膜결정 성장기술의 확립이 당면한 과제이다.

結晶에는 없는 특이한 성질을 갖는 機能材料로서 Amorphous재료(非晶質材料)가 있다.「物質을 구성하는 原子의 배치상태가 結晶의 長範圍規則配列을 하지않는 재료」로 정의되는 非晶質材料는 이미 알려진 재료로서는 유리나 Polymer(高分子) 재료가 있으나 현재는 金屬과 半導體가 여기에 첨가되어 새로운 분야를 형성하고 있다. 그러나 이러한 비정질재료는 유리와 고분자에서는 용이하게 얻을 수 있으나 금속과 반도체 등의 결정재료에서는 특수한 방법으로만이 가능하다. 즉 액체의 急冷, 鍍金, 蒸着 Sputtering 등의 방법이 알려져 있지만 이중에서도 액체의 急冷法이 비정질 금속리본을 대량

생산할 수 있는 利點이 있다. 이 방법은 1960 년대에 Paul Duwez에 의해 최초로 개발된 이후 각 분야에 널리 응용되고 있다. 일반적인 제조방법은 溶融金屬으로부터 결정이 生成, 成長하는 데 필요한 시간적 여유를 주지않고 熱傳導率이 큰 金屬表面에 용융액체를 분사시키는 것이 기본적인 원리이다. 이때의 냉각속도는 $10^5 \sim 10^6$ K/sec 정도에 달한다. 그러나 이러한 빠른 냉각속도에서 모든 합금이 非晶質 상태가 되는 것은 아니고 몇몇 金屬들의 조합만이 해당된다. 非晶質 합금을 크게 나누면 金屬-非金屬系, 金屬-金屬系의 두종류로 나눌 수 있다. 경험적으로 前者는 B, C, Si, P, Ge 등의 非金屬을 약 15~30a/o (원자부피분율) 함유한 합금이고 後者는 주로 주기율표의 右側 (Fe, Co, Ni 등) 과 左側 (Zr, Nb 등) 의 금속을 조합한 합금이다. 그림 1 은 각종 합금의 조합을 非晶質化 시키는 데 필요한 臨界冷却速度 (CCR, Continuous Cooling Rate) 와 유리전이온도, T_g 와 융점 T_m 과의 관계를 나타내고 있다.

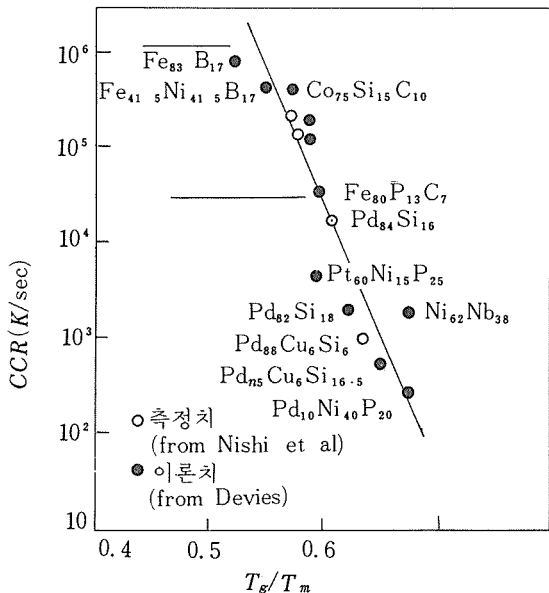


그림 1. 各種 合金의 非晶質形 成能을 表示한 臨界 冷却速度와 T_g/T_m 의 관계.

非晶質 合金의 구조는 아직 명확하지는 않지만 원자배열이 무질서하여 結晶質 金屬材料에서 볼 수 없는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- ① 結晶의 對稱性이 없어 磁氣異方性이 작아 高誘磁率, 低損失 材料로 이용이 가능하다.
- ② 電氣比低抗이 커서 過電流損失이 작고 高周波數에서도 磁氣의 性質이 우수하다.
- ③ 무질서한 원자배열로 본질적으로 轉位, 粒界 등의 결정결함이 존재하지 않아 機械的強度가 크고 耐蝕性 등의 化學的 性質도 우수하다. 이와 같은 특성때문에 여러 분야로 응용되는데 그 용도를 그림 2 에 表示하였다.

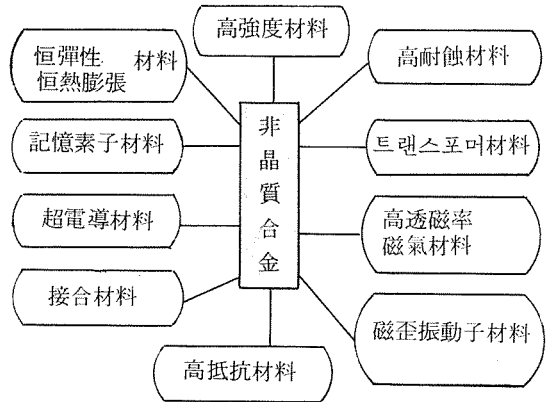


그림 2. 非晶質 合金의 應用分野

먼저 磁氣材料는 Fe, Co, Ni, Cr 등을 主 재료로 하여 이것에 B, C, Si, P 등의 유리형 성재를 혼합하여 초급냉시키면 耐마모성이 우수하고 전기저항이 크며 연자성을 띤 非晶質材料를 얻을 수 있어 磁氣 Head 및 트랜스포머 磁心에 응용될 수 있다.

반도체 재료로는 Si의 非晶質膜을 이용한 태양전지의 응용이 한창이다. 특히 Si비정질박막의 光傳導性을 이용하면 전자사진 감광판에도 응용될 수 있다. 이것은 이미 실용화된 비정질 Se (Selenium)과는 달리 熱的으로 쉽게 결정화되는 결점이 있지만 波長까지도 높은 감도의 감광판을 기대할 수 있다.

電場發光 (EL) 반도체에는 교류증착박막형 (交流蒸着薄膜形)이 주로 이루어며 ZnSiMn의 황금색을 필두로 TbF₃ (綠色), PrF₃ (백색), DyF₃ (황백색) 등이 실용화를 서두르고 있다. 發光다이오드에는 GaN, SiC, ZnS 등을 주체로 한 靑色發光이 개발중에 있다.

有機性能材料로는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌,

폴리에틸렌, 폴리염화비닐 등이 사용되며 이들의 주된 특징은 輕量性, 透明性, 可燒性, 加工性, 전기절연성 등이 있어 크게 나누어 導電材料, 光導電材料, 光學材料, 絶緣材料 등에 이용된다. 그외에 전자사진용 감광판으로 실용화되고 있으며 자동차의 축전지 전극으로서 輕量化가 기대된다.

有機材料는 無機材料보다 耐久性 및 性能面에서 다소 뒤지는 점도 있으나 무기재료에는 없는 유연성 등을 이용하여 응용범위가 넓어질 것으로 기대된다.

3. 未來의 材料

極限的 性質을 이용한 미래의 재료기술을 몇 가지 소개하면 우선 Pb, Nb, In 등의 합금을 절대온도(0°K) 부근으로 냉각시킬 때 전기저항이 소멸되는 超電導體를 들 수 있다. 이러한 超電導體 사이에 數mm의 절연체를 넣은 素子는 Si 소자에 비해 속도가 20~50배, 소비전력이 1/1000 정도의 超高性能 Switching 기능을 가지고 있다. 그러나 이를 위해서는 액체 헬륨을 사용하여 냉각시키지 않으면 안되는 어려운 점이 있지만 가까운 장래에 이러한 素子를 이용한 컴퓨터가 실현될 것이다.

또한 직경이 0.1~0.001 μ m되는 貴金屬微細粒子는 이미 화학반응촉매, 센서 등으로 이용되고 있지만, Fe, Ni, Co 등의 磁性微粒子를 적당한 조건하에 이용하면 공기중에서 큰입자보다 安定된다는 점 등 특이한 성질이 나타나는데 이러한 특성을 이용한 特殊材料의 개발도 기대된다. 光通信分野에서 光Fiber는 이론적으로 10⁻³ dB/km가 가능하다. 만일 이러한 超低損光Fiber가 실현된다면 아무리 먼 거리라도 單線으로 연결되어 큰 효과를 거둘 수 있을 것이다.

센서의 분야에서도 Biotechnology를 이용한 Bio-센서가 예상된다. 현재 산소센서, 미생물센서 등이 개발되고 있지만 앞으로 해결되어야 할 화학물질의 檢知가 문제로 남아있다.

재료의 제조기술에서는 超高壓, 超高温, 超高眞空, 超急冷 등 극한의 기술이 以前보다도 더욱 증가 추세로 연구되고 있어 이 방면에 새로운 재료가 개발될 가능성이 매우 높다. 또한 무

중력상태에서의 재료개발 및 合成도 큰 성과를 올릴 것으로 기대된다.

以上の 觀點으로 볼 때, 전자재료 기술은 高性能化, 微細化, 複合化 등을 軸으로 광범위하게 전개되어 이제는 더욱 高度技術化하는 경향이 있다. 더우기 새로운 재료 및 기술의 개발이 단순히 전자업계만이 아닌 인접한 관련업계에도 영향을 미쳐 他業界의 발전을 유도하리라 판단된다.

한편 共晶合金을 一方向으로 凝固시켜서 제조한 材料 또는 전기적, 자기적 異方性 材料로 많은 연구가 진행되어오고 있지만 아직 실용화는 되고 있지 않는 형편이다. 이러한 種類의 재료로서는 金屬-金屬系 共晶合金은 磁氣的 性質 및 超傳導 特性에 응용이 가능하며 金屬-半導體 合金은 熱的, 光學的 효과를 이용할 수가 있다. 그외에도 Multi-layer Shottky-接合다이오드를 제조하여 高 Breakdown Voltage를 갖는 재료의 개발도 가능할 것으로 기대된다. 또한 金屬-絶緣體의 공정합금 異方性 材料는 可變抵抗의 소형화에 응용될 수 있고 아울러 光學的 特性材料에도 利用이 가능할 것이다.

參考 文獻

1. 早川 茂: 「材料技術の すぐ熱と 今後の 展望」 電子材料, 4 (1983)22
2. 山内清隆: 「アモルフラス合金」 電子材料 4 (1983)32
3. P. Duwez et al: Trans. AIME, 227 (1963)362
4. 増本 化學工業, 33(7)(1982)25
5. H. A. Davies: Proceeding 3rd International Conf. on 「Rapidly Quenched Metals」 1 (1982)89
6. 高山: 鉄と鋼 66 (1980)10
7. 増本編: 「アモルフラス合金」 アグネ社, (1980) 135
8. 唯井 彰: 「化合物半導體」 電子材料, 4 (1983) 45.