

# 先端金屬재료의 세계적 개발현황

堂山昌男  
〈日本東京大工学部 교수〉

## ◇ 材料의 再認識

1980년대에 들어서 혁신적인 材料出現에 대한 기대가 특히 높아졌으며 材料開發手法의 科學化가 당면의 긴급과제로 되어 있다. 그 첫번째 이유는 많은 工業分野에서 終局的으로는 재료의 문제에서 진전이 저지되고 있는 경우가 많다. 金屬材料 한가지만 들어 볼때, 예컨대 耐熱鋼은 熱效率을 높이기 위해서 보다 높은 온도를 견디는 재료가 요구되고 있으며 超LSI인 電導材는 그 微細化때문에 發熱이 적은 보다 高電導인 것이 요망되고 있다. 재료를 전문으로 하지 않은 사람들은 이미 개발되고 있는 재료에서 선택한다는 Soft인 소극적방법을 취하는 것이 보통이지만 재료를 전문으로 하는 사람은 Needs를 만족시키도록 어떻게든 재료의 성질, 성능이 향상 되도록 改良材 또는 새로운 재료를 만든다는 기

초적인 방법에 도전한다. 이 경우는 要求度에 의한 目標가 있으므로 막연하지만 나아가는 방향에 있다. 또다른 한 이유는 위대한 技術革新이 거의 다 나왔으므로 그것들이 綜合技術時代로 移行되고 있는 것이 아니나라는 지적이 있는데, 이 타개책으로서 材料分野에서의 Needs의 발견과 그 육성으로 新素材 開發이 기대되고 있다는 것이다. 이것이 앞으로 어떻게 진전될 것인가에 대해서는 예측하기 곤란하다.

최근에 들어 다시 材料분야가 재차 높아지고 있다. 이것은 기술혁신이 갈데까지 다 갔을 때, 결국엔 材料自體의 性質, 性能의 문제가 된다는 것이 재인식되기 시작했기 때문일 것이다. 기존의 재료에서의 선택이라는 Soft 입장만으로는 어찌 할 수 없는 상태에 이르고 있다. 이것을 감안하여 日本에서는 정부가 추진하려는 첨단기술에 관한 프로젝트 연구라던가 通産省工業技術院의 「次世代産業基盤技術開發制度」라던가 과학기술청의 「創造科學推進制度」를 보면 재료개발을 내세우고 있음을 알 수 있다. 또 문부성의 「時定研究」, 「一般研究」, 「試驗研究」 또는 1987년도부터 시작되는 「重點領域研究」에도 材料研究가 중요한 위치를 차지하고 있다. 내가 金屬材料分科會의 主査를 하고 있는 通産省의 「콤파스계획(産業材料의 理論開發)」도 이線에 따르는 것이며 오늘의 강의내용도 이것에 힘입은 바 크다.

企業에서도 新材料, 新素材開發이 활발하며 日本에서는 생산이 한도에 이르고 있는 鐵鋼業者도 신소재를 다루게 되었다. 新日本製鐵은 定款을 이때문에 바꾸었으며 川崎製鐵은 첨단기술(하이테크놀로지) 연구소를 창립했다.

金屬材料 중에서는 純物質을 최근 高純度의 것이 재료로서 필요하게 되었으나 실리콘을 제외하고는 工業的으로 多量 쓰이고 있는 것은 적다. 그러나 재료가 고도화됨에 따라서 合金을 만드는 데에도 불순물의 영향을 적게 하기 위해 純度를 높인다는 것은 늘 주어지고 있는 과제이다.

金屬材料의 대부분은 合金으로서 쓰인다. 몇가지의 元素를 혼합, 열처리 가공을 되풀이해서

요구하는 성질을 얻는다. 이 프로세스는 매우 중요하며 元素의 分布, 配列를 제어하는 것이다.

프로세스로 結晶粒의 配列, 各結晶粒의 방향, 몇가지 相의 분포까지 제어한다. 加工, 熱處理로 金屬複合材料를 만드는 것이다.

금속과 금속, 또는 금속과 메타토이드(탄소, 질소, 브론, 인 등)로 화합물을 만드는 것이 있으며 통상 금속간 화합물이라고 한다. 이 장래의 이용이 기대되고 있다. 다음에 몇가지 예를 들어 보겠다.

### ◇ 低合金高張力鋼

低合金高張力鋼은 普通鋼과 비슷한 組成을 가지는 鋼인데 강도는 普通鋼의 2 배이기 때문에 그 耐荷重性能으로 部材가 輕량이어도 무방하게 되었다. 降伏力이 높고 韌性이 뛰어나며 溶接性, 成形性이 좋은 외에 廉價일 것이 요구된다. 이 鋼의 강도가 높은 것은 結晶粒의 조정, Al, V, Nb, Ti의 微量添加에 의한 析出強化, 制御圧延이나 制御冷却과 같은 제조공정을 개량한 결과인 總和때문에 달성된 것이다.

低合金高張力鋼은 低強度鋼보다 가공이 곤란한데 低合金高張力鋼에서 발전한 Dual Phase鋼(複合組織鋼, 二相鋼)의 조직은 軟質인 韋라이트相 素地에 마르텐사이트粒이 等方的으로 분산한 조직을 基調로 한 鋼이며 주로 自動車用防錆鋼板으로서 개발되었다. 강도가 동등한 低合金鋼보다 가공하기 쉽다. 이 가공이 용이하다는 것 때문에 복잡한 부품의 製作工程에서 低合金高張力鋼을 이용하는 가능성이 늘어났다.

### ◇ 低溫用鋼

본질적으로 低溫脆性을 보이지 않는 오스테나이트鋼과 低溫脆性을 보이지만 여러가지 개선을 한 韋라이트鋼이 있다. 후자는 공업적으로 대량 생산되고 있다. 韋라이트鋼은 ① 현미경조직의 미세화, 균일화, 형태의 개선, ② 매트릭스의 韌化(Ni 첨가, Al 첨가로 固溶N을 줄이는 등),

③ 第2相(炭化物, 파라이트, 介在物)의 低減, ④ 粒界脆性の 抑制(P, As, Sb의 저하, Mo첨가), ⑤ 集合組織의 이용등 일반적지침에 의해 개선되고 있다. 이것을 실현하기 위해서 合金元素의 첨가, 불순물제어(S, N, O 등의 低減), 조직의 미세화를 위한 열처리, 또는 制御圧延등이 시행되고 있다.

日本에서 低溫用鋼은 이미 成熟度가 높은 製品分野이므로 자료도 풍부하며 日常製造로서는 문제가 없으나 使用低溫環境의 荷酷化, 溶接施工의 省力化에 따라 성능은 높힐것을 요구하고 있다.

### ◇ 스테인레스鋼

최근에는 高純度스테인레스鋼이 新規特性때문에 주목되고 있다. 高純度韋라이트系 스테인레스鋼에서는 근래 製鐵技術의 진보, 특히 VOD, AOD 등의 極低炭素, 低窒素鋼의 低코스트大量生産技術의 진보, 또는 電子빔連続爐床精製法, 高純度 크롬을 쓴 眞空溶解法등의 高純度精鍊法の 개발로 양호한 성질인 스테인레스 鋼製造가 가능하게 되었다. C, N등을 低減한 高純度 韋라이트鋼은 海水溶器罐體, 貯藏槽, 応力腐蝕이 문제가 되는 화학플랜트용 裝置材로서의 용도가 증대하고 있다. 주된 것으로 30Cr-2Mo와 18Cr-2Mo-Ti(Nb)가 있다.

### ◇ 超強力鋼

低合金高張力鋼의 품질을 높힌 것이다. 中合金工具鋼, 時効析出強化型 스테인레스鋼등이 超強力鋼으로서 이용되는데 현재 가장 뛰어난것은 時効析出粒子의 分散強化를 이용한 無炭素合金 마르텐사이트조직인 말에이징鋼 등이다. 표준인 18% Ni 말에이징鋼은 降伏強度 200kgf/mm<sup>2</sup> 정도인데 18Ni350급, 13%Ni400, 8%Ni500級鋼의 組成이 제안되고 있다. 이것은 종래의 溶体化+時効라는 열처리를 대신해서 加工熱處理를 적용하면 強韌性이 크게 개선된다. 原子爐利用을

고려해서 Co을 뺀 12%Ni~5%Cr鋼도 있다. 말에이지鋼은 탄소, 인, 유황, 규소, 망간, 질소, 산소, 수소 등의 不純物元素를 극력 低減해서 靱性의 향상을 꾀한 鋼種이기도 하다. 이것들 時効析出過程은 非平衡狀態를 교묘히 이용한 것이며 平衡相을 대상으로 하는 경우와 비교하여 말에이지鋼의 合金設計는 어렵다.

低強度側에서는 高純度化가 개선되고 있다.

### ◇ 一方向性電磁鋼板

鐵單結晶을 磁化했을 경우, [100] 방향은 제일 용이하게 磁化한다. 따라서 圧延器의 鉄心을 만들때 磁化하는 방향이 [100]방향으로 향한 單結晶板으로 만들면 鐵損은 적다. 그리고 變壓器 全般을 單結晶板으로 만들면 鐵損은 적다. 그러나 變壓器 全般을 單結晶으로 만들 수는 없으므로 強加工, 熱處理를 적절히 하고 결정방향이 랜덤(Random)으로가 아니라 되도록 磁化방향인 (110) [001]을 향하도록 만들어진다.

일본에서는 新日製의 Hi-B, 川崎製鐵의 RGH가 생산되고 있다.

### ◇ 一方向凝固, 單結晶

엔진은 사용온도를 높게 하면 할수록에 理論 熱効率이 상승한다. 그 때문에 10數종류의 元素가 혼합되고 있다. 고온으로 壓力下에 장시간 폭로되므로 크리프(Creep)에 강한 재료가 필요하다. 터빈翼은 사용중에 合金元素가 확산되어 粒界으로의 偏析이 일어난다. 그 때문에 粒界破壞가 일어난다. 이 粒界偏析에 의한 효과를 적게하기 위해, 최근 一方凝固法이 이용되고 있다. 이것은 터빈翼의 길이의 방향으로 結晶粒을 성장시키며 柱狀으로 하는 것이다. 다시 이 효과를 높이기 위해 鑄造로 單結晶으로 만드는 것이 연구되고 있다. 일본에서는 次世代 産業基盤技術 연구제도중의 고성능 結晶制御合金으로서 취급되고 있다.

### ◇ 超塑性合金

어떤 종류의 합금은 적당한 온도범위로 引張하면 엇가락처럼 늘어나는 것이 있다. 이 현상을 超塑性이라고 하며 복잡한 成形加工에 이용되고 있다. 이 현상은 結晶粒界슬립(Slip)이 어떤 溫度範圍에서 일어나기 쉽기 때문이다. 그 때문에 微小結晶粒으로부터 되는 재료가 만들어지며 塑性變形中에도 結晶粒이 이상하게 커지지 않도록 노력이 경주되고 있다. 복잡한 成形加工을 할 수 있는 Al-Mg합금이 건재로서 응용되고 있다. Ti-6Al-4V합금은 超塑性을 이용하여 固相接合에 쓰인다. IN100합금(Ni-10Cr-15Cr-4.5Ti-5.5Al-3Mo)은 塑性加工 곤란한 합금인데 粉末冶金法과 超塑性加工으로 형성된다.

### ◇ 超微粒子

粒徑이 數 $\mu\text{m}$ 이하인 粒子를 일반적으로 超微粒子라고 부른다. 粒徑이 100 $\mu\text{m}$ 이하가 되면 벌크(bulk)의 성질과 다른 특성이 나타난다. 100 $\mu\text{m}$ 이하인 超微粒子의 제작법으로서 대표적인 방법은 가스中蒸着法이다. Ar, He 등의 不活性 가스, 또는 O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> 등의 活性가스중에서 蒸發-凝集을 함으로서 金屬酸化物 및 非酸化物 세라믹스의 超微粒子가 얻어진다.

Fe, Co, Ni 및 그 合金에선 粒徑이 10~30mm정도로 되면 1粒子中의 磁區가 하나로 되는 單磁區構造를 취한다. 그 때문에 高密度記憶材料로 기대되고 있다.

金屬超微粒子는 粒徑0.1 $\mu\text{m}$ 정도가 되면 金屬本來의 色에 灰色을 띠며 10 $\mu\text{m}$ 에 근접하면 모든 금속은 眞墨이 되며 光의 흡수가 커진다. Au의 超粒子膜을 500Mg/cm<sup>2</sup>이상으로 형성하면 95% 이상의 光吸收率이 얻어진다. Au의 超微粒子는 光吸收率이 파장에 그다지 의존하지 않으므로 적외선센서로서의 응용이 생각된다. 촉매로서는 가스吸着이라든가 選沢性에 특이한 거동을 나타내는 10 $\mu\text{m}$ 이하인 超微粒子에 관심이 주

어지고 있다.

### ◇ 아몰파스합금, 超急冷合金

통상의 金属材料는 多結晶이다. 金屬融체를 超急冷하면 非晶質, 아몰파스狀의 합금이 얻어진다. 아몰파스합금은 結晶材에 비해서 高強度, 高透磁率, 高磁歪, 高耐蝕性, 觸媒作用, 超電導性 등의 풍부한 가능성이 차차 밝혀지고 있으며 그 장래가 기대되고 있다. 다만 急冷速度를 크게 하기 위해 熱을 제거할 필요가 있으며 매우 얇은 재료밖에 얻어져 있지 않다는 것이 결점이다. 또한 폭이 넓은 막이 얻어지지 않는다.

트랜스 鐵心材料로서는 폭 10~15cm, 또한 板厚가 클수록에 조립이 용이하다. 鐵損이 낮은 최대의 원인은 板厚가 얇으므로 渦電流가 감소한다는 것에 의하지만 그 반면, 板厚가 얇을수록에 表面狀態의 영향으로 히스테리시스(Hysteresis) 損이 증가되기 쉬우며 또 트랜스를 조립시킬 때의 作業性이 나빠진다. 硅素鋼系의 트랜스보다 鐵損은 7분의 1이 된다고 말해지고 있다. 전세계의 트랜스가 아몰파스로 直換되면 그 에너지절감도 막대하다. 아몰파스를 사용한 작은 모-터등은 이미 市販되고 있다. 트랜스용으로서 폭 30cm안팎의 양산체제가 당면 목표이다.

아몰파스 遷移金屬-메타로이드합금은 정도, 강도가 높으며 韌性이 우수하며 磁歪零인 組成附近에서 두드러진 軟磁性을 나타내며 전기저항이 높다. 이같은 高透磁率特性은 磁氣헤드(Head)에 적합하다.

아몰파스遷移金屬-稀土類系薄膜은 磁化容易方向이 膜面에 수직으로되어 있는 垂直磁化膜이 된다. 磁氣바블(Bubble)이나 光熱磁氣記錄 등의 메모리매체에 쓰인다. 眞空中에서 合金組成의 터겟드에 아르곤 등을 충돌시켜 표면으로부터 튀어나오게 하여서 基板에 薄膜을 부착시키는 스패터링(Sputtering) 법으로 만들어지는 경우가 많다. 이것들을 GGG(Gd, Ga, O<sub>12</sub> 가드리늄 갈륨 가넷드) 基板에 稀土類 鐵系의 가넷트막을 성장시킨 單結晶膜보다 고속, 고밀도메모리에

적합한 것으로 평가 되고 있다.

融체로부터의 超急冷으로 아몰파스로 되지 않으며 結晶化되어도 성질의 개선이 보인다. 超急冷으로 合金元素가 확산하는 시간이 없으며 樹枝狀晶을 형성할 수 없으므로 균일한 조성의 재료가 얻어지며 結晶粒은 미세하게 되며 균일하며 신장이 좋아진다.

최근 急冷한 Al-Co 등에 5 회 對稱性인 擬結晶 구조가 얻어져서 주목을 받고 있다.

### ◇ 形狀記憶合金

통상의 金属材料를 降伏點 이상으로 변형하면 變形應力을 제외하고도 歪(Strain)가 남는다. 記憶合金에선 降伏點을 훨씬 넘어서 변형하며 표면上 塑性變形하더라도 가열하면 변형전의 형상으로 되돌아가고 만다. 단순히 회복하는 것만이 아니라 큰 힘(예컨대 Ni-Ti 合金에서 30kg/cm을 넘어선다)를 발생한다. 이같은 形狀記憶效果를 나타내는 합금은 Ni-Ti, Cu-Zn, Cu-Al-Ni 등 많은 合金이 있다.

이것들은 마르텐사이트變態로 雙晶이 생기며 가열에 의해 원래로 되돌아선다고 생각된다. 形狀記憶性의 대부분은 1方向뿐으로 1회한인 경우가 대부분이다. 이것을 低溫高溫間에 온도를 반복하여 바꾸는 것만으로 반복 二方向性인 변형을 하는 편이 유용하다. 이렇게하는 데엔 形狀記憶合金 자체에 二方向의 特性을 지니게 하거나 一方向性인 合金에 스프링이나 분동 같은 다른 部材를 조합시켜서 二方向性으로 할 것이 시도되고 있다. 合金自体에 二方向性 形狀記憶效果를 지니게 하려면 합금을 強加工해서 拘束狀態에서 熱處理를 한 다음 얻어진다. 高溫低溫側의 形을 각각 기억해서 變態溫度보다 고도에서는 高溫側의 形狀, 低溫側에서는 低溫側의 形狀으로 몇번이라도 되는 현상이어서 얼핏 편리하지만 高低溫側 각각의 形狀을 정확히 설정할 수 없다는 결점이 있다.

대표적인 形狀記憶合金은 Ni-Ti (原子比 1:1)이다. 이것은 金屬間化合物인데 塑性加工이

가능하다는 진귀한 합금이다. 다시 室温附近의 특정온도에서 마르텐사이트 변태를 일으켜서 특이하며 다양한 특성을 나타낸다.

용도로서 NASA에서 개발한 우주로켓의 안테나가 있다. 안테나를 低温에서 작게 접고 필요에 따라 우주에서 태양열등으로 확대한다. 파이프이음매(Joint)에는 動作温度가 낮은(-150℃) 합금을 사용하며 内徑을 파이프徑보다 약간 작게 만들어 둔다. 이 이음매를 液体窒素에 담고 内側에 플러그(Pluck)를 밀어넣어 内徑을 벌린다. 양측에서 파이프를 삽입하고 室温에 방치하면 이음매는 拡張前에 치수로 되돌아가 파이프를 쥘다. 이 이음매는 超高速戦闘機 F-14의 油圧配管系에 이미 百萬個 이상이나 쓰이고 있으며 油漏 기타의 문제점이 전혀 없다는 것이 확인되고 있다. 파이프 이음매와 비슷한 사용법으로서는 각종의 시링(Sealing), 크램프(Cramp) 등이 있다. Ni-Ti 합금은 생체에 대한 적합성이 좋으므로 생체에 埋入하는 인플랜트材로서 기대되고 있다. 銅系記憶合金은 열가 이므로 温室窓의 개폐라든가 에어콘의 風向調整등에 쓰이고 있다.

### ◇ 超電導材料

金屬元素, 合金 및 金屬間化合物的 電氣抵抗이 매우 낮은 온도에서 전적으로 消失하는 현상을 超電導로 부르고 있다. 超電導를 나타내는 물질을 超電導有機物質도 포함해서 2,000종 이상이 있다고 한다. 超電導체는 어떤 온도 $T_c$ (臨界温度) 이상이 되면 超電導狀態에서 常電導狀態로 되돌아 간다.  $T_c$ 이하의 온도에서도 超電導체에 가해지는 磁界가 어떤 값(臨界磁界  $H_c$ ) 이상이 되거나 電流密度가 어떤 값(臨界電流密度  $J_c$ ) 이상이 되면 超電導는 파괴되어 常電導狀態로 된다.

超電導체는 두가지로 대별된다. 하나는  $H_c$ 가 비교적 낮은 상태로서 常電導로 遷移하는 것이며 非遷移金屬元素, 대부분의 遷移金屬元素, 化學量論 組成을 가진 化合物 超電導체이다. 다른

하나는 臨界磁界  $H_c, H_{c2}$  등 두가지가 있으며 이 중간은 超電導相과 常電導相의 혼합상태이다. 이 第2種 超電導体에는 Nb, V 외에 많은 合金, 化合物이 屬한다.  $H_{c2}$ 는 불순물의 양이나 加工方法으로 크게 바뀌지만 본래 높은 값을 나타내는 것이며 強磁界發生用의 재료는 모두 이 제2種 超電導体이다.

超電導狀態라고 하는 것은 다 電子間에 포논(Phonon)의 介在에 의한 引力이 작용하며 두 電子가 對(Cooper對)로 되어 운동하는 상태이다. Cooper對에는 강한 상호작용이 움직이고 있으므로 포논이나 불순물과의 충돌에서는 운동 방향을 바꾸거나 對를 어지럽히는 일이 없으므로 저항이 발생하는 일 없이 전류가 흐른다. 이것이 BCS(Bardeen, Cooper, Schrieffer) 이론이다. 그밖에 포논을 대신하여 에키시톤(Exciton; 電氣的分極을 발생하는 側鎖)이 매체가 되는 에키시톤기구, 포논대신으로 프라즈몬(P-lasmon; 낮은 正孔이 형성하는 擬格子運動)이 매체가 되는 프라즈몬기구, 공간적으로 분리된 電子와 홀 對, 즉 엑시톤의 보즈凝縮에 의한 超流動을 이용하는 超電導機構, 価電子의 (DW Charge Density Wave)가 물질의 결함에 트랩(Trap)됨이 없이 공간적으로 位相시프트(Shift)해서 超電導가 되는 기구가 제창되고 있다.

超電導를 나타내는 2,000종류중에서 실용이 되는 것은 Nb, Pb, NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn, V<sub>3</sub>Ga 등 5종류에 지나지 않는다. 이것들은 모두 액체헬륨 온도로 사용가능하다. 유망한 候補材料로서는 A15形化合物, 뮤브렐 相化合物이 있다.

臨界温度 $T_c$ 의 향상은 超電導材料開發의 최대의 테마인데 반드시 용이하지는 않다. Nb, Ge의 23.4K가 최고로 BCS이론으로는 약 40K가 한계가 되어있다. 그러나 엑시톤기구 또는 프라즈몬기구가 제창되어 高 $T_c$ 超電導체에 기대가 주어지고 있다. 특히 有機電導体인  $T_c$ 는 매우 빠른 속도로 갱신되고 있다. 기존의 超電導材料에 대해서는 高磁界化 및 高電流密度化의 연구와 아울러 交流時性を 개선하는 연구개발이 진전되고 있다.

실제의 線材로서는 이들 超電導를 細線으로 하여 銅 또는 알루미늄에 埋入한다. 이것은 일시적으로 어떤 부분이 TC, JC, HC 이상으로 되어 常電導로 되어 電氣抵抗이 늘어났을 때에 銅 또는 알루미늄을 통하여 電流를 흘리고 다시 超電導로 하기 때문이다. 이것들 超電導材料는 취약한 材料가 많으므로 金屬間化合物로 한 다음에는 引拔해서 細線으로 하기 困難하다. 그 때문에 가공하기 쉬운 Nb純金屬으로 細線으로 하고 Sn을 포함한 Cu에 埋入한 다음, 다시 引拔하여 열처리해서 Nb, Sn을 만드는 방법 등이 있다.

◇ 稀土類磁石

稀土類磁石은 종래의 알니코(Alnico), 웨라이트(Ferrite)磁石과 비교해서 최고에너지積이 높다. 근래 電子機器의 소형화, 경량화, 고성능화에 따라 그 수요는 증가되고 있다. 일본에서는 웨라이트磁石에 이어서 두번째로 높은 売上額을 올리고 있다. 전자손목시계, 傳導波管用磁石, 주입펌프 또는 弁中의 얇은 모우터 人工齒, 눈겨울의 움직임을 돕는 磁石으로 쓰이고 있다. 일본의 金子등에 의해 발명되었다. 크롬코발트 鐵合金은 코발트의 함유량이 알니코 5의 반 이하임에 대해 알니코 5의 磁氣의性質을 갖추며, 또한 延性이 우수한 많은 永久磁石이 취약하므로 磁造, 粉末技術로 형성할 필요가 있음에 대해 冷間圧延, 引拔이 가능하다.

◇ 垂直磁化膜, 光磁氣記錄

종래의 面內磁氣記錄에 대해 垂直磁化膜을 사용하는 高密度磁氣記錄이 개발되고 있다. 또 垂直磁化膜에선 레이저광에 의한 기록, 재생하는 光磁氣記錄도 주목되고 있다. 이 기록방식은  $10^8 \text{ bit/cm}^2$ 의 高密度記錄이 가능하다. 垂直磁氣記錄 재료로서는 蒸着, 스패터(Spatter) 등에 의한 Co-Cr계가 현재 검토되고 있다. 光磁氣記錄으로서는 MnBi, 가네트(Garnett), 稀

土類 遷移金屬(특히 Fe, Co)非晶質이 있다. Gb-Co-, Tb-Fe, Gd-Fe, Gd-Tb-Fe-Co등이 연구되고 있다. 이는 일본 및 세계의 현황으로서 각기업이 연구단계에 있다.

◇ 水素吸藏合金

金屬水素化合物을 에너지貯藏用材料, 에너지變換材料로서 이용하려는 연구가 활발하게 되어 있다. 금속이 수소를 吸藏해서 金屬水素化合物이 되며 이 金屬水素化合物에 열을 가하거나 평균압력보다 낮은 수소압력의 환경에 두면 吸藏한 수소를 방출하는 반응을 可逆的으로 이용하는 것이다.

수소나 열의 저장이나 수송, 히트펌프(Heat Pump), 냉난방, 化學壓縮機, 케미칼엔진(Chemical Engine), 水素同位分離, 수소정제, 수소자동차등이 생각되고 있다.

水素化合物中的 수소밀도는  $5 \sim 11 \times 10^{22} \text{ H atom/cm}^3$ 이며 이것을 20K의 액체수소  $4 \times 10^{22} \text{ H atom/cm}^3$ 와 비교해서 容積적으로는 엄청나게 크다. 그러나 중량적으로는 그다지 많지 않으며 극복해야할 장애가 많다. 극복해야할 문제로서 수소를 吸藏시키거나 하는 동안에 금속은 미립자로 되며 또 미립자가 아니면 吸藏放出해도 빠르지 않다. 사용중 미립자가 固結하고 이 상태로 수소화하면 팽창해서 용기가 변형한다. 미립자의 확산을 방지해야 된다. 또한 金屬水素化合物 充填層의 傳熱效率이 좋지 않으므로 容器構造, 充填法에도 연구를 요한다. 매회 새로운 수소를 吸藏시킨 다음 방출하는 시스템으로 수소중의 불순물에 의한 性能低下가 있다. 일본에서의 水素吸藏合金은 아직 研究試作 단계이다.

◇ 合成金屬

금속원소를 전혀 包含하지 않아도 金屬의 電氣傳導度를 나타내는 화합물이 차례차례로 합성되고 있다. 탄소, 수소, 질소, 유황등으로 구성되며 有機金屬이라고 불리운다. 수은, 백금, 니켈

등을 포함하는 유기 또는 無機化合物로서 金屬의 性質을 나타내는 것이 있다. 이것들을 총칭해서 合成金屬이라고 부르고 있다. 이밖에 一群의 遷移金屬 칼코게나이드(Chalcogenide, 예컨대  $TaS_2$ ,  $TiS_2$ ,  $NbSe_2$  등)가 활발히 연구되고 있다. 이것들 물질의 특징은 次元性이 낮은 점이다. 針狀인 結晶에서는 軸方向으로는 電氣傳導度가 높으나 그것에 직각의 方向으로는 平導體的 性質을 나타낸다. 또 板狀인 結晶에서는 板에 平行인 方向으로는 電氣傳導度가 높으나 이것에 수직인 方向은 平導體的이다. 이것들은 새로운 물질이며 § 1에 말한 Seeds에 속하는 것이다. 電子材料, 超傳導材料로서 기대되고 있다. 層狀物質에 다른 원자를 넣어(Intercalate) 주면 더욱 性質은 多樣化한다.

이는 일본이나 세계적으로나 연구단계이며 앞으로 응용이 기대되고 있다.

### ◇ 複合材料

복합재료라는 것은 몇가지 재료를 조합해서 원재료로는 얻어지지 않는 性質을 얻는 것이다. 특히 필요한 方向성을 지니게 하기 위해 설계한 것이다. 조합의 재료, 방법은 무한이 있으며 수요에 맞은 性質의 것을 만들고자 한다. 여기에서는 金屬 재료의 몇가지를 들어 보기로 한다. FRP(Fiber Reinforced Plastics). 본질적으로 내열성이 낮으며 고온에서는 쓰이지 못한다. 또 섬유와 직각방향인 彈性率이 일반적으로 낮으며 이것을 보충하기 위해 가로방향으로 섬유를 넣으면 板厚가 늘어난다는 結論이 있다. 이것들을 개량하기 위해 FRM(Fiber Reinforced Metals)가 연구되고 있다. FRM은 수백°C까지의 내열성을 가지는 輕量構造材料, 1,200°C 정도까지의 超耐熱材料, 電磁氣物性, 熱特性, 耐摩耗性 등을 兼備한 機能材料가 있다.

高融點金屬인 W선으로 超合金을 보강한 W/MCr·Aly(M는 Fe, Ni, Co)가 주목되고 있다. Co-Tac, Ni-Tac 등의 카바이트계라던가 Ni<sub>3</sub>Ni-Al등인 r'/r'系金이 있다. 또 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 산

화물을 分散시킨 ODS合金(Oxide Dispersion Strengthened Alloy)도 耐熱合金으로서 各광을 입고 있다. 일본에서 개발된 機能性 FRM에 Cu/C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al가 있다. 熱膨脹係數가 작은 탄소섬유와 Cu를 복합시켜서 平導體素子로서 쓰이는 실리콘이나 알루미늄의 熱膨脹係數와 거의 일치하는 것이 얻어진다. 하나의 板에서 두께의 方向으로 섬유량을 바꾸므로서 버퍼(Buffer) 性質이 얻어지고 있다. 일본은 軍需가 없고 民需만이므로 PRM은 미국에 비해 뒤지고 있다.

### ◇ 하이브리드多相膜

複合材料가 예컨대 A와 B로 되어 있다고 하면 그 性質은 A의 장점, B의 장점을 살린 재료를 目的함에 대해, 보다 원자적, 분자적 하이브리드(Hybride)多相膜이 주목을 받고 있다. 스패터링 또는 分子線에피타키시법으로 A원자를 몇 원자층을 쌓고 그 위에 B원자를 몇 원자층을 쌓고 그위에 B원자를 몇 원자층 정도를 쌓고 이것을 반복한다. 반도체에선 GaAs-GaAs-Al 등 반도체 레이저 또는 동작이 빠른 高速素子가 개발되고 있다. 金屬多層膜은 장차의 분야이다. 이제까지의 合金은 合金融體를 기점으로 한 열처리, 가공이라는 프로세스에 의한 자유에너지 감소방향으로의 「緩慢한 制御」에 대해 多層膜은 원료 그 자체를 기점으로 하여 원자를 쌓아올리기 때문에 非平衡構造가 얻어진다. 이것들의 金屬膜은 매우 강도가 높은 것도 얻어진다는 것이 Koehler에 의해 예언되어 사실 실험적으로 얻어지고 있다. 그러나 장래의 흥미있는 특성은 力學的性質뿐 아니라 電氣磁氣的 性質에 있을 것이다. 새로운 超傳導材料도 기대되고 있다. 쌓아올리는 물질의 종류(金屬, 반도체, 세라믹스, 有機物質과 그조합), 주기, 層內에서의 原子配列(單結晶, 多結晶, 아몰피스), 패턴을 두는 것으로 3차원적으로 인공제어한 재료는 무한한 꿈을 간직한 소재이다. 이것도 재료개발의 Seeds에 속하는 것이며, 세계적으로서도 이제 막 시작된 것이다.