

아모퍼스 金屬의 超電導性, 磁氣的 및 熱的特性

Superconductive, Magnetic and Thermal
Properties of Amorphous Metal

李 根 喆

大韓電氣協會誌 編修委員· 工學博士

1. 序 論

아모퍼스(非晶質) 金屬의 超電導特性에 관한 연구는 Buckel과 Hilsch氏가 極低溫으로 冷却한 基板에 眞空蒸着해서 얻은 Bi, Ga薄膜에 대하여 超電導 臨界溫度 T_c 의 測定을 行한 것이 最初였다.

그 後 Sn, Pb, In, Ti등의 非遷移金屬이나 合金에 대하여 同一한 方法으로서 아모퍼스膜을 製作하여 超電導 에너지 갭을 測定하였으나 이들 蒸着薄膜의 거의 대부분은 室溫까지는 溫度上昇에 의해서 結晶化되었으며 얻어진 情報도 매우 制約을 받았다.

그러나 最近에는 스퍼터링이나 融체로부터 急冷法 등으로서 遷移金屬을 主成으로 하여 아모퍼스 超電導體를 만들고 있으며 이들은 室溫에서 充分히 安定되므로 T_c 이외에도 臨界磁界 H_{c2} 나 臨界電流密度 J_c 의 測定도 行하고 있다.

이와 같은 기초적인 연구와 더불어 아모퍼스 超電導體의 實用 可能性에 대하여 檢討하고 있으며 또한 아모퍼스 상태로부터 특성이 우수한 結晶相을 變態析出시키는 方法도 最近에는 實用的으로 脚光을 받고 있다.

현재 알려져 있는 아모퍼스 합금에는 금속-半金屬系, 금속-金屬系가 있으며 원소 주기율 표에 있는 금속 대부분의 금속원소는 合金化에 의해서 아모퍼스化 되어 있다.

아모퍼스化에 의한 超電導 臨界溫度 T_c 의 變化는 非遷移金屬과 遷移金屬間에 매우 다른 舉動을 나타내므로 이를 概略的으로 說明하고 아울러 磁氣的, 熱的性質 등에 대하여 言及하고자 한다.

가. 非遷移金屬

표 1은 非遷移金屬 아모퍼스相의 T_c 와 比較하기 위하여 結晶狀態의 T_c 를 나타낸다. 오히

〈표 1〉 非遷移金屬과 金屬의
超電導臨界溫度 T_c (K)

金 屬	아모퍼스	結 晶
Be	10	0.026
Al	6	1.18
Ga	8.4	6.1 (β -Ga) 1.08 (β -Ga)
Bi	6.1	<0.05
$Sn_{10}Cu_{10}$	6.8	3.5
$Pb_{15}Bi_{15}$	7.0	8.4
$In_{10}Sb_{10}$	5.6	3.4
$Tl_{10}Te_{10}$	4.2	2.4

려 Al과 Be는 單體 그대로 非晶質化가 困難하므로 合金으로부터의 外插值가 된다.

이상으로부터 Pb 이외의 전부는 아모퍼스化에 의해서 T_c 가 上昇되며 이들 아모퍼스相은 室溫까지는 溫度上昇에 의해서 結晶化가 되나 특히 純金屬인 경우 結晶化溫度가 매우 낮고 Bi는 20 K에서 그리고 Ga는 15K에서 β -Ga로 結晶化 된다.

이와 같은 아모퍼스 狀態에서 超電導現象을 이해하기 위하여는 먼저 電子-포논의 相互作用에 관한 정보를 얻는 것이 바람직하다.

또한 超電導狀態에서 電子-포논의 相互作用力을 實驗적으로 評價하기 위하여는 종래 에너지 갭 $\Delta(0)$ 의 측정이 많이 이용되고 있으며 특히 아모퍼스 薄膜에 대한 超電導 터널效果나 遠赤外吸收에 의해서 比較的 容易하게 行할 수 있는 많은 測定法이 등장하고 있다.

표 2는 몇가지 測定例를 아모퍼스와 結晶狀態에 대하여 나타낸 것이나 非遷移金屬의 아모퍼스膜에 대해서는 $2\Delta(0)/kT_c = 4.4 \sim 5.0$ 의 값을 나타내고 있다. 弱結合의 超電導體에 대해서는 BCS理論에서 誘導된 $2\Delta(0)/kT_c$ 는 3.52

〈표 2〉 아모퍼스 및 結晶狀態에 있어서
 T_c 와 超電導 에너지 갭의 값

金 屬	아 모 퍼 스		結 晶	
	T_c (K)	$2\Delta(0)/kT_c$	T_c (K)	$2\Delta(0)/kT_c$
Pb	7.16 ± 0.02	4.63 ± 0.05	7.2 ± 0.02	4.61 ± 0.05
$Pb_{71}Bi_{21}$	6.91 ± 0.02	4.99 ± 0.05	7.99 ± 0.02	4.78 ± 0.15
$Pb_{50}Bi_{50}$	6.99 ± 0.02	5.00 ± 0.05	8.1 ± 0.05	4.95 ± 0.17
Ga	8.4 ± 0.1	4.5 ± 0.1	6.2 ± 0.1	3.97 ± 0.10
Ga	8.45 ± 0.07	4.35 ± 0.24	6.26 ± 0.07	3.87 ± 0.22 to 3.94 ± 0.20
Ga		1.08	3.36	
Bi	6.11 ± 0.03	4.59 ± 0.06	<0.05	-
Nb_3Ge	3.6 ± 0.1	3.5 ± 0.1	21.55	4.2
Nb_3Sn	3.0 to 4.0	3.5	17.2	4.3
Nb	5.57 ± 0.05	3.63 ± 0.05	9.21	3.67
			9.2	3.93

였으며 또한 전형적인 強結合의 結晶에 있는 Hg의 값은 4.6이었다.

따라서 이들 非遷移金屬의 아모퍼스는 強結合의 超電導體에 屬한다고 생각해도 좋으며 터널效果의 측정에서 實驗적으로 구하여진 Eliashberg 函數 $\alpha^2F(\omega)$ 로부터

$$\lambda = 2 \int \alpha^2F(\omega) d\omega / \omega \dots\dots\dots (1)$$

에 의해서 電子-포논의 相互作用 패러미터 λ 가 구해진다.

여기서 α^2 은 포논 周波數 ω 일 때 相互作用力을 나타내는 項이며 $F(\omega)$ 는 포논의 狀態密度이다.

한편 非遷移金屬의 아모퍼스와 結晶狀態에 대해서 實驗적으로 求한 $\alpha^2F(\omega)$ 의 값은 매우 큰 差異가 있다는 것이 判明되었으며 특히 低周波數領域에서는 前者쪽이 높은 값을 갖는데 (1)식에서 計算된 λ 값도 아모퍼스 상태쪽이 크게 되며 많은 非遷移金屬에 대해서 $\lambda \approx 2$ 를 얻고 있

다.

이 값은 結晶狀態의 2배에 가까우므로 強電子-포논 相互作用이 있음을 알 수 있으며 結晶狀態에서 이미 強結合인 Pb를 除外하면 一般적으로 非遷移金屬을 아모퍼스化 하는 傾向이 있고 結晶狀態를 보다 높은 T_c 를 얻을 수 있다.

그러나 아모퍼스 狀態에서 이와 같은 強한 電子-포논의 相互作用 原因에 대해서는 반드시 明確한 것이 아니며 포논스펙트럼에 대해서는 中性子散亂 등과 같은 正確한 측정이 바람직하다.

한편 遷移金屬을 보면 아모퍼스化에 의한 T_c 의 變化는 元素에 의해서 크게 다르다.

Collver와 Hammond氏는 일련의 4d 또는 5d 遷移元素에 대해서 인접하는 元素끼리의 合金을 極低溫으로 冷却한 基板에 蒸着시켜서 아모퍼스膜을 製作하고 이 T_c 가 結晶相에 대해서 一般적으로 成立하는 Matthias 法則과는 전혀 다른 舉動을 나타낸다고 말하였다.

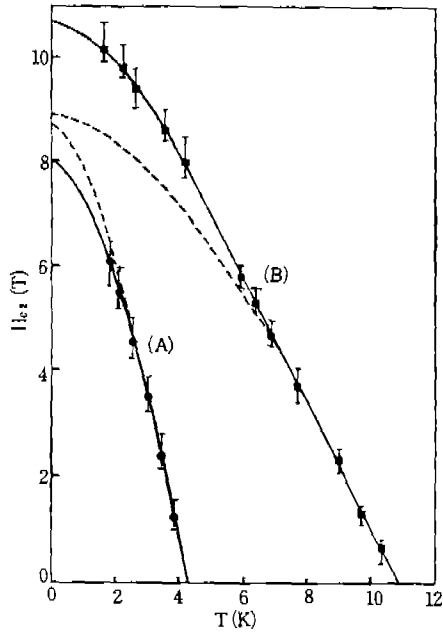
나. 臨界磁界

大部分의 아모퍼스 超電導體는 常電導狀態에서 數百 $\mu\Omega\text{cm}$ 의 큰 比抵抗 ρ_0 을 갖는다.

이것은 電子의 平均自由行程 l 이 $3 \sim 10\text{\AA}$ 이라는 매우 짧은 것을 나타내며 이 結果 아모퍼스 超電導體는 T_c 에 比하여 높은 上部臨界磁界 H_{c2} 를 나타내는 것이 특징이다.

그림 1은 液体急冷으로 얻은 $Zr_{77}Rh_{23}$ 아모퍼스 合金의 $H_{c2}(T)$ 의 測定結果로서 比較하기 위하여 Zr_2Rh 化合物에 대한 結果도 나타낸 것이다.

그림 1에서 아모퍼스의 $H_{c2}(T)$ 近方에서 立上이 結晶狀態에 比하여 큰 것이 주목되며 Wethermer氏의 理論으로부터 $H_{c2}(T)$ 의 立上에서 H_{c2} 의 온도변화를 理論적으로 구할 수 있으며 點線은 스핀 軌道散亂 效果를 무시하여 計算한



〈그림 1〉 $Zr_{77}Rh_{23}$ 아모퍼스 合金(A)과 Zr_2Rh 化合物(B) H_{c2} 의 溫度變化

것이다.

實測値는 $\alpha=1.6$, $\lambda_{90} \approx 8$ 에 相當하였으며 $H_{c2}(T)$ 의 측정은 기타 몇개의 아모퍼스 合金에 대하여 행한 것이다.

2. 아모퍼스 金屬의 磁氣的 性質

아모퍼스 金屬(합금)은 實用的이므로 注目을 받고 있다. 즉 피아노線보다 강하고 스텐레스鋼보다 耐蝕性이 우수하며 軟磁氣 特性이 좋은 元素를 얻을 수 있기 때문이다.

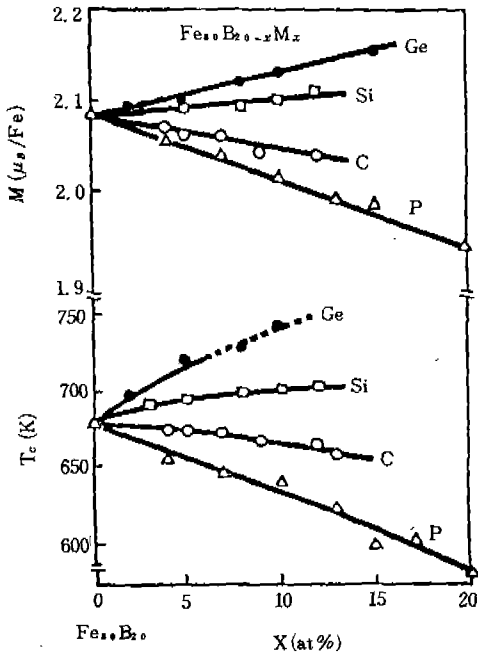
한편 磁氣的 應用의 具体例로서 磁氣 헤드의 코어, 高周波 電子機器 등의 一部에 實用化되고 있으며 에너지 節約의 觀點에서도 注目되고 있다.

磁氣的 性質의 一般의 特徵을 보면 原子 配列

에 長距離의 規則性이 없어도 아모퍼스 合金은 強磁性體가 된다는 것이 理論적으로 豫想되었으며 實際로 液体急冷法으로 製造된 아모퍼스 Fe-P-C 合金에서 實證되었다.

液体急冷法으로 만들어진 아모퍼스 磁性合金은 強磁性金屬(Fe, Co, Ni)을 主成分으로 한 半金屬(P, B, Si, C 등)과의 合金(金屬-半金屬系)이든가 또는 強磁性金屬과 IVa族遷移金屬(Zr, Ti, Hf 등)과의 合金(金屬-金屬系)이다.

어느 것이나 強磁性金屬 以外에 非強磁性 元素를 적어도 10at%을 含有하므로 飽和 磁化가 적는데, 理由는 稀釋效果가 있을 뿐만 아니라 強磁性金屬原子 1個當 磁氣 모멘트도 減少하기 때문이다.



(그림 2) $Fe_{90}B_{20-x}M_x$ 아모퍼스 合金의 Fe 原子當 平均磁氣 모멘트 \bar{M} 과 큐리 點 T_c 의 組成依存性

또한 金屬+半金屬系인 경우 半金屬原子에서 強磁性原子로 電子가 移動하며 이것이 強磁性에 關여하는 3d밴드의 空席을 채운다고 해석된다.

한편 $Fe_{90}B_{20-x}M_x$ ($M=Si, C, P, Ge$)에 있어서 Fe 原子 1個當 磁氣 모멘트의 組成依存性은 그림 2와 같으며 Fe 單體에서 1原子當의 磁氣 모멘트는 $2.2\mu_B$ (μ_B 는 보아磁子, 電子 1個當의 磁氣 모멘트에 相當)인데 대해서 B를 20 at% 포함한 아모퍼스 合金에서는 Fe 原子當 磁氣 모멘트는 $2.08\mu_B$ 로 매우 적다.

또한 B를 기타 半金屬元素로 바꾸면 P, C에서 재차 감소되는데 Ge, Si로 교환하면 Fe의 磁氣 모멘트는 증가되나 체심입방격자(BCC)Fe의 것에는 미치지 못한다.

아모퍼스 合金은 飽和磁化(飽和磁束密度)가 약간 낮고 큐리 點도 낮아 應用分野에서 弱點을 갖고 있으나 長點을 살려서 利用하고 있다.

아모퍼스 合金의 우수한 자기적 성질을 열거하면 高透磁率, 低損失性 및 高磁氣歪로 集約되는데, 用途에 따라서 成分設計가 必要하다.

아모퍼스 合金이 高透磁性을 나타내는 理由는 原理적으로 異方性이 없으며 磁壁移動의 障害가 되는 粒界나 轉位 또는 介在物 등이 없기 때문에 적은 磁界의 變化에 대해서 敏感하게 反應하게 된다.

이와 같은 構造는 交番磁界下에서 잃어버린 에너지 損失(히스테리시스損)을 低減하여 아모퍼스 構造는 電氣抵抗이 結晶狀態에 比해서 數倍로 높으므로 渦電流에 의한 損失이 적고 이로 인하여 高周波가 되는 등 아모퍼스는 有利하게 된다.

또한 組成을 選定함으로써 磁氣歪曲이 큰 것을 얻을 수 있으며 이 組成은 巨大한 ΔE 效果와 電氣機械結合係數를 나타낸다.

즉 磁界에 附與된 彈性率(E)을 變化시킨다는

지 적은 應力의 변화를 電氣信號로 變換함으로써 效率를 向上시킬 수 있다.

아모퍼스 合金의 특징을 材料開發의 面에서 본 경우에도 큰 장점이 있는데 한 例로서 특성이 조성의 변화에 대해서 광범위한 組成域에서 연속적으로 변화한다는 點이다.

그림 3은 (Fe-Co-Ni) Si₂B₁₄ 合金에 대해서 磁氣特性的 組成依存性을 나타내며 포화자속밀도 (Bs), 보자력 (Hc), 포화자왜정수 (λs)가

廣範圍한 組成에 대해서 연속적으로 변화함을 알 수 있다.

이와 같은 성질은 成分設計인 경우 큰 利點을 갖고 있다. 예를 들면 高透磁率材料가 필요한 경우에는 λs=0 근방에 Hc가 적은 Co-Ni 베이스의 組成이 바람직하며 또한 磁氣歪曲이 큰 것을 필요로 하는 것은 Fe이 풍부한 組成을 선택하면 양호하다.

다음에는 아모퍼스 材料를 應用面에서 살펴본다.

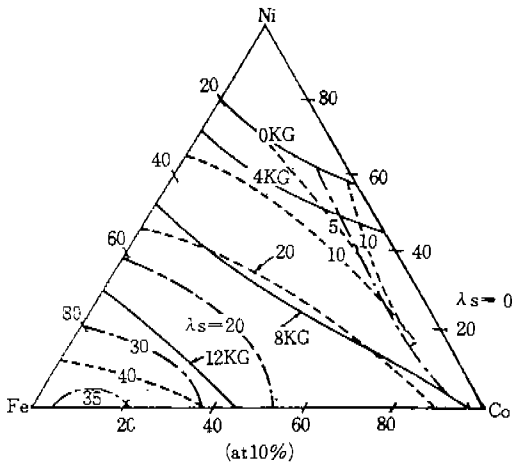
가. 高透磁率 및 低保磁力材料의 應用

이 分野는 아모퍼스 合金의 應用面에서 가장 앞선 분야로서 실용화되고 있는 것도 있으며 磁氣 헤드, 直流安定化電源, MM型 카트리지 등의 코아에의 응용은 그 대표적인 예이다.

과거에는 이 분야에서 퍼멀로이 (Fe-Ni), 센더스트 (Fe-Al-Si), 페라이트 등이 사용되었으나 高性能化의 요구에 따르지 못하여 아모퍼스 材料가 대두되었다.

磁氣 헤드를 例로 들면 헤드에 요구되는 특성으로서

- 첫째 포화자속밀도 (Bs)가 클 것
- 둘째 實效透磁率이 크고 保磁力 (Hc)가 적을 것
- 셋째 電氣比抵抗이 크고 耐摩耗性이 클 것



〈그림 3〉 (Fe, Co, Ni)-Si₂B₁₄ 合金의 磁氣特性에 관한 組成依存性

海外短信 / 人命을 구하는 自動消火裝置

한 영국회사에 의해 새로 개발된 자동 소화장치는 특히 항공기 객실 내의 발화시나 항공기 사고 후 몇분간의 중요한 순간에 불이 번지는 것을 억제해 준다.

비행기 사고시의 상황을 그대로 재현하여 동체 밑에 900ℓ의 등유에 불을 붙인 시험에서 이 자동 소화장치의 안전성이 확인되었다. 동체의 큰 손상에도 불구하고 객실은 거의 손상되지 않았으며, 내부에 탑승했던 관계자들도 무사했다.

세이프 리미티드 시스템에는 물이 이용되는데, 스프레이의 냉각 및 화염 흡수 특징을 극대화시키기 위해 물방울 크기와 속도가 조절되어 있다.

화재 발생 후 3분간은 비행기의 저장수로 불을 끄며, 이후로는 소방관이 바깥 연결로로 물을 펌프질하여 공급하게 되어 있다. 이 시스템은 고온, 화염 및 유독가스를 처리할 수 있게 설계된 것이다.



네째 耐蝕性이 양호하고 磁歪(λ_s)가 적을 것 다섯째 加工性이 좋을 것 등의 要求項目이 많다.

이에 대해서 과거의 퍼멀로이는 세번째가 不充分하며, 센더스트는 다섯번째가 그리고 페라이트는 첫번째가 不良하였다.

또한 磁氣 헤드에 適合한 基本成分으로는 코발트를 母材로 한 $\lambda_s = 0$ 근방의 조성인데, 한 예로서 $Fe_{4.7} Co_{70.5} Si_{15} B_{10}$ 을 들 수 있다.

한편 아모퍼스 材料에 문제점이 없는 것이 아니며 일반적으로 자기특성의 經時變化가 큰 것이 缺點으로서 磁氣 헤드의 경우 組成의 선택과 사용환경의 온도에 유의하면 10年 정도까지는 實用上 문제가 없을 것이다.

나. 高磁束密度 및 低損失材料의 應用

GE社의 Luborsky氏는 1978년에 아모퍼스 合金의 低損失性에 着眼하여 電力用 트랜스에 적용한 경우 큰 利點이 있다고 強調하였다.

그는 미국 전역에 있는 전력용 변압기를 아모퍼스 재료로 대체한다면 연간 2억弗의 막대한 에너지를 절약할 수 있다고 試算하였다.

鐵心材料에는 低損失性(低鐵損) 이외에 機器의 소형화 때문에 高磁束密度가 要求되었으며 아모퍼스 合金의 低鐵損性은 거의 보증되어 있으나 現在 사용되고 있는 硅素鋼板에 比하여 飽和磁束密度(B_s)가 낮은 결점이 있어 成分開發의 初期는 B_s 를 높이는 데 주로 傾注하였다.

代表的인 高飽和 磁束密度를 갖는 아모퍼스 合金의 例를 표 3에 나타내었으며 여기서 알 수 있는 것은 高價인 Co를 사용하지 않는 系는 겨우 1.7T (3% 硅素鋼板의 85%)임을 알 수 있다.

그러나 B_s 가 낮은 결정은 에너지 사정에 의해서 完化되어 가고 있으며 구조강판의 손실을 적게 하기 위하여는 動作磁束密度를 과거보다 낮추어서 사용하는 경우가 많다.

〈표 3〉 代表的인 Fe系 아모퍼스 合金의 飽和자속밀도

	B_s (T)
$Fe_{80}B_{20}$	1.67
$Fe_{82}Si_6B_{12}$	1.65
$Fe_{84}B_{10}C_6$	1.70
$Fe_{82}Si_{2.5}B_{13}C_{2.5}$	1.70
$Fe_{77}Co_9B_9C_4$	1.84
$Fe_{80}P_{13}C_7$	1.40
Fe-3% Si	2.30

요즈음에는 成分開發은 높은 아모퍼스形 性能과 高磁束密度, 低鐵損, 熱的 安定性, 底 코스트 및 良好한 加工性을 目標로 開發을 서두르고 있으며 基本成分系는 Fe-B-Si 또는 Fe-B-Si-C 이다.

한편 아모퍼스 合金을 이용한 變壓器의 實機評價도 行하고 있다. 大阪變壓器가 美國 어라이드社製 METGLAS 2605 SC ($Fe_{81}B_{13.5}Si_{2.5}C_2$)를 使用해서 試作한 10kVA의 모델 변압기의 성능은 最高級의 硅素板을 사용한 것에 比해 鐵損은 1/3 以下, 勵磁電流는 1/5 以下로 實證되었다.

다. 高磁歪材料

아모퍼스 高磁歪材料는 力學量的 센서나 트랜스듀서, 超音波 可變遲延線 및 磁歪振動子 등의 應用이 期待되고 있다.

아모퍼스 合金의 飽和磁歪定數는 Fe가 豊富한 35×10^{-6} 정도의 높은 값을 갖고 있으나 結晶質金屬(Ni, Fe-Al 등)이나 페라이트에 比하여는 높은 것이 아니다.

특징을 보면 첫째 應力에 대해서 磁氣 特性은 敏感하게 反應하며, 둘째 應力-磁氣特性의 線型性이 良好하다. 세째 強靱面에서는 거의 完全한 彈性體이며, 세째 彈性波의 減殺가 적다는 것이다.

應用例로는 微小力 센서, 歪曲 센서, 水中의 音波檢出, 토크 센서 등의 應力-磁氣效果를 利用한 것과 可變遲延線, 距離 센서, 彈性波 필터, 霜 센서 등 超音波 遲延現象을 利用한 것이 있다.

라. 材料特性

現在 아모퍼스 金屬의 構造는 아직 明確하지 않으나 定性的으로 다음과 같은 현저한 구조상의 특징을 갖고 있다고 말할 수 있다.

첫째 各 原子間에는 보다 等方的인 金屬結合이 作用하여 理想的으로는 랜덤한 구조를 갖고 있다.

둘째 巨視的으로는 均質로서 等方的인 構造를 갖고 있으며 結晶에서 볼 수 있는 構造異方性和 組成異方性, 組成偏析 및 結晶性缺陷(粒界, 轉位, 面缺陷 등)이 없다.

세째 原子의 近接配位는 結晶과는 거의 같으며 金屬性質을 維持한다.

아모퍼스 金屬의 諸性質을 고려할 때 上記와 같은 點을 생각하여야 하며 중요한 특징은 아모퍼스 금속이 항상 2元素 以上の 合金이며 이들의 諸원소가 均一하게 分散된 一種의 固溶體라는 것이다.

즉, 아모퍼스화가 容易한 合金은 平衡狀態에서는 多相組織이 되며 單相이 되지 않는다.

現實적으로 얻어지는 아모퍼스 金屬은 液体狀態보다도 한층 短範圍 秩序性이 發達되어 있으며 密度는 結晶狀態보다 1%정도 적다.

따라서 短範圍構造가 크게 反映되는 性質인 경우에는 結晶에 매우 類似한 性質을 나타내나 長範圍構造가 反映하는 性質의 경우에는 結晶과는 현저히 다른 性質을 나타낼 可能性이 있다.

3. 아모퍼스 金屬의 熱的 性質

熱膨脹은 原子間 포텐셜의 非調和性으로 인하

여 發生되며 이것은 結晶金屬·合金과 똑같이 크다.

그런데 磁性合金의 경우 鐵基 아모퍼스 金屬과 같이 熱膨脹을 打消할 정도로 큰 磁性發生에 起因하는 自發體積磁歪가 存在하는 것도 있다.

즉 온도가 변동해도 거의 熱膨脹이 생기지 않는 인버 특성을 나타낸다.

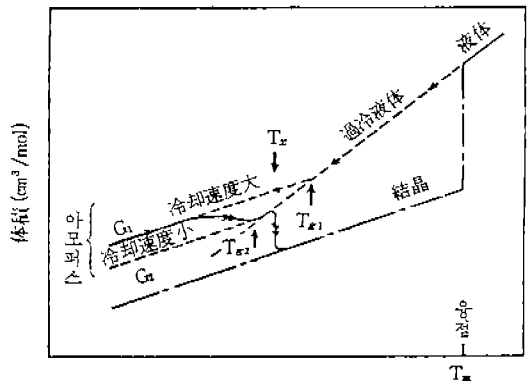
이와 같은 특성을 갖는 합금은 制御機器, 計測機器材料로서 注目되고 있다.

熱的 安定性을 보면 根本적으로 熱에 대해서 構造가 不安定하며 이로 因하여 性質의 安定性도 나쁘게 되는데 이것은 主로 構造緩和와 結晶化에 起因하기 때문이다.

그림 4는 이와 같은 現象을 定性的으로 나타낸 것으로서 아모퍼스 固體는 液体(L)를 急冷해서 結晶의 核發生과 成長을 抑制하며 玻璃轉移溫度 T_g 以下로 내릴 수 있게 된다.

이 T_g 는 冷却速度에 依存하며 速度를 크게 하면 $T_{g2} \rightarrow T_{g1}$ 으로 上昇하는데, 이것은 冷却中에 過剩의 空隙과 自由體積을 남겨 두고 그대로 固體化하기 때문인 것이다.

한편 아모퍼스相 G_1 은 冷却速度가 낮은 相 G_2 보다 密度가 적어지며 따라서 이 G_1 相을 가열하면 급냉시에 도입된 余분의 自由體積이 消滅되



〈그림 4〉 아모퍼스 金屬의 體積溫度變化와 T_g, T_m 와의 관계

어 보다 안정된 G_2 상태로 移行하게 되는데 이것이 構造緩和現象인 것이다.

따라서 보다 性質을 安定히 하기 위해서는 급냉한 후에 結晶化하는 온도 이하로 한번 燒鈍해서 處理해야 한다.

또한 아모퍼스 금속은 酸化物 유리와 比較해서 原子의 擴散이 일어나기 쉽고 結晶化온도 T_x 가 낮기 때문에 많은 合金은 構造緩和後 T_g 보다 低温에서 結晶化를 끝낸다.

오히려 T_x 보다 저온에서 열처리로서 구조완화 이외에 短範圍秩序化, 相分離, 클러스터 生成 등과 같이 미세한 구조변화나 급냉 응고시에 유도되는 内部歪의 緩和 등 複雑한 現象이 交錯해서 일어난다.

또한 強磁性 아모퍼스 合金에 있어서 큐리點 以下에서 誘導磁氣異磁性(一種의 規則化)의 發生이 일어나며 이와 같은 現象은 아모퍼스 合金의 熱的 安定성에 重要한 問題가 되고 있다.

가. 彈性 및 電氣抵抗 特性

彈性特性的 溫度依存性도 역시 原子間 포텐셜의 非調和性에 起因하는데 아모퍼스 金屬에 있어서도 역시 온도 의존성을 볼 수 있다.

보통 온도가 상승하면 영(Young) 率は 적어지거나 鐵基 아모퍼스 금속인 경우에는 자성의 발생에 기인하는 큰 ΔE 효과에 의해서 이와 같은 온도 의존성이 打消되며 外部磁場이 零이 되는 소위 에린바 物性を 나타낸다.

이와 같은 특성은 電磁機器, 通信機器 등 널리 利用되는 遲延線에의 應用으로 注目되고 있다.

한편 電氣的 性質을 보면 아모퍼스 금속은 結晶에 比較해서 約1桁 근방에서 전기 저항이 높고 온도계수가 적은 것이 특징이다.

이와 같은 성질은 透磁率의 周波數 特性을 改善하며 또한 變壓器磁心の 渦電流 損失을 輕減하는 效果를 갖고 있다.

이로 因하여 抵抗率의 溫度係數가 적고 組成에 의해서 零의 係數가 얻어지므로 標準 抵抗材

料나 磁氣抵抗 센서材料로서 利用되고 있다.

最近 아모퍼스 超電導性이 注目되고 있으며 Mo合金과 Nb合金 등의 系에서는 低温에서 超電導性을 나타냄을 알 수 있으며 아모퍼스 超電導材料로서 有用性이 檢討되고 있다.

現在 最高的 遷移溫度 T_c 는 약 9 K이나 有利한 性質로서 臨界磁場 H_c 가 크며 T_c 의 中性子照射效果가 적다는 것으로 알려져 있다.

反面에 臨界電流密度 J_c 는 磁束線의 不均一한 組織이 없기 때문에 매우 적는데 이와 같은 缺點은 아모퍼스 相中에서 미세한 結晶粒자를 析出함으로써 解決될 수 있다.

나. 化學的 性質

耐蝕성은 材料特性中에서도 重要한 性質이다. 보통 스테레스鋼에서는 크롬이나 몰리브덴을 添加해서 表面에 不動態膜을 形成시키고 耐蝕性을 向上시키나 아모퍼스 金屬인 경우에도 不動態膜 形成元素를 첨가함으로써 耐蝕性을 현저히 부여할 수 있다.

한편 FeCr 合金에서는 크롬 量을 증가시켜도 鹽酸溶液中에서 거의 耐蝕性이 向上되지 않으나 아모퍼스 合金에서는 組成에 의해서 현저한 耐蝕性의 증가를 나타냈으며 특히 磷을 包含한 合金에서 크롬과 몰리브덴의 첨가가 가장 有效하였다.

예를 들면 아모퍼스 $FeCrP_{1.5}C_7$ 합금인 경우 약 8 原子%의 크롬 첨가로 腐蝕速度는 검출되지 않았으나 Hastellog 合金보다도 우수한 耐蝕性을 나타냈다.

이에 反해서 니켈, 코발트의 첨가는 거의 效果가 없었으며 $Fe_{40}Cr_{25}Mo_{15}P_{15}O_7$ 아모퍼스 합금은 60℃의 12N 鹽酸溶液中에서도 不動態化되며 充分한 耐蝕性을 나타냈다.

이와 같은 아모퍼스 합금의 高耐蝕성은 酸性, 中性, 알칼리性的 全溶液中에서도 볼 수 있으며 間隙腐蝕에 대한 抵抗이 매우 높은 특징을 갖고

있다.

또한 아모퍼스 금속은 결정에서 볼 수 있는 粒界, 格子缺陷 등의 構造上 不均一性이나 偏析等 組成上의 不均一성이 없으며 化學的으로도 均一한 物質로 生覺되고 있다.

以外에 不動態膜形成元素를 包含한 경우에는 表面의 化學的 活性도가 높는데 최근에는 이 성질을 이용해서 촉매 반응의 연구가 행하여지고 있다.

표 4는 아모퍼스 Fe₈₀Ni₁₀P₁₀ 합금을 이용해서 一酸化炭素의 水素化 反應에 대한 촉매 특성을 나타낸 것으로서 CO가스의 水素化 反應率은 結晶相에 比較해서 아모퍼스相 쪽이 210배가 되었으며 에틸렌 등의 長鎖炭化水素의 生成率은 結晶의 約 3 배였다.

한편 反應 가스中의 CO가스分壓을 증가시키거나 長鎖炭化水素의 生成을 증가시키는 경향을 나타냈는데 이와같은 아모퍼스相의 촉매특성에 대한 효과의 원인에 대해서는 아직 명확하지 않으나 相에 대한 표면활성화가 결정표면과는 상당히 다를 가능성이 있어 앞으로 흥미있는 연구과제가 될 것이다.

4. 結 論

〈표 4〉 Fe₈₀Ni₁₀P₁₀ 합금의 아모퍼스相 및 結晶相의 CO가스 水素化反應의 活性和 選擇性

	아모퍼스	結 晶
CO 反應 率(%) (比 活 性)	2.84 (210)	0.0135 (1)
에틸렌, 에탄, 프로필렌 프로판에의 선택성 (%)	38	13
触媒 BET 表面積 (m ² /g)	0.37	0.33

反應條件 (260℃ : 1atm : CO1.26%, 全流量 30ml/min;
触媒 1g)

아모퍼스 固體의 매력은 構造에 있으며 이分野의 研究가 활발히 進行된 것은 1970年代以後이다.

또한 工業用材料로서 期待되기 시작한 것은 4~5년에 不過하다. 本稿에서 解說한 內容은 一部에 지나지 않으며 이 特殊한 金屬은 既存金屬材料에서 蓄積된 知識으로 理解할 수 없는 性質을 갖고 있다.

한편 超電導 마그네틱의 應用은 核融合爐, 電氣機械 및 에너지 貯藏 등과 같은 大規模化에 連結되어 있으며 大形 마그네틱內의 強力한 電磁應力에 의한 特性劣化나 核融合爐에서의 中性子損傷에 대한 對策 등이 問題가 되고 있다.

또한 아모퍼스는 一般的으로 高强度로서 比較的 큰 變形能을 갖고 있으며 中性子照射에 대해서도 10¹⁹n/cm²까지 超電導 特性의 劣化가 전혀 없다고 報告되었다.

따라서 이와 같은 아모퍼스의 우수한 특징을 살린 超電導線材가 製造될 것으로 展望된다.

그러나 현재까지의 아모퍼스 最高의 T_c는 Mo-Re의 約 9.5K이며 H_{c2} (4.2K)는 約 12T 정도로 예상되므로 Nb-Ti合金材와는 거의 같은 정도의 성능을 갖는데 불과하다.

따라서 超電導線材로서 使用하기 위하여는 T_c, H_{c2}를 改善하는 것이 바람직하여 前述한 아모퍼스 그대로는 J_c가 낮기 때문에 部分的으로는 結晶化시켜서 이것을 閾止點으로 하는 것이 講究되어야 할 것이다.

그리고 아모퍼스* 超電導體를 조셉슨 素子에 應用하는 研究도 行하여지고 있다. 從來 조셉슨 素子材로서 Nb가 安定하여 많은 研究를 하고 있으나 表面酸化膜 등 實用的으로 未解決點이 많다.

따라서 장차 基礎와 應用 兩面에서의 研究와 더불어 새로운 性質이나 應用이 期待될 것이다.

(1) 제작인력 (11명)
 책임 프로듀서 1, 프로듀서 1, 디렉터 1,
 어시스턴트 디렉터 2, 제작보조 1, 문자발생
 기 담당 2, 슬로모션 담당 3.

(2) 기술인력 (37명)
 기술감독 1, 영상담당 2, 녹화담당 2, 카
 메라맨 15, 카메라 보조 4, 음향담당 3, 음향
 보조 4, 마이크맨 1, 송출담당 1, 보수담당
 1, 장비보관담당 2.

다. 주요제작장비 및 방송설비

- (1) 중계차 주차시설
 Control Room 1, 주차공간 980m²
- (2) 해설자석 (Desk) (135석)
- ① KBS·MBC-Radio 2, TV 3
- ② NBC : Radio 1
- ③ NHK : 6
- ④ EBU : Equip. 67, Non-Equip. 4
- ⑤ NET-10 : Radio 2, Equip. 3, Non
 Equip. 1
- ⑥ OIRT : Radio 6, Equip 6, Non
 Equip 1
- ⑦ OTI : Equip 7
- ⑧ ABU : Equip. 9
- ⑨ CBC : Equip. 4, Non Equip 1
- ⑩ ETC : Equip. 10, Non Equip. 2 (석)
- (3) 참관자석 (Observer Seat) : 150석
- (4) Monitor System :
- ① CATV : 135/40대
- ② Data Monitor : 135대
- (5) 카메라
- ① H·B용 : 22대
- ② UNI용 : 34대
- ③ 고정 : 6대
- ④ 이동 : 2대
- ⑤ 특수 : RC (Remote Camera) 1, RF

(Radio Frequency Camera) 1, SS
 (Supper SLO-MO Camera) 1, SC
 (Shutter Camera) 1 (대)

- (6) 카메라 Platform : 27개소
- (7) ENG 카메라 : 20대
- (8) 녹화기 : VCR 2대
- (9) SLO-MO : 4 (Super SLO-MO 1대 포
 합)
- (10) 문자발생기 : 1대

5. 결 어

변화의 속도는 우리 시대의 가장 특징적인 현상이다. 경제발전, 기술적 진보, 인구증가, 첨단제품의 끝없는 개발 등은 사람들의 사고방식까지 새로운 차원으로 몰고 간다. 정신적으로는 낡은 것에서 새로운 것으로, 보수적인 것에서 혁신적인 것으로, 전통적인 것에서 현대적인 것으로, 전통적인 것에서 현대적인 것으로, 과거의 개념에서 미래의 개념으로 전환해 가고 있는 것이다. 따라서 시대적인 문제점 역시 과거의 것에서부터 미래의 문제점으로 새롭게 대두되고 있다.

전기설비도 그 시대의 일반적인 경향을 따른다. 우리나라 전기설비 역시 전환의 과정에 있어야 될 것이다. 각종 플랜트 설비의 출현과 고층건물, 고급건물의 등장 등 그 진보는 과거보다 훨씬 강력하고 신속하기 때문이다. 전기설비의 채택양식이 디자인 감각의 수준향상과 급속한 기술의 진전으로 올림픽 경기장 뿐 아니라 건물의 전기설비면에서도 많은 비중을 차지하게 되었다.

따라서 금번 제24회 서울올림픽대회를 계기로 기술계에도 획기적인 변화가 일어나 기술개발, 기술축적, 기술혁신의 올림픽이 되었으면 하는 바램이다.