

磁性材料 發達現況

— 차 레 —

- 1. 緒 論
- 2. 高透 磁率 材料
- 3. 磁氣 記憶用 材料
- 4. 磁氣 記錄用 材料
- 5. 永久 磁石
- 5. 超電導 材料

1. 緒 論

磁氣的으로 完全히 中性인 物質은 存在하지 않으며, 모든 物質은 磁性을 가지고 있다. 따라서, 모든 物質은 이에 수반되는 磁氣現象을 나타내며, 磁氣 現象을 應用하는 것이 磁氣應用이고, 磁氣應用的 媒介體가 磁性材料이다. 그런데, 磁氣現象이 뚜렷하지 않으면 實用的 價値가 없고, 材料의 價値判定은 應用面의 要求에 따라 決定되므로 磁性材料라는 意味는 強磁性體 또는 Ferri 磁性體에 限한다. 여기서는 이러한 磁性材料에 對한 要求가 어떻게 變化되어 왔으며, 그 發達現況이 어떠한 가를 紹介하고자 한다.

半導體의 눈부신 發展에 比하여 磁性材料가 하찮은 存在로 되어 있는 것은, 磁性材料가 半導體에서의 發振, 增幅 등과 같은 能動的 機能을 갖지 못하고 受動 機能만을 가질 수 있다는데 큰 原因이 있다고 생각된다. 現在 基礎的인 研究가 활발히 進行되고 있는 磁性 半導體는 그러한 意味에서 획기적인 物質인데, CdCr<sub>2</sub>, Se<sub>2</sub>를 使用한 p-n接合의 研究도 이미 행하여지고 있다. 그리고, 그러한 整流性은 確實하며, 強磁性의 領域에서의 可能性이 보인다는 것은, 이것이 바로 Ge, Si에 代置되어질 수 있다는 것을 意味한다.

磁化曲線의 非直線性을 應用하는 非線形磁氣應用은, 20餘年間 發展해 왔는데, 磁氣增幅器, 磁氣變調, 周波數 變倍器 등의 分野에 있어서 成熟의 段階에 到達해 가고 있다. 또 今後로는, hysteresis 曲線이 角形이고 殘留磁束密度가 큰 材料를 利用하는 分野가, 磁氣記憶, 磁氣記錄 등으로 하여, 情報化時代의 中心問題로서 脚光을 받고 있다.

또 어떤 磁性材料에 對해서는 磁氣特性 이외에 유리 부작성, 탄성, 接點에서의 特性 등이 要求되며, 이러한 要求들을 한가지 材料로서 滿足시키는 것은 困難하므로, 材料의 復合化가 試圖되고 있다. Wire memory는 銅線上에 permalloy를 電着시킨 것이고, 이것

은 Core에 digit線이 通한 것으로 볼 수 있다. 今後로는, 磁性材料部品에서도 電子部品에서와 마찬가지로 材料를 復合小型化하여 一括生産하는 方向으로 나아갈 것이 豫想된다.

한편으로는 記憶의 高密度化가 強하게 要求되고 있으며, 이에 따라 磁性薄膜의 磁壁 그 자체를 記憶體로 利用하려는 方向으로 나아가고 있다. 이 경우, 記憶體를 磁氣誘導에 의하여 읽어내는 것은 S/N비가 적어서 困難하고, Faraday效果, Kerr效果 등을 利用한 磁氣光學의 方法이 有效하다.

요즘 많이 研究되고 있는 超電導現象에 있어서도, 材料의 磁性이 導電率에 絕對的인 影響을 미치므로, 이에 관해서는 磁性材料研究分野에서도 많은 關心이 모아지고 있다. 따라서 超電導材料에 關하여서도 따로 欄을 내어서 紹介하고자 한다.

2. 高透磁率材料

2-1. 電氣鐵板

電氣鐵板은 一世紀 가까운 歷史를 가진 材料로서, 技術的으로 徐徐히 進步하여 거의 完成期에 접어들고 있다. 특히, 珪素鋼板에 있어서는, 生産量은 적으나 그 特性은 極限値인 單結晶의 것에 가까운 값까지 向上되었다.

다음에, 方向性珪素鋼의 매우 最近의 進步에 關하여 紹介를 한다.

珪素鋼을 冷間壓延하여 [110], [001]의 Goss 方位의 再結晶集合組織을 얻기 위해서는, Inhibitor라 부르는 適當한 不純物의 存在가 必要하다. 이 Inhibitor는 Goss 方位의 集合組織을 生成하는데는 必要하지만, 이것이 남아 있으면 磁壁移動의 妨害 때문에 磁氣的으로 有害하다. 따라서, 이것을 最終의 高溫燒鈍方法에 의하여 除去하지 않으면 안된다.

이렇게 하여 만들어진 珪素鋼板은, 같은 磁界 8A/cm에 있어서 磁束密度가 從來의 1.80Wb/cm<sup>2</sup>에서부터 1.91~1.92Wb/cm<sup>2</sup>으로 上昇하였고, 單結晶의 2.06

\* 正會員 · 서울大學校 教授(工博)·當學會理事

表 1. Permalloy 開發의 歷史

材 料 名	備 考	發 明 者 · 製 造 者	年 代
78 Permalloy	600°C 急冷	Elmen	1916~1923
Hipernik	水素燒軟	Yensen	1915~1931
Cr-Permalloy	Cr 添加	Elmen	1921
Mumetal	Mo, Cr, Cu 添加	Smith, Garnet	1924
Perminvar	Ni-Co-Fe 合金	Elmen	1928
Isoperm	恒透磁率	Dahl	1936
Permenorm 5000 Z	角形 hysteresis	VAC社	~1940
Supermalloy	超高透磁率	Boothby, Bozorth	1947
Ultraperm 10	超高透磁率	Assmus, et al. VAC社	1958
Permax Z	高初透磁率 50~60 Ni	Pfeifer, VAC社	1966
Satmumetal	高初透磁率 50~60 Ni	Kang, et al. Telecon Metals	1967
V-Permalloy, W-Permalloy	超高透磁率	RaBmann, Hofmann	1968
Permax F	pulse trans用低 Br	Pfeifer, et al. VAC社	1968
TMS	磁氣 head用 耐摩耗性	東北金屬工業	1969

Wb/cm<sup>2</sup>에 아주 가깝다. 鐵損도 從來의 最高級品 G9 의 1.33W/kg에 比하여 1.19~1.12W/kg으로 아주 적게 되었다.

2-2. Permalloy

Elmen氏가 78 Permalloy를 1916년에 發見한 後, 高透磁率 Ferrite가 出現하여 高周波領域에서는 Permalloy에 代置되었으나, 高透磁率과 安定性에 있어서 Permalloy에 견줄 수 있는 것은 없다(第1表 參照).

Boothby, Bozorth 등은  $\mu_i = 10,000$ 인 超高透磁率材料 Supermalloy(5Mo, 79Ni, 16Fe)를 發明하였고, 그 후 Assmus氏 등은 이것에 Cu를 加하여 Ni-Fe-Cu-Mo系 四元合金에도 超透磁率을 나타내는 組成範圍가 存在한다는 것을 發表했다. Enoch, Fudge氏 등은 이 多元素 Permalloy에 對하여, 超高透磁率을 나타내는 組成條件의 經驗則을 提案하였다. 그 骨字는 Ni原子의 3d空孔이, 添加한 非磁性原子의 外殼電子에 의하여 채워져서, Fe原子는 이에 關與하지 않는다고 생각한다. 따라서 添加元素의 價電子의 數에 해당하는 強磁性 Ni原子의 實効數가 減少된다. 實効強磁性 Ni原子와 Fe原子의 比가 3.48일 때 超高透磁率을 나타내는 것이다. 그리고 Ni-Fe-Cu-Mo系 合金에 對해서도 이 생각은 確實한 것 같다.

今後的 課題는 이러한 Permalloy를 어떻게 저렴한 價格으로 製造하여, 널리 實用的으로 供結하는 가 하는 것이다.

2-3. 高透磁率 Ferrite

高透磁率 Ferrite는 抵抗率이 높고 多量生産에 適合하여, Ni, Co 등을 많이 쓰지 않고, 價格이 싸고, 使

用이 쉽다는 등의 要因과, 電子技術에 있어서 高周波化, Radio, Television 등의 普及, 電算機의 發展 등 時代의 要求에 따라 二次大戰後에 急速히 發展했다. 高透磁率 Ferrite 중에서 가장 一般的인 材料인 Mn-Zn Ferrite의 磁氣特性은, 主成分元素以外的 微量의 添加元素에 의하여 影響을 받는다(第2表 參照). Micro波用材料는 1952年 Bell電話研究所(BTL)의 Hogan氏에 의한 實用化 以來, 特性向上, 周波數帶의 擴大 등 急速히 發展했다. 應用的 基礎가 되는 現象은 強磁性共鳴 및 Faraday 回轉이고 특히 物性研究과의 關緣이 깊다. YIG(Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)는 Curie 溫度가 比較的 높음에도 불구하고 飽和磁氣가 적고, 共鳴半值幅  $\Delta H$ 가 적기 때문에 UHF帶에 有用하게 되어 있다.

3. 磁氣記憶用材料

3-1. Memory Core

電算機의 主記憶素子인 Memory Core는 과거 15年間 그 主役을 담당해 왔다. 이 Core 材料의 主流는 Mn-Mg Ferrite와 Li系 Ferrite의 2가지 系統이 있다. 이러한 材料의 角形 hysteresis 特性은, 自發的 角形性에 근거를 두는 것이고 材料가 等方性이라는 것이 特徵이다.

3-2. 磁性薄膜

磁性薄膜은 高速 Switching의 점에서 memory Core에 充分히 代置될 것으로 짐작되며, Blois氏(1955年)의 研究以來 대선풍을 일으켰다.

그간 10,000件이 넘는 研究가 行하여졌는데도 불구하고 實用化가 意外로 늘어진 것은, 生産過程이 要因이 複雜해서 生産制御가 困難했기 때문이다.

表 2. 超高透磁率材料<sup>(24)</sup>

合金	組成 (wt%)	$\rho_{CI}ZI^*$	$\theta$ (°C)	$B_s$ (G)	$K_1$ (erg·cm <sup>-3</sup> )	$\lambda_{100} \times 10^6$	$\lambda_{111} \times 10^6$	$\mu_i \times 10^{-3}$ (G·Oe <sup>-1</sup> )	$(\mu\Omega \cdot \text{cm})$
Supermalloy	79Ni; 15.5Fe; 5.0Mo; 0.5Mn	18.6	400	7,900	—	—	—	100	50
Supermalloy	79.7Ni; 14.5Fe; 5.1Mo; 0.7Mn	19.0	394	7,270	0	1.79	0.17	163	68
Mumetal	76Ni; 16.9Fe; 4.8Cu; 1.9Cr; 0.4Mn	17.2	400	8,000	—	—	—	100	55
Mumetal	77.0Ni; 16.6Fe; 4.7Cu; 1.7Cr	15.8	461	8,310	1,000	5.5	0	90	60
1040	72Ni; 11Fe; 14Cu; 3Mo	24.4	290	6,000	—	—	—	40	56
Mo-Cr-Permalloy	80.5Ni; 15.1Fe; 2.6Mo; 1.8 Cr	21.8	411	7,500	—	—	—	108	64
Mo-Cu-Cr-V-Permalloy	78.7Ni; 15.3Fe; 1.4Mo; 2.4Cu; 1.0Cr; 1.2V	20.8	405	7,640	0	3.01	0.44	150	72
V-Permalloy	82.3Ni; 13.3Fe; 3.9V	22.3	371	6,720	0	0.77	-0.52	128	65
W-Permalloy	75.8Ni; 15.1Fe; 9.1W	18.4	414	7,200	300	3.13	0.63	82	66
Cr-Permalloy	81.4Ni; 15.0Fe; 3.6Cr	24.0	421	7,800	—	—	—	34	61
Cu-Permalloy	69.5Ni; 13.9Fe; 15.9Cu	14.9	413	7,500	—	—	—	74	30

\* 添加元素의 總價數

表 3. 各種 磁氣記錄 材料와 磁性體<sup>(47)(48)</sup>

品 種	磁性率	Size ( $\mu$ )		$H_c^*$ (Oe)	$B_R^*$ (G)	비 고	
		長 徑	短徑				
audio tape	포 준 형 低 雜 音 形	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.6~1.0	0.1	250~270	~700~	高出力으로서 磁性體의 含有物 높이고 $B_R$ 을 1000G 정도 로 한 것도 있다.
		"	0.4	0.07	260~300	"	
video tape	방송용 low-band	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.6~1.0	0.1	250~270	~1,000~	最近에는 電氣抵抗을 낮추어 서 帶電을 적게 하기 위하여 Carbon black를 混入하기 때 문에, 검은 tape가 많다.
	방송용 high-band	"	0.4~0.5	0.07	270~300	"	
	공업용, 가정용	"	0.4	"	"	"	
	高密度 A	Co ferrite	0.5	0.08	450	1,100	
	高密度 B	CrO <sub>2</sub>	0.4	0.07	430	1,145	
Computer tape		$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.6~1.0	0.1	250~280	700, 800	High band用에는 Video tape 에 가까운 特性을 가진 tape 가 使用된다.
	Low band	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.6~1.0	0.1	200~280	700~800	high band用에는 video tape 에 가까운 特性을 가진 tape 가 使用되고 있다.
	high band	"	0.4	0.07	270	1,000	
	高 密 度	CrO <sub>2</sub>	0.4	0.07	430	1,450	
Video		$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.4~0.5	0.07	270	1,000	CrO <sub>2</sub> 系 tape도 유망시되고 있다.
		$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.6~0.1	0.1	250~270	700	

(注) \*  $H_c, B_R$ 은 각 기록재료의 磁性層

記憶素子로서의 方式에는, Plane memory, Wire memory, Fine striped memory 등이 제안되었다.

3-3. 磁氣 bubble

1969年 암스테르담의 Intermag에서 BTL의 Bobeck 氏가 자기 bubble에 對한 健全한 映畫를 發表한 以來, 대단한 關心을 불러 일으켰다. 그 중요한 原因은, 10<sup>8</sup> bit/in<sup>2</sup> 以上の 高密度 memory가 可能하며, 傳送, 論

理演算의 可能性이 있는 것이다. 그렇지만 access time 이 500 $\mu$ s로 큰 것이 결점이다.

材料의 製造面에서 보면, 이 磁氣에는 여러가지 이 유에서 orth O-Ferrite가 適當하며, 어떻게 均一한 完全單結晶을 만드는 가가 問題이다. 그렇지만, 磁區의 檢出에 光以外的의 手段이 發明된다면 材料는 光에 對하여 透明할 必要가 없기 때문에, 多結晶體가 使用되는

表 4. 磁氣 head用 材料

組 成	合金 磁性 材料					Ferrite 材料					單 位 重 量 (%)
	Permalloy	알 펠 (알펠)	센다슬	高密度 Ferrite	單結晶 Ferrite	Pot press Ferrite	一般燒結 Ferrite	Hotpress Ferrite			
	Ni 79 Mo 4 Fe 17	Al 16 Fe 84	Al 5.5 Si 10.0 Fe 84.5	NiO 11 ZnO 2.2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 67	MnO 18 ZnO 14 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6.8	MnO 15 ZnO 15 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 70	NiO 19 ZnO 13.5 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 67.5	NiO 13.9 ZnO 13.6 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 67.5			
$\mu_0$	DC 4MHz	20,000 40	3,000 30	30,000 60	850 550	1,000 500	2,000 800	200 200	250 250		
Bs		8,700	18,000	11,000	3,900	3,400	4,000	2,500	4,000	G	
Hc		0.05	0.04	0.05	0.4	0.2	0.1	1.5	1	Oe	
抵 抗 率		$55 \times 10^{-6}$	$140 \times 10^{-6}$	$88 \times 10^{-6}$	$10^7$	$>0.1$	$>10^2$	$10^7$	$>10^6$	$\Omega \cdot \text{cm}$	
Curie 溫度		460	400	500	125	150	150	250	350	°C	
릿카스硬度		132	350	500	600	600	650	400	750		
密 度		8.72	6.5	8.8	5.3	5.1	5.1	4.5	5.3	g/cm <sup>2</sup>	

表 5. 영구자석의 특성의 이론치와 실험치의 비교

분 류	재 료	飽和磁氣 Is(G)	結晶磁氣 異方性 energy-kc (10 <sup>9</sup> erg/cc)	保磁力 $iH_c$ (KOe)		energy-積(BH) max(MGOe)	
				이론치*	실험치	이론치**	실험치
形 狀 異 方 性	alnico系 磁石	—	—	—	1.5	—	11.0
	Fe	1,700	0.46	3.6(10.7)	1.0	40	4.3
	Fe-40% Co	1,960	~0.01	4.1(12.1)	1.3	50	6.5
結晶磁氣異方性	Ba	380	3.3	17	11.3	5.7	4.5
	Sr	365	3.7	20	"	5.4	4.4
	MnBi	620	11.6	37	12.0	15	7.3
	MnAl	495	10.0	40	6.0	9.7	4.5
	PtCo	770	17.2	45	"	24	12
	YCo <sub>5</sub>	840	~50	130	6.7	28	1.5
	LaCo <sub>5</sub>	720	~60	~175	3.6	20.6	—
	CeCo <sub>5</sub>	610	"	180~210	3.75	14.8	8.0
	PrCo <sub>5</sub>	930	~80	145~180	5.15	36.8	4.35
	SmCo <sub>5</sub> <sup>6</sup>	760	~100	250~290	28.7	23.4	20
(MM)Co <sub>5</sub>	710	~60	~180	4.5	19.8	2.34	

(注) \*: 形狀異方性的 경우는 充憤率  $p=2/3$ 으로 놓은 경우, 그리고 ( )안은  $p=0$ 인 경우.

結晶磁氣異方性的 경우는  $iH_c=2Kc/Is$ 로 계산.

\*\* : 結晶磁氣異方性的 경우는  $(4\pi Is)^2/4$ 로 계산.

등, 또 다른 가능성이 생긴다. 今後 언젠가는 단기간의急速한發展이豫想된다.

4. 磁氣記錄用材料

4-1. 磁氣 tape

磁氣記錄體로서는, 初期에는 쇠줄이 사용되었으나, 1930年代부터 粉末塗布式 tape가 사용되었다. 이 磁性粉末로서 처음에는 粒狀  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 사용했으나 1940年代에는 針狀  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 로 바뀌었으며, 이에 따라 保磁力

이增加되어記錄特性이改善되었다.

記錄密度를 向上시키기爲해 꾸준히 研究가 進行된 결과 現在에는 記錄密度가 10,000cycle/cm, 記錄波長이 1 $\mu$ 에 가까와져 가고 있으며 錄音, 錄畫, 電算機外部 memory 등에 널리 쓰인다. 제 3表는 現用各種磁氣記錄材料에 관한 것이다.

4-2. 磁氣 head用 材料

磁氣 head用 磁心材料로서는, 透磁率이 높고, 保磁

력이 적으며, 飽和磁束密度가 높고, 큐리溫度가 높고, 耐摩耗性이 큰 것 등이 要求된다. 지금까지 第4表와 같이 많은 材料가 登場해 있으나, 아직 완전히 해결되어 있지는 않다. 여기서 最大의 問題는 耐摩耗性이며 現在로서는 audio 範圍의 記錄에는 Permalloy, VTR, digital用에는 Ferrite가 適當하다고 되어 있다.

最近, 硼化合物  $Co_{20} Al_3 B_6$ 을 바탕으로 하여 高硬度, 高透磁率材料 보로큐브가 研究되어 있으며, 금속간의 化合物이 갖고 있는 높은 硬度를 가지면서 結晶磁氣異方性을 적게 했다는 점에서 特異하지만 아직 實用化되지 않았다.

### 5. 永久磁石

現在 使用하고 있는 永久磁石을 大別하면, alnico 磁石과 Ba Ferrite로 나뉘어진다. Ni, Co 등의 資源의 理由에 의하여 Ba Ferrite의 生産이 急増하고 있다.

이들 永久磁石은 單軸理論에 의하여 說明되고 있고 Alnico磁石, ESD磁石과 같이 單磁區微粒子의 形狀異方性을 利用하는 경우와 Ba Ferrite, Sr Ferrite, Mn Bi, MnAl, PtCo,  $R Co_5$  ( $R$ 는 稀土類를 表示함) 등과 같이 結晶磁氣異方性이 크다는 것을 利用한 경우의 2種類로 分類된다.

現在 alnico鑄造磁石에는, 抗磁力을 높이기 위한 努力이 기울어지고 있지만 아직 理論值에는 많이 뒤떨어져 있고 人工적으로 만든 ESD磁石의 特性은 理論值의  $\frac{1}{10}$ 에까지밖에 도달하지 못하고 있다. 이점에서 보면, 形狀異方性을 利用한 永久磁石은 現在의 技術로는 向上이 어렵고, 反面에 새로운 手段이 發明되면, 特性이 대폭적으로 向上될 可能性이 있다고 할 수 있다.

이들에 反해서 結晶磁氣異方性을 利用한 경우에는, 理論值에 가까운 값이 얻어진다. Ba Ferrite에 있어서는 Energy積  $(B \cdot H)_{max} = 4MG Oe$  정도의 理論值에 가까운 高特性이 얻어지고 있다.

또,  $Sm Co_5$ 를 粉碎後 磁界中에서 press한 것으로서 philips社에서  $(B \cdot H)_{max} = 18.5MG Oe$ , Raytheon社에서  $20MG Oe$ 를 기록했다. 또 BTL에서  $SmCo_5$ 의 Co中一部를 Cu와 Fe에 置換한  $Co_{0.35} Cu_{1.35} Sm$ 에서 alnic<sup>0</sup>磁石과 똑같은 鑄造로서  $9MG Oe$ 를 얻었고, 다시 이것을 스택타하여 薄膜을 만들어, 保磁力이 最高  $30,000 Oe$ 를 記錄했다.

### 6. 超電導材料

1911年 K. Onnes에 의하여 超電導現象이 發見되었고, 1961년에는 MIT의 強磁場研究所에서 開催된 強磁場國際會議에서  $60KG$ 를 發生하는 超電導 magnet가 發表되었다.

이 超電導現象을 說明하기 위하여 여러 가지의 理論이 나왔으나, Bardeen, Cooper Schrieffer에 의하여 完成된 BCS 理論이 가장 타당한 것으로 생각되고 있다.

이 BCS 理論에 따르면 電子-格子振動의 相互作用에 의한 電子對形成은 量子力學的으로 說明되며, 臨界溫度  $T_c$ 는  $T_c = 1.14\theta_0 e^{-1/N(0)V}$ 로 表示된다. 여기서  $\theta_0$ 는 格子振動의 Debye 溫度,  $N(0)$ 는 Fermi面에서의 電子狀態密度,  $V$ 는 電子格子相互作用  $V_{ph}$ 와 Coulomb 反發力과의 差이다.

超電導는 現在, 第一種, 第二種의 2種類로 나누어지고 있다. 第一種에는 超電導體內에 磁束이 들어가지 못하는 性質(Meissner 效果)를 나타내며, 또 超電導性을 잃어버리는 磁場의 값을 臨界磁場이라고 한다. 第2種 超電導體는 硬超電導體라고도 불리는데, 磁場을 加하면 下部臨界磁場  $H_{c1}$ 까지는 Meissner 效果를 나타내고,  $H_{c1}$ 을 넘으면 內部에 量子化된 磁束의 系가 浸入하기 시작하고; 2次元의 三角格子狀으로 配列한다. 磁束이 들어가 있는 部分은 常電導部分으로 되었기 때문에, 이 狀態를 混合狀態라 한다. 磁場을 다시 增加시켜가면, 이 三角格子의 間隔은 좁아져 간다. 그리고 어떤 값에서는 完全히 常電導로 되고 만다. 이 값을 上部臨界磁場  $H_{c2}$ 라 한다.

超電導 magnet材料에 있어서의 重要한 性質은 높은  $H_{c2}$ 를 가지고 있을 뿐만 아니라, 高電流를 흘리는 性質과 높은 臨界電流密度  $J_c$ 를 가지고 있어야 한다는 것이다. 따라서 超電導材料로서는, 될 수 있는데로  $T_c$ ,  $H_{c2}$ ,  $J_c$ 가 높은 것이 바람직하며, 現在 金屬間化合物  $Nb_3Sn$  및 Nb-Ti 合金이 쓰이고 있다(第六表 參照).

表 6. 超電導線材의 特性

超電導物質	臨界溫度 $T_c$ [K]	臨界磁場 (4.2K) [KG]
$Nb_3 Sn$	18.2	245
$V_3 Ga$	16.8	210
$Nb_3(Al_{0.8} Ge_{0.2})$	20.7	410
$Nb_3 Al$	17.5	300
Nb-48% Ti	9.5	122

超電導材料의 應用에는, 超電導線의 不安定性, 超電導 magnet의 安定化라는 2가지 難題가 있으나 점차로 改善되어 가고 있으며, 超大形 magnet에의 應用은 實以上에서 近來에 있어서의 研究動向을 개략적으로 紹介하였다.

磁性材料의 歷史는 상당히 오래되었으나, 半導體材料 등에 비해 研究가 적었으며 材料開發이 뒤져 있는

<p.74 계속>