

成 英 權*
(Young Kwon Sung)

〔IV〕 抵抗體와 그材料

1. 電子機器用抵抗器의 條件

어떤 物體에 電壓을 印加하여 이로부터 同一位相의 希望하는 電流, 電壓을 얻기 위한 回路素子를 抵抗器라고 생각하면, 自然界에 존재하는 비교적 많은 物質은 抵抗的性質을 가지고 있으나 電子機器部品으로서 사용하기 위해서는

- ① 抵抗값範圍가 比較的 廣範圍일 것
- ② 抵抗溫度係數가 적을 것
- ③ 時間, 溫濕度, 電壓, 用波數等의 條件에 對해 安定할 것
- ④ 部品으로 許容되는 尺寸일 것
- ⑤ 低廉價일 것

등의 條件이 만족해야 한다. 이러한 條件을 만족하는 것은 대단히 곤란하고 현재 各目的에 따라 여러가지 抵抗器가 使用되고 있는 狀態이다. 最近의 抵抗器部品の 趨勢로서는 亦是 小型化, 高精度에 對한 要望과 더불어 上記條件이 同一部品에서 滿足되는 理想的抵抗器를 要望하게 되었다.

2. 抵抗器

現在 일반적으로 알려져 있는 抵抗器를 大別하면 金屬抵抗器, 炭素抵抗器, 特殊抵抗器이다. 以下 抵抗器各論에 대해서 說明한다.

1) 金屬捲線抵抗器

이것은 ceramics 또는 合成樹脂體 위에 金屬細線을 감어 抵抗體로 하고, 合成樹脂等의 絕緣保護被覆을 한 것으로서, 用途에 따라 電力用과 精密用으로 大別된다. 電氣的性質은 抵抗線材料의 組成에 依存하기 때문에 이 抵抗器의 抵抗값 範圍의 擴大와 性能의 向上을 抵抗線材料의 開發에 依存하고 現在 일반적으로 抵抗線으로 使用되고 있는 金屬合金材料의 一例를 第2表에 나타낸다. 이중에 電力用은 Ni-Cr系 精密用은 Cu-Ni 또는 Cu-Mn系가 利用되고 있으나, Ni系과도 에바늄等은 精密用으로 使用된다. 일반적으로 金屬合成材料의 固有抵抗은 主로 主要構成金屬材料에 의하여 결정되지만, 溫度係數, 對銅熱起電力等의 諸性質은 少量의 添加金屬元素와 燒鈍, 線引等의 加工條件에 의해 현저히 左右된다. 따라서 抵抗線의 研究는 主로 이點에 集中돼 있어 Ni-Cr系, Fe-Cr系, Au-Cr系等에 여러가지 第3, 第4成分을 添加한 抵抗線이 많이 製品化되어 있고, 보다 高精度抵抗器도 製作되고 있다(例 Mu系 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下 對銅熱起動 $1\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$).

다음에 이 抵抗器의 電氣的 性質中 특히 문제되는 것은 高同級特性이다. 그것은 긴 抵抗線을 감기 때문에 생긴 L,C의 浮遊常數外에 近接效果, 表皮效果등이 高同級特性을 低下시킨다.

2) 金屬皮膜抵抗器

金屬捲線抵抗器는 負荷耐力이나 安定度에 관해서는

〈第2表〉

抵抗金線의 組成과 成長

種 類	組 成											固 有 抵 抗 $\mu\Omega\text{cm}$	溫度係數 $\times 10^{-6}$ $/^{\circ}\text{C}$	對銅熱 起電力 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$		
	Ni	Cr	Cu	Mn	Fe	Al	Ag	Au	Sn	Co						
니 크 롬	80	20														
갈 마	73	20				+	+							108	150	5
에 바 늬	74.5	20	2.75				2.75							133	± 20	3
간 탈 D R		20				75	4.5							134	± 20	2.5
아 드 반 스	44.5		54.5	0.5		+						0.5		135	± 20	3.5
유 리 가	43		56.5											47.6	10	-43
망 가 님	2		86	12										47.5	43	40.6
N B W 8 7				8										43	20	0.1
Au—Cr		2						85					7	43	10	-0.4
														33	1~2	7~8

* 正會員：高大理工大學 電氣工學科教授

優秀한 抵抗器이나 高抵抗값을 얻기 어렵고, 大型高價인 것과 周波數特性이 缺點이다. 이에 比해 金屬皮膜抵抗器는 그 薄膜構造에 의해 高抵抗값으로 小型化되며 高周波特性도 좋고, 後述하는 炭素皮膜抵抗器에 比해 耐熱性, 負荷耐力, 雜音, 溫度係數 등에서 우수한 特徵을 가지며, 현재 가장 先進한 發展을 계속하고 있는 抵抗器이다.

金屬皮膜抵抗器를 材料面에서 大別하면,

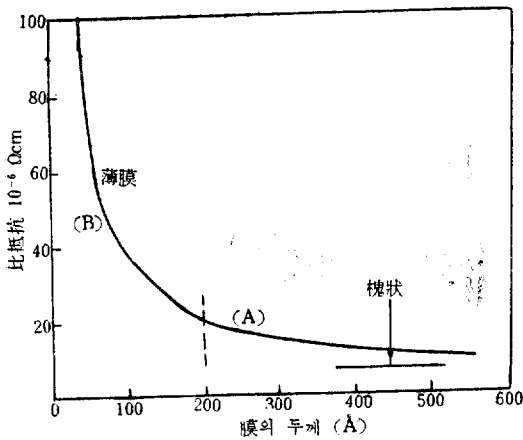
- ① 單一金屬 또는 合金으로 된 金屬皮膜抵抗器
- ② Cr 또는 Cr-Ti 薄膜을 1,000~1,100°C로 窒化한 金屬窒化物抵抗器
- ③ Sn(Sb)O₂ 薄膜을 사용한 金屬炭化物抵抗器
- ④ TiC 등의 薄膜을 사용한 金屬炭化物抵抗器
- ⑤ CrSi₂, CoSi 등의 金屬珪化物抵抗器

(1) 金屬皮膜抵抗器

이것은 單一金屬 또는 合金薄膜을 適當한 絶緣性支持體上에 附着시켜, 合成樹脂等에 의해 絶緣被覆을 한 것이고, 그 製造方法은 여러가지 있으나, 眞空蒸着法이 精密用金屬皮膜抵抗器의 製造法으로서는 널리 利用되고 있는 方法이다. 抵抗體의 材料로서는 ① Au, Pt 등의 貴金屬과 그 合金 ② Cr, Ti, Ni 등의 遷移金屬과 그 合金, ③ Ti, Mo 등의 高融點遷移金屬 등이 使用되고 있다. 그中 ①은 化學적으로 安定하기 때문에 精密用, ②는 比較的 高抵抗值用 ③은 SiO 또는 MgF₂ 등의 保薄膜을 表面에 蒸着시켜서, 高溫用으로 使用되고 있다. 金屬皮膜抵抗器의 抵抗값 및 그 電氣的 性質은 使用하는 金屬材料의 種類, 膜厚, 製造條件, 後處理, 支持體의 種類 및 表面狀態 등에 의하여 결정된다.

① 膜 厚

일반적으로 金屬薄膜의 比抵抗은 塊狀金屬의 것과는 대단히 相異한 값을 가진다. [그림-23]는 유리위에 蒸着한 金薄膜의 比抵抗과 膜의 두께와의 關係를 나타낸

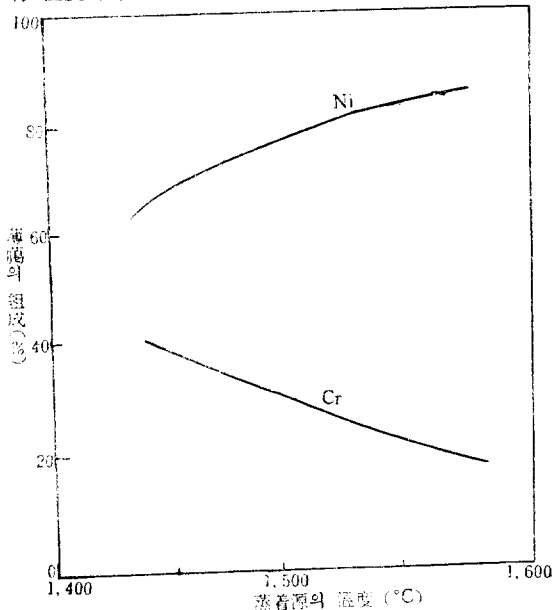


[그림-23]

것으로, 이 現象을 크게 나누면, 薄膜이 均一하고 단지塊狀의 두께가 얇아진 것뿐이라고 생각되는 領域(A)와 膜이 不連續的으로 되고 金屬微結晶間에 間隙이 생긴 領域(B)가 있다. [그림-23]에서 200Å° 程度以上の 두께는 A 領域이며, 100Å° 以下 급격히 比抵抗이 增大하는 곳은 B 領域이다. B 領域은 그 電氣的 性質이 塊狀金屬과 달라, 半導體的인 舉動을 나타낸다.

② 蒸着條件

蒸着條件으로서는 眞空度, 支持體溫度, 蒸着速度, 蒸着浮溫度 등이 있다. 支持體溫度가 낮은 경우는, 蒸着에 의해 支持體위에 飛來해온 金屬原子는 安定한 位置에 着落될 때까지, 整 energy를 잃으면서 不安定한 狀態로 固定된다. 따라서 抵抗體의 溫度가 올라가면, 金屬原子는 移動하며 抵抗값은 변화한다. 이에 대하여 支持體溫度가 높아서 특히 金屬의 再結晶近邊에 있을 때에는 安定한 抵抗膜을 만들 수가 있다. 蒸着速度에 대해서는 速度가 빠를 때에는 均一薄膜을 形成하고, 서서히 蒸着하면 薄膜은 粒狀으로 되는 傾向이 있다. 蒸着源溫度는 合金을 蒸着할 때 특히 問題되고, [그림-24]에 나타난 것처럼 Nicrome(Ni 80%, Cr 20%)에서는 1,600°C에서 蒸着하면, 合金組成과 같은 組成의 薄膜이 形成되나, 溫度의 減少와 더불어 Cr 量이 많은 薄膜이 된다.



③ 後處理 [그림-24]

蒸着金屬薄膜은 아무리 最適條件으로 蒸着하여도, 그 때의 狀態로서는 安定性이 缺乏하며, 抵抗값이 變化한다. 이 때문에 加熱 aging에 의하여 安定化를 期하고 있다. 일반적으로 加熱 aging에 의해 抵抗값을 변화하나, 이것은 空氣中の 酸素와의 反應에 의한 抵抗값의 增大와 金屬微結晶內의 格子缺陷, 歪曲 등의 減少에 의

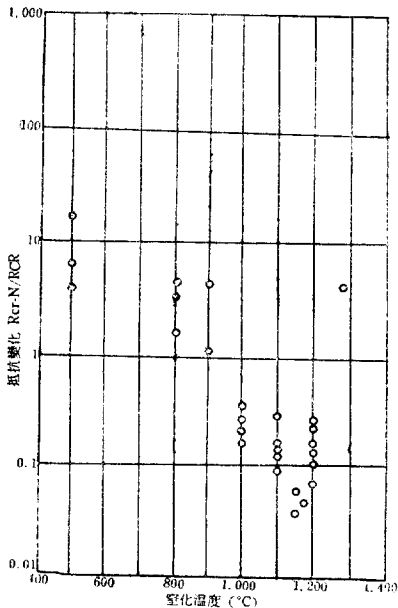
한 抵抗값의 減少等이 원인이 된다고 推定된다.

④ 技術體

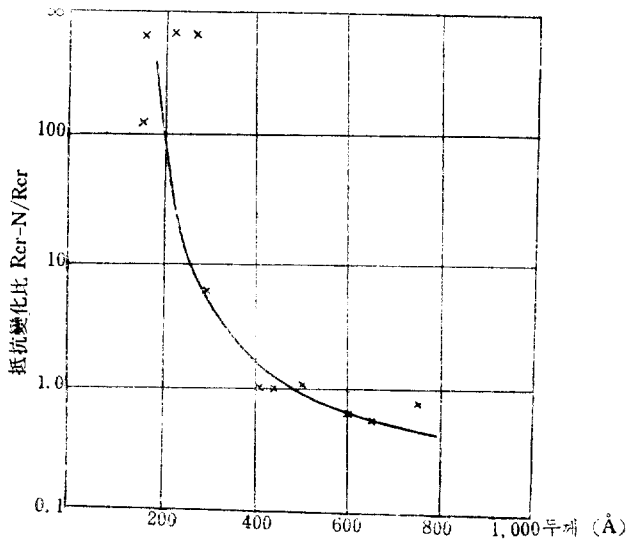
支持體로서는 ① 機械的強度가 클 것, ② 耐高溫性일 것, ③ alkarison 을 包含하지 않을 것, ④ 熱膨脹係數가 抵抗體와 同程度일 것, ⑤ 表面狀態가 平滑한 것 등이 必要하다. 그 外 支持體結晶構造도 크게 影響을 주는 것 같다.

(2) 金屬窒化物抵抗器

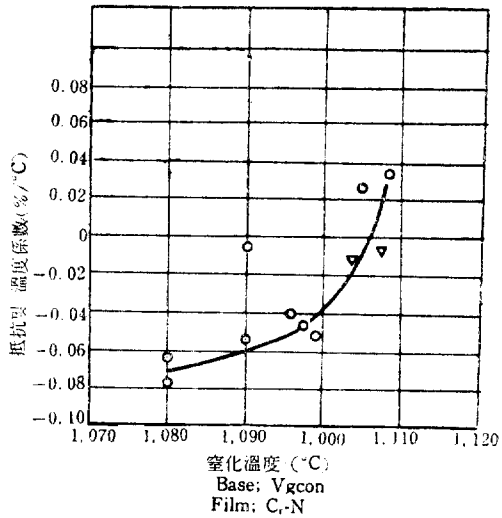
이것은 最近에 美國에서 開發된 것으로서, 낮은 溫度係數와 200°C 部品으로서의 安定度를 갖는 것을 目的으로 한 抵抗器이다. 그 製法은 Cr, 또는 Cr-Ti 合金을 眞空蒸着法으로 適當한 絶緣性支持體위에 蒸着한後 1,000~1,100°C의 高溫中에 約 10分間 窒化하여, 200~300°C에서 數 10時間 熱處理한 것이다. 일반적으로 粒狀 Cr를 窒化한 경우는 CrN 또는 Cr₂N인 化合物로 하나 이 方法으로는 NaCl型 CrN 변화 狀으로 된다. 抵抗값은 窒化溫度와 膜厚에 의하여 左右된다. [그림-25]는 Cr 蒸着膜의 窒化度에 의한 抵抗값變化를 나타내며, [그림-26]는 여러 膜厚의 Cr 蒸着膜을 1,100°C에서 窒化할 때의 抵抗값變化를 나타낸 것이다. 또 抵抗溫度係數는 蒸着薄膜의 膜두께에 의존하지만, [그림-27]에서 보는 바와 같이, 窒化溫度에 의해서도 큰 變化를 받는다. 다음에 이 抵抗器의 安定性은 窒化直後의 狀態에서는 반드시 安定하지 않고, 抵抗값은 時間과 더불어 增加하며 抵抗溫度係數도 負의 方向으로 變化한다. 그러므로 역시 充分히 aging 해서 溫度係數를 0에 가깝게 하며, 抵抗값도 安定케 하여야 한다.



[그림-25] Cr 蒸着膜의 窒化溫度와 抵抗值變化比



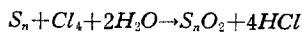
[그림-26] Cr 蒸着膜의 窒化에 의한 抵抗值變化의 두께依存性



[그림-27] Cr-N 抵抗器의 抵抗溫度 係數와 窒化溫度와의 關係

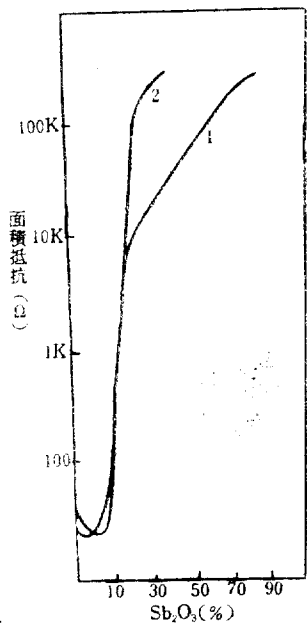
(3) 金屬酸化物抵抗器

유리 또는 磁器質支持體위에 酸化錫 등의 金屬酸化物을 薄膜狀으로 附着시킨 것이고, 그 製法은 여러가지 있으나, 現在 一般적으로 採用되고 있는 것은 스프레이 法이다. 鹽化錫과 鹽化안티몬(SbCl₃)의 알칼 또는 鹽酸 溶液을 加熱한 支持體위에 스프레이하는 方法으로 鹽化 錫탄의 경우 다음과 같은 加水分解가 일어나, 透明한 酸化錫이 생긴다.



그 電氣的性質은 스프레이 溶液의 組成, 皮膜의 두께 支持體加熱溫度等에 의해 變化한다. [그림-28]은 S_n-Sb

系酸化物薄膜의 抵抗값의 Sb_2O_3 量에 의한 變化를 [그림-29]은 그 抵抗溫度特性을 나타낸 것이다. 即 抵抗값 Sb_2O_3 의 添加와 더불어 일단 減少한 後, 反轉하여 增加하기 始作한다. 또 溫度特性은 Sb_2O_3 量의 경우 負의 變化를 나타내나, Sb_2O_3 量 1.5% 附近에서 正으로 最大溫度特性을 나타낸다. Sb_2O_3 量을 더 增加시키면 逆轉하여 負의 方向에 增大하며, 10% 以上으로 되면 負의 溫度特性을 현저히 나타낸다. 따라서 製造條件과 Sb_2O_3 添加量을 精確하게 制御할 때에 [그림-28] SnO_2 薄膜의 抵抗값에 對한 Sb_2O_3 의 影響 任意의 溫度係數를 가진 抵抗器를 만들 수가 있다. 그리고 Sb_2O_3 를 包含한 酸化錫은 耐熱性이며 化學的으로 安定하기 때문에, 小型電力用抵抗器로서 使用할 수 있어, 現在 그 watt 型炭素皮膜抵抗器와 同一치수도 7 watt의 것이 製作되고 있다. 이 抵抗器의 缺點은 還元하기 쉬운 點이다.



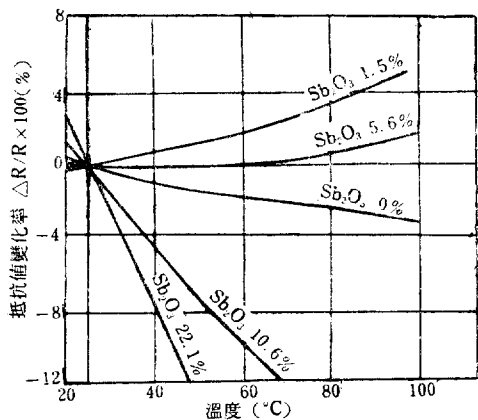
고 있다. 그 製法은 ① 熱分解法 ② 熔溶解法 등이 있다. 最近 美國 IRC에서 開發된 炭素와 珪素化合物의 高溫析出에 의한 皮膜은 耐熱性이 대단히 優秀하고 硬皮膜으로서 捲線抵抗器와 對等한 安定性을 가진다고 한다. 또 金屬珪化物로서 Cr 珪化物도 安定性을 가지며 260°C 空氣中에서 數 1,000 時間放置하여도 抵抗값變化는 적다고 한다. 이들 金屬化合物抵抗器의 研究은 아직 開發途中心이며, 今後의 抵抗器開發의 하나의 焦點이 될 것 같다.

J.M. Mochei
U.S. Patent
2564707.

3) 熱分解析出型炭素皮膜抵抗器

(1) 炭素皮膜抵抗器

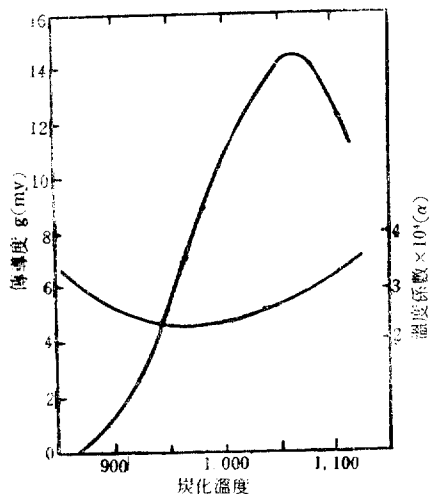
이것은 메탄, 벤젠 등의 炭化水素를 1,000~1,200°C에서 熱分解시켜 磁器質支持體위에 炭素微結晶을 析出시키고, Spiral 狀 나사方式으로 抵抗값을 調整하여, 防濕絶緣塗裝을 한 抵抗器이다. 熱分解는 常壓法과 減壓法이 있고, 常壓法은 窒素 gas 등의 不活性 gas를 運搬體로 하여 炭化水素를 高溫의 磁器表面에 流入시켜 熱分解시키는 方法이며, 減壓法은 高溫減壓狀態에서 炭化水素를 適當한 壓力으로 封入 또는 流通시키는 方法이다. 生産性面에서 連續自動生産이 용이한 常壓法이 유리하다. 抵抗값과 溫度係數는 炭化工程에서 炭化溫度 時間 gas 壓 및 使用炭化水素의 種類에 따라 定해진다.



[그림-29] SnO_2 薄膜의 溫度特性에 對한 Sb_2O_3 添加 量의 影響

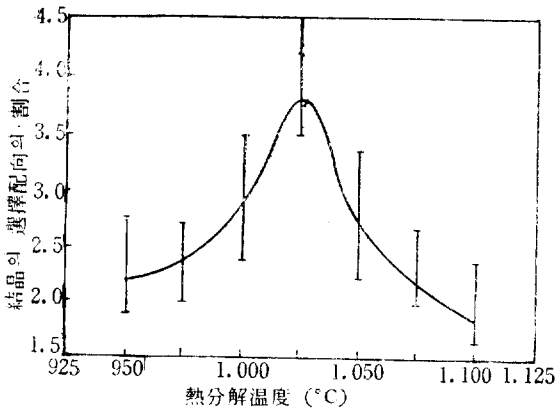
(4) 其他의 金屬化合物抵抗器

以上 말한 抵抗器外에 最近에 開發된 것으로 金屬炭化物抵抗器 및 金屬珪化物抵抗器가 있으며, 모두 比抵抗을 높이고 耐熱性을 增加시켜 安定性을 위해 開發되



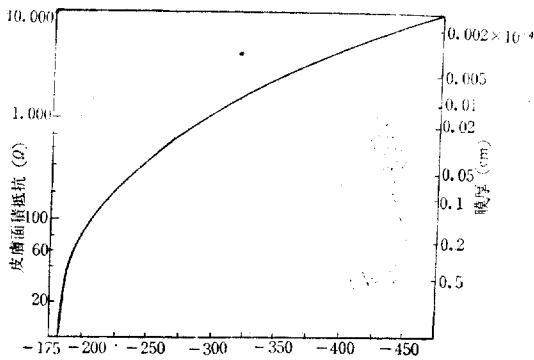
[그림-30] 傳導度溫度係數의 炭化溫度 特性

[그림-30]는 gas 壓, gas 流通時間을 일정하게 해놓고 熱分解溫度를 變化시킨 경우의 面積電氣位傳導度 및 溫度係數를 나타낸 것이다. 이 抵抗器製造에 있어서(電氣的特性이 良好한) 最適炭化溫度는 使用磁器材料에 따라 다르지만, 1,000~1,100°C의 範圍라고 한다. Grisdale에 의하면, [그림-31]에서 보는 바와같이, 1,025°C 前後에서 基板面과 平行이 되는 選擇配向을 하며, 皮膜硬



[그림-31] 熱分解溫도와 結晶選擇配向과의 關係

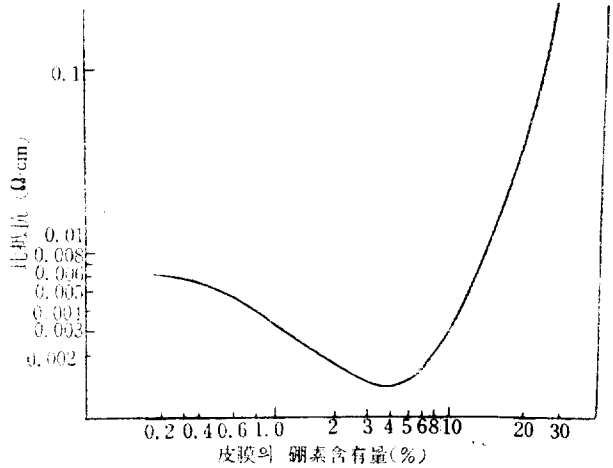
度도 最大값을 나타낸다고 한다. 同一炭化溫度에서 熱分解를 行한 경우는 [그림-32]에서 보는 바와같이, 面積抵抗값은 거의 抵抗體膜두께에 逆比例하여, 面積抵抗값의 낮은, 即 皮膜의 두꺼운 抵抗體가 溫度係數는 적다. 또 다른 電氣의 性質은 後述하는 Solid 抵抗器等에 비해 安定하나, 直流負荷에 의한 斷線이 큰 缺點이다. 그에 대한 講究策은 여러가지가 있다.



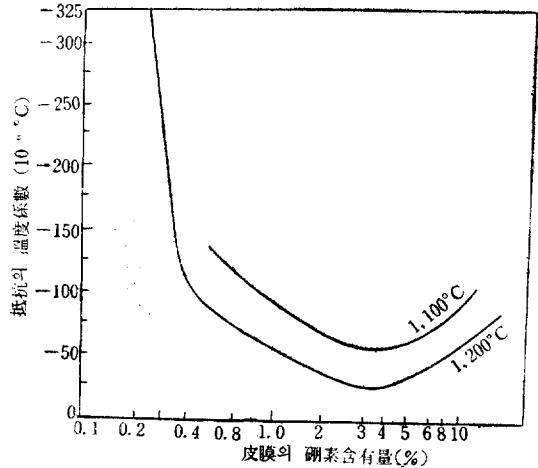
[그림-32] 面積抵抗膜原와 溫度係數

(2) 炭化硼素抵抗器

이것은 熱分解析出型炭素皮膜器의 一種으로서, 炭化水素外에 鹽化硼素 등의 硼素化合物을 1,000~1,200°C의 高溫에서 同時에 熱分解를 시켜, 磁器上에 析出し킨 것이다. 抵抗값 및 그 程度係數는 [그림-33]와 [그림-34]에서 보는 바와 같이, B 添加量에 따라 현저한 變化를 나타낸다. 이 抵抗器의 特色은 보통의 炭素皮膜抵抗器보다 溫度係數가 적고, 同一膜厚에서 高抵抗값을 얻을 수 있다는 點이나, 耐熱性, 耐濕性에 대해서는 특별히 改善된 點은 없다. 耐熱性에 대해서는 硼素가 대단히 많은 곳에서 炭化硼素狀態에까지 變化시키면, 어



[그림-33] 硼素含有量과 比抵抗과의 關係



[그림-34] 硼素含有量과 溫度係數와의 關係

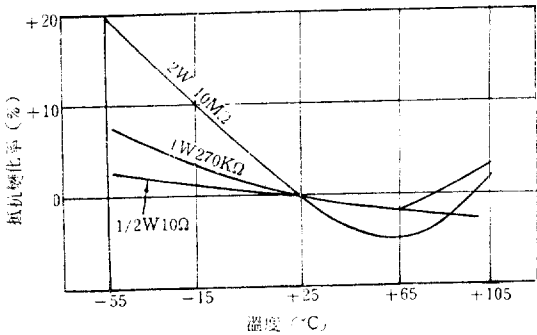
는 程度 改善되지만, 抵抗溫度係數가 나빠진다.

4) Resin 系炭素抵抗器

導電材料로서 黑鉛, Carbon black 등의 炭素微粉末과 結合劑로서 合成樹脂를 사용한 抵抗器로서 體型和 皮膜型으로 大別된다.

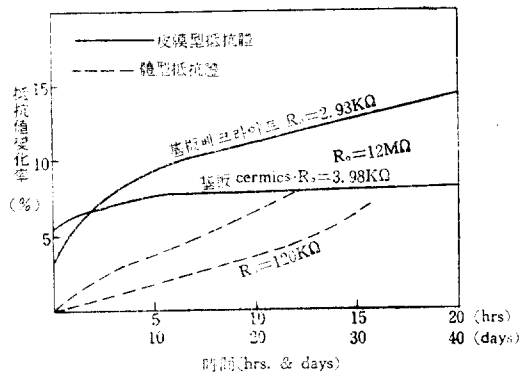
① Resin 系炭素體抵抗器(Solid 抵抗器)

이것은 炭素微粉末과 合成樹脂外에 充填劑로서 Silica를 混合시켜 適當한 캐스트로 加熱加壓型하며, 同時에 lead線과 絕緣外皮를 한덩이로 mold 한 것이고, 抵抗값과 電氣의 性質은 主로 炭素材料 및 合成樹脂材料의 種類와 兩者의 混合率에 크게 달려있다. [그림-35]는 이 抵抗器의 抵抗溫度特性을 나타낸 것이다. 溫度上昇과 더불어 抵抗값은 減少하며, 高溫部에서 反轉하여 增加한다. 低溫에서의 抵抗값의 減少는 炭素材料의 溫度特性에 의한 것이며, 高溫部에서의 抵抗값의 鹽加는 結合劑



[그림-35] Solid 抵抗器의 溫度特性

로 사용한 合成樹脂의 熱膨脹에 의한 것이라고 생각되고 있다. 溫度에 대한 依存性은 Resin 系炭素抵抗體全般의 共通問題로서, [그림-36]에서 보는 바와 같이, 吸濕에 의해 抵抗값이 증가한다. 이것은 合成樹脂의 吸濕에 의한 影響으로 일어나는 것이고, 合成樹脂의 改良이 必要하다. 다음에 電壓印加時의 電氣의 性質로서 負荷壽命特性, 雜音 등이 있다. 負荷壽命特性은 다른 抵抗器와 같고, 周圍溫度가 높을 때에는 負荷를 遲減하여 使한다. (定格負荷印加溫度 70°C) 雜音은 前부터 이 極抵抗器의 最大缺點이며 炭素粒子間의 接觸抵抗과 lead 線 및 抵抗體間의 接觸抵抗에 基因하는 電流雜音이다. 炭素粒子의 크기, 數, 分布狀態와 製造條件에 左右되는 것이나, 近來 0.2μV/V 以下의 低雜音으로 改良된 것이 나오게 되었다.



[그림-36] Resin 系炭素抵抗體의 濕度特性

- ② Resin 系炭素皮膜抵抗器
- ① filament 型抵抗器(mold 型)

美國 I.R.C에서 製造되고 있는 抵抗器이고, 炭素와 合成樹脂의 混合物을 유리管에 塗布燒付하여 一定길이로 切斷한 後, Fencing knife lead 線을 挿入한다. 抵抗

體와 lead 線과는 導電性 cement 로 接着하여 無機質充填劑를 포함한 合成樹脂로 成型外裝한 것이다.

㉠ 接着性 tape 抵抗器

tape 狀 asbestos Paper 를 支持體로 하고, 炭素와 珪素樹脂를 主成分으로 하는 抵抗液을 스프레이法으로 뿌어 乾燥시켜, 樹脂를 완전히 縮合않는 狀態에서 粘着性을 가지게 한 것이다. 使用할 때에는 適當한 場所에 接着시켜 加熱에 의해 完全縮合시키는 것이다.

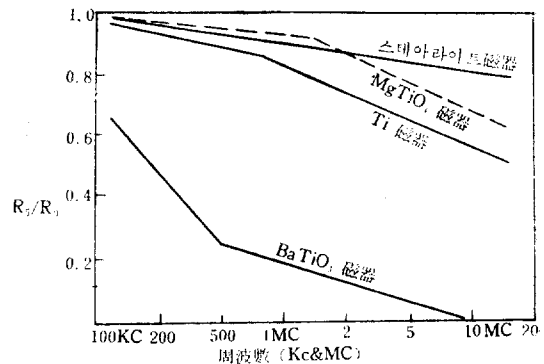
㉡ 超高抵抗器

10²~10⁸ MΩ 程度의 高抵抗값을 가지며, 유리막대를 支持體로 해서, 그위에 炭素와 合成樹脂로써 組成된 抵抗液을 塗布燒付하며 Silicon 등으로써 絶緣處理한 유리管속에 密閉한 抵抗器이다.

㉢ CR 複合部品

BaTiO₃(磁器 condenser 用)를 支持體로 하여 그 위에 炭素, 合成樹脂混合物을 塗布燒付한 것이며 電極 및 抵抗體의 塗布方法에 의한 數個의 抵抗體와 condenser 로 構成된 複合部品이다.

以上の Resin 系炭素皮膜抵抗器의 電氣의 性質은 前述한 Resin 系炭素體抵抗器와 거의 性質이 같으나, 支持體材料에 따라 현저한 變化를 받는다. [그림-37]는 Resin 系炭素皮膜抵抗器의 高周波特性에 對한 支持體材質의 影響을 나타낸 것이다. 이것은 支持體가 誘電體이기 때문에 나타나는 것으로서, 誘電率, 誘電體損 등이 큰 것은 抵抗값이 크게 減少한다.



[그림-37] Resin 系炭素皮膜抵抗器의 高周波特性

5) Ceramic 系炭素體抵抗器

이것은 結合劑로서 合成樹脂 代身에 粘土를 使用하고 그 製法은 適當한 粘土와 炭素를 混合해서 押出成型後 眞空中 또는 不活性零圍氣속에서 1,000~1,300°C 정도 의 高溫으로 燒結하여, 電極塗布後 lead 線을 附着시킨 것이고, 耐熱性이 좋아 高溫用으로 적합하다.

9) 유리系炭素抵抗器

이것은珪酸분이 대단히 많은多孔性유리를 사용하여 Benzol 系有機化合物을 含浸시켜 乾燥後, 約 1,000°C 의 溫度로 加熱해서 有機化合物을 炭化시킨 것이다.

7) 熱敏感性抵抗器(thermister)

이것은 溫度上昇과 더불어 抵抗값이 현저히 減少하는 抵抗器이고, 直熱型和 傳熱型이 있어 各目的에 따라 使用된다.

① 抵抗—溫度特性

thermistor 의 抵抗溫度特性은 近似的으로는 半導體의 一般式과 같이.

$$R = R_0 \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} B : \text{thermistor 常數} \\ R : \text{溫度 } T(^{\circ}\text{K})\text{時의 抵抗값} \\ R_0 : \text{溫度 } T_0(^{\circ}\text{K})\text{時의 抵抗값} \end{array} \right.$$

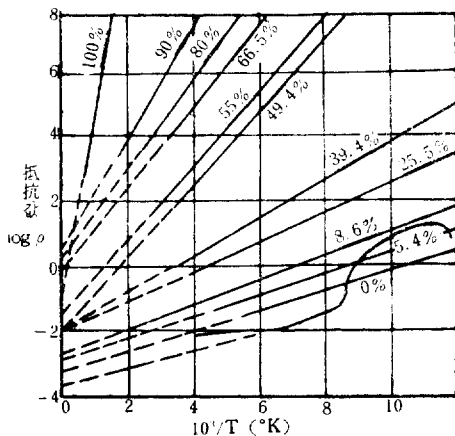
로서 나타나며 溫度係數 α 는

$$\alpha = \left(\frac{1}{R}\right) \frac{dR}{dt} = -\frac{B}{T^2}$$

로 定義되고, B 의 크기에 比例한다. B 의 값은 活性化 energy 를 Boltzmann 常數로써 除한 것이며, thermistor 의 가장 중요한 性質을 나타낸다. thermistor 와 같은 酸化物半導體의 抵抗값이나 溫度係數는 그 構成材料 不純物濃度, 熱處理等에 의하여 다르나, 任意의 抵抗값을 얻기 위한 方法으로는 다음 方法이 使用되고 있다.

① 稀釋原理에 依한 方法

이 方法은 같은 結晶構造이나 電氣抵抗이 다른 結晶을 固溶하여, 固有抵抗을 變化시키는 方法이다. 假令 Spinel(MgOAl_2O_3) 型의 結晶構造를 가지고 固有抵抗이 낮은 Fe_3O_4 에, 絶緣性結晶의 MgCr_2O_4 , ZnFe_2O_4 等を 均一하게 固溶시키면, 兩者間의 中間抵抗값을 만들수가

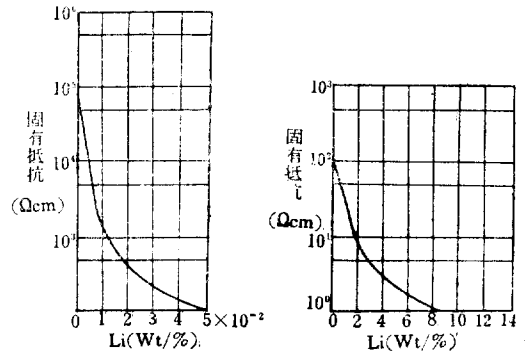


[그림—38] Fe₃O₄-MgCr₂O₄ 系金屬酸化物의 抵抗溫度特性

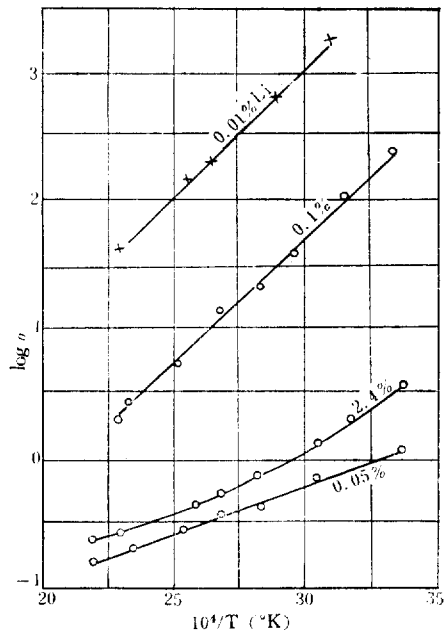
있다. [그림—38]은 이 關係를 나타낸 것으로서 固有抵抗의 增加와 더불어 抗—溫度係數도 增加한다.

② 原子價制御에 依한 方法

이 方法은 電氣抵抗이 높은 金屬酸化物을 母體로해서



[그림—39] Ni-Li 系酸化物에 의해서 Li 量과 抵抗의 關係



[그림—40] Ni-Li 系酸化物의 JG 抵抗溫度特性

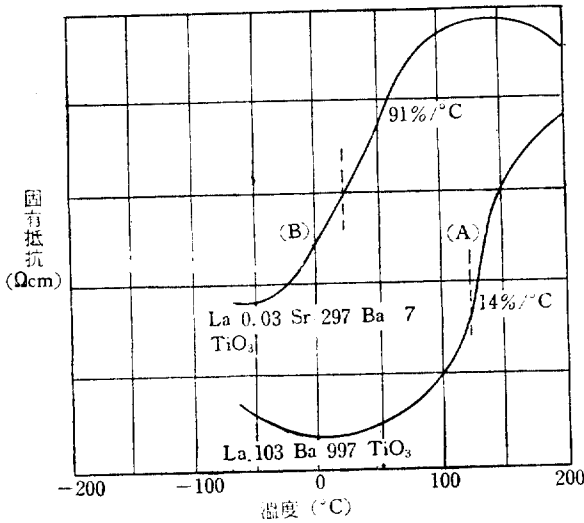
이 金屬 Ion의 格子點에 이것과 原子價가 다른 金屬이온을 조금 固溶해서 置換시키는 方法이다. [그림-39]은 NiO에 少量의 Li₂O를 添加한 경우의 關係를 나타내며, 그 溫度特性은 Li 量이 많고 抵抗값이 낮은 것은 그 變化가 적다([그림-40]).

최근에 正의 溫度係數를 가진 thermistor가 開發되었는데 그 物質은 BaTiO₃ 또는 BaTiO₃-SrTiO₃ 固溶體에 少量의 不純物을 添加한 것이고, [그림-41]은 不純物로서 La를 使用한 경우의 抵抗-溫度特性을 나타낸 것이다.

의 增加와 더불어 發生하는 joule 熱에 依하여 thermistor의 溫度가 上昇하며 抵抗값이 減少한다. 이때문에 電壓은 逆으로 낮아지게 되어 電壓-電流間에 非直線性이 나타난다. [그림-42]은 이 關係를 나타낸 것이다.

8) 電壓敏感性抵抗器(varistor)

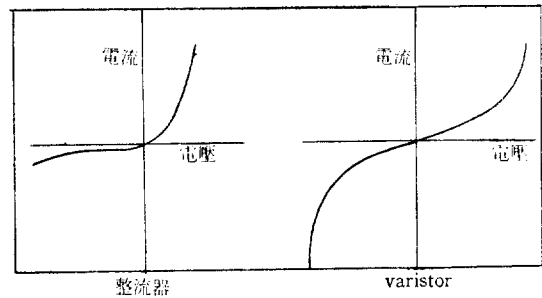
이것은 印加電壓의 增加에 따라 抵抗값이 현저히 減少하는 非直線性半 이러한 特性을 가진것은 CuO, Se, Ge 등의 整流器가 있으나, 이들의 電壓-電流特性은 [그림-43]에서 보는 바와 같이, 方向性을 가지도록 만들어진 것이다. 前述한 thermistor는 對稱型電壓-電流特性을 나타내나, 이것은 熱을 媒介로 한 것이기 때문에 어느程度의 time lag는 避할 수는 없다. 한편 SiC varistor는 炭化珪素粒子的 接觸抵抗電壓敏感性을 利用한 것으로서, 對稱型的 電壓-電流特性을 나타내며, 避雷器等에 널리 利用되어 왔다. 製造法은 炭化珪素粉末과 磁器質結合劑를 混合하여 加壓成型後, 900~1,300°C에서 燒結시킨다.



[그림-41] La_{0.003} Sr_{0.297} Ba_{0.7} TiO₃의 溫度特性

② 電壓-電流特性

thermistor에 電流를 흘려 그 兩端에 걸리는 電壓을 測定하면 電流가 적을 때는 直線的으로 增加하나 電流



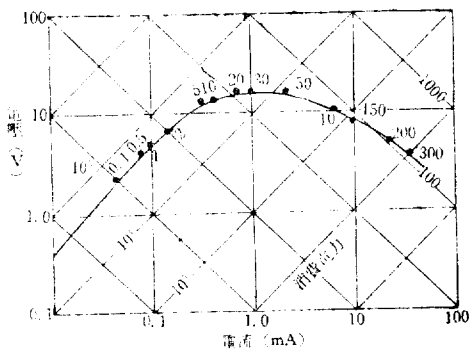
[그림-43]

① 電壓-電流特性

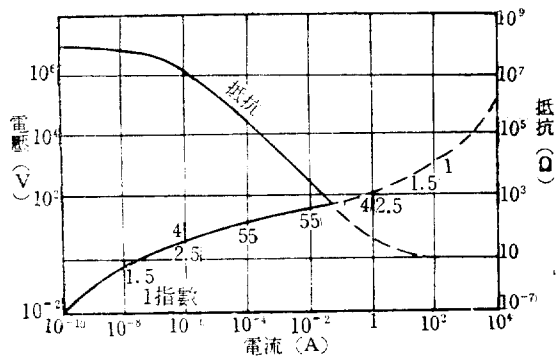
SiC varistor의 電壓-電流特性은 近似的으로 다음式으로 나타낸다.

$$I = \left(\frac{V}{C}\right)^\alpha \text{ 또는 } V = CI^\beta \text{ (但 } \alpha\beta=1)$$

C는 電流 I (A)에서의 電壓으로, 固定抵抗器의 抵抗값



[그림-42] thermistor의 電壓-電流特性

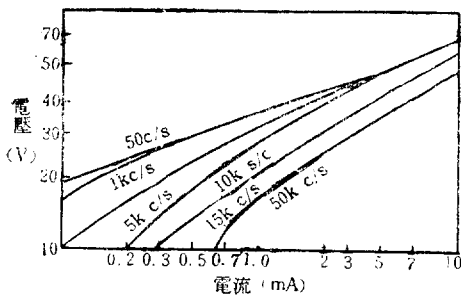


[그림-44] Varistor의 [電壓-電流] 특성

에 該當하며, α 는 非直線指數이다($\alpha: 5\sim 7$). 이 C와 α 는 使用하는 炭化珪素와 結合劑의 種類 및 燒成條件에 의하여 현저히 變化한다. Varistor의 電壓—電流特性에 있어서 注意할 것은 [그림—44]에 나타나는 것처럼 低電流領域과 高電流領域에 있어서는, α 는 1로 되고, 非直線성을 나타내지 않는 點이다. 따라서 Varistor로서의 特性을 使用하기 위해서는 그 中間領域을 使用하지 않으면 안된다.

② 周波數特性

Varistor는 耐電力을 크게 할 때는 보통 圓板型으로 만든다. 따라서 그 幾何學的形狀 때문에 靜電容量이 크게 되고, 誘電率도 J.T. Kendal에 依하면 約 7이기 때문에 靜電容量은 約 120~140 PF로 되는 수가 있다. 이 때문에 周波數의 影響이 크고, 특히 電壓—電流의 적은 領域에서 使用할 때는, 抵抗값이 크기 때문에 Varistor의 impedance는 거의 靜電容量만으로 決定된다. [그림—45]은 電壓—電流特性의 周波數依存성을 나타낸 것으로서, 低電流領域에 있어서 低周波와 高周波에 큰 差異를 볼 수가 있다.



[그림—45] Si Cvaristor의 周波數特性

[V] 變成器材料

1. 概 說

磁氣材料는 그 特性에 따라 大別하면, ① 比透磁率이 큰 鐵心材料, ② 保磁力이 큰 永之磁石材料 ③ 非線形特性이나, 記憶特性을 利用한 角形 Hysterisis 材料等으로 分類된다. 回轉機, 變壓器等의 磁心材料는 比透磁率이 높고 飽和磁束密度가 큰 것이 필요하며, 또 Hysterisis 損, 渦電流損等이 적은 것이 좋다. 通信用 coil의 磁心等은 飽和磁束密度가 적어도 弱한 磁化磁界에서 큰 比透磁率을 갖는 것이 要求된다. 材料의 Hysterisis 損, 渦電流損을 적게 하기 위해서는, 保磁力을 적게 하고 抵抗을 크게 하는 것이 必要하나, 이와 同時에 磁心構造는 薄板을 겹쳐 놓아야 한다. 高周波數에서 使用하는 것은, 薄板을 겹쳐놓아도 損失이 크기 때문에, 材料를 細

粉해서 粒間을 絶緣시켜 壓縮固化시켜서 使用한다. 壓粉心이 이것이며, 그 材料는 粉碎하기 쉬운 특수한 것이며 最近 脚光을 받아 注目되고 있는 半導體強磁性材料 Ferrite가 이 目的에 使用된다. 磁氣錄音材料, 磁氣歪材料도 비교적 새로운 材料이고, 錄音材料로서는 殘留磁束密度가 크고, 保磁力도 어느程度 크며 energy 損이 적은 것이 要求되며, 音聲의 distorsion 없는 再生이 必要하다. 또 磁氣歪材料는 強磁性體의 磁化에 同伴하는 歪現象을 利用하는 것이고, 例를 들면 超音波發生目的等에 使用하는 것이다. 따라서 큰 磁氣歪를 나타내며 아울러 彈性體로서 좋은 性質을 가지며, 또한 磁氣的, 機械的 energy 損失이 적은 材料일 것이 要望된다. 이와 같이 磁氣材料에서의 여러가지 性質은 鐵, Ni, Co等을 主成分으로 하는 合金 또는 그의 化合物에 適當한 處理를 가해서 얻어진다.

이와같은 磁氣材料의 各論에 들어가기 전에, 우선 일반적인 磁氣特性을 살핀다음 最近의 topics로된 Ferrite에 대해서 概觀하고, 나머지 材料는 時間이 허용될때로 概說하기로 한다.

2. 磁氣特性

일반적으로 均一하게 磁化된 強磁性體의 磁化의 세기를 I , 磁束密度를 B , 有効磁界強度를 H 라고 하면, B 는 다음과 같이 나타낸다.

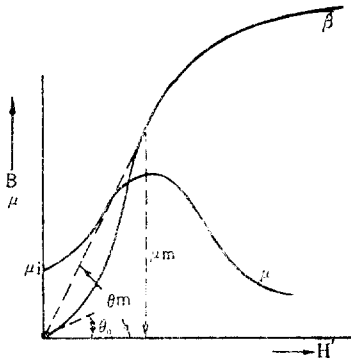
$$B = I + \mu_c H' \text{ (wb/m}^2\text{)}$$

- μ_0 : 眞空中의 透磁率 $4\pi \times 10^{-7}$
- I : 單位體積의 磁氣 moment
- H' : 外部에서의 磁化磁界와 強磁性體에 依한 反磁界와의 和

磁氣體의 反磁係數를 N 이라고 하면, 反磁界는 $-\frac{N}{\mu_0} I$ 이기 때문에

$$B = I + \mu_0 \left(H - \frac{N}{\mu_0} I \right) = I + \mu_0 H - NI$$

N 은 強磁性體의 形狀에 의해 定해지는 값이다. $B-H'$ 關係를 強磁性體에 對해서 求려 보면, [그림—46]처럼 되어, 이것은 磁化曲線 또는 磁氣飽和曲線이라고 한다. 透磁率 $\mu = BIH'$ 를 計算하여, H' 와의 關係를 그리면, 同圖의 μ 曲線으로 되며, 極大값을 가지는 μ 曲線은 強磁性體의 特質이다. $H'=0$ 에서의 μ 값을 初透磁率 μ' , μ 의 最大값 μ_m 을 最大透磁率이라고 한다. 材料의 透磁率과 眞空의 透磁率과의 比를 比透磁率이라고 한다. 強磁性體를 磁化하는 경우, 材料의 磁氣的 履歴에 의하여 $B-H$ 關係가 變한다. [그림—47]에서 OS는 [그림—46]에서의 磁化曲線이며, S에서 磁界를 減少해 가면 $B-H$ 曲線은 SR처럼 變化하여, H 가 O으로 돌아와도 OR의 磁束이 남는다. 이 閉曲線을 Hysterisis 曲線이라고



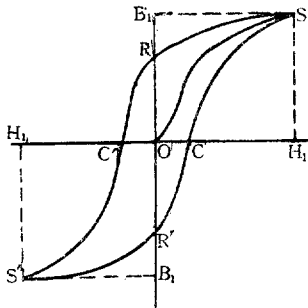
[그림-46] 強磁性體의 B-H' 曲線

하고, OR를 殘留磁氣라고 한다. 또 OC'는 OR를 없애기 위해서 필요한 反對磁界이며, 殘留氣의 安定度의 尺度로 되는 것으로서 이를 保磁力이라고 한다. Hysteresis 曲線을一周해서 磁化를 行한 경우는 이 曲線에 둘러싸인 面積에 해당하는 일이 強磁性體에 대해서 行해진다. 이 일은 結局熱로서 磁性體內에서 잃어버려지고, 이를 Hysteresis 損이라고 한다. 이 energy 損은 交流捲線의 鐵心이 加熱되는 一原因으로 되는 것이다. 周波數 f의 交流에 의해 鐵心에서 생기는 Hysteresis 損 W_h 는 Steinmetz에 의해 다음과 같다.

$$W_h = f_1 \eta \cdot B_m^{1.6} (\text{w/m}^3)$$

$\left\{ \begin{array}{l} B_m : \text{最大磁束密度} \\ \eta : \text{物質에 따라 定해지는 Steinmetz 定數} \end{array} \right.$

導體에 交番磁束이 交叉하면, 渦電流가 생기고, 이 電流로 인한 損失이 생긴다. 지금 磁束方向과 垂直으로 測定한 磁心の 두께를 $t(m)$, 磁心材料的 抵抗率 $S(\Omega m)$,



[그림-47] Hysteresis 曲線

最大磁束密度 $B_m(\text{wb/m}^2)$ 라고 하면, 周波數 f 인 交流에 의해 單位體積에 생기는 渦電流 We 는 다음과 같다.

$$We = \frac{\pi^2 t^2 f^2 B_m^2}{6S} (\text{w/m}^3)$$

3. Ferrite

Ferrite의 分子式은 $\text{MO, Fe}_2\text{O}_3$ 로서 표시되며, H로서는 銅 Mg, Mn, Ni Fe, Zn 등의 그 價金屬이 들어간다. 現在使用되고 있는 Ferrite는 相異한 그 價金屬으로 된 Ferrite의 混合物이다. Ferrite를 만들 때에는 原料를 濕式方法에 의해 混合하며, 이를 乾燥粉碎하여 加壓燒結(約 $1,050^\circ\text{C}$)하며, 冷却後 다시 粉碎해서 微粉한다. 다음에 結合劑, 潤滑劑를 混合하여 壓粉成型하고 그 成型品을 300°C 程度로 豫熱하여 이어서 約 $1,400^\circ\text{C}$ 까지 加熱해서 燒結한다. 이와 같이 하여 製作된 Ferrite는 Spinel($\text{MgO Al}_2\text{O}_3$)와 같은 結晶構造를 하고 있으며, Ferrit 強磁性을 나타낸다. Ferrite는 後述하는 硅素鋼에 비해 最大比透磁率, 飽和磁束密度는 적으나, 比初透磁率은 크다. 또 그 抵抗값은 $10^3 \sim 10^{10}(\Omega \text{cm})$ 에 이르러, 그 값이 큰 것은 거의 絶緣物에 가깝다. 따라서 Ferrite 磁心은 塊狀狀態로 사용해서 mega cycle 域까지 鐵損이 적다. Ferrite에는 여러가지 性質이 다른 것이 있으나, 그 特性例는 [第3表]와 같다. Ferrite의 利用에 대해서는 다음과 같은 것이 있다.

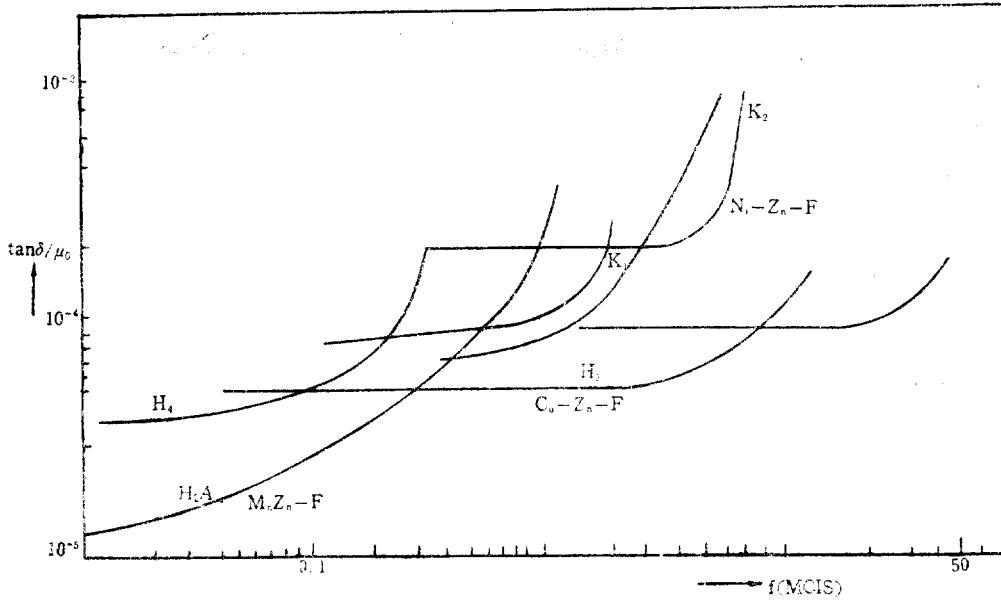
① μ_i 를 利用하여 高周波用各種 Coil, 搬送用高周波 變壓器, Antenna 등의 磁心に 使用된다.

② μ_{sm} 를 利用하여 高周波에서 動作하는 電動機, 變壓器 등의 磁心に 使用된다.

<第3表> Ferrite 特性例

性 質	H_c [AT/cm]	μ_{so}	μ_{smax}	B_{10}	B_r/B_{10}
材料名					
Ferramic s-1	1.19	40	515	0.18	0.90
Ferramic s-2	0.56	40	1,300	0.20	0.90
Ferroxcube 402	1.11	—	—	0.18	0.90
FBX	0.15	1,200	2,500	0.31	—
Oxide core	0.32	576	1,150	0.17	—
Ferraxcube 403	0.52	—	—	0.22	0.95

③ 이 磁心の 飽和特性을 應用하여 磁氣增幅器, Pulse 變壓器, 記憶裝置等に 使用된다. 이들의 用途에 대해서는 長方形의 Hysteresis 曲線을 가진 것이 適合하며, [第3表]에서 왼쪽의 4種類가 이러한 特性을 가진다. Core (磁心)로서 使用되는 Ferrite는 原料의 種類 및 混合量에 따라 또한 用途에 따라 여러 種類가 만들어져 있다. 그러나 原料別로 分類하면 다음 3種類의 基本的 Ferrite의 어느 것에 속해 있는 것이다.



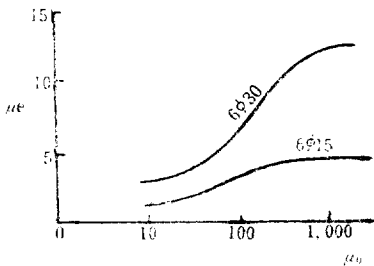
[그림-48] 各種 Ferrite 의 $\tan\delta/\mu_0$ 에 對한 同波數特性

- ① Mn—Zn—Fe₂O₄, ② Ni—Zn—Fe₂O₄,
- ③ Cu—Zn—Fe₂O₄

實用 core 로서는 後述하는 바와 같이, 透磁率(μ_0), $\tan\delta$ 또는 Q, 溫度特性, curie 溫度, μ_0 및 Q 의 周波數特性等, 여러 要求條件을 만족해야 한다.

따라서 前記한 3 種類의 基本 Ferrite 外에 그것들을 混合한 것, 다른 金屬酸化物을 添加한 것 Zn을 包含하지 않는 것等도 있다. 또 製造技術上이나 價格低減等의 理由에서, 많은 Ferrite 種類가 製造되고 있다. Ferrite 를 主로 使用되는 周波數別로 分類하면 [그림-48]과 같다

以上은 燒結 Ferrite 에 對해서 말했으나, Ferrite 粉末을 Plastics 로 結合하여 dust core 로서 使用하는 것도 있다. toroidal 形과 bar 形으로 使用되고 보통 bar 形으로 使用하며 거의 周磁路를 構成하나, 一部에 空隙이 있는 경우가 많아, 自由磁極이 생기며 減磁作用이 同伴하기 때문에 toroidal 形에서 測定한 初透磁率 μ_0 는 그



[그림-49] μ_0 — μ_e 關係

대로의 값을 利用 못한다. 材質, 形狀, Coil 形狀等에 의해서 定해지는 實効透磁率 μ_e 값이 실제로 利用된다. [그림-49]는 μ_0 — μ_e 關係의 一例를 나타낸 것이다. 그런데 電氣材料에서 대단히 중요한 特性으로서 $\tan\delta$ 또는 Q가 恒常 問題가 된다. Coil 의 Q도 그 값을 크게 할려면 支持體捲線뿐만 아니라, Ferrite core 를 적절히 設計하지 않으면 안된다. Coil 의 Q는 다음式으로 나타낼 수가 있다.

$$\begin{aligned} \tan\delta &= I/Q \\ &= R/WL \\ &= R/2\pi f \mu_e L_0 \\ &= (R_c + R_h + R_e + R_r) / 2\pi f \mu_e L_0 \end{aligned}$$

f : 周波數
 μ_0 : core 의 實効透磁率
 L_0 : 空心 coil 의 inductance
 R : 實効等價抵抗
 R_c : 空心 Coil 의 實効抵抗
 R_h : core 의 Hysteresis 損에 의한 實効抵抗
 R_e : 渦電流損에 의한 實効抵抗
 R_r : 殘留損에 의한 實効抵抗

따라서 높은 Q 값을 가진 Coil 을 얻기 위해서는 μ_e 가 크게 의 큰 材質을 選擇해서 그 形狀을 設計하는 것이 중요하고 그와 同時에 損失을 적게하는 것도 중요하다. R는 空心 Coil 에 의한 部分 R_c 와 core 에 의한 R_h , R_e , R_r 가 있다. Core 의 良否 또는 適否를 判定할 경우에는 上述한 μ_0 와 Q를 UNG쳐서 생각하여, $I/\mu_0 Q$ 또는 $\tan\delta/\mu_0$ 를 使用하는 것이 편리하다. 이것은 [그림-48]에 나타낸 것처럼, 周波數의 增加와 더불어 차츰 上昇하는 線으로 나타낼 수가 있다. 따라서 어떤 周波數에서 가장 適當한 core 를 選定할 때에는, 그 周波數에서 제일 下部에 表示된 材料를 採用하면 된다. 다음에 各

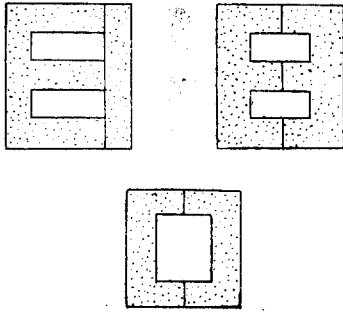
型的 core 를 概說하기로 한다.

① 小型 bar 狀 core

가장 많이 사용되는 型狀으로서, 使用周波數는 100KC /S~100MC/S에 걸쳐 廣範圍다. core 를 使用치 않는 設計에 比해서 inductance 와 Q 값을 올리고 小型으로 할 수 있으며, inductance 의 微調整도 할 수 있어 대단히 便利하다. core 材料에는 Cu-Zn 系, Ni-Zn 系, Ferrite 가 主로 使用된다.

② EI 型 core

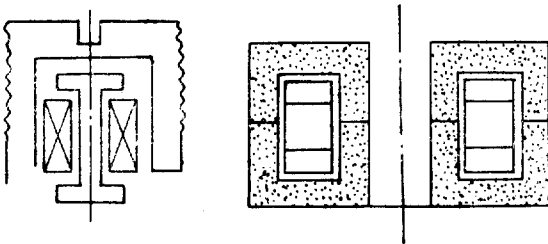
低周波로서 使用되는 變壓器, choke coil 等에는 漏洩磁束이 적은 周磁氣回路 core 가 使用되어 [그림-50]과 같은 EI, EE, [] 形等의 core 가 있다. 高 inductance 를 要하며 Q 값은 그다지 중요치 않을 때가 많다. core 材料에는 Mn-Zn 系, Cu-Zn 系 Ferrite 가 使用된다. 特殊用法으로는 flybacktrans 等이 있다.



[그림-50] EI 型 core

③ Pot 型 core

L 값도 크고, Q 값도 커야 할 때에 使用되고 [그림-51]는 라디오의 中間周波 trans 에 使用되는 것이다. drum core 라는 coil 捲틀을 兼한 core 에 직접 Coil 을 감아, 磁氣遮蔽를 行하여 漏洩磁束을 減少하며, μ_e 를 크게 하는 pot 型 core 에 收納한다. L 의 調整은 drum 와 pot 의 抵抗位置를 變化시켜서 한다. 材料는 Cu-Zn 系 Ferrite 로서 많이 만든다. [그림-52]은 특별히 高性能의 Mn-Zn Ferrite 로서 만든 것이며, 특히 높은 Q 값 (600 程度)을 얻을 수 있어 filter 製作에 적합하며, 搬送電話의 channel 分離用 filter 로 使用된다.

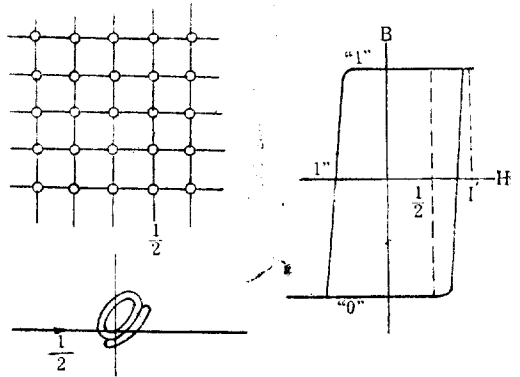


[그림-51]

[그림-52]

④ 信號記憶用 core

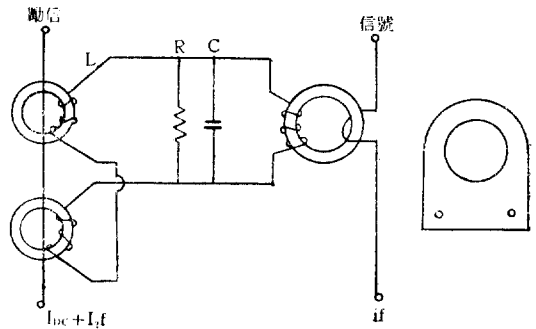
計數型電子計算機는, (+)(-)의 pulse 를 數字의 0.1 에 對應시켜 動作시키고, 이 信號를 記憶시키기 위해서 矩形 Hysteresis 特性을 가진 core 를 利用한다. 이 材料에는 Mn-Mg, Mn-Cu, Cu-Mg Ferrite 가 使用되어 驅動 pulse 電流를 적게 하기 때문에, 小型化하여 實用되고 있다(30~50mil ϕ). [그림-53]에서 보는 바와 같이, XY 兩 方向의 matrix 로 짜서, X_i, Y_j 에 同時에 1/2 의 電流를 보낼 때, 그 交點의 core 만이 "0"에 該當하는 磁化狀態를 가지는데, 右向해서 "1"에 相當하는 磁化狀態가 되고 左向하면은 信號를 記憶시키는 것이다 check 에는 第3捲線에 I 의 電流를 보내서 이때 發生하는 Pulse 의 크기에 의해 記憶信號를 判別할 수가 있다.



[그림-53]

⑤ Parametron

Parametron 發振은 [그림-54]과 같은 回路構成으로 行해진다. 2個 1組의 core 는 Parametron 發振回路用으로서 C 와 함께 發振周波數 f 에 同調시켜 둔다. 信號의 入力와 出力은 그림에 表示한 것처럼 變壓器를 통해서 行해지며, 入力信號는 位相을 變化시키지 않고 動振電



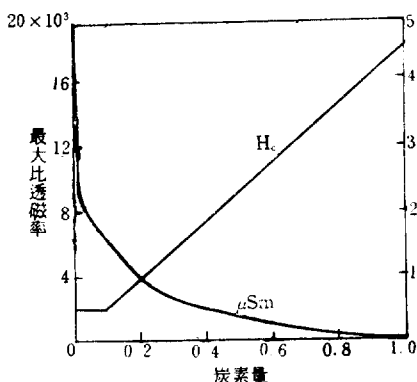
[그림-54] Parametron 回路構成

流에 의해서 增幅되어, 다음의 Parametron 回路에 傳達된다. 이것에 사용되는 core 는 Cu-Zn 系 Ferrite 이며 形狀은 發振用에는 4mmφ, trans 用에는 14mmφ 程度이다. 또 그림에서 보는 바와 같이, 3個의 core 를 一體로 한 眼鏡型이라는 것도 使用되고 있다.

4. 鐵과 鋼

(1) 純 鐵

鐵鋼은 構造材料로서 使用되지만, 磁氣回路를 結해, 특히 鐵心, 磁極으로 使用된다. [그림-55]는 炭素量과 最大比透磁率(μ_m)와 保磁力(H_c)와의 關係이며, 商用純鐵의 不純物은 第4表와 같은 範圍에 있다. 純鐵의 磁性은 比較的 不安定하며, 經年과 더불어 變化하는 傾向이 있다.



[그림-55] 鋼의 炭素量과 磁性

<第4表> 商用純鐵의 不純物(%)

材料名	C	Si	Mn	P	S
電解鐵	0.0005~0.02	0~0.006	痕跡	0~0.01	0.001~0.01
Arcom鐵	0.012~0.025	0~0.017	0.017~0.07	0.005~0.014	0.017~0.025

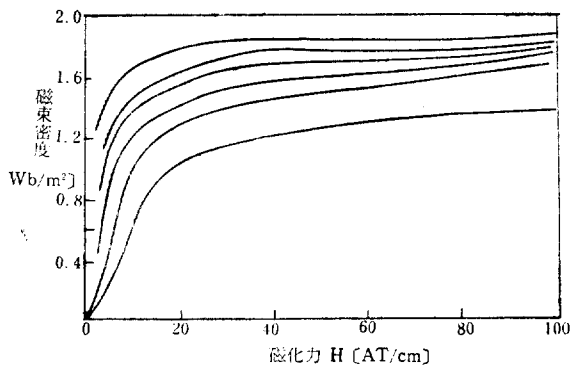
(2) 炭素鋼, 鑄鐵

① 炭素鋼

純鐵은 價格이 비싸기 때문에, 炭素(C=0.1~0.2%以下)를 함유한 構造用鋼을 使用한다. 回轉機의 磁極等에는 이러한 炭素鋼板(두께 1.6~3.2mm)를 結쳐서 鐵心으로 한다. 機械가 溶接構造일 때는, C=0.2% 程度의 鋼을 使用하며, 이것이 磁氣回路로 된다. 高速度回轉磁極으로는 機械의 強度라는 點에서 C=0.5%의 炭素鋼을 使用한다. 이들 炭素鋼의 磁化特性은 [그림-56]에 表示한다.

② 鑄 鋼

車輛用電動機等에서는 鑄鋼이 使用되며 C=0.15~0.



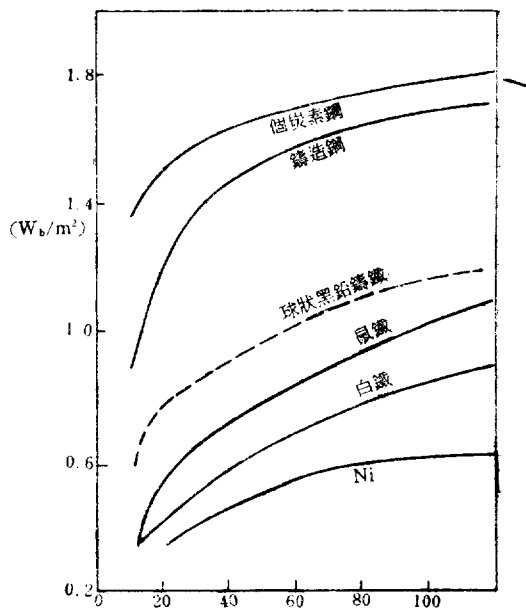
[그림-56] 炭素鋼의 磁化特性

22% 程度이고 鍛造材에 比해 Mn, Si 를 多少 包含하고 있지만 그 磁性은 거의 같다. 鑄物의 磁性을 改善시키기 위해서는, 鑄物中의 歪曲을 없애야 한다(球狀黑鉛鑄鐵 등). [그림-57]은 이들 諸材料의 磁化特性을 比較한 것이다.

(3) 合金鋼

① Alperm

鐵에 Al 을 加하면 比透磁率이 커진다. 특히 Al 12~15% 를 加한 合金을 900°C에서 加熱한 後, 徐冷却해서 550°C 로부터 急冷하면, 比透磁이 대단히 크게 되어 後述하는 Permalloy 와 비슷한 性質을 나타낸다(Alperm). 常溫까지 徐冷하면 比透磁率은 적으나, 磁氣歪形이 큰 材料가 얻어진다. 第5表는 이들 材料의 磁氣의 性質을 나타낸다.



[그림-57] 諸材料의 磁化特性

〈第5表〉 鐵-Al 合金(Al 13.9%)의 熱處理와 酸性과의 關係

熱處理 900°C 로 加熱後	初 比 透磁率	最大比 透磁率	保磁力 [AT/ cm]	殘留磁 氣 [wb m ²]	Hysteresis 損 (J/cm ² / cycle)	抵抗率 [μ/c m]
徐 冷	900	3,600	0.56	0.360	920×10 ⁻⁷	96
500°C 에 서 急 冷	3,500	15,000	0.087	0.267	150×10 ⁻⁷	142

② Permendur(Fe(50%)+CO(50%))

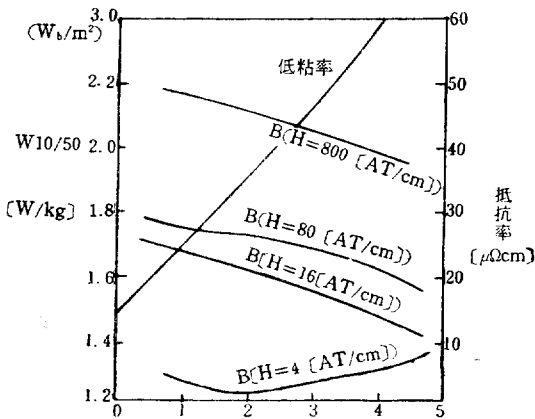
③ Ni—Cr 鋼

5. 珪素鋼

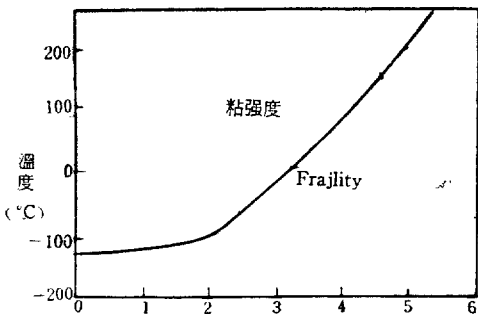
(1) 珪素鋼의 性質

薄鐵板을 겹쳐서 回轉機 變壓器의 鐵心用으로 한것은 이들을 交番磁界中에 넣을 때 渦流通路의 電氣抵抗을 크게 하고, 鐵心內의 energy 損을 될 수 있는대로 적게 하기 위해서이다. 따라서 薄鐵板用材料로서는 比透磁率 飽和磁束密度가 될 수 있는한 한 크고, 殘留磁束, 保磁力가 적으며 抵抗이 큰 組成을 가져야 한다. 이 目的에 適合한 것이 珪素鋼이다. [그림—58]과 [—59]에서 보

(W10/50는 磁束密度가 1wb/m²(10 Kirs gauss) 周波數 50(c/s)인 경우의 鐵損(in/kg))



〔그림—58〕 珪素量과 電磁氣의 性質와의 關係



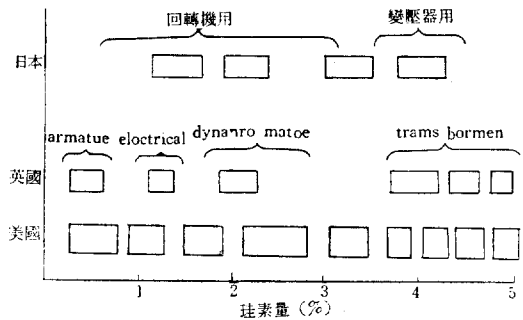
〔그림—59〕 珪素鋼板의 珪素量과 溫度와의 關係

는 바와 같이, 鐵心의 磁氣의 性質은 珪素가 많을수록 좋으나 材料의 fragility가 增加하여 加工困難과 機械的 強度의 低下를 초래한다.

(2) 熱壓延珪素鋼板

① 珪素鋼板의 熱壓延

適量의 珪素를 함유한 鋼塊를 分塊壓延機로 12×250×950(mm)³ 程度의 seat bar를 만들어, 이를 처음에는 1,150°C 다음에는 950°C로 各各 加熱壓延을 하여 熱rall에서 몇굽으로 foldup 狀態로 繼續壓延한 다음, 鋼板을 한장씩 벗겨 還元性 gas 속에서 長時間 annealing 한다. 다음에 矯正機에 걸어서, 板平面에서 定尺으로써 表斷한다. 鋼板의 두께는 普通 0.35 및 0.5mm 이나, 0.2mm 의 것도 製作되고, 通合用은 0.1mm 로 規格이 定해지고 있다. [그림—60]은 여러나라에 있어서의 珪素鋼板의 種類와 用途를 表示한 것이며, 其中 한 珪素鋼板의 鋼塊分析標準값을 第6表에 表示한다.



〔그림—60〕 珪素鋼板의 種類

〈第6表〉 珪素鋼板의 鋼塊分析標準의 一例(日本產)

種 類	成 分 (重量의 %, 남어는 鐵)				
	Si	C	Mn	S	P
B	1.0~1.4	0.1以下	0.35以下	0.14以下	0.04以下
C	1.5~1.7	0.1 "	0.35 "	0.04 "	0.04 "
D	2.5~3.5	0.08 "	0.35 "	0.04 "	0.04 "
T	4.0~4.5	0.07 "	0.25 "	0.03 "	0.02 "

② 熱壓延珪素鋼板의 磁氣의 性質

電氣機器用珪素鋼板에는 B.C.D.T의 4 種類로 大別되나, 變壓器의 7種에서 그 性質이 잘 吟味되며, 더 細別된다. 第7表는 電氣機器用珪素鋼板의 日本規格으로서, T種鋼板의 suffix는 W10/50의 鐵損과 一致되어 있다. 鋼板의 두께는 回轉機用으로는 0.35와 0.5mm가 있고, 變壓器用으로는 大體로 0.35mm이며, T₁₅₅만이 0.2mm이다. 通信用鋼板에는 第8表에서 보는 바와 같이, 여러가지 두께가 있다. 鋼板의 磁氣의 性質은 壓延

〈第 7 表〉

電氣機器用珪素鋼板의 磁氣의特性(JIS C—2501)

種類	[g/cm ³]	鐵 損 [W/kg]						磁 束 密 度 [wb/m ²] Kirograuss				備 考	
		W _{5/50}	W _{10/50}	W _{15/50}	W _{15/50}	W _{5/60}	W _{15/60}	B ₂₅	B ₅₀	B ₁₀₀	B ₂₀₀		
B	7.75	0.35 0.50	0.75 0.85	2.30 2.70	5.90 6.90	0.95 1.10	3.90 3.40	7.04 8.70	1.48 (14.8)	1.58 (15.8)	1.69 (16.9)	1.82 (18.2)	① 本表의 鐵損은 最大값을 磁束密度는 最小값을 나타낸 것이다. ② W _{5/50} W _{10/50} 등은 各 各 周波數 50(c/s) 또는 60(c/s), 最大磁束密度 0.5(wb/m ²) 1.0 (wb/m ²)의 鐵損을 나타내는 記號이다. ③ B ₂₅ , B ₅₀ , 등은 各 各 磁化力 25, 50(ersted)에서의 磁束密度를 表示하는 記號이다.
C	7.70	0.35 0.50	0.65 0.75	2.10 2.30	5.30 5.90	0.82 0.95	2.70 2.90	6.90 7.40	1.47 (14.7)	1.57 (15.7)	1.67 (16.7)	1.80 (18.0)	
D	7.65	0.35 0.50	0.55 0.64	1.80 2.00	4.50 5.00	0.70 0.84	2.30 2.50	5.70 6.30	1.44 (14.4)	1.54 (15.4)	1.64 (16.4)	1.78 (17.8)	
T ₁₅₅	7.76	0.20	0.50	1.55	3.90	0.64	2.00	4.90	1.36 (13.6)	1.46 (14.6)	1.57 (15.7)	1.73 (17.3)	
T ₁₄₅		0.35	0.45	1.45	3.60	0.55	1.80	4.60					
T ₁₃₅		0.35	0.42	1.35	3.40	0.51	1.70	4.30	1.39 (13.9)	1.49 (14.9)	1.59 (15.9)	1.74 (17.4)	
T ₁₂₅		0.35	0.39	1.25	3.10	0.48	1.55	3.90					
T ₁₅₅		0.35	0.36	1.15	2.90	0.44	1.45	3.70					

〈第 8 表〉

通信用珪素鋼板의 磁氣의性質

種 類	直 流 特 性							交 流 特 性					
	$\mu_{0.01}$	B _{0.1}	B _{0.5}	B ₁	B ₃	B ₅	H _c	$\mu_{0.5}$	$\mu_{2.5}$	D _{0.5}	D _{2.5}	b _{k1}	b _{k5}
1 種	0.35 0.30 0.20 0.10 以上	900	0.016 (160)	0.5 (5,000)	0.85 (8,500)			600	1,000	25	50	55	55
2 種	3.35 0.30 0.20 0.10 以上	700	0.013 (130)	0.37 (3,700)	0.70 (7,000)			500	800	20	40	50	50
3 種	2.0 1.2			0.70 (7,000)	1.0 (10,000)	1.1 (11,000)	35.8 (0.45)	300	500	20	40		
種	0.50 0.35 0.30 0.20 0.10 以上	500	0.01 (100)	0.24 (2,400)	0.50 (5,000)	0.90 (9,000)	1.05 (10,500)	350	600	15	30		

方向이 그 直角方向에 비해 優秀하기 때문에 實際使用에 있어서는 鐵心의 磁化方向이 될 수 있는 데로 壓延方向과 一致하게 注意해야 하나, 磁氣의 性質表示는 일반적으로 壓延方向과 直角方向과의 平均값으로서 나타낸다.

③ 方向性珪素鋼帶

① 結晶粒의 粗大化

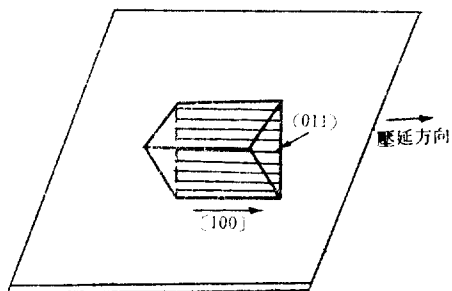
珪素鋼을 annealing 하면 內部歪曲을 없게 할뿐만 아니라 結晶粒을 크게 하고, Hysteresis 損을 減少하는 利點이 있다. Hysteresis 損 W_h 과 結晶粒密度 N 의 사이에는 다음 關係가 있다. $W_h \propto \sqrt{N}$ 따라서 結晶粒의 生

長을 促進시키면, 鋼板의 性質이 改善될 것이다.

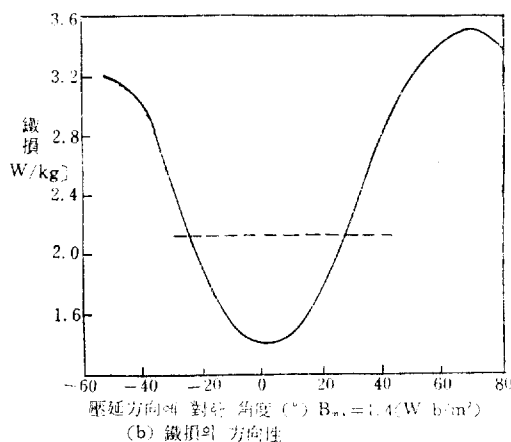
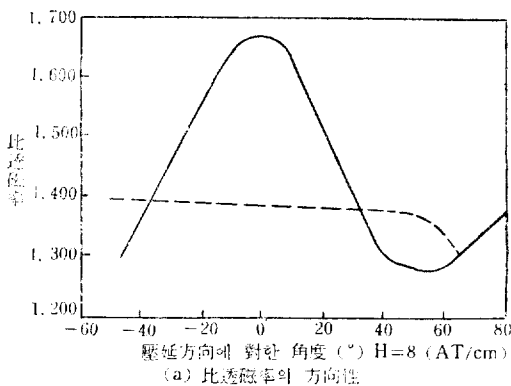
② 鋼板의 冷壓延

方向性珪素鋼帶라는 것은 常溫에서의 強壓延과 annealing에 의한 再結晶과를 반복해서, 連續적으로 結晶粒을 生長시키고 아울러 그 方向을 一定하게 하여, 磁化가 가장 容易한 方向을 磁化方向과 一致시켜서 使用하려고 하는 것이다. 이러한 珪素鋼帶는 [그림-61]에서 보는 바와 같이, 그 結晶粒의 大多數가 方向을 壓延方向으로 하고, [100]面을 板面으로 平行으로 하는 配列을 取하고 있다. 따라서 鋼板의 磁化特性이 壓延方向이 좋고, 이 方向에 磁化境界를 加할 경우, 比透磁率이 가

하고, 板面內에서 壓延方向과의 角度를 橫軸으로 取하여 磁化磁界強度를 一定케 해서, 方向을 바꿔서 磁化시킬 때의 比透磁率의 變化를 나타낸 것이며, 比較하기 위해 熱壓延鋼板의 特性을 綜線으로 나타낸 것이다. (b)는 最大磁束密度를 一定하게 한 경우, 鐵損의 磁界方向에 의한 變化를 나타낸 것이다. 方向性鋼帶의 優秀한 磁氣의 性質을 충분히 發揮시키기 위해서, 加工時에 생긴 歪曲을 완전히 除去해야 한다. 이에 對해서는 鋼帶에 Carlite 絶緣과 같은 耐熱性絶緣을 하고, 加工作業後 annealing 을 해서 歪曲을 除去하는 것이 좋다.



[그림-61] 方向性珪素鋼帶中の 單結晶



[그림-62] 方向性珪素鋼板의 性質(破損은 熱壓延鋼板)

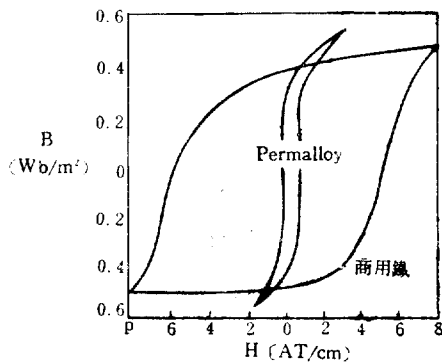
장 크다.

⊙ 方向性珪素鋼板의 性質

[그림-62](a)은 方向性珪素鋼帶의 壓延方向을 0로

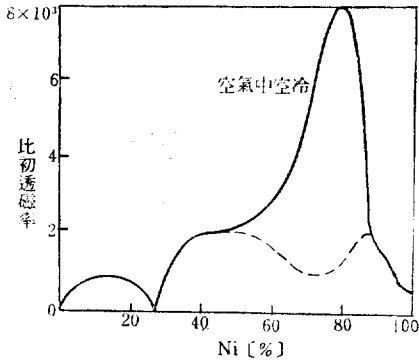
6. 高透磁率材料

高透磁率材料라는 것은 比初透磁率, 最大比透磁率이크고, 磁化曲線의 rising 이 빠른 것인데 飽和磁束密度는 반드시 크지는 않다. Fe-Ni를 主體로 한 合金이 高透磁率材料로서 使用되고 있는데, 그 中에서 代表的인 것은 Permalloy 이다(Ni=78.5%, Fe=21.5%). 이 合金은 熱處理가 重要하며, 1,000°C에서 충분히 annealing 한 後 600°C까지 徐冷하여, 이 溫度에서 空中에 내어 急冷한다. 比初透磁率 $\mu_{si}=12 \times 10^3$, 最大比透磁率 $\mu_{sm}=12 \times 10^4$, Hysteresis 損은 商用鐵에 比해 1/16~1/5 程度이다. 이러한 Permalloy와 商用鐵의 Hysteresis 曲線을 比較하면, [그림-63]와 같다. Fe-Ni系 合金의 그 元素의 含有量의 比率를 바꾸어 空中急冷하면, Ni 含量에 對한 比初透磁率의 變化는 [그림-64]와 같이 된다. 破線은 徐冷한 경우의 特性으로서, 그림에서 보는 바와같이 Ni=78.5%를 中心으로 急冷에 의하여 高透磁率을 나타내는 範圍가 있다. Fe-Ni 合金에 磁界를 加한 狀態에서 急冷하면, [그림-65]에서와 같이, 어떤 範圍組成을 가진 것은 磁性이 대단히 좋게 된다. 또 磁界冷却은 μ_{sm} 을 改善하나, μ_{si} 에는 거의 影響이 없다. 이러한 現象은 材料의 溫度에 關係하고, Curie 點이 材料의 粘性流動을 일으키는 溫度보다 높을 경우, 磁界를 加해서 冷却하면, 磁界冷却을 하지않는 材料를 常溫에서 磁化

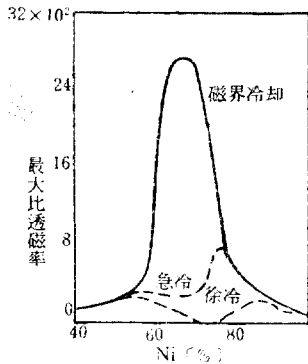


[그림-63] Permalloy와 商用鐵과의 Hysteresis 曲線

裝荷 등에 사용되고, 後者는 計器用變成器의 鐵心等에 使用된다.



[그림-64] 高透磁率合金의 急冷效果



[그림-65] Fe-Ni 合金의 處理와 比透磁率

시킬 때에 생기는 抵抗이 처음부터 除去되어, 磁化가 용이하게 된다고 解釋되고 있다.

Permalloy 가 발표된 後, 高透磁率合金의 여러가지 材料가 發明되어, 空氣中の 急冷에 依하지 않더라도 徐冷으로 좋은性質의 것도 나와, 이들의 組成을 보면, 대체로 Ni=78% 附近의 合金과 Ni=50% 附近의 合金과 두 가지가 있다. 前者는 通信用裝荷 coil의 鐵心, 海底 cable

<第 9 表> Ni-Fe 系高透磁合金의 成分(%)

名 稱	Ni	鐵	Cr	其 他
Permalloy	78.5	21.5	—	—
Cr-Permalloy	78.5	17.7	3.8	—
Mo-Permalloy	78.5	17.7	—	Mo 3.8
Mu-Metal	75.0	18.0	2.0	Cu 5.0
Hipermik	50	50	—	—
Nicaloi	50	50	—	—
Monimax	48	殘 部	—	Mo2~3
Supermalloy	79	殘 部	—	Mo 5.0

第 9 表와 第 10 表는 Ni-Fe 系高透磁合金의 成分 및 磁性을 나타낸 것이다. 表中 Supermalloy 는 製作時 酸化를 극도로 피하여 水素 gas 中에서 溶解하고, 窒素成은 Herium gas 中에서 鑄造해서, 冷間壓延後 1,300°C로 水素中에서 annealing 하여 製作된 材料이다. 대단히 큰 比透磁率을 갖고, 數年前 美國 Bell 研究所에서 發明된 것이다.

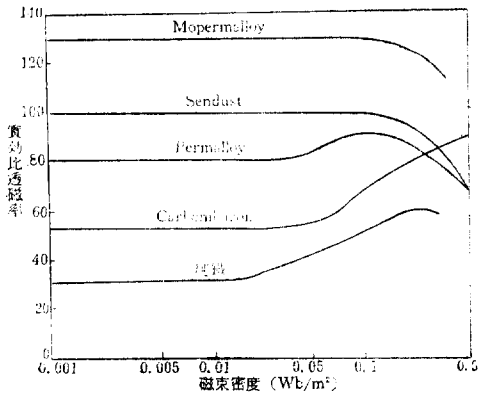
7. 壓粉磁心

變壓器, reactor 等の 鐵은 渦流損을 적게 하기 위해 薄板을 겹쳐서 使用하나, 渦流損은 周波數의 2 系에 比例하여 增加하기 때문에 高周波機器의 磁心에는 高透磁率의 材料를 粉碎하여 各粒子를 絶緣해서 壓縮成型한 것이 使用된다. 壓粉磁心은 高透磁材料로서 독립된 微粒으로 構成되고 있기 때문에 減磁率이 크고, 결보기의 比透磁率은 적어지나, 그 값은 一定값에 가깝다. 그리고 實効比透磁率을 크게해도, energy 損은 적어지지 않고, energy 損을 적게해도 實効比透磁率을 크게 取할 수는 없다. 따라서 用途에 의하여 磁心の 性質을 적당히 調節한다. 壓粉磁心에는 用途에 따라 여러가지 種類가 있으나, 그 代表的인 것을 들어, 그 實効比透磁率과 磁束密度와의 關係를 [그림-66]에 표시한다.

<第 10 表>

Ni-Fe 系高透磁率合金의 磁性 및 熱處理

種 類	成 分 (殘部 Fe) (%)						磁 定 特 性				Hardening	
	C	Mn	W	Cr	Co	Mo	Br [Wb/m ²]	Hc [AT/cm]	Br·Hc max × 10 ²	Bd·Ha max × 10 ²	溫 度	液
化 Cobalt 磁鋼	0.9~1.3	0.3~0.5	—	5~6	5~6	—	0.90~0.98	68~80	0.70	0.31	850~930	:
中 Cobalt 磁鋼	0.9~1.3	0.3~1.5	—	8~11	8~11	1.0~1.5	0.70~0.95	112~132	1.00	0.48	980~1,000	:
高 Cobalt 磁鋼	0.9~1.3	0.3~0.5	—	9~11	14~17	1.0~1.5	0.75~0.95	130~160	1.20	0.56	980~1,000	:
K S 磁鋼	0.7~1.5	0.3~0.8	6~8	1~3	20~36	—	0.88~1.25	160~200	1.83	0.76	950	:



[그림-66]

VI. 結 言

아직 쓸 것이 많이 남아 있으나, 紙數, 時間關係로 省略하였다. 大體로 電子材料技術講座는 電子材料의 새로운 傾向, 物性論的考察과 그 重要成果, R,C,L 部品の 素子等에 對해서 概說했다고 생각한다. 특히 時日이 疎忽感을 免치 못하여 大端히 罪棟하게 생각하나 이點 널리 諒解를 바라고, 講義中에 適時適所에 따라 補充할 생각이다.