

陽極酸化 磁性皮膜을 利用한 垂直磁氣記錄媒體

강 회 우*

(*주성전문대학 전자통신과)

1. 서 론

黃酸, 蔞酸 등의 酸性水溶液 중에서 金屬알루미늄을 陽極酸化하면, 그 表面에 酸化알루미늄皮膜(以下에서는 陽極酸化皮膜으로 稱함.)이 形成되는 것이 잘 알려져 있다. 이 皮膜은 六角型의 柱狀(unit cell 또는 cell이라 稱함.)構造로 갖고, 이 셀 中心에는 한개의 微細孔(pore라 稱함.)이 存在한다. 포아는 그림 1과 같이 膜面에 垂直으로 알루미늄 層을 向하여 成長하고, 이들 포아間의 間隔은 일정하다. 이와같은 양극산화피막은, 硬度가 크게 向上하고 耐蝕性이 뛰어나며, 포아의 밑부분과 素地 금속인 알루미늄사이에 存在하는 境界層(barrier layer)의 導電性을 利用하여, 포아중에 金屬의 電解析出이 가능하다. 이 경우, 金屬의 種類나 量을 制御하는 것에 의하여, 여러가지의 色을 가진 양극산화피막이 얻어지기 때문에, 이 방법은 從來, 裝飾과 素地 금속의 보호를 위한 皮膜 形成技術로서 工業적으로 널리 사용되어져 왔다.

本 報告에서 取扱할 陽極酸化磁性皮膜은, 포아중에 析出시키는 金屬으로서 強磁性金屬을 選定, 皮막이 強磁性體로서의 機能을 갖도록 한 것이다. 이러한 연구는 1968년 Brownlow에 의해 처음으로 磁氣記錄媒體로서 소개되었다[1]. 그후 가와이등은 강자성체로서 鐵, 코발트, 니켈 및 그들의 2成分으로 構成되는 合金을, 直徑 100 Å의 포아중에 析출한 경우, 磁性粒子的 形狀에 起因하는 垂直磁氣異

方性이 出現하고, 높은 抗磁力이 實現가능한 것을 發見하였다[2~4]. 이것은 岩崎등이 提案한 反磁界의 영향이 거의 없는 高密度磁氣記錄이 가능한 垂直磁氣記錄方式[5]을 실현하기위한 기록매체에의 應用可能性을 구체적으로 제안한 것이기도 했다. 그리하면서도 河合등이 얻은 양극산화자성피막의 항자력의 값은 약 2000 Oe로 너무 높기 때문에, 磁氣헤드에서의 기록이 불가능한 문제가 있었다.

그後, 白木등은 양극산화피막에 포아 擴大방법을 導入하고, 포아의 直徑을 약 450 Å까지 擴大시켜, 析出한 鐵粒子直徑을 크게 하는 것으로 항자력을 1000 Oe정도까지 低減시키는 것에 성공[6], 링(ring)헤드를 사용하여 鐵을 析출시킨 양극산화피막을 하드디스크로서의 特性을 檢討, 評價하였다(표 1)[7~10]. 또, 강자성金屬을 전해析출시킨 양극산화피막은, 筆者등에 의해 垂直磁氣記錄方式의 로타리 엔코더에의 應用이 提案되었다[11].

그러나, 지금까지 이루어진 양극산화 자성피막의 자기특성에 관한 연구는, 극히 制限된 條件, 예를 들어 포아직경이 100 Å 및, 450 Å, 또 充磁率(packing density, 磁性皮膜중에 析出한 金屬의 體積과 皮膜體積과의 比)가 0.10정도인 膜에 대해서만 주로 이루어졌다. 그러나, 양극산화자성피막은 포아중에 析出되는 金屬의 種類는 물론, 皮막의 幾何學的構造(즉, 포아의 크기 및 間隔)가 膜의 磁氣特性을 결정하는 중요한 要因이 된다고 推測되어지기때문에, 그 應用을 검토함에 있어서도 보다 넓은

표 1. 자기기록의 諸特性

출력전압(20kBPI)	1.2nV _{p-p} / μ mT(m/s)
기록밀도 D	50kBPI
SN 社	29.2 dB
오버라이트	-30dB 以下
환경시험	* 40℃, 습도 90%, 1000시간 * SiO ₂ 200 Å被覆, 3ppm H ₂ S, 10 ppm, SO ₂ 40℃, 습도 75%, 72 시간 * 3000회의 접촉시험에 합격
缺陷비트數	5개 以下 / 面

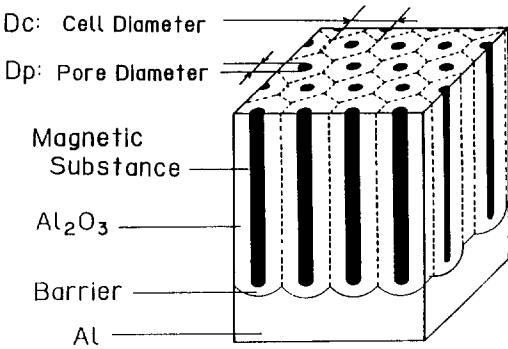


그림 1. 알루미늄양극산화피막의 模式圖

범위에서의 포아 直徑과 充磁率을 制御한 磁性皮膜에 대한 연구가 要求되어져 왔다.

본 報告에서는, 從來의 것보다 넓은 範圍에서의 포아직경 및 有孔率(셀의 體積에 대한 포아의 體積의 比를 말하고, 充磁率과 同一한.)을 制御, 變化시킨 양극산화피막을 作成하였다. 析出金屬으로서 代表的인 強磁性體인 鐵, 코발트 및 코발트-鐵合金을 선택하여, 抗磁力 및 磁氣異方性을 結晶構造와 連繫시켜 설명하고, 垂直磁氣記錄媒體로 適用하기 위한 基本的인 提案등을 筆者등의 연구결과를 중심으로 報告한다.

2. 磁性皮膜의 作成 및 測定

먼저 試料作成用 基板은, 純度가 99.99%, 두께가 95 μ m의 알루미늄 薄板을 사용하였다. 陽極酸化處理는, 피막의 셀 直徑이 양극산화電壓에 비례해서 成長하기 때문에[12~13], 양극산화전압이 20V미만은 黃酸浴 中에서 20~60 V는 蔞酸浴 中에서, 그

以下인 60~100 V인 경우는, 蔞酸浴 中에서 各各 양극산화를 실시하였다. 이때 生成되는 양극산화 피막의 두께는, 흘러준 電荷量에 비례하므로, 溶液의 種類 및 溫度에 대한 피막의 成長率을 實驗의 으로 구한 후에, 피막의 두께가 5 μ m 정도가 되도록 電荷量을 調整하였다. 양극산화전압의 增加에 비례하여 形成되는 셀의 직경에 比해, 포아직경의 增大的 정도는 작기때문에, 酸化皮膜의 有孔率은 너무 작다. 이것은 포아 中에 析출되는 金屬의 量이 곧 膜의 平均磁化값을 意味하므로, 有孔率을 增大시킬 必要가 있다. 그래서 포아직경과 充진율을 獨立的 으로 制御하는, 즉 셀의 크기를 바꾸지 않고 포아직경만 擴大하여, 充진율을 크게 하기위해, 所定の 크기의 셀을 갖는 양극산화피막을 蔞酸水溶液 中에 담가, 포아의 內壁을 溶解시켜 포아직경을 원하는 크기까지 擴大하였다.

여기서 얻어진 양극산화피막은, 포아직경이 150~1150 Å이고, 充진율이 0.13~0.44로, 從來의 것에 비하여 상당히 넓은 범위에서 幾何學的 構造를 變化시킨 皮膜을 작성할 수 있었다.

이와같은 工程을 거쳐 포아의 크기와 充진율이 제어된 피막을 가지고, 鐵, 코발트 및 고발트-鐵 이온을 含有한 酸性水溶液 中에서 전해석출을 하였다. 두께 1.5 μ m 정도까지 表面研磨를 한후, 직경 6 mm ϕ 의 圓盤으로서 자기특성을 측정하였다. 膜의 結晶配向性은 XRD에 의하여, 合金의 組成分析은 EPMA, 磁化는 試料振動型磁力計(VSM), 그리고 磁氣異方性은 토오크 法에 의하여 各各 구했다.

3. 膜의 磁氣特性

3.1 鐵 析出膜

커다란 포화자화 Ms(1714 emu/cc)를 갖는 鐵은, 結晶磁氣異方性 定數가 $K_1 = 4.7 \times 10^5$ erg/cc이다. 양극산화 자성피막中에 전해석출한 鐵針狀粒子的 결정배향은 그림 2와 같이 190~1150 Å까지의 포아직경에 있어서, 膜面內에서는 (110)面內 無方向組織을 표시하고, 입자의 주된 析出成長方向은, (110)軸을 나타낸다. 이와같은 결정배향을 나타내는 경우, 鐵微粒子的 결정자기이방성의 기여는 극히 작게 되고, 계산에 의하면 0.13×10^5 erg/cc 정도의 一軸자기이방성이 구해진다. 한편 뒤에서

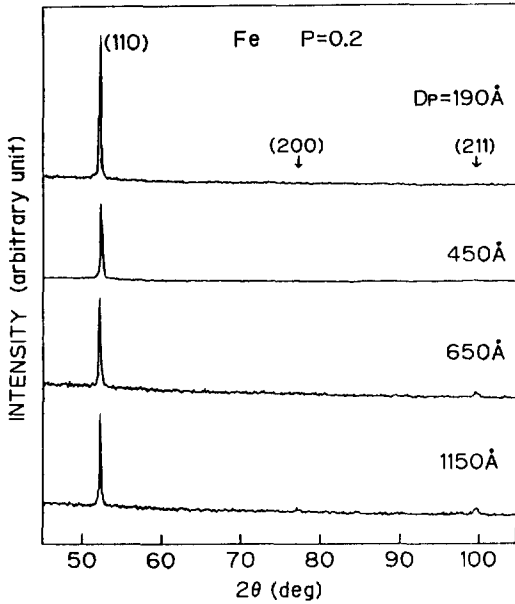


그림 2. 鐵석출막의 XRD 패턴의 예.

설명하는 것처럼, 鐵미립자의 形狀자기이방성은 10^5 erg/cc 정도의 값으로 크기때문에, 결정자기이방성이 자기특성에 미치는 영향을 작고, 주로 막의 기하학적구조, 즉 석출입자의 크기 및 間隔에 의하여, 자기특성이 결정된다고 추측된다.

그림 3은 충전율을 0.20로 한 경우, 철입자의 형상, 즉 포아직경을 변화시킨 경우의 항자력의 변화를 나타낸다. 膜에 대하여 수직방향의 항자력 H_c (\perp)는 포아 직경이 200 Å이하에서 2000 Oe 이상의 높은 값을 나타낸다. 그러나 포아직경이 그보다 增加하면, 항자력은 급격히 低下하고 450 Å에서 1000 Oe로 된다. 이 항자력의 값은 垂直磁氣 記錄 媒體로서 適用 가능한, 즉 磁氣헤드에서 記錄 가능한 값이다. 또 1000 Å부근까지 포아직경이 增加하면, 항자력은 다시 200 Oe까지 低下한다.

양극산화피막의 석출입자의 直徑(굵기)은 바꾸지 않고 입자와 입자와의 간격, 즉 충전율을 바꾼 경우의 一軸자기이방성에너지 K_u 의 변화를 그림 4에 나타낸다. 충전율이 0.33보다 작을 때 磁化容易軸은 膜面に 垂直이지만, 그 이상 커지면 磁化容易軸은 面內로 바뀐다.

양극산화피막의 경우와 같이, 針狀의 強磁性粒子로 이루어지는 集合體의 一軸자기이방성 에너지는,

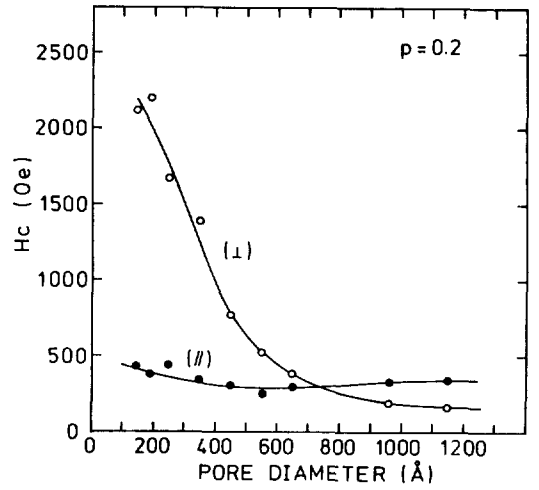


그림 3. 鐵석출막에 있어서 항자력과 포아直徑과의 관계

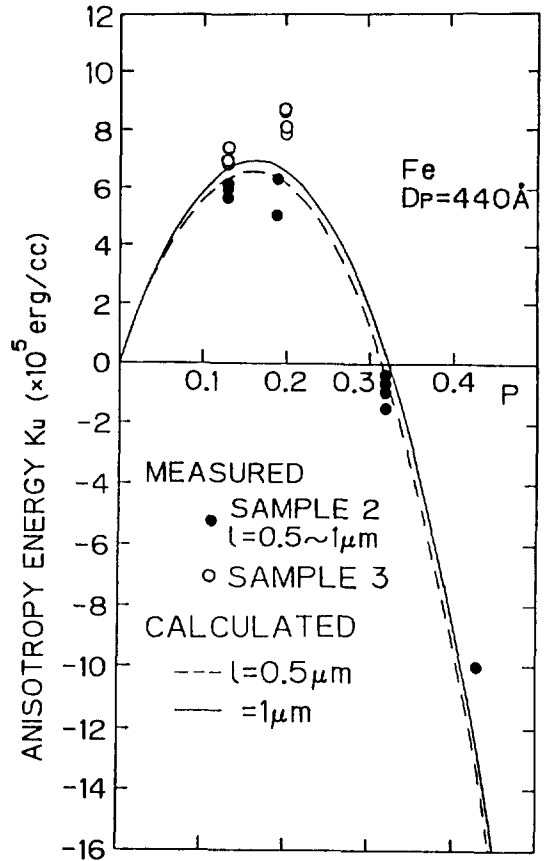


그림 4. 鐵석출막에 있어서 一軸자기이방성과 充磁率과의 관계

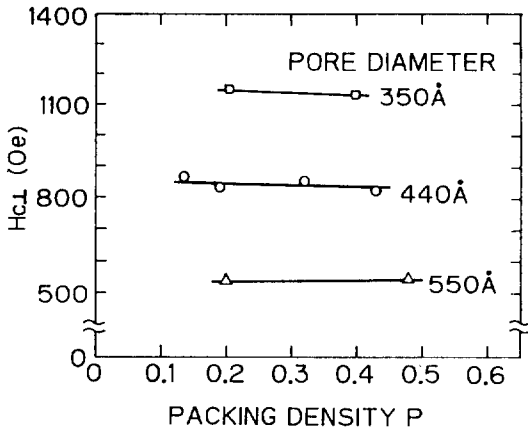


그림 5. 鐵석출막에 있어서 수직방향의 항자력과 충전율과의 관계

다음의 3개 항의 에너지의 sum으로 생각할 수 있다.

- (1) 磁性粒子的 形狀에 따라 反磁界에 起因하는 形狀자기이방성 에너지,
- (2) 磁性粒子間의 相互作用에 의한 靜磁에너지,
- (3) 粒子的 結晶자기이방성 에너지이다.

(3)에 기인하는 이방성에너지는, 鐵微粒자의 경우에는 前述한 것처럼 극히 작기때문에 無視가능하고, (1)및 (2)에 기인하는 에너지를 계산에 의하여 구하여[14], 그림 4에 함께 나타냈다. 實測値는 理論値에 近接하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은, 양극산화피막의 기하학적 구조를 바꾸어줌으로, 자기이방성 에너지를 제어할 수 있는 것을 意味한다 [15].

양극산화피막에 있어서, 석출입자는 수백 Å정도로 아주 작기때문에, 單磁區構造로 생각할 수 있다. 單磁區 粒子的 磁化反轉機構에 대하여는 여러가지 모델, 즉 유니포름(uniform)모-드, 카-링(curling)모-드, 환닝(fanning)모-드등이 제안되어져 있다. 그중에서 카-링모드는, 磁化反轉時에 粒子 側面에 磁極이 나타나지 않는 것으로부터, 입자상 호간 거리는 항자력에 영향을 주지않고, 항자력은 입자의 直徑의 自乘에 逆比例하는 것이 알려져 있다. 鐵을 석출시킨 양극산화피막의 충전율에 대한 항자력의 변화를 나타낸 것이 그림 5이다. 항자력은 충전율에 거의 무관계인 것을 알 수있다. 또 항자력의 포아직경 의존성에 관해서도, 그림 3으로부터 이해할 수 있는 것처럼, 거의 포아직경의 2乘

에 逆比例하고 있기때문에, 鐵析出 양극산화 자성 피막의 磁化反轉은, 카-링모드로 설명되어진다.

以上과 같이, 鐵을 充鎮한 양극산화피막에 있어서는 磁化의 크기는 물론, 항자력 및, 자기이방성 에너지도 粒子的 直徑(크기)이나 間隔으로 결정되어지는 것이 確認되었다.

3.2 코발트 析出膜

양극산화피막의 포아중에, 코발트와 같이 결정자기이방성 定數 Ku가 4.5×10^5 erg/cc로 큰 磁性體를 석출시킨 경우에는, 그 석출입자의 結晶配向性에 의해 磁氣特性이 變化할 가능성이 크며, 비교적 높은 포화자화 Ms(1422 emu/cc)를 이용할 수 있는 利點도 있다. 여기서는 코발트 析出條件으로서, 코발트 電解浴의 溫度와 pH를 파라미터로 포함시켜, 그 특성을 檢査하였다. 그림 6은 膜面에 대하여 수직방향의 항자력의 포아직경 依存性을 鐵과 함께 나타낸 것이다. 코발트는 鐵의 경우에 비해, 포아직경에 대한 항자력 Hc의 변화가 완만하다. 이것은 코발트가 鐵보다 큰 결정자기이방성을 갖고 있어, 磁化機構가 鐵의 커-링모-드의 경우와는 다른 것에 가만한다고 생각된다[16~17].

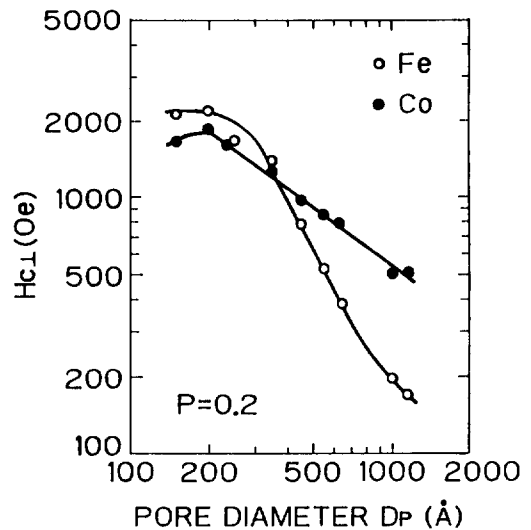


그림 6. 鐵 및 코발트출석막에 있어서 膜面에 대하여 수직방향의 항자력과 포아직경과의 관계

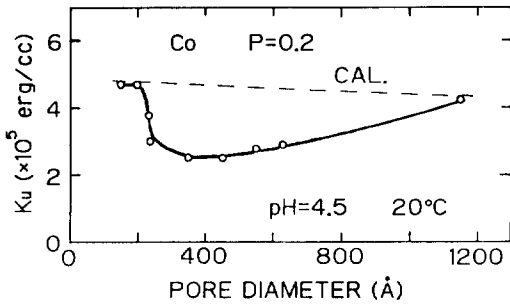


그림 7. 코발트석출막에 있어서 一軸자기이방성과 포아직경과의 관계

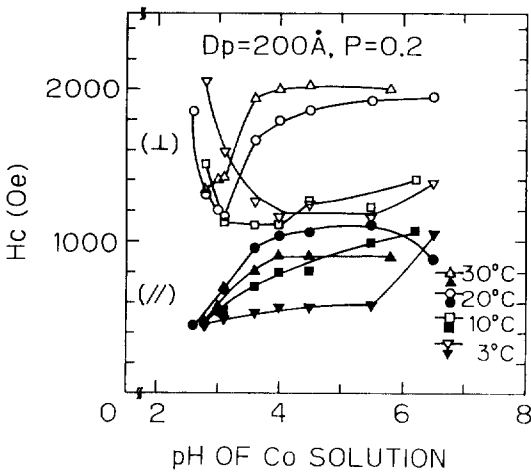


그림 8. 코발트석출막에 있어서 항자력과 電解溶의 온도 및 pH와의 관계

그림 7은 포아직경을 변화시켰을 때, 一軸磁氣異方性 에너지 K_u 의 관계를 나타낸다. 그림중에는 鐵의 경우와 마찬가지로, 形狀이방성과 靜磁에너지로부터 計算한 磁氣異方性에너지의 값이 點線으로 표시되어 있는데, 포아직경 400 Å부근에서 K_u 의 實測值가 計算值보다 크게 어긋나고 있다. 이것의 주된 原因은, 석출한 코발트粒子的 배향성을 들 수 있다. 즉 XRD 결과에 의하면, 포아직경 400 Å부근에서는 析出한 코발트粒子的의 (100)結晶面에 대한 (002)結晶面과 (101)結晶面의 強度比가 다같이 減少하고, (001)結晶軸(코발트 結晶의 磁化容易軸인 c軸)이 膜面內 方向으로 향하고 있는 것이 확인되었다. 이것은 c軸이 膜面內로 配向함으로써 K_u 의 값을 減少시키는, 즉 結晶磁氣異方性이 形狀磁氣異

方性を 消滅시키고 있기 때문이라고 解析되어진다 [16~17].

그림 8은 포아직경 200 Å의 膜에 있어서, 코발트溶의 온도나 pH에 대한 항자력의 변화를 나타낸 것이다. 例로써, $T=20^\circ\text{C}$ 의 경우 pH가 7에서부터 4까지 감소하면, 垂直방향의 항자력은 2000 Oe 부근에서 완만하게 감소해 간다. 그러나 pH가 4 이하로 되면 항자력은 급격한 감소하고, pH = 3.1에서 1200 Oe까지 低下한다.

이 試料에 대하여 코발트 析出立자의 結晶배향성을 조사한 것이 그림 9이다. (100)結晶面에 대한 (002)結晶面과 (101)結晶面의 XRD 強度比는 pH = 3.1에서 거의 零으로 되는, 즉 코발트 結晶面의 c軸이 거의 膜面內 方向으로 향하고 있기 때문에, 수직방향의 항자력이 減少하고 있다고 생각된다 [15~16].

이 결과를 다시 解析하면, c軸의 배향성을 바꾸어 줌으로써 포아직경의 크기를 변화시키지 않고도 항자력의 제어가 가능한 것을 의미한다. 일반적으로 記錄媒體에 있어서 膜中の 磁性粒子的의 直徑은, 작을수록 SN比의 改善을 위해 바람직하다. 反面 항자력은 가능한 높은 것이 요구된다. 그러나 記錄媒體의 항자력은 기록時헤드의 능력에서 오는 限界 때문에, 대체로 1200~1300 Oe정도로 維持하는 것이 필요하다. 이러한 값은 양극산화장성피막을 자

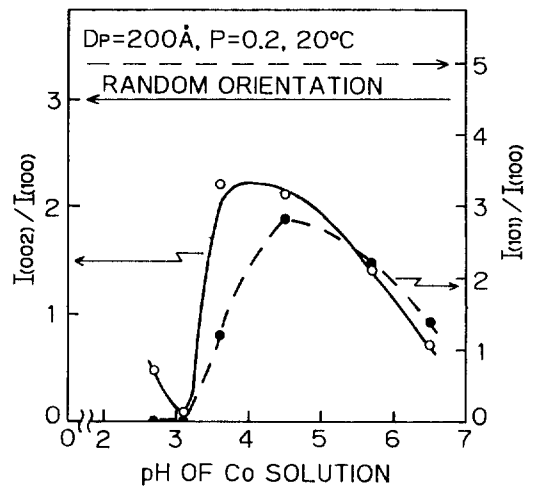


그림 9. 코발트 電解溶의 pH를 변화시켰을때의 XRD 強度比

자기기록 매체에 適用할 경우, 粒子的 形状效果를 主로 이용할 수 있는 鐵과 코발트의 最小포아직경은 400 Å이었다.

이에 비해서 코발트結晶의 配向性을 이용할 경우, 그의 절반크기인 200 Å까지 포아직경을 減少시키는 것이 가능하기때문에, 기록매체에서의 SN比의 向上에 寄與할 것이 기대된다[16].

3.3 코발트-鐵 析出膜

지금까지 설명한 垂直磁氣記錄 媒體에의 應用을 目的으로 한것 外에도, 커다란 磁氣에너지 積(BH) max가 요구되어지는 用途, 예를 들면 垂直磁氣記錄方式를 利用한 로타리 엔코더 등에 있어서는 큰 飽和磁化 Ms, 높은 抗磁力 및 良好한 角型比를 갖는 媒體가 바람직하기 때문에, 이것을 滿足하는 코발트-鐵합금을 석출한 양극산화 자성피막의 應用을 생각할 수 있다.

먼저, 그림 10은 포아직경이 200 Å의 40at% 코발트-鐵석출막의 XRD패턴을 나타낸다. 석출한 금속은, bcc 결정구조를 갖는 單相合金으로, 석출한 粒子는 膜面に (110)결정면이 강한 배향을 나타내고 있음을 알 수있다[17]. 이 bcc 결정구조를 갖는 組成은 코발트가 87at% 까지이고, 92at% 이상에서는 코발트와 同一한 hcp構造이었다. 다음의 그림 11에 포아직경 150 Å, 충전율 0.20일때의 항자력에 대한 코발트 組成依存性을 표시한다. 膜面에 대하여 수직방향의 항자력은, 30~80at% 코발트의 비교적 넓은 組成에서, 鐵의 경우의 2400 Oe보다도 높은 2800 Oe 정도의 값을 갖는다. 또 0~60at% 코발트-鐵합금은, 鐵보다도 큰 포화자화 값을 갖기 때문에, 이 組成을 양극산화피막중에 석출시킴으로, 鐵석출막 以上の 포화자화를 갖는 자성막을,

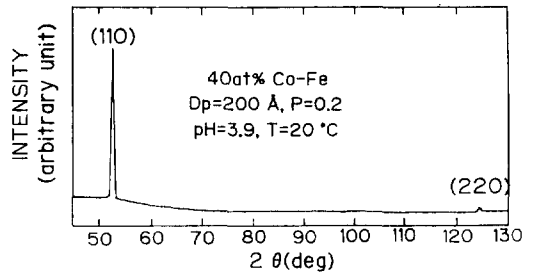


그림 10. 코발트-鐵석출막의 XRD 패턴의 예

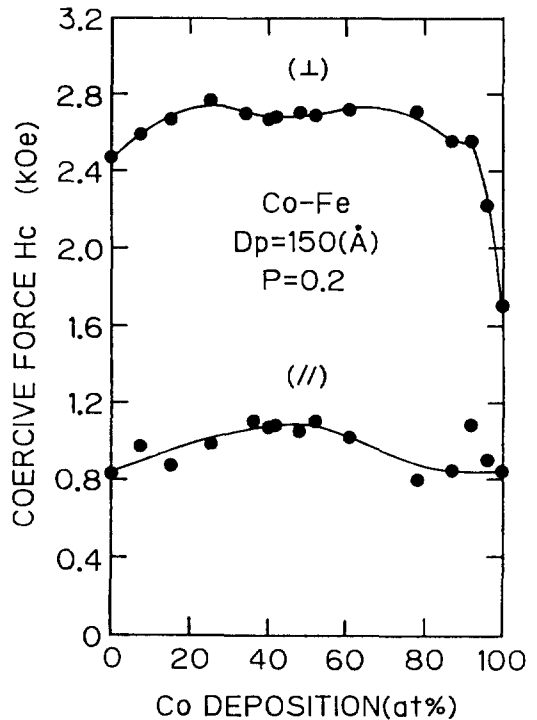


그림 11. 코발트 鐵합금석출막의 항자력과 組成과 의 관계

표 2. 코발트-鐵합금석출막의 자기특성[18]

組 成 (at co)	BH_c (Oe)	iH_c (Oe)	K_u ($\times 10^5$ erg/cc)	M_r/M_s	BH_{max} (MOe)	M_s (emu/cc)	비 고
0	1750	2450	8.4	0.91	1.22	343	Dp = 150 Å P = 0.20 l = 1.5 μm
25	1900	2700	10.4	0.94	1.37	379	
34	1900	2770	10.2	0.90	1.44	385	
40	1750	2670	9.5	0.86	1.29	386	
0	1040	2000	--	0.97	0.35	154	Dp = 150 Å P = 0.09 l = 50 μm

膜의 幾何學的構造를 바꾸지 않고도 實現 可能하다. 이 組成중에서 M-H곡선으로부터 구한 角型比(M_r/M_s) 및 BHmax의 값은 표 2와 같이 우수한 특성을 나타내며, 표중에는 참고로서 현재 수직 자기기록방식의 고정밀 로타리엔코더로 개발. 보고된 것과 동일한 膜구조를 갖는 試料(충진율 0.09, 두께 50 μ m)에 대하여도 비교하였다.

이상으로부터, 組成變化에 의하여 항자력의 제어 가 가능한 것과, 포아직경이 작은 코발트-鐵합금 석출막을 이용하여, 높은 포화자화, 항자력 및 우수한 角刑比 및 큰 (BH)max 등의 硬磁氣특성이 얻어지는 것이 밝혀졌다. 이와같이 큰 磁氣에너지積을 이용한다면, 反磁界의 영향이 거의 없는 垂直磁氣記錄方式의 高精度 로타리엔코더에의 適用의 가능하다고 생각된다.

4. 結 論

지금까지 넓은 범위의 포아直徑 및 有孔率을 갖는 새로운 양극산화皮膜을 作成하고, 여기에 鐵, 코발트 및 코발트-鐵合金을 전해석출한 자성막의 자기 특성을 究明하였다. 그리고 이러한 磁性膜을 가지고, 수직자기기록방식의 記錄媒體에 適用하기 위한 檢討를 하였으며, 綜合하면 다음과 같다.

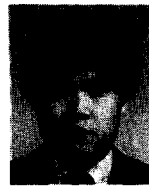
- (1) 鐵析出膜은, 結晶磁氣異方性の 영향이 작기 때문에, 磁氣特性이 膜의 幾何學的構造에 의해 거의 결정되고, 그것에 의하여 磁性膜의 設計가 可能하다.
- (2) 코발트 析出膜은, 結晶磁氣異方性이 磁氣特性에 영향은 크기때문에, 코발트結晶의 磁化容易軸(c軸)의 配向에 의하여 자기특성은 크게 變한다. 따라서 이 c軸의 배향성을 변화시켜 석출입자의 形狀을 바꾸지 않고, 작은 포아直徑에서도 항자력의 制御가 가능하였다. 이것은 記錄媒體에서의 SN比改善을 의미한다.
- (3) 코발트-鐵合金析出膜은, 組成變化에 의하여 자기특성을 제어할 수 있다. 또 飽和磁化, 抗磁力도 鐵을 석출한 자성막에 비해서 높은 값을 나타낸 것은 물론, 優秀한 角型比(M_r/M_s)로 얻어지는 큰 磁氣에너지積으로, 垂直磁氣記錄方式의 高精度의 로타리 엔코더에의

應用이 有望하다.

참 고 문 헌

- [1] J. Brownlow; IBM Technical Disclosure Bulletin, 11, 238(1968)
- [2] S. Kawai and R. Ueda; J. Electrochem. Soc., 222, 32(1975)
- [3] S. Kawai; J. Electrochem. Soc., 122, 1026(1975)
- [4] S. Kawai and I. Ishiguro; J. Electrochem. Soc., 123, 1047(1976)
- [5] S. Iwasaki and Takemura; IEEE Trans. Magn., MAG-11, 1173(1975)
- [6] M. Shiraki, Y. Wakui, T. Tokushima and N. Tsuya; IEEE Trans. Magn., MAG-21, 1465(1985)
- [7] N. Tsuya, T. Tokushima, M. Shiraki, Y. Wakui, Y. Saito, H. Nakamura, S. Hayano, A. Furugori and M. Tanaka; IEEE Trans. Magn., MAG-22, 1140(1986)
- [8] N. Tsuya, T. Tokushima, M. Shiraki, Y. Wakui, Y. Saito, H. Hakamura and Y. Katsumata; IEEE Trans. Magn., MAG-23, 53(1987)
- [9] 津屋 昇, 德島忠夫, 白木 眞, 湧井幸夫, 梅原重敏, 中村秀男, 膳盼 良明, 齊藤兆古; 日本應用磁氣學會, 11, 55(1987)
- [10] 津屋 昇, 德島忠夫, 白木 眞, 湧井幸夫, 齊藤兆古, 中村秀男, 固體物理, 21, 816(1986)
- [11] K. I. Arai, H. W. Kang, K. Ishiyama, T. Kamigaki, I. Tokunaga, S. Yanagita, S. Tonegawa and K. Hayasaka; IEEE Trans. Magn., MAG-26, 2295(1990)
- [12] 海老原健, 高橋英明, 永山政一; 金屬表面技術, 33, 156(1982)
- [13] 海老原健, 高橋英明, 永山政一; 金屬表面技術, 34, 548(1983)
- [14] M. Masuda, S. Shimoi and M. Shiraki; Jpn. J. Appl. Phys., 26, 1680(1987)
- [15] 荒井賢一, 大岡洋介, 石山和志, 湧井幸夫; 日本信學論, J. 71-C, 994(1988)

- [16] 荒井賢一, 大岡洋介, 石山和志, 姜 熙雨: 日本信學論, J. 71-C, 994(1989)
- [17] K. I. Arai, H.W.Kang and K. Ishiyama: IEEE Trans. Magn., MAG-26, 1635 (1990)
- [18] K. I. Arai, H.W.Kang and K. Ishiyama: IEEE Trans. Magn., MAG-27, 4906 (1991)



강희우(姜熙雨)

1953년 3월 9일생, 1980년 명지대학 전기공학과 졸업. 1982년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 일본 동북대학 대학원 공학 연구과 전기및 통신공학전공 졸업(공학박). 1982-1987년 충남대학교 공과대학 조교. 1991년 일본동북대학 전기통신연구소 조수. 현재 주성전문대 전자통신과 전임강사.