

## 미세조직 자성박막의 제조

### - 대향 타겟식 스퍼터법에 의한 박막의 구조 -



#### 1. 서론

자기기록매체용 자성박막의 미세구조, 특히 나노미터 정도의 극미세 구조를 제어하는 것이 기록재생 특성 및 S/N 비의 향상에 중요하다고 생각된다. 기록매체용 자성박막의 극미세 구조를 제어할 수 있게 되면, 기록재생 과정의 고효율화는 물론 매체의 내구성, 신뢰성 향상에도 중요한 인자로 작용한다. 이번 연구에는 스퍼터법으로 제작한 수직자기 기록매체용 Co-Cr 박막과 광자기 기록매체용 Tb-Fe-Co 박막에 있어서 이들 박막의 제조 조건과 미세 구조의 관계 및 미세 구조에 기인하는 각종 특성에 관하여 논한다.

#### 2. 실험 방법

박막의 제조에는 Fig.1에 표시한 대향 타겟식 스퍼터 장치 [1-3]를 사용하였다. 이 장치는 두 장의 음극 타겟을 대칭되게 배치하고, 자기장을 이들 타겟면에 수직으로 인가하는 것이 특징인데, 이와 같은 전자기장의 배치에 의하여 방전 플라즈마 및 타겟 표면에서 방출되는  $\gamma$  전자

를 마주보는 양 타겟 사이의 공간에 구속하여 플라즈마의 영향을 최소화한 상태에서 박막을 제조할 수 있도록 설계되어있다. 그러므로 기판에 자유롭게 바이어스를 인가할 수 있다.

자기장이 타겟 표면에 수직으로 인가되어 한쪽 타겟에서 마주보고 있는 타겟쪽으로 인가하므로 자성체 타겟을 사용하여도 안정되게 방전이 일어난다. 또한 타겟 부근에 작용하는 강한 자기장의 영향으로 인하여 전자의 비산 거리가 길어 지므로 방전효율이 높아 0.1 mTorr 이하의 낮은 분위기 가스 압력에서도 안정적으로 박막을 형성할 수 있다.

타겟으로는  $Co_{70}Cr_{21}$  합금 또는  $Fe_{90}Co_{10}$  합금에 Tb 칩을 설치한 복합 타겟을 사용하였으며, Ar을 분위기 가스로 이용하였다.

#### 3. 실험 결과

##### (1) 분위기 가스 압력의 영향

박막 제조 시의 분위기 가스 압력은 스퍼터법으로 제조하는 박막의 미세구조에 대단히 커다란 영향을 미친다. Fig.2는 Co-Cr 박막의 파단면 전자현미경 사진으로, 고분해능 전자현미경으로



송기봉  
코오롱 중앙연구소



김경환  
경원대학교 전기전자공학부  
부교수



손인환  
광운대학교 박사과정

Masahiko NAOE  
Shigeki NAKAGAWA  
Dept. of Physical Electronics  
Tokyo Institute of Technology

관찰한 것이다. 제조 시 Ar 가스의 압력은 0.15 mTorr 에서 7 mTorr 까지 변화 시켰다. 7 mTorr 의 높은 가스압력에서 제조한

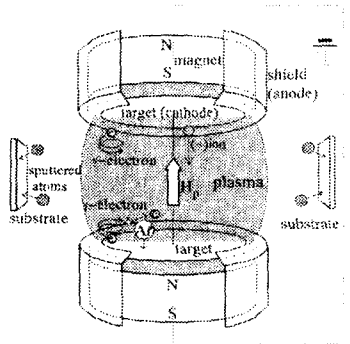


Fig.1. 대향 타겟식 스퍼터 장치의 개략도 (Schematic diagram of Facing Targets Supttering sys - tem)

Co-Cr 박막은 명확한 주상 구조를 나타내고, 충전율이 낮고, 표면도 울퉁불퉁한 것을 알 수 있다. 그렇지만, 제조 시의 가스 압력이 낮아지는데 따라 박막의 표면은 평탄한 구조로 되면서 더욱 치밀해지는 것을 알 수 있다. 또한 0.15 mTorr 의 낮은 Ar 가스 압력에서 제조한 시료는 그 박막 구성 입자간의 결합력도 강한 것으로 판단되는 더욱 평탄한 파단면을 보여주고 있다.

Fig.3 은 hcp 구조인 Co-Cr 박막 중의 Co 격자점의 c 축 배향도의 분산성을 나타내는  $\Delta\theta_{50}$  와 박막의 수직방향 이방성의 크기를 나타내는 이방성 자체  $H_k$

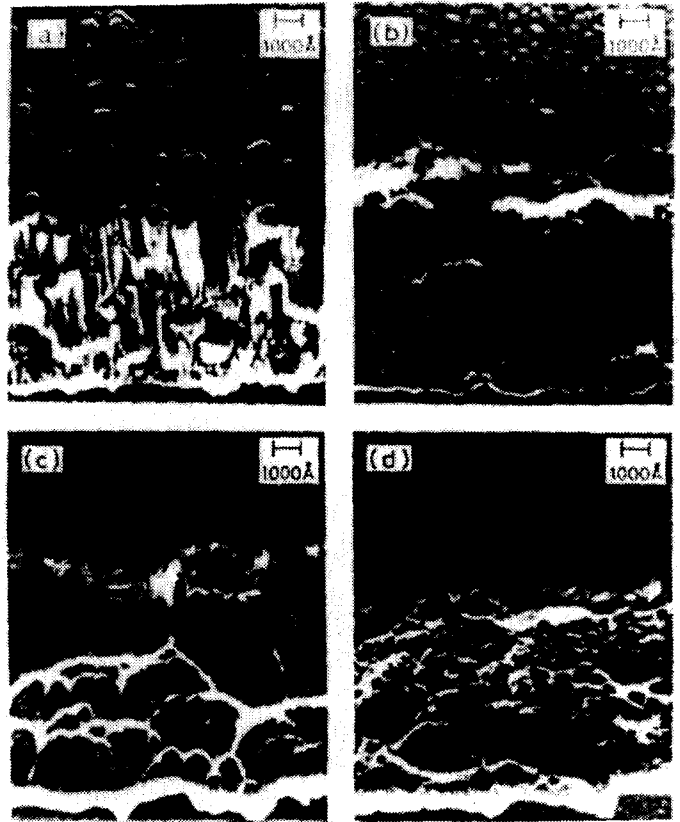


Fig.2. 고분해능 전자현미경에 의한 Co-Cr 박막의 파단면 사진, 각각의 Ar 가스압력은 (a) 7 mTorr, (b) 2 mTorr, (c) 0.8 mTorr, (d) 0.15 mTorr 이다.

(High resolution SEM images of Co-Cr thin films prepared at Ar gas pressure of 7-0.15 mTorr)

의 Ar 가스 압력 의존성을 나타내고 있다. 분위기 가스의 압력이 높으면  $\Delta\theta_{50}$ 가 커지고, c 축 배향도가 나빠지는 것을 알 수 있고, 2 mTorr 이하의 낮은 가스압력에서는 c 축 배향도가 높아지고, 이에 따라 이방성도 향상되는 것을 알 수 있다.

분위기 가스의 압력이 낮으면 스퍼터된 입자의 평균자유행로가 길어지고, 그들이 가진 에너지를 잃지 않고 기판에 도달할 확률이

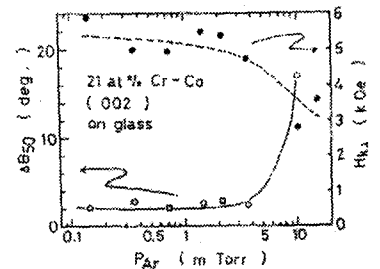


Fig.3. Co-Cr 박막의 c 축 배향도의 분산성  $\Delta\theta_{50}$ 와 이방성 자체  $H_k$ 의 Ar 가스 압력 의존성 (Dependence of  $\Delta\theta_{50}$  and  $H_k$  of Co-Cr thin films on Ar gas pressure)

높아진다. 이로 인하여 Co-Cr 계와 같이 격자점 우선 배향성을 나타내는 박막들은 격자점에 쉽게 배향됨은 물론 충분한 표면 확산으로 인하여 더욱 치밀한 구조가 형성되는 것으로 판단된다. 또한 이와 같이 치밀한 박막은 Young 계수도 높은 것이 확인되었다.

이와 같이 평탄하고 치밀한 구조는 막의 결정성과는 무관하게 비정질 구조의 박막에서도 관찰된다. Fig.4는 스퍼터로 형성된 Tb-Fe-Co 합금 박막의 표면 및 파단면 전자현미경 사진으로, 박막 제조시의 분위기 가스 압력은 각각 (a) 0.5 mTorr, (b) 7.5 mTorr였다. 낮은 Ar 가스 압력에서 제조한 박막 (a)가 높은 Ar 가스 압력에서 제조한 박막 (b)에 비하여 더욱 평탄한 표면을 보여준다.

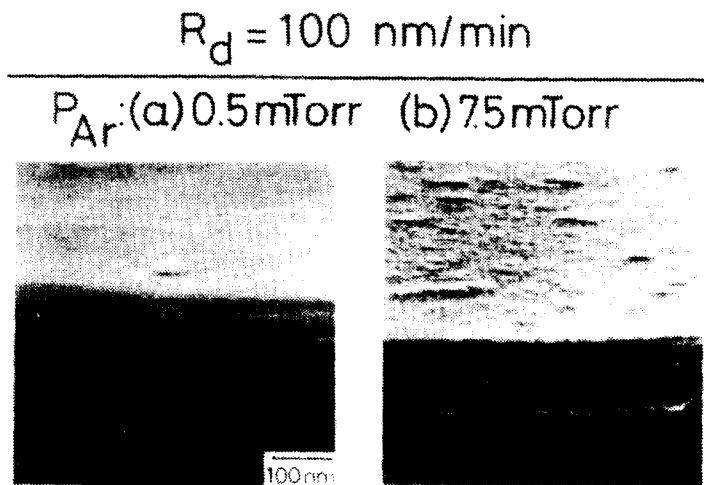


Fig.4. Tb-Fe-Co 박막의 표면 및 파단면 전자현미경 사진

높은 분위기 가스 압력에서 제조한 박막의 표면 요철은 당연히 광자기 기록매체의 노이즈 상승 및 재생 신호 저하의 원인으로 연결될 것으로 생각된다. 한편, 낮은 분위기 가스 압력에서 제조한 박막은 더욱 치밀하고 평탄하며 표면적이 적어 산화 등에 대한 내구성이 우수할 것으로 예상된다.

Fig.5가 이와 같은 판단을 뒷받침한다. Fig.5는 서로 다른 분위기 가스 압력 (a) 0.5 mTorr 및 (b) 7.5 mTorr에서 제조한 비정질 Tb-Fe-Co 합금 박막의 깊이 방향 산소함유량인 Auger depth profile이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 낮은 Ar 가스 압력에서 제조하여 치밀하고 평탄한 표면을 가진 박막 (a)가 높은 Ar 가스 압력에서 제조하여 울퉁불퉁한 표

면을 가진 박막 (b)보다 얇은 표면 산화층을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 또한 낮은 분위기 가스 압력에서 제조한 TB-Fe-Co 박막 쪽이 더욱 예리한 기관과 박막의 경계부를 갖고 있음을 알 수 있다. 즉 낮은 Ar 가스 압력에서 제조하여 치밀하고 평탄한 표면을 가진 박막이 산화 등에 대한 내구성이 우수함을 알 수 있다.

## (2) 기관 온도 의존성

스퍼터로 형성된 Co-Cr 박막의 자기특성, 즉 수직방향의 보자력  $H_k$ 가 제조시의 기관 온도에 따라 크게 변하는 것이 알려져 있다. 박막의 용도에 따라 적당한  $H_k$ 를 얻기 위하여는 기관 온도  $T_s$ 를  $100^\circ\text{C}$  이상 올려줄 필요가 있다.

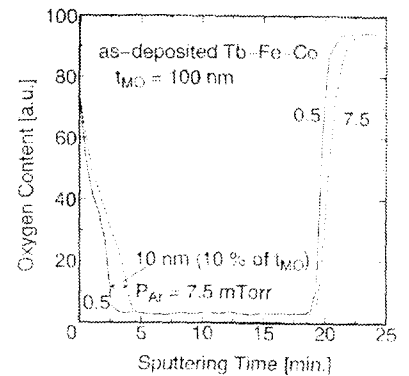
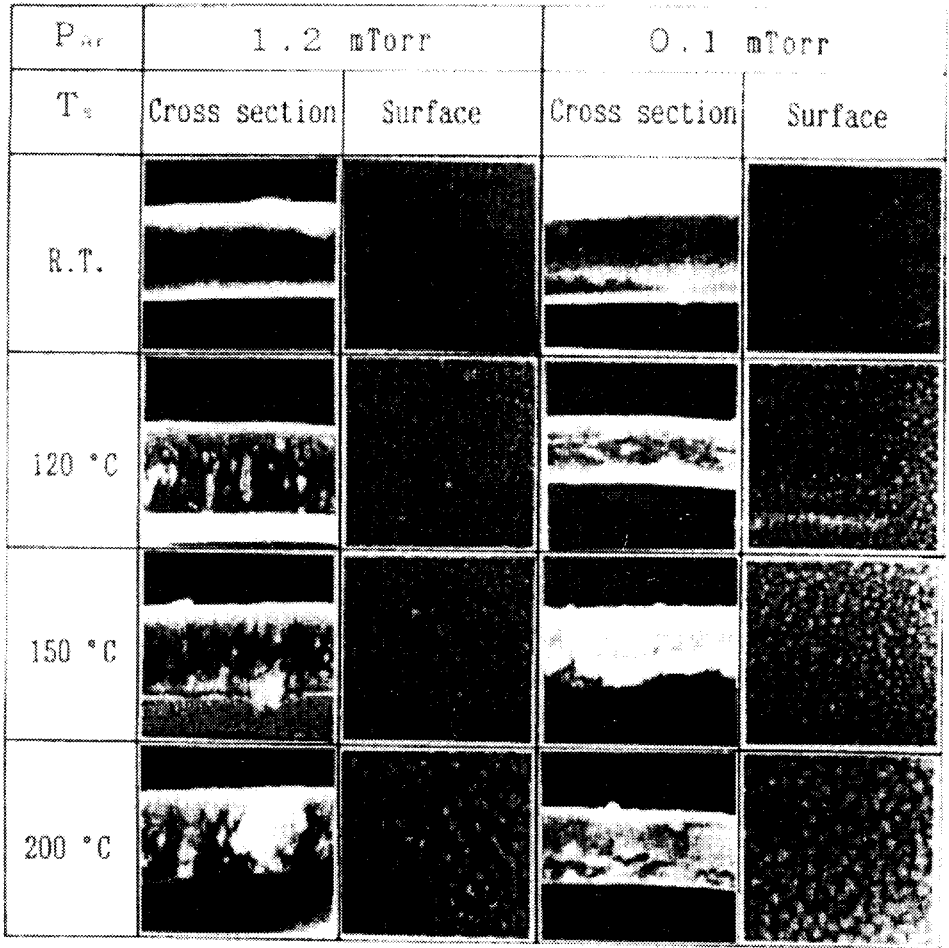


Fig.5. Tb-Fe-Co 박막의 깊이 방향 산소함유량 (Auger depth profile of oxygen content of Tb-Fe-Co films)

(Surface and cross-sectional SEM images of Tb-Fe-Co thin films)



1 μm

**Fig.6.** Co-Cr 박막의 표면 및 과단면 전자현미경 사진 (Surface and cross-sectional SEM images of Co-Cr thin films)

Fig.6 은 Ar 가스 압력 (a) 1.2 mTorr 및 (b) 0.1 mTorr 에서 가관 온도를 변화 시키며 제조한 Co-Cr 박막의 과단면과 표면 전자현미경 사진이다. 가관 온도가 실온인 경우에는 앞에서 이야기한 바와 같이 치밀한 과단면 구조를 볼 수 있으나, (a) 1.2 mTorr 에서

제조한 박막의 경우에는 가관 온도 120°C 이상에서 주상구조가 나타나며, 온도의 상승과 함께 주상구조간의 상호 확산으로 인하여 박막이 치밀화 되면서 주상구조가 허물어져 가는 것이 관찰된다.

이와는 대조적으로 (a) 0.1

mTorr 의 낮은 분위기 가스 압력에서 제조한 박막은 온도 상승에 따른 주상 입자는 관찰되지 않았고, 높은 가관 온도에서도 본질적으로 치밀한 구조를 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 이와 같은 치밀한 구조가 낮은 분위기 가스 압력에서 본질적으로 달성되기 쉬움을 보여주는 예라고 판단된다.

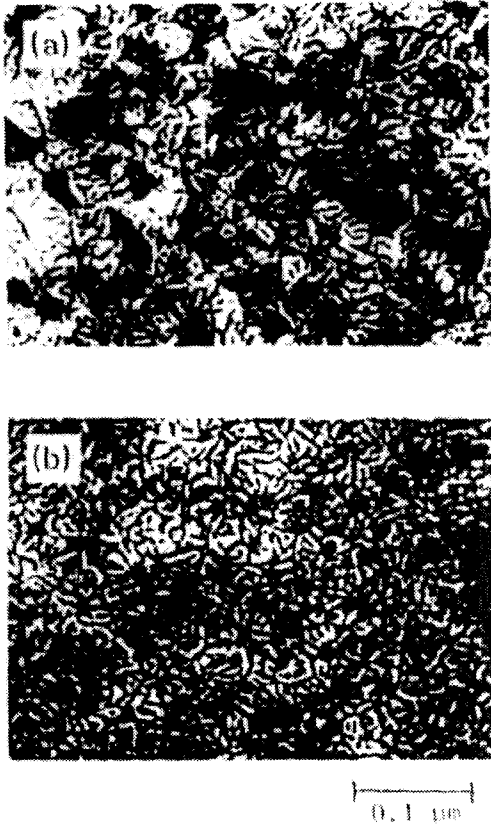


Fig.7 투과전자현미경으로 관찰한 Co-Cr 박막의 편석 패턴 (TEM images of Co-Cr thin films)

Fig.7은 기판 온도 150°C 분위기 가스 압력 (a) 1.2 mTorr, (b) 0.1 mTorr에서 제조한 Co-Cr의 편석 패턴을 투과전자현미경으로 관찰한 사진이다. 어느 박막이나 비슷한  $H_c$ 를 나타내지만 0.1 mTorr의 낮은 가스 압력에서 제조한 박막의 편석 패턴이 좀더 세밀함을 알 수 있는데, 고밀도 기록에 따른 자화 반전의 고밀도화에는 이들 패턴의 크기가 미세 할수록 더욱 유리할 것으로 판단된다.

### (3) 플라즈마의 영향

대향 타겟식 스퍼터법의 경우 플라즈마 수축 자기장과 타겟의 전기장에 의하여 플라즈마를 구속하게 되는데, 자기장을 강하게 하면 기판과 플라즈마가 더욱 명확하게 분리된다. Fig.8은 3.0 mTorr의 분위기 가스 압력에서 제조한 비정질 Tb-Fe-Co 박막의 단면 투과전자현미경 사진으로 마주보는 양 타겟의 중심점에서 측정된 플라즈마 수축 자기장의 세기  $H_p$ 를 각각 (a) 160 G (b) 220

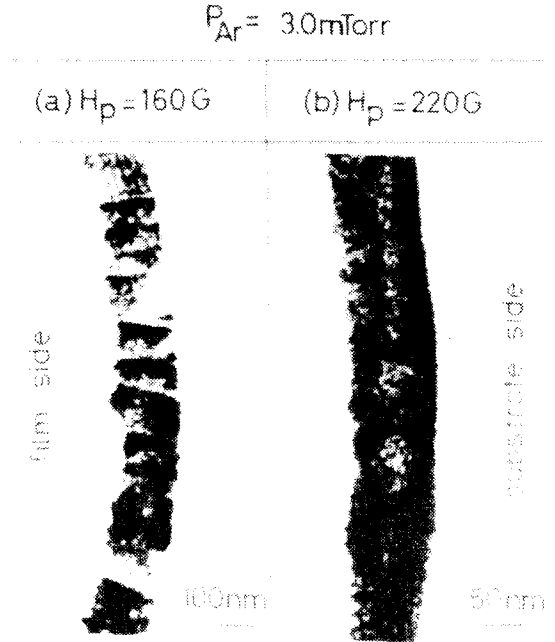


Fig.8 Tb-Fe-Co 박막의 단면 투과전자현미경 사진 (Cross-sectional TEM images of Tb-Fe-Co thin films)

G로 변화 시키서 제조한 시료이다[4].

플라즈마 수축 자기장이 160 G로 약한 (a) 시료는 박막의 형성 과정에서 플라즈마의 영향을 받은 것으로 판단되는데, 사진에서와 같이 명확한 주상구조를 관찰할 수 있다. 이와 비교하여 220 G의 강한 플라즈마 수축 자기장에서 제조한 (b) 시료는 주상구조가 관찰되지 않았고, 치밀하고 균일한 박막이 되어있음을 알 수 있다. 또한 주상구조가 발달한 (a)시료는 (b)시료에 비하여

표면 요철이 심하게 발달한 것을 알 수 있다. 실제 이들 (a), (b)의 경우 관찰된 사진의 비율이 2 배 차이 나므로 눈으로 보는 것보다 요철의 차이가 더욱 심함을 알 수 있다.

이와 같은 주상구조의 개변과 표면 요철은 이들 시료를 광자기 기록 매체로 이용하여 신호를 기록 재생하게 되면, 매체 노이즈로 크게 영향을 미칠 것이 예상된다. 또한 주상구조의 개변이 산소 확산의 통로가 된 물론, 주상구조의 심각한 표면 요철로 인하여 표면적이 증가하므로 약한 플라즈마 수축 자기장에서 형성하여 주상구조가 발달한 (a)시료는 내구성이 저하할 것으로 판단된다.

Fig.9 는 이와 같은 고온 고습 실험 결과를 보여 주고 있다. 이 사진은 플라즈마 수축 자기장의 세기를 (a) 160 G, (b) 220 G로 변화 시켜 제조한 Tb-Fe-Co 박막을 50°C, RH90%의 항온 항습 조건에서 방치하면서 관찰한 표면 현미경 사진이다.

제조한 박막의 표면은 큰 차이점이 없지만, 고온 다습 실험 후의 표면은 확연히 다름을 알 수 있다. 즉, 약한 플라즈마 수축 자기장에서 제조한 (a)시료는 넓은 면적이 변질되었음을 알 수 있고, 강한 플라즈마 수축 자기장에서 제조한 (b)시료의 표면은 큰 변

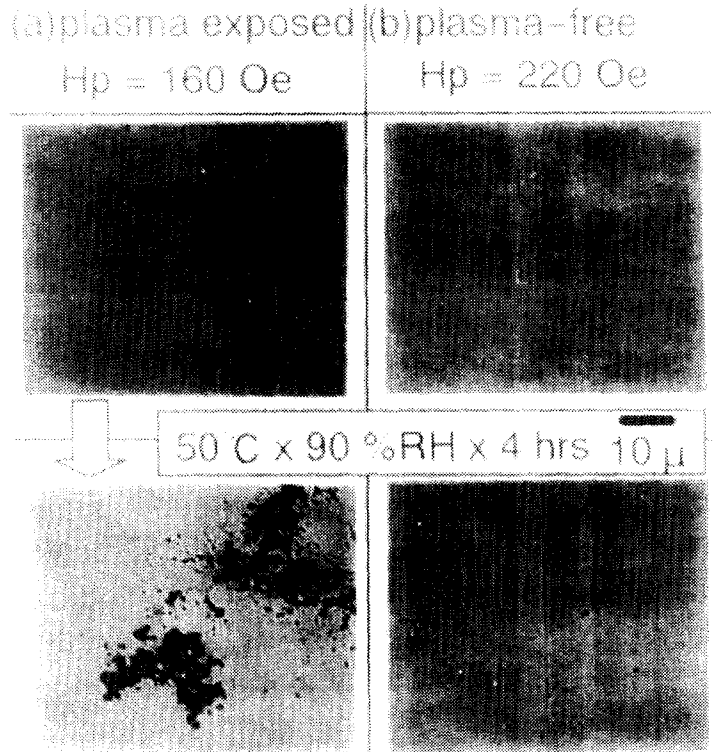


Fig.9 Tb-Fe-Co 박막의 표면 현미경 사진

(Surface microscope images of Tb-Fe-Co thin films)

화가 관찰되지 않았다. 이와 같은 관측 결과로 주상구조가 발달하지 않고, 치밀하고, 균일하면서, 평탄한 표면의 박막이 내구성면에서도 우수함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

기록 매체로 이용되고 있는 박막의 구조에 관해서는 Co-Cr 과 같은 결정성 박막이나, Tb-Fe-Co 와 같은 비정질 박막에 공통적으로 치밀하고 균일한 구조가 요구되어 지고 있으며, 주상구조와 같은 비교적 마크로한 구조가

형성되는 것과 같은 박막 제조법은 장래에 요구되고 있는 기록 단위의 미세화에 대처하지 못할 것으로 판단된다. 또한 박막의 내구성, 내후성 등의 관점에서도 주상구조가 발달하지 않은 치밀하고 균일하면서 평탄한 박막이 유리한 것으로 판단된다. 이와 같이 치밀하고 균일한 박막을 형성하려면, 고진공 영역에서 스퍼터로 제조할 것과, 박막 형성을 하는 기관만이 플라즈마의 영향을 받지 않도록 제작하는 것이 무엇보다 중요한 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- [1] M. Naoe, S.I. Yamanaka, and Y.Hoshi, IEEE Trans. Magn., MAG-16, (1980), 646
- [2] Y. Niimura, S. Nakagawa, and M.Naoe, Material Science & Engineering, 98, (1900), 53
- [3] Ki-Bong SONG, and Masahiko NAOE, Advanced Materials (MRS), (1994), V15B, 1015-1018
- [4] Ki-Bong SONG, and Masahiko NAOE, Ferrites, ICF-6, (1993), 563

< 김경환 위원 >