

수직자기기록매체용 Co-Cr 박막의 자기적 특성 개선에 관한 연구

The Improvement of Magnetic Properties of Co-Cr Thin Film for Perpendicular Magnetic Recording Media

공석현*, 금민중*, 손인환**, 최형욱*, 최동진*, 김경환*
(S.H.Kong*, M.J.Keum*, I.H.Son**, H.W.Choi*, D.J.Choi*, K.H.Kim*)

Abstract

We prepared Co-Cr thin film for perpendicular magnetic recording media with facing targets sputtering system(FTS system) which can deposit a high quality thin film in plasma-free state and wide range of working pressure. The effect of sputtering conditions (argon gas pressure and substrate temperature) on the magnetic and the crystallographic characteristic of Co-Cr thin film was investigated. And the variation of perpendicular coercivity with the variation of film thickness was studied. As a result, we obtained the high perpendicular coercivity of 1900Oe and the good dispersion angle of c-axis($\Delta\theta_{50}$) of 5° on the film thickness of 100nm for the promising recording layer of perpendicular magnetic recording media.

Key words(중요용어) : Facing Targets Sputtering(대향타겟스퍼터링), Co-Cr Thin Films(Co-Cr 박막), c-axis Orientation(c-축 배향), Coercivity(보자력)

1. 서 론

각종 박막제작기술은 현재 최첨단기술을 담당하는 핵심기술로서, 기존의 반도체, 전자부품제작 기술에서부터 마이크로 일렉트로닉스 VLSI(very large scale integration)용 박막, 화합물 반도체박막, 초전도체박막 등 각종 기능성박막제작에 이르기까지 그 응용분야가 확대되고 있다. 이러한 상황에서 박막 제작기술 중 물리적 박막형성법(Physical Vapor Deposition법)으로서 오랜 역사를 가진 스퍼터법 또

한 새로운 시대를 맞이하고 있다. 이 방법은 진공 증착법으로는 제작할 수 없는 고용점, 또는 활성재료막을 조성·특성 등을 엄밀하게 제어하면서 제작해야 하는 요구에 부합되는 기술로 인식되고 있으며, 이 스퍼터 법이 가지고 있는 결점들을 극복하기 위한 연구와 개발이 꾸준히 이루어지고 있다[1]. 한편, 정보기록기술분야의 중추적 역할을 담당하는 자기 disk의 개발분야에 있어서는 10년에 100배의 성장속도로 기록밀도가 향상되어 오고 있으며, 현재 20Gbits/in²의 기록밀도가 이루어지고 있다. 그러나 기록층의 면내방향으로 기록이 이루어지는 현행의 수평기록방식의 경우, 고밀도화에 있어서 인접 bit 간의 감자작용에 의해 물리적인 한계에 부딪히고 있다. 즉, 고밀도화가 진행되는 만큼 기록이 단파장화 되면서 기록자화가 말굽형자화모드로 변하게 되며, 초고밀도가 되어 파장이 더욱 짧아지면 정자기적으로 안정한 회전자화모드를 형성하게 된다. 이 상태가 되면 헤드에서 검출할 수 있는 자속이 감소

* : 경원대학교 공대 전기전자공학부
(성남시 수정구 복정동 산 65, Fax: 0342-750-5491)

E-mail: khkim@mail.kyungwon.ac.kr

** : 신성대학 전기과
2000년 1월 12일 접수, 2000년 4월 21일 심사완료

하고 출력이 크게 감소하게 된다. 이것이 기록감자 작용의 주원인으로, 현재 수평자기기록방식의 기록 한계로 나타나고 있다[2,3]. 이러한 수평자기기록방식의 해결책으로 매체의 보자력값을 크게 하고 두께를 극박막화하여 형상이방성을 크게 하려는 연구가 진행 중이다. 그러나, 기록 bit의 미세화에 수반하여 기록자화의 열적 안정성에 대한 문제점 또한 대두됨에 따라 보다 근본적인 해결책이 요구되고 있다. 따라서 이에 대한 근본적인 해결책으로 차세대 자기기록방식인 수직자기기록방식이 제시되고 있다[4]. 수직자기기록방식은 기록자화를 매체면에 수직으로 형성시키는 방식으로 고밀도화가 됨에 따라 감자계가 줄어들어 본질적으로 고밀도 기록에 가장 적합한 방식이라고 할 수 있다. 수직자기기록의 매체로서는 현재 비교적 큰 수직자기방성을 나타내는 Co-Cr 박막이 가장 유망시 되고 있다. 그러나, Co-Cr 박막은 그 제작조건에 따라 결정학적 및 자기적인 특성이 크게 좌우된다고 보고되고 있다[5,6].

따라서 본 연구에서는 매체제작법으로 기존의 스퍼터 방식이 가지는 단점을 극복할 수 있는 방식으로, 스퍼터 조건을 넓은 범위에서 제어할 수 있을 뿐만 아니라 γ -전자의 효율적인 구속으로 인하여 고속, 고품질 박막제작이 가능한 대향타겟식 스퍼터 장치[7]를 이용하여 수직자기기록매체용 Co-Cr 자성박막을 제작하였다. 또한, 각종 스퍼터 조건 중 아르곤 가스압력(P_{Ar}), 기판온도(T_s) 및 막두께(δ) 변화에 따른 Co-Cr 자성박막의 자기적인 특성을 막의 c-축 배향도를 나타내는 반치폭($\Delta\theta_{50}$) 변화와 함께 연구하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 $Co_{78}Cr_{22}$ 디스크형 합금 타겟과 99.999%의 아르곤 가스를 사용하여 slide glass기판 위에 고품질 자성박막 증착이 가능한 대향타겟식 스퍼터(FTS) 장치를 이용하여 수직자기기록매체용 Co-Cr 자성박막을 제작하였다. FTS System은 낮은 동작가스압력(10^{-5} Torr)에서도 안정적으로 방전을 유지할 수 있으며, 박막증착이 이루어지는 기판이 플라즈마와 분리되어 있는 상태 즉, plasma-free 상태에서 박막이 형성되기 때문에 자성박막과 같이 막 표면의 거칠기와 배향성이 매우 우수해야 하는 고품질의 박막 제작에 가장 적합한 방식이라 할 수 있다[8]. 대향타겟식 스퍼터 장치의 구조를 그림 1

에 나타내었다. 제작 조건에 따른 Co-Cr 자성박막의 특성변화를 조사하기 위해 아르곤 가스압력을 0.1~3mTorr의 범위로 변화시켰으며, 기판온도를 상온에서 300℃까지 변화시켰다. 또한, 막 두께 변화에 따른 자기적인 특성변화를 조사하기 위해 박막 두께를 20~500nm 변화시키며 박막을 제작하였다. 이러한 박막의 제작 조건을 표 1에 나타내었다. 제작된 박막의 결정성 및 배향성은 Cu-K α ($\lambda = 1.5405\text{\AA}$), 관전압 40kV, 관전류 20mA 조건의 x-선 회절분석기(XRD)를 이용하여 평가하였으며, 자기적 특성의 측정에는 진동시편형자력계(VSM)를 이용하여 박막 전체의 보자력값을 측정하였으며, Kerr hysteresis loop 측정장치를 이용하였으며, 박막의 초기층 및 표면층의 보자력을 측정하여 각각의 값을 비교·평가하였다.

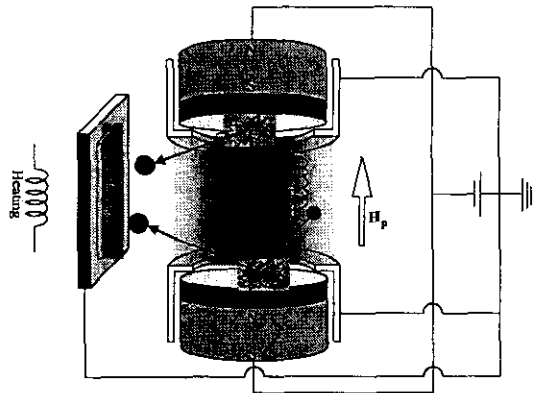


그림 1. 대향타겟식 스퍼터장치.

Fig. 1. Facing Targets Sputtering Apparatus.

표 1. 박막 제작 조건.

Table 1. Sputtering condition of thin films.

Target	$Co_{78}Cr_{22}$
Substrate	Slide Glass
Sputtering Gas	Argon (99.999%)
Background Pressure	1.0×10^{-6} Torr
Power	600W
Argon Pressure	0.1~3 mTorr
Substrate Temperature	R.T.~300℃
Film Thickness	20~500 nm

3. 결과 및 고찰

3.1 아르곤 가스압력 변화에 따른 박막의 결정구조 및 자기특성변화

아르곤 가스압력 변화는 증착된 Co-Cr 박막의 결정입경, 면간격 및 c-축 배향도와 같은 박막의 결정성에 큰 영향을 미친다. 따라서 그림 2와 같이 막 두께와 기판온도를 각각 300nm, 200°C로 고정된 후, 아르곤 가스압력을 0.1에서 3mTorr의 범위에서 변화시켜 박막을 제작하여 박막의 c-축 배향도 변화에 따른 자기적인 특성을 검토하였다. 그림 2에서 알 수 있는 것처럼, 아르곤 가스압력(P_{Ar})이 1.5mTorr 이하인 저가스압력영역에서 $\Delta\theta_{50}$ 이 5° 정도의 우수한 c-축 배향도를 나타내고 있다. 그러나, 0.3mTorr 이하의 영역과 2mTorr이상의 영역에서는 $\Delta\theta_{50}$ 이 크게 나타나고 있으며, 3mTorr 이상에서는 급격한 기울기로 상승되어 결정성이 크게 악화되어 있다는 것을 알 수 있다. 2mTorr 이상에서의 결정성 악화는 아르곤 가스압력증가에 따라 스퍼터 원자의 평균자유행정거리(mean free path)가 감소하고, 증가된 스퍼터 원자와 아르곤 가스입자와의 충돌횟수증가에 의해 기판에 도달하는 스퍼터 원자의 에너지 감소로 기판에서의 확산이 충분히 일어나지 않았기 때문이라고 사료된다. 한편, 아르곤 가스압력 0.3mTorr 이하 영역에서의 결정성 악화는 매우 낮은 가스압력에서는 방전전류가 매우 작고, 더욱이 투입전력을 600W로 고정시켜 스퍼터를 실시하였기 때문에 필연적으로 전압이 크게 상승하여, 스퍼터 원자가 필요이상의 에너지를 소유한 채 기판에 도달하여 기판에 증착되는 박막에서 재스퍼터링이 일어났기 때문이라고 생각된다[9].

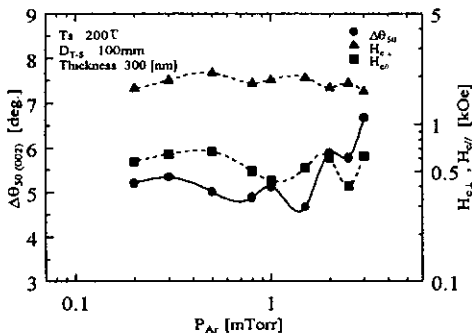


그림 2. $\Delta\theta_{50}$ 및 수직, 수평보자력의 아르곤가스 압력 의존성.

Fig. 2. Dependence of $\Delta\theta_{50}$, perpendicular and in-plane coercivity on argon gas pressure.

그러나 수직보자력($H_{c\perp}$)값은 3mTorr 이하의 전 영역에서 거의 일정하며, 약 1900Oe의 양호한 값을 나타내고 있다. 그러나, 고가스 압력인 3mTorr와 매우 낮은 가스압력인 0.3mTorr의 영역에서는 수평보자력($H_{c\parallel}$)값도 함께 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 그 이유는 결정성 악화에 따른 박막의 일축수직 자기이방성의 악화때문이라고 생각된다. 따라서, 수직자기기록매체용 Co-Cr 박막제작 시 아르곤 가스압력을 0.5~1.5 mTorr 영역에서 제작할 필요가 있다는 것을 확인하였다.

3.2 두께 변화에 따른 박막의 자기적 특성변화

그림 3과 4에 기판온도 200[°C]에서 막 두께에 따른 $\Delta\theta_{50}$ 의 변화와 수직자화 정도를 나타내는 척도로서 수평 각형비($(M_r/M_s)_{//}$)의 변화를 각각 나타내었다. $(M_r/M_s)_{//}$ 는 수직자화가 완전하게 이루어지면 원리적으로 수평방향의 잔류자화값이 0이 되기 때문에 면내각형비도 0이 된다. 따라서, 수평각형비가 작은 만큼 수직방향으로의 자화가 용이하다는 것을 의미한다. 그림 3으로부터 막 두께가 감소할수록 $\Delta\theta_{50}$ 이 악화되는 것을 알 수 있다. 이것은 박막 두께가 1000Å 이하로 갈수록 막내에 수평자화용이부분인 초기형성층(initial layer)의 비율이 상대적으로 높아지기 때문이다. 또한, 그림 4의 $(M_r/M_s)_{//}$ 의 변화에서도 알 수 있듯이, 막 두께가 감소할수록 막 면내 방향으로 자화가 용이하게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 c-축 배향성의 악화와 박막의 두께감소와 함께 박막의 형상이방성이 매우 커지기 때문에 나타난 결과라고 생각된다. 그림 5에 수직 보자력($H_{c\perp}$), 수평 보자력($H_{c\parallel}$)값의 막 두께 의존성을 나타내었다. 막 두께를 증가시키면 막 두께 100nm에 이르기까지는 수직 보자력($H_{c\perp}$)값이 급격히 증가하는 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 그러나, 300nm 이후부터는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 두께가 증가함에 따라 결정입경<D>이 커지면서 각 결정들이 주변결정에 서로 자기적인 영향을 미치게 됨에 따라 감소된 것으로 생각된다. 이것을 검증하기 위해서 막 두께에 따른 박막 표면의 결정입경<D> 및 면간격 $d_{(002)}$ 의 변화를 측정하였으며, kerr hysteresis loop 측정장치를 이용하여 막의 초기층, 표면층의 수직보자력($H_{c\perp}$)값을 측정하였다. 그림 6은 XRD 측정장치를 이용하여 측정된 결정입경<D>의 변화를 나타내고 있으며, 그림 7은 kerr hysteresis loop 측정장치와 VSM 장치를 이용해 측

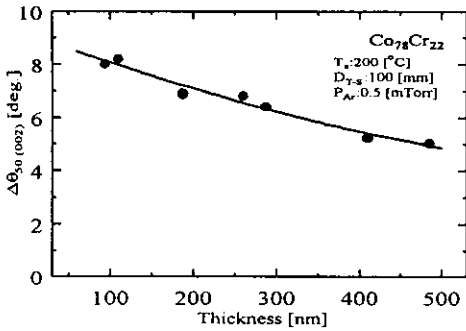


그림 3. $\Delta\theta_{50}$ 의 막 두께 의존성.
Fig. 3. Dependence of $\Delta\theta_{50}$ on film thickness.

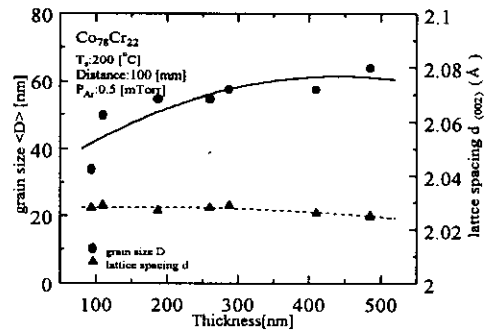


그림 6. 결정입경 및 면간격(002)의 막 두께 의존성.
Fig. 6 Dependence of grain size and lattice spacing(002) on film thickness

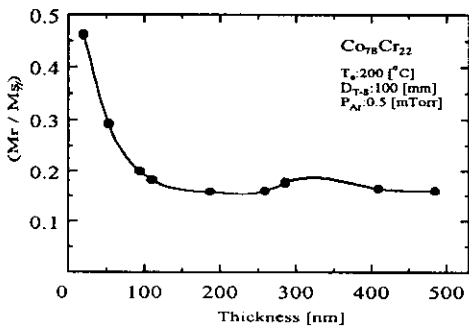


그림 4. 수평 각형비(M_r/M_s) $_{\parallel}$ 의 막 두께 의존성.
Fig. 4. Dependence of $(M_r/M_s)_{\parallel}$ on film thickness.

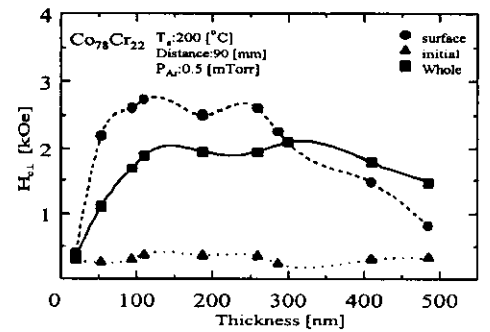


그림 7. 초기층, 표면층 및 막전체 보자력의 막 두께 의존성.
Fig. 7. Dependence of the coercivity of initial layer, surface and entire layer on film thickness.

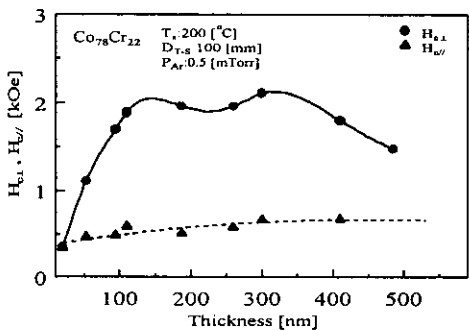


그림 5. 수직, 수평 보자력의 막 두께 의존성.
Fig. 5 Dependence of perpendicular and in-plane coercivity on film thickness.

정된 박막 초기층 및 표면층의 보자력값과 막 전체의 보자력값을 비교한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있는 것처럼 주변결정에 영향을 미치는 막 두께 300nm 이상부터 박막 표면층의 수직 보자력($H_{c\perp}$) 값이 급격히 감소하여, 막 전체 수직 보자력($H_{c\perp}$)값 보다 낮게 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 막 두께의 증가와 함께 결정입이 커짐에 따라 막표면에서부터 각 자구간의 자기적인 분리가 어려워진다는 것을 나타내고 있다[10].

한편, 막 두께 100~300nm 부근에서는 막 전체의 수직 보자력값이 약 20000e 정도로 매우 우수한 특성을 나타내고 있다. 또한, 수평 보자력($H_{c\parallel}$)값은

전 영역에 걸쳐서 비교적 낮게 유지되고 있다는 것을 확인할 수 있다. 따라서, FTS시스템으로 Co-Cr 자성박막을 제작하였을 경우, 현재 수직자기기록용 매체로서 적당한 100nm에서 뿐만 아니라, 박막의 두께가 300nm에 이르기 까지 우수한 자기적 특성을 나타낸다는 것을 확인하였다.

3.3 기판온도 변화에 따른 박막의 결정구조 및 자기특성변화

Co-Cr 박막은 기판온도 증가와 더불어 수직방향의 보자력값($H_{c\perp}$)이 급격히 증가하는 특징을 가지고 있다[11]. 이러한 현상은 Co-Cr bulk에서는 나타나지 않는 Co-Cr 박막 특유의 현상으로 알려져 있다. 그 원인에 대해서는 많은 논의가 있지만, 그 중에서 Co-rich와 Cr-rich 영역이 결정입내에 존재하기 때문이라는 견해가 가장 일반적이다[9]. 이러한 Co-rich, Cr-rich의 조성적인 분리(편석)는 기판온도에 크게 영향을 받게 되며, 편석정도가 강한 경우 높은 보자력값(H_c)을 얻을 수 있지만, 편석이 약한 경우는 보자력값(H_c)이 저하된다. 이처럼 기판온도는 Co-Cr 박막의 보자력을 제어하는 데 있어서 매우 중요한 스퍼터 조건이라고 할 수 있다. 그림 8은 반치폭 $\Delta\theta_{50}$ 의 기판온도 의존성을 나타내고 있다.

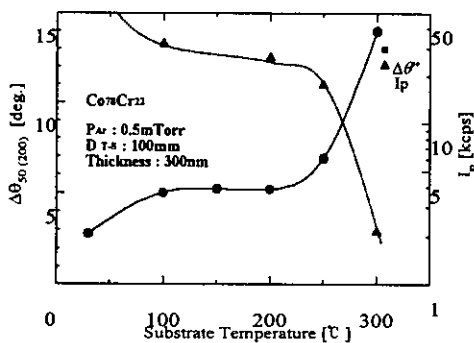


그림 8. $\Delta\theta_{50}$ 과 Intensity peak의 기판온도 의존성.
Fig. 8. Dependence of $\Delta\theta_{50}$ and Intensity peak on substrate temperature.

그래프에서 알 수 있는 것처럼, 막 두께 300nm, 상온에서 제작된 박막의 반치폭 ($\Delta\theta_{50}$)은 2.78° 로 매우 우수한 값을 나타내고 있지만, 기판온도 증가

와 더불어 $\Delta\theta_{50}$ 값도 같이 상승하여 c-축 배향성이 악화된다는 것을 알 수 있다. 그러나, 기판온도 200°C까지는 $\Delta\theta_{50}$ 이 5° 정도의 매우 우수한 c-축 배향도를 나타내고 있다. 이것은 스퍼터 원자가 0.5mTorr의 매우 낮은 가스압력에서 충분한 에너지를 가지고 기판에 도달하여 기판에서의 확산이 원활히 이루어지고, 또한, 대향타겟식 스퍼터법의 특징인 plasma-free 상태에서 박막이 증착되었기 때문에 고에너지 입자에 의한 박막의 손상이 거의 없기 때문이라고 생각된다. 그러나, 기판온도 250°C 이후에는 $\Delta\theta_{50}$ 값이 매우 급격한 기울기로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 기판온도 상승과 함께 기판의 팽창현상과, 결정구조의 불안정성에 기인된 현상으로 사료된다.

그림 9에 기판온도(T_s)에 따른 수직보자력($H_{c\perp}$)과 $\Delta\theta_{50}$ 의 변화를 함께 나타내었다. 수직보자력($H_{c\perp}$)은 기판온도 200°C까지 기판온도(T_s)의 증가와 더불어 계속적으로 증가하고 있다. 실온에서의 수직보자력($H_{c\perp}$)과 비교하였을 경우 200°C에서 약 1847Oe 정도 증가했다는 것을 확인할 수 있다. 그 이후의 기판온도에서는 수직보자력값($H_{c\perp}$)이 점차 감소하고 있다. 따라서 200°C 이상의 온도에서는 편석이 일어나지 않고 있음을 알 수 있다[10]. 그러나 T_s 가 200°C까지 수평보자력($H_{c\parallel}$)이 낮게 유지되면서 수직보자력($H_{c\perp}$)만 변화하고 있는데, 이것은 박막의 우수한 c-축 배향도에 근거한 결과라고 사료된다. 따라서 낮은 가스압력 (스퍼터 원자가 충분한 에너지를 가질 조건)에서 Co-Cr 박막을 제작하였을 경우, 기판온도를 조절하여 수직보자력($H_{c\perp}$)값만을 선택적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

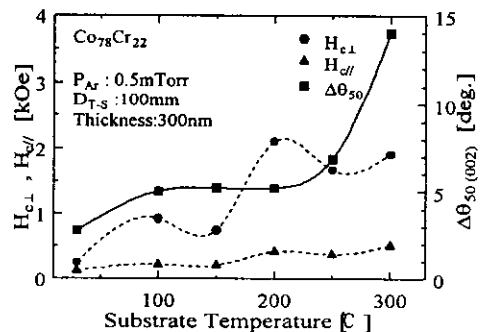


그림 9. 수직, 수평 보자력의 기판온도 의존성.
Fig. 9 Dependence of perpendicular and in-plane coercivity on substrate temperature.

그림 10에는 기판온도에 따른 수직이방성자계(H_k)의 변화를 나타내었다. 수직이방성자계값(H_k)이 200℃에서 7.892kOe의 매우 높은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 이 부근에서 수직이방성이 매우 강하다는 것을 나타내며, 이 기판온도에서 낮은 수평보자력(H_{c1})과 매우 높은 수직보자력(H_{c2})을 보이는 원인이 된다고 생각한다.

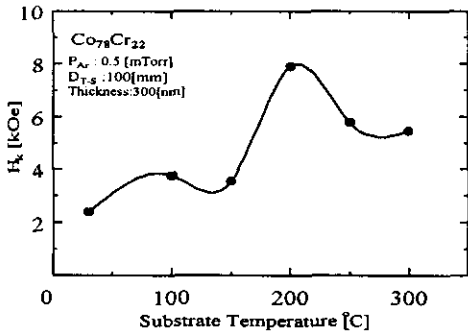


그림 10. 수직이방성자계(H_k)의 기판온도 의존성.
Fig. 10. Dependence of perpendicular anisotropy field(H_k) on substrate temperature.

5. 결론

γ -전자의 효율적인 구속으로 0.1mTorr 이하에서 박막증착이 가능할 뿐만 아니라 박막이 증착되는 기판이 플라즈마로부터 손상을 받지 않는 대향타겟식 스퍼터장치를 이용하여 Co-Cr 박막을 제작한 후박막제작조건에 따른 자기적 특성의 변화를 결정화적인 변화와 함께 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

[1] 가스압력(P_{Ar})이 낮아질수록 $\Delta\theta_{50}$ 이 양호해지는 것을 확인하였다. 이것은 낮은 가스압력에서 길어진 스퍼터 원자의 자유행정거리(m.f.p.)로 인해 아르곤 입자와의 충돌 횟수 감소로 충분한 에너지를 소유한 채 기판에 도달하여 기판에서 확산이 활발히 일어났기 때문이라고 사료된다. 또한, 양호해진 c-축 배향성을 가진 박막에서 수직보자력(H_{c2})값이 향상된다는 것을 확인하였다. 1.5m Torr 이하에서 $\Delta\theta_{50}$ 이 약 5° 정도의 우수한 c-축 배향도를 나타내었으며, 이때, 수직 보자력값(H_{c2})도 약 1900Oe로 높게 나타났다는 것을 알 수 있었다.

[2] 두께 100~300nm 영역의 넓은 범위에서 2000Oe 정도의 높은 수직 보자력(H_{c2})값을 나타내었다. 그러나, 300nm 이상이 되면 결정입경<D>의 확대로 인해, 각 자구들 간에 자기적인 영향을 미치게 됨에 따라 보자력값이 감소한다는 것을 알 수 있었다. 또한, 극박막영역에서는 막 초기형성층의 영향이 증대되어 $\Delta\theta_{50}$ 의 증가와 더불어, c-축 배향도가 약화되는 것을 알 수 있었다.

[3] 기판온도 200℃에서 증착된 막에서도 $\Delta\theta_{50}$ 이 5° 정도로 우수한 c-축 배향도를 나타내는 것을 확인하였으며, 기판온도 200℃ 부근에서 Cr 편석이 일어나 수직 보자력(H_{c2})값이 크게 상승하는 것을 알 수 있었다.

상기 결과를 통하여 수직자기기록매체용 Co-Cr 자성박막을 제작할 경우, 1.5mTorr 이하의 낮은 아르곤 가스압력과 200℃부근의 기판온도에서 박막을 제작하는 것이 바람직하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 대학기초연구지원사업지원(97,98)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 스팩타による 薄膜製作技術 と 各種應用の實際, 綜合技術資料集, 經營開發センタ出版部, 第2章, 1986.
- [2] S. Iwasaki and K. Honda, J. National Technic-al Report, 28, 996, 1982.
- [3] S. Iwasaki, K. Takemura, IEEE Trans. Magn., 11, 1173, 1975.
- [4] S. Iwasaki and K. Ouchi, IEEE Trans. Magn., 15, 1456, 1978.
- [5] Y. Niimura, S. Nakagawa, Y. Kitamoto and M. Naoe, J. Appl. Phys., 61, 3152, 1987.
- [6] Y. Kitamoto, M.Abe and Masahiko Naoe IEEE Inter. Magn. Conference, (INTERMAG 96'), AE-4, 1996.
- [7] S.H. Kong, M.J. Keum, S.M. Choi, I.H Son, S. Nakagawa, M. Naoe and K.H. Kim, Journal of KIEEME, Vol.11, No.5, 418, 1998.
- [8] M.J. Keum, S.H Kong, I.H Son, C.H Ka, and K.H. Kim, K Magn. Society spring conference,

1999.

- [9]. 中川 茂樹：東京工業大學 博士論文, 1993.
- [10]. Y.Maeda and M.Asahi, J. Appl. Phys., 61, 1972, 1987.
- [11]. S.Iwasaki and K.Ouchi, IEEE Trans. Magn., 14, 849, 1978.