

대향타겟스퍼터링으로 제작된 박막의 결정 배향성

김경환, 손인환*, 송기봉**, 新村嘉朗***, 中川茂樹****, 直江正彦****

경원대학교 전기·전자공학부, 광운대학교 전기공학과*, 코오롱중앙연구소**,
住友3M-日本***, 東京工業大學 電子物理工學科****

Crystal Orientation of Thin Films Prepared by Facing Targets Sputtering

K. H. Kim, I. H. Son*, K. B. Song**, Y. Niimura***,
S. Nakagawa****, M. Naoe****

Dept. of Electrical Eng., Kyungwon Univ., Kyunggi-do 461-701

*Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ., Seoul 139-701

**KOLON Group Central Research Institute, Kyunggi-do 449-910

Sumitomo 3M Ltd. Japan, *Dept. of Phys. Electronics,
Tokyo Institute of Technology, Japan 152

Abstract

The Facing Targets Sputtering (FTS) system has several advantages for preparing films over a wide range of working gas pressure on plasma-free substrates. Co-Cr thin films seem to be one of the most promising media for perpendicular magnetic recording systems. In this study, the capabilities of the system for depositing Co-Cr films have been investigated. Under various Ar gas pressure, films with morphologically dense microstructure and good c-axis orientation were deposited, even when the incident angle ϕ_s of sputtered particles to the film plane was below about 50° . This may imply that the shadowing effect by oblique incidence of particle can be compensated by rapid surface diffusion owing to the high kinetic energy of particles arriving at the growing film. It has been confirmed that the FTS system is very useful for preparing Co-Cr thin films recording media.

1. 서 론

Co-Cr 박막은 초고밀도 수직자기기록(perpendicular magnetic recording) 시스템에 있어서 가장 유망한 매체 중의 하나로서 현재 선진국에서는 많은 연구가 진행되고 있다¹⁾. Co-Cr 박막의 수직

자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)은 막면에 수직인 hcp(hexagonal close packed) 결정의 c-축 배향에 의한 자기결정이방성(magnetic crystal anisotropy)에 의하여 나타난다고 알려져 왔다. c-축 배향성은 박막의 자기적 특성 뿐만 아니라 수직자기기록 매체로서의 성능에 있

어서 매우 중요하다. Co-Cr 층의 두께는 약 0.5 μm 정도였으나, 지난 몇 년간의 연구에서, 우수한 c-축 배향성을 갖는 막 두께가 더욱 얇은 Co-Cr 박막이 고밀도기록에 있어서 더욱 적당하다는 사실이 알려졌다^{2, 3)}.

스퍼터링에 의하여 증착된 Co-Cr 박막에서 hcp 결정의 c-축 배향성은 제작 조건에 매우 민감하다. 다양한 요인 중에서, 운동에너지와 도달 원자의 방향(입사경사)은 우수하게 c-축으로 배향된 Co-Cr 박막을 얻는데 있어서 지배적인 요인이라고 생각되어왔다. 본 연구에서는, 박막의 결정 배향성에 미치는 이들 두가지 요인의 영향을 낮은 동작가스압력으로 비교적 높은 증착율을 갖는 새로운 스퍼터링 시스템인 플라즈마-프리 대향타겟스퍼터링 시스템(Facing Targets Sputtering system: FTS)⁴⁾을 사용하여 조사하였다.

실험 결과, 우수한 C-축 배향성을 갖는 Co-Cr 박막 제작에 있어서 기본적인 제작공정의 요구조건 중, 박 증착 동안의 스퍼터원자의 운동에너지와 도달원자의 입사경사는 제작된 막의 결정성을 지배하는 요인이라는 사실을 확인하였다.

2. 실험방법

2.1 대향타겟스퍼터링 시스템

그림 1은 FTS 시스템의 장치 구조와 플라즈마 형성의 모식도이다. 한 쌍의 대향 타겟은 음극이며, 쉴드 링과 챔버 벽은 양극이다. 기판 홀더는 양극에 접속하지 않은 부유전위에 있다. 자계 H_0 는 각각의 타겟 뒷면에 놓인 환상의 원통 자석에 의하여 타겟면에 수직으로 인가된다. H_0 는 두개의 타겟 사이의 공간에 플라즈마를 형성한다. 이 같은 배치는 박막 증착율을 증가시키는 작용을 하는 스퍼터링 가스의 이온화를 촉진시킨다. 기판과 성장 박막에 미치는 γ 전자와 자성체 타겟에서 주로 방출되는 음이온과 같은 고에너지 입자들의 물리적인 충격은

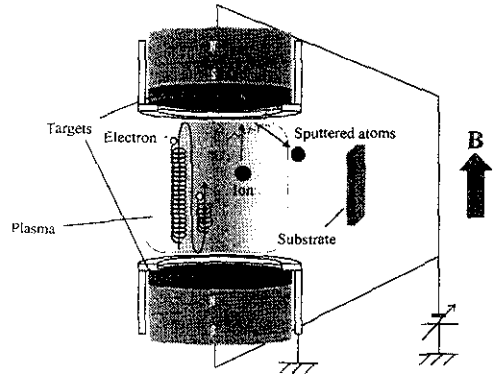


Fig. 1 Schematic diagram of facing targets sputtering (FTS) apparatus used in this study

기판이 타겟 면에 수직으로 플라즈마의 영향이 없는 곳에 위치하기 때문에 억제된다. 따라서, 성장 박막의 온도가 비교적 낮게 유지된다⁴⁾.

2.2 박막제작 및 실험방법

본 실험에서는 직경 100mm의 $\text{Co}_{83}\text{Cr}_{17}$ 디스크형 합금을 타겟으로 사용하여, background 압력은 $3 \times 10^{-4} \text{ mTorr}$ 이하로, 스퍼터가스는 99.9%의 아르곤 가스를 사용하여, slide glass 기판 위에 Co-Cr 박막을 증착하였다. 박막의 기본적인 제작조건은 아래 표 1과 같다.

입력 전력 P_{in} 은 500W로 일정하게 유지하고, 기

Table 1. The sputtering conditions of thin film

| 타겟조성 | $\text{Co}_{83}\text{Cr}_{17}$ |
|--------------|----------------------------------|
| 도달진공도 P_b | $3 \times 10^{-4} \text{ mTorr}$ |
| 스퍼터가스 | Ar |
| 기판 | slide glass |
| 인가전압 V_0 | 380~1000 V |
| 방전전류 I_d | 0.01~0.35 A |
| 가스압 P_{Ar} | 0.145~7.25 mTorr |
| 기판온도 T_s | R.T |
| 두께 δ | 250 nm |
| 증착속도 R_d | 19~21 nm/min |

판온도 T_s 는 실온으로 유지하였다. 우수한 c-축 배향성을 갖는 박막을 제작하고자, 본 실험에서는 기판을 그림 2와 같이 장치하여, 막 증착시 c-축 배향성에 미치는 운동에너지 및 입사경사각의 영향을 조사하였다.

여기서 L 과 ϕ_x 는 기판과 두 타겟 사이의 중심선과의 거리와 수직 위치에 대한 기판 회전 각도를 나타낸다. Co-Cr 결정의 c-축 배향 분산각 $\Delta\theta_{50}$ 은 XRD에 의해 얻어진 h.c.p.(002)의 rocking curve의 half width value를 기초로 하여 평가하였다. 또한, 박막 면에 수직인 c-축의 경사도 $\Delta\theta_{cont}$ 는 rocking curve의 피크 이동으로 평가하였다.

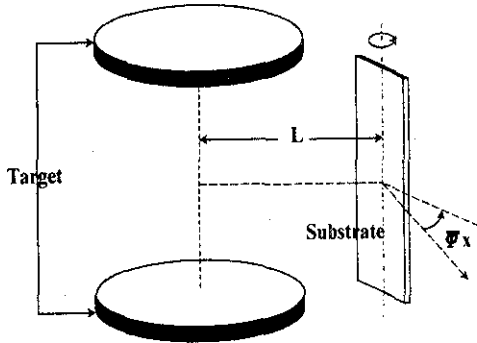


Fig. 2 Substrate location (L and ϕ_x) used in this study

3. 결과 및 고찰

3.1 결정 배향성에 미치는 운동에너지 효과

그림 3은 $\Delta\theta_{50}$ 과 기판 위치 L 사이의 관계를 나타낸다. L 은 대향 타겟의 중심점을 통과한 선과 기판 표면 사이의 거리이다. 이전의 연구에서, 제작된 모든 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 넓은 범위의 P_{Ar} 에 대하여 그리고 $1.45mTorr$ 의 동작가스압력 P_{Ar} 에서의 막 증착율에 독립적이라는 것이 확인, 보고되었으므로⁵⁾, Co-Cr 박막을 500[W]의 일정한 입력 전력 P_{in} 에서 스퍼터링 시간을 변화시켜 약 2500Å

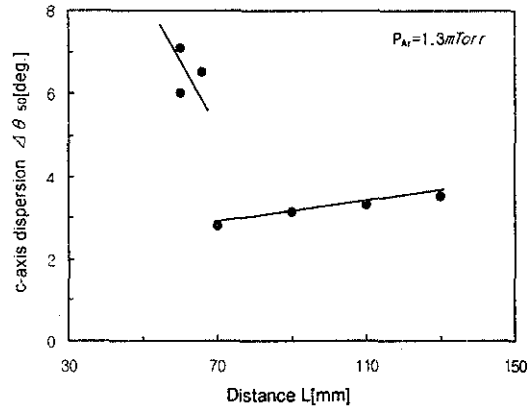


Fig. 3 Dependence of c-axis dispersion on distance L

의 동일한 막두께로 증착하였다.

FTS 시스템에서, 고에너지 입자의 대부분은 대향 타겟 사이의 공간에 갇힐 것이다. 결과적으로, 플라즈마 바깥쪽 기판에 증착된 막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 매우 작고 L 에 다소 의존한다. 기판이 플라즈마 경계에 가깝게 위치되어 있을 때, L 은 본 연구에서 약 60mm 정도이다. 이 거리에서 제작된 막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 표면에서의 고에너지 입자 충돌로 인하여 매우 크다.

스퍼터된 원자의 에너지 분포는 대략 10~40eV의 운동에너지를 갖는 Maxwell 분포이다. 이러한 값들을 플라즈마 내의 대전 입자와 비교하면 매우 작지만 진공증착 공정에서 보다는 50-100배 정도 크다.

$\Delta\theta_{50}$ 이 스퍼터 동작가스압력 P_{Ar} 에 높은 의존성을 갖는다는 연구 결과를 이전 논문을 통하여 보고한 바 있다^{6, 7)}. 스퍼터 원자의 에너지는 기판 표면에 도착하기 전에 아르곤 가스 원자와의 충돌에 의하여 대개의 경우 감소된다. 이는 성장막 표면에서의 도달 원자 에너지가 막의 hcp 결정의 c-축 배향성을 조정하는 중요한 요인의 하나라는 사실을 의미한다. 본 실험에서는 막을 다양한 P_{Ar} 과 L 로 제작하여, 제작된 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 평가하였다.

결과를 각각 그림 4(1mTorr)와 그림 5(0.1m

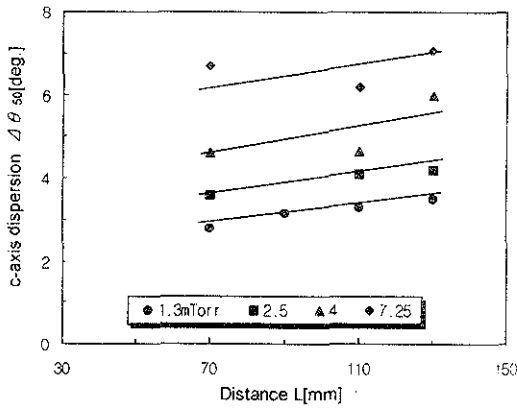


Fig. 4 Dependence of c-axis dispersion on distance L and P_{Ar} of 1mTorr ranges

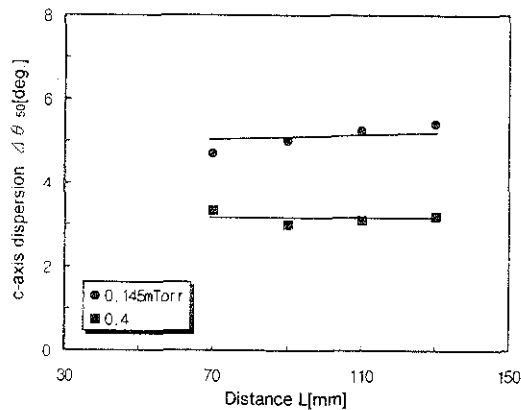


Fig. 5 Dependence of c-axis dispersion on distance L and P_{Ar} of 0.1mTorr ranges

Torr)에 나타내었다. 막을 다양한 P_{Ar} 과 L에서 증착하면, 막 표면에 도달하기 까지의 스퍼터 원자의 평균 충돌수는 P_{Ar} 과 L값에 의존하여 변화한다. 평균 충돌수 n은

$$n = L/\lambda \quad (1)$$

이며, 주어진 스퍼터 원자의 평균자유행정에 의하여 결정된다. 평균자유행정은 아르곤 가스 압력 P_{Ar} 에 의하여 결정된다. 예를 들어, 스퍼터된 Co 원

자는 P_{Ar} 이 1mTorr 일 때 약 70mm 정도이다. 이는 그림 5에서 보여준 증착 조건에서, n의 대부분이 1보다 작다는 것을 의미한다.

n은 그림 4와 5에 나타낸 P_{Ar} 과 L의 함수로서 방정식 (1)에 의해 계산 가능하며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. $\Delta\theta_{50}$ 은 n이 20에서 약 2까지의 범위에서는 감소하며 2에서 0.4까지의 범위에서는 n에 대해 일정하다. 약 0.4 이하의 n에 대한 $\Delta\theta_{50}$ 의 급격한 증가는 500W의 입력전력 P_{in} 을 유지하기 위해서는 더높은 방전전압 V_d 가 인가되어야 한다는 사실에 기인한다고 생각되며, 이는 이전에 보고된 바와 같이⁶⁾, 0.15mTorr의 낮은 P_{Ar} 에서도 1000Å/min의 증착율을 갖는다는 사실과 맥락을 같이하는 것으로 생각된다.

그림 7은 $\Delta\theta_{50}$ 에 대한 V_d 의 영향을 나타낸다. $\Delta\theta_{50}$ 은 P_{in} 과 증착율에 무관하므로, 그림 7에 나타난 바와 같이, $\Delta\theta_{50}$ 은 일정하게 인가된 전압 범위를 초과하는 V_d 에 의해서 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

이 결과, 우수한 c-축 배향을 갖는 막은 평균 충돌수 n이 작게 유지될 때 증착 될 수 있다는 사실을 보여주고 있다. 즉, 이 연구에서 사용된 PTS는 거리 L이 플라즈마 충격에 의한 막의 결정 배향성

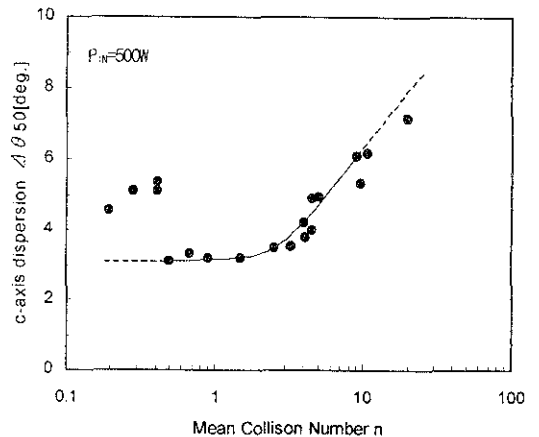


Fig. 6 Dependence of c-axis dispersion on mean collision number n

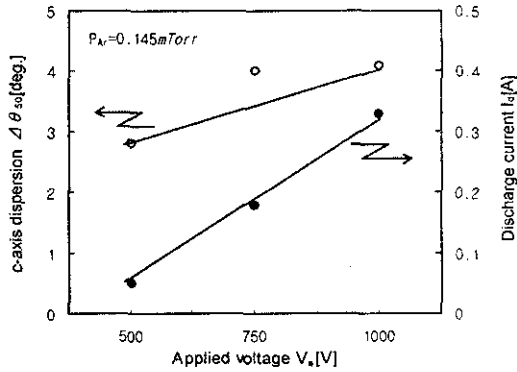


Fig. 7 Effect of applied voltage on c-axis dispersion

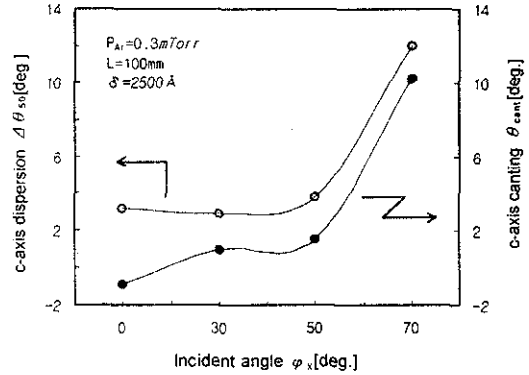


Fig. 8 Dependence of $\Delta\theta_{50}$ and θ_{cant} on ϕ_x at P_{Ar} of 0.3 Torr

에 악화를 막기 위해 적어도 70mm 이상, P_{Ar} 은 1 또는 2보다 작게 n을 유지하기 위해 약 1 Torr 보다 낮은 압력으로 유지되어야 한다고 사료된다.

3. 2 도달원자의 입사각 효과

FTS의 경우에 기판은 일반적으로 그림 1에서 나타난 것처럼 타겟 평판에 수직으로 장착되고, 플라즈마-프리 스퍼터링을 실현시키기 위해 플라즈마의 바깥쪽에 기판을 위치한다. 이것은 플라즈마가 자체에 의해서 대향타겟 사이의 공간에 적당하게 감금되기 때문이다, 그러므로, 위와 아래의 타겟으로부터 스퍼터된 입자가 도달가능하며, 기판 위에 증착된다. 기판의 위치각을 변화시켜 도달원자의 입사각 효과를 조사하였다.

그림 8, 9, 10은 결정 배향에 미치는 입사각 ϕ_x 의 효과를 동작가스압력을 변화시켜 조사한 결과를 나타내고 있다. 거리 L은 100mm로 고정하여, 두께 2500Å의 막을 시편으로 제작하였다. 그림 8, 9, 10에 나타난 바와 같이, 비교적 낮은 아르곤 가스 압력, 즉 0.3과 0.8 Torr에서 스퍼터된 원자는 아르곤 입자와 충돌에 의한 산란이 적을 것으로 생각된다. 그림 8은 P_{Ar} 0.3 Torr에서 $\Delta\theta_{50}$ 과 θ_{cant} 의 ϕ_x 의존성을 나타내고 있다. $\Delta\theta_{50}$ 은 30°

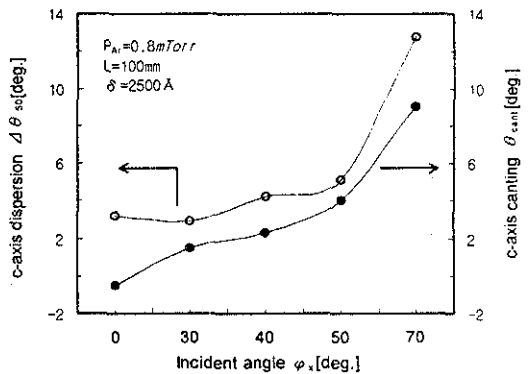


Fig. 9 Dependence of $\Delta\theta_{50}$ and θ_{cant} on ϕ_x at P_{Ar} of 0.8 Torr

이하의 ϕ_x 에서는 거의 일정하지만, 70° 이상으로 ϕ_x 가 증가하면 급격하게 증가한다. 또한, θ_{cant} 는 ϕ_x 의 증가와 함께 단조롭게 증가한 후, 급격한 증가는 70°의 ϕ_x 에서 나타난다. 그림 9는 아르곤 가스 압력만을 변화시킨 동일한 증착 조건에서 제작된 막의 $\Delta\theta_{50}$ 과 θ_{cant} 의 ϕ_x 의존성을 보여준다. P_{Ar} 은 이 실험에서 0.8 Torr로 증가시켰다.

그 결과, 0.3 Torr에서 나타난 결과와 거의 유사한 것처럼 보이지만, 좀 더 명확한 ϕ_x 의존성이 나타난다. 반면에 그림 10은 2.2 Torr에서 제작된 막에 있어서 ϕ_x 의존성을 나타낸다. ϕ_x 에 대한

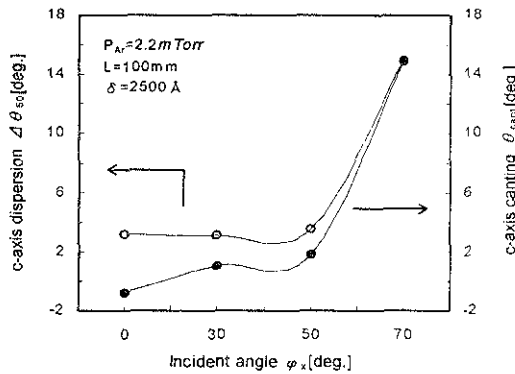


Fig. 10 Dependence of $\Delta\theta_{sc}$ and θ_{cant} on ϕ_x at P_{Ar} of 2.2mTorr

θ_{cant} 의 의존성은 0.3mTorr의 P_{Ar} 의 것과 유사하며, 0.3mTorr의 P_{Ar} 에서 제작된 막에 비하면 더 급격한 증가를 나타내고 있다. 이 결과는 ϕ_x 가 어떤 임계각보다 작은 경우, 막의 결정 배향성이 입사각 ϕ_x 에 의존하지 않는다는 것을 나타낸다. 이것은 입자의 불명확한 입사에 의한 shadowing 효과는 낮은 P_{Ar} 영역에서 충분히 큰 표면 확산에 의해서 보상될 수 있기 때문이다.

5. 결 론

대향타겟스퍼터링으로 제작된 Co-Cr 박막의 자기결정방향을 지배하는 c-축 배향성에 미치는 도달원자의 운동에너지 및 입사경사각 효과에 관한 본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 평균충돌수 n 이 작은 값으로 유지될 때 c-축 배향성이 우수한 박막의 제작이 가능하다. 즉, FTS의 타겟/기판 간 거리 L 은 플라즈마 충돌에 의한 막의 결정 배향성 악화를 피하기 위해서는 적어도 70mm 이상으로 유지하여야 하며, 스퍼터 가스압력 P_{Ar} 은 n 을 작은 값으로 유지하기 위해서

1mTorr 이하의 낮은 값으로 유지해야한다고 생각된다.

2) 우수한 c-축 배향성을 갖는 Co-Cr 박막은, 낮은 동작가스압력에서, 입사경사각 50° 이하인 경우에 FTS 시스템을 이용하여 얻을 수 있음을 확인하였다. 이는 FTS 시스템이 넓은 동작가스압력에서 안정한 증착이 가능하기 때문이라고 생각된다.

후 기

이 논문은 1997년도 정보통신연구관리단 대학 기초연구지원사업에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. Iwasaki and K. Ouchi : IEEE Trans. Magn., 14 (1978).
2. M. Futamoto, Y. Honda, H.kakibayashi and K. Yoshida : IEEE Trans. on Magn., MAG-21, p. 1426 (1985).
3. Y. Nakamura and S. Iwasaki : Proceeding of the Seminar by Magnetic Society of Japan, 7 (1985).
4. R. Sugita : IEEE Trans. Magn., MAG-20, 687 (1986).
5. Y. Niimura, S. Nakagawa and M. Naoe : IEEE Trans. on Magn., MAG-22, 1164 (1986).
6. Y. Niimura, S. Nakagawa and M. Naoe : Materials Sci. & Eng., 98, 53-56 (1988).
7. 김경환, 손인환 외 5인 : "대향타겟스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작", 전기전자재료학회지, Vol. 11, No. 5, pp. 418-422 (1998).