

## 대향타겟스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작

11-5-13

### Preparation of Co-Cr Thin Films by Facing Targets Sputtering

김경환\*, 금민중\*, 공석현\*, 손인환\*\*, 최성민\*\*, 中川茂樹\*\*\*, 直江正彦\*\*\*

(Kyung-Hwan Kim, Min-Jong Keum, Sok-Hyun Kong, In-Hwan Son, Sung-Min Choi, S. Nakagawa, M.Naoe)

#### Abstract

The Co-Cr films are one of the most suitable candidates for perpendicular magnetic recording media. The facing targets sputtering(FTS) system has a advantage of preparing films over a wide range of working gas pressure on plasma-free substrates. In this study, we investigated the possibility of employing FTS system for depositing Co-Cr films. The Co-Cr thin films were deposited with various sputter gas pressure( $P_{Ar}$ , 0.1~10mTorr) by using FTS apparatus at temperature of 40°C and 220°C, respectively. Crystallographic and magnetic characteristics were evaluated by x-ray diffractometry (XRD) and vibrating sample magnetometer(VSM), respectively. Under argon gas pressure at 0.1mTorr, films with morphologically dense microstructure, good c-axis orientation and higher coercivity were obtained. It has been confirmed that the FTS system is very useful for preparing Co-Cr thin film recording media.

**Key Words(중요용어)** : Facing Targets Sputtering(대향타겟스퍼터링), Perpendicular Magnetic Recording Media(수직자기기록매체), Co-Cr Thin Films(Co-Cr박막), C-axis Orientation(C-축 배향), Coercivity(보자력)

#### 1. 서 론

스퍼터 현상을 이용한 박막 형성기술은 고용점의 금속이나 산화물 등의 화합물을 시작으로 거의 모든 물질의 박막화에 이용되어 왔다. 더욱이, 스퍼터링은 장시간의 연속운전이나 막조성의 제어, 대면적 기관상의 박막 형성 등이 용이하며, 또한 형성된 박막과 기관과의 강한 부착력 등, 여러가지 우수한 특징을 갖는다<sup>1)</sup>. 그러나 스퍼터법의 결점인 낮은 증착속도, 박막 형성 중의 기관온도의 급격한 상승, 높은 분위기 가스압력에서 박막 형성이라는 문제점을 극복하고, 높은 증착속도, 낮은 기관 온도 및 낮은 가

스압력에서의 스퍼터링의 실현을 위한 연구가 계속 진행 중에 있으며, 또한 실제 생산 공정에도 여러 방식의 프로세스가 사용되고 있다.

지금까지 광자기기록을 제외한 거의 모든 자기기록 시스템에서 사용되고 있는 면내자기기록 방식(수평)은 매체의 면내방향으로 자화를 시키기 때문에 매체의 고밀도화에 한계가 발생하고 있다<sup>2)</sup>. 따라서 본 연구에서는 기존의 면내자기기록방식과는 다른, 수직방향으로 자화시키는 수직자기기록 방식의 자기기록매체로서 사용 가능한 자성박막을 제작하고자 한다. Cr의 조성이 15% 이상인 Co-Cr 박막은 초고밀도 수직자기기록 시스템에 있어서 가장 유망한 매체 중의 하나로서 광범위하게 연구되어왔다<sup>3)</sup>. 많은 종류의 박막들이 스퍼터링과 진공 증착과 같은 프로세스에 의하여 제작된다. 그러나, 아직까지는 박막형성 중 발생하는 결함 때문에 매체로서 만족할 만한 특성을 갖는 수직자기기록용 박막 제작 방법은 개발되지 않았다. 따라서, 수직자기 이방성은 육방조밀격자(hexagonal close packed lattice; h.c.p)인 Co 결정

\* : 경원대학교 공대 전기전자공학부  
(성남시 수정구 복정동 산 65, Fax: 0342-750-5267  
E-mail: khkim@main.kyungwon.ac.kr)

\*\* : 광운대학교 공대 전기공학과

\*\*\* : 동경공업대학 전자물리학과

1998년 2월 24일 접수, 1998년 4월 16일 심사완료

의 c-축 배향성에 기인하므로, 막면에 수직의 c-축으로 배향된 h.c.p. 결정의 높은 비율을 갖는 Co-Cr 기록매체가 매우 중요하다. 박막에서 c-축 배향성은 Ar 가스압력에 매우 민감하다 ; 낮은 아르곤 가스압력은 좀더 우수한 c-축 배향성의 결과를 이끌어 내며, 높은 Ar 가스압력은 스퍼터된 입자들의 운동에너지를 감소시키는 역할을 하여, 결국 박막 내에 h.c.p. 상안에 면심육방격자(face centered cubic lattice:f.c.c) 상의 혼합이 일어난다고 보고된 바 있다<sup>4)</sup>. 따라서,  $\gamma$  전자, 음이온 그리고 타겟으로부터 반발된 원자와 같은 고에너지 입자들에 의한 박막 성장의 물리적 충격은 c-축 배향에 악영향을 끼친다고 생각된다. 본 연구에서는, 박막 증착에서의 스퍼터가스압력의 변화에 따른 특성변화와 플라즈마 충격 효과와 Ar 가스압력의 변화에 따른 Co-Cr 박막의 미세구조 특성과 자기적 특성, 결정성에 미치는 경사입사에 대하여 기판이 플라즈마-프리 상태를 유지하는 FTS 시스템을 사용하여 연구하였다.

2. FTS 시스템의 장치 구조

그림 1은 FTS 시스템의 장치 구조 개략도이다. 한 쌍의 대향 타겟이 음극이며, 쉴드 링과 챔버 벽이 양극이다. 기판 홀더는 양극에 접속하지 않은 부유 전위에 있다. 자계  $H_p$ 는 각각의 타겟 뒤면에 놓인 한쌍의 원통 자석에 의하여 타겟면에 수직으로 인가된다.  $H_p$ 는 두개의 타겟 사이의 공간내에 플라즈마를 형성한다. 이같은 배치는 박막 증착율을 증가시키는 작용을 하는 스퍼터링 가스의 이온화를 촉진시킨다. 기판과 성장 박막에 미치는  $\gamma$  전자와 음

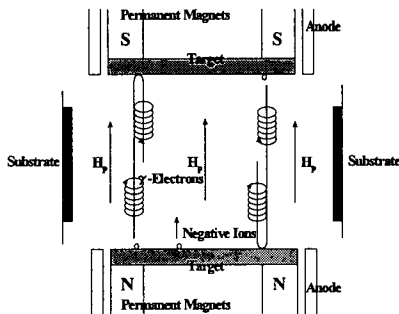


그림 1. FTS 시스템의 장치 구조 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram confining mechanism of the facing targets sputtering system

이온과 같은 고에너지 입자들의 물리적인 충격은 기판이 타겟 면에 수직으로 플라즈마 밖에 위치하기 때문에 억제된다. 결과적으로, 성장 박막의 온도가 비교적 낮게 유지된다<sup>5)</sup>.

3. 실험 방법

본 실험에서는 직경 100mm의  $Co_{83}Cr_{17}$  디스크형 합금을 타겟으로 사용하였으며, 스퍼터가스로서 99.9%의 아르곤 가스를 사용하여, slide glass 기판에 막을 증착시켰다. 박막의 기본적인 제작조건은 아래 표1과 같다.

Ar 가스압력의존성을 알아보기 위한 Co-Cr 박막의 제작조건을 표 2에 나타내었다. 기판온도는 40℃와 220℃로서 각각의 결정성 및 자기적 특성의 Ar 가스압력 의존성을 조사하였다.

표 1. 기본적인 박막의 스퍼터링 조건

Table 1. The basic sputtering conditions of thin film

타겟조성	$Co_{83}Cr_{17}$
도달진공도 $P_b$	$1.0 \times 10^{-6}$ Torr
동작가스 (스퍼터가스)	Ar
기판	slide glass

표 2. Ar 가스압력 의존성에 대한 박막의 제작조건  
Table 2. The preparation conditions of thin film as a function of dependence of the Ar gas pressure

타겟조성	$Co_{83}Cr_{17}$
방전전압 $V_a$	380~550 V
방전전류 $I_d$	0.5 A
Ar 가스압력 $P_{Ar}$	0.1~10mTorr
기판온도 $T_s$	40℃, 220℃
두께 $\delta$	200nm
증착속도 $R_d$	19~21nm/min

우수한 c축 배향성을 갖는 박막을 제작하고자, 본 실험에서는 기판을 그림 2와 같이 장치하여, 막 증착시 c-축 배향성에 미치는 기판거리 및 입사경사각의 영향을 고찰하였다. 여기서  $L$ 과  $\psi_x$ 는 기판과 두 타겟 사이의 중심선과의 거리와 각각의 수직 위치에 대한 기판 회전 각도를 나타낸다.

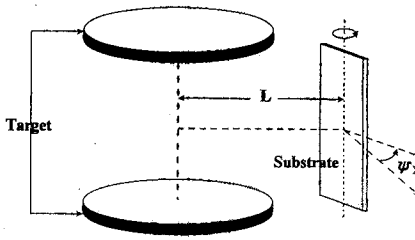


그림 2. 본 연구에서 사용된 기관 위치(L과  $\psi_x$ )  
Fig. 2. Substrate location(L and  $\psi_x$ ) used in this work

Co-Cr 결정의 c-축 분산각,  $\Delta\theta_{50}$ 는 XRD에 의해 얻어진 h.c.p.(002) 평판에 의한 rocking curve의 half-height width 값을 측정하여 평가하였다. 또한, 박막면에 수직인 c-축의 경사도  $\theta_{cant}$ 는 rocking curve (002)의 피크 이동으로 평가하였다.

#### 4. 결과 및 검토

##### 4.1 제작된 박막의 결정학적 특성

우선, 박막의 결정학적인 특성에 미치는 플라즈마 충격의 효과를 조사하였다. 그림 3은  $P_{Ar}=1.3mTorr$ 의 아르곤 가스압력에서 거리 L에 미치는  $\Delta\theta_{50}$ 의 의존성을 나타낸다. 박막의  $\Delta\theta_{50}$ 은  $L=70mm$ 의 최소값에 이르는 값으로 L이 감소함에 따라 작아진다.  $L > 70mm$ 에서의  $\Delta\theta_{50}$ 의 증가는 기관과 타겟 사이의 거리가 더 커짐에 따른 Ar 가스 입자의 충돌에 의하여 증착된 원자들의 온도상승에 기인한다.  $L < 70mm$ 에 있어서의  $\Delta\theta_{50}$ 의 변화는 기관이 방전 플라즈마에 직접적으로 노출된 경우에 나타나게 되는 성장 박막에 대한 고에너지 입자들의 물리적인 충격에 의하여 발생한다. 이는 FTS 시스템이 고밀도의 플라즈마 영역과 플라즈마-프리 영역 사이의 뚜렷한 경계를 갖는다는 것을 나타낸다고 사료된다. 따라서, FTS 시스템은 본 연구에서  $L > 70mm$ 인 경우에 플라즈마-프리 상태의 기관 유지가 가능함을 확인하였다.

박막의 결정학적 및 형태학적 미세구조에 미치는 경사 입사 효과를 스퍼터가스압력에 관하여 조사하였다. 박막은 입사각  $\psi_x$ 를 변화시켜 증착하였다. 그림 4는  $P_{Ar}=1.3mTorr$ 에서 박막두께 200nm인 시료의  $\Delta\theta_{50}$ 와  $\theta_{cant}$ 의  $\psi_x$ 의 의존성을 나타낸다.  $\Delta\theta_{50}$ 은  $\psi_x > 50^\circ$ 인 경우는 급격하게 증가하지만,  $\psi_x < 50^\circ$ 인 경우 거의 일정하다. 그러나,  $\theta_{cant}$ 는  $\psi_x < 50^\circ$ 인 경우에 있어서는 작다.  $\psi_x > 50^\circ$ 인 경우에 있어서,  $\theta$

는 약  $10^\circ$  증가한다. 이 결과는 c-축 배향과 결정도의 붕괴를 일으키는 임계입사경사각이 약  $60^\circ$ 라는 사실을 나타내고 있다.

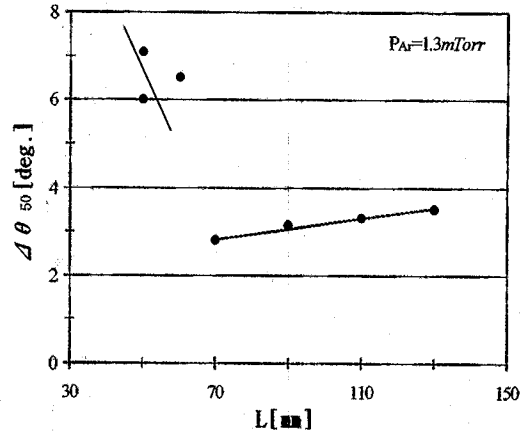


그림 3.  $P_{Ar}=1.3mTorr$ 에서  $\Delta\theta_{50}$ 의 L 의존성  
Fig. 3. L dependence of  $\Delta\theta_{50}$  at  $P_{Ar}=1.3mTorr$

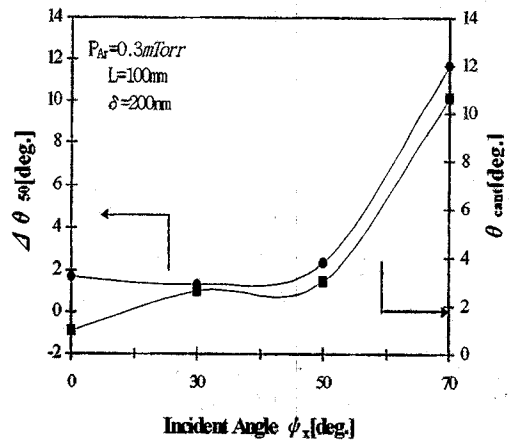


그림 4.  $\Delta\theta_{50}$ 와  $\theta_{cant}$ 의  $\psi_x$  의존성  
Fig. 4.  $\Delta\theta_{50}$  and  $\theta_{cant}$  dependence of  $\psi_x$

##### 4.2 Ar 가스압력 의존성

박막의 결정성과 자기적 특성에 미치는 Ar 가스압력의 효과를 조사하였다. 시료 박막들을  $P_{Ar}$ 을 0.1~1mTorr 사이에서 변화시켜 slide glass 기관에 제작하였다.

그림 5에 기관온도  $T_s=220^\circ C$ 에서 Ar 가스압력  $P_{Ar}$ 을 변화시킨 Co-Cr 박막의 XRD 패턴을 각각 나

타내었다.  $P_{Ar}$ 이 0.1~1mTorr의 범위에서는 회절강도가 크지만, 그 이상의 가스압력에서는,  $P_{Ar}$ 이 증가함에 따라 회절강도가 감소함을 확인 할 수 있다. 이는 Ar 가스압력이 증가함에 따라 기판에 도달하기는 동안 스퍼터 입자가 Ar 원자와의 충돌횟수가 증가하여, 스퍼터 입자의 운동에너지를 감소시키기 때문이라고 설명할 수 있다<sup>5)</sup>. 대향타겟스퍼터링에서는 가스압력이 저압(0.1~0.5mTorr)인 경우는 조밀한 구조이지만, 고압(10mTorr~)인 경우는 주상구조를 갖는다고 보고된 바있다<sup>6)</sup>. 이 스퍼터 입자의 운동에너지 저하는 미세구조에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

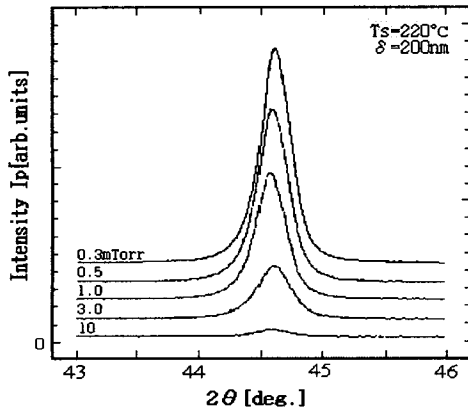


그림 5.  $T_s=220^\circ\text{C}$ 의 Co-Cr 박막의 Ar가스압력 변화에 따른 XRD 패턴

Fig. 5. XRD patterns of Co-Cr thin film with  $T_s=220^\circ\text{C}$  at various Ar gas pressure

그림 6은 c-축 분산각  $\Delta\theta_{50}$  과  $P_{Ar}$ 과의 관계를 나타낸 결과이다. 이 그림은 기판온도  $T_s$ 가  $40^\circ\text{C}$ 와  $220^\circ\text{C}$  인 경우의  $\Delta\theta_{50}$  의 Ar 가스압력 의존성이다. 그림 6은 그림 5의 XRD 패턴과 동일한 양상으로  $P_{Ar}$ 가 5mTorr 이상에서  $\Delta\theta_{50}$ 의 증가가 나타난다. 이와 같은 결과로부터 Co-Cr 박막에서는, 높은 가스압력에서는 c-축 배향성을 잃어, 주상구조를 갖게되며, 낮은 가스압력에서는 c-축 배향성이 양호한 조밀미세구조를 갖는다고 볼 수 있다. 따라서, 결정성 측면의 관점에서는 수직자기기록매체로서 적당한 것은 낮은 가스압력에서 제작된 Co-Cr 박막이라고 생각된다.

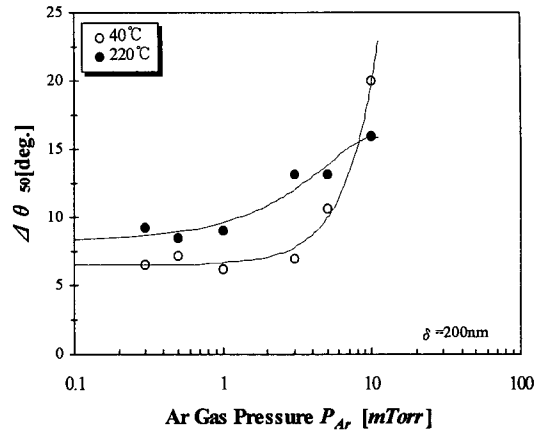


그림 6.  $T_s=40^\circ\text{C}$ ,  $220^\circ\text{C}$ 에서 제작된 박막의  $\Delta\theta_{50}$  의 Ar 가스압력  $P_{Ar}$  의 의존성

Fig. 6. Dependence of Ar gas pressure on  $\Delta\theta_{50}$  of prepared thin films at  $T_s=40^\circ\text{C}$ ,  $220^\circ\text{C}$

그림 7은  $T_s=40^\circ\text{C}$ 와  $T_s=220^\circ\text{C}$ 의 기판온도로 제작된 박막의 자기특성 즉, 수직보자력  $H_{c\perp}$ 의 Ar 가스압력 의존성을 진동시료자력계(VSM)로 조사한 결과를 나타내고 있다.  $T_s$ 가 저온인 경우에는  $P_{Ar}$ 을 5mTorr 이상으로 증가시키면 보자력은 증가하지만,  $T_s$ 가  $220^\circ\text{C}$ 의 경우는 보자력이 감소한다. 이와 같은 결과는 보자력 증가의 주된 요인이 형상이방성에 있기 때문이라고 생각되며, 이 형상이방성은 여기서는 주상구조에 의한 것으로 생각된다<sup>6)</sup>. 또한 기판온도가  $220^\circ\text{C}$ 인 경우의 보자력의 감소는 복합적인 요인에 의하여 일어난다고 생각된다. 즉, c-축 배향성이 악화되어 그에 따라 결정자기이방성의 영향이 약하게 나타나며, 또 다른 한가지는, 기판온도가 높은 경우에 생기는 Co-rich 영역과 Cr-rich의 조성분리가 일어나기 어렵기 때문이라고 생각된다. 이와 같은 사실이 보자력 감소의 원인으로 작용함을 확인하기 위해서  $T_s$ 가  $220^\circ\text{C}$ 인 경우의 포화자화  $M_s$ 의 Ar 가스압력의 의존성을 조사했다. 이 결과를 그림 8에 나타내었다.  $P_{Ar}=10\text{mTorr}$ 의 높은 가스압력에서도 큰  $M_s$ 가 유지된다. 이와 같은 사실로부터 높은 가스압력에서도 조성분리가 생기고, 그 조성분리에 따른  $M_s$ 의 증가가 보이드의 증가에 의한  $M_s$ 의 감소를 억제한다고 생각된다<sup>7)</sup>. 따라서, Ar 가스압력과 자기이방성의 관계를 위의 고찰을 통해서 확인 할 수 있으며, 박막 제작조건에 있어서 방전가스압력이 박막의 자기적, 결정학적 특성에 미치는 영향이 크다는 사실을 확인하였다.

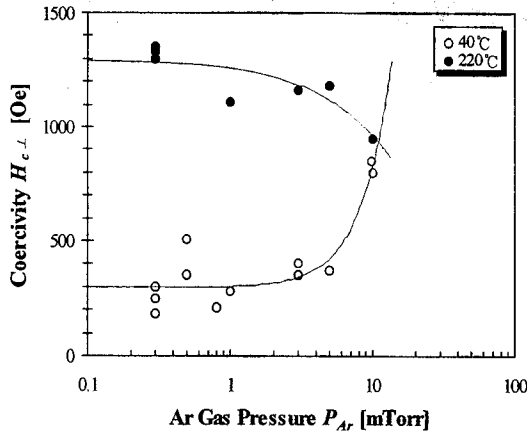


그림 7.  $T_s=40^\circ\text{C}$ ,  $220^\circ\text{C}$ 의 Co-Cr 박막의 보자력  $H_{cL}$ 의 Ar 가스압력  $P_{Ar}$ 의 의존성

Fig. 7. Dependence of Ar gas pressure on coercivity  $H_{cL}$  of prepared Co-Cr thin films at  $T_s=40^\circ\text{C}$ ,  $220^\circ\text{C}$

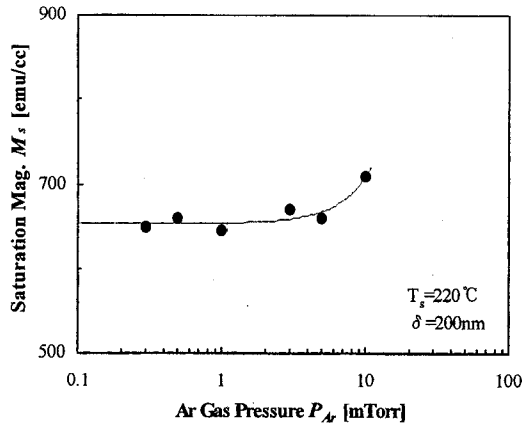


그림 8.  $T_s=220^\circ\text{C}$ 의 Co-Cr 박막의 포화자화  $M_s$ 의 Ar 가스압력  $P_{Ar}$ 의 의존성

Fig. 8. Dependence of Ar gas pressure on saturation magnetization  $M_s$  of prepared Co-Cr thin films at  $T_s=220^\circ\text{C}$

### 5. 결론

FTS 시스템은 다른 일반적인 스퍼터링 시스템보다 넓은 범위의 스퍼터가스압력에서 매우 안정한 방

전을 유지할 수 있다.  $0.1\text{mTorr}$  정도의 낮은  $P_{Ar}$ 에서, 형태학적으로 조밀한 미세구조와 우수한 c-축 배향성이  $50^\circ$  보다 작은 스퍼터 입자의 입사각  $\psi_x$ 로 증착된 Co-Cr 박막에서 나타남을 확인하였다. 또한, 박막 제작조건에 있어서 방전가스압력이 박막의 자기적, 결정학적 특성에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하였다. 우수한 c-축 배향성을 갖는 Co-Cr 박막 제조에 있어서, 고에너지 입자에 의한 물리적 충격의 억제가 필요하다. 따라서, FTS 시스템은 이 같은 조건을 만족시키며, 플라즈마 방전의 완전한 구속에 의하여 기판을 플라즈마-프리 상태로 유지시킬 수 있다. 이같은 결과는 FTS 시스템이 Co-Cr 박막 기록매체 제작에 있어서 적당한 프로세스라는 것을 제시한다.

### 감사의 글

본 연구는 정보통신연구관리단 97'대학기초연구지원사업에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. L.I Maissel and R.Glang, Handbook of Thin Film Technology, McGraw-Hill, New York, 1970
2. Yoshiro Niimura, Shigeki Nakagawa and Masahiko Naoe, *Materials Sci. & Eng.*, 98, 53-56, 1988
3. Y. Ikeda, Y. Sonobe, H. Vchide and T. Toyooka, *IEEE Trans. Magn.* Vol. 32, No. 5, 1996
4. Yoshiro Niimura and Masahiko Naoe, *J. Magn. Mater.* Vol. 54-57, 1985
5. R.Sugita, *IEEE Trans. Magn.*, 20, 687, 1984
6. M.Naoe, M.Mastuoka and Y.Hoshi, *J. Appl. Phys.* 57, 1, 4019, 1985
7. K.H. Kim, Masahiko Naoe, *IEEE Int. Magn. Conf.* 1996