

스퍼터 기술에 의한 자기기록 헤드, 매체용 박막의 제작



김경환
경원대학교 전기전자공학부
부교수
전공분야 : 전기전자박막재료



송기봉
코오롱 중앙연구소 책임연구원
전공분야 : 박막프로세스/물성

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

1. 서론

최근, 자기기록기술에 있어서

초고밀도화·고신뢰성화가 더욱 강하게 요구되고 있으며, 특히 수직자기기록방식[1]의 실용화의 기대에 부응하는 연구가 진행 중에 있다.

- 1) 고용점 재료의 박막을 쉽게 작성 할 수 있다.
- 2) 대면적에 있어서, 균일·균질한 막을 증착 할 수 있다.
- 3) 증착막과 기판과의 부착력이 강하다.
- 4) 장시간의 연속방식에 적합하다.
- 5) 제어성·응답성·재현성이 좋다.

와 같은 이유로, 자성박막의 제작에는 최적의 방법이라고 생각되어지는, 여러가지 새로운 개선된 스퍼터 방식을 사용하여 성과를 거두고 있다. 또한, 헤드·코어용 연자성재료로서는 Ni-Fe(P-ermalloy)에서 시작하여, Fe-Si, Fe-Al, Fe-Si-Al(Sandust)를 거쳐, a-Fe-Si-B 나 a-Co-Ta(Nb)-Zr 로, 포화자화의 증대와 보자력의 저하가 이루어져, Fe-Co 나 Fe-N 등의 25kG를 넘는 거대포화자화(giant saturation magnetization)재료도 개발되었다. 다른 방면에서, 매체기록용 반경자성재료로서는 Co-Ni 이나 γ -Fe₂O₃ 에서 시작하여, Co-Cr, Co-Pt 합금과 Co-Zn 페라이트나 BaM 페라이트 등이 고보자력화가 이루어졌다.

본 기획에서는 현재 사용되고 있는 여러가지 스퍼터 방식과 자기기록헤드·매체용 자성박막재료를 살펴보고, 저자 등이 연구·개발한 장치의 특징과 박막

재료의 자기특성을 서술하고자 한다.

2. 자성박막의 스퍼터기술

그림 1은 자성박막의 형성에 사용되는 일반적인 2극형 스퍼터 장치를 나타낸다. 이 스퍼터 장치로 자성박막을 제작하는 경우,

- 1) 막 형성 속도가 저속이다.
- 2) 기판이나 성장 중에 막 표면이 가열된다.
- 3) 막 중에 동작가스나 구성부품으로부터 방출된 불순물이 혼입된다.

4) 막 손상이나 조성분리를 일어난다.

등의 사실이 문제가 된다. 그러므로, 이에 대한 대책으로서 많은 연구자들에 의하여

I 높은 막 증착 속도의 달성

- 고속스퍼터

II 기판온도상승의 억제

- 저온스퍼터

III 조성분리방지

- 대면적에 대한 균일

· 균질

IV 고순도 - 고품질

등이 개선목표로 언급되었으며, 새로운 방식이 제안되고, 획기적인 개선이 추가되었다. 표 1에 강자성·페리자성 박막 형성을 위한 스퍼터법을 제시하였다. 각각은 장·단점을 보유하고, 자성막의 재질·크기·목표달성을 충분히 고려하고, 각각의 스퍼터 방식을 검토하여 채택해야 한다. 여기서는 저자 등이 고안·개선

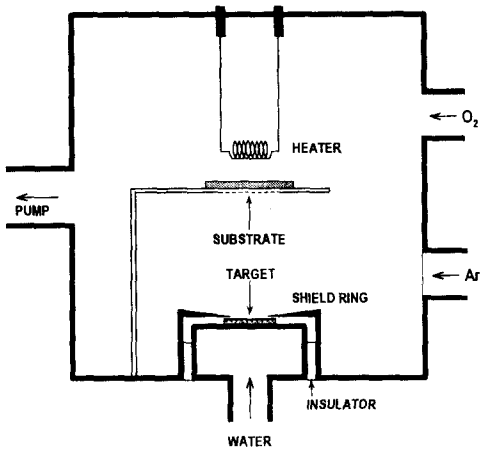


그림 1. 일반적인 2극 스퍼터장치

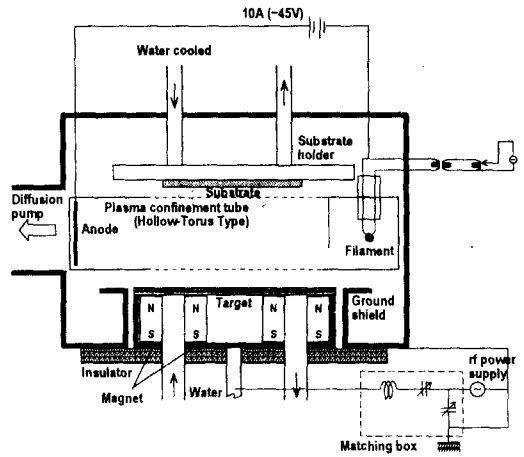


그림 2. 타겟 면에 수직 자계를 갖는 4극 스퍼터 시스템

표 1. 페로- 및 페리-자성막 증착용 스퍼터링 방식의 분류

Applied voltage	DC (0Hz), Asymmetric AC (50 and 60Hz) RF (13.57, 1~200 MHz)
Working gas	Insert (Ar, Kr, Xe), Active (H, N, O, F)
Electrode number	Diode, Triode, Tetrode
Arrangement of Target, Anode and substrate	Facing, Coaxial, Back, Side
Target number	Single, Multiple (Simultaneous, Alternate)
Target construction	Simple (metal, Alloy, oxide, compound), Composite
Sputtering system	plasma; Non-magnetic field, Perpendicular magnetic field, Magnetron, Facing targets Ion source; Ion beam, Cluster, ESR

시킨 스퍼터 방식의 일부를 서술한다.

[플라즈마 봉입 공동부 수직자계 4극 스퍼터 장치] - 그림 2

포화자화 $4\pi M_s$ 가 큰 순철이나 보자력이 낮은 퍼멀로이 타겟으로 고속스퍼터가 가능하며, 대면적에 있어서도 $1\sim 2\mu\text{m}/\text{min}$ 로 막 증착이 가능하다.

[토로이달 플라즈마 고속-마그네트론 스퍼터 장치] - 그림 3

보통의 평판 마그네트론식에 있어서 γ -전자 및 플라즈마에

의한 기관 위의 비행이나 손상이 거의 억제 증착 중인 막은 되어, 저온으로 플라즈마-프리 상태에 놓인다.

[대향타겟식 스퍼터(FTS) 장치] - 그림 4

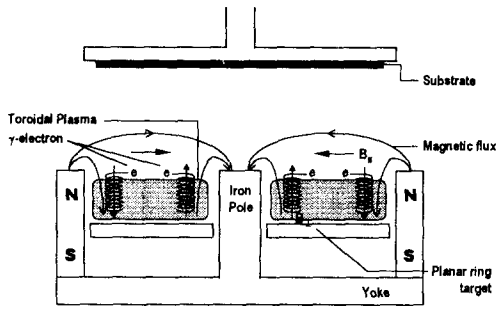
플라즈마가 대향타겟의 사이에 완전하게 감금되어, 전리도가 높아 고효율이며, 저온·플라즈마-프리 스퍼터가 이루어지며, 투입 전력도 크므로 $3\mu\text{m}/\text{min}$ 의 막증착 속도가 달성된다.

[대향타겟식 스퍼터(FTS)형 이온빔 증착장치] - 그림 5

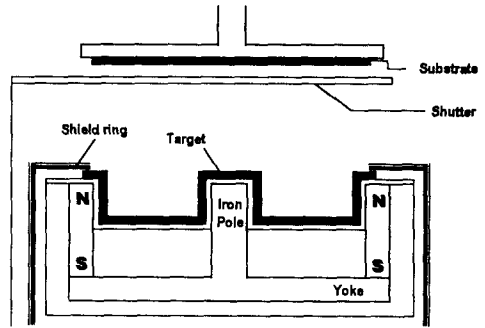
고밀도 플라즈마 중에서 철이나 질소의 원자가 높게 전리가 가능하며 각종 조성의 Fe-N 막의 증착에 최적이다.

[이중이온빔식 스퍼터장치] - 그림 6

스퍼터용 주이온원과 막표면 조사 부이온원을 비교하여 막 중의 N 첨가나 결정화도의 제어가



(a) 플라즈마 구속의 원리



(b) 주 구성요소의 실례

그림 3. 토로이달(Troidal) 플라즈마식 스퍼터 장치

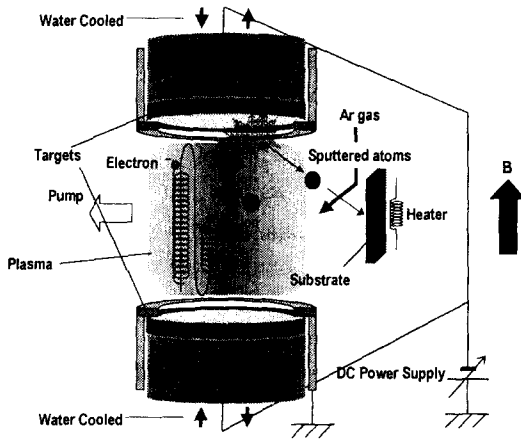


그림 4. 대향타겟식 스퍼터링 시스템

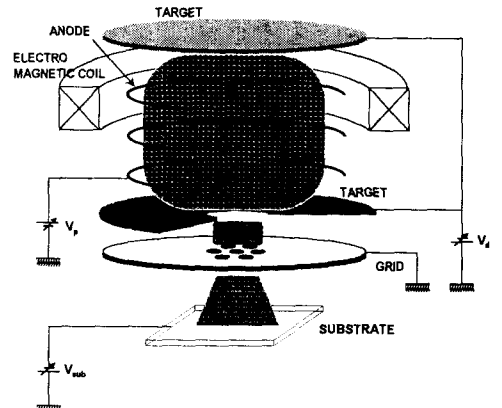


그림 5. 대향타겟식 스퍼터형 이온빔 증착장치

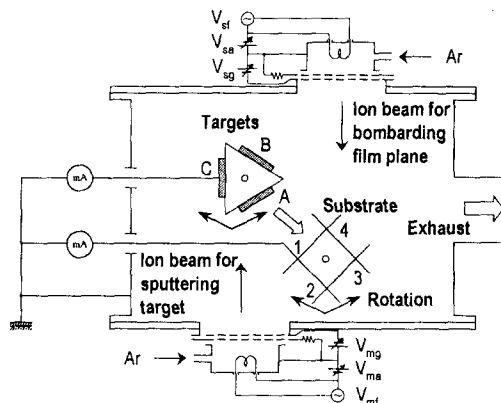


그림 6. 이중이온빔 스퍼터장치

표 2. 자기기록장치용 고품위막을 위한 이상적인 스퍼터링 기술의 요구조건

Discharge state	Stable glow discharge at low gas pressure High density plasma with high degree of ionization
Film and substrate	Plasma-free surface of substrate and growing film Non-elevation of substrate temperature without additional heating High deposition rate even for magnetic material
Mass production	Machine scale-up Long operation / run Compact design High sputtering / depositing rates per unit of electric power

표 3. 헤드코어용 연자성박막

Single layer (M_A - M_B : M_C)		
Base metal (M_A)	Alloying metal (M_B)	Additional Element (M_C)
Fe	Ni, Co, Al, Si, Ta	N, B, C, O, H, Mo, Nb, W, Zr, Sn, Ge, Ru, Ga
Co	Ni, Fe, Ta, Zr, Nb, Hf	N, B, Cr, Ti, Rare Earth
Multilayer (M_A / M_B): M_C		
Main layer (M_A)	Insertion layer (M_B)	Additional Element (M_C)
Fe	Co, Ni, Cu, Ta, Al, Si	N, O, B
Co	Cr, Pd, Pt, Ti	O
Ni-Fe	Cu, Ag, Au, Mn, Cr, V, Al, Si, Ti, Ta	O, N

표 4. 연자성 Fe류 합금과 박막 사이의 자기적 특성의 비교

Sputter methodes and alloys	RF Tetrode Fe-Si-B	FTS Fe-Ni	FTS Fe-Al-Si
$4\pi M_s$ [KG]	15.3	10	12
H_c [Oe]	0.01	0.2	0.4
μ_r	8000	2000	10000
λ_s	0.2×10^{-7}	1.2×10^{-7}	1.5×10^{-7}

이루어진다. 또한 타겟 홀더가 회전할 수 있어 다층막 형성에 최적이다.

지금까지 언급한 스퍼터 장치는 여러가지 우수한 특징을 갖고 있으나, 아직 개발 중에 있으며, 표 1에 언급된 자기기록 디바이스에 있어서의 고품질 박막 형성을 위하여 이상적 스퍼터 기술의 요건을 만족시키기 위하여 개량 중에 있다.

3. 헤드코어용 초연자성박막

표 3에 현재 및 향후 유망한 헤드·코어용 연자성재료를 중점적으로 언급하였다. 아래에 저자들이 연구한 연자성 박막의 특성을 나타내었다.

[a-Fe-Si-B(아몰퍼스 Fe류 준금속) 박막]

표 4에 나타낸 바와 같이 4극 스퍼터 장치에 의하여 Fe-Si-B 박막은, FTS 장치로 제작된 Fe-Ni 및 Fe-Al-Si(sandust) 박막보다 $4\mu M_s$ 가 1.5배나 되며, H_c 는 수십분의 일로 우수하다.

[Fe-N(질화철) 박막]

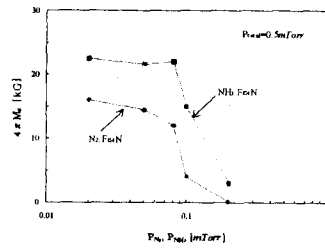


그림 7. 동작가스 N2와 NH3의 부분압력에 대한 Fe-N 박막의 포화자화 의존성

FTS형 이온빔 증착 장치에서 순철을 타겟으로 NH3를 반응가스로 합성된 Fe-N은 2.2kG 이상의 $4\mu M_s$ (그림 7)을 가지며, 150°C에서 열처리 하면 μ_r 은 3500 이상(그림 8)이 된다.[2]

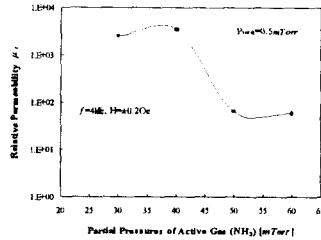


그림 8. 150°C로 열처리한 Fe-N 박막의 NH3의 분압 PNH3의 대한 비투자율 μ_r 의 의존성

표 5. 500°C의 열처리과정을 거친 이중이온빔 스퍼터링으로 증착된 Fe/Ta 과 Fe:N/Ta:N 다층막의 자기적 특성

Multilayer of 10bilayers	$4\pi M_s$ (KG)	H_c (Oe)	μ_r
93 Å-Fe / 7 Å-Ta multilayer (without N) as-deposited	18.7	0.1	1050
	annealed at 500°C	19.1	0.05
105 Å-Fe:N / 8 Å-Ta:N multilayer as-deposited	20.5	0.07	1310
	annealed	21.2	0.03

[Fe-Co 합금 박막]

이온빔 스퍼터 박으로 조성이 Fe7Co와 Fe2Co의 경우, 26kG를 넘는 $4\pi M_s$ 를 얻을 수 있으며, 특히 진자의 H_c 값은 ~10Oe로 매우 낮다.

[Fe:N/Ta:N 다층막]

표 5에 나타낸 바와 같이, 이온빔 스퍼터에 의한 Fe/Ta 다층막은 큰 $4\pi M_s$ 와 낮은 H_c 의 연자성을 가지며, 적당한 N 첨가와 열처리에 의하여 더욱 연자성화

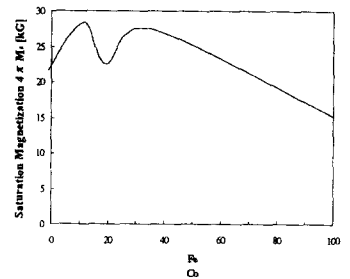


그림 9. Kr 이온빔 스퍼터에 의한 Fe-Co 막의 포화자화 $4\pi M_s$ 의 조성 의존성

가 이루어진다.[3]

4. 매체기록층용 반경자성 박막

표 6에 현재 및 향후 유망한

표 6. 매체기록용 반경자성 박막

Alloy (M _A -M _B):M _C		
Base metal (M _A)	Alloying metal (M _B)	Additional Element (M _C)
Co	Cr, Ni, Fe	O, N, P, Ta, Pt, Mn, W
Fe	Zr, Ti	N, O
Oxide		Additional element
Ferrite		
Fe ₃ O ₄ , γ-Fe ₂ O ₃ (Spinel type)		Cu, Co, Ni, Mn, Al, Mg, Ti, V
CoFe ₂ O ₄ , Co-ZnFe ₂ O ₄		Cu, Mg, Al
BaFe ₁₂ O ₁₉ (Magnetoplumbite type)		Ga, In, Co

표 7. FTS법에 의한 Co-Cr-Ta 박막의 제작조건

Composite Targets	Co ₈₃ Cr ₁₇ plate + Ta slim sheet
Film Composition	(Co ₈₃ Cr ₁₇) _{100-x} Ta _x
Ta Content (C _{Ta})	0~10at.%
Substrate Material	PEN, Polyimide Tape
Substrate Temperature (T _s)	130°C
Ar Pressure (P _{Ar})	1.0mTorr
Deposition Rate (R _d)	500 Å/min
Film Thickness (t _F)	1000 Å

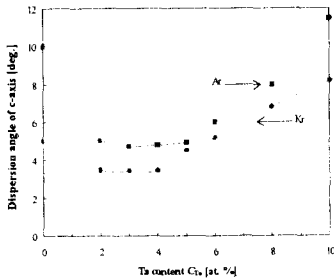


그림 10. c축 분산각 Δθ₅₀의 Ta 함량 C_{Ta} 의존성

매체기록용 반경자성 박막의 조성을 정리하였다. 지면관계상 저자 등이 연구한 여러 가지 박막 중에서 특히 현재 유력시 되고

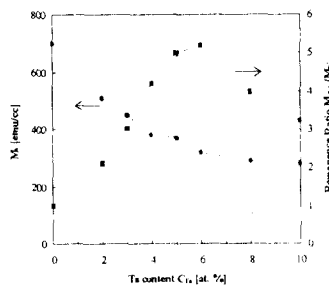


그림 11. 포화자화 M_s와 각형비 M_r/M_s의 Ta 함량 C_{Ta} 의존성

있는 Co-Cr-Ta 수직자기기록막에 있어서 서술한다.

[Co-Cr-Ta 박막]

시료막은 FTS법에 의하여 표 7에 언급된 제작 조건에서 증착이 이루어졌다. 그림 10, 11, 12 및 13에 각각 Δθ₅₀, M_s와 M_r⊥/M_r∥, H_c⊥와 H_c∥ 및 H_k와 K_⊥의 Ta 함량 C_{Ta} 의존성을 나타내었으며, 표 8에 이를 중점적으로 정리하였다. (Co₈₃Cr₁₇)_{100-x}Ta_x계에 있어서 C_{Ta} 즉, x가 4at.% 다시말해서, 0.04가 최적값에 가장 근접한다는 사실이 확인 가능하다.

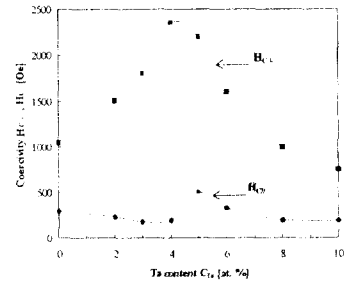


그림 12. 수직 및 면내 보자력 H_c⊥, H_c∥의 Ta 함량 C_{Ta} 의존성

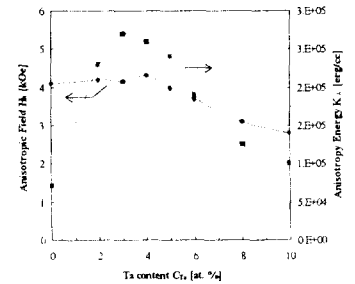


그림 13. 이방성자계 및 에너지 H_k, K_⊥의 Ta 함량 C_{Ta} 의존성

5. 결론

앞서 서술한, 저자 등의 연구

표 8. FTS 장치에 의한 $(\text{Co}_{83}\text{Cr}_{17})_{100-x}\text{Ta}_x$ 합금 박막의 구조적, 자기적 특성

Ta Content	C_{Ta}	(at.%)	0	2~4	10
Grain Size	[D]	(Å)	1080	510~700	350
Crystallite Size	$\langle D \rangle$	(Å)	150	240~255	50
Peak Intensity	$I_{(002)}$	(kcps)	1.9	4.9~5.8	0.8
Interplanar Distance	$d_{(002)}$	(Å)	2.026	2.039~2.051	2.069
Dispersion Angle of c-axis	$\Delta\theta_{50}$	(deg.)	10.0	4.8~5.0	11.4
Saturation Magnetization	M_s	(emu/cc)	700	370~500	220
Remanence Ratio	M_r / M_{rff}		1.0	3.3~4.4	3.2
Coercivity	H_{cL}	(Oe)	1050	1600~2300	800
	H_{cH}	(Oe)	300	150~200	130
Anisotropic Field	H_k	(Oe)	4.2	4.2~4.5	2.8
Anisotropy Energy	K_L ($\times 10^3$ erg/cc)		0.75	2.4~2.7	1.0

결과보다도 우수한 자성박막의 제작이나 스퍼터 기술의 개발이 다른 많은 연구자들에 의하여 이루어져, 현재의 목표가 달성되리라는 것을 믿는다. 그러나, 아직도, 헤드 매체의 제작 공정과 같은 보다 더 큰 과제가 남아있다. 따라서, 다양한 신재료의 개발과

스퍼터 기술의 개선이 반드시 이루어져야 한다고 생각한다. 또한, 앞으로는 자기기록기술 분야에서 새로운 헤드코어 및 매체기록용 자성 박막의 제작과, 이를 위한 유효한 스퍼터 기술의 확립이 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] M. Naoe, J. Mag. Soc. of Jappan Vol.18, No.s1, 1994
- [2] S. Nakagawa, J. Magn. Magn. Mat., 112, p392, 1992
- [3] M. Naoe and S. Nakagawa, Joint MMM-Intermag Conference, EP-03, p331, 1994

< 김 경환 위원 >