타게트 제조조건이 퍼멀로이 박막의 보자력 및 투자율에 미치는 영향

김현태 · 김상주
서울대학교 공과대학 금속공학과
서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

한석희 · 김희중 · 강일구
한국과학기술연구원 금속연구부
서울특별시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

김인응
삼성종합기술원 신소재응용연구소
경기도 용인군 기흥읍 농서리 449-900

(1994년 9월 9일 받음, 1994년 12월 1일 최종수정본 받음)

제조조건이 다른 여러 퍼멀로이 합금 타게트를 사용하여 RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 퍼멀로이(NiFe) 박막을 증착시킬 경우 타게트의 제조조건이 박막의 자기특성에 미치는 영향을 조사하였다. 타게트를 여러 온도에서 어닐링한 결과 650 ℃ 이상의 온도에서 재결정이 일어나 미세구조는 압연조직에서 미세한 재결정립 조직으로 바뀌었으며 이에 따른 집합조직은 (110) 집합조직에서 random 집합조직으로 변화가 일어났다. 재결정이 일어나지 않은 타게트를 사용하여 투입전력 300 및 400 W에서 증착한 박막의 경우 보자력은 1 ~ 5 mTorr의 비교적 넓은 범위의 아르곤 압력에서 낮은 값을 나타내었으며 이때의 최소값은 0.20 Oe 이하였다. 반면, 재결정이 일어난 타게트의 경우 투입전력 300 W에서는 5 mTorr에서, 400 W에서는 1 mTorr에서만 보자력이 낮은 값을 나타내었으며 이때의 최소값은 0.25 Oe 이하였다. 박막의 내부응력은 타게트에 관계없이 아르곤 압력이 증가함에 따라 압축응력에서 인장응력으로 변하였으며 타게트에 따라 5 mTorr에서 거의 사라졌다. 박막의 보자력 및 투자율의 변화는 타게트에 따라 변화되는 박막 조성 및 내부응력의 차이에 기인한 것으로 고찰되었다.

Ⅰ. 서 론

스퍼터링법으로 제조된 퍼멀로이(permalloy) 자성박막은 최근 유도형(inductive) 및 자기저항형(magnetoresistance, MR)의 박막자기헤드 및 박막자기기록매체의 씨앗층(seed layer)으로 사용되고 있으며, 향후에는 박막형의 인덕터(inductor), 변압기(transformer)와 같은 마이크로 자기소자(micro-magnetic device)분야에 응용될 것으로 예상되고 있다[1].

퍼멀로이 박막을 스퍼터링공정에 의해 제조할 경우 박막의 전기. 자기적 특성은 스퍼터링 조건에 크게 영향을 받게 되므로 스퍼터링 조건과 자기특성의 관계에 대해서는 여러 연구결과들이 발표된 바 있다[2-4]. 그러나 이 연구들은 모두 투입전력, 아르곤 압력, 기판 바이아스 전압과 같이 스퍼터링 장치에서 조절할 수 있는 조건들에 한정되어 있을 뿐 스퍼터링 공정에서 가장 기본적인 사항인 타게트(target)제조 조건이 퍼멀로이 박막의 자기특성에 미치는 효과는 지금까지 체계적으로 조사된 바가 없다.

타게트에 관해서는 스퍼터원자의 스퍼터율(sputter yield) 및 방전공간에서의 방출분포에 대해 단결정 타게트를 사용한 연구 결과들[5-10]과 다결정 타게트를 사용한 결과들[10-12]이 보고되고 있지만 퍼멀로이 합금 타게트에 한정하여 제조조건을 변화시켜 체계적으로 연구한 결과는 거의 없다.

이러한 배경하에서 본 연구는 미세구조 및 집합조직이 다른 여러 타게트를 사용하여 퍼멀로이 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 제조할 경우 아르곤 압력 및 투입전력의 변화에 따른 자기특성의 변화를 조사하고 이를 박막 조성과 내부응력으로서 고찰해 보고자 하였다.

Ⅱ. 실험방법

1. 타게트의 제조

실험에 사용된 타게트는 진공유도용해로를 써서 용해

하여 인고트를 만든 다음 1150 ℃에서 8 mm 두께까지 열간 압연을 한 후 4 mm 두께로 냉간압연을 하였다. 여기서 얻은 판재(sheet)를 450, 530, 650, 750 ℃의 여러 온도에서 1시간씩 열처리를 하고 공냉한 후 직경 100 mm, 두께 3 mm의 타게트로 제작하였다. 타게트의 집합조직은 X-선 회절분석(XRD) 및 극점도(pole figure)를 통해 조사되었으며 미세 조직은 광학현미경으로 조사되었다. Table I에 본 실험에서 사용한 타게트의 종류, 열처리 조건 및 조성을 나타내었다.

2. 박막의 제조

RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 퍼멀로이 박막을 제조하였다. 기판은 Si (100)웨이퍼를 사용하였으며, 타게트-기판간 거리는 6 cm로 고정하였다. 또한 박막에 일축자기이방성을 부여하기 위해 기판 지지부(holder)에 영구자석을 설치하였으며 이때의 기판 자장은 약 400 Oe 였다. 스퍼터링 조건은 기판 바이아스를 가하지 않고 초기 진공도 7×10^{-7} Torr 이하, 투입전력 100 ~ 500 W, 아르곤 압력 0.5 ~ 20 mTorr로 하였으며 모든 박막의 두께는 1 ㎛로 일정하게 제작하였다.

Table I. Target notations, heat treatment conditions and composition of various permalloy targets.

Target	Annealing Temp.	Cooling	Composition
A	As Rolled	Air Cooling	80.31Ni-19.67Fe -0.02Mn(wt.%)
B	450 ℃		
C	530 ℃		
D	650 ℃		
E	750 ℃		

3. 박막의 특성 분석

박막의 보자력은 진동시료형자속계(VSM)로 측정하였고 투자율 측정은 8자 코일을 이용한 투자율 측정장치를 사용하였다. 박막의 성분분석은 WDS(Wavelength Dispersive Spectroscopy)로 조사하였다. 박막의 내부응력은 두께 200 ㎛의 Si(100) wafer를 기판으로 사용하여 박막을 증착한 다음 bending method로 측정하였다. 이때 사용된 기판의 치수는 50 x 4(mm)이었다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

동일한 조성의 퍼멀로이 합금타게트일지라도 미세구조와 내부의 집합조직 구조가 다를 경우에는 자기특성의 차이에 의해 방전공간상에서 누설자계의 차이가 생기고 성분원소의 스퍼터율 및 방출각도의 차이가 생기게 되므로 증착속도, 증착된 박막의 조성 및 여러 물리적 성질이 변화하게 될 것으로 예상할 수 있다.

Table Ⅱ에는 냉간 압연된 퍼멀로이 타게트의 미세구조와 집합조직을 변화시키기 위해 Table I의 열처리 조건으로 1시간 동안 어닐링한 4종류의 타게트 및 냉간압연상태의 타게트 등 5종류의 타게트에 대해 극점도 분석 및 결정립도를 측정한 결과를 나타내었다.

퍼멀로이 합금의 재결정온도는 약 600 ℃이므로 Table Ⅱ의 A, B, C 세 타게트들은 재결정온도 이하에서

Table Ⅱ. Texture, texture coefficient and grain size of permalloy targets used

Target	Texture	Texture Coefficient	Average Grain Size(㎛)
A	(110)[001]	2.8	–
B	〃	2.4	–
C	〃	2.3	–
D	random	~1.0	4.02
E	〃	~1.0	4.46

어닐링된 상태로서 냉간압연에 의해 유기된 (110)[001] 집합조직을 그대로 나타내고 있으나 어닐링온도가 450, 530 ℃로 높아지면서 집합조직계수(texture coefficient, TC)는 냉간압연상태의 2.8에서 2.4, 2.3으로 약간씩 감소하고 있다. 반면 재결정온도 이상에서 어닐링된 D, E 두 타게트들은 재결정에 의해 집합조직이 없이 무배향화되고 TC 값은 약 1.0을 나타내었다. 다만 어닐링온도가 높은 E 타게트의 평균 결정립도가 약 4.46 ㎛로서 D 타게트의 4.02 ㎛ 보다 약간 크므로 약간의 결정립 성장이 일어난 것을 알 수 있다.

Fig. 1은 재결정이 일어나지 않은 A, B 및 C 타게트를 사용하여 투입전력 300과 400 W에서 제조한 퍼멀로이 박막에 있어서 아르곤 압력변화에 따른 보자력의 변화를 나타낸 것이다. 보자력의 변화는 타게트에 따라 약간의 차이는 있지만 대체적으로 1 ~ 5 mTorr의 아르곤 압력 범위에서 작은 값을 나타내었으며 2 ~ 5 mTorr의 조건에서 각각 0.10 Oe 이하의 매우 낮은 보자력값을 나타내었다.

Fig. 2는 재결정이 일어난 D와 E 타게트를 사용했을 경우의 보자력의 변화를 나타낸 것으로 보자력은 두 타게

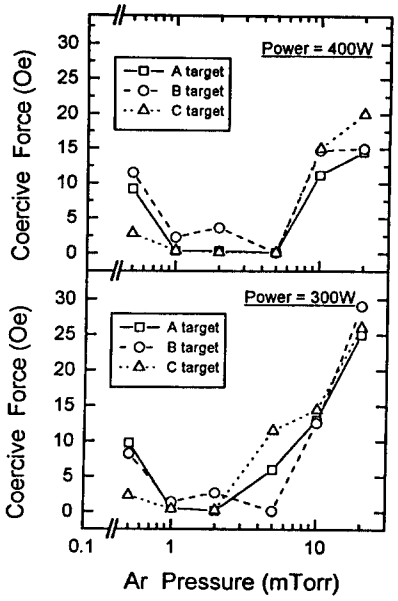

Fig. 1 Coercive force as a function of Ar pressure for A, B and C targets.

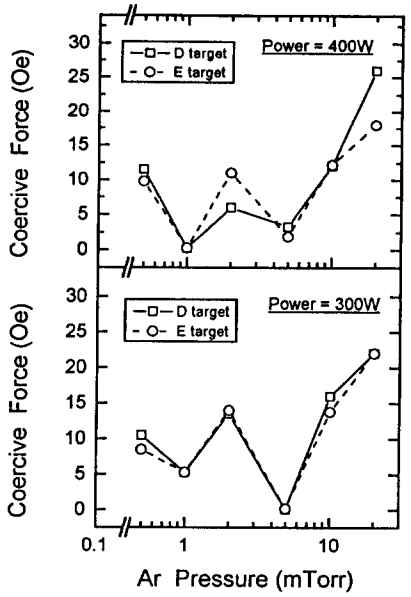

Fig. 2. Coercive force as a function of Ar pressure for D and E targets.

트에서 거의 같은 경향을 나타내었다. 한편, 아르곤 압력에 따른 보자력은 큰 폭의 변화를 나타내었으며 낮은 보자력을 나타내는 아르곤 압력은 300 W와 400 W에서 각각 5 mTorr와 1 mTorr로 나타났다. 이때의 최소의 보자력값은 300 W, 5 mTorr에서 D 타게트의 경우 0.05 Oe, E 타게트의 경우 0.15 Oe를 나타내었다.

Fig. 3은 A, B 및 C 타게트를 사용하여 제조한 퍼멀로이 박막에 있어서 아르곤 압력변화에 따른 실효투자율의 변화를 나타낸 것이다. 이때의 투입전력은 300 W와 400 W이며 측정 주파수는 1 MHz이었다. 아르곤 압력에 따른 투자율의 변화는 타게트에 따라 다른 경향을 보이지만 전체적으로 2～5 mTorr에서 높은 투자율값을 나타내고 있다. 최대값은 A 타게트의 경우 400 W, 5 mTorr에서 2800, B 타게트의 경우 400 W, 5 mTorr에서 2580, C 타게트의 경우 300W, 2 mTorr에서 2670을 나타내었다.

Fig. 4는 재결정이 일어난 D와 E 타게트를 사용했을 경우를 나타낸 것으로 아르곤 압력에 따른 실효투자율의 변화는 타게트에 따라 거의 같은 경향을 나타내었다. 아르곤 압력에 따른 변화는 300 W의 경우는 5 mTorr에서, 400 W의 경우는 1 mTorr에서 최대값을 나타내었으며 이때의 값은 각각 2400과 2000이었다. 그 이외의 아르곤 압력 범위에서는 큰 변화 없이 1000 이하의 값을 나타내었다.

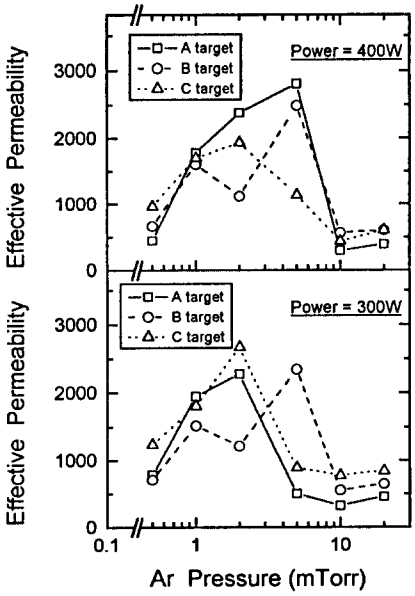

Fig. 3 Effective permeability as a function of Ar pressure for A, B and C targets.

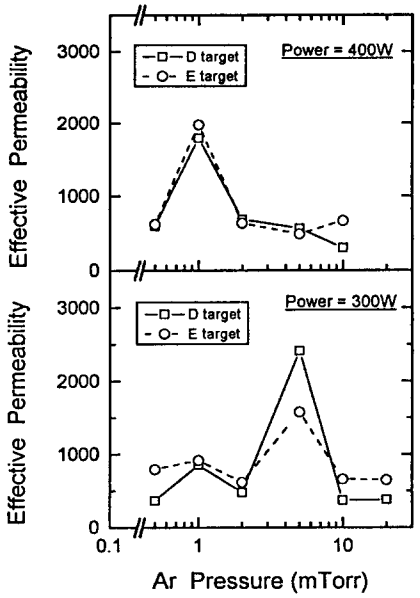

Fig. 4 Effective permeability as a function of Ar pressure for D and E targets.

연자성 재료에서 보자력은 자기이방성(H_k)이 크고 포화자속밀도(I_s)가 작을수록 커지게 되며 투자율은 반대의 경향을 나타내게 된다[13]. 따라서 보자력을 낮추고 투자율을 높이기 위해서는 자기이방성을 최소로 하고 포화자속밀도를 크게 해야 하며, 포화자속밀도는 조성의 함수로서 본 실험의 경우에서는 적은 범위 내에서 변화되는 반면 자기이방성은 크게 변화하게 되므로 자기이방성을 최소로 하는 것이 더욱 중요한 사항이 된다. 자기이방성(Hk)은 결정자기이방성(H_k^c), 자기변형과 응력에 관계되는 응력의존이방성(H_k^σ) 및 유도자기이방성(H_k^m)의 합으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$H_k = H_k^c + H_k^\sigma + H_k^m \qquad (1)$$

H_k^c는 조성 및 결정의 배향성에 관계되며 본 실험의 경우처럼 기판온도를 상온으로 하여 스퍼링된 상태의 박막은 결정립의 크기가 20nm 이하의 초미세결정구조를 가지므로[14] 이방성분산이 일어나 이 항은 박막자기특성에 크게 기여하지 않게 될 것이다. 다음 항인 H_k^σ는 보통 박막의 내부응력(σ)과 포화자기변형(λ_s)의 곱으로 다음과 같이 표현된다[15].

따라서 H_k^σ를 작게 하려면 σ와 λ_s를 동시에 낮추는 조

$$H_k^\sigma \simeq \sigma \lambda_s \qquad (2)$$

건이 필요하다. λ_s는 조성의 함수이며 2원계 퍼멀로이 박막의 경우 타 연구결과를 정리한 Fig. 5에서 볼 때 81～81.5wt.% Ni 조성에서 영(0)을 나타내는 것을 볼 수 있다[15-17]. H_k^m은 기판에 가해준 외부자장에 의해 일축자기이방성이 부여되는 본 실험의 경우 중요한 고려사항이지만 모든 박막이 일정한 자장이 가해진 상태에서 제조되었으므로 거의 동일한 값을 가질 것으로 생각할 수 있다.

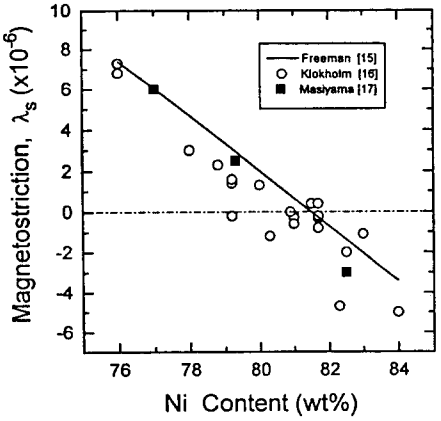

Fig. 5 Dependence of magnetostriction of permalloy thin films on the Ni content.

이상의 생각을 기초로 한다면 그림 1～4의 보자력 및 투자율에 관한 결과들은 주로 조성 변화에 의한 자기변형의 효과와 내부응력(σ)에 의한 효과에 좌우되는 것으로 볼 수 있으므로 이 두 효과들에 관해 면밀히 살펴볼 필요가 있다.

Fig. 6 및 7에는 기판을 수냉시킨 상태에서 압연조직을 가진 타게트로서 A, 재결정조직을 가진 타게트로서 E 타게트를 대표적으로 선택하여 400W의 투입전력하에서 제조한 퍼멀로이 박막들에 대해 조성과 내부응력의 아르곤 압력 의존성을 조사하여 나타내었다. 이 두 그림들에서 아르곤 압력이 증가하면서 퍼멀로이 박막의 내부응력은 압축응력상태에서 점차 인장응력상태로 변화하고 있음을 볼 수 있으며 그 경계, 즉 내부응력이 영이 되는 아르곤 압력은 A, E 타게트에서 공히 5mTorr 부근임을 알 수 있다. E 타게트의 경우 내부응력의 아르곤 압력 의존성은 A 타게트에 비해 완만한 경향을 보이는데 이는 증착속도와 관련된 것으로 생각된다. A와 E 타게트를 사용하여

박막을 제조한 경우의 증착속도는 아르곤 압력 20mTorr에서 각각 590 및 380 Å / min으로 증착속도가 큰 박막의 내부응력 변화가 크며 이는 증착속도가 커질수록 박막 내에 인가되는 내부응력이 증가한다는 다른 보고들과 동일한 결과를 나타내고 있다[2, 18-19].

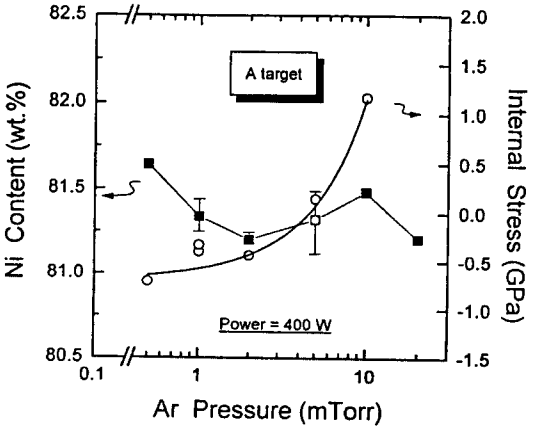

Fig. 6. Ni content and internal stress of thin films as a function of Ar pressure for A target.

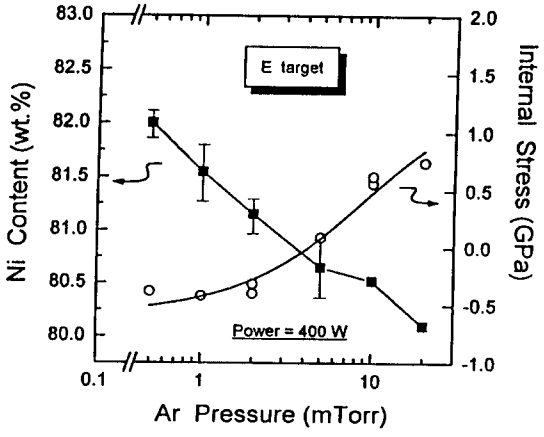

Fig. 7 Ni content and internal stress of thin films as a function of Ar pressure for E target.

반면 퍼멀로이 박막의 아르곤 압력에 따른 조성변화는 두 타게트에서 상당히 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 완전히 재결정이 된 E 타게트의 경우에는 아르곤 압력이 증가하면 퍼멀로이 박막의 Ni 함량이 계속적으로 감소하는 경향을 보이는데 비해 냉간압연상태의 A 타게트의 경우에는 아르곤 압력이 증가함에 따라 0.5～2 mTorr에서는 감소 경향을 보이다가 2～10 mTorr 범위에서는 약간 증가된 후 20 mTorr에서는 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편, 박막의 Ni 함량 변화는 A 타게트를 사용하였을 경우 1～20 mTorr의 넓은 범위에서, E 타게트를 사용하였을 경우에는 1～2 mTorr의 좁은 범위에서 영자기변형조성인 81.0～81.5 wt.%의 값을 나타내고 있다.

Fig. 5, 6 및 7을 자기특성 결과인 Fig. 1～4의 결과들과 비교해 보면 자기변형이 낮은 조성영역이나 내부응력이 작은 조건의 퍼멀로이 박막에서 보자력이 낮고 투자율이 높은 박막을 제조할 수 있음을 알 수 있다. 이를 보다 명확히 살펴보기 위해 Fig. 1～7의 결과들 중 투입전력 400 W에서 A 및 E 타게트를 사용하여 제조된 박막들에 대해 아르곤 압력에 따른 내부응력, Fig. 5를 이용하여 조성결과로부터 평가된 포화자기변형, 보자력 및 투자율의 결과들을 정리하여 Table Ⅲ에 정리하였다.

Table Ⅲ. Internal stress, saturation magnetostriction, coercive force and effective permeability (1MHz) of permalloy thin films fabricated with A and E targets.

Target	PAr / Properties	0.5	1	2	5	10	20
A	σ(GPa)	-0.71	-0.37	-0.44	0.04	1.17	-
	λ_s(x10^{-6})	~-0.5	~0	~0	~0	~0	-
	H_c(Oe)	1.20	0.29	0.33	0.10	11.2	14.5
	μ_e(1 MHz)	440	1,780	2380	2810	300	390
B	σ(GPa)	-0.39	-0.42	-0.40	-0.09	0.60	0.75
	λ_s(x10^{-6})	~-1.0	~0	~0	~1.0	~1.5	~2.0
	H_c(Oe)	9.80	0.25	11	1.90	12.2	18
	μ_e(1 MHz)	620	1,980	640	490	670	-

이 Table에서 A 타게트의 경우 최대투자율과 최소보자력을 나타내는 5 mTorr 조건은 내부응력이 최소이고 자기변형이 거의 없는 이상적인 조건임을 알 수 있다. E 타게트의 경우 최적조건인 1 mTorr에서 내부응력은 약간의 압축응력을 가지지만 자기변형이 거의 영에 가깝게 되기 때문에 낮은 보자력, 높은 투자율을 가지게 됨을 알 수 있다.

Table Ⅳ에는 그림 1～4의 결과들에서 각 타게트에 대해 최소 보자력과 최대 투자율을 나타내는 아르곤 압력 및 그 값을 정리하여 나타내었다. 최소 보자력 0.05 Oe는 D 타게트에서 300 W, 5 mTorr 조건의 경우에 나타나지만

재결정 타게트를 사용하여 박막을 제조할 경우 Fig. 2, 4에서 보는 바와 같이 좁은 아르곤 압력의 범위에서만 연자기 특성을 갖는 박막을 제조할 수 있으므로 일정한 특성을 갖는 연자성 박막을 제조하는 데는 재현성에 문제점이 있다. 최대투자율 2,800은 A 타게트에서 400 W, 5 mTorr조건의 경우에 나타나며 보자력은 0.10 Oe이다. 반면 보자력과 투자율이 동시에 우수한 조건은 B 타게트에서 400 W, 5 mTorr로 제조한 박막의 0.07 Oe와 2,580이다. 따라서 최적의 자기특성을 얻기 위해서는 응력완화가 약간 일어나도록 열처리를 한 타게트를 사용하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있다.

Table Ⅳ. Minimum coercive forces and maximum permeabilities of permalloy thin films fabricated with various targets

	300 W			400 W		
Target	Ar Pressure	H_c(Oe)	μ_e(1 MHz)	Ar Pressure	H_c(Oe)	μ_e(1 MHz)
A	2mTorr	0.10	2,280	5mTorr	0.10	2,800
B	5mTorr	0.08	2,340	5mTorr	0.07	2,580
C	2mTorr	0.20	2,670	2mTorr	0.13	1,930
D	5mTorr	0.05	2,410	1mTorr	0.23	1,800
E	5mTorr	0.15	1,580	1mTorr	0.25	2,000

Ⅳ. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 기판 바이아스가 없는 상태에서 퍼멀로이 박막을 증착시킬 경우 스퍼터링 조건 및 타게트 제조조건이 퍼멀로이 박막의 보자력 및 실효투자율에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 타게트내의 집합조직은 열처리온도가 증가함에 따라 650 ℃ 이상에서 재결정이 일어나고 집합 조직은 재결정전에는 (110) 집합조직, 재결정후에는 random 집합조직으로 변화하였다.
2) 보자력의 변화는 재결정이 일어나지 않은 타게트를 사용했을 경우 아르곤 압력 1 ~ 5 mTorr의 넓은 범위에 걸쳐서 낮은 값을 나타내었다. 이 경우 최소의 보자력 값은 투입전력 300 ~ 400 W의 범위에서 아르곤 압력 5 mTorr일 때 0.07 ~ 0.08 Oe를 나타내었다. 재결정된 타게트를 사용 했을 경우 보자력은 1 mTorr와 5 mTorr에서만 낮은 값을 나타내었다. 이 경우 최소의 보자 력값은 투입전력 300 W에서 0.05 Oe를 얻을 수가 있었다.
3) 실효투자율(1MHz)의 변화는 재결정이 일어나지 않은 타게트를 사용했을 경우 투입전력 300 ~ 400 W의 범위에서 아르곤 압력이 2 ~ 5 mTorr일 때 1,900 ~ 2,800을 나타내었다. 재결정된 타게트를 사용했을 경우 최대의 투자율은 투입전력 300 W, 아르곤 압력 5 mTorr에서 2,400의 값을 나타내었다.
4) 박막의 자기특성은 타게트 제조조건에 관계없이 박막의 조성 및 내부응력의 변화로서 해석될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 한국과학기술연구원, KIST 2000 연구프로그램의 기술개발 동향조사 보고서, (1994) pp. 270.

[2] M. M. Yang and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys., **66**, 3734 (1989).

[3] G. S. Cargill Ⅲ, S. R. Herd, W. E. Krull and K. T. Ahn, IEEE Trans. Magn., **MAG-15**, 1821 (1979).

[4] A. J. Collins, C. J. Prior and R. C. J. Hicks, Thin Solid Films, **86**, 165 (1981).

[5] G. K. Wehner, Phys. Rev., **102**, 690 (1956).

[6] G. S. Anderson and G. K. Wehner, J. Appl. Phys., **31**, 2305 (1960).

[7] G. S. Anderson, J. Appl. Phys., **33**, 2017 (1962).

[8] C. Burleigh Cooper and J. Comas, J. Appl. Phys., **36**, 2891 (1962).

[9] M. T. Robinson and A. L. Southern, J. Appl. Phys., **39**, 3463 (1968).

[10] R. G. Musket and H. P. Smith, Jr. , J. Appl. Phys., **39**, 3579 (1968).

[11] P. F. Tortorelli and C. J. Altsteteer, Radiat. Eff., **51**, 241 (1980).

[12] H. Tsuge and S. Esho, J. Appl. Phys., **52**, 4391 (1981).

[13] S. Chikazumi and S. H. Charap, Physics of Magnetism, John Wiley and Sons, New York, (1964) pp. 292.

[14] 김현태 등, 한국자기학회지, **4**(3), 201 (1994).

[15] J. D. Freeman, J. Vac. Sci. Technol., **A9**, 421 (1991).

[16] E. Klokholm and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys., **52**, 2474 (1981).

[17] Masiyama, Y. Sci. Repts, Tohoku Univ., **20**,

574 (1931).
[18] T. Tatsumi, Y. Tsukamoto, K. Yamada, Y. Motomura and M. Aoyama, J. Appl. Phys., **69**, 4671 (1991).
[19] D. Rogalla and W. D. Ruh, IEEE Trans. Magn., **MAG-9**, 571 (1973).

Influence of Target Manufacturing Condition on the Coercive Force and Effective Permeability of Permalloy Thin Films

H. T. Kim and S. J. Kim
Department of Metallurgical Engineering, Seoul National University
San 56-1, Shillim-Dong, Kwanak-Gu, Seoul, 151-742, Korea

S. H. Han, H. J. Kim and I. K. Kang
Division of Metals, Korea Institute of Science and Technology
39-1, Hawolgok-Dong, Seongbuk-Gu, Seoul, 136-791, Korea

I. E. Kim
Materials and Devices Research Center, Samsung Advanced Institute of Technology,
449-900, Nongsu-Li, Kiheung-up, Yongin-Gun, Kyungki-Do, Korea
(Received 9 September 1994, in final form 1 December 1994)

Permalloy films were deposited by an RF magnetron sputtering method using several different targets which had been cold-rolled and annealed at various temperatures to give different microstructure and texture. The grain refinement occurs at high temperature annealing due to recrystallization and subsequently the initial (110) target texture transforms to the random texture. The coercive forces of thin films fabricated using targets which are not recrystallized are below 0.2 Oe in the Ar pressure range of 1 ~ 5 mTorr and the lowest coercive force achieved is 0.07 Oe. The low value of coercive force, 0.25 Oe, is only obtained at the sputtering conditions of 400 W and 1 mTorr, and 300 W and 5 mTorr when recrystallized targets are used. The internal stress changes from compressive to tensile as the Ar pressure increases, the stress-free being at 5 mTorr. The changes of coercive force and permeability can be well interpreted by the differences from the composition and the internal stress.