

퍼멀로이 박막의 보자력 및 실효투자율에 미치는 스퍼터링 조건의 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 8월 22일 받음, 1994년 9월 13일 최종수정본 받음)

RF 마그네트론 스퍼터링법으로 제작된 퍼멀로이(NiFe) 박막에 대하여 투입전력, 아르곤 압력, 바이아스 전압 등의 스퍼터링 조건이 퍼멀로이 박막의 자기특성에 미치는 영향을 조사하였다. 투입전력에 따른 보자력의 변화는 300~400 W에서 낮은 값을 지녔으며 아르곤 압력에 따른 변화는 1~5mTorr에서 낮은 값을 나타내었다. 스퍼터링 조건에 따른 최소의 보자력값은 400 W, 5mTorr 와 300 W, 2mTorr에서 각각 0.10 Oe를 나타내었고 최대의 투자율값은 400 W, 5mTorr에서 2800(1 MHz)을 나타내었다. 또한 저압의 스퍼터링 압력에서 바이아스를 가할 경우 보자력은 이에 비례해서 오히려 증가하였다. 박막의 Ni 함량의 변화는 아르곤 압력이 증가함에 따라 점차적으로 감소하나 2~10mTorr 범위에서는 다시 증가하는 경향을 보였다. 내부응력은 아르곤 압력이 증가함에 따라 압축응력에서 인장응력으로 변하였으며 5mTorr에서 내부응력이 거의 사라졌다.

I. 서 론

전기-자기의 변환기능을 담당하는 자기헤드의 코어재료로서는 70년대 중반까지 벌크형의 퍼멀로이, 연자성 페라이트, 센터스트 재료가 주종을 이루어 왔으나 70년대 말 대용량의 컴퓨터 하드디스크 드라이브의 자기헤드에 퍼멀로이 박막을 사용함으로써 퍼멀로이 박막자기헤드의 본격적인 실용화가 이루어졌다.

컴퓨터용 박막자기헤드에 사용되는 퍼멀로이 박막은 전해 도금법으로 제조되어 왔으나 최근 개발된 디지털 콤팩트 카세트 녹음기 및 전자스틸카메라의 자기헤드에는 스퍼터링법으로 제조된 퍼멀로이 박막이 사용되고 있으며 장래 개발될 고밀도 자기기록장치의 박막자기헤드에는 제조공정상 스퍼터링에 의해 만든 퍼멀로이 박막을 채용할 가능성이 높다[1].

연자성 박막에서는 자기변형(λ)과 내부응력(σ)이 작을수록 보자력이 낮아지고 투자율은 높게 된다. 자기변형은 주로 재료의 조성에 좌우되며 퍼멀로이 합금박막에서

는 약 81~81.5wt. % Ni 조성 범위에서 자기변형이 영(0)이 되는 것으로 알려져 있다[2-3]. 한편 박막의 내부응력은 재료의 조성보다는 탄성계수, 박막과 기판의 열팽창계수 차이 및 박막의 구조 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[4].

박막의 조성과 내부응력은 투입전력, 이온화 가스, 바이아스 전압과 같은 스퍼터링 조건에 영향을 받으므로[2-5] 양호한 연자성 퍼멀로이 박막을 제조하기 위해서는 적절한 스퍼터링 조건을 확립할 필요가 있다. 지금까지 퍼멀로이 박막에서의 스퍼터링 조건과 연자성의 관계는 여러 연구를 통해 보고되었으나[2-5] 마그네트론 스퍼터링법에 의한 연구 결과는 그다지 많지 않다. 한편 -60~-100 V의 바이아스 전압을 기판에 걸면 주상조직과 공공, 불순물이 없는 박막구조를 얻을 수 있어 이방성자계와 보자력을 감소시킬 수 있는 것으로 보고된 바 있다[6]. 그러나 걸어준 바이아스 전압이 박막의 조성과 내부응력에 영향을 주므로 바이아스 전압의 효과는 보다 면밀히 검토될 필요가 있다.

본 연구에서는 강력한 누설자계를 발생시켜 0.5mTorr 이하의 낮은 아르곤 압력하에서도 스퍼터링이 가능한 마그네트론 스퍼터링 장치를 제작하여 저압 스퍼터링에 의한 미세구조 조절을 통해 기판 바이아스 효과를 대신할 가능성을 찾고, 일축 이방성을 박막에 부여하기 위해 기판자장을 가한 상태에서 스퍼터링 조건이 퍼멀로이 박막의 보자력 및 실효투자율에 미치는 효과에 대해 실험하였으며 이러한 자기특성의 변화를 박막의 조성과 내부응력의 변화에 관련시켜 검토하였다.

II. 실험방법

1. 타게트의 제조

박막제작용 타게트는 Fe와 Ni을 칭량하여 진공유도용 해로 장치를 써서 용해하여 인고트를 만든 다음 1150℃에서 8mm 두께까지 열간 압연을 한 후 4mm 두께로 냉간 압연을 하였다. 여기서 얻은 퍼멀로이 판재를 최종 가공을 거쳐 직경 100mm, 두께 3mm의 타게트로 제작하였다. 타게트의 조성은 80.31 Ni-19.67 Fe-0.02 Mn (wt. %)이었다.

2. RF 마그네트론 스퍼터링 장치

타게트 위에서의 누설자계를 크게 하기 위해 최대자기 에너지적 $(BH)_{max}$ 가 35 MGOe의 Nd-Fe-B계 희토류 영구자석을 타게트 아래에 설치하였으며 산화방지를 위해 Ni-P 무전해 도금을 하였다. 박막에 일축자기이방성을 부여하기 위해 기판 지지부에 큐리 온도가 높은 SmCo 자석을 설치하여 열화를 방지하였으며 이때의 기판자장은 약 400 Oe였다.

3. 박막의 제조

퍼멀로이 박막의 제조용 기판으로 Si(100) 웨이퍼를 사용하였으며 타게트-기판간 거리는 6cm로 고정하였다. 스퍼터링 조건은 초기 진공도 7×10^{-7} Torr 이하, 투입전력 100~500 W, 아르곤 압력 0.5~20mTorr 및 RF 기판 바이아스 전압 -10~-70 V로 하였으며 모든 박막의 두께는 1 μ m로 일정하게 제작하였다.

4. 박막의 특성 분석

퍼멀로이 박막의 경우 실제 사용시 자화회전기구를 이용하므로 자화곡률축의 방향으로 보자력과 투자율을 측정하였다. 박막의 보자력은 진동시료형자속계(VSM)로 측정하였고 실효투자율 측정은 8자 코일을 이용한 투자율 측정장치를 사용하였다. 박막의 성분분석은 WDS

(Wavelength Dispersive Spectroscopy)로 조사하였다. 박막의 내부응력은 두께 200 μ m의 Si(100) Wafer를 기판으로 사용하여 박막을 증착한 다음 Bending Method로 측정하였다. 이때 사용된 기판의 치수는 50x4(mm)이었다.

III. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 기판 바이아스 전압에 따른 자화곡률축 방향으로의 보자력의 변화를 나타낸 것이다. 스퍼터링 조건은 투입전력 300 W, 아르곤 압력 1mTorr이며 바이아스는 RF를 사용하였다. 보자력은 바이아스 전압을 가하지 않은 박막에서 0.54 Oe를 나타내었으나 -20 V의 바이아스 전압을 가할 경우 0.60 Oe로 증가하였고 -30 V 이상을 가할 경우 급격히 증가하여 -70 V에서 15 Oe를 나타내었다. 바이아스 전압은 주상조직의 형성을 억제하고 불순물의 혼입과 공공의 생성을 억제하여 보자력을 낮추는데 효과적이며 바이아스가 -60 V 이상에서 최소의 보자력을 나타내는 것으로 보고되고 있다[6].

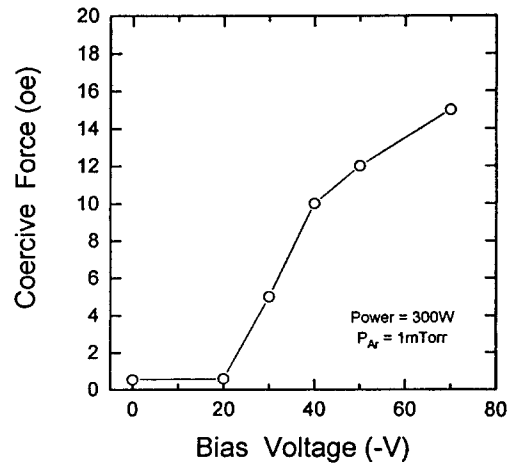


Fig. 1. Coercive force as a function of substrate bias voltage.

본 실험 결과가 다른 연구자의 결과와 전혀 다른 경향을 보이는 원인을 고찰해 보기 위해 먼저 기판 바이아스 전압에 따른 박막조성의 변화를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1과 동일한 스퍼터링 조건에서 조사된 것이며 바이아스 전압이 0에서 -70 V로 변화함에 따라 박막의 Ni 함량이 81.2 wt. %에서 75.1 wt. %로 급격히 감소함을 보여주고 있다. 바이아스 전압의 증가에 따른 박막

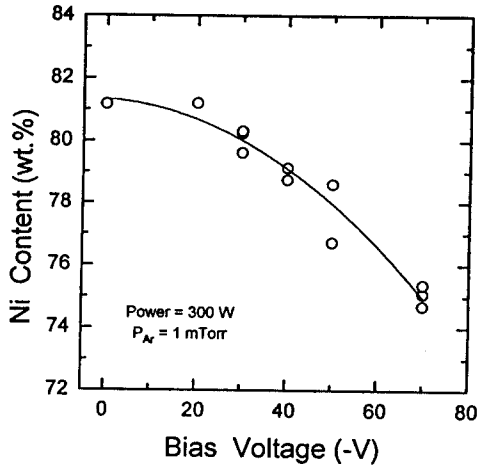


Fig. 2. Ni content of permalloy thin films as a function of substrate bias voltage.

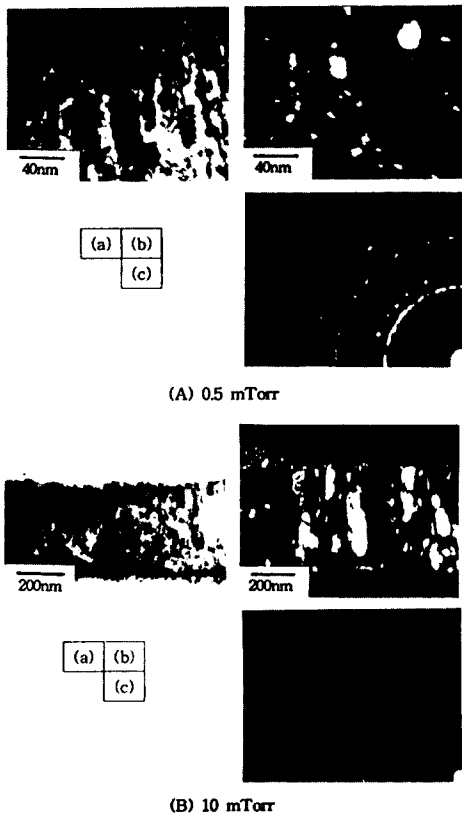


Photo. 1. Cross sectional TEM micrographs and electron diffraction patterns of permalloy thin films. (a) bright field image, (b) dark field image, (c) diffraction pattern

의 조성변화는 Fe보다 큰 스퍼터율을 가지는 Ni이 기판에서 우선적으로 재스퍼터링 되는 효과에 기인하는 것으로 보고되어 있다[6-7].

연자성 재료에서 보자력은 자기이방성(H_k)이 크고 포화자속밀도(I_s)가 작을수록 커지게 된다[8]. 따라서 보자력을 낮추기 위해서는 자기이방성을 최소로 하고 포화자속밀도를 크게 해야 하며 포화자속밀도는 조성의 함수로서 본 실험의 경우에는 적은 범위 내에서 변화되는 반면 자기이방성은 크게 변화하게 되므로 자기이방성을 최소로 하는 것이 더욱 중요한 사항이 된다. 자기이방성(H_k)은 결정자기이방성(H_k^c), 자기변형과 응력에 관계되는 응력의존이방성(H_k^o) 및 유도자기이방성(H_k^m)의 총화이며 다음과 같이 표현된다.

$$H_k = H_k^c + H_k^o + H_k^m \quad (1)$$

H_k^c 는 박막의 조성 및 결정 배향성에 관계되는 이방성이다. 본 실험의 경우처럼 기판온도를 상온으로 하여 스퍼터링된 상태의 박막의 미세구조를 사진 1에 나타내었다. 사진 1은 기판 바이아스가 없는 상태에서 아르곤 압력 0.5mTorr와 10mTorr에서 제작한 두 가지 박막의 단면 구조 및 회절 패턴을 TEM으로 관찰한 결과로 저압에서 증착한 박막의 결정립크기는 10~20nm로 등축상을 가지는 반면 10mTorr에서 증착한 박막에는 주상조직이 발달하였음을 볼 수 있다. 따라서 저압에서 증착한 박막은 결정립의 크기가 20nm 이하의 초미세결정구조를 가지므로 이방성분산이 일어나 H_k^c 항은 박막자기특성에 크게 기여하지 않게 될 것이다. 다음 항인 H_k^o 는 보통 박막의 내부응력(σ)과 포화자기변형(λ_s)의 곱으로 다음과 같이 표현된다[2].

$$H_k^o \approx \sigma \lambda_s \quad (2)$$

따라서 H_k^o 를 작게 하려면 σ 와 λ_s 를 동시에 낮추는 조건이 필요하다. λ_s 는 조성의 함수이며 2원계 퍼멀로이 박막의 경우 81~81.5 wt. % Ni 조성에서 영(0)을 나타내는 것으로 잘 알려져 있다[2, 3]. H_k^m 은 기판에 가해진 외부자장에 의해 일축자기이방성이 부여되는 본 실험의 경우 중요한 고려사항이지만 모든 박막이 일정한 자장이 가해진 상태에서 제조되었으므로 거의 동일한 값을 가질 것으로 생각할 수 있다. 따라서 자기이방성(H_k)은 응력의존이방성(H_k^o)에 의해 주로 영향을 받게 된다.

이상의 고찰을 통해 Fig. 1의 바이아스 전압이 없을 경우 및 -20V에서 제조된 퍼멀로이 박막의 보자력이 낮

은 이유는 영자기변형조성인 81~81.5 wt. % Ni 조성을 나타내는 영역이고, 강력한 마그네트론 효과에 의해 1 mTorr의 낮은 아르곤압력에서 주상조직이 없고 불순물, 공공이 적은 박막의 제조가 가능하였기 때문으로 생각된다. -20 V 이상에서 바이아스 전압이 커질수록 보자력이 증가하는 경향은 박막조성이 자기변형이 커지는 경향과 일치하며, 이 조건에서는 구조제어가 되더라도 자기변형이 계속 커지게 되어 보자력이 증가하는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 3은 투입전력에 따른 보자력의 변화를 살펴보기 위하여 아르곤 압력 1 mTorr의 조건에서의 결과를 나타낸 것이다. 투입전력이 100에서 500 W로 증가함에 따라 보자력은 300 및 400 W에서 각각 0.54, 0.29 Oe를 나타내었으며 이 이외에서는 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.

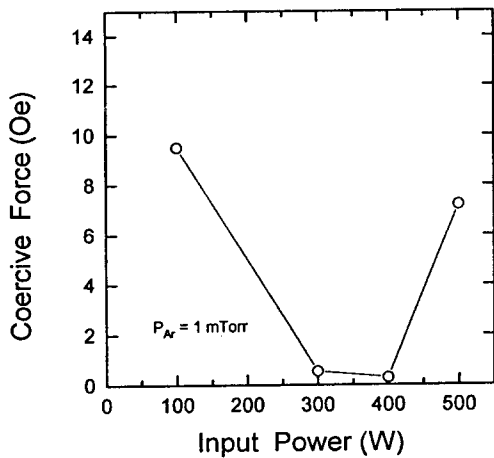


Fig. 3. Coercive force as a function of input power.

Fig. 4는 투입전력에 따른 박막조성의 변화를 나타낸 것으로 투입전력이 100에서 500 W로 증가함에 따라 Ni 함량은 81.02 wt %에서 82.04 wt. %로 증가하는 경향을 나타내었다. 투입전력에 따른 박막의 조성변화는 합금 타겟내의 각 원소들의 원자량 차이와 함께 원자간 결합정도의 차이[9]에 의한 효과로부터 생기는 스퍼터율의 변화에 기인하며 퍼멀로이 합금 타겟의 경우 투입전력의 증가에 비례하여 Fe보다는 Ni 원자의 스퍼터율의 증가가 상대적으로 크기 때문에 박막 조성의 증가를 가져오는 원인이라고 생각된다[10]. Fig. 3에 나타낸 것과 같이 300 및 400 W의 투입전력에서 보자력이 낮게 나타나는

이유는 다른 구조적인 요인보다는 300과 400 W에서 Ni 함량이 각각 81.2, 81.4 wt. %로 영자기변형조성에 접근하기 때문으로 볼 수 있다.

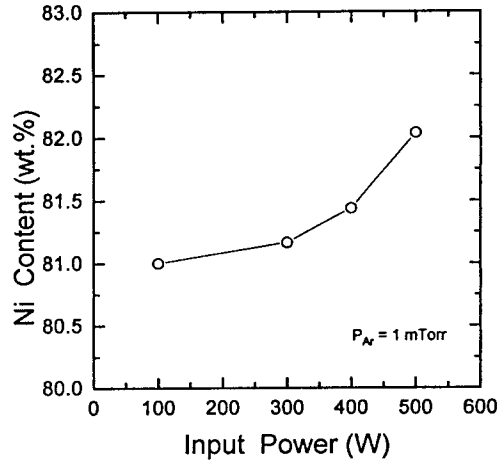


Fig. 4. Ni content of thin films as a function of input power

Fig. 5는 Fig. 3의 결과에서 300 및 400 W의 범위에서 낮은 보자력이 얻어지고 있으므로 이 두 투입전력에 한정하여 아르곤 압력의 변화에 따른 박막의 보자력 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 투입전력이 400 W인 경우가 300 W의 경우보다 비교적 넓은 범위의 아르곤 압력, 즉 1~5 mTorr에서 0.33 Oe 이하의 작은 보자력값을 나타내었다. 각 스퍼터링 조건에서 최소의 보자력은 400 W, 5 mTorr와 300 W, 2 mTorr의 조건에서 각각 0.10 Oe를 나타내었다.

Fig. 6은 300 및 400 W의 투입전력에서 아르곤 압력의 변화에 따른 실효 투자율의 변화를 나타낸 것으로 측정 주파수는 1 MHz이다. 아르곤 압력에 따른 투자율의 변화는 투입전력이 400 W일 때가 300 W일 때보다 큰 값의 투자율을 나타내고 있으며 이는 Fig. 5의 보자력의 변화에서 예상되는 결과이다. 최대값은 400 W, 5 mTorr의 조건에서 2800이 얻어졌으며, 투입전력 300 W의 경우에는 2 mTorr에서 2300이 얻어졌다.

Fig. 7은 투입전력 400 W에서 아르곤 압력의 변화에 따른 박막의 조성과 내부응력의 변화를 나타낸 것이다. 아르곤 압력이 0.5 mTorr에서 10 mTorr로 증가함에 따라 내부응력은 -0.71 GPa의 압축응력에서 1.17 GPa의 인장응력으로 변화하였으며 5 mTorr에서 거의 zero 응력

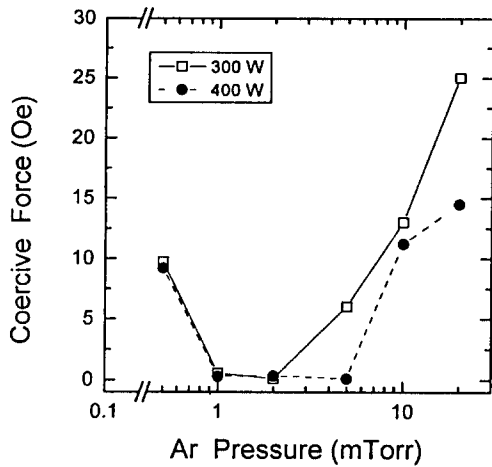


Fig. 5. Coercive force as a function of Ar pressure.

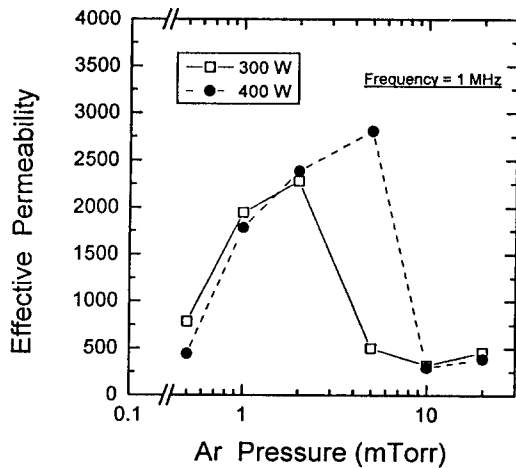


Fig. 6. Effective permeability(1 MHz) as a function of Ar pressure.

을 나타내었다. 박막의 내부응력은 열응력 (Thermal Stress)과 고유응력 (Intrinsic Stress)의 합으로써 나타나며 열응력은 기판과 박막간의 열팽창계수 차이의 함수로써 다음 식으로 표시된다.

$$\sigma_t = [E / (1-\nu)] (T - T_r) (a_{NiFe} - a_{Si}) \quad (3)$$

여기에서 σ_t 는 열응력, T 는 증착온도, T_r 은 상온, a_{NiFe} 와 a_{Si} 는 각각 퍼멀로이와 Si의 열팽창계수, E 와 ν 는 퍼멀로이 박막의 탄성계수와 Poisson비이다. 퍼멀로이

와 Si 기판의 경우 다음의 각 항, $E / (1-\nu)$, $(T - T_r)$ 및 $(a_{NiFe} - a_{Si})$ 들의 값은 양의 값을 가지므로 열응력은 항상 인장응력을 가지게 된다. 반면, 고유응력은 박막의 핵생성 및 성장에 크게 영향을 받는다. 박막의 형상은 증착조건에 의존하는 것으로 잘 알려져 있으며, 따라서 고유응력은 증착조건에 함수가 된다. 박막에서 압축응력은 아르곤 이온 및 스퍼터 원자와 같은 높은 에너지를 가진 입자의 기판 충돌과 또한 산소, 아르곤 원자와 같은 불순물의 혼입에 의해 주로 발생된다[4, 11-14]. 아르곤 압력이 증가하면 타겟에 부딪히는 아르곤 이온의 에너지를 감소시킬 뿐만 아니라 스퍼터 입자의 평균자유행로 (Mean Free Path)를 감소시킨다. 1mTorr에서의 평균자유행로는 약 14cm이며 10mTorr에서는 1.4cm이다. 따라서 본 실험에서와 같이 기판-타겟간 거리가 6cm인 경우 1mTorr에서는 스퍼터 입자가 거의 충돌없이 기판에 도달하나 10mTorr에서는 평균 4번 정도의 충돌을 일으키며 기판에 도달한다. 스퍼터 입자와 아르곤 입자와의 충돌은 에너지 손실을 유발하므로 아르곤 압력이 감소할수록 입자의 에너지가 증가하게 된다. Thornton이 제시한 Atomic Peening 모델 [13-17]에 의하면 스퍼터로 증착된 박막의 응력은 박막에 충돌하는 입자의 에너지, 유동 (flux) 및 입사각에 의존하며 따라서 이러한 변수는 아르곤 압력에 의존하게 된다. 고압의 경우 방전공간내에서 산란에 의해 입자의 에너지 손실 [18]을 가져오며 또한 박막의 경사각을 증가시킨다 [19]. 그러므로 증착되는 박막은 그림자 효과 (Shadow Effect)에 의해 인장응력이 발생된다 [19]. 저압의 경우 방전공간내에서 상대적으로 적은 입자산란에 의해 큰 에너지를 가진 입자가 박막표면에 거의 수직하게 충돌하게 된다. 이러한 효과는 원자의 재배열에 의하여 공공 (Void)을 감소시켜 박막의 충진률을 증가시킨다 [19]. 한편, 조밀한 박막과 압축응력사이의 관계에 대한 여러 연구결과 [16, 19-20]가 보고된 바 있다. 따라서 그림 7의 아르곤 압력에 따른 내부응력의 변화는 기판에 충돌 및 부착되는 스퍼터 입자의 에너지 변화에 기인하는 것으로 여겨진다. 한편, Ni 함량은 아르곤 압력이 증가함에 따라 전반적으로 감소하였으나 5mTorr에서 증가하는 경향을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 Ni 함량은 1~5mTorr의 아르곤 압력에서는 대체적으로 영자기변형 조성인 81.3wt. % 전후의 값을 지닌다. 그림 5와 6에서의 아르곤 압력에 따른 보자력과 투자율의 변화는 (2)식에서 보는 것과 같이 자기변형에 주로 영향을 미치는 박막 조성과 내부응력의 변화로써 설명될 수 있으며 자기변형과 내부응력이 동시에 작은 영역에서 보자력이 낮고 투자율이 높음을 알 수 있다.

IV. 결 론

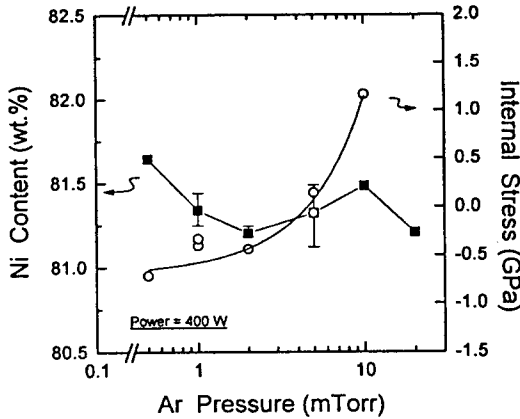


Fig. 7. Ni content and internal stress of permalloy thin films as a function of Ar pressure

그림 8은 최적의 연자기 특성을 나타내는 조건인 투입 전력 400 W, 아르곤 압력 5mTorr에서 제조한 박막의 주파수에 따른 실효투자율의 변화를 나타낸 것이다. 주파수가 1 MHz에서 100 MHz로 증가함에 따라 실효투자율은 2800에서 1800의 값을 가졌으며 10 MHz에서도 2600 이상의 높은 투자율을 유지하여, 고주파영역에서도 실용화에 적합한 큰 값의 실효투자율을 나타내고 있다.

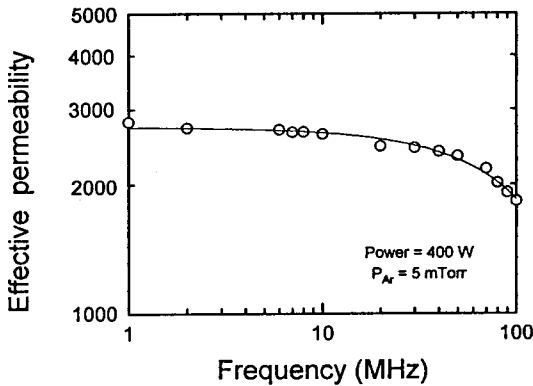


Fig. 8. Frequency characteristics of effective permeability for the permalloy thin film.

이상의 결과로부터 퍼멀로이 박막을 스퍼터링하여 제조할 경우 장치의 개선을 통해 저압 스퍼터링에 의해 미세구조를 조절함으로써 기판 바이아스의 효과에 해당하는 연자기특성의 향상을 도모할 수 있음을 알 수 있었다.

RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하여 강한 기판장하에서 퍼멀로이 박막을 증착 시킬 경우 투입전력, 아르곤 압력, 기판 바이아스 전압과 같은 스퍼터링 조건이 퍼멀로이 박막의 보자력 및 실효투자율에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 박막의 Ni 함량은 아르곤 압력 및 기판 바이아스 전압이 증가함에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며 투입전력에 따라서는 증가하였다. 박막의 내부응력은 아르곤 압력의 변화에 크게 영향을 받았으며 아르곤 압력이 증가함에 따라 내부응력은 압축응력에서 인장응력으로 바뀌었고 약 5mTorr에서 내부응력이 가장 낮은 값을 나타내었다.
- 2) 보자력은 저압의 스퍼터링 압력에서 기판 바이아스 전압을 가할 경우 그에 비례하여 오히려 증가하였으며 이는 바이아스 전압에 의한 박막 조성의 변화로 고찰되었다. 최소의 보자력값은 투입전력과 아르곤 압력이 각각 400 W, 5mTorr와 300 W, 2mTorr에서 최소값 0.10 Oe를 나타내었으며, 이러한 스퍼터링 조건에 따른 보자력의 변화는 박막내의 내부응력과 조성변화의 효과로 볼 수 있다.
- 3) 실효투자율은 투입전력 400 W, 아르곤 압력 5mTorr에서 최대값 2800(1 MHz)을 나타내었으며 10 MHz에서도 2600 이상의 고투자율을 유지하였다.
- 4) 본 실험에 의해 제조공정상 복잡한 설치가 수반되는 기판바이아스 전압을 가하지 않고도 양호한 연자기 특성의 박막을 얻을 수 있는 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 김희중, '92 국내의 한국과학기술자학술회의 추계 workshop 발표집, 한국과학기술단체총연합회, 14 (1992).
 [2] J. D. Freeman, J. Vac. Sci. Technol., **A9**, 421 (1991).
 [3] E. Klokhholm, and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys. **52**, 2474(1981).
 [4] R. S. Wagner, A. K. Sinha, T. T. Sheng, H. J. Levinstein, and F. B. Alexander, J. Vac. Sci. Technol. **11**, 582(1974).
 [5] M. M. Yang and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys., **66**, 3734(1989).
 [6] A. J. Collins, C. J. Prior and R. C. J. Hicks,

Thin Solid Films, **86**, 165(1981).

[7] T. H. Reith, R. E. Davis and J. A. Leavitt, J. Appl. Phys., **57**, 4195(1985).

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

[9] R. Kelly, Surf. Sci., **100**, 85(1980).

[10] B. Chapman, Glow Discharge Process, John Wiley & Sons, New York, 377~380(1980).

[11] F. M. d'Heurle, Metall. Trans. **1**, 725(1970).

[12] D. S. Rickerly and P. J. Burnett, Thin Solid Films, **157**, 195(1988).

[13] D. W. Hoffman, and J. A. Thornton, Thin Solid Films, **40**, 355(1977).

[14] D. W. Hoffman and J. A. Thornton, Thin Solid Films, **45**, 387(1977).

[15] J. A. Thornton, and D. W. Hoffman, J. Vac. Sci. Technol., **14**, 164(1977).

[16] J. A. Thornton, J. Tabock, and D. W. Hoffman, Thin Solid Films, **64**, 111(1979).

[17] D. W. Hoffman, and J. A. Thornton, J. Vac. Sci. Technol., **20**, 355(1982).

[18] R. E. Somekh, J. Vac. Sci. Technol., **2**, 1285(1984).

[19] J. A. Thornton, J. Vac. Sci. Technol., **4**, 3059(1986).

[20] A. Entenberg, V. Lindberg, K. Fleteher, A. Gatesman, and R. S. Horwath, J. Vac. Sci. Technol., **5**, 3373(1987).

Influence of Sputtering Conditions 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 22 August 1993, in final form 13 September 1994)

Effects of sputtering conditions such as the input power, Ar pressure and substrate bias voltage, on the magnetic properties of permalloy(NiFe) thin films have been studied. The films were fabricated by using an RF magnetron sputtering apparatus. The coercive force is obtained to be low in the input power of 300~400 W and the Ar pressure of 1~5mTorr. The best magnetic properties of the films achieved in this work are ;0.10Oe for the coercive force and 2800(1 MHz) for the effective permeability. The coercive force increases with increasing the substrate bias voltage at the low Ar pressure. The Ni content decreases with Ar pressure. The internal stress induced during sputtering is compressive at low Ar pressure but it changes to tensile at high Ar pressure, the stress-free state being at about 5 mTorr. The present result indicates that the variation of the soft magnetic properties with sputtering condition results mainly from the changes in the composition and internal stress.