

패턴 된 마이크로 자기박막 소자에서의 자기소거장 효과분석

김기출* · 서정대

한국전자통신연구원, 반도체원천기술연구소
대전시 유성구 가정동 161, 305-350

김기보 · 이충선 · 송용진

아주대학교, 물리학과
수원시 팔달구 원천동 산5, 442-749

(2003년 3월 4일 받음, 2003년 5월 20일 최종수정본 받음)

미시자기모델과 Stoner-Wohlfarth 모델을 이용하여 마이크로 크기로 패터닝(patterning) 된 퍼멀로이 박막의 자기소거장 효과를 분석하였다. 또한 $20 \mu\text{m} \times (40 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m})$ 크기의 퍼멀로이 박막 시료를 DC 마그네트론 스퍼터링과 광 리소그래피(photo lithography)로 제작하였고, 제작된 시료의 자기저항 특성과 전산시능에 의한 결과를 비교하였다. 미시자기모델에 의한 결과가 Stoner-Wohlfarth 모델에 의한 결과보다 측정 데이터에 더 잘 일치하였다. 전산시능 결과 마이크로 크기로 패터닝 된 자기박막 시료의 경우 Stoner-Wohlfarth 모델에서의 자기소거장 근사식이 수정되어야함을 제안하였다.

주제어 : 미시자기모델, Stoner-Wohlfarth 모델, 자기저항, 자기소거장

I. 서 론

퍼멀로이 박막이 자기기록의 재생헤드 물질로 폭넓게 사용되면서 이방성 자기저항 효과 및 전기적, 자기적 특성에 대한 연구가 다양하게 수행되어 왔다[1-3]. 자성체 시료 내부에서의 자화 거동은 시료의 크기가 수 mm인 경우, 자기소거장(demagnetization field)의 효과를 무시하고 Stoner-Wohlfarth 모델로 정밀하게 분석할 수 있다. 하지만 자기센서로 사용되는 수 μm 범위에서는 자기소거장의 효과를 고려해야한다. 자기소거장의 효과는 시료의 크기 및 모양에 크게 의존하므로 Stoner-Wohlfarth 모델보다 정밀한 미시자기모델(micromagnetic model)에 의한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 시료의 크기가 마이크로 크기로 작아짐에 따라 형상이방성이 자기소거장에 미치는 효과에 대하여 Stoner-Wohlfarth 모델과 미시자기모델을 사용하여 분석하였다. 또한 $20 \mu\text{m} \times (40 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m})$ 크기의 퍼멀로이 박막을 제작하였고, 제작된 시료의 자기저항 특성을 분석하였으며, Stoner-Wohlfarth 모델과 미시자기 모델에 의해 계산된 결과와 비교하였다. 그 결과 마이크로 크기의 자성박막 시료의 경우 Stoner-Wohlfarth 모델에서의 자기소거장 근사식이 수정되어야함을 제안하였다.

II. 전산시능 및 실험방법

2.1. 단일자기구역 모델과 미시자기모델

일반적으로 외부 자기장이 인가된 상태에서 강자성체 박막 내에서 자화의 분포는 Zeeman 에너지, 반자계(Demagnetization) 에너지, 이방성(Anisotropy)에너지, 교환(Exchange)에너지, 자왜(Magnetostrictive)에너지 항들의 합인 계의 총에너지가 최소화되는 방향으로 결정된다.

Stoner-Wohlfarth 모델에서 퍼멀로이 박막은 단일자기구역 시료로 가정하였고, 일축 이방성에너지의 자화용이축은 전류의 방향과 나란한 x축이 되도록 하였다. 자성체 시료에서의 자기소거장 인자 D는 시료의 모양에 의존한다[4]. 하지만 시료의 모양이 사각형인 박막시료의 경우 자기소거장은 다음과 같이 근사된다[5-6].

$$H_{dx} = -4\pi M_x \frac{t}{L_x} \quad H_{dy} = -4\pi M_y \frac{t}{L_y} \quad (1)$$

여기에서 t 는 박막의 두께이고 L_x, L_y 는 각각 시료의 길이이다. 계의 자유에너지 밀도는 다음과 같다.

$$\epsilon = -\mathbf{M} \cdot \mathbf{H} + K_u \sin^2 \phi_M - \frac{1}{2} \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}_d \quad (2)$$

여기에서 K_u 는 일축 이방성 상수이고, H_d 는 자기소거장, ϕ_M 은 x축과 이루는 자화의 각도이다. 단일자기구역 모델에서 자화의 방향은 자기소거장 근사식 (1)을 사용하는 반자계에너지, Zeeman 에너지, 이방성에너지 항들의 합인 (2)식을 가변

*Tel: (042)860-5854, E-mail: kckim@etri.re.kr

metric 방법[7]을 사용하여 계의 에너지를 최소화시키는 해의 방향으로 결정하였다.

미시자기모델에서는 $20\ \mu\text{m} \times (40\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}) \times 1000\text{\AA}$ 의 박막시료에 대해서는 $40 \times (80 \sim 200)$ 개의 정사각형 조각으로 분할하였고, $8\ \mu\text{m} \times (16\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}) \times 400\text{\AA}$ 의 박막시료에 대해서는 $128 \times (256 \sim 640)$ 개의 정사각형 조각으로 분할하였다. 분할된 정사각형 조각의 크기는 각각 500 nm, 62.5 nm였다. 퍼멀로이 박막시료 내에서의 자화 분포 상태는 분할된 정사각형 조각에 대하여 Landau-Lifshitz 감쇄항을 적용한 자기화의 운동방정식으로부터 계의 자유에너지가 최소화하는 전산시뮬레이션으로부터 구하였다. 자기화의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\gamma(\mathbf{M} \times \mathbf{H}^{eff}) - \frac{\gamma\alpha}{M} \mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}^{eff}) \quad (3)$$

여기에서 γ 는 gyromagnetic 비로 $g = 1.76 \times 10^7\ \text{Oe}^{-1}\text{sec}^{-1}$ 이고, 감쇄 상수(damping constant) α 는 각각 500 nm의 정사각형 조각에 대하여 $\alpha = 0.02$, 62.5 nm의 정사각형 조각에 대하여 $\alpha = 0.6$ 이었다. 미시자기모델 전산시뮬레이션에 관한 자세한 방법은 이미 출판된 논문에서 상세히 기술하였다[8].

2.2. 실험 방법

퍼멀로이 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 50 nm 두께의 SiO_2 (thermal diffusion 방법으로 형성시킴) 층을 형성시킨 Si(100) 기판 위에 100 nm 두께로 증착하였다. 박막 증착 중에 약 400 Oe의 자기장을 인가하여 일축 이방성을 유도하였고, 이때 유도된 일축 이방성의 방향은 시료의 x 축 방향이었다. 퍼멀로이 타겟의 조성은 자기변형 상수(magnetostrictive constant)가 영인 81Ni-19wt%Fe이었다. 증착된 퍼멀로이 박막을 광 리소그라피 공정을 통해 $20\ \mu\text{m} \times (40\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m})$ 의 사각형 시료로 패터닝 하였다. 직경 5 mm의 원형 시료도 동시에 패터닝 하여, VSM으로 증착된 퍼멀로이 박막의 자기적 특성을 분석하였다. 패터닝 시료 위에 금 전극을 열 증발법(thermal evaporation)으로 100 nm 두께로 증착하였다. 이때 전극 사이의 간격은 $20\ \mu\text{m} \times (40\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m})$ 시료에 대해서는 20 μm , 원형 시료에 대해서는 1 mm이었다. 각각의 시료에 대해서 교류 4단자법을 써서 자기저항을 측정하였고, 회전 자기장법[9]을 사용하여 일축이방성 자기장의 크기 측정하였다. 이때 인가되는 자기장의 방향을 전류의 방향(=자화 용이축)에 대하여 각각 90°, 60°, 45°, 30° 그리고 0°로 변화시키면서 각각의 자기저항을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

5 mm 원형 시료의 자기이력 곡선과 정규화된 자기저항 곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 자화용이축에 대한 보자력은 H_c

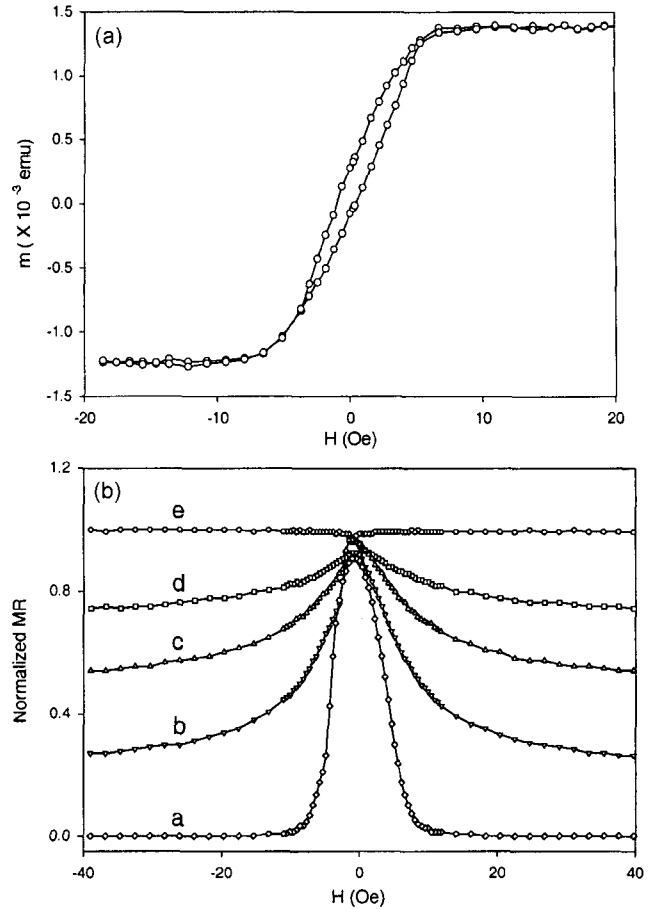


Fig. 1. Measured (a) hysteresis loop of a 5 mm diameter disk sample for the hard axis and (b) normalized magnetoresistance curves for the same sample under applied fields with various angles from the current. Plotted curves are at a (\diamond) 90°, b (∇) 60°, c (\triangle) 45°, d (\square) 30° and e (\circ) 0°, respectively.

= 0.8 Oe이었고, 일축 이방성 자기장은 $H_k = 4\ \text{Oe}$ 이었다. 자기저항 측정에서 외부 자기장은 전류의 방향에 대하여 각각 90°, 60°, 45°, 30° 그리고 0° 방향으로 인가되었다. 전류의 방향은 시료의 일축 이방성의 자화용이축과 나란하게 하였다. 자기저항 곡선은 자기장이 양의 최대값에서 음의 최대값으로 변하는 순방향 스캔에 대해서만 나타내었다. 인가되는 외부 자기장의 방향이 자화용이축과 나란해질수록 자기저항 곡선의 변화는 완만해졌고, 0°일 때는 자기저항이 거의 변하지 않았다. 0°일 때 외부 자기장 $H_{app} = 0\ \text{Oe}$ 에서 아주 작은 dip이 관찰되는 것은 시료 내부의 자화 상태는 자화용이축 방향으로 아주 잘 정렬되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 2에는 $20\ \mu\text{m} \times 60\ \mu\text{m}$ 퍼멀로이 시료의 측정된 자기저항 곡선(\circ)과 미시자기모델(—)과 단일 자기구역모델(\cdots)로 계산된 자기저항 곡선을 동시에 나타내었다. 실제 측정된 자

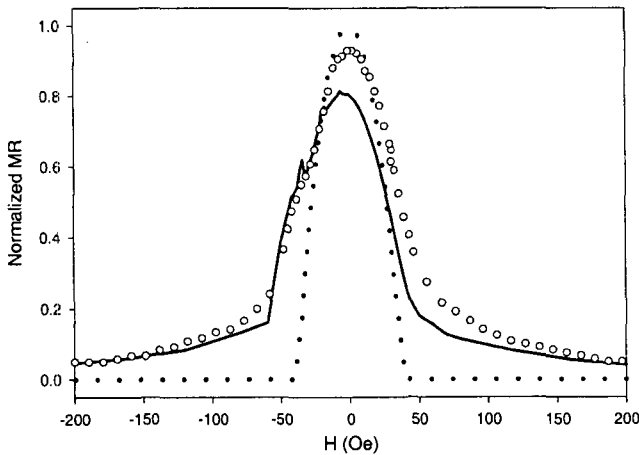


Fig. 2. Normalized magnetoresistance of measured data (○) and simulated ones by the single-domain model (···) and the micromagnetic model (—) for a 20 μm × 60 μm patterned permalloy sample with applied fields at 90°.

기저항 곡선과 미시자기모델에 의해 계산된 결과가 비교적 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 단일자기구역 모델에 의해 계산된 결과는 실제 측정 결과와 많이 어긋남을 알 수 있다. 미시자기모델에 의해 계산된 자기저항 곡선에서 0~50 Oe 사이에 조그만 둔덕(kink)들이 존재하는 것을 볼 수 있다. 이것은 미시자기모델에서 시료를 정사각형 조각으로 분할하는 크기가 500 nm로 퍼멀로이 박막의 자구역 두께(약 100 nm)보다 크기 때문에 발생하는 것으로 보인다. 조금 더 작은 크기인 8 μm × 16 μm 퍼멀로이 시료에 대한 미시자기모델 계산에서는 분할하는 정사각형 조각의 크기를 62.5 nm로 하였을 때 이러한 둔덕들이 발견되지 않았다.

20 μm × 40 μm, 20 μm × 60 μm 크기로 패턴 된 퍼멀로이 시료에서의 자기저항 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 퍼멀로이 시료의 자기저항 곡선에서 외부 자기장이 영(H_{app} = 0 Oe)일 때 큰 dip이 있음을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 외부 자기장의 방향이 90°인 경우를 제외하고는 모두 관찰되었다. 외부 자기장이 영일 때 자기저항 곡선에서 나타나는 이러한 dip은 미시자기모델에 의해 얻어진 자화분포 상태에서부터 설명된다. 시료 내부의 자화분포 상태는 시료가 노출되었던 이력에 영향을 받는다. Fig. 4에는 20 μm × 60 μm 퍼멀로이 시료의 순방향 스캔에서 외부 자기장이 4 Oe일 때와 0 Oe일 때의 미시자기모델에 의한 자화분포 상태를 나타내었다. Fig. 4에서 볼 수 있는 것처럼 외부 자기장이 4 Oe일 때의 자화분포 상태가 0 Oe일 때의 자화분포 상태보다 자화용이축에 보다 나란한 자화들이 많다. 외부 자기장이 영일 때의 자화분포 상태를 보면 시료의 가장자리에 고착되어있는 자화와 시료의 중앙에 곧바로 서 있는 자화가 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다. 이러한 자화분포 상태에 의해서 외부 자기장이

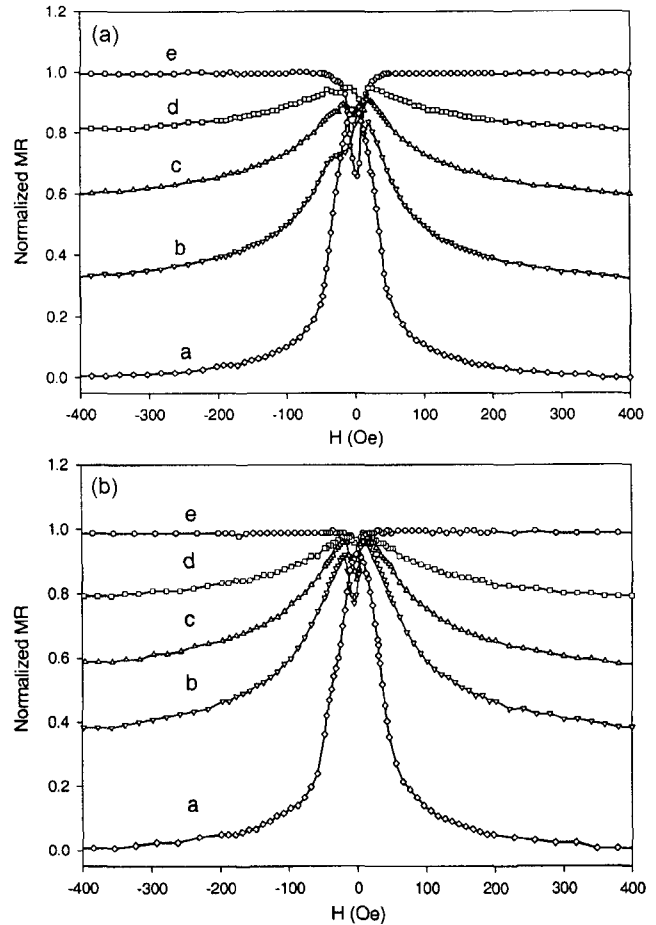


Fig. 3. Measured magnetoresistance curves for (a) 20 μm × 40 μm and (b) 20 μm × 60 μm patterned permalloy samples with applied fields at various angles from the current. Plotted curves are at a (◇) 90°, b (▽) 60°, c (△) 45°, d (□) 30° and e (○) 0°, respectively.

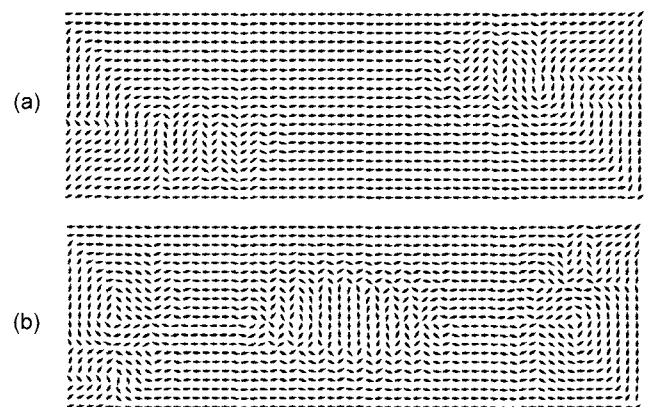


Fig. 4. Magnetization configurations of a 20 μm × 60 μm NiFe sample for the forward scan : (a) H = 4 Oe, (b) H = 0 Oe. The angle between the current and the applied field was 60°.

영일 때 자기저항 곡선에 커다란 dip이 나타나게됨을 알 수 있다. Fig. 3(a), (b)를 비교해보면 20 μm × 40 μm 시료에서의

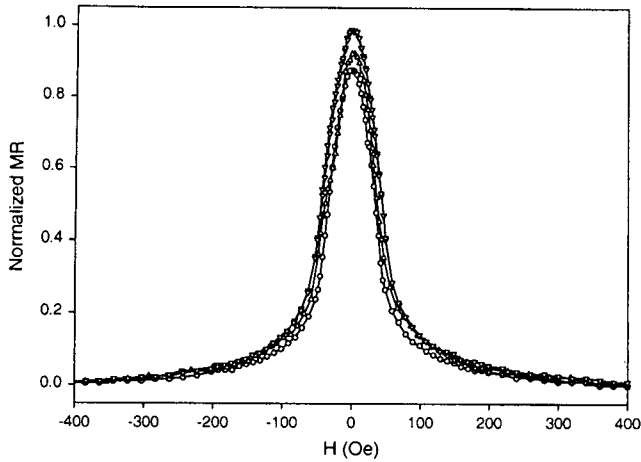


Fig. 5. Measured magnetoresistance curves of 20 μm × 40 μm (○), 20 μm × 60 μm (△), and 20 μm × 100 μm (▽) patterned permalloy samples with applied fields at 90° from the current.

dip이 20 μm × 60 μm 시료에서의 dip보다 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 시료의 크기가 작아질수록 형상이방성에 의해서 보다 큰 자기소거장이 자화의 분포상태에 영향을 미치고, 그 결과 외부 자기장 영역에서 곧바로 선 자화의 분포와 가장자리에 고착된 자화가 자기저항에 보다 크게 기여하기 때문인 것으로 판단된다. 20 μm × 100 μm 크기로 패터닝 된 퍼멀로이 시료에서는 자기저항 곡선에 이러한 dip이 존재했지만 그 크기가 미미하였고, 원형시료의 자기저항 곡선에 가까웠다. Fig. 5에는 외부자기장이 전류의 방향에 대하여 90° 방향으로 인가되었을 때의 자기저항 곡선을 20 μm × 40

μm, 20 μm × 60 μm, 20 μm × 100 μm의 퍼멀로이 시료에 대하여 동시에 나타내었다. Fig. 5에서 볼 수 있는 것처럼 시료의 크기 변화에 따라 가장자리에 고착된 자화와 곧바로 선 자화의 기여도 차이에 의해서 자기저항비가 조금씩 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

단일자기구역모델에서의 자기소거장의 y 성분은 외부 자기장을 변화시키면서 시료의 평형상태를 구하고, 이 상태에 대해 $H_{dy} = -4\pi M_s \sin\phi \frac{t}{L_y}$ 를 적용하여 계산하였다. 여기에서 ϕ 는 외부 자기장과 전류 사이의 각도이다. 이 계산에서 퍼멀로이 시료는 단일자기구역을 갖는 시료로 가정되었다. 8 μm × (16 μm~40 μm)의 시료에 대해서는 5000 Oe, 20 μm × (40 μm~100 μm)의 시료에 대해서는 1000 Oe 크기의 외부자기장이 자화용이축 방향으로 인가된 상태에서의 자기소거장을 각각 계산하였다. 미시자기모델에 의한 자기소거장의 평균값 역시 계산하였다. 이 계산에서는 각 cell의 에너지 평형상태에서의 자기소거장을 구한 다음 평균값을 구하였다. 단일자기구역모델에 의해서 계산된 자기소거장과 미시자기모델에 의해 계산된 자기소거장의 비를 구하였다. 각각의 계산 결과를 Table I에 정리하였다. H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD} 의 비는 8 μm × (16 μm~40 μm)의 시료에 대해서는 1.9~2.1 정도였으며, 20 μm × (40 μm~100 μm)의 시료에 대해서는 1.7~1.8 정도였다. 따라서 단일자기구역 모델에서 사용되는 자기소거장의 근사식 (1)은 다음과 같이 수정되어야함을 알 수 있다.

$$H_{dx} = -(C)4\pi M_x \frac{t}{L_x} \quad H_{dy} = -(C)4\pi M_y \frac{t}{L_y} \quad (4)$$

여기에서 C는 보정인자이다. 각각의 시료에 대하여 보정인자

Table I. Demagnetization fields estimated by the micromagnetic (MM) model, single-domain (SD) model and their ratio for 8 μm × 16 μm, 8 μm × 24 μm, 8 μm × 40 μm, 20 μm × 40 μm, 20 μm × 60 μm and 20 μm × 100 μm patterned permalloy samples, assuming that the magnetization was saturated with angles of 90°, 60°, and 45° from the current, respectively.

		8 μm × 16 μm		8 μm × 24 μm		8 μm × 40 μm	
		H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}	H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}	H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}
90°	SD Model	-50.3	2.03	-50.3	2.07	-50.3	2.11
	MM Model	-102.0		-104.1		-106.0	
60°	SD Model	-43.4	1.94	-43.3	1.99	-43.3	2.02
	MM Model	-84.4		-86.1		-87.7	
45°	SD Model	-35.3	1.90	-35.3	1.94	-35.2	1.98
	MM Model	-67.1		-68.5		-69.7	
		20 μm × 40 μm		20 μm × 60 μm		20 μm × 100 μm	
		H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}	H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}	H_{dy} (Oe)	H_{dy}^{MM}/H_{dy}^{SD}
90°	SD Model	-50.3	1.73	-50.3	1.77	-50.3	1.78
	MM Model	-86.9		-88.8		-89.2	
60°	SD Model	-43.4	1.73	-43.5	1.77	-43.5	1.78
	MM Model	-75.3		-76.9		-77.3	
45°	SD Model	-35.5	1.73	-35.5	1.77	-35.5	1.78
	MM Model	-61.5		-62.8		-63.1	

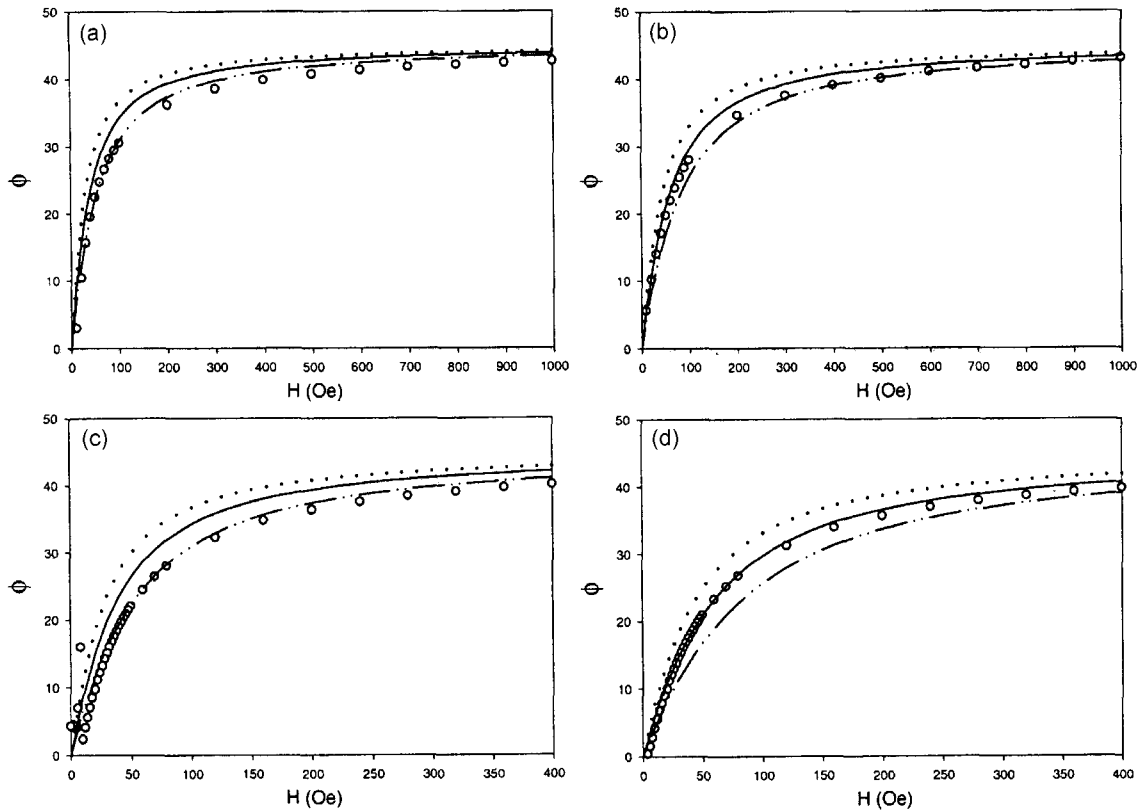


Fig. 6. Angle of magnetization vs. applied magnetic field for (a) $8 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$, (b) $8 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$, (c) $20 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$, and (d) $20 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ NiFe samples : the micromagnetic model (\circ), the single domain model (\cdots) and modified single domain model with $C = 1.4$ ($-$) and $C = 2.0$ ($- \cdot -$). Applied magnetic fields were set to be 45° from the current.

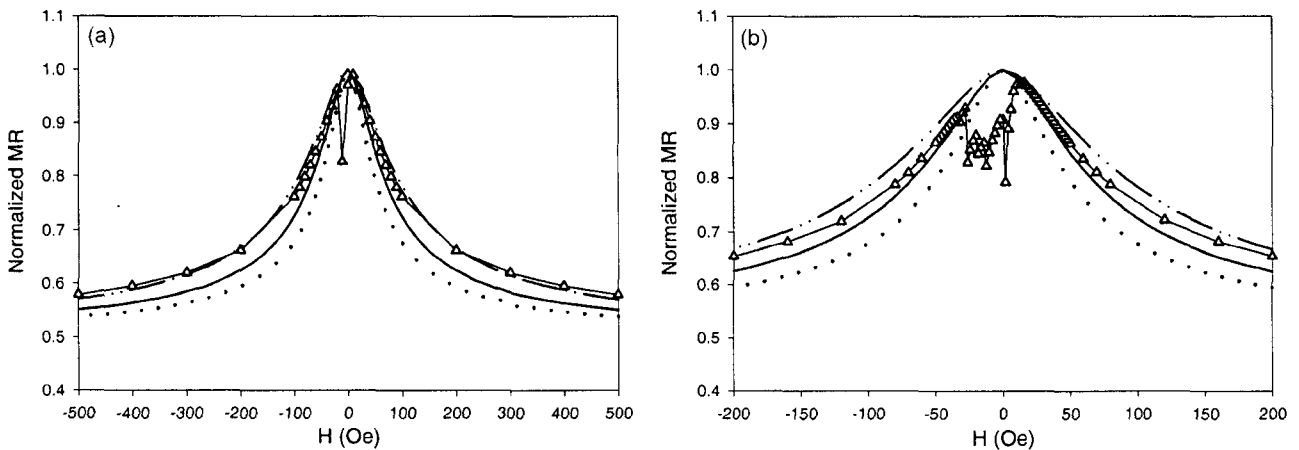


Fig. 7. Normalized magnetoresistance H curves for (a) $8 \mu\text{m} \times 24 \mu\text{m}$ and (b) $20 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ NiFe samples : the micromagnetic model (\triangle), the single domain model (\cdots) and modified single domain model with $C = 1.4$ ($-$) and $C = 2.0$ ($- \cdot -$). Applied magnetic fields were set to be 45° from the current.

를 다르게 적용한 수정된 자기소거장을 사용하는 단일자기구 역모델 계산을 수행하였고, 그 결과를 미시자기모델 결과와 비교하여 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6에는 $8 \mu\text{m} \times (16 \mu\text{m}, 40 \mu\text{m})$, $20 \mu\text{m} \times (40 \mu\text{m}, 100 \mu\text{m})$ 의 시료에 대하여 자기장의 변화에 따른 자화의 방향을 나타내었고, Fig. 7에는

$8 \mu\text{m} \times 24 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ 의 시료에 대하여 각각 계산된 자기저항 곡선을 나타내었다. Fig. 6과 Fig. 7에서 볼 수 있는 것처럼 같은 형상비(aspect ratio)를 갖는 시료에서도 시료의 크기가 작아질수록 자기소거장의 효과가 보다 크게 작용하여 보정인자 C 가 큰 결과에 보다 잘 일치하는 것을 알 수

있다. Fig. 7(a), (b)를 비교해보면 $8\ \mu\text{m} \times 24\ \mu\text{m}$ 크기의 시료의 경우 미시자기모델에 의해 계산된 자기저항 곡선은 보정인자 $C=2.0$ 을 사용한 단일자기구역 모델 결과와 잘 일치한다. 반면에 $20\ \mu\text{m} \times 60\ \mu\text{m}$ 크기의 시료에 대해서는 $C=1.4$ 와 $C=2.0$ 사이에 위치하는 것을 볼 수 있다. Table I의 결과와 비교해보면 $C=1.8$ 의 단일자기구역 모델 결과와 잘 일치할 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

자기박막 시료의 크기가 미크론 크기로 작아질 때 시료의 크기에 따른 자기소거장의 효과를 미시자기모델과 단일자기구역모델을 이용하여 분석하였다. DC 마그네트론 스퍼터링과 광 리소그래피를 이용하여 $20\ \mu\text{m} \times (40\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m})$ 크기의 직사각형 퍼멀로이 시료와 지름 5 mm의 원형 시료를 제작하였다. 제작된 시료의 자기저항 특성을 분석하였고, 전산시뮬에 의해 계산된 결과와 비교하였다. 원형 시료의 경우 시료 내부의 자화가 증착시 형성시킨 일축 이방성 방향으로 잘 정렬되어 있는 것을 알 수 있었다. 반면에 패턴된 퍼멀로이 시료의 경우 외부 자기장이 영일 때 자기저항 곡선에서 큰 dip이 발견되었다. 이러한 dip은 미시자기모델에 의해 얻어진 자화분포 상태로 설명되어진다. 미크론 크기로 패턴된 퍼멀로이 시료의 경우 자기소거장 효과에 의해 시료의 가장자리에 고착된 자화와 시료의 중앙에 곧 바로 선 자화가 존재하게 되고, 이러한 자화의 분포에 의해 외부 자기장이 영일 때 시료의 자기저항 곡선에 dip이 나타나게 된다.

단일자기구역모델에서 사용하는 자기소거장 근사식의 타당성에 대하여 미시자기모델과 단일자기구역모델을 사용하여 검토하였다. 미크론 크기의 자기박막 시료의 경우 단일자기구역 모델에서 사용하는 자기소거장 근사식에 보정인자가 필요했으며, 이 보정인자는 시료의 크기와 형상비에 따라 다른 값을 가졌다. 약 $10\ \mu\text{m}$ 정도의 크기인 $8\ \mu\text{m} \times (16\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m})$ 의 퍼멀로이 시료의 경우 자기소거장의 보정인자는 식 (4)에서 $C=2.0$ 이었다.

참 고 문 헌

- [1] Andrew S. Kao and Prakash Kasiraj, *IEEE Trans. Magn.* **27**, 4452 (1991).
- [2] Kitada Masahiro, Yamamoto Kazuhiro, *J. Magn. Magn. Mater.* **147**, 213 (1995).
- [3] 김기출, 이충선, 송용진, *J. Kor. Magn. Soc.* **11**, 163 (2001).
- [4] C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", Wiley & Sons, Canada, p. 384 (1996).
- [5] F. Jeffers and H. Karsh, *IEEE Trans. Magn.* **MAG-20**, 703 (1984).
- [6] P. Ciureanu and H. Gavrilă, "Magnetic Heads for Digital Recording", Elsevier, Amsterdam, p. 569, 581 (1990).
- [7] W. Press *et al.*, "Numerical Recipes", Cambridge University Press, Cambridge, p. 418, 490, 533 (1996).
- [8] T. S. Kim, K. C. Kim, Kibo Kim, K. Koh, Y. J. Song, Y. S. Kim, S. J. Suh, and Y. S. Kim, *J. of Magn.* **6**, 36 (2001).
- [9] K. C. Kim, Kibo Kim, K. Koh, Y. J. Song, Y. S. Kim and S. J. Suh, *Ungyong Mulli (Kor. Phys. Soc.)* **12**, 491 (1999).

Effects of Demagnetization Field in Patterned Micro-magnetic Film Elements

Ki Chul Kim* and Jeong-Dae Suh

Basic Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute
161 Gageong-dong Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea

C. S. Lee and Y. J. Song

Department of Physics, Ajou University 5 Wonchun-dong Paldal-gu, Suwon, 442-749, Korea

(Received 4 March 2003, in final form 20 May 2003)

A micromagnetic model and a Stoner-Wohlfarth model are used to analyze the effect of demagnetization field in patterned permalloy films. Permalloy films of $20\ \mu\text{m} \times (40\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m})$ are fabricated by DC magnetron sputtering and photo lithography. Measured magnetoresistance data of patterned permalloy films are compared with simulation results. The micromagnetic model gives a better agreement with the measured MR data than the Stoner-Wohlfarth model. Based on the simulation results, we propose a revised approximation formula for demagnetization field in Stoner-Wohlfarth model for a few μm patterned magnetic films.

Key words : micromagnetic model, Stoner-Wohlfarth model, MR, H_d