

자기 저항 헤드의 이중 자기 교환 바이어스를 위한 NiFe/ TbCo/ Si₃N₄ 박막제조

김영채 · 오장근 · 조순철

승실대학교 전자공학과

서울시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

(1994년 8월 12일 받음, 1994년 9월 22일 최종수정본 받음)

NiFe와 TbCo의 계면에서의 자기 교환 결합을 이용하여 자기 저항 소자에 수평 및 수직 바이어스 자장을 제공할 수 있도록 NiFe/TbCo/Si₃N₄ 박막을 제조하였다. Tb의 면적비가 36 %이고, 기판 바이어스를 인가하지 않았을 때 100 ~ 180 Oe의 교환 자장을 얻을 수 있었다. NiFe, TbCo, 그리고 보호막으로 사용되는 Si₃N₄ 각층의 두께는 각각 470 Å, 2400 Å, 600 Å 이었다. NiFe를 1000 W의 전력과 2.5 mTorr의 아르곤 압력에 제작한 시편에서 1.45 %의 자기 저항 변화율을 얻을 수 있었다. 미세 소자로 제작된 NiFe의 자기 저항 변화율은 1.31 %로 감소하였으며, 감자화 자장의 영향으로 박막이 완전히 포화되지 못한 곡선을 보였다. 150 Oe의 교환 자장을 갖는 박막을 자화 용이 방향과 36°의 각도로 소자를 제작한 결과 약 85 Oe 정도의 자기 저항 응답 곡선의 천이를 보였으며, 소자의 동작점이 응답의 선형 구간으로 이동하였다. 또한 Barkhausen 잡음이 교환 자장에 의한 수평 바이어스에 의하여 제거되었다.

I. 서 론

최근 컴퓨터 하드 디스크 드라이브(HDD)와 같은 자기 기록 장치는 기록 밀도 증가, 소형화에 더불어 대용량화를 추구하고 있으며, 이에 따라 자기 저항(MR : Magnetoresistive) 헤드[1]를 이용하는 추세가 확산되어 가고 있다. 자기 저항 헤드는 높은 기록 밀도에서 기존의 자기 유도 헤드보다 높은 출력 전압을 나타내며, 자속 밀도의 시간에 대한 변화율($d\phi/dt$) 대신 자속밀도(ϕ)를 직접 읽음으로써 출력 전압은 헤드와 매체 사이의 상대속도에 무관하다는 것이 특징이다. 그러나, 출력 파형이 비선형적이고, 잡음(Barkhausen Noise)이 크다는 단점[2]이 있다. 잡음은 자화 용이 방향으로 감자화 자장(Demagnetizing Field)보다 큰 바이어스 자장(수평 바이어스)을 걸어 주어 단자구 상태(Single Domain)로 만들어 제거할 수 있다. 또한 신호 인가 방향과 평행으로 바이어스 자장(수직 바이어스)을 걸어 주어 자기 저항 소자의 동작점을 선형 영역의 중심으로 천이시켜 출력 파형을 선형화시킬 수 있다.

이러한 바이어스 자장중 수평 바이어스 자장은 NiFe 소자에 FeMn 박막을 증착시켜 그 계면에서의 자기 교환 자장에 의해 제공될 수 있다. NiFe/FeMn[3] 교환 자장은 우수한 안정성으로 작은 센서를 단자구 상태로 만들어 잡음을 제거할 수 있으나, 온도의 변화에 매우 민감하여 열을 받게 되면, 교환 자장이 급격히 감소하여 헤드로서의 유용성을 상실하게 된다.

NiFe/TbCo계 박막은 NiFe/FeMn 박막보다 훨씬 큰 교환 자장을 생성하고, 또한 온도 변화에 덜 민감하다는 특성 측정 결과가 보고되고 있어[4, 5, 6], 본 연구에서는 NiFe/TbCo 박막을 RF diode 스퍼터링으로 제조하였으며, 큰 교환 자장을 이용, 수평 바이어스와 수직 바이어스 자장을 동시에 제공(이중 자기 교환 바이어스 제공)하고자 하였다. 또한, 실제 헤드로서의 유용성을 알아보기 위해서 소자를 제작, 그 특성을 조사하였다.

II. 실험방법

본 실험에서는 Perkin Elmer 2400 8L RF 스퍼터(8" 타겟 3개 장착)를 이용하여 박막을 제조하였으며, 기판은 Corning 7059 유리 기판을 이용하였다. 박막 제조시 초기 진공도는 5.0×10^{-7} Torr 이하였으며, 기판과 타겟 사이의 거리는 6 cm를 유지하였다. 박막에 이방성을 주기 위해서 SmCo₅ 자석을 이용하여 45 ~ 60 Oe의 DC 자장을 걸어 주었으며, TbCo는 36 %의 Tb면적비를 갖도록하고 전력 1000 W, 두께 2400 Å으로 증착하였으며, NiFe 박막(Ni₈₁Fe₁₉ wt% 타겟 이용)은 250 W ~ 1250 W, 0.5 ~ 5 mT에서 470 Å으로 증착하였다. Tb의 강한 산화성을 방지하는 보호막으로 사용된 Si₃N₄(혹은 SiO₂)은 1000 W에서 Ar : N₂를 1 : 20 ~ 30까지 변화(SiO₂ : 300 W, 10 mT)시켜 증착하였으며, 두께는 600 Å으로 하였다.

소자를 제작하기 위해 MR 패턴(직사각형 형태)과 금

속 배선 등 2개의 전자빔(Electron Beam)매스크를 제작하였다. 사진 식각 공정[7]을 이용한 자기 저항 소자의 제조 공정은 다음과 같다.

Spin coater를 이용하여 박막의 수분 제거를 위해 HMDS(Hexamethyl Disilazane)를 4500 rpm으로 35 초 동안 코팅한 후 AZ 1512 포토레지스트(Photoresist: P.R.)를 같은 조건으로 코팅하였다. 용매(Solvent) 제거를 위해 Soft Bake를 95 °C에서 30분간 실시하고, M R head 매스크를 사용하여 노출을 20초간 한 후 현상, 세척, 건조 후에 120 °C에서 30분간 Hard bake 를 하였다.

각층의 에칭[8]은 먼저 TbCo/Si₃N₄(SiO₂) 층을 습식(Wet) 에칭한 후 P. R.을 제거한 다음 NiFe 층은 스퍼터 에칭하였다.

Lift-off Processing을 이용한 금속 배선 부분의 제조 공정은 Spin Coater를 이용하여 HMDS를 3000 rpm으로 35초간 코팅하고 같은 조건으로 P. R.(AZ 1512)를 코팅하였으며, 이때 P. R.의 두께는 1.38 μm였다. 75 °C에서 10분간 Bake 후 21 °C에서 5분간 Monochlorobenzene에 담근후 건조하여 95 °C에서 5분간 Bake 하였다. 금속 배선 매스크를 사용하여 정렬(Align)과 노출을 한 다음 현상, 세척, 건조 후 시편 위에 Al을 6500 Å의 두께로 증착하였으며, 아세톤을 이용하여 과다 Al을 제거한 후, 알코올로 세척하고 건조하였다.

제작된 시편을 Die로 자를 때 소자를 보호하기 위해 P. R.을 코팅, Bake 하여 Diamond Wheel Saw로 잘랐으며, Lead frame의 Paddle 위에 Die Bonding과 Wire Bonding을 하였다.

Fig. 1은 20 μm × 32 μm 크기로 만들어진 자기 저항 소자를 500배로 확대하여 찍은 사진이다.

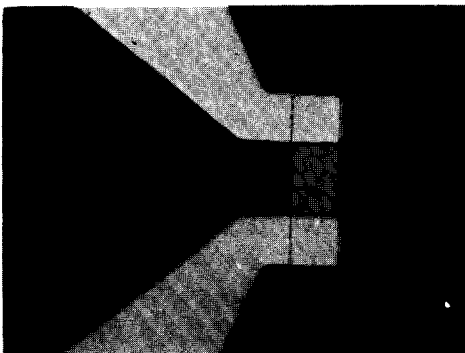


Fig. 1. Photograph of MR element

증착된 박막의 두께를 알아보기 위해서 Tencor α-

step 을 이용하였고, 보자력과 포화 자화등 박막의 특성 측정을 위하여 시편 진동 자력계(VSM)와 M-H Loop Tracer를 이용하였다. 또한 박막의 자기 저항값 측정 및 제작된 소자의 자기 저항 응답을 측정하기 위하여 자기 저항 측정 장치를 제작하였다.

Fig. 2는 자기 저항 측정 장치의 개요도이다. 자기 저항

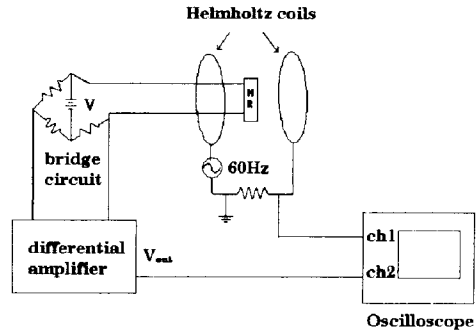


Fig. 2. Magnetoresistance measurement system

소자에 Helmholtz 코일로 60 Hz의 수직 자장을 인가하여 사용한다. 저항 변화율을 휘트스톤 브릿지 회로로 검출하고 증폭하여 오실로스코프의 채널 2에 입력한다. 수직 코일 사이에 저항을 삽입하고 양단의 신호를 오실로스코프의 채널 1에 입력한다. 오실로스코프를 X-Y 모드로 사용하면 X 축은 자기장을 나타내고, Y 축은 저항의 변화율을 나타낸다. 여기에서 저항변화율 $\delta = 4E/VG$ 이고, E는 V_{out}의 피크치이며, V는 브릿지 회로에 인가한 전압, G는 차동증폭기의 이득이다. 이 측정 장치로는 0.05 %의 자기 저항 변화율까지 측정이 가능하다.

III. 결과 및 검토

증착된 박막의 두께는 증착 시간에 따라 선형적으로 변화하였으며, 증착 속도는 TbCo가 1000 W에서 360 Å/min, NiFe는 1000 W에서 420 Å/min, Si₃N₄는 150 W에서 82 Å/min 이었다.

Fig. 3은 1000 W, 2 mTorr에서 3 mm × 19 mm의 크기로 제작된 NiFe 시편의 자기 저항 특성 곡선을 찍은 사진으로 50 Oe의 AC 수직 자장을 가했다. 측정 결과로부터 계산된 자기 저항 변화율은 1.39 % 이었으며, 두개의 피어크는 NiFe 패턴의 보자력에 상응한다.

Fig. 4는 1000 W에서 증착된 NiFe의 Ar 압력의 변화에 따른 자기 저항 값의 변화를 나타낸 그림이다. 기판 바리어스를 인가하지 않고 1000 W로 스퍼터링을 한 결과

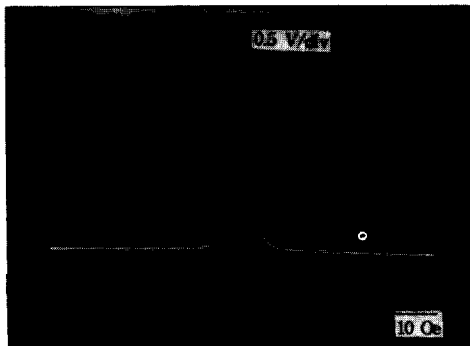


Fig. 3. MR response of NiFe pattern(sputter conditions : 100 W, 3 mTorr, pattern size : 3 mm × 19 mm)

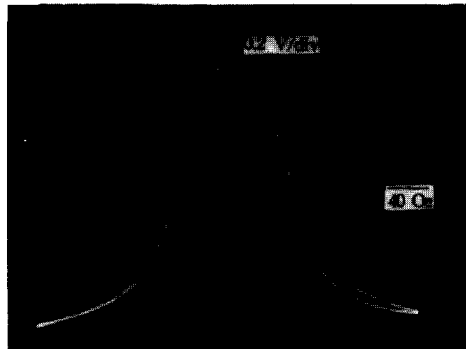


Fig. 5. MR response of NiFe with 7µm × 64 µm pattern size

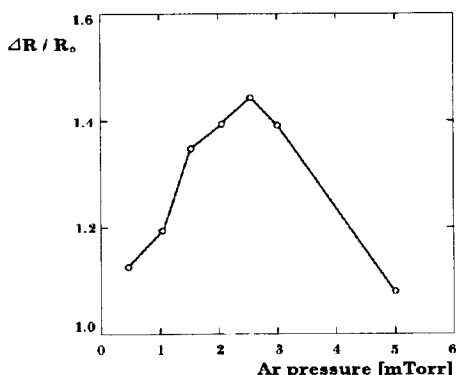


Fig. 4. Variations of $\Delta R/R_0$ of NiFe film with Ar pressure

2.5 mTorr에서 1.45 %의 자기 저항 변화율을 얻을 수 있었으며, 이때 사용된 시편들의 크기는 3 mm × 19 mm 이었다.

Fig. 5는 미소 자기 저항 소자(7 µm × 64 µm)로 제작 되었을 경우의 자화 곤란 방향(수직방향, 소자의 폭방향)의 자기 저항 응답 곡선이다. 제작된 소자에 외부에서 수직 방향으로 자장을 인가하였을 경우 사진에서 볼 수 있듯이 자벽의 불규칙적인 이동에 의하여 곡선이 매끄럽게 연결되지 않은 Barkhausen 잡음을 볼 수 있었으며[9], 최대 자기 저항 변화를 일으키는데 필요한 자장(포화 자장)이 Fig. 3의 10 Oe 정도에서 200 Oe 이상으로 증가됨을 알 수 있었다. 또한 자기 저항 변화율은 1.31 % 이었다. 이 소자는 자기 저항 변화율이 1.45 %인 박막으로 제작되었다. 포화 자장이 증가한 것은 미소 자기 저항 소자의 자화를 자장 인가 방향(자화 곤란 방향 즉, 수직 방향)

으로 회전시키는데 필요한 자장이 증가하기 때문이며, 이는 감자장(Demagnetizing Field)이 증가하기 때문이다. 소자의 중심(자화가 인가한 자장에 평행)에서 감자장의 대략적인 크기를 계산해 보면 다음과 같다.

$$H_d = -N_d M_s \tag{1}$$

여기에서, $N_d = t/h$ [1], t 는 두께(470 Å), h 는 폭(7 µm)이며, M_s 은 NiFe의 포화 자화값으로 780 kA/m(780 emu/cc)이고, 윗식으로 계산된 H_d 값은 5237 A/m(65.8 Oe)이다. 소자의 중심에서는 자화가 인가 자장 방향으로 포화가 될 수 있으나, 양쪽 끝(Edge)부분에서는 감자장이 중심보다 훨씬 크므로[10], 인가한 자장으로는 자기 저항 응답 곡선을 완전히 포화시킬 수 없었다. 자기 저항 변화율이 감소한 이유는 이 곡선의 최대, 최소값의 차이로 부터 얻어지는 전압으로 자기 저항 변화율을 계산하였으나 소자가 수직 방향으로 포화되지 않아 측정된 전압의 최소값이 실제값보다 컸기 때문에 사료 된다.

또한, Fig. 5의 소자와 길이 대 폭의 비가 다른(폭은 일정하고 길이가 다른) 소자들에 폭방향으로 자장을 가하여 측정, 비교한 결과 감자화 자장의 영향으로 Fig. 5보다 길이가 긴 소자(7µm × 128 µm)는 포화 자장이 더 컸으며, 짧은 경우(7µm × 7 ~ 32 µm)는 감자화 자장의 영향이 줄어서 약 100 Oe 정도에서 포화됨을 볼 수 있었다.

소자에 수평 바이어스($H_{E||}$)와 수직 바이어스($H_{E\perp}$), 즉 이중 자기 바이어스 자장을 인가하기 위하여 Fig. 6과 같이 자기 교환 자장(H_E)의 방향과 소자의 긴 방향(전류 방향)이 θ_E 의 각도를 갖도록 자기 저항 소자를 제조하였다.

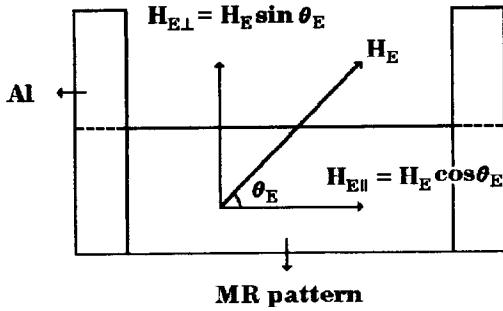


Fig. 6. Schematic expression of dual exchange bias

Fig. 7은 130 Oe의 교환 자장을 갖는 박막에 수직 바이어스

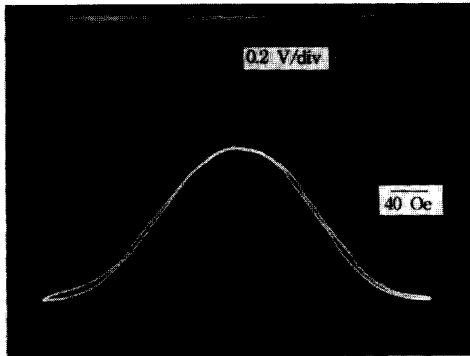


Fig. 7. MR response of an element with longitudinal exchange bias (Length : 64 μm , Width : 7 μm)

어스가 인가되지 않게 ($\theta_E = 0$) 제작한 소자의 자기 저항 응답 곡선으로 그래프는 어떠한 천이도 보이지 않아 수직 바이어스가 인가되지 않았음을 보여준다. 그러나, NiFe 단층 소자에서 볼 수 있었던 Barkhausen 잡음은 NiFe와 TbCo의 계면에서의 자기 교환 결합에 의하여 생성된 수평 바이어스에 의해 나타나지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 8은 150 Oe의 교환 자장을 보인 박막을 사용하여 이중 자기 교환 바이어스 인가 가능성을 알아보기 위하여 제작한 소자의 자기 저항 응답을 측정 한 사진이다. 제작되는 소자에 수직 및 수평 바이어스를 제공하기 위하여 자기 저항 소자의 방향(전류방향)을 자화 용이 방향(자기 교환 자장 방향)에서 36°의 각도(θ_E)로 기울기를 갖도록 정렬시켜 제작하였다. 측정 한 소자의 크기는 7 $\mu\text{m} \times 128 \mu\text{m}$ 이었으며, 외부에서 인가한 자장의 크기는 200 Oe 이었다. 곡선은 Barkhausen 잡음을 나타내지 않았으며, 이로부터 충분한 수평 바이어스가 제공되어 소자가 단자

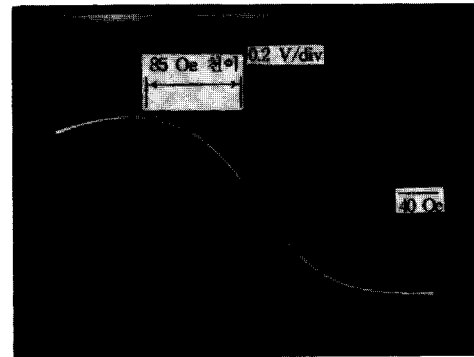


Fig. 8. MR response of an element with longitudinal and perpendicular exchange bias (Length : 128 μm , Width : 7 μm)

구 형태로 되었음을 알 수 있었다. 또한, Fig. 7과 비교하여 곡선이 왼쪽으로 천이된 것을 알 수 있다. 이것은 교환 자장의 수직 성분($H_{E\perp}$)이 수직 바이어스로 작용될 수 있음을 나타낸다. 계산에 의하면 수직 바이어스에 의하여 88 Oe 정도로 곡선이 천이 되어야 하며, 사진에서는 약 85 Oe 정도가 천이된 것으로 볼 수 있어, 계산과 거의 일치함을 알 수 있었다. 이러한 수직 바이어스에 의한 그래프의 천이로 거의 출력 응답의 선형구간으로 소자의 동작점이 천이된 것을 볼 수 있다.

소자의 자기 저항 변화율은 1.22 % 이었다. NiFe만의 소자에 비해 자기 저항 변화율이 작아진 이유는 NiFe와 TbCo의 병렬 저항 때문으로 사료된다. 4-point probe를 이용하여 NiFe와 TbCo의 비저항(Resistivity)을 측정하여 본결과 NiFe의 경우 22 ~ 24 $\mu\Omega\text{cm}$ 사이의 값을 가지고 있었으며, TbCo의 경우에는 250 ~ 360 $\mu\Omega\text{cm}$ 의 값을 나타내었다. 따라서 TbCo 병렬 저항에 의한 자기 저항 변화율 감소는 측정결과와 같이 10 % 정도로 예상된다.

II. 결 론

자기 저항 헤드의 바이어스 자장으로 NiFe/TbCo 계면에서의 자기 교환 결합 자장을 이용하기 위하여 NiFe/TbCo/Si₃N₄(보호막) 박막을 제조하였으며 제조된 박막의 유용성을 검증하기 위하여 자기 저항 소자를 제조하여 그 자기적 특성을 측정하였다.

TbCo 스퍼터 전력 1000 W, Ar 압력 40 mTorr, 36 % Tb 면적비, 두께 2400 Å, NiFe 두께 470 Å에서 100 ~ 180 Oe의 교환 자장을 측정하였으며, 1000 W, 2.5

mTorr로 증착된 NiFe 박막에서 1.45 %의 자기 저항값을 얻었다.

자기 저항 소자[크기 : 7 μm × (7 ~ 128 μm), 20 μm × (20 ~ 100 μm)]를 제조하여 자기 저항을 측정한 결과 TbCo와의 병렬 저항에 의하여 NiFe만을 사용하였을 경우보다 자기 저항 변화율이 약간 감소하였으며, 감자화 자장의 영향으로 소자의 길이 대 폭의 비가 클수록 자기 저항 응답의 포화 자장의 크기가 커짐을 알 수 있었다.

150 Oe의 교환 자장을 갖는 박막에 교환 자장 방향과 36°의 각도로 소자를 제조하였을 때(85 Oe 수직 바이어스와 120 Oe 수평 바이어스에 상당), 동작점이 출력 전압의 선형구간으로 천이한 것을 볼 수 있었다. 또한, 교환 자장의 수평 성분에 의해 소자에 수평 바이어스가 인가되어 Barkhausen 잡음이 제거 되었다. 즉, NiFe/TbCo 계면의 교환 자장을 이용하여 수직 및 수평 바이어스를 제공 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 93년도 교육부 신소재 연구 지원에 의해 이루어졌음.

V. 참고 문헌

- [1] Petru Ciureanu and H. Gavrila, Chapter 7, Magnetic head for digital recording, Elsevier (1987), pp. 568-666.
- [2] C. Tsang and K. Lee, J. Appl. Phys. **52**, 2471 (1981).
- [3] C. Tsang and K. Lee, J. Appl. Phys. **53**, 2605 (1982).
- [4] William C. Cain, William H. Meiklejohn and Mark H. Kryder, J. Appl. Phys. **61**, 4170 (1987).
- [5] 오장근, 지봉구, 안동훈, 조순철, 대한 전자공학회 하계 종합학술대회 논문집 **16**(1), p. 267, (1993).
- [6] 오장근, 안동훈, 조순철, 한국자기학회지 **3**, 293 (1993).
- [7] W. Scot Ruska, Microelectronic Processing, McGraw-Hill(1987) pp. 114-146, 229-230.
- [8] G nter Petzow, Metallographic Etching, p. 69, 83, American Society for Metals(1978).
- [9] N. Smith, J. Appl. Phys. **63**, 2932(1988).
- [10] C. Tsang and S. K. Decker, J. Appl. Phys. **53**, 2602(1982).

Magnetoresistive heads with dual exchange bias using NiFe/TbCo/Si₃N₄ thin films

Y. C. Kim, J. G. Oh and S. C. Jo

Department of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul, 156-743, Korea

(Received 21 August 1994, in final form 22 September 1994)

NiFe/TbCo/Si₃N₄ thin films were fabricated, which can be employed as dual(longitudinal and transverse) biased magnetoresistive elements utilizing surface magnetic exchange at the interface of NiFe/TbCo films. When Tb area percent was 36 % and substrate bias was not applied, magnetic exchange fields of 100 ~ 180 Oe were obtained. The thicknesses of NiFe, TbCo and Si₃N₄(Protective layer) were 470 Å, 2400 Å and 600 Å, respectively. Magnetoresistance ratio of 1.45 % was obtained using NiFe films fabricated with 1000 W power and 2.5 mTorr of Ar pressure. The MR ratio of microstructured elements was reduced to 1.31 % and the MR response curves were shown not to saturate due to demagnetizing fields of the elements. When elements were fabricated with 36° of misalignment with respect to the exchange field direction using films having 150 Oe exchange field, MR response curve was shifted by 85 Oe, and the operating point of the device shifted to the linear region of the response. Also, the Barkhausen noise was eliminated due to longitudinal bias field originating from the exchange field.