

박막 자기 저항 헤드용 자기교환 결합 NiFe/TbCo 박막

오장근 · 조순철

숭실대학교 전자공학과

서울시 동작구 상도5동 1-1, 156-743

안동훈

금성사 영상미디어 연구소

서울시 서초구 우면동 16번지, 137-140

(1993년 11월 11일 받음)

자기 저항 헤드용 자기 교환 결합 NiFe/TbCo/SiO₂ 박막을 RF diode 스퍼터링 방법을 이용하여 제조하고, 그 자기적 특성을 측정하였다. TbCo 박막은 Co 타겟 위에 Tb 조각을 부착한 복합타겟을 사용하였다. 30%의 Tb 면적을 갖는 타겟으로 제조된 NiFe(400 Å)/TbCo(1500 Å)/SiO₂(500 Å) 시편은 기관 바이어스를 인가하지 않았을 때 25 Oe, 기관 바이어스 -55 V를 인가했을 때 12 Oe의 교환자장을 나타냈다. 기관 바이어스 -55 V 이하에서 유효 수평 보자력은 TbCo 층의 수직 보자력에 거의 비례하였고, 28%의 Tb 면적비를 갖는 시편에서도 같은 경향을 나타내었다. 그러나, 교환 자장은 기관 바이어스가 인가되지 않은 경우에 4 Oe로, -55 V에서 7 Oe로 각각 감소하였다. 1000 W, Tb 면적비 36%에서 증착된 시편에서 100 Oe 정도의 교환 자장을 얻었으며, 보자력은 3 Oe로 작았다. 그리고, NiFe의 두께가 두꺼워짐에 따라 교환 자장의 크기가 감소하였다.

I. 서 론

자기 기록 장치는 높은 기록밀도를 갖는 대용량, 소형화된 제품을 지속적으로 추구하고 있다. 이러한 높은 기록밀도를 갖는 기록장치 (고성능 컴퓨터 보조 기억장치, Digital compact cassette 등)를 위해서는 이에 적합한 기록 및 재생 헤드가 개발되어야 한다. 현재까지 주로 사용되고 있는 재생과 기록을 동시에 행하는 자기 유도 (Inductive) 헤드로는 기록밀도가 증가함에 따라 기록된 신호를 재생하기가 어려워지며 따라서 재생전용 헤드로서 자기 저항 (Magnetoresistive:MR) 헤드[1]를 사용하는 추세가 확산되고 있다. MR 헤드는 높은 기록 밀도에서 높은 출력 전압을 갖는다는 것과 자속 (Magnetic flux)의 시간에 대한 변화율($d\Phi/dt$) 대신 자속을 직접 읽음으로써 자기 저항 헤드의 출력은 센서와 매체 사이의 상대속도에 무관하다는 것이 큰 장점이다. 그러나, MR 소자만으로 구성된 헤드는 출력 파형이 비선형적이며 잡음(Barkhausen noise)이 크다는 단점을 가지고 있다. 비선형의 문제는 동작점을 출력 곡선의 선형 부분으로 이동시켜 해결하며, 잡음을 제거하기 위해서는 자화 용이 방향으로 감자화 자장 (Demagnetizing field) 보다 큰 바이어스 자장을 걸어 주어 단자구(Single magnetic domain) 상태로 만들어 잡음을 제거할 수 있다[2]. 이러한 목적으로 헤드에 수

직 및 수평 바이어스 자장을 인가하여 사용하고 있고, 바이어스 자장을 인가하는 방법중의 하나로 계면 자기 교환 결합에 의한 교환자장을 사용하는 방법[3, 4, 5]이 연구되고 있다

교환 자장을 제공하는 반강자성 물질인 FeMn[3]은 우수한 안정성을 갖고, 큰 교환 자장을 생성, 작은 센서에서 단자구 상태가 될 수 있으나, 온도의 변화에 매우 민감하여 약 150 °C 정도 이상의 열을 가하게 되면 교환 자장의 크기가 거의 영에 가깝게 떨어지게 된다. 따라서 교환 결합 바이어스 자장 헤드로 제작된 NiFe/FeMn 박막이 열을 받게 되면, 교환 자장이 급격히 감소하여 헤드로서의 유용성을 잃게 된다.

최근 NiFe/TbCo 계 이층 박막을 이용하면 NiFe/FeMn 계 이층 박막보다 훨씬 큰 교환 자장을 계면에서 얻을 수 있으며, 온도 변화에 덜 민감하다는 특성 측정 결과가 보고 되고 있다[4, 6]. 본 연구에서는 이러한 NiFe/TbCo 박막을 RF diode 스퍼터링 방법으로 제조, 그 자기적 특성을 조사하였다.

II. 실험 방법

본 연구에서는 박막 제조를 위해 Perkin Elmer RF 2400 8L 스퍼터러를 이용하였으며, 기관은 Corning 7059 유리를 사용하였다.

제조되는 박막에 자기 이방성을 주기 위해 기판에 평행하게 SmCo₅ 자석을 이용하여 45 Oe의 DC 자장을 인가하였다. TbCo 타겟은 Co 타겟 위에 Tb 조각을 면적비가 각각 28% ~ 36% 되도록 부착하여 사용하였다. 타겟들의 직경은 8"이다.

본 연구에서 사용된 각 박막들 (NiFe/TbCo/SiO₂)의 제조 조건은 다음과 같다. TbCo는 40 mTorr의 Ar 압력과 320 W에서 -25 V ~ -90 V의 기판 바이어스를 인가하여 제조하였고, 1000 W에서는 바이어스를 인가하지 않았으며, 두께는 750 Å에서 2500 Å까지 변화시켰다. Ni₈₁Fe₁₉ 박막은 3 m Torr의 Ar 압력에 250 W의 파워를 인가하였으며 두께는 400 Å에서 800 Å까지 변화시켰다. SiO₂는 Tb의 강한 산화성을 방지할 수 있는 보호막으로 사용되었으며, 10 m Torr의 Ar 압력에서 320 W의 파워, 두께는 500 Å으로 증착하였다.

제작된 박막의 두께는 Tencor α -step 을 이용하여 측정하였고, 보자력과 포화 자화등의 자기 특성을 측정하기 위해 DMS 사의 진동 시편 자력계 (VSM) 와 M-H Loop Tracer를 이용하였다.

III. 결과 및 검토

Fig. 1은 박막 두께의 증착 시간에 대한 변화를 나타낸

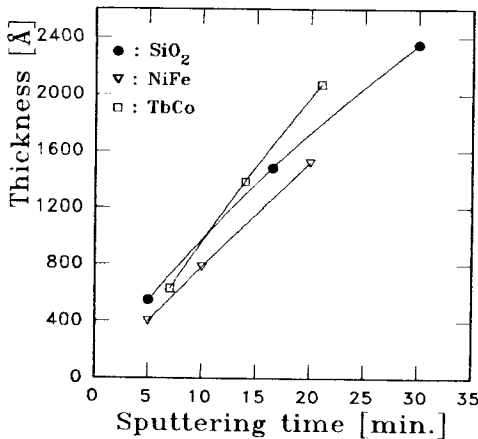


Fig. 1. Variation of film thicknesses with deposition time.

다. TbCo는 320 W와 40 m Torr, NiFe는 250 W와 3 m Torr, SiO₂는 320 W와 10 m Torr로 증착되었으며 시간에 따라 박막 두께가 거의 선형적으로 변화하였다. 시간에 따른 두께 증착율은 TbCo는 98 Å/min, NiFe는

76 Å/min, SiO₂는 73 Å/min 이었으며, TbCo의 1000 W에서 증착율은 328 Å/min 이었다. TbCo는 320 W의 파워에서 기판바이어스 -25 V, -40 V, -55 V를 인가한 경우에 증착율이 각각 87 Å/min, 82 Å/min, 62 Å/min 이었으며, 증착율은 증착시간에 대해 선형적으로 변화하였다.

Fig. 2는 400 Å 두께, 3 m Torr의 Ar 압력, 250 W의

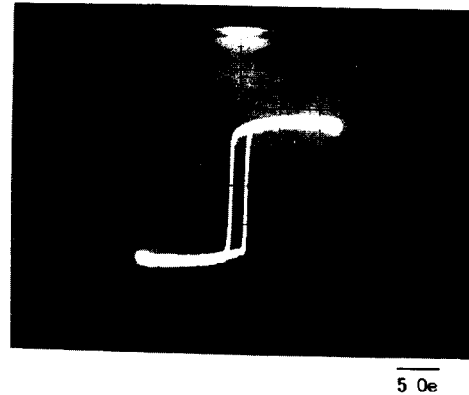


Fig. 2. Easy axis hysteresis loop of NiFe thin film.

파워에서 증착된 Ni₈₁Fe₁₉ 박막만의 자화 용이 방향의 자기 이력 곡선으로 M-H Loop Tracer로 측정되었으며, 보자력이 1 Oe 정도임을 알 수 있다.

Fig. 3은 3층 박막 NiFe/TbCo/SiO₂ 각층의 두께가

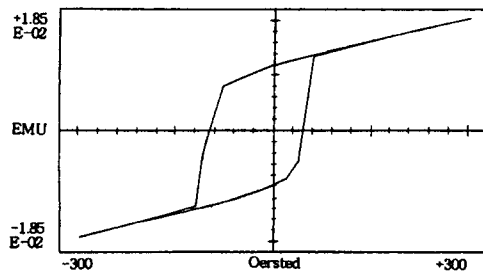


Fig. 3. Easy axis hysteresis loop of NiFe/TbCo/SiO₂ film.

400 Å, 1500 Å, 500 Å이고, Tb의 면적비가 30%인 타겟으로 제작된 시편의 자기 이력 곡선이다. 자화 용이 방향 자기 이력 곡선이 왼쪽으로 25 Oe 천이된 것을 볼 수 있다. 이것은 자기 교환 결합 자장이 생성 되었음을 보여 주며, 다음과 같이 설명될 수 있다. 본실험에서 사용한 TbCo 박막은 준강자성 비정질박막으로 박막면에 수직

방향의 이방성을 갖는다. 그러나, NiFe 강자성 박막위에 증착되면 Fig. 4(그림의 벡터 표시는 NiFe 스핀과

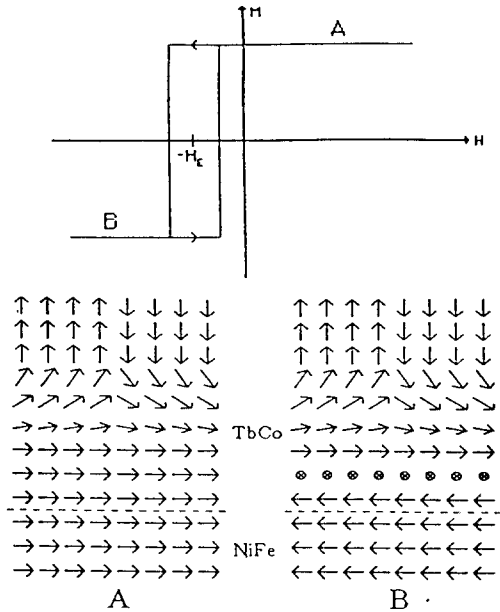


Fig. 4. Exchange coupling of NiFe/TbCo films.

TbCo 층의 Co subnetwork 스핀을 나타냄)의 A와 같이 자기 교환 결합에 의해 처음에는 NiFe와 같은 방향의 면내 자화 방향을 갖고 점차로 수직 방향의 이방성을 갖게 된다. 이러한 이층 자기 교환 박막에 그림 B와 같이 외부 자장을 왼쪽으로 걸어주면 보자력이 작은 NiFe 박막의 자화는 반전되나 보자력이 큰 TbCo 박막의 자화는 계면 근처에서만 자기 교환 결합에 의해 반전된다. 따라서 Fig 4의 B와 같이 180° 자벽(자벽의 중심에서의 스핀 방향만을 표시함)이 TbCo 박막 내부에 형성된다. 자장을 감소시킨 후 다시 자장을 오른쪽으로 걸어주면 자벽에 축적된 에너지가 NiFe 자화의 회전을 도와 오른쪽 방향의 포화 자장이 인가 되기전에(이 경우는 오른쪽 방향의 자장을 걸어주기 전에 이미) 그림과 같이 자화가 원래 방향(A)으로 회전할 수 있게 된다. 이러한 박막의 자기 이력 곡선은 중심이 천이된 루프(Loop)를 갖게 된다. 이로부터 큰 교환 자장을 얻으려면 TbCo 층의 면내 이방성(면내 보자력)이 커야함을 알 수 있다.

Fig. 5는 TbCo (40 m Torr, 320 W, 2000 Å), NiFe (3 m Torr, 250 W, 400 Å), SiO₂ (10 m Torr, 320 W, 500 Å), Tb 면적비 30 %인 3층 박막 제조시 인가된 기판 바이어스의 변화에 따른 면내 보자력 (In-plane

coercivity: H_{CI}) 과 생성된 교환 자장 HE의 변화를 보여 주고 있다. 또한 동일한 조건으로 증착된 TbCo 층만

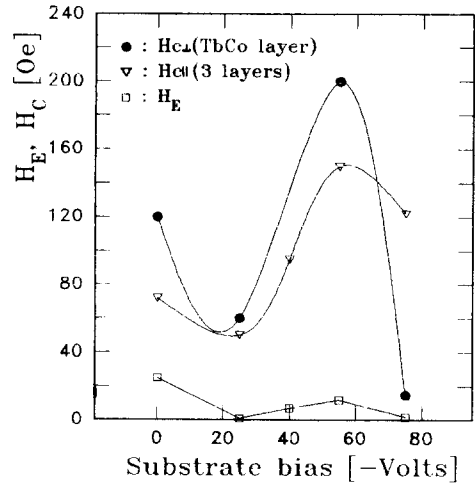


Fig. 5. Variation of coercivities and exchange field with substrate bias when Tb area is 30 % of the TbCo target.

의 박막에 수직 방향 보자력 (H_{CI})이 나타내져 있다. TbCo 층의 수직 보자력이 큰 경우 3층 박막의 면내 보자력도 컸으며, 교환 자장이 생성되었다. 바이어스가 인가 되지 않았을 때와 -55 V의 기판바이어스가 인가 되었을 때 큰 보자력을 얻었으며, 교환자장은 바이어스가 인가되지 않았을 때 25 Oe, -55 V의 바이어스가 인가되었을 때 12 Oe 이었다.

Fig. 6은 Tb 면적비를 28 % 로 박막의 제조 조건은 Fig. 5와 같은 조건으로 제작된 시편들의 보자력과 교환 자장 측정결과이다. Fig. 5에서의 마찬가지로 3층 박막의 면내 보자력은 TbCo의 수직 보자력에 거의 비례하는 것을 알 수 있었다. 교환자장은 기판 바이어스가 없는 경우 4 Oe, -55 V에서 7 Oe이었다. 전체적으로 Fig. 6의 시편들은 Fig. 5의 시편들에 비하여 교환 자장과 보자력값이 줄어든 것을 알 수 있으며, Tb의 양에 따라서 이들 특성이 아주 민감하게 변화하였다.

Fig. 7은 TbCo 타겟의 Tb 면적비를 36 %가 되도록 하고 TbCo를 1000 W에서 증착한 3층 박막 (NiFe/TbCo/SiO₂:470 Å / 2200 Å / 500 Å)의 자화 용이 방향 자기 이력 곡선을 나타낸다. 이 그림에서 루프가 100 Oe 정도 천이한 것을 볼 수 있으며, 보자력은 3 Oe 정도로 무척 작은 것을 알 수 있다. 루프의 천이가 320 W에서의 증착때 보다 크게 일어난 것은 증착 속도가

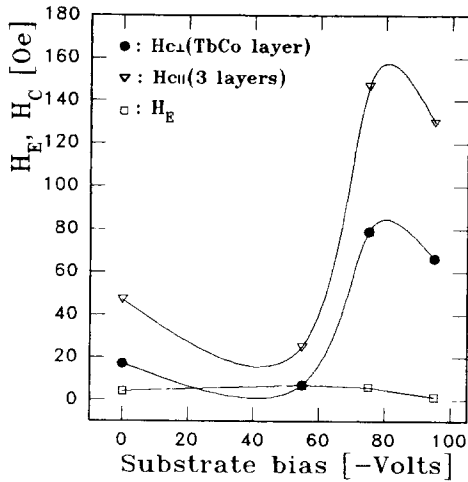


Fig. 6. Variation of coercivities and exchange field with substrate bias when Tb area is 28 % of the TbCo target.

빨라 Tb의 산화가 320 W로 증착되었을 때보다 적게 되고, 파워의 증가로 인해 기판의 온도가 상승하여 국부 자

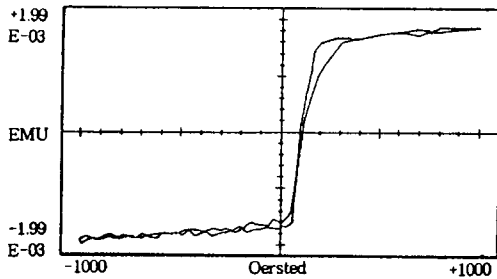


Fig. 7. Easy axis of hysteresis loop fabricated with 1000 W power.

벽 유도 이방성(Local domain wall induced anisotropy)의 생성이 더 수월해진 것으로 사료된다[7]. NiFe-TbCo 계면의 컴퓨터 시뮬레이션[8]에 의하면 계면 교환 상수가 감소하면 보자력이 감소한다. 따라서 보자력은 계면 교환 상수(interfacial exchange constant)의 감소에 따른 것으로 생각된다.

Fig. 8은 NiFe 400 Å, TbCo 750 Å, SiO₂ 500 Å로 제작된 시편의 자화 용이 방향의 자기 이력 곡선으로 좌우가 대칭인, 자기교환 결합이 일어나지 않은 경우를 나타낸다. 이것은 TbCo 층의 두께가 얇아 TbCo의 수직 이방성을 갖는 층이 존재하지 않아 TbCo의 스핀은 모두 면내에 있게 되고, 수직층이 없으므로 면내의 스핀들이 비

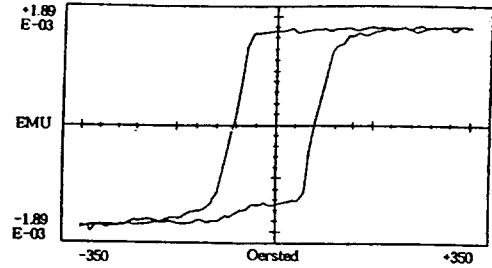


Fig. 8. Hysteresis loop of films with thin TbCo layer (NiFe 400 Å, TbCo 750 Å, SiO₂ 500 Å).

교적 용이하게 움직일 수 있게 되어 교환 자장이 생성되지 못하고 있음을 보여 주고 있다.

Fig. 9는 3층 박막으로 제조된 시편 중 NiFe 층의 두께가 변화함에 따라서 박막의 교환 자장의 변화를 나타낸

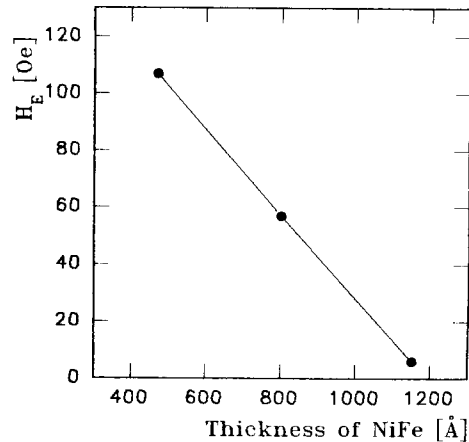


Fig. 9. Variations of exchange field with NiFe thickness.

것으로 NiFe 층의 두께가 두꺼워질 수록 자기 교환 결합 자장이 감소함을 보여 준다. 그 이유는 반강자성-강자성 계면을 Mauri et. al[9]이 모델링한 것을 이용하여 설명할 수 있다. Fig. 4에서 보인 바와 같은 TbCo 내의 180° 자벽에 축적된 에너지가 NiFe 스핀을 반전시키는데 사용되며 그 크기는 NiFe 층의 유효 교환 자장 H_E 에 의한 정자장 에너지 $M_s H_E t$ (t 는 NiFe 층의 두께)와 같다. 따라서 NiFe 층의 두께가 증가하면 교환 자장 H_E 가 감소하게 된다.

IV. 결 론

참고문헌

NiFe/TbCo/SiO₂ 박막의 계면 자기 교환 결합을 얻기 위하여 28 %, 30 %, 36 % Tb 면적비, NiFe 400 ~ 470 Å, TbCo 1500 ~ 2200 Å, SiO₂ 500 Å로 제작된 시편중 30 % Tb 면적비를 갖는 시편들에서 기판 바이어스를 인가하지 않은 경우 25 Oe의 교환 자장을 측정하였고, -55 V의 기판 바이어스를 인가했을 경우는 12 Oe의 교환 자장을 측정하였다. 교환자장은 유효 수평 보자력에 거의 비례하였으며, 기판 바이어스 -55 V 이하에서 유효 수평 보자력은 TbCo 층의 수직 보자력에 거의 비례하는 것을 알 수 있었다. 28 % Tb 면적비를 갖는 시편에서도 수평 보자력은 TbCo 층의 수직 보자력에 거의 비례함을 알 수 있었다. 그러나 교환 자장은 기판 바이어스가 없는 경우 4 Oe, -55 V에서 7 Oe로 감소하였다. 36 %의 Tb 면적비를 갖는 타겟으로 1000 W에서 제작된 시편에서의 교환 자장은 100 Oe 정도로 컸으며, 보자력은 3 Oe 정도로 무척 작게 측정 되었다. 큰 교환자장은 주로 박막의 증착속도가 빨라 Tb의 산화가 감소되며, 기판온도의 증가에 의한 국부 자벽 유도 이방성의 증가에 따른 것으로 사료된다. 작은 보자력은 계면 교환 상수의 감소에 의한 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 92 년도 교육부 신소재 분야 연구 지원에 의해 이루어졌음.

[1]. Petru Ciureanu and H. Gavrila, Magnetic head for digital recording , Elsevier (1987), pp. 568 ~ 668.
 [2]. C. Tsang and S. K. Decker, J. Appl. Phys., **53**, 2602(1982).
 [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**, 4107 (1987)
 [5]. 오장근, 지봉구, 안동훈, 조순철, 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, **16** (1), 267(1993).
 [6]. W. Cain and M. Kryder, IEEE Trans. Magn., **MAG-25** (3), 2787(1989).
 [7]. J. Yamasaki, K. Mohri, K. Watari and K. Nalita, IEEE Trans. Magn., **MAG-20** (5), 1855(1984).
 [8]. W. Cain, Exchange coupled thin films for use in self-biasd magnetoresistive heads, Ph. D dissertation, Carnegie-Mellon University (1990)
 [9]. D. Mauri, H. C. Siegmann, P. S. Bagus, and E. Kay, J. Appl. Phys., **62**, 3047(1987).

Magnetic exchange coupled NiFe/TbCo thin films for thin film magnetoresistive heads

J. G. Oh and S. C. Jo

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

D. H. Ahn

Goldstar Co., Image & Media Lab., Seoul 137-140, Korea

(Received 11 November 1993)

Exchange coupled NiFe/TbCo/SiO₂ thin films for magnetoresistive heads were sputter deposited using RF diode sputtering method, and their magnetic characteristics were measured. TbCo films were deposited using a composite target, which is composed of Tb chips epoxied on a Co target. NiFe(400 Å)/TbCo(1500 Å)/SiO₂(500 Å) films were deposited using a TbCo target having 30 % of Tb area ratio, which showed 25 Oe of the exchange field without substrate bias and 12 Oe with -55 V of substrate bias. The effective in-plane coercivities of the three layer films fabricated with less than -55 V of substrate bias were approximately proportional to the perpendicular coercivities of the TbCo layer only. The films fabricated with a TbCo target of 28 % area ratio showed the same trend. However, the exchange field decreased to 4 Oe without the substrate bias and 7 Oe with -55 V of substrate bias. In the films fabricated with 1000 W of power and the target of 36 % area ratio exhibited 100 Oe of exchange field and 3 Oe of coercivity. As the thickness of NiFe layer increased, the exchange field decreased.