

Ta/NiFe/Co/Cu/Co/NiFe/FeMn 스핀밸브구조에서 Ar 압력과 Co 사이층 두께에 따른 GMR 특성 변화

최연봉 · 류상현* · 조순철

숭실대학교 전자공학과
서울특별시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

(1998년 10월 26일 받음, 1999년 3월 20일 최종수정본 받음)

DC, RF 스퍼터링 방법으로 제조한 glass/Ta/NiFe/Co(t)/Cu/CoII(3/4 t)/NiFeII/FeMn 스핀밸브구조에서 아르곤(Ar)가스압력과 코발트(Co)층의 두께에 변화를 주어 보자력(H_c)과 교환이방성자계(H_a) 그리고 자기저항변화율(MR)에 대해 연구하였다. 아르곤가스 압력에 대한 보자력은 4 mTorr에서 2.8 Oe로 가장 작았으며 교환이방성자계는 6 mTorr에서 약 50.0 Oe, 자기저항변화율은 10 mTorr에서 5.3 %를 얻을 수 있었다. 또한 코발트층의 두께변화에 대한 보자력은 코발트층(Co)의 두께가 40 Å일때 3.0 Oe, 교환이방성자계는 13 Å 두께에서 65.9 Oe 그리고 자기저항변화율은 27 Å과 34 Å의 두께에서 4.7 %를 얻을 수 있었다.

I. 서 론

거대자기저항 (GMR : giant magnetoresistance) 은 인접한 자성층의 상대적인 스핀 방향차이에 따라 전도전자의 부가적인 산란에 의해 저항의 변화가 생기며 정상자기저항(OMR : ordinary magnetoresistance)이나 이방성자기저항(AMR : anisotropic magnetoresistance)과는 다르다. 자성층/비자성층 박막구조에서 비자성층의 적절한 두께에서는 인접한 자성층간에 반강자성결합을 하며 이때 자기저항이 크게 변하는 것을 거대자기저항효과라 한다. 이 효과는 1988년 Baibich[1] 등에 의해 Fe/Cr 다층초미세박막에서 발견된 후 컴퓨터의 HDD나 MTD와 같은 자기정보기록장치의 핵심부품인 자기헤드의 응용가능성에 대한 기대로 많은 연구가 되어왔다. 일부 다층박막과 미세입상박막(granular film)에서의 자기저항효과는 자기저항비($\Delta R/R$)는 크나 보자력이 수 KOe 정도로 커서 자기기록장치의 핵심부품인 자기헤드로 응용하기에는 많은 어려움이 있다[1, 2]. 이 문제점을 극복하기 위해 NiFe/Ag 불연속 다층박막, NiFe/Cu/Co/Cu 다층박막[3] 또는 스핀밸브구조등으로 응용가능한 GMR 소자를 만들고 있다.

1991년 Dieny[4] 등에 의해 처음 발견된 스핀밸브 자

기저항은 작은 보자력을 가지고 있는 퍼멀로이를 이용하여 NiFe/Cu/NiFe/FeMn[4], CoNiFe/Cu/CoNiFe/FeMn[5], NiO/NiFe/Co/Cu/Co/NiFe/FeMn[6] 등의 구조에서 관찰되어 왔다. 이러한 불연속 다층박막의 경우 박막의 미세구조가 거대자기저항에 커다란 영향을 가져오며 박막의 특성은 박막 증착시 진공도, 파워, 각 층의 두께, 아르곤 가스압력 등과 이 조건들에 따른 박막표면의 거칠기에 따라 어떤 변화를 가져오는지 연구할 필요가 있다.

이미 발표된 논문에서 DC 마그네트론 방법으로 증착한 NiFe/Co/Cu/Co/NiFe/FeMn/Ta 스핀밸브구조에서 탄탈륨(Ta) seed 층을 증착하지 않았을 경우에는 73.4 Oe의 교환이방성자계와 8.1 %의 자기저항변화율 그리고 28.5 Oe의 고착층보자력과 탄탈륨 seed 층을 증착하였을 경우 170.0 Oe의 교환이방성자계와 6.7 %의 자기저항변화율 그리고 29.9 Oe의 고착층보자력을 얻었다. 그러나 너무 큰 고착층의 보자력을 줄이기 위해 이온빔 (ion-beam) 증착법으로 증착한 같은 구조의 스핀밸브구조에서 125.0 Oe의 교환이방성자계와 2.8 %의 자기저항변화율 그리고 고착층보자력은 7.7 Oe로 크게 감소하였음이 보고 되었다[7].

본 논문에서는 RF, DC 마그네트론 스퍼터링방법으로 증착한 glass/Ta/NiFe/Co/Cu/Co/NiFe/FeMn 스핀밸브구조 박막에 대하여 아르곤 가스압력과 코발트층의 증착조건에 변화를 주어 보자력(H_c), 교환이방성

*현주소 : 아남반도체 기술연구소 공정재료팀
서울특별시 성동구 성수동 2가 280-8

자계(H_{ex}), 그리고 자기저항변화율(MR)을 비교 검토하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 4" 타겟 5개를 동시에 사용할 수 있는 스퍼터를 이용하여 RF, DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 glass/Ta/NiFeI/CoI(t)/Cu/CoII(3/4 t)/NiFeII/FeMn 스핀밸브구조의 다층박막을 제조하였다.

Corning 7059 glass를 기판으로 사용하였으며, 기판 세척은 트리클로로에틸렌, 아세톤, 알코올 그리고 DI Water 순서로 각 단계마다 3분 정도 끓인 후 10분간 초음파 세척을 하였다. 기판의 크기는 자기저항변화율 측정용은 4 mm × 25 mm × 0.7 mm, 진동시편자력계(VSM) 측정용은 10 mm × 12 mm × 0.7 mm였으며 동시에 증착하였다. 증착시 초기진공도는 4.0×10^{-7} Torr 이하였으며 아르곤(Ar) 가스압은 여러단계로 변화를 주었고 증착중 각 타겟마다 아르곤 가스압을 변화시키지는 않았다. 구리(Cu)층은 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하였고 나머지 층은 2대의 RF generator에 의해 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하였다.

기판과 타겟거리는 6 cm를 유지하였고 SmCo₅ 영구 자석을 기판주위에 배치하여 약 45 Oe의 DC 자장을 인가하여 시료에 자기이방성을 형성시켰다. 진동시편자력계를 이용하여 박막의 자기이력곡선을 관찰하였고, 두께측정은 α -step을 사용하였다. 자기저항변화율 측정은 본 연구실에서 제작한 자기 저항측정 장치를 사용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

그림 1은 Corning 7059 glass/Ta(50 Å)/NiFeI(80 Å)/CoI(t Å)/Cu(22 Å)/CoII(3/4 t Å)/NiFeII(40 Å)/FeMn(150 Å) 스핀밸브 구조에서 $t = 20$ Å인 경우 아르곤가스 압력 변화에 따른 고착층(pinned layer: NiFeII) 보자력(H_c)변화를 나타낸 것이다. 고착층 보자력은 4 mTorr 에서 28 Oe로 최소값을 보였으며 10 mTorr 로 되면 11.4 Oe 까지 증가하였다.

아르곤 가스 압력이 높아지면 주상정 주위의 틈새를 가진 주상결정립경계등 자벽 핀닝자리(pinning site)가 많아지게 되고 이러한 평면결함(planar defect)들은 자구벽이 외부자기장에 의해 이동하는 것을 방해하므로

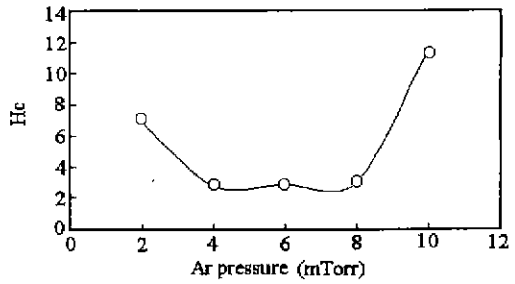
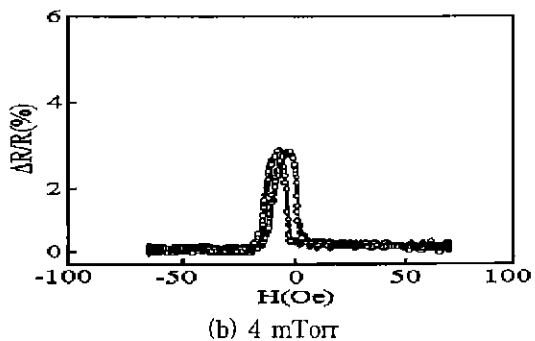
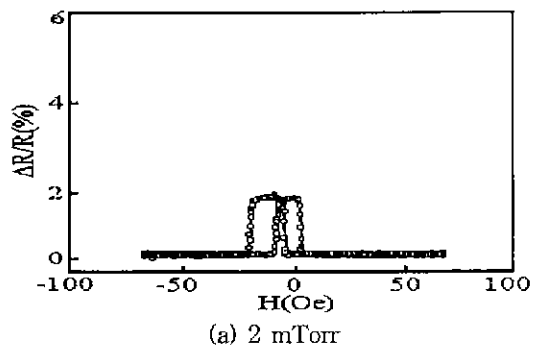


Fig. 1. Coercivity variation of pinned layers with Ar pressure.

높은 아르곤가스 압력으로 증착한 박막의 보자력은 크게 나타나는 것으로 보고되었다[8].

또한 퍼멀로이층을 사용한 스핀밸브구조에서 계면이 평탄할수록 큰 교환이방성자계를 유도할 수 있는 것으로 알려져 있다[9]. 본 실험에서는 seed 층으로 50의 탄탈륨(Ta)층을 증착하고 아르곤가스 압력을 6 mTorr로 Co/NiFe층을 증착했을 때 약 50 Oe의 교환이방성자계를 얻을 수 있었다.

그림 2는 그림 1과 동일한 스핀밸브구조에서 아르곤가스 압력 변화에 따른 자기저항곡선을 보여주고 있다. 아르곤 가스압력은 2 mTorr에서 10 mTorr까지 2 mTorr 간격으로 변화를 주어 증착한 결과이다.



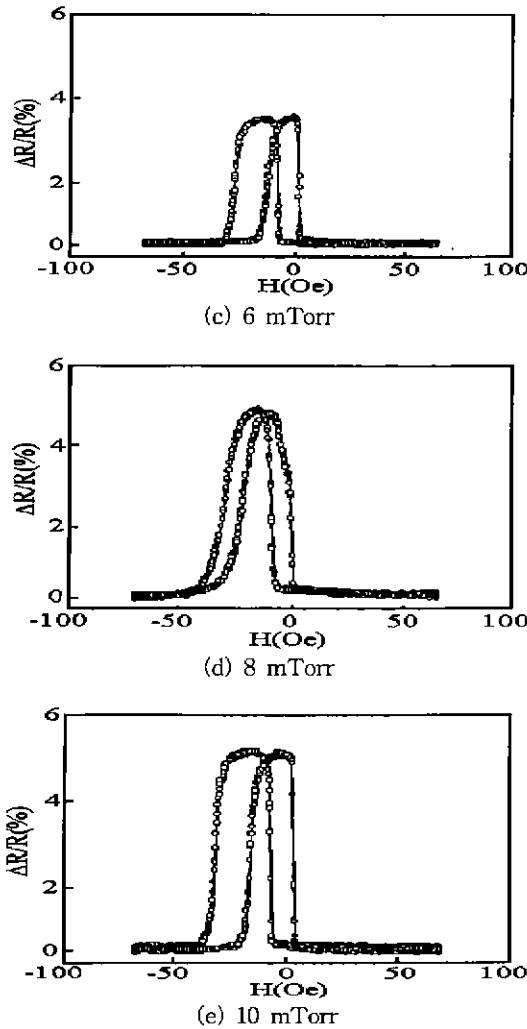


Fig. 2. *R-H* curve variation with Ar pressure in glass/Ta (50 Å)/NiFe(80 Å)/Co(20 Å)/Cu(22 Å)/Co(15 Å)/NiFe(40 Å)/FeMn(15 Å) samples. (a) 2 mTorr (b) 4 mTorr (c) 6 mTorr (d) 8 mTorr (e) 10 mTorr.

아르곤 압력이 2 mTorr, 4 mTorr, 6 mTorr, 8 mTorr, 10 mTorr 일 때 자기저항변화율은 각각 2.0 %, 3.1 %, 3.7 %, 4.7 %, 5.3 %였다

그림 3은 그림 2에서 보여준 스핀밸브 구조에서 아르곤 가스압력에 따른 자기저항값 변화를 보여 주고 있다.

그래프에서 볼 수 있듯이 아르곤 가스압력의 증가에 따라 비례적으로 자기저항값이 증가하여 10 mTorr에서 최고치인 5.3 %를 얻었으며 10 mTorr 이상에서의 결과는 그림 2에 나타내지 않았으나 그래프에서와 같

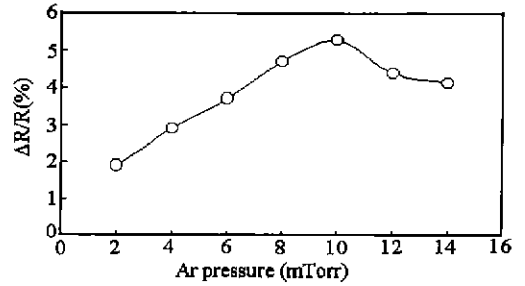


Fig. 3. Dependence of magnetoresistance in Ta(50 Å)/NiFe(80 Å)/Co(20 Å)/Cu(22 Å)/Co(15 Å)/NiFe(40 Å)/FeMn(150 Å) spin valve on Ar pressure.

이 점차 감소하였다. 코발트층이 없는 퍼멀로이 스핀밸브 구조에서 보고된 자기저항변화율이 4.0 % 정도라는 것[10]과 비교했을 때 코발트층을 넣음으로 해서 자기저항변화율이 증가되었음을 볼 수 있었다. 이것은 자기저항변화의 근본원인인 스핀의존산란이 퍼멀로이보다 코발트가 더 효율적이라는 것으로 설명된다.

그림 4는 glass/Ta(50 Å)/NiFeI(80 Å)/Co(*t* Å)/Cu(22 Å)/CoII(3/4 *t* Å)/NiFeII(15 Å)/FeMn(150 Å) 스핀밸브구조에서 아르곤 가스 압력은 6 mTorr로 고정시키고 코발트층의 두께(*t*)를 변화시킨 시편의 교환층 보자력과 교환이방성자계 값들이다. 자유층 (NiFeI)

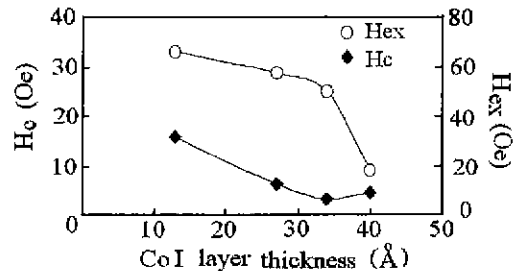


Fig. 4. Coercivity and exchange field variation with Co I layer thickness.

과 인접한 코발트II층, 교환층 (NiFeII)과 인접한 코발트I층을 같은 파워로 증착하였고, 코발트II층 두께는 코발트I층의 약 3/4 정도이다. 코발트층의 두께(*t*)가 13 Å으로 자유층과 교환층과의 두께에 상대적으로 얇을 경우 교환이방성자계는 65.9 Oe를 얻었으며 교환층의 보자력은 15.9 Oe를 얻었다. 코발트층의 두께를 증가시킨 결과 두께(*t*)가 약 34 Å일 때 교환층의 보자력은 3.0 Oe로 가장 낮은 값을 얻었고 교환이방성자계는 50.0 Oe였다. 코발트층 두께(*t*)가 40 Å(교환층 퍼멀로

이 두께의 75.0%) 일 때 고착층의 보자력은 4.5 Oe까지 증가하였고 교환이방성자계는 18.2 Oe로 감소하였다. 보고된 논문[7]결과와 비교했을 때 DC 마그네트론 방법으로 증착한 경우의 고착층 보자력을 비교해 보면 28.5 Oe에 비해 3.0 Oe로 매우 작은 결과를 얻었으며 교환이방성자계도 73.4 Oe에 비해 50 Oe로 작았다.

그림 5는 그림 4를 얻는데 사용한 박막을 진동시편 자력계를 이용하여 측정된 대표적인 자기이력곡선이다. 아르곤가스 압력을 6 mTorr 로 고정시키고 코발트층의 두께를 34 Å로 증착한 경우이다.

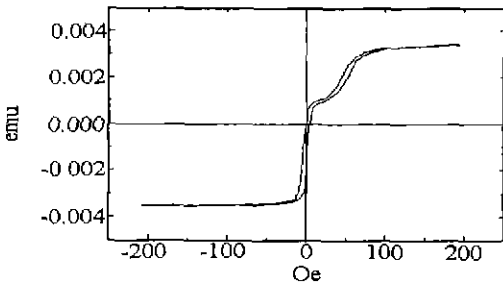


Fig. 5. *M-H* curve of the glass/Ta(50 Å)/NiFe(80 Å)/Co(34 Å)/Cu(22 Å)/Co(25 Å)/NiFe(40 Å)/FeMn(150 Å) sample.

그림 6은 glass/Ta(50 Å)/NiFe(80 Å)/Co(*t* Å)/Cu(22 Å)/CoII(3/4 *t* Å)/NiFeII(15 Å)/FeMn(150 Å) 스핀밸브구조에서 코발트층의 두께 변화에 따른 자기저항변화를 곡선이다. 코발트층의 두께(*t*)는 13 Å에서 40 Å까지 변화를 주었으며 이에 따른 자기저항변화는 13 Å에서 최소 2.9%, 34 Å에서 최대 4.7%까지를 보였다. 코발트층의 두께가 두꺼워짐에 따라 고착층의 보자력은 증가하였고 자기저항변화는 감소하였다. 이것은 코발트층의 두께가 두꺼울 경우 자유층과 고착층의 자기이력곡선이 겹쳐지는 것을 확인하였으며 이

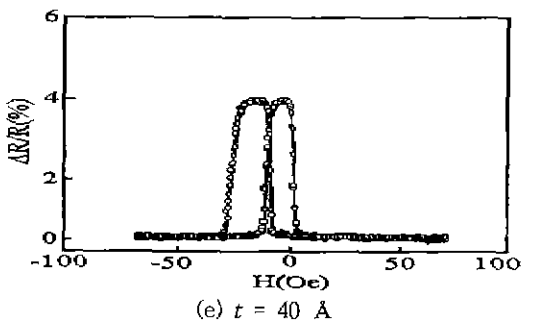
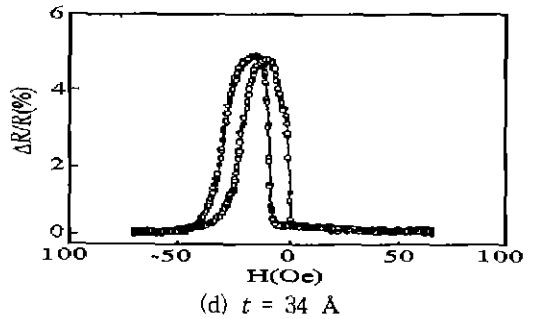
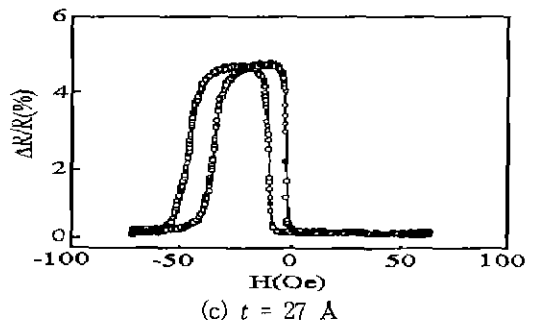
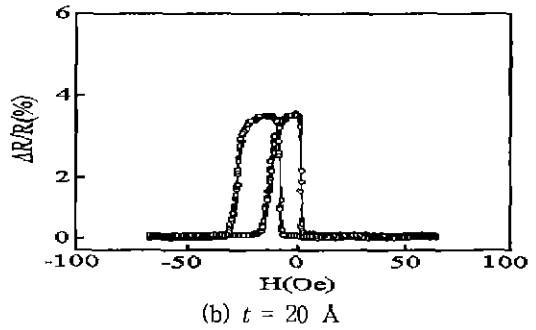
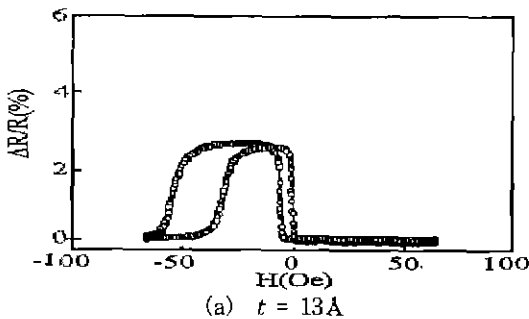


Fig. 6. *R-H* curve variation with thickness of Co layers in glass/Ta(50 Å)/NiFe(80 Å)/Co(*t* Å)/Cu(22 Å)/Co(3/4 *t* Å)/NiFe(40 Å)/FeMn(150 Å) samples. (a) *t* = 13 Å, (b) *t* = 20 Å, (c) *t* = 27 Å, (d) *t* = 34 Å and (e) *t* = 40 Å

린 현상때문에 교환이방성자계가 감소하고 이것이 원인이 되어 자기저항변화율이 감소하는 것으로 보여진다. 이미 발표된 논문[7]을 보면 탄탈륨을 seed 층으로 하여 DC magnetron 방법으로 박막을 증착하였을 경우에는 비교적 큰 고착층의 보자력과 자기저항변화율을 보인 반면 이온빔증착법으로 박막을 증착한 경우는 작은 고착층의 보자력과 더불어 자기저항변화율도 작아졌다. 본 논문에서는 이온빔증착법을 사용하지 않고 코발트층의 두께를 변화시켜 4.8 Oe의 고착층 보자력과 4.7 %의 자기저항변화율을 얻을 수 있었다. 교환이방성자계가 150 Oe 이상되면 자기저항변화율이 더 증가하리라 기대되나 본 논문에서 사용된 시편의 경우 약 50 Oe로 작았다.

IV. 결 론

RF, DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Corning 7059 glass 기판위에 Ta(50 Å)/NiFe(80 Å)/CoI(t Å)/Cu (22 Å)/CoII(3/4 t Å)/NiFe(40 Å)/FeMn(150 Å) 스핀밸브구조를 증착시켰다. 아르곤 가스 압력과 코발트층의 두께를 변화시켜 증착하여 고착층의 보자력 (H_c), 교환이방성자계 (H_{ex}) 그리고 자기저항변화율 (MR) 변화를 관찰하였다.

1. 아르곤 가스 압력 변화에 따른 특성변화(2 mTorr~10 mTorr)는 코발트층 두께를 20Å으로 했을 때 고착층의 보자력은 4 mTorr에서 2.8 Oe로 최소였으며 10 mTorr가 되면 11.4 Oe 까지 증가하였다. 교환이방성자계는 6 mTorr에서 약 50 Oe였으며 자기저항변화율은 최소 2 mTorr에서 2.0 %~최대 10 mTorr에서 5.3 % 까지 얻을 수 있었다.
2. 코발트층 두께변화(13Å~40Å)에 따른 자기적 특성 변화는 아르곤 가스 압력을 6 mTorr로 하고 코발트층의 두께가 13 Å일 때 고착층의 보자력은 29.5 Oe, 교환이방성자계는 65.9 Oe, 자기저항변화율은 2.9 %였으며 코발트층의 두께를 증가(34 Å에서 40 Å까지)시켰을때, 고착층의 보자력은 4.8 Oe까지 감소하다가 9.0 Oe으로 증가하였고 자기저항변화율은 4.7 %까지 증가하다가 4.0 %로 감소하였으며 교환이방성자계는 50 Oe에서 18.2 Oe까지 감소하는 결

과를 얻었다.

스핀밸브구조에서 자기적특성에 영향을 미치는 원인은 여러 가지가 있으나 박막 증착 방법의 중요성 못지않게 각 층의 두께, 아르곤가스압력등의 증착조건이 우선되어야 할 것이라 본다. 고착층의 보자력을 줄이기 위하여 이온빔증착법을 사용한 논문[7]의 결과와 비교해 보면 본 논문에서는 RF 와 DC magnetron 방법을 사용하여 앞의 논문 결과보다 더 작은 고착층보자력과 더 큰 자기저항변화율을 얻었다. 각 층의 증착조건과 보자력, 교환이방성자계, 그리고 자기저항변화율과의 관계를 명확하게 밝히기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 한국과학재단 연구비(과제번호 951-0911-041-2)와 1996년도 교육부 학술 연구조성비(신소재분야)(Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials in 1996)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Day, F. Petrott, D. Etienne, A. Fredrick and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett, **61**, 2472(1988).
- [2] J. Q. Xiao, J. S. Jiang, and C. L. Chien, Phys. Rev. Lett, **68**, 3749(1972).
- [3] T. Shinjo, and H. Yamamoto, Jpn. J. Phys. Soc, **59**, 3061(1990).
- [4] B. Dieny, V. S. Sperison, S. S. P. Parkin, B. A. Burncy, D. R. Wilhoit, and D. Manri, Phys. Rev, **B 43**, 1297(1991).
- [5] Y. Kitade, H. Kiduchi, H. Kishi, M. Otagiri, K. Kobayashi, IEEE Trans. on Magn, **31**(6), 2600(1995).
- [6] T. C. Anthony, A. Brug and S. Zhang, IEEE Trans. on Magn, **30**(6), 3819(1994).
- [7] W. E. Bailey, Nan-chang Zhu, R. Sinclair, S. X. Wang, J. Appl. Phys, **79**(8), 6393 (1996).
- [8] 민병철, 신성철, 한국자기학회지, **6**(2), 98(1996).
- [9] C.-M. Park, K.-I. Min, and K. H. Shin, J. Appl. Phys, **79**(8), 6228(1996).
- [10] D. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metn, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumart and D. Wilhoit, J. Appl. Phys, **69**, 4774(1991).

Variation of GMR Properties with Ar Pressure and Co Interlayer Thickness in Ta/NiFe/Co/Cu/Co/NiFe/FeMn Spin Valve Structures

Yeonbong Choi, Sanghyun Ryu* and Soonchul Jo

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

(Received 26 October 1998, in final form 20 March 1999)

We have studied changes of coercivity (H_c), exchange anisotropy field (H_{ex}) and MR ratio in glass/Ta/NiFeI/CoI (t)/Cu/CoII(3/4 t)/NiFeII/FeMn spin valve structures by changing Ar pressure and thicknesses of Co layers using DC, RF sputtering methods. We obtained minimum coercivity of 2.8 Oe at 4 mTorr of Ar pressure, exchange anisotropy field of 50.0 Oe at 6 mTorr and 5.3 % of MR ratio at 10 mTorr. Also, we obtained 3.0 Oe of coercivity at 40 Å of CoI layer, 65.9 Oe at 13 Å and 4.7 % of MR ratio at 27 Å and 34 Å by changing the thicknesses of Co layers.

*Present address : Material & Process Development Team, Technology R&D Center, Anam Industrial Co., LTD, 280-8, 2 Ga, Sungsu-Dong, Sungdong-Ku, Seoul, 133-123, Korea