

Ta/NiFe/Cu/Co Pseudo 스핀밸브 구조의 자기저항 효과

주호완* · 최진협 · 최상대 · 이기갑

단국대학교 물리학과, 충남 천안시 안서동 산 29번지, 330-714

(2003년 12월 24일 받음, 2004년 2월 10일 최종수정본 받음)

Ta/NiFe/Cu/Co 구조의 Pseudo 스핀밸브 박막을 제작하여 NiFe, Cu, Co 각 층들의 두께변화에 따른 자기저항비(MR-ratio), 보자력, 자기 민감도(sensitivity), 반전자장(Switching Field)의 크기 등의 자기적 특성을 연구하였다. 각 층들의 두께를 변화시키면서 측정한 결과 Ta(4 nm)/NiFe(7.5 nm)/Cu(3 nm)/Co(5 nm)에서 최대 자기저항비 7.26 %를 얻을 수 있었다. 또한 각 층들의 독립적인 자화 과정을 통해 자기저항 특성을 조절할 수 있었다. 특히 Co의 두께를 변화시켜 자기저항비를 비교적 일정하게 유지하면서 보자력의 크기를 조절할 수 있음을 알게 되었다.

주제어 : Pseudo 스핀밸브, 자기저항비, 민감도, 거칠기

I. 서 론

비자성층을 기준으로 양쪽에 강자성층으로 이루어진 pseudo 스핀밸브구조는 두 강자성층의 보자력의 차이를 이용하는 스핀밸브로서 거대자기저항 스핀밸브와 비교할 때 구조의 단순함과 반강자성층을 사용하지 않는다는 점에서 1990년부터 많은 결과들이 보고 되었다[1-3]. 이 구조를 이용한 자기 메모리는 소자의 구조가 간단하여 집적도를 향상시킬 수 있고 read/write의 속도가 빠르며, 소비 에너지가 적고 비휘발성이기 때문에 리부팅 및 데이터의 저장 안전성 면에서 기존 메모리에 비해 탁월한 성능이 기대된다. 현재 비휘발성 자기 메모리(Magnetic Random Access Memory, MRAM)로는 터널링 자기저항(Tunneling Magnetoresistance, TMR)을 이용한 자기 메모리에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 현재까지 터널링 자기저항 현상을 이용하여 약 60%의 높은 자기저항비를 얻었음이 보고되었다. 그러나 TMR 현상은 자기 터널링 소자에 인가되는 바이어스가 증가함에 따라 감소하는 현상을 보여주며 따라서 실제 메모리의 동작 전압에서는 자기저항비가 30% 이하로 감소하게 된다. 또한 메모리의 집적도를 높이기 위해 소자의 크기(size)를 줄일 경우 반자계의 영향으로 강자성층의 반전자장(switching field)이 증가하는 문제 등으로 인하여 자기저항 메모리 구현 시 문제가 되는 자기저항비(MR ratio) 및 반전자장(switching field)의 향상에 대한 연구가 필수적이다[4-8].

본 논문에서 다른 pseudo spin valve 구조는 다른 스핀밸브 구조에 비해 자기저항비가 낮다는 점과 두 강자성층의 보자력 차이를 이용함에 있어 그 차이를 주는 것이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있는 반면에 자기 민감도(sensitivity)와

반전자장(switching field)이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 만약 자기저항비를 향상시킬 수 있다면 차세대 메모리 소자인 MRAM에 대한 이용이 가능 할 것이다. 이러한 이유로 본 논문에서는 Ta/NiFe/Cu/Co 구조의 Pseudo spin valve 박막을 제작하여 각 층들의 두께를 변화시켜 최적화된 구조를 찾고 이 구조에서 두께에 따른 자기적 특성을 조사하여, 단점으로 대두되는 낮은 자기저항비를 향상시키고자 하였다.

II. 실험방법

Pseudo spin valve 박막은 3인치 4-gun type DC 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 1.5 mm×1.5 mm 크기의 코닝 1737 글래스 기판 위에 Ta/NiFe/Cu/Co 구조로 제조하였다. 기판은 아세톤, 에탄올, 증류수를 사용하여 초음파 세척기로 세척하여 불순물을 제거하였다. 시편 제작에 사용된 타겟은 모두 crac사의 제품을 사용하였다. 두 강자성체 NiFe와 Co의 증착조건은 각각 40 W, 4.2 Å/s 그리고 17W, 6.5 Å/s의 스퍼터링 조건으로 증착하였다. 증착시 일축이방성을 인가하기 위하여 기판 홀더에 영구자석을 부착하여 약 400 Oe의 자장을 인가하였다. 이때 초기진공도는 1.0×10^{-6} Torr 이하를 유지하였으며 작업 진공도는 Ar 유입량을 MFC(Mass Flow Controller)로 제어하여 8.0×10^{-4} Torr에서 증착하였다. 이렇게 제작된 시료의 자기저항비를 측정하기 위하여 CIP(Current In Plane) 방식의 4탐침법 자기저항 측정 장비를 이용하여 실온에서 측정하였다. 이 결과를 이용하여 각층의 보자력과 민감도 그리고 자기저항비를 분석하였다. 또한 결정성을 분석하기 위하여 XRD 측정장비를 사용하였으며, 제작된 시료의 표면 거칠기에 의한 자기적 특성을 분석하고자 DPA의 Dimension 3100 IVa를 이용하여 측정하였다.

*Tel: (041) 550-3426, E-mail : csd100j@hanmail.net

III. 결과 및 고찰

그림 1은 Ta(4nm)/NiFe(t nm)/Cu(3nm)/Co(5nm)의 구조에서 NiFe의 두께변화에 따른 자기저항비 곡선(a), 자기저항비와 민감도(b) 그리고 Co와 NiFe의 보자력($H_{C,Co}$, $H_{C,NiFe}$)(c)의 변화를 나타낸 것이다. 자기저항비 곡선에서 볼 수 있듯이 일반적인 거대자기저항 곡선과 달리 pseudo 스핀밸브 곡선은 외부인가 자장 0 Oe를 기준으로 대칭적인 형태를 나타낸다. 이것은 거대자기저항 곡선에서는 반강자성체를 이용하여 교환력 효과를 이용하는 반면에 단순히 경강자성층(Co)과 연강자성층(NiFe)의 두 자성층의 보자력 차이만을 이용하기 때문

이다. 여기서, NiFe의 두께가 5 nm에서 15 nm까지 증가하였을 때 두께가 증가함에 따라 자기저항비는 증가하였고, 7.5 nm일 때 7.26%의 가장 큰 자기저항비를 나타내고 그 이후에는 감소하는 현상을 나타냈었다. 자기저항비가 감소하는 현상은 NiFe층이 외부자장과 Co층과의 상호작용력에 대해 외부자장에 쉽게 자화 반전이 일어나 각 강자성층에 보자력에 의한 독립적인 자화 반전을 할 수 있는 두께를 넘은 것에 기인한 것으로 간주된다. 그림 1(c)에서 두 강자성체의 보자력이 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이것은 NiFe 두께가 증가할수록 외부자장에 대해 쉽게 반응함으로 인하여 각 층의 보자력에 의한 독립적인 자화반전을 이루지 못하고 Co층과

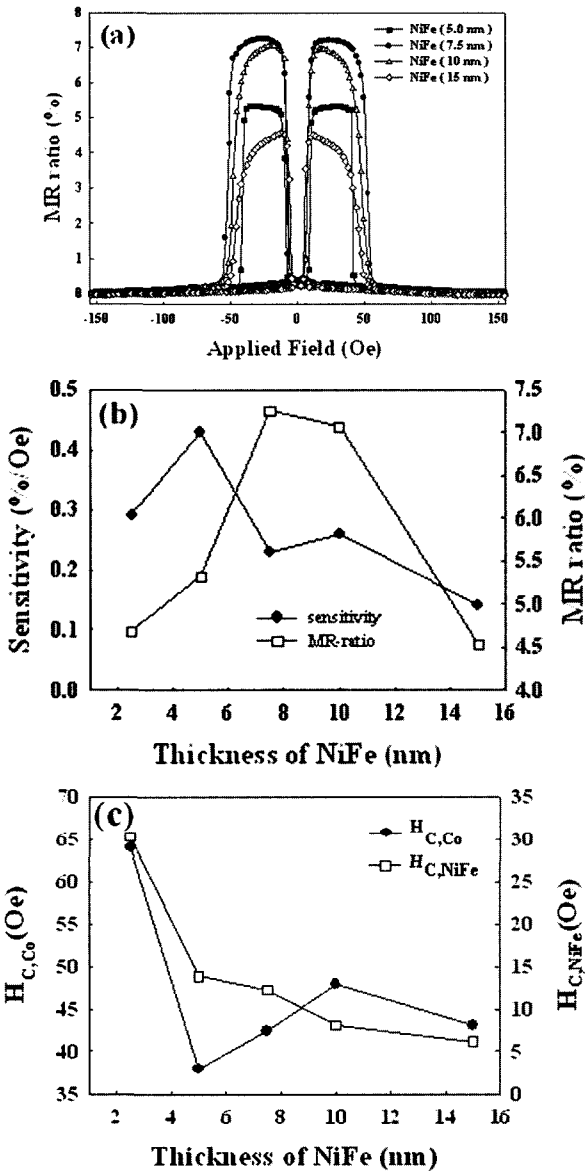


Fig. 1. MR ratio curves (a), Sensitivity, MR-ratio (b), $H_{C,Co}$, $H_{C,NiFe}$ (c) as function of NiFe thickness in Ta(4 nm)/NiFe(t nm)/Cu(3 nm)/Co(5 nm).

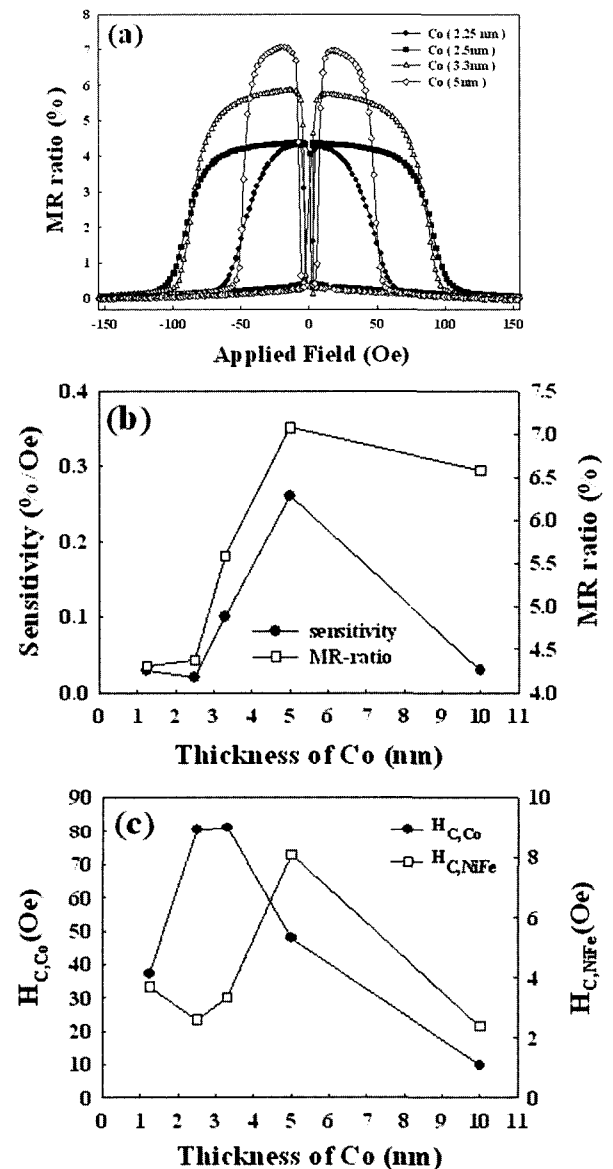


Fig. 2. MR ratio curves(a), Sensitivity, MR-ratio(b), $H_{C,Co}$, $H_{C,NiFe}$ (c) as function of Co thickness in Ta(4 nm) /NiFe(10 nm)/Cu(3 nm)/Co (t nm).

의 상호작용력이 증가하여 Co층의 보자력과 자기저항비를 감소시키는 원인으로 간주된다.

그림 2는 Ta(4nm)/NiFe(10 nm)/Cu(3nm)/Co(t nm)의 구조에서 Co의 두께변화에 따른 자기저항비 곡선(a), 자기저항비와 민감도(b) 그리고 Co와 NiFe의 보자력($H_{C,Co}$, $H_{C,NiFe}$)(c)의 변화를 나타낸 것이다. Co 두께가 증가함에 따라 자기저항비는 증가하여 Co 두께가 5 nm일 때 7.07%의 자기저항비를 나타내었다. 그림 2(b)에서 민감도가 Co두께가 두꺼워짐에 따라 급격히 나빠지는 현상을 볼 수 있다. 이것은 경강자성체 Co의 두께가 두꺼워져 연자성층에 상호작용력이 증가하여 각 강자성층의 독립적인 자화반전을 이루지 못한 것에 기인한 것으로 간주된다. 그림 2(c)에서 보여진 것처럼 두께가 증가함에 따라 보자력은 증가하다가 두께가 3.3 nm 이후로는 다시 감소하기 시작한다. 이것은 Co의 특성인 out plane 방향으로의 일축이방성이 두께가 두꺼워짐에 따라 증가하기 때문에 나타나는 현상으로 Co의 일축이방성이 out plane 방향으로 현저해짐에 따라 상대적으로 in plane 방향으로 측정된 보자력은 감소한 것이다.

그림 3은 Ta(4 nm)/NiFe(10 nm)/Cu(t nm)/Co(5 nm)의 구조에서 Cu의 두께변화에 따른 자기저항비와 민감도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보여지는 것과 같이 Cu의 두께가 3 nm에서 7.07%의 높은 자기저항비를 얻었다. 이러한 효과는 Cu 사잇층 두께가 3 nm 이하에서는 두 강자성층간의 강한 결합력에 의해 두 강자성층의 자화반전이 동시에 일어나 연강자성체(NiFe)와 경강자성체(Co)의 보자력 차이에 의한 독립적인 자화반전을 이루지 못한 것이며 두 강자성층 간의 사이 거리가 증가함으로 인하여 두 강자성층의 상호작용력이 약화되어 각 층의 보자력 차이에 의한 독립적인 자화반전을 가능케 된 것에 기인하여 Cu의 두께가 3 nm에서 높은 자기저항비를 얻은 것이며 이 두께가 최적의 두께임을 알 수 있었다. 그 이후 자기저항비가 Cu두께 증가에 따라 감소하는 경향은 Cu 두께가 두꺼워지므로 인한 누설전류 효과에 의한 것으로 간주된다.

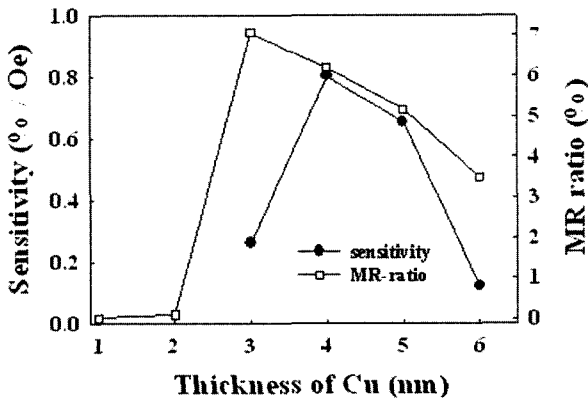


Fig. 3. Sensitivity and MR-ratio as function of Cu thickness of Ta(4 nm)/NiFe(10 nm)/Cu(t nm)/Co(5 nm).

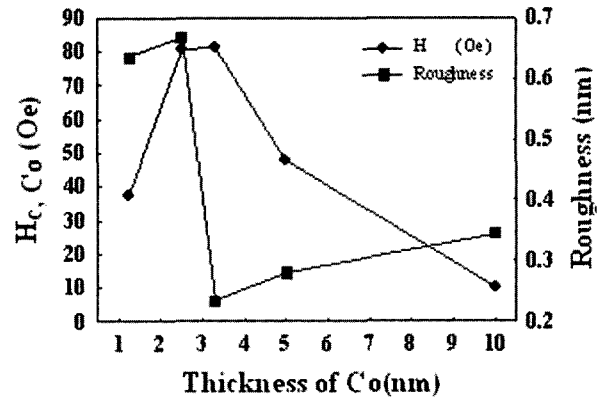


Fig. 4. Coercivity and roughness as function of Co thickness of Ta(4 nm)/NiFe(10 nm)/Cu(3 nm)/Co(t nm).

그림 4는 Ta(4nm)/NiFe(10 nm)/Cu(3nm)/Co(t nm)의 구조에서 Co의 두께변화에 따른 보자력($H_{C,Co}$)과 표면거칠기를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 Co의 두께가 증가하면서 보자력이 증가하는 반면 roughness는 감소한다. 이것은 Co층이 두꺼워지면서 in plane 방향으로 일축이방성이 형성되면서 나타나는 현상이다. Co의 두께 3.3 nm 이후로는 roughness가 증가하면서 보자력이 감소하는데 Co 두께가 3.3 nm 이상으로 두꺼워지면서 out plane 방향으로 이방성이 형성되어 in plane 방향으로의 일축이방성이 감소하기 때문인 것으로 간주된다[9]. 이러한 경향성은 자기저항 곡선과도 잘 일치한다.

IV. 결 론

Pseudo 스핀밸브 Ta/NiFe/Cu/Co 구조를 제작하여 각층의 두께 변화에 따른 자기적 특성을 조사하였다. 그 결과 Ta(4 nm)/NiFe(t nm)/Cu(3 nm)/Co(5 nm) pseudo 스핀밸브박막에서 NiFe의 두께를 변화시켰을 때 NiFe 두께 7.5 nm에서 최대 자기저항비 7.26%를 얻었다. 비자성층 Cu의 두께를 변화시켰을 때 Cu의 두께 3 nm에서 최대 자기저항비 7.07%를 얻었다. 이것은 두 강자성층이 독립적인 자화반전을 이루기 위한 최적의 두께임을 알 수 있었다. Co의 두께가 두꺼워짐에 따라 Co의 보자력이 감소하며 이것은 pseudo 스핀밸브 박막 표면의 roughness의 증가 경향과 잘 일치하는 것을 볼 수 있었다. 그리고 NiFe와 Co의 보자력의 차이만으로 이루어진 pseudo 스핀밸브박막은 각 자성층의 두께를 조절함으로써 자기적 특성 조절이 가능하고 NiFe의 낮은 보자력을 통해 저자장 내에서 자기저항비를 얻을 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2003학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] B. Dieny, V. Speriosu, S. Metin, S. parkin, B. Guerny, P. Baumgart, D. Wilhoit, J. Appl. Phys., **69**, 4774(1991).
 [2] J. M. Daugton, J. Magn. Magn. Mat., **192**, 334(1999).
 [3] B. A. Everitt, and A.V. Pohm, J. Vac. Sci. Technol. **A1693**, 1794(1998).
 [4] B. D. Cullity, Introduction to magnetic materials, Addison Welsey, NewYork, pp. 284 -285, 292-296 (1972).
 [5] T. R. McGuire and R. I. Potter, IEEE. Trans. Mag., **11**, 1018(1975).
 [6] Dieny, V. S. Speriosu, S. S. Parkin, B. A. Gurrey, D. R. Wilhoit and D. Mauri, Phys. Rev., **B43**, 1297(1991).
 [7] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri, Phys. Rev. **B43**, 1297(1991).
 [8] Jagadeesh S. Moodera, Elizabeth F. Gallagher, Keziah Robinsin, and Nanusz Nowak, Apple. Phys. Lett., **70**, 22(1997).
 [9] Nguyen Anh Tuan, Nguyen Hoang Luong, Nguyen Chau, Physica B, **327**, 360(2003).

Magneto-resistance Effect of Ta/NiFe/Cu/Co Pseudo Spin Valve Structure

Ho-wan Joo*, Jin-hyup Choi, Sang-Dae Choi, and Ky-Am Lee

Department of Physics, Dankook University, Cheonan, 330714, Korea

(Received 24 December 2003, in final form 10 February 2004)

The dependence of sensitivity, MR ratio, coercivity (Hc) and switching fields as a function of thickness of each magnetic layers (Co, NiFe and Cu) were investigated in pseudo spin valves with a structure of Ta/NiFe/Cu/Co. As measured results dependence of the thickness of each magnetic layer, we obtained MR ratio of 7.26% for Ta(4 nm)/NiFe(7.5 nm)/Cu(3 nm)/Co(5 nm) pseudo spin valves. Also, we could control properties of magneto-resistance for independent magnetization courses of each magnetic layer. Especially, we found that we could control coercivity as constant MR ratio dependence of Co thickness.

Key words : Pseudo spin valve, Magneto-resistance ratio, sensitivity, Roughness