

스핀 터널링 거대자기저항 효과를 이용한 랜덤 엑세스 메모리

박승영, 최연봉, 조순철
숭실대학교 정보통신전자공학부
전화 : (02)815-6471 / 팩스 : (02) 815-6471

Random Access Memory utilizing Spin Tunneling Giant Magnetoresistance Effect

Seungyoung Park, Yeonbong Choi, Soonchul Jo
School of Telecommunication Electronics Engineering, Soongsil University
E-mail : parksy@logos.soongsil.ac.kr

Abstract

Spin tunneling giant magnetoresistance effect was studied to utilize in the application of random access memory. Ferromagnetic/Insulator/Ferromagnetic films were sputtered on glass substrates and perpendicular current was applied. Measurements of magnetoresistance of the junction showed 8.6% of MR ratio. Voltage output depends on the magnetization directions of the write line and read line, thus enabling the system to be used as a random access memory.

I. 서론

자기저항 효과란 자기장 인가시 재료의 전기적 저항이 변화하는 현상으로 컴퓨터 하드디스크 헤드, 자기 기억소자(MRAM) 및 자기장 센서 등 여러 가지 응용이 가능한 분야이다. 이러한 현상은 스핀을 갖는 전자가 자화된 매질을 통과할 때 스핀 방향과 자화방향의 불일치에 따른 산란 현상 때문에 전기적 저항의 변화 현상을 나타내는 거대자기저항(GMR)효과가 많은 관심을 받아왔다. 거대 자기저항을 이용한 스핀밸브소자는 MR 헤드보다 훨씬 높은 분해능을 갖는 재생 전용 자기헤드의 제조를 가능하게 함으로써 자기정보기록 시스템의 기록밀도를 획기적으로 증가시킬 수 있게 하리

라 기대된다.

스핀밸브 구조는 1991년 Dieney 등에 의해 발표된 이래 여러 구조에서 보고되고 있다. 거대자기저항효과를 보이는 스핀밸브구조의 자성다층박막은 비교적 낮은 자장에서 높은 저항변화율을 얻을 수 있기 때문에 자기저항헤드와 MRAM[1]등에 활용될 전망이다. 스핀밸브 구조를 저자장 감지센서(헤드 등)로 사용하고자 하는 경우에는 높은 자기저항과 자장민감도(자장에 대한 자기저항변화율)의 획득이 중요한 요소이고, 기억소자(MRAM 등)로 사용하고자 하는 경우에는 높은 자기저항과 큰 보자력의 획득이 중요한 요소이다.

최근 하드디스크 드라이브용 자기헤드의 연구에 사용되고 있는 스핀 터널링 접합(spin tunneling junction : STJ)을 이용한 자기 랜덤 엑세스 메모리(magnetic random access memory : MRAM)[2][3]에 관한 연구가 새롭게 시작되고 있다.

J. S. Moodera[4] 등은 전류를 박막 면에 수직 방향으로 흘리고 두 강자성층 사이에 절연체(Al_2O_3)를 삽입했을 때 기존의 GMR보다 훨씬 큰 저항 변화를 얻을 수 있음을 보고하였다. 전류를 박막면에 수직으로 인가하는 노력은 이미 있어 왔으나,[5] 수직 방향의 저항이 극히 적어(수십 Å 길이의 금속 박막의 저항) 측정의 어려움이 있어 왔다. J. S. Moodera 등은 두 자성층 사이에 기존의 비자성 금속 박막 대신 절연체를

사용하여 터널링 전류를 발생 시켰으며, 따라서 저항이 수십~수천 Ω 으로 증가되어 측정의 어려움은 없어졌다. 이러한 수직 방향 전류(current-perpendicular-to-plane : CPP)에 의한 GMR은 8~36 %로 수평 방향 전류(current-in-plane : CIP) GMR보다 훨씬 커다.[6][7] (이론적으로는 이보다 훨씬 큰 GMR 값도 얻을 수 있다.) 따라서 이러한 구조를 이용하면 MRAM의 직접도를 스픬밸브 GMR 소자를 이용하는 경우보다 3~4배 증가 시킬 수 있다. 두 강자성 박막으로는 보자력이 서로 다른 금속이 사용되며 NiFe, Co, CoFe 등이 사용된다.[8]

이러한 스핀의 방향에 따른 박막 계면에서의 터널링을 이용한 STRAM(spin tunneling random access memory)은 보자력이 다른 두 강자성 층을 이용하며, 보자력이 큰 아래층의 자화를 좌, 우로 변화 시킴에 따라 디지털 정보가 기록되며, 보자력이 작은 윗층의 자화를 아래층의 보자력보다 작은 자장으로 좌, 우로 변화 시킴에 따라 기록된 정보를 판독하게 된다. 이때 기록층의 자화는 변화하지 않는다. STRAM은 과거의 자기 코어(core) 메모리와 같이 격자형의 금속 도선의 교점에 소자를 배치하고, 두 도선에 동시에 전류를 흘려 해당 소자를 선택하게 된다. 자화의 방향을 변화시키는 자장은 도선의 전류에 의하여 공급된다.

이러한 메모리는 짧은 데이터 접근시간(데이터 판독 시간 2 ns이하), 비휘발성(non-volatility), 단순한 구조에 따른 저 가격 가능성, Flash EEPROM 보다 높은 집적도 때문에 많은 관심을 끌고 있다. 또한 출력전압이 메모리 셀(cell)의 면적에 무관함으로 메모리 셀의 크기를 계속 줄일 수 있어 1~100Gbit/cm²의 집적도[2]를 실현시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

본 연구에서는 Substrate/Ta/NiFe/FeMn/Co/Al₂O₃/Co의 구조를 가진 셀을 제조하고 그의 자기저항을 연구하였다.

II. 실험 방법

1. 박막제조

본 실험에서는 4" 타겟 5를 갖춘 Perkin-Elmer 2400 Sputtering system을 이용하여 DC 및 RF magnetron 스퍼터 방법으로 Corning 7059 유리 기판과 두꺼운 산화막이 형성된 Si(100) 위에 박막을 제조하였다. 박막 제조시 초기 진공도는 5.0×10^{-7} Torr 이하에서 작업하였다. 증착되는 박막의 청결을 위해 유리 기판의 세척

은 TCE, 아세톤, 알콜, DI water 의 순서로 했으며 각 단계마다 초음파 세척을 10분간 하였다.

각 층의 증착은 아르곤(Ar)가스 압력과 파워 그리고 증착시간을 조절하여 두께와 표면 거칠기를 조절하였으며 절연층인 산화알루미늄(Al₂O₃)층은 알루미늄을 증착한 후 아르곤과 산소의 혼합가스에서 플라즈마를 만든 후 Al층을 수십초 노출시키는 플라즈마 산화법을 실시하였다.

Fig. 1은 강자성/절연층/강자성 교차구조 형태이다. 본 연구에서는 substrate/Ta/NiFe/FeMn/Co(I)/Al₂O₃/Co(II)구조이며 반강자성체인 FeMn층은 외부자장에 대한 Co(I)층의 거동을 어렵게 하는 역할을 한다.

각 층은 금속마스크를 이용하여 제조하였으며 이 마스크의 재료는 자성을 갖고 있지 않은 얇은 적동판이다. 마스크 교체는 시편을 로드락을 통해 침버 밖으로 꺼내어 대기중에서 이루어졌다.

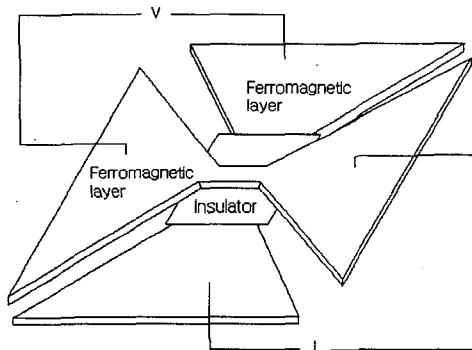


Fig. 1. Ferromagnet/Insulator/Ferromagnet

기판주위에 영구자석을 배치하여 자성층에 이방성을 형성시켰으며 이때 영구자석의 자장은 약 300 Oe정도였다.

2. 측정방법

시편의 자기적 특성은 진동시편자력계(Vibration Sample Magnetometer; VSM)를 사용하였으며 각 층의 두께와 산화알루미늄 층의 두께는 α -step과 Ellipso-meter를 사용하였다. 또한 구형파 응답 자기저항비(MR)측정은 본 연구실에서 제작한 측정장비를 이용하였다. MR은 Kethley 236 Source Measure Unit을 사용하여 사탐침법(Four point probe method)으로 측정하였다.

디지털 방식으로 $\pm H$ 최대값 사이를 2^8 단계로 조절하는 Magnet power supply와 전자석을 자작해 이를 이용하여 다양한 크기의 외부 인가자장을 가해주었다.

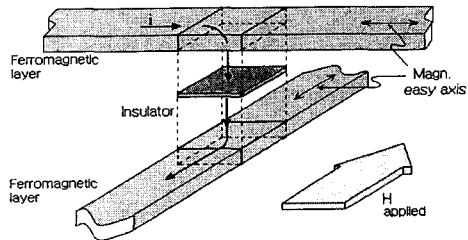
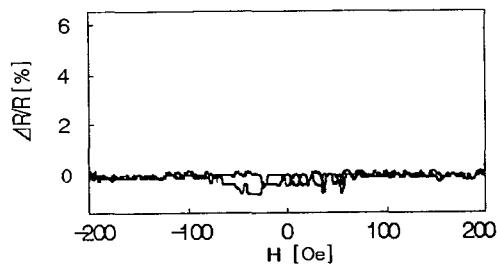


Fig. 2. Tunnel junction

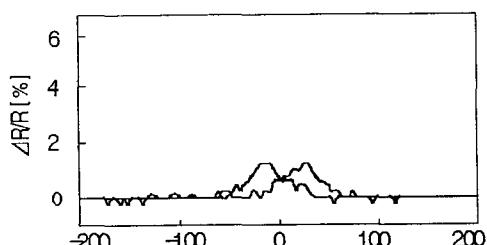
Fig. 2는 Fig. 1의 접합부분의 부분도이다. 자기저항의 측정은 격자구조의 한편에 그림1과 같이 top lead에서 bottom lead로 $100\mu A$ 의 정전류를 흘려주어 다른 한편에서 자장의 변화에 의해 변화하는 저항값에 걸린 전압을 측정하였다. 측정시 박막의 전극과 와이어는 인듐을 사용하여 접촉시켰다.

III. 결과 및 고찰

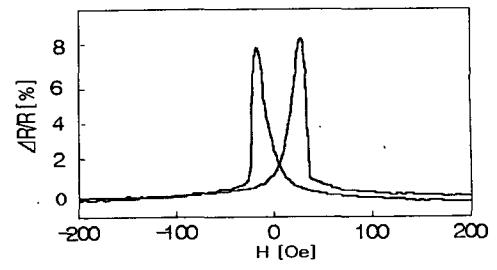
Fig. 3은 substrate/Ta/NiFe/FeMn/Co/Al₂O₃/Co 구조를 가진 시편에 인가자장을 ± 200 [Oe]까지 인가하였으며 Fig. 2와 같은 방향으로 자장(H)을 가하여 측정한 결과이다. Fig. 3.(a)는 시편의 bottom lead 만의 자기저항비를 나타낸 결과이다. 자기저항비가 음의 방향으로 매우 미소하게 나타난다. 이것은 박막 증착시 가해준 자장에 의한 박막의 이방성과 자기저항 측정시



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Magnetoresistance of the tunnel junction and the two ferromagnetic electrodes
(a)Bottom lead (b)Top lead (c) Tunnel junction

시편에 가해주는 자장파의 방향이 수평일 때 나타나는 longitudinal MR의 효과라 보여진다. Fig. 3.(b)는 시편의 top lead 만의 자기저항비를 나타낸 결과이며 자기저항비는 1.3%이다. 반면 Fig. 3.(c)와 같이 접합을 수직으로 통과하였을 때의 자기저항비는 전류가 top 또는 bottom lead 만을 수평으로 흘렀을 때와는 달리 8.6%정도이다.

위의 결과로 보아 터널링에 의한 거대자기저항을 확인할 수 있었다. 그러나 가해준 자장의 0에서 충분히 이력되지 않고 대칭되어 나타나는 것은 Co(I)층이 반강자성체인 FeMn 층과 교환결합이 되지 않은 것으로 보여지고 이것은 NiFe 또는 CoFe 등의 타겟을 이용하여 적절한 증착 조건을 맞추어 FeMn층 위에 성막해주면 해결되리라 본다.

Fig. 4는 구형파 입력에 대한 터널링 접합에서의 전압 응답파형이다. Bottom lead에서 고착층인 강자성체 층의 자화방향과 top lead에서 자유층인 강자성층의 자화방향에 따라 응답파형을 얻을 수 있다.

고착층은 반강자성체인 FeMn과 자성층과의 계면에서 교환결합에 의한 외부자장에 대한 자화반전이 쉽게 일어나지 않는 층을 말하고 자유층은 외부자장에 대한 자화반전이 쉬운층을 말한다.

이 원리를 STRAM에 적용하려면 고착층인 bottom lead의 강자성층을 write line으로 하고 자유층인 top lead의 강자성층을 read line으로 하여 Fig. 4의 결과로 해석할 수 있다. 그리고 Fig. 4(b)와 (c)의 high 와 low의 차이가 3%에 불과한 자기저항변화비를 보이는 이유는 Fig. 3의 자기저항비 곡선에서 보여주듯이 자장이 0인 점에서 곡선 상단이 평坦하지 못하여 곡선의 비스듬한 면을 따라가기 때문으로 보여진다. 고착층이 확실하게 제 역할을 하도록 만들어주면 구형파 응답에서 high 와 low의 차이가 더 커져 SNR이 크게 향상

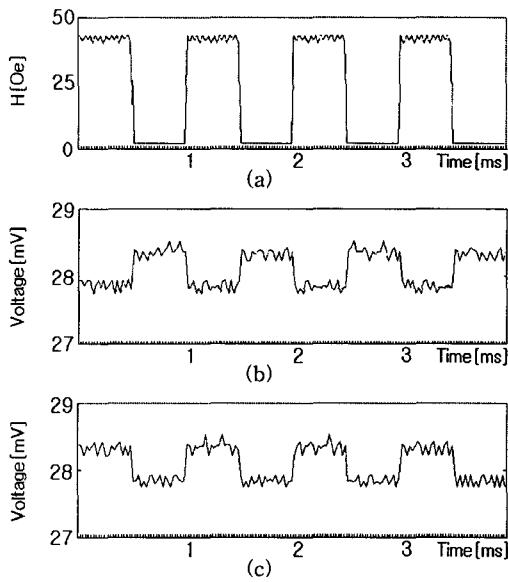


Fig. 4. Responses against the square wave field
 (a)Exciting Field (b)Readout voltage of '1'
 (c)Readout voltage of '0'

될것이다. Fig. 4(b)는 write line의 자화방향이 오른쪽(→)일 때 read line의 자화방향이 같으면 저항이 작아 응답파형의 low 부분으로 되고 read line의 자화방향이 반대(←)면 저항이 커져 응답파형의 high 부분이 된다. Fig. 4(c)는 write line의 자화방향이 왼쪽(←)일 때 read line의 자화방향이 오른쪽(→)이면 저항이 커져 응답파형의 high 부분으로 나타나고 read line의 자화방향이 왼쪽(←)일 경우 저항이 작아져 응답파형의 low 부분으로 나타난다. 결과적으로 입력 구형파에 대한 응답파형은 write line의 자화방향과 read line의 자화방향에 따라 Fig. 4(b)와 (c)로 나타낼 수 있어 기억소자로서의 응용이 가능하다.

IV. 결론

Spin tunneling random access memory 제조를 목적으로 한 강자성체/절연체/강자성체 박막에서 면에 수직인 전류를 가하여 자기저항 변화를 측정하였다. 8.6%의 자기저항 변화율을 얻었으며 각 박막의 두께,

표면 거칠기, 증착조건, 박막의 재료 등을 변화시켜 더 높은 자기저항 변화율과 STRAM을 제조하기 위한 조건 등에 대한 더 많은 연구가 필요하이라 생각한다. 또한 가해준 자장 내에서 접합부분에 구형파를 인가하여 출력되는 과정을 연구하였다. Write line과 read line의 저항 변화에 따른 출력 과정의 변화를 알아보았고 위의 결과들로 보아 대용량 메모리 제조를 위한 연구 및 지속적으로 고 접적도를 갖는 STRAM에 관한 연구에 활용될 수 있다. 이에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

- [1] M. Sato and K. Kobayashi, "Spin-valve-like properties of ferromagnetic tunnel junctions", IEEE Trans. on Mag., Vol. 33, No. 5, pp. 3553-3555, 1997.
- [2] Z. Wang and Y. Nakamura, "Spin tunneling random access memory (STram)", IEEE Trans. on Mag., Vol. 32, No.5, pp. 4002-4024, 1996.
- [3] D. Tang, P. Wang, V. Speriosu, S. Le and K. Kung, "Spin-valve RAM cell", IEEE Trans. on Mag., Vol 31, No.6, pp. 3206-3208, 1995.
- [4] J. S. Moodera and L. Kinder, "Ferromagnetic -insulator -ferromagnetic tunnel : spin- dependent tunneling and large magneto resistance in trilayer junctions", J. Appl. Phys., 79 (8), pp. 4724-4729, 1996.
- [5] T. S. Plaskett and P. P. Freitas, N. P. Barradas, M. F. da Silva, and J. C. Soares, "Magneto-resistance and magnetic properties of NiFe/oxide/Co junctions prepared by magnetron sputtering", J. Appl. Phys., 76(10), pp. 6104-6106, 1994.
- [6] R. Jansen and J. S. Moodera, "Influence of barrier impurities on the magnetoresistance in ferromagnetic tunnel junctions", J. Appl. Phys., Vol 83, No.11, pp. 6682-6684; 1998.
- [7] J. S. Moodera, J. Nowak and R. J. M. Veedonk, Phys. Rev. Lett., 80, pp. 2941-2944, 1998.
- [8] S. Zhang, P. M. Levy, A. C. Marley and S. S. Parkin, Phys. Rev. Lett., 79, pp. 3744-3747, 1998.