

수직자기이방성을 갖는 [Pd/Co]/FeMn 구조에서의 미세 패턴 크기에 따른 자기특성

허장^{1*}, 주호완², 조규일³, 김현신¹, 이기암¹, 이상석^{3,5}, 황도근^{3,4}

¹단국대학교, 대학원 물리학과, 충남 천안시 안서동, 330-714

²상지대학교 생명과학연구소, 강원도 원주시 우산동, 220-702

³상지대학교 대학원 동서의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

⁴상지대학교 응용물리전자학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

⁵상지대학교 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

1. 서론

최근까지도 MRAM(magnetic random recording memory) 그리고 고밀도 자기기록 read sensors로의 광범위한 응용성 때문에 스핀밸브(spin-valves) devices는 활발히 연구되고 있다. 특히 스핀밸브 구조에서 반강성체와 결합한 강자성체 사이의 계면에서 발생하는 교환바이어스(exchange bias ; H_{ex}) 현상에 대한 학문적 규명은 스핀밸브 devices로의 응용성 향상을 위하여 많은 연구가 이루어졌다. 스핀밸브와 교환바이어스 효과에 대한 일반적인 연구는 면상(in-plane) 자기이방성을 갖는 박막구조가 대부분이었다. 이러한 면상 자기이방성을 갖는 박막구조는 그 크기를 미크론 이하로 패터닝(patterning)할 때, 자화변형 및 미세 자구(magnetic domain)가 패턴소자의 가장자리에서 소용돌이(vortex)자화로 인하여 꽃무늬(flower structure)를 발생시켜 박막의 보자력(coercivity ; H_c) 증가와 자화의 왜곡현상이 발생하는 요인이 된다.[1,2] 이러한 단점들을 극복하기 위하여 제안된 것이 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy ; PMA)을 갖는 Pt/Co 그리고 Pd/Co 다층박막을 이용한 박막구조이다. 이러한 연구는 자기기록매체에 많은 연구가 이루어졌으며, 근래에 F. Garica 등을 비롯하여 몇몇의 연구그룹에 의하여 교환바이어스에 대하여 연구되고 있다.[3-6] 하지만 강한 수직자기이방성으로 인한 큰 보자력은 스핀밸브 구조에서 자유층의 큰 스위칭장(switching field)과 교환바이어스의 감소를 발생하며, 이는 수직스핀밸브 디바이스의 응용에 있어 단점으로 발생한다. 또한 수직자기이방성을 갖는 구조에서의 자기 특성에 대한 명확한 규명이 미비한 상태이다. 이러한 이유로 본 논문은 수직자기이방성을 갖는 [Pd/ferromagnet]5 그리고 [Pd/ferromagnet]5/FeMn 다층박막에서 강자성체의 물질 Co, CoFe에 따라 최적화된 다층박막의 총 두께를 고정하여 각 강자성체의 물질의 자화(magnetization)를 고정하여 반복층수를 고정한 구조를 이용하여 미세 패턴을 하였을 때 그 크기에 따라 보자력과 교환바이어스의 변화를 관찰하였다.

2. 실험방법

시편은 실온에서 3인치 dc 마그네트론 스퍼터링 시스템(magnetron sputtering system)을 이용하여 glass 위에 증착하였다. 시편의 일정한 형태를 유지하기 위하여 제작된 금속 마스크를 사용하여 인가 자장 없이 증착하였다. 초기진공도(background pressure)는 3.0×10^{-7} Torr 이하를 유지하였고, 작업진공도(working pressure)는 Ar gas를 주입하여 2.0×10^{-3} Torr 이하로 유지하였다. 꼭대기층 FeMn의 산화를 방지하기 위하여 보호층(capping layer)으로 Ta을 증착하였다. 제작시 사용한 각 물질 Ta, FeMn, Pd, Co 그리고 CoFe 물질들은 0.06 ~ 0.11 nm/s의 증착비로 제작되었다. 이와 같이 제작된 시료는 리소공정을 이용하여 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 크기까지 제작하였다. 수직자기이방성에 대한 H_{ex} 와 H_c 을 측정하기 위해 보편적인 4-탐침법 자기저항 측정 장비를 이용하여 측정하는 방법으로는 자성체의 자기모멘

트가 매우 작기 때문에 직접적으로 측정하기 어렵다. 그래서 Hong 그리고 Giordano et. al. 의하여 보고 되어진 4-탐침법 자기저항 측정 장비를 이용하여 실온에서 EHE (extraordinary hall effect)를 측정하였다.[7]

3. 실험결과 및 고찰

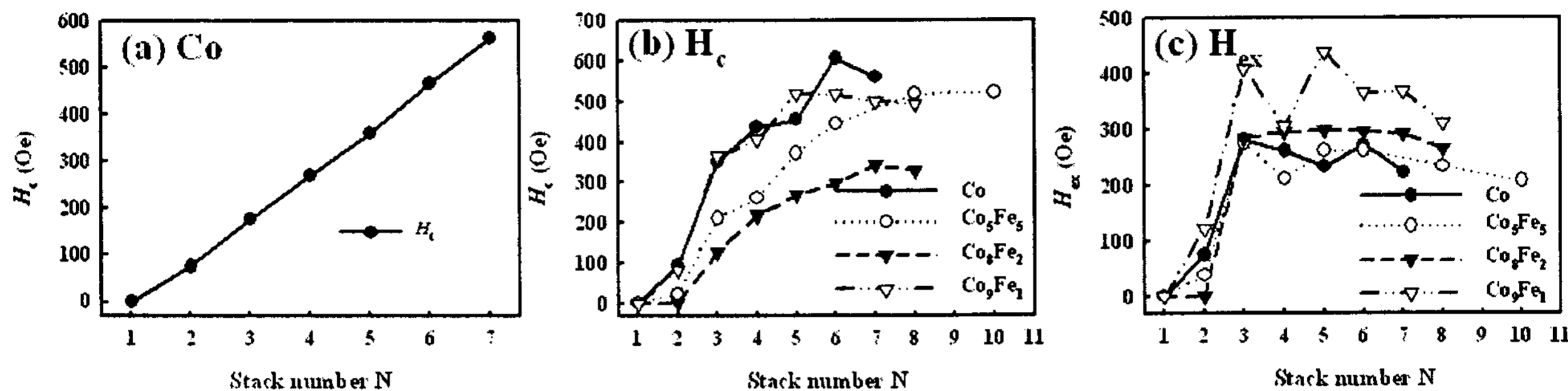


Fig. 1. The H_{ex} and H_c as function of number of stack N in (a) Ta(2.0 nm)/[Pd(3.1/N)/Co(1.2/N)] $_N$ /Ta(2.0), (b),(c) Ta(2.0 nm)/[Pd(3.1/N)/FM] $_N$ /FeMn(10)/Ta(2.0) multilayers (FM: Co(1.2/N), Co₅Fe₅(0.9/N), Co₈Fe₂(0.9/N) and Co₉Fe₁(0.9/N)).

수직자기이방성을 갖는 (Pd/Co) 다층박막에서 가장 최적화된 구조는 [Pd(0.6 nm)/Co(0.23)]x5 였다. 수직자기이방성은 크게 부피자기이방성(volume magnetic anisotropy)과 표면자기이방성(surface magnetic anisotropy)에 밀접한 관련이 있다. 여기에서 표면자기이방성에 의한 수직자기이방성을 확인하고자 최적화된 구조에서 부피와 강자성이 갖는 자화를 고정하기 위하여 전체 두께를 고정하고 Pd/Co 다층박막을 반복층수 N 에 대하여 나누어 보았다. 그 결과는 fig. 1 (a)에 보이고 있으며, 다층박막의 구조는 Ta(2.0 nm)/[Pd(3.1/N)/Co(1.2/N)] $_N$ /Ta(2.0) 이다. 반복층수가 최소 2층에서부터 표면이방성에 의한 수직 자화 곡선이 나타나기 시작하였으며, 반복층수가 1에서 7층으로 증가함에 따라 0 Oe에서 570 Oe까지 선형적으로 증가한 결과를 얻었다. fig. 2에 (b), (c)는 Ta(2.0 nm)/[Pd(3.1/N)/FM] $_N$ /FeMn(10)/Ta(2.0) 다층박막 구조에서 강자성(ferromagnet:FM) 물질과 반복층수에 따른 보자력과 교환바이어스를 나타낸 것이다. 보자력과 교환바이어스의 결과는 그림에 보인 것과 같이 같은 경향을 얻었다. 여기서 주목할 수 있는 것은 fig. 2 (c)에서 반복층수 3 층 이상에서는 교환바이어스가 거의 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것으로 교환바이어스는 반복층수에 의한 표면자기이방성과는 큰 관계가 없는 것으로 사료되며 교환바이어스가 발생하기 위해서는 최소 3 층의 다층박막이 요구되는 것으로 판단된다. 이렇게 얻어진 시편을 이용하여 패턴 크기에 따라 자기특성의 변화를 관찰하려 한다.

4. 참고문헌

- [1] J. Camerero, Y. Pennec, J. Vogel, M. Bonfim, S. Pizzini, F. Ernult, F. Fettar, F. Garcia, F. Lancon, L. Billard, B. Dieny, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 27201 (2003).
- [2] H. G. Cho, Y. K. Kim, S. R. Lee, *IEEE Trans. Magn.* **38**(5), 2685 (2002).
- [3] J. Sort, B. Rodmacq, S. Auffret, B. Dieny, *Appl. Phys. Lett.* **83**(9), 1800 (2003).
- [4] C. H. Marrows, *Phys. Rev. B* **68**, 012405 (2003).
- [5] J. Sort, B. Rodmacq, F. Garcia, S. Auffret, B. Dieny, *J. Appl. Phys.* **95**(11), 7163 (2004).
- [6] J. Sort, B. Dieny, M. Fraune, C. Koenig, F. Lunnebach, B. Beschoten, G. Guntherodt, *Appl. Phys. Lett.* **84**(18), 3696 (2004).
- [7] C. L. Canedy, X. W. Li, and Gang Xiao, *J. Appl. Phys.* **81**, 5367(2000).