≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society, Volume 18, Number 3, June 2008

Co/Ni 다층박막의 수직자기이방성 발현에 대한 하지층의 영향

이기승
한국과학기술연구원, 서울특별시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791
고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동, 136-713

이경진
고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동, 136-713

정명화
서강대학교 물리학과, 서울특별시 마포구 신수동, 121-742

신경호*
한국과학기술연구원, 서울특별시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

(2007년 11월 22일 받음, 2008년 2월 25일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 하지층의 종류와 두께에 따라 [Co(2 Å)/Ni(8 Å)]×N 다층박막의 자기이방성 특성이 어떻게 변화하는지를 조사하였다. 기판과 Co/Ni 다층박막 사이에 [111] 결정성을 갖는 하지층을 삽입함으로써 막평면과 수직한 방향 (out of plane)으로의 자화 용이축(easy-axis)을 갖는 다층박막을 얻을 수 있었다. 하지층으로 Au를 사용한 경우 그 두께를 50 Å에서 500 Å 증가시킬수록 다층박막의 보자력(coercivity: Hc)이 99 Oe에서 430 Oe까지 증가하였다. 이는 하지층으로 쓰인 Au 박막의 두께가 증가할수록 Co/Ni 다층박막의 [111] 결정성이 개선되기 때문이다.

주제어 : Co/Ni 다층박막, 수직자기이방성, 하지층

I. 서 론

최근 Slonczewski와 Berger[1, 2] 등에 의해 제안된 스핀 전달 토크(Spin-Transfer Torque, STT) 현상을 이용한 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 현상을 응용하여 전류 구동형 자화 스위칭(Current Induced Magnrtization Switching, CIMS) 형태의 자기저항 랜덤 액세스 메모리(Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM), 전류 구동형 자구벽이동(Current-Induced Domain Wall Motion, CIDWM) 또는 마이크로웨이브 발진기 등을 제작하려는 노력이 계속되고 있다. 한편 CPP(Current Perpendicular to the Plane) 방식의 소자가 동일한 거대자기저항(Giant Magneto-resistance, GMR) 구조에 대하여 CIP(Current in Plane)의 방식에 비하여 임계전류밀도 등 자기저항 특성이 더욱 우수하다는 점을 이용하여 Co/X(X = Pd, Pt, Au, Cu, Ag 등 비자성 금속) 다층박막(Multilayers, MLs)과 같이 수직자기 이방성(Perpendicular Magnetic Anisotropy, PMA)을 나타내는 박막을 사용하여 STT-CPP 소자의 특성을 향상시키기 위한 연구결과가 보고되고 있다[3, 4]. F. J. A. den Broeder 등은 Co/X 다층박막에서 X가 비자성 금속이 아닌 강자성 금속인 Ni을 사용하여 Co/Ni 다층박막의 수직자기이방성을 보고한 바 있다[5]. 하지만 국내에서는 Co/Ni MLs에 대한 연구가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 STT-CPP CIMS 소자 및 전류 구동형 자구벽이동 에 대한 응용을 위해 Co/Ni 다층박막의 수직자기이방성을 확인하고 이에 영향을 미치는 하지층의 종류와 두께에 따른 특성을 조사하였다.

*Tel: (02) 958-5418, E-mail: kshin@kist.re.kr

II. 실험 방법

다층박막의 구조는 기판/하지층 (underlayer)/[Co(2 Å)/Ni (8 Å)]×N이며, 여기서 N은 다층 박막의 층수(N = 4, 8, 40)이다. 기판으로는 SiO_2 3000 Å 산화막을 가진 Si 웨이퍼를 사용하였다. 직류 마그네트론 스퍼터(DC magnetron sputter)를 이용하여 박막을 증착하였으며, 증착 전의 초기 진공도는 5×10^{-8} Torr를 유지하였다. Au, Cu, Ta, Pt 등의 다양한 하지층을 이용하여, 하지층 물질의 종류와 두께에 의한 영향을 연구하였다. X선 회절 분석(x-ray diffractometry, XRD)을 이용하여 박막의 결정학적 특성을 조사하였고 alternating gradient magnetometry(AGM)을 이용하여 자기적 특성을 분석하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

XRD를 이용하여 하지층으로 사용한 200 Å 두께의 금속 박막(Au, Pt, Ta, Cu)을 조사한 결과 Au와 Pt 박막은 [111] 배향성(oriented texture)이 있는 다결정 구조임을 확인(Fig. 1)하였고 Ta과 Cu 박막은 일정한 배향성이 없는 비정질 상태임을 확인할 수 있었다. Au와 Pt를 하지층으로 사용하여 in-situ로 증착한 각각의 Co/Ni 다층박막의 배향성도 [111]임을 확인하였다(Fig. 2). Fig. 2에서 Co/Ni 다층박막의 회절 피크는 44.3°에서 나타나고 있으며 이는 벌크 fcc [111] Co(44.3°)와 [111] Ni(44.5°)와 일치한다. 여기서 fcc Co와 fcc Ni의 원자 크기는 각각 3.552 Å와 3.524 Å으로써 같은 결정 구조와 거의 동일한 원자 간격을 갖고 있으므로 회절각이 겹쳐지게 되어 동시에 같은 2θ에서 나타나고 있다. 본 실험에서 하지층으로 사용된 Au와 Pt에서의 Co/Ni 다층박막은 확실하게 [111] 배향성인 면심입방의 주기적인 구조를 갖고 있음을 알 수 있다.

Co/Ni 다층박막 층수에 따른 자기이력곡선(*M-H* 곡선) 특성을 AGM으로 조사하였다(Fig. 3). 그림에서 FIP와 FPP는 각각 field to in-plane과 field to perpendicular plane을 나타내고 있으며 각각의 다층박막은 Si/SiO_2/Au(200 Å)/[Co(2 Å)/Ni(8 Å)]×N의 구조로 만들어졌으며 N = 4, 8, 40으로 구성되어 있다. N = 4인 다층박막의 자화용이축의 *Mr/Ms*는 0.92이며, N = 8인 다층박막의 *Mr/Ms*는 0.87으로 수직자기이방성을 나타내고 있으며 N = 40의 *M-H* 곡선은 수직자기이방성을 갖지 않는 것으로 나타났다. Co/Ni 다층박막의 층수가 증가함에 따라 박막의 거칠기가 증가하고, 거칠기의 증가는 계면에서의 격자구조에 변형을 초래한다. 계면에서의 불규칙성은 수직자기이방성을 감소시키는 것으로 알려져 있다[5, 6]. 이러한 Co/Ni 다층박막에 대한 수직자기이방성을 이해하는데 있어서, 두 가지의 요인이 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다. 첫 번째 원인은 계면이 있음으로 인해 대칭성이 깨지는 것이고, 두 번째 원인은 스핀-궤도 상호작용이다. 두 가지 요인 모두 배향성에 영향을 받는다. 특히, [111] 방향으로 배향된 다층박막에서 스핀-궤도 상호작용이 더욱 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 반대로 [110] 배향과 같이 대칭성이 [111]에 비해 떨어지는 계면의 경우 매우 다른 계면 이방성을 보인다[7].

이를 바탕으로 Au 하지층의 두께에 따라 하지층의 [111] 배향성이 Co/Ni 다층박막의 수직자기이방성에 대하여 미치는 영향을 XRD와 AGM을 이용하여 확인하여 Fig. 4에 나타내었다. 각각의 다층박막은 Si/SiO_2/Au XÅ/[Co(2 Å)/Ni(8 Å)]×4의 구조로 제작 되었으며 X= 50, 100, 200, 500 Å이다. 여기서 볼 수 있는 것처럼, Au를 하지층으로 사용할 경우 하지

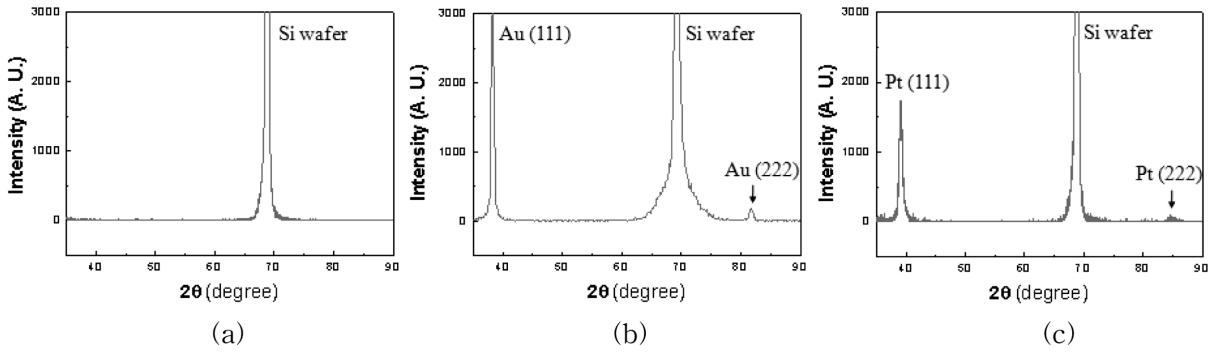

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of the (a) Si wafer, (b) Si wafer/Au underlayer, (c) Si wafer/Pt underlayer.

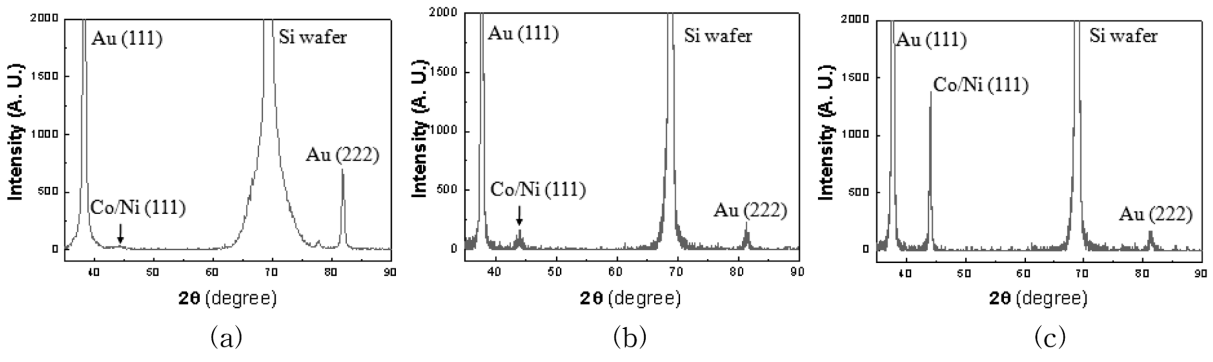

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of the Si wafer/Au underlayer/[Co2 Å/Ni8 Å]× N (a) N = 4, (b) N = 8, (c) N = 40.

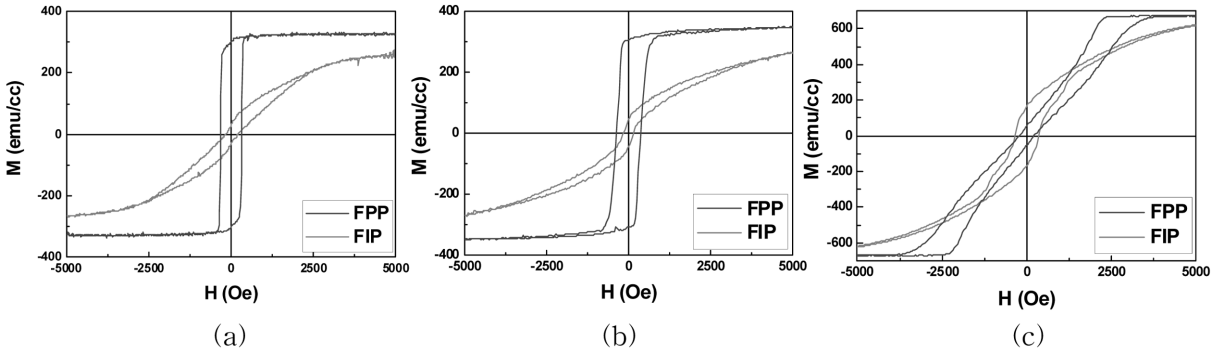

Fig. 3. *M-H* behavior of Co/Ni multilayers for (a) N = 4, (b) N = 8, (c) N = 40. (FIP와 FPP는 각각 field to in-plane과 field to perpendicular plane을 약칭함.)

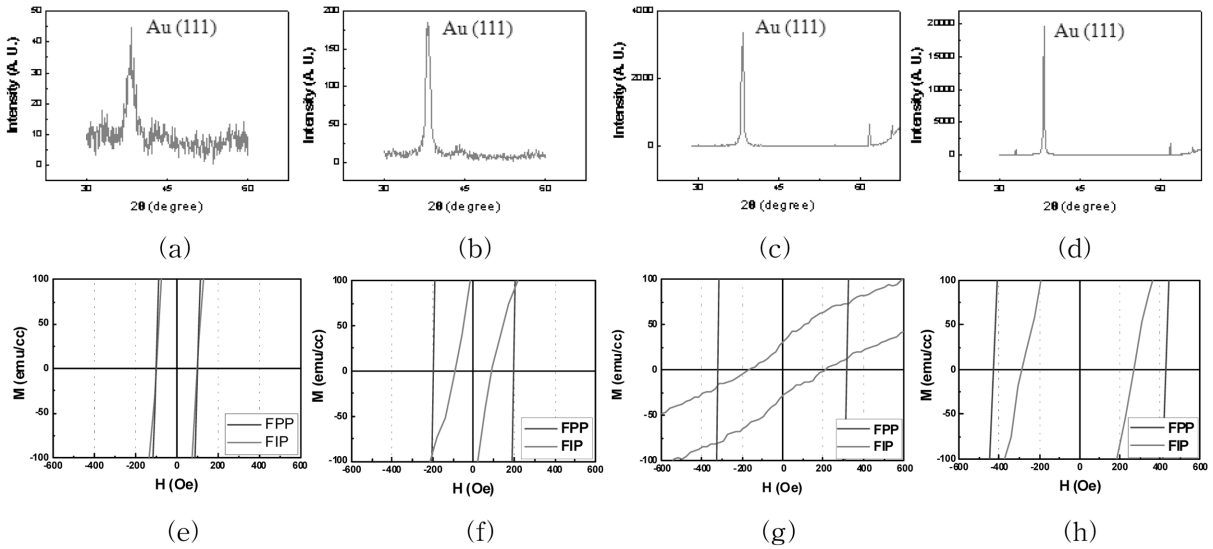

Fig. 4. Variation of Hc and (111) texture with the thickness of Au underlayer: (a, e) 50 Å, (b, f) 100 Å, (c, g) 200 Å, (d, h) 500 Å.

층의 두께가 50 Å에서 500 Å으로 증가함에 따라 [111] 배향성이 증가하며 Co/Ni 다층박막의 보자력이 증가함을 알 수 있다. 이는 하지층의 배향성이 Co/Ni 다층박막에 동일한 크기의 배향성을 유도하여 [111] 방향의 Co/Ni 박막의 분율이 늘어나면서 수평자기가 아닌 수직자기를 나타내는 부분이 증가하고 이를 바탕으로 보자력이 증가하는 것으로 보이고 있다. 이는 자기변형 상수(magnetostriction constant)에 의한 이방성 때문에 [111] 배향성의 차이에 의해서 자기이방성이 영향을 받은 것으로 사료된다[8].

IV. 결　　론

하지층의 종류와 두께에 따른 Co/Ni 다층박막의 기본적인 자기적 특성을 분석하여 수직자기이방성을 나타내는 조건에 대한 조사를 하였다. Au를 하지층으로 사용할 경우 하지층의 배향성이 Co/Ni 다층박막의 수직자기이방성을 나타내는 주요한 역할을 하는 것으로 판단된다. 하지층의 두께가 Co/Ni 배향성에도 영향을 미치고 보자력 값의 차이를 유도하는 것을 확인하였다. Co/Ni 다층박막의 기본적인 수직자기이방 특성을 이해하는 것은 전류 구동형 자화 스위칭 형태의 자기저항 랜덤 액세스 메모리 전류 구동형 자구벽이동 등 스핀 전달 토크 현상을 이용한 소자의 특성을 향상시키는데 유용하게 쓰일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 '기초기술이사회(KRCF) 정책연구사업'과 '2008년도 서강대학교 교내연구비(200810017.01)' 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater., **159**, L1 (1996).

[2] L. Berger, Rev. B, **54**, 9353 (1996).
[3] F. J. A den Broeder, W Hoving, and P. J. H. Bloemen, J. Magn. Magn. Mater., **93**, 562 (1991).
[4] S. G. Tan, M. B. A. Jalil, S. Bala Kurma, G. C. Han, and Y. K. Zheng, J. Appl. Phys., **100**, 063703 (2006).
[5] F. J. A. den Broeder, E. Janssen, W. Hoving, and W. B. Zeper, IEEE Trans. on Magn., **28**, 2760 (1992).
[6] J. M. MacLaren and R. H. Victora, J. Appl. Phys., **76**, 6069 (1994).
[7] G. H. O. Daalderop, Doctoral thesis, Delft University of Technology-Philips Research Lab., 1991, ISBN 90-9004483-3.
[8] M. Yamamoto and T. Nakamichi, J. Phys. Soc. Jpn., **13**, 228 (1958).

Effects of an Underlayer on the Development of Perpendicular Magnetic Anisotropy in Co/Ni Multilayers

K.-S. Lee
Center for Spintronics Research, Korea Institute Science and Technology, Seoul 136-791, Korea
Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

K. J. Lee
Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

M. H. Jung
Department of Physics, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

K. Shin*
Center for Spintronics Research, Korea Institute Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

(Received 22 November 2007, in final form 25 February 2008)

We investigated how the magnetic anisotropy in [Co(2 Å)/Ni(8 Å)]×N multilayers varied with the type and thickness of an underlayer. The magnetic measurements clearly showed that the perpendicular magnetic anisotropy could be developed in the Co/Ni multilayer by adopting an underlayer with [111] texture. The coercivity of the Co/Ni multilayer increased from 99 Oe to 430 Oe as the thickness of an Au underlayer increased from 50 Å to 500 Å. The increase in coercivity is ascribed to the development of the stronger [111] texture in the Co/Ni multilayer as an Au underlayer gets thicker.

Keywords : Co/Ni multilayers, perpendicular magnetic anisotropy, underlayer