ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 23(6), 193-199 (2013) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2013.23.6.193

이중구조 거대자기저항-스핀밸브 박막의 자기등방성 영역분포에 관한 연구

카지드마 · 이상석*
상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

(2013년 11월 15일 받음, 2013년 12월 3일 최종수정본 받음, 2013년 12월 3일 게재확정)

NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe 이중구조 GMR-SV 박막의 열처리 조건에 의존하는 자기등방성 영역분포 특성을 조사하였다. 진공 챔버내에서 이중구조 GMR-SV 박막을 후열처리 온도를 조절하여 면상에서 강자성체 층의 자화용이축 회전을 유도하였다. 자유층과 고정층의 자화용이축 방향에 의존하는 이중구조 GMR-SV 박막의 자기저항곡선은 외부자기장의 각도를 0°에서 360°까지 변화시킨 후 외부자기장의 세기에 따라서 측정하였다. 후열처리 온도가 107 °C일 때, 외부자기장의 방향이 0°에서 90°까지 영역에서 자장감응도가 약 1.52 %/Oe인 자기등방성 특성을 보였다. 이러한 특성은 고정층과 자유층을 형성하는 강자성층들이 면상에서 서로 직교한 결과임을 나타내며, 자기등방성 GMR-SV 박막 소자는 임의 방향으로 자화된 마이크로 자성비드를 검출할 수 있는 고감도 바이오센서로 사용할 가능성을 제시하였다.

주제어 : 이중구조, 거대자기저항 스핀밸브 박막, 자화용이축, 자기저항곡선, 후열처리, 자기등방성, 자장감응도

I. 서 론

오늘날 고감도 자기장 센서들은 선형 혹은 회전 부호 매김, 근접검출기, 속도 및 위치센서, 지자기장 자력계 등에서 폭넓게 상용화되고 있다. 특히 고밀도 하드디스크 드라이브 신호 재생헤드로 사용되어온 반강자성체/강자성체/비자성체/강자성체 다층박막형 거대자기저항-스핀밸브(gaint magnetoresistance-spin valve; GMR-SV) 센서는 보다 향상된 자장감응도(magnetic sensitivity; *MS*)에 대한 연구와 함께 바이오 융합기술분야로 활용이 가능하도록 발전해왔다[1-3]. 고감도 나노 자성 박막형 의료용 센서로의 용용기술 개발은 자성입자를 이용하는 의료용 센서 칩, 생체자기 측정 진단기기용 센서, 초극미세 자장 측정 센서 등으로 응용할 수 있다[4]. 한편, 고감도를 갖는 나노 자성박막형 의료용 센서에 적용할 응용기술 개발은 첨단 의료기기의 핵심소자로 자리매김을 하고 있다.

GMR-SV를 이용한 바이오센서는 분자수준 크기의 특이 종을 선택함에 있어서 자성신호를 이용한 생물학적 세포나 화학적 분자의 운동 관찰에 용이할 수 있다. 초상자성 비드(bead)를 분자 및 세포 셀(cell)에 붙여서 생체입자들의 반응과 활동성을 상세히 규명하는 것이 생명 및 의학에서 매우 필요한 요소이다[5-7]. 한편 나노기술과 바이오기술의 융합연구가 발전하여 바이오센서로 GMR-SV 소자의 이용이 가능해 왔으며 다양한 응용 중 하나인 생체 자기장을 검출하는 의료용 센서로 큰 관심을 불어 일으키고 있다[8, 9]. 따라서 높은 고감도 자장감응도를 갖는 다층박막의 최적 제작 조건과 광리소그래피 공정기술을 적용한 GMR-SV 소자를 개발하는 것이 필요하다.

일반적으로, 바이오센서로 활용하기 위해 먼저 반강자성체 FeMn 또는 IrMn를 기반으로 한 강자성체/비자성체/강자성체 다층박막 구조에서 강자성체인 NiFe 또는 CoFe 박막을 고정층과 자유층으로 하여 고감도 GMR-SV 다층박막을 제작한다[10]. 여기서 연자성 박막에 대한 특성을 고려하여 자장감응도(*MS*)를 향상시키기 위해서는 사잇층인 Cu의 두께를 최적화시켜야 한다[11, 12]. 그리고 광 리소그래피 공정을 이용하여 GMR-SV 소자의 자장감응도에 대한 폭, 길이 및 두께의 의존성을 고찰하며 고정층은 폭 방향을 자화용이축으로 하고 자유층은 길이 방향으로 형상 자기이방성을 갖도록 유도하여 자기저항 특성의 변화를 관찰한다[13]. 여기서 형상 자기이방성이란 소자의 길이가 폭보다 10배 정도 크게 형성하여 길이방향으로 자화용이축이 생기게 되는 것을 의미한다[14].

미크론 크기의 자성비드는 제한적인 등방성을 가지고 있으므로, 초상자성 특성을 검출할 GMR-SV 바이오소자로서 조건은 넓은 회전영역의 고감도의 자장감응도를 갖고 있어야 한다[15]. 본 연구는 반강자성체 IrMn을 중앙에 두고 상하로 인접한 강자성체를 하부 고정층과 상부 고정층으로 다층구조를 갖는 이중(dual-type) GMR-SV 박막 소자의 등방성 자기저항 특성을 향상시키는 방법을 다루었다. 면상의 고정층과 자유층의 자화용이축 방향이 서로 면상에서 직교시키기 위해

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author:
Tel: +82-33-730-0415, e-mail: sslee@sangji.ac.kr

진공에서 후열처리 온도를 변화시키는 실험을 진행하였다. 즉, 열처리 온도에서 자화방향은 인가한 외부자기장의 세기와 방향에 따라 자기구역이 회전하여 이동하는 현상을 적용하였다. 이중구조 GMR-SV 다층박막에서 모든 자성층들이 박막 제조시 이미 일축이방성을 갖는 고정층과 자유층을 독립적으로 길이 혹은 폭 방향으로 자화 용이축이 서로 교차하도록 유도하였다. 최적의 후열처리 온도가 적용된 GMR-SV 박막을 4-단자법으로 자기저항곡선을 측정하여 자기등방성을 영역분포 특성을 분석하였다.

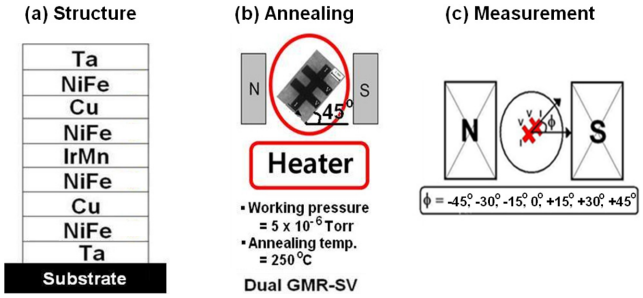

Fig. 1. (Color online) (a) Sample structure of multilayer, (b) the annealing treatment, and (c) the measurement of MR curve depending on angle between uniaxial direction and applied magnetic field for the dual-type GMR-SV thin film.

II. 실험방법

이중 GMR-SV 다층구조인 Corning glass(7059)/Ta/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe/Ta 박막을 반강자성층인 IrMn (AFM; antiferromagnet)층과 고정층과 자유층 역할을 하는 NiFe(FM: ferromagnet)층과 사잇(spacer)층인 Cu층, 그리고 바닥(bottom)층과 보호(top)층인 Ta층 모두를 3×10^{-6} Torr인 고진공 dc 마그네트론 스퍼터링 증착시스템 방법을 이용하여 상온에서 제작하였다.

Fig. 1(a)는 Ta(5 nm)/NiFe(8 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(4 nm)/IrMn(5 nm)/NiFe(4 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(8 nm)/Ta(5 nm) 이중구조 GMR-SV에 대한 박막구조를 나타내었다. Fig, 1(b)처럼 형상 자기이방성을 갖는 폭 방향의 용이축을 0°나, 45°, 90°로 바꾸어 진공 챔버 안에서 후열처리를 시행하였다. Fig. 1(b)에서 보여준 그림자 마스크를 이용하여 0.6 mm 폭으로 형성된 이중구조 GMR-SV 박막을 자화 용이축으로 설정한 폭 방향과 45°로 각도로 외부 자기장을 인가한 상태를 유지하였다. 목표 온도인 250 °C에 도달하기 위한 온도 증가율은 5 °C/m이었다. 열처리 온도에서 1시간 머무른 후에 온도 하강율을 상승율과 같은 5 °C/m의 속도로 상온까지 낮추었다. 진공 열처리 시 효과로 계면 간의 치밀성이 높아져 4-단자 자기저항 값은 대략 0.5 Ω~0.7 Ω로 줄어들었다. 균일한 외부 자기장에서 열처리 과정을 거치므로 보자력과 교환결합력의 변화는 없었을 뿐만 아니라 자성박막의 열적 안정성을 높이는 특성을 가질 수 있다. 후열처리 온도가 107 °C 이상일 경우에는 원소간의 섞임 계면 확산으로 인해 급격히 자기저항 특성이 감소할 것으로 예상된다. Fig. 1(c)는 박막 증착시 일축이방성 자기장이 유도된 이중구조 GMR-SV에 대해 250 °C에서 열처리한 후 외부자기장 방향을 0°를 기준으로 0°에서 +90°까지 박막시료를 회전시켜 자기저항곡선을 측정하는 개략도이다.

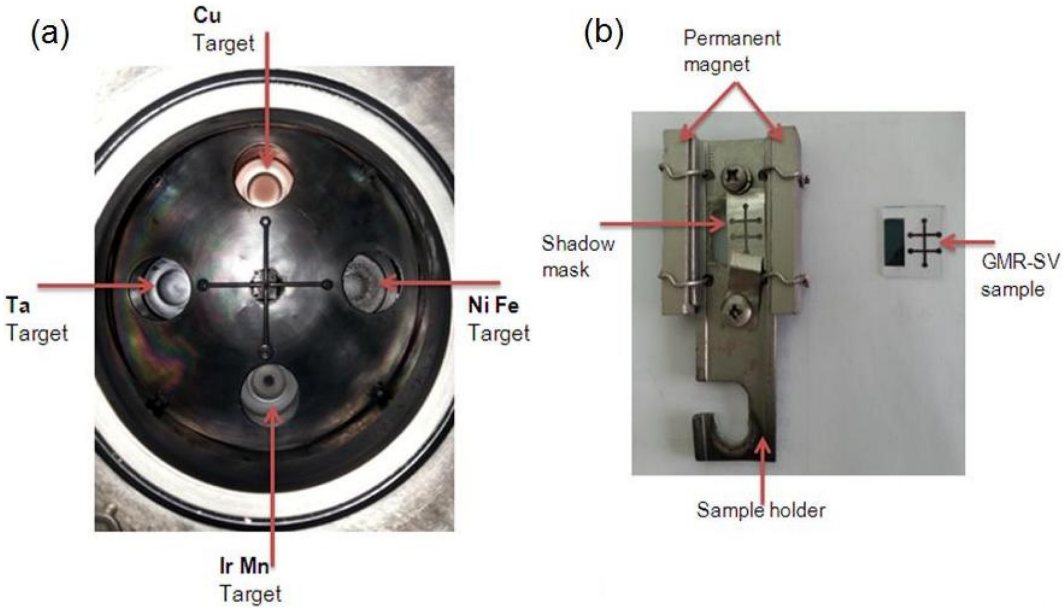

Fig. 2. (Color online) (a) The rotatable sample holder and sputtering 4 targets. (b) The shadow metal mask, the permanent magnet, and the patterning dual-type GMR-SV multilayer sample having a width of 0.6 mm and a length of 15 mm.

Fig. 2(a)의 dc 마그네트론 스퍼터링 증착시스템에서 나타내었듯이 3인치 원판형 4개의 타겟인 Ta, NiFe, Cu, IrMn을 독립적으로 증착할 때, 플라즈마의 상호 간섭이나 타겟 성분들 간의 혼재를 막기 위해 스테인레스 판으로 제작된 분리막을 사용하였다[12, 14]. Ta, NiFe, Cu, IrMn 박막에 대한 증착률은 각각 0.1 nm/s, 0.15 nm/s, 0.12 nm/s, 0.1 nm/s 이었다. 이중 GMR-SV 다층박막 구조에서 Ta층, NiFe층, Cu층, NiFe층, IrMn층의 최적 조건 두께로 각각 5 nm, 8 nm, 2.3 nm, 4 nm, 5 nm로 증착하였다. 시료홀더를 표시한 Fig. 2(b)처럼 다층박막 증착시 유리 기판위에 두께 0.3 mm인 그림자 금속 마스크를 양쪽 영구자석 사이에 놓도록 장착하였고 중심부의 자기장 크기는 350 Oe이었다. 증착 후 0.6 mm 폭과 15 mm 길이로 패턴된 GMR-SV 박막시료의 모습을 Fig. 2(b)에 나타내었다.

박막 제조 후 본 연구의 핵심인 증착 중 직교면 상에서 강자성체 자유층과 고정층간을 서로 교차시키기 위해 영구자석의 자기장을 고정하고 진공 후열처리 시 시료를 Fig. 3(a)의 도면에 나타내었다. Fig. 3(a)처럼 실제 챔버의 모습에서 열처리 시 박막시료를 임의의 각도로 회전시킬 수 있도록 공간이 확보되었다. 여기서 열처리 시 챔버 진공도를 5×10^{-6} Torr로 유지시켰다. 진공 열처리 시 일축 이방성을 유도하기 위한 자기장 세기는 증착 시 자기장 인가조건과 같은 350 Oe이었다. Fig. 3(b) 에서 보여 주듯이 좌우 대칭적으로 여러 개의 둥근형 패라이트 영구자석 중심부에 있는 원통형 알루미나속에 할로겐 램프를 설치하였다. 열처리시 박막시료가 평평한 Cu 판이 놓일 수 있도록 알루미나 세라믹 원통의 윗부분을 가공하였다. 할로겐 램프가 작동하면 박막시료가 놓인 Cu 판에 복사열이 전달되어 일정한 온도로 유지하도록 박막시료 위에 Cu 뚜껑을 덮었다. 박막시료는 일정한 상승 속도로 목표한 온도에 도달하여 열처리를 시행하였다. 5 °C/m의 속도로 열처리 온도까지 상승을 시킨 후 목표 온도에서 1시간 동안 머무르고 다시 5 °C/m의 속도로 상온까지 낮추었다.

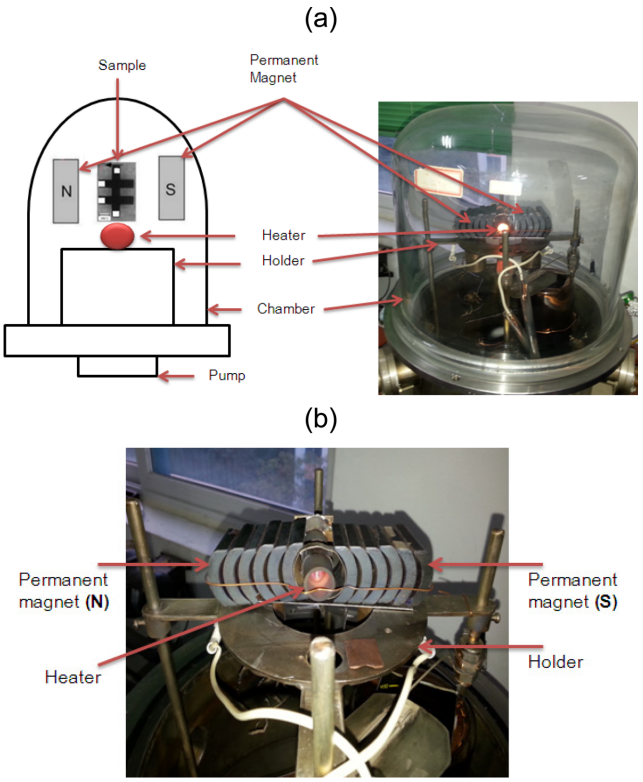

Fig. 3. (Color online) (a) The schematic and the real heating chamber for the post annealing treatment. (b) The detailed form of annealing heating system composed of chamber, lamp, holder, heater, and permanent magnet.

박막 시료의 보자력(coercivity; H_c), 교환결합세기(exchange bias field; H_{ex}), 자기저항비(magnetoresistance ratio; MR(%))

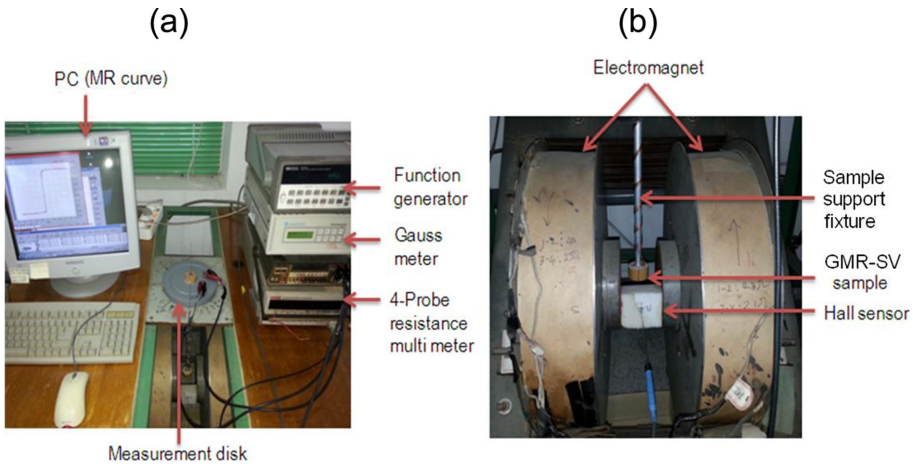

Fig. 4. (Color online) (a) The 4-probe MR measurement stage and system with function generator, Gauss meter, multimeter, PC, and rotational disk. (b) The electromagnet, sample support fixture, and Hall senor for the measuring magnetic field intensity and the MR curve.

는 상온에서 Fig. 4(a)에 보여준 4-단자 자기저항 측정시스템으로 측정된 자기저항곡선으로부터 각각 결정하였다. 측정시 외부자기장 인가 방향이 박막의 면방향으로 정하였다. 패턴된 박막 길이 방향과 인가하는 자기장 방향과 사이 각도를 0°에서 360°까지 조절할 수 있도록 시료 홀더와 연결된 원판을 회전시켜 사용하였다. Fig. 4(b)처럼 전자석에 인가하는 ± 전극의 양쪽 끝에는 일정한 전류를 흘려주고 안쪽의 2개 전극에서 발생하는 출력전압을 일정한 주파수로 읽어 이를 옴의 법칙에 대입하여 저항을 구하게 된다. 외부자기장의 방향은 시편에 공급되는 전류와 수직한 방향이 되도록 하였고, 패턴된 박막시료의 길이방향으로 전류단자에 인가하는 dc 전류 값은 1 mA로 고정하였다. MR 곡선을 얻기 위해 인가된 자장의 세기는 major loop 측정시 가우스미터에 표시되는 자기장 값은 –600 Oe에서 +600 Oe, 측정 데이터수와 분해능을 결정하는 함수발생기의 주파수는 1.7 mHz이였고, minor loop 측정 시 –100 Oe에서 +100 Oe, 측정 주파수는 0.5 mHz이였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 진공 열처리시 외부자기장 방향을 박막 증착시 일축이방성 방향을 45°로 하여 일축이방성 방향이 폭 방향으로 유도된 용이축으로 측정한 major loop와 minor loop의 MR 곡선들을 나타낸 것이다. 일축이방성이 유도된 이중 GMR-SV 박막시료의 자화용이축에 대해 22°~23° 각도 간격 마다 측정한 MR 곡선인 Fig. 5(a), (b), (c), (d), (e)에서 각각의 MR비는 약 6.5 % 근방의 값을 가지고 있었다. 특히 45°에서 측정한 MR 곡선인 Fig. 5(c)에서 이중구조의 두께가 IrMn층을 중심으로 하부층 GMR-SV 박막과 상부층 GMR-SV 박막에서 각층의 두께가 대칭되게 동일하지만, 상부층 고정층의 보자력과 교환결합세기는 하부층의 것보다 약 3.5배 정도 감소하였다. 이러한 결과는 저자들이 이미 발표한 논문에 언급했듯이 다층구조인 경우 계면의 거칠기와 Cu층을 사이로 고정층과 자유층의 상호 층간 결합력으로 인해 MR비와 자기적

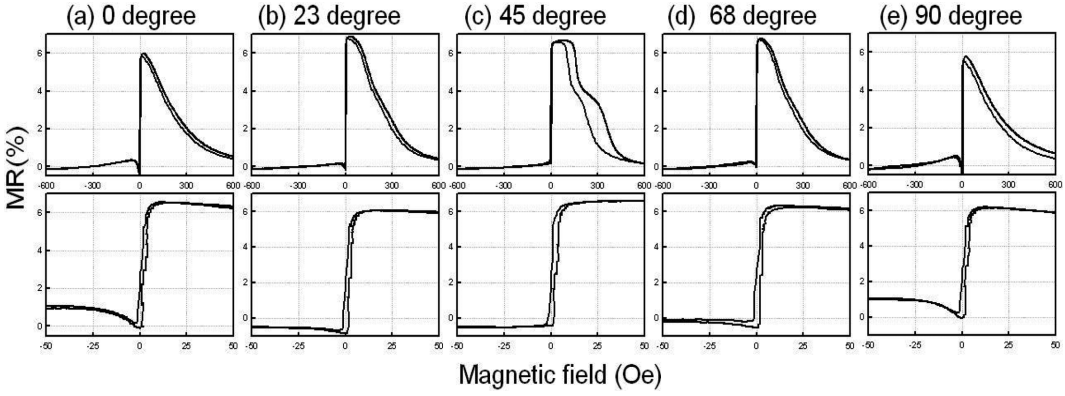

Fig. 5. Major (upper loops) and minor (lower loops) MR curves of a dual-type IrMn based GMR-SV films measured after post annealing temperature of 250 °C during 1 hr and 45° angle between uniaxial direction and applied field after annealing treatment. The measurement angles of MR curves are (a) 0°, (b) 23°, (c) 45°, (d) 68°, and (e) 90°, respectively.

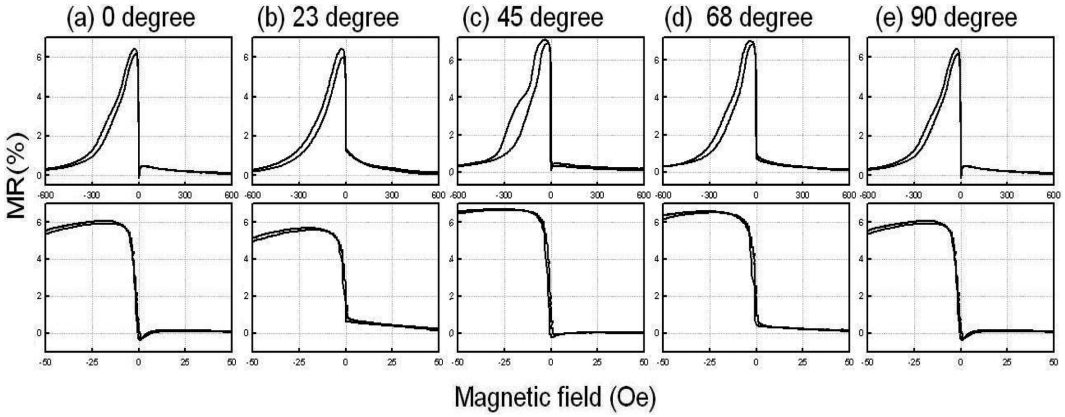

Fig. 6. Major (upper loops) and minor (lower loops) MR curves of a dual-type IrMn based GMR-SV films measured after post annealing temperature of 107 °C during 1 hr and 90° angle between uniaxial direction and applied field after annealing treatment. The measurement angles of MR curves are (a) 0°, (b) 23°, (c) 45°, (d) 68°, and (e) 90°, respectively.

특성이 영향을 받아 나타난 현상으로 사료된다[15].

Fig. 5의 MR 곡선들을 자세히 살펴보면, 외부자기장이 0 Oe에서 ±600 Oe 부근까지 측정한 major loop의 MR 곡선들이 45° 부근에서 전형적인 이중구조의 GMR-SV 곡선을 보였다. 또한 후에 언급할 0 Oe에서 보자력의 값들은 0°에서 5 Oe, 45°에서 3 Oe로 감소하였다. 박막 증착시 일축이방성 자기장이 유도된 이중구조 GMR-SV에 대해 자성층의 자화 용이축이 면상에서 가장 최적화 된 열처리 온도는 107 °C이었다[15].

폭 방향으로 자화용이축을 갖는 이중 GMR-SV 박막을 진공 열처리시 90°로 회전하여 자화 곤란축이 용이축이 되는 방향으로 놓아 1시간 동안 350 Oe의 균일 자기장 세기 하에서 후 열처리 과정을 진행하였다. Fig. 6은 온도 107 °C에서 열처리한 후 외부자기장 방향을 0°에서 +90°까지 회전시키면서 측정한 자기저항곡선들이다. 즉, 진공 열처리시 외부자기장 방향을 박막 증착시 일축이방성 방향과 다르게 박막 면상에서 90°로 바꾸어 유도시켜 길이 방향을 용이축으로 정하여 측정한 major loop와 minor loop의 MR 곡선들을 나타낸 것이다.

일축이방성이 유도된 이중 GMR-SV 박막시료의 자화용이축에 대해 22~23° 각도 간격 마다 측정한 MR 곡선인 Fig. 6(a), (b), (c), (d), (e)에서 각각의 MR비는 약 6.5 % 근방의 값을 유지하고 있었다. 특히 45°에서 측정한 MR 곡선인 Fig. 6(c)에서 이중구조의 두께가 IrMn층을 중심으로 하부층 GMR-SV 박막과 상부층 GMR-SV 박막에서 각층의 두께가 대칭되게 동일하지만, 상부층의 고정층의 보자력과 교환결합 세기는 하부층의 것보다 약 0.5배 정도 감소하였다. 외부자기장이 0 Oe에서 ±600 Oe 부근까지 측정한 major loop의 MR 곡선들로부터 보자력의 값들은 0°에서 2 Oe, ±90°에서 1 Oe로 250 °C 열처리에 비해 많이 감소함을 알 수 있었다.

온도 107 °C에서 열처리한 이중 GMR-SV 박막 시료의 자기저항 특성을 Fig. 6에서 다루었듯이, 다층박막 구조내의 반강자성체 IrMn층과 고정층 NiFe층 계면에서 교환 결합한 스핀 방향과 자유층 NiFe층 스핀방향 면상에 서서히 이동함을 예측하게 한다. 온도 107 °C와 250 ℃에서 각각 열처리한 이중구조 GMR-SV 박막 시료를 90° 구간에서 측정한 자장감응도와 보자력의 등방성 자기저항 특성을 종합하여 Fig. 7에 보였다. Fig. 7에 나타낸 것처럼 4단자로 0°에서 90° 사이를 15° 간격으로 열처리온도가 각각 107 °C와 250 °C일 때 측정한 자기저항 곡선들과 비교 분석하였다. 열처리 온도 250 °C일 경우, 0~90°에서 *MS*는 1.33 %/Oe~1.45 %/Oe로 나타났다. 반면에 107 °C일 경우, 비자성층 Cu를 사이로 두개의 자유층(free layer)인 NiFe(8 nm)에서 하부와 상부의 두 개의 고정층(pinned layer)인 NiFe(4 nm) 간의 상호결합력은 거의

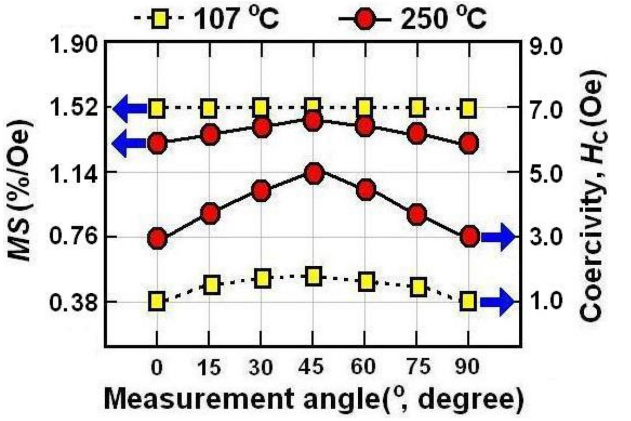

Fig. 7. (Color online) The magnetic sensitivities (*MS*) and the coercivities (H_C) versus the measurement angles (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°) obtained through minor MR loops of the dual-type IrMn based GMR-SV films after post annealing temperatures of 107 °C and 250 °C, respectively.

0 Oe이었고, 보자력은 1.0 Oe 이내로 초연자성의 히스테리시스 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 고감도 소자의 자화 특성을 결정하는 *MS*는 거의 1.52 %/Oe로 동일하였다. 이것은 미세 패턴 후에도 등방성의 높은 자장감응도를 유지함으로써 고감도 자기저항 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

한편 Fig. 7의 major loop들이 이중구조 GMR-SV의 전형적인 자기저항 특성을 나타내지 않고 있다. Fig. 6의 minor loop와 비교해 볼 때, 외부자기장이 5 Oe 이상일 때 MR비의 포화값이 일정하지 않고 줄어들고 있음을 보인다. 0 Oe인 부근에서 히스테리스시 특성이 거의 없는 선형적인 자기저항 곡선으로부터 얻은 일정한 자장감응도를 나타내고 있다. 자기저항 측정시 박막시료의 회전각도가 0°에서 90°까지 외부 자기장을 인가하여 박막 회전각도와 동일한 센싱전류 방향 축으로 측정하여 얻은 minor loop들은 각각 동일한 등방성 자기저항곡선을 가지고 있음을 알 수 있다.

두 가지 다른 열처리 온도가 적용된 이중구조 GMR-SV 박막 시료를 360° 전체 회전구간을 측정한 자기저항곡선들로부터 계산된 자기저항비와 보자력, 그리고 자장감응도를 Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)처럼 원형도표들로 각각 나타내었다. Fig, 8(a)에서 박막시료를 외부자기장과 일치하는 폭 방향으로 놓고 열처리온도 250 °C일 경우 박막시료를 길이방향과 자기장 인가 방향간의 각도 Φ는 0°에서 360°까지 *MS*의 영역분포를 나타내었다. Fig, 8(b)는 Fig. 8(a)에서 열처리한 박막시료를 90° 회전하여 외부자기장과 일치하는 길이방향으로 놓고 열처리 온도 107 °C일 경우 박막시료를 길이방향과 자기장 인가 방향간의 각도 Φ는 0°에서 360°까지 *MS*의 영역분포를 나타내었다. 열처리온도 107 °C일 때 자기등방성 영역분포가

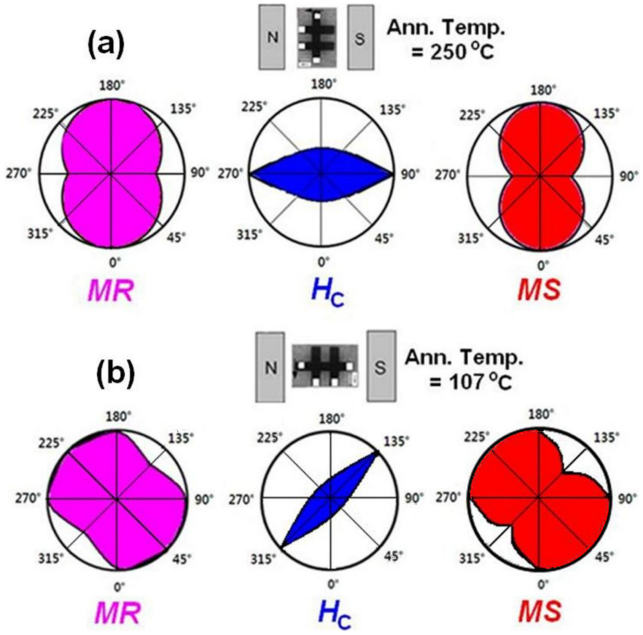

Fig. 8. (Color online) The circle diagrams represented the region distribution of magnetoresistance ratios (*MR*), magnetic sensitivities (*MS*), and coercivities (H_C) depending on the measurement angles (0~360°) obtained through minor MR loops of the dual-type IrMn based GMR-SV films after post annealing temperatures of (a) 250 °C and (b) 107 °C, respectively. Two angles between uniaxial direction and applied magnetic field for the dual-type GMR-SV thin film during the post annealing treatment are (a) 90° and (b) 0° corresponding to two temperatures of (a) 250 °C and (b) 107 °C, respectively.

250 °C보다 훨씬 넓은 균일한 등방성 분포를 가지고 있음을 한눈에 알 수 있다. 이러한 주요 요인은 Fig. 7의 설명에서 언급했듯이 보자력의 값이 250 °C일 때가 107 °C보다 큰 값을 유지하고 있기 때문이다. 균일한 자기등방성이 나타난 90° 영역에서 외부자기장의 각도를 변경한 경우 자기저항곡선이 각도에 무관하게 일정한 *MS* 값을 유지하는 등방성 특성을 갖게 된다. 여기서 등방성이란 0°에서 360°까지를 포함하지 않고 0°에서 90° 사이의 한정적인 등방성을 뜻한다[15].

1 μm 이하 자성비드가 비록 초상자성체인 경우라도, 자성비드의 자기장세기는 임의 방향으로 매우 작은 자기장이 존재할 것으로 보인다. 즉 등방성의 미약한 자기장을 띠고 있을 것이므로, 이 경우는 직교면상에서 고정층과 자유층이 자화방향이 서로 직교하여 제작된 GMR-SV 소자가 연구논문에서 다룬 자기저항특성을 띤 박막과 같이 0°에서 90° 사이의 한정적인 등방성 자장감응도 1.5 %/Oe~2.0 %/Oe을 유지한다면 자성비드의 자성 측정이 가능할 것으로 사료된다. 그 이유로 자성 나노입자 연구에서 중요한 것은 입자가 갖고 있는 자성의 세기를 제어하기 때문이다. 일반적으로 자성비드는 실리카가 코팅되지 않은 마그네타이트 및 실리카가 코팅된 자성 나노입자를 가지고 자화율을 측정하여 자기장의 세기를 비교한다. 이것은 실리카 전구체의 몰농도에 따른 자화율 측정결과, 몰농도에 따른 자화율과 비표면적은 비례관계에 있으며 크기와는 반비례 관계에 있다. 따라서 자성비드는 자장감응도 1.5 %/Oe~2.0 %/Oe에서 구별 가능한 잔류자화인 *Ms*의 값이 보통 30 emu/g~70 emu/g의 크기를 가지는 초상자성체(super paramagnetism)의 성질을 유지하는 것을 볼 수 있다[16].

이러한 결과를 살펴보면 0 Oe에서 외부에 따른 미세 자기장의 변화는 거의 선형적으로 비례하는 등방성 자기저항 특성을 갖는 minor 자기저항 곡선을 보였으며, 자장감응도가 크게 개선이 될 뿐만 아니라 임의 용이축 방향을 갖거나 갖지 않는 자성입자를 검출하는데 용이한 바이오 소자로 적용할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 이중구조 GMR-SV 박막에서 자유층의 보자력이 최소화로 나타난 0 Oe 근방에서 외부에 따른 미세 자기장이 증감함에 따라 선형적으로 반응하는 최적의 열처리 온도 조건을 얻기 위함이었다. GMR-SV 소자가 극미세 자기장 검출용 바이오 소자로 사용될 때 갖추어야 할 주요 특성으로는 선형적인 민감도와 큰 출력값 등을 보유할 것으로 사료된다. 강자성 고정층과 강자성 자유층의 일축 자기 이방성들이 반드시 면상에서 서로 직교할 때 생기는 미세 패턴닝 소자의 자기저항 특성이 AMR 효과를 없애고 등방적으로 선형적인 자장감응도와 이중 GMR-SV 효과로 인한 큰 출력값을 가지도록 해야만 한다. 한편 진공 열처리를 통해 모든 소자를 개발하기 위해서는 광 리소그래피 공정을 할 때 107 °C에서 용이축에서 곤란축으로 변화시키는 후열처리 과정이 필요함을 알 수 있다.

IV. 결　　론

Dc 마그네트론 증착시스템을 이용한 이중구조 GMR-SV를 갖는 박막시료의 면상에서 자화용이축을 조절하기 위해 진공챔버 내에서 후 열처리를 시행하였다. 박막 증착시 일축이방성 자기장이 유도된 Ta(5 nm)/NiFe(8 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(4 nm)/IrMn(5 nm)/NiFe(4 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(8 nm)/Ta(5 nm) 이중구조에 대해 자성층의 자화용이축이 면상에서 회전이 가장 최적화 된 열처리 온도는 107 °C이었다, 진공 챔버내에서 이중구조 GMR-SV 박막을 후열처리 온도 107 °C와 250 °C까지 증가시켜 강자성층체의 자화용이축이 면상에서 변화를 유도하였다. 4단자법으로 측정한 자기저항곡선의 minor loop에서 자기저항비, 보자력, 자장감응도를 조사하여 면상 자성층의 자구 영역의 회전 조건에 의존하는 자기등방성 영역분포의 특성을 조사하였다. 강자성체 자유층과 고정층의 자화용이축에 의존하는 이중구조 GMR-SV 박막의 자기저항곡선을 외부자기장 각도 0°에서 360°까지 변화시켜 측정하였다. 열처

리 온도가 107 ºC일 때, 박막 면상에서 자화방향의 스위칭 과정을 조사하여 90º 회전 영역에서 자기저항비 6.5 %, 보자력 1.0 Oe, 자장감응도가 약 1.52 %/Oe인 자기등방성 특성이 나타났다. 이로써 면상 강자성 고정층과 자유층을 서로 직교한 고감도 GMR-SV 박막 소자는 마이크로 자성비드를 임의 방향에서 검출할 수 있는 고감도 바이오센서로 사용할 가능성을 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0024665) 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

[1] D. A. Baker, Nature **405**, 39 (2000).
[2] D. L. Graham, H. A. Feliciano, P. P. Fretias, L. A. Clarke, and M. D. Amaral, Sens. Actuators: B **107**, 936 (2005).
[3] S. H. Park, K. S. Soh, M. C. Ahn, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **16**, 157S (2006).
[4] B. M. de Boer, J. A. H. M. Kahlman, T. P. G. H. Jansen, H. Duric, and J. Veen, Biosens. Bioelectron. **22**, 2366 (2006).
[5] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, and S. X. Wang, Sens. Actuators: A **126**, 98 (2006).
[6] S. S. Lee, S. H. Park, and K. S. Soh, Sae Mulli **52**, 564 (2006).
[7] J. H. Min, A. Y. Song, Y. K. Kim, and J. H. Wu, J. Kor. Mag. Soc. **19**, 34 (2009).
[8] J. G. Choi, Y. S. Park, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **22**, 173 (2012).
[9] S. H. Park, K. S. Soh, D. G. Hwang, J. R. Rhee, and S. S. Lee, J. Magnetics **13**, 30 (2008).
[10] W. H. Lee, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Magnetics **14**, 18 (2009).
[11] J. G. Choi, T. J. Kwak, J. T. Shim, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **20**, 35 (2010).
[12] J. G. Choi, I. S. Koh, Y. M. Gong, M. H. Kim, Y. S. Park, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **19**, 1 (2009).
[13] D. K. Wood, K. K. Ni, D. R. Schmidt, and A. N. Cleland, Sens. Actuators: A **120**, 1 (2005).
[14] D. W. Kim, J. H. Lee, M. J. Kim, and S. S. Lee, J. Magnetics **14**, 80 (2009).
[15] P. Khajidmaa, K. J. Park, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **23**, 98 (2013).
[16] J. H. Lee, B. Y. Chung, and J. H. Jang, CERAMIST **12**, 21 (2009).

Regional Distribution of Isotropy Magnetic Property of Dual-type Giant Magnetoresistance-Spin Valve Multilayer

Purevdorj Khajidmaa and Sang-Suk Lee*
Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 15 November 2013, Received in final form 3 December 2013, Accepted 3 December 2013)

The regional distribution of magnetic isotropy depending on the post annealing condition for the dual-type structure GMR-SV (giant magnetoresistance-spin valve) of NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe multilayer was investigated. The rotation of in-plane ferromagnetic layer induced by controlment of the post annealing temperature inside of the vacuum chamber. The magnetoresistive curves of a dual-type IrMn based GMR-SV depending on the direction of the magnetization easy axis of the free layer and the pinned layer are measured by between 0º and 360º angles for the applied fields. The optimum annealing temperature having a steady and isotropy magnetic sensitivity of 1.52 %/Oe was 107 ºC in the rotational section of 0~90º. By investigating the switching process of magnetization for an arbitrary measuring direction, the in-plane orthogonal magnetization for the dual-type GMR-SV multilayer can be used by a high sensitive biosensor for detection of magnetized micro-beads.

Keywords : dual-type structure, giant magnetoresistance-spin valve (GMR-SV) thin film, magnetization easy axis, magnetoresistance curve, post annealing treatment, isotropy magnetic property, magnetic sensitivity