

바이오센서용 거대자기저항-스핀밸브 박막이 등방성 자기저항 특성을 갖게 하는 후열처리 조건 연구

카지드마 · 박광준 · 이상석*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

(2013년 5월 15일 받음, 2013년 6월 8일 최종수정본 받음, 2013년 6월 10일 게재확정)

NiFe/Cu/NiFe/FeMn/NiFe/Cu/NiFe 이중 거대자기저항-스핀밸브(GMR-SV) 박막의 진공 후열처리 온도의존성을 조사하여 강자성층 자화용이축을 유도하였다. 자유층과 고정층의 자화용이축에 의존하는 이중 스핀밸브 박막의 자기저항곡선은 외부자기장 각도를 다르게 하면서 측정하였다. 열처리온도가 105 °C일 때, 0°와 90° 사이 임의 측정 각도에서 약 2.0 %/Oe인 자장감응도 특성을 얻었다. 이러한 결과는 면상 강자성층과 자유층을 면상에서 서로 직교한 자화방향 유도를 통하여 이중구조 GMR-SV 박막이 고감도 바이오센서로 사용할 가능성을 제시하였다.

주제어 : 이중 거대자기저항-스핀밸브 박막, 자화용이축, 자기저항곡선, 후열처리, 자기등방성, 자장감응도

I. 서 론

생체신호를 검출하기 위해 개발된 전형적인 바이오센서(biosensor)는 생물학적 인지시스템과 물리화학적 신호변환기(transducer)를 조합하여 특이한 생체분자를 선택적으로 반응하여 분석하는 핵심소자들로 구성되어 있다[1, 2]. GMR-SV (Giant magnetoresistance-spin valve) 소자를 이용한 바이오센서는 분자수준 크기의 특이 종을 선택함에 있어서 자성신호를 측정하여 생물학적 또는 화학적 분자의 운동을 쉽게 관찰할 수 있다. 나노공학 및 생명공학의 기술과 의학 및 생물학의 학제간 융합연구가 발전하여 GMR-SV 소자를 DNA (deoxy nuclei acid) 분자 칩(chip)이나 고감도 생체센서로 활용하기까지 이르렀다[3, 4].

최근 고감도 나노자성 바이오센서를 이용하여 생체분자들의 존재성, 운동성 그리고 자기적 특성을 관찰하기 위해 활발하게 연구가 진행되고 있다. 또한 GMR 자기센서를 이용한 DNA 식별 꼬리표(tag)를 개발하는 연구도 하고 있어서 수십 개 미만의 분자를 식별할 수 있는 의료용 바이오칩 센서(bio-chip sensor)가 국내·외 여러 연구팀에서 개발되고 있다[5-7]. 미세자기장을 갖는 마이크로 비드가 생체분자 식별용 꼬리표에 붙일 경우, 편향된 자기장이 아닌 임의 방향으로 자기저항이 변하는 것을 감지하는 GMR-SV 바이오 소자가 필요하다[8, 9].

본 연구는 나노자성 감지용 바이오센서로 사용하기 위해 자

기저항비가 높은 이중구조(dual-type structure)의 GMR-SV 박막을 제작하였다. 이중 GMR-SV 박막 소자의 등방성 자기저항 특성을 향상시키는 방법에 대해 면상의 고정층과 자유층의 자화용이축 방향이 서로 면상에서 직교시키기 위해 진공에서 후열처리 온도를 변화시키는 실험을 진행하였다. 열처리 온도에서 자화방향은 인가한 외부자기장의 세기와 방향에 따라 자기구역이 회전하여 이동하는 현상을 적용하였다. GMR-SV 다층박막에서 모든 자성층들이 박막 제조시 이미 일축이방성을 갖는 고정층과 자유층을 독립적으로 길이 혹은 폭 방향으로 자화 용이축이 서로 교차하도록 유도하였다. 4-단자법으로 자기저항곡선을 측정하여 GMR-SV 박막이 자기이방성을 갖는 최적의 후열처리 조건을 조사하였다.

II. GMR-SV 박막 및 소자의 자기저항 특성과 개선점

거대자기저항-스핀밸브(GMR-SV) 박막 제조시 일축 자기장 이방성 유도에 따른 문제점으로는 소자 제작시 자유층은 형상이방성을 이용해야하며, 박막보다 소자상태에서 낮은 자기저항비 값이 나타난다. 여기서 형상이방성이란 소자가 전류 방향인 길이는 소자 폭보다 10배 정도 크므로써 폭 방향으로 유도된 자화용이축은 GMR-SV 박막의 반강자성체 층과 인접한 고정층의 자화방향이며, 자유층은 형상자기이방성 효과로 인하여 길이방향으로 자화용이축이 생기게 되는 것을 의미한다. 그리고 외부자기장 원점에서 이동되어 Minor 곡선이 비대칭을 갖게 된다. 이로 인해 Fig. 1처럼 히스테리시스 곡선 존재로 비가역적이며 자장감응도 저하를 유발시킨다. 이러

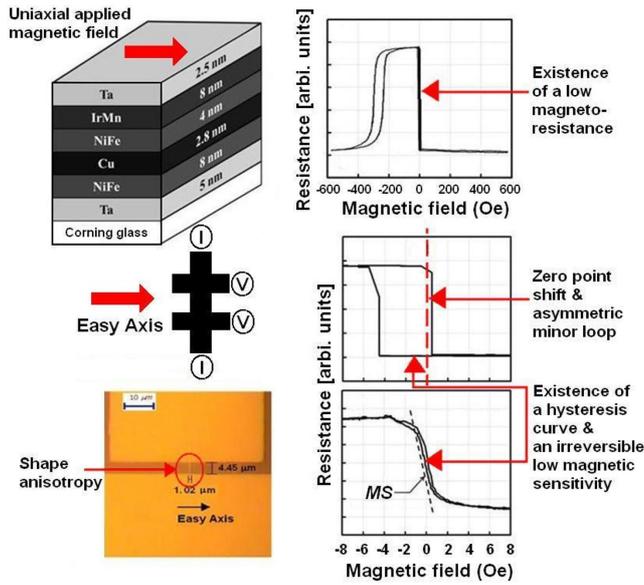


Fig. 1. (Color online) Several properties of GMR-SV film and device by induced an uniaxial magnetic field. In case of 4-probe measurement of MR (magneto-resistance); existence of a low MR, zero point shift, and asymmetric minor loop. In case of 2-probe measurement of MR; existence of a hysteresis curve and an irreversible low MS (magnetic sensitivity).

한 문제점을 해결방안으로는 소자 폭을 증가시키고 이중구조 GMR-SV 박막을 제작해야 비교적 높은 자기저항비 값을 가지게 된다[10, 11]. 하지만 형상자기이방성을 이용한 이중 구조의 GMR-SV 박막을 광리소그래피 공정을 통해 소자를 제작하였을 경우, 히스테리시스 곡선과 자기감응도 저하가 여전히 발생하거나 존재함을 알 수 있다[11, 12].

Fig. 2(a)처럼 GMR-SV 소자의 경우, 박막 증착시 사용한 그림자 마스크로 인하여 형성된 박막 지그재그(zig zag) 경계 면에서 자구영역 이동으로 인해 바크하우젠 노이즈를 갖게 된다[13]. 그리고 소자 제조시 단계별 공정과정에서 소자의 표면과 가장자리의 손상결함으로 인한 출력 노이즈가 Fig. 2(b) 처럼 자기저항곡선 특성을 갖게 된다. GMR-SV 소자 제작공

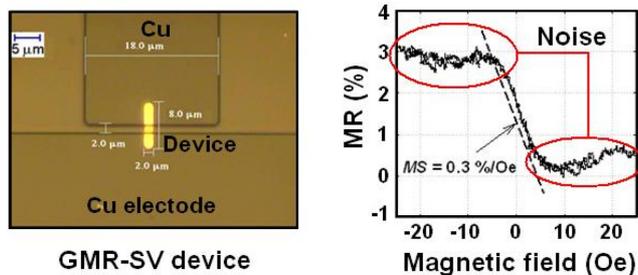


Fig. 2. (Color online) (a) A picture of Real GMR-SV device with a size of $2 \times 8 \mu\text{m}^2$ and two Cu electrodes after photolithography process. (b) A minor MR loop measured by using 2-probe method. A noise signal and a low MS value is still remained.

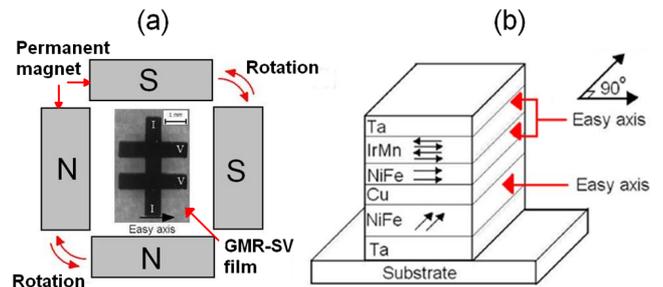


Fig. 3. (Color online) (a) The rotation of permanent magnet for in-plane orthogonal GMR-SV during deposition. (b) Schematic of GMR-SV multilayers with in-plane orthogonal easy axes included of the free and the pinned ferromagnetic layers for applying bio-sensor.

정의 문제점을 해결하기 위해 또한 소자 폭을 증가해야 비교적 높은 MR 값을 가질 수 있으나, 형상 자기이방성에 따른 자기감응도 저하와 소자제조 단계별 공정과정에서 손상결함으로 인한 노이즈는 또한 남게 된다[14, 15].

고감도 바이오센서용으로 활용할 GMR-SV 박막소자는 인위적인 면상 자기이방성을 유도하여 히스테리시스 특성을 제거하는 것이 필요하다. 즉, Fig. 3(a)과 같이 박막제조시 각 층을 증착할 때마다 자기장을 인가하는 각도를 수직으로 하여 고정층과 자유층을 서로 직교가 되게 하는 것이다. 즉, 일축이방성 자기장의 각도를 면상에서 서로 수직으로 교차 할 수 있도록 증착시 동일한 인가 자기장 세기를 갖는 영구자석을 서로 교차되게 회전하는 것이다. 이러한 방법으로 제작된 이중구조를 갖는 GMR-SV 다층박막의 구조를 Fig. 3(b)에 나타내었으며, 박막의 Minor MR 곡선과 소자 제조 후 2-단자법으로 측정한 MR 곡선은 비교적 높은 자기저항곡선 특성을 유지하는 이중구조 GMR-SV 박막소자를 개발할 수 있다.

본 연구에서는 박막 증착시 일축이방성이 유도된 이중구조인 Ta/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe 스핀밸브 박막에 대

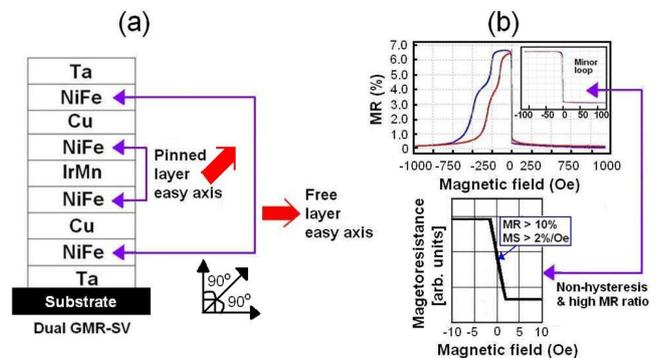


Fig. 4. (Color online) (a) Schematic of the structure of a dual-type IrMn based GMR-SV film and the in-plane orthogonal easy axes for a pinned layer and a free layer. (b) MR major and minor curve for a dual-type IrMn based GMR-SV films with non-hysteresis and high MR ratio.

하여 후열처리 과정을 적용하여 면상 직교형 자기장을 유도하였다. 히스테리시스 곡선 특성을 갖지 않고 선형적인 자장 감응도를 갖는 실험방법과 높은 자기저항 특성을 구현할 수 있도록 하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 Fig. 4(a)처럼 박막 제조시 직교면상에서 일축자기이방성을 유도할 것이다. 또한 Fig. 4(b)에서 보여 주듯이 새로운 *in-situ* 이중 구조형 GMR-SV 박막 제조방법을 이용하여 거대자기저항 및 비히스테리시스적인 거대 자기저항 곡선 특성을 갖도록 추후 연구에 적용할 것이다.

III. 실험방법

Ta(bottom)/NiFe(free FM layer)/Cu(spacer)/NiFe(pinned FM layer)/IrMn(AFM layer)/NiFe(pinned FM layer)/Cu(spacer)/NiFe(free FM layer)/Ta(top) 다층구조로 높은 자기저항비를 갖는 GMR-SV 다층박막을 제작하였다. 여기서 반강자성체인 IrMn(AFM; antiferromagnet) 층과 고정층과 자유층의 역할을 하는 NiFe(FM: ferromagnet) 층과 사이층으로 Cu(spacer)층, 그리고 바닥(bottom)층과 보호(top)층인 Ta 층 모두는 3×10^{-6} Torr인 고진공 증착시스템을 이용하여 유리(Corning 7059) 기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 상온에서 증착하였다.

다층박막 증착시 인가된 영구자석의 자기장 세기는 350 Oe 이었다. 직경 3인치 크기를 갖는 Ta, NiFe, Cu, IrMn 타겟들을 사용하여 박막을 증착할 때 플라즈마의 상호 간섭이나 타겟 성분들 간의 혼재를 막기 위해 분리막을 사용하였다. Ta, NiFe, Cu, IrMn의 박막에 대한 증착률은 각각 0.1 nm/s, 0.15 nm/s, 0.12 nm/s, 0.1 nm/s이었다. 이중 다층박막 구조에서 Ta층, NiFe층, Cu층, NiFe층, 반강 IrMn층의 최적 조건의 두께를 각각 5 nm, 8 nm, 2.3 nm, 4 nm, 5 nm로 증착하였다.

박막제조시 본 연구의 핵심인 증착 중 자유강자성층과 고정강자성층간의 일축이방성을 직교면 상에서 서로 교차시키기 위해 영구자석의 자기장을 고정하고 진공 후열처리시 시료를 회전시켰다. 여기서 열처리시 챔버의 진공도를 5×10^{-6} Torr로 유지시켰다. 진공 열처리시 일축 이방성을 유도하기 위한 자기장 세기는 증착시 자기장 인가조건과 같은 350 Oe 이었다. 원통형 영구자석 안에 할로겐램프의 복사열을 직접 받아 일정한 온도로 유지하는 평평한 Cu 판으로 감싼 알루미늄 세라믹 원통 안에 박막시료를 넣었다. Cu의 평평한 판에 올려진 박막시료는 일정한 상승 속도로 목표한 온도에 도달하여 열처리를 시행하였다. 5°C/m의 속도로 열처리 온도까지 상승을 시킨 후 목표 온도에서 1시간 동안 머무르고 다시 2°C/m의 속도로 상온까지 낮추었다. 박막 시료의 보자력

(coercivity; H_c), 교환결합세기(exchange coupling field; H_{ex}), 자기저항비(magnetoresistance ratio; $MR(\%)$)는 상온에서 4-단자법 자기저항 측정시스템으로 측정된 자기저항곡선으로부터 각각 결정하였다.

IV. 실험결과 및 분석

Fig. 5(a)는 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 측정된 MR 곡선이다. Fig. 5(b)는 진공 후열처리시 외부자기장 방향을 0°(평행)에서 180°(반평행)로 회전시켜 증착된 이중 GMR-SV 박막의 일축자기이방성을 반평행 방향으로 유도된 MR 곡선이다. Fig. 5(c)와 (d)는 진공열처리시 외부자기장 방향을 다시 90°로 바꾸어 일축이방성 방향이 수직으로 유도된 용이축과 곤란축으로 측정된 MR 곡선이다. 일축이방성이 유도된 이중 GMR-SV 박막시료의 자화용이축에 대한 MR 곡선인 Fig. 5(a), (b), (d)에서 각각의 MR비는 약 6.5% 근방의 값을 가지고 있었다. 이중구조의 두께가 IrMn층을 중심으로 하부층 GMR-SV 박막과 상부층 GMR-SV 박막에서 각층의 두께가 대칭되게 동일하지만, 상부 고정층 보자력과 교환결합세기는 하부층의 것보다 약 1/2 정도 감소하였다. 이러한 결과는 다층구조인 경우 계면의 거칠기와 Cu층을 사이로 고정층과 자유층간의 상호 교환결합력으로 인해 MR비와 자기적 특성이 간섭을 받아 나타난 현상으로 사료된다. 곤란축에 대한 MR 곡선인 Fig. 5(c)에서 MR비는 약 4.0% 근방의 값으로 전형적인 이방성자기저항(AMR: anisotropy magnetoresistance)

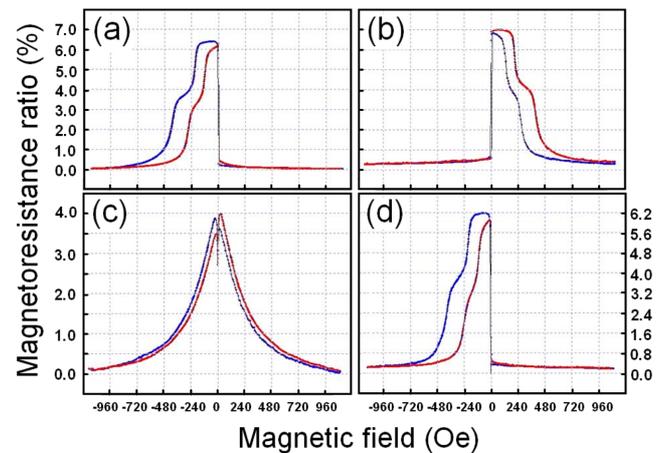


Fig. 5. (Color online) Magnetoresistance property of dual-type GMR-SV films depending uniaxial applied field after annealing treatment. (a) Easy axis MR curve for as grown sample in (a) 0° and (b) 180°. (c) Hard axis and (d) easy axis MR curve in 90° induced by magnetic field of 350 Oe after annealing at 250 °C during 1 hr.

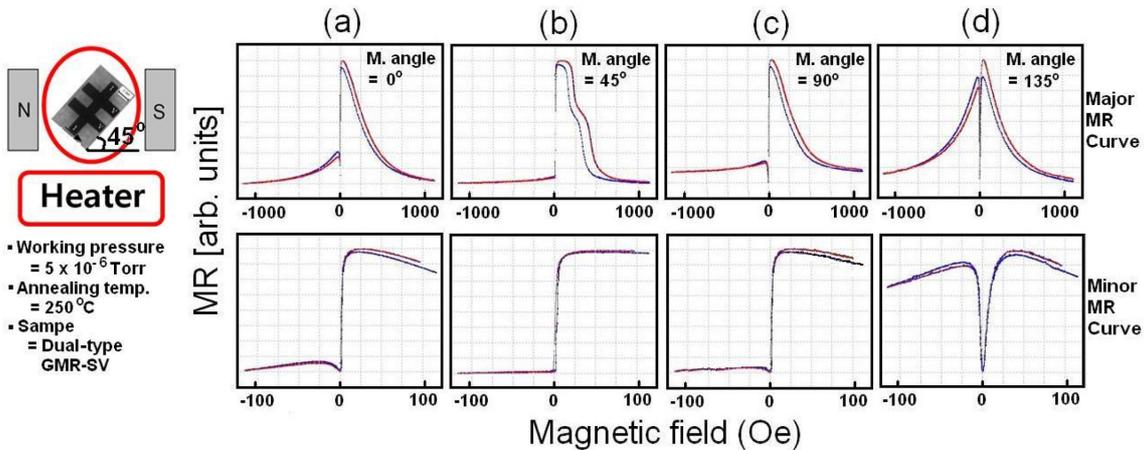


Fig. 6. (Color online) Major (upper loops) and minor (lower loops) MR curves of a dual-type IrMn based GMR-SV films depending on 45 degree by uniaxial applied field after annealing treatment with measurement angles of (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°, and (d) 135°. There are several conditions such as a working pressure of vacuum (5×10^{-6} Torr), a annealing temperature (250 °C).

곡선 모양을 보이고 있다.

Fig. 6는 Sub/Ta/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe/Ta 이중 구조에 대해 폭 방향으로 용이축을 45°로 바꾸어 설정한 후 열처리 효과에 관한 MR 곡선이다. Fig. 6에서 그림자 마스크를 이용하여 0.5 mm 폭으로 형성된 이중구조 GMR-SV 박막을 용이축으로 설정한 폭 방향과 45°로 각도로 외부 자기장을 인가하였다. 상온에서 목표온도인 250 °C에 도달하기 위한 온도 증가율은 5 °C/m이었다. 열처리 온도에서 1시간 머무른 후에 온도 하강율을 상승율과 같은 5 °C/m로 상온까지 낮추었다. 진공 열처리시 효과로 계면 간의 치밀성이 높아져 4단자 자기저항값은 47.4 Ω에서 46.7 Ω으로 줄어들었다. 균일한 외부 자기장에서 열처리 과정을 거치므로 보자력과 교환결합력의 변화는 없었을 뿐만 아니라 자성박막의 열적 안정성을 높이는 특성을 가질 수 있다. 후열처리 온도가 250 °C 이상일 경우에는 계면에서 원소간 섞임과 확산으로 인해 자기저항비가 감소하게 된다. Fig. 5에서 설명한 자기저항 곡선의 특성과 마찬가지로 길이방향 축을 45°로 기울여서 측정한 major loop와 minor loop의 MR 곡선들이다. 여기서 용이축 MR 곡선과 곤란축 MR 곡선은 각각 Fig. 6(b)와 Fig. 6(d)가 된다. 한편 Fig. 6(a)와 Fig. 6(c)는 major loop와 minor loop의 MR 곡선들의 모양이 비슷함을 알 수 있다. MR 곡선의 특성은 후열처리 온도 변화를 통해 어느 방향이라도 자기저항특성이 같은 등방성 이중구조 GMR-SV 박막의 제작이 가능함을 제시한다.

Fig. 7(a)는 상온에서 폭 0.5 mm와 길이 5 mm 크기의 금속 그림자 마스크(shadow mask)를 이용하여 증착한 Ta/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/ NiFe/Ta 구조의 GMR-SV 다층박막 시료에 대해 0°에서 90°까지 임의 각도에서 4-단자법

으로 측정된 자기저항곡선을 나타낸 것이다. 폭 방향으로 자화용이축을 갖는 이중 GMR-SV 박막을 진공 열처리시 90°로 회전하였다. 즉 곤란축이 용이축이 되도록 한 상태에서 온도는 75 °C부터 5°C씩 증가하였다. 그 다음단계로 1시간 동안 350 Oe의 균일 자기장 세기 하에서 후 열처리 과정을 진행하였다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 열처리 온도가 105 °C되었을 때 major loop와 minor loop의 MR 곡선을 각각 보여준 결과이다. 이중 GMR-SV 다층박막 구조를 이루는 반강자성체 IrMn층과 고정층 NiFe 계면에서 교환결합한 스핀 방향과 자유층 NiFe의 자화 스핀방향 면상에서 서서히 회전 이동할 것으로 사료된다. 0°에서 90° 사이를 15°간격으로 4-단자법으로 측정한 major loop와 minor loop의 MR 곡선들은 거의 동일하였다. Fig. 7(b)에서 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

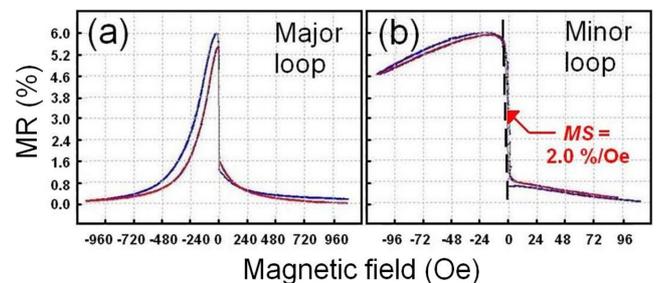


Fig. 7. (Color online) Isotropy magnetoresistance property of (a) major loop and (b) minor loop for a dual-type IrMn based GMR-SV films depending on after an optimum annealing temperature of 105 °C. An average value of isotropy magnetic sensitivity (MS) for dual-type GMR-SV film is about 2.0 %/Oe.

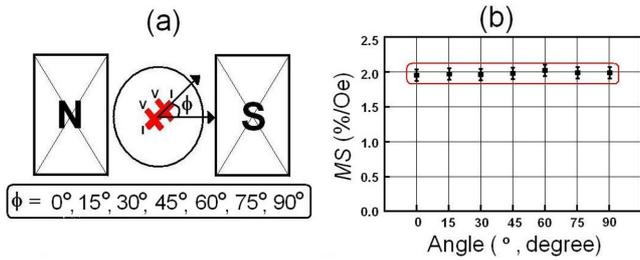


Fig. 8. (Color online) (a) The schematic of measurement angles ($\Phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$) for a dual-type IrMn based GMR-SV films. (b) Variation of magnetic sensitivity for an isotropy dual-type IrMn based GMR-SV after annealing treatment.

0 Oe이었고, 보자력은 0.5 Oe 이내로 초연자성의 히스테리시스 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 고감도 소자의 자화 특성을 결정하는 외부 자장감응도(MS: magnetic sensitivity)는 약 2.0 %/Oe 이었다. 이것은 미세 패턴 후에도 높은 등방성 자장감응도를 유지함으로써 고감도 자기저항 특성을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 8(a)는 Fig. 7에서 설명한 등방성 자기저항 특성을 갖는 이중구조 GMR-SV 박막 시료를 측정하는 모식도이다. 증착시 그림자 마스크로 패터닝된 박막시료를 길이방향과 자기장 인가 방향간의 각도 Φ 는 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ 이었다. Fig. 7(b)에 나타난 minor loop의 자기저항곡선에서 구한 자장감응도인 MS의 값들을 Fig. 8(b)에 나타내었다. 비록 Fig. 5(a)처럼 전형적인 이중구조의 GMR-SV의 major loop의 자기저항곡선 특성을 갖지 않아 Fig. 7(b)처럼 minor loop가 외부자기장이 ± 5 Oe 이상일 때 MR비의 포화값이 일정하지 않고 줄어들지만, 히스테리시스곡선 특성이 거의 없는 선형적 자장감응도를 보여주고 있다. 즉, MR 곡선을 측정할 때 박막의 회전각도가 0° 에서 90° 까지 외부 자기장을 인가하여 박막 회전각도와 동일한 센싱전류 방향을 축으로 측정하여 얻은 minor loop들은 각각 동일한 등방성 자기저항곡선을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7에서 논의했듯이 길이 방향인 용이축으로 설정한 IrMn 기반 이중구조의 GMR-SV 박막 소자는 폭 방향을 용이축 방향으로 광 리소그래피를 실행한다. 그러면 용이축 방향과 센싱전류 방향을 서로 수직이 되도록 설정할 필요가 없이 임의 방향을 소자의 용이축으로 정하더라도 등방성 자기저항 특성과 히스테리시스가 거의 없는 선형적인 자장감응도를 유지할 것으로 사료된다. 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 것으로 보인다. 뿐만 아니라 임의 용이축 방향을 띤 자성입자를 검출하는데 용이한 바이오 소자로 적용할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 이중구

조 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 자장감응도와 큰 출력값 등을 가져야 한다.

강자성체 고정층과 자유층의 일축 자기 이방성들이 반드시 면상에서 서로 직교할 때 생기는 미세 패터닝 소자의 자기저항 특성이 AMR 효과를 없애고 등방적으로 선형적인 자장감도와 이중 GMR-SV 효과로 인한 큰 출력값을 가지도록 해야만 한다. 한편 광 리소그래피 공정을 이용한 GMR-SV 소자를 개발할 때, 진공 열처리를 통해 자화 용이축에서 곧란축으로 변화시키는 과정이 필요함을 알 수 있다.

IV. 결 론

NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe 이중구조 GMR-SV 박막의 자기저항 특성을 조사하였다. 이중구조 GMR-SV 박막을 진공 챔버내에서 후열처리 온도를 25°C 까지 증가시켜 강자성층체의 자화용이축이 면상에서 변화를 유도하였다. 자유층과 고정층의 자화용이축에 의존하는 이중구조 GMR-SV 박막의 자기저항곡선을 외부자기장 각도를 다르게 측정하였다. 자화방향의 스위칭 과정을 조사하여 자기등방성을 갖는 열처리 온도가 105°C 인 최적조건을 얻었다. 후 열처리 과정을 거친 이중구조 GMR-SV 박막은 측정각도에 0° 부터 90° 까지 자장감응도가 약 2.0 %/Oe로 비슷한 자기저항 특성을 나타냈다. 이러한 결과를 이용하여 면상 강자성층과 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. L. Graham, H. A. Feliciano, P. P. Freitas, L. A. Clarke, and M. D. Amaral, Sens. Acut. B **107**, 936 (2005).
- [2] S. H. Park, K. S. Soh, M. C. Ahn, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **16**, 157S (2006).
- [3] D. A. Baker, Nature **405**, 39 (2000).
- [4] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, and S.

- X. Wang, *Sens. Acut. A* **126**, 98 (2006).
- [5] S. S. Lee, S. H. Park, and K. S. Soh, *Sae Mulli* **52**, 564 (2006).
- [6] B. M. de Boer, J. A. H. M. Kahlman, T. P. G. H. Jansen, H. Duric, and J. Veen, *Biosens. Bioelectron.* **22**, 2366 (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. Magnetism* **13**, 30 (2008).
- [10] J. G. Choi, T. J. Kwak, J. T. Shim, and S. S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.* **20**, 35 (2010).
- [11] W. H. Lee, D. G. Hwang, and S. S. Lee, *J. Magnetism* **14**, 18 (2009).
- [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] ASTM Special Technical Publication 371 S1, *Direct-Current Magnetic Measurement for Soft Magnetic Materials*, ASTM, Philadelphia (1970) pp. 28-38.
- [14] D. K. Wood, K. K. Ni, D. R. Schmidt, and A. N. Cleland, *Sens. Acut. A* **120**, 1 (2005).
- [15] D. W. Kim, J. H. Lee, M. J. Kim, and S. S. Lee, *J. Magnetism* **14**, 80 (2009).

Post Annealing Treatment Introducing an Isotropy Magnetoresistive Property of Giant Magnetoresistance-Spin Valve Film for Bio-sensor

P. Khajidmaa, Kwang-Jun Park, and Sang-Suk Lee*

Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 15 May 2013, Received in final 8 June 2013, Accepted 10 June 2013)

The magnetic easy axis of the ferromagnetic layer for the dual-type GMR-SV (giant magnetoresistance-spin valve) having NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe multilayer structure controlled by the post annealing treatment. The magnetoresistive curves of a dual-type IrMn based GMR-SV depending on the direction of the magnetic easy axis of the free and the pinned layers are measured by the different angles for the applied fields. By investigating the switching process of magnetization for an arbitrary measuring direction, the optimum annealing temperature having a steady and isotropy magnetic sensitivity of 2.0 %/Oe was 105 °C. This result suggests that the in-plane orthogonal magnetization for the dual-type GMR-SV film can be used by a high sensitive biosensor.

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