

## 어레이 IrMn 스핀밸브 소자의 자기저항특성 연구

안명천

상지대학교 대학원 동서의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

최상대

상지대학교 한방의학연구소, 강원도 원주시 우산동, 220-702

주호완

상지대학교 생명과학연구소, 강원도 원주시 우산동, 220-702

김기왕

상지대학교 한의예과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

황도근

상지대학교 응용물리전자학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

이장로

숙명여자대학교 물리학과, 서울 용산구 청파동, 140-742

이상석\*

상지대학교 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

(2007년 7월 16일 받음, 2007년 8월 6일 최종수정본 받음)

어레이(array) 자성센서 개발을 위해 고진공 스퍼터링 증착장비를 이용하여 스펙큘러형(specular type) Glass/Ta(5)/NiFe(7)/IrMn(10)/NiFe(5)/O<sub>2</sub>/CoFe(5)/Cu(2.6)/CoFe(5)/O<sub>2</sub>/NiFe(7)/Ta(5)(nm) 거대자기저항-스핀밸브(giant magnetoresistive-spin valves; GMR-SV) 박막을 제작하였다. 다층박막 시료를 20 × 80 μm<sup>2</sup>의 미세 활성영역을 가진 15개 어레이를 8 × 8 mm<sup>2</sup> 영역 내에 최적화한 제작 조건으로 광 리소그래피 패터닝 하였다. Cu를 증착하여 만든 2단자 전극법으로 측정된 자성특성은 15개 모든 소자들이 균일한 자기저항특성을 나타내었고, 5 Oe 근방에서 가장 민감한 자기저항비 자장민감도와 출력전압들은 각각 0.5 %/Oe, ΔV = 3.9 mV이었다. 형상자기이방성이 적용된 상부 자유층 CoFe/O<sub>2</sub>/NiFe층은 하부 고정 자성층 IrMn/NiFe/O<sub>2</sub>/CoFe층 자화 용이축과 직교하였다. 측정시 인가전류 값을 각각 1 mA에서 10 mA까지 증가하였을 때 출력 작동 전압 값은 균일하게 증가하였으며, 자장감응도도 거의 일정하여 미세 외부자장에 민감한 나노자성소자로서 좋은 특성을 띠었다.

**주제어** : 어레이 자성센서, 거대자기저항-스핀밸브, 2단자 전극법, 자장민감도, 변위 변동센서

### I. 서 론

거대자기저항 효과를 띠는 반강자성체/강자성체/비자성체/강자성체 다층구조 박막형 스핀밸브 센서는 고밀도 하드디스크 드라이브 신호 재생헤드로 사용되었다[1]. 나노기술과 생명공학기술 발전과 생물학 및 의학적인 학제간 융합연구 발전으로 셀 단위의 생체분자와 나노크기 자성입자와 결합이 용이하였다[2]. 이로서 특이 분자 종에 선택적인 반응의 포획 결과로 포지셔닝 검출 및 확인용 극 초미세 자기장 고감도

센서 핵심소자로서 적용하기에 이르렀다[3-5].

한편 자기장센서들은 선형 혹은 회전 부호 메김기, 근접검출기, 속도 및 위치센서, 그리고 지자기장 자력계 등에서 폭 넓게 오랫동안 상용화 되어 왔다. 나노자기 GMR-SV 센싱부와 리본형 자성 패드 위치 변위부를 이용하면 소형화와 센서 집적을 통해 세분화된 공간적 위치에서 미세변화 특성 파악이 가능하다. 이런 구조의 장점은 센서와 측정부의 비접촉이며, 위치 절대 값과 변화율을 동시에 측정하여, 측정하고자 하는 위치 변동의 특성에 영향을 주지 않게 된다. 위치의 주기적인 변화로 인한 파형 속에서 잡음파형을 제거하기 위해 자기력의 미소세기 변화만 측정하는 GMR-SV 센서로 3차원

\*Tel: (033) 730-0415, E-mail: sslee@sangji.ac.kr

공간상에서 위치변동의 정량적인 조사를 할 수 있게 된다[6-8]. 리본형 자성패드 대신에 나노 크기인  $Fe_3O_4$ 나  $Fe_2O_3$  입자가 될 경우, 자성 나노-비드(bead)를 GMR-SV 센서의 중심부에 위치하여 그 진동에 따라 나노자성입자의 위치변화를 감지하는 상세한 미세 자기장 측정 분포를 획득하게 된다[9, 10].

본 연구에서는 공간 변위 측정센서로서 응용 가능한 어레이형 GMR-SV의 자기저항 기본물성 특성을 상세하게 확인하였다. 이것을 3차원 대면적 고해상도 변위센서로 활용할 경우, 수  $\mu m$  크기의 나노자성입자를 감지할 수 있는 GMR-SV 센서를 이용하여 맥파의 3차원 공간상의 파형 분석을 정량적으로 관찰할 수 있게 된다[11-13]. GMR-SV 감지센서를 이용한 맥동변환기는 맥진기 시스템 내에 외부차단장치가 필요 없으며, 소형화된 어레이 형태로 제작 가능한 장점이 있다. 또한 맥진기 구조가 검출부와 감지부만 구분되어 반도체 압력 센서에 비해 온도 영향을 거의 받지 않는 장점이 있으며, 약  $150^\circ C$  이내에서는 거의 특성변화가 없게 된다. 명확하고 안정된 신호검출과 재현성은 현재 자기기록매체에서 입증되었으며, 전기신호와 간섭 문제도 해결이 가능할 것이다.

## II. 실험 방법

본 연구에서 GMR-SV 시료는 Si 웨이퍼 기판 위에 증착된 스펙클러형  $Si/SiO_2/Ta(5)/NiFe(7)/IrMn(10)/NiFe(5)/O_2/CoFe(5)/Cu(2.6)/CoFe(5)/O_2/NiFe(7)/Ta(5)(nm)$  다층구조 구조로 스퍼터링 시스템(sputtering system)을 이용하여 상온에서 제작하였다[14, 15]. 초고진공 챔버 기본 진공도는  $5 \times 10^{-7}$  Torr를 유지하였다. 스퍼터링 3인치 타겟과 시편 거리는 약 80 mm이었다. 아르곤 가스(argon gas) 분압은 0.3 mTorr로 하였고, 증착율과 증착 균일도를 결정하는 인가전압 값과 전류 값을 각각 400 V와 120 mA로 하였다. 이 조건에서 타겟 Ta,  $Ni_{80}Fe_{20}$ ,  $Ir_{25}Mn_{75}$ , Cu, 그리고  $Fe_{50}Mn_{50}$  증착율은 각각 0.1, 0.2, 0.1, 0.2, 0.1 nm/s 이었다. 증착 중 일축 이방성을 유도하기 위한 자기장 크기는 약 300 Oe로 유지하였다. 챔버 내 부분 산소압 10 mTorr를 10분간 *in-situ* 상태 흐름에 의한 순간적 산화층 형성으로 스펙클러 효과를 유도하여 MR비 향상을 꾀하였다. 나노 산화층(nano oxide layer)을 갖는 스펙클러 IrMn based GMR-SV 다층박막은 8% 이상 MR비를 갖는 최적조건으로 제작되었다. 하부층  $NiFe(5 nm)/O_2/CoFe(7 nm)$ 와 상부층  $CoFe(5 nm)/O_2/NiFe(7 nm)$  구조에서  $O_2$ 층 나노 산화층이 형성되도록 하였다. IrMn층이 용이축 및 반강자성체 특성으로 변화를 유도하기 위해 진공열처리 과정을 거쳤다. 나노 산화층 제작의 주된 역할을 진공챔버 내 잔류하는 미소 부분압  $O_2$  가스 존재로 인한 상부 CoFe층으로

침투하는 산화오염을 막고, 평탄한 표면거칠기 형성으로 전도 전자 스핀의존 산란 및 스펙클러 효과가 일어나게 하였다.

센서소자 개발과정으로 GMR-SV 다층박막 구조형 시료를 리소그래피 공정을 이용하여  $20 \times 60 \mu m^2$  영역을 남기고 ECR Ar 이온 밀링으로 식각을 하였다. 밀링 후 PR을 제거하고 다시 리소그래피 공정을 거쳐 lift-off 방식으로  $25 \times 50 \mu m^2$  핵심 영역만 남게 Cu 전극을 형성하였다. 소자 공정 효과로 인한 자기저항 특성 변화를 최소화하기 위하여 표면처리 과정을 거친 후 *in-situ* 공정을 바로 전극을 증착하였다. 외부 자기장은 페라이트 코어에 코일을 감은 전자석으로 인가하였다. 제작된 시료 및 소자 자기저항 특성을 관찰하기 위해 보자력( $H_c$ ), 교환결합력( $H_{ex}$ ), 자기저항비(magnetoresistance ratio;  $MR(\%)$ )는 상온에서 4단자 자기저항 측정시스템으로 측정된 자기저항곡선으로부터 각각 결정하였다. 시료 장차과 다중전극 연결에 필요한 PCB(printed circuit board) 판으로부터 나온 자기저항 출력신호는 다중 채널로 데이터 수집 및 저장을 행하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

먼저 패터닝 된 어레이형 자기저항 소자들에 대한 4단자 및 2단자 특성 곡선을 비교하였다. 이러한 특성 비교의 필요성은 고감도 GMR-SV 센서 어레이 소자들은 4단자 보다는 2단자가 실제 직접화에 필요로 하기 때문이다. 또한 접지 단자를 하나를 택하였을 때, 전극모양의 단순화를 꾀하게 된다.

Fig. 1(a)에서 보여준  $20 \times 50 \mu m^2$  크기의 스펙클러형 IrMn based GMR-SV 박막소자 10개 형태 어레이형 센서 모양을 갖고 있으며, Fig. 1(b)에서 처럼 각 소자들은 8% 정도 높은 MR비와 안정된 MR 곡선 형태를 유지하고 있었다. 비자성체 Cu층을 사이에 두고 IrMn based GMR-SV 다층박막에서 상부층 구조가  $CoFe(5 nm)/O_2/NiFe(7 nm)$ 로  $O_2$ 층인 나노 산화층이 형성되어 강자성층 사이에 있다. 이것은 나노산화층 존재로 계면거칠기 감소와 산란전자 반사효과인 스펙클러 효과에 의한 MR비가 크게 향상 될 수 있다. 또한 as grown 박막 시료 상태에서 나노 산화층형 IrMn based GMR-SV MR비가 증대되기 위하여 일축이방성 외부 자기장 인가 하에 온도  $200^\circ C$ 에서 1시간 이상 유지하는 진공열처리 과정이 요구된다. 이때 나노 산화층이 진공 열처리 하에서 상부 자성체 다층박막으로 산소 투입을 막는 산화 방지뿐만 아니라 고감도 자성소자로서 자유층(free layer)인 CoFe층과 NiFe층이  $O_2$ 층 사이에 두고 서로간 연자성 스위칭(soft magnetic switching) 역할을 감당할 것으로 사료된다.

한편 Fig. 1(a)에서 소자 실제 크기를 알 수 있는 스케일 막대(scale bar)는 사진에 표시되어 있다. 고감도 소자로서 가

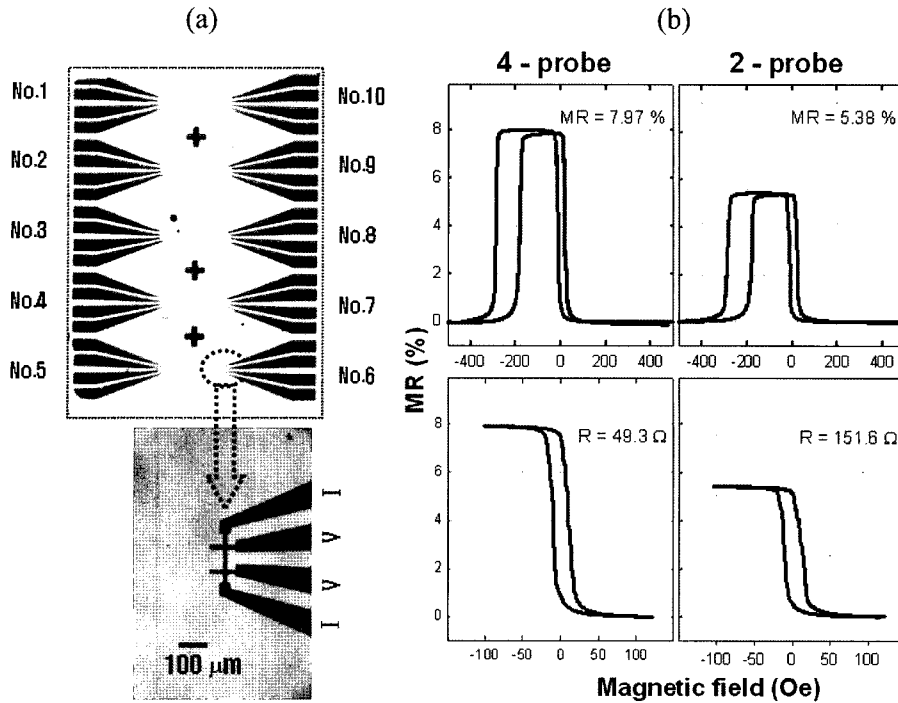


Fig. 1. (a) Two photos of patterned 10 array GMR-SV devices with 4-probe electrodes. (b) Major MR curves, and minor MR curves measured by 4-probe and 2-probe method, respectively.

장 중요한 자장민감도(magneto-sensitivity;  $MS$ )는 선형적인 부분인  $\pm 10$  Oe에서  $0.7\%/Oe$ 로 감도가 매우 좋은 편이었다. 소자의 내부저항은  $50.3 \Omega$  이었으며, 고정층(pinned layer)인 상부 이층구조(bilayer)인 상부층 NiFe(5 nm)/O<sub>2</sub>/CoFe(5 nm)와 IrMn(10 nm)의  $H_{ex}$ 와  $H_c$  값은 각각 250 Oe와 50 Oe 이

었다. 비자성층 Cu층을 사이로 한 자유층(free layer)인 CoFe(5 nm)/O<sub>2</sub>/NiFe(7 nm)는 상부 고정층 간 상호결합력은 거의 0 Oe 이었고, 보자력은 10 Oe로 매우 양호한 연자성 히스테리시스 특성을 갖고 있었다. 한편 Fig. 1(b) 아랫그림처럼 실제 2단자 소자들인 경우 MR가 5.4%로 표면저항 효과로

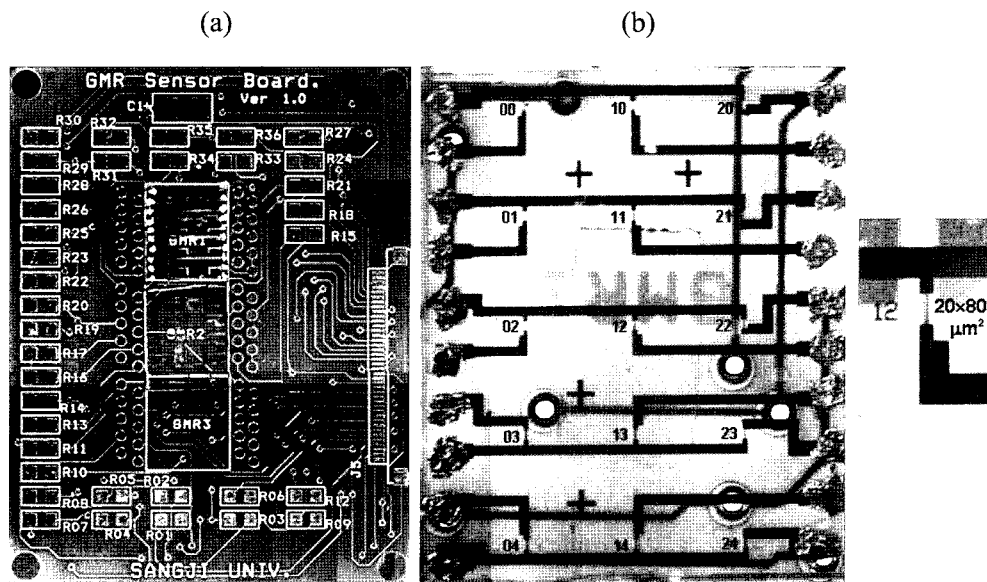
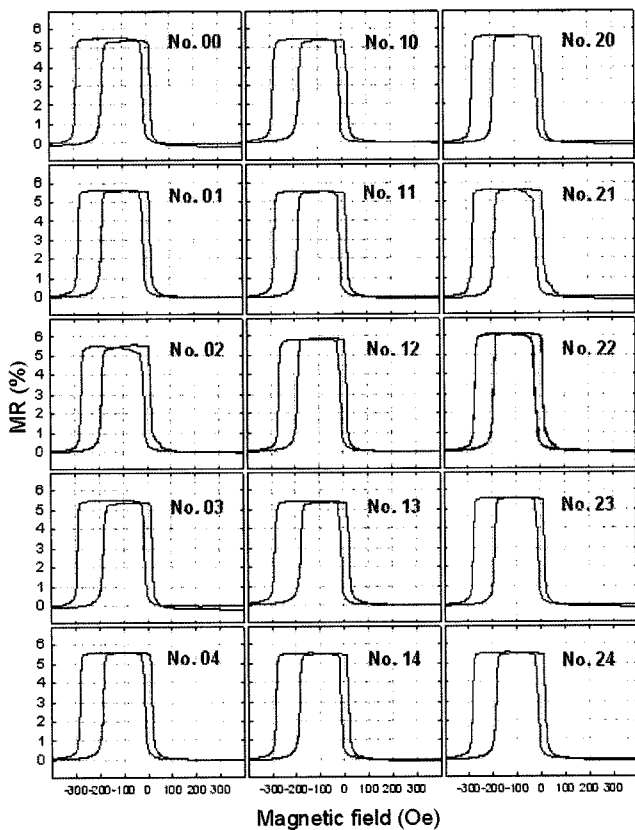


Fig. 2. (a) One photo of the patterned 15 array GMR-SV multi-sensors in the area of  $8 \times 8 \text{ mm}^2$  with 2-probe electrode mounted PCB board. (b) Two photos of close-up features for one sensor array and one device of  $20 \times 80 \mu\text{m}^2$ .

인해 줄어들었으며, 자장민감도가 0.5%/Oe로 감소함을 알 수 있었다. 그러나 고정층의  $H_{ex}$ 와  $H_c$  값은 각각 250 Oe와 50 Oe로 일정하였고, 자유층의 상호결합력과 보자력도 4단자 법으로 측정된 것과 같은 값을 유지하였다.

이를 바탕으로 실제 다중 센싱소자들로 사용할 패터닝된 2 단자 전극형 GMR-SV 다중센서  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  내에 15개 직 접화된 소자를 제작하여 PCB 장착한 모양을 Fig. 2(a)와 (b) 에 보여 주었다. 실제 GMR-SV 소자의 전극과 접촉한 부분 의 상세한 모양을 사진으로 나타내었다. 이것은 같은 위치에 자리잡은 영구자석이 요골동맥 맥과 변동에 따른 공간적인 위 치변화에 신호 검출을 시도하기 위함이었다. 패터닝된 2단자 전극 Cu 선들을 Fig. 2(a)에서 볼 수 있도록 하였고, 측정할 15개 개별적인 소자 단자와 2개 common 단자를 대칭성 있 게 좌우 8개 핀을 갖는 PCB 부분과 연결될 수 있도록 공정 후 인듐(indium)으로 누른 전극과 단자들을 Fig. 2(b)에 보여 주었다.

15개 어레이형 소자들의 자기저항 특성을 조사한 15개 곡 선들을 Fig. 3에 나타내었다. 그리고 측정된 GMR 곡선들을 바탕으로 중심에서부터 일정한 거리로 유지 간격 함수로서



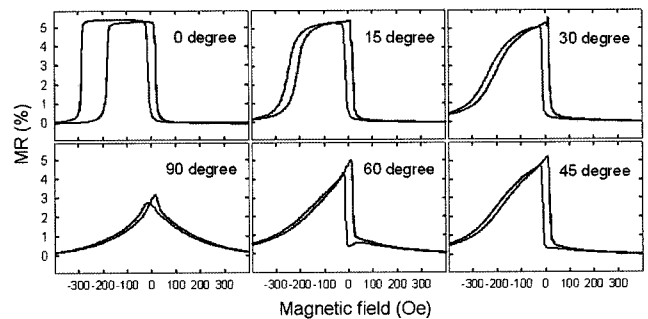
**Fig. 3.** MR curves for all GMR-SV devices with 15 array sensors. All of 15 sensors with Cu electrodes were measured a uniform magnetic properties ( $R_{surface} = 51 \Omega$ ,  $H_{ex} = 250 \text{ Oe}$ ,  $H_c = 50 \text{ Oe}$ ,  $MR = 5.4 \%$ , and  $MS = 0.5 \%/Oe$ ) by 2-probe method, respectively.

15개 소자 MR비와 MS 값들 분포를 조사하였다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 모든 소자들은 각각 약 5.4% MR과 약 0.5%/Oe 자장민감도를 갖는 매우 균일한 특성을 나타냈다. 이것은 위치변동 센서로서의 중요한 균일성과 재현성이 확보되어 실 제 고감도 3차원 다중센서로서 적용 가능함을 보여 준 실험 결과이다.

소자 내부저항은 거의  $51 \Omega$  이내 이었으며, 10개 어레이 GMR-SV 소자와 마찬가지로 상부층(NiFe(5 nm)/ $O_2$ /CoFe(5 nm)와 IrMn(10 nm)의  $H_{ex}$ 와  $H_c$  값은 각각 거의 250 Oe와 50 Oe 이었다. 비자성층 Cu층을 사이로 한 자유층 CoFe(5 nm)/ $O_2$ /NiFe(7 nm)는 상부 고정층 간의 상호결합력은 거의 0 Oe 이었고, 보자력은 거의 10 Oe로 매우 양호한 균일성과 재 현성을 갖는 자기저항 특성을 보여주었다.

한편, 위치변동 다중센서로서 역할은 외부자장에 다양한 방 향설정에 대한 잡음을 줄이는 것이 필요하다. 따라서, 0°에서 90° 사이의 외부자장의 각도의존성을 Fig. 4에서 고찰하였다. 특히 0°~45°는 가장 민감한 센싱 자장 값의 변동과 자장민감 도 값 변동은 거의 없으며, 가장 좋은 선형적인 특성은 45° 근처에서 일어남을 알 수 있었다. 그러므로 위치변동을 영구 자석을 사용하였을 경우, 고려하여야 할 외부자장 각도 최 적화가 필요함을 보여 준 결과로 사료된다. 90° 근방으로 방 향이 변화할 경우, 순전히 각도에 의한 자기저항 특성을 띠 게 되어 실제로 이방성 자기저항비인 3% MR비와 0.01%/Oe 자기민감도의 급격한 감소를 나타낸다고 볼 수 있다.

박막 면상에서 측정시 센싱전류 방향과 외부자장 인가 방 향이 서로 0°부터 90°까지 되도록 인가했을 때, 각도 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 그리고 90°에 대해,  $H = 0$ 에서 MR 최대 값은 60°까지는 거의 5%를 유지하다가 90°에서 3%로 다른 각도에 비해 현저히 낮게 나타났다. 또한 자장민감도는 각도 가 커질수록 0.5%/Oe에서 0.01%/Oe로 급격히 줄어들었다. 이러한 이유는 90°가 되기 전에서는 일축이방성에 의한 우세



**Fig. 4.** Angle dependent MR curves of GMR-SV devices. Here the angle is one between the induced uniaxial field and the applied external field. The MR ratio by GMR effect measured at the degree of 0° (easy axis) is higher than one by AMR effect at the degree of 90° (hard axis).

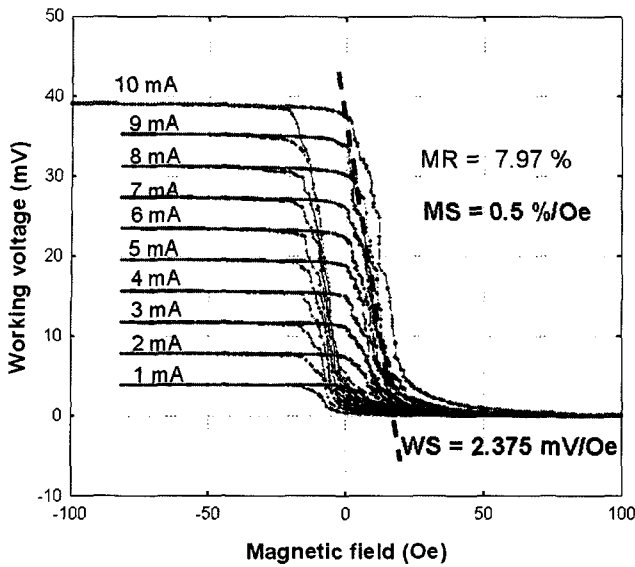


Fig. 5. The magnetoresistive working voltages versus the external magnetic field on array IrMn based on GMR-SV devices. When the sensing current increased from 1 mA to 10 mA, the output working voltage uniformly increased from 3.9 mV to 39 mV, respectively. And the magnetic and working sensitivities were 0.5 %/Oe and 2.4 mV/Oe, respectively.

한 용이축 GMR 효과와 곤란축 이방성자기저항인 AMR (anisotropic magnetoresistance) 효과가 더하여 졌기 때문이다. 즉, 90°에서는 패턴된 GMR-SV 다층구조 자성박막 소자가 용이축에 의한 GMR 효과는 사라지고 곤란축에 의한 순수한 AMR 효과만 생기게 된다고 설명할 수 있다.

Fig. 5는 어레이형 소자 센싱전류와 작동전압의 관계를 나타낸 것이다. 전체  $1 \times 1\text{ mm}^2$  크기 안에  $20\text{ }\mu\text{m}$  폭을 갖는 15개 어레이형 중 한 개를 선택하여 센싱 전류 1 mA부터 10 mA까지로 증가 하였을 때, 얻은 GMR-SV 소자에 대한 minor loop 자기저항특성 곡선들이다. 비교적 모든 소자 특성들이 같은 크기 MR비와 0 Oe 근방에서 상호 교환결합세기 ( $H_{int}$ )와 10 Oe 정도 보자력 ( $H_c$ )를 갖는 안정된 값을 나타내고 있다. 고감도 소자로서 자화특성을 결정하는 외부자기장 민감도 MS 값은 비교적 0.5 %/Oe 높은 값을 유지하고 있었다. 센싱전류와 작동전압 관계를 나타낸 Fig. 5을 볼 때, 자기저항비가 선형적으로 급격히 변하는 저자기장 구간은 GMR-SV 박막 소자가 미세 자기장 변화 감지소자로 활용하는데 가장 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 선형구간에서 외부 자기장변화  $\Delta H$ 와 MR 값 변화  $\Delta R$ 의 비율로 정의되는 자장민감도  $MS = \Delta R/\Delta H(\%/\text{Oe})$ 가 크면 클수록 고감도 GMR-SV 소자가 된다. 국내·외 연구그룹에서 발표된 MS 값은 1 %/Oe 이내이다[1, 10, 14]. 4단자법에서는 MS가 유용하나 본 연구와 같이 집적화 된 GMR-SV 소자는 표면저항에 의한 MR 값이 감소하더라도 센싱전류와 작동전압을 동시에 측정할 수 있도

록 패턴된 2 단자법을 이용하는 것이 편리하다. 이로서 MS 값을 취급하는 것 보다 외부 자기장변화  $\Delta H$ 와 2단자법에 의해 얻은 전압 변화  $\Delta V$  비율로 정의되는 작동전압 민감도  $WS(\text{working voltage sensitivity}) = \Delta V/\Delta H(\text{mV}/\text{Oe})$ 가 일정하게 유지하면서 센싱전류를 증가 시켜 작동전압을 향상시키게 된다. 패턴된 소자의 센싱전류에 의존하는 작동전압 신호의 특성을 조사한 결과를 1 mA, 2 mA, 그리고 10 mA까지 증가하였을 때, 각각 작동전압 범위인  $V = 3.9\text{ mV} \sim 39\text{ mV}$ 로 선형적인 안정한 값으로 비례하였다. 이에 대한 WS는 센싱전류가 최저 1 mA부터 최고 10 mA까지 약 2.4 mV/Oe로 일정하게 유지하였다. 이러한 결과는 고감도 나노 자성소자 특성 측정에 필요한 신호 크기가 수백  $\mu\text{V}$ 를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

어레이 다중 자성센서 개발을 위해 고진공 스퍼터링 증착 장비로부터 스펙클러형 IrMn based 산화층 GMR-SV 박막을 제작하였다. 제작된 다층박막 시료를 광-리소그래피 공정을 이용하여  $20 \times 50\text{ }\mu\text{m}^2$  미세 활성영역을 가진 15개 어레이를  $8 \times 8\text{ mm}^2$  영역 내에 패턴링 하였다. 전극 Cu를 증착하여 만든 2단자 전극법으로 측정된 자성특성은 15개 모든 소자들이 균일한 자기저항특성을 나타내었고, 10 Oe 근방에서 가장 민감한 자기저항변화에 대한 자장민감도와 출력전압들은 각각 0.5 %/Oe,  $V = 3.9\text{ mV}$  이었다. 형상자기이방성이 적용된 상부 자유층 CoFe/O<sub>2</sub>/NiFe층은 하부 고정 자성층 IrMn/NiFe/O<sub>2</sub>/CoFe층 자화 용이축과 직교하였다. 센싱전류 값을 각각 1 mA에서 10 mA까지 인가하였을 때 출력 작동 전압 값이 3.9 mV에서 39 mV로 균일하게 증가하였다. 높은 센싱전류 값에서 외부자기장에 의한 작동전압 민감도 값도 약 2.4 mV/Oe로 일정하게 유지하여 미세 외부자장에 민감한 나노자성소자로서 활용할 수 있는 좋은 특성을 띠었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2006년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- [1] J. M. Daughton, J. Magn. Magn. Mater., **192**, 334 (1999).
- [2] D. A. Baker, Nature, **405**, 39 (2000).
- [3] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, and S. X. Wang, Sens. Acut. A, **126**, 98 (2006).
- [4] J. Miyakoshi, Prog. Im Biophysics. Mol. Bio., **87**, 213 (2005).

- [5] D. L. Graham, H. A. Feliciano, P. P. Freitas, L. A. Clarke, and M. D. Amaral, *Sens. Acut. B*, **107**, 936 (2005).
- [6] S. D. Choi, M. S. Kim, M. C. Ahn, Y. G. Choi, G. W. Kim, D. H. Park, D. G. Hwang, and S. S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.*, **16**, 216 (2006).
- [7] S. H. Park, K. S. Soh, M. C. Ahn, D. G. Hwang, and S. S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.*, **16**, 157S (2006).
- [8] C. Anfinson, *Science*, **181**, 223 (1973).
- [9] S. S. Lee, S. H. Park, and K. S. Soh, *Sae Mulli*, **52**, 564 (2006).
- [10] D. R. Baselt et al., *Biosensors & Bioelectronics*, **13**, 731 (1998).
- [11] S. W. Kim, Y. G. Choi, H. S. Lee, D. H. Park, D. G. Hwang, S. S. Lee, G. W. Kim, S. G. Lee, and S. J. Lee, *J. Appl. Phys.*, **99**, R908 (2006).
- [12] S. D. Choi, S. W. Kim, G. W. Kim, M. C. Ahn, M. S. Kim, D. G. Hwang, and S. S. Lee, *J. Magn. Magn. Mater.*, **310**, e983 (2007).
- [13] D. K. Wood, K. K. Ni, D. R. Schmidt, and A. N. Cleland, *Sens. Acut. A*, **120**, 1 (2005).
- [14] S. S. Lee, D. G. Hwang, J. K. Kim, and K. Rhie, *J. Kor. Phys. Soc.*, **40**, 484 (2002).
- [15] J. G. Choi, S. S. Lee, D. G. Hwang, and S. W. Kim, *Sae Mulli*, **50**, 334 (2005).

## Magnetoresistive Properties of Array IrMn Spin Valves Devices

**M. C. Ahn**

*Dept. of Western and Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

**S. D. Choi**

*Oriental Medicine Institute, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

**H. W. Joo**

*Life Science Institute, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

**G. W. Kim**

*College of Oriental Medicine, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

**D. G. Hwang**

*Department of Applied Electronic Physics, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

**J. R. Rhee**

*Dept. of Physics, Sukmyoung Women's University, Seoul 140-742, Korea*

**S. S. Lee\***

*Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea*

(Received 17 July 2007, in final form 6 August 2007)

To develop array magnetic sensors, specular-type giant magnetoresistive- spin valve (GMR-SV) film of Glass/Ta(5)/NiFe(7)/IrMn(10)/NiFe(5)/O<sub>2</sub>/CoFe(5)/Cu(2.6)/CoFe(5)/O<sub>2</sub>/NiFe(7)/Ta(5) (nm) was deposited by using a high-vacuum sputtering system. One of 15 array sensors in the area of 8 × 8 mm<sup>2</sup> was patterned a size of 20 × 80 μm<sup>2</sup> in multilayer sample by photo-lithography. All of 15 sensors with Cu electrodes were measured a uniform magnetic properties by 2-probe method. The highest magnetic sensitivity of MR and output voltage measured nearby an external magnetic field of 5 Oe were  $MS = 0.5 \%$ /Oe and  $\Delta V = 3.0$  mV, respectively. An easy-axis of top-free layers of CoFe/O<sub>2</sub>/NiFe with shape anisotropy was perpendicular to one of bottom-pinned layers IrMn/NiFe/O<sub>2</sub>/CoFe. When the sensing current increased from 1 mA to 10 mA, the output working voltage uniformly increased and the magnetic sensitivity was almost stable to use the nano-magnetic devices with good sensitive properties.

**Keywords** : array magnetic sensor, gaint magnetoresistive-spin valve (GMR-SV), 2-probe method, magnetic sensitivity, displacement change sensor