

미세 패터닝된 GMR-SV 소자의 일축이방성에 따른 자기저항 특성

박영석^{1*}, 조규일¹, 안명천¹, 주호완², 황도근^{1,3}, 이상석^{1,4}

¹상지대학교 대학원 동서의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

²상지대학교 생명과학연구소, 강원도 원주시 우산동, 220-702

³상지대학교 응용물리전자학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

⁴상지대학교 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

거대자기저항-스핀밸브 (giant magnetoresistance-spin valves; GMR-SV) 바이오센서로서 미세 패터닝된 모양에 따라 길이 방향과 폭 방향 용이축에 의존하는 자기저항 특성을 연구하였다. 스핀밸브 다층구조는 Glass/NiO/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/NiFe 이었다. 자성 다층박막의 일축이방성을 만들기 위해 증착시와 리소 패터닝 후 진공 열처리를 300 Oe 정도 외부자기장을 인가하였다. 형상자기이방성이 효과를 고려하여 광 리소그래피 과정으로 얻은 미세 활성영역 패터닝 크기는 $5 \times 9 \mu\text{m}^2$ 부터 $1 \times 3 \mu\text{m}^2$ 로 하였다. 2단자법으로 길이방향의 센싱전류와 폭방향의 고정층의 용이축 방향 각도에 의존하는 자기민감도의 변화는 바이오센서 소자로서 활용에 중요한 요인임을 확인하였다.

1. 실험방법

리소그래피 공정을 이용하여 $2 \times 15 \mu\text{m}^2$ 의 PR (photoresist) 영역을 남기고 ECR Ar 이온 밀링으로 식각을 하였다. 여기서 증착시 인가한 자기장 용이축 방향을 소자의 길이방향 혹은 폭방향으로 하여 형상자기이방성 효과가 나타나지 않거나 나타나도록 두 가지 중 하나를 선택하였다. Fig. 1에서 보여준 것처럼 밀링 후 아세톤으로 PR을 제거하고 다시 리소그래피 lift-off 방식으로 $2 \times 5 \mu\text{m}^2$ 의 실제 영역만 남게 Al(500 Å)/Cu(200 Å) 전극을 형성하였다. 소자 공정 효과로 인한 산화막 및 표면 오염으로 인한 자기저항 특성 변화를 최소화하기 위하여 표면처리과정을 거친 후 *in-situ* 공정을 바로 전극을 증착하였다.

제작된 GMR-SV 바이오 센서[1-3]의 자장민감도를 향상시키기 위하여 제작된 시료를 300 Oe의 균일한 외부자기장 하에서 진공열처리를 행하였다[4]. 열처리시 챔버의 진공도는 3×10^{-6} Torr를 유지하였다. 상온에서 5 °C/min 속도로 200 °C까지 증가하였고, 1 시간 머무른 후 5 °C/min 속도로 상온까지 하강하였다. 열처리시 인가한 외부자기장에 의해 GMR-SV 소자의 다층 하부구조에서 고정 자성층인 CoFe/NiFe bilayer의 용이축 방향을 폭방향으로 유도하였고, 상부구조 자유 자성층인 CoFe/NiFe bilayer의 용이축 방향은 형상자기이방을 따르는 길이방향으로 유도하였다.

2. 실험결과 및 분석

Fig. 2는 GMR-SV 박막의 자기저항특성 곡선들을 보여준 결과이다. Glass(7059)/NiO(300

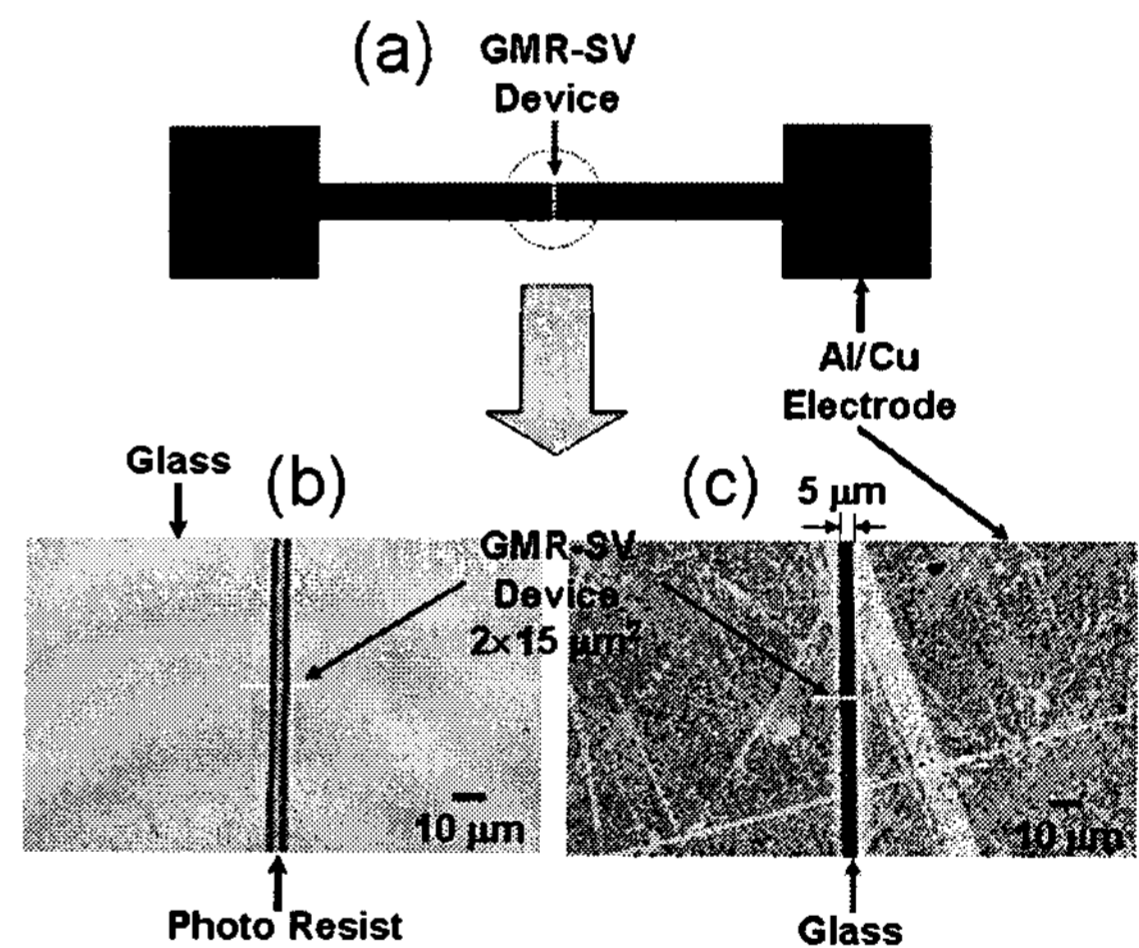


Fig. 1 제작된 GMR-SV 바이오센서의 개략도 및 실제 소자 사진

Å)/NiFe(20 Å)/CoFe(10 Å)/Cu(26 Å)/(CoFe(10 Å)/NiFe(40 Å) 다층박막의 시료는 패터닝 후 Fig. 2의 삽입된 그림과 같이 $25 \times 120 \mu\text{m}^2$ 4단자로 패터닝된 소자를 제작하였다. Fig. 2(a)와 (b)는 폭 $25 \mu\text{m}$ 시료에 대한 4단자 법으로 측정된 major 와 minor loop의 MR (magneto-resistance) 곡선이

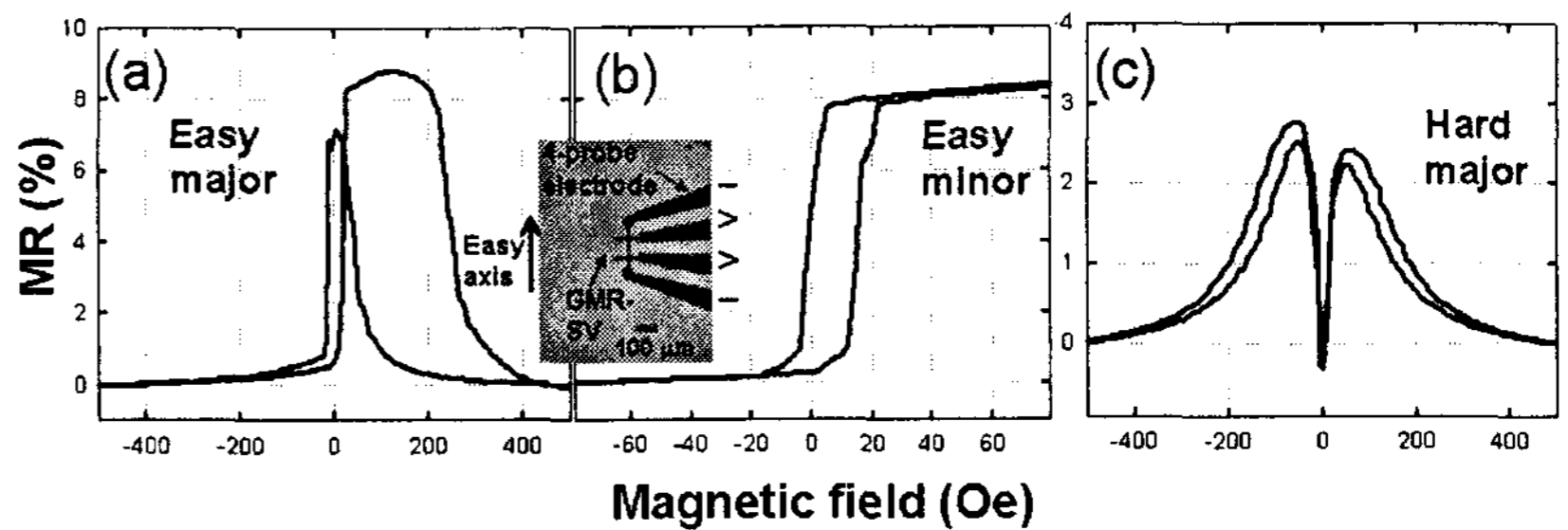


Fig. 2. 미세 패터닝 전 NiO(300 Å)/NiFe(20 Å)/CoFe(10 Å)/Cu(26 Å)/(CoFe(10 Å)/NiFe(40 Å) GMR-SV 다층박막 구조의 4단자 법으로 측정된 자기저항 특성 곡선 들 : (a) 용이축 방향 자기저항 곡선의 major loop, (b) 용이축 방향 자기저항곡선의 minor loop, (c) 곤란축 방향 자기저항곡선의 major loop, 그리고 삽입된 그림은 4-단자 패터닝된 소자 모양

다. MR 비와 내부저항은 각각 Fig. 2(b)에서 8.8%와 25 Ω로 나타났다. 한편 고정층 (pinned layer)인 하부 삼층구조 (trilayer)인 NiO(300 Å)/NiFe(20 Å)/CoFe(10 Å)의 교환결합세기 (H_{ex}), 보자력 (H_c)의 값은 각각 140 Oe와 105 Oe이었다. 비자성층 Cu층을 사이로 자유층 (free layer)인 CoFe(10 Å)/NiFe(40 Å)는 하부 고정층간의 상호결합력 8.0 Oe 이었고, 보자력은 8.2 Oe로 연자성 히스테르시스 특성을 갖고 있음을 Fig. 2(c)에서 얻을 수 있었다. 또한 고감도 소자의 자화 특성을 결정하는 외부자기장 민감도는 $MS = 1.5 \text{ %/Oe}$ 이었다. 이것은 미세 패터닝 후 얻어질 양호한 민감도를 유지할 수 있도록 충분한 자기저항 특성으로 사료된다. 또한 곤란축 (hard axis)으로 외부자기장을 가하여 얻은 MR비는 GMR-SV 박막의 자기이방성 (anisotropic magnetoresistance; AMR) 효과에 의한 감소로 약 2.5 % 근방의 값으로 Fig. 2(c)에서 나타났다.

Fig. 3은 미세 패터닝 후 NiO based GMR-SV 다층박막 바이오 센서의 2단자 법으로 측정된 자기저항 곡선들이다. Fig. 3의 삽입그림에서 Al/Cu 전극으로 덮힌부분을 제외한 미세 패터닝된 $2 \times 5 \mu\text{m}^2$ 모양과 용이축 방향을 표시하였다. 증착시 형성된 일축 이방성인 미세 패터닝의 용이축 방향으로 측정시 외부자기장을 인가하여 동일한 센싱전류 방향축으로 하여 측정하였다. Fig. 3(a)에서 용이축 방향 얻은 자기저항곡선의 major loop

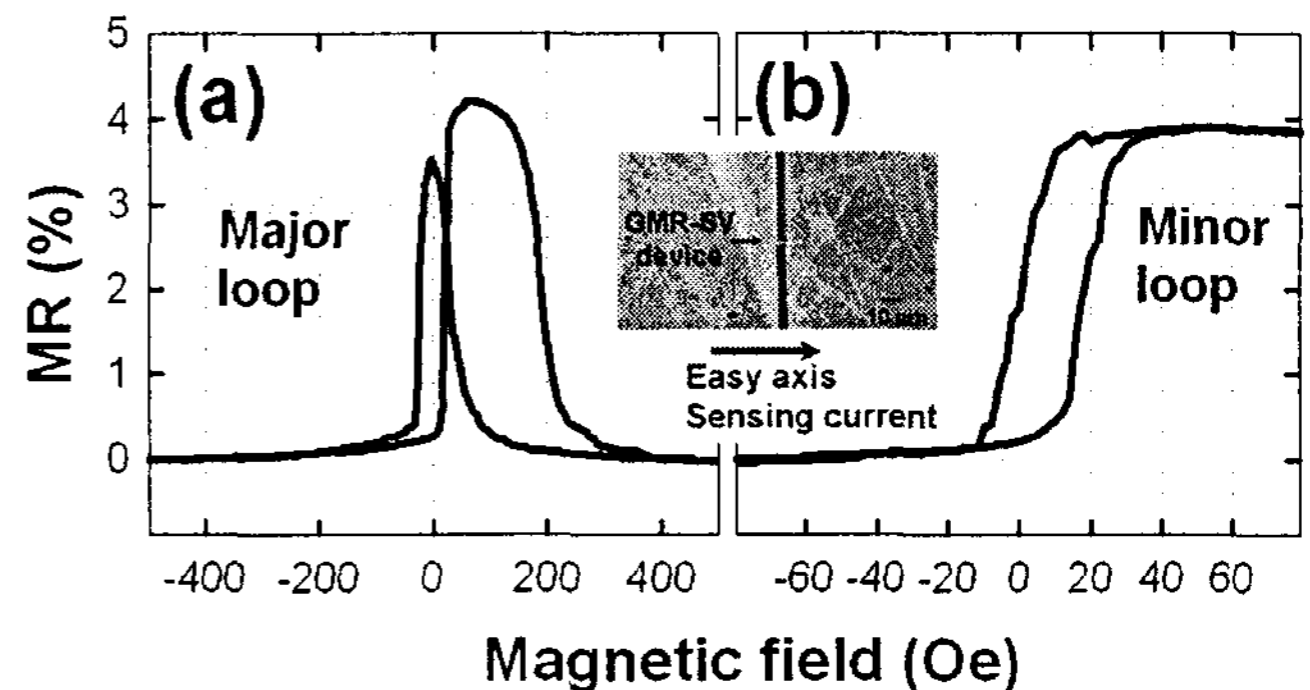


Fig. 3. 미세 패터닝 후 NiO(300 Å)/NiFe(20 Å)/CoFe(10 Å)/Cu(26 Å)/(CoFe(10 Å)/NiFe(40 Å) GMR-SV 다층박막 구조의 2단자 법으로 측정된 자기저항 특성 곡선 들 : (a) 용이축 방향 자기저항곡선의 major loop, (b) 용이축 방향 자기저항곡선의 minor loop, 그리고 삽입된 그림으로 미세 패터닝된 $2 \times 5 \mu\text{m}^2$ 모양과 용이축 방향.

으로부터 $25 \times 120 \mu\text{m}^2$ 4단자로 패터닝된 소자의 자기저항 특성을 보여준 Fig. 2(a)와 달리 H_{ex} 과 H_c 의 값은 각각 120 Oe, 90 Oe로 조금 감소한 반면에, MR과 MS의 값은 각각 4.2 %와 0.3%/Oe로 크게 감소한 특성을 Fig. 3(b)에서 보여주었다. 하부 고정층 NiFe/CoFe과 상부 자유층 CoFe/NiFe 사이의 상호결합력과 보자력은 거의 8.0 Oe 근방 값으로 패터닝 전의 값들과 거의 비슷하였다. 이러한 현상은 측정시 내부저항보다는 표면저항이 포함된 2단자 저항값이 85 Ω으로 증가한 것뿐 아니라, 리소그래피 soft와 hard baking 공정시 공기 중에서 90 °C와 110 °C 열적 효과와 PR 도포 후 자유층의 표면 손상으로 인한 것으로 사료된다.

Fig. 3에서 논의 했듯이 길이 방향으로 용이축을 설정한 NiO based GMR-SV 다층박막 바이오 센서가 폭 방향으로 용이축을 유도하기 위해 200 °C에서 영구자석을 이용하여 300 Oe의 균일한 자기장하에서 1시간 동안 진공열처리를 행하였다. 용이축과 곤란축 그리고 센싱전류 방향을 도시한 것이 Fig 4의 삽입그림에 나타내었다. 열처리 후 상온에서 2단자 법으로 측정된 자기저항 곡선들의 용이축 major와 minor loop들을 Fig. 4(a)와 4(b)에 각각 나타내었고, 곤란축의 major loop는 Fig. 4(c)에 나타내었다. 열처리 전과 후의 자기저항 곡선에 조사된 H_{ex} , H_c , 그리고 MR 값은 각각 120 Oe, 90 Oe,

그리고 4 % 근방에서 다소 변화가 없었다. 그러나 열처리 후 자장민감도인 MS 값은 0.3 %/Oe에서 0.1 %/Oe로 3배 정도 줄어들었다. 반면에, 열처리 전에 보자력 20 Oe을 갖는 용이축 minor loop가 열처리 후 히스테리시스 (hysteresis) 특성 뿐만 아니라 상호결합력이 거의 없는 보자력 2 Oe로 10배 정도 줄어든 minor loop로 변화였다. 이것은 Fig. 4(a)와 (b)의 MR 곡선 특성처럼 초기 자화방향과 측정전류 방향 차이에 의한 효과가 반자장효과 보다 클 것으로 사료된다. 이러한 결과로 볼 때, 0 Oe에서 외부의 미세 자기장 변화에 거의 선형적 비례하는 특성을 갖는 열처리 후 minor 자기저항곡선이 자장민감도가 크게 개선이 된다면 자성입자의 검출에 용이한 바이오소자로 적용할 수 있을 것으로 보인다.

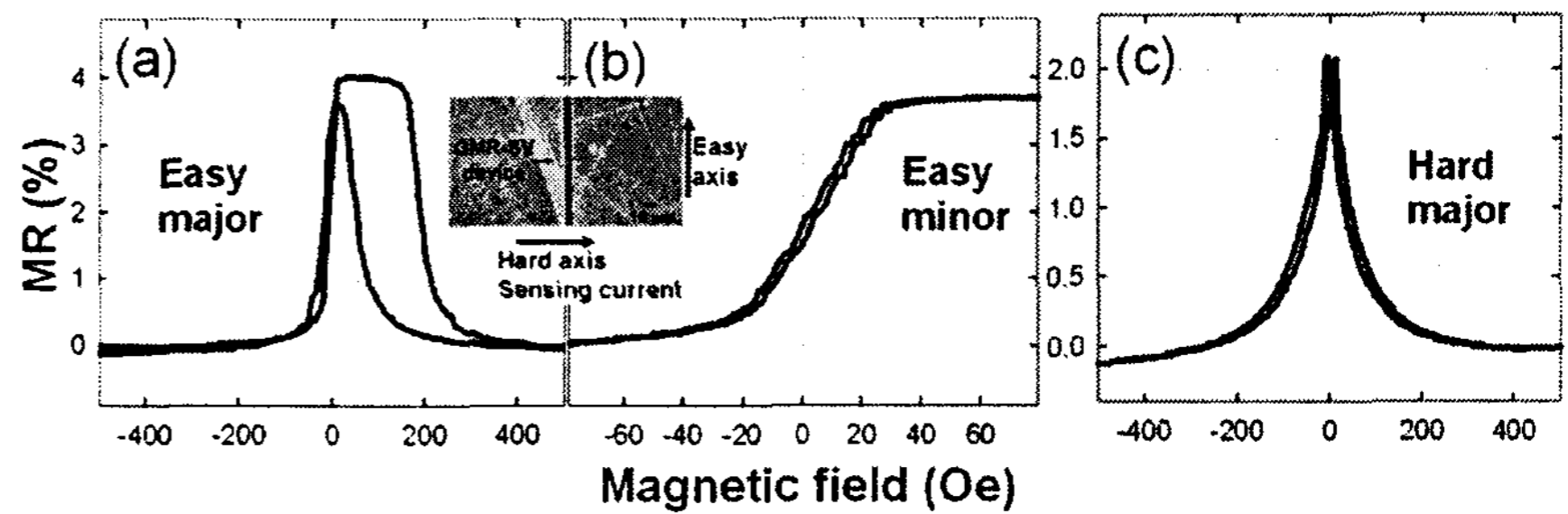


Fig. 4. 미세 패턴 및 열처리 후 NiO(300 Å)/NiFe(20 Å)/CoFe(10 Å)/Cu(26 Å)/(CoFe(10 Å)/NiFe(40 Å) GMR-SV 다층박막 구조의 2단자 법으로 측정된 자기저항 특성 곡선 들 : (a) 용이축 방향 자기저항곡선의 major loop, (b) 용이축 방향 자기저항곡선의 minor loop, (c) 곤란축 방향 자기저항곡선의 major loop. 그리고 삽입그림은 (a) 미세패턴된 $2 \times 5 \mu\text{m}^2$ 모양과 열처리 시 용이축 및 곤란축 방향을 보여줌.

3. 참고문헌

- [1] J. M. Daughton, J. Magn. Magn, Maters. **192**, 334 (1999).
- [2] D. A. Baker, Nature **405**, 39 (2000).
- [3] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, S. X. Wang, Sens. Acut. A **126**, 98 (2006).
- [4] S. S. Lee, S. H. Park, K. S. Soh, H. W. Joo, G. W. Kim, and D. G. Hwang, J. Kor. Mag. Soc. **17**, 172 (2007).