

## 다층막을 이용한 거대자기저항(GMR)의 특성 연구

김 병 우\*<sup>1)</sup> · 이 영 석<sup>2)</sup>

울산대학교 전기전자정보시스템공학부<sup>1)</sup> · 울산대학교 자동차선박대학원<sup>2)</sup>

### A Study on the Characteristics of Giant Magneto Resistance using Multi Layers

Byeongwoo Kim\*<sup>1)</sup> · Youngseok Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Electrical, Electronics & Information Systems University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

<sup>2)</sup>Institute of e-Vehicle Technology University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received 17 January 2008 / Accepted 2 April 2008)

**Abstract** : We have developed an integrated giant magneto resistance using not only circuit but also integrating technique with semiconductor for automobile application. It has four elements used for giant magneto resistance sensor. Ni-Fe/Cu multi layers were prepared on a glass substrate by magnetron sputtering. The dependence of magneto resistance on the thickness of the Ni-Fe and Cu layers was investigated. The MR ratio showed a saturated peak at Cu layer 10 Å, Ni-Fe layer 50 Å, where the MR ratio is about 8.7% at room temperature. By means of Ni-Fe multi film and specific integrating technique, these new giant magneto resistance sensor showed excellent resistance characteristics.

**Key words** : Giant magneto resistance(거대자기저항), Inductive(자기유도), Vehicle speed(차량속도), Anti-lock brake system(미끄럼방지장치), Active sensor(능동형 센서), Zero speed(영점속도)

### 1. 서 론

자동차 전자화가 급격히 증가되면서 차량 거동 감지를 위한 센서의 중요성이 커지고 있다. 자동차에 적용되고 있는 가장 대표적인 센서는 변위, 각도, 속도 변화감지를 위한 자기센서이다. 현재, 자동차에 가장 보편적으로 적용되고 있는 속도센서는 자기유도(inductive)를 이용하는 자기유도 또는 홀(hall)센서이다. 자기유도 방식의 센서는 크기가 크기 때문에 ABS 센서와 베어링을 일체화시키는 모듈형 베어링 제작에 한계성으로 작용되고 있다. 또한, 10km/hr 이하의 저속 영역에서 속도감지 능력이 떨어지기 때문에 TCS(Traction control system), VDC(Vehicle dynamic system) 등의 정확한 차량 제어에 장애 요인으로 작용되고 있다. 이 같은 문제점을 해

결하기 위하여 홀(hall)방식 센서와 같은 능동형 센서를 이용하고 있으나 감지거리가 협소하고 150°C 이상에서 온도특성이 저하되기 때문에 많은 어려움이 유발되고 있다. 이 같은 기존 속도센서의 문제점을 해결하기 위하여 개발되기 시작한 것이 자기저항(Magneto resistance) 센서이다.<sup>1)</sup> 자기저항 센서를 크게 분류해 보면, 감지부로서 Ni-Fe, Co-Fe 등의 강자성체를 단일 박막으로 제작하는 이방성자기저항(AMR) 센서와 이를 다층 박막으로 제작하는 거대 자기저항(GMR) 센서로 대별할 수 있다. 최근에 동작 온도 범위가 넓은 자동차, 군용, 항공용 등의 일반 산업 분야에서는 이방성자기저항 센서를 활용하였다.

Takahashi, kawamata, Lensesen<sup>2-4)</sup>은 이방성자기저항 효과를 이용하여 자기 엔코더 설계 및 제작에 관한 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 이방성자기저항 센서의 문제점이라 할 수 있는 낮은 출력(저

\*Corresponding author, E-mail: bywokim@ulsan.ac.kr

항 변화 : 3% 내외)을 향상시키고 신호왜곡 문제를 해결하기 위하여 검지부에 별도의 신호 처리부를 설치하여 센서의 성능을 향상시키는 방법을 제시하였다. 이 방법은 출력신호의 크기 향상이 제한적이기 때문에 근본적인 해결책이라 할 수는 없다. 이와 달리, 거대자기저항 센서는 이방성 자기저항센서 대비, 저항변화 크기가 3배에 달하기 때문에 자기센서와 헤드 등의 성능향상에 크게 기여하고 있다.<sup>5)</sup> 거대자기저항센서와 관련하여 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 다양한 연구를 실시하였는데, 대부분 자성체 조성에 따른 자기저항효과, 저항 변화 특성 등 검지막 자체의 일반성능 연구에 치중하였다. 이의 대표적 사례로서 Kim 등을 들 수 있는데, 이들은 인공격자 박막의 자기저항 효과와 완충막이 미치는 영향에 대한 연구를 실시하였다.<sup>6)</sup> 이 같은 연구들은 거대자기저항에 대한 원천기술 측면에서는 의미가 있으나 저항변화율 극대화를 통한 자동차용 속도센서 등으로의 실질적 적용에는 한계성이 존재하고 있다.

본 연구에서는 자동차를 비롯한 일반 산업용 속도센서로서 광범위하게 채용될 것으로 예측되는 거대자기저항 센서의 실용화 가능성을 도모하기 위하여 검지부의 저항변화율에 미치는 설계인자를 도출하여 GMR 센서의 성능 극대화 방안을 제시하고자 하였다.

## 2. GMR 구조 및 제작 공정

본 연구에서는 10% 내외의 큰 저항 변화율, 자장 민감도, 작은 바이어스 자장 구현을 목적으로 하기 때문에 스핀밸브(Spin valve) 방식의 박막 적층 방식을 적용하였다. 스핀밸브 다층 박막은 전형적으로 F/NM/F/AF(F:강자성, NM:전도성 비자성, AF:반강자성) 구조를 갖고 있다. 거대자기저항 효과는 반강자성에 구속된 고정층과 강자성의 자유층의 자화 방향과의 상대적인 각도에 변화에 의해서 발생된다. 자성층 및 비 자성층 박막 제작은 DC 마그네트론 스퍼터링 방식을 적용하여 슬라이드 글라스 기판 위에 다층 박막을 적층하였다. Ni-Fe 및 Cu 박막층의 목표물에는 직경 100mm를 갖는 순도 99.9%의 Ni, Fe, Cu 원판을 이용하였다.

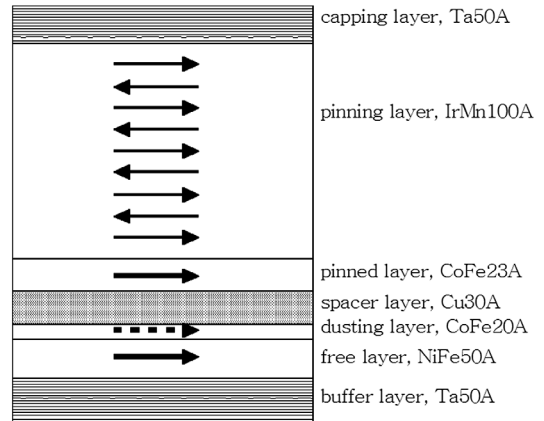


Fig. 1 Schematic view of the GMR sensor

스퍼터링 분위기는  $2 \times 10^{-7}$  Torr로 유지한 후에 아르곤 가스 압력이 10mTorr로 될 때, 스퍼터링을 실시하였다. Ni-Fe 적층 박막과 Cu 적층 박막에 적용한 전력은  $1.0W/cm^2$ ,  $0.2W/cm^2$ 를 적용하였고 박막 두께는 스퍼터링 인가시간으로 제어하였다. 이는 Ni-Fe 단층 박막공정에 있어서 비저항이 가장 작은 조건을 설정한 것으로서 이 때의 비저항 값은  $30\mu\Omega/cm$ 이다. 자기저항 비율의 측정은 직류 4 단자 법을 이용하여 실온에서 최대 20kOe 자계를 인가하여 측정하였다.

스퍼터링 공정에 있어서 필연적으로 발생하는 발열량이 검지부의 저항특성 변화에 어떤 영향을 미치는지를 해석하기 위하여 기판온도 변화에 따른 자기저항 변화를 측정하였다. 이를 위하여, 기판에 열전대 형태의 온도 센서를 부착하였다. 또한, 센서 검지부(Cu)의 두께 변화가 자기저항 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 거대자기저항 센서 검지부의 열처리 조건이 자기저항 변화에 미치는 영향을 평가하기 위하여 금속 박막을 500°C까지 변화시키면서 열처리를 실시하였다.

이를 통하여, 시간 변화에 안정성을 갖는 거대자기저항 센서의 제작 가능성을 평가하였다.

## 3. 거대자기저항 박막 특성

### 3.1 박막 형성조건에 의한 센서 특성

파이렉스 기판 변화에 따른 자기저항 변화를 Fig. 3에 나타냈다. 파이렉스 기판 온도가 상승함에 따라

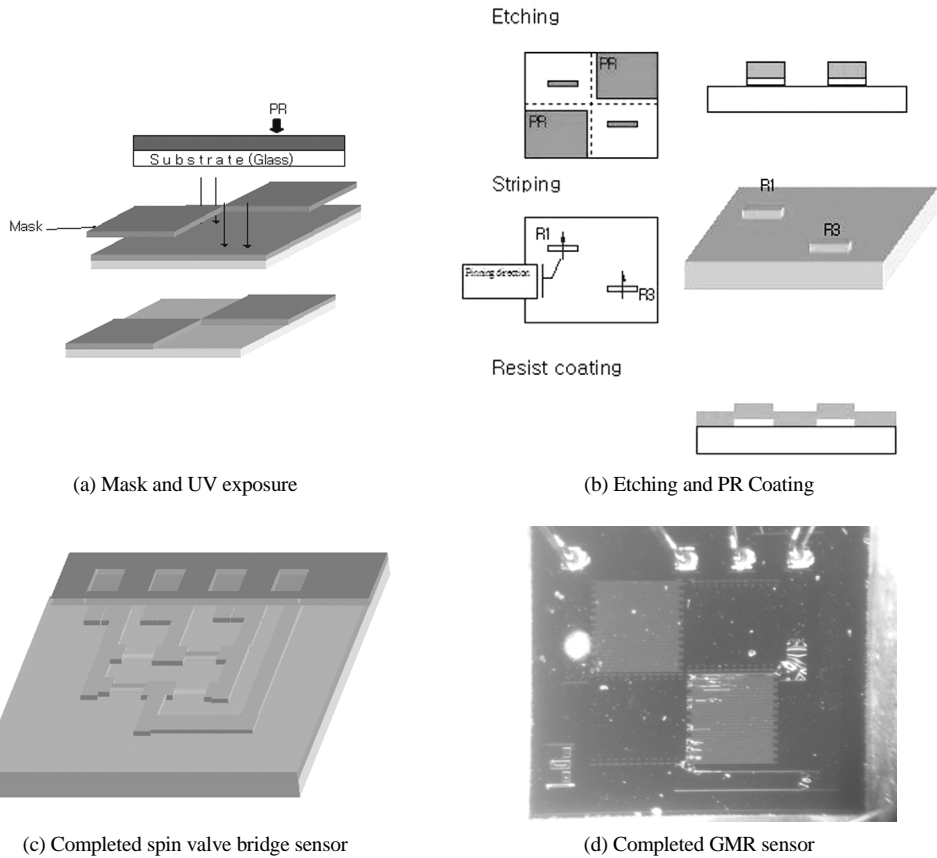


Fig. 2 Flow chart of GMR processes

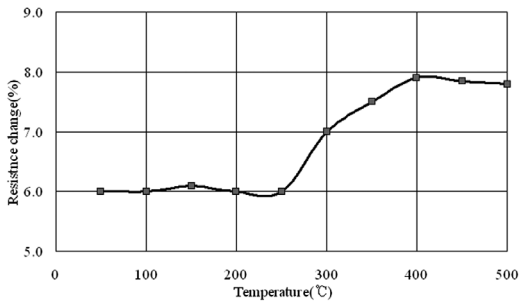


Fig. 3 Relation between substrate temperature and magneto resistance properties

서 250°C까지는 저항변화  $\Delta R/R$ 가 일정하게 유지되는 반면에 이 이상 온도에서는 저항변화가 급격하게 발생되어 400°C에서 최대가 됨을 확인할 수 있었다. Fig. 4는 기판온도가 250°C 될 때까지 저항변화가 일정하게 발생되었음을 확인한 후에 저항변화가 일정한 영역인 100°C, 최대 저항변화가 발생한 400°C

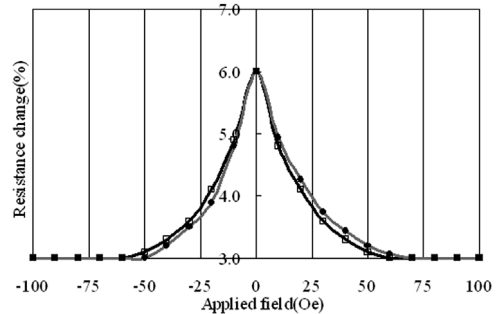


Fig. 4 Magneto resistance loops in pyrex tem. 100°C

에서 저항 변화율에 따른 히스테리시스(Hysteresis) 변화를 측정한 것이다. 기판 온도가 상대적으로 저온인 100°C에서는 히스테리시스가 크게 발생하는 반면에 저항변화가 최대인 400°C에서는 거의 발생하지 않았다.

이 같은 현상은 기판온도 변화에 의한 자구(Mag-

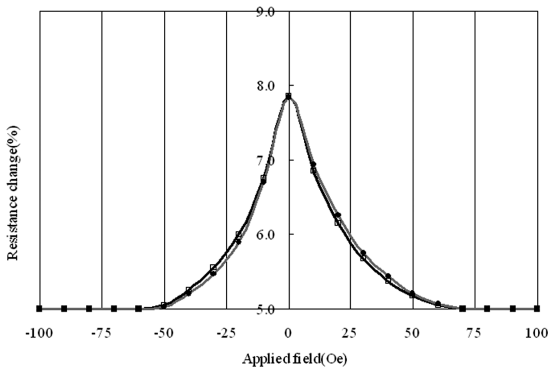


Fig. 5 Magneto resistance loops in pyrex tem. 400°C

netic domain)의 형태 변화에 의한 것으로 판단된다. 기판온도 100°C인 경우에는 자구벽이 다수 형성되기 때문에 자계강도 변화에 따른 저항변화율의 히스테리시스가 크게 발생되었다.

이와 달리, 기판온도가 고온인 400°C에서는 자구벽(Magnetic domain wall)이 하나로 구성되기 때문에 자계강도 변화에 따른 저항 변화율의 히스테리시스가 작게 발생된다고 사료된다. 일반적으로, 자성 물질의 히스테리시스는 자계 벽이 형성된 위치와 자계 방향에 따라서 달라지기 때문에 자계강도(H)와 저항 변화율( $\Delta R/R$ )에 의한 히스테리시스를 없애기 위해서는 단일 자계벽을 형성시킬 수 있는 조건정립이 필요하다.

### 3.2 검지부 형상조건에 따른 센서 특성

비자성층 박막의 두께 변화에 따른 자기저항 변화를 Fig. 6에 나타냈다. 검지부에 대하여 전류방향을 기준으로 수직방향으로 자장을 인가할 때, 발생하는 저항의 포화 값  $R_s$ 와 자장이 전혀 없는 경우의 비저항  $R_0$ 의 차이를  $\Delta R$ 로 하여 실온에 대한 자기저항 변화율( $\Delta R_s/R$ )을 나타낸 것이다. 자기저항 변화율은 비자성체 박막  $d_{Cu}=10\text{\AA}$ 에서 약 7.9%의 가장 큰 피크 값을 나타냈다. 이를 통하여, 자성층 박막의 상호 작용은 비자성층 박막 두께에 크게 의존함을 알 수 있었다.

따라서, 본 연구에서는 비자성층 박막 Cu를 10Å로 고정하고 자성체 박막  $Ni_{80}\text{-}Fe_{20}$ 의 두께를 변화시켰다.

Fig. 7은 비자성층 박막 두께  $d_{Cu}=10\text{\AA}$ 로 고정하

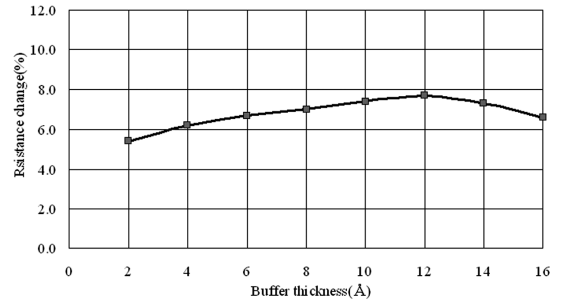


Fig. 6 GMR ratio versus the nominal Cu thickness with various buffer layer thickness

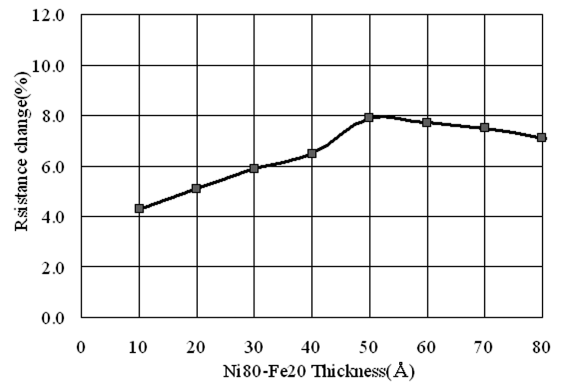


Fig. 7 GMR ratio versus the nominal  $Ni_{80}\text{-}Fe_{20}$  thickness

고 자성층 두께를 변화시킬 때, 발생하는 자기저항 변화를 나타낸 것이다. 자기저항 변화율은 자성층 박막  $Ni_{80}\text{-}Fe_{20}$ 의 두께가 50Å 부근에서 최대 값을 나타냈다. 자성층 박막 두께가 50Å보다 클 경우에는 자기저항 변화가 완만하게 작아졌다.

자성층 박막 두께가 50Å보다 큰 경우, 자기 저항 변화가 저하되는 것은 셉트효과(Shunt effects)에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 자기저항효과는 자성층과 비자성층 사이의 계면에서 발생되게 된다. 이 때문에, 자성층의 두께가 커지게 되면 자기 저항효과와 관계가 없는 영역에 공급 전류가 평행하게 흐르기 때문에 자기저항효과가 방해를 받게 된다.

자성층의 비저항은 비자성층에 비하여 상대적으로 작기 때문에 자성층의 두께를 크게 하면 자성층 내부에 흐르는 전류는 무시할 수 없기 때문이다. 따라서, 자성층 박막  $Ni_{80}\text{-}Fe_{20}$ 와 비자성층 박막 Cu로 구성된 자기저항 센서의 검지부 제작을 위해서는

자성층 박막 Ni<sub>80</sub>-Fe<sub>20</sub>의 두께 50 Å, 비자성층 박막 Cu의 두께 10 Å이 적합함을 확인할 수 있었다.

### 3.3 열처리에 의한 센서 특성

거대자기저항 검지부를 개발하기 위해서는 박막의 열처리를 통한 안정성이 확보되어야 한다. 거대자기저항 센서의 인공격자 박막의 열적 안정성 확보가 가능하도록 진공도 2×10<sup>-7</sup>Torr 이하에서 200~400°C 온도 범위로 1시간 30분 동안 직류 자계에서 열처리를 실시하였다.

Fig. 7은 자성체 박막에 대한 열처리 후에 나타나는 저항변화율이다. 특정 온도(270°C)까지 열처리 온도를 높이면 저항 변화율은 최대 8.7%까지 일정하게 유지되어 기존 이방성 자기저항 소자에서 얻을 수 있는 3% 대역보다 큰 저항 변화율을 얻을 수 있었다. 그러나, 열처리 온도가 270°C 이상이면 저항 변화율이 급격하게 떨어지는 현상이 발생되었다. 이 같은 현상은 검지부 소자의 M-H 비율이 저해되기 때문에 발생하는 현상이다. 이와 같은 M-H 선도 변화는 반강자성체 결합의 특성을 나타내다가 순간적으로 강자성적인 곡선으로 변화되기 때문이다.

## 4. 결론

자동차를 비롯한 일반 산업용 장치의 물리적 변화 검지를 위한 센서로서 사용되고 있는 홀센서를 대체할 수 있는 거대자기저항 센서의 검지부를 제작하고 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 거대자기저항 검지부가 증착되는 파이렉스 기

판의 온도변화가 검지부의 저항변화율에 큰 영향을 끼치고 있었다. 파이렉스 온도 400°C에서 최대의 저항변화율을 얻을 수 있는데, 이는 기판 온도가 400°C 이하에서 다수의 자구벽(Magnetic domain wall)이 존재하는 것에 비하여 임계온도인 400°C 이상에서는 단일 자구벽으로 변환되기 때문이다.

- 2) 자성체 박막의 두께 변화에 따른 저항 변화율은 자성체 두께가 50 Å까지 점진적으로 증가하다가 포화상태에 도달하였다. 이와 같이 일정 두께 이상에서 저항 변화율이 작아지는 것은 셉트효과(Shunt effect)에 기인하는 현상이다.
- 3) 금속 박막의 증착을 통한 거대자기저항 검지부의 열적 안정성 확보를 위한 열처리 온도는 250°C 이하에서 실시하는 것이 적절하였다. 이는 일정 온도(250°C) 이상에서 열처리 하는 것은 금속 조직의 안정적 확보를 초월한 조직구조 자체의 변화에 기인하는 현상이라 사료된다.
- 4) 거대자기저항 검지부 개발을 위한 각각의 최적 설계인자를 적용하여 저항변화율을 평가한 결과 8.7% 변화를 나타냈는데, 이는 기존의 이방성 자기저항 검지부 3%에 비하여 우수한 성능을 나타냈다.

## 후 기

본 논문은 2007년도 중소기업청 기술혁신사업과 산업자원부 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

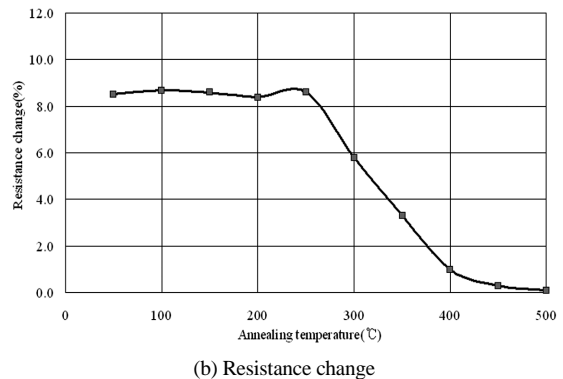
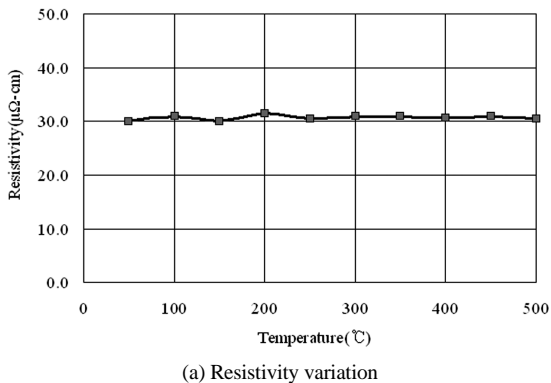


Fig. 8 Annealing temperature dependence of magneto resistance

### References

- 1) S. Herbert, "Industrial Application of Magneto-resistive Sensors," Sensor and Actuators A59, pp.165-167, 1997.
- 2) T. Takahashi, "Two Function magnetic Sensor System," Proc. 3rd Sensor Symposium, pp.37, 1983.
- 3) S. Kawamata, "Magnetic Rotary Encoder with High Resolution," Proc. 4th Sensor Symposium, pp.277, 1984.
- 4) K. M. H. Lensesen, A. E. T. Kuiper and F. Roozeboom, "Robust Giant Magnetoresistance Material System for Magnetic Sensors," Journal of Applied Physics, Vol.85, No.8, pp.5531-5533, 1999.
- 5) H. Yuasa, H. Fukuzawa and H. Iwasaki, "Cp-GMR of Spin Valves with  $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$  Alloy," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.95, No.8, pp.95-98, 2005.
- 6) J. G. Kim, J. G. Ha, J. H. Koh, S. M. Lim and C. W. Kim, "Annealing Effect of Particle Size Distribution and Giant Magnetoresistance in Insulating Granular Films," Thin Solid Films, Vol.515, pp.2562-2566, 2006.