

거대자기저항 효과를 이용한 자기센서기술 및 응용

김 광 윤*, 오 영 제
한국과학기술연구원 박막기술연구센터
*한국과학기술연구원 나노소자연구센터

1. 서 론

거대자기저항효과가 1988년 프랑스 과학자에 의해 최초로 발견된¹⁾ 이래로 이 분야의 학문적, 기술적 발전에 힘입어 최근에는 이의 효과를 이용한 하드 디스크 드라이브의 자기저항헤드, 자장센서 등의 상업적 제품이 등장하고 있다. NiFe 합금에서 이방성 자기저항 효과를 발견한 것이 1850년대이며, 제품이 나오기 시작한 것은 100 년이 지난 후 인 것과 비교할 시, 거대자기저항 효과를 이용한 제품의 빠른 시장진입은 경이적이라고 할 수 있다. 이와 같이 현상 발견에서부터 단시간 내에 제품 생산이 가능하게 한 가장 큰 이유는 거대자기저항 효과의 이름에서 알 수 있는 것처럼 기존의 재료에서 얻어 지기가 어려운 큰 자기저항이 얻어진다는 것이다.

정보화 시대에 있어서 대용량의 정보 기록과 고감도의 재생헤드가 강하게 요구되고 있으므로 이에 대한 신속한 기술적인 대응이 필요하다. 지난 수년간 자기기록 밀도는 년 평균 60%-100% 정도의 매우 빠른 증가속도를 보이고 있는데²⁾ 이것은 거대자기저항효과를 이용한 재생전용헤드의 개발이 주원인이라고 할 수 있다. 컴퓨터의 외부기억장치로 사용되고 있는 하드 디스크 드라이브의 큰 시장과 관련하여 거대자기저항 재료의 개발은 주로 감도가 큰 재생전용헤드재료의 개발에 관심이 집중된 반면에 거대자기저항효과를 이용한 일반적인 자기센서(자기기록을 제외한 것)에는 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 그러나 매우 높은 자기저항 값, 소형화의 유리함, 높은 감도 등의 장점을 갖는 거대자기저항재

료가 자기센서 분야에서 중요한 한 영역을 차지하리라는 것은 부인 할 수 없는 사실이다. 또한 자기센서의 소형화와 다른 부품과 on-chip화를 위해서는 거대자기저항재료의 전망이 밝다고 판단된다.

본 고에서는 거대자기저항효과, 그리고 센서에 응용할 수 있는 각종 거대자기저항 재료에 대해서 먼저 언급한 후 거대자기저항 센서의 응용 및 설계기술에 관해서 간략하게 알아보려고 한다.

2. 본 론

2-1. 거대자기저항 효과

Fig. 1은 거대자기저항효과를 설명하기 위한 전도전자의 산란 기구를 나타내었다. Fig. 1에서 보는바와 같이 다층박막 구조의 거대자기저항 효과는 얇은 강자성 박막이 얇은 비자성 전도성 박막에 의해 분리되어 존재 시 두 강자성 층의 자화 방향이 반평형에서 평행으로 변화하며 이때 저항의 변화가 발생한다는 것이다. 평행한 자화 방향을 갖는 경우 계면에서의 전도전자의 적은 산란에 의하여 낮은 저항을 가지는 반면에 자화가 반평행

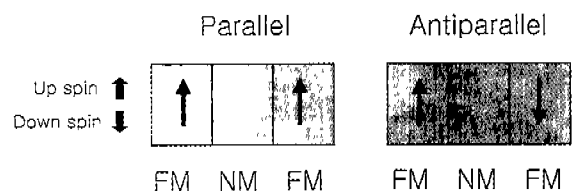


Fig. 1. 거대자기저항효과를 보이는 계에서 spin 의존성 산란의 예

하게 배열할 경우, 전도전자의 짧은 평균자유행로와 계면에서의 강한 산란으로 인하여 큰 저항을 가지게 된다. 이와 같이 비자성층에 의하여 분리된 두 강자성층의 구조를 갖는 다층박막에서 거대자기저항 효과는 전도전자의 스핀의존성 산란에 의해서 발생하는 것이므로 각층의 두께가 벌크재료가 갖는 평균자유행로(100 Å) 보다 작아야 한다. GMR 비는 $\Delta R/R$ 로 표시되며 여기서 ΔR 은 두스핀의 자화 방향의 각도 차이를 의미하므로 스핀의 각도가 큰 경우가 자기저항비가 크다. 한편 자기저항비는 분모의 R 에 의해서도 크게 좌우되며, R이 작으면 작을수록 큰 자기저항비를 얻을 수 있다. 일반적으로 다층박막 시료에서 R을 작게하는 방법은 시료의 전기저항을 감소시키는 것이며, 그러기 위해서는 시료내에 불순물이 최대한 억제되어야 하며, 전기저항을 증가시키는 bulk, grain boundary, point scattering이 감소되어야 한다. 이와 같이 낮은 전기저항을 유지하기 위해서는 시료 제작시 불순물을 혼입을 최대한 억제하기 위한 초고진공이 필요하며, 또한 구조를 단결정 혹은 에피성장구조를 만드는 것이 자기저항을 향상시키기 위해서는 매우 중요한 요소이다.

2-2. 자기센서에 응용가능한 거대자기저항 재료

2-2-1. 반강자성 결합형 다층박막^{1,3)}

Fe/Cr, Co/Cu 등의 다층박막은 자성층과 비자성층이 교대로 적층한 구조를 가지며, 교환 결합력이 비자성층의 두께에 따라서 반강자성 결합 및 강자성 결합으로 진동하는 것이 최대의 특징이다. 이와 같이 어떤 특정한 두께에서만 비자성층으로 분리된 자성층의 자화 방향이 반평행으로 배열하고, 이때 최대 스핀의존 산란이 일어나며 높은 저항을 갖게된다. 그리고 강한 자장이 가해질 경우 각 자성층은 가해진 자장 방향에 평행한 배열상태를 유지하므로 낮은 저항 상태를 유지하게 된다. 이러한 반강자성 결합형 다층박막은 산란할 수 있는 층이 많아 큰 자기저항 값을 가지게 되나, 포화에 도달하기 위해서 큰 자장이 요구되므로 응용에 큰 제약이 되고 있다. 그러므로 자기센서로 사용되기 위해서는 자기저항 값을 조금 희생하더라도 감도가 큰 재료의 개발이 절실하다.

또한 자기센서에 응용되기 위해서는 이력이 작은 다층박막이 개발되어야 한다. 현재 NiFe/C⁴⁾ 혹은 NiFeCo/Cu⁵⁾ 다층박막이 이러한 요구에 적합한 특성을 가지고 있다고 판단된다.

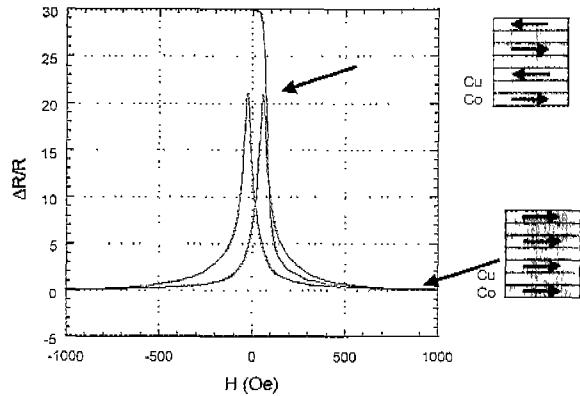


Fig. 2. KIST에서 제작한 [Co 15 Å/Cu 20 Å]30 다층박막의 자기저항 특성.

Fig. 2는 이차 반강자성 교환 결합을 이용한 Co/Cu 다층박막의 전형적인 R-H 곡선으로 자기저항비가 20% 이상 얻어지며 포화자장도 500 Oe 이하로 매우 낮은 편이다. 센서로 사용되기 위해서는 포화자장 및 히스테르시스를 감소시키는 것이 필요하다.

2-2-2. 샌드위치형 다층박막^{6,7)}

비자성층을 사이에 두고 있는 연속적인 강자성상의 자화 방향을 반평행하게 배열하는 방식으로 연속하는 자성상에 보자력이 다른 재료를 사용하는 것이다. 이 경우 자성층의 두께는 대략 4-6 nm이며, 비자성층의 두께는 3-5 nm를 가지고 있다. 그러므로 자성층 사이에서 자기적 결합이 거의 존재하지 않게 된다. 이 재료를 자기센서에 응용하기 위해서는 대부분 폭이 좁은 스트라이프 형상으로 패터닝이 되며, 폭이 좁은 스트라이프에 흐르는 전류에 의해 발생한 자장이 두 자성층의 자화 방향을 반평행하게 만들 수 있다. 즉 흐르는 전류에 의해 발생한 자장이 보자력이 작은 자성층의 자화 방향을 회전 시키나 보자력이 큰 자성층은 자화 방향이 변화하지 않고 그 상태를 유지하게 된다. 그러므로 반평행 배열을 가지게 되고 큰 저항을 유지 할 수 있다. 이러한 재료는 반강자성 다층박막보다 낮은 자기저항 값을 갖게 되지

만, 낮은 포화자장을 가지게 되어 자기센서로 응용 가능성이 높은 재료이다. 전형적인 자기저항 값은 3-8% 이며 포화자장은 10-50 Oe 이다. Fig. 3에는 전형적인 pseudo 스핀 밸브의 자기저항 곡선을 나타낸 것이다. 샌드위치 구조의 가장 큰 이슈는 단일 구조 내에 보자력이 큰 층과 연자성이 우수한 층을 동시에 구현하는 것이다.

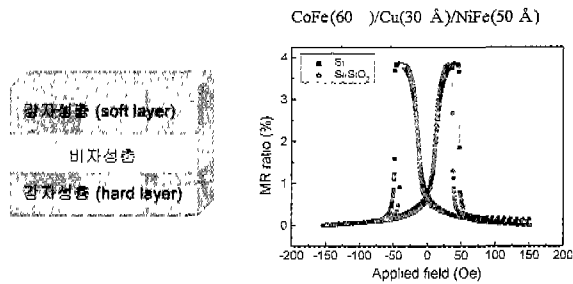


Fig. 3. 전형적인 샌드위치형 스핀밸브(Pseudo 스핀밸브)의 자기저항 곡선 (Si 기판 및 SiO₂ 가진 Si 기판, KIST 자성그룹 제작)

재료 구조의 복잡성 외에도 pseudo 스핀 밸브를 센서로 사용하기 위해서는 hard 층이 soft 층에 정자기 효과 (magnetostatic effect)를 일으키는 문제가 있다. 즉 hard 층으로의 누설 자속이 soft 층에 영향을 미쳐 센서의 자기감도를 저하시키는 것이다. 현재 이와 같은 문제를 해결하는 방법으로서 synthetic 구조(Ru을 사이에 두고 두 강자성층이 강한 반강자성 결합을 한 구조)가 제시되고 있다. 이 구조를 사용하므로 두 강자성층의 net 자화 모멘트를 영으로 만들 수 있기 때문이다.

2-2-3. 교환결합형 스핀밸브형 다층박막^{8,9,10)}

Fig. 4는 스핀밸브 다층박막 F/NM/F/AF(F: 강자성, NM: 전도성 비자성, AF: 반강자성)의 전형적인 구조를 가지고 있다. 이 중 한 강자성 층의 자화방향이 자유스럽게 움직이나, 다른 강자성층은 인접한 반강자성층에 고착되어 특정한 방향으로 자화방향이 구속되어 있다. 자기저항효과는 자유층의 자화방향과 반강자성 층에 의해 구속된 고정층의 자화 방향과의 상대적인 각도에 의해서 얻어지고 있다. Fig. 4에서 보는 바처럼 고정층의 자화 방향을 구속하는 반강자성층의 교환결합력이 고정층의 자화방향이 외부자장에 의하여 반전되지 않을 정

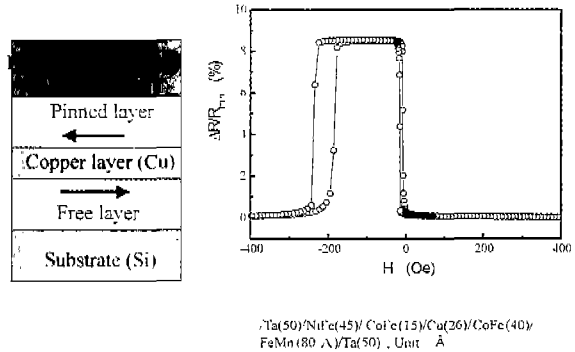


Fig. 4. Top형 교환결합 스핀밸브 구조 및 KIST에서 제작된 top형 스핀 밸브 구조의 자기저항 특성

도록 높은 교환결합력을 유지해야 한다. 그리고 제조공정 중의 온도 상승을 고려해 볼 때 반강자성 재료는 교환결합력 계수가 크고, 높은 Blocking 온도를 가지며, 내식성이 우수한 재료가 요구되고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 반 강자성 금속재료는 초기의 FeMn을 대체하여 IrMn, PtMn, PtPdMn 등으로 실질적인 응용면에서 전혀 문제를 야기시키지 않는 것으로 보고되고 있다.

스핀밸브구조의 가장 큰 장점은 작은 자장하에서 5-10%의 큰 저항변화를 얻을 수 있으며, 큰 자장 민감도와, 작은 바이어스 자장을 들 수 있다. 이와 같은 장점으로 인하여 고밀도 하드디스크 드라이브의 재생전용헤드로서 사용되고 있다. 최근 IBM은 스핀 밸브 재생헤드를 탑재한 50 GB 이상의 하드 디스크 드라이브를 소개하고 있다. 또한 스핀 밸브형 다층박막은 자유층의 자화변화가 자구 이동에 의해서 보다는 자구회전모드에 의해서 지배적이므로 낮은 자기이력을 가져 자기센서 재료에도 적합하다.

자기센서의 응용면에서 고려해볼 때 교환 결합형 스핀밸브는 샌드위치형 스핀밸브에 비해서 작동범위 내에서 큰 자기장의 노출에 의해서 영향을 받지 않는다. 왜냐하면, 저자장 범위에서 우수한 직선성 및 고감도를 나타내기 때문이다.

2-2-4. 스핀의존성 터널링(Spin-Dependent Tunneling) 다층박막¹¹⁾

스핀의존성 터널링 혹은 터널링 자기저항 구조

(Tunneling Magnetoresistance)라고 불리어지는 이 구조는 앞에서 언급한 샌드위치 구조와 매우 비슷하나, 비자성층으로 전도성 원소를 사용하지 않고 지극히 얇은 산화물 박막을 사용하여 두 강자성의 층간 결합을 분리시키고 있다. 이 경우 전도는 산화막을 통한 양자 터널링 효과에 의해서 발생한다. 산화막을 사이에 둔 두 강자성층의 자화방향의 상대적인 차이는 전도전자의 불균일 스핀분포에 의한 터널링 확률의 차이에 의하여 발생한다. 그러므로 전도전자의 경로가 in-plane 상에 있지 않고 면에 수직한 경로를 따르므로 리소공정을 채택하여 제조시 아주 작은 영역에서 많은 센서를 집적할 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재 SDT(or TMR)효과를 이용하여 자기저항이 10-50% 정도 얻어지는 것으로 보고되고 있으며, 포화자장도 사용된 자성층의 종류에 의존적이지만 대략 5-30 Oe 의 인 것으로 보고되고 있다.¹²⁾

TMR 구조는 고감도 및 높은 자기저항비를 갖는 장점 때문에 센서로서의 응용보다는 자기메모리로 응용되기 위하여 이미 많은 결과가 보고되었다. 최근 IBM 발표에 의하면 2005 년경 256 Mbyte 의 MRAM을 양산 할 것이라고 하는 것으로 보아 현재 MRAM 제조상의 기술적인 문제는 많이 제거 된 것으로 보인다. IBM 보다는 후발 주자인 Motorola는 IBM의 기술을 따라 잡기 위하여 많은 노력을 하고 있으며, 최근에는 256 Kbyte의 MRAM 결과를 발표하였다. 이와 같이 TMR 구조의 MRAM 적용에 따라 TMR 구조에 관한 연구는 비약적으로 이루어져, 초기단계에서 가장 큰 문제점으로 지적된 균일하고, 10 Å 이하의 알루미늄 산화물 층을 양산하는 기술에 큰 진전이 있는 것으로 판단된다. 또한 메

모리 소자로 사용되기 위해서는 read 와 write를 반복하여 사용할시 스위칭의 에러가 발생하지 않아야 하므로, 최근 소자제조 기술 및 설계기술의 많은 연구로 이 부분도 크게 진전이 있다고 보고되고 있다.

한편 TMR 구조의 센서에의 응용은 고감도, 고자기저항비의 장점으로 고감도가 필요한 특수한 목적에 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 그중 가장 가능성이 높은 분야가 바이오 센서 이다.

Fig. 5는 본 연구실에서 최근 제작된 TMR 소자 패턴 및 패턴 된 시료에서 얻어진 자기저항 곡선이다. 유명 대기업의 결과와는 많은 차이가 있지만 현재 국내에서 보고된 자기저항비 및 RxA(전기저항x 패턴 단면적) 값과 비교하여 매우 우수한 결과를 보여주고 있다. 현재 이와 같은 결과는 앞에서도 언급한 bio- magnetic sensor에 응용될 전망이다.

2-2-5. Colossal Magnetoresitance¹³⁾

초거대자기저항 (Colossal Magnetoresitance, CMR) 효과는 R_{1-xD}MnO₃ (R= rare earth such as La, Pr, Nd ; D= divalent elements such as Ca, Ba, Sr and Pb)의 조성을 갖는 산화물계에서 최초로 보고되었으며, 이 효과는 수 테슬라 자장하에서 특정한 구조를 갖는 위의 산화물이 절연체 혹은 반도체로부터 금속으로의 천이와, magnetic ordering이 유도되면서 저항이 10³-10⁸% 변화가 일어나는 것으로 알려져 있다. 초거대 자기저항이 보고된 이래로 많은 과학자들에 의하여 그 원인을 규명하는 연구가 이루어져, 최근에는 이중교환 모델 및 Dynamic Jahn-Teller effect¹⁴⁾ 로서 CMR 효과를 설명하고 있다. 여기서 이중 교환이라는 것은 산소이온을 매개로 한 전이금속이온의 180° 결합에서 한 금속이온의 d-orbital로부터 산소이온의 p orbital로의 전이이동과 산소이온의 p orbital로부터 다른 금속이온의 d-orbital로의 전이이동이 동시에 일어나는 전자교환을 말한다. 하지만 수십만 %의 자기저항비를 이중교환모델로는 설명하기 어려워 현재 격자 distortion, size 효과, 자기구조 효과 등의 보완된 이론과 실험이 제시되어졌다. 다양한 재료들이 제시되고 있으나 LaSrMnO₃의 Tc가 가장 높아 실용상 유용한 재료이며, PrSrCaMnO₃의 자기저항비가 가장 높은 재

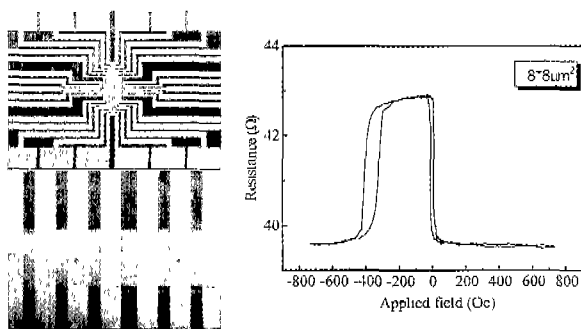


Fig. 5. microfabrication에 의해서 제작된 TMR 소자의 자기저항 특성 (KIST)

료이나 Tc가 30 K로 매우 낮다. 이와 같은 재료를 공업적으로 응용하기 위한 가장 큰 제약은 높은 포화자장이 필요하다는 것이다. 이를 개선하기 위하여 AT&T Bell lab의 Hwang은¹⁵⁾ 페라이트와 초거대자기저항의 소자의 복합구조를 이용 저 자기장에서 감도를 비약적으로 향상시켰으며, Cambridge의 Mathur는¹⁶⁾ 이중 결정 기판을 이용 인공 입계를 형성시키고, 인공 입계를 가로지르는 휘스톤 브릿지를 *microfabrication* 공정을 이용하여 제조하였다. 이 디바이스는 입계내의 전기전도도를 휘스톤 브릿지로 상쇄하여 인공 입계에서의 전기저항 변화를 극대화하여 감도를 비약적으로 향상시켰다. 그러나 이들 모두 상온에서 사용하기에는 많은 문제점이 있다. 그러므로 CMR의 상용화는 상온에서 이용하기 보다는 저온에서 이용할 수 있는 것이 타당하다. 최근 KIST는¹⁷⁾ $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ 계 CMR 재료를 이용한 저온측은 저항형 센서(77-260 K)를 제작 한바 있다.

이상에서 각 재료에 대해서 간략하게 검토한 것의 특성을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of typical properties of Magnetoresistance materials

	MR(%)	Saturation field (Oe)	Sensitivity (%/Oe)	Comments
AMR	2	5-20	0.4	
Multilayer	10-80	100-2000	0.1	Hysteresis
Spin valve	5-10	5-50	1.0	Thermal
Sandwich	5-8	10-40	0.5	
TMR	10-25	5-25	2.0	High R
CMR	100	1000	0.1	High TCR

TCR(Temperature Coefficient of Resistance)

2-3. 거대자기저항센서 응용분야

거대자기저항(GMR) 센서는 대별하여 위치 감지용 센서, 회전물체의 속도감지센서, 그리고 전류센서의 세 가지 분야에 사용될 수 있다. 위치 감지용 센서와 속도 감지센서는 센싱할 물체를 자화시키기 위하여 예비자석을 사용하는 경우와 물체를 자화시키기 위하여 지자계를 사용하는 경우로 구분할 수 있다. 예비자석을 사용할 때는 지자계가 큰 오차를 발생하지 않는 자장을 사용할 필요가 있다. GMR 센서에서는 10 - 100 Oe의 자장이면

충분한 것으로 보고되며, 이 보다 큰 자장에서는 Hall 센서가 가격대비 성능면에서 적합한 것으로 판단된다. 이와 같은 자장범위에 사용되는 GMR센서가 갖추어야 할 특성으로는 등각 자장내에서 자기이력이 거의 없어야 하며, 인가자장하에서 저항의 변화가 bipolar 특성(양의 자장하에서 양의 응답 과 음의 자장하에서 음의 값을 나타냄)을 나타내어야 한다는 것이다. 한편 지자계의 진동을 감지하는 센서에서는 지자계의 세기, 감도 (signal/field) 그리고 노이즈 등이 가장 중요한 변수이다. 이러한 센서는 자동차의 navigation 혹은 compass 등에 사용될 수 있다. 현재 GMR 재료가 가지고 있는 특성을 이용하여 1 Oe 이하의 자장을 감지하는 센서를 개발하는 것은 약간 어려움이 따를 것으로 판단된다. 그러나 고감도 및 높은 자기저항, 그리고 적절한 bias 에 의한 낮은 자기이력을 갖는 선형적인 특성을 갖는 TMR 재료는 10^{-3} Oe 이하의 저자장도 감지할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 TMR 재료가 고전기저항을 가지므로 GMR 재료보다는 노이즈 측면에서 훨씬 유리할 것이므로, TMR 재료를 이용한 저자장 고감도 자기센서의 개발이 유망할 것으로 사료된다. 전류센서는 와이어에 흐르는 전류가 와이어 주위 혹은 PCB 위에 자장을 형성할 때 이 자장을 측정하여 전류의 세기를 구하는 것이다. Fig. 6은 도체에 흐르는 전류에 의해 발생된 자장을 측정하는 GMR 브릿지 센서를 나타낸 것이다. GMR 센서는 고주파 응답성도 우수하여 100 MHz 까지 사용이 가능하며, 빠른 응답성과 우수한 재현성을 가지므로 펄스 전류 혹은 Unipolar 전류도 측정 할 수 있다. 또한 PCB

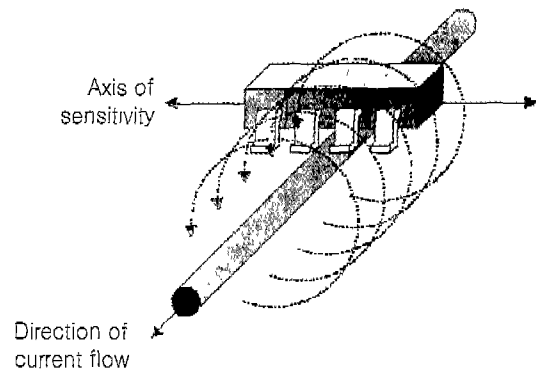


Fig. 6. Wire 에 흐르는 전류를 측정하는 GMR 센서¹⁸⁾

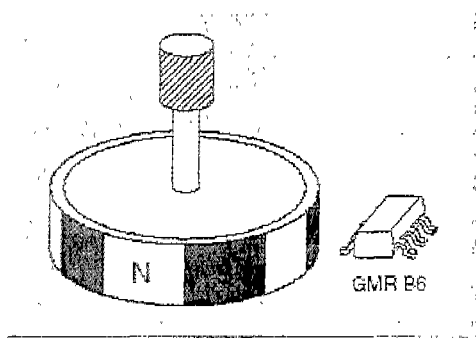


Fig. 7. 회전 속도를 측정할 수 있는 GMR 센서¹⁹⁾

기판 위에 흐르는 작은 전류도 감지할 수 있는 우수한 특성을 가지고 있다.

GMR 센서의 또 다른 특징은 속도를 측정하는 센서로 사용할 수 있다는 것이다. Fig. 7은 다극 착자된 로타리가 회전 할 때 나오는 누설 자속을 센서가 감지하여 속도를 측정할 수 있다. 즉 일정한 시간 간격에 몇 번의 자극이 변화하는지를 알면 속도를 계산 할 수 있다. 이와 같은 속도 센서는 자동차의 ABS(Anti-lock Brake System)에 적용 될 수 있다. 현재 선진국의 거대 자동차 회사와 대형 센서 업체간 상호협력하여 GMR 센서를 이미 개발하여 시작품을 고급 자동차에 장착하여 시운전 중이라는 보고도 있다. 속도센서는 위에서 언급한 자동차 외에도 VTR 혹은 Camcord의 속도센서로서 사용되고 있다.

GMR 센서의 또 다른 응용은 위치센서로서 사용될 수 있다는 것이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 센서의 직선적 운동에 따라 얻어지는 출력이 다르게 나타나므로 출력에 대비하여 위치를 결정할 수 있다. GMR 센서는 자기장 센서로서도 사용 가능하다. 예를 들면, 좁은 공간에 차를 주차시키고자 할 경우 이와 같은 센서를 적

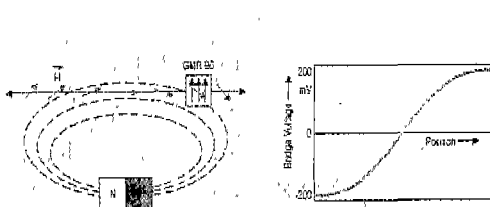


Fig. 8. 직선 운동시 위치를 결정할 수 있는 GMR 센서의 예¹⁹⁾

당한 위치에 부착하여 자동차가 주차공간에서 사고 없이 주차시킬 수도 있다. 즉 어떤 거리 이내에 들어오면 센서가 차를 감지하여 신호음을 전달함으로써 운전자가 안전하게 주차시킬 수도 있다. 또한 넓은 주차공간에서 어떤 위치에 주차공간이 비어 있는지도 자기센서를 이용하면 알 수도 있다. 즉 주차장에 차가 들어오면 센서는 자동차를 감지하여 중앙처리장치에 신호를 보내면 그 곳은 이미 차가 주차되어 있으므로 다른 곳을 안내하여 운전자가 차를 가지고 방황하는 일이 없도록 할 수 있다. 특히 대형 주차장에서는 이와 같은 시스템이 필요하며 이 시스템에 적합한 것이 자기센서라고 판단된다.

2-4. 거대자기저항센서 설계기술

본 장에서는 현재 소개된 두 종류의 회로기술만 간략하게 언급하고자 한다. 본인의 조사에 의하면 다층박막을 이용한 설계기술과 스핀밸브 구조를 이용한 설계기술에서 큰 차이를 보이며 또한 특허를 보유하고 있는 회사도 다르다.

첫째: 미국의 미네소타에 소재한 NVE(Non Volatile electronics)회사가 보유한 센서 설계기술이다. Fig. 9은 NVE가 보유한 bridge 회로를 채택한 GMR 센서의 개략도를 나타낸 것이다.²⁰⁾ 그림에서 보는 바와 같이 페턴된 두 저항(R1, R4)은 active elements 이며 shielding 층의 아래에 있는 두 개의 저항(R2, R3)은 inactive elements(reference resistors) 이다. 이 shield 층은 두 개의

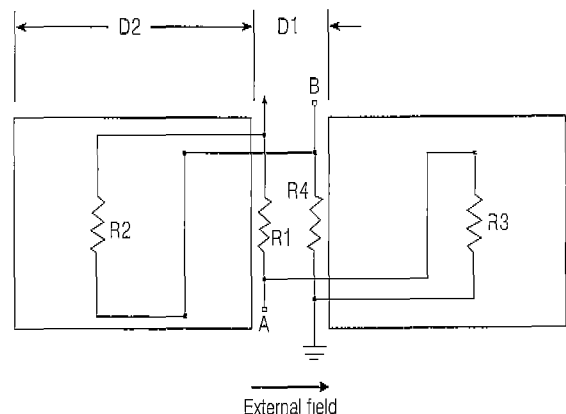


Fig. 9. 다층박막을 이용하고 flux concentrator를 이용한 half bridge 특성을 보유한 GMR 센서,²⁰⁾ D2: shield. D1: 두 shield 사이의 gap

active 저항체에 flux concentrators의 역할을 동시에 수행하고 있다. 다층박막 재료는 비교적 큰 포화자장을 가지므로 이와 같은 flux concentrators를 사용하여 포화자장의 세기를 감소시켜 감도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. Fig.에서 보는 바와 같이 flux concentrators의 길이 D1과 두 flux concentrators의 gap의 길이 D2를 조절하여 GMR 센서의 감도를 조절할 수 있다. 즉 300 Oe에 포화되는 센서를 이 길이의 비를 조절하여 100, 50, 15 Oe에서 포화시킬 수 있는 다른 센서를 제조할 수 있다는 것이다. 한편 이보다 더욱 감도가 좋은 센서를 개발하기 위해서는 외부 코일을 사용하거나, 혹은 feedback 회로를 추가하여 사용할 수도 있다.

둘째: 스핀 밸브 구조는 다층박막과는 달리 자유층과 구속층의 상대적인 자화방향에 따라서 자기저항이 얻어지므로 이 자화 방향을 제어 할 수 있는 특별한 회로가 필요하다. 즉 브릿지저항에서 dc offset이 없는 output을 얻기 위해서는 cross 하는 bridge 저항들의 imbalance가 없어야 한다. 이러한 imbalance를 제거하기 위해서는 구속층의 자화 방향을 Fig. 10에서 보는 바와 같이 A 와 D, B 와 C는 동일한 자화방향을 갖도록 해야 한다. 그러기 위해서 그림에서 보는 바와 같이 setting circuit을 브릿지 저항위에 설치하여 전류를 흘리고 그 전류에 의해서 발생한 자장이 구속층의 자화방향을 결정하게 한다는 것이다. 이러한 접근 방법을 사용하면 소자의 dynamic range를 증가시킬 수 있고 또한 자기 노이즈, 그리고 이력을 감소시키는 장점이 있는 것으로 IBM 연

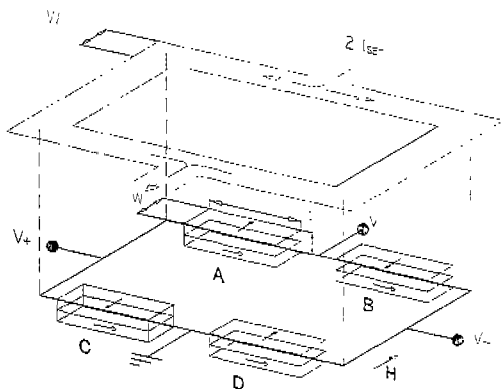


Fig. 10. Bridge 회로와 exchange 스핀 밸브 재료의 방향 제어를 위한 setting circuit²¹⁾

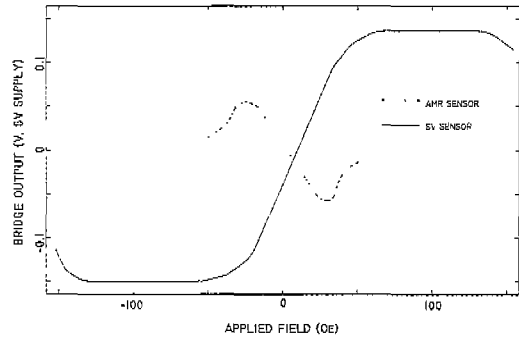


Fig. 11. Setting circuit을 통한 FeMn spin valve 센서의 bridge 회로의 출력 (점선은 AMR 센서의 출력)²¹⁾

구팀에 의해 보고되고 있다.²¹⁾ Fig. 12에는 이러한 setting circuit를 가지고 제조한 스핀밸브 브릿지 센서의 출력을 나타낸 것이다. Fig.에서 보는 바와 같이 높은 출력과 직선성을 볼 수 있다.

하지만 최근의 보고에 의하면 이와 같은 구조는 불충분한 열적 안정성 때문에 상업화로 연결되지 못하였고 보고되고 있다. 또한 conductor를 통한 전류의 의한 자장의 제어 및 온도의 제어가 본질적으로 어려운 것으로 나타났다.

3. 결 론

이 상에서 자기센서로서 응용가능한 거대자기저항 재료의 자기적 특성(TMR 및 CMR 포함하여), 거대자기저항 센서의 응용분야, 거대자기저항 센서의 설계기술을 요약하여 소개하였다. 서론에서 언급한 것처럼 GMR 효과가 발견된 이래, 짧은 기간 내에 제품이 시장에 등장하는 것은 기초 응용, 생산 연구의 합작품이라고 말할 수 있다. GMR/TMR 효과를 이용한 자기센서연구는 하드 디스크 드라이브에 사용되는 GMR 재생전용헤드 및 MRAM 연구에 비하여 많은 연구 결과가 제시되지 않았지만 현재 이미 상품화가 되어 판매가 되고 있다는 것은 이 분야를 연구하는 연구자에게는 매우 고무적인 일이라고 판단된다. 또한 현재 CMR 효과를 갖는 Manganite 등의 산화물계 세라믹스등, 우수한 특성을 보유한 재료가 계속 개발되고 있으므로 보다 특성이 향상된 제품이 나올 것으로 기대하고 있다. GMR/TMR재료의 우수한

특성, 소형화의 장점, 가격경쟁력의 우월성으로 인하여 GMR/TMR을 응용한 자기센서의 연구가 활성화될 것으로 기대하며, 또한 다양한 응용분야가 제시되고 있으므로 GMR/TMR/CMR분야의 많은 관심과 공동 연구를 기대해 본다.

감사의 글

본 고에 사용된 연구결과는 본 연구팀의 장성호, 최원준, 김민정씨의 노력이며, 이들의 노고에 감사드리며, KIST 자성연구팀에도 감사드립니다.

참고 문헌


1. M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen. Van. Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich and J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 2472 (1988).
2. R. A. Scranton, The ear of magnetoresistive heads, paper presented IDEMA symposium, San Jose, CA, February, 1994.
3. S. S. P. Parkin, N. More and K. P. Roche, *Phys. Rev. Lett.*, **64**, 2304 (1990).
4. S. S. P. Parkin, *Appl. Phys. Lett.*, **60**, 512 (1992).
5. M. Jinbo, S. Tsunashima, T. Kanada, S. Goto and S. Uchiyama, *J. Appl. Phys.*, **74**, 3341 (1993).

6. A. Chaiken, P. Lubitz, J. J. Krebs, G. A. Prinz and M. Z. Harford, *Appl. Phys. Lett.*, **59**, 240 (1991).
7. D. Lottis, A. Fert, R. Morel, L. G. Pereira, J. C. Jacquet, P. Galtier, J. M. Coutellier and T. Valet, *J. Appl. Phys.*, **73**, 5515 (1993).
8. B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri, *Phys. Rev. B*, **43**, 1297 (1991).
9. H. Yoda, H. Iwasaki, T. Kobayashi, A. Tsutai, M. Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **32**, 3363 (1996).
10. S. Mao, N. Amin, E. Murdock, *J. Appl. Phys.* **83**, 6807 (1998).
11. J. S. Moodera, L. R. Kinder, T. M. Wong and R. Meservey, *Phys. Rev. Lett.*, **74**, 3273 (1995).
12. M.J. Caruso and T. Bratland, *Sensors December* (1998).
13. S. Jin et al. *Science* **273**, 81 (1994).
14. A.J. Millis, P.B. Littlewood and B.I. Shraiman, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 5144 (1995).
15. H.W. Hwang, S.W. Cheong and B. Batlogg, *Appl. Phys. Lett.* **68**, 3494 (1996)
16. N.D. Mathur, et al, *Nature*, **387**, 266 (1997).
17. 오영제 등 : 국내특허출원(2000).
18. <http://www.nve.com>
- 19: <http://www.infineon.com>
20. J. Daughton, J. Broun, E. Chon, R. Beech, A. Pohm and W. Kude, *IEEE Trans. Magn.*, **30**, 4608 (1994).
21. J.K. Spong, V.S. Speriosu, R.E. Fontana, M.M. Dovek, *IEEE Trans. Magn.* **32**, 366 (1996).



김 광 윤

- 1979.3~1983.2 서울대학교 공과대학 금속공학과졸업
- 1983.3~1985.2 서울대학교 공과대학 금속공학과 대학원졸업(석사)
- 1990.3~1994.2 서울대학교 공과대학 금속공학과 대학원졸업(박사)
- 1986.8~1994.2 KIST 연구원
- 1994.3-현재 KIST 선임 연구원
- 1994.3-1994.5 일본 동북대 객원 연구원
- 1997.1-1999.1 Cambridge 대학 방문 연구원 2년(Korea-British Council Chevening Scholarship)
- 비정질 및 나노 전자성재료, GMR/TMR 자기저항재료 및 자기소자, 스핀 전자 재료 및 소자



오 영 제

- 1977년 연세대학교 요업공학과 공학사
- 1987년 연세대학교 대학원 공학박사
- 1988-1989년 미국 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Post-Doc.
- 1982년-현재 KIST 재료연구부 책임 연구원
- 1995년-현재 연대 세라믹공학과 객원 교수
- 2000년-현재 한국센서학회 총무이사
- 2001년-현재 한국세라믹학회 편집운영 위원
- 2000년 흥릉벤처벨리사업단 신산업창업 보육센터장
- 2000년 러시아 한림(공학)원 종신석좌 회원