

GMR센서의 특성과 응용

전문연구위원 손영목

1. 서론

- 거대자기저항효과(Giant MagnetoResistance, GMR)은 자기헤드로서 센서로 개발되어 Spin-Valve GMR과 하드디스크의 고기록과 밀도화를 이루는 헤드의 키 디바이스로 연간 수억 개가 사용된다. 자기저항소자(MR)는 InSb 등 반도체의 전류효과를 이용하는 것과 펄알로이 등 금속의 전류와 자계에 의해 변하는 AMR (Anisotropy MagnetoResistance) 소자가 있다.
- GMR 소자는 이에 비해 소자 크기가 적고, 자계에 의한 저항변화율이 수십 %로 크다. 회로소자에 2단자의 저항을 부여하여 취급하기 쉬운 자기센서이다. 또한 자기기록 이외의 분야에도 특성 활용이 연구되고 있다. 여기서는 다층막 GMR과 SV-GMR의 구조와 특성 및 자기기록 이외 분야의 응용, 회전속도, 자계패턴의 측정, 비파괴검사의 응용을 설명한다.

2. GMR 센서의 기본특성

- 다층막 GMR: 1988년에 발견된 인공격자 다층막의 자기저항 변화는 스핀의 산란으로 설명되는데, Cu층을 개입한 강자성층의 자화 벡터가 반평행의 경우 저항이 높고, 평행의 경우 저항이 낮아진다. 예로서 [NiFeCo/Cu]을 20층으로 적층한 것의 강자성층은 교환결합의 상태로 되어있다. NiFeCo층은 1.5 nm, Cu층은 2.0 nm로하고 폴리이미드필름 기판 상에 성막 한다.
- 자기기록의 읽기는 기록밀도를 향상시키기 위하여 소자 폭 방향의 자계를 이용한다. 원래 적층 GMR의 면내방향의 감도는 등방적 이어서 스트라이프 형 이방성의 영향을 받아 저 자계에서는 자계감도의 지향성이 나타난다. 면내방향의 감도는 무 지향성으로 사용방법에 의

해서 일치한다. 어느 점에서 수평방향 성분의 절대치를 알 필요가 있을 때는 비파괴검사 등에 유효하다.

- 스핀밸브GMR: 다층막 GMR은 자기저항변화에 고자계가 필요하여 저 자계에도 큰 자기저항 변화가 얻어지기 때문에 수 nm두께의 Cu층을 적용하여 일방은 자화가 구속되고, 타방은 외부의 저 자계에도 민감하게 반응하는 강자성막의 조합으로 구성된 스핀밸브 GMR이 제작된다. 현재 HDD헤드에 들어가는 GMR은 이 타입이다.
- 응답과 노이즈의 주파수 특성: 1MHz에서의 응답을 기준으로 주파수응답특성을 보면, DC로부터 1MHz까지 평탄하다. 그이상의 주파수에서는 급격하게 감쇄 하는데 이는 GMR 본래의 특성이고 전극이나 쉴드 등의 주변의 영향이 크다고 본다. 센서로 이용하는 경우, 최대 감도 분해능을 결정하는 것은 센서 고유의 노이즈이다. 노이즈 특성을 보면 1MHz 이하에는 1/f 노이즈가 주요인이고, 그 이상에서는 전기, 자기적 열잡음이 지배적이다.
- GMR 센서의 특성비교: 각종 GMR의 특성비교는 종래의 자기저항소자인 AMR과 현재 많이 연구되는 TMR도 같이 보면, GMR, AMR은 막면에 평행으로 전류가 흐르는 CIP (Current In Plane)형이고 반면 TMR은 소자의 막면에 수직으로 전류가 흐르는 CPP (Current Perpendicular to Plane)형이다.
- 두개의 강자성층의 사이에 1 nm 전후의 초박막 비자성 절연 배리어층을 흐르는 터널전류가 흐르기 쉽게 2개의 강자성층의 상대적인 자화방향이 다르게 변화하는 현상을 이용한 것이 GMR이다. TMR은 이들의 중간에 가장 자계감도가 높고, 소자 사이즈도 적게 되기 때문에 차세대의 HDD 헤드로서 기대되고 있다.

3. GMR의 센서에 응용

- 실린더 내 피스톤 위치 검출: GMR의 응용. 용도에서 대체적인 순위로 보면, 실린더 내의 피스톤의 움직임을 외부에서 비접촉으로 검출하는데, 피스톤에 영구자석을 장착하고 외부에 GMR 센서를 배치한다. 피

스텐이 센서의 직하에 오면 저항치가 최소로 되고, 그 이외는 저항치가 크게 된다. 실린더의 두께를 고려한 영구자석의 강도를 제어 피스톤의 위치를 검출한다.

- 차재용 GMR 회전 센서: 자동차의 엔진이나 브레이크, 오토매틱트랜스미션제어를 위해 사용되는 센서로서 저가, 고 신뢰성이 요구되고 이에 전자유도코일이나 홀소자가 사용된다. 차재용 회전센서는 170℃에서 1000시간 오더의 안정성이 요구된다. 마그네트론 스파터로 GMR막을 성막하고 이온빔 에칭으로 패터 한 후 250℃에서 어닐링 하면서 최소저항치의 변화가 1%미만의 GMR을 제작한다.
- 전류 검출: 아이소레이션 앰프로 구성하는데, 1차와 2차 측 사이를 직류 절연 상태로 하고, 교류정보, 변화 분을 전달하는데 종래의 변압기 구성과 같다. 전류 통로를 GMR과 쉴드 판으로 구성하는데, GMR 소자는 Si판상에 스파터로 Ta/NiFeCo/CoFe/Cu/CoFe/NiFeCo/Ta를 구성한다. 쉴드 판은 14 μm 두께, 114×84 μm 의 $\text{Ni}_{20}\text{Fe}_{80}$ 의 박막이다. 피드백 코일로 입력전류와 출력전압 관계의 직선으로 얻어지는데 오차는 1% 이하이다.
- 변위, 위치 센서: 압솔루트 형의 직선 위치센서는 SV-GMR로 핀 정지 층과 프리 층을 도체 층의 상하에 부착하고, 이동방향의 양측으로부터 영구자석에 의해서 자속이 흐르게 되어있다. 자석은 유속 때문에 영구자석의 전후에서 저항치가 크게 변하게 된다. 이렇게 상이한 재료로 2개의 SV-GMR을 제작하고 그의 온도차를 이용하여 20 mm 스트로크의 변위센서를 구성한다.
- 각도센서: SV-GMR로 핀 정지 자화방향을 표시하여 브리지 접속한다. 여기에 면내방향의 자계를 가하여 방향을 회전시키면 회전각에 대응하는 출력전압이 얻어진다. 풀 브리지이면 +, - 진폭의 정현파가, 하프브리지이면 sin과 cos에 상당하는 출력파형이 얻어진다. 이를 연산하여 360도 각도신호를 구하는 각도센서를 구성할 수 있다. 16개의 센서를 동심원으로 배치하고 휘스톤 브리지로 접속, 회전하면 sin, cos파형의 출력으로 회전각을 얻는데 소형의 정도가 높은 각도센서를 얻을 수 있다.

- 누설 자속법에 의한 결함 검출의 적용: 비파괴검사로 누설자속법이 중요한데, 강재 등에서 구조재의 건전성을 검사하기 위하여 검사대상을 자화하면 결함 주변에 발생하는 누설자속을 검출한다. 여기 사용하는 자기센서는 고감도와 함께 공간분해능의 미세화가 바람직하고 누설자속분포를 가시화하여 검출 능을 향상시킨다.
- 상자성미립자 검출: 최근 DNA등 상자성미립자를 검출, 계수하는 바이오센서로서 GMR 센서 어레이를 적용하는 연구가 많은데 어떤 샘플의 분자구성을 분석하기 위하여 자기 탭, 마커가 분자에 속박되어 이 자기 마커에 의한 자계변화가 GMR센서에 의해서 검출된다. 자기 마커는 수 마이크로미터 직경의 상자성 소구체로서 비드로 부르는데, 바이오텍 분야에서 많이 사용되고 있다.
- 와전류 법에 의한 크랙 검출: 열교환기, 비행기 기체 등 비자성체에서도 도전체 금속의 건전성을 비파괴 검사하기 위하여 와전류 법을 이용하는데, 이는 검사대상에 고주파 자계를 가하면 검사대상에 와전류가 발생하고 결함 존재 시 자계분포가 변화한다. 종래는 이를 코일로 검출하였다. GMR은 코일의 경우와 달리 DC로부터 1MHz까지 저주파에도 감도가 낮지 않아 자속에 따라 깊이 침투가 가능하여 코일에 비해 깊은 크랙의 검출이 가능하다.
- 와전류 법에 의한 프린트기판 패턴 검사: 와전류 법으로 고밀도의 프린트 기판(PCB)의 도체 패턴의 단락이나 단선을 비접촉으로 검출한다. PCB도체 패턴을 검사하기 위하여 미안더코일(meander coil)과 SV-GMR로 구성된 와전류 프루브에서 코일에 고주파 전류를 흘리면 근접한 PCB도체에 와전류가 유도된다. 이때 PCB 도체에 이상이 있으면 SV-GMR의 y방향 성분에 자속이 가해진다. 이로서 PCB 도체의 이상을 검지한다. 자기센서로서 코일이 사용되는데, PCB의 도체 폭이 100마이크론 이하로 대응하기가 곤란하다.

4. 결론

- GMR은 다층막으로부터 스핀 밸브형, 최근의 터널형 등이 있는데, 각각 다종다양한 재질 구성이 제안되어 있다. 여기는 일반적인 자기센서로서

입수 이용할 수 있는 GMR의 특성을 해설하고 이를 이용하여 변위, 각도측정 등의 응용과 측정목적에 맞게 개발된 센서를 소개, 해설하였다.

- GMR은 일반적으로 직류로부터 고주파까지 평탄한 주파수 응답특성을 갖는 고도의 자기센서이다. 이는 2단자의 저항소자이어서 회로 구성이 심플하고, 저소비전력형이다. 또한 마이크론 오더의 패턴으로 구성되어서 센서 어레이로 집적화 할 수 있기 때문에 자기력 현미경(MFM)등의 고도 공간분해능의 용도예의 적합성이 있는 등 유망한 기술이다.

◁ 전문가 제언 ▷

- Giant MagnetoResistance, GMR은 자기 기록을 위하여 작고 또한 고도로 민감한 읽기 헤드를 적용하는데 사용되었고, 센서의 기록밀도를 증가시키는데 꼭 필요한 것이 되었다. 일년에 수억 개의 GMR 스핀밸브가 하드디스크의 리드헤드로 사용된다. 또한 GMR 센서는 그들의 소형과 높은 감응도 때문에 자기 기록 분야 이외에 센서 프로브로도 적용되고 있다.
- 이 논문은 다층 GMR과 스핀밸브 GMR의 기본적 구조를 제시하고, 그들의 특성을 기술한다. 그들의 용도를 자기기록 분야를 제하면서 자기 센서로서의 GMR을 적용하는 보기를 리스트 하였다. 그 후 몇 개의 응용을 제시하는데 그것은 위치검출, 각도, 회전속도, 자기미세 입자나 샘플의 결함을 검출하는 것이다.
- 물리 센서 중에서 자기센서는 상당히 중요하고 많은 부분을 차지한다. 우리나라에서는 경북대학교의 센서기술연구소를 주축으로 하여 자기 센서의 분야에도 상당한 연구 인력이 분포되어 있다. 기타의 센서군 중에서 자기센서 분야가 구조의 단순성에서 오는 기술의 따라 잡기가 보다 용이한 면이 있으리라 보여 국내기술의 일본기술에 대한 극복이 이루어지길 기대한다.