

## 금속 인공초격자에서의 거대 자기저항 현상 및 응용

서울대학교 금속공학과 주 승기

### 요약

자성체와 비자성체를 원자단위로 적층하는 경우 자성층간의 Anti-ferromagnetic Coupling(AFC) 의해 거대자기저항 (Giant Magnetoresistance ; GMR) 현상이 나타나게 된다. 이러한 GMR현상은 자장의 감지소자에 응용될 수 있는데 MR 소자의 경우 기존의 유도형소자에 비해 분해능이 뛰어나고 동시 처리가 가능하므로 고밀도의 정보해독에 매우 유리하다.

본 발표에서는 GMR 현상을 보이는 금속 인공초격자 시스템의 소개와 아울러 실제 응용상의 문제점인 포화자장의 감소를 위한 해결방안에 대해 검토하고자 한다.

### 1. 서론

그림 1과 같이 원자단위의 크기를 서로 섞이지 않게 쌓는 것을 인공초격자라하며 혼합 물과는 달리 이 경우 여러가지 유별난 물리적 특성을 보이게 된다. 그 중에 한가지가 바로 거대자기저항 현상이다. 자기저항이란 자장이 있을 때와 없을 때 그 재료가 나타내는 전기적 저항차이를 백분율의 형태로 표시하며 그림 2와 같이 4-탐침법에 의해 측정한다. 자성체가 비자성체에 의해 원자단위의 거리로 격리되어 있으면 외부자장이 없을 때 자화스핀의 방향이 반대가 되는 반자성 결합이 형성되며 이 경우 그림 3에 보인 바와 같이 전자가 자화스핀과의 산란이 이루어져 높은 저항을 보이게 된다[1]. 금속인공초격자의 경우 일반적으로 상온에서 50% 이상의 자기저항을 나타내며 기존의 2~3% 에 비해 매우 크기 때문에 이를 거대자기저항이라 한다.

자기저항값이 클수록 외부자장의 감지에 유리한 것은 사실이지만 포화자장값이 크면 작은 외부자장의 감지는 불가능하며 따라서 그 응용범위도 극히 제한되게 된다. 예를 들어 VCR head 경우는 10 Oe 정도의 자장을 감지해야 하기때문에 포화자장값이 적어도 50 Oe 이하여야 하며 또한 자기저항곡선의 기울기에 해당하는 감도(sensitivity)는 커야 한다. 현재 금속인공초격자에서의 거대자기저항 현상을 자기정보해독장치에 응용하는데 가장 큰 걸림들은 포화자장이 크다는 것이며 (>100 Oe) 산업화에서의 문제는 원자단위의 적층구조로 인해 그 신뢰성이 열악하다는데 있다. 따라서 자기저항값을 희생해서라도

포화자장을 낮추기 위한 노력이 계속되고 있다. 과립박막[2]스핀밸브[3] 및 자성층계면조작[4]등이 그 대표적인 예이며 특히 permalloy 기저의 자성체 활용이 활발하게 진행되고 있다.

## 2. 본론

자기저항곡선은 자장의 변화에 따른 자기저항 값의 변화를 나타내는 것으로 전형적인 예를 그림 4에 나타내었다. I 영역에는 자기적으로 포화되어있기 때문에 자성스핀이 모두 한방향으로 정렬되고 이에 따라 저항 값은 최소가 된다. 역방향으로 자화시키기 시작하면 II영역과 같이 AFC는 이루어지지않은 상태에서 서서히 저항이 증가하며 III영역에 들어서면 AFC에 의해 저항이 갑자기 급상승하게 되어 거대자기저항 현상을 나타내게 된다. IV 영역은 이미 AFC가 끝난 상태에서 자기스핀의 흐트러짐에 의해 서서히 저항이 증가되는 부분이다. 일단 저항의 최대치를 지나면 역방향의 자화가 이루어지며 앞서의 영역들을 역순으로 거치게 된다. 그림 5는  $[Cu(20\text{\AA})/Co(30\text{\AA})]_nCu-6at\%Ni(200\text{\AA})/Si$  의 인공초격자에서 얻어진 자기저항 곡선으로 앞서의 영역들을 구분할 수 있다. 그림 6은 다층박막을 우선방위가 있도록 적층한 경우 자화의 방향에 따른 자기저항곡선의 차이를 나타낸 것으로 hard axis로 자화시키는 경우 II영역이 커짐을 알 수 있고 이 경우 포화자장은 커지게 된다. 그림 7은 10 MHz의 주파수를 감지한 결과로써 MR센서가 고분해능을 가지고 있다는 것을 보여주고 있다.

## 3. 결론

스퍼터링으로 인공초격자를 만들 수 있게 됨에 따라 대량 생산을 위한 실용화 연구가 활발히 진행되게 되었다. 결정성, 계면구조의 조작 및 새로운 자성층 재료의 개발등을 통해 실용화에 가장 큰 장애인 포화자장을 크게 낮출 수 있게 되었으며 이에 따라 가까운 시일내에 기존의 유도형 박막헤드 등을 대체할 수 있을 것으로 전망된다.

## 4. 참고문헌

- [1] M. N. Baibichi, J. M. Broto, A. Fert, Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Crezet, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett., **61**, 2742 (1988)
- [2] J. Q. Xiao, J. S. Jiang, and C. L. Chien, Phys. Rev. B, **46**(14), 9266 (1992)
- [3] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart, and D. R. Wilhoit, J. Appl. Phys., **69**(8), 4774 (1991)
- [4] H. S. Lee, K. I. Min, S. K. Joo, J. Kor. Mag. Soc, **3**(4), 289 (1993)

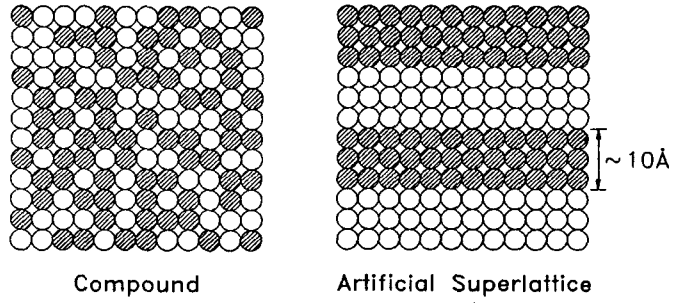


그림 1. 화합물과 인공초격자

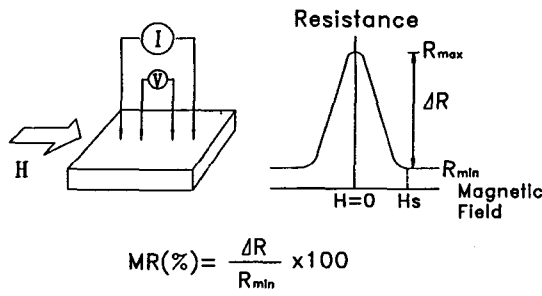


그림 2. 4-탐침법에 의한 자기저항 측정법 및 자기저항 곡선

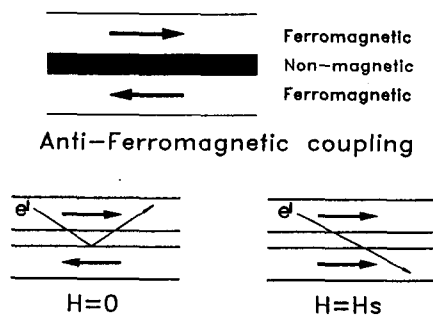


그림 3. 비자성체를 사이에 두고 반강자성 결합을 하고 있는 금속인공초격자에서의 스핀의존 전자산란

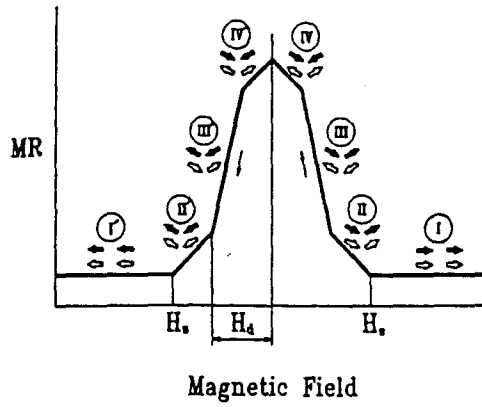


그림 4. 거대자기저항소자에서 자화반전에 의한 스핀정렬 모델  
비자성층을 사이에 둔 자성층에서 스핀상태의 변화를 나타내었음

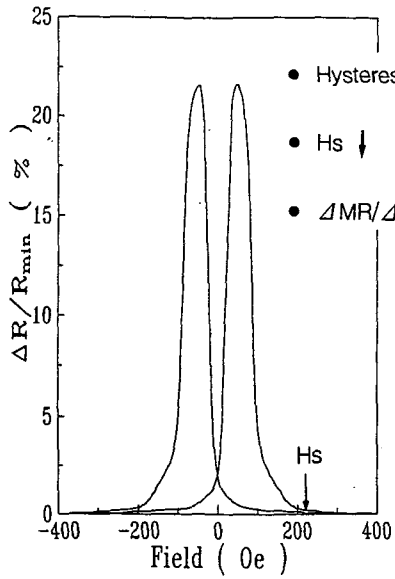


그림 5. [Cu(20Å)/Co(30Å)]<sub>20</sub>Cu-6at%Ni(200Å)  
/Si 인공초격자의 자기저항곡선

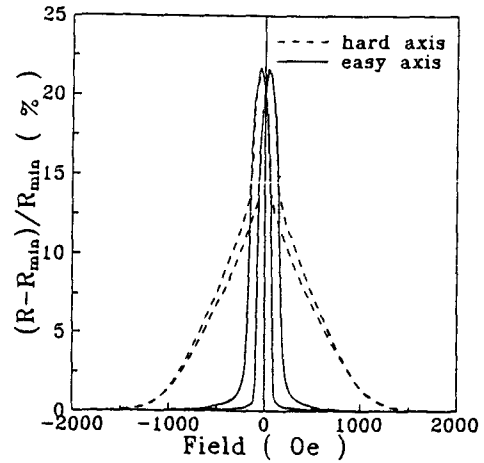


그림 6. [Cu(20Å)/Co(30Å)]<sub>20</sub>Cu-6at%Ni(200Å)  
/Si 인공초격자에서 자기저항의 외부자장  
방향 의존성(실선:용이축, 점선:곤란축)