

통합된 자기화 역전이론

한국과학기술원 물리학과 허진*, 신성철

Unified Theory for Magnetic Reversals in Uniaxial Materials

KAIST Jeon Hur*, Sung-Chul Shin

1. 서론

결맞음회전(coherent rotation) 및 비가역 자벽이동 이론들은 시료의 자기화 역전메카니즘을 규명하는데 널리 이용되고 있다. 그러나, 실제 시료에서는 두 이론의 예측들과 일치하지 않는 경우가 매우 많은데, 이를 설명하기 위해 incoherent rotation 이론 및 비등방성 자기마당세기에 비례하는 pinned coercivity를 도입한 이론이 연구되었다. Incoherent rotation 이론들은 높은 고유 비등방성 자기마당세기를 갖는 시료가 매우 낮은 보자력을 갖는 것을 설명할 수 없다[1]. 한편, pinned coercivity는 비등방성 자기마당세기에 일반적으로 비례하지는 않는다. 본 논문에서는 자기화 역전을 기술하는 결맞음회전 및 자벽이동 이론들을 통합하여 적용범위가 매우 넓은 통일된 이론을 개발하여 일축 비등방성 자성체의 자기화 과정을 이론적으로 연구하였다.

2. 본론

일단 자벽이 생성되거나 unpinned되면 순간적으로 자기화가 역전되는 시료에 대하여, 그림 1에서와 같은 좌표계에서 자기마당의 방향을 $\phi = \pi + \epsilon$ 로 고정하고 그 세기를 증가시키는 자기화 과정을 고려하였다. $|\epsilon| \leq \frac{\pi}{2}$ 일 때 비가역 자벽이동 또는 결맞음회전에 의해 자기화가 역전되는 자기마당이 각각 $h = h_w$ 또는 $h = h_r$ 이라면 실제 자기화가 역전되는 자기마당 h_c 는 다음 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$h_c = \begin{cases} h_w & \text{for } |\epsilon| \leq \epsilon_x, \\ h_r & \text{for } |\epsilon| \geq \epsilon_x. \end{cases} \quad (1)$$

예로서, h_w 의 최소값이 h_0 일 때 자기화가 역전되는 자기마당 세기 h_c 를 나타내는 곡선들을 그림 2에 나타냈다. 여기서 h_0 의 함수인 ϵ_x 의 물리적 의미는 자기화 역전메카니즘이 비가역 자벽이동에서 결맞음회전으로 바뀌는 기준으로, $h_0 \leq 1$ 이면 $\epsilon_x = 0.5 \cos^{-1} \left(\frac{2h_0^2}{(1-3h_0^{\frac{2}{3}}+3h_0^{\frac{4}{3}})-1} \right)$ 이고, $h_0 > 1$ 이면 $\epsilon_x = 0$ 으로 정의되었다.

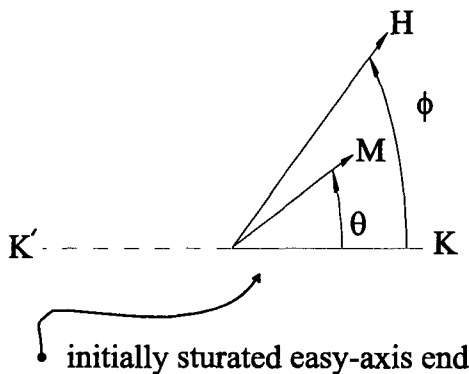


그림 1. 본연구에서 쓰인 좌표계.

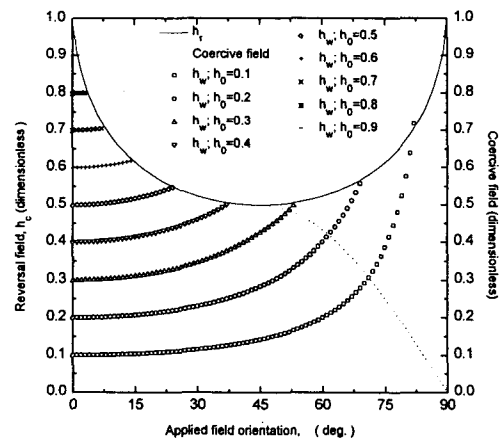


그림 2. h_c 의 좌취는 $\epsilon \leq \epsilon_x$ 이면 기호들로 나타낸 곡선들을, $\epsilon \geq \epsilon_x$ 이면 실선을 따른다.

그림 3은 자기화 역전메카니즘을 설명하기 위한 그림이다. A 영역에서는 초기에 포화된 용이축과 정반대인 방향에 가까우므로 자벽이동에 의해 자기화가 역전되고, B 영역에서는 곧란축에 가까우므로 결맞음회전에 의해 자기화가 역전된다. 여기서 h_0 가 증가함에 따라 시료의 자기화 역전메카니즘이 자벽이동에서 결맞음회전으로 바뀌고, 주어진 h_0 에 대해 자기마당방향이 자기화 용이축의 반대 방향과 멀어짐에 따라 자기화 역전메카니즘이 자벽이동에서 결맞음회전으로 바뀐다. 그림 4는 돌립힘 자력계를 이용하여 [2] 자기화 역전되는 자기마당의 세기와 방향을 측정할 예를 도식한 것이다 [3]. 그림 4에서 자기화를 역전시키는 자기마당세기가 감소하는 구간이 존재하는데, 이는 결맞음회전 또는 비가역 자벽이동 이론만으로는 설명할 수 없다. 그러나 본 이론에서 $h_0 = 0.55$ 인 경우와는 잘 일치함을 확인할 수 있는데, 이는 Pd 하지층이 pinning site를 제공하여 비가역 자벽이동에 필요한 최저 자기마당세기가 증가하였기 때문이다.

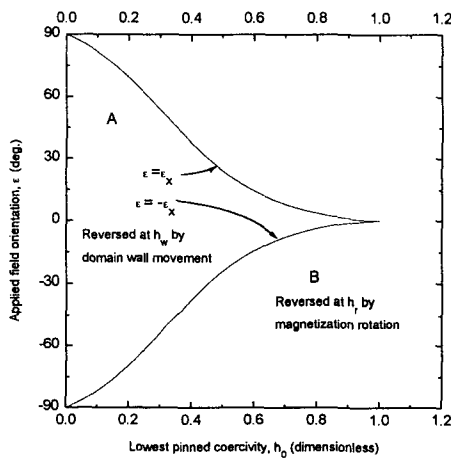


그림 3. h_0 와 증가하는 자기마당의 방향 ϵ 에 따른 자기화 역전메카니즘을 설명하기 위한 그림.

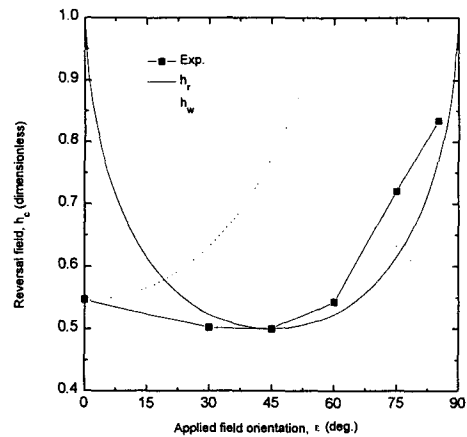


그림 4. 100-Å Pd 하지층 위에 증착한 (2-Å Co/9-Å Pd) 다층박막의 자기화가 역전되는 자기마당의 세기와 방향의 관계. 여기서 ϵ_x 의 값은 약 19° 이다.

3. 결론

본 연구에서 개발한 통합이론으로, 결맞음회전 또는 비가역 자벽이동 이론만으로는 기술할 수 없는, 일축 비 등방성 자성체의 자기화 과정을 쉽게 설명할 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] W. F. Brown, *Magnetostatic Principles in Ferromagnetism* (Amsterdam, North-Holland, 1962) p202.
- [2] J. Hur and S.-C. Shin, *Appl. Phys. Lett.* **62**, 2140 (1993).
- [3] 유천열, 허진, 김명준, 허재영, 신성철, *새물리*, **33**, 266 (1993).