

(111) 방향으로 성장한 강자성체 박막의 자화거동 계산

강희경*, 남윤재, 임상호

고려대학교 신소재공학과

자성재료의 자기 이방성은 자기 모멘트가 어떠한 축으로 자화 되려고 하는지에 대한 정보를 제공하며, M-H 곡선의 형태에 가장 큰 영향을 미치는 매우 중요한 요인이 된다. 대표적 자성재료들인 Fe, Ni과 같은 경우 입방 결정구조를 가지며 이러한 입방결정구조를 가진 자성재료는 벌크에서의 구조적 대칭을 자화과정에서도 그대로 보여준다. 그런데 이들 재료를 박막의 경우로 가져가게 되면 자화의 거동이 거대한 탈 자장에 의해 막 면으로의 움직임이 제한되게 되어 벌크일 때와는 다른 자화거동을 보이게 된다[1, 2]. 그러므로 박막일 때 막 면에 따라서 자성재료가 어떠한 특성을 가지는가에 대해 예측하는 것은 박막을 응용하고자 하는데 있어 상당히 중요한 이슈라 할 수 있다.

Single domain을 기반으로 하는 total energy equation은 자화의 과정을 예측하는데 있어 많이 사용되어지는 tool이지만, 단순한 가정을 사용하므로 그 적용에 있어 실질적으로 많은 제약을 받는다. 하지만 단결정으로 잘 성장된 박막에 대해서는 상당히 근접한 결과를 이끌어 낼 수 있음이 계산되었다[3]. 따라서 total energy equation을 통해 여러 가지 방향으로 성장된 박막에 대한 자기적 거동을 예측해 본 결과 자화의 회전은 막 면내에서 제한되었지만 벌크의 경우와 마찬가지로 자기적 특성은 면의 대칭을 그대로 반영함을 알 수 있었다.

그러나 현실적으로 실험 시 면에 대한 완벽한 제어가 어려우므로 막 면에 대해서 이 결정이 조금씩 틀어져 있을 때의 상황을 고려해 볼 수 있다. 대표적인 면인 (001), (011), (111)면을 살펴보면 (001), (011)의 경우 energy barrier가 워낙 크고 이에 따라 보자력 역시 크기 때문에 면이 조금 틀어지더라도 히스테리시스 특성에는 큰 영향을 미치지 않음을 예상할 수 있었고 계산 결과 역시 크게 변하지 않음을 확인 할 수 있었다. 하지만 (111)면의 경우 energy barrier가 상당히 작고 (111)면에 따라 에너지 분포가 상당히 작으므로 조그마한 결정축의 변화에도 자기적 성질이 크게 변할 여지를 가지고 있다. 그리하여 본 연구에서는 total energy equation을 기반으로 하는 계산을 수행하여 에너지 적으로 상당히 민감한 (111)면을 polar 또는 azimuthal angle로 조금씩 틀어주어 자화가 어떠한 거동을 보이는지에 대해 알아보았다.

완벽히 제어된 (111)면의 경우 에너지 편차가 크지 않고 각각의 minimum이 정확히 60도 마다 위치하고 있음을 볼 수 있었다(그림 1). 하지만 polar angle과 azimuthal angle로 각각 1°씩 기울인 면의 경우 에너지 편차가 상당히 커지고 6-fold symmetry 자체가 완전히 깨어지면서 그림 2의 (a)처럼 마치 2개의 uniaxial anisotropy를 가지고 있는 시스템이 되어 두 곳의 global minimum과 함께 두 곳의 다른 local minimum을 가지는 에너지 분포를 관찰 할 수 있었다(그림 2). 제안한 방식으로의 접근을 통해 우리는 음의 보자력이나, 자체적인 exchange bias를 가지는 system이 어떻게 형성되는지를 파악할 수 있을 것으로 보인다.

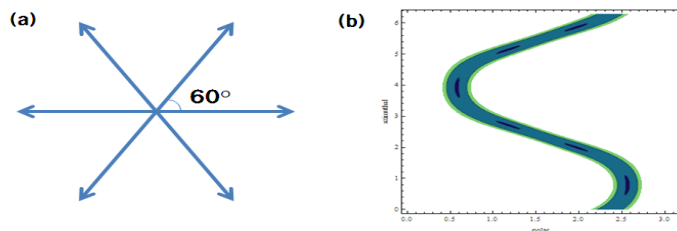


그림 1. (111)면으로 성장한 자성박막의 (a) 대칭성과 (b) 그에따른 에너지 커브

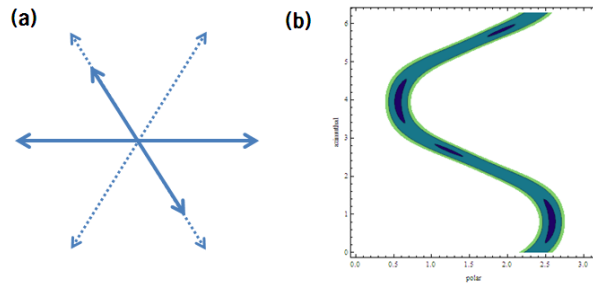


그림 2. (111)면에서 polar angle과 azimuthal angle로 각각 1°씩 기울인 방향으로 성장한 자성박막의 (a) 대칭성과 (b) 그에따른 에너지 커브

참고문헌

- [1] B. D Cullity and C. D. Graham 'Introduction to magnetic materials' Wiley, pp. 199
- [2] Mitsuru Ohtake, Osamu Yabuhara, Jumpei Higuchi, and Masaaki Futamoto J. Appl. Phys. 109 (2011) 07C105
- [3] Yoon Jae Nam and S. H. Lim, Thin Solid Films 519 (2011) 8256–8259