

전류 인가 자구벽 이동의 줄 효과 보정

김덕호^{1*}, 문경웅¹, 유상철^{1,2}, 민병철², 신경호², 최석봉¹

¹서울대학교 물리천문학부

²한국과학기술연구원

1. 서론

전류 인가 자구벽 이동(Current-induced domain wall motion; CIDWM)은 매우 흥미로운 물리적 현상이다[1, 2]. 작은 전류밀도에서 CIDWM은 크리프(Creep) 법칙을 따른다[3]. 크리프 운동은 아레니우스 법칙에 따라 다음 속도의 $V = V_0 \exp\left[-\alpha \frac{(H^*)^{-1/4}}{k_B T}\right]$ 형태로 알려져 있다. 여기에서 V_0 는 특성 속도, α 는 에너지 상수, k_B 는 볼츠만 상수, T 는 온도를 나타낸다. 특히 H^* 는 전류에 의해 발생하는 유효 자기장을 의미한다. 그러나 시료에 전류를 인가하면 줄 열(Joule heating)의 발생으로 온도가 증가하는데, 이때 CIDWM에서 순수한 전류 효과를 구분하기가 어렵게 된다. 현재까지 여러 연구들에서 아레니우스 법칙에서 표현된 특성 속도와 에너지 상수는 온도에 무관한 상수라고 가정하고, 식에 표현된 $k_B T$ 항만을 온도 영향으로 고려하였다. 최근 발표된 Pt/Co/Pt 나노선 구조에서 전류 밀도 10^{11} A/m² 이하의 CIDWM에서는 전류에 따른 온도 증가가 작은 범위여서 이러한 가정이 적용 가능하였다[3]. 그러나 매우 큰 온도 증가 범위에서는 자기적 성질의 변화로 크리프 계수가 많이 변할 것으로 생각된다. 따라서 특성 속도와 에너지 상수의 온도 의존성에 대한 연구가 필요하다.

2. 실험방법

본 연구를 수행하기 위해 Si/SiO₂/Ta(5 nm)/Pt(2.5 nm)/Co(0.3 nm)/Pt(1.5 nm) 수직 자기이방성 박막 시료를 제작하였다. 온도범위 296 K에서 318 K까지 자기장에 따른 자구벽 이동을 광자기 커르 효과(Magneto-optical Kerr effect; MOKE) 현미경을 통해 관찰하였다.

3. 실험결과

각각의 온도에서 구해진 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 를 그림 1 (a), (b)에 나타내었고, $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도에 따라 급격하게 변함을 확인하였다. 다음으로 온도에 무관한 크리프 운동의 보편성을 살펴보기 위해 그림 1 (a), (b)의 온도에 따른 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 의 결과를 이용하여, 자구벽 이동 속도를 다음의 규격화 속도 $V^* = V_0^{RT} \exp\left[\ln\left\{\frac{V}{V_0(T)}\right\} \frac{\alpha_0^{RT}}{\alpha(T)} \frac{T}{T_0}\right]$ 로 정의하였다. 여기에서 T_0 는 상온을 의미하고, 상온에서의 특성 속도와 에너지 상수를 $V_0^{RT} = V_0(T_0)$, $\alpha_0^{RT} = \alpha(T_0)$ 과 같이 나타내었다. 그림 1 (a), (b)의 각각의 상수의 온도 경향성을 이용하여 온도 효과와 배제된 규격화 속도를 그림 1 (c)과 같이 관찰하였다. 그림 1 (c)의 결과에서 나타나듯이 온도 효과가 배제된 속도는 다양한 온도에도 불구하고, 모두 상온의 자기장 속도 법칙과 동일 선상에서 운동함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구를 통해 기존의 아레니우스 법칙에 따른 크리프 운동에서 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도에 의존함을 확인하였다. 크리프 운동의 계수 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도 함수임을 고려하여, 여러 온도에서 자기장 인가 자구벽 이동의

보편성을 확인하였다. 따라서 온도에 따른 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 를 CIDWM 에 적용하여, CIDWM에서 줄 열 효과를 배제한 순수한 전류의 역할을 확인할 수 있었다. 실험의 세부사항은 추후 논의할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] R. A. Duine and C. M. Smith, Phys. Rev. B **77**, 094434 (2008).
- [2] Stuart S. P. Parkin, Masamitsu Hayashi, and Luc Thomas, Science **320**, 190 (2008).
- [3] J.-C. Lee, *et. al*, Phys. Rev. Lett. **107**, 067201 (2011).

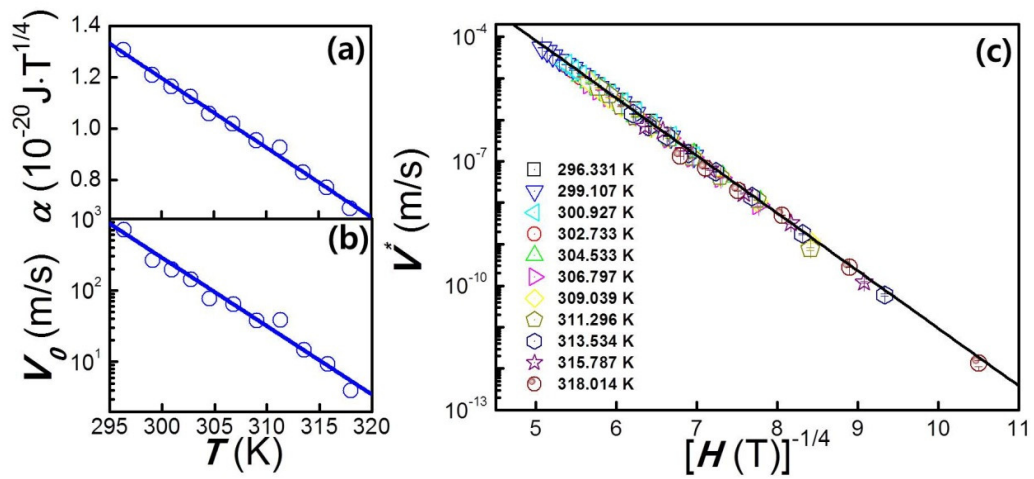


그림 1 (a)온도에 따른 에너지 상수 α , (b)온도에 따른 특성 속도 V_0 , (c) $H^{-1/4}$ 에 대한 V^*