

Co/Pd 다층박막에서 자벽운동과 핵형성과정의 활성화부피 측정 및 연구

한국과학기술원 물리학과 스핀정보물질연구단 최석봉*, 신성철

Activation Volumes of Wall-Motion and Nucleation Processes in Co/Pd Multilayers

Dept. of Phys. And CNSM, KAIST S.-B. Choe*, S.-C. Shin

1. 서론

최근 자화역전 동력학에 대한 이해가 크게 진전되고 있다. 이는, 근래에 활발하게 개발되어 온 자기현미경의 발달로 인하여, 자구상태를 직접 관찰할 수 있는 실험적인 성과에 기인하는 것이다. 특히, 자벽이동과 핵형성과정의 균형에 의해 자화역전 동력학의 형상이 결정됨이 발견되었다. 여기서 자벽이동 과정이란 기존의 자기구역에서부터 점진적으로 자구가 확장하는 과정을 의미하고, 핵형성 과정이란 기존의 자기구역과는 상관없이 임의의 위치에서 새로운 자구가 형성되는 과정을 의미한다. 이러한 두 가지 자화역전 과정은 모두 열-활성화 과정에 의하여 진행되고 있다고 알려져 있다. 이때, 열-활성화 과정이란, 자화가 역전하기 위해 넘어야 할 에너지벽을 열-활성화 에너지의 도움을 받아서 넘어가는 과정을 말한다. 열-활성화 과정에 있어서 가장 필수적인 요소는 활성화부피이다. 활성화부피는 자화역전동안 단일입자처럼 움직여 행동하는 단위 부피를 의미하며, 자성박막에 존재하는 최소 자구의 부피와 밀접한 관련이 있다. 따라서, 자화역전 동력학을 정량적으로 기술하는 데 있어서, 활성화부피에 대한 정확한 개념의 정의와 정량적인 분석은 필수적이고 기본적인 사항이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 자벽이동과 핵형성과정의 활성화부피 사이의 상관관계를 정량적으로 확인하고자 연구를 시작하였다. 본 논문에서는 Co/Pd 다층박막에서 자벽이동과 핵형성과정을 각각 정량적으로 분석함으로써, 각 과정의 활성화부피를 각각 구하였다 [1]. 이와 같이 측정된 각 과정의 활성화부피로부터 "각 과정의 활성화부피가 서로 다르다"는 실험적 사실을 발견하였다

2. 실험방법

일련의 Co/Pd 다층박막 시료를 Co 층의 두께 t_{Co} 와 층반복회수 n 을 변화시키며 제작하였다. 작은-각 x 선 회절실험을 통해 모든 시료의 다층구조를 확인하여 각 층의 두께가 4% 이내의 정밀도로 제작되었음을 확인하였다. 또한, 큰-각 x 선 회절실험을 통해 시료가 [111] 방향으로 성장하였음을 확인하였다. 모든 시료는 수직자기장방향을 가지고 있음을 진동자력계와 광자기자력계를 사용하여 확인되었다.

먼저 한쪽방향으로 포화시킨 각 시료에 반대 방향의 자기장을 걸어주어 유도된 자화역전을 광자기현미경으로 실시간 관찰하였다. 현미경으로 관찰되는 자구영상은 현미경에 부착된 CCD 카메라를 통해 촬영되어 컴퓨터에 저장되며, 이후에 배경삭제, 잡음제거 및 흑백영상변환 등의 영상처리 과정을 통해 분석되었다. 이와 같

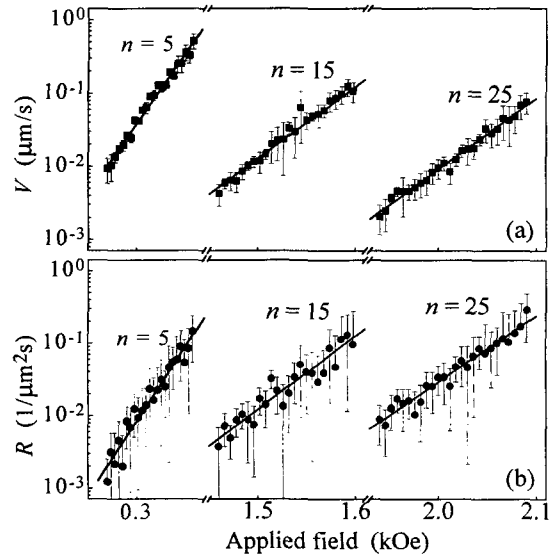


Fig. 1 Field dependence of V and R

이 얻어진 시간에 따른 자구거동현상을 직접 분석하여, 자벽운동속도 V 와 핵형성을 R 을 각각 구해낼 수 있었다. 이러한 실험을 다양한 외부 자기장에 대하여 반복하여 실험함으로써, V 와 R 의 외부자기장 의존도를 측정할 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 자벽운동속도와 핵형성률의 외부 자기장 의존도를 보여주고 있다. 그림으로부터 모든 값들이 외부자기장의 세기에 대한 선형-지수 함수로 나타남을 확실히 발견할 수 있다. 이러한 선형-지수 관계로부터 각 자화역전 과정이 모두 열-활성화를 통해 발생함을 확인하였고, 직선으로 나타낸 fitting 함수로부터, 각 과정의 활성화부피를 측정할 수 있다.

그림 2는 (a) 층반복회수 n 을 변화시킨 일련의 $(2\text{-}\text{\AA}\text{ Co}/11\text{-}\text{\AA}\text{ Pd})_n$ 시료들과 (b) Co 층의 두께 t_{Co} 를 변화시킨 일련의 $(t_{\text{Co}}\text{-Co}/11\text{-}\text{\AA}\text{ Pd})_{10}$ 시료들에서 측정한 자벽운동과 핵형성과정의 활성화부피를 나타낸다. 다층박막의 구조에 따라 각 과정의 활성화부피가 같은 경향성을 가지고 체계적으로 변화하고 있으며, 이러한 사실로부터 각 과정은 다층박막 구조에 대해 같은 방식으로 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

본 연구의 가장 중요한 결과는, 그림 2에서 보이는 바와 같이 각 과정의 활성화부피가 실험오차범위 이상으로 서로 다르게 나타나고 있고, 활성화부피의 차이가 다층박막의 구조에 대해 체계적으로 변화하고 있다는 사실이다. 이와 같이 각 과정의 활성화부피의 차이를 실험으로 명확하게 보여준 경우는 학계에서 처음이다. 또한, 이러한 활성화부피의 상대비율은 자화역전형태에도 밀접한 관계를 가지고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 활성화부피 상대비율은 대조적인 자화역전을 나타내는 값 V/R 과 직접적인 관계를 가지고 있다.

4. 결론

본 연구를 통해, Co/Pd 다층박막의 자벽이동과 핵형성과정의 활성화부피를 각각 구해낼 수 있었다. 각 과정의 활성화부피는 다층박막의 구조에 따라 비슷한 방식으로 변화하였으나, 정밀한 실험을 통해 각 과정의 활성화부피가 서로 조금씩 다를 수 있음을 발견할 수 있었다. 이러한 활성화부피의 차이는 대조적인 자화역전현상과 직접적인 관계가 있음을 확인하였다.

5. Acknowledgments

This work was supported by the Korean Ministry of Science and Technology through the Creative Research Initiatives Project.

6. 참고문헌

- [1] S.-B. Choe and S.-C. Shin, Phys. Rev. Lett. **86**, 532 (2001).

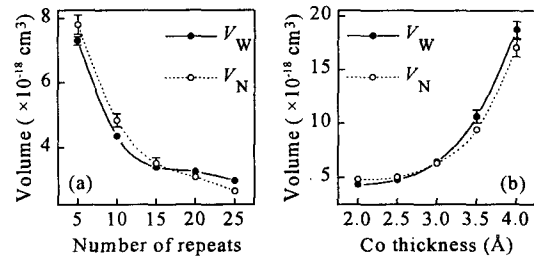


Fig. 2 Activation volumes

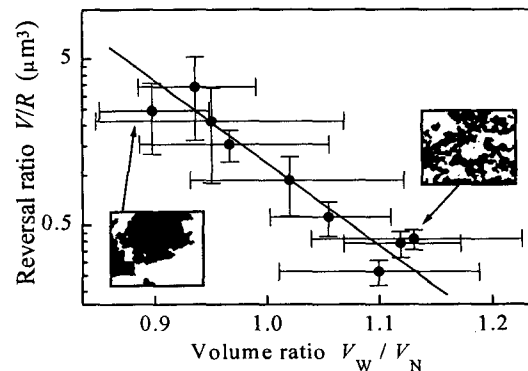


Fig. 3 Correlation between V_W/V_N and V/R