

## Co/Pd 다층박막의 자화역전 외부자기장 의존도

한국과학기술원 최석봉\*, 신성철

Magnetic field dependence of spin reversal behavior in Co/Pd nanomultilayers

KAIST S. -B. Choe\*, S. -C. Shin

## 1. 서론

자성박막에서의 자화역전현상은 자성학의 기본적인 이해는 물론 그 응용분야의 기술적인 한계극복을 위해 활발히 연구되고 있다. 많은 조성의 자성박막에서 관찰되는 대조적인 자화역전현상은 핵형성(nucleation) 기구와 자기벽운동(domain-wall motion) 기구로서 설명하고있으며[1-3], 전체 박막의 두께 및 박막의 조성에 따라 민감하게 변화함이 발견되었다. 이러한 자화역전현상을 분석하기 위하여 자화점성곡선 분석방식[4]과 micromagnetic simulations[5] 등이 개발되었으며, 최근에는 실시간 관찰된 자기구역 거동현상을 정량분석하는 방식[6,7]이 개발되었다. 본 연구에서는, 이러한 실시간 자기구역관찰을 통한 정량분석방식을 이용하여 Co/Pd 다층박막에서 나타나는 자화역전 현상의 외부자기장 의존도를 측정하였다[8].

## 2. 시료제작 및 실험

다양한 조성의  $(t_{\text{Co}} \text{ Co}/11\text{-}\text{\AA} \text{ Pd})_n$  다층박막을 Co 층의 두께  $t_{\text{Co}}$ 와 층의 반복회수  $n$ 을 각각 변화시키면서 전자빔 진공증착방식으로 유리기판 위에 제작하였다[9].

실시간 자기구역 관찰이 가능한 고성능 Kerr 현미경 시스템[10]으로  $a$ 와  $l$ 을 측정하였다. CCD 카메라가 장착된 편광현미경으로 시간에 따른 256 장의 자기구역 영상을 10 장/sec의 속도로 관찰하여 컴퓨터에 입력하였다. 관찰된 영상은 각각  $200 \times 160$  pixel로 구성되어 있으며 한 pixel의 크기는  $164 \times 164$  nm이다. 이와 같은 자기구역의 영상을 화상처리기법을 통해 분석하여, 시간에 따른 자기구역의 넓이와 자기구역벽의 길이를 측

정하였다.

## 3. 결과 및 토론

제작된 모든 시료는 수직이방성을 가지고 있으며, unit squareness의 자기이력곡선을 보인다. 그림 1은  $(2\text{-}\text{\AA} \text{ Co}/11\text{-}\text{\AA} \text{ Pd})_{10}$  시료의 자화점성곡선을 여러가지 외부자기장에 대하여 측정한 그림이다. 자화점성곡선의 실시간 관찰된 자기구역 형상에서 반전된 자기구역의 면적  $a$ 과 전체면적  $s$ 의 비로부터 구하였다. 그림 1의 자화점성곡선의 자화반전시간  $\tau$ 를 각각의 곡선으로부터 구하여 시간을 normalize 시키면 그림 2(a)와 같이 하나의 곡선으로 전부 겹쳐짐을 알 수 있다. 즉, 자화역전의 형태는 외부자기장의 크기에 무관하게 일정한 형태를 유지하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 자화반전시간은 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 외부자기장의 세기에 대하여 매우 민감하게 변화하고 있음을 알 수 있고, 식 (1)와 같이 exponential 형태의 실험식으로 매우 잘 설명할 수 있음을 확인하였다.

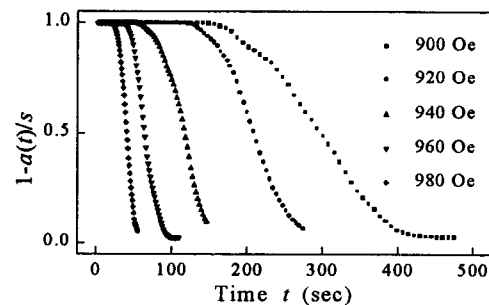


그림 1. 외부자기장에 따른  $(2\text{-}\text{\AA} \text{ Co}/11\text{-}\text{\AA} \text{ Pd})_{10}$  시료의 자화점성곡선

$$\tau = \tau_0 \exp[\alpha_r (H_0 - H)] \quad (1)$$

이때,  $\tau_0$ 는  $H = H_0$  일 때의 특성자화반전시간이고,  $\alpha_r$ 는 열적활성화 비례상수이다.  $H_0$ 는 보자력과 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 이러한 exponential 비례는 열적활성화과정을 통한 자화역전기구로서 이해할 수 있고 이 경우  $\alpha_r = V_c M_s / k_B T$ 로 주어진다.

자화역전현상의 정량분석을 통하여 자구벽이동속도  $V$ 와 핵형성확률  $R$ 에 대한 각각의 외부자기장 의존도를 구하였다. 각각의 경우 모두 자화반전시간과 마찬가지로 exponential 비례를 확인할 수 있었고 따라서 식(2)과 같은 실험식으로 잘 설명할 수 있었다.

$$\begin{aligned} V &= V_0 \exp[-\alpha_v (H_v - H)], \\ R &= R_0 \exp[-\alpha_r (H_r - H)], \end{aligned} \quad (2)$$

이때,  $\tau_v$ 와  $\tau_r$ 은 자구벽이동 및 핵형성의 특성값이며,  $\alpha_v$ 와  $\alpha_r$ 는 각각의 열적활성화 비례상수이고,  $H_v$ 와  $H_r$ 는 각각의 보자력이다. 실험을 통해 측정된 열적활성화 비례상수를 표 1에 정리하였다. 표 1의 값들을 통해  $\alpha_v$ 와  $\alpha_r$ 는 실험오차범위안에서 서로 일치하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 자화역전상수  $V/R$  값은 외부자기장에 무관하게 일정한 값으로 유지되며, 자화역전형태는 외부자기장에 무관하게 일정한 형태로 나타남을 잘 이해할 수 있었다.

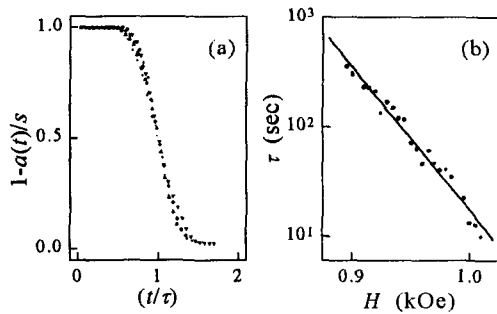


그림 2. (a) Normalized 된 자화역전 universal 곡선, (b) 외부자기장에 따른 자화반전시간

표 1. 분석된 시료의 열적활성화 상수

Sample ID	$\alpha_r$ (kOe <sup>-1</sup> )	$\alpha_r$ (kOe <sup>-1</sup> )	$\alpha_R$ (kOe <sup>-1</sup> )
(2-Å Co/11-Å Pd) <sub>5</sub>	44.8	44.2	47.2
(2-Å Co/11-Å Pd) <sub>10</sub>	30.1	28.0	31.2
(3-Å Co/11-Å Pd) <sub>10</sub>	53.7	62.3	61.0
(2-Å Co/11-Å Pd) <sub>20</sub>	23.8	22.9	21.7
(2-Å Co/11-Å Pd) <sub>25</sub>	21.9	22.4	21.1

### 참고문헌

- [1] J. Pommier, P. Meyer, G. Ponissard, J. Ferre, P. Bruno, and D. Renard, Phys. Rev. Lett. **65**, 2054(1990).
- [2] S.-B. Choe and S.-C. Shin, J. Appl. Phys., **81**, 5743 (1997).
- [3] S.-B. Choe and S.-C. Shin, Phys. Rev. B, **57**, 1085 (1998).
- [4] M. Labrune, S. Andrieu, F. Rio, and P. Bernstein, J. Magn. Magn. Mater. **80**, 211(1989).
- [5] R. D. Kirby, J. X. Shen, R. J. Hardy, and D. J. Sellmyer, Phys. Rev. B **49**, 10810(1994).
- [6] S.-B. Choe and S.-C. Shin, Appl. Phys. Lett., **70**, 3612(1997).
- [7] S.-B. Choe and S.-C. Shin, J. Appl. Phys. **85**, 5651(1997).
- [8] S.-B. Choe and S.-C. Shin, J. Appl. Phys. *submitted*.
- [9] 최석봉, 신성철, 응용물리지 **9**, 674 (1996).
- [10] 최석봉, 신성철, 응용물리지 **11**, 201 (1998).