

## 자화역전 정량적 분석의 새 방법

한국과학기술원 최석봉\*, 신성철

A new method for quantitative analysis of magnetization reversal

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

### 1. 서론

최근, 자기박막에서의 자화역전에 대한 연구가 활발하게 진행되면서, 자구벽운동(domain-wall motion)기구와 핵형성(nucleation)기구로 뚜렷이 구분되는 두 가지 자화역전 현상이, 비슷한 조성의 여러 자기박막 시스템에서 보고되었다[1,2]. 이러한 자화역전 현상을 정량적으로 연구하기 위해 Fatuzzo 이론(3)을 토대로 자화점성곡선(Magnetization viscosity curve)을 분석하거나[4], micromagnetism 이론에 의한 컴퓨터 모의실험을 수행하기도 하였다[5]. 본 연구에서는, 원형자구로 이루어진 자화역전 모델을 만들어 실시간 측정된 자구형상으로부터 자화역전 기구를 정량분석할 수 있는 새로운 방법을 개발하였다. 이렇게 개발된 정량분석 방법을 Co/Pd 다층박막 시스템에 적용하여 보았다.

### 2. 원형자구 모델

자구벽이동 속력을  $V$ 라고 하고 단위면적당 핵형성 확율을  $R$ 이라고 하면, 역전된 자구의 넓이  $a$ 와 자구경계의 길이  $l$ 은 시간에 대해 아래와 같은 관계식을 갖는다.

$$[da/dt] = lV + \pi r^2 (s - a) R, \quad [dl/dt] = 2\pi V + 2\pi r (s - a) R.$$

이때,  $r$ 은 핵형성된 원형자구의 반경이고,  $s$ 는 정량분석되는 시료의 전체 면적이다. 자구벽이동과 핵형성의 과정은 모두 thermally-activated relaxation 과정이므로, 온도가 일정한 상태에서 외부자장의 세기가 일정하다면  $V$ 와  $R$ 은 모두 상수이다.

실시간 자구형상을 관찰하여 역전된 자구의 넓이  $a$ 와 자구경계의 길이  $l$ 을 시각에 따라 측정할 수 있다면,  $V$ 와  $R$ 은 시간의 함수로 아래식과 같이 주어진다.

$$V = ([da/dt] - r [dl/dt] / 2) / (1 - \pi r), \quad R = (l [dl/dt] / 2\pi - [da/dt]) / (1 - \pi r)r(s - a).$$

### 3. 실험결과 및 고찰

전자빔 진공증착 시스템으로  $(t_{Co} Co/11\text{-}\text{\AA} Pd)_{10}$  다층박막을 유리기판 위에 증착시켰다[6]. 이때, Co 층의 두께  $t_{Co}$ 를 2.0  $\text{\AA}$ 에서 4.0  $\text{\AA}$ 까지 0.5  $\text{\AA}$  씩 증가시켰다.

제작된 Co/Pd 다층박막의 자화역전 현상을 개조된 편광현미경을 사용하여 관찰하였고, 편광현미경 시스템에 부착된 CCD 카메라를 통해 컴퓨터에 입력하여[7] 그림 1과 같이 시간에 따른 자구형상을 얻었다. 이때, 그림 1-(a)는 Co층의 두께가 2.0  $\text{\AA}$ 인

시료의 자구형상으로 모든 자구경계에서 자구벽이동이 일어나 자화역전이 진행되는 형상을 보여주고, 그림 1-(b)는 Co층의 두께가 4.0  $\text{\AA}$ 인 시료의 자구형상으로 자구벽이동보다는 핵형성에 의해 자화가 역전되는 자구형상을 보여준다.

이와같이 얻어진 자구형상으로부터 자화역전된 검은 cell의 비율을 계산하고 검은 cell과 흰 cell의 경계 길이를 측정함으로써, 역전된 자구의 넓이  $a$ 와 자구경계의 길이  $l$ 을 시간에 따라 구할 수 있다. 이때, 원형자구 모델과 사각형 cell단위로 측정된 자구형상의 차이를 줄여주기 위하여 측정된 자구경계의 길이는

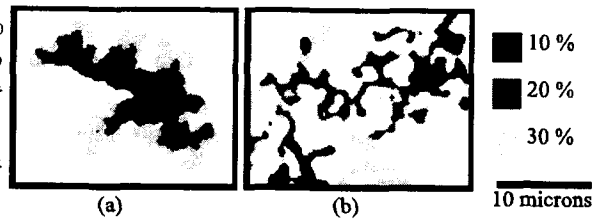


그림 1. 자화 역전 시 자구 형상

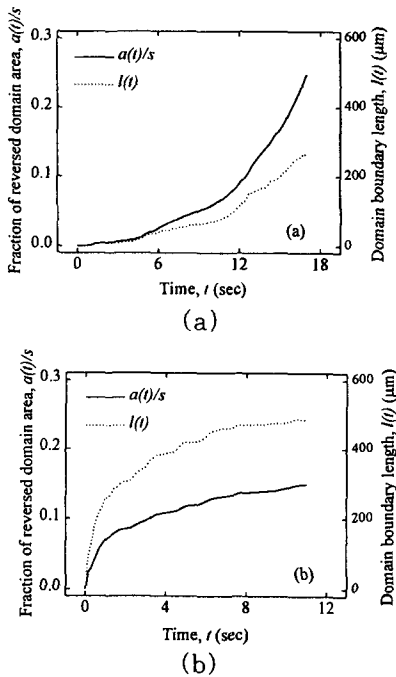


그림 2. 역전된 자구 넓이 a와 자구경계 길이 l

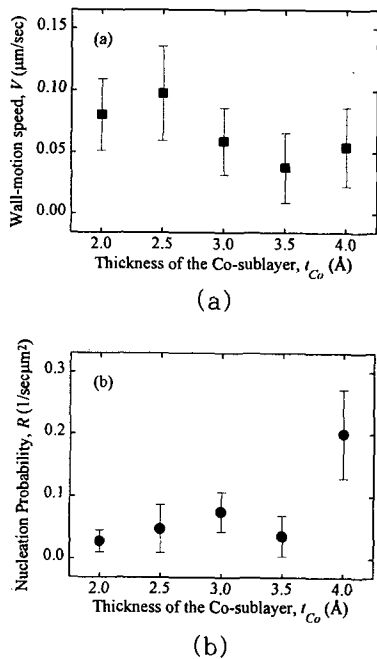


그림 3. 자구벽 이동속력 V와 핵형성 확률 R

( $\pi/4$ )을 곱하여 보정하여야 한다. 그림 2는 Co층의 두께가 2.0 Å인 시료(a)와 Co층의 두께가 4.0 Å인 시료(b)의 시간에 따른 자구 넓이 a와 자구경계 길이 l이다. 그림 2의 자구 넓이 a와 자구경계 길이 l을 이론에서 유도된 식에 대입하여, 자구벽 이동속력 V와 핵형성 확률 R를 구할 수 있다. 이때, 핵형성된 원형자구의 반경은 측정가능한 최소자구 크기 즉, cell의 1/2 크기 (= 82 nm)로 주었다.

자화역전이 진행되면서 자구벽 이동속력 V와 핵형성 확률 R은 모두 감소한다. 이는 역전된 자구의 넓이가 증가하면서 자기지움장(demagnetizing field)이 외부자장의 방향과 반대로 증가하므로, 실제 자기박막에 작용된 자기장의 세기가 감소되었기때문에 발생하는 현상으로 이해할 수 있다. 이러한 자기지움장에 의한 현상을 최소화 하기 위하여 10 % 미만의 자화역전에 대한 자구벽 이동속력 V와 핵형성 확률 R의 평균값을 구하여 그림 3에 도식하였다. 자구벽 이동속력의 값은 Co층의 두께에 대해 크게 변하지 않으나(그림 3-(a)), 핵형성 확률은 Co층의 두께가 증가함에 따라 10배 이상 증가하였다(그림 3-(b)).

#### 4. 결론

본 연구에서는 원형자구 모델을 이용하여 자화역전되는 자구형상을 정량분석하는 새로운 방법을 개발하였다. 개발된 정량분석 방법을 이용하여 Co/Pd 다층박막의 자화역전을 분석하였으며, Co/Pd 다층박막은 Co층의 두께에 따라 핵형성 확률이 크게 변화하여 자화역전의 형상을 결정지음을 확인하였다.

#### 5. 참고문헌

1. J. Pommier, P. Meyer, G. Ponissard, J. Ferre, P. Bruno, and D. Renard, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 2054(1990).
2. J. X. Shen, R. D. Kirby, Z. S. Shan, D. J. Sellmyer, and T. Suzuki, *J. Appl. Phys.* **73**, 6418(1993).
3. E. Fatuzzo, *Phys. Rev.* **127**, 1999(1962).
4. M. Labrune, S. Andrieu, F. Rio, and P. Bernstein, *J. 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. 최석봉, 신성철, *응용물리* **9**, 674(1996).
7. S.-B. Choe and S.-C. Shin, *J. Appl. Phys.*, to be published(1997).