

### Cu/Ni/Cu (001) 시스템에서 변형력(strain)에 의하여 유도된 in-plane magnetization

연세대학교 초 미세 표면연구센터 물리 및 응용물리 사업단  
이재용\*, 황현미, 유동균, 박현순, 정광호

한국과학기술원  
김태곤, 송중환

Atomic-scale Surface Science Research Center and Institute of Physics and Applied Physics, Yonsei University

J. Lee\*, H. M. Hwang, D. G. You, H. S. Park and K. Jeong

Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology, Cheongryang, P.O. Box 131, Seoul 130-650,  
South Korea

T. G. Kim and J. H. Song

#### 1. 서론

적층 성장된 Cu/Ni/Cu(001)샌드위치 구조는 Ni 박막의 두께에 따라서 두 번의 자화용이축의 변화(in-plane→perpendicular→in-plane)를 보인다고 알려져 있는데,얇은 두께에서 in-plane 자화 용이축을 갖는 이유에 대해서는 상반된 의견이 존재한다.<sup>1,4</sup> 즉 Cu와 Ni 접촉면에 의해 발생된 Néel-type interface anisotropy ( $K^s$ ) 의 부호와  $k^{eff} t$  그래프 peak point 의 해석이 다르다. 한 의견은  $K^s$  의 부호가 음수이어서 in-plane 자화 용이축을 선호하며, misfit dislocation이 일어나 변형력이 감소하는 critical thickness( $t_c$ ) 와  $k^{eff} t$  그래프 peak point 가 서로 일치한다고 주장한다. 또 다른 의견은  $K^s$  의 부호가 양수이어서 perpendicular 자화용이축을 선호하고, surface magnetoelastic anisotropy( $B^{eff}$ ), second-order bulk magnetoelastic anisotropy( $D_b$ ) 가 얇은 두께에서 in-plane magnetization 을 유도하기 때문에  $t_c$ 와  $k^{eff} t$  그래프 peak point 는 서로 관계가 없다고 주장한다. 따라서 본 논문에서는 Cu/Ni( $t=25 \text{ \AA} \sim 65 \text{ \AA}$ )/Cu(001) 에 대한 이온 조사 결과 분석<sup>5</sup> 과 자기 이방 상수를 구해봄으로써  $K^s$  의 부호가 양수이며  $t_c$ 와  $k^{eff} t$  그래프 peak point 는 서로 관계가 없음을 보일 것이다. 그리고 Cu/Ni/Cu(001)에서 변형력에 의하여 in-plane이 유도된다는 사실을 재확인해 볼 것이다.

#### 2. 실험

HF(hydrogen fluoric acid) 처리된 Si(001) 기판 위에서 초고진공 챔버 안에서 열과 전자빔 증착 방법으로 Cu/Ni/Cu(001) 박막을 적층 성장 하였다. 시료의 구조를 확인해보기 위해서 *in-situ* 에서 Reflection high energy electron diffraction (RHEED)패턴을 보았고, *Ex-situ* 에서 x-ray diffraction (XRD) 측정을 하였다. 이온주입은 1 MeV  $C^+$  빔을 사용하였고, emission current은 400 nA/cm<sup>2</sup> , ion dose 은  $2 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ 을

유지하며 실험하였다. 한편, 시료의 자기적 특성을 조사하기 위하여 polar magneto-optic Kerr effect (MOKE) 을 사용하였고, 자기이방상수를 구하기 위하여 특별한 polar MOKE set up을 하였다.

## 2. 실험결과 및 고찰

이전에 실험을 통해<sup>7</sup> Cu/Ni( $t=15 \text{ \AA} \sim 300 \text{ \AA}$ )/Cu (001) 의 자화 용이축을 관찰해 보았는데,  $t=15 \text{ \AA}$  에서는 in-plane 자화 용이축을 가지고,  $t=20 \text{ \AA} \sim 65 \text{ \AA}$  까지는 100% 수직 방향의 자화 용이축을 가지고  $t=65 \text{ \AA}$  이상에서는 점점 in-plane 를 선호함을 확인했다. 이런 perpendicular magnetization anisotropy(PMA) 를 가지는 Ni박막( $t > 30 \text{ \AA}$ )에 이온 조사한 결과<sup>6</sup>, 변형력이 크게 줄어서 in-plane 자화용이축을 가졌는데, 30  $\text{\AA}$  두께의 얇은 Ni 박막은 여전히 PMA를 나타내어  $K^s$ 이 양수임을 알아내었다. 한편 변형력의 감소를 확인해보기 위하여 XRD 을 이용하여 Ni( $t=20 \text{ \AA} \sim 65 \text{ \AA}$ ) 박막을 조사하였는데, 변형력은 단조감소하였고,  $1/t$  법칙을 잘 만족하였다.  $t_c$ 와  $K^{eff}$   $t$  vs  $t$  그래프의 peak point 관계를 기존의 결과<sup>1,3</sup> 와 비교해보기 위하여, 자기이방상수를 fitting 를 통해 구해보았는데,  $t_c$  와 peak point 가 일치 하지 않아 Bochi 의 주장<sup>3</sup> 에 동의하는 결과가 나왔다.

## 4. 결론

Cu/Ni/Cu (001) 시스템에서 spin-reorientation transition 을 연구하였다. 이 박막에 1 MeV  $C^+$  빔을 이온조사하면 변형력이 감소하게 되는데, Cu/30  $\text{\AA}$  Ni/Cu (001) 에서는 수직 자기이방성이 관찰되었다. 이로부터  $K^s$ 의 부호가 양수임을 알 수 있다. 또한 특별한 polar MOKE set-up으로 부터  $K^{eff}$   $t$ 에서 peak point를 가지는 Ni 박막의 두께가 misfit dislocation이 생기는 critical thickness 와 무관함을 알아내었다. 그러므로 Ni 박막이 얇은 두께에서의 in-plane magnetization 은  $K^s$  에 의해서가 아니라 변형력에 의한 것임을 확인하였다.

## 3. 참고문헌

- [1] R. Jungblut, M. T. Johnson, J. aan de Stegge, A. Reinders, and F. J. A. den Broeder, J. Appl. Phys. 75,6424 (1994).
- [2] B. Schulz and K. Baberschke, Phys. Rev. B 50, 13 467 (1994).
- [3] G. Bochi, H. J. Hug, D. I. Paul, A. Moser, I. Parashikov, H.-J. Gu'ntherodt, and R. C. O'Handley, Phys. Rev. Lett. 75, 1839 (1995); G. Bochi, C. A. Ballentine, H. E. Inglefield, C. V. Thompson, and R. C. O'Handley, Phys. Rev. B 53, R1729 (1996).
- [4] K. Ha and R. C. O'Handley, J. Appl. Phys. 85, 5282 (1999).
- [5] M. C. Sung, D. G. You, H. S. Park, J. C. Lee, S. Y. Je, I. S. Kim, J. Lee, C. N. Whang, S. Im, K. Jeong, T. G. Kim, J. S. Yang, and J. H. Song, J. Appl. Phys. 90, 2036 (2001)
- [6] T. G. Kim, M. C. Sung, I. S. Kim, D. G. You, J. Lee, K. Jeong, G. Y. Jeon, C. N. Whang, Y. H. Shin, J. H. Song, submitted.;
- [7] H. M. Hwang et al., submitted