

# MAGNETIC PROPERTIES OF THERMALLY ANNEALED (Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> THIN FILMS

Hanyang University

K.K. Kim\*, C. K. Kim, C. S. Yoon, S. J. Kim

## 1. 서론

Granular ferromagnets는 non-magnetic maxtrix 안에 nanometer-sized의 ferromagnetic grain들 구성된다.

Co-Cu, Co-Ag, Fe-Ag, NiFe-Ag<sup>1</sup>을 포함하는 이미 알려진 다른 Granular 금속 합금들의 giant magnetoresistance에 관계하여 Granular ferromagnets에 대해 조사하였다. Bulk 상태의 NiFe와 Mn 혼화되기 쉽다.<sup>2</sup> 그리고 Mn은 열처리된 다층박막의 NiFe의 lattice에 쉽게 수용되어진다.<sup>3</sup> 이번 실험에서는 metastable한 fcc solid solution NiFe-Mn 박막이 열처리 하에서 NiFe과 Mn으로 분리되었다. 이 열처리된 박막이 magnetoresistance를 측정할 결과 inverse magnetoresistance를 보여주었다.

## 2. 실험 방법

Si(100) 기판에 열처리시 silicide의 형성을 막기 위하여 10 Å 정도의 Ta underlayer를 증착 한후 150~200 Å의 두께의 (Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 박막을(0.05 < x < 0.6) 상온에서 Dc magnetron sputtering을 이용해서 증착하였고 sputtering 조건은 base pressure 5×10<sup>-5</sup> Pa, sputtering pressure 0.4Pa, 15sccm Ar, 100 Å/min의 deposition rate였다. 그리고 각기 다른 Mn의 조성을 얻기 위하여 NiFe sputtering target 위에 여러개의 Mn 칩(Aldrich, 99.98%)을 모자이크 형식으로 올려 놓고 증착을 하였다. (Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 박막의 Mn의 분율을 알아보기 위해 X-ray Fluorescence(XRF)와 Energy Dispersive X-ray spectroscopy(EDS)를 이용하였다.

그리고 이 박막을 10<sup>-5</sup> torr의 진공상태에서 400°C로 3시간 동안 열처리를 하였고 TEM(200kV, JEOL 2010, Japan)을 이용하여 Micro structure를 분석하였고 MR측정 장비를 이용하여 MR을 측정 하였고 Vibrating sample magnetometer를 이용하여 상온에서 열처리 전의 시편과 열처리 후의 시편들의 Magnetic hysteresis loops를 측정 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

(Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 박막의 saturation magnetization(Ms)값의 열처리전과 열처리 후의 값의 변화는 Fig.1과 같다. Mn의 조성이 증가 함에 따라 saturation magnetization(Ms)값이 따라서 줄어들게 된다. 이러한 경향은 bulk 상태의 유사한 조성의 Ni-Fe-Mn 합금의 Ms값이 Mn의 첨가량에 따라 줄어든다는 것과 일치한다.<sup>2</sup> 그런데 Fig. 1. 으로부터 (Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 박막이 열처리를 함에 따라 magnetization을 다시 회복하게 된다. x>0.3 이상의 (Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>)<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> 박막에서의 흥미있는 사실을 발견할 수 있는데 열처리 전에는 antiferromagnetic으로 보여지던 박막이 400°C에서의 열처리후에는 ferromagnetic의 성향을 띠게 된다. 이러한 Mn의 분율이 0.3이상의 근처에서 열처리된 박막의 Ms값이 Fig. 1.와 같이 Mn의 분율의 증가와 관계없이 일정하게 하게 된다. 400°C에서 열처리후의 이러한 결과는 합금 박막의 상이 NiFe과 Mn의 상으로 분리 되었다는 것을 보여준다.

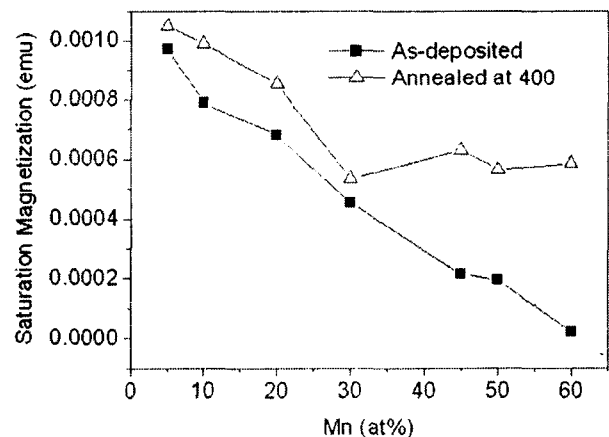


Fig. 1. Saturation magnetization vs. at% Mn content before and after annealing at 400°C

열처리전 박막의 electron diffraction pattern은 꽤 높은 Mn의 조성에서도 NiFe(111)의 패턴을 보이며 permalloy의 fcc lattice를 유지하고 Mn(330)의 peak가 small grain size와 불균일한 합금에 의해서 일어날수

있는 strains 에 의해 넓어지게 된다. Fig. 2 는 400°C 에서 열처리된  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$  의 electron diffraction pattern 으로써 Mn 의 perak 를 보여준다. ( 화살표) Mn 의 분리된 상은 Fig. 2.로 부터  $\alpha\text{-Mn}$  에 관련된 peaks 로써 명백히 보여진다. Mn 의 분율이 늘어감에 따라 diffraction pattern 안의 discontinuous 한 링들에 의 해서 열처리된 박막이 crystallographic texture 형성되기 시작 했다는 것이 명백하다. Texture development 는 volume expansion 과 phase separation 으로부터 생겨난 박막의 stain 으로부터의 subsequent development 의 결과라 할 수 있다.

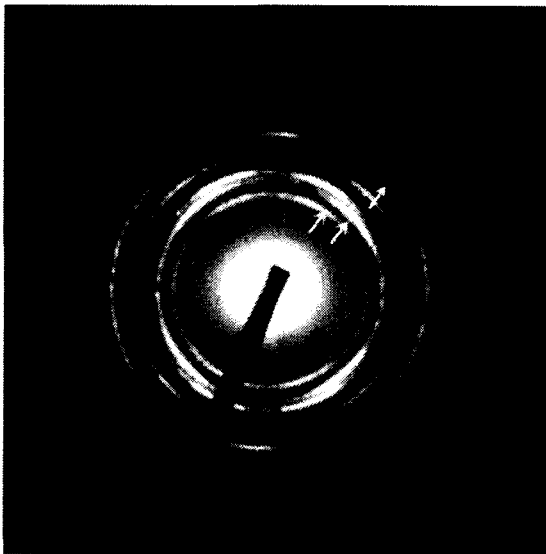


Fig.2. Annealed at 400°C  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$  Electron diffraction pattern

열처리한 박막의 Bright field TEM image Fig.3. 으로부터 다음과 같이 phase separation로 인하여 grain들의 coarsening 을 방해되고 그로인해 400°C에서 3시간 동안 열처리된  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$  의 grain size가 10 nm 이하가 되었음을 보여준다.

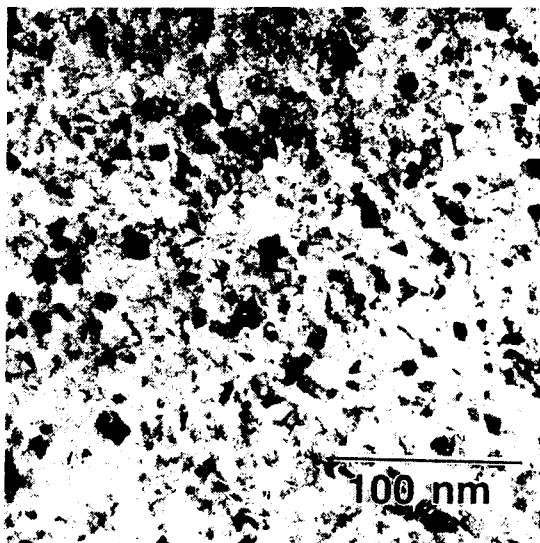


Fig.3. Bright field image of the  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$

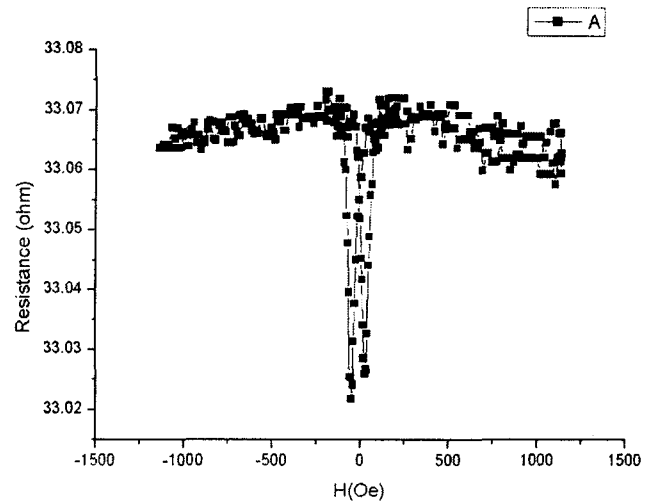


Fig.4. Annealed at 400°C  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$  Magneto resistance curve

#### 4. 결론

박막의 phase separated structure 는 granular magnetic alloy 와 비슷하게 되고 Fig. 4. 으로부터 low fields 에서 0.5%의 inverse magnetoresistance를 보이게 된다. Phase stability 가 예상됨에도 불구하고 열처리된  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Mn}_x$  합금의 박막은 400°C 이상에서 열처리될때 discontinuous granular structure 로 분리되어 지고 inverse magnetoresistance 의 거동을 보여지게 된다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] A.E. Berkowitz, J. R. Mitchell, M.J. Carey, et al, Phys. Rev. Lett. **68**, 4593 (1997); A. Tsoukatos, H. Wan, G.C. Hadjipanayis, K.M. Unruh, Z.G. Li, J. Appl. Phys. **73**, 5509 (1993); J.S. Jiang, J.Q. Xiao, C. L. Chien, Appl. Phys. Lett. **61**, 2362 (1992); M. Kitada, K. Yamamoto, N. Shimizu, J. Magn. Magn. Mater. **124**, 243 (1993).
- [2] R. M. Bozorth, *Ferromagnetism* (D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, NJ, 1963), p.180.
- [3] J. B. Youssef, D. Spenato, H. L. Gall, J. Ostorro, J. Appl. Phys. **91**, 7239 (2002).1231