

NiFe 박막의 표면형상과 자기특성

Surface Morphology and Magnetic Properties of NiFe Thin Films.

이원재, 백성관, 민복기, 송재성, 김현식, 이동윤
W.J.Lee, S.K. Paek, B.K.Min, J.S.Song, H.S.Kim, D.Y.Lee

Abstract

The correlation of surface morphology and magnetic property of NiFe thin films on Si(001) deposited by RF-magnetron sputter has been investigated, using AFM, XRD and MR measurements. During short field annealing for 15 min, there was no significant change in XRD patterns of NiFe thin films. However, the degree of surface roughness was changed with increasing annealing temperature. With variation of surface roughness, there was significant difference in MR characteristics of NiFe thin films. In the case of as-deposited NiFe thin films($T_G = 150^\circ\text{C}$) and UFA400 ($T_A = 400^\circ\text{C}$) having smooth surface, good linearity of MR Curve was observed.

Key Wards(중요용어) : NiFe, surface morphology, magnetic property, annealing

1. 서 론

최근, 정보화사회가 발전함에 따라 전기전자기기, 사무기기 등이 사용되는 각종 분야에 있어 정보를 컴퓨터를 통해서 직접 입력하는 수단으로서 각종 센서의 중요성이 대두되고 있다. 그 중에서 자기센서는 전류, 위치, 변위, 속도, 가속도, 온도, 방향 등을 자계로 변환시키고 최종적으로 전기신호로 바꾸게 된다. 여기서 자기소자는 원리와 구조에 있어 비교적 단순하기 때문에 널리 사용되고 있다¹⁾.

자기센서에 의한 검출자계는 $10^{-4} \sim 10(\text{A/m})$ 의 범위에 속한다. 종래부터 사용되고 있는 것은 InSb, CoNi 합금이지만 온도특성이 우수한 NiFe계열이 현재 사용되고 있다. NiFe 합금은 CoNi 합금에 비하여 MR비는 낮지만, 자기이력(hysteresis) 특성이 우수하며, 고투자율을 가지고 있다²⁾.

따라서 본 연구에서는 NiFe합금을 이용하여 NiFe 박막을 자기센서 소자로 적용하기 위해 자왜가 없는 조성인 Ni₈₁Fe₁₉(wt%)의 타겟트를 사용하여 균일한 박막조성 및 증착특성을 갖는 RF 마그네트론 스퍼터링 증착법으로 약 2000Å의 박막을 Si(001) 위에 증착하여 1kOe의 자장중에서 열처리를 하여 박막의

표면형상 및 전자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 NiFe 박막을 제조하기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하였으며, Ni₈₁Fe₁₉(wt%)의 조성을 갖는 합금 타겟트를 직경이 4" 인 NiFe 합금을 챔버 내에 장착하여 (001)방향으로 배향된 Si-wafer 위에 초기 진공도는 3×10^{-6} torr 이하로 하고, Ar 유량을 18.5cc/min으로 일정하게 유지한 상태에서 2000Å 정도의 두께로 증착하였다.

또한 증착한 시편의 열처리에 따른 특성 변화를 관찰하기 위하여 진공 열처리 장치를 이용하여 진공도를 10^{-6} torr 이하로 한 후, $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도로 300, 400°C의 온도에서 15분 동안 1kOe의 자장을 인가하여 회전자장 열처리(rotating field annealing, RFA)와 일방향자장 열처리(unidirectional field annealing, UFA)를 행한 후 fan을 이용하여 강제로 상온까지 냉각시켰다. 자기저항(MR)장비를 이용하여 증착된 박막의 전자기적 특성을 조사하였다.

그리고, x-선 회절분석기(x-ray diffractometer)를 이용하여 열처리 온도에 따른 박막의 결정구조를 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

열처리 온도에 따른 상변화 및 미세조직을 관찰하

한국전기연구소 박형 전기소자 T.F.T
(경남 창원시 성주동 28-1,
Fax: 0551-280-1590
E-mail : wjlee@keri.re.kr)

기 위하여 2000Å 두께로 증착된 NiFe 박막을 자장 중 RFA(rotating field annealing)과 UFA(unidirectional field annealing) 열처리를 하였다. RFA와 UFA한 박막을 XRD 분석한 결과 회절피크의 강도 변화가 크게 다르지 않았다. 따라서, RFA 열처리한 시편의 XRD 분석 결과만을 그림 1에 나타내었다.

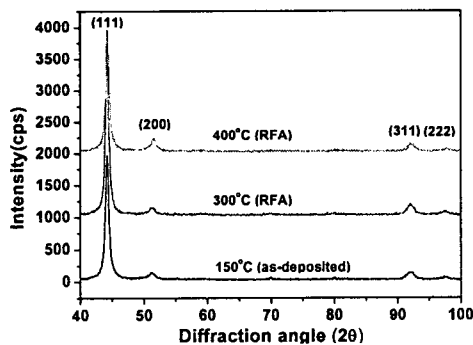


Fig. 1. Changes in XRD patterns of NiFe thin films as a function of annealing temperature

As-deposited와 300°C, 400°C로 열처리한 경우 NiFe 박막은 30° ~100°의 2θ 범위 내에서 (111), (200), (311), (222) 회절 peak가 존재함을 알 수 있었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 반가폭이 거의 변화가 없는 것으로 보아 결정립 크기의 변화는 거의 없는 것으로 보인다.

(111) 회절면의 강도가 다른 회절면 (200), (311), (222)에 비해 큰 것으로 보아 박막이 성장할 때 (111) 조밀면을 따라 우선 증착되었음을 알 수 있다. 그 이유는 박막증착시 에너지적으로 최소화되는 면 즉, broken bond 수가 적은 면을 따라 박막성장이 일어나게 되는 데 NiFe의 경우는 결정구조의 조밀면이 (111)면이므로 이 면을 중심으로 집합조직이 형성되었기 때문이다.

위 XRD 결과에서 보면, 열처리 시간이 짧아 결정립의 성장으로 회절면의 강도들의 상대적 크기변화는 일어나지 않았으며, 반가폭의 변화가 거의 없었다. 따라서, 본 연구의 열처리 조건에서는 결정학적 미세조직의 변화로 자기물성의 변화를 기대하기 어려운 것으로 판단된다.

그림2, 3는 열처리 온도에 따른 박막의 표면 형상 및 평균 조도 값의 변화를 측정된 결과이다.

Fig. 2. Surface morphologies of NiFe thin film as a function of annealing temperature and annealing method

As-deposited의 경우에는 박막 표면이 비교적 평탄하였으나 열처리 온도가 증가함에 따라 표면조도가 증가하였다. 그 결과 RMS는 0.64에서 1.32 Å까지 변화하였다.

좀더 상세하게 표면의 평탄도를 비교하기 위하여 박막표면 형상의 line-profile을 한 결과를 그림 3에 나타내었다. As-deposited의 경우는 표면형상의 진폭이 열처리한 나머지의 경우보다 상당히 낮아 평탄한 편이나, RFA 열처리한 경우는 표면형상의 진폭이 상대적으로 높고, 300°C의 경우 보다, 400°C의 경우가 표면형상 파장이 길어지고 있다. UFA 300°C의 경우는 as-deposited의 경우보다는 표면형상의 진폭이 다소 증가하여 표면의 골이 약간 깊게 파여졌다. 하지만 UFA 400인 경우 RFA 300과 400보다 표면형상의 진폭이 낮아진 반면 파장이 짧아졌다. 열처리에 따른 상술한 표면형상 변화가 후술하는 MR-curve의 모양에 영향을 준 것으로 판단된다.

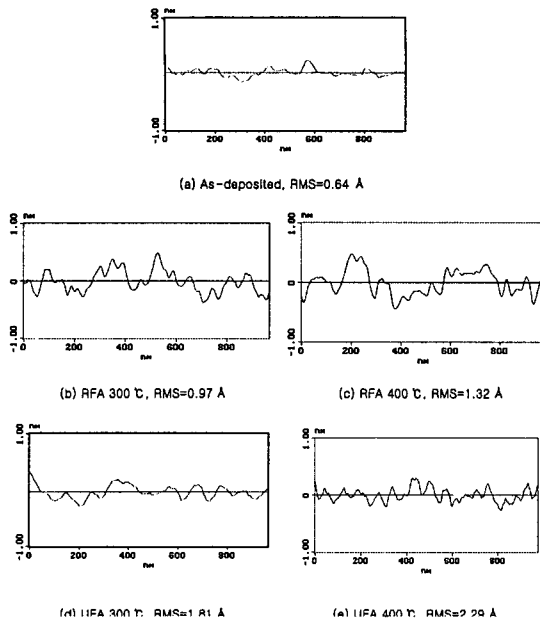


Fig. 3. Line profiles of the surfaces of NiFe thin films as a function of annealing temperature and annealing method.

그림4는 FeNi(2000 Å)/Si(001) 박막의 자기저항곡선을 나타낸 것이다. As-deposited의 경우 뚜렷한 MR비의 변화가 $\pm 100\text{e}$ 내에서 나타났으나, 알려진 MR비(약 2%) 보다 낮은 것은 첫째, 구조적 결함(결정립계, 불순물)때문에 전자산란이 일어나게 되고, 둘째, 박막내와 박막의 평면으로부터 자화벡터회전의 용이정도에 따라 전자산란에 영향을 주기 때문으로 판단된다. RFA의 경우에도 MR비가 낮아졌고, 외부 자장에 대하여 자기저항이 완만하게 변화하였다. 이것은 짧은 열처리시간으로 인하여 내부 결함들이 완전히 제거되지 않은 상태에서 표면의 거칠기가 증가되어(그림3 참조) 표면에서 자구의 이동방해로 이러한 MR 특성을 나타내는 것으로 보여진다.

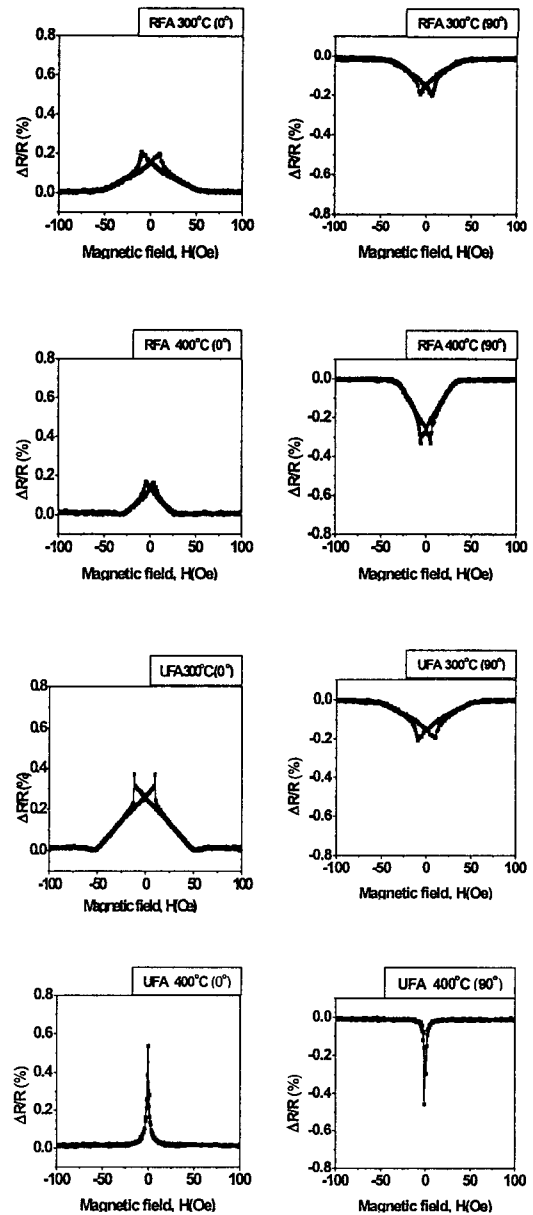
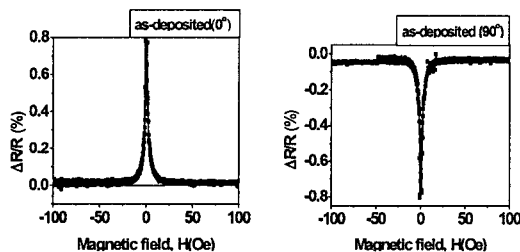


Fig. 4. MR curves of the surfaces of NiFe thin films as a function of annealing temperature and annealing method.

UFA 300°C, 400°C의 경우도 as-deposited (증착기판 온도, 약150°C) 보다 MR비가 낮아졌다. UFA 300°C, 400°C의 경우도 as-deposited (증착기판 온도, 약150°C) 보다 MR비가 낮아졌다. 300°C의 경우 외부 자장에 대하여 자기저항이 완만하게 변화하지만

선형성이 뛰어난 구간을 $\pm 500\text{e}$ 에서 나타냈다. 그러나, 400°C 에서, $\pm 500\text{e}$ 구간에서 뚜렷한 MR변화를 나타내었다. 이것은 표면형상에 있어(그림3 참조) 자구를 고착시킬 만한 표면형상진폭의 변화가 없기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

RF-마그네트론을 사용하여 NiFe박막을 제조하고, 자기저항 소자로 응용하기 위하여 열처리온도, 열처리방법에 따른 박막표면형상과 전자기적성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 표면조도(RMS)값은 as-deposited는 약 0.7\AA 정도이고, 열처리온도가 증가함에 따라 변화하였다.

2) 박막시편의 응력제거와 이방성 제어를 위해 열처리를 300°C , 400°C 온도별로 행한 결과 as-deposited(150°C)의 시편에서 선형성이 우수한 MR curve를 얻었다.

3) 열처리로 인하여 표면형상을 제어함으로써 MR 특성과 선형성을 변화시킬 수 있었다.

참고 문헌

- [1]. N. Shimizu, M. Endoh, S. Kurashima, magnetic sensor and its applications, Fujitsu, 40, pp235-241, 1989, 1.
- [2]. Th. G. S. M. Rijks *et al*, "Semiclassical calculation of the anisotropic magnetoresistance of NiFe-based thin films, wires, and multilayers", Phys. Rev. B, Vol. No.1, pp283-291, 1995. 1.