

# CoFe/Au 다층나노선의 합성 및 자기적 특성 분석

윤승재<sup>1\*</sup>, 김봉건<sup>1</sup>, 전인택<sup>2</sup>, 김승현<sup>1</sup>, 김영근<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 공과대학 신소재공학과, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

<sup>2</sup>생체응용나노결정융합연구단, 고려대학교, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

## 1. 서 론

최근 많은 관심을 받고 있는 다기능 나노선은 하나의 나노구조체 내에 두 가지 이상의 기능을 가짐으로써 그 넓은 응용분야 가능성에 이목이 집중되고 있다.[1] 특히, 자성 기능과 광학적 기능을 가진 다층나노선의 경우 미래 유망 기술 분야인 생체 분리 및 검지, 치료 등의 생물학적 적용이 가능하다.[2] 본 연구에서는 자성 재료인 코발트-철(CoFe) 합금과 광학적 기능 부여가 가능한 금(Au)을 이용하여 다층 구조 나노선을 합성하였으며, 더 나아가 CoFe 자성 층의 성분 함량 변화에 따른 자기적 성질을 분석하였다.

## 2. 실험방법

CoFe/Au 다층 나노선은 전기화학법을 기초로 하여 펄스-전기도금법을 이용하여 제작되었다. 나노미터 크기의 균일한 기공으로 가지는 양극산화알루미늄(AAO) 나노템플릿을 활용하였으며, 상온에서 일욕(One-bath) 내에 합성하고자 하는 서로 다른 성분이 든 원료를 넣어 순차적으로 서로 다른 크기의 전류를 가해줌으로써 다층 나노선을 합성하였다. 합성된 나노선은 SEM, TEM, XRD 그리고 VSM을 통해 구조적 및 자기적 특성을 측정하였다.

## 3. 실험 결과

그림 1에서는 TEM-EDX를 이용하여 CoFe/Au 다층 나노선의 형상과 각 원소의 존재, 그리고 XRD를 통한 결정 구조를 살펴보았다. 그림 1 (a)를 보면 고배율 TEM 이미지를 통해 견고하고 매끄러운 나노선의 형태와 선명하게 나타난 각 층의 표면을 통해 매우 고균질의 다층 나노선이 전착되었음을 알 수 있다. 그림 2에서는 VSM을 활용하여 CoFe/Au 다층 나노선의 자기적 성질을 hysteresis curve를 통해 알 수 있으며, Co<sub>35</sub>Fe<sub>65</sub>/Au (Fe-rich), Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>/Au (CoFe even), Co<sub>68</sub>Fe<sub>32</sub>/Au (Co-rich)의 세 가지 다른 조성을 가진 나노선의 자성 변화를 확인할 수 있었다.

## 4. 고 찰

CoFe 합금은 성분의 넓은 범위에서 bcc 구조를 가지며 (110) 방향의 결정성이 우수한 것으로 알려져 있다. 그림 1 (b)의 XRD를 통한 결정 구조 분석 결과를 보면 앞의 설명과 같은 방향성과 결정 구조를 보여주고 있으며, Au의 경우 일반적인 (111) 방향의 fcc 결정 구조가 유도 된 것을 알 수 있다. CoFe/Au 다층 나노선의 자기적 특성의 경우, hysteresis curve를 통해 연자성을 띄며 가해지는 자기장의 방향에 따라 용이축(easy-axis)이 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 나노선의 구조적 특징인 높은 종횡비에 의한 자기형태이방성(shape anisotropy) 현상의 영향으로 볼 수 있으며, 본 실험에서 용이축 방향은 나노선의 축 방향과 평행하고 있다. CoFe/Au 다층 나노선의 자기적 수치들을 보면  $H_c = 20-200$  Oe,  $M_s = 1100-1700$  emu/cm<sup>3</sup>이며, 특히 자기 포화( $M_s$ ) 값들은 문헌 자료를 통해 확인한 bulk 값 보다는 약간 작으나 그 크기의 경향성은 Slater-pauling curve 결과와 일치하는 Fe-rich, CoFe even, Co-rich의 순서로 잘 부합하는 것을 확인 하였다.[3]

## 5. 결론

나노템플릿 기반의 펄스-도금법을 사용하여 CoFe/Au 다층 나노선을 합성하였고, 구조적 및 자기적 특성을 SEM, TEM, XRD 그리고 VSM을 통해 관찰하였다. XRD 패턴 분석에서 CoFe은 (110) 방향성을 갖는 bcc 결정 구조를, Au는 (111) 방향성의 fcc 결정 구조가 확인되었다. 자기적 특성으로는 연자성과 자기형태이방성에 의한 용이축 변화를 띠며, 용이축은 나노선에 평행한 방향이다. 또한 CoFe 조성 변화에 따른 자기적 수치들의 차이를 확인하였고, 특히 자기포화값은 Fe-rich의 경우 가장 높게 관찰 되었다. 본 연구는 특성 조절이 가능한 자성 재료와 광학적 기능 부여가 용이한 재료로 다층 나노선을 합성함으로써 생체 분리 및 검지, 치료 분야에 응용 가능성을 향상시킬 수 있었다.

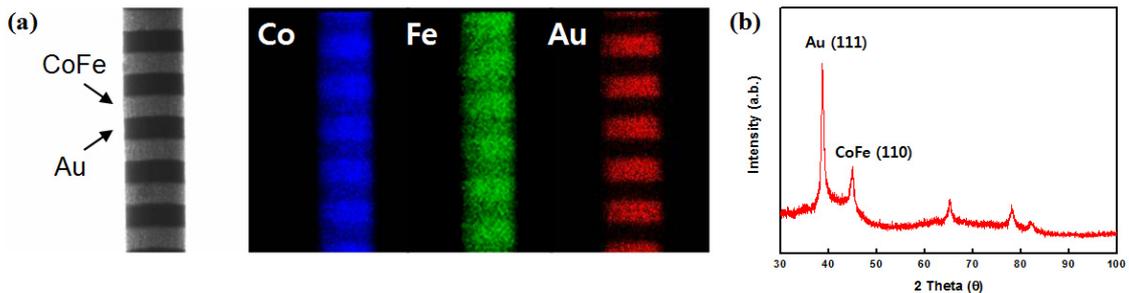


그림 1. CoFe/Au 다층나노선의 (a) TEM-EDX를 통한 고배율의 나노선 형상과 각 성분에 따른 elemental mapping 이미지, 그리고 (b) XRD를 이용한 결정 분석 결과.

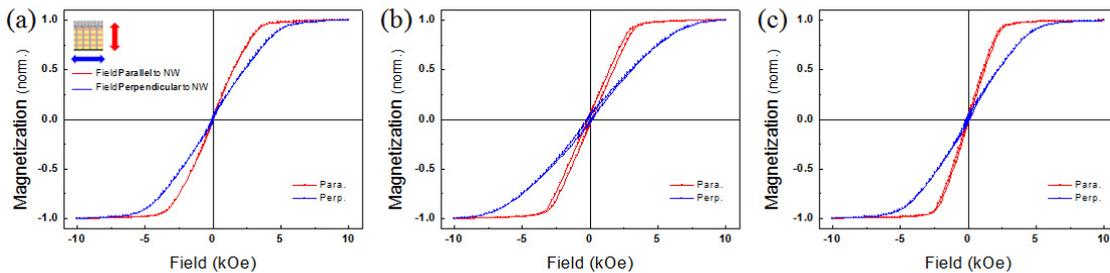


그림 2. CoFe 조성에 따른 hysteresis curve 그래프 (a)  $\text{Co}_{35}\text{Fe}_{65}/\text{Au}$  (Fe-rich), (b)  $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}/\text{Au}$  (Co Fe even) and (c)  $\text{Co}_{68}\text{Fe}_{32}/\text{Au}$  (Co-rich).

## 6. 참고문헌

- [1] S. E. Brunker, K. B. Cederquist and C. D. Keating, *Nanomedicine*, 2, 5, 695 (2007)
- [2] J. H. Lee, J. H. Wu, H. L. Liu, J. U. Cho, M. K. Cho, B. H. An, J. H. Min, S. J. Noh and Y. K. Kim, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46, 3663 (2007)
- [3] B. D. Cullity and C. D. Graham, *Introduction to magnetic materials*, 2nd ed. (IEEE/ Wiley, Hoboken, N.J., 2009)