

# Ni-Au 다층 나노선의 합성 및 자기적, 광학적 성질

서효원<sup>1\*</sup>, 안부현<sup>1</sup>, 조문규<sup>1</sup>, 박범철<sup>1</sup>, 김영근<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>미래유망 파이오니어 생체응용 나노결정 융합연구단, 서울특별시 성북구 안암동 5-1, 136-713

## 1. 서론

지난 수 년 동안 복합나노재료는 나노디바이스의 영역에서 자성, 광학적인 응용을 위한 기초 재료로 각광을 받아왔다. 특히 여러 기능을 동시에 가질 수 있는 다층 나노선은 검지(sensing), 세포 분리(cell separation), 자성 표지(magnetic labelling) 등의 의학적, 생물학적 응용에 활용될 수 있다 [1,2]. 특히 니켈은 나노선의 지름, 형상, 조성 등에 따라 자기 이방성을 나타내므로 자기적 성질의 변화를 관찰할 수 있는 좋은 재료이다. 금 또한 표면 플라즈몬 공명 효과 등을 비롯하여 특징적인 광학적 성질을 나타내고, 생적합성이 뛰어난 물질이므로 니켈-금 나노선은 생의학적으로 높은 활용도를 나타낸다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 니켈, 금의 전구체가 들어있는 단일욕(one bath)으로부터 펄스 전착(pulse electrodeposition) 방법을 이용하여 200 nm의 세공 크기를 가지는 산화 알루미늄 나노틀(AAO) 안에 Ni-Au 다층 나노선을 합성하였다. 이 때 니켈과 금 층의 두께를 각각 달리하여 자성층 및 비자성층의 두께에 따른 자기적 특성을 VSM을 통해 확인하였다. 나노선의 미세구조 및 결정구조는 SEM, TEM, XRD를 통해 측정하였다. 니켈과 금 층에 각각 아민기(-NH<sub>2</sub>)와 싸이올기(-SH)를 부착하고 각각 색이 다른 형광 염료를 수식하였다. 수식된 형광 염료는 공초점 레이저 주사 현미경(confocal laser scanning microscope, CLSM)으로 확인하였다.

## 3. 실험결과

그림 1의 (a)를 통해 자성층과 비자성층 분리가 명확한 Ni-Au 다층 나노선이 잘 합성되었음을 알 수 있다. 그림 1의 (b), (c), (d)의 자기이력곡선은 자성층의 변화에 따라 자화 용이축(easy axis)이 변화되는 것을 확인할 수 있다. VSM은 상온에서 측정되었으며, 자기장은 다층 나노선 축에 수직인 방향과 축에 수평인 방향으로 각각 인가되었다. 비자성층이 없고 순수 니켈로만 나노선이 이루어져 있을 경우, 자화 용이축은 나노선 축에 수평인 방향으로 형성된다. 자성층이 125 nm이고 비자성층이 40 nm인 다층 나노선의 경우 자화 이방성(magnetic anisotropy)은 발현되지 않고, 등방성(isotropic) 성질이 나타난다. 비자성층이 여전히 40 nm이고 자성층이 25 nm로 감소하면 자성층은 지름 200nm, 높이 25nm의 디스크 형태를 갖는다. 따라서 자화 용이축은 나노선 축에 수직인 방향으로 형성된다.

그림 2는 자성층에 아민기를, 비자성층에 싸이올기를 각각 부착한 후, 각각의 작용기에 서로 다른 형광 염료를 수식한 뒤 공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 이미지이다. 잘 분리된 니켈과 금 층에 각각의 형광 염료가 수식되었음을 알 수 있다.

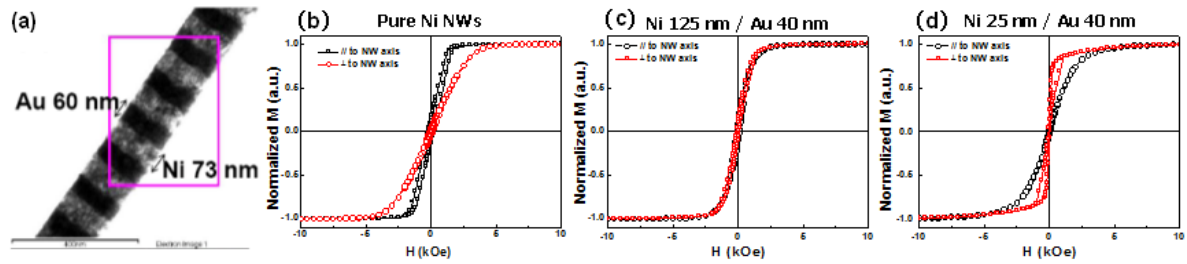


그림 1. (a) 합성된 Ni-Au 다층 나노선의 TEM 이미지, (b)-(d) 자성층과 비자성층 두께 변화에 따른 자기이력곡선

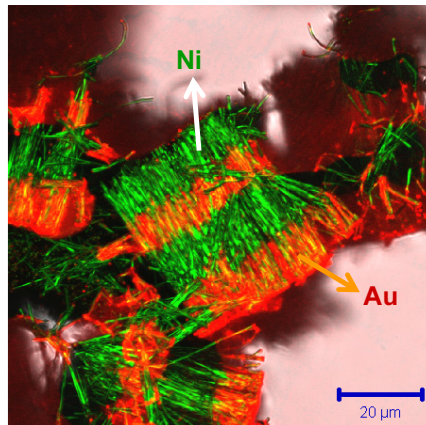


그림 2. 자성층 및 비자성층 각각에 형광 염료가 수식된 CLSM 이미지

#### 4. 고찰

자성층과 비자성층의 두께에 따른 자화 용이축의 변화는 니켈의 형상 자기 이방성을 확인할 수 있는 실험이다. 자성층의 두께가 감소하고 비자성층이 충분히 두꺼우면 자성층간의 상호작용이 줄어들게 되고, 결국 나노선과 수직인 방향으로 자화 용이축이 형성된다. Ni-Au 다층 나노선에 각각 형광 염료를 수식한 결과를 통해 각각의 마디에 서로 다른 단백질을 수식할 수 있는 가능성을 확인하였다.

#### 5. 결론

니켈과 금의 전구체가 들어있는 단일욕에서 펄스전착법을 이용하여 Ni-Au 다층 나노선을 합성하였다. SEM, TEM과 XRD를 통해 니켈과 금이 잘 분리되어 있는 다층 나노선의 미세구조 및 결정구조를 측정하였다. 자성층과 비자성층의 두께 변화에 따라 나노선의 자화 용이축이 변화하는 자화 이방성을 확인하였다. 니켈과 골드 층에 각각 수식된 형광 염료를 통해 Ni-Au 다층 나노선의 생의학적 응용 가능성을 확인하였다.

#### 6. 참고문헌

- [1] J.S. Park, *et al.*, *Nature Nanotechnology*, **4**, 259 (2009)
- [2] J.H. Lee *et al.*, *Angewandte Chemie-International Edition*, **46**, 3663 (2007)