

전착을 이용한 Co 와 Co/Cu 다층박막 나노선 제조 시 외부 자기장 효과
(EXTERNAL MAGNETIC FIELD EFFECT ON PROPERTIES OF Co and
MULTILAYERED Co/Cu NANOWIRES DURING AN ELECTRODEPOSITION PROCESS)

조지웅*, 민지현, 고승필, 김영근
고려대학교 공과대학 신소재공학과, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

1. 서론

금속 나노선은 독특한 물리적, 화학적 특성으로 인하여 자기적특성 및 전기전도 특성에서 흥미로운 특성을 가지고 있다. 특히 다층박막 나노선의 경우 고집적 정보저장장치 및 센서 등으로 응용이 가능하므로 많은 연구가 진행되고 있다. 나노선 제작을 위하여 나노틀을 이용한 전착방법이 있으며 자성 물질과 비자성 물질을 번갈아 증착하여 다층박막 나노선제조가 가능하다. 나노틀의 세공 크기에 따라 수십 nm에서 수백 nm 의 나노선 제조가 가능하며 매우 큰 종횡비를 갖는 나노선 제작이 가능하다. 이러한 다층박막 나노선은 자성층과 비자성층 계면이 장축방향에 대해 수직으로 형성이 되며 면 수직 전류 주입형 자기수송 측정에 응용될 수 있다. 본 연구에서는 직류 전류를 이용한 Co 나노선과 다층박막 나노선의 제조법을 연구하고, 나노선의 자기적 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

30 nm, 50 nm, 200 nm 크기의 나노 기공을 가지는 나노 템플레이트를 제조하기 위해 2단계 양극산화법을 이용하였다. 전해액으로는 0.3 M 의 옥살산을 사용하였으며 40 V 의 전압을 가하였다. 염화수은(HgCl₂) 포화수용액을 이용하여 산화알루미늄층을 분리해내고 barrier layer 를 제거하였다. 순수한 Co 나노선 제작을 위하여 1M 의 Co 이온을 함유한 전해액을 사용하였고, 전류밀도는 -2.5 mA/cm² 로 유지하였다. 다층박막나노선 제작을 위하여 Co 이온과, Cu 이온의 비를 40:1로 유지하였고, 하나의 용기에서 전류밀도를 바꾸어가며 Co/Cu 다층 박막 나노선을 제작 하였다. Co 전착을 하기위하여 -40mA/cm²의 전류밀도를 가하였고, Cu 전착을 위하여 -0.5mA/cm²의 전류밀도를 가하였다. 나노선의 구조와 성분 분석을 위하여 주사전자 현미경과, 투과전자 현미경을 이용하였고, 자성특성 분석을 위하여 시료진동형 자속계를 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

알루미늄의 양극산화 실험을 통해 기공이 균일하게 배열되어 있는 나노 템플레이트를 얻을 수 있었다. 이에 전류밀도와 전해액의 pH를 조절하여 전류밀도를 연속적으로 바꾸어 가며 다층박막 나노선을 제조할 수 있었고 이는 투과전자 현미경의 linscan, mapping 법을 이용하여 각층간의 계면과 성분을 확인할 수 있었다. 각각의 층간 두께 제어를 위하여 전착시간을 조절하였으며, Cu층의 전착 시 Co 층이 전해액속으로 재 용해되는 것을 확인하였으며 균일하고, 정밀한 층간 제어를 위하여 전류밀도와 전착시간을 제어하였다. 그 결과 Fig 1 (a). 과 같은 다층박막 나노선을 제조하였고, 시료진동형 자속계에서 나노선에 수직, 수평하게 외부 자장을 가하며 자기이력 곡선을 분석하였고, 직경이 큰 나노선일 수록 수직,수평방향으로 자기이력 곡선의 차이가 거의 없음을 확인하였다. 또한 전착시 외부자장이 미세구조와 자성특성에 변화를 준다는 것을 확인하였다. 다층박막 나노선의 자기거동은 순수한 Co 나노선의 실험결과에 비하여 자화용이 축 방향이 나노선에 평행한 방향에서 수직인 방향으로 변화한다는 것을 확인하였다.

4. 결론

코발트 나노선의 직경은 30 nm, 50 nm, 200 nm 이고 종 회비가 100으로 동일한 시편으로 자성특성을 분석한 결과, 나노선의 직경이 작을수록 나노선 축 방향으로 자화용이 축을 형성하며 뚜렷한 자기이방성을 보였다. 이는 나노선의 직경이 작아질수록 미세결정구조가, 단결정화 되면서 단자구 구조를 이루기 때문이다. 또한 전해액의 수소이온화 농도가 3.0에서는 면심입방 구조를 형성하고, 수소이온화 농도가 6.5가 될 경우 육방정계 구조를 갖는다는 것이 확인되었다. 면심입방 구조의 코발트일경

우, 결정자기에너지 밀도가 형상자기 에너지 밀도보다 10배정도 작기 때문에 유효 자기이방성은 형상 자기 이방성의 영향을 주로 받게 된다. 반면 육방정계 구조의 코발트일 경우, 결정자기이방성 에너지 밀도가 형상자기이방성 에너지와 비슷해지기 때문에, 유효자기이방성은 이 두 가지 자기이방성의 합으로 표현되게 된다. 유효자기이방성에 영향을 미치는 또 다른 요인은 나노선 사이의 dipole-dipole 상호작용이다. 이 상호작용으로 인하여, 육방정계구조의 코발트 나노선에서 자화용이축이 나노선축에 수직인 방향으로 형성된다는 것이 확인되었다.

또한 코발트 나노선 제조 시 외부에서 자장을 인가하게 되면, 나노선의 자성특성이 변화하게 되는데, 이는 전착과정에서 인가된 외부자장이 자기유체역학에 영향을 주어, 금속이온의 화학적 전위에 영향을 주게 되고, 결정성장도 달라지게 되는 것으로 판단된다.

이러한 실험결과는 코발트 / 구리 다층박막 나노선의 경우에도 적용될 수 있다. 면심입방구조의 코발트 / 구리 다층박막 나노선의 경우, 코발트 자성층이 비자성층 구리층으로 인해 분리가 되어있으므로, 하나의 코발트 층의 자화용이 축에 따라, 전체 다층박막나노선의 자화용이 축이 결정되었다. 코발트 / 구리 다층박막 나노선의 제조과정에서 외부자장을 나노선축 방향에 수직, 수평을 인가하게 되면, 코발트 나노선의 경우와 마찬가지로 자기유체역학에 영향을 주게 되어 결정구조와, 자기적 특성이 변화하게 된다.(Fig. 2)

5. 참고문헌

- [1] W. Wernsdorfer, B. Doudin, D. Mailly, K. Hasselbach, A. Benoit, J. Meier, J.-Ph. Ansermet, and B. Barbara, *Physics Review Letters* 77, 1873 (1996)
- [2] S. Dubois, C. Marchal, J. M. Beuken, and L. Piraux, *Applied Physics Letters* 70,396 (1997)
- [3] L. Piraux, J.M. George, J. F. Despres, C. Leroy, E. Ferain, and R. Legras, *Applied Physics Letters* 65, 2484 (1994)

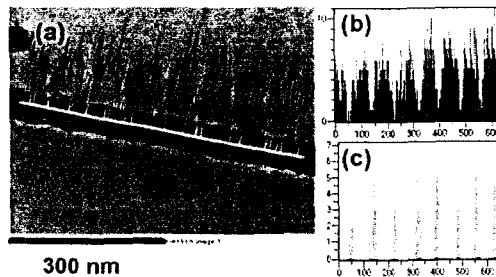


Fig. 1. 나노 템플레이트에 전착된 지름 50nm, 다층박막 나노선(a) TEM 사진, (b) Co linescan 사진, (c) Cu 층의 linescan 사진

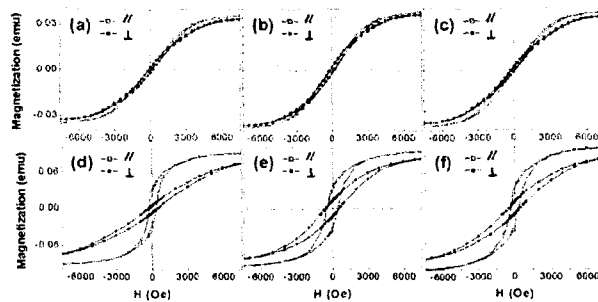


Fig. 2. 지름 200 nm의 Co/Cu 다층박막 나노선의 자기이력곡선(a) no field, (b) in-plane field, (c) out of plane field. 지름 50 nm의 다층박막 나노선 자기이력곡선 (d) no field (e) in plane field (f) out of plane field