

전기화학적 방법을 이용한 자성합금 개발 (Electrochemical Fabrication of magnetic alloys)

정원용
한국과학기술연구원

※ 전기화학적 방법의 장점

전기화학적 방법에 의한 제조방식은 CVD, MBE, evaporation, sputtering[1-3] 등의 진공증착 기술과 비교하여 볼 때 상당한 장점을 가지고 있다. 우선은 상온·상압에서 공정이 가능하며 장비의 조작이 간편한 편리성을 들 수 있다. 또한 탁월한 증착속도로 인하여 두꺼운 박막증착이 가능하고, 적은 에너지와 저렴한 장비가 필요한 공정으로 제품의 가격을 줄일 수 있는 경제성이 있다. 게다가 원하는 특성을 구현하기 위한 맞춤형 재료를 전기화학적인 다양한 변수를 제어함으로써 구현할 수 있는 우수성을 가지기 때문에 기존기술의 대안으로 새롭게 각광받고 있다[4, 5].

※ 전기화학적 제어를 통한 자성합금 특성 향상

전기화학적 방법으로 증착할 수 있는 재료의 특성을 제어하는 요소는 용액의 조성, 전류밀도, 전류과량의 종류, 전류밀도, 인가전압, 시간, 온도, pH, 첨가제 등과 같은 전기화학적 변수를 들 수 있다. 이러한 변수를 조절함으로써 구현하고자 하는 재료의 조성 및 미세구조를 제어할 수 있게 된다. 이를 통해 합성된 재료의 물리적·기계적·전기화학적 특성 및 자기적 특성을 제어할 수 있다. 특히 자성합금의 경우에는 보자력과 T_c , 포화자화, 각형비, 투자율 등에 대해서 원하는 특성을 나타내는 재료로 합성할 수 있게 된다. 이러한 전기화학적 변수를 제어하여 구현하고자 하는 특성을 나타내는 맞춤형 재료를 구현할 수 있다(Figure 1).

※ 응용분야

자성재료에 대한 연구는 매우 활발하게 이루어지고 있으며 이들은 다양한 응용분야에서 매우 가능성 있는 재료로서 두각을 나타낸다. 응용분야를 살펴보면 기존보다 더욱 낮은 전력소비를 요구하고 있는 마이크로 액츄에이터나 마이크로 밸브 등의 MEMS분야[6-8], 초고밀도기록 자기저장 재료[9, 10], 바이오 재료 등에 적용이 가능하며 이러한 응용분야에 적합한 자기적 특성을 가진 재료의 개발이 요구되고 있는 현실이다.

※ Soft and Permanent magnet 개발

가) Soft magnet - CoFeNi 연자성 합금

고특성 연자성 합금을 얻기 위해 1990년대 중반부터 Co-Fe-Ni 3원계합금의 개발이 시작되었으며, 보자력이 2 Oe 이하인 합금이 보고되었다. 본 연구에서는 pulse 전기도금 방식과 Cu 첨가를 이용하여 고특성 CoFeNi 합금을 제조하였다. Pulse 전기도금 방식을 이용하여 일정한 전류를 흘려서 제조한 합금보다 연자성 특성이 우수한 합금을 제조하였으며, 그 때의 조성은 $Co_{31}Fe_{36}Ni_{33}$ 이었다. 또한 Cu를 첨가하여 더욱 연자성 특성을 향상시킬 수 있었는데 그때의 합금의 조성은 $(Co_{30}Fe_{34}Ni_{36})_{99.5}Cu_{0.5}$ 이었으며, 보자력은 0.005 Oe, 투자율 4.6×10^6 의 매우 우수한 연자성 특성을 나타내었다. 합금의 미세구조는 fcc와 bcc상이 혼재한 형태를 나타내었으며, 결정립의 크기는 5-7 nm로 단자구 크기 보다 작은 입자의 크기를 가짐으로 인해 보자력이 매우 작은 원인이 되었다(Figure 2).

나) Permanent magnet - CoPtP 경자성 합금

CoPtP 합금은 전기화학적으로 합성한 재료 중에서 permanent 특성이 가장 우수한 재료 중에 하나이며 수직자기이방성이 매우 우수한 재료이다. 그러나 합금의 각 성분조절이 용이하지 않고 도금용액을 제조하는데 있어서도 각 시약의 선별이 쉽지 않아 제약이 많기 때문에 일부 그룹만이 합금화에 성공했다고 보고되고 있다. 이미 본 그룹에서는 간단한 상용시약과 첨가원소를 통해서 자기적 특성도

우수한 합금을 제조할 수 있었다. 게다가 더욱 permanent 특성을 향상시키기 위해서 전기화학적 공정과 동시에 박막에 수직인 방향으로 1 T의 자기장을 걸어주어 재료를 합성하였으며, 수직방향으로 보자력 6.1 kOe, 각형비 0.9의 우수한 자기적 특성을 나타내었다(Figure 3 (c)). 이들의 미세구조를 살펴보면 Figure 3 (a)와 (b) 에서와 cell 구조를 가지고 있으며 결정립의 크기는 9-15 nm이고 계면의 폭은 1-2 nm이다. 또한 결정립이 결정립계면으로 완벽하게 분리되어 있으며, 기판에 수직인 방향으로 Co의 hcp (002) 방향이 형성됨을 알 수 있다. 이러한 미세구조를 전기화학적으로 제어함으로써 우수한 permanent magnet을 제조할 수 있었다.

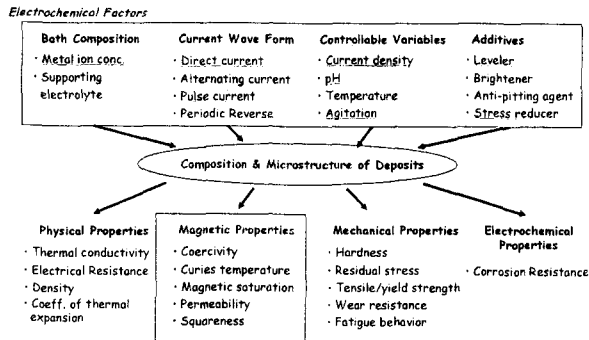


Figure 1. Electrodeposition factors influencing deposit properties.

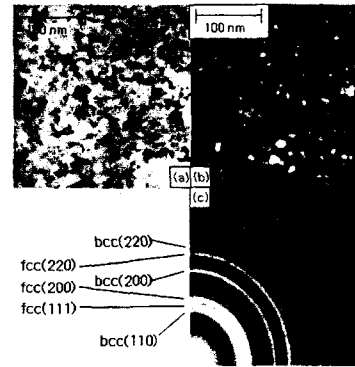


Figure 2. TEM (a) Bright field (b) Dark field images and (c) electron diffraction pattern of electrodeposited CoFeNiCu film at pulse current

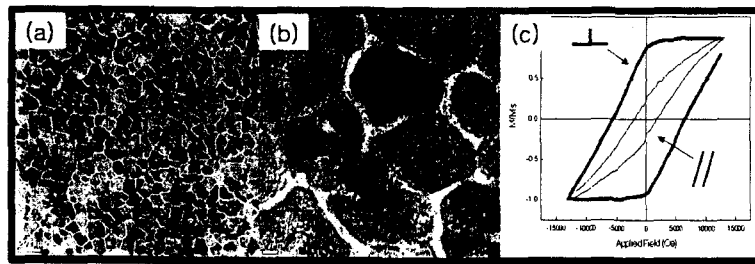


Figure 3. Bright field plane-view TEM images of CoPtP alloys (a), (b), Perpendicular magnetic hysteresis loop for CoPtP alloys electrodeposited with 1T external magnetic field (c).

※ 참고문헌

1. S. Wang and J.W. Harrell, *J. Magn. Magn. Mater.*, **242-245**, 437 (2002).
2. M. Abes, O. Ersen, D. Muller, M. Acosta, and C. Ulhaq-Bouillet, *Mater. Sci. Eng. C*, **23**, 229 (2003).
3. M. Albrecht, S. Anders, T. Thomson, C.T. Rettner, and M.E. Bestetti, *J. Appl. Phys.*, **91**, 6845 (2002).
4. T. M. Liakopoulos, W. Zhang, and C. H. Ahn, *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 5154 (1996).
5. H. J. Cho and C. H. Ahn, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 686 (2000).
6. H.H. Yang, N.V. Myung, J. Yee, D.Y. Park, B.Y. Yoo, M. Schwartz, K. Nobe, and J. W. Judy, *Sensors and Actuators A* 97-98 (2002) 88-97.
7. N.V. Myung, D.Y. Park, B.Y. Yoo, Paulo and T.A. Sumodjo, *J. Magn. Magn. Mater.*, **265** (2003) 189-198.
8. Kwan H. Lee Gyeong H. Kim Won Y. Jeung, *Electrochem. Commun.*, **4** (2002) 605-609.
9. M. Maret, A. Maier, F. Treubel, B. Riedlinger, M. Albrecht, E. Beaurepaire, G. Schatz, *J. Magn. Magn. Matter* **242.245** (2002) 420.
10. A.M. Testaa,, D. Fiorania, L. Del Biancob, E Agostinellia, P. Imperatoria, G. Scaviaa, G. Varvaroa, F. D'Orazioc, F. Lucari *J. Magn. Magn. Matter* **290-291** (2005) 467.470