

CoFeHfO 박막의 자기적 특성

이광은 · 느반다 · 김상훈

충남대학교 재료공학과, 대전광역시 유성구 궁동 220, 305-764

김철기 · 김종오*

충남대학교 재료공학과, 대전광역시 유성구 궁동 220, 305-764

ReCAMP, 대전광역시 유성구 궁동 220, 305-764

(2006년 7월 7일 받음, 2006년 8월 24일 최종수정본 받음)

RF magnetron reactive sputtering법으로 CoFeHfO 박막을 상온에서 제작하여 산소분압에 따른 포화자화, 보자력, 이방성자계를 조사하였다. 최적조건인 산소분압 8%에서 제조한 $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ 박막은 포화자속밀도($4\pi M_s$) 19 kG, 보자력(H_c) 0.37 Oe, 이방성자계(H_k) 48.62 Oe의 우수한 연자성을 나타내었다. CoFeHfO 박막의 전기비저항은 산소분압이 늘어남에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 우수한 연자기적 성질을 가지는 $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ 박막의 경우, $300 \mu\Omega\text{cm}$ 의 높은 전기비저항과 48.62 Oe의 높은 이방성자계 때문에 $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ 박막이 고주파에서 우수한 연자기 특성을 가지는 것으로 사료된다.

주제어 : CoFeHfO 박막, 연자성박막, 이방성자계

I. 서 론

최근 고주파영역에서 사용되는 연자성 박막은 일반적으로 지금까지 발견된 비정질 리본이나 나노결정립(nanocrystalline) 박막, 나노과립형(nanogranular) 박막에서의 고기능성 신소재의 이용으로 인해 발전되어왔다[1, 2]. 이러한 나노과립형 구조의 박막들은 그 크기가 10 nm 사이즈보다 작아서 다른 구조에 침입되거나 혼합되어 전하를 띄지 않는 매우 미세한 금속들을 포함하고 있다[3]. 또한 Fe, Co, CoFe 등을 기지료한 과립형 박막들은 꽤 높은 전기 비저항과 연자성 성질을 갖는다고 알려져 있다[4].

고주파 영역에서 사용되어지는 자성재료에서의 중요한 성질은 적은 와전류 손실과 강자성 공명(FMR)을 얻기위한 높은 투자율(μ)이다. 강자성 공명주파수를 얻기 위해서는 높은 전기비저항(ρ)뿐만 아니라 높은 포화자화값($4\pi M_s$)과 높은 이방성자계(H_k)도 가져야 한다[5]. 이러한 값들은 전형적인 고주파 자성재료보다 더 높은 포화자화를 가지고 있는 Fe, Co, Ni에 기지한 강자성체에서 확인할 수 있다. 그리하여 많은 CoFe에 기지한 박막들은 다른 상(phase)과 연관된 grain size 나 결정립의 점위력(crystalline orientation)등의 기능 등에 대하여 연구되어 왔다[4]. 이러한 연구 결과 반응기체 분압에 따른 전기적 성질과 자기적 성질에 대한 강한 의존도는 $\text{FeMO}(M; \text{Al}, \text{Zr}), \text{CoXO}(X; \text{Ti}, \text{Si})$ 등에서 증명되었다[5].

일반적으로 고주파 영역에서 사용되는 변압기나 인덕터는 와전류를 억제하고 skin depth를 깊게 하기 위한 높은 전기적 저항을 갖는 연자성 박막을 필요로 한다. Hf, O_2 , N_2 의 첨가는 나노결정립 혹은 나노과립 형태의 박막에서 저항을 높이는데 효과적으로 알려져 있다. 그러나, 순철보다 더 높은 포화자화를 갖는 CoFe계 박막은 큰 포화자화의 영향으로 1 Oe 이하의 매우 낮은 보자력을 갖기 어렵다고 보고된 바 있다[5].

본 연구에서는 CoFeHfO 박막의 합성에 의한 여러 가지 H_c , H_k , 포화자화($4\pi M_s$), 저항(ρ)값들의 의존도 등을 측정하였다.

II. 실험 방법

Ar + O_2 분위기에서 RF magnetron reactive sputtering법으로 Si(100) wafer 위에 증착하였다. 초기진공도 5.0×10^{-7} Torr 이하에서 300 W의 투입전력, Ar + O_2 의 가스압력은 2 mTorr의 조건에서 실험하였다. 여기서 O_2 가스는 0~10% 범위로 변화 시켰다. 4 inch크기의 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 인 타겟 위에 $3 \times 3 \times 1$ mm 크기의 순수한 Hf chip을 올려놓은 복합타겟(composition target)을 사용하였다. 이 박막의 조성은 Auger Electron Spectroscopy(AES)로 분석하였고, 전기비저항은 4 probe 방식으로 측정하였다. 박막의 결정화적인 형상 및 결정 구조는 Cu-K α 선을 이용한 X-ray diffraction(XRD)으로 측정하였다. 박막의 자기적 성질은 Vibration Sample Magnetometer(VSM)를 사용하여 측정하였다.

*Tel: (042) 821-6233, E-mail: magkim@cnu.ac.kr

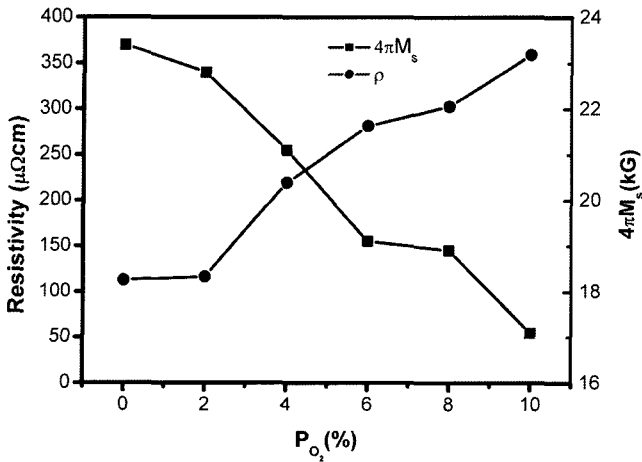


Fig. 1. Partial pressure of oxygen dependencies of electrical resistivity and $4\pi M_s$ of CoFeHfO films sputtered from the $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ target, as a function of partial pressure of oxygen.

III. 실험 결과 및 고찰

스퍼터링 중의 산소분압은 박막의 구조와 조성을 구성하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 파악되었다. Fig. 1은 CoFeHfO 박막에서의 산소분압의 변화에 따른 포화자화와 저항의 변화를 보여준다. 산소분압이 증가하면서 CoFeHfO 박막의 저항은 증가하지만 포화자속밀도값은 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 전도체의 저항은 carrier의 전하밀도와 이동성에 의존한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그리고 박막에서의 저항은 carrier의 전하밀도와 이동성에 의하여 정해진다. CoFeHfO 박막에서 carrier 이동도는 Co-Fe 결정에서 나오며 CoO, FeO, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , HfO_2 와 같이 산소에 의해 절연된다. 산소분압이 증가하면서 박막의 산소 함유량은 증가하고 이 증가된 산소량이 저항을 증가시킨다.

Fig. 2의 A, B, C는 6, 8, 10%로 증착된 CoFeHfO 박막의 AES-depth 도표를 보여주고 있다. 이 AES-depth는 박막에서의 O_2 , Hf, Fe, Co의 합성분포(compositional distribution)를 명확하게 보여준다. Fig. 2의 A, B, C에서 박막의 산소함유량은 각각 10, 17.5, 20%이고 정확한 조성은 $\text{Co}_{42}\text{Fe}_{38.5}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{10}$, $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$, $\text{Co}_{37.5}\text{Fe}_{33}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{20}$ 이다. 이 결과는 스퍼터링시의 산소유입량 6, 8, 10%와는 조금 다르다.

Fig. 3은 CoFeHfO의 산소분압에 따른 박막의 조성분포를 나타내고 있다. 산소분압의 증가에 따라 Fe와 Co의 양이 감소한다. Hf과 O가 Co보다 Fe와 매우 큰 친화력을 갖기 때문에 그것들은 FeO, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 화합물과 같은 산소 phase 형태로 반응할 수 있다.

Fig. 4는 산소분압의 변화에 따른 CoFeHfO 박막의 X-ray

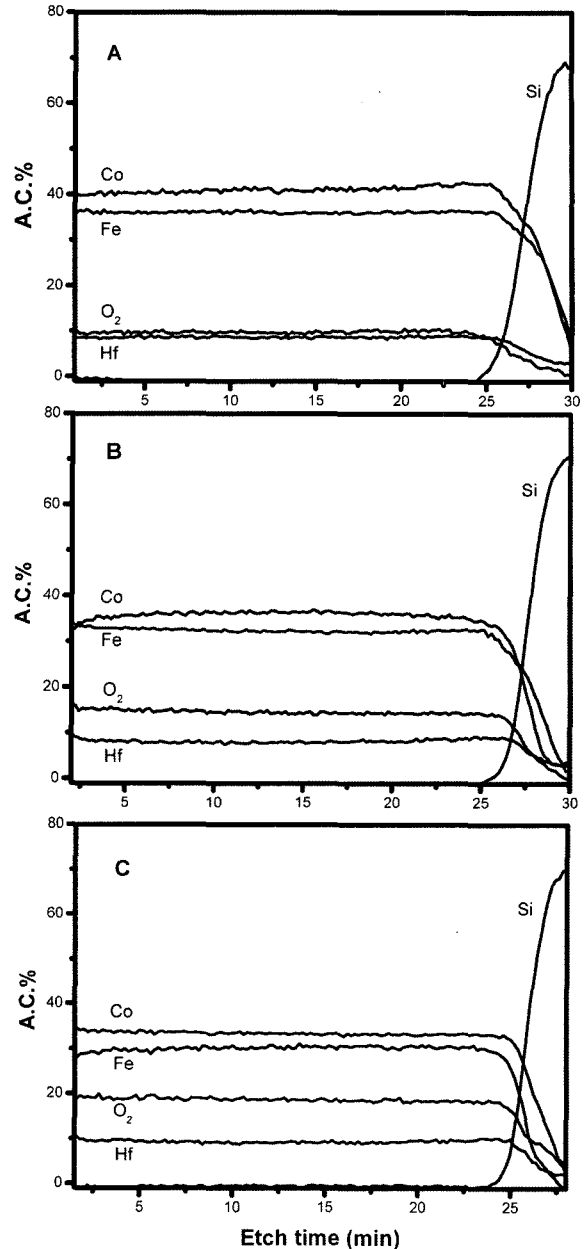


Fig. 2. AES depth-profiles identifying a nitrogen incorporation in CoFeHfO films sputtered from $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ target with (A) at 6% O_2 , (B) at 8% O_2 and (C) at 10% O_2 .

회절패턴을 나타낸 것이다. 회절피크 $44^\circ\sim 46^\circ$ 에서 $\alpha\text{-CoFe}$ (110)과 $a\text{-Co(Fe)}$ (110), $47^\circ\sim 51^\circ$ 에서는 Co(200) 와 Fe(100) 피크들이 나타나고, $61^\circ\sim 68.2^\circ$ 에서 작은 피크들을 관찰할 수 있는데 이 피크들은 monoclinic Co(101) 나 hexagonal Fe(100) 또는 다른 나노결정립 상들에 기인한다고 사료된다. 산소함량에 따라 $32.4^\circ\sim 34^\circ$, $61^\circ\sim 62.2^\circ$, $65^\circ\sim 66.5^\circ$ 에서 Fe_xO_y 와 CoO 산화물상들이 나타났으며, 비정질 상들에 의해서 CoFeHfO 박막에서의 전기비저항 증가가 예상된다.

Fig. 5는 산소분압 변화에 따른 자화곡선을 보여주고 있다.

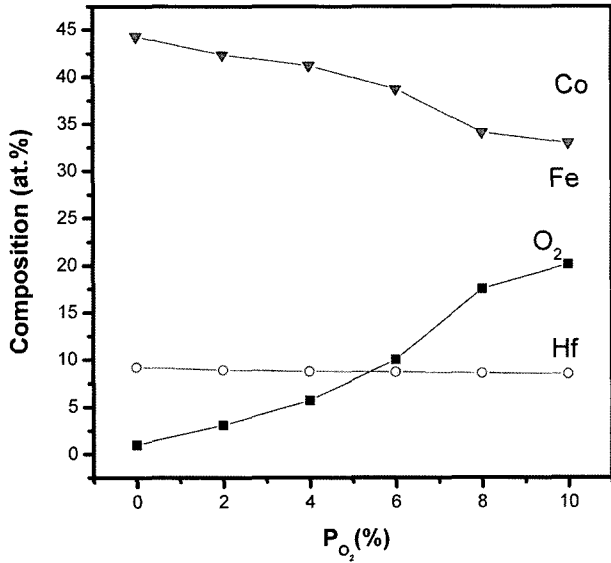


Fig. 3. Partial pressure of oxygen dependence of composition of CoFeHfO films sputtered from the Co₅₀Fe₅₀ sputtering target at an input power of 300 W.

산소분압 8%에서 제조된 박막은 0.37 Oe의 보자력, 48.62 Oe의 이방성자계, 19 kG의 포화자속밀도를 갖는 뛰어난 연자성 성질을 보여주고 있다. 산소분압이 증가할수록 포화자속값은 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 산소분압 8%

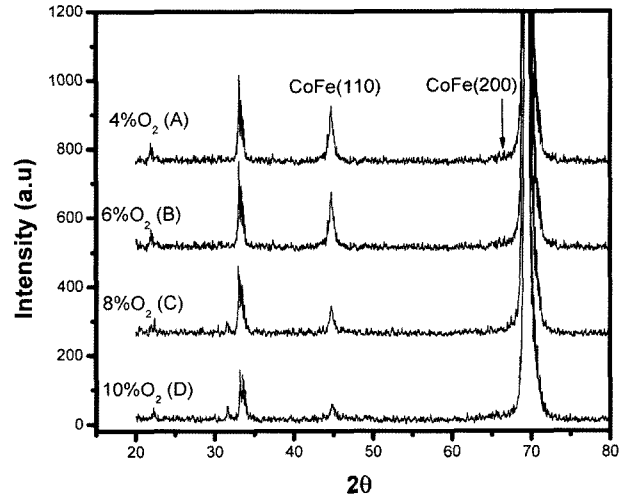


Fig. 4. Partial pressure of dependence of XRD patterns for CoFeHfO films sputtered from the Co₅₀Fe₅₀ target.

에서 제조된 Co₃₉Fe₃₄Hf_{9.5}O_{17.5} 박막의 큰 이방성자계는 수 nm 크기의 양호한 이방성을 가진 과립상이 형성되었다고 사료된다.

IV. 결 론

고주파 용도에 맞는 새로운 재료를 개발하기 위해서, 산소

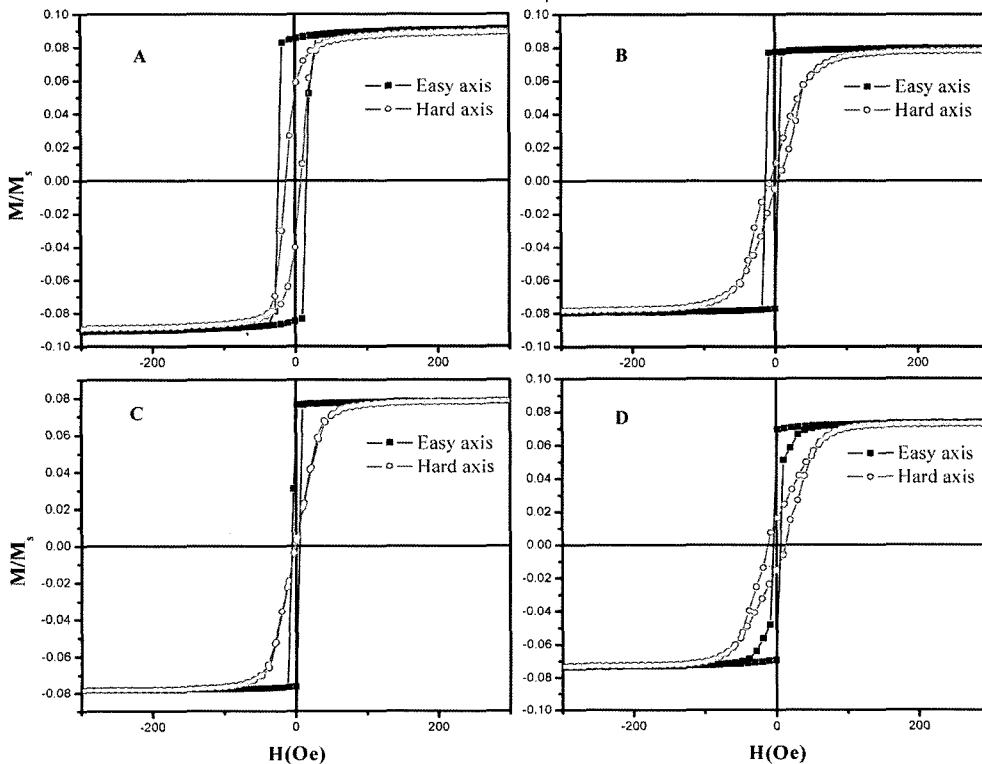


Fig. 5. Magnetization curves of nanocrystalline with different partial pressure of oxygen. (A) at 4 %, (B) at 6 %, (C) at 8 %, (D) at 10 %.

분압 변화에 따라 CoFeHfO 박막을 제조하였다. 그 결과 RF power 300 W에서 제작된 $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ 박막은 19 kG의 포화자속밀도, 0.37 Oe의 보자력, 48.62 Oe의 높은 이방성자계를 갖는 연자기 특성을 나타내었다. CoFeHfO 박막은 산소 분압이 증가함에 따라 전기비저항이 증가하는 경향을 보였다. 약 $300 \mu\Omega\text{cm}$ 의 전기비저항과 높은 이방성자계에 기인하여 $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ 박막은 고주파 재료로 충분히 응용될 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 충남대학교 고기능성자성재료연구센터를 통해 한국과학기술재단의 연구지원과 BK21 프로그램 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] S. Ohnuma, H. Fujimori, T. Masumoto, X. Y. Xiong, D. H. Ping, and K. Hono, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 6 (2003).
- [2] B. K. Min, J. S. Song, H. S. Kim, and S. J. Jeong, *J. Appl. Phys.*, **91**, 8456 (2002).
- [3] L. H. Chen, T. J. Klemmer, K. A. Ellis, R. B. van Dover, and S. Jin, *J. Appl. Phys.*, **87**, 5858 (2000).
- [4] S. Ikeda, I. Tagawa, Y. Uehara, T. Kubomiya, J. Kane, A. Takehi, and A. Chikazawa, *IEEE Trans. Magn.*, **38**, 2219 (2002).
- [5] W. D. Li, O. Kitakami, and Y. Shimada, *J. Appl. Phys.*, **83**, 6661 (1998).

Soft Magnetic Properties of CoFeHfO Thin Films

K. E. Lee, L. V. Tho, and S. H. Kim

Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

C. G. Kim and C. O. Kim*

*Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea
ReCAMM, Chungnam National University, Daejeon, Korea*

(Received 7 July 2006, in final form 24 August 2006)

Amorphous alloys of Co-rich magnetic amorphous films are well known as typical soft magnetic alloys. They are used for many kinds of electric and electronic parts such as magnetic recording heads, transformers and inductors. CoFeHfO thin films were prepared by RF magnetron reactive sputtering. The films were deposited onto Si(100) substrates with a power of 300 W at room temperature. The reactive gas was introduced up to 10 % ($\text{O}_2/(\text{Ar} + \text{O}_2)$) during deposition, and the $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ thin film exhibit excellent soft magnetic properties : saturation magnetization ($4\pi M_s$) of 19 kG, magnetic coercivity (H_c) of 0.37 Oe, anisotropy field (H_k) of 48.62 Oe, and an electrical property is also shown to be as high as $300 \mu\Omega\text{cm}$. It is assumed that the good soft magnetic properties of $\text{Co}_{39}\text{Fe}_{34}\text{Hf}_{9.5}\text{O}_{17.5}$ thin film results from high electrical resistivity and large anisotropy field.

Key words : CoFeHfO thin film, soft magnetic thin film, anisotropy field