

# 大きな垂直磁気異方性を有する Co-SiO<sub>2</sub> ナノグラニューラー膜の 10GHz 帯高周波軟磁気特性

青木英恵\*、武田茂\*\*、大沼繁弘\*\*\*、増本博\*  
(\*東北大、\*\*キーコム、\*\*\*電磁研)

10-GHz soft magnetic property of Co-SiO<sub>2</sub> nano-granular film with large perpendicular magnetic anisotropy  
Hanae Kijima-Aoki\*, Shigeru Takeda\*\*, Shigehiro Ohnuma\*\*\*, and Hiroshi Masumoto\*  
(\*Tohoku Univ., \*\*KEYCOM, \*\*\*DENJIKEN)

## はじめに

近年、高周波帯で駆動する小型電子デバイスの発展にともない、10GHz 帯で大きな透磁率、低損失を併せ持つ軟磁性薄膜材料が望まれている。直径数 nm の磁性ナノ粒子が誘電体マトリクス中に分散した構造を有するナノグラニューラー軟磁性膜は、均一分散した磁性ナノ粒子に由来する高い飽和磁化( $M_s$ )、低保磁力( $H_c$ )、ならびにマトリクスに由来する高電気抵抗( $\rho$ )が特長であり、数 100M-数 GHz 帯で優れた軟磁気特性が報告されてきた。これらの膜の GHz 高周波化は、膜に大きな面内一軸磁気異方性を付与することによって実現する。一方で、筆者らは、膜面垂直方向に磁気異方性を有する、すなわち、膜面内方向に磁氣的等方性を有する GHz 帯軟磁性ナノグラニューラー膜を報告してきた<sup>1)</sup>。面内全方向に使用できる特長があるが、異方性磁界が小さく 2-3 GHz 帯の磁気共鳴周波数以上で透磁率が減少した。著者らは最近、電気抵抗が高く Co と固溶すると異方性の高い hcp 結晶を生じる SiO<sub>2</sub> をマトリクスに選択し、大きな垂直異方性磁界(~4100 Oe)を有する Co-SiO<sub>2</sub> 膜の作製に成功した<sup>2)</sup>。本報告では、Co-SiO<sub>2</sub> ナノグラニューラー膜の微細構造、磁区構造、従来のマイクロストリップライン(MSL)法に加え、新規な短絡同軸法で測定した高周波軟磁気( $\mu$ - $f$ )特性の結果を報告する。

## 実験方法

SiO<sub>2</sub> 円板と Co チップをターゲットとして、石英ガラス基板(0.5mm)上に Co-SiO<sub>2</sub> ナノグラニューラー膜(1.4 $\mu$ m $\pm$ 0.1 $\mu$ m)をスパッタ成膜した。膜の電気比抵抗は 4 端子法、結晶構造・組織は TEM、静磁化曲線は VSM、磁区構造は MFM で測定した。 $\mu$ - $f$ 特性は MSL 法<sup>3)</sup>および短絡同軸法で測定した。

## 結果および考察

42-56 at.%Co と組成を変化させた Co-SiO<sub>2</sub> 膜を作製した。膜の電気比抵抗は Co の増加とともに  $2.4 \times 10^6$  から  $4.2 \times 10^4 \mu\Omega\text{cm}$  へ減少したが、これまでに報告されているアモルファス軟磁性膜の 100 倍程度と大きい。Co の増加とともに、膜の飽和磁化( $4\pi M_s$ )および面内の飽和磁界( $H_s$ )は、それぞれ 7.2 から 10.5 kG、1000 から 4000Oe へ増加傾向を示した。 $H_s$  は同じ成膜条件の試料で 1000Oe 程度の分散があり、これは成膜時の冷却不十分による熱の影響が考えられる。本報告では、最も大きな  $H_s = 4100$  Oe が得られた Co<sub>52</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>48</sub> 膜の結果を紹介する。TEM による組織観察の結果から、膜は、直径 3-5nm、長さ 7-8nm の楕円形 Co 粒子が SiO<sub>2</sub> マトリクス中に分散した形態を示し、回折線から Co は hcp 構造で、膜面に対して垂直に c 軸配向していることが分かった。磁区観察の結果、膜は表面に磁区幅が 100nm 以下の微細な迷路状磁区が観察された。膜垂直方向の反磁界を減少させるために、垂直方向に互い違いに向く細かい磁区同士で閉磁路を形成していると考えられる。膜の磁化曲線は面内・面直ともに直線的なヒステリシスを示し、 $H_s$  はそれぞれ 4100 および 8600 Oe であった。面直方向の磁化曲線に磁化( $M$ )を用いた薄膜の反磁界補正( $H_{\text{eff}} = H - N4\pi M$ , N:反磁界係数)を行うと、 $H_s$  はほぼゼロであり垂直方向が磁化容易軸であることが分かった。膜は面内全方向に同じ透磁率( $\mu$ )の周波数依存性: 5 GHz 以下で  $\mu = 4$ ,  $\mu'' = 0$ ,  $f_r = 13$  GHz を示した。NiZn フェライトなどの結晶材料と比較すると、2GHz 以上の高周波帯における透磁率は 1.5-2 倍大きく、薄膜インダクタなどの応用が期待される。

## 参考文献

- 1) H.Kijima et al., IEEE. Trans. Magn., 47 (2011) 3928.
- 2) H. K. Aoki et al., IEEE. Magn. Lett., (2018) in press.
- 3) S.Takeda et al., J. Magn. Mater., 449 (2018) 530.