

Nd₆(Fe, M)₁₄ 膜の磁気特性に及ぼす添加元素の影響

佐藤 岳、高田幸生、佐々木泰祐*、大久保忠勝*、宝野和博*、加藤 晃**、金子裕治
(豊田中央研究所、*物質・材料研究機構、**トヨタ自動車)

Influence of additive elements on magnetic properties of Nd₆(Fe, M)₁₄ films
T. Sato, Y. Takada, T. Sasaki*, T. Ohkubo*, K. Hono*, A. Kato**, and Y. Kaneko
(TOYOTA CENTRAL R&D LABS., *National Institute for Materials Science,
**Toyota Motor Corporation)

はじめに

Nd-Fe-B 系磁石では、Dy 削減の要求を発端に、これまでに微粒子化や粒界改質などによる保磁力の向上が検討されている。一方、Nd リッチ Ga 添加 Nd-Fe-B 焼結磁石で高い保磁力を得られることが近年報告されている^{1,2)}。この焼結磁石では、一般的な Nd リッチ相に加えて Nd₆Fe₁₄ 系合金相が粒界に生成しており、これまでの知見である粒界での Nd の濃化や Fe 濃度の減少とは異なった保磁力向上メカニズムが期待される³⁾。そこで本研究では、Nd₆Fe₁₄ 系合金相の保磁力への作用を明確にするため、添加元素を変えて Nd₆(Fe, M)₁₄ 膜を作製し、添加元素 M および添加量による磁気特性の変化を検討した。

実験方法

試料は、超高真空スパッタ装置(到達真空度 5×10^{-8} Pa 以下)で作製し、熱酸化膜付き Si 基板上に Ta 10 nm/ Nd₆Fe_{14-x}M_x 100 nm/ Ta 20 nm の膜構成とした。添加元素 M には Al, Si, Co, Ga を用いた。Nd-Fe-M 膜は、650°C に加熱した状態で Nd₆Fe₁₄ 組成層と Nd₆M₁₄ 組成層を交互に積層し、その後、加熱を 1 時間保持することで均質化を行い作製した。M 含有量 x は 0~2.7 となるように積層厚みで制御した。磁気特性の評価には VSM を用い、作製した試料の膜面内の方向について測定を行った。また、構造解析は XRD(Cu K α 線源)にて行った。

実験結果

図 1 に、Nd₆Fe_{12.6}M(= Al, Si, Co)_{1.4} 膜および Nd₆Fe₁₃Ga 膜の飽和磁化を示す。Si および Co の場合には、飽和磁化は添加無しの場合の 461 emu/cm³ に対し 10% 程度の増減であった。一方、Al の場合には 267 emu/cm³、Ga では 27 emu/cm³ に減少した。XRD 解析から、いずれの場合も Nd₂Fe₁₇ 相が生成したが、Al と Ga の場合には更に Nd₆(Fe, M)₁₄ 相の生成が確認された。

図 2 に、Al および Ga の添加量による飽和磁化の変化を示す。いずれも添加量に対して飽和磁化は直線的に減少し、Ga では含有量 x > 1 でほぼ 0 となった。この組成域では、Nd₂Fe₁₇ 相の生成は抑制され、Nd₆(Fe, M)₁₄ 相の生成が主として観察された。

以上のように、Ga や Al の添加で Nd₆(Fe, M)₁₄ 膜の飽和磁化の減少が顕著に見られ、Nd₆(Fe, M)₁₄ 相が Nd-Fe-B 磁石の粒界に生成した場合に、粒界の磁化を低減し Nd-Fe-B 結晶粒間の磁気的な相互作用を抑制することが明らかになった。

参考文献

- 1) 長谷川ら, 粉体粉末冶金協会春季大会予稿集, p.202 (2013).
- 2) 山崎ら, 日本金属学会春季講演大会予稿集, S7・21 (2014).
- 3) H. Sepehri-Amin, et al., Scripta Mater., **63**, 1124 (2010).

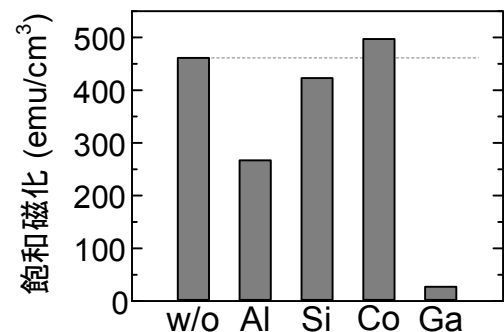


図 1 Nd₆Fe_{12.6}M(= Al, Si, Co)_{1.4} 膜および Nd₆Fe₁₃Ga 膜の飽和磁化. 添加無しの場合を w/o と表記.

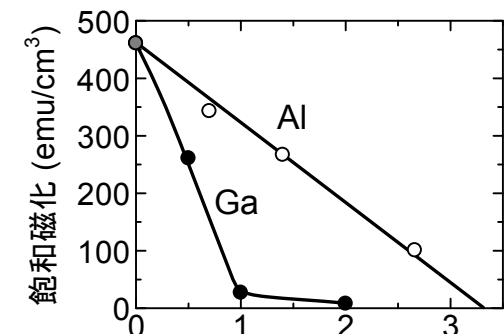


図 2 Nd₆Fe_{14-x}M(= Al, Ga)_x 膜の M 含有量 x に対する飽和磁化の変化.