

合金層拡散による高保磁力 Nd-Fe-B 薄膜の作製

玉澤幸也、土井正晶、嶋敏之
(東北学院大学)

Realization of high coercive Nd-Fe-B thin films by the diffusion of alloy layers

Y. Tamazawa, M. Doi and T. Shima
(Tohoku Gakuin University)

研究背景

Nd-Fe-B 焼結磁石は永久磁石の中でも優れた保磁力、飽和磁化、最大エネルギー積、結晶磁気異方性を有しており、風力発電の発電機や HDD、センサーなどの広い用途で利用されている。特に、環境問題への配慮からハイブリッドカー (HV) や電気自動車 (EV) のモーターへの使用が増加している。しかしながら、HV に使用されるモーターの動作温度は約 200 °C であり、キュリー温度が 315 °C である Nd-Fe-B 磁石は熱減磁により性能が低下する問題がある。そのため、正常に動作させるには室温において約 30 kOe の保磁力が要求され、そのために Nd 元素と重希土類元素の Dy 元素の置換により保磁力向上が行われてきた。しかし、Fe と Dy の反強磁性結合により飽和磁化が低下する問題があり、Dy は埋蔵・生産が特定国に偏在していることから、将来に渡る供給安定性が懸念されている。そのため、重希土類元素を使用せずに高い保磁力を有する Nd-Fe-B 磁石の開発が切望されている。Nd-Fe-B 磁石において保磁力向上には Nd、Cu、Ga などの非磁性元素を粒界相に拡散させ¹⁾、主相である Nd₂Fe₁₄B 相間の磁氣的結合を弱めることが有効であると報告されている。そこで本研究では、Nd-Fe-B 薄膜上に元素の種類や組成、膜厚の異なる非磁性合金層を成膜し、熱処理によって粒界相に拡散させた際の結晶構造と磁気特性への影響を詳細に調査し、高保磁力を示す Nd-Fe-B 薄膜の作製を目的とした。

実験方法

試料は超高真空多元スパッタリング装置を用いて MgO (100) 単結晶基板上に作製した。最初に、基板クリーニングのために 700 °C の基板温度で 20 分間熱処理を行った。バッファー層として Mo 層を室温において 20 nm 成膜し、エピタキシャル成長促進のために 750 °C で 30 分間熱処理を行った。次に Nd-Fe-B 層を 500 °C において 16 nm 成膜し、Nd-Fe-B 層の結晶化と粒界相の形成のために 550 °C で 10 分間熱処理を行った。合金層として Nd_xCu_{100-x} 層を 0.75 nm、Fe_{100-y}Ga_y 層を $t_{\text{Fe-Ga}}$ nm、Nd 層を t_{Nd} nm 500 °C において成膜し、Nd-Fe-B 層の結晶化と合金層の粒界相への拡散のために 550 °C で 50 分間熱処理を行った。最後に、室温で酸化防止層として Mo 層を 10 nm 成膜した。結晶構造は X 線回折装置 (XRD)、磁気特性は超伝導量子干渉磁束計 (SQUID)、組成はエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) を使用して評価した。

実験結果

XRD により、全ての試料において主相である Nd₂Fe₁₄B 相の (004) ピークが明瞭に確認された。これより、作製した全ての試料は Nd₂Fe₁₄B 相が形成され、c 軸が基板に対して垂直方向に成長したと確認された。非磁性合金層を成膜していない Nd-Fe-B 薄膜において $H_c = 19.1$ kOe の保磁力を示すことが確認された。続いてこの試料に非磁性合金層を成膜し熱処理を行うことにより、Nd-Fe-B 薄膜の保磁力が顕著に増加することが確認された。この結果は、Nd-Fe-B 層上に成膜した非磁性合金層が熱処理により Nd-Fe-B 層の粒界相に拡散し、主相である Nd₂Fe₁₄B 相間の磁氣的結合を弱めたために保磁力が増加したのではないかと考えられる。最大の保磁力は Nd-Fe-B (16 nm)/ Nd_{35.6}Cu_{64.4} (0.75 nm)/ Fe_{77.1}Ga_{21.9} (0.5 nm)/ Nd (1 nm) 薄膜において得られ、 $H_c = 32.3$ kOe の保磁力を有していることが確認された。この保磁力は現在確認されている重希土類元素を使用していない Nd-Fe-B 系永久磁石において最も高い値である。

参考文献

- 1) R. Nakagawa, M. Doi, and T. Shima, IEEE Trans. Magn. 15302949 11-15 (2015)