

高エネルギーレーザー密度下で作製した Nd-Fe-B 系ナノコンポジット磁石膜

藤山 賢二* 柳井 武志 中野 正基 福永 博俊 (長崎大学)

Nd-Fe-B nano-composite film magnets prepared by high laser energy density

Kenji Fujiyama*, Takeshi Yanai, Masaki Nakano, Hirotohi Fukunaga (Nagasaki University)

はじめに 「薄手永久磁石の特性向上」はモータの小型化・高性能化に貢献するものであり、更なる進展が期待される⁽¹⁾⁽²⁾。そういう中、我々は、「高トルクを有するシリンダ型小型モータ」を一つの応用例として、PLD(Pulsed Laser Deposition)法を用い、保磁力 400 kA/m 程度、残留磁化 0.9 T 程度、 $(BH)_{\max}$ 90 kJ/m³ の磁気特性を目標値として等方性 Nd-Fe-B/ α -Fe 系ナノコンポジット厚膜磁石の作製を試みてきた。その結果、ターゲット表面に照射するレーザーのビーム径を 1 mm 以下に絞り、エネルギー密度として 10 J/cm² 以上の著しく大きな条件下で成膜した際、化学量論組成に対し Nd-rich ターゲットを用いたにもかかわらず、Nd-poor となるナノコンポジット組成の試料が得られ、熱処理後、残留磁化 1.0 T、 $(BH)_{\max}$ 100 kJ/m³ 程度の値を達成した⁽³⁾。本研究では、上述した試料に関し、成膜時間の増加による成膜メカニズムの変化を検討するとともに、Nd 含有量を制御し、 $(BH)_{\max}$ の向上も試みた。

実験方法 約 6.5 rpm で回転させた Nd_xFe₁₄B (x=2.4~2.6)合金ターゲットに、波長 355 nm の Nd:YAG レーザを照射し成膜する PLD (Pulsed Laser Deposition)法を用い、Nd-Fe-B 系磁石膜を作製した。具体的には、ターゲット-Ta 基板間距離を 10-12 mm とし、レーザーパワー4 W 固定、エネルギー密度 10 J/cm² 以上、成膜時間 30 ~ 180 min の条件を用い成膜した。成膜直後の試料は非晶質であるため、熱処理時間 1.8 s 程度の極短時間熱処理を施した後、印加磁界 7 T のパルス着磁を行い、最大印加磁界 2.5 T のもと VSM で磁気特性を評価した。組成は SEM-EDX で Nd と Fe の含有量を測定した。

実験結果 Fig.1 は、成膜時間 60 min. (膜厚: 15 μ m) ならびに 180 min (膜厚: 65 μ m) 後の試料の表面形態である。長時間の連続した成膜に伴い、「ターゲット表面のエロージョンの進行⁽⁴⁾」や「ターゲット温度の上昇⁽⁴⁾」が、「ドロプレットの爆発的な増加をもたらし、「ドロプレットの量やサイズの著しい増加」が生じた様子が了解される。成膜時間 120 min.までは、 $(BH)_{\max}$ 100 kJ/m³ 程度の値を保持したものの、180 min.に達するとその値が急激に低下した。上記のドロプレットの爆発的な増加は、試料の組成を化学量論組成に対し Nd リッチ側にシフトさせるとともに、試料内に空隙をもたらし、磁気特性の劣化を招いたものと考えられる。そこで、成膜時間を 60 min.に固定し、ターゲットの組成を変化させながら、様々な Nd 含有量の試料を作製し $(BH)_{\max}$ を評価した。結果を Fig. 2 に示す。Nd 含有量を増加するにつれ $(BH)_{\max}$ は増加し、11.5 at.%で最大 130 kJ/m³程度に達することを確認した。発表時には微細構造観察結果も併せて報告する予定である。

参考文献

- (1) M. Uehara et al., *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, No.10,3838(2005).
- (2) N. M. Dempsey et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, 092509(2007).
- (3) 本村ら: 電気学会マグネティクス研究会資料, MAG-12-072(2012).
- (4) レーザアブレーションとその産業応用調査専門委員会, 「レーザーアブレーションとその応用」(電気学会編)(1911).

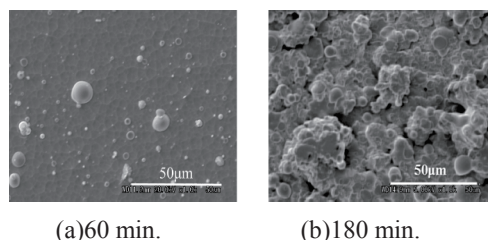


Fig.1 Surface morphology of samples Prepared by using different deposition time.

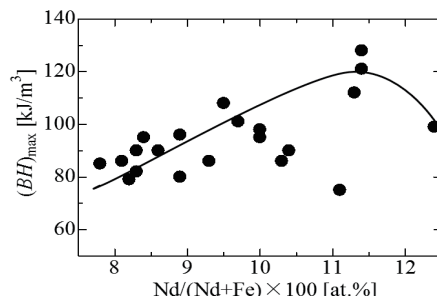


Fig.2 $(BH)_{\max}$ as a function of Nd contents.