

# 高保磁力厚膜磁石の開発とその応用

Preparation of Nd-Fe-B Thick Film Magnets with Large Coercivity and Their Applications

長崎大学 工学部 中野正基 柳井武志 福永博俊

山形大学 工学部 加藤宏朗

東北大学 金属材料研究所 小山佳一

M. Nakano<sup>A</sup>, T. Yanai<sup>A</sup>, H. Fukunaga<sup>A</sup>, H. Kato<sup>B</sup>, K. Koyama<sup>C</sup>

<sup>A</sup> Department of Technology, Nagasaki University

<sup>B</sup> Department of Technology, Yamagata University

<sup>C</sup> Institute for Material Research, Tohoku University

## 1.はじめに

モータの小型化が急速に進展する中、磁束の発生源として内部に用いられる永久磁石の薄膜化・小型化の必要性が高まっている。このような要求に対し、筆者らは、最大で約 90  $\mu\text{m/h}$  の高速成膜が可能な PLD (Pulsed Laser Deposition) 法による 10 ~ 300  $\mu\text{m}$  厚の Nd-Fe-B 系磁石膜の作製ならびにミリサイズモータへの搭載について報告してきた<sup>1)</sup>。

本研究では、(1) ターゲットへの他元素 (Zr, Nb, Ga) の添加、さらに、(2) パルス熱処理法<sup>2)</sup>と添加物の融合させる手法により、PLD 厚膜磁石の保磁力向上について検討した。本稿では昨年報告した Ga 添加試料も含め、東北大学金属材料研究所の強磁場センタの装置を利用し測定した磁気特性の結果を示す。

## 2.実験方法

ターゲットには高周波溶解して作製した Nd-Fe-B 系合金を使用した。添加物量は 0.5 at.% と固定し、それぞれ Zr, Nb, Ga を単体添加した。成膜はターゲットに Nd:YAG レーザ (波長: 355 nm) を照射し、Nd, Fe, B を解離放出させ、基板上に到達、堆積させることにより行った。成膜直後のアモルファス状態の試料に対し、赤外線加熱炉を用い、(1) 昇温速度: 400  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 熱処理温度: 650  $^{\circ}\text{C}$ , 保持時間: 0 min の熱処理法 (以下, Conventional annealing: CA 法と呼ぶ)、(2) 極短時間の熱処理であるパルス熱処理法 (以下, Pulse annealing: PA 法と呼ぶ) の 2 種類の熱処理法を用い、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 相を形成させた。磁気特性については、一部の試料において 10 T まで磁界印加可能な VSM を用い測定した。加えて、膜厚は磁気特性を利用し算出した<sup>3)</sup>。

## 3.実験結果

Table 1 に添加物入りターゲットを用い作製した 20 ~ 40  $\mu\text{m}$  厚程度の試料に CA ならびに PA を施した際の磁気特性を示す。CA 法により作製した試料の保磁力は、無添加のものに比べ、Zr, Nb, Ga を添加することにより 100 ~ 300 kA/m 程度増加した。さらに、PA 法で作製した試料においては、さらなる保磁力の増加が確認され、特

Table 1 Magnetic properties of Nd-Fe-B thick film magnets prepared from Nd<sub>2.6</sub>Fe<sub>14</sub>B + M<sub>0.5</sub> at.% (M = Zr, Nb, Ga) targets by CA and PA.

	Hc [kA/m]	Mr [T]	(BH) <sub>max</sub> [kJ/m <sup>3</sup> ]	Annealing
Nd <sub>2.6</sub> Fe <sub>14</sub> B	1142	0.59	60	CA
	1374	0.57	54	PA
Nd <sub>2.6</sub> Fe <sub>14</sub> B + Zr <sub>0.5</sub> at.%	1262	0.59	57	CA
	1432	0.58	58	PA
Nd <sub>2.6</sub> Fe <sub>14</sub> B + Nb <sub>0.5</sub> at.%	1254	0.62	67	CA
	1526	0.60	63	PA
Nd <sub>2.6</sub> Fe <sub>14</sub> B + Ga <sub>0.5</sub> at.%	1464	0.57	56	CA
	1669	0.58	61	PA

に Ga を添加した試料では最大 1669 kA/m の著しく高い保磁力が得られた (Fig.1 参照)。この要因としては、添加物ならびに極短時間の熱処理の効果により、結晶粒の微細化ならびに均一化がなされたことが考えられる。現在のところ、添加物は保磁力の増加のみに有効であり、残留磁化の向上には貢献しないことが明らかとなった。更に、Ga ならびに Nb を添加した試料について 100  $\mu\text{m}$  以上に厚膜化した際の MH ループを測定した。結果を Fig. 2.3 に示す。厚膜化に伴い、磁気特性は劣化する様子が観測されたものの、添加に伴い高い保磁力を得られることが確認された。

## 4.まとめ

本研究では PLD 法により作製した等方性 Nd-Fe-B 系厚膜磁石の磁気特性の改善を目的とし、ターゲットへの他元素の添加ならびにパルス熱処理法と添加物を融合させる手法を用いた際の磁気特性ならびに結晶構造への影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

(1) Zr, Nb, Ga を添加することにより、無添加の試料の保磁力に比べ、100 ~ 300 kA/m 程度増加した。

(2) PA 法により作製した試料の保磁力は、CA 法により作製したものに比べ、200 kA/m 程度増加した。

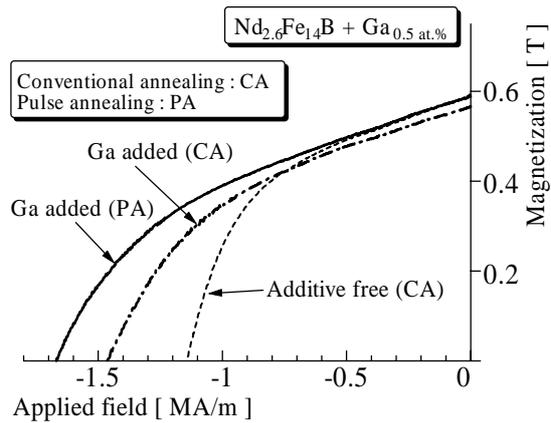


Fig. 1 Demagnetization curves of Nd-Fe-B thick film magnets.  
 (Target :  $\text{Nd}_{2.6}\text{Fe}_{14}\text{B}$  and  $\text{Nd}_{2.6}\text{Fe}_{14}\text{B} + \text{Ga}_{0.5 \text{ at.}\%}$ )

特に Ga を添加した試料では、最大 1700 kA/m 程度の著しく高い値が得られた。

#### 参考文献

- (1) M. Nakano *et al.* : *IEEE Trans. Magn.*, **43**, p.2672 (2007).
- (2) 武田ら : 第 30 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 14aG-4, (2006).
- (3) M. Nakano *et al.* : *IEEE Trans. Magn.*, **38**, p.2913 (2002).

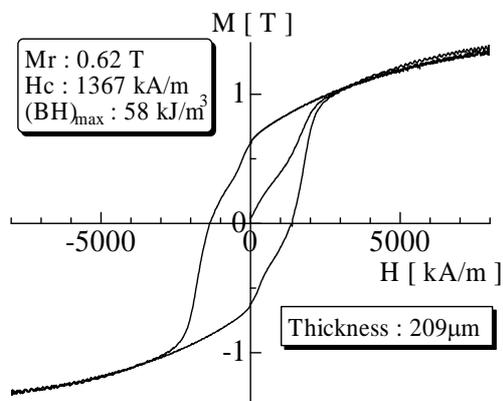


Fig.2 M-H loop of Nd-Fe-B film magnet with Ga additive.

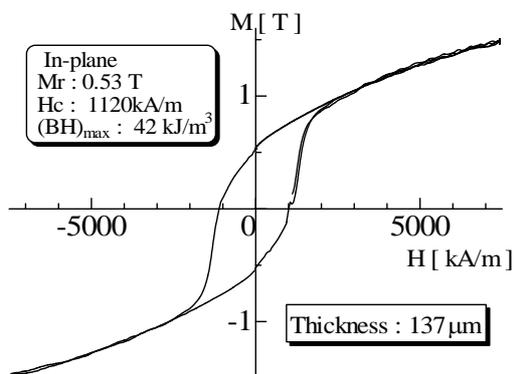


Fig.3 M-H loop of Nd-Fe-B film magnet with Nb additive.