

レアアース量の少ない $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 化合物の磁石化の可能性を実証 - ネオジム磁石を超える磁石特性のデモ -

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS) は東北学院大学と共同で、希土類元素の含有量が少ない $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ というサマリウム鉄コバルト化合物にホウ素を添加した薄膜で、自動車用モーターなどの産業応用に十分な 1.2 テスラという高い保磁力を実現することに成功しました。厚さ約 3 nm のアモルファス相が $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 粒子を均一に覆うユニークな複相ナノ構造により実現しました。薄膜によるモデル実験では、サマリウム鉄系磁石がネオジム磁石を超えるポテンシャルを実証しました。

ネオジム磁石は、ハードディスクドライブやスマートフォンなどの小型電子機器やエアコンなどの家電製品、医療機器の MRI など強力な磁力が必要な用途で広く使われています。最近ではハイブリッド自動車や電気自動車の駆動用モーターや、風力発電機などで多用され、その消費量が急速に拡大しています。使用中に温度が上がる電気自動車の駆動用モーター用のネオジム磁石では、耐熱性を高めるためにネオジムだけでなくジスプロシウムという希土類元素(レアアース)が使われていますが、原料の地政学的リスクが高いことからこれらの元素に頼らない磁石の開発が求められています。

SmFe_{12} 化合物は、鉄に対するレアアース (Sm) の比率が低く、磁化・結晶磁気異方性・キュリー温度という磁気物性値も磁石応用に適した値であることが知られており、その化合物を使った磁石開発は長年にわたり多くの研究者によって試みられてきました。2017 年に NIMS では SmFe_{12} の Fe の 20%を Co で置換した $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 化合物の磁気物性値がネオジム磁石化合物 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐことを確認していました。しかし、これまでこの化合物からは磁石に必要な「保磁力」という特性がでなかったために、磁石としての実用には至っていません。

成果の内容

現在広く使われている高性能なネオジム磁石では、一方向に配列したミクロの $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶を 3 nm 程度の厚さのアモルファス相が覆う異方性複相構造ができるために高い保磁力が得られるということが分かっていました。そこで、 $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 化合物においても結晶粒界に第 2 相を薄く均一に形成する微細組織を実現することを目指しました。 $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 薄膜にホウ素 (B) を添

加して結晶方位をそろえた膜を成長させたところ、図 1 の電子顕微鏡写真で見られるように $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ のナノ結晶が 3 nm 程度の厚さのアモルファス相で覆われたような粒子状の組織が形成されました。電子顕微鏡試料の透過像と断面像からこの膜の微細構造は図 1 (b) に模式的に示されるように、柱状のナノ結晶が全て同じ向きに配向し、各結晶が薄いアモルファス相で囲まれている異方性複相組織であることがわかりました。

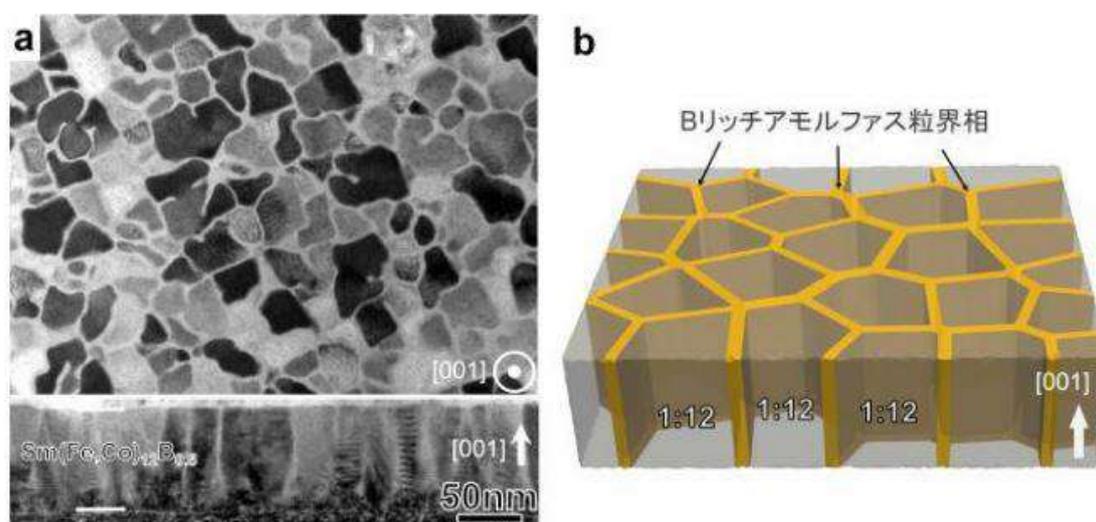


図 1. $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜の面内と断面の電子顕微鏡像と微細組織の模式図。

$\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ ナノ粒子を 3 nm の厚みのアモルファス相が均一に覆うユニークな異方性複相組織が形成されている。

図 2 は B を添加した $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜の磁化曲線を比較しています。横軸は試料を磁化させるためにかける外部磁界の強さ、縦軸は磁化の値です。外部磁界がゼロの時の磁化の値を残留磁化(磁石としてつかえる磁力の値)、反対向きに外部磁界をかけて磁化がゼロになる磁界の値(磁石が外部磁界により減磁されてしまう磁界)、つまり「保磁力」が読み取れます。優れた磁石は残留磁化、保磁力ともに高い値になります。B を含まない試料では保磁力の値は 0.1 テスラ (T) と小さかったのですが、B を添加した試料では 1.2 テスラという高い値を示しています。この値は、これまで報告された SmFe_{12} 系異方性磁石で報告されてきた保磁力の約 1.4 倍の大きな値です。また $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜の残留磁化は 1.5 T と、最高性能のネオジム磁石と同等の値となっています。

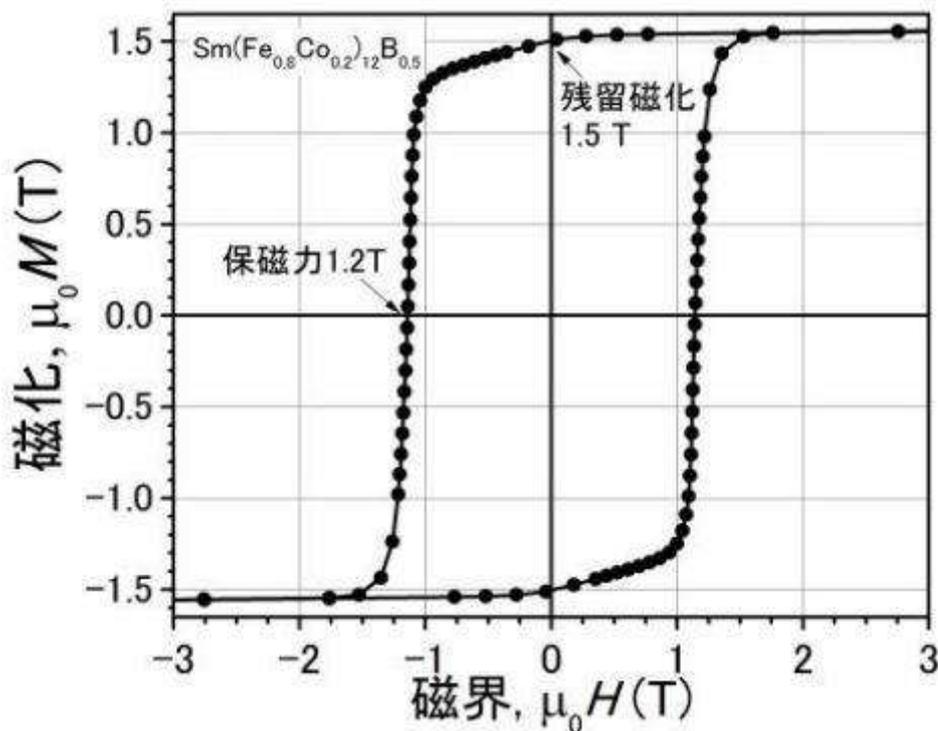


図 2. $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜の磁化曲線。試料にかけた磁界の向きは膜に対して面直方向。

さらに今回開発した $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜の保磁力の温度依存性を測定したところ、 1°C 当たりの減少率が -0.22% とネオジム磁石の -0.55% よりも小さいことがわかりました。電気自動車や風力発電機などでは 180°C の耐熱温度が要求されますが、 $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}\text{B}_{0.5}$ 薄膜はネオジム磁石よりも優れた耐熱性を示すことも確認されました。

図 3 にこれまで報告されてきた SmFe_{12} 系磁石粉末、最高磁化をもつネオジム磁石と本研究による薄膜磁石の残留磁化と保磁力を比較のために示しました。今回、薄膜で得られた磁石特性は従来の SmFe_{12} 系磁粉の特性を遙かに超える値を示しており、ネオジム磁石よりも若干高い特性が得られています。勿論、実用磁石とするにはこの特性をバルク試料で実現しなければなりません。これまで SmFe_{12} 系異方性磁石でどうしても得られなかった高い保磁力が微細構造を適度に制御すれば得られることを示した成果です。

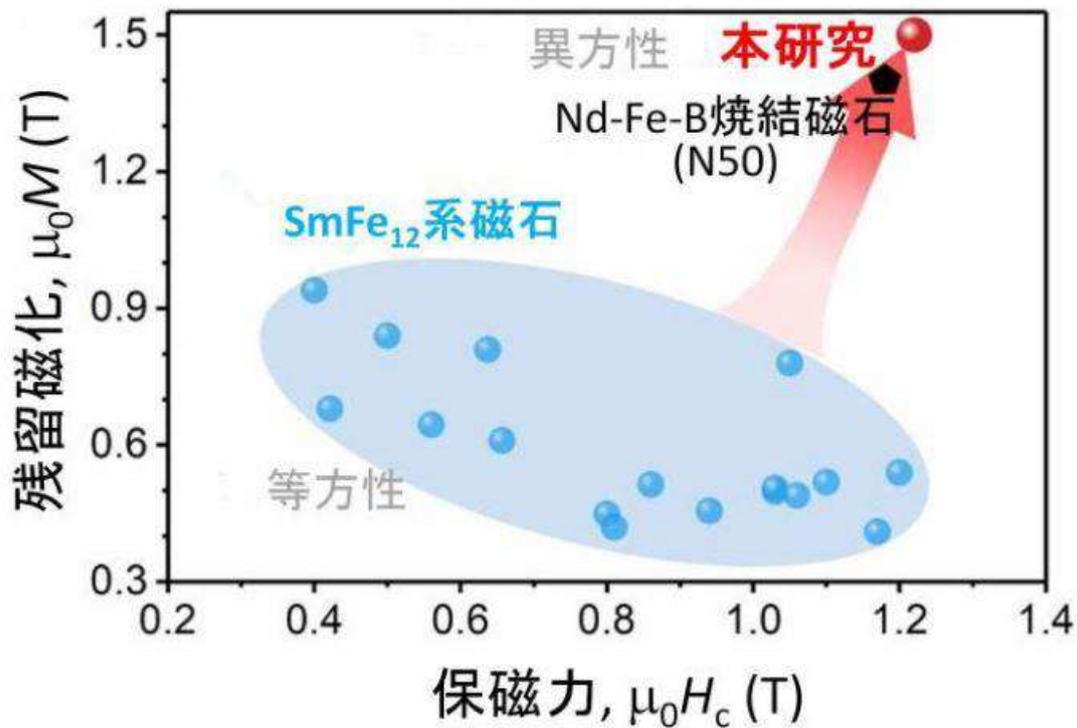


図3 残留磁化と保磁力の関係。目指す磁石性能は高い保磁力と高い残留磁化を満たす右上の部分です。本研究ではこれまでのSmFe₁₂系磁石よりもはるかに高い特性を、ネオジム磁石よりも若干高い特性を示しています。

今後 Sm(Fe_{0.8}Co_{0.2})₁₂系化合物を磁石として実用化するには、本研究で得られたような微細組織をバルク磁石で実現していく必要があります。この目標に向けて今後さらに研究を進めていきたいと考えています。

論文情報

タイトル Achievement of High Coercivity in Sm(Fe_{0.8}Co_{0.2})₁₂ Anisotropic Magnetic Thin Film by Boron Doping

雑誌: Acta Materialia (2020)

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.05.026>

日本語原文

<https://www.nims.go.jp/news/press/2020/06/202006100.html>