

## 極限磁性スピナノ構造体の創製

### Creation of Spin-Nanostructure with Extreme High Magnetic Moment

高橋 研 (TAKAHASHI MIGAKU)

東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授



#### 研究の概要

低消費電力かつ高性能な電子部品・電気機器の革新的な特性向上を意図して、高飽和磁化を有するナノサイズのスピナノ構造体の合成技術を構築し、スレーター・ポーリング曲線限界を超える極限磁性の獲得を目指す。また、スピナノ構造体の集合体形成技術の構築を通して、高飽和磁化ナノ粒子の新たな応用展開の可能性を探索する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：磁性体、飽和磁化、窒化鉄、ナノ粒子、薄膜

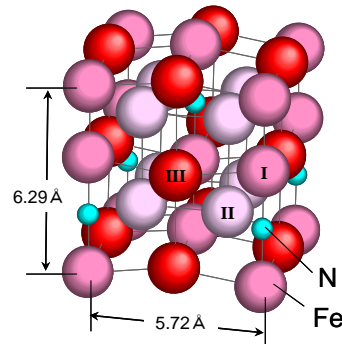
#### 1. 研究開始当初の背景

大容量の情報をより高速で伝送する高速情報通信システムに対応した超低消費電力かつ小型であり、加えて、限られた資源環境を駆使し低環境負荷、二酸化炭素排出の大幅抑制を可能とする電子デバイス・電気機器が切望されている。このようなデバイスの革新的な高機能・高品位化を実現するため、電気電子材料において中核をなす磁性材料の新たなブレークスルーが必要な局面を迎えている。特に、材料固有の磁気物性値である飽和磁化の高い磁性材料が必要不可欠であり、最大の鍵となる。

#### 2. 研究の目的

我々は高飽和磁化の可能性を秘めた窒化鉄に着目した。特に、 $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ 相（右図）は準安定相であるものの最大で  $10\text{kOe}$  程度の大きな結晶磁気異方性磁界を示し、かつ、 $2.4\text{T}$  の飽和磁化を有する。本申請研究では、各種構造評価および磁気物性評価を通して、単相の窒化鉄ナノ粒子を再現性良く直接的あるいは間接的に合成する手法の確立を目指し、極限磁性発現の可能性を探索。また、これまで構築してきた磁性ナノ粒子を用いて、集合体形成技術を段階的に構築し、磁気デバイス材料としてのナノ粒子集合体の応用展開を

図る。



窒化鉄の結晶構造。

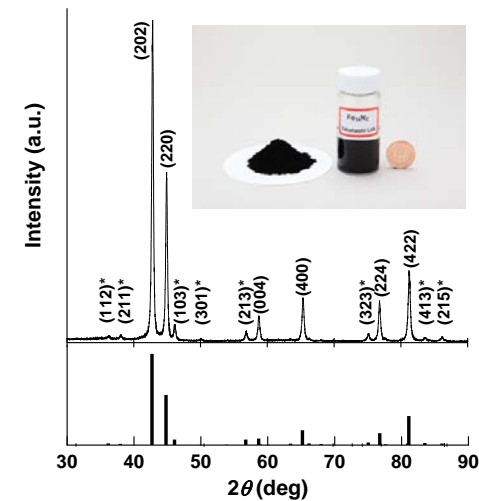
#### 3. 研究の方法

本研究は、研究構想全体の内、初期の研究段階と位置付け、窒化鉄ナノ粒子合成のための原材料開発からナノ粒子の直接・間接合成、および、ナノ粒子集合体形成技術までの一連の技術開発項目について段階的に要素技術の確立を図る。ナノ粒子窒化技術として、窒化とナノ粒子生成を同時に行うアンモニア添加型直接合成法、および、酸化鉄ナノキューブ等の前駆ナノ粒子を還元・窒化する間接合成法を構築し、各種構造評価・磁気物性評価を通して、フリーな界面を有する表面原子の存在を積極活用し、高飽和磁化を有する極限磁性スピナノ構造体の実現を図る。

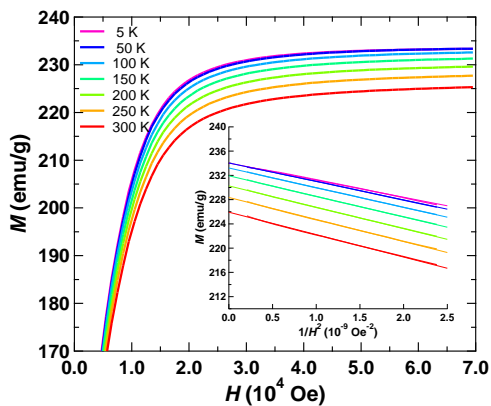
#### 4. これまでの成果

Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相の窒化鉄が巨大飽和磁化を持つ可能性を1972年に薄膜形態として提唱されて以来、本研究代表者を含めた多くの研究グループが薄膜、あるいは、ナノ粒子の形態で精力的に研究を行ってきた。しかしながら、単相として得ることは難しく、材料の発見から40年経過した今なおFe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相の飽和磁化に関しては未だ議論の最中にある。

本研究では、最適原材料を合成し、それを用いて高い生成率で再現性良くFe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>ナノ粒子が得られる前駆体の合成技術を構築した。結果として、1グラム程度のFe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相ほぼ単相の窒化鉄ナノ粒子の合成が世界で初めて可能となった。右図に示すX線回折の結果から、窒素原子が歪んだ鉄の結晶構造中で秩序を持って配列していることを意味する超格子回折が多数観察されており、合成した窒化鉄ナノ粒子はα'-Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相の結晶構造であることを確認した。また、飽和磁化値は5Kの極低温において234emu/g、室温においても226emu/gを示し、薄膜形態の値(240emu/g)と同程度となっている。また、従来のバルク形態純鉄の飽和磁化値220emu/g(5K)および218emu/g(室温)を大きく上回ることから、Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相の高い生成率を確認できる。



合成した窒化鉄ナノ粒子のX線回折結果と試料の概観写真.



窒化鉄ナノ粒子の各温度における磁化曲線と飽和漸近則を用いた解析結果.

#### 5. 今後の計画

Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>相の磁気構造を中心とした磁気物性の把握とその物理的描像の深化を図る。また、間接合成法で得られた窒化鉄ナノ粒子を用いて、凝集/分散の集合体形成技術の構築、ならびに、純鉄ナノ粒子集合体との比較を通して、粒子間で働く磁気双極子相互作用、直接交換相互作用が透磁率や保磁力等の磁気特性に及ぼす影響を検討する。さらに、窒化鉄薄膜と窒化鉄ナノ粒子の両者の構造および磁気特性の比較を通して、極限磁性につながる材料指針の獲得を目指す。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- # "Size effect of Fe nanoparticles on the high frequency dynamics for highly dense self-organized assemblies", H. Kura, T. Ogawa, R. Tate, K. Hata and M. Takahashi, *J. Appl. Phys.*, 査読有, **111**, No. 7, 07B517-1-07B517-3 (2012).
- # 「磁気双極子相互作用がFeナノ粒子集合体の磁気特性に及ぼす影響」, 蔵裕彰, 館龍, 高橋研, 小川智之, *日本磁気学会誌*, 査読有, **35**, 203-210 (2011).
- "Simultaneous agglomeration of Fe/Au nanoparticles with controllability of magnetic dipole interaction", T. Ogawa, H. Kura and M. Takahashi, *Scripta Materialia*, 査読有, **64**, 1067-1070 (2011).
- "Synthesis of Monodisperse Iron Nanoparticles with High Saturation Magnetization using Fe(CO)<sub>x</sub>-Oleylamine Reacted Precursor", H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physical Chemistry C*, 査読有, **114**, 5835-5838 (2010).
- "Size control and characterization of wustite (core)/spinel (shell) nanocubes obtained by decomposition of iron oleate complex", H. T. Hai, H. T. Yang, H. Kura, D. Hasegawa, Y. Ogata, M. Takahashi and T. Ogawa, *Journal of Colloid and Interface Science*, 査読有, **346**, 37-42 (2010).

ホームページ等

高橋研究室

<http://www.takahashi.ecei.tohoku.ac.jp>