

ナノ微粒子化マグネタイトの軟 X 線内殻光吸収磁気円二色性 Magnetic Circular Dichroism of Soft X-ray Core-Level Absorption Spectroscopy in Magnetite Nanoparticles

山崎 篤志, 青木 敬, 上田 真吾, 能勢 裕介, 小堀 裕己,

高瀬 浩一, 東谷 篤志, 大沢 仁志, 中村 哲也

Atsushi Yamasaki^a, Kei Aoki^a, Shingo Ueda^a, Yusuke Nose^a, Hiromi Kobori^a,

Koich Takase^b, Atsushi Higashiya^c, Hitoshi Osawa^d, Tetsuya Nakamura^d

^a 甲南大理工, ^b 日大理工, ^c 理研, ^d JASRI

^a Faculty of Science and Engineering, Konan University,

^b College of Science and Technology, Nihon University, ^c RIKEN, ^d JASRI

ナノ微粒子化されたマグネタイトにおける Fe の磁性を軟 X 線内殻光吸収磁気円二色性(SXMCD)測定により調べた。マグネタイト結晶のナノ微粒子化により, SXMCD スペクトル形状がバルク単結晶のそれから変化していることが観測された。

Magnetite nanoparticles have been investigated by measurements of the magnetic circular dichroism of soft x-ray core-level absorption spectroscopy (SXMCD). The SXMCD spectrum is modified from that of bulk crystals due to the nano-particulation of magnetites.

キーワード／マグネタイト, 軟 X 線内殻光吸収磁気円二色性, SXMCD, ナノ微粒子

背景と研究目的：

マグネタイト(Fe_3O_4)は $T=123\text{K}$ 付近で金属-絶縁体転移(フェルベイ転移)を起こす。この物質は伝導電子が 100% スピン偏極したハーフメタルと考えられており, スピントロニクス材料の有力候補として世界中で精力的に研究されている。フェリ磁性をもつマグネタイトをナノ粒子化すると, フェルベイ転移よりも高い温度域($T=150\text{--}250\text{K}$)において, 単結晶の場合と比較しておよそ 20 倍の巨大な磁気抵抗変化を示すことが最近明らかになった[1,2]。これは従来研究されてきたマグネタイト薄膜と比べても数倍大きい。ナノ粒子化マグネタイトの電氣的・磁氣的特性については現在研究が進んでいるが, ミクロな視点での Fe の磁性に着目した研究は行われていない。ナノ微粒子化に伴う著しい特性の向上のメカニズムを明らかにすることは, 学術的見地からのみならず室温駆動の新しい高出力磁気記録材料を目指すという応用的見地において極めて重要である。磁性と伝導を支配している要因がマグネタイトのナノ粒子化によってど

のように変化するのか, その解明が急務となっている。

本研究では, ナノ微粒子化したマグネタイトの Fe 原子が持つ磁性に着目し, 軟 X 線内殻光吸収磁気円二色性(SXMCD)測定によりこれを明らかにすると共に, ナノ微粒子粒径やナノ微粒子作製条件を変化させた際の Fe の磁性の変化についても調べることを目的とした。

実験方法：

SXMCD 実験は, SPring-8 の BL25SU において行った。超高真空中で試料を破断することで清浄表面を得た。光吸収(XAS)スペクトルは, 総電子収量法により測定した。実験では, 光の進行方向と磁場の印加方向が平行であるファラデー配置で行った。キッカーマグネットにより光のヘリシティを 1Hz で反転させて XAS スペクトルを測定し, 光スピンと磁化が平行な XAS スペクトルから, 反平行な XAS スペクトルを差し引くことで SXMCD スペクトルを得た。この際, 印加した磁場の強

度は $H=1.0$ T であった。

実験結果と考察：

図 1 に、ナノ微粒子化マグネタイトの Fe2p-3dXAS スペクトルと MCD スペクトルを示す。XAS スペクトルでは、 $2p_{3/2}$ と $2p_{1/2}$ の両方の領域において、バルクのマグネタイトにおけるスペクトルと同様に複雑な構造がみられる。MCD スペクトルには、 $2p_{3/2}$ 領域において 2 つの負のピーク(A と C)とひとつの正のピーク(B)がみられる。バルクのマグネタイトにおける SXMCD 実験結果との比較から、A,B,C はそれぞれ、 O_h 対称性を持つ B サイトの Fe^{2+} イオン、 O_h 対称性を持つ B サイトの Fe^{3+} イオン、 T_d 対称性を持つ A サイトの Fe^{2+} イオンに由来するものであることが分かる[3,4]。注目すべきはこれらの MCD ピークの強度比であり、ピーク A の強度に対してピーク B および C の強度はバルクのそれらと比較して 10% 程度大きくなっている。これは、ナノ微粒子化によって、各イオンの持つ磁気モーメントの大きさを変化させることが出来ることを示している。

また、磁気光学総和則[5,6]を用いた解析から、ナノ微粒子化したマグネタイトでは、Fe3d 電子が僅かながら有限の軌道磁気モーメントを持っていることが示唆される。

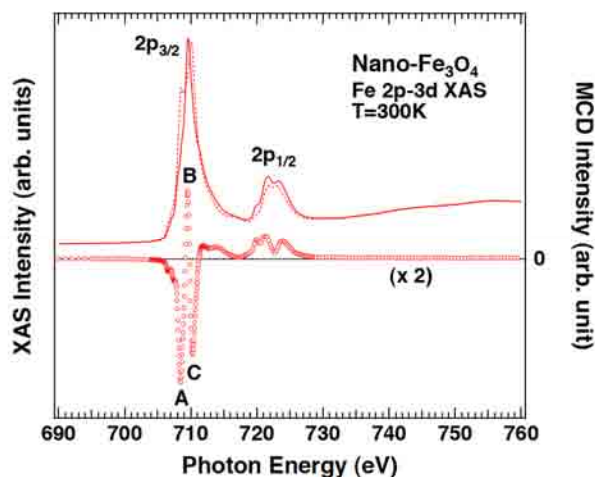


Fig. 1. Fe 2p-3d XAS and MCD spectra of a magnetite nanoparticle. The solid (broken) line shows the spectrum with the spin of photons parallel (antiparallel) to the Fe 3d majority spins. Dots show the difference of the XAS spectra, that is, the MCD spectrum.

今後の課題：

マグネタイト単結晶における Fe3d 電子が有限の軌道磁気モーメントを持っているか否

かについては、未だ議論に決着がついていない[3,4]。従って、ナノ微粒子化マグネタイトにおける軌道磁気モーメントの有無については今後、より詳細な解析を行うと共に再現性の確認のための実験を含む更なる研究が必要である。

参考文献

- [1] H. Kobori, K. Ohnishi, A. Sugimura, and T. Taniguchi, AIP Conf. Proc. 893, 1261 (2007).
- [2] H. Kobori, K. Ohnishi, A. Sugimura, and T. Taniguchi, Phys. Status Solidi C 3, 4200 (2007).
- [3] D. J. Huang et al., Phys. Rev. Lett. 93, 077204 (2004).
- [4] E. Goering et al., Europhys. Lett. 73, 97 (2006).
- [5] B. T. Thole et al., Phys. Rev. Lett. 68, 1943 (1992).
- [6] P. Carra et al., Phys. Rev. Lett. 70, 694 (1993).