

定説覆す発見 10nm サイズの高品質マグネタイト作製で明らかに

大阪大学の研究グループは、産業技術総合研究所と共同で、3次元方向全てが10nmサイズを持つ強相関酸化物であるマグネタイト (Fe_3O_4) のナノ構造体の作製を実現し、極微ナノ試料において初めて相転移特性を観察しました (図1)。

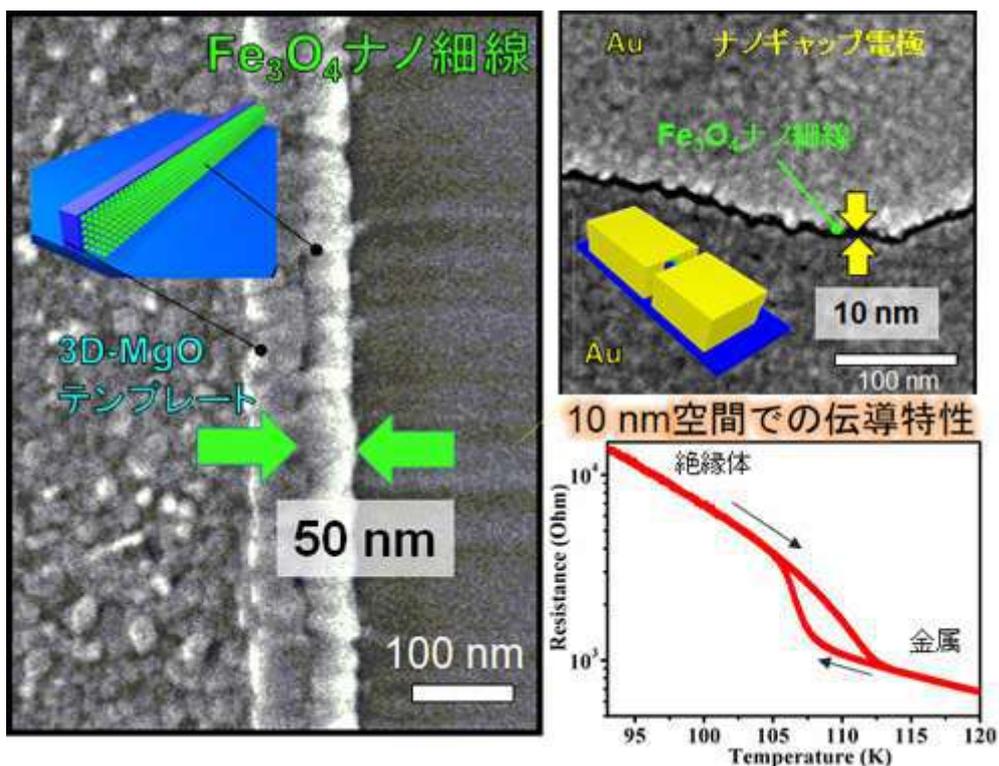


図1 独自のナノ細線作製技術とナノギャップ電極により Fe_3O_4 の10nm領域での相転移を初観察。

マグネタイトは金属-絶縁体転移 (フェルバー転移) によりその電気伝導度が大きく変わることが知られており、基礎、応用の両面から注目されている材料です。これまでマグネタイトは、ナノサイズ化すると欠陥の密度上昇により相転移が消失すると報告されていました。しかし、服部助教らのグループの持つ高品質なナノ構造体を作製できる技術と産業技術総合研究所の10nmの微小間隙 (かんげき) を有する電極作製技術を組み合わせることにより、ナノ構造化を実現し、mm- μm サイズの大きなサイズの試料よりも欠陥密度が低く、マグネタイトが本来持つ優れた転移特性を引き出せることを実証しました。これにより、固体物理の最も重要な未解決問題の1つであるマグネタイトの金属-絶縁体転移の機構解明や、10nm以下のサイズでも動作するナノエレクトロニクスデバイスへの展開が期待されます。

本研究成果は 2019 年 7 月 9 日、米国科学誌「Nano Letters」にオンライン掲載されました。マグネタイト (図 2) は金属-絶縁体転移によりその電気伝導度が 100 倍以上変わることなどから、80 年以上にわたり精力的に基礎学術研究が行われてきました。また、ナノエレクトロニクス展開を目的として、ナノ細線、ナノ粒子などさまざまな手法でナノ構造化が進められてきました。しかし、これまではナノ構造化 (サイズ減少) により転移の消失や、抵抗変化率の低下が報告されており、ナノ構造体での優れた転移特性の観察は難しいと考えられていました。その理由として、マグネタイトで特徴的にみられるアンチフェイズバウンダリー (異相境界) などの欠陥があげられます。欠陥の多くはサブ-数ナノメートルサイズであるため、ナノ構造体ではサイズの大きい薄膜試料などに比べて欠陥の影響を大きく受け、転移特性など物性が低下していました。

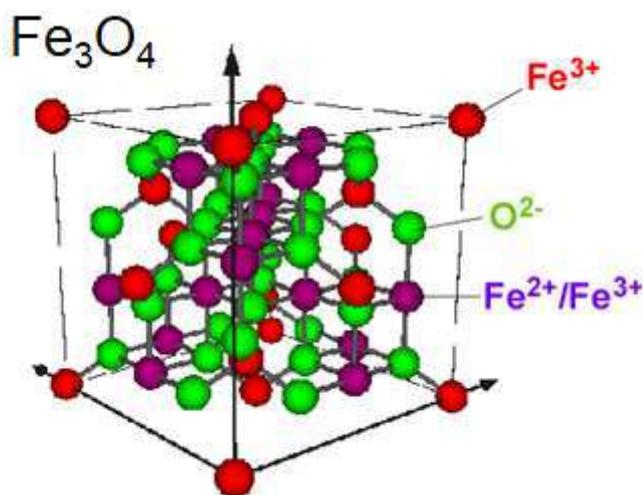


図 2 マグネタイトの構造

服部助教らのグループでは、単結晶化した 3 次元ナノテンプレート基板の側面を起点とし、nm 精度でサイズを制御したナノ構造作製手法「3 次元ナノテンプレート PLD 法 (pulse laser deposition: パルスレーザー堆積法)」を開発し、高品質なナノ構造体を実現してきました。この手法によりマグネタイトで欠陥が少なく、優れた転移特性を示すナノ構造体を実現しました。作製したナノ構造体にも欠陥は存在しますが、欠陥の少ない領域を選び出すことで、薄膜試料よりも 5 倍以上変化率が上昇することを発見しました (図 3)。これはマグネタイトの本来持っている特性が、欠陥 (主にアンチフェイズバウンダリー) の影響を受けずに抽出できたためです。

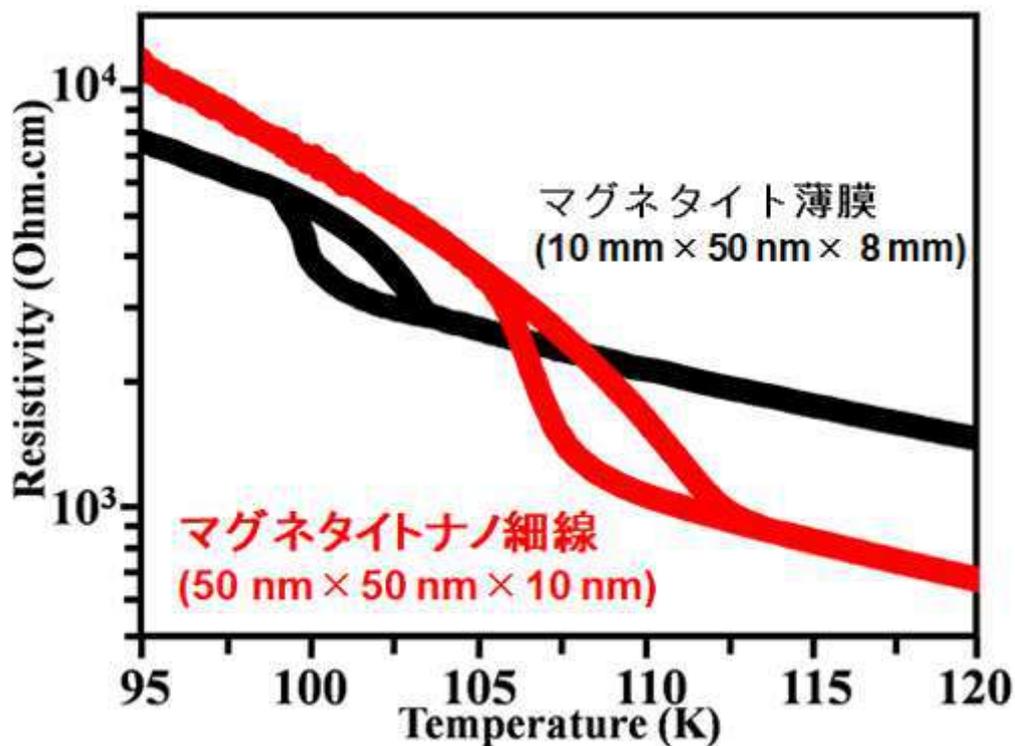


図3 ナノ細線試料での優れた転移特性

さらに、今回の成果によって、高品質なマグネタイトのナノ構造体の実現により、マグネタイトの相転移の起源といわれているトライメロンという準粒子のサイズなどの正確な見積もりを可能としました。トライメロンの生成・消滅はマグネタイトの相転移と直結しているため、そのダイナミクスを理解することが重要です。これまで主流であった薄膜などの大きなサイズの試料では、非常に小さいトライメロンの情報は平均化されて埋没してしまいましたが、今回実現した高品質なナノ構造体での研究により新たな情報が得られ、フェルバー転移の機構の理解を可能にすると期待されます。

(日文新聞发布全文 <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190710-2/index.html>)

文：JST 客观日本编辑部翻译整理