

原子の「坑道」が作る究極のナノ磁石 —磁気メモリ等のピン層面積を 1万分の1に—

東京大学大学院工学系研究科総合研究機構の幾原雄一教授（JFCC ナノ構造研究所主管研究員）、柴田直哉准教授（JST さきがけ研究員）、杉山一生大学院生らの研究グループは、東北大学原子分子材料高等研究機構（王中長准教授）および名古屋大学（山本剛久教授）と共同で、反強磁性体である酸化ニッケル中に導入された転位が、4T（テスラ）を超える保磁力を有するナノ細線磁石となることをはじめて明らかにした。

微細なデバイスを開発する際、これまでは、非常に薄い膜を作製することや次元の細線を削りだすなど、より小さな構造体を人工的に作り出すための研究開発が世界中で行われてきた。これに対し、本研究では、次元のナノ構造を有し結晶中で原子が「坑道」を構成したような構造を取っている“転位”の機能の応用に着目した。すなわち、酸化ニッケル内に直線状の転位を高密度に導入し、これに物性を付与することでデバイス応用へと結びつける研究開発を行った。まず、膜と基板の格子ミスマッチを利用し、高密度な転位を有する酸化ニッケル薄膜を、パルスレーザー堆積法を用いて作製（特願2012-170951）した。さらに、膜中の転位一本

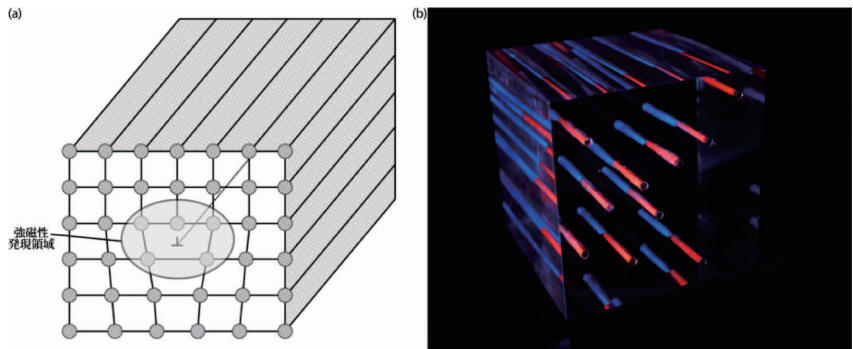


図 (a)転位の模式図と(b)結晶中に導入された線状の磁石を模式的に示図。各ナノ磁石は直径1ナノメートル（1万分の1ミリメートル）に満たない大きさ。（*Nature Nanotechnology*, 2013）。

本の磁気物性を磁気力顕微鏡により詳細に計測することで、各転位がそれぞれ強磁性を有していることを見いだした。この場合、磁石のN極とS極を反転させるために必要な力に相当する保磁力が4Tを上回っており、市販されている硬質な永久磁石であるネオジム系磁石の保磁力が1T程度であるのと比較して、非常に硬質な磁性を有していることが判明した。さらに、最先端の収差補正走査透過型電子顕微鏡による転位近傍の原子構造の観察と、電子エネルギー損失分光法を用いた電子状態の解析、スーパーコンピューターを用いた理論計算を組み合わせることにより、転位における強磁性が、転位に沿って導入されたNi空孔に起因していることを突き止めた。硬質な強磁性体は、磁気メモリや磁気演算素子のピン層として応用されており、本研究で得られた転位は現在実用されているピ

ン層と比較して、その面積が1万分の1程度であることから、磁気メモリや磁気演算素子を含む次世代スピントロニクスデバイスの微細化・高集積化に大きく寄与することが期待されている。

本研究成果は英国科学誌ネイチャー・ナノテクノロジー「*Nature Nanotechnology*」で、2013年4月号（Vol.8）に掲載された。また、本研究は、文部科学省の特定領域研究“機能元素のナノ材料科学”の一環として行われた。

（東京大学大学院工学系研究科総合研究機構 柴田直哉 准教授 連絡先：〒113-8656 東京都文京区弥生2-11-16, E-mail: shibata@sigma.tu-tokyo.ac.jp）

URL: <http://interface.tu-tokyo.ac.jp>

[2013年6月16日原稿受付]

カーボンナノウォールから スーパーハードグラファイトの生成

横浜市立大学の橋 勝教授と大学院生の中村和貴と吉村昭彦は、東京工業大学の阿藤敏行准教授と中村一隆准教授、兵庫教育大学の庭瀬敬右教授との共同研究により、ナノカーボン的一种であるカーボンナノウォール（CNW）の衝撃圧縮超急冷（SCARQ）実験によって、スーパーハードグラファイト（SG）が生成されることを発見した。

CNWは、プラズマCVD法によって生成される基板に垂直に配向した厚さ5nm以下の二次元のシート状物質である。CNWの微細構造は、20nm程度の微小サイズのグラファイトのドメインから構成されている。このように、CNWは高いグラファイト性を示す一方で、ドメイン境界といった多量の欠陥を含む大変ユ

ニークな構造をしている。これらの特徴から、高圧下でのCNWの構造変換は、半世紀にもわたる研究課題であるグラファイトからダイヤモンドへの変換機構との関連からも大変興味深い。そこで、今回、CNWを出発物質として、SCARQ実験が行われた。

さまざまな衝撃圧力での生成物を調べたところ、57GPa以上の高圧力において、試料の一部に数 μm ～数十 μm のサイズの透明な破片状の物質が生成された。この透明物質のラマンスペクトルには、ダイヤモンドのピークは現れず、蛍光がバックグラウンドの大きな上昇として観測された。この結果は、アモルファスダイヤモンド（a-D）の特徴を示している。一方、電子エネルギー損失スペクトルには、グラファイトの π^* バンドが明確に観察された。これらの結果から、生成された透明物質は、a-Dとグラファイトの両方の特徴をもつSGであることが

提案された。SGはダイヤモンドと同等、もしくはそれ以上の硬さを持つとされているが、その詳細な構造や生成機構は未だ明らかになっていない。

このようなSGの生成はCNWのドメイン構造に深く関係していると考えられる。このドメインのサイズはCVD条件によって容易に制御することができる。今後のドメインサイズの異なるCNWを用いたSCARQ実験は、SGの生成機構の解明だけでなく、更なる新物質の創製も期待される。

（横浜市立大学 教授 橋 勝 連絡先：〒236-0027 横浜市金沢区瀬戸22-2, E-mail: tachiban@yokohama-cu.ac.jp）

URL: <http://nanomate.sci.yokohama-cu.ac.jp/>

[2013年6月19日原稿受付]