

## 最高の強磁性転移温度を持つ新絶縁物質 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ を創製——88年ぶりに記録を更新

NTT物性科学基礎研究所では、電気を通さない物質（絶縁体）の中で、最高の温度（780℃以上）で磁石としての性質（強磁性）を示す新物質 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ 〔Sr（ストロンチウム）、Os（オスミウム）、O（酸素）からなる物質〕を世界で初めて合成・発見し、磁性発現の起源となる電子状態を、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 常行真司教授らの研究グループと共同で明らかにしました<sup>(1)</sup>。

今回合成した物質は、88年ぶりに絶縁体の強磁性転移温度（キュリー温度）を更新するもので、長年の磁性材料研究の歴史を塗り替える成果です。この新物質の発見により、高い温度で強磁性が発現するメカニズムに関する基礎科学的な知見が得られました。また、現存する高温磁性材料のほとんどに鉄やコバルトが含まれるのに対し、新物質はこれらの元素を含まないため、磁性材料の開発に新機軸をもたらすと考えられます。さらに、 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ は、素子化に適した単結晶薄膜の形で合成されました。そのため、室温～250℃程度の実用的な温度で安定に動作する、磁気ランダムアクセスメモリや磁気センサといった高性能磁気素子の開発につながるものと期待されます。

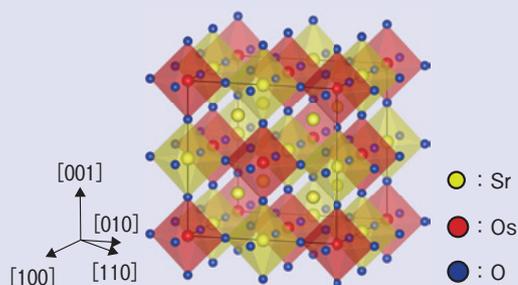
### ■研究の背景

強磁性絶縁体には、人類が最初に発見した磁石で、方位磁針として使われた磁鉄鉱などがあります。それらは現在でも、永久磁石や高周波用素子として、スマートフォン、自動車、PCといったありとあらゆるものに使用され、テクノロジーの発展を根底から支えています。近年では、電子の持つ磁気的な性質と電気的な性質を同時に活用して素子の高速動作や低消費電力動作を実現するスピントロニクス素子の研究が盛んになり、この素子の材料としても強磁性絶縁体が有望視されています。

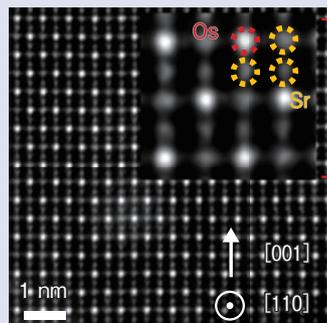
近年の電子化の潮流と相まって実用素子への要求性能は高まる一方であり、動作温度に関しては、室温にとどまらず200℃を超える高温での安定動作が求められています。しかしながら、磁気素子の高温での安定動作の可否を決める主要な因子であるキュリー温度は、1930年代のフェライト磁石開発以降、90年近く更新されておらず、高いキュリー温度を持つ次世代の強磁性絶縁体の実現と、その探索指針の構築が待たれていました。

### ■研究の成果

NTT物性科学基礎研究所は、長年にわたり開発・蓄積してきた独自の酸化物合成技術によって、最高のキュ



(a) 結晶構造（ダブルペロブスカイト）の模式図



[110] 結晶方向からみた像で、原子レベルでSrとOsが(a)のとおりに規則的に配列していることが分かります。

(b) 原子レベルに拡大された顕微鏡像（走査型透過電子顕微鏡像）

図 合成した $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$

リー温度を持つ新物質 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ を世界に先駆けて合成・発見しました(図)。磁化測定によって見積もられたキュリー温度は780℃を超え、これは、絶縁体のキュリー温度を88年ぶりに100℃以上更新する成果です。

また、東大と共同で行った密度汎関数理論に基づく計算により、 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ の強磁性絶縁状態が、5d遷移元素であるOs(オスミウム)の大きなスピン軌道相互作用に由来することを明らかにしました。これは、高温での強磁性の発現機構に新たな知見を呈示するもので、学理の構築へ貢献するとともに、今後、スピン軌道相互作用が大きな元素を活用した新物質開発へとつながることが期待されます。

本物質は新物質であるだけでなく、素子化に向けた微細加工と相性の良い単結晶薄膜の形で合成されました。このため、室温以上の高温で安定に動作する磁気ランダムアクセスメモリや磁気センサといった、高機能磁気素子の開発につながるものと期待されます。

#### ■技術のポイント：高品質な $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ 薄膜の合成

ダブルペロブスカイトと呼ばれる結晶構造(図(a))を持つ $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ 薄膜を、分子線エピタキシー法によって創製しました。高品質な薄膜を合成するには、合成時に $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ を構成するそれぞれの元素の供給量を精密に制御することが重要になります。従来、3000℃以上の融点を持つOs原子の供給量の精密制御は困難とされてい

ましたが、供給する原子の量を原子からの発光を利用してモニタし、高出力電子線蒸着源の出力にリアルタイムでフィードバックすることにより、Sr原子とともにOs原子の供給量の精密制御に成功しました。この技術の確立により、原子レベルでSrとOsが規則的に配列した超高品質な $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ 薄膜(図(b))の合成が可能となりました。

#### ■今後の展開

放射光施設などの利用で可能となる先進的な分光手法を用いて、新物質 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ の電子状態に関するさらに詳細な知見を得ることで、強磁性体の学理の構築への貢献をめざします。また、高温で安定に動作する高機能磁気素子の実現へ向けて、 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ を材料に用いた素子を作製し、トンネル磁気抵抗効果の実証などに取り組んでいきます。

#### ■参考文献

- 1) Y. K. Wakabayashi, Y. Krockenberger, N. Tsujimoto, T. Boykin, S. Tsuneyuki, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto: "Ferromagnetism above 1000K in a highly cation-ordered double-perovskite insulator  $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ ," Nature Communications, Vol.10, No.535, 2019.

#### ◆問い合わせ先

NTT先端技術総合研究所

広報担当

TEL 046-240-5157

E-mail science\_coretech-pr-ml@hco.ntt.co.jp

URL <http://www.ntt.co.jp/news2019/1902/190212a.html>

## 超精密原子供給技術で挑む超伝導・磁性物質の創製

### 研究者紹介

若林 勇希

NTT物性科学基礎研究所  
低次元構造研究グループ  
研究員

NTT物性科学基礎研究所では、独自の酸化物薄膜成長技術によって、従来のコンセプトを変えるような新しい超伝導体や磁性体(磁石になる物質)の合成を行っています。超伝導や磁石の性質を示す多くの酸化物は、3種類以上の元素の組み合わせでできているため、高品質な薄膜を合成するには、物質を構成するそれぞれの元素の供給量を精密に制御することが重要になります。私が所属するグループでは、供給する原子の量を原子からの発光を利用してモニタしながら精密に制御する技術を確認しています。

今回、この技術によって、電気を通さない物質(絶縁体)の中で最高の温度(780℃以上)で磁石としての性質を示す新物質 $\text{Sr}_3\text{OsO}_6$ 〔Sr(ストロンチウム)、Os(オスミウム)、O(酸素)からなる物質〕を世界で初めて合成・発見することができました。本成果は、室温~250℃程度の実用的な温度で安定に動作する、磁気ランダムアクセスメモリや磁気センサといった高機能磁気素子の開発につながるものと期待されます。

私は入社以前から、この原子供給制御技術を用いた物質創製に挑みたいと思っており、幸運にも希望のグループへ配属されました。諸先輩方によって確立された技術を活かして、世界中が驚くような新しい物質を合成したいという夢を持って日々実験に取り組んでいます。技術を極めた先に大きな発見があると信じて、これからも高品質な酸化物薄膜の創製に挑んでいきます。

