

ハニカム格子イリジウム酸化物の人工超格子合成に成功、量子スピ液体の制御技術開発に前進

量子コンピュータなどの量子状態制御への応用可能性から、量子スピ液体が注目されています。イリジウムイオンがハニカム格子（蜂の巣）状に並んだ化合物は、この量子スピ液体をもたらす物質として素子への展開が期待されています。

東北大学金属材料研究所の藤原宏平准教授、三浦径大学院生（当時）、塚崎敦教授、東京大学大学院工学系研究科の柴田直哉教授らの共同研究グループは、イリジウムイオンがハニカム格子（図1、 $B=Ir$ ）状に配列した新規酸化物 $Mn-Ir-O$ の人工超格子を合成することに成功しました。

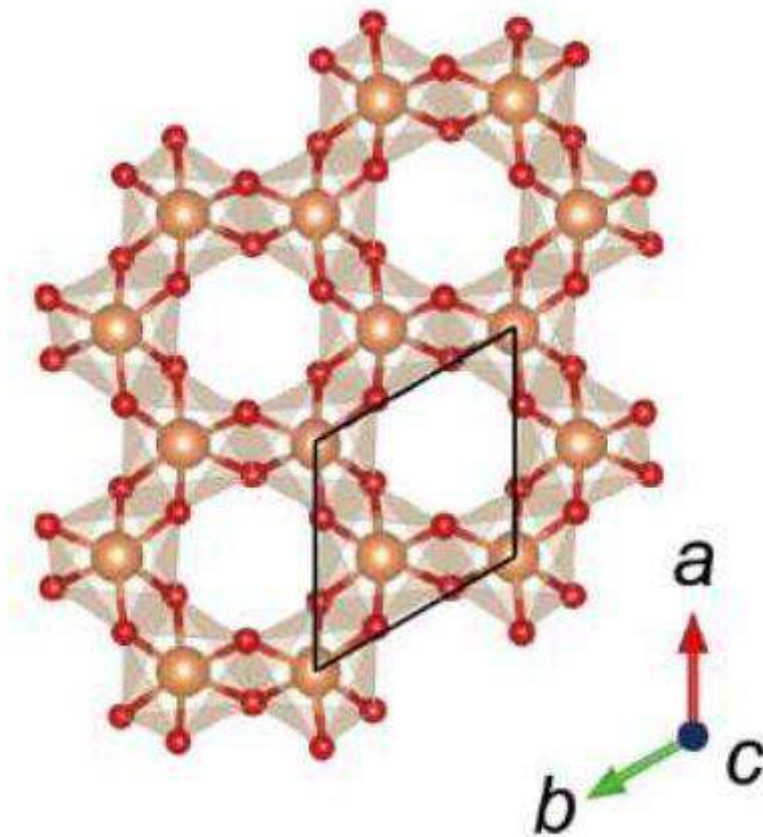


図 1. ハニカム（蜂の巣）BO6 格子

本研究の意義は、1.真空成膜条件下でも安定な結晶構造を保つイルメナイト型酸化物に着目

して IrO₆ ハニカム格子の薄膜合成に成功したこと、さらに、2.人工超格子技術を用いることによって、真空成膜手法が新物質合成技術として有用であることを示したことにあります。この成果は、量子スピン液体の物質開発に新たなアプローチを提供するだけでなく、薄膜試料を用いた機能素子の開発にも役立つものと期待されます。

○研究背景

電子の自転運動に対応するスピンは、固体中で強磁性や反強磁性などの秩序状態（スピンの向きが揃った状態）を形成することが知られており、それらの磁氣的性質は様々な素子（メモリ、センサ）に利用されています。一方で、スピン同士が強く相互作用しながらも、極低温まで秩序化しない特殊な状態は量子スピン液体と呼ばれ、磁気物理分野を中心に研究者の興味を惹き付けてきました。

最近、量子スピン液体状態を実現するキタエフ模型と呼ばれる理論が登場したことで、物質開発の競争が活発化しています。この模型の舞台は、陰イオンに囲まれた 4 価のイリジウムイオンあるいは 3 価のルテニウムイオン（d⁵ 電子配置を有する）から成るハニカム（蜂の巣）格子です。この指針の下で見出されたバルク物質 H₃LiIr₂O₆ や RuCl₃ は、量子スピン液体の有力候補として世界の注目を集めています。

量子スピン液体は、磁気秩序を示さず巨視的な特性という点で特徴ある性質を示さないことから、これまで工学分野での関心は高くはありませんでした。最近になって、量子コンピュータへの応用可能性が提案されたことで、素子展開への期待が急速に高まっています。

○成果の内容

研究グループでは、H、Li、Cl などを含まず、真空成膜プロセスに適した物質群として、イルメナイト型酸化物（図 2）に着目しました。

イルメナイト型 $MnBO_6$ ハニカム格子 BO_6 層

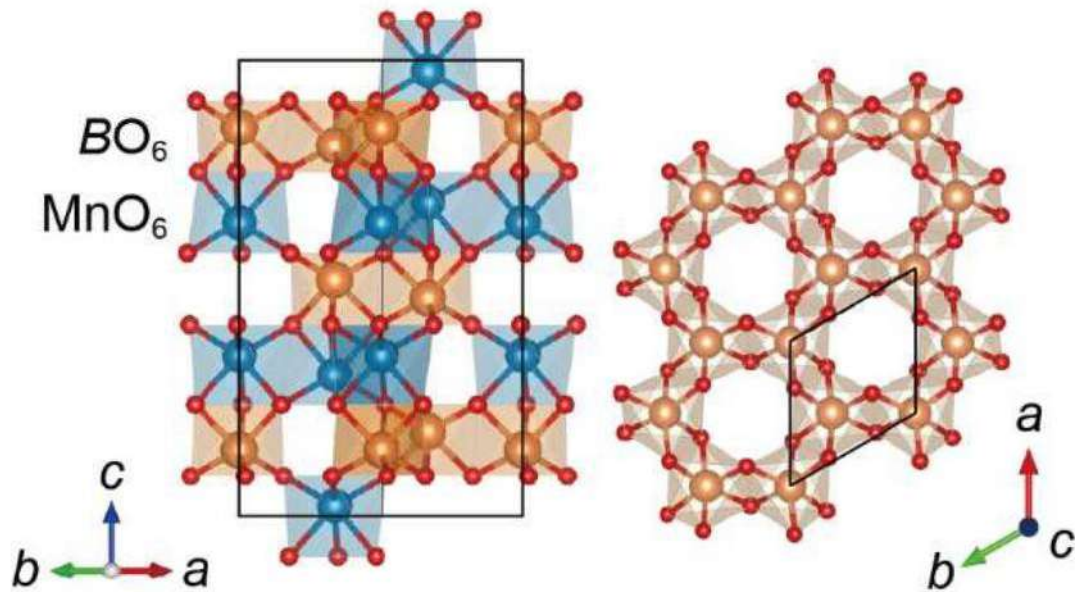


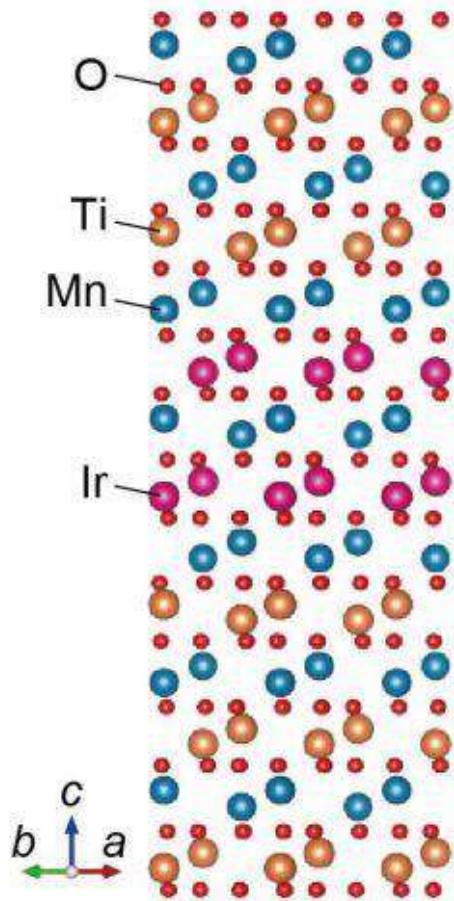
図 2.イルメナイト型 $MnBO_6$ の結晶構造。

イルメナイト型酸化物は、 ABO_3 (A および B は金属陽イオン、O は酸素陰イオン、今回の研究では A を Mn、B を Ti と Ir とした) という組成式で記述される安定な結晶構造の一つであり、真空成膜手法を用いた薄膜化も可能です。最近のバルク試料を用いた先行研究で、イルメナイト構造の $ZnIrO_3$ および $MgIrO_3$ というイリジウムハニカム格子を持つ物質が研究され、量子スピン液体に関連した磁氣的相互作用の存在が報告されました。

そこで、研究グループは、真空成膜手法であるパルスレーザー堆積法を用いて、作製実績のあったイルメナイト型 $MnTiO_3$ (反強磁性体) をベースに、 $Mn-Ir-O$ という組成をもつイルメナイト型新物質の合成に取り組みました。イルメナイト構造の $Mn-Ir-O$ はそれ単体では不安定で、天然には存在しませんが、 $MnTiO_3$ 薄膜でサンドイッチした人工超格子を作製することで、期待の構造を安定化させることに成功しました。

原子分解能を有する電子顕微鏡を用いた詳細な構造解析から、その結晶構造はイルメナイト構造に合致しており、イリジウムイオンのハニカム格子を有することを明らかにしました (図 3)。

MnTiO₃/Mn-Ir-O/MnTiO₃
人工超格子の模式図



原子分解能電子顕微鏡像

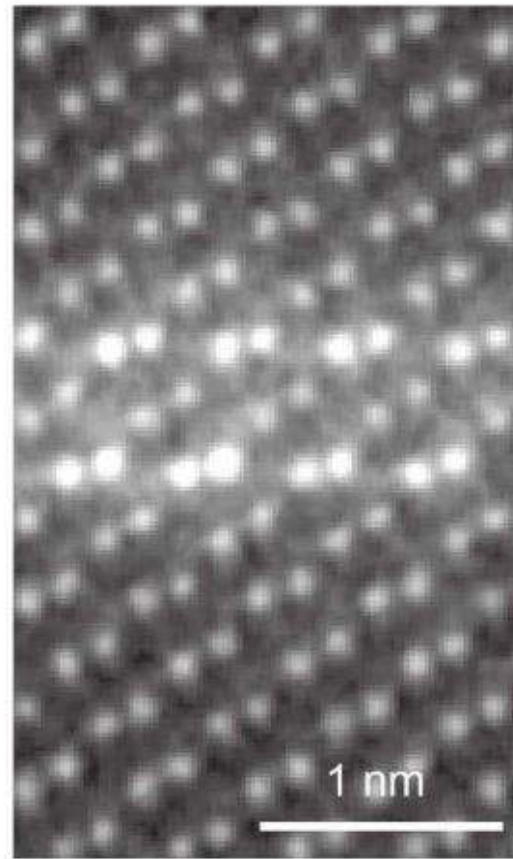


図 3. 作製した蜂の巣人工格子の模式図と原子分解能電子顕微鏡像。ハニカム格子を横から見た原子配置。右図中央の明るい原子が Ir。

さらに、スピントロニクス計測手法を用いて、この極薄膜 Mn-Ir-O では、反強磁性を示す MnTiO₃ とは異なり、Mn のスピンの秩序化していない特異な磁気状態にあることを示唆する結果を得ました。

論文情報

タイトル： Stabilization of a honeycomb lattice of IrO₆ octahedra by formation of ilmenite-type superlattices in MnTiO₃

雑誌： Communications Materials

DOI: 10.1038/s43246-020-00059-1

日本語原文

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200812-2/pdf/20200812-2.pdf>

文 JST 客観日本編集部