

トピックス

ニオブ系超伝導物質の構造改良で 転移温度が大幅に向上

電気抵抗がゼロの超伝導現象を利用する技術には、ニオブ・チタン合金 (NbTi) やニオブ・スズ化合物 (Nb₃Sn) などのニオブ (Nb) を含む材料が広く使われている。代表的な例として MRI 装置や核融合用の高磁場磁石、量子コンピューター用素子がある。しかし、Nb 系超伝導材料の転移温度は極めて低く、冷却に多くの電力を消費する。このため、超伝導の産業応用を広げるには、Nb 系超伝導材料の転移温度を高めることが鍵となる。

本研究では Nb 系超伝導材料としてニオブ単酸化物 (NbO) に着目した。1930 年代から、3d 遷移金属酸化物のニッケル酸化物 (NiO) などの岩塩型酸化物は、バンド理論からは金属であるはずだが予想外の絶縁的挙動を示す「モット絶縁体」として、実験・理論の双方か

ら長年にわたり注目されてきた。一方、Nb を含む 4d/5d 遷移金属の岩塩型酸化物の研究は圧倒的に不足している。理由の一つは、これらの化合物が化学的に不安定で合成が難しく、タンタル酸化物 (TaO) 以外は合成報告すらないためである。実際、5 族元素の単酸化物に注目すると、VO や TaO と同じ岩塩型 NbO は従来のプロセスでは合成が難しく、報告例はこれまでなかった。

最近、東北大学と東京大学の研究グループは、真空プロセスのパルスレーザ堆積法を用いて、岩塩型 NbO の合成に世界で初めて成功した。厚さが nm オーダーの薄膜を単結晶基板上に作製することで、岩塩型 NbO のような通常は安定に存在しえない構造を安定化できる。岩塩型 NbO は、結晶の形が変わると電気伝導性が大きく変わる特異な電子物性を有する。結晶の形が高さ方向に伸びた正方晶系の場合にはモット絶縁体となるが、結晶が立方晶系となると金属的挙動を示し極低温で超伝導を発現する。岩塩型 NbO の超伝導転移温度は最高 7.4 K に達し、先行報告のバルク擬岩塩

型 NbO の 1.38 K よりも 6 K 以上も高い。

量子コンピューター用のジョセフソン接合などに広く使われている、窒化ニオブ (NbN) は岩塩構造を有しており転移温度が 17.3 K と高い。今回合成に成功した岩塩型 NbO は構造的に NbN に類似しているため、製膜条件の最適化などで NbO の転移温度も NbN と同等の 10 K 以上にさらに向上できる余地がある。また、今後、薄膜や線材への加工技術を確立できれば、超伝導デバイスや高磁場磁石への材料展開が期待される。本研究成果は Chemistry of Materials 誌に掲載された (DOI: 10.1021/acs.chemmater.4c00097)。

東北大学大学院工学研究科
助教 神永健一
連絡先: 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-07
E-mail: kenichi.kaminaga.d6@tohoku.ac.jp
URL: <http://www.che.tohoku.ac.jp/~atomol/>

[2024 年 8 月 1 日]

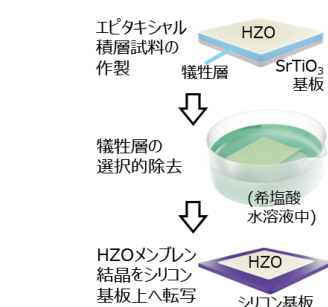
二次元強誘電体の作製に成功 — 強誘電体デバイス開発の新しいルートを開拓 —

京都大学の菅大介 准教授らは、ファインセラミックスセンターと名古屋大学と共同で、二酸化ハフニウムジルコニウム (Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂, HZO) から、わずか結晶格子 2 個分に相当する厚さ 1 ナノメートルの二次元強誘電体を作製することに成功した。

炭素原子 1 層からなるグラフェンの発見以来、原子層厚さを持つ二次元物質が新しいナノ材料として注目を集めており、その材料開発や電子機能探求が盛んにおこなわれている。しかしながら、現在広く機能材料として使われている酸化物など、共有結合やイオン結合によって構成原子が三次元的に“強く”結合した物質（三次元物質）からは、二次元物質を作製することは難しいと考えられてきた。

研究チームは、エピタキシャル薄膜成長技術によって、犠牲層となる酸化物層と、1 ナ

ノメートルの厚さの二酸化ハフニウムジルコニウムを積層させた試料を作製し、その後、犠牲層を選択的に除去（エッチング）することで、厚さを維持したまま二酸化ハフニウムジルコニウムのメンブレン結晶が得られることを見出した（図）。また作製したメンブレン結晶は、その特性評価から、室温において 13μC/cm² の自発分極を持つことが分かった。これらの結果は、三次元物質である二酸化ハフニウムジルコニウムから二次元強誘電体を作製できることを実証するものである。開発した二次元強誘電体は、磁性体や超伝導体など様々な機能性物質上へ転写可能である。本研究成果は、強誘電体と機能性材料とを融合させた強誘電デバイスの開発の新しいルートを拓くと期待される。本研究成果は Nature Communications に掲載された (DOI: 10.1038/s41467-024-49055-w)。



連絡先
京都大学化学研究所、准教授、菅大介
E-mail: dkan@scl.kyoto-u.ac.jp
〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

[2024 年 8 月 9 日]