

東京都立大学、究極的に細い原子細線からなる大面積薄膜を実現

次世代の電子素子やエネルギー変換素子などの実現に向け、原子数個分の厚みを持つ薄膜や細線などのナノ材料に大きな注目が集まっています。東京都立大学理学研究科物理学専攻の Lim Hong En 特任助教、柳和弘教授、宮田耕充准教授、産業技術総合研究所・極限機能材料研究部門の劉崢上級主任研究員、名古屋大学工学研究科応用物理学専攻の蒲江助教、竹延大志教授、筑波大学・数理物質系の丸山実那助教、岡田晋教授らの研究チームは、3原子程度の究極的に細い構造を持つ遷移金属モノカルコゲナイド (TMC、図 1) の新たな合成技術を開発し、その大面積薄膜の合成と原子細線の束状構造などの形成、そしてそれらの光学応答・電気伝導特性の解明に初めて成功しました。このような微細な細線の束や薄膜を使うことで、一次元に閉じ込められた電子の特殊な性質の解明や制御、微細な配線や透明で柔軟な電極、非常に小さな電力で動く電子デバイスやセンサー、高効率なエネルギー変換素子などへの応用が期待されます。

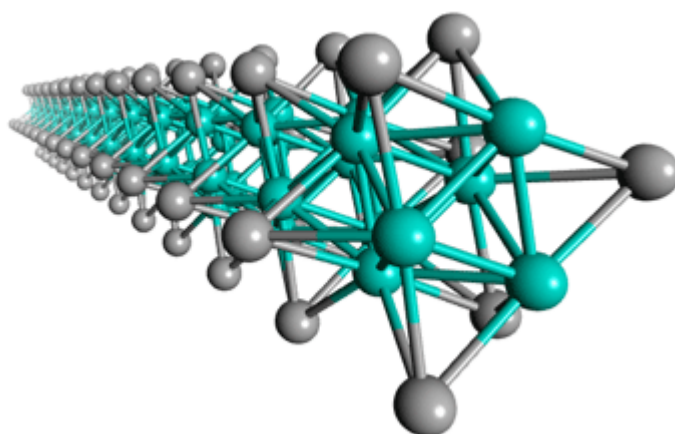


図 1 (a) TMC 原子細線の構造の模式図。青が遷移金属原子、灰色がカルコゲン原子に対応する。

均一な構造を持つ原子細線としては、モリブデン(Mo)やタンゲステン(W)などの遷移金属原子と、硫黄(S)、セレン(Se)、テルル(Te)などのカルコゲン原子からなる遷移金属モノカルコゲナイド(TMC、図 1)が知られており、3原子程度の直径という究極的に細い構造や金属的な電気伝導性などにより注目を集めていました。TMC 原子細線は、多数ある遷移金属原子とカルコゲン原子の組み合わせや、細線の集合状態、および細線間に異種元素を存在させるなどで、半導体から金属、そして超電導体などさまざまな性質を実現することができます。

研究の詳細

高い結晶性を持つ TMC 原子細線からなる大面積薄膜を実現するために、研究チームはこれまで開発してきた原料(遷移金属とカルコゲン元素)を気相で基板の上に供給する化学気相成長法と呼ばれる手法を利用しました。この手法を用いて成長条件を探索し、センチメートルサイズの基板の上に、TMC 原子細線が数十~数百本集積してできたナノファイバーからなるネットワーク状の薄膜の合成に成功しました(図 2a)。さらに、基板表面の結晶構造を利用し、ナノファイバーが一方向に配向した薄膜が得られることも発見しました(図 2b)。また、本手法では、個々の TMC 原子細線とその集積体が高い結晶性を持つことに加え(図 2c)、細線が二次元的に配列した単層や二層のシートや、高さ方向にも細線が積み重なった三次元的な束状構造を形成することを見いだしました。

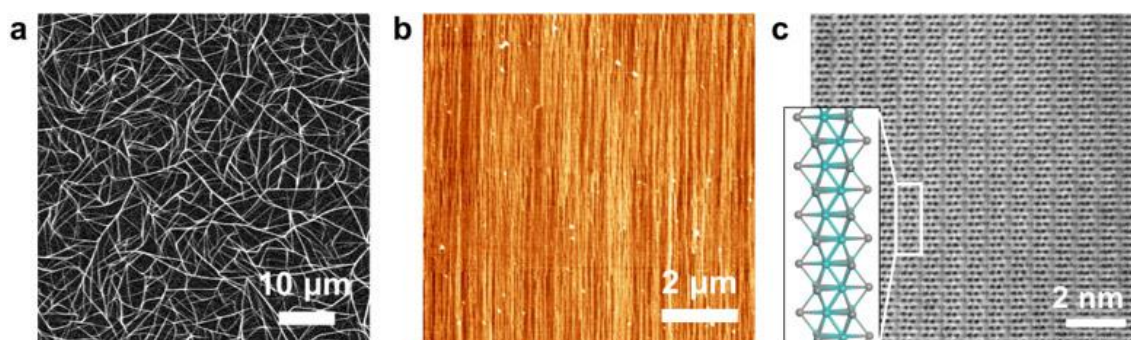


図 2 基板上に合成した(a)TMC 原子細線が集積したナノファイバーのランダムネットワーク薄膜の電子顕微鏡像と(b)一方向に方向制御されて成長したナノファイバーの原子間力顕微鏡像。(c)同一方向に凝集した TMC 原子細線ナノファイバーの電子顕微鏡像と構造モデル。

研究チームは、この TMC 原子細線の光散乱を測定し、一次元的な構造を反映した光学応答を示すことを確認しました。さらに、このような細線が集合した束やそのネットワーク状の薄膜が、高い電気伝導度や低温での電気抵抗の減少など金属としての性質を示すことを実験的に明らかにし、第一原理電子状態計算による予測と一致することを確認しました。

研究の意義

今回の研究では、高い結晶性を持つ TMC 原子細線からなる大面積薄膜を初めて実現し、原子細線が二次元的な単層・二層のシート状構造や三次元的な束状構造などさまざまな集合状態を形成すること、そしてその金属的な電気伝導特性や異方的な光学応答の解明に成功しました。このような 3 原子程度の微細な細線や、その二次元シートや三次元束状の凝集構造を利用することで、一次元や二次元の領域に閉じ込められた電子の特殊な性質の理解や制御、微細な配線や透明で柔軟な電極、非常に小さな電力で動く電子デバイスやセンサー、高効率なエネルギー変換素子などへの応用が期待されます。

論文情報

タイトル Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires

雑誌 Nano Letters

URL: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03456>

日本語リリース

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20201214_2/pr20201214_2.html