

半導体原子シートの新たな合成機構を解明
～次世代フレキシブル光電子デバイス実現に期待～

J S T 戦略的創造研究推進事業において、東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻の加藤 俊顕 准教授と金子 俊郎 教授らは、原子オーダーの厚みを持つ半導体原子シートである遷移金属ダイカルコゲナイド (Transition Metal Dichalcogenides:TMD) に関する新たな合成機構の解明に成功しました。

特殊環境下で成長する TMD は、成長過程の様子を直接観測することが困難なため、成長初期過程が未解明であり、高品質な TMD 合成に向け詳細な合成機構の解明が望まれていました。

本研究グループは、腐食性ガスが存在する約 800℃の高温特殊雰囲気下で TMD が成長する様子をリアルタイムで光学像として観測できる、その場観察合成手法を開発しました。さらに結晶成長時の前駆体拡散を制御する機構をあらかじめ合成基板の上に作り込み、成長前駆体が従来の半導体材料に比べ、約 100 倍以上の距離を拡散することを明らかにしました。また液滴状態の前駆体の関与によって核発生が生じることも明らかにしました。さらに本手法を活用し、実用スケールの基板上に 3 万 5 千個以上の単層単結晶原子シートを大規模集積化合成することにも成功しました (図 1)。

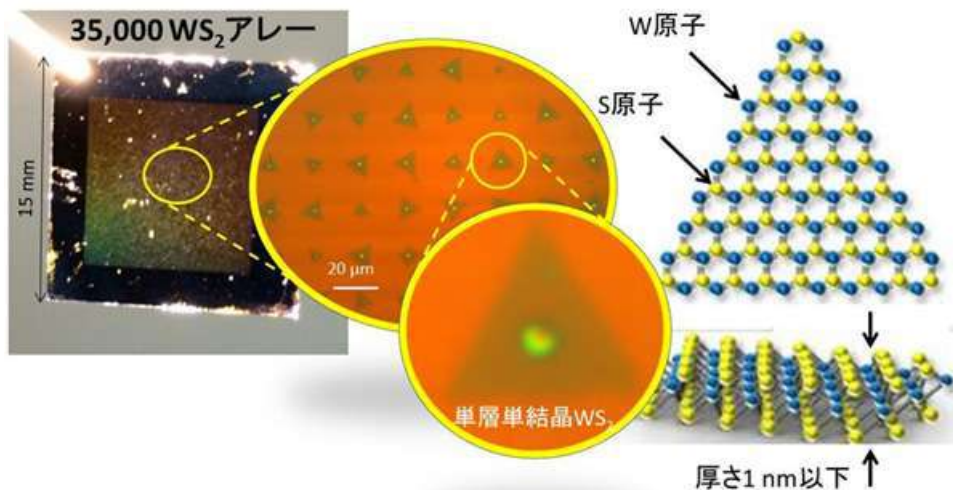


図 1

本研究グループはこれらの結晶成長初期過程を解明するため、まず結晶成長が開始する核

発生サイト注7)を制御する手法を開発しました。あらかじめ基板にナノメートルオーダーの金 (Au) ドットを配置して TMD の一種である二硫化タングステン (WS₂) の合成を行いました。その結果、Au ドットから選択的に単層単結晶の WS₂ を成長させることに成功しました (図 2)。

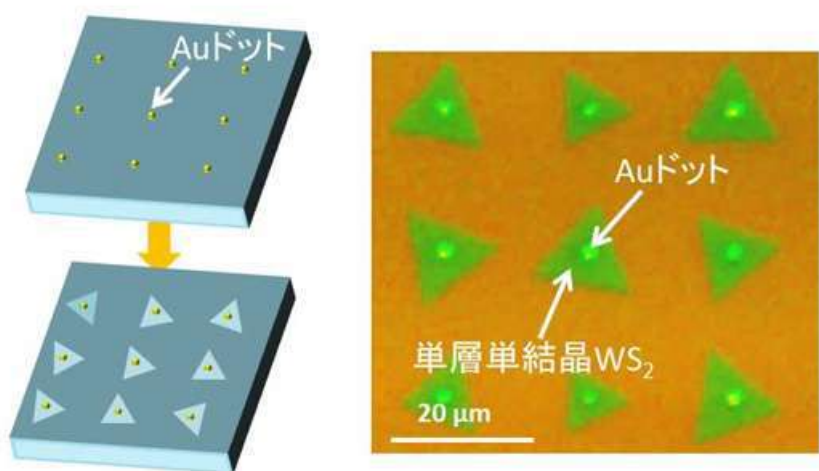


図 2

次にこの手法を活用して合成機構の解明に取り組みました。まず、前駆体が基板上を拡散する距離を実測するため、Au ドットの周囲にあらかじめ拡散を防止する構造を基板上に作り込み、拡散防止構造と結晶サイズの詳細に解析しました (図 3)。その結果、WS₂ の結晶成長に使われる成長前駆体は、基板上を 750 マイクロメートル (μm) 以上も拡散した後、核となる Au ドットに捕捉され成長を開始することが明らかとなりました。この拡散長は、一般的な半導体材料であるシリコンや化合物半導体と比べ、約 100 倍以上長い値です。従来の半導体では原子、分子レベルでの前駆体拡散機構が一般的なモデルであったのに対し、今回明らかになった 100 倍以上長い拡散長は、従来のモデルでは説明できない新たな成長機構の存在を意味しています。

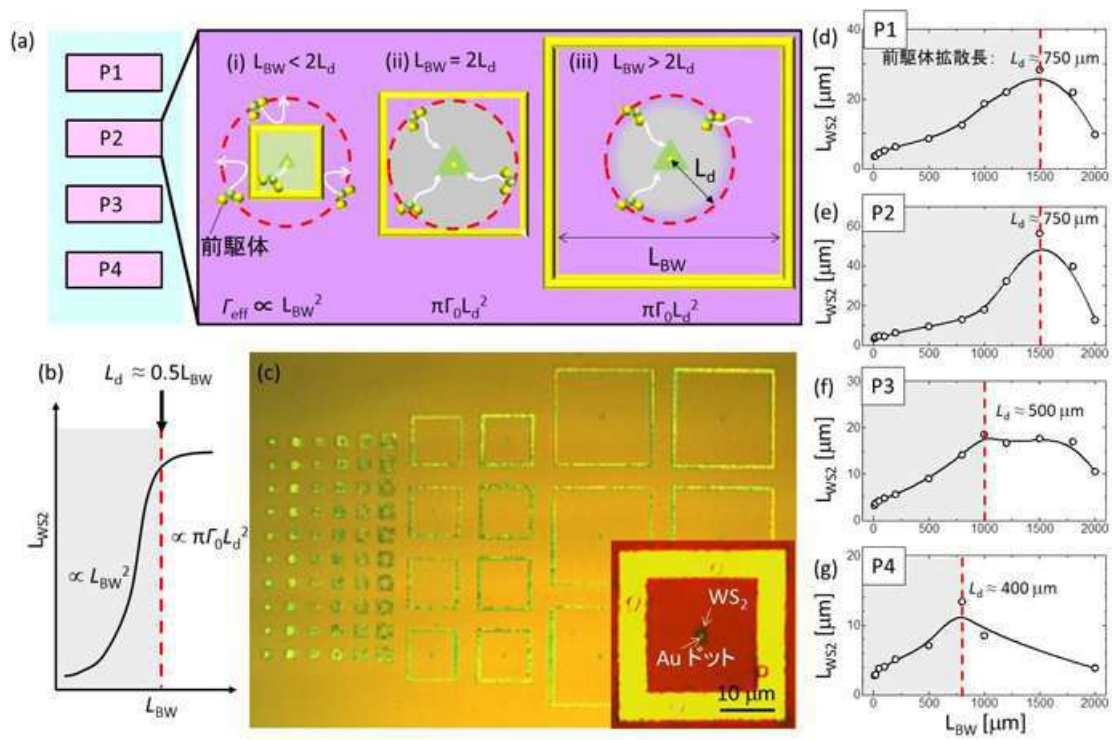


図 3

次に、成長状態をその場で観察できる合成装置を独自に開発し、WS₂ の結晶成長のその場観察を行った結果、Au ドットに取り込まれた前駆体が一度円形の液だまり状態を取り、液だまりが一定サイズ以上に増加した後、三角形の単結晶原子層シート構造の成長が開始する一連の成長推移を明らかにしました (図 4)。TMD の成長状態をその場観察した成果は本研究が初めてです。

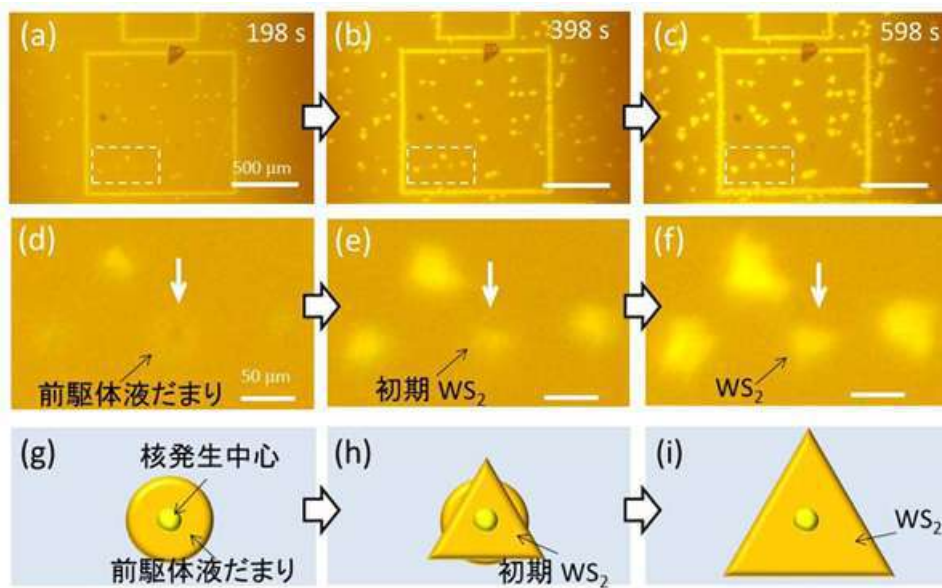


図 4

この特異な成長過程と前述の長距離前駆体拡散を考慮すると、前駆体自体がナノスケールの液体状態を取り、液滴として基板上を拡散することで、従来の半導体に見られる原子、分子状拡散より格段に長い距離の拡散が実現できたと考えられます。

このような、液滴前駆体による一連の結晶成長機構を基に合成条件を最適化した結果、センチメートルオーダーの実用スケール基板上に 3 万 5 千個以上の単層単結晶 TMD を均一に高度集積化合成することに成功しました (図 5)。

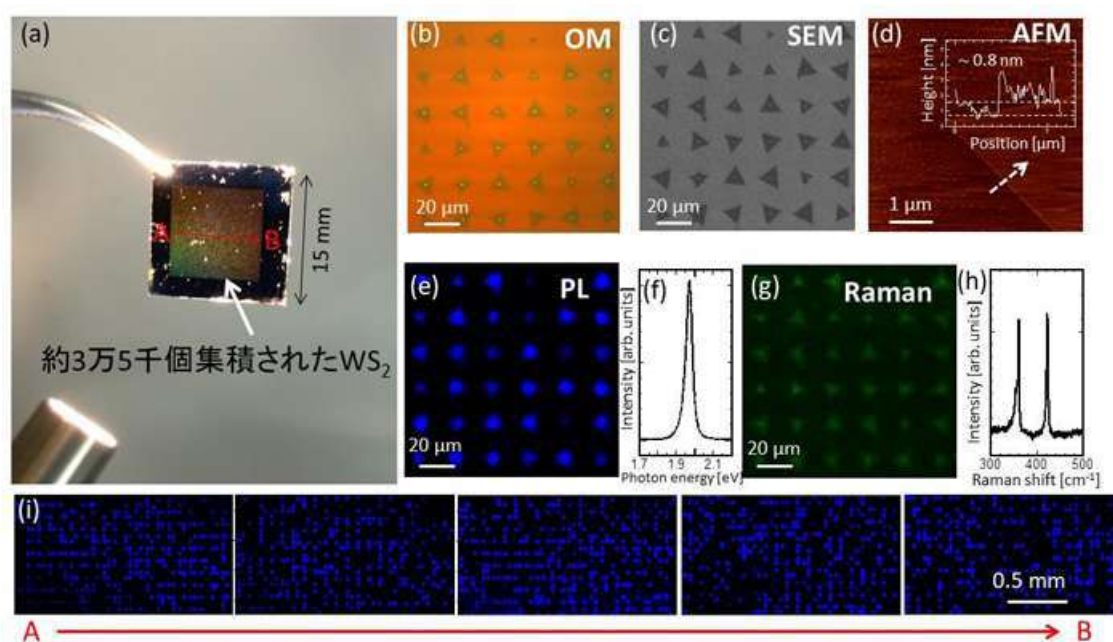


図 5

本研究成果を活用することで、原子オーダーの究極の薄さを持つ半導体原子シートの大規模集積化合成が可能となり、次世代フレキシブルエレクトロニクス分野での実用化が期待されます。

本研究成果は、2019 年 9 月 10 日に英国科学誌「Scientific Reports」のオンライン版で公開されます。

日文新聞发布全文 <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190910/index.html>