

トピックス

二次元半導体 SnS の大面積単層結晶を 選択合成

—環境調和型の次世代スピ機能デバイス実現へ—

原子1層から成る「二次元材料」は次世代の高速・低消費電力情報処理デバイスに不可欠な素材として注目されている。なかでもスズ (Sn) と硫黄 (S) からなる一硫化スズ (SnS) は、室温での強誘電性や永久スピン旋回 (PSH) 状態が理論的に予測されており、新奇スピ機能の発現が期待される。

東北大学大学院工学研究科の好田誠教授らは、量子科学技術研究開発機構およびケンブリッジ大学らと共同で、SnS の高品質大面積単層結晶を化学気相成長 (CVD) 法により合成し、さらにこれを安全かつ再現性良く単層厚さまで薄膜化する手法を確立した。

本手法は、従来の化合物前駆体を使わず、

図1に示すように元素状のSnおよびSを用いて熱力学平衡に基づいた成長制御を行うことで、SnS および SnS₂ の相選択的成長が可能となった点に特徴がある。得られた結晶は、3 GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu における X 線吸収分光などで詳細に評価された。特に昇華プロセスによる薄膜化挙動を SEM によりその場観察し、成膜メカニズムの可視化にも成功している。

得られた単層 SnS 結晶は、次世代スピントロニクスや光電融合デバイス、さらには量子情報処理素子などへの応用が期待される。無毒・地球上に豊富な元素からなる本材料は、持続可能な情報通信社会を支えるキーマテリアルとして今後の応用展開が注目される。

本成果は 2025 年 5 月 20 日付で米国化学会誌「Nano Letters」に掲載され、原子層へと昇華する模式図は Supplementary cover にも選ばれた。

研究成果・文献

Kazuki Koyama et al., *Selective Synthesis of Large-Area Monolayer Tin Sulfide from*

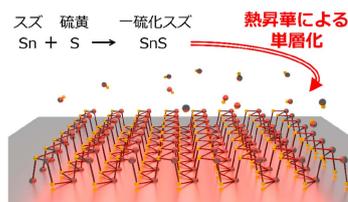


図1 CVD 成長法を用いた SnS を昇華によって単層まで薄くする模式図

Simple Substances, Nano Letters (2025), DOI: 10.1021/acs.nanolett.5c01639

東北大学大学院工学研究科 教授 好田 誠
連絡先

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02
E-mail : makoto.koda.c5@tohoku.ac.jp

URL : <https://kohdalab-material-tohoku.jp>

[2025 年 7 月 15 日]

レーザー加工を従来比 100 万倍高速化 —半導体分野におけるガラスの微細加工に革新—

2023 年、米 Intel 社が次世代型半導体においてガラス基板を活用することを宣言して以来、ガラスへの微細加工技術の開発競争が世界中で加速している。しかしながら、ガラスはその硬さと脆さゆえに、著しく加工が困難である。近年では、エッチングを活用した加工法が期待されているが、工程の多さに伴う長い加工時間や環境負荷が問題となっている。エッチングを使わない加工技術として、レーザー加工が注目されている。しかし、従来手法では、半導体用途で要求される微細な穴形状 (深さ 1 mm 以上、直径 100 μm 以下の貫通穴) を 1 つ作るために数 10 秒を要する。実用上、1 秒間に 1000 個以上の微細穴を形成する必要がある、プレクスルとなる革新技術の開発が求められていた。

今回、東京大学の伊藤佑介講師らによる研究

グループは、レーザーの時間波形と空間波形を制御することで、加工速度を 100 万倍高速化することに成功した。本手法では、レーザーの空間波形を整形し、光強度分布を高アスペクト比のライン状に制御した。また、時間波形については、ピコ秒オーダーの鋭いレーザーパルスと低強度のマイクロ秒オーダーのレーザーパルスを重畳させることで、ガラス基板の表面から裏面を貫く高アスペクト比の自由電子領域を生成し、その領域のみの選択的な超高速加熱・蒸発を実現した。これにより、加工時間 20 μs (従来比 100 万倍速) で、深さ 1 mm、直径 3 μm の超高アスペクト比の穴あけ加工を実現した。穴の直径はマイクロ秒レーザーの照射時間という単一のパラメーターで制御可能である。さらに、従来のレーザー加工で問題となっていた加工時のクラックや穴形状のゆがみのない、極めて精密な加工を実現した。

本手法は、サファイア、炭化ケイ素、ダイヤ

モンドをはじめとした多様な材料に適用可能であり、半導体産業にとどまらず宇宙分野、医用工学、物理工学など幅広い分野への波及効果が見込まれる。加えて、本手法は従来手法と比較して 4 桁低い光強度で超高速加工を実現する。これにより、装置の低価格化やエネルギー消費量の大幅な削減も期待できる。

本成果は、米国科学誌「Science Advances」誌に掲載された (<https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.adv4436>)。

東京大学大学院・工学系研究科・機械工学専攻、
講師、伊藤佑介
連絡先

〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail : y.ito@mfg.t.u-tokyo.ac.jp

URL : <https://laser-ito.sakura.ne.jp/>

[2025 年 7 月 16 日]

ナノシート二次元稠密集積体が水の解離を 劇的に促進

近年、持続可能なエネルギー技術の実現に向けて、電気化学のプロセスを効率的に制御・促進するためのイオン伝導性膜材料が注目されている。なかでもバイポーラー膜は、水から酸と塩基を生成する機能 ($H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$) を持つイオン伝導性膜材料として知られている。従来は主に透析応用に用いられてきたが、近年では次世代エネルギー関連に関わる幅広い応用分野において重要な役割が期待されている。一方で、実用的なバイポーラー膜の設計においては、依然として解決すべき課題が残されている。特に、WD 反応に伴う高い過電圧は、電解水分解や CO₂ 分離など高電流密度が求められる条件下においてシステム全体のエネルギー効率を著しく低下させる要因となっている。近年では、界面にナノ粒子などの触媒層を導入し、WD 反応の加速を図る手法が試みられている。しかし、膜厚が数百 nm 以上に達する従来の高効率触媒層では、バイポーラー膜の本質的な特性である「膜間のプロトン濃度差による電場促進効果」

を十分に活用することが困難であった。

名古屋大学の山本助教、長田教授およびペンシルベニア大学の Mallouk 教授らは、分子レベルで薄く、かつ高密度に配列した酸化チタンナノシート膜をバイポーラー膜の界面に形成するという新たなアプローチを採用した。このナノシートを界面に敷き詰めることで、膜間に極めて急峻な電位勾配を形成可能となる。実際に各種触媒を組み込んだバイポーラー膜を水電解条件下で動作させ、交流インピーダンス測定により WD 反応の過電圧を定量的に解析した。

その結果、ナノシートを用いたバイポーラー膜において、従来のナノ粒子型触媒層と比較して著しく低い過電圧 (0.25 V @ 300 mA/cm²) が得られた。さらに、酸化チタンナノシートの枚数および被覆率を制御することで、膜性能や安定性に与える影響を詳細に分析したところ、本ナノシート稠密配列触媒は、従来のナノ粒子触媒と比べて 1000 倍以上の重量規格化電流密度を実現することが明らかとなった (図1)。これは、従来の厚膜触媒では実現困難であった分子レベルでの界面制御による電場強化の成果であり、セカンド・ウィーン効果の有効活用によ

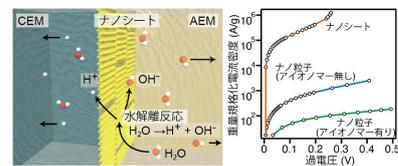


図1 (左) ナノシート集積膜を利用したバイポーラー膜の設計と (右) 従来型ナノ粒子触媒との重量規格化電流密度の比較

て反応の活性化エネルギーが顕著に低下したことを示唆している。

本成果は「Journal of the American Chemical Society」誌に掲載された (<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jacs.4c17830>)。

名古屋大学、助教 山本瑛祐

連絡先

〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail : e-yamamoto@imass.nagoya-u.ac.jp

[2025 年 7 月 27 日]

グラフェン・金の化学結合解明

日本原子力研究開発機構（寺澤知潮 研究員他）、名古屋大学（伊藤孝寛 准教授他）、大阪大学（田中慎一郎 准教授）の研究グループは、グラフェンと金の間で化学結合が生じる条件を解明した。グラフェンはシリコン代替の次世代半導体材料の有力候補であり、デバイス応用には配線材料からの電荷やスピンの高効率注入が不可欠である。金は伝導性や安定性、スピン軌道相互作用に優れる一方、電荷やスピンの受け渡しを担う電子軌道の重なり、すなわちグラフェンとの化学結合が生じにくいという課題があった。

本研究では、周期的な凹凸構造をもつ「Hex-Au(001)」表面と平坦な金表面のそれぞれでグラフェンを形成し、界面原子配置が化学結合に与える影響を角度分解光電子分光法で比較した。その結果、平坦な金では金の6s電子は三次元的に広がりグラフェンとの結合が見られなかったが、

凹凸を持つ表面に局在化した金の6s電子とグラフェンの π 電子との化学結合が確認され、さらに、グラフェンの直線的なバンド分散も維持された。理論計算も併せ、結合成立には金の凹凸構造の周期がグラフェンの格子定数と良く整合し、かつグラフェンと金の結晶方位がR30の関係にあることが重要であることを示した。

本成果は、金表面の原子配置を制御することでグラフェンの特性を保ちつつ化学結合を形成できることを示し、デバイス実用化に向けた材料設計に貢献すると期待される。本成果はPhysical Review Materials誌に掲載された(T. Terasawa, et al., Phys. Rev. Mater. 7, 014002 (2023))。

日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター、研究副主幹、寺澤知潮 連絡先
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

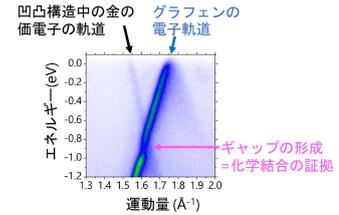


図1 凹凸構造のある金の表面にグラフェンを形成した際の角度分解光電子分光による電子軌道の観察

E-mail : terasawa.tomoo@jaea.go.jp

URL : <https://asrc.jaea.go.jp/soshiki/gr/sis-gr/index.html>

[2025年7月28日]

トピックス欄 ニュース性のある技術的記事募集

1. はじめに

「トピックス」欄は、新聞・論文・学会等でのセラミックスに関する最新情報をピックアップし、大学・企業等の研究者や、セラミックス関連各社(所)から記事をご寄稿いただき、本誌に掲載しているものです。なお、下記に基づき、会員の皆様からの投稿も受け付けております。

2. 投稿資格

ご執筆者本人が、本会の会員(特別会員所属の方も含まれます)に限ります。

3. 締切

毎月10日

4. 文字数

1000字以内(図または写真を1枚掲載することも可能ですが、原則として掲載時には縮小されます)。

5. 原稿執筆要領

原稿は、WORD等でご作成ください。

なお、原稿は、貴社(所・学)のテクニカルニュースレター等を基として技術広報のお立場でお書きくださって結構ですが、当方の学術団体としての性格上、下記の点についてご配慮ください。

- 標題には、会社名や商品名ではなく、一般用語を使ったタイトルとしてください。会社名や商品名は文中に1回程度で記述してください。
- あくまでも、貴社(所・学)や商品の宣伝としてではなく、「技術的ニュース」としてのスタンスで、技術的内容の説明にポイントを置いた記事としてください。
- 原稿の末尾に「貴社(所・学)名(大学等の個人の場合には、お名前・所属)、原稿到着日」を掲載いたします。希望される場合は連絡先の所在地、E-mailも掲載しますので、原稿末尾に[連絡先]として記載

してください。

※また、参考のため、ご投稿いただいたテーマについて新聞発表等が行われている場合、その「新聞名、掲載日」等をメール本文にお書き添えてください。

※過去の当該記事PDFを当協会ホームページに掲載しておりますので、ご参照ください。(URLは一番下に掲載しております)。

6. 原稿提出先

下記宛にメール添付でお送りください。その際、メールの件名には「トピックス投稿 ニュース」とご記載ください。

★提出先 E-mail : bull@ceramic.or.jp

7. 採否

ご投稿いただいた原稿は、編集委員会にて掲載の採否を検討いたします。場合によっては、掲載を見合わせる場合もございますので、ご承知おきください。採否いずれの場合にも結果をE-mail等でご連絡いたします。

8. 採択後

ご投稿いただいた内容を編集部の方で誌面掲載用に組み直した校正ゲラをお送りしますので、ご確認のほどよろしくお願いたします。なお、掲載号は、原則として、締切日の翌々月号となりますが、場合によっては1ヶ月順延することもあります。

9. 原稿料

本件に関する原稿料はございません。

10. 協会ホームページへの掲載

掲載誌発行と同時に下記協会ホームページでも記事PDFを掲載いたしますので、あらかじめご了承ください。

★日本セラミックス協会 セラミックス誌 トピックス掲載ページ
<https://www.ceramic.or.jp/pub/topics.html>