

頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム
—世界の成長と共存を目指す革新的生存基盤研究のための日本・アセアン協働強化—
報告書

光エネルギーの革新的利用に向けた新奇二次元原子層物質の合成

派遣者：林 宏恩

派遣期間：2015年12月1日～2016年2月29日

派遣先：シンガポール国立大学（シンガポール）

キーワード：光エネルギー、二次元、原子層物質、硫化錫、CVD合成

1. 研究課題について（400字程度）

ASEAN 諸国との「革新的生存基盤研究」を目指し、その重要な一旦を担う光エネルギーの高効率利用に向けた研究に取り組んだ。世界的に見ても当該研究分野を牽引しているシンガポール国立大学において、光エネルギーの高効率利用を目指した新規材料開発の共同研究を進めた。わずかに原子一層からなるカーボンシートであるグラフェンの発見を契機として、原子数層の薄さを有する原子層物質は新たな材料として基礎・応用の両面から注目されている。これまで一連の研究では、光デバイスや光エネルギー応用に向けて二硫化モリブデンや二セレン化タングステンなどの遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDCs) と呼ばれる半導体材料がその研究の主体であった。一方で、光エネルギー応用において重要となる太陽電池デバイスなどにおいて、より幅広い波長の光を吸収し光電変換に寄与しうる、新しい単原子層材料の開発が急務となっている。そこで本派遣では、光エネルギー応用に向け、14族カルコゲナイドと呼ばれる全く新しい原子層材料の合成に取り組んだ。

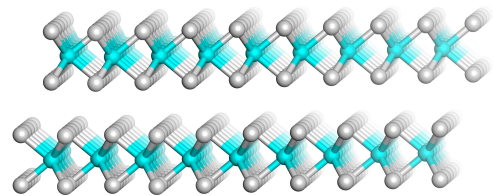


図1. TMDCsの構造。モリブデン、タングステン:水色; 硫、セレン: 白

2. 派遣の内容（400字程度）

シンガポール国立大学理学部化学科に長期滞在し研究を進めた。様々な層状物質の中から、14族カルコゲナイド(MX; M=Sn および Ge, X=Se および S) に注目した。特に単層硫化錫(SnS)は、太陽電池応用の観点だけでなく、省エネルギーデバイスを実現するスピントロニクスやバレートロニクスの観点からも、優れた二次元半導体材料であること予測されている。従来のTMDCsとは異なり、複数の谷(バレー)を直線偏光した光を利用し、スピンキャリアポンピングすることが可能である。同時に、横方向の非線形伝導を介してスピン・バレー分極したキャリアを分離することができる。このように、この材料が持つ非常に興味深い性質を動機とし、本研究では単層SnSの合成手法の開拓とその光学的特性の研

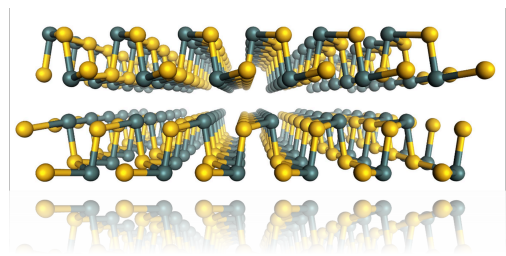


図2. 硫化錫の構造。錫: グレイ; 硫: 黄色

究を行った。本派遣期間では特に、他の二次元物質の合成手法を参照し、化学気相成長法 (CVD) を用いて SnS の成長を進めた (図 3)。

3. 派遣中の印象に残った経験や体験 (800 字程度)

シンガポール国立大学に滞在し、シンガポールの学生は独立し積極的な印象を強く持った。多くの場合は、自分の研究の指向に応じて研究を進め、更に、指導教員のアドバイスを受けながら自分で研究方向を考えて決めている。また、彼らはインタラクティブであり、頻繁に自分のアイデアや面白い研究結果を周りの人と共有する。そうすることで、より自分にとってポジティブな研究環境を作り、モチベーションを高める。更に、彼らは非常に機知であると言える。問題に直面した際に、直接指導教員に知らせ指示を仰ぐのではなく、同僚や先輩と相談しながら自分で課題を克服する。

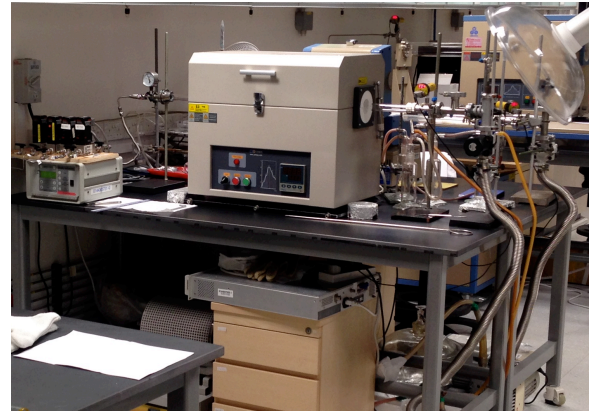


図 3. 実験装置の写真

それとは別に、各セッションの研究効率と質を確保するため、研究室での会議の回数は最低限に抑えられている。グループミーティング以外のディスカッションは、より活発な議論に参加をさせるよう、いつもカジュアルな様子で行われる。誰でも自分の考えや情報を自由に交換することができる。日本では基本的に、各研究室がすべての装置を所有しているが、こちらでは異なるグループで装置や実験室をシェアすることが普通に行われている。これにより、学科内の違うグループ間の共同研究をより進め、各研究室の強み利用しより良い研究を行うことができる。また、大学では研究室内の潜在的な危険に対して、迅速な対応するため、安全規制を徹底的に施行している。例えば、不良ソケットが報告されたことがあった。破損した部品を交換しただけではなく、将来の再発を抑制するために検討会を行い、その原因を調査し、予防方法を検討する。彼らは、安全な研究環境を作るため、真剣に対策する姿勢に強い印象を受けた。

4. 目的の達成度や反省点 (400 字程度)

これまで、絶縁体表面 (酸化シリコンに覆されたシリコンウェハ SiO_2/Si と六方晶系窒化ホウ素, hBN) および導電性表面 (グラフェン) に硫化錫の合成を行った。反応原料に用いる酸化錫 (SnO) と硫黄の比を 1 : 10 に保つことで、斜方晶酸化錫の結晶を 750 度で 1 atm のアルゴン (もしくはアルゴン・水素雰囲気) で合成することに成功した。さらに、窒化ホウ素とグラフェンの上に合成したとき、 $\sim 16 \times 16$ ミクロンの結晶が得られた。その一方で、 SiO_2/Si 基板では、より小さい結晶フレークしか合成することができなかった。励起波長 532 nm のレーザーを用い、図 4 (b) のような SnS 結晶のラマン散乱ピークを確認できた。 A_g と B_{3g} のフォノン振動モードが各 $94, 190, 217$ と 162 cm^{-1} で観測された。現在のところ、生成した結晶はまだ比較的厚い。そのため、反応温度などの成長条件を工夫しながら、理論で予測されている性質を検証するために、更に層数が少ない (薄い) SnS の合成を試みる。

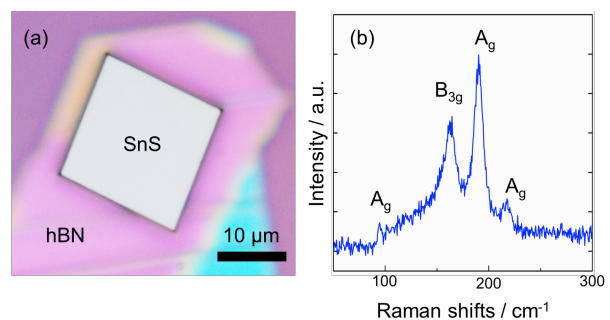


図 4. (a) hBN 上の SnS 結晶と (b) 励起波長 532 nm で得られたラマンスペクトル。

5. 今後の派遣における課題と目標（400字程度）

今回の派遣で、斜方晶酸化錫の CVD 合成に成功した。今後の課題は、作製した結晶の厚さを制御する効率的な方法を見出すことである。様々な合成パラメータを微調整するとともに、上記の実験結果は合成に使用する基板の表面の重要性を示唆している。次のステップとして、ヘキサゴナル構造をもつ hBN またはグラフェンを別の結晶構造の層状物質と置き換え、新たな成長機構によりサイズと層数の制御を実現することを試みる。また、この材料を利用した光検出器などへの応用を視野に入れ研究を展開する。