

令和 4 年 5 月 31 日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 202180174

氏 名 金明玉

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

1. 派遣先：都市名 ペンシルバニア州 (国名 米国)
2. 研究課題名（和文） ：
分子線エピタキシー成長による遷移金属層状物質の作製と太陽電池応用
3. 派遣期間：令和 3 年 10 月 30 日 ～ 令和 4 年 5 月 1 日 (184 日間)
4. 派遣先機関名・部局名：ペンシルベニア州立大学
5. 派遣先機関で従事した研究内容と研究状況（1/2 ページ程度を目安に記入すること）

遷移金属カルコゲナイド層状物質（TMDC）は、高い光吸収係数を有し、層間の結合エネルギーが弱い
ため、超薄膜・フレキシブル太陽電池に適した材料である。しかし、その電気特性は異方性を持ち、揃っ
ていないドメインの合体は金属性も持つ。そのため、物性が均一な半導体を成長させデバイスに適用す
るには、成長時のドメイン方向の制御が大事である。TMDC のエピタキシャル成長にあたり、ドメインの
揃った成長を実現させるため、基板のオフ角と基板方位面の影響を検証した。高温成長が可能で、気相原
料の組成が制御可能な MOCVD 法で遷移金属層状物質の一種である MoS_2 を成長した。その結果、高い
オフ角基板を用いることで結晶性の高いドメインが成長でき、また回転対称性の低い M 基板を用いる
ことで、 30° 回転を抑制することに成功した。サファイア基板と MoS_2 の {110} 面が揃っていることから、
c 面上でない場合もエピタキシャル成長が可能であることがわかった。また、回転対称性の低い基板や、
オフ角の方位が A 面を向いている c 面のサファイア基板を用いることで、博士課程 1 年の時、所属する
研究室で行った反応性スパッタリングで確認した縦方向の成長も低減できることが観察された。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

今回の国際共同研究を通じて、TMDC のエピタキシャル成長が基板の方位面とオフ角の角度及び方向に依存することが観察できた。サファイア基板の TMDC 成長は盛んに研究されたものの、主にオフ角が M 面向きの c 面上での成長について研究されており、この基板表面上では、ドメイン方位や成長方向の制御において課題があった。今回の研究で、オフ角と基板の方位面で、TMDC のドメイン方位と成長方向が制御できる可能性があることを発見した。この結果のうち、オフ角の効果については 2022 年春の応用物理学会で発表している。基板の方位面の効果については、来る 9 月の International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces で発表する予定である。今回の研究を通じて、基板の方位面が核形成密度に影響を及ぼし、その結果ドメインの方位や大きさが決定されている可能性が示唆された。そのため、核密度を比較する追加実験を国際協力研究を続けて行う予定である。また、実験結果を理解するため、ドメインの異なる回転状態の形成エネルギーを理論計算で比較することも検討中である。基板が TMDC のエピタキシャル成長に及ぼす影響を包括的に研究し、論文にことを目標とする。今回、高温高圧成長が可能な MOCVD 法で学んだ結果を参考にしながら、成長時 RHEED でその場観測が可能な MBE 法で遷移金属カルコゲナイド層状物質(TMDC)成長を行い、成長時の基板表面状態と薄膜の物性の相互作用を追跡する。二つのエピタキシャル成長法で、TMDC の成長メカニズムの解明に挑む予定である。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

今回の若手研究者海外挑戦プログラムを通じて、層状物質分野において最先端の研究が可能な研究所で成長メカニズム及び実験手法を学ぶことができた。物性研究に特化した研究環境が整った 2D Crystal Consortium 研究所では、成長だけでなく、結晶構造・形状・光学特性の物性評価も可能な設備が整っている。また、新しいユーザーも使い方を効率的に学べるシステムが構築されていて、短い期間に様々な測定評価手法を習得できた。特に層状物質の評価方法に関する長年の経験と知識を学べる有益な時間であった。今回受け入れてくださった Redwing 教授は、TMDC、グラフェン、hBN 等の層状物質、またワイドバンドギャップ材料の AlGaN の CVD による結晶成長の研究において、世界トップレベルの実績を有する。Redwing 教授と研究室メンバに、日々の研究結果についてアドバイスをいただける貴重な機会であった。また、他のグループとのコミュニケーションと共同研究も活発で、特に基板として用いたサファイア基板の熱処理について丁寧にアドバイスしてくれた別のグループの研究者方と、表面粗さの評価方法である AFM 測定について教えていただいた visiting scholar にも感謝している。ペンシルバニア州立大学は、世界各地から集まった様々な研究手法の専門家とディスカッションでき、また互いに助け合う環境であり、研究者として一步成長できる貴重な経験ができた。

研究所外の生活では、自分のコンフォートゾーンを離れ戸惑うこともあったが、親切な State College の方々のおかげで無事に研究インターンを終えることができた。また、今まで常識だと思っていたことが実は普遍的な価値ではなく、組織・文化圏によって大きく異なることを肌で実感でき、視野が広がるいい機会でもあった。