

二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出
2016 年度採択研究代表者

2019 年度 実績報告書

宮田 耕充

首都大学東京大学院理学研究科
准教授

原子層ヘテロ構造の完全制御成長と超低消費電力・3次元集積デバイスの創出

§ 1. 研究成果の概要

2019年度は、引き続き遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)原子層ヘテロ構造の成長技術の高度化、およびデバイス要素技術の開発を中心に研究を推進してきた。TMDC 成長に関しては、有機金属化学気相成長(MOCVD)技術の開発を進め、原子レベルで急峻に組成が変化する面内ヘテロ構造の実現とその界面の電子状態の可視化に成功した(図 1)[1]。この手法を発展させ、原料の供給制御により、 $\text{MoS}_2/\text{WS}_2/\text{MoS}_2$ と組成を変化させた面内ヘテロ構造の合成についても実証できた。また、大面積化に向けガス原料を用いた原子層の成膜条件を検討し、均一なグレインサイズを持つ WS_2 の成長が可能なることを見出した[2]。合成技術における予想外の発見として、金薄膜とシリコン酸化膜の界面に、直接 TMDC 原子層を成長できることを見出した[3]。この結果は、清浄な金/TMDC/絶縁体の積層構造の作製や不安定な原子層の成長などへの展開が期待できる。デバイス要素技術に関しては、様々な TMDC ヘテロ構造の PN ダイオードの作製と発光素子としての特性を評価し、ヘテロ界面に特有の光機能を明らかにした。

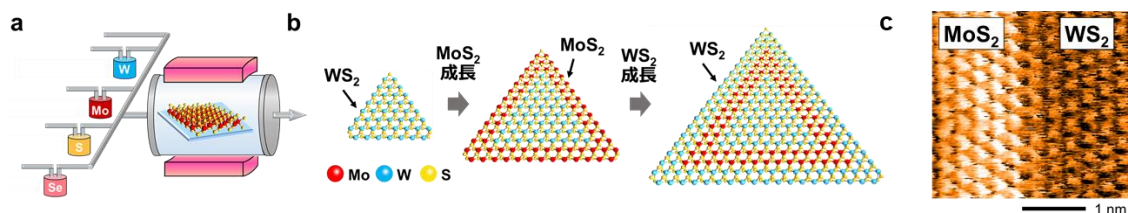


図 1 (a)本研究で開発した化学気相成長装置の模式図と(b)異なる組成の TMDC の結晶を連続的に成長させる様子。(c)合成した試料における組成が切り替わる領域の原子像(走査トンネル顕微鏡像)。

【代表的な原著論文】

- [1] Y. Kobayashi, S. Yoshida, M. Maruyama, H. Mogi, K. Murase, Y. Maniwa, O. Takeuchi, S. Okada, H. Shigekawa, Y. Miyata, "Continuous Heteroepitaxy of Two-Dimensional Heterostructures Based on Layered Chalcogenides", ACS Nano, vol. 13, pp. 7527-7535, (2019).
- [2] M. Okada, N. Okada, W.-H. Chang, T. Endo, A. Ando, T. Shimizu, T. Kubo, Y. Miyata, T. Irisawa, "Gas-Source CVD Growth of Atomic Layered WS_2 from WF_6 and H_2S Precursors with High Grain Size Uniformity", Sci. Rep., vol. 9 pp. 17678-1-10, (2019).
- [3] H. E. Lim, T. Irisawa, N. Okada, M. Okada, T. Endo, Y. Nakanishi, Y. Maniwa, Y. Miyata, "Monolayer MoS_2 growth at the Au- SiO_2 interface", Nanoscale, vol. 11 pp. 19597-20334, (2019).

§ 2. 研究実施体制

(1) 宮田グループ(首都大)

- ① 研究代表者: 宮田 耕充 (首都大学東京大学院理学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・MOCVD による原子層ヘテロ構造の連続合成
 - ・原子層へのドーピング技術の開発
 - ・原子層の位置・方位制御成長

(2) 入沢グループ(産総研)

- ① 主たる共同研究者: 入沢 寿史 (産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・位置制御された TMDC 成長法の開発
 - ・3次元 LSI 用集積化プロセス開発
 - ・デバイス要素技術開発

(3) 森グループ(阪大)

- ① 主たる共同研究者: 森 伸也 (大阪大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・第一原理電子状態計算
 - ・バンド間トンネル透過確率の計算

(4) 北浦グループ(名大)

- ① 主たる共同研究者: 北浦良 (名古屋大学大学院理学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・MOCVD 装置の設計と開発
 - ・ヘテロ構造の成長とその基礎的評価

(5) 宮内グループ(京大)

- ① 主たる共同研究者: 宮内 雄平 (京都大学エネルギー理工学研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・新奇原子層物質の光学キャラクタリゼーション
 - ・励起子ダイナミクスの解明と制御

(6) 吉田グループ(筑波大)

- ① 主たる共同研究者: 吉田 昭二 (筑波大学大学院数理物質科学研究科 准教授)
- ② 研究項目

- ・新しい STM 装置の構築
- ・欠陥、ドーパントの原子スケール計測
- ・光励起時間分解 STM による TMDC 原子層のキャリアダイナミクス計測

(7) 小林グループ(東大)

- ① 主たる共同研究者: 小林 正治 (東京大学工学系研究科附属システムデザイン研究センター 准教授)
- ② 研究項目
 - ・TMDC 成膜技術と強誘電体 HfO_2 成膜プロセスの融合によるトランジスタ形成技術の開発
 - ・TMDC を用いた新規不揮発性メモリの検討