

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  
平成 28 年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

宮田 耕充

首都大学東京大学院理工学研究科  
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. 研究実施体制

### (1) 首都大グループ

- ① 研究代表者: 宮田 耕充 (首都大学東京大学院理工学研究科、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) 産総研グループ

- 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

### (6) 大阪大グループ

- ① 主たる共同研究者: 森 伸也 (大阪大学大学院理工学研究科、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

(3) 名大グループ

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

(4) 京大グループ

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

- ・光学測定装置の整備・構築
- ・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

(5) 筑波大グループ

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

## § 2. 研究実施の概要

平成 29 年度は、新原料を用いたカルコゲナイド原子層の成長、位置制御成長、ヘテロ構造の光・電子物性の評価、ドーピング等のデバイス要素技術、デバイス特性のシミュレーションを中心に研究を進めてきた。特に成長技術に関しては、室温で液体および気体の金属およびカルコゲン原料を用いた気相成長技術の開発を進めた。従来の酸化物原料では、原料供給に多くの場合 600~1000°C 程度の高温で加熱する必要がある。このため、通常の化学気相成長(CVD)装置では、成膜温度の低温化や、原料の切り替え制御が装置上の制約で困難であった。この課題を解決するために、蒸気圧の高い金属・カルコゲンの液体原料を用い、供給する原料を切り替えながら、連続的に異なるカルコゲナイド原子層の成長を試みた。温度・流量・圧力・補助剤等の各種成長条件の検討を行った結果、NaCl 等のアルカリ金属を含む化合物を成長促進剤として加えることで、結晶のグレインサイズが劇的に増大し、0.1mm 以上の単結晶が成長できることを見出した(図 1a)。さらに、成長中に供給する原料を切り替えることで MoS<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> 等の面内ヘテロ構造を連続的に成長させることに成功した。位置制御に関しては、基板上にシリコンナノ構造を作製し、結晶核として用いることで、狙った場所に原子層成長が可能なることを発見した[1]。また、ヘテロ構造における層間相互作用の理解や光デバイスや電子デバイス応用を目指し、MoS<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> 積層ヘテロ構造における層間励起子状態の解明[2]、および MoS<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> 面内ヘテロ構造におけるバンド間トンネル電流の計算[3]等を進めてきた。

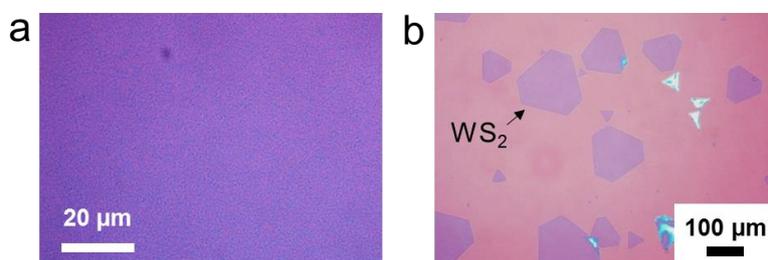


図1. (a)液体原料を利用して合成した単層 WS<sub>2</sub> グレインの光学顕微鏡写真。(a)の補助剤を用いていない場合はグレインサイズが 1μm 以下であり結晶が確認できないが、(b)に示すように補助剤を加えることで 100μm 以上の単結晶が確認できる。

発表論文

[1] T. Irisawa, N. Okada, W. Mizubayashi, T. Mori, W. H. Chang, K. Koga, A. Ando, K. Endo, Y. Sasaki, T. Endo, and Y. Miyata, Proceedings of Electron Devices Technology and Manufacturing (EDTM) Conference, 331-333 (2018).

[2] M. Okada, A. Kutana, Y. Kureishi, Y. Kobayashi, Y. Saito, T. Saito, K. Watanabe, T. Taniguchi, S. Gupta, Y. Miyata, B. I. Jacobson, H. Shinohara, and R. Kitaura, ACS Nano, 12, 2498-2505 (2018).

[3] T. Kuroda and N. Mori, Jap. J. Appl. Phys., 57, 04FP03 (1-6), (2018).