

## トンネルFET応用に向けた二次元半導体によるヘテロ構造体の合成

## Synthesis of 2D semiconductor heterostructures for the application to tunnel FET

九大院総理工<sup>1</sup>, 九大グローバルイノベーションセンター<sup>2</sup>○泉本 征憲<sup>1</sup>, Adha Sukuma Aji<sup>1</sup>, 河原 憲治<sup>2</sup>, 山本 圭介<sup>1</sup>, 中島 寛<sup>1,2</sup>, 吾郷浩樹<sup>1,2</sup>Kyushu Univ.<sup>1</sup>, Kyushu Univ. GIC<sup>2</sup> ○Masanori Izumoto<sup>1</sup>, Adha Sukuma Aji<sup>1</sup>, Kenji Kawahara<sup>2</sup>, Keisuke Yamamoto<sup>1</sup>, Hiroshi Nakashima<sup>1,2</sup>, Hiroki Ago<sup>1,2</sup>

E-mail: h-ago@gic.kyushu-u.ac.jp

## 【背景】

近年、大幅に消費電力を低減することができるトンネル電界効果トランジスタ（トンネルFET）が注目を集めている [1]。このトンネルFETは、p型半導体とn型半導体の間の急峻な界面を電子がトンネリングすることで動作し、SS値がMOSFETの熱力学的な限界である60 mV/decを切ることができるとされている。遷移金属カルコゲナイドなどの二次元半導体は、異なる材料を積層させることにより原子レベルで急峻な界面を得ることができる上、原子レベルの薄さから電界効果によりバンド構造を変調でき、トンネルFETの有力な材料として期待される。しかし、これまで二次元半導体を用いて作製されたトンネルFETには主に機械的剥離法が用いられており [2-4]、サイズが非常に小さく、基板上に数個しかデバイスを作製することができない。そこで本研究ではクリーンな界面と集積化成長に適したCVD法を用いて、トンネルFET応用に向けた二次元半導体によるp-n接合ヘテロ構造体の合成を試みたので報告する。

## 【結果と考察】

トンネルFET 応用のためには p 型と n 型半導体が必要である。p 型の二次元半導体として、ヘビードープされた p 型半導体である硫化スズ (SnS) を用いた。一方、n 型の二次元半導体には、大きな単層グレインを得ることができる二硫化タングステン (WS<sub>2</sub>) を検討した。それぞれの金属酸化物と硫黄を原料に用いた CVD により、図 1(a,b)の挿図に示すように SnS と WS<sub>2</sub> を合成できた。これらの二次元材料に電極を取り付け、キャリア輸送特性を真空中、室温で測定した SnS は p 型の極性を示すことが確認できた (図 1(a))。さらに、ゲート電圧による変調は小さく、Sn の欠陥に由来したホールがヘビードープされていた状態にあると考えられる [5]。他方、WS<sub>2</sub> は n 型の半導体特性を示し、on/off 比が 10<sup>5</sup>、移動度が 5cm<sup>2</sup>/Vs と良好なトランジスタ特性が得られた (図 1(b))。

次に、二段階の CVD により SnS-WS<sub>2</sub> ヘテロ構造体の合成を試みた。その結果、図 1(c)の光学顕微鏡像に示すように、部分的に積層した構造が多く得られた。点①と③では SnS と WS<sub>2</sub> のみのラマンシグナルが得られたのに対し、点②では SnS と WS<sub>2</sub> の両方のラマンシグナルが見られ、ヘテロ積層構造体の合成が確認できた。今後は、このヘテロ積層構造でデバイスを作製し、電気特性の測定を計画している。

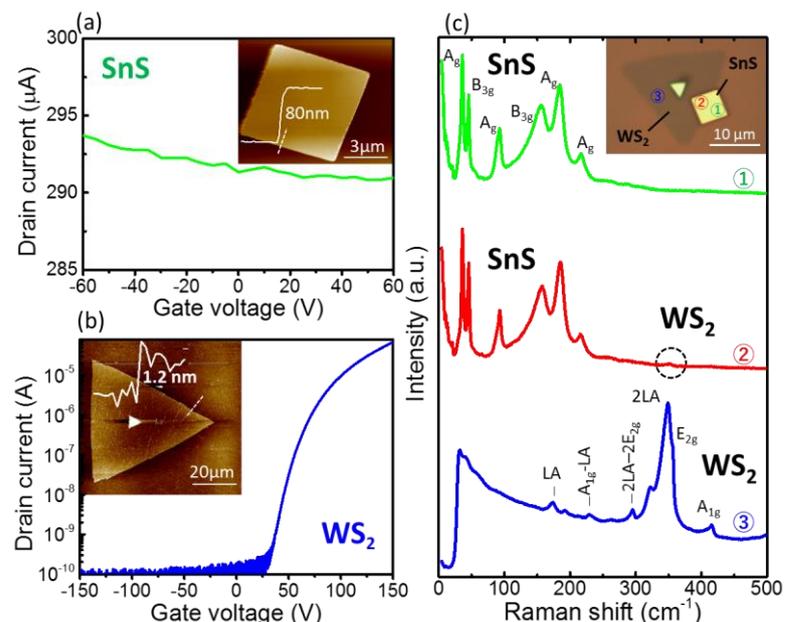
[1] A. M. Ionescu, *Nature*, **479**, 329 (2011).[2] D. Sarkar, *Nature*, **526**, 91 (2015).[3] T. Roy, *ACS Nano*, **9**, 2071 (2015).[4] T. Roy, *Appl. Phys. Lett.*, **108**, 083111 (2016).[5] Z. Tian, *ACS Nano*, **11**, 2219 (2017).

図 1 SnS (a) と WS<sub>2</sub> (b) の AFM 像と輸送特性。 (c) SnS-WS<sub>2</sub> ヘテロ構造体の光学顕微鏡像とラマンスペクトル。