

WSe₂ 上における F6-TCNNQ 単分子層形成評価

Evaluation of F6-TCNNQ monolayer deposition on WSe₂

千葉大院¹, 東工大院², [○]松田 健生¹, 小島 拓也¹, 野口 裕士¹,
柯 夢南¹, 熊谷 翔平², 岡本 敏宏², 青木 伸之¹

ChibaUniv.¹, TokyoTech², [○]Kensho Matsuda¹, Takuya Kojima¹, Yuto Noguchi¹,
Mengnan Ke¹, Shohei Kumagai², Toshihiro Okamoto², Nobuyuki Aoki¹

E-mail: n-aoki@faculty.chiba-u.jp

1. はじめに

遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)は二次元層状物質であり、バンドギャップを持つ半導体である。層状物質であるため短チャネル効果に強く三次元半導体では実現困難な薄膜積層による高集積化が期待されている。しかし TMDC に対するドーピング方法は確立されておらず、特に p 型におけるコンタクト特性が良くないため p 型ドーピング方法の確立と、ドーピングによるコンタクト特性の改善が課題となっていた。これまでの研究より、WSe₂ 上への F6-TCNNQ 成膜によって WSe₂ に対する p 型ドーピング効果とトンネル電流によるコンタクト特性の改善が確認されている。しかしその後のデバイス作製においては F6-TCNNQ の成膜状況は重要であるものの評価がなされていなかった。ドーパント分子の不均一性はキャリア密度の違いを生み、FET 性能に影響を与えることになる。そこで本研究では、F6-TCNNQ 成膜時の基板温度や、その後の真空アニール温度、時間などをパラメータとした成膜状況について、原子間力顕微鏡(AFM)による表面観察と FET 特性評価をもとに、F6-TCNNQ 単分子層形成について議論する。

2. 実験

機械的剥離によって得られた数層の WSe₂ に対してオゾンクリーニング5分を行い表面清浄化を図った。その後真空管状炉内で F6-TCNNQ を 160°C 20 分加熱し昇華させ、同一管内の WSe₂ 結晶に対して成膜した。その際 WSe₂ 側の基板温度を一定温度に維持することで、成膜状況の再現性を確保している。その後成膜した WSe₂ 結晶に対して真空アニールを行い、真空アニール前後での成膜状況の変化について AFM を用いて確認した。

3. 結果・考察

Fig. 1(a)は、F6-TCNNQ を 160°C で 20 分加熱し昇華させ、WSe₂ 基板を 150°C で 40 分維持し成膜したも際の AFM 像である。ラインプロファイル青に示すように、F6-TCNNQ が成膜されている部分と成膜されていない部分の高さの差は 0.6 nm 程度であり、基本的には分子が単層で平面状に成膜されていると考えられる。一方でラインプロファイル緑に示すように、成膜されている部分の上にさらに高く(白く)なっている領域があることがわかる。この領域の高さは 1.5 nm 程度であり、二層目以降の F6-TCNNQ については分子が立つようにして成膜される様子が確認された。Fig. 1(b)は、(a)に対して 180°C 1h 真空アニールを

行った後の AFM 像である。(a)から(b)への変化に着目すると分子膜の均一性が向上していることが確認できた。一方でラインプロファイルに着目すると 1~1.5nm 程度の凹凸が確認され、平坦性については改善が必要であることが示唆された。

Fig. 1(c)は、(b)に対してさらに 200°C 1h 真空アニールを行った後の AFM 像である。(c)では所々に分子が乗っていない穴が空いている様子が確認された。一方で分子が成膜されている領域の平坦性については向上しているため、F6-TCNNQ 成膜段階での成膜量を調節するなどの工夫により、単分子層で 100%の被覆率を目指して研究を進めている。

4. 結論

WSe₂ 上に成膜した F6-TCNNQ に対して真空アニールを行うことで平坦性と均一性の向上が確認されており、単分子層を実現できる可能性が示唆されている。一方で真空アニールによって新たに生まれてしまう穴については F6-TCNNQ 成膜段階での成膜量を調節することや穴のできた領域に再成膜することによって改善できるのではないかと考えられる。

謝辞

本研究は東京エレクトロン(株)の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] L. Wang, et al., Science, **342**, pp.614 (2013).
- [2] K. Matsuyama, et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, **14**, pp.8163-8170 (2022).

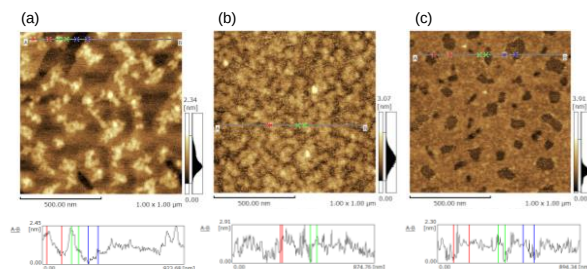


Fig. 1. 1μm × 1μm AFM images of F6-TCNNQ on WSe₂. F6-TCNNQ deposition conditions; F6-TCNNQ sublimation at 160°C for 20 min and WSe₂ substrate 150°C 40 min. (a) As deposited. (b) After vacuum annealing at 180°C for 1h. (c) After vacuum annealing at 200°C for 1h for (b).