

## 二次元材料成膜・形成および機能発現評価の課題

### Issues in growth, formation, and evaluating function developments of 2D materials

東北大通研<sup>1</sup> ○吹留 博一<sup>1</sup>

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ.<sup>1</sup>

○Hirokazu Fukidome<sup>1</sup>

E-mail: hirokazu.fukidome.e7@tohoku.ac.jp

IRDS roadmap による提言により、二次元原子薄膜の集積回路への導入が真剣に検討され始めている。二次元原子薄膜の導入においては、課題が山積している。本発表では、その中でも、集積回路応用に適した二次元原子薄膜の成膜、また、二次元原子薄膜をデバイス化した際に顕著となる界面相互作用について述べたい。

二次元材料薄膜の集積回路応用における成膜技術においては、大前提として、クリーンルームの活用などを用いて、基板前処理工程を含めた「成膜プロセス最適化」を図ることが不可欠である[1-3]。その上で、膜質の高品質化を図るだけでなく、デバイス基板に施された「微細構造へ立体的に成膜する技術」の確立が不可欠である。このことは、デバイス用基板への直接成長が望ましいことを示唆する。我々は、グラフェンをモデル材料として、微細加工デバイス用基板上への二次元原子薄膜成長に取り組んできている[4-7]。本成長法は、空間的な反応閉じ込めによる高品質化という大きなメリットがあることが実証された。また、微細加工による界面制御により、位置選択的な仕事関数やバンドギャップのナノスケール制御が可能であることも示されている。

二次元原子薄膜の極薄さは短チャネル効果の抑制というメリットを生む一方、取り巻く界面に対して物性が敏感に応答してしまうというデメリットもある[8]。さらに、このような応答は、デバイス動作のための外部により大きく変調される[8, 9]。ゆえに、二次元原子薄膜デバイスの高性能・高信頼性化のためには、動作しているデバイスにおける物性を微視的に観測するオペランド・ナノ X 線分光法[8-14]の利用が不可欠である。本法は、X 線光電子放出過程や X 線吸収過程が用い、高い空間分解能 (22 nm) [8]および時間分解能 (100 ps) [14]を有している。本法により、グラフェン・トランジスタ[8-10]、数層 MoS<sub>2</sub> トランジスタ[11, 12]および GaN-HEMT[13, 14]における、界面における意図しないキャリア注入領域の形成の直接観測、表面電子捕獲密度の時空間変化の定量分析が実現されている。得られた結果は、遮断周波数などのデバイス機能の解析に役立つことが示されている。よって、オペランド・ナノ X 線分光は、二次元原子薄膜を用いた集積回路のデバイス動作解析にも役立つと考えられる。

参考文献 [1] Kim et al., Carbon 130 (2018) 792. [2] Endoh, Fukidome et al. Nanomater. 11 (2021) 392. [3] Someya, Fukidome et al. PRB 95 (2017) 165303. [4] Fukidome et al., APL 101 (2012) 041605. [5] Ide, Fukidome et al., Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 06DF02. [6] H. Fukidome et al., Sci. Rep. 4 (2014) 5173. [7] Fukidome et al., Proc. IEEE 101 (2013) 1557. [8] Fukidome et al., Sci. Rep. 4 (2014) 3713. [9] Fukidome et al., Sensor. Mater. 31 (2019) 2303. [10] Fukidome et al., APEX 7 (2014) 065101. [11] Suto, Fukidome et al., Mater. Res. Exp. 3 (2016) 075004. [12] Kamata, Fukidome et al., Phys. Stat. Solid. (a) 216 (2019) 1800539. [13] K. Omika, Fukidome et al., Sci. Rep. 8 (2018) 13268. [14] Omika, Fukidome et al., APL 117 (2020) 171605.