

未来社会創造事業 探索加速型
「低炭素」領域
年次報告書(探索研究期間)

令和4年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:長汐 晃輔]

[東京大学大学院工学系研究科・教授]

[研究開発課題名:2D材料 CMOS・デバイス集積化技術の開発]

実施期間 : 令和4年10月1日～令和5年3月31日

§1. 研究開発実施体制

(1)「デバイス」グループ(東京大学)

① 研究開発代表者:長汐 晃輔 (東京大学工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・ドーピング技術の確立
- ・P型動作のためのオーミック電極形成
- ・high-k/2D 界面特性向上
- ・集積化の検討

(2)「成膜・デバイス」グループ(産業技術研究所)

① 主たる共同研究者:入沢 寿史 (産業技術研究所、研究グループ付)

② 研究項目

- ・位置選択成長技術による素子配置技術の開発
- ・high-k/2D 界面特性向上
- ・P型動作のためのオーミック電極形成
- ・集積化の検討

(3)「成膜・構造」グループ(東北大学)

① 主たる共同研究者:吹留 博一 (東北大学電気通信研究所、准教授)

② 研究項目

- ・縦型 FET 構造
- ・集積化の検討

(4)「解析」グループ(筑波大学)

① 主たる共同研究者:蓮沼 隆 (筑波大学数理物質系、准教授)

② 研究項目

- ③
- ・high-k/2D 界面特性向上
 - ・集積化の検討

(5)「モデリング」グループ(広島大学)

① 主たる共同研究者:飯塚 貴弘 (広島大学 HiSIM 研究センター、研究員)

② 研究項目

- ・大規模集積化にむけた物理モデル構築
- ・集積化の検討

§2. 研究開発成果の概要

本研究では、P型FETを確立し、集積化を目指したPNによる2D-CMOS動作実証を目指している。達成すべき事項は、(1)位置選択成長技術による素子配置技術の開発、(2)P型動作のためのオーミック電極形成、(3)high-k/2D界面特性向上、(4)縦型FET構造、(5)大規模集積化にむけた物理モデル構築である。

本年度は、位置制御技術に関して、SiO₂基板上的Siフィン構造から成長したWS₂において、核生成箇所の特徴を解析した。成膜時のWがSiフィン構造の3重点で酸化しWO_xとして存在し、核生成サイトとして機能する仮説を立て、TEM/EDSにより解析を行ったがWO_xは検出限界以下であった。300 mmラインでWプラグ構造をもつ位置制御用成長基板を作製するためのマスクの設計・プロセスフローを構築した。また、P型動作については、2次元材料に対する置換型ドーピングが困難であるため、WSe₂のコンタクト近傍を局所的に酸化しWO_xを形成させることで、電荷移動型のP型ドーピングを行った。h-BNをトップゲート絶縁膜としてオン電流の高いP型動作を実現した。本プロセスは有機材料によるドーピングと比較して、熱耐性、電氣的安定性に優れる無機酸化物のためデバイスプロセス適応性が良い。縦型FET構造に関しては、SiC基板から成長させたグラフェンをゲート電極として利用することで、EUV装置を用いることなくゲートの極短化を可能にする構造の第一次試作に成功した。界面特性解析及び物理モデル構築に関しては、計測系およびデバイスシミュレータの導入を行った。今後、グループ間の連携によりデバイス作製から計測までをシームレスに進めていく。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Shuhong Li, Tomonori Nishimura, Mina Maruyama, Susumu Okada and Kosuke Nagashio*, "Experimental verification of SO₂ and S desorption contributing to defect formation in MoS₂ by thermal desorption spectroscopy", **Nanoscale Adv.**, 2023, 5, 405-411.
- [2] Haruki Uchiyama, Kohei Maruyama, Edward Chen, Tomonori Nishimura, Kosuke Nagashio*, "A Monolayer MoS₂ FET with an EOT of 1.1 nm Achieved by the Direct Formation of a High-κ Er₂O₃ Insulator Through Thermal Evaporation", **Small**, 2023, 2207394.