

2024 年度年次報告書

ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術

2023 年度採択研究代表者

加藤 俊顕

東北大学 大学院工学研究科
教授

精密界面制御直接合成法によるグラフェン標準量子限界増幅器の開発

主たる共同研究者:

大塚 朋廣 (東北大学 材料科学高等研究所・電気通信研究所 准教授)

仙場 浩一 (東京大学 大学院理学系研究科 特任教授)

吉原 文樹 (東京理科大学 理学部 教授)

研究成果の概要

本研究は、原子層材料であるグラフェンを活用した量子デバイスの社会実装につながる基盤技術の開発を目指すものである。具体的なターゲットとしては、量子コンピュータの低雑音信号増幅器として活用できる、ジョセフソンパラメトリック増幅器(JPA)に着目し、グラフェンを活用した JPA の集積化合成手法の開発を目指すものである。全体計画における2年目に当たる今年度は、主に剥離グラフェンを用いたジョセフソン接合素子開発と JPA に向けた超電導共振回路の試作に重点的に取り組み以下の成果を得た。

剥離グラフェンを六方晶窒化ホウ素(h-BN)で挟み込んだ素子(h-BN/G/h-BN)に関して、前年度までに立ち上げた極低温微小電流計測システムを活用して特性評価を行った。その結果、極低温(〜4 K) 環境下において、明確なゼロ抵抗を確認した。さらに、臨界電流がゲート電圧に依存して大きく変調した特性、および臨界電流のゲート電圧極性に対する非対称性を観測した。これらは既に報告されているグラフェンジョセフソン接合の特性と極めて良い一致を示すものであり、本プロジェクトにより剥離グラフェンを用いたジョセフソン接合素子の開発に成功したと言える。

JPA 回路に必須の超電導共振回路に関しては、MoRe 薄膜によるマイクロ波共振回路を試作し〜10 mK 環境下でのマイクロ波の共振特性計測を行った。その結果、同一導波路内に作製した異なる3つの共振周波数を持つ全ての素子で、明確な共振ピークの観測に成功し、本プロジェクトで超電導共振回路の製作・評価が可能であることを実証した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Kaneda, W. Zhang, Z. Liu, Y. Gao, M. Maruyama, Y. Nakanishi, H. Nakajo, S. Aoki, K. Honda, T. Ogawa, K. Hashimoto, T. Endo, K. Aso, T. Chen, Y. Oshima, Y. Yamada-Takamura, Y. Takahashi, S. Okada, T. Kato*, and Y. Miyata*, Nanoscrolls of Janus Monolayer Transition Metal Dichalcogenides, *ACS Nano*, **18**, 2772–2781 (2024).
- 2) W. Zhang*, Z. Liu, H. Nakajo, S. Aoki, H. Wang, Y. Wang, Y. Gao, M. Maruyama, T. Kawakami, Y. Makino, M. Kaneda, T. Chen, K. Aso, T. Ogawa, T. Endo, Y. Nakanishi, K. Watanabe, T. Taniguchi, Y. Oshima, Y. Yamada-Takamura, M. Koshino, S. Okada, K. Matsuda, T. Kato*, and Y. Miyata*, Chemically Tailored Semiconductor Moiré Superlattices of Janus Heterobilayers, *Small Structures*, **5**, 2300514-1-8 (2024).
- 3) Y. Gao*, M. Kaneda, T. Endo, H. Nakajo, S. Aoki, T. Kato, Y. Miyata, and S. Okada, Strain-induced scrolling of Janus WSSe, *Phys. Rev. B* **110**, 035414-1-6 (2024).
- 4) S. Shiina, T. Murohashi, K. Ishibashi, X. He, T. Koretsune, Z. Liu, W. Terashima, Y. K. Kato, K. Inoue, M. Saito, Y. Ikuhara, and T. Kato*, Synthesis of Ultrahigh-Purity (6,5) Carbon Nanotubes Using a Trimetallic Catalyst, *ACS Nano* **18**, 23979-23990 (2024).
- 5) Z. Ma, P. Solís-Fernández*, K. Hirata, Y.-C. Lin, K. Shinokita, M. Maruyama, K. Honda, T.-S. Kato, A. Uchida, H. Ogura, T. Otsuka, M. Hara, K. Matsuda, K. Suenaga, S. Okada, T. Kato, Y. Takahashi, Hiroki Ago*, “Lattice-guided growth of dense arrays of aligned transition metal dichalcogenide nanoribbons with high catalytic reactivity”, *Science Advances* **11**, eadr8046-1-12 (2025).