

2023 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

竹延 大志

名古屋大学 大学院工学研究科
教授

二次元物質における超高密度キャリア制御

主たる共同研究者:

張 文馨 (産業技術総合研究所 先端半導体研究センター 主任研究員)

平原 佳織 (大阪大学 大学院工学研究科 准教授)

丸山 実那 (筑波大学 数理物質系 助教)

宮田 耕充 (東京都立大学 大学院理学研究科 准教授)

研究成果の概要

本研究提案は、 $10^{14}/\text{cm}^2$ を超えるキャリア密度を実現可能な電解質を用いた電気二重層 (EDL) ドーピングを駆使し、二次元半導体デバイスを作製・評価する。特に、2023 年度は素子作製・評価技術の最適化と開発に取り組んだ。

まず、EDL ドーピングによる接触抵抗の 3 桁以上の低減、PN 接合の形成、結晶方位まで制御したヘテロ構造の作製などに成功した。特に、電極と電解質が接するトップコンタクト型と、接しないボトムコンタクト型の比較より、接触抵抗低減のメカニズムを議論した。その結果、両者には有意な差が観測されず、接触抵抗の低減は電解質を形成するイオンが不純物ドーピングにおける空間電荷のような役割を果たすのではなく、半導体中に誘起されたキャリアの電荷によりバンドの曲がりが生じていることを明らかにした。

次に、既に低接触抵抗 ($0.2 \text{ k}\Omega \mu\text{m}$) を実現している $\text{Sb}_2\text{Te}_3/\text{MoS}_2$ 界面において、電極形成プロセスの最適化を行った。これまではデバイス作製の歩留まりが悪かったが (1 割程度)、リソグラフィプロセスの前に熱処理を行い、 MoS_2 と基板の密着性を向上させ、歩留まりを大幅に改善した (8 割程度)。加えて、 400°C の熱処理前後でオン電流はほとんど変化せず、 Sb_2Te_3 電極の高い熱安定性を確認した。現在、 MoS_2 において最も低い接触抵抗 ($0.11 \text{ k}\Omega \cdot \mu\text{m}$) を実現する Bi 電極は、Bi の融点が 271°C のため、熱安定性が問題視されている。本成果は、 Sb_2Te_3 電極の有用性を示す極めて重要な成果である。

二次元材料ヘテロ構造の評価に不可欠な第一原理計算を行う上でのモデルについても研究を推進した。具体的には、ヘテロ構造を基盤としつつ、電場印加時の電子状態を計算する必要がある。本研究実施項目に対して、グラフェンと hBN の面内ヘテロ構造[1]や電場を印加した二層グラフェン[2]を用いて評価技術の開発に成功した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) H. Zhang, Y. Gao, M. Maruyama and S. Okada, Jpn. J. Appl. Phys. 63, 015004 (2024)
- 2) N. Sultana, Y. Gao, M. Maruyama and S. Okada, Appl. Phys. Express 17, 035001 (2024)