

グラフェンをはじめとする二次元材料の 製膜技術と応用研究

九州大学 グローバルイノベーションセンター
吾郷浩樹

1. はじめに

2004年にマンチェスター大学の Geim と Novoselov により、グラファイト（黒鉛）からその単層膜であるグラフェンが剥離され、極めて特異的な物性が明らかにされて以降、グラフェンに関する研究は大きな進展を遂げてきた。たった一原子の厚さのユニークな二次元シートの構造とともに、極めて高いキャリア移動度や量子ホール効果など興味深い物性が数多く報告され、エレクトロニクスをはじめとした多様な応用に向けた研究が世界中で活発に行われている^{1,2)}。このグラフェンの研究に触発されて、従来から知られている層状物質を極限まで薄くした、様々な「二次元材料」が多く報告されるようになってきた³⁾。さらには、異なる二次元材料を縦方向に積層、あるいは横方向に接合することで、新たな物質科学や応用への展開が期待されている。本稿では、グラフェンの特徴と応用を概説した後、我々が行っている化学蒸着法（CVD法）に基づく高結晶性のグラフェンの成長技術や機能化に関する研究を紹介する。その後、六方晶窒化ホウ素（hexagonal boron nitride (h-BN)）、二硫化モリブデン（MoS₂）などの遷移金属ダイカルコゲナイド（transition metal dichalcogenide (TMDC)）といった他の二次元材料の研究について紹介する。

2. グラフェンの特徴と応用

グラフェンは、炭素原子一個分の厚さしかもたないことから、光学的にほぼ透明で（波長 550 nm の可視光を 2.3% だけ吸収する）、機械的にも折り曲げに対して柔軟である。さらに、単原子層の六方格子に由来する特異なバンド構造を有することから、材料中で最も高いキャリア移動度を示すことが知られている（シリコンなど通常の半導体は波数に対して放物線的なバンド分散を示すのに対して、グラフェンは直線的なバンド分散をもち、粒子（電子）が質量をもたないと仮定したディラック方程式で記述される）。グラフェン中のキャリア移動度は、シリコン基板上で 10,000 cm²/Vs、架橋した状態では 200,000 cm²/Vs とも報告され、シリコン（1,500 cm²/Vs）や有機トランジスタ（一般に 10 cm²/Vs 未満）よりはるかに大きい。さらに、グラフェンは、その薄さにもかかわらず大気中でも安定で、リソグラフィや酸素プラズマ処理によって任意の形状に加工ができるという特徴も有している。

このような優れた特性を活かし、図 1 に示すような数多くの応用が提案されている。半

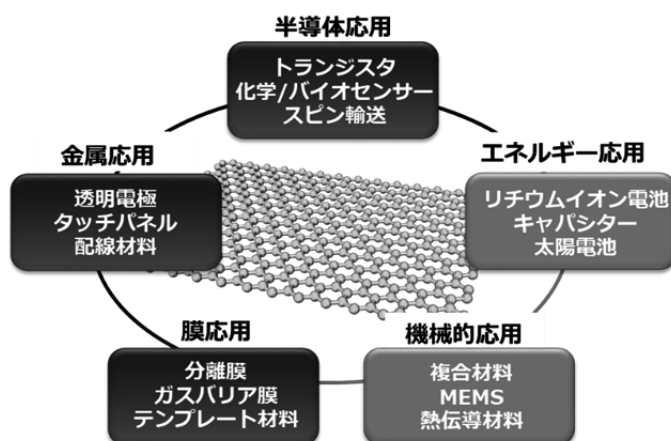


図 1 グラフェンの構造（中央図）と多様な応用