

大分類 17 ナノカーボン・二次元材料 報告書

取りまとめ:野内 亮(大阪公立大学)

大分類 17 は、今回から大分類名を「ナノカーボン」から「ナノカーボン・二次元材料」と改めた。本大分類は、フラーレンからカーボンナノチューブそしてグラフェンと、ナノカーボン材料に関する研究者が主体になり拡大してきたが、その後、カーボンナノチューブと同様の一次元構造やグラフェンと同様の二次元構造を有するカーボン以外の物質群へと更なる拡大を見せていた。その中でも特に、グラフェン以外の二次元材料に関する講演数が全体の 1/3 を超えるに至ったことから、実態に合わせた大分類名に変更した次第である。その効果もあってか、講演数は前回より大幅に増加し、200 件超へ回復した。なお、その内約半数がグラフェン以外の二次元材料関連の講演であり、今後ますますその割合は増えるものと予想される。初日の午後前半には、中分類で分けて大分類全体としてポスターセッションを開催したが、その講演数も前回より 1.4 倍ほどに増加した。今回は、全 75 件のポスター発表の中で 5 件がポスターアワードの候補としてノミネートされたが、どのポスターの前も常に議論が行われており、質問をするのに苦労をするほどであった。また、通常の講演のほかにシンポジウム(T21「光と物質の相互作用が創り出す二次元材料研究の新しい潮流」;世話人:守谷頼(東京大学)、森山悟士(東京電機大学))を 3 日目の午後に開催したが、こちらも常に盛況であった。以下では、各中分類においてどのような講演があったか、簡単に報告する。

17.1 カーボンナノチューブ、他のナノカーボン材料

カーボンナノチューブ(CNT)の成長技術に関しては、デバイス応用と構造制御合成を念頭においた中で、触媒微粒子の化学状態や分子の吸着過程に対する詳細な分析が多数報告され、合成に関する基礎的理解がさらに進展していることが見て取れた。同時に、CNT の線材や配向構造など、より具体的な応用を志向した集合体の形成手法や成長機構理解も進んでおり、材料作製に関して基礎から応用までバランス良く研究されている印象を受けた。

また、CNT ファイバーの高強度化や破断箇所の分析、カイラリティ特定した CNT における光学的な熱伝導率計測、CNT・ポリマー複合体の機械特性に関する電子状態計算など、マクロな CNT 集合体の特性と微視的な構造の関係を解き明かす試みが進められていた。CNT 以外にも、フラーレンの重合と解重合を基板上で行う素子や、特異な構造の炭素粒子の形成など、多様なナノカーボン材料について議論が交わされた。

デバイス関連では、ガスセンサ、発電素子、赤外線検出器、太陽電池、負性抵抗素子などの多様な報告があり、約半数がセンサに関してのものであった。前回までの発表内容からの進展を報告する講演が多く見られ、CNT のデバイス技術が着実に進展している様子が伺えた。

17.2 グラフェン

成長技術では、SiC やサファイア上でのグラフェン成長のほか、グラフェン/SiC 層間に新たに層を形成する報告がされた。具体的には、グラフェン/WC/SiC 構造や Fe インターカレーションにより形成された二次元鉄といった特異な構造が、透過型電子顕微鏡を用いて直接的に観察されていた。

構造制御・基礎物性に関しては、特に、グラフェンの電子状態変調や擬似的な磁場形成を目的とした歪み導入に関する報告が多くあった。2 層ツイストやリップルの評価、SiC 基板表面の形態制御やピエゾ素子による可変歪み印加など、非常に活発な議論がなされていた。

デバイス応用に関するセッションでは、赤外線センサ、ガスセンサ、圧力センサなどの進展が報告された。特に赤外線センサについて、hBN/グラフェンメタサーフェスを用いた波長選択・偏光検知機能を有する新手法の提案がなされた。また、ポリ塩化ビニルを用いたグラフェンを含む原子層物質の転写技術の報告が注目を集めていた。

17.3 層状物質

全般的に、遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)に関する報告が目立った。その中でも、ヤヌス TMD (MoSSe, WSeS) やスクロール構造、モアレ超格子など、これまでとは変わった系が増えてきていた。また、TMD 以外にも、ゲルマネンや MXene などといった新物質合成も増加傾向にある。有機金属気相成長法による 2 インチウエハサイズの MoS₂ 成長といった、産業応用に資する大面積化に関する報告もあった。また、TMD 上へのペロブスカイト成長による光学特性の改善の報告があり、このような複合化による新規機能創出も今後の方向性として期待される。

基礎物性に関しては、TMD における、強磁性、超伝導、モアレ超格子、電界効果など多様な報告があった。特に、結晶構造自体やヘテロ構造を用いた対称性の変化により、様々な非線形伝導現象が出ることを示された。また、二層系において層間のツイスト角度や電界を用いてモアレ超格子を発現させた系が多く議論されていた。ナノチューブ状構造にした TMD の電子状態計算や TMD の表面酸化を活用した絶縁膜積層技術などの報告もあり、非常に多様な材料探索の可能性が示唆された。

デバイス応用に関しては、TMD を中心とした多様な物質 (WSe₂, WS₂, VSe₂, MoS₂, GeCH₃ など) を用いた電界効果トランジスタ、センサ、メモリ等の報告があった。また、プロセス処理によるドーピングやエッチング、コンタクトへの影響など、周辺技術に関しても着実な進展が見られていた。