

17. ナノカーボン

「ナノカーボン」では、今回計 162 件の発表があった。前回に比べて少し減ったように見えるが、合わせて行われた MRS とのジョイントシンポジウムで 88 件のナノカーボン関連の発表があったことを考えると、分野全体では増加傾向と言ってよい。内訳はカーボンナノチューブ (CNT) 関連が 50 件、グラフェン関連が 88 件、その他が 24 件であった。各中分類、及びポスター件数の内訳を図 1 に示す。CNT 関連が減少しグラフェン関連が増加する、という傾向が続いていたが、今回 CNT 関連の講演数は減っていない。CNT ではデバイス関連の発表が多く、グラフェンでは成長技術や基礎物性評価に関するものが多い、という傾向は前回と変わらない。グラフェンにおいて、海外に負けずに様々なデバイス応用が今後提案されていくことを期待したい。また、二次元材料に関する講演も今後増えていってほしい。以下、ポスターセッション、及び各中分類分科の口頭発表に関し簡単にまとめる。

【ポスターセッション】

今回は 52 件のポスター発表があった。ポスターアワードがあるためか、レベルが高い発表が多いと感じた。なかでも微傾斜 SiC 上の 5nm 程度の幅を有するグラフェンナノリボンの ARPES による解析、Au 基板上へのグラフェンナノリボンの STEM 観察などギャップ形成に関連する発表で議論が活発であった。いくつかの候補の中から今回のポスター賞に輝いたのは、長カラムを用いたゲルクロマトグラフィーの厳密な制御により、金属型 SWCNT の構造分離に成功したポスター発表であった。

【17.1 成長技術】

CNT 関連では、特に多層 CNT の合成技術や成長メカニズム、また新規合成法の開発に関する発表が多かった。その場 TEM 観察による分析などは、多層 CNT に限らず単層カーボン CNT やグラフェンなどをナノカーボン材料の成長技術発展への貢献が期待される

グラフェン合成技術に関しては、単層のグラフェン合成がかなり容易にできるようになってきているためか、SiC グラフェン、CVD グラフェンとも形成メカニズムに関するものや、応用を意識した内容の講演が多かった。応用関連では、SiC グラフェンの転写技術、ドーピングなどの講演が目をつけた。また、配線応用を目指した多層グラフェンの合成、トランジスタ応用のための二元系触媒を利用した 2 層グラフェン合成などの報告もあり、今後さらに制御性が向上することを期待したい。絶縁膜上へのグラフェン直接合成に関しては、グラフェンの高品質化が依然として課題である。

【17.2 構造制御・プロセス】

CNT 関係では、液相プロセスによる自己組織化的な CNT 集合体の形成、及びその電気特性の報告があり応用展開へ向け様々な構造制御技術が進展していることがうかがわれた。また、ナノチューブのカイラリティ制御に関しても進展があった。

グラフェンのセッションでは多岐にわたる講演があったが、もみ殻を利用したグラフェ

ン構造体の形成，中性子ビームを利用した低損傷ナノリボン加工， N_2 ガス雰囲気での SiC アニールによるグラフェン形成などが新規性があり興味深かった．また，グラフェンの析出過程の in situ SEM による観察は，以前から提案されていた手法であるが，印象に残った．

【17.3 新機能探索・基礎物性評価】

新機能探索・基礎物性評価の光物性関連のセッションでは，最近注目を集めている単原子層ダイカルコゲナイトにおけるトライオンについての発表が興味深かった．また，中空に浮いた状態のナノチューブと DNA 複合体やグラフェン複合体との発光，外部共振器内や金属蒸着における発光増強など，ナノチューブ単体にとどまらず，ナノチューブ関連の光学応答の理解がさらに進展していることが感じられた．

グラフェン関連では，多層グラフェンの層間へのインターカレーション，基板の局所分子修飾，グラフェン上への不純物付加，格子歪みの導入によって，グラフェンの物性を制御し，新機能を付与する研究発表が目立ち，今後のこの分野の発展の方向性を示すものとして注目された．特に，フッ化グラフェンにおいて，スピントロニクスへの応用の可能性を示唆するものであり，興味深い．

そのほか，ダイヤモンドの結晶構造から炭素のカゴ型クラスターを数個取り出し，水素終端した構造を持つ分子（ダイヤ分子）の誘電特性に関する発表，グラフェンに B や N をドーピングすることにより半導体化した BCN 薄膜の格子振動解析やテラヘルツ分光の発表も目を引いた．

【17.4 デバイス応用】

CNT に関する発表 14 件のうち，半数がセンサーに関するものであった．内訳は，ガス検知 (2)，酵素利用センサ (3)，熱センサと，集積化複合センサ (圧力・熱・光) であった．後者は電子皮膚応用を目指したものであり，実際に二次元圧力分布の測定に成功するなど，インパクトの大きな成果と感じた．その他，太陽電池用や脳波測定用電極，フレキシブル印刷トランジスタ，CNT メモリ，CNT リレー，発光デバイスなどの報告があった．このうち脳波測定用の多層 CNT 電極は，既存の銀電極の問題点を克服しており，実用化に近いものと期待できた．

グラフェン，二次元材料関係では，遷移金属ダイカルコゲナイトにおいて，イオン液体ゲートを用いて $90\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度の移動度， 10^7 のオンオフ比を得るとともに，P 型トランジスタとして WSe_2 ，N 型として MoS_2 を用いた CMOS インバータで 20 を超える高いゲインが得られた，という報告があった．今後の展開に期待が持てる．またチャンネル特性を向上させた酸化グラフェンのバイオセンサー応用や，多層グラフェン配線のインターカレーションによる低抵抗化（銅と同程度）に関する報告なども目を引いた．

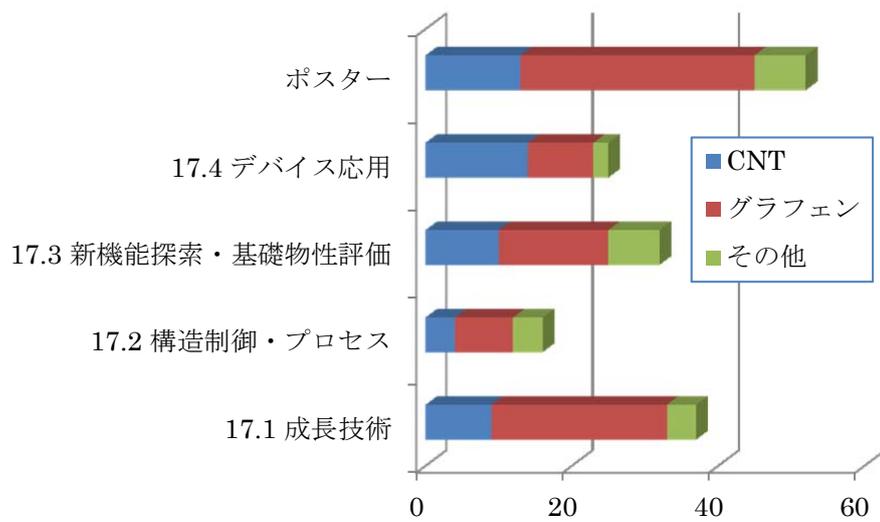


図1. 発表件数の内訳