

## 17. ナノカーボン

「ナノカーボン」では、今回計175件の発表があった。内訳はカーボンナノチューブ(CNT)関連が46件、グラフェン関連が97件、層状物質22件、その他が10件であった。前回と比べると、CNT関連およびグラフェン関連の講演数はほぼ変化していない。層状物質に関する公演数は前回の倍になっており、この分野での研究が盛んになっていることを示している。

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】

ポスター講演は56件あり、CNT関連(12件)、グラフェン関連(28件)、層状物質(8件)、その他カーボン材料(8件)についての研究成果が発表された。CNT関連では、ゲルコラムによる半導体・金属分離のほか、太陽電池、折りたたみ電極の作製など、応用を意識したレベルの高い講演が多かった。グラフェン関連では、従来から多数ある合成技術に関する講演に加え、グラフェンナノリボンの形成技術や、グラフェンへの歪導入技術など、エネルギーギャップ形成を目的とした講演が目を引いた。グラフェン以外の二次元材料では、遷移金属ダイガルゴゲナイドの合成や、電気特性、光物性評価のほか、最近注目されつつある、黒りんのフォトルミネッセンスに関する講演が興味深かった。今回のポスター賞は、二硫化モリブデンを利用した太陽電池に関する講演に送られた。多くの聴衆者も集まり、熱気に満ちたポスター発表であった。今回のポスター賞は、二硫化モリブデンを利用した太陽電池に関する講演に送られた。まだ効率に関しては改善が望まれるため、今後の展開に期待したい。

### 【17.1 成長技術】

CNTの高度な合成技術、特に単層CNTの詳細な構造制御合成技術について多数の報告がなされた。既に成長したナノチューブの端部をテンプレートとし新たなナノチューブを合成する再成長(“クローニング”)は、カイラリティ制御合成技術につながる重要な技術と考えられ注目を集めている。ここでは、様々な形態のCNTについての再成長や合成条件について議論が行われた。また、同時にパルスCVDを用いたカイラリティ制御法についても報告された。

グラフェンのCVDに関しては、これまでにほぼ確立している単層グラフェンの選択的成長ではなく、多層グラフェンを成長させる試みが幾つか報告された。その中でも、これまで難しかった二層グラフェンの選択成長が報告され、垂直電場印加によるバンドギャップ形成によるトランジスタ応用など、今後の展開が期待される成果である。また、銅箔上への熱CVDによる大面積単層グラフェンドメイン形成としては、これまでメタンを原料ガスとして用いたものが主流であったが、アルコール原料によってもmmオーダーのドメイン形成が可能であることが示された。今後の同様の研究にとって、原料選択の幅が広がることは良いニュースであると考えられる。

### 【17.2 構造制御・プロセス】

CNT では、9 件の講演があった。CNT ビア配線形成技術関連の講演では、CMP プロセスの改良による研磨時間や歩留まりの大幅改善が報告された。CNT のカイラリティ分離に関し 2 件の報告があり、分離の選択性や分離時間に関する改善が報告され、この分野の目覚ましい進展を感じた。日本が世界をリードする分野でもあり、今後も継続的な進展を期待したい。また、DOC 結晶を用いた新たな単層 CNT の高密度配向法に関する報告もあった。トランジスタ応用には大変重要な技術であり、さらなる改善を期待する。

グラフェンの加工、グラフェンへの修飾、および、それらの電子状態に関する研究等、幅広い深まりのある講演があった。今後は、一つのテーマに限ることなく、より全体からの視点が入るようになれば、研究分野全体としての研究が見込まれると感じられた。

### 【17.3 新機能探索・基礎物性評価】

CNT 紡績糸の機械・電気特性に関する発表が 2 件あった他、ナノダイヤモンドから成長した CNT のセンサー応用や、多層 CNT の層間電気抵抗計測、垂直配向単層 CNT の水分子吸着挙動の解析、イオン液体を用いたキャリア注入による P,N 制御に関する発表があった。また、孤立架橋 CNT を用いた蛍光や光電変換の計測から CNT のカイラリティごとのエキシトン寿命や吸光係数を調べた 2 件の発表が興味深かった。CNT 以外では、ダイヤモンドの最小単位といえるダイヤモンド分子  $C_{10}H_{16}$  の誘導体に関する 2 件の発表があり、固体中でも分子が回転するという興味深い現象が報告された。

グラフェン関連では、酸化、窒素ドーピング、有機分子の化学ドーピングや格子ひずみ導入による物性制御、SiC 上グラフェンの新しい物性評価法の開発、層状化合物のヘテロ接合の伝導評価など、多彩なトピックについて報告がなされ、シンポジウムの裏番組にもかかわらず盛況で活発に議論が行われた。特に、表面増強ラマン散乱分光を用いた SiC 上グラフェンの評価では、金ナノ粒子を蒸着するという簡便な方法ながらシグナルの大きな改善が得られており、今後のさまざまな研究への応用が期待される。

### 【17.4 デバイス応用】

CNT を用いた電界効果型トランジスタ応用や、センサー応用を中心とした研究成果が報告された。デバイス化技術や性能評価だけでなく、ナノチューブをデバイス化した際の基板や電極、保護材などとの界面構造や接触による影響などに基づいた詳細な分析、議論が行われた。また、新規な太陽電池応用や電気化学的物性に関する興味深い結果も報告された。

グラフェン関連では、応用としてバイオセンサに関する研究成果が多く報告された。安定性、再現性等の問題はあるものの、高感度で検出が可能となっている。また、 $MoS_2$  等の層状物質をチャンネルとして用いたデバイスに関する発表が見受けられた。今後グラフェン・デバイス応用の研究が進展する期待が持てた。