

## 17. ナノカーボン

「ナノカーボン」では、今回分科内シンポジウムも含め、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 51 件、グラフェン関連が 110 件、その他が 14 件であった。各中分類、及びポスター、シンポジウムの件数の内訳を図 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る。グラフェン関連は CNT 研究の初期のころと同様、成長技術や基礎物性評価に関するものが多いが、今後デバイス応用など、応用関連の発表が増えることを期待したい。また今回は「2 次元層状物質の合成・評価技術」というテーマで分科内シンポジウムを行った。その中では、グラフェンの他、シリセンや遷移金属ダイカルゴゲナイドに関する講演が行われた。今後、異種二次元材料のヘテロジャンクションを用いたデバイスの研究などが進展することを期待する。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】

今回は 48 件のポスター発表があり、ポスターアワード新設の効果もあってか高いレベルのものが多かった。本分科ではポスターセッションの前にショートプレゼンテーションを行っているが、多数のポスター講演の概略を効率よく把握できる点で、極めて有用だと感じた。セッション中は、ほとんどのポスターで終始質問者が途切れない程の盛況ぶりであり、通常的口頭発表では考えられないような細部にわたる質問にも丁寧に答える発表者の姿が印象的であった。

### 【17.1 成長技術】

CNT 関連の発表は減少傾向ではあるものの、成長制御から応用まで幅広く議論が行われた。特に、これまでも検討されていた LSI 配線への応用について高アスペクト比ビア内への成長の実現や温度勾配制御による高密度 CNT の成長など、実用化に向けた取り組みが報告された。また、触媒としてナノダイヤモンドを用いた CNT の成長について成長駆動力との関係について深く検討されたことが目を引いた。

グラフェンの合成に関しては、産業応用で求められている転写不要のグラフェン形成方法について、フラックス法や PECVD による直接成膜など 6 件の報告があり、今後の実用化へ向けた取り組みが期待される。また、酸化グラフェンの触媒金属 (Pd フォイル, Cu 単結晶) や溶液中のラジカル反応を用いた還元、構造回復の報告や電気化学的剥離による高品質なグラフェン合成の報告などがあり、高品質・大量合成技術で進展が見られた。

グラフェン CVD に関し、成長時の Cu 基板の蒸発に関して、グラフェンが成長し覆うと蒸発速度が遅くなることが報告された。Cu の蒸発に対する定量評価はこれまで行われていなかったため、今後良い指針になる可能性がある。また MgO 上 Ni のエッジにリボン状にグラフェンが成長することが報告され、成長メカニズムに対して多くの議論があった。

### 【17.2 構造制御・プロセス】

CNT 関連で 3 件、グラフェン関係で 8 件の報告があった。奨励賞記念講演では、ゲルを利用した CNT の半金分離について、熱力学的な視点からそのメカニズムが説明された。そのほか分

子ガラスを用いた金属 CNT の除去に関する報告もあり、CNT においては半金分離が依然大きなテーマであることがうかがえた。グラフェンではエッジやナノリボン幅の制御の報告が複数あり、今後の応用展開のため、制御技術のさらなる進展が期待される。

### 【17.3 新機能探索・基礎物性評価】

CNT 関連では、透過型電子顕微鏡内その場観察下における CNT のナノマニピュレーションに関して議論され着実な進展が見られた。また、CNT の電子物性を大きく左右する表面への水の吸着現象に関して実験結果と吸着モデル計算との対比が行われ、理解が深まった。

グラフェン関連では、金属/グラフェン界面における状態密度を量子キャパシタンス測定から導出する手法を用いて、種々の金属/グラフェン界面を評価する発表が興味深かった。また、レジストフリープロセスによるグラフェン上金属の結晶性向上、固相反応によるグラフェンの絶縁体基板上直接合成、h-BN 上高移動度グラフェンによるメゾスコピック量子輸送現象の観測が目目を引いた。また、h-BN と 2 層グラフェンを積層して作製したデュアルゲートデバイスの輸送特性の議論があり、SiO<sub>2</sub> 上よりも特性改善が認められ今後の展開が期待できる。

### 【17.4 デバイス応用】

CNT 関連では、ガス検知、CNT 複合紙を用いた電磁波シールド応用や平面ヒーター、液相濾過・転写による簡便な CNT 配線形成法の発表があった。FET 関連では、高密度配向 CNT を用いた大電流 FET や、単一生体分子検出を目指した 20 nm 以下超短チャンネル単一 CNT-FET などの報告があった。また CNT やアモルファスカーボンの太陽電池応用に関する発表が 4 件あった。変換効率などの基礎特性はまだ実用化には程遠いが、従来の太陽電池材料がカバーできない近赤外領域での動作が期待でき、ナノカーボンの新たな応用分野として期待できる。

グラフェン関連では、ギャップ形成に関し、ヘリウムイオン照射によりトランスポートギャップを形成し on/off 比を向上させる報告があった。リボンと異なりワイドチャンネルで使える可能性がある。また新たな展開として、フッ化することでギャップの形成を狙う報告があった。フッ化による特性変化が温度依存性から議論された。また、多層グラフェンの配線応用に関連し、配線幅低下に伴う抵抗増大について、エッジ散乱の寄与という観点から考察・議論が行われた。

