

## 大分類 17 ナノカーボン 報告書

取りまとめ:野内 亮(大阪公立大学)

大分類 17 ナノカーボンでは、通常の講演のほかにシンポジウム(T28「低次元材料のデバイス応用の最新動向」;世話人:大野雄高(名古屋大学)、長汐晃輔(東京大学)、守谷頼(東京大学))を初日の午後に開催した。また、初日の午前中には、中分類で分けず大分類全体としてポスターセッションを開催している。今回は、全56件のポスター発表の中で7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いる様子が印象的であった。以上のように、講演会初日は大分類のプレナリ的な立ち位置のセッションが行われ、良い導入になったと思われる。以下では、講演会 2 日目を以降の各中分類での口頭講演について報告する。

### 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)の物性評価では、単一カイラリティをもつ金属型CNTのラマンスペクトルにおけるG/D比の共鳴ラマン効果に関する報告があり、広く用いられているラマン分光に関しても、基礎的理解がさらに進みつつあることを感じた。また、CNTを用いた製品の実用化に向け、線材等の欠陥修復に関する研究が増えている印象を受けた。

CNTのデバイス関連としては、熱電変換素子・薄膜トランジスタ・ガスセンサなど、様々な用途に向けた研究について発表・議論が行われた。CNT自体の構造のみならず、CNTに添加するドーパント分子、あるいはデバイス構造がデバイス性能に与える影響について多角的に検討されていた。特に、薄膜トランジスタについては、多数のトランジスタからアナログ回路を形成する際のばらつきの影響とそれを許容する回路設計に関してのシミュレーションの報告などがあり、より複雑なシステムへと応用が進んでいることが見て取れた。

数は少なかったものの、CNT以外の材料として、繊維状のカーボンナノホーンから成るカーボンナノブラシや、カーボンナノオニオンなど、多様な構造を持つナノカーボン材料の物性に関する報告があった。

### 17.2 グラフェン

成長技術や構造制御・基礎評価に関しては、サファイア上グラフェン成長技術の進展、化学気相堆積(CVD)によるグラフェン成長のリアルタイム観察、グラフェン/h-BNヘテロ構造のエッジ構造などの講演が印象的であった。また、光触媒応用や光電子制御プラズマによる修飾など、新しい技術によるグラフェン研究の展開が進んでいることが理解された。

物性では、グラフェンとh-BNの積層構造やサンドウィッチ構造での新規物性発現や高性能化に関する報告があった。特に、サンドウィッチ構造を折り畳む技術が発達しており、新たな物性開拓を予感させた。評価では顕微XPSやKFM等の局所物性評価が中心であった。理論計算では、2次元材料を積層した時の電子状態が報告された。

センシングやデバイス応用に関するセッションでは、グラフェンをチャネル材料として用いたダイオード構造や電界効果トランジスタ(FET)構造をベースとした赤外線領域の電磁波の発光および受光素子の特性評価の他、グラフェンの量子トンネル効果を用いた水素同位体分離デバイス、ガスや微小質量をセンシングするデバイスなど、多種多様な研究成果が報告され、積極的な意見交換が行われた。30万個以上のグラフェン光ゲートダイオードをアレイ化しVGAサイズのセンサ素子作製を報告した講演では、デバイス作製プロセスの詳細と動作実証が報告され、今後、グラフェンを用いた赤外線イメージセンサの産業応用への展開が期待される。

### 17.3 層状物質

全般的に、遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)に関する報告が目立った。合成のセッションでは、その中でも次世代LSIの半導体材料として期待される $\text{MoS}_2$ に関して、FinFETへの応用を念頭にFin構造(凹凸基板)上への直接低温成長の報告がなされた。場所による膜厚のバラつきなど課題はあるものの、Fin構造全ての領域において連続膜が成膜されており、今後の進展が期待される。

構造・観察評価のセッションでは、バルク結晶からの薄膜剥離技術に関して、2つの異なる手法を用いた発表があった。1件目は従来法である機械剥離に関するもので、剥離時の速度や角度が層数や収量に与える影響について系統的な調査が行われた。2件目は電気化学的なアプローチから大面積の単層を剥離しており、電圧パラメータや溶液特性の比較から剥離メカニズムを考察していた。

デバイス応用では、特にFETに関して、2次元材料の物性や材料周辺環境を変えることで、デバイスの高性能化や高機能化を目指した発表が中心であった。特に、ドーピングによる導電率増大や伝導型制御、コンタクト抵抗低減手法など、実デバイス実現を見据えた基盤研究が着実に進んでいる印象を受けた。他に、基礎的な電子輸送特性に関する報告の内、積層系のバンド構造がどのようになっているかを共鳴トンネル効果により調査した報告は、積層角を変えた系全般にとって有用な知見になると思われる。