

大分類 17 ナノカーボン・二次元材料 報告書

取りまとめ: 乗松 航 (早稲田大学)

大分類 17 ナノカーボン・二次元材料では、まず初日午前中に東京大学長汐晃輔先生によるチュートリアル「二次元材料トランジスタの基礎技術」があった。2 日目午後にはポスターセッションがあり、79 件の発表があった。そのうち、4 件がポスターアワード候補としてノミネートされた。口頭講演では、合計 115 件の発表があった。中でも 17.3 層状物質の発表件数が最も多く、初日から最終日午後まで常に活発な議論が行われた。以下、各中分類での口頭発表セッションについて報告する。

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の成長および集積技術、応用に関するセッションでは、冒頭からパルスレーザーを用いた選別や配向化に関する研究が複数報告された。続いて、配向性を有するマクロな CNT (複合) 材料による放熱特性や機械強度が盛んに議論され、応用に際して CNT の階層構造制御の重要性が実感できる。後半のセッションでは、新規炭素系物質の理論的報告に加え、成長技術の観点では、引き続き触媒組成の最適化や触媒状態の緻密な観察を進める研究も多く、全体として成長・集積・応用に至るまで幅広くかつ連続性をもって進展している様子が伺えた。

デバイス応用に関するセッションでは 12 件の口頭講演があり、赤外線検出器、FET、センサー、熱電変換素子、電磁シールド、といった多様なデバイスの作製と評価、およびプロセス技術についての発表が行われた。各素子の性能向上に向けた様々な手法の紹介に加え、現在、重要課題となっているデバイス作製プロセスにおいて生じる CNT の表面汚染物を低減・除去するため、昇華性の分散剤や転写剤の提案や真空加熱による吸着物除去法の紹介など、プロセス手法の改善に関する報告が目立った。地道ではあるが、徐々にプロセス技術が改善されつつあることを感じた。

17.2 グラフェン

本セッションは、第 4 回ダイバーシティ&インクルージョン賞女性研究者研究奨励賞の受賞記念講演から始まった。講演では、グラフェン CVD における配向制御や成長ダイナミクス、データサイエンスを取り入れた最新の成果に加え、応用物理学会での活動も紹介された。企業研究者としての視点や研究への取り組み方、ならびに女性研究者としての思いが語られ、立ち見が出るほどの盛況ぶりで、大変興味深い内容であった。

続く一般講演セッションでは、リアルタイム観察による成長メカニズム理解、絶縁基板上への直接成長などが報告された。また、構造観察・基礎物性・デバイス応用の発表では、電子・スピン・磁気特性の評価に加え、光・ガスセンシング、太陽電池、物理リザーバなど多様な応用展開が示された。

全体として、単層グラフェンの物性解明そのものよりも、積層構造・層数・電極形成・基板種など周囲環境の制御により本来の特性をいかに引き出すかという課題に対し、着実な進展が見られた。具体的には、新規積層構造の提案、物理的メカニズムの解明、電子物性制御に関する研究が報告され、基礎と応用の双方で確かな発展が確認された。

17.3 層状物質

層状物質デバイス応用のセッションでは、半導体デバイス応用にとって重要となる置換ドーピング技術や極薄絶縁膜堆積に関する報告があった。特に、前者を利用したトンネル FET の報告においては、急峻なスイッチング特性が多く示され、堅実な技術進展が見られた。また後半では、TMD のコンタクト抵抗低減に向けた NiNbS 系やヤヌス電極、およびヘテロ構造でのアンチ・アンパイポーラ特性が発表された。加えて、表面弾性波による TMD 発光制御や、層状反強磁性体のバルク光起電力についても報告があった。日をまたいで引き続き行われたデバイス応用セッションでも、層状物質上あるいは層状物質間に吸着・積層した分子を利用したメモリ様動作に関する複数の報告があった。まだメカニズムの解明には至っていないものの、種々の新現象の報告があり、今後の可能性を感じさせた。

基礎物性セッション午前中は、第 59 回講演奨励賞受賞記念講演である「トポロジカル磁性体 Cr_3Te_4 のイオンゲートによる磁性制御」から始まり、遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC) を中心にモアレ超格子構造を含む層状物質薄膜の磁性および誘電性制御、原子層転写技術の発展など、実験および理論研究の 13 件の講演が発表された。新規原子層薄膜の作製や理論計算による機能性 2 次元材料の探索といった基礎的な知見に関する着実な進展が見られ、またテープの改良による TMD 劈開、AI agent とロボット技術を統合した高品質な TMD 剥離といった新しいアプローチに注目を集めるなど、セッション全体を通して常に活発な議論が行われた。午後のセッションでは、モアレ層間励起子やヤヌス TMD の特性に関し、電界制御や金属開口、架橋構造を用いた線幅改善などが発表された。あわせて、有機物による TMD ドーピングや FeTiS 系層状磁性体の物性についても報告された。

層状物質の成長に関するセッションの午前中では、第 59 回講演奨励賞受賞記念講演である「グラフェン/SiC 基板上における遷移金属ダイカルコゲナイドの van der Waals エピタキシーと歪導入」から始まった。その後、CVD、スパッタ、固相エピタキシーといった成膜技術による TMDC や BN のウェーハスケール成膜、ナリボン成膜、選択成膜などを目指した報告があった。午後は TMDC の評価手法 (欠陥や界面構造の評価方法) や欠陥修復方法といった発表に加えて、ナノスクロール形成、トランジスタチャネル以外の二次元層状材料の用途 (強磁性、センサ、放熱材料) を目指した成膜や分子修飾に関する報告がなされた。午前午後とも会場やオンラインから活発な質疑が行われ、座長の先生からもセッションの盛り上がりにより好意的なコメントをもらうなど、好評を得たセッションであった。