

2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム

T21 「光と物質の相互作用が創り出す二次元材料研究の新しい潮流」報告書

開催日時:2023 年 9 月 21 日(木)13:30 ~17:50

場所・形式:ハイブリッド形式 (A202@熊本城ホール+オンライン)

世話人:守谷 頼@東京大学、森山 悟士@東京電機大学

二次元材料はこれまで比較的順調に進歩を続けてきた分野と言っても良い。様々な材料、試料作製手法、測定手法がこれまでに開拓され、世界中で注目されるような物性が発見されてきた。さらに最近ではトランジスタのチャネル材料への可能性も検討されており、基礎研究が中心であったこの分野にも応用の可能性が見え始めている。一方で懸念すべき課題もある。これまでの二次元材料の分野におけるブレークスルーのほとんどは国外の研究機関で発見されており、日本はこの分野の研究において海外より遅れている。材料、作製、測定等の個々の要素について日本は海外と大差ない。我々に足りないのは、これらの要素を元に良いアイデア(Good idea)を生み出す部分ではないだろうか。

この課題に対して応物シンポジウムで何ができるかを考えた末、二次元材料研究の現状を理解し、次に何をすべきかについて考えを巡らす機会を提供するのはどうかと考えた。参加者の多い応物シンポジウムはこのような場として最適である。そこで本シンポジウムを企画し、若手の二次元材料の研究者を集め、過去 1 ~ 2 年の間に発表された最新の研究内容の中で、特にユニークな、独創性の高い研究について講演いただいた。未来が過去から現在の延長にあるとすれば、研究の現在を正しく理解することはその研究が向かうべき方向を見つけるための最も効果的な方法であると言って良い。参加者に研究の未来像やアイデアが思い浮かべば、シンポジウムの目的は達成される。今回は特に「光と二次元材料」に関連する研究者を講演者として招待した。

最初に NTT 物性科学基礎研究所の吉岡 克将博士から、パルス光と光スイッチを用いた高移動度グラフェンの光熱電効果の時間分解測定に関して発表いただいた。200GHz を超えるグラフェントランジスタの応答の実証に加えて、ピコ秒の時間分解能で二次元材料の光起電力評価を可能にした技術に将来性を感じた。

ミシガン大学の Yuki Kobayashi 博士は、中赤外の高強度パルスを用いて単層 WS_2 に新しい励起子状態 (光ドレスト励起子) を作り出すことに成功した。バンド間吸収のない中赤外の光パルスと二次元材料の相互作用という新たな研究の方向性を示唆するものであった。

UCバークレーの東垂水 直樹博士からは、黒リンの単層から多層までの詳細な発光特性の解明についてと黒リンの中赤外発光素子への応用について発表いただいた。酸化を抑える様々な工夫を用いることで、空気中で不安定とされていた黒リンが中赤外光領域で動作する優れた発光材料になり得る事を実証した素晴らしい発表であった。

東京大学大学院理学系研究科の佐々木 健人博士からは、*h*-BN中のホウ素空孔欠陥を用いた磁気センシングについて報告された。固体中の色中心を用いた磁気センサとして、ダイヤモンド中の窒素空孔中心が代表的で活発に研究開発が進められているが、二次元材料である*h*-BNを用いることによって測定対象と量子センサの距離を縮め、高感度かつ高分解能測定が可能となる。近年競争が激しくなる本研究分野において最先端の研究報告がなされ、様々な二次元材料の物性計測にも応用可能な新しい量子センサの将来性を感じる発表であった。

東京大学生産技術研究所の野村 政宏博士は炭素の同位体 ^{13}C を除去した同位体純化グラファイトにおいて、フォノンの粘性流状態である、フォノンポアズイユ流の実証に成功した。フォノン熱伝導がただの拡散ではなく集団励起を形成できる事は学術的にも興味深く、まさに二次元材料とフォノンエンジニアリングの融合という研究成果であった。

京都大学の篠北 啓介博士は、モアレ超格子ポテンシャルを有する $\text{WSe}_2/\text{MoSe}_2$ ヘテロ二層の励起子物性について報告された。モアレ超格子を用いることで、0次元の量子閉じ込めをされた励起子という特性を見出し、二次元材料の光物性の新たな制御法を確立された。

東京大学物性研究所の井手上 敏也博士は、歪みや積層界面により二次元材料の対称性を制御することによりバルク光起電力を発現させる事に成功した。対称性を自由に制御できるというのはこの材料系の特徴であり、その利点を光起電力に活用するという非常に独創的な研究を提案された。

ハイブリッド形式で行われた本シンポジウムには現地~80名オンライン~50名の合計130名の参加者がおり非常に活発に議論が行われた。発表を終えた講演者が休憩時間に参加者からひっきりなしに質問を受けている様子が印象的であった。

シンポジウムの結論は何であろうかと考えてみたが、このように多様な講演者がいるシンポジウムにおいて、参加者に対し研究についての統一的な見解や示唆を伝えることはそもそも無理である。一方で、研究について何を面白いと感じ、次に何を行うのかは各個人の自由ではないだろうか。冒頭にも書いたが、シンポジウムに参加した二次元材料の研究者が、自身の研究の未来や研究のアイデアについて新たに思いつくことがあれば、シンポジウムの目的は達成されたのではないかと考えている。シンポジウムの講演者の方々は皆、二次元材料という世界に

において新しい土地を切り拓いた開拓者である。本シンポジウムを聞いて、まだこの世界には未開の大地がある可能性を見出したのであれば、新しい大地の発見を目指して、リスクを恐れず、大海原に船を漕ぎ出してほしい。

ありがたいことに、シンポジウムを聴講された東京農工大学名誉教授の佐藤 勝昭先生から、講演者の似顔絵付きのまとめをご送付いただいたので、以下に紹介させていただきたい。佐藤先生をはじめ、多くの参加者に恵まれ無事にシンポジウムを終了することができました。ここに感謝いたします。

シンポジウムT21「光と物質の相互作用が創り出す二次元材料研究の新しい潮流」

[21p-A202-2]
テラヘルツエレクトロニクスが明らかにする二次元物質の超高速光電変換
吉岡 克将
(NTT)



オンチップTHz分光法とゲートキャパシタンスを最小化したデバイス構造を組み合わせたことで、グラフェンの光電流をサブピコ秒の時間分解能で計測することに成功した

[21p-A202-3]
Extreme light matter interactions in two-dimensional materials
Yuki Kobayashi
(Univ. Michigan)



When combined with MIR excitations, monolayer TMDs exhibit enormous energy shifts as well as non-perturbative high-harmonic generation. The results demonstrate exciting opportunities of harnessing quantum dynamics beyond perturbation in two-dimensional materials.

[21p-A202-4]
黒リンの中赤外光デバイス応用
東垂水直樹
(UC Barclay)



黒リンは全ての膜厚で直接遷移を示し、MIRでの発光デバイスとして有望。単層黒リンはデバイスとして不安定。Ai203膜にサンドイッチした構造で加速試験結果15000時間の寿命。赤リンへの高圧印加でウェハースケールの大面積化にも成功。

[21p-A202-5]
六方晶窒化ホウ素中の色中心を用いた量子センシング
佐々木健人(東大)



ファンデルワールズ材料であるhBN中のVB欠陥を量子センサとして応用するための技術について説明。ダイヤモンドNVに比し複合欠陥でないため線幅が狭い。劈開・Heイオン注入でナノ細線の電流漏れ磁場イメージングに成功。さらに15N同位体の利用で高感度化に成功。

[21p-A202-6]
同位体純化グラファイトにおける流体力学的熱輸送
野村 政宏 (東大)



フォトニクスの視点からフォノニクスに挑戦。グラファイトでは、運動量が保存するフォノン-フォノン散乱が支配的であることからボイズ流が形成される。グラファイトに含まれる同位体を除去することで、さらに顕著なフォノン流体力学的熱輸送現象を観測することに成功した。

[21p-A202-7]
ツイスト二次元ヘテロ構造におけるモアレ励起子の光科学
篠北 啓介 (京大)



複数の単層TMDCを積層した原子層ヘテロ構造において周期的な原子配列により出現するモアレ縞は、面内閉じ込めポテンシャルとして励起子の0次元的な局在化(モアレ励起子)・高配列化が可能であり、また光学選択則の変化により光学的性質が大きく変調される。

[21p-A202-8]
対称性制御による2次元物質の光起電力機能開拓
井手上 敏也 (東大)



分極を持たない2次元半導体であるTMDC (WS₂ WSe₂, MoS₂ 等) はゼロバイアス光電流応答を示さないが、対称性が制御された極性構造を持つような WS₂ ナノチューブや3R-MoS₂ 結晶、WSe₂ と黒リン等のヘテロ界面等では直線偏光や円偏光を照射したときに有限のゼロバイアス光電流が流れ、極性構造を反映した方位選択性を示すことを見出した。