SRePP Structural Re-Programming

令和 6 年度－10 年度　学術変革領域研究 (A)

化学構造リプログラミングによる統合的物質合成科学の創成

ニュースレター No. 9, 2025 年 4 月

■領域メンバーの研究紹介

「リプログラミングされた分子・ナノ固体の物性探索」

物質・材料研究機構・グループリーダー
A04 北浦　良
Email KITAURA.Ryo@nims.go.jp

1. はじめに

グラフェンをはじめとする種々の二次元結晶が、発見から今日に至るまで活発な研究対象となり続けている。そこで行われている研究は基礎物性からデバイス応用まで実に幅広く、これまでにツイスト積層グラフェンにおける非従来型超伝導や遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）における多彩な励起子などインパクトの大きな多岐にわたる発見がなされてきた。こうした二次元結晶の豊富な機能・物性は、その低次元性に起因している。我々のグループで取り組んでいるのは、この「低次元性」に特徴的な新機能を発掘することであり、必要となる試料作製・測定技術の開発を行いつつ研究を進めている。本領域では、こうして開発した技術を用いて「リプログラミングされた分子・固体」の機能探索を進めることと、SReP を用いた量子光源の開発、具体的には SReP によって二次元結晶にゼロ次元状態を導入することによる新たな量子ドット系の創出を目指している。以下、それぞれについて簡単に述べたい。

2. 進める研究について

我々が「リプログラミングされた分子・固体」の機能探索において提供できるのは、光学特性評価に関する装置・技術である。たとえば、分光クライオスタットを備えた顕微分光光学系があり、これは二次元結晶・ヘテロ構造の励起子応答の観測のために立ち上げたものである。顕微分光を採用しているのは、機械的剥離法によって得られる二次元結晶のサイズが 5-10 μm 程度であり、その光学的特性を調べるためには光を小さなスポット状にフォーカスして励起し、励起された微小領域からの応答を測定する必要があるためである。また、様々な励起子応答を調べるためには、極低温で安定して同じ場所を長時間観測する必要がある。このために、振動・ドリフトの少ない光学クライオスタットを用いることに加え、定期的に顕微鏡像を撮影して微小なドリフトを検出し、それに基づいてドリフト補正するようにしてある。これとフォーカス補正およびスペクトル測定を組み合わせた自動システムが稼働しており、時には数日以上にわたる測定でもほぼ位置ずれ・フォーカスずれなしで測定ができるようになっている。また、不均一な試料で重要となる分光マッピングを、ステージコントロールおよびスペクトル測定を組み合わせて自動実行可能となっていることに加え、スペクトルの偏光分析、時間分解測

定および電場印加下における測定も自動で行える。これらを用いることで、モワレ超格子のモワレ励起子の偏光発光の起源を解明したり、励起子のリドベルグ状態特に荷電励起子の励起状態を観測したりすることに成功している[1]-[3]。これら測定システムが何らかのお役に立ちそうであれば、気軽にお声がけいただきたい。

続いて、SReP を用いた量子光源開発について簡単に述べる。ダイヤモンドの窒素-空孔中心のように、固体の中で局在した状態一つ一つは単一の量子系とみなすことが可能であり、それら一つ一つの励起・再結合を通して光子が一つずつ放出される。このように光子が一つずつ放出されるような光源を単一光子光源と呼び、量子技術研究で重要なトピックの一つとなっている。難しいのはこうした原子欠陥を制御して作製することが困難であることであり、また発光波長は欠陥によってほぼきまってしまうためそれを自由にチューニングすることはできない。これに対して、異なるアプローチ、SReP を用いたアプローチで量子光源を生み出そうというのが本トピックの目的である。ここでは、あらかじめ準備しておいた二次元半導体(単層 WS_2 や MoS_2 など)に官能基を付加する(SReP)ことによって、原子欠陥のように局在した状態を導入する。予備的な第一原理計算によると、例えばベンゼン環が単層 WS_2 の表面に付加すると、伝導帯の底から 50 meV 程度下方にフラットな準位があらわれることがわかっている。このような官能基付加による局在準位の導入は、原料にドーパントを入れたり、異原子を打ち込んだりといったプロセスよりも制御性が高いことに加え、分子の構造を変えることで発光波長をチューニングすることもできる。これまでの検討では、ヨードベンゼンを用いた光化学反応によって WS_2 表面に官能基を付加することを試み、官能基の付加に由来すると考えられる発光強度の連続的な変化を観測した。また、極低温発光分光の測定によって、励起子共鳴よりも 70 meV 程度低エネルギー側に新たな発光ピークが現れることを見出した。今後は、時間分解測定などのより詳細な分光分析に加えて、ワイドギャップ半導体である六方晶窒化ホウ素も対象に種々の分子を適用して新たな量子光源の開拓を進めていきたい。

3. 参考文献

[1] Xue, M.; Watanabe, K.; Taniguchi, T.; Kitaura, R. *Appl. Phys. Lett.*, **2023**, *123*, 063101

[2] Urano, Y.; Xue, M.; Watanabe, K.; Taniguchi, T.; Kitaura, R. *Appl. Phys. Exp.* **2023**, *16*, 065003

[3] Zhang, S.; Maruyama, M.; Okada, S.; Xue, M.; Watanabe, K.; Taniguchi, T.; Hashimoto, K.; Miyata, Y.; Canton-Vitoria, R.; Kitaura, R., Nanoscale. **2023**, *15*, 5948-5953.

■領域ニュース

受賞

・依光（A01）グループの黒木 尭（特定准教授）が日本化学会第 105 春季年会にて第 39 回若い世代の特別講演会 講演証を受賞しました。
受賞業績名：近接多重金属種を用いる有機合成
https://www.chemistry.or.jp/event/conference/young-scholar.html#39

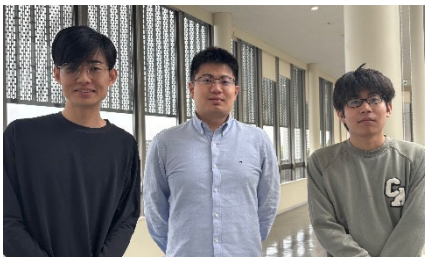
・日本化学会 第 105 春季年会において、松永（A01）グループの東田皓介（助教）が「若い世代の特別講演会」で講演を行い、講演証が授与されました。
受賞業績名：「アルキンに対する酸素求核剤の付加反応を高度に促進する酸-塩基協働触媒の開発」
https://www.chemistry.or.jp/event/conference/young-scholar.html#39

・令和 7 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において、松永（A01）グループの吉野達彦（准教授）が若手科学者賞を受賞しました。
受賞業績名：炭素-水素結合の触媒的活性化およびその不斉化に関する研究
https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_01503.html

・Joint symposium of ACS Publications JACS/JACS Au & ERATO Nozaki Project において、山口（A02）グループの山口正浩（D2）が Outstanding Poster Award を受賞しました。

受賞業績名：Engineering the structure of porphyrin dimers using lacunary polyoxometalates and their photophysical properties
https://web.cvent.com/event/8aaa8a78-3e93-47f4-9e71-359f1988c341/summary

・日本化学会第 105 春季年会において、山口（A02）グループの川上公威（D3）、屋内大輝（D2）、山口正浩（D2）が学生講演賞を受賞しました。



受賞業績名：合金ナノクラスターを持つポリオキソメタレートを用いた高効率 CO_2 電解（川上）；環状ポリオキソメタレート配位子による銀ナノクラスターのサイズ制御（屋内）；欠損型ポリオキソメタレートを用いたポルフィリンダイマーの構造設計と光触媒特性（山口）
https://www.chemistry.or.jp/event/105%20CSJ%20Student%20Award.pdf

・山添（A04）グループの福田正次（現 D3）が第 135 回触媒討論会で学生講演賞を受賞しました。
受賞業績名：塩基性金属酸化物クラスターを表面修飾した担持 Ag ナノ粒子触媒による高選択的イミン合成
https://catsj.jp/news/18413

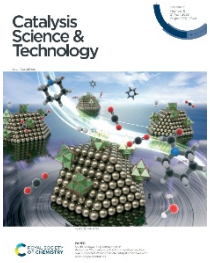
プレスリリース

・西川（A03）グループの論文「Design of Vinylboron Monomers for the Comprehensive Structural Control of Poly(vinyl alcohol)s via Stereospecific Controlled Radical Polymerization and Subsequent Side-Chain Replacement」（Journal of the American Chemical Society 誌掲載）についてプレスリリースが行われました。
https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/topics/20250405

・山添(A04)グループ中心とした産学連携チームが、大気中の二酸化炭素を大量回収可能にする革新的低エネルギーDAC システムの開発（パッシブ DAC 技術の研究開発）に関してプレスリリースを行いました。
https://www.tmu.ac.jp/news/topics/37384.html

カバーピクチャー

・山添(A04)グループの論文「Reductive CO_2 Fixation by N-Formylation Reaction over Supported Pt Nanoparticle Catalyst Modified with Basic Polyoxometalates」が Catalysis Science & Technology 誌の Front Cover に選出されました。
https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2025/CY/D4CY01513D



その他お知らせ

・山口（A02）グループの谷田部孝文が 2025 年 4 月 1 日付で東京大学大学院工学系研究科の講師に昇任しました。

・山口（A02）グループの鈴木康介が 2025 年 5 月 1 日付で東京大学大学院新領域創成科学研究科の教授として異動しました。

・A03 班の神林（大阪大学・助教）が 2025 年 4 月 1 日付で京都工芸繊維大学・准教授に異動しました。

・岩﨑孝紀（A03）が 2025 年 4 月 1 日付で九州大学大学院工学研究院に教授として異動しました。

・坂本（A03）グループに立石 友紀博士が 2025 年 4 月 1 日付で東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教として着任しました。