

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

2024 年 8 月 8 日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋作 様

所属部局・研究科 理学研究科

職名・学年 博士課程3年

氏名 高橋伸弥

助成の種類	令和6年度 ・ 国際研究集会発表助成			
研究集会名	第23回超高速現象国際会議			
発表形式	<input type="checkbox"/> 招待 ・ <input type="checkbox"/> 口頭 ・ <input checked="" type="checkbox"/> ポスター ・ <input type="checkbox"/> その他()			
発表題目	Scaling law of exciton binding energy in hBN-encapsulated monolayer transition metal dichalcogenides			
開催場所	スペイン・カタルーニャ州・バルセロナ・ワールドトレードセンター			
渡航期間	2024 年 7 月 13 日 ~ 2024 年 7 月 21 日			
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()			
会計報告	交付を受けた助成金額	350,000円		
	使用した助成金額	350,000円		
	返納すべき助成金額	0円		
	助成金の使途内訳 (差し支えなければ要した 経費総額をご記入ください)	費目	金額(円)	
		航空運賃	219,290	
		宿泊費	78,000	
		滞在費(日当)	31,000	
学会参加費		62,770		
その他	10,152			
	以上に助成金を充当			
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。)この度は助成をいただき感謝申し上げます。申請金額を満額通していただいたこと、また渡航よりも前に助成金を支給していただいたことで、大きな負担感なく学会に参加することができました。ただ、今年に入ってからの急速な円安や断続的な物価高もあり、渡航に要した経費の全額を助成金で賄うことができませんでした。貴財団に対する要望として、助成金額上限の引き上げ(例えばヨーロッパで40万円~50万円)を挙げさせていただきます。			

成果の概要 / 高橋伸弥

報告者は 2024 年 7 月 15 日（月）から 7 月 19 日（金）までスペイン・バルセロナ・ワールドトレードセンターにおいて欧州物理学会主催で行われた、第 23 回超高速現象国際会議に参加した。当会議は隔年で開催され、世界中（主にアメリカ・ヨーロッパ・日本）の研究者が、フェムト秒やアト秒の時間スケールで起こる超高速な現象に関して、最新の研究成果を発表する機会となっている。アト秒のレーザー技術が昨年度のノーベル物理学賞の対象となったように、当会議で扱われている分野は古くから研究がなされている一方、いまだ発展し続けており、注目を集めている。研究対象はレーザー技術から気体分子、生体分子、化学反応、固体と多岐にわたり、研究に用いられる波長領域も赤外から紫外、X 線と幅広い。このように様々な分野の研究者（概数 300 人程度）が一堂に会して、オーラルセッション（4 分の 3 以上が単一のセッション）およびポスターセッション等が行われた。

報告者は 2 日目のポスターセッションにおいて研究発表を行った。報告者の研究では、単層遷移金属ダイカルコゲナイド（TMDs）中の励起子エネルギー準位構造を和周波分光という実験手法を用いて調べ、さらに数値計算を組み合わせた解析により励起子束縛エネルギーに関するスケールリング則を見出した。単層 TMDs は近年注目を集めている原子層物質（単層グラフェンなど）の一種で、厚さが原子 3 個分しかない 2 次元系半導体である。そのため、2 次元系における電子系やフォノンの物理を調べる格好の舞台となっているほか、太陽電池や発光ダイオードなどコンパクトな光電デバイスへの応用が期待されている。さらに同種あるいは異種の原子層物質を組み合わせたモアレ積層構造も精力的な研究の対象となっている。単層 TMDs は厚さが原子 3 個分にもかかわらず光と強く相互作用することが知られている。その光学応答は、電子正孔対である励起子によって支配されている。単層 TMDs 中の励起子は、周囲の環境から単層 TMDs と異なる誘電遮蔽効果を受けるために、非常に大きな束縛エネルギーを持つこと、また特異的なエネルギー準位構造を形成することがこれまでの研究で報告されている。しかし、この変調された誘電遮蔽効果は複雑で未解明な点がある。

本研究では、非線形光学過程の 1 つである和周波発生を用いることにより、hBN という原子層絶縁体で封止された単層 TMDs において $s \cdot p$ 両系列の励起子準位を同時に観測し、そのエネルギーを実験的に決定した。3 次元系では縮退している $s \cdot p$ 準位のエネルギー分裂は、単層 TMDs における変調された誘電遮蔽効果の直接的な指標となる。また励起子エネルギーは同じ試料内でもばらつきがあることが知られているが、和周波分光では、同じ測定手法、同じサンプル点で $s \cdot p$ 準位のエネルギーを決定できる。さらに現象論なモデルを用いた数値計算で、実験的に得られた励起子エネルギー準位構造を再現し、hBN の誘電率等のパラメータを抽出した。得られたパラメータを用いてさらに解析を行ったところ、励起子の束縛エネルギーおよびポテンシャルエネルギーの間にスケールリング則があること

を見出した。解析的にスケーリング則を計算できる 3 次元水素モデルとの比較を行うことで以下の結論を導いた。まず、励起子の最低エネルギー状態である $1s$ 以外の準位は 3 次元水素モデルのスケーリング則で再現でき、誘電遮蔽効果は周囲の環境のみでよく記述できる。また、 $1s$ 準位は 3 次元水素モデルからの乖離が見られ、単層 TMDs そのものの誘電遮蔽効果を考慮する必要がある。

会議には単層 TMDs 関連の研究を行っている方々も多く参加していたため、一定数の方に聴講していただいた。上記の内容を簡潔にまとめて発表することを心掛けたため、比較的スムーズに主張を受け入れていただいたように感じた。また今後の参考になる質問やコメントもいくつかいただいたため、それらを取り入れつつ近々、査読付き学術誌に研究論文を投稿する予定である。

当会議において聴講した研究発表についていくつか記す。1 日目には「Low-Dimensional Materials」というオーラルセッションがあり、単層 TMDs やそのモアレ積層構造系の励起子の超高速現象に関する研究発表が多くあった。その中で、4 光波混合測定という手法を用いて励起子と電子あるいは正孔との相互作用を調べ、2 次元スペクトルで微細構造を観測したという発表が印象に残った。報告者は 4 光波混合測定を行うことを計画していたため、非常に参考になった。また、4 日目のオーラルセッション「Nonlinear Phenomena in Solids」において、多層 TMDs の第 2 高調波発生およびその逆過程である下方変換過程の効率の大幅な向上に関する発表も興味深かった。

当会議では、セッションの合間に Coffee break が挟まれていたり、2 日目の夜に博物館の見学と banquet が設けられていたり、様々な研究者と交流する機会が提供された。

最後に、当会議への参加を支援してくださった京都大学教育研究振興財団に心から感謝申し上げます。