

# 大学院教育支援機構（DoGS）海外渡航助成金 報告書

## Outcome report

計画名 Plan	国際学会での研究発表・4 光波混合測定実験の研究指導
氏名 Name	高橋 伸弥
研究科・専攻・学年 Graduate school/Division/Year level	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 博士後期課程 2 回生
渡航国 Country	ドイツ
渡航日程 Travel schedule	2023 年 6 月 24 日 ~ 2023 年 7 月 22 日

- ページ数に制限はありません。No limits on the number of pages
- 写真や図なども組み込んでいただいて結構です。You can include pictures or illustrations.
- 各項目について具体的に記述してください。Please fill in each item specifically.
- 日本語または英語で記載ください。Please use Japanese or English.

### 渡航計画の概要 Outline of the travel plan

6 月 26 日から 6 月 30 日にドイツ・ミュンヘンで開催される国際学会「CLEO/Europe-EQEC 2023」で研究発表を行い、さらに 7 月 3 日から 7 月 21 日にドイツ・ケルン大学の Paul H. M. van Loosdrecht 教授の研究室に滞在し、研究指導を受ける予定である。

「量子もつれ分光を用いた単層遷移金属ダイカルコゲナイド中のバレー励起子間相互作用の解明」という研究課題に取り組んでおり、本計画はこの一環として行われるものである。CLEO/Europe-EQEC 2023 においては、単層遷移金属ダイカルコゲナイド（TMDs）励起子の特性に関して得られた新たな知見を発表し、海外の研究者と議論することで、より発展的な研究を行うためのアイデアを共有することを目的とする。ケルン大学においては、単層 TMDs の励起子間相互作用の舞台である励起子分子を調べるための、4 光波混合測定の実験技術や解析手法に関して研究指導を受け、技能を向上させることを目的としている。

本研究課題において、高品質な単層 TMDs 試料の作製及び励起子・励起子分子の特性の評価に取り組んできた。この過程において世界で最高品質クラスの試料作製に成功した。数種類の単層 TMDs 試料に対して和周波分光を行い、励起子のエネルギー準位構造及び緩和過程の物質依存性を明らかにした。その結果、これまで試料品質の問題や測定手法の制約などから未解明であった、励起子準位構造と電子バンド構造との間に相関があることを見出すなど、新たな知見を得ることができた。この成果に関して、国際学会「CLEO/Europe-EQEC 2023」にて研究発表及び議論を行う予定である。CLEO/Europe-EQEC 2023 は参加者概数が 1700 名程度と光物性の関連分野で世界最大規模の学会であり、申請者の研究に近い分野の専門家も多く発表を行うと見込まれる。CLEO/Europe-EQEC 2023 では、そうした周辺分野の情報収集を行うことも参加目的としている。

また最近、励起子分子特性の評価のために、4 光波混合測定用の光学系の構築を行った。初期的なセットアップは出来上がり、テスト用の試料であるガリウムヒ素量子井戸中の励起子からの 4 光波混合信号を観測することに成功した。しかし、単層 TMDs 中の励起子分子の特性評価に向けては、本質的でない背景信号を低減したり、より正確な解析手法を学んだりする必要があることが分かった。そこで、単層 TMDs 励起子に対する 4 光波混合測定で実績のあるケルン大学の Paul H. M. van Loosdrecht 教授に連絡を取り、メールでのやりとり及びオンライン面談を経て申請者の研究指導を受諾していただいた。3 週間の滞在においては、van Loosdrecht 教授の研究室で開始した新たな 4 光波混合測定プロジェクトに参加し、光学系構築の基礎から、

データの測定、解析手法についての研究指導を受ける予定である。帰国後、受けた指導を生かして光学系等の改善を行い、単層 TMDs 励起子分子の特性評価を進めることを考えている。

## 成果 Outcome

6月26日から6月30日にドイツ・ミュンヘンで開催された国際学会「CLEO/Europe-EQEC 2023」に参加して研究発表を行った。また7月3日から7月21日にドイツ・ケルン大学の Paul H. M. van Loosdrecht 教授の研究室に滞在し、4光波混合測定実験に関する研究指導を受けた。申請者は「量子もつれ分光を用いた単層遷移金属ダイカルコゲナイド中のバレー励起子間相互作用の解明」という研究課題に取り組んでおり、本計画はこの一環として行われた。

本研究課題において、高品質な単層 TMDs 試料の作製及び励起子・励起子分子の特性の評価に取り組んできた。この過程において世界で最高品質クラスの試料作製に成功した。数種類の単層 TMDs 試料に対して和周波分光を行い、励起子のエネルギー準位構造を調べた結果、これまで試料品質の問題や測定手法の制約などから未解明であった、励起子準位構造と電子バンド構造との間に相関があることを見出した。この成果に関して、国際学会「CLEO/Europe-EQEC 2023」にて「Second-order nonlinearity of excitons in hBN-encapsulated monolayer transition metal dichalcogenides」という題目でポスター発表を行った。CLEO/Europe-EQEC 2023 では、申請者と同様に単層 TMDs の光学応答に関する研究者も多く参加し、周辺分野の情報収集や、ポスター発表において活発な議論を行うことができた。また、現在の研究の潮流が単層 TMDs の特異な光学特性をどのように応用上生かしていくかという点にあることをつかむことができた。さらに、異分野の研究者の発表を聴講したり、自分の発表を聞いていただいたりすることで視野を広げることもできた。

京都大学において現在、励起子分子特性の評価のために、4光波混合測定用の光学系の構築を行っている。初期的なセットアップは出来上がり、テスト用の試料であるガリウムヒ素量子井戸中の励起子からの4光波混合信号を観測したが、単層 TMDs 中の励起子分子の特性評価に向けて、本質的でない背景信号を低減したり、より正確な解析手法を学んだりする必要があることが分かった。そこで、単層 TMDs 励起子に対する4光波混合測定で実績のあるケルン大学の Paul H. M. van Loosdrecht 教授に連絡を取り、メールでのやりとり及びオンライン面談を経て申請者の研究指導を受諾していただいた。3週間の滞在中、出国前に準備し持参した複数の単層 TMDs 試料を用いて実験した。結果として持参した試料全てに対して4光波混合信号を観測することに成功した。さらにポンプ光のパワー及び過渡回折格子の周期を変えながら測定を行ったことで、室温では hBN 封止による拡散の増大はほとんどないものの、多体効果が抑制されている可能性が示唆された。こうした測定において、信号を最適化するための微調整を自ら行い、4光波混合信号を観測する経験を積むことができた。その他雑音を抑え高感度な測定を行うためのノウハウも学ぶことができた。また使用した光学系を含め、実験室が移行直後であることから、立ち上げの様子を見学することもでき、貴重な経験となった。

## 今後の展望 Prospects for the future

国際学会の発表内容に関しては、学会参加で得られた知見を取り入れながら、公表論文にまとめたいと考えている。またケルン大学での研究指導をもとに4光波混合測定系の構築、改良に取り組む予定である。特に自ら作製した試料において信号を観測できたこと、また自ら光学系等の微調整を行い、4光波混合信号を得る経験をできたことは、京都大学において光学系の構築及び改良、4光波混合測定実験を行う上で非常に有益であると考えている。4光波混合を用いて単層 TMDs 励起子分子特性を測定し、和周波分光を用いた励起子特性の測定結果と合わせて博士論文をまとめていきたいと考えている。