



TITLE:

Optical Properties of Semiconducting Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenide and Magnetic Materials Artificial van der Waals Heterostructures( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Zhang, Yan

---

CITATION:

Zhang, Yan. Optical Properties of Semiconducting Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenide and Magnetic Materials Artificial van der Waals Heterostructures. 京都大学, 2022, 博士(エネルギー科学)

ISSUE DATE:

2022-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k24116>

RIGHT:

様式 I

博士学位論文調査報告書

論文題目 Optical Properties of Semiconducting Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenide and  
Magnetic Materials Artificial van der Waals Heterostructures  
(半導体二次元遷移金属ダイカルコゲナイドと磁性材料の人工ファンデルワールスヘテ  
ロ構造の光学特性)

申請者 Zhang Yan

最終学歴 令和 4 年 3 月

京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻研究指導認定退学

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科  
(主査) 教授 大垣 英明

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科  
教授 松田 一成

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科  
教授 宮内 雄平

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	Zhang Yan
論文題目	Optical Properties of Semiconducting Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenide and Magnetic Materials Artificial van der Waals Heterostructures (半導体二次元遷移金属ダイカルコゲナイドと磁性材料の人工ファンデルワールスヘテロ構造の光学特性)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、次世代の省電力光・電子デバイスへの応用が期待されている、原子層二次元半導体において、磁性が関与し発現する、特異な光学的性質について述べたものであり、序論 (第1章、第2章)、実験方法 (第3章)、本論3章 (第4—6章) と結論 (第7章) より構成されている。</p> <p>第1章では本研究に至る背景について、低次元半導体ナノ構造および原子層二次元半導体 (単層遷移金属ダイカルコゲナイドなど) の電子状態や物性の概略を説明した後、関連研究の現状と問題点、および本研究に至る動機を述べている。</p> <p>第2章では、本研究を理解するための背景となる、半導体の光物性物理の基礎事項を説明している。その後、研究対象となる遷移金属ダイカルコゲナイドの電子構造、バレースピン自由度、これまでに明らかとなっている励起子 (束縛電子-正孔対) や荷電励起子 (トリオン) が関与した光学的性質の基礎およびファンデルワールスヘテロ構造についてレビューしている。</p> <p>第3章では主として、本研究で用いた試料の作製方法と、各種分光法のための実験装置の詳細について説明している。</p> <p>第4章では、原子層二次元半導体において外部磁場を印可した際に生じる、励起子や荷電励起子 (トリオン) のバレースピンが関与した、バレーゼーマン分裂とバレースピン分極の振る舞いについて述べている。時間分解発光測定により、トリオンのバレースピン分極が、無磁場下での励起子のそれと比べ大きく変調されるなど、その特異なバレー緩和ダイナミクスを明らかにしている。</p> <p>第5章では、原子層二次元半導体と磁性・金属絶縁体転移を示す人工ファンデルワールスヘテロ構造を提案し、その特異な光学特性について述べている。その構造に厚さ数 nm の絶縁バリア層を挟み込むことで、これまで磁性絶縁体でしか実現していなかったバレーゼーマン分裂とバレースピン分極の観測に、金属磁性体を利用し初めて成功し、その詳細なメカニズムを議論している。</p> <p>第6章では、原子層二次元半導体と層状反強磁性体からなる構造において、そこで生じるモアレ超構造が関与した光励起状態の詳細について述べている。特に、反強磁性体での磁気励起であるスピン波 (マグノン) とモアレトリオンからなるマグノン-モアレトリオン複合体という新たな準粒子の存在を初めて実験的に示すことができおり、今後、それを利用した光デバイス応用が期待される。</p> <p>第7章においては、最終的に本研究で得られた知見を要約し、今後の研究展望について述べている。</p> <p>このように本論文は、原子層二次元半導体ならびに人工ヘテロ構造における、磁性が関与し発現する光学現象について、その起源となる特異な光励起状態とそのダイナミクスを明らかにするとともに、省電力光・電子デバイス応用への可能性とその指針を示したものである。これらの成果は、将来のエネルギー応用研究に寄与するものであり、博士の学位審査の請求に値すると認める。また、修了に必要な単位を修得済みであることを確認した。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、次世代の省電力光・電子デバイス応用が期待されている原子層二次元半導体において、磁性が関与し発現する特異な光学的性質の研究に関するものである。特に、原子層二次元半導体（単層遷移金属ダイカルコゲナイド）やそれと金属磁性体等を積層した新たな人工ファンデルワールスヘテロ構造を提案・作製し、外部磁場や磁性体スピンの依存した特異な発光特性や光励起状態、さらにはそのダイナミクスについて、以下に示すような結果を報告している。

1) 原子層二次元半導体では、波数空間のバレーと電子のスピンの結合したバレースピン自由度を有する。そこに外部磁場を印可した際に生じる、バレースピンに依存したバレーゼーマン分裂とバレースピン分極について、時間分解発光測定により詳細に調べた結果、電子とホール束縛状態である荷電励起子（トリオン）のバレースピン分極が、無磁場下での励起子のそれと比べ、磁場下では約 1000 倍となる数ナノ秒の長時間保持しうる事を明らかにした。

2) 原子層二次元半導体と磁性・金属絶縁体転移を示すペロブスカイト酸化物からなる、ファンデルワールス積層構造を作製し、詳細な発光測定を行った結果、その構造に厚さ数 nm の絶縁バリア層を挟み込むことで、初めて金属磁性体を利用し巨大なバレーゼーマン分裂ならびにバレースピン分極の観測に成功した。

3) 層状反強磁性体を用いた原子層二次元半導体ヘテロ構造において、そこで生じるモアレ超構造が関与した光励起状態を詳細に調べた。その結果、反強磁性体での磁気励起であるスピン波（マグノン）とモアレトリオンが結合した、マグノン-モアレトリオン複合体の存在を初めて実験的に示すことができた。

以上のように本論文では、単層遷移金属ダイカルコゲナイドやそれと磁性体とを組み合わせた新たな人工ファンデルワールスヘテロ構造における、特異な光励起状態とそのダイナミクスさらにはそこで発現する光物性に関する重要な結果を得ている。これらの研究成果は、原子層二次元半導体が示す特異な光学的性質を解明したという学術的意義とともに、将来の省電力光・電子デバイス応用への基礎となる知見といった、工学的に重要な貢献が認められる。また、令和 4 年 4 月 22 日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：令和 年 月 日以降