

京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書

令和元年 10月 2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 理学研究科

職 名 助教

氏 名 有川 敬

助 成 の 種 類	平成30年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究 課 題 名	光の軌道角運動量を用いた固体物性制御			
上記以外で助成金 を 充 当 した 研 究 内 容				
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名)			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 日本物理学会			
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円		
	使用した助成金額	1,000,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		備品	136,007	
		消耗品	611,420	
旅費		224,200		
その他	28,373			
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。) この度の上記研究に対する助成に大変感謝いたします。研究を進展させることができました。このような助成の機会が増えることを望みます。			

成果の概要

【研究内容】

光はその偏光状態（右回りもしくは左回り）に応じてスピン角運動量を持つことが知られている。近年(1992年)それに加え、らせん状の等位相面構造に起因する軌道角運動量を持つ事が明らかになった。この新たな光の自由度を用いた物質研究は大きな注目を集めている。軌道角運動量を持つ光は一般的に光渦と呼ばれている。これまで、光渦を用いた微小誘電体の回転や、ナノニードル生成等が報告されており、光の軌道角運動量が物質の重心運動に転写される現象はよく理解されている。

一方、光の軌道角運動量の物質の内部自由度への転写は未解明な部分が多い。現在最も理解が進んでいるのは、原子の束縛電子への軌道角運動量転写である。理論的には、光の渦状の位相構造のために相互作用ハミルトニアンが双極子型にはならず、遷移選択則が変化する。その結果、双極子禁制な S 軌道から D 軌道への遷移が可能になり、このことは実験的にもカルシウムイオンを用いて確認されている。S 軌道から D 軌道への遷移において、電子の角運動量は $2\hbar$ 変化しており、光のスピン角運動量 \hbar と軌道角運動量 \hbar の両方が電子の内部自由度へ転写されたと理解できる。このような相互作用は、原子系のみならず、一般的に多くの物質系で起こるはずである。とりわけ、固体物質系には数多くの素励起が存在するため、テラヘルツ周波数領域の光渦と固体の相互作用は非常に興味深い。

本研究では、微細構造付き金属円盤の自由電子応答（擬似局在表面プラズモン）を用いて、テラヘルツ光渦と固体中電子の相互作用の理解を深める研究を行った。また、固体中電子との相互作用を増強するために、金属アンテナ構造を用いたテラヘルツ光渦の縮小を行った。

【研究成果・今後の見通し】

我々はこれまで、テラヘルツ周波数領域の近接場イメージング技術を開発してきた。この技術を用いることで、擬似局在表面プラズモンを可視化することができる。本研究では測定システムの性能改善を行い、テラヘルツ光渦との相互作用の詳細を調べた。その結果、軌道角運動量 \hbar 、 $2\hbar$ の光渦を用いることで、双極子禁制な四重極子、六重極子プラズモンモードが選択的に励起される様子を明瞭に可視化することができた。また、電磁場解析シミュレーションの共同研究を行い、実験結果が再現することを確認した。この研究成果は、光の軌道角運動量を用いることで、光と物質の相互作用における選択則が変化していることを示している。今後は他の様々な物質系で研究を推進することで、光渦と物質の相互作用の理解を深めることが重要である。

固体中電子とテラヘルツ光渦を効率よく相互作用させるためには、回折限界を超えた集光を行う必要があると考えられている。そこで、金属アンテナ構造を用いた回折限界の突破を行った。具体的には、放射状に並べた 4 組のダイポールアンテナを金属微細加工技術を用いて作成し、広帯域テラヘルツパルス照射した。その結果、中心部分に存在する波長以

下のギャップ部分(直径約 50 マイクロメートル)に波長 600 マイクロメートル程度のテラヘルツ波の縮小レプリカが生成されることがわかった。位相分布の測定により、波長の選択はダイポールアンテナの半波長共鳴周波数により選択されていることがわかった。この技術を用いることで、高効率な光の軌道角運動量転写が可能になると期待される。