



Title	Terahertz electric-field drive of Weyl fermions
Author(s)	Ikeda, Ryohei
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/89552
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (池田 良平)	
論文題名	Terahertz electric-field drive of Weyl fermions (ワイルフェルミオンのテラヘルツ電場駆動)
論文内容の要旨	

最近、物質中の電子が光電場によってコヒーレントに駆動されることで起こる光電場駆動現象が報告されるようになった。光電場駆動は非平衡状態特有の物質相や機能性を発現させることから注目を集めている。しかし、通常の物質の電子散乱時間は10 fsオーダーと非常に早く、電子散乱が光と電子のコヒーレンス性を乱すため、固体での光電場駆動現象を観測するのは非常に困難であった。そこで、本研究では電子散乱時間が数百fs-数psと比較的長いワイル半金属を用いることで、THz周波数帯での光電場駆動現象の観測を試みた。また、THz周波数帯はワイルフェルミオンの線形分散の低エネルギー領域と対応しているため、THz電場で駆動することで非平衡下でのワイルフェルミオンの性質を観測ができると考えられる。

本研究ではワイルフェルミオンのテラヘルツ電場駆動現象を観測するために強磁性ワイル半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ での高強度THzポンプ/THz反射プローブ分光の測定を行った。その結果、THz電場はモノサイクルのAC電場に関わらず、高強度電場下でDC電流が発生した。これはTHz電場によるコヒーレントな加速によるものであると考えられる。またDC電流の電場強度依存性などから光電場によるLandau-Zener遷移が起きていると考えられる。よってワイルフェルミオンをTHz電場駆動することでオームの法則には従わない非断熱かつコヒーレントなDC電流の発生が見いだされた。

このDC電流はTHz電場の偏光に対して垂直な方向にも発生した。これは非断熱なDC電流の発生に伴う非断熱異常Hall効果であると考えられる。この垂直方向のDC成分は、THz電場の強度の3乗に比例しており、高強度THz電場によってワイルノードが変調された可能性を示唆する。さらに、第2次高調波発生(SHG)も観測され、高強度THz電場による空間反転対称性の破れを示唆している。

以上のように、本研究ではワイルフェルミオンの線形分散のエネルギー領域に対応する高強度のTHz電場を用いることで、ワイル半金属の新たな非平衡/非断熱な現象として、光電場(AC電場)による非断熱DC電流の発生と、非断熱なDC電流の発生に伴う非平衡状態での異常Hall効果を初めて観測した。これらの現象はスピン・運動量ロッキングによる長い緩和時間や線形分散による極めて小さな有効質量、Berry曲率ダイポールによる内部磁場の発生といったワイル半金属の特殊な性質が起因したものであり、高強度THzによる非平衡下でのワイルフェルミオン特有の現象といえる。さらに高強度のTHz電場によって系の空間反転対象性が破れている証拠も観測された。以上の結果は、高強度のTHz電場によるワイル半金属のトポロジカル制御の可能性に繋がる成果と考えられる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (池田良平)		氏名
論文審査担当者	主査 教授	木村 真一
	副査 教授	松野 丈夫
	副査 教授	浅野 健一
	副査 教授	兼松 泰男
	副査 助教	渡邊 浩

論文審査の結果の要旨

最近、物質中の電子が光電場によってコヒーレントに駆動されることで起こる光電場駆動現象が報告され、非平衡状態特有の物質相や機能性を発現させることから注目を集めている。しかし、通常の物質の電子散乱時間は 10 fs オーダーと非常に早く、電子散乱が光と電子のコヒーレンス性を乱すため、固体での光電場駆動現象を観測するのは非常に困難であった。

そこで池田良平氏は、電子散乱時間が数百 fs-数 ps と比較的長いワイル半金属を用いることで、テラヘルツ(THz)周波数帯での光電場駆動現象の観測を試みた。具体的には、THz 周波数帯はワイルフェルミオンの線形分散のエネルギー領域と対応しているため、THz 電場で駆動することで非平衡下でのワイルフェルミオンの性質を観測ができると考えた。そこで、強磁性ワイル半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ が強磁性転移温度以下でのみワイルフェルミオンになることを用いて、ワイルフェルミオン特有のテラヘルツ電場駆動現象の特定を試みた。

池田氏は、まず、光が透過しないバルク物質に広く応用を可能にするように、これまで報告例がない高強度 THz ポンプ/THz 反射プローブ分光の光学系を構築した。このことによって、固体ワイルフェルミオンのテラヘルツ電場駆動の観測を可能にした。

ここで構築した光学系を用いて、池田氏は、強磁性転移温度以下でワイルフェルミオンのベリー位相による異常ホール効果を THz 分光で観測し、強磁性ドメイン形成に伴って異常ホール効果が消滅することを見出した。また、THz 電場はモノサイクルの AC 電場に関わらず、高強度電場下で DC 電流が発生した。これは THz 電場によるコヒーレントな加速によるものであると考えられる。また DC 電流の電場強度依存性などから、光電場による Landau-Zener 遷移が起きていると考えられる現象を発見した。これらの結果は、極めて長い散乱時間を持つワイル半金属では、モノサイクル THz 電場パルスの時間内では、オームの法則が破綻していることを示しており、非断熱かつコヒーレントな DC 電流が発生していることを示している。本研究で得られた結果は、THz 領域の光電場駆動をワイルフェルミオンに適用することで、新しい物理現象が現れたことに示したものであり、トポロジカル物質の非線形光学現象のさらなる発展につながる重要な成果である。

上記のように、本博士論文の研究内容は、ワイルフェルミオンのテラヘルツ電場駆動による新奇物性を実験的に明らかにしたものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。