



Title	テラヘルツ領域における反強磁性体の高速スピンドイナミクスを検出とその制御
Author(s)	西谷, 純一
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27538
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	にし たに じゅん いち 西 谷 純 一
博士の専攻分野の名称	博 士（工学）
学 位 記 番 号	第 2 6 1 7 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学 位 論 文 名	テラヘルツ領域における反強磁性体の高速スピンダイナミクスの検出と その制御
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 萩行 正憲 （副査） 教 授 笹井 秀明 教 授 菅原 康弘 東京大学物性研究所教授 末元 徹

論 文 内 容 の 要 旨

近年、スピントロニクス、スピンオプティクス、マグノニクスといった電子スピンを利用した新規工学分野が注目されている。この分野の基礎研究として、光パルス及びテラヘルツ波パルスによる高速スピンダイナミクスの検出や磁性の高速制御に関する研究が盛んに行われている。高速スピンダイナミクスの検出法としては、従来、磁気カー/ファラデー効果や磁気第2高調波を用いた光ポンププローブ法が利用されてきた。近年では、テラヘルツ領域（0.1～10 THz程度の周波数領域）における電子スピン応答について調査するために、テラヘルツ分光を用いた手法が提案・開発されている。本研究では、磁性体における高速スピンダイナミクスを観測する強力な実験手法として、主にテラヘルツ波放射分光法を利用した。光パルスを試料に照射した際に放射されるテラヘルツ波波形を時間領域分光で観測し、その放射機構を明らかにすることで試料のミクロな物性に関する知見が得られる。テラヘルツ波放射分光法は、これまで主として半導体中の光キャリアの高速応答やコヒーレントフォノンの検出に適用されてきた。最近、強磁性体についてテラヘルツ波放射分光法を適用すると、磁化あるいは電子スピンの高速応答を反映したテラヘルツ波放射が得られることが報告されており、より直接的に電子スピン応答が検出できる手法として期待されている。

本研究では、反強磁性体におけるピコ秒領域の高速スピンダイナミクス及びその緩和過程等に関する新しい知見を得るために、反強磁性体にテラヘルツ波放射分光法を適用した。そして、超短光パルスにより励起されるコヒーレント反強磁性マグノンからのテラヘルツ波放射を初めて見出し、その励起機構及びテラヘルツ波放射機構を明らかにした。これにより反強磁性体の電子スピンの高速時間変化を追跡するのにテラヘルツ波放射分光法が有力な手法であることを実証できた。さらに、光パルス列を用いた反強磁性マグノンの振幅の増強や減衰、励起光パルスの偏光状態の切り替えによる反強磁性マグノンの位相制御といった基本的なコヒーレント制御を達成することができた。

また、高速スピンダイナミクスに関する研究に加え、磁性体内における電子の磁氣的散乱に関する詳細な知見を得ることは、スピントロニクスデバイス等を開発する上で非常に重要な要素である。本研究では、光ポンプテラヘルツプローブ分光を用いて、反強磁性体における光励起キャリアの存在を確認し、光励起キャリアの生成過程やその磁氣的散乱過程に関する知見を得た。

本研究で推進した「光・電磁波」と「電子スピン」の超高速相互作用に関する基礎物性研究は、次世代高速ス

ピンデバイス等の工学的応用に向けた先導的研究として非常に意義があると考えられた。

論文審査の結果の要旨

従来のエレクトロニクスに代わる、電子スピンを情報伝達媒体に用いるスピントロニクスの開発が盛んに進められている。スピントロニクスデバイスの高速化のためには、より高速に電子スピンを制御する必要がある。そこで光あるいは電磁波パルスを用いた電子スピンの制御あるいは検出手法に興味が持たれている。ところがこれらを実現するために重要な役割を担う光・電磁波パルスと電子スピン系の相互作用についてはほとんど知られていない。これらを明らかにするとともに、電子スピンの高速制御及び高速応答検出法を確立することが望まれている。

第 1 章では、テラヘルツ分光法を用いた高速スピンダイナミクスの検出とその制御の意義を説明し、本研究の目的と概要を述べている。

第 2 章では、本論文での実験結果を考察する上で必要な電子スピンや磁性に関する物理の基礎を解説している。

第 3 章では、本研究で使用するテラヘルツ時間領域分光法について説明している。すなわち、透過測定、テラヘルツ波放射分光、および、光ポンプ-テラヘルツプローブ分光の原理及び解析法を示している。

第 4 章では、実際に構築して使用した実験装置を説明し、用いた試料（一酸化物 3d 遷移金属酸化物単結晶、反強磁性体）の基礎的物性を述べている。

第 5 章では、反強磁性体に光パルス照射することでコヒーレントな電子スピン波（コヒーレントマグノン）が励起され、そのマグノンからテラヘルツ波パルスが放射されることを示している。コヒーレントマグノンからのテラヘルツ波放射現象は著者が初めて見出した現象である。光パルス列を試料に照射することで、マグノンのコヒーレント制御が可能であることを示している。さらに、励起光パルスの偏光状態を制御することでコヒーレントマグノンの極性制御を実現している。

上記の励起光パルスの偏光依存性を試料が線形磁気複屈折を持つことを考慮して注意深く解析した結果、コヒーレントマグノンは現象論的には逆ファラデー効果により励起されていることを明らかにしている。微視的には磁気ラマン過程であることを論じている。

第 6 章では、光パルス照射によって試料中に励起された電子の振る舞いを光ポンプ-テラヘルツ波プローブ分光により調べている。電子遷移が 2 光子吸収による d-d 遷移であることを明らかにしている。励起された電子は自由キャリア的に振る舞い、その緩和時間が特異な温度依存性を示すことを見出している。その結果から、励起電子の緩和過程にはマグノンによる電子の散乱が大きく寄与していることを明らかにしている。

以上のように、本論文は光及びテラヘルツ波パルスを用いた電子スピンの高速制御及び検出という新規研究手法の開発に成功し、それらを用いて遷移金属酸化物における光及びテラヘルツ波と電子スピンの相互作用について新たな知見を得ている。これらの先駆的成果は応用物理学、特に今後開発が期待される高速スピントロニクスの発展やマグノンを情報伝達媒体に用いる新規概念であるマグノニクスの開発に大いに寄与する。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。