



研究課題名 高強度テラヘルツ・中赤外パルスによる強相関係の超高速量子相転移の開拓

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

おかもと ひろし

岡本 博

研究課題番号： 21H04988

研究者番号： 40201991

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 140,600千円

キーワード： 光誘起相転移、テラヘルツパルス、中赤外パルス

【研究の背景・目的】

近年、固体に光を照射することにより、その電子構造や物性を高速に制御しようという試み(光誘起相転移の研究)が盛んに行われている。この現象を機能として活かすには、光による物性変化をいかに高速かつ高効率で起こせるかが鍵となる。この観点から研究代表者らがこれまで注目してきた物質が強相関係であり、その光誘起相転移の典型例として、遷移金属化合物の光誘起モット絶縁体－金属転移や有機分子性物質のイオン性－中性転移等が知られている。しかし、これらの現象において、光による電子励起が緩和する過程で生じる系の温度上昇は、しばしば非平衡ダイナミクスの解明(基礎的観点)と高速スイッチの実現(応用的観点)の両面で本質的問題となる。これを解決する有望な方法は、赤外光による物性制御である。

本研究では、電磁場に対して高い応答性が期待される強相関物質(モット絶縁体、電子誘電体、マルチフェロイクス等)に対し、透明領域において大きな電場(磁場)振幅を持つテラヘルツパルス或いは中赤外パルスを照射し、量子トンネル過程による絶縁体－金属転移、分子間電子移動による常誘電－強誘電転移、及び、電磁場パルスで誘起される電子(スピン)の量子力学的運動に基づく新しい機構による分極や磁化の制御を実現することを目的とする。

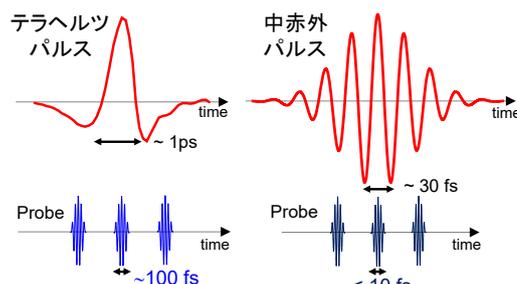
【研究の方法】

本研究では、強い電磁場パルスに対する高い応答性が期待される強相関物質を対象とし、従来より数倍大きい振幅を持つ電磁場パルスを照射することによって新しい機構による超高速相転移の実現を目指す。具体的には、(1)テラヘルツパルスの高強度化による新規電磁場誘起相転移の探索、(2)中赤外パルスの高強度化と広帯域極短パルスプローブによる新規電場誘起相転移の探索、の二項目で研究を進める。

テラヘルツパルスの利点は、単一サイクルの電磁場パルスが得られることである(図左)。このパルスを使えば、物質の一方向に強電場(その垂直方向に強磁場)を印加することができる。本研究では、大きな電場振幅を持つテラヘルツパルスを発生し、そのパルスの電場にそった電子状態変化を可視から中赤外域に亘る広帯域超短パルスによって検出する。1 MV/cm を遥かに超える電場振幅のパルスを用いれば、様々な系において、量子トンネル過程によるキャリア生成や電子移動を引き金とした相転移を誘起できる可能性がある。このパルスは、大振幅の磁場パルスでもある。しかし、スピン保存則が成り立つ単純な強磁性体では、磁化のダイナミクスがピコ秒より遅いため、このパルスの磁場成分だけを使って磁化を制御することは難しい。そ

こで、スピンと電荷が結合した系(二重交換系やマルチフェロイクス)を対象として、電場、或いは、電場と磁場の両者を効果的に用いた磁化制御を目指す。

中赤外光では、10 MV/cm を超える電場振幅が得られる。このパルスは、数サイクルの振動電磁場として得られる(図右)。本研究では、中赤外強電場パルスを励起光に用い、そのパルスに対する物質の応答を時間幅が10 fs 以下の可視から近赤外に亘る広帯域の極短パルスでプローブする手法を確立する。それを用いて、周期強電場に特有のフロケ状態を介した相転移など、新しい機構に基づく電子相制御を実現する。



【期待される成果と意義】

強相関物質の透明領域で強電磁場パルスを照射し、電子とスピンの集団的な運動を引き起こすことができれば、省エネルギーと超高速の両者を満たす新しい量子相転移を実現できる可能性がある。可視光励起による光誘起相転移では、殆どの場合、秩序を壊す方向の相転移が生じる。本研究のアプローチを用いれば、平衡状態では到達できない電荷秩序相や電子型の強誘電相など、新奇な電子秩序状態を生成できる可能性があり、新しい物質相制御の道が拓けると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ H. Yamakawa *et al.*, “Mott transition by an impulsive dielectric breakdown”, *Nature Materials* **16**, 1100 (2017).
- ・ T. Miyamoto *et al.*, “Probing ultrafast spin-relaxation and precession dynamics in a cuprate Mott insulator with sevenfemtosecond optical pulses”, *Nature Communications* **9**, 3948 (2018).
- ・ T. Terashige *et al.*, “Doublon-holon pairing mechanism via exchange interaction in two-dimensional cuprate Mott insulators”, *Science Advances* **5**, eaav2187 (2019).
- ・ H. Yamakawa *et al.*, “Terahertz-field-induced polar charge order in electronic-type dielectrics”, *Nature Communications* **12**, 953 (2021).

【ホームページ等】

<http://pete.k.u-tokyo.ac.jp/>