

# 励起光波長の選択によってモット絶縁体を金属と電荷密度波に転換する～相関電子系の新しい光相制御～

松崎 弘幸 (産業技術総合研究所分析計測標準研究部門 hiroyuki-matsuzaki@aist.go.jp)

岩野 薫 (高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 kaoru.iwano@kek.jp)

岡本 博 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 okamotoh@k.u-tokyo.ac.jp)

近年、固体に光を照射することによって、その電子構造や物性を劇的に変化させようという試みが盛んに行われている。この現象は“光誘起相転移”と呼ばれており、光物性物理の中心的課題の一つとなっている。この現象を機能として利用することを考えた場合、光による電子物性の変化を如何に高速かつ高効率に起こすかが鍵となる。この観点から注目されている物質群が電子間に強いクーロン相互作用が働く強相関電子系であり、遷移金属化合物やある種の有機物質がこれに属する。強相関電子系の特徴は、強い電子間相互作用を通して電子系に集団的な性質が現れることにある。この性質を上手く利用することで、光照射による電子励起や光キャリア生成をきっかけとして系の広い領域にわたって高速の集団的な電子状態変化を引き起こすことが可能となる。固体の相転移から連想されるのは、結晶構造の変化であろう。しかし、ここでの相転移は電子系(電子相)が変化する現象であり、そのために超高速で起こる点が重要である。

強相関電子系のこのような光による電子相転移は、これまで遷移金属化合物におけるモット絶縁体から金属への転移、有機分子性結晶におけるイオン結晶から中性結晶への転移をはじめとして、様々な現象が報告されてきた。これらの光誘起相転移では、ある電子相を光励起すると特定の電子相への転移が生じる。二つ以上の電子相への相転移を光で引き起こすことは可能だろうか？ 励起光波長を変化させて初期励起状態を選択し、系を複数の電子相へ転換しよ

うというのが本研究の主題である。これまでに報告されている光誘起相転移のほとんどは、光励起によって低対称な電子相の秩序を融解し、高対称な電子相を生成するものである。上記のように光で異なる電子相を生成するには、光で秩序を融解する過程に加えて、光で別の秩序を創り出す過程を実現することが鍵となる。

最近、筆者らは、強相関電子系である一次元ハロゲン架橋金属錯体と呼ばれる物質において、励起光の波長を変化させることによって、モット絶縁体相から“金属相”への転移と“電荷密度波相”への転移の両者を観測することに成功した。これは、二つの異なる電子相への超高速光誘起相転移を実現した初めての例である。二つの相転移のうち、光誘起モット絶縁体-電荷密度波転移は、光でより対称性の低い電子状態を生成する転移、すなわち、秩序を創り出す方向の転移である。この転移の発現には、モット絶縁体相と電荷密度波相のエネルギーがほぼ縮退していることに加えて、隣接サイト間の電子間相互作用に起因する集団的な電荷移動過程が重要な役割を果たしていることがわかった。

光による秩序相の生成は、光物性や非平衡物理として興味深いだけでなく、光機能の観点からも重要である。例えば、最初にある波長のパルス光によって秩序状態を過渡的に創り出し、その後、異なる波長のパルス光を照射してこれを融解させることができれば、新しい超高速光スイッチやメモリ機能の実現に結びつくものと期待される。

## —Keywords—

### 光誘起相転移：

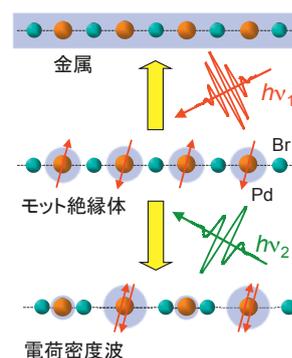
光照射によって固体の結晶構造や電子構造が変化する現象。本稿では、電子構造が高速かつ過渡的に変化する現象を取り上げている。電子系の変化の時間スケールは、サイト間の電子トランスファーエネルギー  $t$  で特徴づけられる。典型的な  $t$  の値は、遷移金属酸化物で 0.5 eV、有機分子性結晶で 0.1 eV であり、対応する時間スケールは、8 fs および 40 fs である。本研究のように過渡スペクトルを測定する場合には、広い波長領域で発生可能な時間幅約 100 fs のパルス光を用いる。電子系の応答の実時間観測を目的として、時間幅 10 fs 以下の極短パルス光による測定も行われている。

### モット絶縁体：

バンド理論では金属と予想されるが、電子間のクーロン斥力の効果によって絶縁体となった物質。キャリアドーピングや圧力印加によって絶縁体-金属転移や超伝導など興味深い物性を示す。

### 電荷密度波：

電子格子相互作用によって結晶に周期的な歪みが生じ、これに伴って電子密度が空間的に一定の周期で変化している状態。隣接サイトの電子間のクーロン斥力によって、結晶格子を歪ませずに電子密度が変化する場合もある。



本記事の長さは通常の最近の研究から記事の規定を超過しておりますが、編集委員会の判断によりこのまま掲載しています。