

本講演では、セミナーの趣旨である異分野間の学術的融合を念頭に、物理学および化学に共通する普遍的な概念の一つである非断熱遷移を縦糸として、(1) 超短パルスレーザーに誘起された超高速格子ダイナミクスと、(2) 連続波レーザーによる新規なトポロジカル(以下、適宜トポと略称)半金属創成という相異なる二つの非平衡物理系に関する最近の研究を紹介する。非断熱遷移理論とは、外部変数(断熱変数)に対する断熱状態およびその固有値である断熱ポテンシャル曲線(曲面)を基幹物理量として、これらの間の非断熱結合と呼ばれる相互作用によって量子力学的な遷移を説明する理論的枠組である。これは分子の反応動力学や低エネルギー領域の量子動力学のモデルとしてよく知られているが、断熱変数を周期変数とする周期系において、非断熱結合はベリー位相といわれる重要な物理的概念に帰結される。講演では、(1)および(2)の各研究内容を概観することに加え、両方に共通する非断熱遷移という概念の普遍性や有用性を例示したい。

まず(1)において、数10fs程度の高強度超短パルスレーザーをSiやGaAsのような半導体に照射すると、高密度電子励起に伴い時・空間的に位相が揃った縦光学フォノンが瞬時に一斉に励起され、巨視的物理量の統計平均を取っても位相情報が相殺されない顕著な振動現象が現れる。このようなフォノンをコヒーレントフォノンと呼ぶ。この振動パターンは古典力学の減衰強制振動モデルによって定性的に解析されてきたが、パルス照射直後のコヒーレントフォノン生成機構の詳細、さらに無極性半導体(Si)と極性半導体(GaAs)における観測量の明確な差異の起源は長年に亘って不明であった。我々は、電子・正孔対と縦光学フォノンの複合ボーズ粒子(ポーラロニックな過渡的準粒子とよぶ)を導入し、この複合粒子の(時間に関する)フォノン由来の断熱状態とプラズモン由来の断熱状態間のRosen-Zener結合という非断熱相互作用を解析することによって、上記の根源的な問題を解決した。

一方、(2)において、時間反転、パリティ、鏡映等の対称性を内在する物質では、バルクバンドの波動関数の(例えば)パリティが波数空間で部分的に反転する場合、バンド構造にねじれが生じ波数空間のトポロジカルな構造が変化する。このようなトポ秩序を有する絶縁体、半金属、磁性体、超伝導体などの物質をトポ物質と総称し、通常の固体中の電子では不可能な多彩な物性を引き起こすことが知られている。トポ物質は、波数ベクトルを断熱変数とした多バンド系のバンド反転(および交差)に起因する系であり、付随する(拡張された)ベリー位相がトポ秩序を規定する量子数に対応する。我々は通常物質(ここでは半導体量子井戸)に連続波レーザーを照射することによって生成するフロケバンド(光が着衣したバンド)を制御して、非平衡系のトポ物質を創成し、さらに新奇な物理現象の探究を行っている。最近、レーザー電場の強さを付加的な断熱変数とするフロケバンド間の円錐交差条件を解析し、フロケディラック半金属と命名した新奇なトポ状態を見出した。この研究内容を紹介する予定である。