

論文内容の要旨

博士論文題目

低次元強相関電子系における光誘起相転移と超高速ダイナミクス

氏名

五味 広喜

(論文内容の要旨)

低次元強相関電子系は、高温超伝導や、巨大かつ高速な光学非線型性などの様々な興味深い物性を示し、多くの研究者の興味を引きつけている。それらは、強い電子相関がもたらす電荷とスピンの異常な振舞に起因すると考えられているが、未だ解明されていない。特に、スピン自由度と電荷自由度の分離が成立しているのか、またそれがこれらの特異な現象の起源となっているのかについては、現在でも盛んに論争されている。そこで、本論文では次の2つの光学的アプローチにより、物性物理学において最重要課題と言える低次元強相関電子系の新奇な電子状態と物性の解明に取り組んだ。

第一のアプローチは、光誘起相転移相、即ち光励起により基底状態とは異なる秩序を持つ状態が作り出される現象に着目し、低次元強相関電子系の標準モデルとして広く認められているハバードモデルを用いて解析を行った。同一サイト上での電子間クーロン相互作用が、電子の運動エネルギーよりも十分大きい場合に成立する有効ハミルトニアンを導出し、それを数値厳密対角化することにより、低次元強相関電子系の多光子励起状態の性質を研究した。その結果、スピンスパイラル状態、*d*波超伝導状態などが、光生成されることを見出した。更に、最近接サイト間のクーロン相互作用を考慮すると、スピンを持たない電荷（ホロンとダブロン）が強く束縛したクラスターが形成され、これが反強磁性的スピン秩序と共存することが見出された。この電荷クラスター状態は、異なるサイト間のクーロン相互作用のみだけでなく、反強磁性スピン間相互作用によっても安定化され、従来見出されている励起子ストリングなどとは質的に異なる特徴を有する。

第二のアプローチは、励起状態の超高速ダイナミクスの解析である。パルス光による低次元強相関電子系の励起状態の時間変化を数値解析し、電荷及びスピン相関関数が異なった時間変化を示すことを示した。また、過渡的の四光波混合の信号光強度を計算し、2次元系においては明瞭に区別される2段階の緩和過程が生ずることを示した。速い緩和は反強磁性バックグラウンドへの電荷の拡散、また遅い緩和は拡散の結果生じた新しい電荷配置に対するスピン状態の再配置にそれぞれ由来する。このことは、電荷とスピンの自由度は近似的には分離しており、その結合は弱いことを示している。1次元系においては、光生成された電荷がスピンの自由度の影響を受けずに自由並進運動をし、スピンの運動は誘起されないことが明らかにされた。この結果は、電荷とスピンの自由度の分離がほぼ厳密に成立していることを明瞭に示している。

(論文審査結果の要旨)

低次元強相関電子系は、高温超伝導を初めとする特異な物性を示すことにより、物性物理学の中心的な研究対象となっている。しかしながら、これまでの研究は、主に電気伝導などの低エネルギー現象に限られており、低次元強相関電子系が持つ新しい電子材料としての可能性を十分に引き出すまでには至っていない。本論文は、光励起により生成された非平衡状態での物性に着目し、基底状態とは全く異なる新しい物質相の探索と、その物性を支配する電子のスピンと電荷の分離という新奇な現象を光学的手法により解明することを目的としたもので、以下のような重要な結果を得ている。

1. 同一サイトと最近接サイトの電子間相互作用を考慮した拡張ハバードモデルを用いて、スピンの無い正負の電荷（ホロンとダブロン）のクラスター状態が光生成されることを理論的に明らかにした。2次元系においては、ホロンとダブロンの対は殆ど束縛しないが、2個以上のホロンと2個以上のダブロンは強く結合して安定なクラスターを形成することが明らかにされた。この状態は、従来知られている半導体中の励起子ストリングや電子正孔液滴と質的に異なり、クーロン相互作用による直接的な引力だけでなく、その背景に存在する半強磁性的スピン秩序によっても安定化されるという強相関電子系に特有な新しい状態であり、その存在が本研究により初めて理論的に見出された。
2. 光パルス励起による低次元強相関電子系の過渡的光応答を解析した。これまでに多くの論争があった電子のスピンと電荷が分離する現象が、過渡的4光波混合などの光学的手段により明瞭に捕らえられることを始めて示した。これは、極超短パルス光励起により、初期に電荷の自由度のみが励起され、その後スピンの自由度が電荷の自由度との結合を通してゆっくり緩和する様相を理論的に始めて明らかにしたものである。この結果により、フェムト秒パルス光を用いた光学的手法が低次元強相関電子系の物性解明に大いに有効であることが示された。

以上のように、本論文は、低次元強相関電子系における光学現象というこれから発展が期待される先進的な研究分野を先導する重要な内容を有している。よって、審査員一同は、本論文が博士（理学）の学位論文として価値のあるものと評価し、審査結果を合格と認めた。