

氏名	兼 下 英 司
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	理 学
学位授与番号	博甲第2338号
学位授与の日付	平成14年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科物質科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	二次元ストライプにおける集団励起の理論的研究
論文審査委員	教授 町田 一成 教授 大嶋 孝吉 教授 原田 獻

学位論文内容の要旨

銅酸化物高温超伝導体は共通して CuO_2 面を有している。

CuO_2 面にホールをドープすると、ドープされたホールは一次元的に配列されホールの河を形成する。そして、ホールの河に挟まれた領域に反強磁性領域が現れる。このスピン・電荷構造をストライプ構造と呼ぶ。

様々な実験から、いくつかの銅酸化物高温超伝導体において、系がストライプ秩序を示すことが知られており、また、そうでない物質においても動的ストライプの可能性が示唆されている。これを受け、本研究ではストライプの静的秩序状態から出発し、ストライプにおける集団励起について調べた。また、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ や $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ に対する実験で見られるフォノン分散の異常(ギャップ)についても考察した。研究の基礎となるハミルトニアンは、ハバードハミルトニアンに平均場近似を施した平均場ハバードモデルを考えた。

静的秩序の議論は、このモデルに対して繰り返し計算を行うことで、エネルギー最小の条件の下でストライプ状態が基底状態となることが確かめられた。

集団励起については、上で得られた基底状態から出発し乱雑位相近似によって動的帶磁率を調べた。ここで考える帶磁率は縦スピン帶磁率、横スピン帶磁率、電荷感受率の三つで、それぞれフェイゾンモード、スピン波モード、電荷並進モードの集団励起に対応している。結果として、それらはストライプ構造を反映したものとなっていることが確かめられた。

また、上で述べた銅酸化物高温超伝導体のフォノン分散におけるギャップについて、ストライプとフォノンの結合と言う観点から考察した。具体的には、上の計算で得られた電荷ストライプ集団励起を表す電荷感受率を、フォノンの自己エネルギーとして繰り込む。結果として、ストライプとの結合によりフォノンの分散にギャップが生じることが確かめられた。この計算と上の実験から、銅酸化物高温超伝導体ではフォノンと静的(若しくは動的)ストライプとの相互作用が存在することが結論付けられた。

論文審査結果の要旨

申請者は高温銅酸化物超伝導体を念頭におき、強相関2次元電子系の問題を理論的に研究した。1986年にBednorzとMullerによって高温超伝導体が発見され、以来数多くの銅酸化物が高温超伝導を示すことが明らかになった。銅原子と酸素原子によって構成される2次元CuO面にホールがドープされたときに高温超伝導が観測される。

申請者はホールがドープされたときの2次元CuO面の電子状態をHubbardモデルを用いてストライプという概念で考察した。まず、反強磁性絶縁相にホールが導入されたときに出現するホールの1次元的な周期配列、即ちストライプを分子場近似を用いて詳細に調べた。次に求められた基底状態からの励起を調べるために乱雑位相近似の下でのスピンと電荷の動的帶磁率を計算した。基底状態が長周期構造をしているため解析計算は不可能であるが、計算機を駆使して大行列を対角化し、動的帶磁率を求める成功した。その結果、幾つかの興味ある集団励起モードを見い出した。動的スピン帶磁率からはGoldstoneモードとしての2種類の縦、横スピンモード、動的電荷帶磁率からは電荷位相モードを算出した。それらのモードの分散関係や異方性をドープ量や相互作用の大きさの関数として詳しく解析した。この結果は長周期スピン状態に対して初めて計算されたものである。更には、電子格子相互作用を考えて、フォノン分散し対する電荷位相モードの影響を考察し、特徴的な分散関係の異常を見い出した。これは銅酸化物超伝導体の中性子実験で観測されている分散異常を説明する一つの理論になっている。

以上の理論的研究はこの分野に新しい知見を与えるものであり博士の学位に値するものである。