

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	上田 克
論文題目	Theoretical study on electronic properties at interfaces of strongly correlated electron systems (強相関電子系における界面電子状態の理論的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>遷移金属酸化物などの強相関電子系では、高温超伝導や磁気・電荷秩序相などの多彩な物性を示すことが知られており、その全貌を理解すべく精力的な研究が進められている。こうした強相関電子系の研究において、近年、遷移金属酸化物のヘテロ接合系が注目を集めている。これらの酸化物ヘテロ接合の界面では、電子の持つスピン・電荷・軌道自由度が複雑に競合し合うことにより、エキゾチックな量子凝縮相の出現が期待されている。例えば、$\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3$などのバンド絶縁体界面では超伝導や磁性の出現が報告されるなど、接合界面における多彩な秩序相の存在が明らかになり始めている。このように、酸化物ヘテロ接合は強相関電子系の研究における新たな切り口として注目を集めており、その研究は急速な進展を見せている。本論文では、モット絶縁体を用いた強相関ヘテロ接合を対象にし、以下の3つの項目を取り扱っている。</p> <p>[1]$\text{SrTiO}_3/\text{LaTiO}_3$酸化物ヘテロ接合に代表される、バンド絶縁体とモット絶縁体のヘテロ界面を対象にして、新規な凝縮相の可能性を提案している。電荷分布の空間変調に起因して接合界面では電子状態が大きく変化することを示し、基底状態における多彩な秩序相の存在を明らかにしている。例えば、モット絶縁体領域に反強磁性秩序が存在する場合、界面付近ではキャントした反強磁性相が誘起されることを新たに見出している。加えて、磁場中では、界面付近でメタ磁性転移や電荷秩序相へのリエントラント転移が生じることを明らかにしている。これらの界面特有の物理現象は、スピン・電荷の強いカップリングに起因することを指摘し、強相関ヘテロ接合の物理を理解するうえで有用な視点を提供している。</p> <p>[2]トポロジカル絶縁体を用いたヘテロ接合の研究は多岐にわたる広がりを見せており、マヨラナフェルミオンや異常磁気抵抗効果など、接合界面における多彩な物理現象の存在が明らかになりつつある。ここではトポロジカル相と強相関効果との競合を明らかにすべく、トポロジカル絶縁体とモット絶縁体から成るヘテロ接合に着目した解析を行っている。その結果、トポロジカル絶縁体のエッジ状態はモット絶縁体側へと侵入し、ハバードギャップ中に重い電子的なミッドギャップ状態を誘起することを明らかにしている。さらに、このミッドギャップ状態はエッジ状態の特徴を強く引き継ぐことを新たに見出し、トポロジカル相と相関効果との絡み合いによって生じた、ユニークな界面量子状態であることを明らかにしている。</p> <p>[3]モット絶縁体LaVO_3と常磁性金属SrVO_3からなる人工超格子では、超格子構造の変化に伴う金属絶縁体転移や、電気抵抗の温度依存性における特徴的なピーク構造の出現が報告されている。こうした振る舞いを理解すべく、超格子の周期性と電子相関効果との競合・協力に注目した解析を行っている。基底状態では、3次元的なフェルミ液体が実現していることを示し、電気抵抗のピーク構造はモット絶縁体と金属との界面で生じる近藤スクリーニングに由来することを明らかにしている。さらに、超格子の周期性は電気抵抗のピーク温度に強い偶奇性をもたらすことを新たに見出すと共に、電子相関効果の観点から実験結果の特徴を説明することに成功している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、強相関ヘテロ接合と呼ばれる、遷移金属酸化物を用いた人工多層構造が注目を集めている。これらのヘテロ構造では、空間的非一様と強相関効果とがあいまって、通常バルク系では実現できないような新奇な量子凝縮相の発現が期待されている。その一方で、接合界面における相関効果の影響は未解明な点も多く、その本質を理解することは学術的・工学的な両面から重要な課題として位置づけられている。本研究の目的は、 $\text{SrTiO}_3/\text{LaTiO}_3$ や $\text{SrVO}_3/\text{LaVO}_3$ 酸化物ヘテロ接合に代表されるような、モット絶縁体を含む強相関ヘテロ接合の界面物性を理論的に解明することである。このような目的の下、上田氏が行った研究の成果を以下にまとめる。

[1]モット絶縁体とバンド絶縁体からなるヘテロ接合系を対象にして、基底状態における電子相図を明らかにした。そして、モット絶縁体領域に反強磁性が存在する場合、その界面ではキャントした反強磁性相が誘起されることを示すと共に、磁場中でのメタ磁性転移や電荷秩序相のリエントラント転移の存在を新たに見出した。さらに、先行研究で指摘されていた電荷秩序相の安定化には、スピンを介した層間の相互作用が重要な役割を担っていることを明らかにした。上田氏は、これらの結果はスピンと電荷の強いカップリングから生じることを示しており、強相関ヘテロ接合の界面物性を理解する上で重要な成果である。

[2]トポロジカル相における電子相関効果の影響を明らかにすることは凝縮系物理における喫緊の課題とされてきた。そこで、上田氏はトポロジカル絶縁体とモット絶縁体からなるヘテロ接合に着目することにより、強相関効果がトポロジカル絶縁体のエッジ状態に及ぼす影響を解明した。その中で、モット絶縁体のハバードギャップ中に、トポロジカルな性質を引き継いだ重い電子状態が誘起されることを明らかにした。また、こうした特徴的な電子状態は近藤スクリーニングに起因することに注目し、広範囲のパラメータ領域において実現しうることを示した。

[3]モット絶縁体と金属からなる人工超格子 $\text{LaVO}_3/\text{SrVO}_3$ では、その電気抵抗に特徴的な振る舞いが生じることが実験的に報告されていた。上田氏は超格子構造の周期性と電子相関効果との結びつきに注目することによって、実験結果の特徴を理論的に説明することに成功した。特に、電気抵抗の温度依存性におけるピーク構造は近藤効果に起因することを示すと共に、そのピーク温度に見られる偶奇性は、超格子構造と近藤効果との絡み合いに由来することを解明した。

このように、本論文は強相関ヘテロ接合を対象にして、その基本物性などの本質的な問題を電子相関効果の観点から明らかにすると共に、近年の実験結果の定性的な説明にも成功している。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(投稿中の論文が受理されるまでの間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 年 月 日以降