

【基盤研究 (S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 重い電子の人工制御

京都大学・大学院理学研究科・教授

まつだ ゆうじ
松田 祐司

研究分野: 数物系科学

キーワード: 重い電子系化合物、強相関電子、人工超格子

【研究の背景・目的】

f 電子を含む重い電子系化合物は、新奇超伝導状態や量子臨界現象など未解明の興味ある電子状態の宝庫である。我々は最近希土類原子を原子 1 層単位で制御した人工超格子や超薄膜を作製する技術を世界で初めて確立した。

本研究の目的はこの独自の技術を用いて、自然界には存在しない強相関電子状態を創製することである。さらにバルクの結晶では実現できなかった原子レベルで平坦かつ清浄な表面を実現し、世界最高レベルのエネルギー分解能をもつ極低温走査トンネル顕微鏡でその電子状態を「その場観察」する。このように本研究は、究極に強い電子相関をもつ人工 2 次元電子系において種々の異常な電子状態やエキゾチック超伝導状態を実現し、その解明を行うものである。

【研究の方法】

超高真空チャンバー内で、分子線エピタキシー (MBE) 法により異なる化合物を交互に積層成長させた人工超格子を作製し、新奇な重い電子状態を創製する。さらに作製した試料を大気に晒すことなく超高真空中で、極低温走査トンネル顕微鏡 (STM) に移動し、300 mK までの温度領域で電子状態を「その場観察」する。

また原子層程度の厚みしか持たない希土類化合物の超薄膜を作製、微細加工し新奇な重い電子状態を人工的に創り出す。作製した超格子や超薄膜は、極低温・強磁場まで輸送現象、磁気トルク、高周波応答等の測定を行うとともに、国内外のグループと協力して核磁気共鳴、THz 分光、光電子分光などの様々な実験手段で多角的にその電子状態を調べる。

【期待される成果と意義】

本プロジェクトにより 2 つの極限物を世界に類を見ないシステムにより融合させ、自然界には存在しない新奇な強相関電子の状態を創出できるようになるだけでなく、これまで理論的には予測されていたが実現されたことのない新しい超伝導状態を実現できるようになる。

極限的な 2 次元強相関電子系の研究は、例えば量子ゆらぎや強相関といった物理学における基本問題

へのアプローチであり、さらに高温超伝導に代表される様々な物質で実現している強相関効果の理解といった普遍的問題を含む。また本研究における様々な新奇量子状態の実現は、ナノサイエンスへの波及効果だけでなく、例えば冷却原子、高密度原子核、中性子星といった、高エネルギー物理や宇宙物理学への波及効果も期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- "Anomalous upper critical field in $\text{CeCoIn}_5/\text{YbCoIn}_5$ superlattices with a Rashba-type heavy fermion interface"
S. K. Goh, Y. Mizukami, H. Shishido, D. Watanabe, S. Yasumoto, M. Shimozawa, M. Yamashita, T. Terashima, Y. Yanase, T. Shibauchi, A. I. Buzdin, and Y. Matsuda
Phys. Rev. Lett. **109**, 157006 (2012)
- "Extremely strong-coupling superconductivity in artificial two-dimensional Kondo lattices"
Y. Mizukami, H. Shishido, T. Shibauchi, M. Shimozawa, S. Yasumoto, D. Watanabe, M. Yamashita, H. Ikeda, T. Terashima, H. Kontani, and Y. Matsuda
Nature Physics **7**, 849-853 (2011);
- "Tuning the Dimensionality of the Heavy Fermion Compound CeIn_3 "
H. Shishido, T. Shibauchi, K. Yasu, T. Kato, H. Kontani, T. Terashima, and Y. Matsuda
Science **327**, 980-983 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 25 年度 - 29 年度
187,900 千円

【ホームページ等】

<http://kotai2.scphys.kyoto-u.ac.jp/index.php>