

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19204034

研究課題名 (和文) ほとんど局在した f 電子の変貌と量子現象

研究課題名 (英文) Nearly Localized f Electron and Quantum Phenomena

研究代表者

青木 晴善 (AOKI HARUYOSHI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60302246

研究代表者の専門分野：電子物性

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：強相関係、低温物性、dHvA 効果、f 電子化合物

1. 研究計画の概要

結晶格子中の f 電子の物理の面白さはその“ほとんど局在した状態”に起因する。“ほとんど局在した f 電子”の変貌は強相関 f 電子系の研究の根幹を成す古くからの基本問題であり、最近の量子相転移の研究の発展とともに改めて深い理解を必要とする課題として浮かび上がってきた。これらの f 電子の変貌は圧力、磁場などの外場、および化学的な圧力や混晶化によって制御することができる。本研究ではこれまでの我々の研究成果を発展させ、圧力と混晶化を併用して、単独の物質系で不純物状態から格子系、および局在一遍歴一価数揺動の広い範囲で f 電子を変貌させ、それによって起こる電子状態、物性の変化、相転移をド・ハースーフアン・アルフェン (dHvA) 効果を中心とする測定で明らかにすることを目的とする。

2. 研究の進捗状況

これまでに、 $\text{CeRu}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ 、 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$ 、 $\text{Th}_x\text{U}_{1-x}\text{Pd}_3$ 、 $\text{Pr}_x\text{La}_{1-x}\text{Pb}_3$ 、 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Ge}_2$ 、 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Sn}_3$ 、 $\text{U}_x\text{Th}_{1-x}\text{Pd}_2\text{Al}_3$ の単結晶試料の育成を行った。このうち $\text{CeRu}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ 、 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$ 、 $\text{U}_x\text{Th}_{1-x}\text{Pd}_3$ 、 $\text{Pr}_x\text{La}_{1-x}\text{Pb}_3$ 、 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Ge}_2$ については広い濃度範囲で dHvA 効果の観測に成功した。

(1) $\text{CeRu}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$: Ge と Si を置換することにより化学的圧力を系統的に変化させ、dHvA 効果、輸送現象、磁気測定、光電子分光などを用いて、電子状態および磁気相図を明らかにした。これらから、f 電子状態が磁気状態の変化に伴って、どのように変化するかを明らかにした。

(2) $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$: dHvA 効果、輸送現象、

磁気測定、光電子分光などを用いて、Ce 濃度、および磁場の関数として、電子状態および磁気相図を明らかにした。これらから、Ce 原子が不純物状態にあるときから結晶格子を形成するまで、あるいは磁場の変化とともに f 電子状態がどのように変化していくかを明らかにした。

(3) $\text{U}_x\text{Th}_{1-x}\text{Pd}_3$ 、 $\text{Pr}_x\text{La}_{1-x}\text{Pb}_3$: 四極子秩序に関する相図を比熱、磁気測定により明らかにするとともに、f 電子状態が四極子秩序状態とともにどのように変化していくかを明らかにした。

(4) $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Sn}_3$ 、 $\text{U}_{1-x}\text{Th}_x\text{Pd}_2\text{Al}_3$ については $x=0$ 又は 1.0 の近傍でしか dHvA 効果の観測ができていない。これらの結果は f 電子が遍歴的であることを示唆している。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

研究計画に提案した合金系の 80% 以上について、試料作製を行い、dHvA 効果を初めてとする種々の測定によって、f 電子状態に関する知見を得ることができた。これらの系におけるほとんど局在した f 電子の変貌に関する重要な知見が得られている。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 研究計画では予想しなかった新しい知見について、さらに多方面からの詳細な実験を行う。

(2) $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Ge}_2$ など、あらたに広い濃度範囲で信号が得られることが分かったものについて、系統的な実験を行う。

(3) 本研究で得られた種々の系についての知見を相互に検討し、f 電子の変貌と物性に

についての総合的な理解を深める。

5. 代表的な研究成果
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

1. 4f-Derived Fermi Surfaces of $\text{CeRu}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ near the Quantum Critical Point: Resonant Soft-X-ray ARPES Study, T. Okane, T. Ohkochi, Y. Takeda, S. -i. Fujimori, A. Yasui, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, Y. Matsumoto, M. Sugi, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, Phys. Rev. Lett. 102, 216401 (2009).

査読有

2. De Haas-van Alphen Effect and Fermi Surface Properties in $\text{Th}_x\text{U}_{1-x}\text{Pd}_3$ Alloys, T. Isshiki, T. Komatsubara, N. Kimura, H. Aoki, J. Phys. : Conference Series 150, 042075-1-4 (2009).

査読有

3. Fermi Surface Properties of $\text{CeRu}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ in Magnetic Fields above the Metamagnetic Transitions, M. Sugi, Y. Matsumoto, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, T. Terashima, S. Uji, Phys. Rev. Lett. 101, 056401-1-4 (2008).

査読有

4. Continuous Evolution of Fermi Surface Properties above Metamagnetic Transitions in $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$, Y. Matsumoto, M. Sugi, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, I. Satoh, T. Terashima, S. Uji, J. Phys. Soc. Jpn. 77, 053703-1-4 (2008).

査読有

5. Extremely High Upper-critical-field in Noncentrosymmetric Heavy-fermion Superconductor CeRhSi_3 , N. Kimura, K. Ito, H. Aoki, S. Uji and T. Terashima, Phys. Rev. Lett. 98, 197001-1-4 (2007).

査読有

[学会発表] (計 40 件)