

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月23日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21540354

研究課題名（和文）空間反転対称性の欠如した重い電子系超伝導体の高圧磁場中の比熱測定

研究課題名（英文）Heat capacity measurement of heavy Fermion superconductors without inversion symmetry under pressure and magnetic field

研究代表者

梅原 出（UMEHARA IZURU）

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：90251769

研究成果の概要（和文）：空間反転対称性の欠如した重い電子系化合物 CeRhSi_3 などの高圧磁場下での熱容量測定を行い、量子臨界点近傍での反強磁性と超伝導の競合状態について新たな知見を得た。超伝導のみが観測される圧力領域では、無磁場中で極めて大きな結合力を示唆する超伝導転移が観測されていたが、磁場の印加とともに、転移の大きさが小さくなるように見える。ただし、反強磁性と共存する圧力領域で観測されたような、構造は観測されず、転移点も最大印加磁場7万ガウスでは、ほとんど変化しないという結果を得た。すなわち、磁場の印加は、圧力の印加と真逆の効果を得ることが示唆されるような振る舞いをした。

研究成果の概要（英文）：We clarified the relationship between antiferromagnetism and superconductivity vicinity of quantum critical point by means the measurements of heat capacity under pressure and magnetic field. The behavior of heat capacity in the pressure region of only superconductivity appears is different from that in the coexisting pressure region (superconductivity and antiferromagnetism), which has the structure comes from reproducing of magnetism.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：圧力誘起超伝導体、強相関係、重い電子系

1. 研究開始当初の背景

重い電子系の超伝導の研究は、1979年のステグリッヒ等による CeCu_2Si_2 の超伝導の衝撃的な発見以降も、21世紀に入り急展開を見せている。まず、 UGe_2 、 CePd_2Si_2 、 CeRh_2Si_2 などの圧力誘起の超伝導の発見があげられよう。また、 $\text{Ce}_m\text{TIn}_{3m+2}$ ($\text{T}:\text{Rh,Co,Ir,m}:\infty\sim 2$) で記述される一連の物質群、なかでも

CeCoIn_5 、 CeIrIn_5 の常圧での超伝導の発見、 CeRhIn_5 での高圧下での超伝導の発見など枚挙にいとまがないほどである。研究開始当時、重要な新展開があった。空間反転対称性のない超伝導体である CePt_3Si の発見である。2006年、N. Kimura らによって、重い電子系 CeRhSi_3 で高圧力下において超伝導が発見された。この物質は、 CePt_3Si と同

様に空間反転対称性をもたない結晶構造を有するものである。続いて、Y. Onukiらによって **CeIrSi₃** や **CeCoGe₃** でも高圧力下で超伝導が見出された。

これを受けて、申請者は高圧力下での熱容量測定を行い、ギャップレス超伝導状態の可能性や強結合状態超伝導状態の可能性を示唆する結果を得ていた。

本申請研究では、磁場中をパラメーターとする熱容量測定でさらにこの系の超伝導に関する新たな知見を得たいと発想するに至った。

2. 研究の目的

反転対称性の欠如した重い電子系圧力誘起超伝導体 **CeTX₃**(T: Rh, Ir, X: Si, Ge)の磁場中圧力下における熱容量の測定を行い、電子状態に関する知見を得る事を目的とする。これらの物質では、反強磁性と超伝導が共存する圧力領域と超伝導のみが観測される領域では、熱容量の振る舞いが全く異なる。すなわち、前者では、ギャップレスとも言うべき超伝導状態が実現されているのに対して、後者では $\Delta C / \gamma T_c$ が BCS 理論の数倍にも達する強結合的な超伝導状態が実現している。これら特徴的な圧力領域で磁場中熱容量の測定を行い、反強磁性と超伝導の相関について実験的に知見を得る。熱容量の測定では、物質のバルク特性について知見を得る事はもちろんの事、超伝導状態においても有限な物理量として測定出来るため、超伝導のみが観測されている圧力領域においても、隠された反強磁性が磁場で誘起される現象なども観測される可能性があり、電子状態に関して決定的な実験となり得る。電気抵抗（ゼロ抵抗）や磁化率（マイスナー効果）の測定では、なし得ない磁場中での電子状態を本研究では観測することを目的とする。

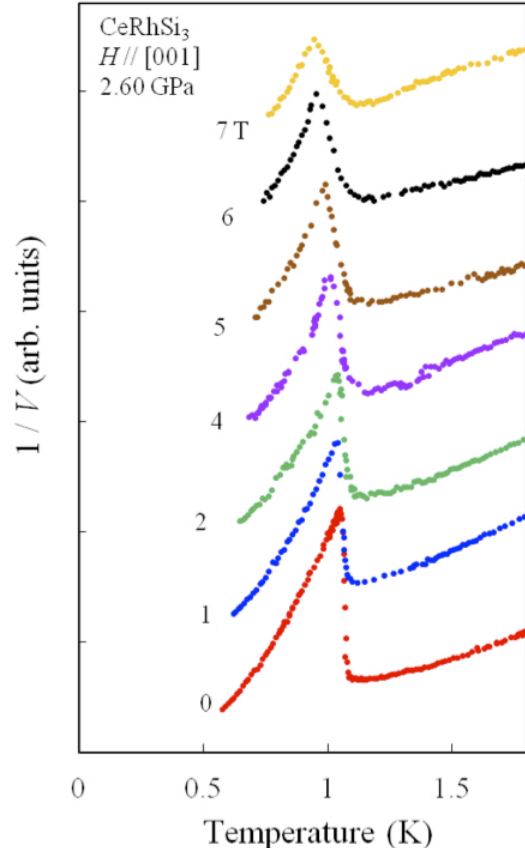
3. 研究の方法

従来から申請者の研究室で培った交流法による圧力下熱容量測定に磁場を組み合わせた測定を行う。

4. 研究成果

研究課題である「空間反転対称性の欠如した重い電子系超伝導体の高圧磁場中の比熱測定」を遂行し、極めて重要な知見を得た。実験は、**CeRhSi₃** に関して行った。①反強磁性と超伝導が共存する圧力領域、②反強磁性が消失した直下での圧力領域、③反強磁性が十分に消失し極めて強いクーパー結合が出現する圧力領域の3つの圧力下に、磁場を印加し、比熱の測定を行った。この領域での熱容量測定の結果を図に示した。①の状態では、磁場の印加とともに超伝導転移点は下降した。た

だし、空間反転が欠如しているため上部臨界磁場は極めて高いことがバルク特性として観測された。また、反強磁性点転移は、圧力に対して、リエントラントな振る舞いをする事が分かった。②の状態では、無磁場中では、シャープな超伝導転移のみが観測されていたものが、磁場の印加とともに、ブロードな転移になることが分かった。ただし、単純にブロードになるのではなくて、二つ以上の



相転移の重ね合わせとして、構造を持つように見える。③の状態では、無磁場中で極めて大きな結合力を示唆する超伝導転移が観測されていたが、磁場の印加とともに、転移の大きさが小さくなるように見える。ただし、②で観測されたような、構造は観測されず、転移点も最大印加磁場7万ガウスでは、ほとんど変化しないという結果を得た。すなわち、磁場の印加は、圧力の印加と真逆の効果を得ることが示唆されるような振る舞いをした。これは、極めて重要な実験結果である。この系が、単純な反強磁性と超伝導の共存という構図で考えることが出来ないこと、つまり、反強磁性および超伝導の揺らぎが極めて重要であることを実験的に明らかにしたことになる。

図 反強磁性が十分に消失し極めて強いクーパー結合が出現する圧力領域での磁場中比熱測定

5. 主な発表論文等

(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4件)

① L. Li, G. Hu, I. Umehara, D. Huo, T. Namiki, Katsuhiko Nishimura, Pressure effect on magnetic and magnetocaloric properties in $GdCo_2B_2$ compound, Journal of Physical Society of Japan (2012)、査読あり in print.

② G. Hu, I. Umehara, S. Cao, Pressure Effect in Multiferroic Phase Transition of Perovskite Ferrite Crystals $NdFeO_3$ and $ErFeO_3$, Journal of Physics: Conference Series, (2012)、査読あり

<http://conferenceseries.iop.org/content/fortcoming>

③ K. Matsubayashi, K. Munakata, M. Isobe, N. Katayama, K. Ohgushi, Y. Ueda, N. Kawamura, M. Mizumaki, N. Ishimatsu, M. Hedo, I. Umehara, and Y. Uwatoko, Pressure-induced changes in the magnetic and valence state of $EuFe_2As_2$; Phys. Rev. B 84, (2011) 024502-024508, 査読あり

④ K. Matsubayashi, M. Hedo, I. Umehara,

N. Katayama, K. Ohgushi, A. Yamada,

K. Munakata, T. Matsumoto, Y. Uwatoko:

High-Pressure Ac Specific Heat Technique

with Cubic Anvil Apparatus, Journal of

Physics. **215**, 12187-12190 (2010), 査読あり

り

[学会発表] (計20件)

① 鈴木俊平太、梅原出、 $EuCo_2P_2$ と $YbMn_2Ge_2$ の高圧下交流法熱容量測定、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

② 朝日啓太、福村啓介、梅原出、大貫惇睦、接待力生 $CeIrSi_3$ の高圧力下磁場中における比熱測定の試み、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

③ 篠塚真仲、福村啓介、朝日啓太、久保裕樹、梅原出、木村憲明 $CeRhSi_3$ の交流法による高圧力下磁場中熱容量測定、第52回高圧討論会、2011年11月10日 沖縄キリスト教学院

④ 近藤直也、梅原出、山中里奈、 $LaPt_4Ge_{12}$ の超伝導の圧力効果、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

⑤ 小松誠治、山田美穂、三輪圭史、梅原出、水口圭一、高野義彦、Shixun Cao、 $FeSe_{0.5}Te_{0.5}$ の圧力下物性測定、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

⑥ 山田美穂、梅原出、溝口聡、Shixun Cao、 $PrSrMnO_3$ の高圧力下物性測定、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

⑦ 加田野隼矢、梅原出、綿貫竜太、鈴木和也、 Gd_2Te_5 の物性の圧力依存、第52回高圧討論会、2011年11月10日、沖縄キリスト教学院

⑧ I. Umehara、Heat Capacity measurement under pressure、ICPMAT2011(招待講演)、2011年10月12日、上海大学(中国)

⑨ 綿貫竜太、加田野隼矢、梅原出、鈴木和也、 Gd_2Te_5 の高圧下物性
日本物理学会秋季大会、2011年9月25日、富山大学

⑩ 福村啓介、朝日啓太、篠塚真仲、梅原出、木村憲彰、接待力生、大貫惇睦、 $CeTSi_3$ (T: Ir, Rh) の高圧磁場中熱容量測定の試み II
日本物理学会秋季大会 2011年9月25日、富山大学

⑪ I. Umehara、A. Yoshioka、Y. Kubo、N. Kimura、Y. Onuki、Phase Boundary and Quantum Criticality of $CeTSi_3$ (T: Rh and Ir)、SCES 2011、2011年9月2日、ケンブリッジ大学(英国)

⑫ G. Hu、I. Umehara、X. Shuang、S. Yuan、S. Cao、Pressure Effect in Multiferroic Phase Transition of Perovskite Ferrite Crystals $NdFeO_3$ and $ErFeO_3$ 、26th International Conference on Low Temperature Physics、2011年8月12日 北京国際センター(中国)

⑬ I. Umehara、S. Mizoguchi、G. H. Hu、Y. Uwatoko、K. Matsubayashi、S. Yuan and S. X. Cao Disappearance of Metal-Insulator Transition in $Pr_{0.5}Ca_{0.5}MnO_3$ under Pressure、26th International Conference on Low Temperature Physics、2011年8月15日、北京国際センター(中国)

⑭ 福村啓介、金丸勇氣、久保裕樹、梅原出、上床美也、松林和幸、辺土正人、木村憲彰、接待力生、大貫惇睦、 $CeTSi_3$ (T: Ir, Rh) の高圧磁場中熱容量測定の試み、日本物理学会 2010年秋季大会、2010年9月25日、大阪府立大学

⑮山田美穂, 三輪啓史, 梅原出, 上床美也, 松林和幸, 高野義彦, 水口佳一, Shixun Cao 「FeSe の高圧下での物性測定」、日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月 25 日、大阪府立大学

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

⑯三輪圭史, 山田美穂, 梅原出, 上床美也, 松林和幸, 高野義彦, 水口佳一, Shixun Cao、FeSeTe の高圧力下物性測定、日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月 25 日、大阪府立大学

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :

⑰近藤直也, 梅原出, 山中里奈, 上床美也, 松林和幸 「 RPt_4Ge_{12} (R=La, Pr, Nd) の超伝導の圧力効果」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学

⑱ K. Matsubayashi, N. Katayama, K. Ohgushi, A. Yamada, K. Munakata, M. Hedo, I. Umehara, T. Matsumoto, and Y. Uwatoko, High Pressure Phase Diagrams of Ternary Iron Arsenide Compounds AFe_2As_2 (A = Ba, Sr, Eu) under Highly Hydrostatic Conditions, the 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity, 2009. 9. 7-12, Tokyo

⑲ K. Matsubayashi, A. Yamada, K. Munakata, M. Hedo, I. Umehara, T. Matsumoto, Y. Uwatoko Ac Specific Heat Measurement under Pressure with with Cubic Anvil Apparatus, AIRAPT2009, 2009. 7. 26-31, Tokyo

⑳松林和幸、片山尚幸、大串研也、山田篤、宗像孝司、辺土正人、梅原出、松本武彦、上床美也、鉄系超伝導体の静水圧下における温度-圧力相図、日本物理学会、2009. 9. 26、熊本大学

〔図書〕 (計 1 件)

Review Article

Thermal and Electronic Properties of Rare Earth Compounds at High Pressure; Y. Uwatoko, I. Umehara, M. Ohashi, T. Nakano and G. Oomi, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth, 42 (2011) 1-164, 査読あり

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原 出 (UMEHARA IZURU)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号 : 90251769