

機関番号：82108
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20540362
 研究課題名(和文) 高圧力下で磁性・非磁性転移と超伝導を示す CeRhSi₃ の圧力下電子状態研究
 研究課題名(英文) Electronic states of CeRhSi₃ under high pressure

研究代表者
 寺嶋 太一 (TERASHIMA TAICHI)
 独立行政法人物質・材料研究機構・ナノスケール物質萌芽ラボ・主席研究員
 研究者番号：40343834

研究成果の概要(和文)：高圧力下で磁性・非磁性転移と超伝導を示す CeRhSi₃ について、ドハースファンアルフェン効果の測定による電子状態の研究を行い、常圧の反強磁性状態においても Ce4f 電子が遍歴状態にあることを明らかにした。また、高圧力下で鉄モーメントの磁性・非磁性転移を示す EuFe₂As₂ について、高圧力下でバルクの超伝導を発現することを明らかにし、その圧力相図、上部臨界磁場などを詳細に決定した。

研究成果の概要(英文)：We have performed de Haas-van Alphen oscillation measurements on CeRhSi₃ and have shown that Ce 4f electrons are itinerant even in the antiferromagnetic state at ambient pressure. We have also established that EuFe₂As₂ is an antiferromagnetic bulk superconductor under high pressure and have determined its high-pressure phase diagram and upper critical field of superconductivity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：固体物理

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：強相関係、f電子系、超伝導、高圧力

1. 研究開始当初の背景

セリウムやウランの重い電子系化合物の中には、常圧では磁気秩序を示すが、実験室レベルの高圧力を加えることにより非磁性にできるものがある。それらの化合物は、磁性と非磁性の境目となる圧力(量子相転移点)の近傍で、しばしば非フェルミ液体的振る舞いを示し、また超伝導が発現することもあり、近年盛んに研究されている。

ここでもっとも根本的な疑問は、電子状態が量子相転移でどのように変わるかである。大きく分けて二つのシナリオ、局在シナリオと遍歴シナリオがある(図1)。いずれか一

方が正しいのか、あるいは、物質により異なるのか、この問題は重い電子系の分野における近年の研究の焦点となっている。

2. 研究の目的

二つのシナリオは、原理的には dHvA 効果によりフェルミ面を観察することで実験的に区別できる。そこで、高圧力下での dHvA 測定を行うことにより、CeRhSi₃ の磁性・非磁性転移に伴う電子状態の変化が、いずれのシナリオに整合するか明らかにする。

また、類似の圧力誘起磁性・非磁性転移と超伝導転移を示す物質についても研究を行

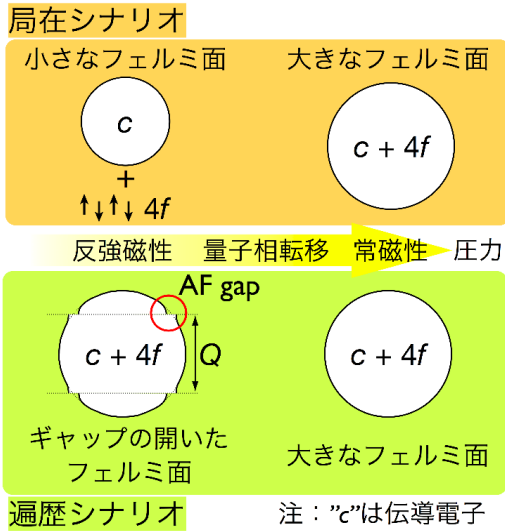


図1 二つのシナリオ

う。

3. 研究の方法

高品質単結晶を用いてドハースファンアルフェン (dHvA) 効果、電気抵抗、磁気抵抗、ホール効果等の測定を強磁場、超低温、高圧力まで行う。

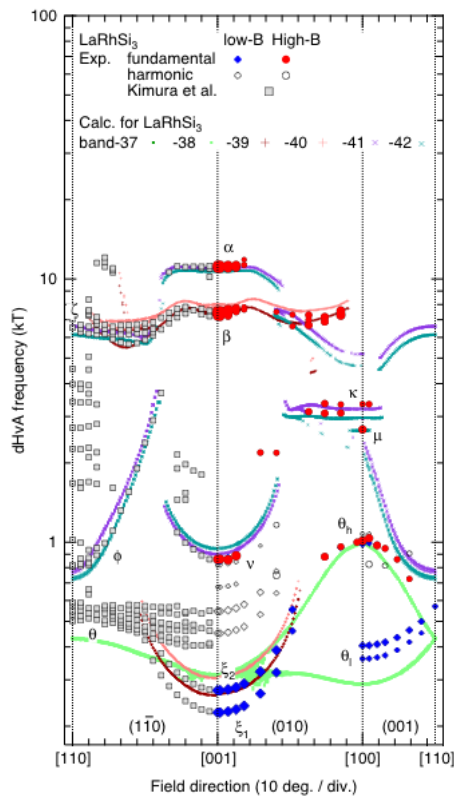


図2 LaRhSi₃ の dHvA 周波数

4. 研究成果

H 2 0 年度は CeRhSi₃ と Ce を f 電子を持たない La で置換した対照物質 LaRhSi₃ の角度分解ドハースファンアルフェン(dHvA)効果測定を行い、バンド計算の結果と併せて検討した。

LaRhSi₃ の dHvA 周波数はバンド計算により正確に説明される (図 2)。一方、CeRhSi₃ の dHvA 周波数は LaRhSi₃ の dHvA 周波数とは異なり、かつ、LaRhSi₃ には存在しない大きな dHvA 周波数があることが実験的に明らかになった (図 3)。このことより CeRhSi₃ では Ce-4f 電子が遍歴でフェルミ面に寄与していると考えられる。ただし、観測され dHvA 周波数は常磁性状態の CeRhSi₃ に対する通常の LDA 近似のバンド計算では余りよく説明できず、反強磁性秩序と強い電子間相関の影響を検討する必要がある。

H 2 1 年度は高圧下での CeRhSi₃ の a 軸方向の dHvA 測定を行い、すでに測定した c 軸方向の結果と併せて、Ce4f 遍歴シナリオと矛盾のない結果を得た。

また、2008 年に発見された鉄系超伝導体について、122 系と呼ばれる AFe₂As₂ (A = Ca, Sr, Ba, Eu) が重い電子系類似の圧力誘起超伝導を示すとの報告があったが、そのバルク性などがはっきりしていなかった。そこで、EuFe₂As₂ について高圧下での交流磁化率、電気抵抗測定を行い、約 26 kbar 付近でバル

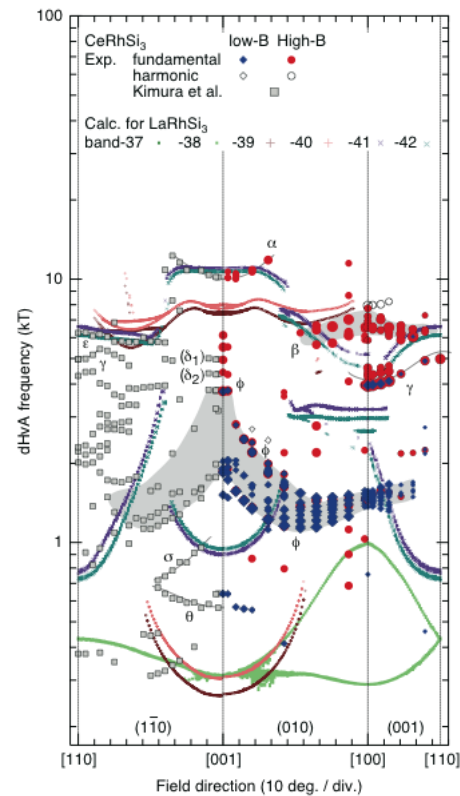


図3 CeRhSi₃ の dHvA 周波数

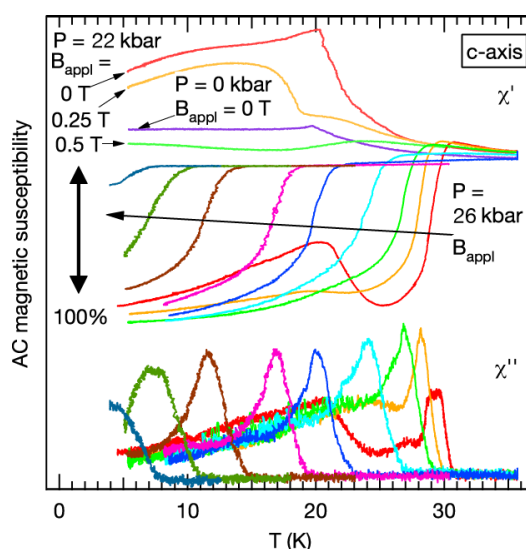


図4 EuFe₂As₂の交流磁化率

クの超伝導が出現すること、また、それがEuの反強磁性秩序と共存することを明らかにした(図4, 5)。

H22年度は、EuFe₂As₂について研究を継続し、圧力相図を詳細に決定し、圧力誘起超伝導が鉄モーメントの反強磁性秩序の消失する約25 kbarから約30 kbarの狭い圧力範囲でのみ現れることを明らかにした。さらに、超伝導最適圧力約25 kbarでの上部臨界磁場測定を行った。上部臨界磁場の特異な温度依存性について、Eu²⁺モーメントと伝導電子の間の交換相互作用を考慮したモデルを用いて解析し、強い交換磁場が働いていることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

- ① Nobuyuki Kurita, Motoi Kimata, Kota Kodama, Atsushi Harada, Megumi Tomita, Hiroyuki S. Suzuki, Takehiko Matsumoto, Keizo Murata, Shinya Uji, and Taichi Terashima, Upper critical field of the pressure-induced superconductor EuFe₂As₂, *Phys. Rev. B* **83**, 100501(R) (2011) [4 pages]. 査読有
- ② N Kurita, M Kimata, K Kodama, A Harada, M Tomita, H S Suzuki, T Matsumoto, K Murata, S Uji, and T Terashima, High-Pressure Electrical Resistivity Measurements of EuFe₂As₂ Single Crystals, *J. Phys.: Conf. Ser.* **273**, 012098 (2010) (5 pages). 査読有
- ③ Y Matsumoto, N Kimura, T Komatsubara, H Aoki, M Kimata, T Terashima and S Uji, Anomalous

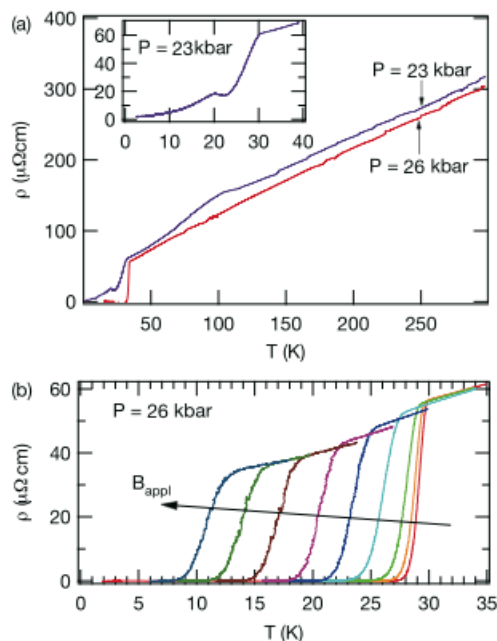


図5 EuFe₂As₂の電気抵抗

behavior of the dHvA oscillations in Ce_xLa_{1-x}Ru₂Si₂, *J. Phys.: Conf. Ser.* **200**, 012115 (2010) (4 pages). 査読有

- ④ Taichi Terashima, Hiroyuki S. Suzuki, Megumi Tomita, Motoi Kimata, Hidetaka Satsukawa, Atsushi Harada, Kaori Hazama, Takehiko Matsumoto, Keizo Murata and Shinya Uji, Pressure-induced antiferromagnetic bulk superconductor EuFe₂As₂, *Physica C* **470**, S443-S444 (2010). 査読有
- ⑤ N. Kimura, T. Sugawara, H. Aoki, and T. Terashima, Novel superconducting properties on noncentrosymmetric heavy fermion CeRhSi₃, *Physica C* **470**, S529-S532 (2010). 査読有
- ⑥ Taichi Terashima, Nobuyuki Kurita, Akiko Kikkawa, Hiroyuki S. Suzuki, Takehiko Matsumoto, Keizo Murata, and Shinya Uji, Magnetotransport Studies of EuFe₂As₂: The Influence of the Eu²⁺ Magnetic Moments, *J. Phys. Soc. Jpn.* **79**, 103706 (4 pages) (2010). 査読有
- ⑦ Tetsuya Sugawara, Noriaki Kimura, Haruyoshi Aoki, Florence Lévy, Ilya Sheikin, and Taichi Terashima, Anomalous Behavior of the Upper-Critical-Field in Heavy-Fermion Superconductor CeRhSi₃, *J. Phys. Soc. Jpn.* **79**, 063701 (4 pages) (2010). 査読有

- 有
- ⑧ Y. Matsumoto, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, T. Terashima and S. Uji, DHvA effect study on the metamagnetic transitions in $Ce_xLa_{1-x}Ru_2Si_2$, *J. Phys.: Conf. Ser.* **150**, 042006 (4pages) (2009). 査読有
- ⑨ Taichi Terashima, Motoi Kimata, Hidetaka Satsukawa, Atsushi Harada, Kaori Hazama, Shinya Uji, Hiroyuki S. Suzuki, Takehiko Matsumoto, and Keizo Murata, $EuFe_2As_2$ under High Pressure: An Antiferromagnetic Bulk Superconductor, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78**, 083701-1—083701-4 (2009); Erratum **78**, 118001-1 (2009). 査読有
- ⑩ T. Terashima, M. Kimata, S. Uji, T. Sugawara, N. Kimura, H. Aoki, and H. Harima, Fermi surface in $LaRhSi_3$ and $CeRhSi_3$, *Phys. Rev. B* **78**, 205107-1—205107-10 (2008). 査読有
- ⑪ M. Sugi, Y. Matsumoto, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, T. Terashima, and S. Uji, Fermi Surface Properties of $CeRu_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ in Magnetic Fields above the Metamagnetic Transitions, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 056401-1—056401-4 (2008). 査読有
- ⑫ Yuji Matsumoto, Motoki Sugi, Noriaki Kimura, Takemi Komatsubara, Haruyoshi Aoki, Isamu Satoh, Taichi Terashima, and Shinya Uji, Continuous Evolution of Fermi Surface Properties above Metamagnetic Transitions in $Ce_xLa_{1-x}Ru_2Si_2$, *J. Phys. Soc. Jpn.* **77**, 053703-1—053703-4 (2008). 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ① $CeRhSi_3$ の遍歴 4 f 電子, 寺嶋太一, 栗田伸之, 木俣基, 山口尚秀, 松本武彦, 宇治進也, 菅原徹也, 木村憲彰, 青木晴善, 播磨尚朝, ワークショップ～小さなフェルミ面と大きなフェルミ面～, 富山大学, 2010/05/10 - 2010/05/11
- ② Pressure-Induced Antiferromagnetic Bulk Superconductor $EuFe_2As_2$, Taichi Terashima, Hiroyuki Suzuki, Motoi Kimata, Hidetaka Satsukawa, Atsushi Harada, Kaori Hazama, Takehiko Matsumoto, Keizo Murata, and Shinya Uji, M2S-IX, Keio Plaza Hotel Tokyo, Tokyo, 2009/09/07 - 2009/09/12
- ③ $CeRhSi_3$ のフェルミ面, 寺嶋太一, 木俣基, 山口尚秀, 松本武彦, 宇治進也, 菅原徹也, 木村憲彰, 青木晴善, 播磨尚朝, 物性研短期研究会「重い電子系研究の新展開」, 東京大学物性研究所, 2008/07/23 - 2008/07/25

[その他]

<http://www.nims.go.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺嶋 太一 (TERASHIMA TAICHI)
独立行政法人物質・材料研究機構・ナノスケール物質萌芽ラボ・主席研究員
研究者番号：40343834

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし