

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 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740231

研究課題名（和文） 新型圧力セルを用いた高圧・低温量子状態の研究

研究課題名（英文） Study of Quantum state under high pressure and low temperature using new type of pressure cell

研究代表者

小手川 恒 (KOTEGAWA HISASHI)

神戸大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30372684

研究成果の概要（和文）：新型の高圧セルを用いて低温の量子状態の探索を行った。強磁性体 UGe_2 においては、圧力・磁場中で現れる量子臨界終点の位置をほぼ特定した。この量子臨界終点は近年注目されている新しいタイプの絶対零度における臨界点である。また、鉄系超伝導中のペロブスカイト型構造を持つ系において、その超伝導転移温度の圧力変化を系統的に調べた。

研究成果の概要（英文）：We looked for the quantum state at low temperature using new type of pressure cell. In ferromagnet UGe_2 , we specified the position of quantum critical endpoint which appears under high pressure and magnetic field. This quantum critical endpoint recently attracts attention as a new type of critical point at zero temperature. We also investigated the pressure variation of the transition temperature of perovskite-Fe-based superconductors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性Ⅱ

キーワード：高圧、低温

1. 研究開始当初の背景

本研究では圧力下に現れる強磁性体の量子臨界終点の探索、及び詳細な性質を調べた。1次相転移は外部パラメータの変化によりクロスオーバーへと変貌することがあるが、その境界は臨界終点と呼ばれ臨界揺らぎを伴う。いくつかの強磁性体は圧力印加などで2次相転移のキュリ点を減少させた場合、3重臨界点でキュリ点が1次相転移に切り替わる。高圧の常磁性状態で磁場を容易軸

方向に印加すると1次のメタ磁性転移（常磁性(PM)→強磁性(FM)転移)が出現するが、有限温度に1次転移の臨界終点が登場する。近年、この有限温度の臨界終点が高圧・高磁場において絶対零度に到達することが予想され注目を浴びている。この磁場中のPM-FM転移に関係したQCEPは自発的対称性の破れを伴わない新しいタイプの量子臨界点である。QCEPの研究において、実際にQCEPを示す物質が少ないことが大きな問題であっ

た。理論的にはPM-FM転移におけるフェルミ面のトポロジーの変化(リフシツ転移)が引き起こされている可能性が指摘されており、同様にQCEPを持つとされる $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ ではその近傍においてフェルミ面の不安定性に起因するネマティック相の出現が報告されるなど、このQCEPの統一的理解に対する実験的検証はまだ不完全である状況にあった。

また、鉄系超伝導体においてはペロブスカイト型構造を含む新物質が次々と発見されていたが、その超伝導機構や圧力効果などは不明であった。

2. 研究の目的

新しい量子状態の探索として UGe_2 を対象に新規の量子臨界終点の探索を行った。また、鉄系超伝導体が数多く発見されており、なかでも結晶構造に特徴のあるペロブスカイト型を選択し、その圧力効果を調べ、高い転移温度に必要な条件を探った。

3. 研究の方法

圧力下の電気抵抗測定、ホール効果測定を用いて低温における相図を作製した。 UGe_2 に対しては低温が必要なため希釈冷凍機を使用した。また、圧力印加にはインデント型圧力セルを用いた。

4. 研究成果

① UGe_2 における量子臨界終点

UGe_2 は超伝導を示す強磁性体であるが、最近、強磁性の量子臨界終点を持つ物質としても注目を集めている。図1はホール効果測定によって得られた温度-圧力-磁場の3次元相図である。[主な発表論文①] UGe_2 は常圧において52 Kに2次相転移のキュリー点を持つ強磁性体であるが、圧力印加により転移温度は減少し、3重臨界点(TCP)でキ

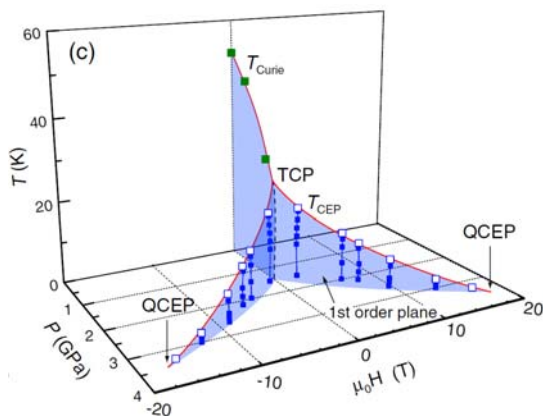


図1: UGe_2 の温度-圧力-磁場の3次元相図

ュリー点が2次相転移から1次相転移に変わる。さらに加圧すると約1.5 GPaで強磁性が消失するが、そこで磁場を容易軸方向に印加すると常磁性-強磁性のメタ磁性転移が出現する。このメタ磁性転移は低温では1次相転移であるが、高温ではクロスオーバーとなり、その境界に臨界終点(CEP)が存在する。図の赤線で示されるように圧力印加と共に臨界終点温度(T_{CEP})は減少し、約3.5 GPa, 18 Tにおいて絶対零度に到達し、量子臨界終点(QCEP)を迎える。図2に実際にインデント型圧力セルを用いて測定された、低温におけるホール抵抗 ρ_{xy} 、電気抵抗率における残留抵抗 ρ_0 、温度の2乗の係数Aの磁場依存性を示す。図中の破線は各圧力におけるメタ磁性転移の磁場を示しているが、メタ磁性転移と共にホール抵抗が大きく変化していることが分かる。これは転移に伴う磁化の変化とフェルミ面の変化を反映していると考えている。残留抵抗 ρ_0 も同様に階段状の異常が現れる。係数Aは低圧では1次相転移を反映して不連続な変化を示すが、加圧による T_{CEP} の減少に伴って高圧ではピーク構造を示唆している。以上のようにインデント型セルを用いたホール効果測定も比較的大きな試料空間を利用して高精度に測定することが可能である。

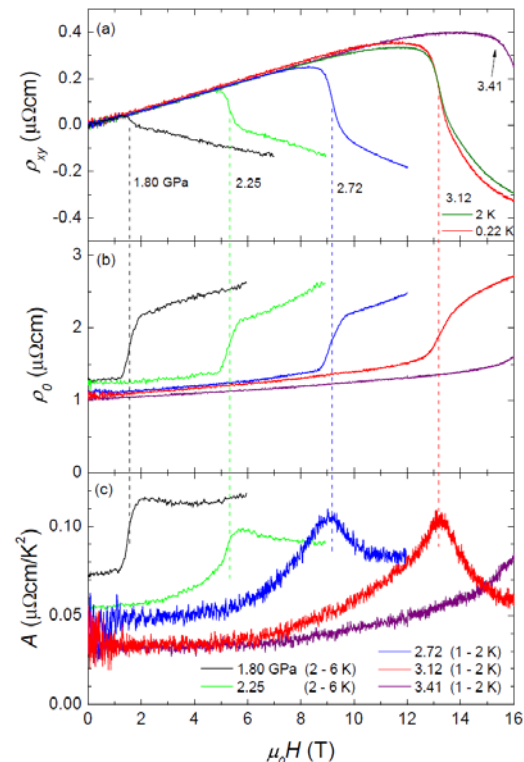


図2: UGe_2 のホール抵抗, 残留抵抗, 電子-電子散乱の強さを表わす係数Aの各圧力における磁場変化

UGe₂における量子臨界終点に関する研究は世界的にも先駆的な成果であり、成果を報告した論文は日本物理学会欧文誌の注目論文に選出された。

②ペロブスカイト型鉄系超伝導体の圧力効果

ペロブスカイト型鉄系超伝導体は図3に示されるように伝導を担うFeAs層の間にペロブスカイト型のブロック層を含む物質である。いくつかの化合物が報告されているが、最高の超伝導転移温度は47Kである。さらなる超伝導転移温度の上昇を期待して圧力下の電気抵抗測定をおこなった。

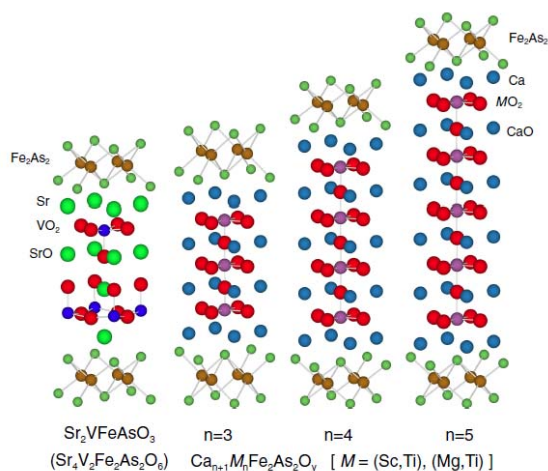


図3:ペロブスカイト型鉄系超伝導体の結晶構造

いくつかの物質の圧力効果を測定し、超伝導転移温度の違いを系統的に比較するために格子定数のa軸長を用いると整理できることを明らかにした。図4は常圧での転移温度、及び圧力下における変化とa軸長の関係を示す図である。常圧 (ambient pressure) においてはa軸長が短いほど超伝導転移温度 (T_c) が低いという傾向が得られる。例えばa軸長が長く、常圧のT_cが低いSr₂VFeAsO₃では圧力下で約10Kの転移温度の上昇が得られたが、最高到達の転移温度は46Kに留まった。また、常圧でa軸長が短く既に47Kの転移温度を持つ物質に対しては転移温度が状あ称しないことが分かった。このことからa軸長の長さが超伝導転移温度の高さを決める重要なパラメータとなっていることを明らかにした。

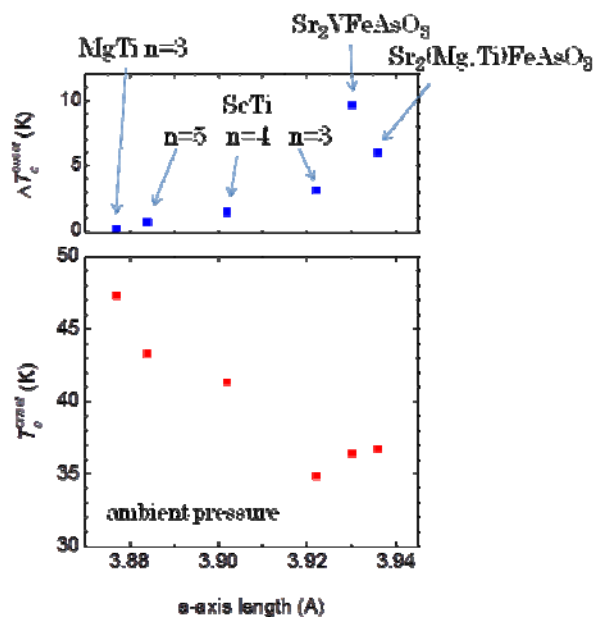


図4:ペロブスカイト型鉄系超伝導体の転移温度、及び圧力下の変化とa軸長の関係

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)

①H. Kotegawa et al., Pressure Dependence of Superconducting Transition Temperature on Perovskite-Type Fe-Based Superconductors and NMR Study of Sr₂VFeAsO₃, Journal of the Physical Society of Japan **78**, (2011) 014712. 査読有

②H. Kotegawa et al., Evolution toward Quantum Critical End Point in UGe₂, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, (2011) 083703. 査読有

③H. Nohara, H. Kotegawa et al., Strong Longitudinal Magnetic Fluctuations near Critical End Point in UCoAl: A ⁵⁹Co-NMR Study, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, (2011) 093707. 査読有

④H. Kotegawa et al., Pressure-Induced Structural Phase Transitions in UIr, Phys. Rev. B **84**, (2011) 054524 査読有.

[学会発表] (計 5件)

⑤野原弘貴、小手川恒、他、量子臨界終点をもつUCoAlの圧力下NMR測定, 日本物理学会, 2012年3月, 関西学院大学

④野原弘貴、小手川恒、他、UCoAlのメタ磁

性転移近傍における NMR 測定, 日本物理学会,
2011 年 9 月, 富山大学

①野原弘貴、小手川恒、他, UCoAl のメタ磁
性転移近傍における NMR 測定, 日本物理学会,
2011 年 3 月, 新潟大学

②富田佑介, 田尾幸樹, 小手川恒, 他, ペロ
ブスカイト層を含む鉄系超伝導体の高圧電
気抵抗測定と NMR 測定 II, 日本物理学会 2011
年 3 月, 新潟大学

③小手川恒, 他, UGe₂ の量子臨界終点: 圧力
下ホール効果測定, 日本物理学会 2011 年 3
月, 新潟大学

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小手川 恒 (KOTEGAWA HISASHI)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 30372684