

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19740196
 研究課題名(和文) ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压・極低温磁化測定装置の開発と応用
 研究課題名(英文) Development of magnetization measurement under high pressure and very low temperature using diamond-anvil pressure cell
 研究代表者
 田山 孝 (TAYAMA TAKASHI)
 富山大学・大学院理工学研究部・准教授
 研究者番号：20334344

研究成果の概要：

本研究の目的は、1.5 GPa 以上の高圧力を低温で発生でき、キャパシタンス式ファラデー法極低温磁化測定装置で用いることができる小型のクランプ式圧力容器の開発とその強相関電子系への応用である。そこで NiCrAl 製ピストン・シリンダー型圧力容器、インデンター型圧力容器とダイヤモンドアンビルセルの 3 種類の圧力容器の開発を試み、MPMS (Quantum Design 社製) の磁化測定装置を用いた性能テストを行った。その結果、NiCrAl 製ピストン・シリンダー型圧力容器では液体ヘリウム温度での目標圧力だった約 2GPa を発生でき、インデンター型圧力容器では 3GPa に近い圧力を発生できた。これによって 1.5GPa 以上の高圧力下での極低温磁化測定に目処が立った。しかしながら、ダイヤモンドアンビルセルについてはキャパシタンス式ファラデー法磁化測定法に必要な試料空間を確保して設計することができず、ダイヤモンドアンビルセルを用いた磁化測定装置の開発は残念ながら今後の課題として残った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	0	1,900,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

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：強相関電子系，磁化測定，圧力，極低温

1. 研究開始当初の背景

重い電子系や遷移金属酸化物などの強相関電子系は、低温・高磁場の環境下で異方的超伝導、四極子転移、重い電子系の挙動、非フェルミ液体的振舞、金属絶縁体転移などの興味深い現象を示す。外部パラメーターである圧力はそれらの現象を不純物や格子の乱れを導入せず制御することができる。そのた

め、低温・高磁場・高圧を組み合わせた多重極限下の物性測定は強相関電子系の基底状態の研究において有効であり、電気抵抗、磁化、比熱、ドハース・ファンアルフェン効果、NMR など様々な測定が行われている。その中でも磁化測定は相転移の情報だけでなく、絶対値や温度・磁場依存性から電子状態に関する定量的な情報も得ることができるため、

磁性研究において最も基本的でかつ不可欠な測定となっている。

我々は希釈冷凍機とキャパシタンス式磁力計を用いたファラデー法による磁化測定装置を10年ほど前に開発し、常圧での極低温磁化測定を行っている。また3年ほど前から小型のピストンシリンダー圧力セルを用いて、最高圧力1.5 GPa、最低温度0.06 K、最大磁場15 Tでの高感度な磁化測定を行っている。しかしながら、比熱や電気抵抗といった他の基礎的な物理量では、希釈冷凍機温度でもダイヤモンドアンビルセルを用いて10 GPa以上の高い圧力での実験が行われるようになってきている。そのため、磁化測定においても同程度の圧力での極低温実験の重要性が高まってきている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1.5 GPa以上の高圧力を発生でき、またキャパシタンス式ファラデー法極低温磁化測定装置で用いることができる小型のクランプ式圧力容器の開発とその強相関電子系への応用である。

3. 研究の方法

われわれが用いる圧力下磁化測定の方法はキャパシタンス式ファラデー法で、試料が入った圧力容器ごと磁化を測定し、あとから圧力容器の磁化を差し引き、試料の磁化を求める方法である。そのため精度の高い実験を行うためには、圧力容器の磁化をできる限り小さくし、試料空間を広くとることが重要となる。そのことを考慮して、NiCrAl合金を用いた小型のピストンシリンダー圧力セルとインデンターセル、ダイヤモンドアンビルセルの開発を行い、これらの圧力セルと既存のキャパシタンス式ファラデー法磁化測定装置を組み合わせ、高圧力下での極低温磁化測定を行った。

4. 研究成果

まず最初にNiCrAl製ピストン・シリンダー型圧力容器とインデンター型圧力容器を製作した。それぞれの圧力容器は、液体ヘリウム温度での目標最大圧力を2 GPaと4 GPaに設定して設計を行った。

次にNiCrAl製ピストン・シリンダー型圧力セルとインデンターセルの性能テストをMPMS (Quantum Design社製)の磁化測定装置を用いて行った。その結果、NiCrAl製ピストン・シリンダー型圧力セルでは2 GPa弱の圧力を、インデンターセルでは3 GPa近い圧力を低温で発生することができることがわか

った。これによってキャパシタンス式ファラデー法による磁化測定の利用に目処が立った。

一方、ダイヤモンドアンビルセルについてはキャパシタンス式ファラデー法磁化測定法に必要な試料空間を確保することが難しく、残念ながらダイヤモンドアンビルセルの開発は今後の課題として残された。

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20件)

“Scalar Order in $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ Studied by Thermal Expansion and Magnetostriction” (査読有)
T. Tayama, Y. Isobe, T. Sakakibara, H. Sugawara, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 044708-1-9.

“Magnetization “Steps” on a Kagome Lattice in Volborthite ” (査読有)
H. Yoshida, Y. Okamoto, T. Tayama, T. Sakakibara, M. Tokunaga, A. Matsuo, Y. Narumi, K. Kindo, M. Yoshida, M. Takigawa and Z. Hiroi: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 043704.-1-4

“Superconductivity and quantum criticality in the heavy-fermion system $\beta\text{-YbAlB}_4$ ” (査読有)
S. Nakatsuji, K. Kuga, Y. Machida, T. Tayama, T. Sakakibara, Y. Karaki, H. Ishimoto, S. Yonezawa, Y. Maeno, E. Pearson, G. G. Lonzarich, L. Balicas, H. Lee, and Z. Fisk: Nature Physics **4** (2008) 603-607.

“Magneto-transport study on quasi 1-D magnet of $\text{Ca-3}(\text{Co}_{1-x}\text{Mx})_2\text{O-6}$ ($\text{M: Ni, Fe, V, Ti; } x <= 0.1$)” (査読有)
J. Luo, M. Aida, K. Yamada, Z. Honda, T. Sakakibara, T. Tayama, I.J. Ohsugi: J. Opt. Adv. Mater. **10** (2008) 1032-1037.

“Probing the nodal structures of heavy electron superconductors by means of specific heat measurements in magnetic fields” (査読有)
T. Sakakibara, J. Custers, K. Yano, A. Yamada, T. Tayama, Y. Aoki, H. Sato, H. Sugawara, H. Amitsuka, and M. Yokoyama: Physica B **403** (2008) 990-993.

“Field-angle-dependent specific heat measurements and gap determination of a heavy fermion superconductor URu_2Si_2 ” (査読有)
K. Yano, T. Sakakibara, T. Tayama, M. Yokoyama, H. Amitsuka, Y. Homma, P. Miranovic, M. Ichioka, Y. Tsutsumi, and

K. Machida: Phys. Rev. Lett. **100** (2008) 017004-1-4.

“Magnetic Phase Diagram of $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{P}_{12}$ ” (査読有)

T. Tayama, Y. Isobe, T. Sakakibara, H. Sugawara, Y. Aoki, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. A **77** Suppl. A (2008) 78-83.

“Magnetic Correlation in the Ordered Phase of $\text{CeOs}_4\text{Sb}_{12}$ ” (査読有)

K. Iwasa, S. Itohe, C. Yang, Y. Murakami, M. Kohgi, K. Kuwahara, H. Sugawara, H. Sato, N. Aso, T. Tayama, and T. Sakakibara: J. Phys. Soc. Jpn. A **77** Suppl. A (2008) 318-320.

“Multipole phenomena and superconductivity in Pr-based filled skutterudites” (査読有)

T. Sakakibara, K. Yano, H. Sato, T. Tayama, J. Custers, H. Sugawara, Y. Aoki, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. A **77** (2008) 180-186.

“Effect of La impurities on the phase transitions in $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ ” (査読有)

T. Tayama, Y. Isobe, T. Sakakibara, H. Sugawara, Y. Aoki, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. **76**, (2007) 083702-1-4.

“Antiferroquadrupolar ordering and anisotropic magnetic phase diagram of dysprosium palladium bronze, DyPd_3S_4 ” (査読有)

E. Matsuoka, T. Tayama, T. Sakakibara, Z. Hiroi, N. Shirakawa, N. Takeda, and M. Ishikawa: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 084717-1-7.

“Low temperature magnetization of $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ under pressure” (査読有)

T. Tayama, T. Sakakibara, H. Sugawara, and H. Sato: J. Mag. Mag. Mater. **310** (2007) 274-276.

“The superconducting gap structure of $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ and CeRu_2 probed by $C(\text{H}, \dots)$ ” (査読有)

J. Custers, A. Yamada, T. Tayama, T. Sakakibara, H. Sugawara, Y. Aoki, H. Sato, Y. Onuki, K. Machida: J. Mag. Mag. Mater. **310** (2007) 700-702.

“Anomalous hall effect of the frustrated Kondo lattice $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ ” (査読有)

Y. Machida, S. Nakatsuji, Y. Maeno, T. Tayama, and T. Sakakibara: J. Mag. Mag. Mater. **310** (2007) 1079-1081.

“Angle-resolved magnetization study of the multipole ordering in $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ ” (査読有)

H. Sato, T. Sakakibara, T. Tayama, T. Onimaru, H. Sugawara, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. **76**

(2007) 064701-1-7.

“Nodal structures of heavy fermion superconductors probed by the specific-heat measurements in magnetic fields” (査読有)

T. Sakakibara, A. Yamada, J. Custers, K. Yano, T. Tayama, H. Aoki, and K. Machida: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 051004-1-11.

“The unconventional superconductivity of skutterudite $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$: time-reversal symmetry breaking and adjacent field-induced quadrupole ordering” (査読有)

Y. Aoki, T. Tayama, T. Sakakibara, K. Kuwahara, K. Iwasa, M. Kohgi, W. Higemoto, D. E. MacLaughlin, H. Sugawara, and H. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 051006-1-13.

“Observation of a novel phase transition induced by a magnetic field in the phrochlore spin ice compound” (査読有)

K. Matsuhira, H. Sato, T. Tayama, Z. Hiroi, S. Takagi, and T. Sakakibara: J. Phys.-Cond. Matt. **19** (2007) 145269.

“Field-angle dependence of the ice-rule breaking spin-flip transition in $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ” (査読有)

H. Sato, K. Matsuhira, T. Sakakibara, T. Tayama, Z. Hiroi, and S. Takagi: J. Phys.-Cond. Matt. **19** (2007) 145242.

“Unconventional anomalous Hall effect enhanced by a noncoplanar spin texture in the frustrated Kondo lattice $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ ” (査読有)

Y. Machida, S. Nakatsuji, Y. Maeno, T. Tayama, T. Sakakibara, and S. Onoda: Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 057203-1-4.

〔国際会議での口頭発表〕(計1件)

T. Tayama (Invited)

“Magnetic Phase Diagram of $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{P}_{12}$ ”

International Conference on New Quantum Phenomena in Skutterudite and Related Systems Kobe, September 27-30, (2007).

〔学会発表〕(計19件)

桜庭孝明, “ $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の磁気相図と低温磁性”, 日本物理学会第64回年次大会(立教大学池袋キャンパス)2009年3月27日~30日

吉田絃行, “ $S=1/2$ 擬カゴメ格子反強磁性体 $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の磁化ステップ”, 日本物理学会第64回年次大会(立教大学池袋キャンパス)2009年3月27日~30日

東中隆二, “パイロクロア酸化物 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ に

おける量子スピンアイス状態”, 日本物理学会第 64 回年次大会 (立教大学 池袋キャンパス) 2009 年 3 月 27 日 ~ 30 日

田山孝, “ $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ の熱膨張の磁場角度依存性”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

三田村裕幸, “ $\text{Ce}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$ の極低温磁化”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

志村恭通, “ $\text{Pr}(\text{CuGa})_{13}$ の低温磁化”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

桜庭孝明, “ $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の磁気相図”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

松平和之, “金属絶縁体転移を示すパイロクロア型イリジウム酸化物 $\text{Ln}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ の低温磁性と圧力効果”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

吉田紘行, “ $S=1/2$ 疑カゴメ格子磁性体 $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の基底状態における磁場誘起相転移”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

東中隆二, “パイロクロア酸化物 $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ における量子スピンアイス状態の探索”, 日本物理学会秋季大会 (岩手大学, 上田キャンパス) 2008 年 9 月 20 日 ~ 23 日

田山孝, 若手奨励賞受賞講演 “極低温磁化測定による強相関 f 電子系の研究”, 日本物理学会第 63 回年次大会 (近畿大学本部キャンパス) 2008 年 3 月 22 日 ~ 26 日

桜庭孝明, “ $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の極低温磁化測定”, 日本物理学会第 63 回年次大会 (近畿大学本部キャンパス) 2008 年 3 月 22 日 ~ 26 日

町田洋, “パイロクロア金属磁性体 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ のスピン凍結と異常ホール効果”, 日本物理学会第 63 回年次大会 (近畿大学本部キャンパス) 2008 年 3 月 22 日 ~ 26 日

中辻知, “重い電子系 YbAlB_4 における低温磁場中の伝導及び磁気特性”, 日本物理学会第 63 回年次大会 (近畿大学本部キャンパス)

2008 年 3 月 22 日 ~ 26 日

桜庭孝明, “ CeCoIn_5 の角度分解磁化測定”, 日本物理学会第 62 回年次大会 (北海道大学 札幌キャンパス) 2007 年 9 月 21 日 ~ 24 日

矢野和弘, “ $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ 常伝導相における比熱の磁場方向依存性”, 日本物理学会第 62 回年次大会 (北海道大学 札幌キャンパス) 2007 年 9 月 21 日 ~ 24 日

磯部雄太, “高感度熱膨張測定による $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ の秩序状態の研究”, 日本物理学会第 62 回年次大会 (北海道大学 札幌キャンパス) 2007 年 9 月 21 日 ~ 24 日

町田洋, “ $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ の極低温・高磁場下におけるホール効果”, 日本物理学会第 62 回年次大会 (北海道大学 札幌キャンパス) 2007 年 9 月 21 日 ~ 24 日

大串研也, “パイロクロア型酸化物 $\text{A}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ ($\text{A} = \text{Ca}, \text{Cd}, \text{Pb}$) における極性金属状態”, 日本物理学会第 62 回年次大会 (北海道大学 札幌キャンパス) 2007 年 9 月 21 日 ~ 24 日

〔その他〕
日本物理学会若手奨励賞 (2008)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田山 孝 (TAYAMA TAKASHI)
富山大学・大学院理工学研究部・准教授
研究者番号: 20334344

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし