

希土類元素の多極子自由度を利用したナノデバイスの開発

研究代表者 理工学研究部 (理学) 石川 義和

(1) プロジェクトの背景・目的

希土類金属を含む強相関電子系物質は、フェルミ面近傍に状態密度の高い状態が形成されることが一つの大きな特徴である。また、最近では、希土類元素の4f電子に由来する磁気的双極子だけでなく、電氣的4重極子や8重極子の発現が原因と思われる特異な性質が注目され、これによるエントロピーの増大、新しい相転移の出現等の特異な性質を利用した熱・電気ナノデバイスの可能性が指摘されている

我々は、このような新しいナノデバイスの、特に、磁場との相乗効果を持つ新規デバイスの低温・強磁場等の極端条件下での物性解明と、新素材の創製・試作・加工および評価を行い、特許化、起業化につなげていくことが目標である。

(2) 研究成果

[PrPd₃の電子スピンを利用した磁気断熱消磁による極低温生成技術の開発]

希土類金属の電子の磁気スピンエントロピーを利用して、極低温である絶対温度1K近傍での極低温を生成する技術を構築した。希土類金属等を含む新たな化合物デバイスを製作し、電子スピンの磁気断熱消磁により極低温を生成する。ヘリウム3元素を利用した冷却技術は既に確立されているが、我々の冷却技術は、人工元素であるヘリウム3元素を必要としない方法であること、デバイスは線材やバルク材への加工が容易なこと等、応用が期待できる。

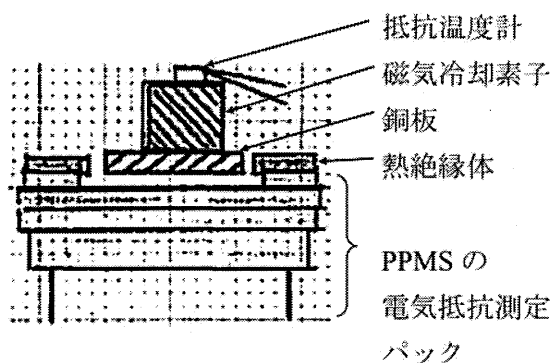


図1. PPMSの電気抵抗測定パックと、PPMSのヘリウム4と8テスラを利用した1K以下の低温生成のための構成図。銅板と熱絶縁体とは絹糸で連結される。

本研究においては、所定の成分配合になるように原料を溶解し素形材を得る。希土類金属プラセオジウム(Pr)と金属パラジウム(Pd)を原料として、真空中にてアーク炉で溶解することにより当物質を製作する。その化学式はPrPd₃のように表される。得られた物質をX線粉末回折装置により回折パターンを測定し、正方晶AuCu₃型の結晶構造を有していることを確認した。次に、この素材を磁気冷却素子として6mm x 6mm x 6mmのサイコロ状に成形する。低温を生成するためには熱接触が重要であり、この素子を0.1mmの厚さの銅のシートで覆い、

銅シートに抵抗温度計をアピエゾングリースで接着する。磁気冷却をするために必要な 2 K の温度と、8 テスラの磁場の生成にはカンタムデザイン製の PPMS (物理的性質測定システム) を利用した。磁気冷却素子は PPMS の電気抵抗測定パックを用いて図 2 に示すような構成にする。図 1 は、断熱を確保するために電気抵抗測定パックの上に熱絶縁体を置き、それに厚さ 2 mm の銅板を絹糸で固定する。この銅板に、PrPd₃ と銅シートと抵抗温度計で構成された磁気冷却素子をアピエゾングリースで固定する。この電気抵抗測定パックを PPMS により 2 K に冷却する。次に磁場をゼロから 8 テスラに上昇させる。そののち断熱状態にするために、10⁻⁴Torr 程度の高真空にする。この間、抵抗温度計により、温度が 2 K から大きく上昇しないことを確認する。その後、温度を計測しながら、磁場をゼロに下降させる。この過程を図 2 に示す。最低温度 0.9 K が生成されていることが確認できる。0.9 K から 1.0 K まで上昇する時間は約 10 分である。

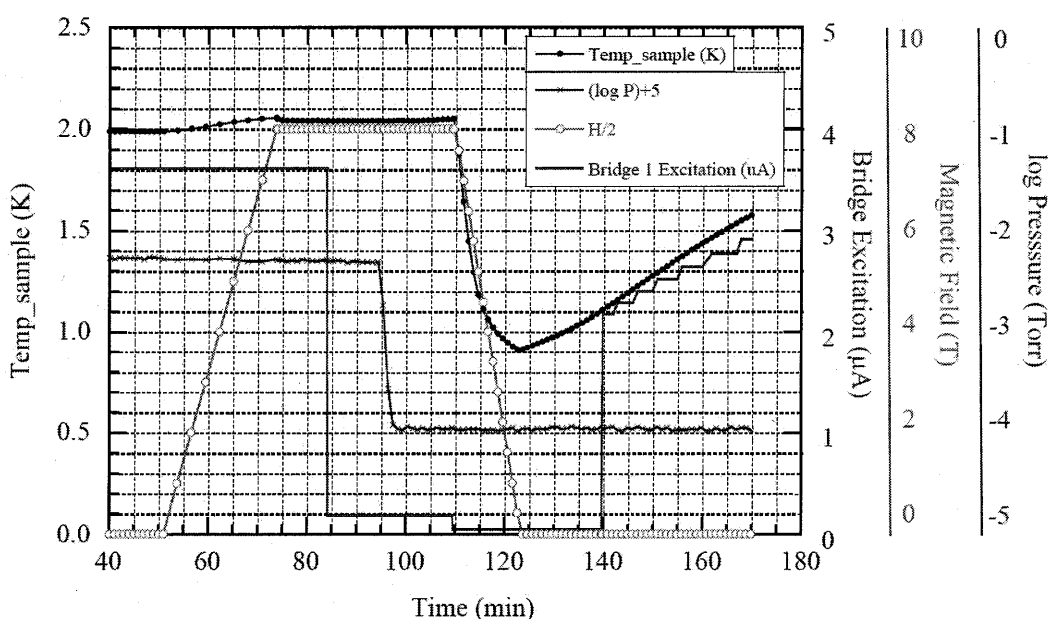


図 2. 磁気冷却素子 PrPd₃ の温度 (黒点)、磁場 (赤丸)、真空度の対数 (緑×)、抵抗温度計の励起電流 (青線) の時間変化。最低温度の 0.9 K が得られる。

[論文発表] 発表された研究論文を以下に示す。(VBL Annual Report 2008 で報告分を除く)

1. Simultaneously optimizing the interdependent thermoelectric parameters in Ce(Ni_{1-x}Cu_x)₂Al₃, P. Sun, T. Ikeno, T. Mizushima, and Y. Isikawa
Phys. Rev. B 80 (2009) 193105 (4pages).
2. Heavy-electron-like behavior in cubic PrCu₄Au, Shuai Zhang, Toshio Mizushima, Tomohiko Kuwai and Yosikazu Isikawa,
J. Phys.: Condens. Matter 21 (2009) 205601 (6pp).

3. Field induced magnetic structures in TbNiSb, K. Prokes, K. Katsumata, S. Shapiro, and Y. Isikawa, J. Phys.: Conf. Series. (2010) in press.
(Int. Conf. on Neutron Scattering 2009, Knoxville, Tennessee, USA, 5/3-7, 2009)
4. Thermoelectric power of PrMg₃, Y. Isikawa, K. Somiya, H. Koyanagi, T. Mizushima, T. Kuwai, and T. Tayama, J. Phys.: Conf. Series. (2010) in press.
(ICM2009, Karlsruhe, Germany, 7/26-31, 2009)
5. Magnetic Ordering and Properties in Heavy Fermion (Ce_{1-x}Gd_x)Ni (X=0.15, 0.20) Single Crystals, K. Yano, Y. Tajiri, K. Nishimura, T. Ohta, Y. Isikawa, and K. Sato
J. Phys.: Conf. Series. (2010) in press. (ICM2009, Karlsruhe, Germany, 7/26-31, 2009)

(3) プロジェクト成果（特許，起業，技術移転等）

[特許出願] 前述の研究成果は発明委員会に提案され、2009年11月18日（水）開催の富山大学五福キャンパス発明審査会において審査された。審査の結果、職務発明と認定され、特許を受ける権利を承継された。当研究成果は特許出願されることになった。

(4) プロジェクト成果の応用・効果・構想

[シーズ発掘試験研究]

本研究成果は、独立行政法人科学技術振興機構が募集する「地域イノベーション創出総合支援事業 重点地域研究開発推進プログラム 平成21年度シーズ発掘試験」に申請され得られた研究成果であり、富山大学VBLを拠点にして、特にVBL設置のPPMS装置とX線回折装置を使用して得られた研究成果である。その成果は、特許につながる第一歩であり、今後、希土類金属を含む新しい試験材料を開発し、世界で通用する発明として発展させていくことができる。

(5) 利用施設

- 極限環境先進材料評価システム： 利用内容は極低温、強磁場下での電氣的・磁氣的・熱的材料評価。測定の温度範囲は絶対温度0.5 Kから300 K。測定磁場は8テスラまで。利用頻度は約14日/月
- 高出力・高分解能X線回折システム： 粉末回折総合解析装置部、利用内容はCu-Kα X線粉末回折による構造解析、または、単結晶試料による結晶方位の決定。利用頻度は約5日/月