

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654122

研究課題名(和文) マイクロチップを用いた多重極限条件下熱測定開発

研究課題名(英文) Development of micro-chip thermodynamic measurement with multiple external conditions

研究代表者

中澤 康浩 (Nakazawa, Yasuhiro)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60222163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、微細加工した比熱・熱容量測定用マイクロチップを用いて外的な環境制御下での交流熱測定を行うことを目指した開発研究を行った。チップカロリメーターの極微性、温度レスポンスの速さ、高い検出感度を生かし1.0 μg オーダーまでの分子性化合物の極微単結晶の熱力学的な測定を行うとともに、低温、強磁場が組み合わさった外的環境制御下での測定による分子性超伝導体、磁性体の物性研究を行った。同時に、圧力制御下での測定についても進めた。

研究成果の概要(英文)：The construction of ac heat capacity measurement system using micro-fabrication thermal devices was performed with an aim to obtain thermodynamic information using extremely small single crystal samples of molecule-based compounds. We used commercially available chip devices of TCG3880 and XEN-39390 series which have much smaller sensing parts as compared with former one. We detected the glass transition related to the ethylene conformation in a charge transfer complex of κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br, where BEDT-TTF is bisethylenedithiotetrathiafulvalene. The heat capacity measurements under strong magnetic fields especially with in-plane magnetic fields were attained. The utilization of the chip devices under gas pressure control was also tried in the project.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性

キーワード：チップカロリメーター 微小単結晶 分子性化合物 磁場中熱測定 圧力下熱測定

1. 研究開始当初の背景

本研究は、微細加工した比熱・熱容量測定用マイクロチップを使い外的な環境制御下での熱測定を行うことを目指した開発研究である。

熱的な測定は、物質の物性変化、機能変化を追跡するにあたり、原子や分子のもつ分子運動や、量子的自由度がどのように相関をもちながら集団機能を形成していくかを反映する情報を与えてくれる。各物質の個性をエネルギーとエントロピーの両側面から捕らえ、分子や原子の集合体として切り口を定量的な指標で提供する数少ない手法である。物質開発、物性解明の両側面から熱測定は必須な手法である。しかしながら、熱容量の測定のように温度の計測から物理量を決定する手法は、温度計測感度、周囲との熱のやりとりなど高い精度で測定を行うための困難さから汎用化が難しく、どちらかという大量試料を用いて標準量を決定するための手法という考え方が強く、外部極限環境を制御した機能性探求のための測定、少量試料での評価、局所測定などが最も困難な方向であると思われる。

一方で、分子性のラジカル塩や金属錯体は微小、脆弱結晶しかとれないことが多く、また多形が存在するため大量合成が困難な物質群である。室温プロセスにより溶液からの析出で結晶がとれるため、格子欠陥などが少なく良質であり、また構成分子の機能を反映して磁場、圧力などの外的環境の制御によって多彩な物性変化を示し、環境制御下での固体物性の多角的な議論が求められる興味深い研究対象である。また希土類や遷移金属を含む多核錯体単分子磁石や有機ラジカル分子からなる磁性体など、合成は困難であるが無機金属間化合物には無い新しい磁気現象も議論される。このような大きな試料の合成が困難な分子性物質の熱測定を極微結晶1個で行うことができれば固体物性理解のための情報量が大幅に増え、分野全体の進展に大きな意味をもつと思われる。このため、微量試料による測定が求められている状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、極微結晶に対して半導体の微細加工によって得られたマイクロチップ(TCGシリーズ)をカロリメーターとして用い極限環境下の測定を行うことを提案した。チップカロリメーターの熱測定におけるメリットは(1)SiNの極薄基板を用いているためバックグラウンド熱容量が小さく微小試料の測定が可能なこと、(2)センサー部ヒーター部の距離が近く加熱による温度変化のレスポンスが極めて早い点、(3)通常の方法、緩和法などと異なり試料ステージを吊り下げるのではなく平面性良く固定できることがあげられる。これらの利点を生かし、従来型の熱測定では困難が伴う極限環境下での測定に展開をはかり新しい実験が可能となるような基盤技術を確認することを目指した。定

常磁場、さらには磁場掃引を行いながらの測定を、 $\pm 1^\circ$ 以内に方向制御した条件下での熱測定を行うとともに、スプリット型磁石による2次元層状構造をもつ試料に対する面平行磁場を印加しながら面内異方性を調べる実験などを可能にすることを目指した。また、こうした測定を出来る限り極微結晶に対しても、広い温度領域で実現することも展開した。試料部のヒーターと温度計の距離が近いチップを用いることで温度変化のレスポンスを良くし μg オーダーの試料での測定を実現する。さらに、基板のセンサー部と試料のより良い熱的接触を確保することで熱的なレスポンスを通常の方法よりも極端に良くし、オイル、気体などの圧力媒体の存在下での圧力下での交流熱容量測定へも展開をはかる。同時に低温、磁場下、圧力下、それらを組み合わせた多重極限下での測定が可能となるような開発を進めていくことを目的とし、3年間で計画実現を目指した。

3. 研究の方法

研究全体は、チップカロリメーターの性能評価とその信号制御、計測系の充実、外部環境制御下での測定技術の開拓などを以下の(1)-(5)にわけて段階的に進めた。

(1)マイクロチップの性能評価

Xensor社の最新のマイクロ熱測定チップTCG3880シリーズとそのより微小化した形態のXEN-39390シリーズの基礎特性の評価を行うことを進めた。これまで申請者のグループではTCG3880を中心に測定系の開発を行ってきた。感度や温度分解能、極低温での物性評価を生かしながら各種物質の物性評価につなげる研究が進行しておりその進展をはかるとともに同じ技術を用いてより小型のチップの有用性を評価した。XEN-39390シリーズはTCG3880と比較してセンサー部がより微小化され熱電対とチップ抵抗がより近い位置にあるため高い熱的な応答が期待できる。室温でのスペックでは、約30-77k Ω の十分に大きな抵抗値と、2mV/K程度のsensitivityがある(Xensor社HP <http://www.xensor.nl>)ことが分かっており交流加熱による熱測定に十分利用が可能であり、室温から低温領域、特に超伝導に関係した測定を行う1K付近までの特性評価と、強度、温度履歴等の基礎データを取ることを進めた。加熱に関する試料部位の熱応答の時間的な変化については、数Hzから1kHz程度までの変調加熱に関する周波数応答の速さを熱分布の過度特性などを評価して調べ考察した。センサーのsensitivity、抵抗の温度変化なども詳細に調べ、熱容量値の較正も試みた。

(2)微小試料の熱容量検出系の整備

上記(1)と並行して、熱容量測定のための信号検出系の構築を進めた。チップによる熱測定は、周期変動するON/OFF電流をヒーター部に印加しLock-inアンプを用いて信号を検出する交流法によって行うことを

選択した。温度変調の周波数は 10-500 Hz 程度とし、この周期加熱に対する試料温度の変化を詳しく解析し熱系をモデル化し、シミュレーションも進めながら議論をおこなった。低温領域になると熱電対信号が小さくなり電気的なノイズレベルに埋もれてくるため、信号をとりだすための多段階のフィルター回路と信号の DC アンプによる増幅ユニットを作成し微小信号の検出をすすめることを目指した。また、通常の汎用温度制御装置では、ヒーター加熱によって生じる大きな電流が信号ラインに誘電起電力として影響を与えるため、高精度の定電流電源をつかって電流を一定の割合でゆっくりと増加させながら制御する方法の開発も計画した。

(3) 強磁場下での実験

上記のチップと測定検出系を用いて磁場下での実験を進めた。チップを搭載するクライオスタットは現有の ^3He 型システムであり、これによってチップを用いても約 1 K 程度から測定が可能である。実験は 15 T までは大阪大学で現有している超伝導磁石を用いて強磁場下での測定系を構築した。またスプリット磁石を用いた面に平行方向での磁場印加の効果を検討し、磁場を固定した温度掃引、温度を固定しながら磁場掃引下での熱容量の測定装置をつくることを目指した。 ^3He クライオスタットには、磁場方向に対して厳密な角度依存性を評価するため精密なローテーターが搭載可能であり、これを用いて $\pm 1^\circ$ 以内の精密な方向制御をおこなうことを計画に加えた。これらの方法を用いて、各種、分子性超伝導体、磁性体などの物性測定を行った。

(4) チップを用いた圧力下での特性評価

圧力媒体にダフニオイル 7373 を用いて CuBe, CuBe+NiCrAl のクランプ型高圧セル、ヘリウムの気体媒体を用いたガス圧制御下での測定の検討を進めた。

(5) 複合環境制御極限下でのチップカロリメーターの利用

本研究で開発した強磁場、圧力下の測定を組み合わせた複合環境制御下での実験を行い $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$, $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$, $\kappa\text{-BETS}_2\text{FeBr}_4$, $\text{EtMe}_3\text{Sb[Pd(dmit)}_2\text{)]}_2$ などの物性評価を行い、従来の緩和型熱測定装置を用いて測定したデータとの対比検討を行うことを目指した。

4. 研究成果

平成23年度は、TCG3880微小チップの極薄基板上に二次元性の強い微少単結晶を平面性良く固定できるメリットを生かし、二次元層状構造をもつ有機電荷移動塩に対して磁場を平行方向に印加した状態で、面内磁場異方性に関する情報を得るための実験の開発を進めた。また、液体ヘリウム温度以下での極低温下でのチップの利用についても検討を行い、TCG3880は1 Kまで低温まで感度

をもっていることを確認し、低温・強磁場下での利用が可能であることを示した。

微小信号のチップ面を水平方向に固定しスプリット磁石で面平行方向から磁場を引加し、輸送現象等の異方性評価から $\pm 1^\circ$ 以内で平行が保たれていることを輸送測定等から確認した。磁場はスプリット磁石による面内異方性の評価は7Tまで、面垂直方向は10 Tまで印加が可能である。また磁場を固定した状態での温度変化と、温度を固定した磁場掃引が可能である。この装置を用いて磁場の二次元面内での方向依存性を評価するため、有機超伝導体である $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$, $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$ と低温で磁気秩序を示さずスピン液体的な基底状態を形成する $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ 、また、アニオン部の3d電子による磁性と有機分子による π 電子が相互作用をおこし磁性と超伝導の競合、協奏効果によって各種の物性が発現する $\kappa,\lambda\text{-(BETS)}_2\text{FeX}_4$ X=Cl, Brを選んで実験をおこなった。

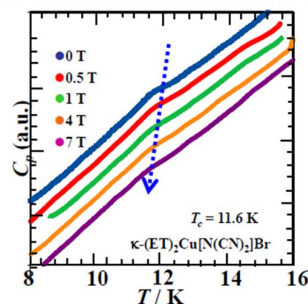


Fig.1 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$ の超伝導転移の熱異常(TCG3880)

測定に用いた試料は、ともに5.0-100 μg 程度の薄片状の単結晶を選び、基板の試料部に固定して半定量的な交流熱測定によって熱異常を検出することを行った。

$\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(NCS)}_2$, $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$ という二つの塩においては、磁場印加によって T_c は大きく変化しないものの、ピークの大きさが大きく抑制される層状超伝導体の磁場依存性がマイクロチップで検出された(Fig.1)。また後者の塩では、5.7 K付近に二量体内での電荷の揺らぎによる誘電異常とそれに誘引される格子熱容量のブロードな異常があることが知られている。マイクロチップデバイを用いて、BEDT-TTF分子の末端エチレン基を軽水素体のもの、重水素体に置換したものに対して実験を行ったところ、面内磁場の大きさ、方向による変化がなくこの熱異常はスピンそのものに関する秩序化ではないことが判明した。さらに $\kappa\text{-(BETS)}_2\text{FeX}_4$ X=Brの塩では、面内磁場、面間磁場依存性を評価することに成功し、極低温の約1 K付近まで熱容量の磁場、温度依存性を取ることに成功した。

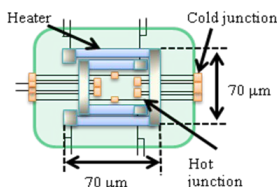
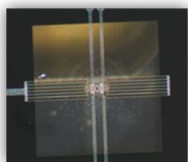


Fig.2 XEN-39390 シリーズのセンサー部の構造

このような物性測定と並行するかたちで、平成 24 年度から平成 25 年度にかけては、各種のマイクロ熱測定チップの評価とそれを用いた極微試料での測定開発、極限環境下での測定開発を行った。XEN-39390 シリーズではセンサー部がより微小化され熱電対とチップ抵抗がより近い位置にあるため高い熱的な応答が観測された(Fig.2)。低温領域になると熱電対信号が小さくなり電気的なノイズレベルに埋もれてくる可能性があるため、信号をとりだすための多段階のフィルター回路と信号の DC アンプによる増幅ユニットを作成し微小信号の検出に成功した。温度変調をおこす励起電流を比較的低い周波数にせざるを得ないことが問題になっていたため、両者の距離が 14 μm 程度と近い XEN-39393 というタイプのチップセンサーの性能評価を行った。TCG3880 チップでは試料の温度変化に対する時定数が、 10^4 Ks^{-1} だったが、それが二ケタ程度改善されているため、より高感度の応答があることが判明した。その結果、 κ -(BEDT-TTF)₂X 系の超伝導転移とガラス転移をとともに検出することに成功するとともに、測定可能な周波数領域が直流から 25 Hz 付近まで広がり BEDT-TTF 分子のエチレン基の配座の凍結によるガラス転移の周波数依存性に関する情報を得ることができた。数 μm 程度の薄片状の試料になる重水素化した κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ において 6 K 付近に生じる電荷の自由度による熱異常の検出も行った。さらに、 κ -(BETS)₂FeBr₄ の面内の様々な角度から磁場を印加した状態での磁気転移点とエントロピーの変化の議論を行った。一方で、XEN-39390 シリーズでは、小型化によって低温領域での熱伝堆そのものの感度が減少することがわかり液体ヘリウム温度領域では TCG3880 の方が有効であることがわかった。

平成 24 年度後半から平成 25 年度は、さらに、圧力制御下での使用に関する実験を進めた。通常のオイル媒体では温度変調信号を検出することは困難であり、チップの劣化が激しくなる。圧力媒体としてヘリウム気体を用いたところ、安定した周波数変調をかけら

れることがわかった。このような気体媒体を用いることで、磁場、圧力の環境制御が独立で可能であることがわかった。

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 16 件)

1. Thermodynamic Investigation by Heat Capacity Measurements of Ferrimagnetic A₂Mn[Mn(CN)₆] (A=K, Rb, Cs) Prussian Blue Compound, Y. Kawamoto, S. Yamashita, R. Yoshimoto, Y. Nakazawa, J. G. DaSilva, C. M. Kareis, and J. S. Miller, *J. Phys. :Condens. Matter* 査読有 26 016001 1-6 (2014), DOI:10.1088/0953-8984/26/1/016001.
2. Condensation Energy for a Two-Gap Superconducting State in Nanoparticles., S. P. Kruchinin, H. Kawabe, H. Nagao, and Y. Nakazawa, *J. Nanoparticles*, 査読有 2013 576232 1-6 (2013).
3. Antiferromagnetic Fluctuations and Proton Heat Capacity in Doped Organic Conductor κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.78}Cl₈, R. Yoshimoto, A. Naito, S. Yamashita, and Y. Nakazawa, *Physica B* 査読有 427, 1-4 (2013), DOI:10.1016/j.physb.2013.06.018.
4. Magnetic Transition in Dimerized Radical Cation Salt of (BPDT-TTF)₂ICl₂ Studied by Heat Capacity Measurements, G.-Y. Guan, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, H. Taniguchi, and Y. Nakazawa, *J. Therm. Anal. Calorim.* 査読有 113, 1197-1201 (2013), DOI:10.1007/s10973-013-3015-5.
5. Development of Heat Capacity Measurement System for Single Crystals of Molecule-Based Compounds, S. Fukuoka, Y. Horie, S. Yamashita, and Y. Nakazawa, *J. Therm. Anal. Calorim.* 査読有 113, 1303-1308 (2013), DOI:10.1007/s10973-013-3069-4.
6. Calorimetric Investigation of Phase Transitions Occurring in Molecule-Based Magnets, M. Sorai, Y. Nakazawa, M. Nakano, and Y. Miyazaki, *Chem. Rev.*, 査読有 113, PR41-PR121 (2013), DOI: 10.1021/cr300156s.
7. Thermodynamics of a Liquid-Like Spin State in Molecule-Based Magnets with Geometric Frustrations, Y. Nakazawa and S. Yamashita, *Chem. Lett. Highlight Review* 査読有 42, 1446-1454 (2013), DOI:10.1246/cl.130656.
8. Thermodynamic Properties of κ -(BEDT-TTF)₂X Salts: Electron Correlations and Superconductivity, Y. Nakazawa, S. Yamashita, *Crystals* 査読有 2, 741-761 (2012) DOI:10.3390/cryst2030741.
9. Microchip-Calorimetry of Organic Charge Transfer Complex which Shows Superconductivity at Low Temperatures, Y. Muraoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, *Thermochimica Acta* 査読有, 532,

88-91 (2012) DOI: 10.1016/j.tca.2011.02001.
10. Magnetic Heat Capacities of κ -BETS₂FeBr₄ Measured by Micro-Chip Calorimeter, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, A. Kobayashi and H. Kobayashi, *Physica Status Solidi*, 査読有 C9, 1174-1176 (2012) DOI:10.1002/pssc.201100640.
11. Charge Transport and Intra-Dimer Charge Disproportionation in Triclinic-EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂, where dmit is 1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate, T. Yamamoto, Y. Nakazawa M. Tamura, A. Nakao, Y. Ikemoto, T. Moriwaki, A. Fukaya, R. Kato and K. Yakushi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 査読有, 80, 123709 1-4 (2011) DOI:10.1143/JPSJ.80.123709.
12. Charge Transport and Hall Effect in Rubrene Single-Crystal Transistors under High Pressure, Y. Okada, K. Sakai, T. Uemura, Y. Nakazawa J. Takeya *Phys. Rev. B*84, 245308 1-5(2011) DOI: 10.1103/PhysRevB.84.245308.
13. High-Pressure AC Calorimetry System Using Pt Chip Thermometer M. Danda, Y. Muraoka, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, *Netsu Sokutei*, 査読有 W39 29-32 (2011).
14. AC Heat Capacities of κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ Measured by Microchip Calorimeter, Y. Muraoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, and Y. Nakazawa *J. Phys. Conf. Series*, 査読有 320(2011) 012027 1-6 DOI:10.1088/1742-6596/320/1/012027.
15. Vibrational Spectra of [Pd(dmit)₂] Dimer (dmit=1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate): Methodology for Examining Charge, Inter-Molecular Interactions, and Orbital, T. Yamamoto, Y. Nakazawa M. Tamura, T. Fukunaga, R. Kato and K. Yakushi, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有 80, 074717 1-16 (2011) DOI: 10.1143/JPSJ.80.074717.
16. Magnetic Relaxation of Single-Molecule Magnets in an External Magnetic Field: An Ising Dimer of a Terbium(III)-Phthalocyaninate Triple-Decker Complex, K. Katoh, T. Kajiwara, M. Nakno, Y. Nakazawa, W. Wernsdorfer, N. Ishikawa, B. K. Breedlove, and M. Yamashita, *Chem. Eur. J.* 査読有 17, 117-122 (2011) DOI:10.1002/chem..201002026.

〔学会発表〕(計 29 件)

1. Thermodynamic Studies of κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈ under Pressures and with Magnetic Fields, Y. Nakazawa, International Symposium on Materials Science Opened by Molecular Degrees of Freedom (MDF2012) (Miyazaki Japan), December 1-4, 2012.
2. Thermodynamics of Dimer-Mott Spin Liquids, Y. Nakazawa, MDF Workshop of Organic Spin Liquid Systems (Tokyo, Japan) November 29-30 2012
3. Thermodynamic Properties of Liquid-Like Spin States in Dimer-Mott Organic Compounds, Y.

Nakazawa, NATO Advanced Research Workshop on Nanotechnology in the Security Systems (Yalata, Ukraine), September 29-October 6, 2013.

4. Thermodynamic Properties of Molecule-Based Conductors and Magnets, Y. Nakazawa, IUPAC 9 th International Conference on Novel Materials and Their Synthesis (NMS-IX) (Shanghai, China) October 17-22, 2013.

5. 重水素置換した X[Pd(dmit)₂]₂ の低温熱容量, 山下智史、福岡脩平、中澤康浩、上田康平、崔亨波、山本浩史、加藤礼三, 日本物理学会 (徳島大学), 9月 25-28日 25aDJ-1.

6. bi-layer 系 X[Ni(dmit)₂]₂ の低温磁気状態に関する熱的研究, 吉元諒、山下智史、中澤康浩、草本哲郎、加藤礼三, 日本物理学会 (徳島大学), 9月 25-28日 25aDJ-12.

7. 二量体化したユニットをもつ分子性導体における動的電荷不均一性の研究, 山本貴、大西功二、松下幸一郎、中澤康浩、加藤礼三、池本夕佳、森脇太郎、薬師久弥 日本物理学会 (徳島大学), 9月 25-28日 25pDJ-9.

8. π -d 系分子性導体 BETS 塩の低温電子状態, 福岡脩平、山下智史、中澤康浩、藤原秀紀、山本貴、白旗崇、高橋かず子, 日本物理学会 (徳島大学), 9月 25-28日 26aDJ-9.

9. 分子性固体の電気抵抗測定に適した異方的弱圧印加法, 山本貴、渡邊あかり、山下智史、中澤康浩, 日本物理学会 (徳島大学), 9月 25-28日 27aDJ-6.

10. 自作熱量計による κ 型有機超伝導体の精密角度分解熱測定, 今城周作、山下智史、山本貴、中澤康浩, 分子科学討論会 (京都テルサ), 9月 24-27日 2P059.

11. bi-layer 型 ジ チ オ レ ン 錯 体 (Et-2I-5BrP)[Ni(dmit)₂]₂ の低温熱容量, 吉元諒、山下智史、中澤康浩、草本哲郎、加藤礼三, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月 31-11月 2日 3C1340.

12. 分子性導体における格子熱容量と電子基底状態の関係に関する熱的考察, 山下智史、中澤康浩、加藤礼三, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月 31 - 11月 2日 3C1400.

13. プロトン-電子連動を示す水素結合型ダイマー錯体の低温熱容量, 池田洋三、中澤康浩、山下智史、田所誠, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月 31-11月 2日 3C1420.

14. 磁性伝導体 BETS 塩の磁場制御下熱測定, 福岡脩平、山下智史、中澤康浩、山本貴、白旗崇、藤原秀紀、高橋かず子, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月 31-11月 2日 3C1440.

15. 光照射条件下での熱容量測定法の開発, 片岡詩織、山下智史、中澤康浩, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月 31-11月 2日 P07.

16. 微小チップカロリメータを用いた高感度熱測定, 村瀬道紀、山下智史、中澤康浩, 第 49 回熱測定討論会 (千葉工業大学), 10月

31-11月2日 P08 .

17. π -d系分子性導体 BETS 塩の面内磁場下熱測定, 福岡脩平, 山下智史, 山本貴, 中澤康浩, 藤原秀紀, 白旗崇, 高橋かず子, 日本物理学会 2013年 年会(広島), 2013年 3月 26-29日, 26pXN13.

18. $X[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ 系における量子スピン液体□電荷秩序近傍の低温熱挙動, 山下智史, 福岡脩平, 中澤康浩, 上田康平, 崔亨波, 山本浩史, 加藤礼三 日本物理学会 2013年 年会(広島), 2013年 3月 26-29日, 28pXN6.

19. bi-layer系($\text{Et-4BrT}[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_2$)の低温熱容量, 吉本 諒, 山下智史, 中澤康浩, 草本哲郎, 加藤礼三, 日本物理学会 2013年 年会(広島), 2013年 3月 26-29日, 28pXN7.

20. Thermodynamic Natures of Magnetic Field Induced Phase Transition in Chiral Magnets, S. Fukuoka, S. Yamashita, T. Yamamoto, Y. Nakazawa, H. Higashikawa, and K. Inoue, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-20F.

21. Thermodynamic Study of Chemical Pressure Effect on Quantum Spin Liquid, S. Yamashita, S. Fukuoka, Y. Nakazawa, K. Ueda, H. M. Yamamoto, and R. Kato, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-22F.

22. High Pressure Calorimetry System Using Chip-Type Sensors, M. Danda, Y. Muraoka, N. Tokoro, and Y. Nakazawa, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Or-23F.

23. Single Crystal Calorimetry for Organic Radical Cation Salts Consisting of BPDT-TTF Molecules, G. Guan, S. Yamashita, T. Yamamoto, H. Taniguchi, and Y. Nakazawa, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Pos-16.

24. Heat Capacity of Nanographene at Low Temperatures, Y. Horie, Y. Nakazawa, K. Takai, and T. Enoki, (ICTAC15) & (JCCTA48) (Higashi-Osaka), 2012, August 20-24, JO-YG-Pos-24.

25. Development of Single Crystal Calorimetry at Low-Temperatures and under Pressures, Y. Nakazawa, ICCT2012, Buzios, (Brazil), 2012, August 5-10, CO-TC2.

26. Application of Low Temperature Relaxation Calorimetry for Detecting Quantum Behaviors of Low-Dimensional Spin System, S. Yamashita, S. Fukuoka, Y. Nakazawa, ICCT2012 Buzios, (Brazil), 2012, August 5-10, TC02.

27. 分子性化合物材料の熱的特徴と熱電能, 中澤康浩, 学振産業と応用研究会 2012年 5月 26日 大阪大学.

28. 有機三角格子化合物のスピン液体状態の熱的性質, 中澤康浩, フラストレーションセミナー(大阪大学) 2012年 1月 31日 大阪大学.

29. スピン液体状態を示す分子性化合物の低

温熱測定, 中澤康浩 東北大 GCOE 研究会-金属錯体の固体物性科学最前線- 2012年 1月 20日.

〔図書〕(計 2 件)

1. 大学院講義物理化学 (東京化学同人) 7.5 比熱測定 2012年 3月 中澤康浩 査読有.

2. 物理化学実験法 (東京化学同人) 監修千原秀昭, 編集 徂徠道夫, 中澤康浩 査読有 2011年 9月.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/nakazawa/>

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/report/index.html.ja>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中澤康浩 (NAKAZAWA YASUHIRO)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 60222163

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: