

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19740213

研究課題名（和文） 2 軸ゴニオメータ付き低温用電子スピン共鳴装置の開発

研究課題名（英文） Development of electron spin resonance equipment with a two-rotation-axis goniometer

研究代表者

真中 浩貴（MANAKA HIROTAKA）

鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：80359984

研究成果の概要：

平成 19 年度に作製した 2 軸ゴニオメータ付き低温用電子スピン共鳴装置を用いて、主に量子スピン系における電子・スピン状態の詳細な解析に成功した。特に結晶構造の対称性が低い物質に関しては、X 線構造解析と同等に結晶軸を同定するとともに、単結晶の質も同時に評価することに成功した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度			
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：低次元磁性体・量子スピン系

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：電子スピン共鳴・量子スピン系・二本足梯子系・ボースグラス・透明強磁性体

## 1. 研究開始当初の背景

電流や電圧を制御して機能を発現するこれまでの電子デバイスに代わり、電子スピンの向く方向の自由度まで取り入れた次世代デバイス（電子スピndevice）の開発が急務となっている。電子スピンの向く方向の自由度を制御するためには、電子が原子核の周りを回っている様子（軌道状態）を明らかにすることが重要である。しかしながら現在の科学技術では電子の軌道状態を直接観

測することは不可能であるため、様々な代替手法が試みられている。その手法とは原子炉を用いた中性子散乱実験や放射光を用いた散乱実験等である。しかしながらこれらの実験手法は大型施設を利用するため、誰もが手軽に出来る実験ではない。すなわち汎用性に欠けるため、軌道状態に関する研究の進捗度は極めて遅い。

そこで本研究では汎用機器を用いて磁気異方性・軌道状態を知ることが出来る実験手

法として電子スピン共鳴 (ESR) 法に注目した。

## 2. 研究の目的

ESR 法で得られる  $g$  値には磁気異方性や軌道状態を反映していることがすでに分かっている。しかしながら市販装置では一軸方向にしか回転できないため 3 次元的な立体構造を得ることはほとんど不可能であった。そこで、低温でも測定できる 2 軸ゴニオメータ付き ESR 装置を製作することが本研究の目的であった。

## 3. 研究の方法

2 軸ゴニオメータを作製するためには、直径 4mm の中に最低でも 2 個のギヤが必要となるため、(株) 巧電社(従業員 11 名)とともに設計図面化を行った。材質は高純度石英・テフロン等様々な物を試作したが、熱膨張率は大きい、不純物ピークが出ないテフロンでギヤを作製した。

さらに作製した 2 軸ゴニオメータが装着できる 1m 程度のトップローディング型キャビティを中台製作所に作製してもらった。テフロンは熱収縮率が大きい、ギヤの遊びを大きくしなければならぬはずなので、その遊びの部分をキャビティ外部のギヤでうまく制御し、2 軸の角度に再現性のあるキャビティを作製する。

## 4. 研究成果

液体ヘリウム温度でもスムーズに、かつバックラッシュが無い 2 軸ゴニオメータ付き ESR 装置の作製に成功した。本装置の一番の特徴は 2 種類の試料位置を変えることなく、測定感度が高い反面、角度変化によって感度が敏感に変わりやすい共振モードと、測定感度はある程度悪いが、角度変化に全く影響されない共振モードの 2 種類を選択的に測定できる装置を作製したところに、大き

な意義があった。

本装置を用いれば、試料の質だけでなくほとんど全て試料の結晶軸を決める事も可能であるため、様々な試料の ESR 測定を行い多くの実験成果が上がった。詳細は発表論文に記す。

## 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 11 件)

1. H. Manaka, S. Nagata, Y. Watanabe, K. Kikunaga, T. Yamamoto, N. Terada and K. Obara: Percolated-Induced Ferrimagnetism, Journal of Physics: Conference Series **145** (2009) 012080 (査読有り).

2. Y. Kondo, I. Yano, I. Shigeta, M. Ito, M. Hiroi, H. Manaka, N. Terada: Magnetic Properties of the Heusler Alloys  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{MnSi}$ , Journal of Physics: Conference Series **150** (2009) 042099 (査読有り).

3. H. Manaka: Electron Spin Resonance in Spin Gap Compound with Bond Randomness, Journal of Physics: Conference Series **150** (2009) 042115 (査読有り).

4. T. Goto, T. Suzuki, I. Watanabe, K. Kanada, T. Saito, A. Oosawa, H. Manaka: uSR-detected Soft mode toward a Possible Phase Transition in a disordered spin-gap system,  $(\text{CH}_3)_2\text{CHNH}_3\text{-Cu}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_3$ , Physica B **404** (2009) 594-596 (査読有り).

5. A. Oosawa, T. Suzuki, K. Kanada, S. Kojima, T. Goto, and H. Manaka:  $^1\text{H}$ -NMR Spin-Lattice Relaxation Rate of the Quantum Spin System  $(\text{CH}_3)_2\text{CHNH}_3\text{Cu}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_3$  with  $x = 0$  and  $0.35$ , Journal of the Physical Society

of Japan **78** (2009) 053702 (1)-(4) (査読有り).

6. **H. Manaka**, H. Aruga Katori, A. V. Kolomiets, and T. Goto, Bose-glass State in One-dimensional Random Antiferromagnets, *Physical Review B* **79** (2009) 092401 (1)-(4) (査読有り).
7. T. Hong, V. O. Garlea, A. Zheludev, J. Fernandez-Baca, **H. Manaka**, S. Chang, J. B. Leao, and S. J. Poulton: Effect of pressure on the quantum spin ladder material IPA-CuCl<sub>3</sub>, *Physical Review B* **78** (2008) 224409 (1)-(4) (査読有り).
8. T. Goto, T. Suzuki, K. Kanada, T. Saito, A. Oosawa, I. Watanabe and **H. Manaka**: uSR-detection of the soft-mode toward the exotic magnetic ground state in bond-disordered quantum spin system IPA-Cu(Cl<sub>0.35</sub>Br<sub>0.65</sub>)<sub>3</sub>, *Physical Review B* **78** (2008) 054422(1)-(6) (査読有り).
9. **H. Manaka**, A. V. Kolomiets, and T. Goto: Disordered States in IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> Induced by Bond Randomness, *Physical Review Letters* **101** (2008) 077204(1)-(4) (査読有り).
10. A. Zheludev, V. O. Garlea, L.-P. Regnault, **H. Manaka**, A. Tsvelik, and J.-H. Chung: Extended universal finite-T renormalization of excitations in a class of one-dimensional quantum magnets, *Physical Review Letters* **100** (2008) 157204(1)-(4) (査読有り).
11. **H. Manaka**, Y. Watanabe, K. Kikunaga, T. Yamamoto, N. Terada, and K. Obara: Conversion from transparent antiferromagnet KNiF<sub>3</sub> to transparent ferrimagnets, *Applied Physics Letters* **92** (2008) 042501(1)-(3); 089901(1)

(査読有り).

[学会発表] (計 16件)

1. 小原 益己, 濱崎 貢, 山口 光臣, 金丸 大樹, 宮下 祥一, **真中 浩貴**, 小原 幸三: 内殻電子励起により生成した亜鉛長寿命エキシトンの結晶学的特徴, 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, つくば
2. **真中 浩貴**, 宮下 祥一, 金丸 大樹, 山口 光臣, 小原 益己, 浜崎 貢, 小原 幸三: 電子スピン共鳴法を用いたZn内殻ホール・励起子の磁気状態の解明, 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, つくば
3. **真中 浩貴**, 香取 浩子, A.V.Kolomiets, 後藤 恒昭: IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub> (0<x<0.44) の基底状態の再検討, 日本物理学会 2009年春期年次大会, 2009年3月27日, 東京
4. 中島 紗織, 鈴木 栄男, 渡邊功雄, **真中 浩貴**, 後藤貴行, A. Amato: 乱れを含んだ量子スピンラダーIPA-Cu(Cl,Br)<sub>3</sub> の量子臨界点近傍におけるmuSR II, 日本物理学会 2009年春期年次大会, 2009年3月27日, 東京
5. T. Hong, A. Zheludev, **H. Manaka**, and Y. Qiu: Effect of chemical substitution on quantum spin ladders, APS March Meeting, 2009年3月18日, Pennsylvania, USA
6. **真中 浩貴**: ランダムネスを伴ったスピン液体・固体系IPA-Cu(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub>, 川村特定第三回トピカルミーティング 「フラストレーションとスピン液体」, 2008年12月23日, 神戸
7. **M. Hamasaki**, M. Yamaguchi, M. Obara, S. Miyashita and H. Manaka: F

ormation processes of excitonic zinc dimers induced by electron irradiation, 4th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia, 2008年10月28日, 松江

8. N. K. Udayashankar, M. Yamaguchi, H. Manaka, and K. Obara: Synthesis, Surface Morphology and Magnetic Characterization of Nanocrystalline  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}$  Electroformed Thin films, 4th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia, 2008年10月29日, 松江

9. 真中 浩貴, 永田 修平, 渡邊 裕介, 菊永 和也, 山元 徹朗, 寺田 教男, 小原 幸三: ランダムフェリ磁性体  $\text{KM}_x\text{Zn}_{1-x}\text{F}_3$  ( $M = \text{Ni}, \text{Co}$ ) におけるクーロン斥力の効果, 日本物理学会 2008年秋期大会, 2008年9月20日, 岩手

10. 真中 浩貴, A.V.Kolomiets, 後藤 恒昭:  $\text{IPA-Cu}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_3$  ( $0.87 < x < 1$ ) の強磁場中でのボーズグラス相の出現, 日本物理学会 2008年秋期大会, 2008年9月19日, 岩手

11. 真中 浩貴: 常磁性共鳴法を用いた  $\text{IPA-Cu}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_3$  ( $0.87 < x < 1$ ) のボンドランダムネスによる乱れた基底状態の観測, 日本物理学会 2008年秋期大会, 2008年9月19日, 岩手

12. 後藤 貴行, 鈴木 栄男, 真中 浩貴, 金田 圭史, 中島 紗織, 大沢 明, 渡邊 功雄: 乱れを含んだ量子スピンラダー  $\text{IPA-Cu}(\text{Cl}, \text{Br})_3$  の量子臨界点近傍における  $\mu\text{SR}$ , 日本物理学会 2008年秋期大会, 2008年9月19日, 岩手

13. H. Manaka, S. Nagata, Y. Watanabe, K. Kikunaga, T. Yamamoto, N. Terada and K. Obara: Percolated-Ind

uced Ferrimagnetism, Highly Frustrated Magnetism 2008, 2008年9月10日, Braunschweig, Germany

14. H. Manaka, Electron Spin Resonance in Spin Gap Compound with Bond Randomness: 25th International Conference on Low Temperature Physics, 2008年8月11日, Amsterdam, Netherlands

15. Y. Kondo, I. Yano, I. Shigeta, M. Ito, M. Hiroi, H. Manaka, N. Terada: Magnetic Properties of the Heusler Alloys  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{MnSi}$ , 25th International Conference on Low Temperature Physics, 2008年8月8日, Amsterdam, Netherlands

16. T. Goto, T. Suzuki, K. Kanada, T. Saito, A. Oosawa, I. Watanabe and H. Manaka:  $\mu\text{SR}$ -detection of the soft-mode toward the exotic magnetic ground state in bond-disordered quantum spin system  $\text{IPA-Cu}(\text{Cl}_{0.35}\text{Br}_{0.65})_3$ , 11th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation, and Resonance, 2008年7月22日 つくば

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
真中 浩貴 (MANAKA HIROTAKA)  
鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 80359984

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし