

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360012

研究課題名(和文) ナノスピン流伝送体の開発

研究課題名(英文) Development of nano-spin current conductors

研究代表者

山浦 一成 (YAMAURA KAZUNARI)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主幹研究員

研究者番号：70391216

研究成果の概要(和文)：

技術的重要度が高い特異な電子状態になっている可能性が高いバナジウム酸化物の結晶構造、電気特性、比熱、磁性、元素置換効果を詳細に調べた。電子状態に関するかなりの理解の進展が得られたが、さらに研究を要する。また、同様な電子状態を持つ化合物を探索した結果、ポストペロブスカイト型構造を有するロジウム酸化物がその状態を持つ可能性が高いことが分かった。

研究成果の概要(英文)：

We investigated the electronic properties of the vanadium oxide to test its possibility for unusual half-metal, which is expected highly useful for practical applications. In addition, we searched for a compound which has a similar electronic state with what the vanadium oxide has. We found thus far the post-perovskite rhodium oxide likely has the state. Further studies may judge the possibilities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：無機固体化学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物性・結晶工学

キーワード：スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

外部磁場によって結晶中に電場が誘起されることを“ホール効果”という。逆に外部電場によって結晶中にスピン流が誘起されることを“スピンホール効果”という。“スピンホール効果”によって誘起されたアップスピン電流とダウンスピン電流は同量逆向きに流れるため、見かけ上電荷の流れ(電流)は打ち消されるが、スピンは向きを揃えて流れる。このように電荷の流れを伴わないスピ

ンだけの流れを“スピン流”と呼ぶ。重要な点は、外部磁場によらず、電場によって磁場(スピン流)を発生できる点にある。デバイス応用上重要な特徴と思われる。

スピンホールデバイスでは外部磁場でなく電場で磁場(スピン流)を制御するため、高集積・高速・低電力なスピントロニクスデバイスを開発できる可能性がある。しかしながら、現状ではスピン流を発生させる“スピンホール素子”が開発されたばかりで、スピ

ン流の伝送を担う物質の開発が遅れている。銅線などの通常の金属ではスピンの向きが容易に散乱されるため～100ナノメートル程度でスピン流がほぼ減衰してしまう。またハーフメタルはアップスピン電流しか原則的に伝送しないため、スピン流伝送に適さない。研究開始当初はスピン流を伝送できる物質や、理論的アイデアは申請者が知る限り皆無に近かった。本研究では、スピン流の伝送を担う物質の開発を中心に研究を進めた。

2. 研究の目的

スピン流を伝送できる可能性がある電子状態として“ナノハーフメタル”という状態を提案した。図1にナノハーフメタルの簡単な概念図を示す。通常の銅線などの場合、アップスピン電流とダウンスピン電流が混合して流れる。理想的なハーフメタルの場合、アップスピン電流だけが流れる。しかしながら、ナノハーフメタルではアップスピン電流とダウンスピン電流がナノスケール空間で交互になっており、等しく分かれて流れる。完全分極したダウンスピン電流が伝導に寄与している点が、従来のハーフメタル（アップスピン電流しか流さない）と大きく異なる。従って、このナノハーフメタルは現象論的に新しい状態と考える必要がある。

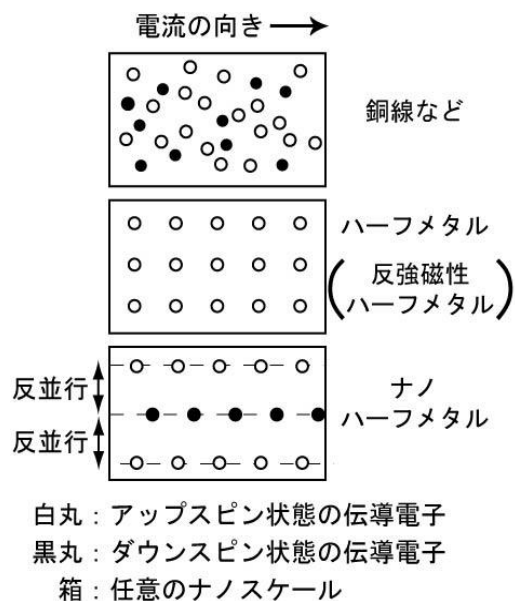


図1 ナノハーフメタルの概念図。完全分極したアップスピン電流とダウンスピン電流が等量流れる。従来のハーフメタル（アップスピン電流しか流さない）と現象論的に大きく異なる。

この特異な電子状態に近い物質として、例えば、新規に合成に成功した物質 NaV_2O_4 が考えられるが、合成されて間もないため、さらに詳細な研究を必要とした。本研究は、 NaV_2O_4 の研究を推進するとともに、並行して新物質探索研究を進め、ナノスピン流伝送体を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 結晶育成・試料合成

様々なレベルで NaV_2O_4 の電荷キャリア密度や化学的内部圧力を変化させ、ハーフメタルの特性向上とスピン流伝送を検証する。特にナノハーフメタル転移温度の上昇に最も留意する。結晶育成には物材機構の超高压高温結晶育成装置を利用する。

(2) 高輝度X線による精密局所構造解析

NaV_2O_4 はバナジウムを主元素として含むため、中性子線法による精密構造解析が不可能である（バナジウム元素の中性子散乱断面積が極めて小さいため）。従って、X線法が精密結晶構造解析と電子状態解析に必要不可欠である。

(3) 電子輸送特性の精密測定

磁化率や電子輸送特性を精密に測定し、電子状態の特徴を明らかにする。

(4) 第一原理計算によるバンド構造の検証

特異な電子状態の様子を実験結果と合わせて、第一原理的にも検証する。

4. 研究成果

NaV_2O_4 を母体とする元素置換実験に取り組んだ。価数が異なるCaイオンをNaサイトに導入して、磁気的電気的性質の変化を調べた。母体で観測された約150K付近の反強磁性転移が置換の割合が進むにつれ $(\text{Ca}/(\text{Na}, \text{Ca})) < 0.7$ 、かなりブロードに変化した。転移温度の範囲は120-160K程度のまま大きく変化しなかった。電気伝導性の測定では、不純物の影響を含む試料の質の問題が大きく、測定結果が不明瞭であったため、特異な電子状態の変化の様子を調べるためには、正確な電気伝導測定に必要な単結晶育成に取り組む必要があると思われた。これまでの結果から、このCa置換体は応用上重要な室温特性の向上に直接的に関与しないと思われる。

NaV_2O_4 の単結晶試料を用いた高分解能光電子分光法による電子状態の研究に取り組んだ。構造異方性に起因する特異な低次元金属状態を反映していると思われる非フェルミ液体的な金属状態を示唆するスペクトルが得られた。これらの結果は、学術的にかなり興味深く、 NaV_2O_4 の本質的な電子状態を解明するために、さらに角度分解を含む実験を継続する必要がある。

重要な関連物質として高密度構造を有するコバルト酸化物に着目した。ハーフメタル特性の発現を期待して、層状ペロブスカイト型構造を有する $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ を高温高压法で熱処理し、“ポスト層状ペロブスカイト型構造”に大きく構造を転移させることに成功した。この変化は12%以上の巨大な体積変化を伴う。これまでの研究の結果、新構造体自体

はハーフメタル特性を有さないが、さらに、置換実験等を進めて、特性開発を進めることができれば、ハーフメタル特性の発現のよち可能性があると分かってきた。今後も研究を継続することが望ましい。

関連物質として、ポストペロブスカイト型構造を有する CaRhO_3 の新規合成に成功した (図2)。この層状構造物質の電子状態を第一原理的に調べたところ、ハーフメタル的なスピン分極構造が示唆された。磁気的には反強磁性的であることが実験的に確かめられているため、新規なナノハーフメタル物質が合成できる可能性がある。

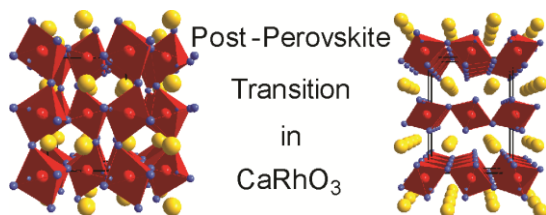


図2 CaRhO_3 のポストペロブスカイト相転移

本研究課題遂行の過程で新物質 NaOsO_3 を発見し、この物質が示す金属絶縁体転移の研究を進めた。室温より高温で生じるため、新原理技術の基礎となる可能性がある。この研究期間中に中性子回折実験、第一原理計算による電子状態の検証、元素置換実験を実施し、その転移の性質がかなり明らかになった。これまでに、温度変化によってのみ金属絶縁体転移が誘起されているが、光学的な方法や電界効果によるキャリア注入法など新たな方法で誘起が可能になれば、伝導-非伝導、磁性-非磁性間の高速スイッチ動作素子を開発できるかも知れない。今後さらに同じ方向で研究を継続することができれば新原理を基礎とする先端技術を開発できる可能性がある。

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 27 件)

1. Y. Shirako, H. Satsukawa, H. Kojitani, T. Katsumata, M. Yoshida, Y. Inaguma, K. Hiraki, T. Takahashi, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, and M. Akaogi, Magnetic Properties of High-Pressure Phase of CaRuO_3 with Post-perovskite Structure *Journal of Physics: Conference Series* 215, 012038 (2010). 査読有
2. Y. G. Shi, Y. F. Guo, S. Yu, M. Arai, A. A. Belik, A. Sato, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, T. Varga, and J. F. Mitchell, High-pressure crystal

growth and magnetic and electrical properties of the quasi-one dimensional osmium oxide Na_2OsO_4 , *J. Solid State Chem.* 183, 402-407 (2010). 査読有

3. Y. G. Shi, A. A. Belik, M. Tachibana, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Magnetic properties of the sodium-osmium-oxide pyrochlore *Journal of Physics: Conference Series* 200, 012185 (2010). 査読有
4. Y. Shi, Y. Guo, S. Yu, M. Arai, A. Sato, A. A. Belik, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Crystal growth and structure and magnetic properties of the 5d oxide $\text{Ca}_3\text{LiOsO}_6$: extended superexchange magnetic interaction in oxide *J. Am. Chem. Soc.* 132, 8474-8483 (2010). 査読有
5. Y. F. Guo, Y. G. Shi, S. Yu, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Spin-glass behavior of the NiAs-type $\text{Fe}_{1.5}\text{Sb}$ prepared under high-pressure, *Physica C* 470, S428-S429 (2010). 査読有
6. Y. F. Guo, Y. G. Shi, S. Yu, A. A. Belik, Y. Matsushita, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, I. Nowik, I. Felner, V. P. S. Awana, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Large decrease in the critical temperature of superconducting $\text{LaFeAsO}_{0.85}$ compounds doped with 3% atomic weight of nonmagnetic Zn impurities *Phys. Rev. B* 82, 054506 (2010). 査読有
7. Y. F. Guo, Y. G. Shi, S. Yu, A. A. Belik, Y. Matsushita, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, Y. Hata, H. Yasuoka, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Tight relation between the oxygen deficiency and T_c in $\text{LaFeAsO}_{1-\delta}$ *Physica C* 470, S438-S439 (2010). 査読有
8. V. P. S. Awana, A. Pal, A. Vajpayee, M. Mudgel, H. Kishan, S. Yu, Y. F. Guo, Y. G. Shi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Synthesis and physical properties of $\text{FeSe}_{1/2}\text{Te}_{1/2}$ superconductor, *J. Appl. Phys.* 107, 09E128 (2010). 査読有
9. V. P. S. Awana, A. Pal, A. Vajpayee, R. S. Meena, H. Kishan, K. S. Krishnan, M. Husain, S. Yu, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Superconductivity in $\text{SmFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{AsO}$ ($x = 0.0-0.30$), *J. Appl. Phys.* 107,

- 09E146 (2010). 査読有
10. V. P. S. Awana, A. Pal, A. Vajpayee, M. Husain, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, and H. Kishan, From weak magnetism (Spin Density Wave-SDW) to hidden superconductivity and finally the ferromagnetic phase diagram for $\text{SmFe}_{1-x}\text{Ru}_x\text{AsO}$ system with $x = 0.0$ to 0.50 , *Physica C* 470, S424-S425 (2010). 査読有
 11. V. P. S. Awana, I. Nowik, A. Pal, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, and I. Felner, Magnetic phase transitions in SmCoAsO , *Phys. Rev. B* 81, 212501 (2010). 査読有
 12. M. Akaogi, Y. Shirako, H. Kojitani, S. Takamori, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Post-perovskite Transitions in CaB_4O_3 at High Pressure, *Journal of Physics: Conference Series* 215, 012095 (2010). 査読有
 13. K. Yamaura, Y. Shirako, H. Kojitani, M. Arai, D. P. Young, M. Akaogi, M. Nakashima, T. Katsumata, Y. Inaguma, and E. Takayama-Muromachi, Synthesis and magnetic and charge transport properties of the correlated $4d$ post-perovskite CaRhO_3 , *J. Am. Chem. Soc.* 131, 2722-2726 (2009). 査読有
 14. T. Varga, J. F. Mitchell, K. Yamaura, D. G. Mandrus, and J. Wang, A Ca substitution study of NaV_2O_4 : High-pressure synthesis of the $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x\text{V}_2\text{O}_4$ solid solution, *Solid State Sciences* 11, 694-699 (2009). 査読有
 15. Y. Shirako, H. Kojitani, M. Akaogi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, High-pressure phase transitions of CaRhO_3 perovskite *Phys. Chem. Minerals* 36, 455-462 (2009). 査読有
 16. Y. G. Shi, S. Yu, A. A. Belik, Y. Matsushita, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, Y. Hata, H. Yasuoka, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Superconducting properties of the oxygen-vacant iron oxyarsenide $\text{TbFeAsO}_{1-\delta}$ from underdoped to overdoped compositions *Phys. Rev. B* 80, 104501 (2009). 査読有
 17. Y. G. Shi, Y. F. Guo, S. Yu, M. Arai, A. A. Belik, A. Sato, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, H. F. Tian, H. X. Yang, J. Q. Li, T. Varga, J. F. Mitchell, and S. Okamoto, Continuous metal-insulator transition of the antiferromagnetic perovskite NaOsO_3 *Phys. Rev. B* 80 161104(R) (2009). 査読有
 18. Y. G. Shi, A. A. Belik, M. Tachibana, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Magnetic and charge transport properties of the Na-based Os oxide pyrochlore, *J. Solid State Chem.* 182, 881-887 (2009). 査読有
 19. T. Qian, K. Nakayama, Y. J. Sun, T. Sato, T. Takahashi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, High-resolution photoemission study of NaV_2O_4 , *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 024709 (2009). 査読有
 20. N. Kaurav, Y. T. Chung, Y. K. Kuo, R. S. Liu, T. S. Chan, J. M. Chen, J.-F. Lee, H.-S. Sheu, X. L. Wang, S. X. Dou, S. I. Lee, Y. G. Shi, A. A. Belik, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Crystal structure and electronic and thermal properties of $\text{TbFeAsO}_{0.85}$, *Appl. Phys. Lett.* 94, 192507 (2009). 査読有
 21. V. P. S. Awana, A. Pal, A. Vajpayee, H. Kishan, G. A. Alvarez, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Synthesis of SmFeAsO by an Easy and Versatile Route and its Physical Property Characterization, *J. Appl. Phys.* 105, 07E316 (2009). 査読有
 22. K. Yamaura, Q. Huang, and E. Takayama-Muromachi, Superconductivity and structure of $\eta\text{-Mo}_3\text{C}_2$ *Physica C* 468, 1135-1137 (2008). 査読有
 23. Y. G. Shi, S. Yu, A. A. Belik, Y. Matsushita, M. Tanaka, Y. Katsuya, K. Kobayashi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Synthesis and superconducting properties of the iron oxyarsenide $\text{TbFeAsO}_{0.85}$, *J. Phys. Soc. Jpn.* 77, 155-157 (2008). 査読有
 24. H.-J. Noh, B. J. Kim, S.-J. Oh, J.-H. Park, H.-J. Lin, C. T. Chen, Y. S. Lee, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, Comparative study of the electronic structures of SrMO_3 ($M = \text{Ti, V, Mn, Fe, and Co}$; $M = \text{Zr, Mo, Ru, and Rh}$) by O 1s x-ray absorption spectroscopy, *J. Phys. Cond. Matter* 20, 485208 (2008). 査読有
 25. B. Liu, Y. Bando, C. Tang, M. Mitome, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, and D. Golberg, Mn-Si-Catalyzed

- Synthesis and Tip-End-Induced Room Temperature Ferromagnetism of SiC/SiO₂ Core-Shell Heterostructures, *J. Phys. Chem. C* 112, 18911-18915 (2008) 査読有
26. S. Balamurugan, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi, High-pressure synthesis and magnetic properties of the niobio-cuprate Nb_{0.9}Sr₂HoCu_{2.1}O_{7.9}, *Physica C* 468, 1206-1209 (2008). 査読有
27. S. Balamurugan, K. Yamaura, A. Asthana, A. Ubaldini, Y. Matsui, and E. Takayama-Muromachi, Magnetic and Transport and Structure Properties of the Room Temperature Ferromagnet Sr_{1-x}Ho_xCoO_{3-δ}, *J. Appl. Phys.* 103, 07B903 (2008). 査読有
- [学会発表] (計 19 件)
1. 山浦一成, Y. G. Shi, Y. F. Guo, S. Yu, 新井正男, A. A. Belik, 佐藤晃, 室町英治, H. F. Tian, H. X. Yang, J. Q. Li, T. Varga, and J. F. Mitchell, ペロブスカイト型オスmium酸化物 NaOsO₃ の合成と金属絶縁体転移、日本化学会第 90 春季年会 (2010)、近畿大学本部キャンパス、平成 22 年 3 月 26 日~29 日、大阪府東大阪市
 2. Y. F. Guo, Y. G. Shi, S. Yu, A. A. Belik, V. P. S. Awana, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi、Drastic suppression of the superconductivity of LaFeAsO_{0.85} by a nonmagnetic impurity、日本物理学会 65 回年、岡山大学津島キャンパス、平成 22 年 3 月 20 日~23 日、岡山県岡山市
 3. Y. Shirako; H. Kojitani; K. Yamaura; E. Takayama-Muromachi; M. Akaogi, Post-perovskite transition in NaNiF₃, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), December 15-20, 2010, Honolulu, Hawaii, USA.
 4. Y. Shi; K. Yamaura; Y. Guo; S. Yu; M. Arai; B. Alexei; A. Sato; E. Takayama-Muromachi, Continuous metal-insulator transition at 410 K of the antiferromagnetic perovskite NaOsO₃, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), December 15-20, 2010, Honolulu, Hawaii, USA.
 5. M. Arai; Y. G. Shi; Y. F. Guo; S. Yu; K. Yamaura; E. Takayama-Muromachi, First-principles study of electronic structure in perovskite NaOsO₃ and related compounds, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), December 15-20, 2010 Honolulu, Hawaii, USA.
 6. S. Yu; Y. G. Shi; Y. F. Guo; M. Arai; A. A. Belik; A. Sato; K. Yamaura; E. Takayama-Muromachi, Measurement of Hall Coefficient on Perovskite Oxide NaOsO₃, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), December 15-20, 2010, Honolulu, Hawaii, USA.
 7. K. Yamaura High-pressure crystal growth and magnetic and electrical properties of the quasi-one dimensional osmium oxide Na₂OsO₄, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), December 15-20, 2010 Honolulu, Hawaii, USA.
 8. K. Yamaura Crystal growth and magnetic properties of the osmium oxides, 2010 MRS Fall Meeting, Hynes Convention Center, November 29-December 3, 2010, Boston, Massachusetts, USA.
 9. Y. F. Guo, Y. G. Shi, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Drastic suppression of the superconductivity of LaFeAsO_{0.85} by a nonmagnetic impurity, International Congress on Ceramics, Osaka Convention Center, November 14 - 18, 2010, Osaka, Japan.
 10. S. B. Zhang, Y. F. Guo, Y. G. Shi, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, The effect of oxygen deficiencies in Sr₄Sc₂O_xFe₂As₂ prepared by high pressure method, International Congress on Ceramics, Osaka Convention Center, November 14 - 18, 2010, Osaka, Japan.
 11. J. J. Li, Y. F. Guo, Y. G. Shi, S. Yu, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Effect of zinc impurity on the optimally carrier doped superconductor BaFe_{1.87}Co_{0.13}As₂, International Congress on Ceramics, Osaka Convention Center, November 14 - 18, 2010, Osaka, Japan.
 12. K. Yamaura High-pressure studies toward discovery of new superconducting materials, EU-Japan workshop "Chemistry Guided Development of Useful Superconductors", November 5-7, 2010, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

13. J. J. Li, Y. F. Guo, S. B. Zhang, S. Yu, Y. Tsujimoto, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi Nonmagnetic impurity effect on the optimally carrier doped superconductor $\text{BaFe}_{1.87}\text{Co}_{0.13}\text{As}_2$ prepared at ambient pressure, International Symposium on Superconductivity (ISS2010), November 01-03, 2010, Tsukuba, Japan.
14. S. B. Zhang, Y. F. Guo, J. J. Li, X. X. Wang, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi Superconductivity of the platinum doped 122 iron arsenide $\text{SrFe}_{2-x}\text{Pt}_x\text{As}_2$, International Symposium on Superconductivity (ISS2010), November 01-03, 2010, Tsukuba, Japan
15. X. X. Wang, Y. F. Guo, Y. Shirako, M. Akaogi, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Thermal evolution of the crystal structure of the correlated 4d post-perovskite CaRhO_3 , International Symposium on Superconductivity (ISS2010), November 01-03, 2010, Tsukuba, Japan.
16. S. B. Zhang, Y. F. Guo, Y. G. Shi, J. J. Li, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, The effect of oxygen deficiencies in $\text{Sr}_4\text{Sc}_2\text{O}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$, 11th IUMRS International Conference in Asia, September 25-28, 2010, Qingdao International Convention Center, Qingdao, China.
17. Y. F. Guo, S. B. Zhang, Y. G. Shi, J. J. Li, S. Yu, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Drastic suppression of the superconductivity of $\text{LaFeAsO}_{0.85}$ by a nonmagnetic impurity, 11th IUMRS International Conference in Asia, September 25-28, 2010, Qingdao International Convention Center, Qingdao, China.
18. K. Yamaura, New materials research: crystal growth and magnetic properties of the perovskite osmium oxide and related compounds, Gordon Research Conferences, August 1-6, 2010, Colby-Sawyer College, New London, NH, USA.
19. K. Yamaura, Y. G. Shi, Y. F. Guo, S. Yu, M. Arai, A. A. Belik, A. Sato, E. Takayama-Muromachi, T. Varga, and J. F. Mitchell, High-pressure crystal growth and magnetic and electrical properties of the quasi-one dimensional

osmium oxide Na_2OsO_4 , APS March meeting, March 15-19, 2010, Portland, Oregon, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山浦 一成 (YAMAURA KAZUNARI)
独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主幹研究員
研究者番号：70391216

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

室町 英治 (MUROMCHI EIJI)
独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・グループリーダー
研究者番号：30343833

新井 正男 (ARAI MASAO)
独立行政法人物質・材料研究機構・計算科学センター・主幹研究員
研究者番号：40222723