

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23684024

研究課題名(和文)鉄オキシニクタイト超伝導体の単結晶育成と高圧下物性の研究

研究課題名(英文)Single crystal growth of iron oxypnictides and physical properties under high pressure

研究代表者

石川 文洋 (ISHIKAWA, Fumihiro)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：50377181

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,500,000円、(間接経費) 6,150,000円

研究成果の概要(和文)：新しい鉄系オキシニクタイトとして $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$ の合成に成功した。鉄ヒ素構造間に多層構造を持つオキシニクタイトは高い超伝導転移温度を示すことが期待されたが、本物質においては置換によるドーピングや13 GPaまでの圧力印加によっても超伝導を誘しなかった。この物質の単結晶育成は、高い融点を克服するためにタングステン金属製のるつぼを用いて行ったが電気炉のアルゴン雰囲気の高純度がよくない点と化合物に含まれるヒ素の高い反応性のために成功しなかった。この物質の合成には高圧下合成装置の利用が有望であると考えられる。多重極限化での物性測定を可能としたことで、今後の新しい物質探査に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：New iron oxypnictide  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$  successfully prepared. Higher superconducting transition temperature is expected in iron oxypnictides with the layered structures between Fe-As tetrahedrons, like  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$ . However, neither elemental substitution for doping carriers nor applying pressure of 13 GPa, does cause the superconductivity in  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$ . Suppression of the superconductivity in  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$  system is probably due to magnetic order of Cr atom. We tried to prepare single crystal samples of  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$  with metal crucibles with tungsten metal. However, purity of gas in the electrical furnace was not enough to prevent the metal crucibles from melting. As a result, we could not grow the single crystal sample of  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$ .  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_{20}$  and some kinds of elemental substituted compounds are very weak, so that synthesizing under high pressure is suitable for this material. Measurement system for Hall conductivity under high pressure was established.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：高温超伝導 高圧 鉄系超伝導体

### 1. 研究開始当初の背景

2008年に発見された鉄ニクタイト化合物超伝導体の研究が数多くの関連物質について盛んに行われている。これらに共通するのは、伝導を担う FeAs 層のような鉄ニクトゲン層を有することである。この鉄ニクトゲン層間に挿入される構造によって、鉄ニクタイト化合物は様々な物質系を示す。最初に報告された LaFeAs(O, F)に代表される 1111 系、 $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$  に代表される 122 系などがある。また近年では、この層間により複雑なペロブスカイト的構造を有する、42622 系と呼ばれる  $(Sr_4V_2O_6)(Fe_2As_2)$  系のような多層構造を持つ物質も報告されている。1111 系や 42622 系のように組成に酸素を含む物質はオキシニクタイトと称される。

現在、122 系は超伝導母物質である  $BaFe_2As_2$  などの単結晶試料を用いた電気伝導特性の異方性、NMR、精密構造解析、高電子分光などの様々な研究報告がなされ、鉄ニクタイト超伝導体研究の中心的な物質系となっている。例えば、申請者の研究グループを含む様々な研究グループが  $BaFe_2As_2$  の単結晶試料による磁気転移温度や超伝導転移温度の圧力依存性を報告している。これらの報告では、超伝導の出現する圧力に大きな隔たりがある。改良ブリッジマンアンビル型高圧発生装置での測定では、低い圧力で高い超伝導転移温度を示している点は注目すべきことである。この超伝導転移温度の圧力依存性の違いは、測定に用いられた圧力発生装置の静水圧性の違いを反映した、単結晶に対する一軸圧効果の影響である可能性が高い。

鉄ニクタイト系の超伝導転移温度は、最初の報告から 1~2 年の間に 1111 系  $SmFeAsO_{0.9}F_{0.1}$  の 55 K が報告された以降、より高い超伝導転移温度を物質の発見が滞っている。

### 2. 研究の目的

本申請課題では、鉄ニクタイト系化合物においてより高い超伝導転移温度を誘起させることにある。鉄ニクタイト系の超伝導転移温度の最高記録は 1111 系  $SmFeAsO_{0.9}F_{0.1}$  の 55 K であり、最近の報告の中で特に高い超伝導転移温度を示す物質としては、多層構造オキシニクタイト  $Ca_4(Mg_{0.25}Ti_{0.75})_3Fe_2As_2O_{7.5}$  における 43 K である。このように、高い超伝導転移温度は酸化物、すなわち鉄オキシニクタイトで発現している。さらに  $BaFe_2As_2$  のように、鉄オキシニクタイトも単結晶を用い、圧力印加の一軸圧効果によって低い圧力でより高い超伝導転移温度を示すことが予想される。事実、多結晶試料であり転移がブロードになりながらではあるが、 $LaFeAsO_{0.89}F_{0.11}$  多結晶では超伝導転移温度は圧力増加とともに一旦上昇している。これらのことから、一軸圧効果を含めた圧力による超伝導転移温度上昇の機構を明らかにするには、高圧下測定において鉄オキシニクタイト単結晶試料を用いるこ

とが極めて重要である。また多層構造オキシニクタイト  $Sr_4V_2Fe_2As_2O_6$  多結晶は圧力により超伝導転移温度が上昇しており、単結晶試料ではさらに転移温度の上昇が期待できる。このように鉄オキシニクタイト単結晶試料と圧力効果により鉄ニクタイト系超伝導体の超伝導転移温度の最高記録を更新することを目指す。

### 3. 研究の方法

本研究は、新しい多層構造オキシニクタイトの探査を行い、その超伝導特性を圧力効果を含めて明らかにする。オキシニクタイトは多層化が進むと共により高い超伝導転移温度を示すことが期待される。しかしこれまでの報告では、1111 系から 42622 系では転移温度は低下している。これらの中間に相当する層構造をもつ物質は、これらの間でより高い転移温度を示すと予想される。このことから  $Sr_2Mn_3As_2O_2$  型に注目をして行った。

単結晶の育成をガラス二重封管法や金属るつば封管法を用いて試みた。特に金属るつば封管を用いた場合には昇降機能付きの電気炉を用いることでゾーンメルトによる育成を目指した。タンゲステン製るつば内にはアルミナ管に納めた試料原料を入れ、テトラアーク炉を用いて金属製のふたを封じる。

合成された試料については、10 GPa 級の圧力発生が可能である改良ブリッジマンアンビル型高圧発生装置を用いて高圧下における電気伝導特性を測定した。また圧力誘起超伝導の機構を解明するために、圧力下でのホール効果測定装置の開発を行った。ホール効果の測定は本研究経費で導入した超伝導マグネットを中核として、既設の  $^3He$  プローブ及び改良型ブリッジマンアンビルアンビル型高圧発生装置を組み合わせることで、8 T、300 mK、10 GPa の多重極限環境下での物性測定を可能とした。

### 4. 研究成果

#### (1) $Sr_2Cr_2Fe_2As_2O_2$ の合成

鉄オキシニクタイト系化合物における新しい超伝導体の候補として、 $Sr_2Mn_3As_2O_2$  型に着目して物質探査を行った。オキシニクタイト化合物の中でも、Mn 系化合物では超伝導体の報告がないことや、先行研究でノンドープで高い超伝導転移温度を示した  $Sr_4V_2Fe_2As_2O_6$  の結果などを参考にして  $Sr_2Fe_3As_2O_2$ 、 $Sr_2V_2Fe_2As_2O_2$  の合成を試みたが合成条件を見いだすことが出来なかった。しかし、焼結温度 900 において  $Sr_2Cr_2Fe_2As_2O_2$  の合成に成功した。この物質は、 $Sr_2Mn_3As_2O_2$  型構造における二つある Fe サイトの内一つを Cr で置換した物質である。図 1 に示すように、鉄オキシニクタイト系超伝導体に特徴的な FeAs 四面体の層と、 $CrO_2$  からなる平面状の層が存在している。この物質は FeAs 層を含む  $Sr_2Mn_3As_2O_2$  型オキシニクタイトとして初めて合成が報告された物質で

もある。

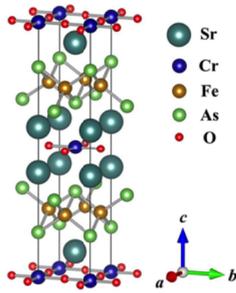


図1  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の結晶構造

合成された  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  は正方晶で空間群は  $I4/mmm$  であり格子定数  $a = 3.995 \text{ \AA}$ 、 $c = 18.447 \text{ \AA}$  を持つ。4端子法による電気抵抗の温度依存性及び SQUID 磁束計による磁化の温度依存性を図2、3に示す。これらの図からわかるように、低温において超伝導性を示すことはなかった。電気抵抗率の変化は全温度領域で半導体的で金属的な振舞は見られなかった。また磁化の温度依存性はキュリーワイス的な振舞も見られず、磁化等温曲線は 5 K、300 K いずれの温度でもヒステリシスをとまなう明瞭な強磁性を示し、室温以上にキュリー温度を持つことを示唆した。この強磁性が試料の主相である  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  によるものかは明らかになっていない。しかし X 線回折測定は数%以下の Fe-Cr 合金が不純物相として含まれていることを示しており、その量と磁化から見積もられる磁化の大きさとおおよそ一致している。

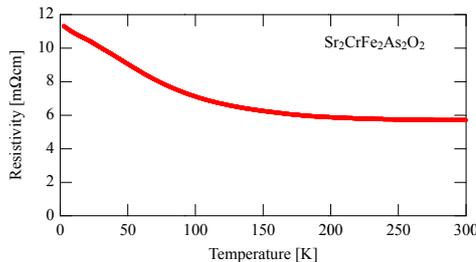


図2  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の電気抵抗の温度依存性

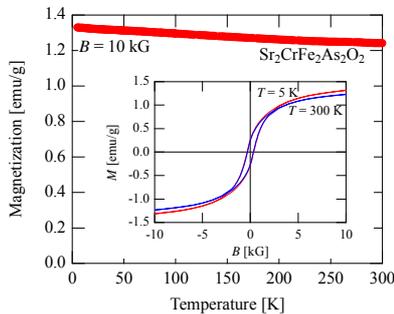


図3  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の磁化率の温度依存性。挿入図は 5 K と 300 K における磁化等温曲線。

これらの結果から、 $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  は超伝導性を示さないことがわかった。そのため、各元素を置換することでキャリアドーピングを

施し、超伝導性を誘起させることを試みた。Cr サイトについて V、Mo、Pd、Pt、Cu を、Fe サイトについて Co の置換を試みた。しかしこれらの置換系物質を単相試料として合成することがほとんどできなかった。混相として得られた試料も半導体的な伝導特性を示しドーピングの効果はほとんど示されなかった。Co 置換の場合はわずかに半導体的な温度依存性が緩やかになったが金属的な振舞に至るまで置換量を増やすことができなかった。これらの置換試料は一般に焼結性が低くバルク状での電気伝導特性を測定するのが困難であった。高い電気抵抗率はこの低焼結性も影響している可能性がある。これらの置換系試料の作成には、高圧下での合成やアニールが必要と考えられる。また  $\text{Sr}_2\text{V}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の合成を試みた結果、 $\text{Sr}_4\text{V}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  相を含む試料が得られた。これまでの報告から多層化が進むと焼結温度が上昇することから  $\text{Sr}_2\text{V}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  に必要な焼結温度が反応性の低下するより低い温度であることが示唆された。この観点からも高圧下での合成が有望と考えられる。

## (2) オキシニクタイト単結晶の育成

金属るつばや二重封管ガラスを用いて、 $\text{LaFeAsO}$ 、 $\text{Sr}_4\text{V}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_6$ 、 $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の単結晶育成を試みた。 $\text{LaFeAsO}$ 、 $\text{Sr}_4\text{V}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_6$  は FeAs をフラックスとした手法で合成を試みたが、0.1 mm 角以下の極小さな試料を得ることはできたが電気伝導特性を測定可能な大きさの試料を得ることはできなかった。

タングステン金属るつばを用いて新物質である  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の単結晶育成を試みた。自己フラックス法として原料を金属るつば中に納めてテトラアーク炉を用いて封かんした。タングステンの融点は 3422 であり、使用した昇降機能付きモリシリ電気炉の温度範囲では十分と安定と予想し 1200 での試料溶解をおこなった。しかし結果としてタングステンるつばが融解し、試料はまったく得られなかった。アルゴンガスフロー中であってもわずかな酸素が雰囲気に含まれている状態ではタングステンも融解する、または原料に含まれる活性なヒ素元素が反応するなどの原因が考えられる。

鉄オキシニクタイト系における単結晶育成は FeAs や Sn などをフラックスにする手法は知られているが、これらの除去が困難である。この点から高融点の金属を用いて自己フラックス法を試みたがその手法では単結晶を成長させることが出来ないことがわかった。

## (3) 圧力下における $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$ の電気抵抗の温度依存性と測定装置開発

改良ブリッジマンアンビル型高圧発生装置を用いて 13 GPa までの圧力下における  $\text{Sr}_2\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の電気抵抗の温度依存性の測定を行った。その結果を図4に示す。常圧においては図2に示したように、全温度領域で半導体的な振舞を示したが、加圧によって金

属的な、温度係数が正の領域が現れる。金属的な振舞をする領域は圧力の増加にともなって低温領域に広がって行き、最高圧力の 13 GPa では 30 K 以下の低温でわずかに抵抗の上昇が見られるが、ほぼ全温度領域において金属的な振舞となることがわかった。しかし 3 K までの温度範囲では超伝導的振舞は確認できなかった。抵抗率の値は数 mΩ cm と非常に高く、これ以上の加圧を行っても超伝導転移が現れる可能性は非常に低いと考えられる。

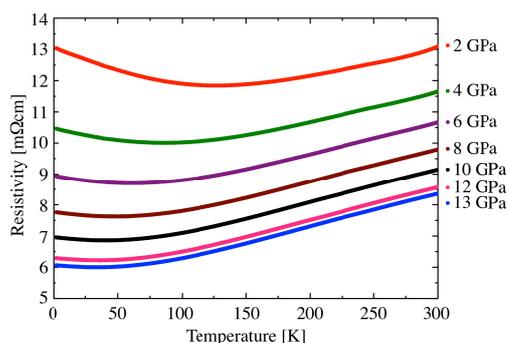


図 4 Sr<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>2</sub> の圧力下における電気抵抗の温度依存性。

1 GPa までの圧力下で磁化測定を行った。この圧力範囲では磁化の値は図 3 に示した結果とほとんど変わらず、低磁場にあっても超伝導の兆候は見られなかった。

このように Sr<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>2</sub> において圧力誘起超伝導を観測することは出来なかった。類似の系と考えられる Sr<sub>4</sub>V<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>6</sub> で超伝導が出現する一方で、同じ結晶構造を持つ Sr<sub>4</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>6</sub> では超伝導が出現しないことから Cr の磁気的な秩序が超伝導を害していると考えられる。その一方で Sr<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>2</sub> は高いキュリー温度を持つ明瞭な強磁性が観測されるのみで、Sr<sub>4</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>6</sub> で観測されるような低温での磁気的な秩序化は見られない。現在得られている試料では Fe-Cr 不純物相の強磁性が支配的になっている可能性が高い。

圧力誘起超伝導の機構を解明するにあたって、改良ブリッジマンアンビル型高圧発生装置を用いてファン・デル・ポー法による電気抵抗、ホール効果測定装置の開発を行った。ホール効果については比較的ホール係数の大きい Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> 系合金について 300 mK、8 GPa の条件で測定することができた。ホール効果測定は、一般的な 4 端子法と、抵抗分を補償する 5 端子法いずれでも測定可能である。また 4 端子ファン・デル・ポー法を用いて YBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> 単結晶の電気抵抗測定に成功した。ほぼ正方形の単結晶試料を使うことで、*ab* 面内の電気抵抗の異方性を測定することができた。これらの測定装置とマイクロコンピュータを組み合わせることで、本研究課題で目的とし達成することが出来なかった大型単結晶試料がなくとも、小さな試料を用いて精密な物性測定を多重極限環境下で測定でき、圧力誘起超伝導など新しい物性探査に寄与できる

実験技術の確立ができた。

## 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 8 件)

Superconductivity in 122 antimonide SrPt<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>, M. Imai, S. Emura, M. Nishio, Y. Natsushita, S. Ibuka, N. Eguchi, F. Ishikawa, Yuh Yamada, T. Muranaka, J. Akimitsu, Supercond. Sci. Technol. 26(2013) 075001, 1-4. 査読有り, doi:10.1088/0953-2048/26/7/075001

Synthesis of New Layered Oxypnictides Sr<sub>2</sub>CrO<sub>2</sub>(FeAs)<sub>2</sub>, N. Eguchi, F. Ishikawa, M. Kodama, T. Wakabayashi, A. Nakayama, A. Ohmura, Yuh Yamada, J. Phys. Soc. Jpn. 82 (2013) 045002, 1-2. 査読有り

<http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.82.045002>

Pressure-induced superconductivity in Bi<sub>0.85</sub>Sb<sub>0.15</sub> alloy, A. Ohmura, A. Yamamura, M. Einaga, F. Ishikawa, A. Nakayama, Yuh Yamada and S. Nakano, J. Phys.: Conf. Ser. 400(2012)022088, 1-4. 査読有り

doi:10.1088/1742-6596/400/2/022088

Powder x-ray diffraction of BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> under hydrostatic pressure, N. Eguchi, M. Kodama, F. Ishikawa, A. Nakayama, A. Ohmura, Yuh Yamada and S. Nakano, J. Phys.: Conf. Ser. 400(2012)022017, 1-4. 査読有り

doi:10.1088/1742-6596/400/2/022017

Pressure effect on critical temperature for superconductivity and lattice parameters of AlB<sub>2</sub>-type ternary silicide YbGa<sub>1.1</sub>Si<sub>0.9</sub>, Ayako Ohmura, Koji Fujimaki, Fumihiko Ishikawa, Yuh Yamada, Naohito Tsujii, and Motoharu Imai, Phys. Rev. B 84(2011) 104520, 1-7. 査読有り

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.84.104520>

Pressure-induced phase transition of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> to a bcc structure, Mari Einaga, Fumihiko Ishikawa, Ayako Ohmura, Atsuko Nakayama, Yuh Yamada, and Satoshi Nakano, Phys. Rev. B 83(2011) 092102, 1-4. 査読有り

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.83.092102>

Effect of Substitution of Ca<sup>2+</sup> for Eu<sup>2+</sup> on Pressure-Induced Superconductivity in EuFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, Akihiro Mitsuda, Tomohiro Matoba, Satoshi Seike, Fumihiko Ishikawa, Yuh Yamada, and Hirofumi Wada, J. Phys. Soc. Jpn. 80(2011) SA117. 査読有り

<http://dx.doi.org/10.1143/JPSJS.80SA.SA117>

Competition between Fe-based superconductivity and antiferromagnetism of Eu<sup>2+</sup> in Eu<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, A. Mitsuda, S. Seike, T. Matoba, H. Wada, F. Ishikawa and Y. Yamada, J. Phys.: Conf. Ser. 273(2011)012100. 査読有り

doi:10.1088/1742-6596/273/1/012100

〔学会発表〕(計 10 件)

鉄オキシニクタイト  $\text{Sr}_2\text{CrFe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の導電性に対する置換効果、若林雄，江口直也，三宮圭一，平田建志郎，山岸達矢，石川文洋，山田裕，中山敦子，大村彩子、日本物理学会第 69 回年次会、2014 年 3 月 27 日、東海大学湘南キャンパス

21222 型構造を持つ鉄オキシニクタイトの高圧下物性、江口直也・若林雄・山岸達矢・石川文洋・大村彩子・中山敦子・山田裕、第 54 回高圧討論会、2013 年 11 月 14 日、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター

122 系 Sb 化合物における新超伝導物質探索、今井基晴，井深壮史，菊川直樹，西尾満章，宇治進也，寺嶋太一，江口直也，石川文洋，山田裕，矢島健，陰山洋、日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 28 日、徳島大学

新しい鉄オキシニクタイト  $\text{Sr}_2\text{CrFe}_2\text{As}_2\text{O}_2$  の合成と高圧下物性、江口直也，若林雄，石川文洋，大村彩子，中山敦子，山田裕、日本物理学会第 68 回年次会、2013 年 3 月 27 日、広島大学 東広島キャンパス

21222 型構造をもつ新しい鉄系オキシニクタイトの合成、石川文洋，江口直也，若林雄，平田建志郎，菊池雅彦，三宮圭一，児玉通大，大村彩子，中山敦子，山田裕、日本物理学会第 68 回年次会、2013 年 3 月 27 日、広島大学 東広島キャンパス

高圧下における  $\text{EuMn}_2\text{As}_2$  の電気伝導特性、江口直也・石川文洋・光田暁弘・和田裕文・榮永茉莉・大村彩子・中山敦子・山田裕、第 53 回高圧討論会、2012 年 11 月 7 日、大阪大学豊中キャンパス大阪大学会館積層構造のブロック層を有する鉄オキシニクタイトの合成と物性、江口直也，若林雄，石川文洋，大村彩子，中山敦子，山田裕、日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 20 日、横浜国立大学

鉄オキシニクタイト  $\text{Sr}_4\text{Cr}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_6$  の合成と物性、石川文洋，児玉通大，渡部琢也，江口直也，中山敦子，大村彩子，山田裕、日本物理学会第 67 回年次会、2012 年 3 月 25 日、関西学院大学 西宮上ヶ原キャンパス

オキシニクタイトの高圧下における物性、石川文洋・児玉通大・渡部琢也・江口直也・大村彩子・中山敦子・山田裕、第 52 回高圧討論会、2011 年 11 月 10 日、沖縄キリスト教学院

Powder x-ray diffraction of  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  under hydrostatic pressure, N. Eguchi, M. Kodama, F. Ishikawa, A. Nakayama, A. Ohmura, Yuh Yamada and S. Nakano, The 26th International Conference on Low Temperature Physics, 2011.8.15, Beijing International Convention Center, Beijing, China.

〔図書〕(計 0 件)

〔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://bussei.gs.niigata-u.ac.jp/~yamada/>

6. 研究組織  
(1)研究代表者  
石川 文洋 (ISHIKAWA, Fumihiro)  
新潟大学・自然科学系・准教授  
研究者番号：50377181

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：