

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月29日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760628

研究課題名（和文） 原子クラスターの形態を制御した硫化物熱電材料の開発

研究課題名（英文） Sulfide Thermoelectric Materials with Architected Atomic Clusters

研究代表者

太田 道広 (OHTA MICHIIRO)

独立行政法人産業技術総合研究所・エネルギー技術研究部門・主任研究員

研究者番号：50443172

研究成果の概要（和文）：本研究では、新規熱電材料として、モリブデン（Mo）と硫黄（S）からなる原子クラスターを基本構造として持つシェブレル相硫化物に注目した。① 原子クラスターが繋がった  $\text{Mo}_6\text{S}_6$  一次元チェーンを基本構造としている  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、②  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  と  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、③  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、④  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  と  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  を合成し、それらの熱電特性を評価した。結果は、原子クラスターとその間に存在する空隙の形態を制御することで、シェブレル相硫化物の熱電性能指数  $ZT$  を向上できることを示唆している。

研究成果の概要（英文）：We have developed the Chevrel phase sulfides as new thermoelectric materials. The host structure of a Chevrel phase sulfides consists of stacked molybdenum (Mo) and sulfur (S) clusters. The thermoelectric properties of sintered compacts of  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ ,  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ ,  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ ,  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ , and  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  were investigated. The crystal structure of  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ ,  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  and  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ ,  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ , and  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  contains  $\text{Mo}_6\text{S}_6$  chains,  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  clusters,  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  clusters, and  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  and  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  clusters, respectively. The result suggests that the thermoelectric figure of merit  $ZT$  is enhanced by tailoring the architecture of the cluster structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：金属物性、環境材料、エネルギー材料、熱電変換、電子・熱物性、金属生産工学、廃熱利用、省エネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

日本では一次エネルギーの大半を輸入に頼っているが、有効利用できているのはわずか3割程度で、残りを熱エネルギーとして棄てている。この膨大な量の未利用熱エネルギーを有効活用することが、日本が抱えているエネルギー問題の解決に一役買う。未利用熱エネルギー活用の鍵を握っている技術が、熱電発電である。熱電発電を利用することで、

未利用熱エネルギーを、利用価値の高い電気エネルギーに変換できる。しかしながら、現状では、熱電発電モジュールの変換効率は低く、そのため技術の普及には至っていない。熱電発電モジュールの変換効率を革新的に向上させる、新しい技術の開発が望まれている。

## 2. 研究の目的

熱電発電では、熱電材料のゼーベック効果を利用して熱エネルギーを電気エネルギーに変換する。そのため、熱電発電モジュールの高効率化を達成するためには、高性能な熱電材料を開発する必要がある。熱電材料の性能は、熱電性能指数  $ZT = S^2 T / \rho \kappa$  で評価され、ここで、 $S$ 、 $T$ 、 $\rho$ 、 $\kappa$  はそれぞれ、ゼーベック係数、絶対温度、電気抵抗率、熱伝導率である。また、熱伝導はフォノンとキャリアが担うので、熱伝導率は格子寄与  $\kappa_{lat}$  とキャリア寄与  $\kappa_{el}$  の和として書ける： $\kappa = \kappa_{lat} + \kappa_{el}$ 。すなわち、優れた熱電材料には、高いゼーベック係数、低い電気抵抗率、低い熱伝導率を有することが求められる。しかしながら、① 電気抵抗率と電子熱伝導率はヴィーデマン-フランツ則  $\kappa_{el} = LT / \rho$  ( $L$  はローレンツ数) を通して関係している、② ゼーベック係数、電気抵抗率、電子熱伝導率はキャリア濃度の関数として書けるなど、ゼーベック係数、電気抵抗率、熱伝導率は互いに密接に関係している。従来までの材料設計ではそれぞれを独立に制御することは難しく、そのため高い  $ZT$  を実現することは困難であった。

### 3. 研究の方法

本研究では、新規熱電材料として、モリブデン (Mo) と硫黄 (S) からなる原子クラスターを基本構造として持つシェブレル相硫化物に注目した。シェブレル相硫化物では、原子クラスターとその間に存在する空隙の形態を制御することで、熱の輸送特性 (熱伝導率) と電子の輸送特性 (ゼーベック係数と電気抵抗率) の同時制御が可能となり、高い  $ZT$  を実現できる可能性がある。本研究では、熱と電子の輸送特性の同時制御を実現するための知見を得るために、① 原子クラスターが繋がった  $\text{Mo}_6\text{S}_6$  一次元チェーンを基本構造としている  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、②  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  と  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、③  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、④  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  と  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  を合成し、それらの熱電特性を評価して、原子クラスターとその間に存在する空隙の形態と熱電特性との関係を調査した。

また、シェブレル相硫化物の研究開発と並行して、シェブレル相硫化物と同じ材料群である硫化物を対象にして新しい熱電材料の探索も実施した。その結果、自然界に存在する硫化鉍物テトラヘドライト  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  において、その組成を人工的に制御することで高い  $ZT$  を実現した。このテトラヘドライトは、環境に豊富にあり、毒性の少ない元素である硫黄と銅を主成分にしており、環境に調和した熱電材料である。

## 4. 研究成果

### (1) シェブレル相硫化物

#### ① 試料合成

$\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{MoS}_2$ 、 $\text{K}_2\text{MoS}_4$  を出発原料として、 $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、 $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ 、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  を合成した。まず、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{MoS}_2$ 、 $\text{K}_2\text{MoS}_4$  粉末を所定の割合で混合して、その混合粉末を  $\text{Mo}$  坩堝に入れて、真空中で 1273~1473 K、8 時間の条件で反応させることで、 $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、 $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ 、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の粉末を合成した。ここで、出発原料の 1 つである  $\text{K}_2\text{MoS}_4$  は、 $\text{K}_2\text{MoO}_4$  を  $\text{CS}_2$  ガス雰囲気下で、673 K、8 時間の条件で硫化させて作製した。 $\text{K}_2\text{MoO}_4$  は、 $\text{MoO}_3$  と  $\text{K}_2\text{CO}_3$  を所定比で混合し、大気中で、1073 K、48 時間の条件で反応させて作製した。次に、得られた合成粉末を、真空中、30~40 MPa、1223~1413 K、1~2 時間の条件で通電パルス焼結して、焼結体を作製した。X 線回折法を用いて、すべての焼結体がほぼ単相から成ることを確認した。アルキメデス法を用いて測定した焼結密度は、理論密度の 94% 以上であり、この数値は、緻密な焼結体を作製できていることを示している。すなわち、本研究で開発したプロセスにより、熱電特性の評価に適している、単相で緻密な高品質な焼結体を得ることに成功した。

#### ② 熱電特性

今回作製した  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、 $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ 、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の結晶構造の基本構造を図 1 に示す。この基本構造の間に存在する空隙に、充填金属  $\text{K}$  と  $\text{Cu}$  が存在している。基本構造と充填金属の異なるシェブレル相硫化物の熱電特性を評価することで、原子クラスターとその間に存在する空隙の形態と熱電特性との関係を調査できる。

$\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、 $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ 、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の熱伝導率、ゼーベック係数、電気抵抗率を 300 K から 950 K までの温度範囲で測定した。測定結果から、原子クラスターを基本構造としている  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$ 、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の格子熱伝導率が、原子一次元チェーンを基本構造としている  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$  のそれよりも低いことを見出した。この低い格子熱伝導率は、原子クラスター構造の複雑さに起因している。すなわち、原子クラスターを基本構造に持つことが、熱の輸送特性から見た場合、熱電材料として相応しいモリブデン硫化物の形態である。

さらに、同じ  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  クラスターを基本構造としているモリブデン硫化物と比較した場合、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$  の熱電出力因子 ( $S^2 / \rho$ ) は、 $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  のそれよりも高いことが明らかとなった。これは  $\text{Cu}$  がもたらす電子構造に起因したもので、他の遷移金属でも同様な結果が期待される。すなわち、 $\text{Cu}$  に代表される遷

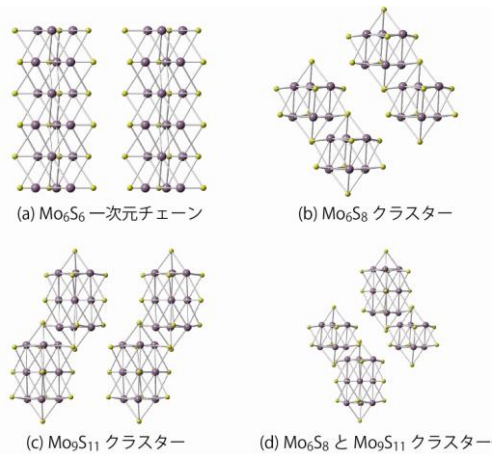


図1 (a)  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$  の基本構造である原子クラスターがつながっている  $\text{Mo}_6\text{S}_6$  一次元チェーン、(b)  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  と  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$  の基本構造である  $\text{M}_6\text{S}_8$  クラスタ (c)  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  の基本構造である  $\text{M}_9\text{S}_{11}$  クラスタ、(d)  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の基本構造である  $\text{M}_6\text{S}_8$  と  $\text{M}_9\text{S}_{11}$  クラスタ

移金属が充填されていることが、電子の輸送特性から見た場合、熱電材料として相応しいモリブデン硫化物の形態である。これらの結果をまとめると、原子クラスターを基本構造に持ち、その間の空隙には遷移金属が充填されていることが、熱電材料として相応しいモリブデン硫化物の形態であるという結論が導き出される。

測定した熱伝導率、ゼーベック係数、電気抵抗率から  $ZT$  を算出した。図2に示す通り、 $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$  の  $ZT$  は温度と共に上昇して、950 K で  $ZT = 0.4$  に達する。この値は、既存の熱電材料である  $\text{PbTe}$  の  $ZT$  よりは低い値ではあるが、一般的な材料と比較するとやや高い値である。今後、本研究で得られた知見を基に、原子クラスターと空隙の形態制御を進めることで、シェブレル相硫化物の  $ZT$  がさらに向上することが期待される。

## (2) テトラヘドライト

北陸先端科学技術大学院大学にて、自然界に存在する硫化鉍物のテトラヘドライト  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  の  $\text{Cu}$  サイトの一部を  $\text{Ni}$  で置換した  $\text{Cu}_{12-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  ( $0.0 \leq x \leq 2.0$ ) の粉末を人工的に作製して頂き、その提供を受けた。本研究では、提供を受けた粉末を 803 K、1 時間、60 MPa の条件でホットプレスすることで、緻密な焼結体の作製に成功した。

熱電材料としての可能性を調査するために、室温から 673 K の温度範囲で、 $\text{Cu}_{12-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  の熱伝導率、ゼーベック係数、電気抵抗率を調査した。 $\text{Cu}_{12-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  の格子熱伝導率は、 $0.6 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$  以下のガラスのように非常に値を示した。すなわち、熱電材料として有利な熱の輸送特性を有している。その上、

熱電出力因子は、 $\text{Ni}$  量を調整することで最適化できて、 $\text{Ni}$  量が  $x = 1.5$  のときに最大になった。

低い格子熱伝導率と最大化された出力因子のため、 $x = 1.5$  のときにもっとも高い  $ZT$  を示した。図2に示す通り、その  $ZT$  は温度と共に上昇して、665 K で 0.7 に達する。このテトラヘドライトの  $ZT$  は、既存の熱電材料  $\text{PbTe}$  と比較しても遜色のない値であり、 $\text{PbTe}$  が希少・毒性元素を含有していることを考慮に入れると、開発したテトラヘドライトが熱電材料として優位であることは明白である。

## (3) まとめ

### ① シェブレル相硫化物

$\text{Mo}_6\text{S}_6$  一次元チェーンを基本構造としている  $\text{K}_{3.0}\text{Mo}_6\text{S}_6$ 、 $\text{Mo}_6\text{S}_8$  クラスタを基本構造としている  $\text{K}_{1.1}\text{Mo}_6\text{S}_{8.2}$  と  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$ 、 $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスタを基本構造としている  $\text{K}_{2.15}\text{Mo}_9\text{S}_{11}$ 、 $\text{Mo}_6\text{S}_8$  と  $\text{Mo}_9\text{S}_{11}$  クラスタを基本構造としている  $\text{K}_{1.85}\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  を合成し、これらシェブレル相硫化物の熱電特性を評価した。その結果、原子クラスターを基本構造に持ち、その間の空隙には  $\text{Cu}$  に代表される遷移金属が充填されていることが、熱電材料として相応しいモリブデン硫化物の形態であることを見出した。

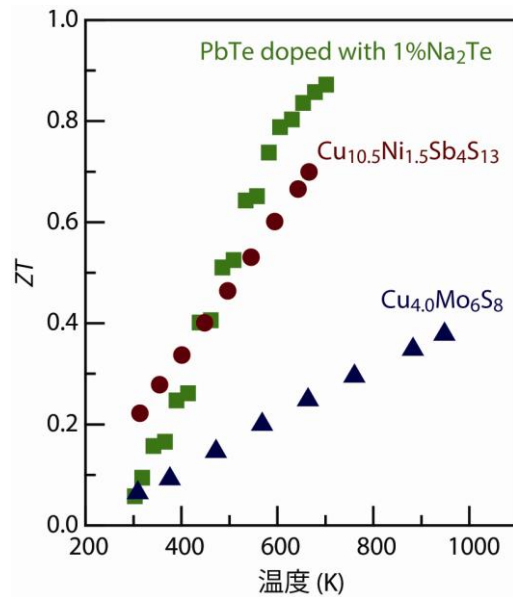


図2 本研究で開発したシェブレル相硫化物  $\text{Cu}_{4.0}\text{Mo}_6\text{S}_8$  とテトラヘドライト  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  の熱電性能指数  $ZT$  の温度依存性比較のために既存の熱電材料である  $\text{PbTe}$  の  $ZT$  も合わせて図示する ( $\text{PbTe}$  の  $ZT$  の出典: M. Ohta, K. Biswas, S.-H. Lo, J. Q. He, D. Y. Chung, V. P. Dravid, M. G. Kanatzidis, Adv. Energy Mater. 2, 1117 (2012).)

Cu<sub>4.0</sub>Mo<sub>6</sub>S<sub>8</sub>において、950 Kで最大の  $ZT = 0.4$  が得られた。この  $ZT$  は、一般的な材料と比較して、やや高い値である。今後、本研究で得られた知見を基に、熱電材料としてのモリブデン硫化物の研究を推進することで、 $ZT$  が向上すると期待される。

## ② テトラヘドライト

自然界に存在する硫化鉱物のテトラヘドライト Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> を、北陸先端科学技術大学院大学にて人工的に作製して頂き、提供を受けた。Cu サイトの一部を Ni で置換した Cu<sub>12-x</sub>Ni<sub>x</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> ( $0.0 \leq x \leq 2.0$ ) の緻密な焼結体を作製し、その熱電特性を評価した。Cu<sub>12-x</sub>Ni<sub>x</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> の格子熱伝導率は、ガラスのように非常に値を示した。その上、熱電出力因子は、Ni 量を調整することで最適化できた。Ni 量が  $x = 1.5$  のときに  $ZT$  は最大となり、その値は 665 K で 0.7 になる。このテトラヘドライトの  $ZT$  は、既存の熱電材料 PbTe と比較しても遜色のない値であり、PbTe が希少・毒性元素を含有していることを考慮に入れると、開発したテトラヘドライトが熱電材料として優位であることは明白である。この成果は、自然に学ぶことで優れた熱電材料が開発できる可能性を示唆している。すなわち、今後、本研究で切り開いた熱電変換鉱物という新しい研究指針が熱電材料の開発において重要となる。

## 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 6 件)

- ① 末國晃一郎、太田道広、未利用熱エネルギー活用のための熱電変換鉱物、クリーンエネルギー、査読無、印刷中
- ② Koichiro Suekuni, Kojiro Tsuruta, Masaru Kunii, Hiroataka Nishiate, Eiji Nishibori, Sachiko Maki, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto, Mikio Koyano, High-performance Thermoelectric Mineral Cu<sub>12-x</sub>Ni<sub>x</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> Tetrahedrite, Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.113, 2013 年, pp.043712-1 - 043712-5  
DOI: 10.1063/1.4789389
- ③ Michihiro Ohta, Shuhei Satoh, Toshihiro Kuzuya, Shinji Hirai, Masaru Kunii, Atsushi Yamamoto, Thermoelectric properties of Ti<sub>1+x</sub>S<sub>2</sub> prepared by CS<sub>2</sub> sulfurization, Acta Materialia, 査読有, Vol. 60, 2012 年, pp. 7232-7240  
DOI: 10.1016/j.actamat.2012.09.035
- ④ Koichiro Suekuni, Masaru Kunii,

Hiroataka Nishiate, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto, Mikio Koyano, Thermoelectric Properties of Selenospinel Cu<sub>6</sub>Fe<sub>4</sub>Sn<sub>12</sub>Se<sub>32</sub>, Journal of Electronic Materials, 査読有, Vol.41, 2012 年, pp.1130-1133

DOI: 10.1007/s11664-011-1842-3

- ⑤ Hiroataka Nishiate, Michihiro Ohta, Atsushi Yamamoto, Haruhiko Obara, Chul-Ho Lee, Kazuo Ueno, Preparation of Single-Phase Pb-Filled Chevrel-Phase Sulfide and Its Thermoelectric Properties, Materials Transactions, 査読有, Vol.52, pp.1535-1538  
DOI: 10.2320/matertrans.E-M2011808
- ⑥ Michihiro Ohta, Shinji Hirai, Toshihiro Kuzuya, Preparation and Thermoelectric Properties of LaGd<sub>1+x</sub>S<sub>3</sub> and SmGd<sub>1+x</sub>S<sub>3</sub>, Journal of Electronic Materials, 査読有, Vol.40, 2011 年, pp.537-542  
DOI: 10.1007/s11664-010-1436-5

[学会発表] (計 30 件)

- ① 西当弘隆、國井勝、太田道広、山本淳、K を充填した Mo<sub>3n</sub>S<sub>3n+2</sub> ( $n \geq 2$ ) の熱電特性、日本金属学会 2013 年春期 (第 152 回) 講演大会、2013 年 3 月 27 日-29 日、東京理科大学神楽坂キャンパス (東京都)
- ② 太田道広、ナノ構造制御した高性能カルコゲナイド熱電材料、表面技術協会第 126 回講演大会、依頼講演、2012 年 9 月 27 日-28 日、室蘭工業大学 (北海道)
- ③ 西当弘隆、太田道広、山本淳、基本構造を制御したカリウム充填モリブデン硫化物の熱電特性、日本金属学会 2012 年秋期 (第 151 回) 講演大会、2012 年 9 月 17 日-19 日、愛媛大学 (愛媛県)
- ④ 西当弘隆、太田道広、山本淳、カリウム充填モリブデン硫化物の複雑な結晶構造と低い格子熱伝導率、第九回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2012)、2012 年 8 月 27 日-28 日、東京工業大学東工大蔵前会館 (東京都)
- ⑤ Michihiro Ohta, Hiroataka Nishiate, Atsushi Yamamoto, Thermoelectric Properties of Ternary Molybdenum Sulfides Containing Mo<sub>3n</sub>S<sub>3n+2</sub> Clusters, The 31st International and 10th European Conference on Thermoelectrics (ICT/ECT2012), 2012 年 7 月 9 日-12 日、Nordkraft (デンマーク、オールボー)
- ⑥ 西当弘隆、太田道広、山本淳、Mo<sub>3n</sub>S<sub>3n+2</sub> ( $n \geq 2$ ) クラスタを基本構造とするモリブデン硫化物の合成と熱電特性、日

本金属学会 2012 年春期講演 (第 150 回)  
大会、2012 年 3 月 28 日-30 日、横浜国  
立大学常盤台キャンパス (神奈川県)

- ⑦ Michihiro Ohta, Sulfide  
Thermoelectric Materials: Rare-earth  
Sulfides, Chevrel-phase Sulfides, and  
Misfit Layered Sulfides, Workshop on  
Nanostructured Materials for Clean  
Energy, 2011 年 8 月 11 日, 産業技術総  
合研究所つくばセンター (茨城県)
- ⑧ 西当弘隆、太田道広、山本淳、 $\text{NaMo}_6\text{S}_8$   
と  $\text{K}_2\text{Mo}_{15}\text{S}_{19}$  の合成、日本金属学会 2011  
年秋期 (第 149 回) 大会、2011 年 11 月  
7 日-9 日、沖縄コンベンションセンター  
およびカルチャーリゾートフェストー  
ネ (沖縄県)
- ⑨ 西当弘隆、太田道広、山本淳、小原春彦、  
李哲虎、上野和夫、シェブレル相硫化物  
の基本構造  $\text{Mo}_6\text{S}_8$  の作製と熱電特性にお  
よぼす金属充填の効果、2011 年 8 月 8  
日-9 日、第八回日本熱電学会学術講演会  
(TSJ2011)、北海道大学学術交流会館  
(北海道)

他 21 件

[図書] (計 1 件)

- ① 太田道広、S&T 出版株式会社、熱電材料  
と製造プロセス技術～熱電学シリーズ  
2～ (梶川武信、河本邦仁監修)、第 2  
章 9 節硫化物熱電材料と硫化合成、2012  
年、pp. 204-223

[その他]

- ① 記者説明会  
末國晃一郎、小矢野幹夫、太田道広、山  
本淳、西堀英治、自然界に存在する鉱物  
で熱電発電を可能に - 環境にやさし  
い高効率な熱電変換鉱物を発見 -、  
2013 年 2 月 15 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

太田 道広 (OHTA MICHIHIRO)  
独立行政法人産業技術総合研究所・エネル  
ギー技術研究部門・研究員  
研究者番号：5 0 4 4 3 1 7 2