

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2006～2008
課題番号：18560654
研究課題名（和文） 高性能 <i>n</i> 型炭化物熱電変換材料の新規開発
研究課題名（英文） Development of high-performance <i>n</i> -type thermoelectric conversion carbide materials
研究代表者 福田 功一郎 (FUKUDA KOICHIRO) 名古屋工業大学・工学研究科・教授 研究者番号：90189944

研究成果の概要：Zr-Al-C 系で五種類の新規層状炭化物 ($ZrAl_4C_4$ と $Zr_2Al_4C_5$, $Zr_3Al_4C_6$, $ZrAl_8C_7$, $Zr_2Al_8C_8$) を発見した。これらは一般式 $(ZrC)_l(Al_4C_3)_m$ ($l=1\sim3$, $m=1\sim2$) の新規ホモガス相に属し、*n* 型熱電変換材料として高い性能指数を示した。Zr 席に Y を、Al 席に Si と Ge を固溶置換すると熱電特性が操作できた。理論計算の結果も熱電材料としての有望性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,000,000	0	2,000,000
2007 年度	700,000	210,000	910,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	420,000	3,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：無機材料・物性

キーワード：結晶構造・組織制御，熱電変換材料

1. 研究開始当初の背景

研究代表者が層状炭化物の研究を開始する 2005 年以前では Zr-Al-C 系には二種類の層状炭化物 ($Zr_2Al_3C_4$ と $Zr_3Al_3C_5$) しか報告されていなかった。研究代表者は 2005 年に既知化合物である $Zr_2Al_3C_4$ の結晶構造を決定し、これらの炭化物が NaCl 型構造の $[Zr_lC_{l+1}]$ 層 ($l = 2$ and 3) と Al_4C_3 型構造の $[Al_3C_3]$ 層が交互に積み重なった層状構造を示し、一般式が $(ZrC)_lAl_3C_2$ で表されるホモガス相であることを報告した (K. Fukuda *et al.*, *J. Am. Ceram. Soc.*, **88**, 3528 (2005)).

ホモガス相は化学組成 (例えば *l* の値) が決定されれば、結晶構造 (各層の厚み) が一義的に規定される特徴がある。

2. 研究の目的

環境保護や資源の有効利用の観点から、散逸する熱エネルギーを電気エネルギーとして効率的に回収でき、しかも有害元素を全く含まない熱電変換材料が注目されている。1993年に Hicks らによる超格子の概念が登場し、ゼーベック係数 (α) が大きく、導電率 (σ) が高く、さらに熱伝導率 (κ) の低い (すなわち性能指数 $Z = \alpha^2 \sigma / \kappa$ の大きい) 高性能な熱電変換材料の設計指針が示された。これ以降、比較的高温で動作する *p* 型熱電変換材料については $NaCo_2O_4$ などの層状コバルト酸化物に関する開発研究が進展し、単結晶試料や (結晶方位や粒界、粒径を制御した) 薄膜試料においては性能指数 (ZT) の値が実用化の目安である 1 を超える材料が得

られている。一方、 n 型熱電変換材料の開発は比較的遅れている。熱電発電を実現するためには一對の pn 素子を組み合わせてモジュール化する必要がある、高性能な n 型熱電変換材料の開発が急務である。

研究代表者は先の超格子の概念を満たす新規な炭化物ホモガス相の合成に成功し、 n 型熱電変換材料としての用途に関する仮基礎出願を平成17年2月に行った。本研究では、周期の異なる新たな炭化物ホモガス相の探索と、構成元素置換による変換効率の大幅な向上を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 新規層状炭化物の合成

試薬粉末を混合・成型し、雰囲気を制御した電気炉中で加熱して焼結体を得る。未知化合物の同定には化学組成の決定が必要なので、安定温度領域で長時間加熱して結晶粒の育成を行う。

得られた試料表面を鏡面研磨し、ガラススライドに貼り付けて薄片に加工する。未知化合物に相当する結晶粒を顕微鏡下で確認し、化学組成をEPMAで決定する。

先の実験で決定した化学組成に従い試薬粉末を秤量し、均一に混合した後、パルス通電法で加熱して緻密な焼結体を得る。粗大な結晶粒子を機械的に粉砕すると劈開が顕著になり、得られる粉末は容易に選択配向を起こすので、加熱時間を10分以内に留めるためにパルス通電法を用いる。

(2) 結晶構造解析

得られた焼結体の一部を粉砕し、X線粉末回折装置で回折強度を測定する。粉末試料の構造解析では、試料を回転させることで高精度な回折強度測定が可能になる。そのため試料回転台を設備備品として申請した。結晶学的データ(化学式と格子定数、空間群)を決定した後、直接法で構造モデルを導出し、リートベルト法で精密化する。構造モデルの妥当性の確認と積層不整の解析のために、TEMで格子像を得て、付属のEDSで極微小領域の化学組成分析を行う。

(3) 熱電変換性能の評価

得られた焼結体試料を5mm×5mm×20mmの柱状にダイヤモンドカッターで切り出し、熱電特性測定装置を用いて1000℃までのゼーベック係数(α)と導電率(σ)を求める。また試料を5φ×1mmの円盤状に加工し、DSC法を用いて高温比熱容量の温度変化を決定する。さらに10φ×1mmのペレット状焼結体について、レーザーフラッシュ法を用いて熱拡散率を求め、これらの値から熱伝導率(κ)を計算により決定する。以上の結果から、熱電性能指数 $Z (= \alpha^2 \sigma / \kappa)$ を求める。

4. 研究成果

(1) (Zr, Y)Al₄C₄の合成と結晶構造

The SAED pattern was successfully indexed with a hexagonal unit cell with dimensions of $a \approx 0.33$ nm and $c \approx 1.1$ nm. The corresponding lattice image strongly suggests that the crystal structure is built up from stacking combinations of two basic sheets. The heavy atom ratios [Zr : Y] were determined to be [0.72(3) : 0.28(3)], where the numbers in parentheses indicate standard deviations. Accordingly, the chemical formula of the new carbide is most probably [Zr_{0.72(3)}Y_{0.28(3)}]Al₄C₄.

The XRPD pattern showed the presence of weak diffraction intensities peculiar to (ZrC)(Al₄C₃)₂, (YC)Al₃C₂ and YAlO₃. All of the other diffraction peaks belonging to the new carbide were successfully indexed with the hexagonal unit cell. The unit-cell parameters and integrated intensities were selectively refined by the Le Bail method. The refined unit-cell dimensions were $a = 0.333929(5)$ nm, $c = 1.09923(1)$ nm and $V = 0.106152(4)$ nm³. The integrated intensities were examined to confirm the presence or absence of reflections. There were no systematic absences for hki reflections, implying that the possible space groups are $P3$, $P-3$, $P321$, $P3m1$, $P-3m1$, $P312$, $P31m$ and $P-31m$.

Structural parameters were subsequently refined by the Rietveld method. A Legendre polynomial was fitted to background intensities with twelve adjustable parameters. The split Pearson VII function was used to fit the peak profile. The isotropic atomic displacement parameters of the C sites were constrained to have the same value. Reliability indices for a final result were $R_{wp} = 9.36\%$, $S = 1.19$ and $R_p = 7.19\%$, $R_b = 3.89\%$ and $R_e = 2.43\%$.

The crystal structure of the quaternary carbide (Zr_{0.72}Y_{0.28}C)Al₄C₃ has been confirmed to be of a new one, consisting of [Zr_{0.72}Y_{0.28}C₂] layers (thickness of 0.294 nm) separated by the Al₄C₃-type [Al₄C₄] layers with 0.806 nm thickness. With (YC)Al₃C₂, the C-C distance of the carbon network at the interlayer boundary between [YC₂] and [Al₃C₃] is 0.3422 nm, which is longer than those of (ZrC)_l(Al₄C₃)_m ($l = 2$ and 3 , and $m = 1$ and 2) ranging from 0.3318 to 0.3328 nm. Hence the incorporation of Y component into the [Zr_lC_{l+1}] layers would increase the C-C distances. Actually, the

C-C distance in $[\text{Zr}_{0.72}\text{Y}_{0.28}\text{C}_2]$ slab is 0.3340 nm, which is very close to that of Al_4C_3 crystal (0.3335 nm). Accordingly, the replacement of Zr by 28 mol % Y in the $[\text{ZrC}_2]$ layer would effectively reduce the misfit degree at the interlayer boundary between $[(\text{Zr},\text{Y})\text{C}_2]$ and $[\text{Al}_4\text{C}_3]$, leading to the formation of the layered carbide with $l = 1$ and $m = 1$.

The new layered carbide has been found to be a member of the homologous series, the general formula of which is $(\text{MC})_l(\text{T}_4\text{C}_3)_m$ ($l = 1, 2$ and $3, m = 1$ and $2, M = \text{Zr}, \text{Y}$ and $\text{Hf}, T = \text{Al}, \text{Si}$ and Ge). The formula requires two integers l and m that can be changed independently, and hence causes evolution of the structure in two different dimensions (Fig. 1). These layered carbides can be regarded as the natural superlattice quantum-well materials, thus they have prospects for application of thermoelectric power generators.

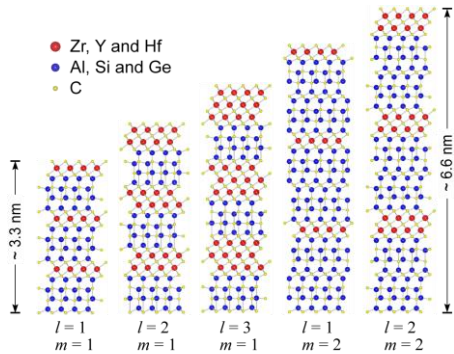


Fig. 1 Crystal structures of $(\text{MC})_l(\text{T}_4\text{C}_3)_m$

(2) $\text{Zr}_2\text{Al}_4\text{C}_5$ と $\text{Zr}_3\text{Al}_4\text{C}_6$ の合成と結晶構造

The structural parameters were individually refined by the Rietveld method. The structure models of $(\text{ZrC})_3\text{Al}_3\text{C}_2$ and ZrC were added into the refinement as additional phases. A Legendre polynomial was fitted to background intensities with twelve adjustable parameters. The split Pearson VII function was used to fit the peak profile. The isotropic atomic displacement parameters of the Al sites were constrained to have the same value and those of the C sites as well. The reliability indices for the final result of $\text{Zr}_2\text{Al}_4\text{C}_5$ were $R_{\text{wp}} = 6.29\%$, $S = 1.45$, $R_p = 4.75\%$, $R_b = 0.83\%$ and $R_f = 0.44\%$ and those of $\text{Zr}_3\text{Al}_4\text{C}_6$ were $R_{\text{wp}} = 7.94\%$, $S = 1.74$, $R_p = 5.69\%$, $R_b = 0.90\%$ and $R_f = 0.44\%$. The new carbides $(\text{ZrC})_2\text{Al}_4\text{C}_3$ and $(\text{ZrC})_3\text{Al}_4\text{C}_3$ has been found to form a homologous series with the general formula of $(\text{ZrC})_m\text{Al}_4\text{C}_3$ ($m = 2$ and 3). The crystal structures may be regarded

as intergrowth structures, which consist of the NaCl-type $[\text{Zr}_m\text{C}_{m+1}]$ layers (thickness of 0.56 nm for $m = 2$ and 0.82 nm for $m = 3$) separated by the Al_4C_3 -type $[\text{Al}_4\text{C}_4]$ layers with 0.81 nm thickness. These two types of layers share the two-dimensional networks of carbon atoms at their boundaries; the C-C distances are 0.3322 nm for $m = 2$ and 0.3318 nm for $m = 3$. These values are close to each other, and also to the C-C distances of the networks in $(\text{ZrC})_m\text{Al}_3\text{C}_2$.

(3) $\text{Zr}_2\text{Al}_3\text{C}_8$ の合成と結晶構造

The XRPD pattern showed the presence of very weak diffraction intensities peculiar to $\text{Zr}_2\text{Al}_3\text{C}_4$. All of the other diffraction peaks were successfully indexed with a hexagonal unit cell. The unit-cell parameters and integrated intensities of the unknown phase were refined by the Le Bail method. The unit-cell dimensions determined by the method were $a = 0.332473(3)$ nm, $c = 2.19706(2)$ nm and $V = 0.210323(6)$ nm³, which will be further refined by the subsequent Rietveld method. The integrated intensities were examined to confirm the presence or absence of reflections. There were no systematic absences, implying that the possible space groups are $P3$, $P3$, $-P321$, $P3m1$, $P3m1$, $P312$, $P31m$, $-P31m$, $P6$, $P6$, $P6/m$, $P622$, $P6mm$, $P62m$, $P6m2$ and $P6/mmm$.

All of the possible space groups were tested using the EXPO2004 package for crystal structure determination. Although the profile intensities in the range $2\theta < 5^\circ$ were not quantitatively accurate, the strong reflection at $2\theta \approx 4.00^\circ$ was essential for deriving the proper structural model. A promising structural model with the reliability index R_f of 7.20% was successfully obtained for the space group $P3m1$. There were 18 independent atoms in the unit cell; two Zr atoms, eight Al atoms and eight C atoms.

The structural parameters as well as the unit-cell dimensions were refined by the Rietveld method in a 2θ range of 5.00° to 148.90° . A Legendre polynomial was fitted to background intensities with twelve adjustable parameters. The pseudo-Voigt function was used to fit the peak profile. The isotropic atomic displacement parameters of the C sites were constrained to have the same value.

The preferred orientation parameter of March-Dollase function, r , was refined to be $r = 0.8928(8)$ with the preferred-orientation vector $[001]$, suggesting that the crystal was fractured along the cleavage planes parallel to (001) . Reliability indices for a final result were $R_{wp} = 6.56\%$, $S = 1.58$, $R_p = 4.92\%$, $R_b = 1.90\%$ and $R_f = 0.98\%$.

The crystal structure of $ZrAl_4C_4$ can be regarded as intergrowth structure, which consists of the $[Zr_2C_3]$ layers with thickness of 0.557 nm separated by the $[Al_8C_7]$ layers of 1.640 nm thickness. The mean interatomic distances in $ZrAl_4C_4$ compare well with those of ZrC , Al_4C_3 , $Zr_2Al_3C_4$ and $Zr_3Al_3C_5$.

(4) $ZrAl_8C_7$ の合成と結晶構造

The XRPD pattern showed the presence of weak diffraction intensities peculiar to $ZrAl_4C_4$. All of the other diffraction peaks were successfully indexed with a hexagonal unit cell. The unit-cell parameters and integrated intensities of the unknown phase were exclusively refined by the Le Bail method. The refined unit-cell dimensions were $a = 0.332854$ nm and $c = 5.78215$ nm. The integrated intensities were examined to confirm the presence or absence of reflections. There were systematic absences $h - k + l \neq 3n$ for $hki1$, $-h + l \neq 3n$ for $hh0l$, $l \neq 3n$ for $hh2hl$ and $l \neq 3n$ for $000l$, implying that the possible space groups are $R\bar{3}$, $R\bar{3}$, $R32$, $R3m$ and $R\bar{3}m$.

All of the possible space groups were tested using the EXPO2004 package for crystal structure determination. The individual integrated intensities that were refined by the Le Bail method were used for the direct methods. A promising structural model was successfully obtained for the space group $R\bar{3}m$. There are 9 independent atoms in the unit cell; one Zr atoms, four Al atoms and four C atoms.

Structural parameters were refined by the Rietveld method in a 2θ range of 5.00° to 148.90° . A Legendre polynomial was fitted to background intensities with twelve adjustable parameters. The split Pearson VII function was used to fit the peak profile. The isotropic atomic displacement parameters of the C sites were constrained to have the same value. Reliability indices for a final result

were $R_{wp} = 7.42\%$, $S = 1.34$, $R_p = 5.59\%$, $R_b = 1.93\%$ and $R_f = 1.23\%$.

The crystal structures of $ZrAl_8C_7$ (space group $R\bar{3}m$ and $Z = 3$) and $ZrAl_4C_4$ ($P3m1$ and $Z = 2$) can be regarded as intergrowth structures consisting of the two types of layers; one is composed of $[Zr_mC_{m+1}]$ and the other consists of $[Al_8C_7]$. The atom arrangements in the $[Al_8C_7]$ layers of $ZrAl_8C_7$ and $ZrAl_4C_4$ are, regardless of the difference in space group for the crystal structures, isomorphous with each other, while the $[Zr_mC_{m+1}]$ slabs are thicker for the latter than for the former. Accordingly, these two compounds form a homologous series with the general formula $(ZrC)_mAl_8C_6$, where $m = 1$ ($ZrAl_8C_7$) and 2 ($ZrAl_4C_4$). The C-C distances at the layer boundaries are nearly equal to each other (0.3328 nm for $m = 1$ and 0.3325 nm for $m = 2$) and also comparable to those of the ZrC and Al_4C_3 crystals, in accord with the principle of the formation of layered carbides in the Zr-Al-C system.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- (1) T. Iwata, E. Hattori, K. Sugiura, S. Hashimoto, H. Nakano and K. Fukuda
“Syntheses and Crystal Structures of Si-Bearing $ZrAl_4C_4$ and $ZrAl_8C_7$ ”
J. Ceram. Soc. Jpn, 117, 37- 41 (2009)
査読有
- (2) K. Sugiura, T. Iwata, N. Sunada, S. Hashimoto, H. Nakano and K. Fukuda
“Syntheses and Crystal Structures of Ge-Bearing $Zr_2Al_4C_5$ and $Zr_3Al_4C_6$ ”
J. Ceram. Soc. Jpn, 117, 22- 26 (2009)
査読有
- (3) K. Sugiura, T. Iwata, H. Yoshida, S. Hashimoto and K. Fukuda
“Syntheses, Crystal Structures and Si Solubilities of New Layered Carbides $Zr_2Al_4C_5$ and $Zr_3Al_4C_6$ ”
J. Solid State Chem., 181, 2864-2868 (2008)
査読有
- (4) T. Iwata, K. Sugiura, S. Hashimoto and K. Fukuda
“Synthesis and Crystal Structure of a New Layered Carbide $ZrAl_8C_7$ ”
J. Am. Ceram. Soc., 91, 3758-3761 (2008)
査読有

- (5) T. Iwata, E. Hattori, S. Hashimoto and K. Fukuda
 “Synthesis and Crystal Structure of a New Layered Carbide $ZrAl_4C_4$ ”
 J. Am. Ceram. Soc., 91, 2713-2715 (2008)
 査読有
- (6) M. Yashima, K. Fukuda, Y. Tabira and M. Hisamura
 “Electronic and Crystal Structures of Yttrium Aluminum Carbide YAl_3C_3 ”
 Chem. Phys. Lett., 451, 48-52 (2008)
 査読有
- (7) K. Fukuda, M. Hisamura, T. Iwata, S. Hashimoto and H. Nakano
 “Synthesis and Crystal Structure of a New Layered Carbide $[Zr_{1.97}Y_{0.03}]Al_4C_5$ ”
 J. Am. Ceram. Soc., 91, 1342-1345 (2008)
 査読有
- (8) K. Fukuda, M. Hisamura, and Y. Kawamoto and T. Iwata
 “Synthesis, Crystal Structure and Thermoelectric Properties of a New Layered Carbide $(ZrC)_3[Al_{3.56}Si_{0.44}]C_3$ ”
 J. Mater. Res., 22, 2888-2894 (2007)
 査読有
- (9) K. Fukuda and M. Hisamura
 “Crystal Structure and Thermoelectric Properties of YAl_3C_3 ”
 J. Am. Ceram. Soc., 90, 3299-3302 (2007)
 査読有
- (10) K. Fukuda, M. Hisamura, T. Iwata, N. Tera and K. Sato
 “Synthesis, Crystal Structure and Thermoelectric Properties of a New Carbide $Zr_2[Al_{3.56}Si_{0.44}]C_5$ ”
 J. Solid State Chem., 180, 1809-1815 (2007)
 査読有
- [学会発表] (計 22 件)
- (1) 杉浦 啓太
 “新規な層状炭化物ホモロガス相 $Zr_2Al_4C_5$ と $Zr_3Al_4C_6$ の合成と結晶構造解析”
 2009. 3. 16-18.
 日本セラミックス協会 2009 年年会, 野田
- (2) 岩田 知之
 “実験室 X 線粉末回折データからの未知構造と不規則構造の解析”
 2009. 3. 16-18.
 日本セラミックス協会 2009 年年会, 野田
- (3) 杉浦 啓太
 “X 線粉末回折法を用いた多相混合試料の未知構造解析—既知化合物 $ZrAl_4C_4$ と共存する新規化合物 $ZrAl_8C_7$ の結晶構造解析の例—”
 2009. 3. 16-18.
 日本セラミックス協会 2009 年年会, 野田
- (4) 服部 恵里子
 “新規な炭化物ホモロガス相 $ZrC(Al_4C_3)$ と $ZrC(Al_4C_3)_2$ の合成と結晶構造解析”
 2008. 12. 6.
 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 名古屋
- (5) Keita Sugiura
 “Syntheses, Crystal Structures and Thermoelectric Properties of Layered Carbides”
 2008. 11. 6-8.
 3rd International Workshop on Advanced Ceramics, Limoges
- (6) 杉浦 啓太
 “層状炭化物の結晶・電子構造と熱電特性”
 2008. 9. 17-19.
 日本セラミックス協会 2008 年秋季シンポジウム, 福岡
- (7) 杉浦 啓太
 “Zr-Al-Ge-C 系における新規炭化物の合成と結晶構造解析”
 2008. 9. 17-19.
 日本セラミックス協会 2008 年秋季シンポジウム, 福岡
- (8) 岩田 知之
 “新規な層状炭化物 $ZrAl_4C_4$ の合成と結晶構造解析”
 2008. 9. 17-19.
 日本セラミックス協会 2008 年秋季シンポジウム, 福岡
- (9) 八島 正知
 “ナノラミネート炭化物熱電材料 YAl_3C_3 の電子構造と結晶構造”
 2008. 3. 26-28.
 日本金属学会春期大会, 東京
- (10) 橋本 忍
 “Al-Si-C 系複合炭化物の焼結とその機械的特性”
 2008. 3. 20-22.
 日本セラミックス協会 2008 年年会, 長岡

- (11) 杉浦 啓太
“新規な層状炭化物 $[Zr_{1.97}Y_{0.03}]Al_4C_5$ の合成と結晶構造解析”
2008. 3. 20-22.
日本セラミックス協会 2008 年年会, 長岡
- (12) 砂田 直弘
“新規な層状炭化物の合成と X 線粉末回折法による結晶構造解析”
2008. 1. 10-11.
第 4 6 回セラミックス基礎科学討論会, 名古屋
- (13) 島田 正人
“酸化物を添加した $Al_3Zr_3C_5$ の常圧焼結とその機械的特性”
2007. 12. 8.
日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 名古屋
- (14) 久村 美由紀
“層状炭化物の結晶構造解析と熱電特性”
2007. 12. 8.
日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 名古屋
- (15) 岩田 知之
“新規な層状炭化物ホモロガス相の合成と結晶構造解析, 熱電特性”
2007. 11. 19.
粉体粉末冶金協会 平成 19 年度秋季大会, 京都
- (16) 岩田 知之
“新規な層状炭化物 $Zr_3[Al, Si]_4C_6$ の合成と結晶構造解析, 熱電特性”
2007. 9. 12-14.
日本セラミックス協会 2007 年秋季シンポジウム, 名古屋
- (17) 久村 美由紀
“層状炭化物の熱電特性”
2007. 9. 12-14.
日本セラミックス協会 2007 年秋季シンポジウム, 名古屋
- (18) 久村 美由紀
“ YAl_3C_3 の結晶構造解析と熱電特性”
2007. 9. 12-14.
日本セラミックス協会 2007 年秋季シンポジウム, 名古屋
- (19) 福田 功一郎
“新規な炭化物ホモロガス相の合成と結晶構造解析, 熱電特性”
2007. 9. 12-14.

日本セラミックス協会 2007 年秋季シンポジウム, 名古屋

- (20) 岩田 知之
“新規な層状炭化物の合成と結晶構造解析, 熱電特性”
2007. 6. 28 - 29.
日本セラミックス協会東海支部 第 34 回東海若手セラミスト懇話会
2007 年夏期セミナー

- (21) 久村 美由紀
“層状炭化物の結晶構造と熱電特性”
2007. 3. 21-23.
日本セラミックス協会 2007 年年会, 東京

- (22) K. Fukuda
“Crystal Structures and Thermoelectric Properties of Layered Carbides”
2006. 10. 30 - 11. 3.
2nd International Workshop on Advanced Ceramics, Nagoya

[図書] (計 2 件)

- (1) 福田 功一郎(分担)
(株) シーエムシー出版
“環境対応型セラミックスの技術と応用”
2007. 152-163
- (2) 福田 功一郎(分担)
日刊工業新聞社
“これだけは知っておきたい 新素材・新材料のすべて 第 5 版”
2006. 119-122, 131-132, 141, 158-161

[その他]

ホームページアドレス
<http://nitzy.mse.nitech.ac.jp/~fukudalab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 功一郎 (FUKUDA KOICHIRO)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号: 9 0 1 8 9 9 4 4

(2) 研究分担者

橋本 忍 (HASHIMOTO SHINOBU)
名古屋工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 1 0 2 4 2 9 0 0

吉田 英人 (YOSHIDA HIDETO)
東京大学・理学研究科・技術職員
研究者番号: 3 0 3 7 6 5 5 3

(3) 連携研究者 なし