

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 18 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360322

研究課題名（和文）新規な層状炭化物ホモログススーパーシリーズの探索と高機能化

研究課題名（英文）Synthese and advanced features of new homologous layered carbides

研究代表者

福田 功一郎（FUKUDA KOICHIRO）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：90189944

研究成果の概要（和文）：新規層状炭化物ホモログスシリーズの合成とその X 線結晶構造解析をおこない、一連の層状化合物 $(MC)_l T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ ($M = \text{Zr, Y, Hf, } T = \text{Al, Si, Ge}$) と $(\text{Al, Si})_{4l+m} (\text{O, C, N})_{3l+m}$ を発見した。結晶構造は X 線回折法と透過型電子顕微鏡法を併用して決定した。これら新規化合物の「導電率の比較的高い MC 層」と「導電率の比較的低い $T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ 層」の化学組成と厚みを制御することで、高性能 n 型熱電変換材料を設計する新たな指針を示した。

研究成果の概要（英文）：We have for the first time prepared new homologous layered carbides and oxycarbonitrides to determine their crystal structures by the combined use of X-ray diffractometry and transmission electron microscopy. Their general formulas are expressed by $(MC)_l T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ ($M = \text{Zr, Y, Hf, } T = \text{Al, Si, Ge}$) and $(\text{Al, Si})_{4l+m} (\text{O, C, N})_{3l+m}$. The crystal structures of the former compounds are characterized by the alternative stacking of the electric conductive $[MC]$ layer and the insulative $[T_{4m+3n} C_{3m+2n}]$ layer. We have proposed the advanced method to design and expedite the synthesis of the new n -type thermoelectric conversion materials with extreme properties.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・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・ホモログス相

1. 研究開始当初の背景

申請者が層状炭化物の研究を開始する平成 17 年以前では Zr-Al-C 系には二種類の層状炭化物 ($\text{Zr}_2\text{Al}_3\text{C}_4$ と $\text{Zr}_3\text{Al}_3\text{C}_5$) しか報告されていなかった。申請者は $\text{Zr}_2\text{Al}_3\text{C}_4$ の結晶構造を決定し、これらの炭化物が NaCl 型構造の $[\text{Zr}_l\text{C}_{l+1}]$ 層 ($l = 2$ and 3) と Al_4C_3 型構造の $[\text{Al}_3\text{C}_3]$ 層が交互に積み重なった層状構造を

示し、一般式が $(\text{ZrC})_l\text{Al}_3\text{C}_2$ で表されるホモログス相であることを報告した。ホモログス相は化学組成が決定されれば、結晶構造が一義的に規定される特徴がある。本研究開始以前に Zr-Al-C 系に四種類の新規な層状炭化物 ($\text{Zr}_2\text{Al}_4\text{C}_5$ と $\text{Zr}_3\text{Al}_4\text{C}_6$, ZrAl_8C_7 , $\text{Zr}_2\text{Al}_8\text{C}_8$) を発見した。これらは一般式が $(\text{ZrC})_l(\text{Al}_4\text{C}_3)_m$ ($l = 1, 2$ and $3, m = 1$ and 2) で表される新規

なホモロガス相に属し、 n 型熱電変換材料として有望であることを初めて示した。Zr 席に Y を、Al 席に Si と Ge を固溶置換し、生成温度や導電率、ゼーベック係数を操作できる。

申請者は TEM-EDS で局所的な微細構造の観察と組成分析を行なう過程で、これら二種類のホモロガス相が数 100nm の領域で共存することを確認した。すなわち、三種類の整数 l と m , n によって $(ZrC)_l Al_{4m+3n} C_{3m+2n}$ で表されるホモロガスシリーズの存在が確認された。この層状炭化物は三種類の整数によって化学組成が決定されることから、導電層と絶縁層の厚み設計の自由度が極めて高く、より高性能な熱電変換機能の発現が期待できる。

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。申請者は Zr-Al-C 系において、「導電率の比較的高い ZrC 層」と「絶縁性の Al_4C_3 層」がナノサイズで交互に積層して自然超格子を形成した新規ホモロガス相 $(ZrC)_l (Al_4C_3)_m$ ($l = 1, 2$ and 3 , $m = 1$ and 2) の合成に成功し、 n 型熱電変換材料として有望であることを示した。今回、既知のホモロガス相 $(ZrC)_l Al_3C_2$ ($l = 2$ and 3) と組み合わせる (1) 新規なホモロガスシリーズ $(ZrC)_l Al_{4m+3n} C_{3m+2n}$ を創製し、化学組成 (三種類の整数 l と m , n) を操作して各層の厚みを最適化する合成方法の確立と、(2) その板状単結晶をテンプレート粒子として用いた高配向焼結体の作製により、熱電変換性能の大幅な向上、さらに (3) カーボンナノカプセル内包化による、空気中高温下での耐酸化性の大幅な向上を目的とし、最終的に層状炭化物 n 型熱電変換材料の高機能・高性能化を目指す。

3. 研究の方法

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 (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。本研究計画①では、自然超格子を形成するホモロガスシリーズ $(MC)_l T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ ($M = Zr, Y, Hf, T = Al, Si, Ge$) の「導電率の比較的高い MC 層」と「導電率の比較的低い $T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ 層」の化学組成と厚みを制御して、高性能な n 型熱電変換材料の開発を目指す。

無秩序な方位に結晶粒子が集合した焼結体試料では、結晶粒界やそこに存在する空格子点や不純物の影響で伝導キャリアの移動度が著しく低下することが予想される。本研究計画②では単結晶試料や配向試料などのように、結晶方位と粒界、粒径を制御するこ

とで、熱電変換性能の著しい向上を目指す。

4. 研究成果

本研究の目的は新規層状炭化物ホモロガスシリーズの合成とその結晶構造解析である。この意義は、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 (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に密接に関係することにある。 n 型熱電特性の向上を目指し、熱力学的に安定な自然超格子を形成する層状化合物の探索と合成、および結晶構造解析を行った。その結果、一連の層状化合物 $(MC)_l T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ ($M = Zr, Y, Hf, T = Al, Si, Ge$) を発見した。この化合物は「導電率の比較的高い MC 層」と「導電率の比較的低い $T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ 層」の化学組成と厚みを制御することで、 n 型熱電変換特性を操作できる特徴がある。まず $(l, m, n) = (1, 1, 0)$ で表される新規化合物の合成に成功し、以前の研究成果と合わせると $1 \leq l \leq 3$ かつ $1 \leq m \leq 2$ の範囲で可能な新規化合物を全て創製することができた。さらに $T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ 層の多様化を目指し、 $(l, m, n) = (0, 1, 1)$ と $(0, 2, 1)$ の新規化合物の合成に成功した。これらの化合物を組み合わせて結晶化することで、さらに多様な新規ホモロガス相の創製が期待できる。

合成した層状炭化物の熱電特性を解析した結果、「導電率の比較的高い MC 層」よりも「導電率の比較的低い $T_{4m+3n} C_{3m+2n}$ 層」がより重要であるとの結論に達し、さらに $(Al, Si)_{4l+m} (O, C, N)_{3l+m}$ 化学組成の新規化合物探索をおこなった。この化合物は、 $[(Al, Si)_4 (O, C, N)_4]$ 組成の層と $[(Al, Si) (O, C, N)_2]$ 組成の層が積層する特徴を有している。その結果、 $(l, m) = (2, 1)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(1, 2)$ 、 $(1, 3)$ 、 $(1, 4)$ で表される新規化合物の合成に成功した。今後これらの化合物を組み合わせて結晶化することで、さらに多様な新規ホモロガス相を創製することが期待できる。発見した一連の層状化合物の結晶構造解析には X 線粉末回折法と透過型電子顕微鏡法を用いた。回折データからは不規則構造として記述できた構造は、顕微鏡観察によって微細な分域構造から成ることが確かめられた。これら互いに相補的な評価手法を用いることで、不規則構造を有する結晶構造を粉末回折法で求める方法論の確立にも貢献することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 20 件)

- ① K. Fukuda, T. Asaka, R. Hamaguchi, T. Suzuki, H. Oka, A. Berghout, E. Béchade, O. Masson, I. Julien, E. Champion, and P. Thomas, Oxide-Ion Conductivity of Highly c-Axis-Oriented Apatite-Type Lanthanum Silicate Polycrystal Formed

- by Reactive Diffusion between La_2SiO_5 and $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, *Chem. Mater.*, 査読有, 23, 2011, 5474-5483
- ② D. Urushihara, T. Asaka, T. Takeda, N. Hirosaki, and K. Fukuda, Electron Density Distribution and Crystal Structure of $\text{Ca}_{1-x/2}\text{AlSi}(\text{N}_{3-x}\text{O}_x):\text{Eu}^{2+}$ ($x \sim 0.11$), *Powder Diffraction Suppl.*, 査読有, 26 (S1), 2011, S38-S43
- ③ D. Urushihara, M. Kaga, T. Asaka, H. Nakano, and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of $\text{Al}_7\text{C}_3\text{N}_3$ -Homeotypic Aluminum Silicon Oxycarbonitride, $(\text{Al}_{7-x}\text{Si}_x)(\text{O}_y\text{C}_z\text{N}_{6-y-z})$ ($x \sim 1.2$, $y \sim 1.0$ and $z \sim 3.5$), *J. Solid State Chem.*, 査読有, 184, 2011, 2278-2284
- ④ H. Nakano, K. Fukuda, M. Kobayashi, and N. Kamegashira, Crystal Structure and Phase Transition of $(\text{Sr}_{0.67}\text{Ln}_{0.33})(\text{Mn}_{0.33}\text{Ti}_{0.67})\text{O}_3$ (Ln: Nd, Sm, Eu, Gd), Proceedings of the 12th Conference of the European Ceramic Society, 査読無, ECerS XII, 2011, 1-4
- ⑤ 福田功一郎, セメントクリンカー鉱物の結晶化学と間隙液相の結晶分化作用, *日本結晶学会誌*, 査読有, 53, 2011, 81-85
- ⑥ M. Kaga, H. Kurachi, T. Asaka, B. Yue, J. Ye, and K. Fukuda, Crystal Structure of Layered Perovskite Compound, $\text{Li}_2\text{LaTa}_2\text{O}_6\text{N}$, *Powder Diffr.*, 査読有, 26, 2011, 4-8
- ⑦ T. Kudo, Y. Hirano, K. Momma and K. Fukuda, Electron Density Distribution and Crystal Structure of Lithium Barium Silicate, $\text{Li}_2\text{BaSiO}_4$, *Powder Diffr.*, 査読有, 25, 2010, 336-341
- ⑧ H. Inuzuka, M. Kaga, D. Urushihara, H. Nakano, T. Asaka, and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of A New Aluminum Oxycarbonitride, $\text{Al}_5(\text{O}, \text{C}, \text{N})_4$, *J. Solid State Chem.*, 査読有, 183, 2010 2570-2575
- ⑨ 福田功一郎, アルミネート相類縁化合物 $\text{Ca}_7\text{ZrAl}_6\text{O}_{18}$ の不規則構造と水和反応性, セメント・コンクリート, 査読無, 766, 2010, 46-51
- ⑩ M. Kaga, D. Urushihara, T. Iwata, K. Sugiura, H. Nakano, and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{C}_5$ -Homeotypic Aluminum Silicon Oxycarbide, $(\text{Al}_{6-x}\text{Si}_x)(\text{O}_y\text{C}_{5-y})$ ($x \sim 0.8$ and $y \sim 1.6$), *J. Solid State Chem.*, 査読有, 183, 2010, 2183-2189
- ⑪ T. Kinoshita, T. Iwata, E. Béchade, O. Masson, I. Julien, E. Champion, P. Thomas, H. Yoshida, N. Ishizawa, and K. Fukuda, Effect of Mg Substitution on Crystal Structure and Oxide-Ion Conductivity of Apatite-Type Lanthanum Silicates, *Solid State Ionics*, 査読有, 181, 2010, 1024-1032
- ⑫ N. Ishizawa, M. Kamoshita, K. Fukuda, K. Shioi and N. Hirosaki, $\text{Sr}_3(\text{Al}_{3+x}\text{Si}_{13-x})(\text{N}_{21-x}\text{O}_{2+x}): \text{Eu}^{2+}$ ($x \sim 0$): A New Monoclinic Modification of Sr-Sialon, *Acta Crystallogr. Sec. E*, 査読有, E66, 2010, i14
- ⑬ M. Kaga, T. Iwata, H. Nakano, and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of Al_4SiC_4 -Homeotypic Aluminum Silicon Oxycarbide, $[\text{Al}_{4.4}\text{Si}_{0.6}][\text{O}_{1.0}\text{C}_{2.0}]\text{C}$, *J. Solid State Chem.*, 査読有, 183, 2010, 636-642
- ⑭ Y. Hirano, T. Iwata, K. Momma, and K. Fukuda, Electron Density Distribution and Crystal Structure of Lithium Strontium Silicate, $\text{Li}_2\text{SrSiO}_4$, *Powder Diffr.*, 査読有, 25, 2010 4-8
- ⑮ H. Kurachi, T. Iwata, S. Quyang, J. Ye and K. Fukuda, Crystal Structure of Silver Metagermanate, Ag_2GeO_3 , *Powder Diffr.*, 査読有, 25, 2010, 15-18
- ⑯ K. Fukuda and D. Kurokawa, Morphology of α' - Ca_2SiO_4 Solid Solution Crystals, *J. Am. Ceram. Soc.*, 査読有, 93, 2010, 353-355
- ⑰ K. Fukuda, T. Iwata and H. Yoshida, Melting Differentiation and Crystallization of Clinker Minerals in a $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Pseudoquaternary System, *Cem. Concr. Res.*, 査読有, 40, 2010, 167-170
- ⑱ T. Iwata, M. Kaga, H. Nakano and K. Fukuda, First Discovery and Structural Characterization of a New Compound in Al-Si-O-C System, *J. Solid State Chem.*, 査読有, 182, 2009, 2252-2260
- ⑲ T. Iwata, T. Horie and K. Fukuda, Reinvestigation of Crystal Structure and Structural Disorder of $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$, *Powder Diffr.*, 査読有, 24, 2009, 180-184
- ⑳ K. Sugiura, T. Iwata, H. Nakano and K. Fukuda, $[\text{Zr}_{0.72}\text{Y}_{0.28}]\text{Al}_4\text{C}_4$: A New Member of the Homologous Series $(\text{MC})_n(\text{T}_4\text{C}_3)_m$ ($M = \text{Zr}, \text{Y}$ and Hf , $T = \text{Al}, \text{Si}$ and Ge), *J. Solid State Chem.*, 査読有, 182, 2009, 1619-1623

[学会発表] (計 50 件)

- ① 漆原 大典, 浅香 透, 武田 隆史, 広崎

- 尚 登, 福田 功一郎, $\text{Ca}_{1-x/2}\text{AlSi}(\text{N}_{3-x}\text{O}_x):\text{Eu}^{2+}$ ($x \sim 0.11$) の結晶構造と酸素導入機構, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ② 漆原 大典, 加賀 元了, 浅香 透, 中野 裕美, 福田 功一郎, $\text{Al}_4\text{C}_3(\text{AlN})_x$ ($x = 3, 4$) の類縁化合物 $(\text{Al}, \text{Si})_{4+x}(\text{O}, \text{C}, \text{N})_{3+x}$ の合成と構造評価, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ③ 鈴木 崇大, 濱口 竜太, 岡 英樹, 浅香 透, 福田 功一郎, 反応拡散によるアパタイト型ケイ酸ランタン多結晶体の c 軸高配向化と酸化物イオン伝導, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ④ 鈴木 崇大, 濱口 竜太, 岡 英樹, 浅香 透, 福田 功一郎, c 軸高配向アパタイト型ケイ酸ランタン多結晶体の作製と酸化物イオン伝導, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ⑤ 花井 孝秋・浅香 透・福田 功一郎・武田 隆史・広崎 尚登, カーボンを固溶した LED 用蛍光体 $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ の発光特性, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ⑥ 濱口 竜太, 浅香 透, 福田 功一郎, 反応拡散による結晶配向セラミックスの新規合成方法, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2011 年 3 月 19-21 日, 京都大学 (京都府)
- ⑦ K. Fukuda, Syntheses and oxide-ion conductivity of highly c-axis-oriented apatite-type lanthanum silicate polycrystals, 2nd International Workshop on Materials Design and Development of All-Ceramics Devices with Fast Ion Conduction, 2011 年 12 月 8 日, ウィンクあいち (愛知県)
- ⑧ 漆原 大典, 浅香 透, 武田 隆史, 広崎 尚登, 福田 功一郎, LED 照明用蛍光体 $\text{Ca}_{1-x/2}\text{AlSi}(\text{N}_{3-x}\text{O}_x):\text{Eu}^{2+}$ ($x \sim 0.11$) の結晶構造と酸素導入機構, 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2011 年 12 月 3 日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- ⑨ T. Asaka, Y. Hiraoka, K. Fukuda, K. Kimoto, Y. Matsui, T. Kimura, Lattice Modulation in the Magnetolectric Hexaferrite $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ Examined by Electron Diffraction, Materials Research Society, 2011 年 11 月 27 日-12 月 2 日, Boston (U. S. A.)
- ⑩ 福田 功一郎 (招待講演), 実験室 X 線粉末回折法による蛍光体材料の結晶構造解析, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011 年 9 月 7-9 日, 北海道大学 (北海道)
- ⑪ 舟橋 司朗・堀江 龍也・広崎 尚登・武田 隆史・福田 功一郎, La サイアロン蛍光体 $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Si}_9\text{Al}_{19}\text{O}_x\text{N}_{32-x}$ の単結晶 X 線構造解析と蛍光特性, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011 年 9 月 7-9 日, 北海道大学 (北海道)
- ⑫ 武田 隆史・広崎 尚登・解榮 軍・堀江 龍也・福田 功一郎, 多様な構造を持つ Al, Si 酸窒化物蛍光体, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011 年 9 月 7-9 日, 北海道大学 (北海道)
- ⑬ H. Nakano, K. Fukuda, M. Kobayashi, N. Kamegashira, Crystal Structure and Phase Transition of $(\text{Sr}_{0.67}\text{Ln}_{0.33})(\text{Mn}_{0.33}\text{Ti}_{0.67})\text{O}_3$ (Ln: Nd, Sm, Eu, Gd), 12th Conference of the European Ceramic Society - ECeRS XII, 2011 年, Stockholm (Sweden)
- ⑭ D. Urushihara, N. Ishizawa and K. Fukuda, Structural Change of $\text{La}_{9.33}(\text{Si}_2\text{Ge}_4)\text{O}_{26}$ during Heating up to 1203 K, 1st International Workshop on Materials Design and Development of All-Ceramics Devices with Fast Ion Conduction, 2011 年 6 月 16 日, Limoges (France)
- ⑮ 堀江 龍也, 広崎 尚登, 武田 隆史, 福田 功一郎, La サイアロンポリタイポイドの合成と Eu 賦活蛍光特性, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 (静岡県)
- ⑯ 犬塚 晴也, 加賀 元了, 漆原 大典, 中野 裕美, 浅香 透, 福田 功一郎, Al-O-C-N 系における新規化合物 $\text{Al}_5(\text{O}_x\text{C}_y\text{N}_{4-x-y})$ の発見と結晶構造解析, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 (静岡県)
- ⑰ 浅香 透, 福田 功一郎, 石倉 太志, 北川 祐太郎, 木村 剛, 透過型電子顕微鏡法による Z 型六方晶フェライトの結晶・磁気構造解析, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 (静岡県)
- ⑱ 工藤 竜成, 平野 義宜, 門馬 綱一, 福田 功一郎, 実験室 X 線粉末回折法による Li 原子座標の精密決定-Li₂BaSiO₄ の解析例 -, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 (静岡県)
- ⑲ 倉地 宏和, 加賀 元了, 浅香 透, 岳 兵, 葉 金花, 福田 功一郎, 層状ペロブスカイト酸窒化物 $\text{Li}_2\text{LaTa}_2\text{O}_6\text{N}$ の結晶構造と可視光応答光触媒特性, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 (静岡県)
- ⑳ 加賀 元了, 漆原 大典, 岩田 知之, 中野 裕美, 福田 功一郎, Al-Si-O-C 系における新物質群の結晶構造と分域構造, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月

- 16日～18日, 静岡大学 (静岡県)
- 21 漆原大典, 加賀元了, 中野裕美, 浅香透, 福田功一郎, Al-Si-O-C系およびAl-O-C-N系における新物質群の発見と生成反応の熱力学的考察, 第49回セラミックス基礎科学討論会, 2011年1月11日～12日, 岡山コンベンションセンター (岡山県)
- 22 R. Hamaguchi, T. Kinoshita, T. Iwata, N. Ishizawa and K. Fukuda, Crystal Structures and Oxide-Ion Conductivity of Apatite-Type Lanthanum Silicates, 第49回セラミックス基礎科学討論会, 2011年1月11日～12日, 岡山コンベンションセンター (岡山県)
- 23 T. Asaka, K. Fukuda, K. Kimoto, Y. Matsui, Observation of the interaction between magnetic and crystallographic domains in the transition metal oxides, 4th International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 24 T. Horie, N. Hirosaki, T. Takeda, and K. Fukuda, Synthesis and photoluminescence properties of $(La_{1-x}Eu_x)Si_9Al_{19}O_{32}N_{32-3x}$, 4th International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 25 K. Momma, T. Ikeda, K. Fukuda and F. Izumi, Acceleration, Improvement of Reliability, and Automation of MEM-Based Pattern Fitting Analysis and Its Applications, International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 26 D. Urushihara, M. Kaga, H. Nakano and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of A New Aluminum Silicon Oxycarbide, $(Al_{6-x}Si_x)(O_yC_{5-y})(x \sim 0.8, y \sim 1.6)$, International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 27 T. Kudo, Y. Hirano, K. Momma and K. Fukuda, Electron Density Distribution and Crystal Structure of Lithium Barium Silicate, Li_2BaSiO_4 , International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 28 H. Inuzuka, M. Kaga, D. Urushihara, H. Nakano, T. Asaka and K. Fukuda, Synthesis and Structural Characterization of A New Aluminum Oxycarbonitride, $Al_5(O_xC_yN_{4-x-y})(x \sim 1.4 \text{ and } y \sim 2.1)$, International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 29 R. Hamaguchi, T. Kinoshita, T. Iwata, E. Béchade, O. Masson, I. Julien, E. Champion, P. Thomas, H. Yoshida, N. Ishizawa and K. Fukuda, Effect of Mg Substitution on Crystal Structure of Oxide-Ion Conducting Apatite-Type Lanthanum Silicates, International Workshop on Advanced Ceramics, 2010年12月10日～12日, 名古屋工業大学 (愛知県)
- 30 K. Fukuda, Analysis of Unknown and Disordered Structures from Laboratory X-Ray Powder Diffraction Data
- 31 Y. Hirano, T. Iwata, K. Momma and K. Fukuda, Electron Density Distribution, Crystal Structure and Luminescence Properties of $Li_2SrSiO_4:Eu^{2+}$, 3rd International Congress on Ceramics, 2010年11月14日～18日, 大阪国際会議場 (大阪府)
- 32 H. Inuzuka, M. Kaga, T. Iwata, H. Nakano and K. Fukuda, Synthesis, Disordered Crystal Structure and Twin-Related Domains of A New Compound in Al-Si-O-C System, 3rd International Congress on Ceramics, 2010年11月14日～18日, 大阪国際会議場 (大阪府)
- 33 H. Oka, T. Horie, T. Iwata and K. Fukuda, Structural Disorder and Photoluminescence Properties of Bi^{3+} - and Mn^{2+} -Codoped $Ba_3MgSi_2O_8$ Phosphor, 3rd International Congress on Ceramics, 2010年11月14日～18日, 大阪国際会議場 (大阪府)
- 34 堀江 龍也, 広崎 尚登, 武田 隆史, 福田 功一郎, La サイアロンポリタイポイドの合成とEu賦活蛍光特性, 第71回 応用物理学会学術講演会, 2010年9月14日～17日, 長崎大学 (長崎市)
- 35 R. Hamaguchi and K. Fukuda, Crystal Structures of Oxide-Ion Conducting Apatite-Type Lanthanum Silicates, Limoges-NIT Joint Summer School, 2010年9月9日, European center of Ceramic (フランス・リモージュ市)
- 36 M. Kaga and K. Fukuda, Syntheses and Structural Characterization of New Aluminum Silicon Oxycarbides, Limoges-NIT Joint Summer School, 2010年9月9日, European center of Ceramic (フランス・リモージュ市)
- 37 福田 功一郎, Morphology of α' - Ca_2SiO_4 Solid Solution Crystals, 第64回セメント技術大会, 2010年5月25日～27日, ホテルメトロポリタン (東京都)
- 38 加賀元了, 岩田 知之, 中野 裕美, 福田 功

- 一郎, Al-Si-O-C系における層状炭化物の発見と結晶構造解析, 日本セラミックス協会2010年年会, 2010年3月22日, 東京農工大学(東京都)
- 39 平野 義宜, 岩田 知之, 門馬 綱一, 福田 功一郎, LED用蛍光体母体 $\text{Li}_2\text{SrSi}_2\text{O}_4$ の電子密度分布と結晶構造, 日本セラミックス協会2010年年会, 2010年3月22日, 東京農工大学(東京都)
- 40 倉地 宏和, 岩田 知之, 欧陽 述昕, 葉 金花, 福田 功一郎, 新規可視光応答型光触媒 Ag_2GeO_3 の結晶構造と光触媒特性, 日本セラミックス協会2010年年会, 2010年3月22日, 東京農工大学(東京都)
- 41 岩田知之, 杉浦啓太, 中野裕美, 福田功一郎, 層状炭化物ホモロガス相の合成および結晶構造解析, 第48回セラミックス基礎科学討論会, 2010年1月12日, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県)
- 42 T. Horie, T. Iwata, K. Fukuda, Structural disorder of $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ and photoluminescence properties of Eu^{2+} - and Mn^{2+} -codoped $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$, International Symposium for Phosphor Materials 2009, 2009年11月4日, NST Hall(新潟県)
- 43 倉地 宏和, 岩田 知之, 中山 将伸, 橋本 忍, 福田 功一郎, Al_3BC_3 の電子構造と結晶構造, 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2009年11月28日, 名古屋大学(名古屋市)
- 44 杉浦啓太, 岩田知之, 中野裕美, 福田功一郎, Zr-Y-Al-C系における新規層状炭化物の合成と結晶構造解析, 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2009年11月28日, 名古屋大学(名古屋市)
- 45 堀江 龍也, 岩田 知之, 福田 功一郎, 分子動力学法による $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ の不規則構造の解析, 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2009年11月28日, 名古屋大学(名古屋市)
- 46 加賀 元了, 岩田 知之, 中野 裕美, 福田 功一郎, First discovery and structural characterization of a new compound in Al-Si-O-C system, 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, 2009年11月28日, 名古屋大学(名古屋市)
- 47 杉浦 啓太, 岩田 知之, 中野 裕美, 福田 功一郎, 層状炭化物ホモロガス相 $(\text{MC})_i(\text{T}_4\text{C}_3)_m$ ($M=\text{Zr, Y}$ and Hf , $T=\text{Al, Si}$ and Ge) の結晶構造, 日本セラミックス協会2009年秋季シンポジウム, 2009年9月16日, 愛媛大学(愛媛県松山市)
- 48 岩田 知之, 福田 功一郎, $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ の結晶内部微細組織および Eu^{2+} 賦活によるフォトルミネッセンス, 日本セラミックス協会2009年秋季シンポジウム, 2009年9月16日, 愛媛大学(愛媛県松山市)
- 49 堀江 龍也, 岩田 知之, 福田 功一郎, $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ の不規則構造および Eu^{2+} と Mn^{2+} の共賦活によるフォトルミネッセンス, 日本セラミックス協会2009年秋季シンポジウム, 2009年9月16日, 愛媛大学(愛媛県松山市)
- 50 福田功一郎, 岩田知之, 吉田英人, Chemical zoning of calcium aluminoferrite formed during melt crystallization in a CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ Pseudoquaternary System, 第63回セメント技術大会, 2009年5月20日, ホテルメトロポリタン(東京都)
- [図書](計1件)
- ① 中井泉, 他, 朝倉書店, 粉末X線解析の実際(第2版)ーリートベルト解析と未知構造解析入門ー, 2009, 248
- [産業財産権]
- 出願状況(計2件)
- 名称: 蛍光体
発明者: 福田功一郎 他3名
権利者: 名古屋大学長
種類: 特許
番号: 特願2010-70101
出願年月日: 平成22年3月25日
国内外の別: 国内
- [その他]
- ホームページ等
<http://crystals.web.nitech.ac.jp/>
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(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 90189944
- (2) 研究分担者
橋本 忍 (HASHIMOTO SHINOBU)
名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号: 10242900
- (3) 連携研究者
中野 裕美 (NAKANO HIROMI)
豊橋技術科学大学・研究基盤センター・准教授
研究者番号: 0031950
吉田 英人 (YOSHIDA HIDETO)
東京大学・理学(系)研究科(研究員)・技術専門職員
研究者番号: 30376553