

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19550189

研究課題名 (和文) 超硬質ハイパーボライドの開発

研究課題名 (英文) Development of higher-boride type super hard materials

研究代表者

宍戸 統悦 (SHISHIDO TOETSU)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：50125580

研究成果の概要：従来の高温・高圧の極端条件を用いず、より安全で経済的な熔融金属フラックス法を適用することで、3 元系の新しい超硬(マイクロビッカース硬度値：25～40GPa)ハイパーボライドを合成出来た。例えば、 $AlMB_{14}$  (M=Li, Mg, Na) を実用可能な微細単結晶の形で得た。微細単結晶は結晶欠陥が少ないため、通常が多結晶ボライド粉末に比較すると、厳しい使用環境下でも性能劣化しづらい。

交付額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,900,000 | 570,000 | 2,470,000 |
| 2008年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：super hard material, higher-boride, molten metal flux growth, solution growth, single crystal

## 1. 研究開始当初の背景

切断、切削および研磨の技術が現代文明を支えている基盤技術の一つであることは広く認識されてきた。しかしながら、新規な超硬材料の開発に向けた取り組みはこれまでのところ充分といえなかった。実際に合成を行おうと思いついても、極端条件を付与できる高額な装置が手元に無いことが障壁になってしまう。新規超硬材料の開発に向け、極端条件を用いずに目的化合物を合成する、対象をボライドに絞り込んで系統的に研究を行う、といった本申請の例は国の内外でこれまでになく、本申請者らが新たに発想したものである。

## 2. 研究の目的

切断、切削および研磨の技術は現代文明を支える基盤技術の一つであり、高速・高精度化を基本に進化が求められてきた。この要求に応えるためには新たな超硬材料の開発研

究が不可欠である。自然界で最も硬いのがダイヤモンドであることは知られているが、その人工合成には高温・高圧が必要であり、結果的に製品は高価となる。また、最も一般的な被加工材料は鉄であるが、その加工に際して、カーバイド系の超硬材料を用いると、高温の摩擦熱で鉄と反応して、性能が劣化する現象が指摘されている。

ボロンの外殻電子配位 S2P は、SP2 を経て安定な SP3 と変化し易く、その結果、ボロンは多くの金属を相手に幅広くボライドを形成する。本申請では、強固な共有結合性を基盤に、極めて高い硬度を発現し、高温においても優れた化学的安定性を示す非カーバイド系のボライド、特に“ハイパーボライド(高濃度ホウ化合物)”の獲得を目指す。ハイパーボライドにおいては、B のみから成るクラスターが結晶構造の骨格を形成するので、高い硬度および高い融点・低い蒸気圧(高温における化学的安定性)が実現する。ボライド

の合成に当たっては高温・高圧といった極端条件を用いず、常圧下において安全で経済的な方法で実施することが望まれる。

ボロンが 2300°C というかなりの高融点をもつので、これと融点差の大きな一般の元素との間にボライドを形成させることは容易ではない。特に、高温・高圧下法、熔融凝固法では、合成のために極端条件の導入や膨大なエネルギーの投入を必要とする。本研究では熔融金属フラックス法を用いてボライドの合成を行う。この方法は熔融した金属を溶媒(フラックス)として、そこへボロン他の溶質を溶け込ませて、溶液内で反応させて、冷却過程で目的とするボライドを、過飽和量・冷却速度に応じて微細単結晶として析出させるものである。従来の方法のように高温・高圧の付与を必要とせず、より安全で経済的な手法である。

熔融金属フラックス法を適用して 3 元系の新しい超硬(マイクロビッカース硬度値: 25~40GPa)ハイパーボライドの合成を目指す。具体的には、Al-(アルカリ土類元素またはアルカリ元素、およびこれらの元素の共存)-B の 3 元系新規超硬ボライドの探索を行い、最終的に目的とするボライドを即、実用可能な微細単結晶の形で得る。

### 3. 研究の方法

フラックス単結晶育成装置は本研究所に既設のものを用いる。特に原料にアルカリ金属を含む場合には、活性過ぎて直接用いることができない。この際、アルカリの酸化物に過剰のボロンを共存させて加熱する。すなわち、ボロンに原料と還元剤の二つの働きをさせて、ボライドを得る形をとる。この反応を熔融金属フラックス存在下で行わせる目的で、小型還元反応炉(特注)を一式導入し実験に供する。

最初に、新規 3 元系ハイパーボライドの化合物設計を行う。次いで、最適なフラックス金属の探索実験を行う。近年報告を行ったビッカース硬度が 25GPa 以上の 3 元系  $\text{AlMgB}_{14}$ 、 $\text{AlMgB}_{22}$  微細単結晶に引き続いて、新たに Mg 以外のアルカリ土類元素およびまたはアルカリ元素と Al、B の間で成る 3 元系の新規超硬ボライドの探索を行う。化合物の合成・微細単結晶化の手段として熔融金属フラックス法を用いる。得られる新規超硬ボライドの硬さを異方性を含めて正確に測定する。得られる単結晶に対し X 線による結晶構造解析、TEM 解析、XPS および NMR 測定を行い結晶構造、結合様式を決定する。硬さ測定値、XPS および NMR 測定から導かれる結合様式に対し、計算で求めた化学結合強度、体積弾性率の結果を比較検討する。25~40GPa の硬度の新規 3 元系ハイパーボライドを獲得する。

### 4. 研究成果

切断、切削、研磨に関する技術は現代文明を支える基盤技術の一つであり、高速・高精度化を目指し進化が求められている。この要求に応えるには新規の超硬材料の開発研究が不可避である。自然界で最も硬いのがダイ

ヤモンドであることは知られているが、その人工的合成には高温・高圧が必要であり、結果的として製品は高価となる。また、最も一般的な被加工材料は鉄系に属するが、その加工に際して、カーバイド系の超硬材料を用いると、高温の摩擦熱で鉄と反応して、性能が劣化することがこれまで指摘されてきた。そうした中であって、ボライドは将来有望な材料である。ボロンは 2300°C というかなりの高融点をもつので、これを形成させることは容易ではない。特に、高温・高圧付与法、熔融凝固法では、合成のために極端条件の導入や膨大なエネルギーの投入を必要とする。我々は熔融金属フラックス法を用いてボライドの合成を行った。この方法は熔融した金属を溶媒(フラックス)として、そこへボロン他の溶質を溶け込ませて、溶液内で反応させて、冷却過程で目的とするボライドを、過飽和量・冷却速度に応じ微細単結晶として析出させるものである。従来のように高温・高圧の付与を必要とせず、より安全で経済的な手法である。金属フラックス、例えばアルミニウムを適用することで、3 元系の新しい超硬(マイクロビッカース硬度値: 25~40GPa)ハイパーボライドの合成を実現出来た。代表例を挙げると、 $\text{AlMB}_{14}$  (M=Li, Mg, Na) を、実用可能な微細単結晶の形で得た。微細単結晶は一般の多結晶ボライド粉末に比較して結晶欠陥が少な。そのことを反映して、厳しい使用環境下においても性能が劣化しない特徴をもつ。

### 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 14 件)

- ① S. Okada, T. Shishido, T. Mori, K. Iizumi, K. Kudou and K. Nakajima, Crystal growth of  $\text{MgAlB}_{14}$ -type compounds using metal salts and some properties, Journal of Alloys and Compounds, 458[1-2], 297-301, 2008、査読有
- ② T. Shishido, T. Mori, K. Yubuta, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Specific heat and TEM study of the new layered boride  $\text{PrRh}_{4.8}\text{B}_2$  obtained by the molten metal Flux growth, Journal of Flux Growth, 3[2], 61-63, 2008、査読有
- ③ T. Shishido, J. Ye, T. Sasaki, S. Okada, K. Kudou, Y. Ishizawa, T. Mori, Y. Sawada, N. Nogi, M. Tanaka, N. Ohtsu, T. Amano, R. Sahara, K. Yubuta, V. Kumar, K. Fujiwara, N. Usami, K. Hayashi, A. Nomura, T. Sugawara, S. Kohiki, K. Teshima, S. Oishi, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Synthesis, boron solubility and properties of perovskite-type rare earth palladium borides, Journal of Flux Growth, 3[2], 68-71, 2008、査読有
- ④ 宍戸統悦、岡田 繁、葉 金花、野村明子、中嶋一雄、[解説] 熔融金属フラックス法による R-Rh-B-(C) (R=希土類元素) 系化合物の単結晶育成および評価, Journal of Flux Growth, 2[1], 14-19, 2007、査読有

- ⑤ S. Okada, T. Shishido, T. Mori, K. Iizumi, K. Kudou and K. Nakajima, Syntheses and properties of  $MgAlB_{14}$ -type compounds from Al-self flux, *Journal of Flux Growth*, 2[1], 29-32, 2007、査読有
- ⑥ R. Sahara, T. Shishido, A. Nomura, K. Kudou, S. Okada, V. Kumar, K. Nakajima and Y. Kawazoe, First-principles study of the structural, electronic, and elastic properties of  $RRh_3B_xC_{1-x}$  (R=Sc and Y), *Physical Review B*, 76[2], 024105-1-024105-9, 2007、査読有
- ⑦ S. Okada, T. Mori, T. Shishido, K. Iizumi, K. Kudou, K. Nakajima and P. Rogl, Syntheses and properties of higher borides from melts in the systems Al-M-B (M=Be, Mg, Cu), *Journal of Alloys and Compounds*, 442, 320-323, 2007、査読有
- ⑧ H. Kojima, R. Sahara, T. Shishido, A. Nomura, K. Kudou, S. Okada, V. Kumar, K. Nakajima and Y. Kawazoe, Ab initio studies of structural, elastic and electronic properties of  $RRh_3B_x$  (R=Sc, Y, La and Ce), *Applied Physics Letter*, 91, 081901-1-081901-3, 2007、査読有
- ⑨ 飯泉清賢、澤田 豊、岡田 繁、宍戸統悦、工藤邦男、中嶋一雄、酸化ニオブ(V)と非晶質ホウ素の固相反応によるニオブホウ化物の合成、粉体および粉末冶金、54[10]、682-685、2007、査読有
- ⑩ S. Okada, T. Shishido, T. Mori, K. Kudou, K. Iizumi and K. Nakajima, Growth and some properties of  $REAlB_4$  and  $RE_2AlB_6$  (RE=rare earth element), *Journal of Flux Growth*, 2[2], 83-86, 2007、査読有
- ⑪ T. Shishido, M. Oku, S. Okada, N. Nogi, T. Amano, J. Ye, T. Mori, M. Tanaka, K. Shimamura, A. Yoshikawa, R. Sahara, K. Yubuta, V. Kumar, A. Nomura, T. Sugawara, S. Tozawa, K. Obara, N. Ohtsu, K. Hayashi, K. Fujiwara, N. Usami, S. Kohiki, K. Teshima, S. Oishi, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Molten metal flux growth and study of properties and chemical state of a new compound  $PrRh_{4.8}B$ , *Journal of Flux Growth*, 2[2], 87-92, 2007、査読有
- ⑫ A. Nomura, T. Sugawara, K. Yubuta, S. Okada, K. Kudou, K. Iizumi, Y. Sawada, K. Nakajima and T. Shishido, Molten metal flux growth and fundamental characterization of  $\alpha-AlB_{12}$ , *Journal of Flux Growth*, 2[2], 93-96, 2007、査読有
- ⑬ K. Kudou, S. Fukuda, S. Okada, T. Mori, K. Iizumi, T. Shishido and Y. Mantani, Hardness and oxidation resistance, magnetic properties of  $REB_{48}Si_2$  (RE = Y, Tb, Dy, Ho, Er, Lu) compounds obtained by arc melting, *Japanese Journal of Applied Physics*, 46[12], 7803-7805, 2007、査読有
- ⑭ K. Yubuta, A. Nomura, T. Yamamura and T. Shishido, Anomalous behavior of hardness and crystal structure in  $CeRh_3B_x$  ( $x=0-1$ ) phase, *Journal of Alloys and Compounds*, 451, 301-304, 2007、査読有
- [学会発表] (計 53 件)
- ① 森 孝雄、岡田 繁、工藤邦男、宍戸統悦、湯蓋邦夫、中嶋一雄、H. Borrmann、A. Leithe-Jasper、I. Veremchuk、Y. Grin、 $RETrB_4$  (RE=希土類、Tr=遷移金属)における物性とbuilding defectの作用、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ② 宍戸統悦、葉 金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森孝雄、田中雅彦、大津直史、野木直行、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイクマール、林 好一、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、古曳重美、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、 $RM_2B_x$  (R=希土類元素、M=Pd, Rh)の合成、化合物形成機構および性質、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ③ 岡田 繁、森 孝雄、宍戸統悦、工藤邦男、フラックス法による $Y_2ReB_6$ タイプ化合物の合成と物理的性質、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ④ 宍戸統悦、森 孝雄、湯蓋邦夫、川添良幸、中嶋一雄、 $PrRh_{4.8}B_2$ に関する比熱測定およびTEM観察、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ⑤ 中川 誠、徳永慎一、工藤邦男、岡田 繁、宍戸統悦、アークメルト法を用いた $Mn_2B$ および $MnB_2$ 化合物の合成と得られた化合物の性質、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ⑥ 高橋英樹、工藤邦男、岡田 繁、宍戸統悦、アークメルト法を用いたSi添加Cr-B系化合物の合成と諸性質、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ⑦ 佐原亮二、宍戸統悦、野村明子、工藤邦男、岡田 繁、ビジャイクマール、中嶋一雄、川添良幸、 $AlMB_{14}$  (M=Li, Mg, Na)の電子状態と弾性特性に及ぼすシリコンの影響、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ⑧ 森 孝雄、西村聡之、宍戸統悦、中嶋一雄、ホウ素化合物の熱電的性質におけるドーピング効果、第3回日本フラックス成長研究発表会、2008年12月19日、国土館大学世田谷キャンパス
- ⑨ C. Isikiriya, Y. Sawada, M. H. Wang, K. Iizumi, M. Inui, T. Kiire, T. Shishido, S. Seki and K. Haga, Colors and resistivity of sintered bodies of zinc oxide doped with trivalent and tetravalent ions, The IUMRS International Conference in Asia 2008, 2008年12月9日~13日、名古屋国際会議場
- ⑩ T. Mori, T. Shishido, K. Nakajima, K. Kieffer, and K. Siemensmeyer, Magnetic properties of the thulium layered compound  $Tm_2Al_{11}B_6$ , an  $AlB_2$ -type analogue, 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference (MMM2008), 2008年11月10日~14日、Austin, Texas, U. S. A.

- ⑪ 宍戸統悦、葉金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森孝雄、田中雅彦、大津直史、野木直行、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイクマール、林 好一、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、古曳重美、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、ペロブスカイト型基調 $RPd_3B$ と $RRh_3B$ ( $R=$ 希土類元素)の形成機構、得られる化合物の性質、平成20年度日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会 第28回基礎科学部会東北北海道地区懇話会、2008年11月6日~7日、伝国の杜 置賜文化ホール
- ⑫ 宍戸統悦、葉金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森孝雄、田中雅彦、大津直史、野木直行、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイクマール、林好一、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、古曳重美、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、ペロブスカイト型 $RM_3B$ ( $R=$ 希土類元素, $M=$ Pd, Rh)の合成、ホウ素不定比および性質、平成20年度化学系学協会東北大会、2008年10月11日~13日、八戸工業大学
- ⑬ 岡田 繁、工藤邦男、宍戸統悦、森孝雄、メタルフラックス法による $NaAlB_{14}$ の単結晶育成と評価、平成20年度化学系学協会東北大会、2008年10月11日~13日、八戸工業大学
- ⑭ 高橋英樹、工藤邦男、岡田 繁、宍戸統悦、アークメルト法によるNb-B系化合物の合成と諸性質、平成20年度化学系学協会東北大会、2008年10月11日~13日、八戸工業大学
- ⑮ K. Yubuta, A. Nomura, K. Nakajima and T. Shishido, A comparison of the structural characteristics for  $RERh_3B_x$  ( $RE=$ Sc and Ce) phase by TEM observations, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ⑯ R. Sahara, T. Shishido, A. Nomura, K. Kudou, S. Okada, V. Kumar, K. Nakajima and Y. Kawazoe, A first principles study of electronic and elastic properties in  $AlMB_{14}$ , 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ⑰ T. Shishido, S. Okada, J. Ye, K. Kudou, K. Iizumi, Y. Sawada, R. Sahara, K. Yubuta, V. Kumar, A. Nomura, T. Sugawara, K. Hayashi, K. Fujiwara, N. Usami, T. Mori, M. Tanaka, N. Nogi, K. Teshima, S. Kohiki, S. Oishi, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Molten metal flux growth of rare earth rhodium borides and borocarbides, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ⑱ S. Okada, T. Mori, K. Kudou, T. Shishido and T. Tanaka, Syntheses and physical properties of  $Sc_2AlB_6$  crystals by moltenAl flux, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ⑲ K. Yubuta, Y. Ishizawa, A. Nomura, K. Nakajima and T. Shishido, Relationship between vacancy ordering and electrical property in  $CeRh_3B_x$  ( $x=0\sim 1$ ) phase, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ⑳ S. Okada, K. Iizumi, T. Shishido, K. Kudou, Y. Sawada, K. Nakajima, Sintering of mechanochemically-processed  $NbB_2$  powder, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ㉑ K. Kudou, T. Mori, S. Okada and T. Shishido, Synthesis and some properties of silicon added WB and  $WB_2$  compounds obtained by arc-melting method, 16th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2008)、2008年9月7日~12日、くにびきメッセ
- ㉒ S. Okada, T. Shishido and T. Mori, Growth and characterization of  $LiAlB_{14}$  and  $NaAlB_{14}$  crystals by Al self-flux, The 8th Asia-Pacific Conference, 2008年9月1日~3日、国士舘大学
- ㉓ K. Yubuta, A. Nomura, K. Nakajima and T. Shishido, Boron ordering in  $CeRh_3B_x$  and  $ScRh_3B_x$  alloys, XXI Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr2008)、2008年8月23日~31日、大阪国際会議場
- ㉔ T. Mori, T. Nishimura, T. Shishido, K. Nakajima and Yu. Grin, Doping effects in rare earth borides, International Conference on Thermoelectrics2008 (ICT2008)、2008年8月3日~7日、Oregon State University, U. S. A.
- ㉕ T. Mori, H. Borrman, A. Leithe-Jasper, S. Okada, K. Kudou, W. Schnelle, R. Cardoso, Y. Prots, U. Burkhardt, I. Veremchuk, T. Shishido and K. Nakajima, Existence of intrinsic defects in rare earth borides and their effect on physical properties, 16th International Conference on Solid Compounds of Transition Elements (SCTE2008)、2008年7月26日~31日、Bellevue Hotel, Dresden, Germany
- ㉖ T. Shishido, J. Ye, S. Okada, K. Kudou, K. Iizumi, Y. Sawada, R. Sahara, K. Yubuta, V. Kumar, A. Nomura, T. Sugawara, N. Ohtsu, K. Hayashi, K. Fujiwara, N. Usami, T. Mori, M. Tanaka, K. Teshima, S. Oishi, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Arc melting synthesis and flux growth of Pr-Rh-B system compounds, The 4th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT4)、2008年5月21日~24日、仙台国際ホテル、東北大学片平キャンパス
- ㉗ T. Shishido, J. Ye, S. Okada, A. Nomura, Y. Kawazoe and K. Nakajima, Crystal growth of rare earth rhodium borides and borocarbides by flux method, The 4th Asian Conference on Crystal Growth and

- Crystal Technology (CGCT4)、2008年5月21日～24日、仙台国際ホテル、東北大学片平キャンパス
- ②⑧ 宍戸統悦、葉 金花、佐々木孝彦、岡田繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森 孝雄、田中雅彦、野木直行、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイ कुमार、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、ペロブスカイト型 $RPd_3B$  (R=希土類元素)のアーケ溶融法による合成および評価、ナノ学会第6回大会、2008年5月7日～9日、九州大学医学部百年記念講堂
- ②⑨ 湯蓋邦夫、野村明子、中嶋一雄、宍戸統悦、TEM観察による $CeRh_xB_x$  ( $x=0\sim 1$ )化合物の結晶構造、ナノ学会第6回大会、2008年5月7日～9日、九州大学医学部百年記念講堂
- ③⑩ 高橋英樹、工藤邦男、万谷和義、岡田 繁、宍戸統悦、アーケメルト法を用いたシリコン添加NbB化合物の合成、日本化学会第88春季年会(2008)、2008年3月26日～30日、立教大学池袋キャンパス立教池袋中学校・高等学校
- ③① 宍戸統悦、奥 正興、岡田 繁、野木直行、天野忠昭、葉 金花、森 孝雄、田中雅彦、島村清史、吉川 彰、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイ कुमार、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、大津直史、林 好一、藤原航三、宇佐見徳隆、古曳重美、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、溶融金属フラックス法による新化合物 $PrRh_{4-x}B_x$ の単結晶育成および評価、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③② 宍戸統悦、葉 金花、佐々木孝彦、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森 孝雄、田中雅彦、野木直行、佐原亮二、湯蓋邦夫、ビジャイ कुमार、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、アーケ溶融法によるペロブスカイト型 $RPd_3B$  (R=希土類元素)の合成および評価、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③③ 野村明子、菅原孝昌、湯蓋邦夫、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、中嶋一雄、宍戸統悦、溶融金属フラックス法による $\alpha-AlB_{12}$ 単結晶の育成および評価、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③④ 岡田 繁、工藤邦男、田中高穂、宍戸統悦、飯泉清賢、新規 $Sc_2AlB_6$ 単結晶の育成、結晶構造と性質、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③⑤ 高橋英樹、工藤邦男、岡田 繁、宍戸統悦、飯泉清賢、万谷義和、アーケメルト法によるTi-B系化合物の合成と諸性質、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③⑥ 湯蓋邦夫、野村明子、中嶋一雄、宍戸統悦、TEM観察による $CeRh_xB_x$  ( $x=0\sim 1$ )化合物の結晶構造、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③⑦ 佐原亮二、宍戸統悦、野村明子、工藤邦男、岡田 繁、ビジャイ कुमार、中嶋一雄、川添良幸、ホウ化物の弾性特性に関する理論研究、第2回日本フラックス成長研究発表会、2007年12月14日、金属材料研究所 講堂・会議室
- ③⑧ 飯泉清賢・岡田 繁・宍戸統悦・工藤邦男・澤田 豊、メカノケミカルプロセスを経由した $NbB_2-CrB_2$ 複合セラミックスの焼結、平成19年度化学系学協会東北大会、2007年9月21日～23日、山形大学小白川キャンパス
- ③⑨ 岡田 繁・宍戸統悦・森 孝雄・工藤邦男・飯泉清賢、ニオブホウ化物結晶の合成と磁気特性、平成19年度化学系学協会東北大会、2007年9月21日～23日、山形大学小白川キャンパス
- ④⑩ 宍戸統悦・飯泉清賢・工藤邦夫・岡田 繁・澤田 豊・天野忠昭・野村明子・菅原孝昌・戸澤慎一郎・小原和夫・中嶋一雄、ペロブスカイト型 $RM_2B$  (R=希土類元素、M=Rh, Pd)の熱化学的性質、平成19年度化学系学協会東北大会、2007年9月21日～23日、山形大学小白川キャンパス
- ④① 岡田 繁、森 孝雄、宍戸統悦、工藤邦男、飯泉清賢、中嶋一雄、金属フラックスによる $NbB_2$ 結晶の合成と磁気的性質、日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム(2007年)、2007年9月12日～14日、名古屋工業大学
- ④② 宍戸統悦、葉 金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、佐原亮二、ビジャイ कुमार、湯蓋邦夫、野村明子、菅原孝昌、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、ペロブスカイト型R-Pd-B系化合物の合成と基礎的評価、日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム(2007年)、2007年9月12日～14日、名古屋工業大学
- ④③ 岡田 繁、宍戸統悦、森 孝雄、飯泉清賢、工藤邦男、中嶋一雄、二成分系ホウ化物の合成および性質-フラックス法によるニオブホウ化物結晶の育成と性質-、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④④ 工藤邦男、野戸章吾、岡田 繁、宍戸統悦、飯泉清賢、万谷義和、アーケメルト法を用いたWB系化合物の合成とその機械的・熱的性質、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④⑤ 佐原亮二、小島秀伸、宍戸統悦、野村明子、工藤邦男、岡田 繁、ビジャイ कुमार、中嶋一雄、川添良幸、ホウ化物の機械的特性の理論解析、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④⑥ 野木直行、田中 知、宍戸統悦、高ホウ素結晶固体における同位体効果と熱的特性の制御、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④⑦ 湯蓋邦夫、野村明子、中嶋一雄、宍戸統悦、 $CeRh_xB_x$  ( $x=0\sim 1$ )の構造的特徴、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年

- 7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④8 飯泉清賢、岡田 繁、宍戸統悦、工藤邦男、澤田 豊、酸化ニオブとホウ素の反応によるニオブホウ化物の合成、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ④9 宍戸統悦、葉 金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、森孝雄、田中雅彦、野木直行、佐原亮二、ビジャイ कुमार、湯蓋邦夫、野村明子、菅原孝昌、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、ペロブスカイト型RM<sub>2</sub>B(R=希土類元素、M=Pd, Rh)の合成および評価、第5回国内ホウ素・ホウ化物研究会、2007年7月7日～8日、東京理科大学 セミナーハウス
- ⑤0 宍戸統悦、機能性化合物のバルク単結晶作製、第113回東北大学金属材料研究所講演会(2007年春季)、2007年5月24日～25日、金属材料研究所 講堂
- ⑤1 小島秀伸、佐原亮二、宍戸統悦、野村明子、工藤邦男、岡田 繁、ビジャイ कुमार、中嶋一雄、川添良幸、第一原理計算を用いたボロンリッチボライドの弾性特性評価、ナノ学会第5回大会、2007年5月21日～23日、つくば国際会議場
- ⑤2 宍戸統悦、奥 正興、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、佐原亮二、小島秀伸、ビジャイ कुमार、福原幹夫、湯蓋邦夫、野村明子、菅原孝昌、戸澤慎一郎、小原和夫、野木直行、古曳重美、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、R-Rh-B系ペロブスカイト型化合物のホウ素不定比と硬さ、ナノ学会第5回大会、2007年5月21日～23日、つくば国際会議場
- ⑤3 宍戸統悦、奥 正興、葉 金花、岡田 繁、工藤邦男、飯泉清賢、澤田 豊、石沢芳夫、田中雅彦、佐原亮二、小島秀伸、ビジャイ कुमार、湯蓋邦夫、野村明子、菅原孝昌、手嶋勝弥、大石修治、川添良幸、中嶋一雄、R-Pd-B系ペロブスカイト型化合物の合成と性質、第24回希土類討論会、2007年5月17日～18日、九州大学医学部

〔図書〕(計4件)

- ① 宍戸統悦、シーエムシー出版、ホウ素・ホウ化物および関連物質の基礎と応用、151-169、2008
- ② 宍戸統悦、岡田 繁、エヌ・ティー・エス、希土類の材料技術ハンドブック 基礎技術・合成・デバイス製作・評価から資源まで 足立吟也監修、第8章 電子放射材料(LaB<sub>6</sub>化合物)、334-338、2008
- ③ S. Okada, T. Shishido, H. Kanari, K. Nakajima, A Cooperative Publication of Far-Eastern State Technical University, Russia, Harbin institute of Technology, P. R. China, Kangnam University, Republic of Korea and Kokushikan University, Japan、The Pacific Science Review, vol.10. No.1, Crystal growth by molten metal flux method of vanadium boride V<sub>2</sub>B<sub>3</sub>、39-44、

2008

- ④ S. Okada, T. Shishido and T. Mori、A Cooperative Publication of Far-Eastern State Technical University, Russia, Harbin institute of Technology, P. R. China, Kangnam University, Republic of Korea and Kokushikan University, Japan、The Pacific Science Review, vol.10. No.1, Growth and characterization of LiAlB<sub>14</sub> and NaAlB<sub>14</sub> crystals by Al self-flux、207-212、2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宍戸 統悦 (SHISHIDO TOETSU)  
東北大学・金属材料研究所・准教授  
研究者番号：50125580

(2) 研究分担者

湯蓋 邦夫 (YUBUTA KUNIO)  
東北大学・金属材料研究所・助教  
研究者番号：00302208

(3) 連携研究者