

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420716

研究課題名(和文) アルミニウム高ホウ化物MgAlB₂₂の創製と高硬度材料としての探索研究課題名(英文) Research for preparation and high hardness material of aluminium higher boride MgAlB₂₂

研究代表者

岡田 繁 (Okada, Shigeru)

国土館大学・理工学部・教授

研究者番号：40191952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 400,000円

研究成果の概要(和文)：Al自己フラックス法で、原料としてMg金属の代わりにMg塩と結晶性ホウ素の反応から、MgAlB₂₂結晶の合成を行った。アルゴンガス雰囲気下、加熱温度1400℃、5時間保持、徐冷速度50℃/hで合成実験を行った。更にアルカリ金属を含有した固溶体(Mg_{1-x}LE_x)AlB₂₂(LE = Li, Na, K)結晶の合成を試みた。MgAlB₂₂結晶は得られたが、固溶体(Mg_{1-x}LE_x)AlB₂₂を得ることが困難であった。MgAlB₂₂結晶はピッカース硬さと磁化率測定を行った。MgAlB₂₂は、硬さでは25.4(0.6) GPaで高ホウ化物の内が高い値で、磁化率では低温度で異常な振る舞いを呈していた。

研究成果の概要(英文)：MgAlB₂₂ crystals were grown from Al-self flux in an Ar atmosphere. The raw materials used Mg metal, Mg salts, B and Al. The conditions for growing MgAlB₂₂ were established using the starting mixtures of atomic ratio B/Mg = 2.0. The temperature of the furnace was raised to 1400℃, kept for 5 h and then cooled at a rate of 50℃/h. The crystals were selected under a microscope for the measurements of micro-hardness and magnetic susceptibility. Magnetic susceptibility of MgAlB₂₂ was measured by using a SQUID magnetometer. The MgAlB₂₂ crystals obtained from Mg or MgF₂ and boron powders as starting materials of atomic ratio B/Mg = 2.0. The MgAlB₂₂ crystals have well-developed {100} faces and the maximum dimensions of about 6.5 mm. The reagents used to prepare the solid solution (Mg_{1-x}LE_x)AlB₂₂(LE = Li, Na, K) crystals were Mg metal, LE2B407, B and Al. The (Mg_{1-x}LE_x)AlB₂₂ crystal was not obtained at the experiment. The value of microhardness of crystal was in the range of 25.4(0.6) GPa.

研究分野：工学

キーワード：アルミニウムマグネシウム高ホウ化物 アルミニウム自己フラックス法 ピッカース微小硬さ 低温磁化率

1. 研究開始当初の背景

- (1) ホウ素化合物のうち、ホウ素正二十面体を有する高ホウ化物は、ホウ素系半導体で、ホウ素含有量が多いために高硬度材料として期待されている。例えば、炭化ホウ素 B_4C や立方晶窒化ホウ素 CBN などはダイヤモンドの代替材料として広く利用されている。これらの化合物は、特殊な高温合成装置を用いて、1600 以上の高温合成法で作製されているために、合成した材料の価格が高価である。従って、比較的低温で高硬度材料の化合物合成が必要で、しかも簡単な装置で高ホウ化物結晶が作製できることが急務である。
- (2) 国外では、米国、ヨーロッパ諸国とロシア国において、 B_4C や CBN の合成装置の改良や新しい装置の作成が主体的に行われている。国内では、著者が主体になって、高ホウ化物の合成と高硬度材料としての応用研究を行っている^{1,2)}。その研究は、アルミニウム自己フラックスを用いて、Mg, Li あるいは Na などの金属元素とホウ素粉末の反応から、軽量で軽元素を含有したアルミニウム高ホウ化物 ($LiAlB_{14}$, $NaAlB_{14}$, $MgAlB_{14}$ など)の合成である^{2,3)}。また、それらの結晶の性質は磁化率や硬さを調べて報告している。それらの研究の過程で、Mg-Al-B 系フラックスから 2 種類の高ホウ化物 ($MgAlB_{14}$, $MgAlB_{22}$) (斜方晶系結晶²⁾)の合成に成功している。これらの結晶構造や結晶学データを報告⁴⁾し、磁化率などの物理的な性質を検討した。
- (3) それら高ホウ化物のうち、 $MgAlB_{14}$ 結晶は、出発原料を金属 Mg や MgF_2 を用いるとより大きな結晶が得られることがわかった。この結晶は、硬さが 23~28 GPa で、高硬度材料として利用できる可能性を含んでいる。
- (4) 以上より、結晶構造中にホウ素正二十面体を多く含む高ホウ化物は、高硬度材料の可能性を含んでいる。そこで、著者は、 $MgAlB_{22}$ の結晶合成の確立と高硬度材料の可能性を探索することにした。また、先の結果から、固溶体 $Na_xRE_{1-x}AlB_{14}$ (RE = Li, Mg, 希土類元素)の合成と硬さの研究³⁾で、硬さが 25~29 GPa の値で、これは切削・研磨材工具として使用する場合には十分な硬さであることが理解できた。これより、アルカリ金属 (LE = Li, Na, K)を含有した固溶体 ($Mg_{1-x}LE_x$) AlB_{22} 結晶は、軽量で高硬度材料の可能性があるので、最適合成条件と高硬度材料の探索を目的にしている。

2. 研究の目的

- (1) $MgAlB_{22}$ 結晶は、Al 自己フラックス法で、マグネシウム塩とホウ素粉末との高温溶解反応から化合物を作製する。この場合、結晶合成には Mg 塩として MgF_2 , $MgCl_2$, $MgCO_3$, $Mg(OH)_2$ を用いる。ここで、 $MgAlB_{22}$ の結晶合成で、蒸気圧の高い Mg 金属の代わりに Mg 塩を用いる理由は、結晶を合成するには比較的高い融点或いは分解温度が必要であること、容器として Al_2O_3 製ルツボが使用で

きること、原料を空気中で取り扱いができること、原料が Al 金属との親和性が良いことなどが必要な条件である。これらの原料を用いて、著者は新規化合物 Sc_2AlB_6 と $NaAlB_{14}$ 結晶の合成を行っている⁴⁻⁶⁾。

- (2) 本研究では同様な合成方法で $MgAlB_{22}$ 結晶の合成条件を検討する。平成 25 年度は $MgAlB_{22}$ 結晶の合成に対して最適な Mg 塩を見出して大きな結晶育成を試みる。即ち、 $MgAlB_{22}$ 結晶の合成条件は、Mg 塩とホウ素の配合比を変化させて、加熱温度 1400、保持時間 5 時間、徐冷速度 50 /h で検討する。得られた $MgAlB_{22}$ 結晶は粉末 X 線回折計 (XRD)、X 線マイクロアナリシス (EPMA) とエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) で、相の同定と結晶学データ、組成分析と結晶中の不純物の確認、結晶の大きさや形態を調べる。更に、 $MgAlB_{22}$ 単結晶では、成長方向と成長面をラウエカメラで確認する。また、結晶の硬さはピッカーズ微小硬度計を用いて調べる。これより、 $MgAlB_{22}$ の結晶構造と硬さの関係を調べ、高硬度材料としての評価を行う。
- (3) 平成 26 年度と平成 27 年度は、平成 25 年度の結晶合成と硬さの評価から、アルカリ金属 (LE = Li, Na, K) を含有した固溶体 ($Mg_{1-x}LE_x$) AlB_{22} 結晶の合成とアルカリ金属元素の固溶量を調べる。その場合、固溶体 ($Mg_{1-x}LE_x$) AlB_{22} 結晶の合成は、Al 自己フラックス法で、アルカリ金属にはアルカリボレート $LE_2B_4O_7$ (LE = Li, Na, K) を用いて、それらと Mg 塩或いはホウ素粉末から高温溶解法で実験を行う。この場合、出発原料として $LE_2B_4O_7$ を用いるのは高ホウ化物⁶⁾を得るのに適した方法である。 $MgAlB_{22}$ 中に固溶したアルカリ金属を調べ、その固溶限界と硬さとの関係を検討する。更に、その結晶構造と構造中に存在する金属原子と硬さの関係を調べ、高硬度材料として用いる場合の評価を行う。また、 $MgAlB_{22}$ の性質として低温の磁化率測定を行った。

3. 研究の方法

- (1) Al 自己フラックス法を用いて、 $MgAlB_{22}$ の合成に、蒸気圧の高い Mg 金属の代わりに Mg 塩を用いて、これらの塩と結晶性ホウ素粉末の反応から、 $MgAlB_{22}$ 結晶の合成を行う。 Mg -Al-B 系には $MgAlB_{14}$ と $MgAlB_{22}$ の 2 種類の存在を著者が報告⁵⁾しているが、 $MgAlB_{22}$ の単相は得られていない。この結果から、同フラックス法で、Mg 源として Mg 塩を用いて、これとホウ素との反応から $MgAlB_{22}$ 結晶の単相を得るための最適条件を試みた。 $MgAlB_{22}$ の合成条件は、所定の温度まで加熱速度 300 /h、加熱温度 1400、5 時間保持、徐冷速度 50 /h で実験を行った。冷却後、アルミニウム含有した塊状物から $MgAlB_{22}$ 結晶を取出すために希塩酸処理を行った。合成した結晶は XRD を用いて、結晶相の同定と格子定数を調べ、結晶の成長方向と成長面をラウエカメラで決定した。EPMA 或いは EDS

を用いて、 $MgAlB_{22}$ 結晶の組成分析、組成比変化と不純物元素の確認を行った。これらの結果から、 $MgAlB_{22}$ と他の高ホウ化物 ($BeAlB_{22}$ 或いは $MgAlB_{14}$ タイプ化合物) と結晶学データから比較した。また、結晶の成長面が決定できたら、それらの結晶面について室温での硬さ(測定荷重 2.94 N、荷重時間 15 秒間)を微小硬度計 (ピッカースダイヤモンド圧子) で測定する。硬さの測定面を明らかにし総合的な評価を行った。更に、この結晶が $B_4C(B_{12}C_3)$ や CBN のホウ化物と比較し、 $MgAlB_{22}$ 結晶を高硬度材料として使用する場合の総合的な評価を行った。また、 $MgAlB_{22}$ の磁化率は 2~300 K の低温度で市販の超伝導量子干渉計(SQUID)磁気計を用いて測定した。

4. 研究成果

- (1) Al 自己フラックス法で、原料として Mg, マグネシウム塩と結晶性ホウ素粉末から $MgAlB_{22}$ 結晶を合成した。その場合、 $MgAlB_{14}$ と $MgAlB_{22}$ 結晶が得られたのは Mg と MgF_2 の場合であった。そこで、 MgF_2 を用いて、配合比 $B/Mg = 0.5\sim 4.0$ の範囲で検討した。その結果、配合比が少ない場合 ($B/Mg = 0.5\sim 2.0$) には $MgAlB_{14}$ よりも $MgAlB_{22}$ の方が多く生成した。 $MgAlB_{22}$ と $MgAlB_{14}$ の XRD パターンを図 1 に示す。

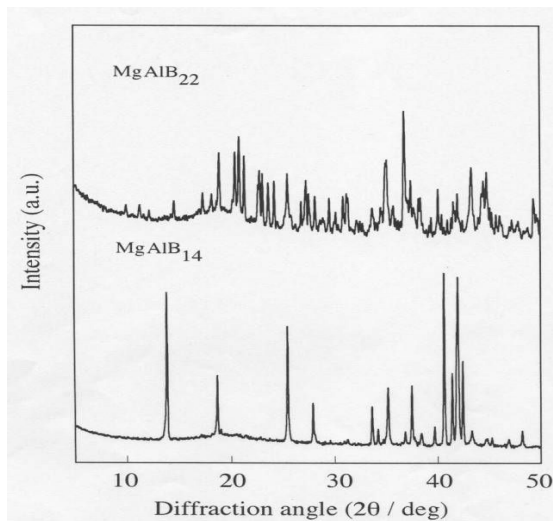


図 1 $MgAlB_{14}$ と $MgAlB_{22}$ の XRD パターン

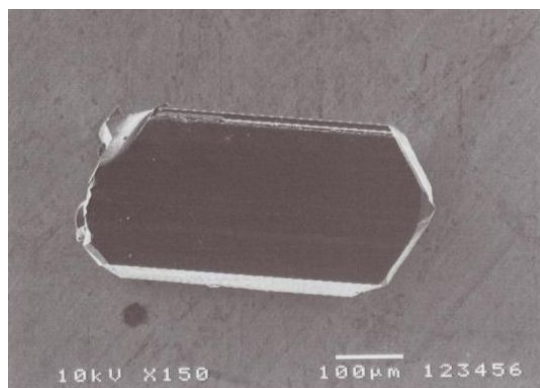


図 2 $MgAlB_{22}$ の結晶写真

配合比が多い場合 ($B/Mg = 3.0\sim 4.0$) には $MgAlB_{14}$ が多く生成し、それは $MgAlB_{22}$ 或いは $\alpha-AlB_{12}$ と一緒に得られることがわかった。これは Mg を用いて $MgAlB_{22}$ の合成の場合と同様な傾向である⁵⁾。得られた $MgAlB_{22}$ 結晶を図 2 に示す。この結晶の大きさは最大 6.5 mm で、結晶形態は $\{100\}$ 面のよく成長している。この結果は、原料を Mg で用いて $MgAlB_{22}$ 結晶を育成した場合よりも大きな結晶が得られた。この原因は MgF_2 が金属 Mg よりも融点 (MgF_2 ; 1536 K, Mg ; 923 K) や沸点 (MgF_2 ; 2500 K, Mg ; 1363 K)⁷⁾ が高いことと Al フラックスによく融解しているものと推察できる。しかし、他の Mg 塩では $MgAlB_{22}$ 結晶が得られなかった。この原因は、Al フラックスとの反応が起こり難いか、或いは Al と反応しないで Al 上に Mg 塩の原料が浮いたためと考えられる。 MgF_2 から得られた $MgAlB_{22}$ の格子定数値は、 $a = 1.6624(1)$ nm, $b = 1.7554(1)$ nm, $c = 1.0164(1)$ nm で、文献値^{4,5)} と良く一致している。以上のようにして得られた $MgAlB_{22}$ 結晶の $\{100\}$ 面上のピッカース微小硬さは 25.4(0.6) GPa 程度であった。この硬さは、先に報告した値と比較的よく一致している。また、この値は高硬度材料として有望視されている $REAlB_{14}$ -タイプ化合物や $B_4C(B_{12}C_3)$ 或いは CBN のホウ化物に近い硬さである。従って、今後、この材料も高硬度材料として使用できるものと思われる。この結晶は、研磨剤として使用する場合には十分な硬さであることがわかった。以上より、配合比 $B/Mg = 2.0$ で、原料として Mg と MgF_2 を用いた場合に $MgAlB_{22}$ の比較的大きな結晶が得られた。

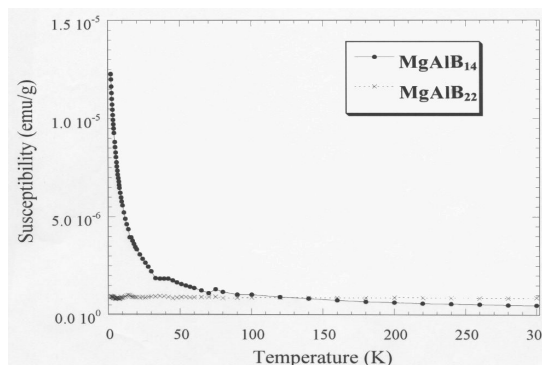


図 3 $MgAlB_{14}$ と $MgAlB_{22}$ の磁化率測定

- (2) 上記から Al 自己フラックス法で、Mg 或いは MgF_2 とホウ素粉末から $MgAlB_{22}$ 結晶を得るための条件がわかったが、 MgF_2 を用いた場合にアルミナ炉心管の損傷が大きかった。これは原料として使用している MgF_2 のフッ素原子が揮発し、アルミナとの反応によってアルミナ炉心管が損傷すると考えられる。そこで軽元素を固溶した $MgAlB_{22}$ 結晶の合成には、原料として Mg とホウ素を用いることにした。即ち、アルカリ金属 ($LE = Li, Na, K$) を含有した固溶体 ($Mg_{1-x}LE_x$) AlB_{22} 結晶の合成

を試みた。

- (3) 固溶体 ($Mg_{1-x}LE_x$)AlB₂₂ の合成条件は、配合比 B/Mg_{1-x}LE_x = 2.0、加熱温度 1400、5 時間保持で、それ以外の条件は上記と同様である。原料としてアルカリ金属にはアルカリボレート LE₂B₄O₇ (LE = Li, Na, K)を用いて、それらの添加物を全量に対して 5.0 at%になるように加えた。得られた結晶は MgAlB₂₂ と MgAlB₁₄ 結晶が共存していた。生成結晶は、SEM と EDS で結晶形態と大きさと組成分析を行った。その結果、MgAlB₂₂ 結晶は、黒色を呈した 0.3 mm 程度の比較的小さく、Mg と Al 元素以外の固溶が確認できなかった。MgAlB₂₂ 結晶中に軽元素 (Li, Na, K)が固溶しなかった原因は、MgAlB₂₂ の結晶構造⁴⁾が γ -AlB₁₂ タイプと類似の構造系を有しているのと密接に関係しているものと推察できる。 γ -AlB₁₂ タイプ構造中に他の金属元素が固溶したという報告例が少ないのに関連していると思われる。一方、MgAlB₁₄ 結晶には少量の Na 元素が固溶していたが、Li と K 元素の確認はできなかった。Li 元素は EPMA 或いは EDS の測定限界外と考えられるが、K 元素は原子半径或いはイオン半径が Mg 元素よりも大きすぎることが原因かもしれない。MgAlB₂₂ の磁化率測定を MgAlB₁₄ と一緒に図 3 に示す。室温での磁気特性は、MgAlB₂₂ と MgAlB₁₄ では 5.0×10^{-7} emu g⁻¹ 程度の値である。低温度での磁化率測定は、MgAlB₁₄ では室温から 2 K でその値がやや大きくなり不純物効果による常磁性的な振る舞いであるが、MgAlB₂₂ では異常な振る舞いを示している。磁化率は、MgAlB₁₄ では、先に報告した LEAlB₁₄ (LE = Li, Na)²⁾の場合と同様な傾向を呈しているが、MgAlB₂₂ では、この異常な振る舞いは現在のところ不明である。

<参考文献>

- 1) Shigeru Okada, Toetsu Shishido, Takao Mori, Kiyokata Iizumi, Kunio Kudou, Kazuo Nakajima, Crystal growth of MgAlB₁₄-type compounds using metal salts and some properties, 査読有, J. Alloys and Compounds, Vol.458, (2008) 297-301.
- 2) Shigeru Okada, Toetsu Shishido, Takao Mori, Growth and characterization of LiAlB₁₄ and NaAlB₁₄ crystals by Al self-flux, 査読有, Pacific Science Review, Vol.10, No.2 (2009) 207-212.
- 3) Shigeru Okada, Kunio Kudou, Toetsu Shishido, Kunio Yubuta, Takao Mori, Syntheses and physical properties of Na_xRE_{1-x}AlB₁₄ (RE = Li, Mg, rare earths) obtained by molten Al flux, 査読有, Journal of Solid State Phenomena, Vol.170, (2011) 150-153.
- 4) Iwami Higashi, Masayoshi Kobayashi, Shigeru Okada, Kenya Hamano, Torsten Lundström, Boron-rich crystals in Al-M-B (M = Li, Be, Mg) systems grown from high-temperature aluminium solutions, 査読有, J. Crystal Growth, Vol.128, (1993) 1113-1119.

- 5) Shigeru Okada, Kudou Kudou, Takao Mori, Toetsu Shishido, Iwami Higashi, Naoki Kamegashira, Kazuo Nakajima, Torsten Lundström, Crystal Growth of Aluminum Magnesium Borides from Al-Mg-B Ternary System Solutions and Properties of the Crystals, 査読有, Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials, J. Materials Science Forum, Vols. 449-452, (2004) 365-368.
- 6) Shigeru Okada, Takao Mori, Toetsu Shishido, Kiyokata Iizumi, Kunio Kudou, Kazuo Nakajima, Peter Rogl, Syntheses and Properties of Higher Borides from Melts in the Systems Al-M-B (M = Be, Mg, Cu), 査読有, J. Alloys and Compounds, Vol.442, (2007) 320-323.
- 7) D. R. Lide ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 76 th, Edition (1995-1996), 4-68.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

山崎 貴, 岡田 繁, 湯蓋邦夫, 宍戸統悦, 野村明子, 森 孝雄, Mg₂Si の合成と性質, 査読無, 国土館大学理工学附属理工学研究所報告, No.28 [12] (2015) 1-6.

宍戸統悦, 湯蓋邦夫, 森 孝雄, 田中雅彦, 岡田 繁, 野村明子, 菅原孝昌, 佐原亮二, 林 好一, 澤田 豊, 手嶋勝弥, 大石修治, 川添良幸, 吉川 彰, ペロブスカイト型 RRh₃B (R = 希土類元素) の合成および性質, 査読有, Journal of Flux Growth, Vol.10, No.1 (2015) 2-9.

X. J. Wang, T. Mori, I. Kuzmych-Iamchuk, Y. Yubuta, T. Shishido, S. Okada, Y. Grin, and David G. Cahill, Thermal conductivity of layered borides: the effect of building defects on the thermal conductivity of TmAlB₄ and the anisotropic thermal conductivity of AlB₂, 査読有, APL Materials, Vol.2, 046113-6 (2014); doi: 10.1063/1.4871797.

岡田 繁, 山崎 貴, 湯蓋邦夫, 宍戸統悦, 吉川 彰, 森 孝雄, メカノケミカル工程による NiSi と NiSi₂ 粉末の合成および酸化抵抗性, 査読無, 国土館大学理工学研究所報告, No.26 [12] (2014) 1-6.

岡田 繁, 鎌本喜代美, 山崎 貴, 金成英夫, 工藤邦男, 湯蓋邦夫, 宍戸統悦, アークメルト法による遷移金属を添加した W₅Si₃ 及び WSi₂ 化合物の合成と性質, 査読無, 国土館大学理工学研究所報告, No.25 [12] (2013) 1-6.

Takashi Yamasaki, Shigeru Okada, Toetsu Shishido and Kunio Yubuta, Crystal growth of Nb-Si system compound obtained from the solution in Cu melt and some properties, 査読有, Pacific Science Review A, Natural Science & Engineering, Vol.15, No.3 (2013) 125-129.

Kunio Yubuta, Takao Mori, Shigeru Okada, Yurii Prots, Horst Borrmann, Yuri Grin and Toetsu Shishido, High-resolution electron microscopy

and X-ray diffraction study of intergrowth structures in α - and β -type YbAlB_4 single crystals, 査読有, Philosophical Magazine, 2013, Vol.93, No.9 1054-1064 (2013); doi: 10.1080/14786435.2012.741727.

宍戸統悦, 湯蓋邦夫, 森 孝雄, 田中雅彦, 工藤邦男, 岡田 繁, 野村明子, 菅原孝昌, 佐原亮二, 林 好一, 古曳重美, 澤田 豊, 手嶋勝弥, 大石修治, 川添良幸, 吉川 影, ペロブスカイト型 YRh_3B のホウ素不定比と性質に関する研究, 査読有, Journal of Flux Growth, Vol.8, No.1 (2013) 12-17.

〔学会発表〕(計 10 件)

岡田 繁, 山崎 貴, 湯蓋邦夫, 宍戸統悦, 野村明子, 森 孝雄, 金属ホウ化物の合成法と性質に関する研究(特別講演), 第10回日本ホウ素・ホウ化物研究会, 2016年03月05日, p.18, 東京大学(柏キャンパス)(千葉県・柏市).
Okada Shigeru, Yamasaki Takashi, Shishido Toetsu, Yubuta Kunio, Nomura Akiko, Mori Takao, Synthesis and properties of niobium borides by metal flux method, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2015), December 20, 2015, CD-R, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

野村明子, 宍戸統悦, 湯蓋邦夫, 岡田 繁, 山崎 貴, 森 孝雄, RE_2AlB_6 (RE = 希土類元素)の結晶合成に対するメタルフラックス法の影響, 第10回日本フラックス成長研究発表会, 2015年12月11日, p.123-124, 信州大学(長野キャンパス)(長野県・長野市).

岡田 繁, ホウ化物単結晶のフラックス育成に関する研究(招待講演), 日本セラミックス協会第28回秋季シンポジウム, 2015年09月16日, CD-R版, 富山大学(五福キャンパス)(富山県・富山市).

岡田 繁, 山崎 貴, 宍戸統悦, 湯蓋邦夫, 野村明子, 森 孝雄, AlMgB_{14} と AlMgB_{22} の合成と性質, 日本セラミックス協会2015年年会講演会, 2015年03月18日, CD-R版, 岡山大学(津島キャンパス)(岡山県・岡山市).

野村明子, 森 孝雄, 岡田 繁, 菅原孝昌, 宍戸統悦, 湯蓋邦夫, アーク溶解炉を用いた ErAlB_4 結晶作製の試み, 第9回日本フラックス成長研究発表会, 2014年12月11日, p.93, 高知大学(朝倉キャンパス)(高知県・高知市).

Shigeru Okada, Takashi Yamasaki, Kiyomi Kamamoto, Toetsu Shishido, Kunio Yubuta, and Takao Mori, Syntheses and Properties of NbB and NbB_2 Powders by Thermal Reduction of Nb_2O_5 and Amorphous Boron Powders with Addition of Alkali Chlorides, 18th International Symposium on Boron, Borides and Related

Materials (ISBB2014), August 31 to September 05, 2014, p.151, Hawaii Prince Hotel Waikiki, Honolulu, Hawaii, USA.

Md. Anwar Hossain, Isao Tanaka, Takaho Tanaka, Atta Ullah Khan, Akiko Nomura, Kunio Yubuta, Toetsu Shishido, Shigeru Okada, Takao Mori, Comparative Thermoelectric Study of $\text{RB}_{44}\text{Si}_2$ Borosilicides; Floating zone (FZ) crystals and arc melted samples, 18th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2014), August 31 to September 05, 2014, p.153, Hawaii Prince Hotel Waikiki, Honolulu, Hawaii, USA.

岡田 繁, 鎌本喜代美, 山崎 貴, 宍戸統悦, 湯蓋邦夫, 森 孝雄, マグネシウム塩を用いた AlMgB_{14} と AlMgB_{22} 結晶の合成, 第8回日本フラックス成長研究発表会, 2013年12月06日, p.136, 芝浦工業大学(芝浦キャンパス)(東京都・台東区).

岡田 繁, 鎌本喜代美, 山崎 貴, 森 孝雄, 宍戸統悦, 湯蓋邦夫, RE_2AlB_6 (RE = Sc, Tm, Lu)タイプ結晶の合成, 構造と物理的性質, 第30回希土類討論会, 2013年05月24日, p.148-149, 北九州国際会議場(福岡県・北九州市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 繁 (OKADA Shigeru)
国士舘大学・理工学部・教授
研究者番号: 40191952

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし