

## 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 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350113

研究課題名（和文） 新規マンガン付活酸化物および窒化物蛍光体の探索

研究課題名（英文） Exploration of New Phosphors Containing Manganese Activators

研究代表者

山根 久典（YAMANE HISANORI）

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：20191364

研究成果の概要（和文）：紫外および可視光励起で 670~696nm の深赤色発光を示す酸化マグネシウムマンガンホウ素  $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$  と酸化リチウムマグネシウムマンガンホウ素  $(\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3)$  の新規蛍光体が、雰囲気制御した固相反応法で合成された。これらの蛍光体は、ガンマー線に起因するバックグラウンドノイズの少ない中性子検出用シンチレーター材料としても利用できることが明らかにされた。

研究成果の概要（英文）： New luminescence materials of magnesium manganese borate  $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$  and lithium magnesium manganese borate  $(\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3)$  were synthesized by solid state reaction in an argon gas atmosphere. Deep red light of 670-696nm was observed by excitation of ultraviolet and visible light. It was found that both materials can be used as scintillators for neutron detection with low-level background noise by gamma ray.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	12,000,000	3,600,000	15,600,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

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：蛍光発光材料、結晶構造解析、中性子検出用シンチレーター材料

## 1. 研究開始当初の背景

蛍光体材料開発では、発光機能を担う元素（付活イオン）として希少元素である希土類金属元素がよく用いられる。その発光現象は、主に希土類イオンの内核の f-f オービタル間のエネルギー遷移による。マンガンなどの遷移金属元素を付活イオンとして使用した蛍光体は、かつて盛んに研究されたが、それらの元素が希土類元素に比べ資源的に比較的豊富で入手しやすいことから、最近、元素戦

略の観点で改めて顧みられるようになった。

d-d オービタル間のエネルギー遷移で発光を示す2価のマンガン( $\text{Mn}^{2+}$ )では、酸化物等の母体結晶の配位環境により、緑色から赤色の発光が得られることが知られている。スピン分極を考慮した電子状態計算によると、多くの化合物中において  $\text{Mn}^{2+}$  の5つのd電子は5つのup スピン3d オービタルに電子が入り、down スピンの5つのオービタルは非占有の状態、up スピンのオービタルより高エネル

ギー側に位置することが示される。このため d-d の励起・発光過程はスピンの向き（スピン角運動量）を変える必要があり、理想的にはスピン禁制のはずである。にもかかわらず、 $Mn^{2+}$  を付活イオンとする物質の中には、高効率蛍光体となるものが存在する点に興味を持たれた。そこで、本研究では、 $Mn^{2+}$  を付活イオンとする蛍光体を酸化物や窒化物を中心に探索し、新たに合成された発光材料について、それらの結晶構造と発光特性を調べることにした。

研究申請時は、アルカリ土類金属ケイ素系の窒化物なども探索の対象としたが、本研究の開始前後にヨーロッパのグループからこの系についての報告が出された。このため、アルカリ金属ケイ素系などの窒化物の探索を行ったが、 $Mn^{2+}$  を含む蛍光体を見出すことはできなかった。一方、酸化物については、比較的バンドギャップの大きな母体結晶としてホウ酸塩系を選定して物質探索を行った結果、以下に述べるマグネシウムマンガンホウ素とこれにリチウムを加えた系の酸化物 ( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および  $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  において、 $Mn^{2+}$  が関与する新規蛍光体を合成することができた。これらの物質において、可視光領域の d-d 遷移よりも紫外光波長域での励起により  $Mn^{2+}$  の高効率発光が得られることが明らかにされた。

また、励起・発光過程の評価を進める中で、この新規材料が新たな中性子検出用シンチレーター材料となる可能性が明らかになった。従来の中性子検出器は 3 ヘリウム (<sup>3</sup>He) を使用して作製されているが、核テロ対策用として需要が急増したため、<sup>3</sup>He が深刻な供給不足となっている。<sup>3</sup>He 自体がそもそも、大気中に  $5.24 \times 10^{-4}\%$  含まれる <sup>4</sup>He の 100 万分の 1 しか存在しない極めて希少な元素で、供給国もアメリカとロシアに限られている。そこで、代替として、中性子検出が可能なシンチレーターを利用した新たな検出器の開発が期待されている。

## 2. 研究の目的

スピン分極を考慮した電子構造の観点から、新たな蛍光発光材料の開発に結びつく現象の理解と材料探索指針の開拓をめざし、本研究では、発光イオンとしてマンガンを付活した新しい蛍光体を探索し、雰囲気を制御した固相反応法などで合成された物質について、それらの結晶構造と発光特性を明らかにすることを目的とした。

また、本研究で合成されたマグネシウムマンガンホウ素とこれにリチウムを加えた系の化合物 ( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および  $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  において、中性子検出用シンチレーター材料としての可能性を明らかにすることも研究の目的に加えた。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料合成

( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および  $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  の合成には、出発原料として MgO、MnO、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の粉末を用いた。中性子シンチレーター特性の評価用試料の合成では、中性子吸収断面積の大きな <sup>10</sup>B 同位体を濃縮した H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (<sup>10</sup>B 同位体比 95%) を使用した。

( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の合成では、MgO:MnO:H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>=1-x:x:1 (x=0~0.30) のモル比となるように、また、 $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  固溶体では、Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:MgO:MnO:H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>=1:1-x:x:1:1 (x=0~1.0) のモル比となるように、各原料粉末を秤量後、瑪瑙乳鉢で混合し、一軸加圧でペレット状に成型した。このペレットを Pt 板上に置き、 $Mn^{2+}$  から  $Mn^{3+}$  への酸化を防ぐため  $\alpha$ -Fe 粉とともに Ar ガス雰囲気中で加熱した。加熱温度と加熱時間は ( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の合成では 1000°C で 24h、 $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  では 800°C で 12h とした。

$LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  (x=0.5) については、合成された多結晶試料にフラックスとして LiBO<sub>2</sub> を加えて 900°C に加熱後、750°C まで -5°C/h の速度で冷却することにより単結晶を育成した。

### (2) 試料評価

#### ① 結晶構造・電子状態計算・蛍光発光特性

得られた試料を粉砕し、粉末 X 線回折計を用いて室温における粉末 X 線回折 (XRD) パターンを測定した。得られた XRD パターンより結晶相を同定し、リートベルト法による結晶構造解析を行った。

単結晶については、単結晶 X 線回折計を用いてデータを収集し、構造解析を行った。また、解析の結果明らかにされた結晶構造パラメーターをもとにクラスターモデルを設定し、DV-X $\alpha$ 法で電子状態計算を行った。

合成された試料について、蛍光分光光度計を用いて室温における励起および発光スペクトルを測定した。

#### ② 中性子シンチレーター特性

<sup>10</sup>B 同位体比 95% のホウ酸で合成した ( $Mg_{1-x}Mn_x$ )<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (x=0.05) の粉砕粉を加圧成型後、Ar 気流中、1200°C で 1~2h 加熱し、多結晶焼結体を作製した。得られた焼結体を切断および研磨して、5mm×5mm×0.2mm の角板状に加工した。また、<sup>10</sup>B 同位体比 95% のホウ酸を用い 800°C、12h で合成された  $LiMg_{1-x}Mn_xBO_3$  (x=0.05) の多結晶体を研磨して直径 8mm×0.5mm の円板を作製した。得られた多結晶体の薄板を透明シリコングリスを用いてシリコン受光素子の受光面に接着した。焼結体を付けた受光素子を JRR-3 MUSASI ポート (中性子量: 約  $8 \times 10^5$  neutron·s<sup>-1</sup>·cm<sup>-2</sup>) に設置し、熱中性子を照射しながら 300~400V の逆バイアス電圧を受光素子に印加して電流値を測定し、電圧-電流特性を評価した。

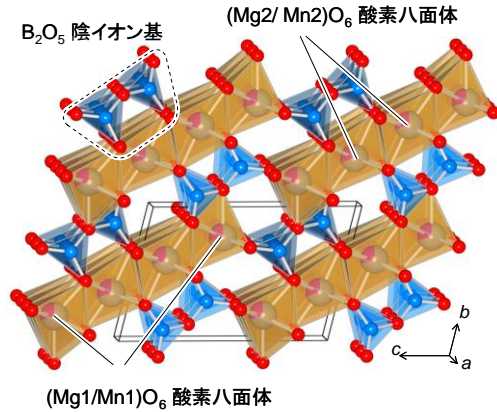
#### 4. 研究成果

##### (1) $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$

###### ①合成と結晶構造

$(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$  で、 $x=0.05, 0.15, 0.20$  および  $0.30$  の組成で合成された試料は、三斜晶系相の単一相であった。これらの試料の格子体積は、 $x$  が  $0.05$  から  $0.30$  に増加するとともに、 $171.94(11)\text{\AA}^3$  から  $177.62(18)\text{\AA}^3$  に増加し、 $\text{Mg}^{2+}$  の一部が  $\text{Mn}^{2+}$  に置換された固溶体が生成したことが示された。

リートベルト解析で精密化された結晶構造パラメータを基に描いた  $(\text{Mg}_{0.70}\text{Mn}_{0.30})_2\text{B}_2\text{O}_5$  の結晶構造を図 1 に示す。Mg/Mn を中心とする酸素 6 配位八面体  $\text{MO}_6$  で構成される  $\text{M}_4\text{O}_{18}$  ユニットが、稜を共有しながら  $a$  軸方向に連なったレイヤーを形成する。それぞれのレイヤーは、 $\text{B}_2\text{O}_5$  グループで結合されて固定されている。



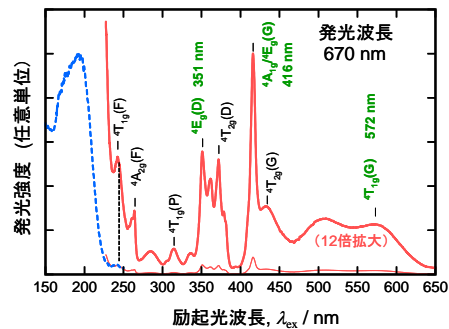
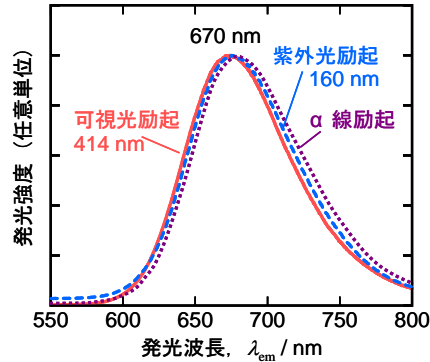
###### ②励起発光特性

図 2 に示すように、励起光波長 ( $\lambda_{\text{ex}}$ ) が  $160\text{nm}$  の紫外光と  $414\text{nm}$  の可視光のどちらでも、 $(\text{Mg}_{0.95}\text{Mn}_{0.05})_2\text{B}_2\text{O}_5$  は約  $670\text{nm}$  にピークを持つブロードな発光を示した。414nm で励起した場合、発光ピーク波長とスペクトル形状は Mn 量  $x$  に依存しなかった。350nm と  $370\text{nm}$  の波長の光で励起した場合も、同様の発光スペクトルが観測された。670nm に見られた  $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$  ( $x=0.05, 0.15, 0.20, 0.30$ ) の発光は、 $\text{Mn}^{2+}$  イオンにおける  ${}^4\text{T}_{1g}(\text{G}) \rightarrow {}^6\text{A}_{1g}(\text{S})$  の d-d 遷移に基づく発光であると考えられる。

414nm の光励起における  $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$  の  $670\text{nm}$  の発光強度は、 $x=0.05$  で最大値を示した後、 $x$  の増加に伴い低下した。 $x=0.30$  における発光強度は最大値の約 20% に低下し、濃度消光がみられた。

図 3 に  $670\text{nm}$  の発光をモニターしたときの  $x=0.05$  の試料の励起スペクトルを示す。150~250nm の波長範囲に発光強度が高いブロードな励起帯と、250~600nm に複数の弱い励起帯が観測された。

$(\text{Mg}_{0.95}\text{Mn}_{0.05})_2\text{B}_2\text{O}_5$  の励起スペクトルで観測された  ${}^4\text{E}_g(\text{D})$ 、 ${}^4\text{E}_g(\text{G})$  および  ${}^4\text{T}_{1g}(\text{G})$  準位のエネルギー値を用いて、結晶場パラメータ  $D_q$  と Racah パラメータ  $B$ 、 $C$  を計算した。その結果、これらは  $D_q=804\text{cm}^{-1}$ 、 $B=786\text{cm}^{-1}$ 、 $C=2930\text{cm}^{-1}$  ( $x=0.05$ ) となった。



##### (2) $\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3$

###### ①合成と結晶構造、電子構造

$800^\circ\text{C}$ 、12h の固相反応により合成された多結晶体を粉砕し、得られた粉末試料について X 線回折パターンを測定した。その結果、 $x=0.0\sim 0.5$  で合成された試料からの X 線回折ピークは、 $C2/c$  の単斜晶系の格子定数で指数付けすることができた。 $x=0.0$  の格子定数および格子体積は、 $a=9.9155(8)\text{\AA}$ 、 $b=8.8847(11)\text{\AA}$ 、 $c=5.1577(4)\text{\AA}$ 、 $\beta=91.231(8)^\circ$ 、 $V=454.26(5)\text{\AA}^3$  で、 $x$  の増加とともに各値ともほぼ単調に増加する傾向が見られた。

$x=0.75$  と  $1.0$  で合成された試料の X 線回折反射はすべて六方晶系の格子定数で指数付けすることができた。 $\text{LiMnBO}_3$  (六方晶系、空間群  $P-6$ ) の結晶構造モデルを用いて格子定数を精密化した結果、 $x=0.75$  では  $a=8.1442(6)\text{\AA}$ 、 $c=3.12481(15)\text{\AA}$ 、 $V=179.49(2)\text{\AA}^3$ 、 $x=1.0$  では  $a=8.1754(8)\text{\AA}$ 、 $c=3.1489(2)\text{\AA}$ 、 $182.27(3)\text{\AA}^3$  となった。単斜晶系相と六方晶系相の格子体積は、Mn 量とともにほぼ直線的に増加した。

$\text{LiMg}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{BO}_3$  の単結晶で測定された格子定数および格子体積は、ほぼ粉末 X 線回折パターンで得られた格子定数と一致した。Mg

と Mn がそれぞれ 1/2 の占有率で 8f サイトに統計的に入るモデルで解析を行った。解析の信頼度因子の値  $R$  は 0.0271 となった。

$\text{LiMg}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{BO}_3$  の結晶構造を図 4 に示す。O3 と O4 および Li1 と Li2 は、占有率 1/2 で統計的に各原子により占められている。全ての酸素原子はホウ素原子と結合し、平面 3 配位の  $\text{BO}_3$  のホウ酸基を形成している。Mg と Mn が統計的に入るサイトは、5 つの酸素原子により配位され、その配位多面体は [10-1] 方向に稜を共有して一次元ジグザグ鎖を形成している。このジグザグ鎖をホウ素原子がつなぎ、その隙間に Li が挿入されている。

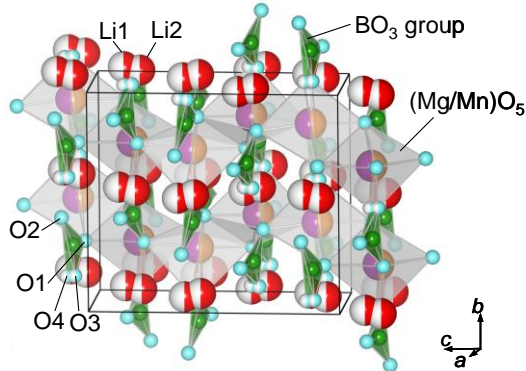


図 4  $\text{LiMg}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{BO}_3$  の結晶構造

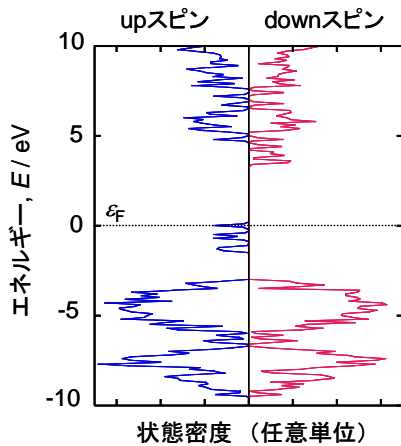


図 5  $[\text{Li}_{16}\text{Mg}_2\text{Mn}(\text{BO}_3)_{11}]^{11-}$  クラスターの状態密度

解析で得られた結晶構造パラメーターを用いて  $[\text{Li}_{16}\text{Mg}_2\text{Mn}(\text{BO}_3)_{11}]^{11-}$  のクラスターを設定し、DVX $\alpha$ 法で電子状態を計算した。このクラスターモデルでは、Li 原子を Li1 と Li2 のサイトの平均位置に置いた。また、マーデルングポテンシャルを設定した。計算結果をもとに見積もられた電子状態密度をフェルミエネルギー( $\epsilon_F$ )を基準として図 5 に示す。 $\epsilon_F$  付近にみられる up スピンの d オービタルはすべて占有され、down スピンの d オービタルは空で、高スピン状態であることが示された。d オービタルより低エネルギー側には主として酸素の 2p オービタルからなる

バンドが、また、3d オービタルより高エネルギー側には、主としてホウ素の 2p オービタルからなるバンドが位置している。

## ②発光特性

励起波長( $\lambda_{\text{ex}}$ ) 428 nm の光励起で観察された  $\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3$  の発光スペクトルを図 6 に示す。発光ピークは、 $x=0.01\sim 0.10$  では 696nm、0.20 で 693nm、0.30 で 689nm、0.50 で 682nm と、 $x$  の増加とともにやや低波長側に移動した。 $x=0.10\sim 0.20$  付近で発光強度の最大値が観察され、 $x=0.2$  の試料における 693nm 発光の外部量子効率 は 4.8% であった。六方晶系相の  $x=0.75$  や 1.0 の試料では発光は観察されなかった。

$x=0.10$  の試料で測定された発光波長 696 nm で測定された励起スペクトルでは、図 7 に示すようにピークがブロードであった。これは、6 配位八面体サイトよりも対称性の低い 5 配位サイトに  $\text{Mn}^{2+}$  が位置しているためと考えられる。

図 5 に示す空の down スピンの d オービタルの上の準位は、主に  $\text{BO}_3$  基の分子オービタルからなるバンドで構成されることから、図 7 にみられる 200nm の大きな励起ピークは、 $\text{Mn}^{2+}$  の 3d 電子から周囲に配位する主に  $\text{BO}_3$  基のホウ素 2p と酸素 2p オービタルからなる空の準位への電荷移動遷移と考えられる。これはスピンの向きを変えない許容遷移であり、高効率で励起された後に結晶内でエネルギーが失われ、最終的には  ${}^4\text{G} \rightarrow {}^6\text{S}$  の d-d 遷移発光が現れたものと考えられる。

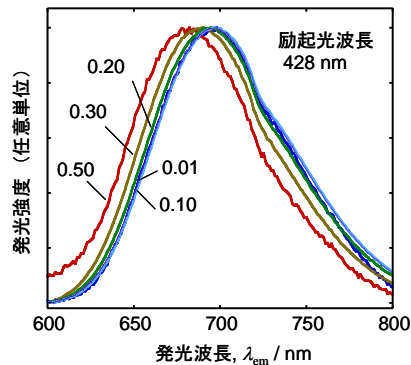


図 6  $\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3$  の発光スペクトル

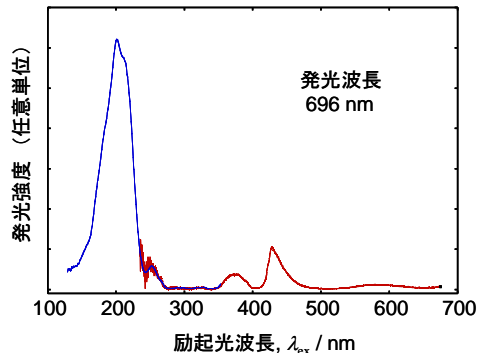


図 7  $\text{LiMg}_{0.90}\text{Mn}_{0.10}\text{BO}_3$  の励起スペクトル

(3)  $(\text{Mg}_{0.95}\text{Mn}_{0.05})_2\text{B}_2\text{O}_5$  と  $\text{Li}(\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.95})\text{BO}_3$  の中性子シンチレーター特性

$^{10}\text{B}$  同位体比 95% のホウ酸を用いて  $(\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.95})_2\text{B}_2\text{O}_5$  の多結晶薄板を作製し、熱中性子検出の実験を行った結果を図 8 に示す。図中には、焼結体に熱中性子を直接照射した場合、ポートと焼結体の間に金属 Cd 板を設置して熱中性子を遮断した場合、および、ポートを閉じて照射を止めた場合の電圧-電流特性を示す。

バイアス電圧 350V における電流値は、熱中性子を直接照射した場合で 21.4nA、Cd 板を設置して熱中性子を遮断した場合で 19.2nA であり、熱中性子の検出に基づく信号の強度は 2.2nA となった。なお、Cd 板では、熱中性子は遮断されるが  $\gamma$  線は遮断されないため、Cd 板を設置した場合の電流値には  $\gamma$  線による影響が含まれる。そこで、ポートを閉じた場合の電流値と比較したところ、この場合の電流値は 18.9nA で、 $\gamma$  線によるバックグラウンドノイズは 0.3nA であった。これらの結果より、 $\gamma$  線に由来するバックグラウンドノイズの影響が少なく、中性子を検出できることが明らかになった。

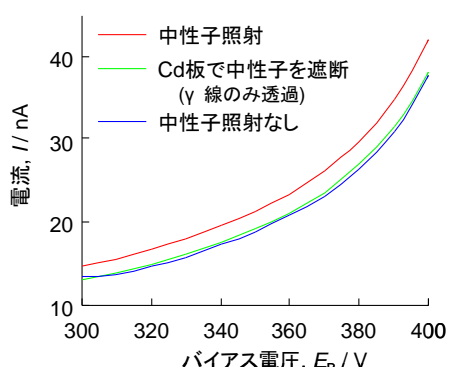


図 8  $(\text{Mg}_{0.95}\text{Mn}_{0.05})_2\text{B}_2\text{O}_5$  の多結晶シンチレーターを使用した中性子検出器の電圧-電流特性

$\text{Li}(\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.95})\text{BO}_3$  についても  $^{10}\text{B}$  同位体比 95% のホウ酸を用いて合成した多結晶体を薄板に加工し、 $(\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.95})_2\text{B}_2\text{O}_5$  と同様の評価を行った。例えばバイアス電圧 350V における電流値は、熱中性子を直接照射した場合で 16.0nA、Cd 板を設置して熱中性子を遮断した場合で 13.4nA で、熱中性子の検出に基づく信号の強度は 2.6nA となり、中性子が検出できることが示された。また、ポートを閉じた場合の電流値と比較したところ、この場合の電流値は 13.1nA で、 $\gamma$  線によるバックグラウンドノイズは 0.3nA で、 $\gamma$  線に由来するバックグラウンドノイズの影響が少ないことが示された。

(4)謝辞 可視光域励起スペクトル測定では、東北大学多元物質科学研究所、佐藤次雄教授、末廣隆之助教、紫外光励起スペクトル測定お

よび中性子シンチレーター特性評価は、株式会社トクヤマの福田健太郎博士、東北大学金属材料研究所 吉川彰 教授、柳田健之准教授との共同研究で行われた。これらの方々に謝意を表す。

#### 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 10 件)

1. Hisanori Yamane, Satoshi Shimooka, Kyota Uheda, Synthesis, crystal structure and photoluminescence of a new Eu-doped Sr containing sialon  $(\text{Sr}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})(\text{Al}_{0.3}\text{Si}_{0.7})_4(\text{N}_{0.8}\text{O}_{0.2})_6$ , Journal of Solid State Chemistry, 査読有、185 巻、2012 年、264-270
2. Hisanori Yamane, Tetsuya Kawano, Kentaro Fukuda, Takayuki Suehiro, Tsugio Sato, Preparation, crystal structure and photoluminescence of lithium magnesium manganese borate solid solutions,  $\text{LiMg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{BO}_3$ , Journal of Alloys and Compounds, 査読有、512 巻、2012 年、223-229
3. Tetsuya Kawano, Hisanori Yamane, Synthesis, crystal structures and photoluminescence properties of new oxyborates,  $\text{Mg}_5\text{NbO}_3(\text{BO}_3)_3$  and  $\text{Mg}_5\text{TaO}_3(\text{BO}_3)_3$ , with novel warwickite-type superstructures, Journal of Solid State Chemistry, 査読有、184 巻、2011、2466-2471
4. Hisanori Yamane, Tetsuya Kawano, Preparation, crystal structure and photoluminescence of garnet-type calcium tin titanium aluminates, Journal of Solid State Chemistry, 査読有、184 巻、2011、965-970
5. Tetsuya Kawano, Hisanori Yamane, Redetermination of synthetic warwickite,  $\text{Mg}_3\text{TiO}_2(\text{BO}_3)_2$ , Acta Crystallographica, Section E, 査読有、67 巻、2011、i18-i19
6. Tetsuya Kawano, Haruhiko Morito, Hisanori Yamane, Synthesis and characterization of manganese and cobalt pyroborates:  $\text{M}_2\text{B}_2\text{O}_5$  (M=Mn, Co), Solid State Sciences, 査読有、12 巻、2010、1419-1421
7. Hisanori Yamane, Shunsuke Abe, Rong Tu, Takashi Goto, A ramsayite-type oxide,  $\text{Ca}_2\text{Sn}_2\text{Al}_2\text{O}_9$ , Acta Crystallographica, Section E, 査読有、66 巻、2010、i72-i72
8. Tetsuya Kawano, Hisanori Yamane,  $\text{Mg}_5\text{TiO}_4(\text{BO}_3)_2$ , Acta Crystallographica, Section C, 査読有、66 巻、2010、i92-i94
9. Tetsuya Kawano, Takayuki Suehiro, Tsugio Sato, Hisanori Yamane, Preparation, crystal

structure and photoluminescence of Mn<sup>2+</sup>-doped magnesium pyroborates solid solutions, (Mg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>)<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Journal of Luminescence, 査読有、130 巻、2010、2161–2165

10. Tetsuya Kawano, Hisanori Yamane, Synthesis, Crystal Structure Analysis, and Photoluminescence of Ti<sup>4+</sup>-Doped Mg<sub>5</sub>SnB<sub>2</sub>O<sub>10</sub>, Chemistry of Materials, 査読有、22 巻、2010、5937-5944

[学会発表] (計 13 件)

1. 福田健太郎、川野哲也、山根久典、他 4 名、(Mn<sub>0.05</sub>Mg<sub>0.95</sub>)<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 多結晶体の合成と中性子シンチレーターへの応用、2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会、2011 年 3 月 26 日、神奈川工科大学 (厚木市)
  2. 川野哲也、山根久典、末廣隆之、佐藤次雄、福田健太郎、(Mn<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 固溶体の合成とフォトルミネッセンス、2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会、2011 年 3 月 26 日、神奈川工科大学 (厚木市)
  3. 川野哲也、山根久典、Mg<sub>5</sub>SnO<sub>4</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の結晶構造解析、第 49 回セラミックス基礎科学討論、2011 年 1 月 12 日、岡山コンベンションセンター (岡山市)
  4. 川野哲也、山根久典、末廣隆之、佐藤次雄、福田健太郎、(Mn<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の合成と蛍光発光および中性子シンチレーション特性、日本セラミックス協会 2011 年年会、2011 年 3 月 16 日、静岡大学 (浜松市)
- (他 8 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：中性子シンチレーターおよび中性子検出器

発明者：山根久典、川野哲也、吉川 彰、柳田健之、横田有為、藤本 裕、福田健太郎、河口範明

権利者：東北大学、株式会社トクヤマ

種類：PTC 出願

番号：PCT/JP2011/79012

出願年月日：2011 年 12 月 15 日

国内外の別：外国

名称：中性子シンチレーターおよび中性子検出器

発明者：山根久典、川野哲也、吉川 彰、

柳田健之、横田有為、藤本 裕、福田健太郎、河口範明

権利者：東北大学、株式会社トクヤマ

種類：特許

番号：特願 2010-281067

出願年月日：2010 年 12 月 16 日

国内外の別：外国

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

山根 久典 (YAMANE HISANORI)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：20191364

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

山田 高広 (YAMADA TAKAHIRO)

東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号：10358260

連携研究者

森戸 春彦 (MORITO HARUHIKO)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：80463800