

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：54101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04759

研究課題名(和文)色弱者対応新方式赤色蛍光体波長置換発光ダイオード用赤色蛍光ガラスの組成設計

研究課題名(英文)Composition design of low-melting point glass phosphors for red-light-emitting diode supported for colorblind people

研究代表者

和田 憲幸 (Wada, Noriyuki)

鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：30342504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：色弱者に対応した高輝度でブロードな赤色蛍光体波長置換発光ダイオード(赤色PCLED)を実現するために、紫外励起および低融点特性を有する銅、銀およびアンチモンを共添加したマンガンイオン(II)含有リン酸塩ガラスの作製を試み、それらの蛍光特性とガラス転移点特性を調査した。その結果、熔融温度と時間を制御することで銅イオン(I)、Agイオン(I)、Agクラスターの濃度を制御し、紫外励起を可能とした。また、アンチモンイオン(III)の添加によっても紫外励起と低融点化を可能とした。これらから、赤色PCLED用の赤色蛍光を有するMn<sup>2+</sup>含有リン酸塩ガラスを得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

色弱者の多くは、約620 nm以上の可視光線(赤色光)を視覚できないため、高輝度赤色の発光ダイオード(LED)(発光波長625 nm)を用いた赤信号や電光掲示板など公共の表示装置が視覚できない問題がある。本研究では、紫外励起下において高輝度でブロードな赤色蛍光を発現する低融点ガラスを作製することに成功した。このガラスを用いて励起光源の紫外LEDチップを被覆することで、健常者には赤色に、色弱者には橙色に見える高輝度かつブロードな赤色蛍光を有する赤色PCLEDが実現でき、上述の問題が解決される成果をえている。

研究成果の概要(英文)：To realize red phosphor converted light emitting diode (red PCLED) having high brightness and broad emission suited for a color-blind person, preparation of Mn<sup>2+</sup>-doped phosphate glasses co-doping with Cu<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, and Sb<sup>3+</sup> ions having UV-excitable by a melt-quenching method was tried, and their fluorescence spectral and softening properties were investigated. As a result, the concentration of Cu<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup> ions, and Ag<sup>n+</sup> clusters (n = 2, 3) were controlled by melting temperature and time, their ions and clusters enabled to excite under UV light. In addition, Sb<sup>3+</sup>-co-doping enabled to be low melting temperature. From the above, it was successful to obtain Mn<sup>2+</sup>-doped phosphate glass with strong, broad, red fluorescence suited for red PCLED.

研究分野：無機材料科学

キーワード：発光ダイオード 蛍光体 低融点 ガラス マンガン 銅 銀 アンチモン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

20人に1人は色弱者で、単色性が強い高輝度赤色の発光ダイオード(LED)を使った赤信号や電光掲示板など公共の表示装置が視覚できず、社会的問題を引き起こしている。これらを解決するために、健常者には赤色に、色弱者には橙色に見える赤色蛍光ガラスを利用した波長置換発光ダイオード(PCLED)を実現するために、低融点、ブロード赤色蛍光ガラスを、元素戦略を考慮して賦活剤(ゲスト)に  $Mn^{2+}$ 、ホストに低融点リン酸塩ガラスを用いて組成設計する。そのために、まず、 $Mn^{2+}$ の赤色蛍光バンドの蛍光波長、強度(内部量子効率)および半値幅に与えるガラス組成依存性を独自の組成パラメーターを用いて設計法を確立し、625 nmの蛍光波長、高強度、広い半値幅の  $Mn^{2+}$ の赤色蛍光バンドを発現するベースガラス組成を見出す。このベースガラス組成を基に、色調の観点から  $Mn^{2+}$ を紫外励起できる賦活剤とLEDのパッケージ化に有利な低融点化剤を検討する。

### 2. 研究の目的

本研究では、色弱者の視覚に対応した新方式(励起LEDチップを直接ガラスで被覆した)の赤色蛍光体波長置換LED(赤色PCLED)を開発するための低融点、高輝度ブロード赤色蛍光特性を持つ  $Mn^{2+}$ 含有リン酸塩ガラスの組成を設計することが最終目的である。

### 3. 研究の方法

(1)低融点化と  $Mn^{2+}$ の高輝度化を実現するためのホストガラス組成を調査するために  $60P_2O_5-35M_nO-5Al_2O_3-8MnO(35M)$ 、 $60P_2O_5-17.5M_nO-17.5M'O-5Al_2O_3-8Mn(35MM')$  および  $(95-x)P_2O_5-xZnO-5Al_2O_3-8MnO(xZn)$  ガラス( $M_nO$ 、 $M'O$ :  $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、 $CaO$ 、 $SrO$ 、 $BaO$ )、紫外励起できる賦活剤( $Cu_2O$  および  $Ag_2O$ )の最適化を調査するために(2) $60P_2O_5-35ZnO-5Al_2O_3-8MnO-zCu_2O(zCu)$  ガラス、(3)  $60P_2O_5-35ZnO-5Al_2O_3-8MnO-zAg_2O(zAg)$  ガラス( $M'O$ :  $Cu_2O$ 、 $Ag_2O$ )、(4)紫外励起および低融点化できる  $Sb_2O_3$ の最適添加量を調査するために  $(60-x)P_2O_5-35ZnO-xSb_2O_3-10MnO(zSb)$  ガラスを溶融急冷法によって次のように作製した。 $NH_4H_2PO_4$ 、 $Li_2CO_3$ 、 $Na_2CO_3$ 、 $K_2CO_3$ 、 $CaCO_3$ 、 $ZnO$ 、 $SrCO_3$ 、 $BaCO_3$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $MnO$ 、 $Ag_2O$  および  $Cu_2O$  試薬粉末を目的のガラス組成となるように秤量、混合した。この混合粉末をアルミナ坩堝に入れて  $T = 1150 \sim 1350$ 、 $t = 15 \sim 180$  min 溶融した後、急冷してガラスとした。このガラスを、ガラス転移点( $T_g$ )+20 で60 min 焼鈍し、室温まで徐冷した。このガラスを切断・研磨して、ガラス試料を得た。各ガラス試料の蛍光特性および量子効率および  $Mn$ 、 $Cu$  および  $Ag$  の価数変化とそれらの相対濃度変化を調査するために、蛍光分光計(日立、F-2500 および分光計 Oriel Cornerstone 260 等)、量子効率測定装置(浜松フォトリクス C9920)、紫外-可視-近赤外分光計(日本分光、V-670)によって分析、評価した。また、 $T_g$ を測定するために、粉碎したガラス粉末の熱重量-示差熱曲線を熱重量-示差熱分析装置(理学、Thermo plus EV02 TG8121)によって測定した。

### 4. 研究成果

(1) 低融点化と  $Mn^{2+}$ の高輝度化を実現するためのホストガラス組成を調査

$35Zn$  ガラスの励起および蛍光スペクトルを Fig. 1 に示す。励起スペクトルでは、酸素 8 面体配位した  $Mn^{2+}$ の( ${}^4T_{1g}({}^4F)$ 、 ${}^4A_{2g}({}^4F)$ )  ${}^6A_{1g}({}^6S)$ 、 ${}^4E_g({}^4D)$   ${}^6A_{1g}({}^6S)$ 、 ${}^4T_{2g}({}^4D)$   ${}^6A_{1g}({}^6S)$ 、( ${}^4A_{1g}({}^4G)$ 、 ${}^4E_g({}^4G)$ )  ${}^6A_{1g}({}^6S)$  および  ${}^4T_{1g}({}^4G)$   ${}^6A_{1g}({}^6S)$  遷移に帰属される励起バンド c、g、h、i および k が、それぞれ、 $39.2 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (255 nm)、 $28.8 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (347 nm)、 $27.9 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (358 nm)、 $24.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (410 nm) および  $19.6 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (510 nm) に出現した。蛍光スペクトル測定では、酸素 8 面体配位した  $Mn^{2+}$ の  ${}^4T_{1g}({}^4G)$   ${}^6A_{1g}({}^6S)$  遷移に伴った赤色蛍光バンド C が 628 nm を中心として出現し、写真のように赤い蛍光を示した。 $35M$ 、 $35MM'$  および  $xZn$  ガラスの  $Mn^{2+}$ の赤色蛍光バンドの積分強度( $I_c$ )とガラス転移点( $T_g$ )の関係を Fig. 2 に示す。アルカリアルミノリン酸塩ガラス( $35M$  および  $35MM'$ )の  $T_g$  は低温側に、アルカリ土類アルミノリン酸塩ガラス( $35M$  および  $35MM'$ )の  $T_g$  は高温側に、アルカリアルカリ土類リン酸塩ガラス( $35MM'$ )ガラスの  $T_g$  はそれらの中間温度域に分布しており、各ガラス系とも  $T_g$  は、塩基度が高い  $M_nO$  および  $M'O$  成分ほど減少した。一方、アルカリアルミノリン酸塩ガラス、アルカリ土類アルミノリン酸塩各ガラスおよびアルカリアルカリ土類リン酸塩とともに、 $I_c$ が増加するほど、 $T_g$ が増加することから、赤色蛍光の高輝度化と低融点化を同時に実現することが難しいことが分かった。しかしながら、 $35Zn$  ガラスだけは、アルカリ土類アルミノリン酸塩ガラス( $35M$  や  $35MM'$ )と同様の挙動を示さず、それらより低い  $T_g$  でも、 $Mn^{2+}$ の赤色蛍光バンドの積分強度  $I_c$  は強くなった。 $xZn$  ガラスでは、 $I_c$  および  $T_g$  は  $x$  の減少とともに増加するものの、アルカリアルカリ土類リン酸塩ガラスと類似した挙動を示し、2 価の陽イオンであり、イオン電導による電極等の腐食なども回避できる利点がある。また、今回の研究で塩基度と比例する独自の組成パラメーター(B 値)を用いて蛍光バンドの波長や半値を整理する予定であったが、蛍光強度が強い  $xZn$  ガラスほどバンドの裾が広がる利点もある。また、耐水性の問題もあることから、高い  $I_c$  を有する  $35Zn$  ガラスを基本として以下で

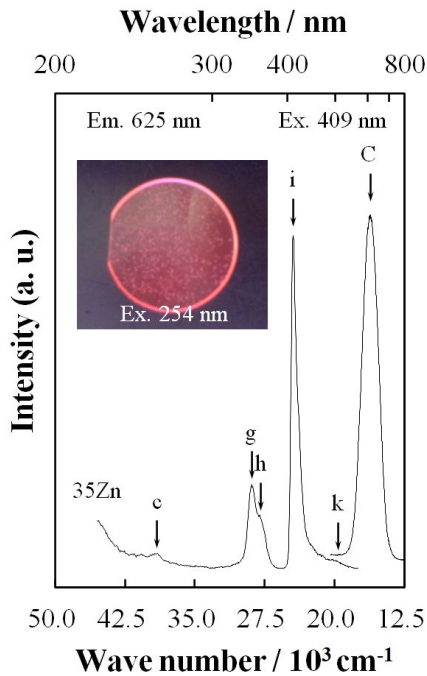


Fig. 1. Fluorescence and excitation spectra of 35Zn glass.

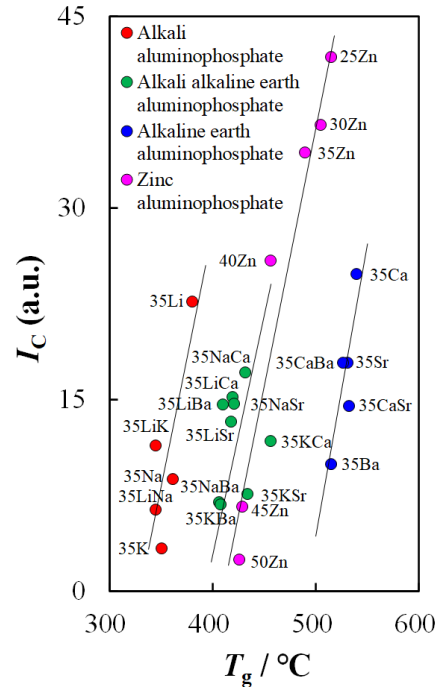


Fig. 2. Relationship between glass transition temperature,  $T_g$  and integrated intensity of  $Mn^{2+}$  red fluorescence band C,  $I_C$  in various glasses.

は紫外励起と低融点化を調査した。

(2) 紫外励起できる賦活助剤  $Cu_2O$  の最適化を調査

溶融温度  $T = 1300$  , 溶融時間  $t = 45$  min で作製した  $zCu$  ガラスでは,  $z$  が大きすぎると  $Cu^+$  濃度が減少し,  $Cu^{2+}$  濃度が増加し,  $z$  が減少しすぎると  $Cu^{2+}$  濃度は 0 になり,  $Cu^+$  濃度も減少するため, 0.1Cu ガラスが最適であった.  $T = 1200 \sim 1400$  ,  $t = 30 \sim 180$  min で作製した 0.1Cu ガラスの状態と励起・蛍光スペクトルを, それぞれ Figs. 3 および 4 に示す. Fig. 3 においての溶融条件 I では, 融液またはガラスは急冷およびアニール過程の初期に赤色化し, すべてのガラスは, 多量の銅ナノ粒子の析出によって暗赤色, 不透明になった. O の溶融条件 II では, Cu 微粒子の表面プラズモン共鳴 (SPR) バンドが  $17.3 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  (579 nm) に出現し, ガラスは赤色に着色し, 溶融温度と溶融時間の増加によって無色透明なガラスに変化し, ガラスに含む気泡は  $T$  および  $t$  の増加で減少した. の溶融条件 III では  $Cu^{2+}$  の 3d 電子の  ${}^2B_{2g} \rightarrow {}^2B_{1g}$  遷移に従った

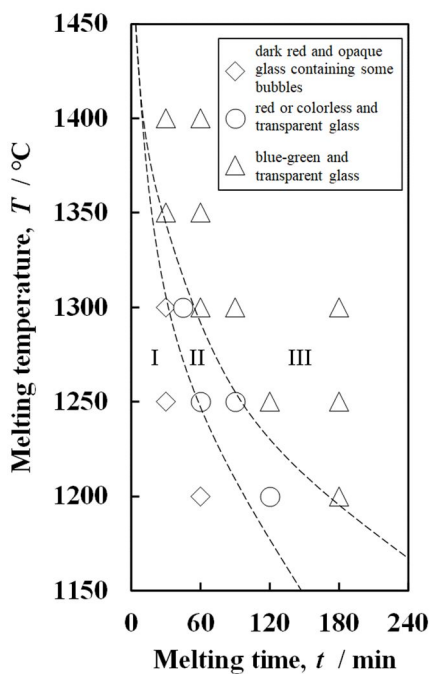


Fig. 3. State of 0.1Cu glasses prepared at various melting temperature,  $T$  for various melting time,  $t$ .

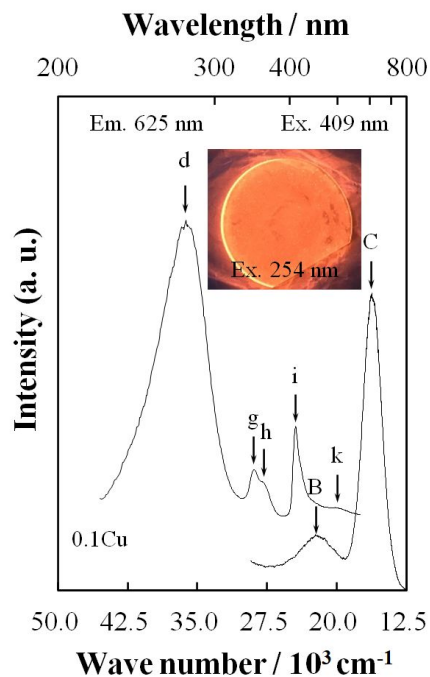


Fig. 4. Fluorescence and excitation spectra of 0.1Cu glass melted at 1250 for 90 min.

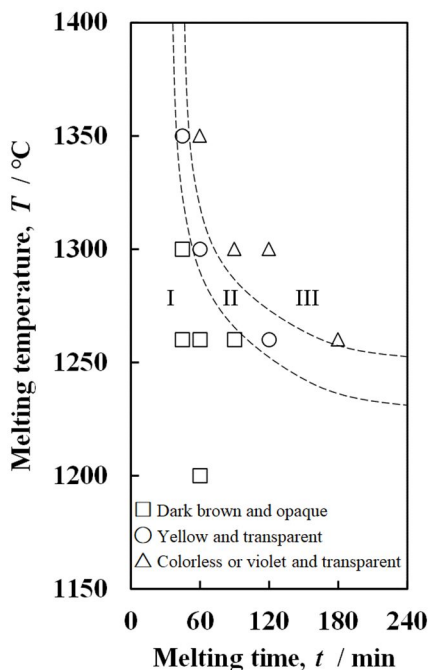


Fig. 5. State of 0.5Ag glasses prepared at various melting temperature,  $T$  for various melting time,  $t$ .

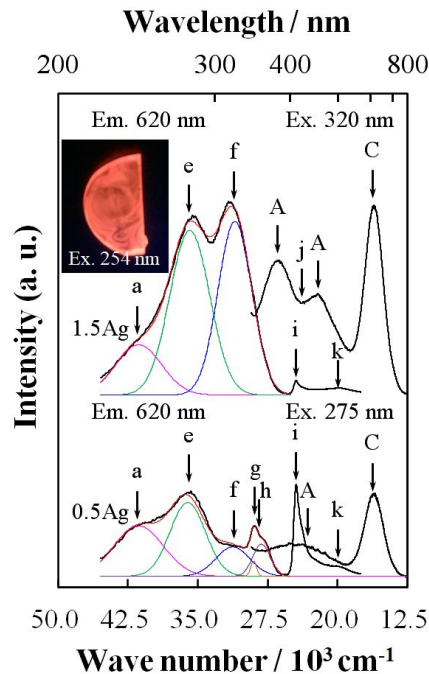
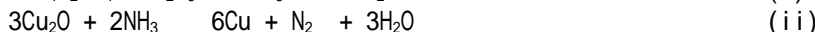
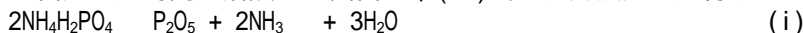


Fig. 6. Florescence and excitation spectra of 0.5Ag and 1.5Ag glasses melted at 1300 for 60 min.

吸収バンドが出現し， $T$ の増加と共にその波数(波長)は  $12.7 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (785 nm)  $\sim$   $12.0 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (835 nm)に移動し，その強度は増加したため，青緑色の呈色が強くなった青緑色に呈色した透明なガラスが得られた．銅の価数は  $T$ および  $t$ の増加と共に Cu ナノ粒子， $\text{Cu}^+$ ， $\text{Cu}^{2+}$ のように増加した．これは，次の(i)式によって出発物質のリン酸二水素アンモニウムの分解物のアンモニアが低温・短時間の溶融ほど残留し，(ii)式の還元反応が進行するためである．



溶融条件 II と III の境界において  $\text{Cu}^+$ 濃度が最も高いことが予測される．実際，Fig. 4 のように  $T = 1250$ ， $t = 90$  min 溶融した 0.1Cu ガラスが高濃度に  $\text{Cu}^+$ を含み， $\text{Cu}^+$ の  $3d^9 4s^1(^3D) \rightarrow 3d^{10}(^1S)$ 遷移による励起バンド d によって  $36.4 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (275 nm)の励起紫外線を吸収し，そのエネルギーの一部は  $\text{Cu}^+$ の蛍光バンド B の出現によって消費されるものの大部分は  $\text{Mn}^{2+}$ に移動し， $\text{Mn}^{2+}$ の赤色蛍光バンド C が出現し，写真のように高輝度の赤色蛍光(内部量子効率 6.2%)を発現することが分かった．この励起波長の LED チップを励起光源に 0.1 ガラスを用いて PCLED を作製すれば，高輝度でブロードな赤色発光を示す赤色 PCLED が開発できる可能性がある．

### (3) 紫外励起できる賦活助剤 $\text{Ag}_2\text{O}$ の最適化を調査

$T = 1200 \sim 1350$ ， $t = 45 \sim 180$  min で作製した 0.5Ag ガラスの状態，蛍光および波形分離した励起スペクトルを Figs. 5 および 6 に示す．Fig. 5 のように，低温および短時間の溶融条件 I で作製したガラスは，Ag ナノ粒子による SPR バンドによって褐色不透明になった．溶融条件 II では  $T$ および  $t$ の増加と共に，SPR バンドの強度が減少し，その代わりに紫外域の  $41.7 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (240 nm)， $36.4 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (275 nm) および  $31.3 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (320 nm) 付近に  $\text{Ag}^+$ ， $\text{Ag}_2^+$  クラスタおよび未確認の  $\text{Ag}_3^+$  クラスタに相当する吸収バンドの強度が増加し，ガラスは褐色不透明から黄色透明に変化した．さらに，溶融条件 III では  $\text{Mn}^{3+}$ の  $^5\text{T}_{2g}(^5D) \rightarrow ^5\text{E}_g(^5D)$  遷移に従った吸収バンドが  $18.9 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (528 nm) に出現することで紫色透明に変化した．これらのガラスの中で， $T = 1300$ ， $t = 60$  min で溶融した 0.5Ag ガラスでは，Fig. 6 のように  $\text{Ag}^+$  および  $\text{Ag}_n^+$  クラスタ ( $n = 2, 3$ ) の励起バンド a, e および f が， $41.7 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (240 nm)， $36.4 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (275 nm) および  $31.3 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$  (320 nm) 付近に出現し，特に  $\text{Ag}_2^+$  クラスタを励起することで強い  $\text{Mn}^{2+}$  による赤色蛍光バンドが出現した．さらに， $T = 1300$ ， $t = 60$  min で溶融し， $\text{Ag}_2\text{O}$  添加量  $z$  を最適化した 1.5Ag ガラスでは，Fig. 6 のように  $\text{Ag}_2^+$  クラスタの励起バンド e に加えて， $\text{Ag}_3^+$  クラスタの強い励起バンド f が出現し，Ag ナノ粒子の再吸収バンド j が出現した  $\text{Ag}^+$  の 2 量体  $(\text{Ag}^+)_2$  の蛍光バンド A が出現するもの，強い  $\text{Mn}^{2+}$  による赤色蛍光バンド C (内部量子効率: 6.8%) が出現した．これらから， $\text{Ag}^+$ ， $\text{Ag}_2^+$  および  $\text{Ag}_3^+$  濃度を溶融条件によって制御し，230, 275 および 320 nm の高輝度紫外 LED 励起によって高輝度でブロードな赤色発光を示す赤色 PCLED が開発できる可能性を示した．

### (4) 紫外励起および低融点化できる $\text{Sb}_2\text{O}_3$ の最適添加量を調査

$T = 1200$ ， $t = 60$  min によって作製した  $z\text{Sb}$  ガラス ( $z = 0 \sim 30$ ) の励起および蛍光スペクトル，および  $T_g$  を Figs. 7 および 8 に示す．0.1Sb  $\sim$  30Sb ガラスの励起スペクトルには  $\text{Sb}^{3+}$  の

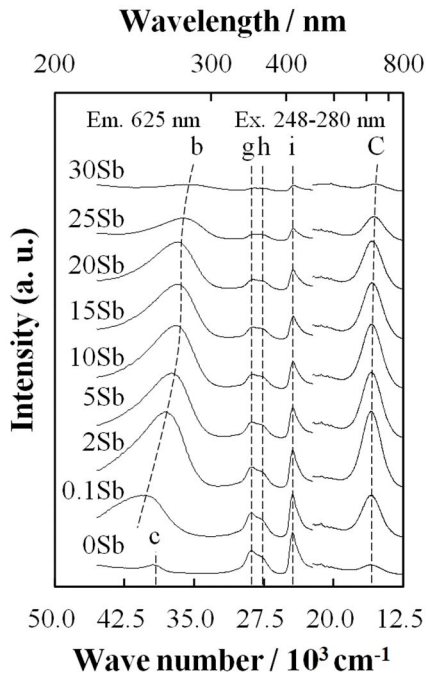


Fig. 7. Fluorescence and excitation spectra of  $z$ Sb glasses melted at 1200 °C for 60 min.

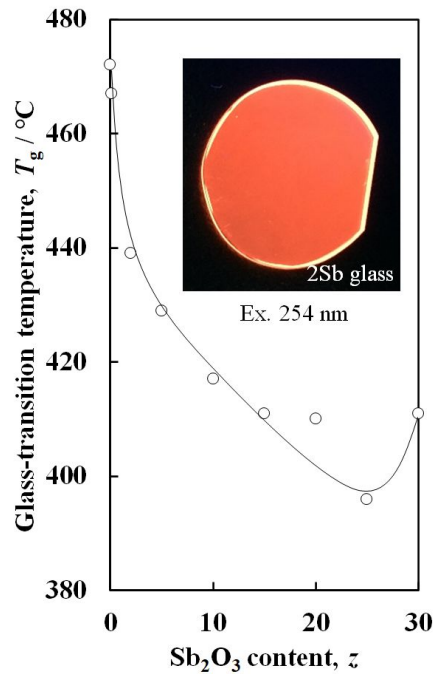


Fig. 8. Glass transition temperature,  $T_g$  for  $z$ Sb glasses melted at 1300 °C for 60 min.

$^3P_1$ ,  $^1S_0$  遷移に伴った励起バンド b が 248~280 nm を中心波長として出現した。蛍光スペクトルには、酸素 6 配位した  $Mn^{2+}$  の赤色蛍光バンド C が  $z$  の増加とともに 622~643 nm に移動して出現し、その蛍光強度は 0Sb~2Sb ガラスでは著しく増加し、2Sb~20Sb ガラスでは緩やかに減少し(内部量子効率 6.5%)、20Sb~30Sb ガラスでは著しく減少した。これらのガラスの  $T_g$  は、Fig. 8 のように、 $z$  の増加とともに 0Sb~25Sb ガラスでは 475~398 °C と減少し、25Sb~30Sb ガラスでは 398~410 °C とやや増加した。 $z$  の増加と共に 0Sb~20Sb ガラスでは  $P=0$  結合が減少し、非架橋酸素 2 個と架橋酸素 1 個を有する  $P(Q_1$  ユニット)および非架橋酸素 1 個と架橋酸素 2 個を有する  $P(Q_2$  ユニット)が増加して  $T_g$  が減少していることから、これらが低融点化の原因であることが分かった。一方、 $z$  の増加と共に 20Sb~30Sb ガラスでは、 $P-O-Sb$  および  $Sb-O-Sb$  結合が生成し、それらが増加することで  $T_g$  が増加し、高融点化することが分かった。これらのことから、0.1Sb~30Sb ガラスは、248~280 nm の紫外光を  $Sb^{3+}$  が吸収し、そのエネルギーが  $Mn^{2+}$  に移動することで、 $Mn^{2+}$  の赤色蛍光が発現していることが分かった。特に、0.1Sb~20Sb ガラスは、0Sb ガラスおよび 35Zn よりも低い  $T_g$  を持ち、248~280 nm の紫外光で励起することで、409 nm で励起した 0Sb および 35Zn ガラスよりも強い赤色蛍光 (Fig. 6 写真) を示し、紫外励起および低融点化でき、248~280 nm の紫外 LED チップによって、高輝度でブロードな赤色発光を示す PCLED が作製できることが分かった。さらに、1250 °C、90 min で溶融して作製した 45P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-35ZnO-20Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0.1Cu<sub>2</sub>O および 1300 °C、60 min で溶融して作製した 45P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-35ZnO-20Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-1.5Ag<sub>2</sub>O) ガラスによって高輝度でブロードな赤色発光を示す PCLED が作製できる可能性を示した。

<引用文献>

1. E. C. Machado, L. Prado, L. Gomes, J. M. Prison, J. R. Martinelli, *J. Non-Cryst. Solids*, **348**, 113 (2004).
- J. Ramirez-Serrano, E. Madrigal, F. Ramos, U. C. Garcia, *J. Lumin.*, **71**, 169 (1997).
- Z. Xia, Q. Liu, *Prog. Mater. Sci.*, **84**, 59 (2016).
- N. Wada, K. Kojima, *J. Lumin.*, **126**, 53 (2007).
- N. Wada, H. Ishii, K. Morinaga, *J. Jpn. Inst. Met.*, **63**, 461 (1999). [in Japanese]
- G. Lakshminarayana, S. Buddhudu, *Spectrochim. Acta A*, **62**, 364 (2005).
- N. Wada, J. Hanai, M. Furukawa, K. Kojima, *J. Am. Ceram. Soc.*, **102**, 4621 (2019).
- K. Tanaka, T. Yano, S. Shibata, M. Yamane, S. Inoue, *J. Non-Cryst. Solids*, **178**, 9 (1994).
- V. Prasad, L. Pavic, A. M-Milankovic, A. S. S. Reddy, Y. Gandhi, V. R. Kumar, G. N. Raju, N. Veeraiyah, *J. Alloys Compd.*, **773**, 654 (2019).
- M. Ignatovych, V. Holovey, T. Vidoczy, P. Baranyai, A. Kelemen, *Radiat. Phys. Chem.*, **76**, 1527 (2007).
- K. Bourhis, A. Royon, G. Papon, M. Bellec, Y. Petit, L. Canioni, M. Dussauze, V. Rodriguez, L. Binet, D. Caurant, M. Treguer, J. -J. Videau, T. Cardinal, *Mater. Res. Bull.*, **48**, 1637 (2013).
- C. Ming, F. Song, X. Ren, L. An, *J. Alloys Compd.*, **580**, 465 (2013).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 和田 憲幸, 小島 一男, 井上 幸司	4. 巻 55
2. 論文標題 マンガンイオン(II)含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光 高輝度化と紫外 LED 励起を目指して	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 825 ~ 828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wada Noriyuki, Hanai Jyoji, Furukawa Mikiya, Kojima Kazuo	4. 巻 102
2. 論文標題 Preparation of Mn <sup>2+</sup> Cu <sup>+</sup> co doped P2O <sub>5</sub> -ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> glasses and their red fluorescence properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 4621 ~ 4631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.16302	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 秋山 魁人, 和田 憲幸, 小島一男
2. 発表標題 Mn <sup>2+</sup> 含有亜鉛リン酸塩ガラスの赤色蛍光におけるIn <sup>3+</sup> の添加効果
3. 学会等名 2021年年会, 日本セラミックス協会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田凌雅, 和田憲幸, 小島一男
2. 発表標題 様々な溶融条件で作製したMn-Ag共含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光特性
3. 学会等名 2020年年会, 日本セラミックス協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下陽宇, 橋本渉, 和田憲幸
2. 発表標題 Mn <sup>2+</sup> 含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光とガラス転移点におけるM <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (M: In, Sb, Bi)の添加効果
3. 学会等名 国立高専第3ブロック専攻科研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田凌雅, 和田憲幸, 小島一男
2. 発表標題 様々な溶融条件で作製したMn-Ag共含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下陽宇, 和田憲幸, 小島一男
2. 発表標題 Mn <sup>2+</sup> 含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光とIn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加効果
3. 学会等名 第16回若手研究者・学生のための研究発表会, MMIJ(資源素材学会)関西支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下陽宇, 和田憲幸, 小島一男
2. 発表標題 Mn <sup>2+</sup> 含有リン酸塩ガラスの赤色蛍光とガラス転移点
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年 年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------