

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350099

研究課題名(和文) 光伝導度測定システムの構築と蛍光体励起光物性・電子構造の解明に関する研究

研究課題名(英文) Construction of photoconductivity measurement system and studies on excited states and electronic structure of phosphors

研究代表者

田部 勢津久 (Tanabe, Setsuhisa)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20222119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円、(間接経費) 4,590,000円

研究成果の概要(和文)：無機蛍光体の発光効率を支配している無輻射損失機構を明らかにするために、光伝導度測定を行い、固体電子構造の全貌の系統的理解を得ることを目的とした。そのために、光励起伝導度の照射光波長依存性と温度依存性の自動測定システムを構築すると共に、4f-5d電子遷移を利用する新規蛍光体の光学特性と全電子構造の関係を明らかにした。光伝導度の温度依存性により、局在エネルギー準位であるCe³⁺の5d準位と非局在エネルギーバンドの伝導帯とのエネルギー的な相対関係を明らかにし、エネルギー準位図を作成した。また、そのエネルギー位置関係から、消光原因が5d励起電子の光イオン化過程にあることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the nonradiative process that dominates luminescence quantum efficiency of inorganic phosphor materials, we have developed a photoconductivity measurement system as functions of temperature and irradiating wavelength. Attention was paid on rare-earth doped phosphor materials for white LED, where 4f-5d electronic transition plays important role. By measurement of temperature dependence of photocurrent excitation spectra, the energy relation of Ce³⁺:5d level and conduction band of host was investigated for garnet ceramic phosphors of various compositions. A photo-ionization process of excited 5d electrons was found to be a quenching mechanisms at higher temperatures.

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：蛍光体 電子物性 光伝導度 希土類 電子構造 励起状態 伝導帯

1. 研究開始当初の背景

20世紀末のInGaN系青色発光ダイオード(LED)の発明とそれに続く青紫レーザーダイオード(LD)の発明は、光エレクトロニクスの諸分野に大きなインパクトを与えたが、中でも青色LEDと波長変換蛍光体を組み合わせて利用した、白色LED開発(1996年~)への展開は、21世紀に入り照明技術分野においても計り知れない技術革新を起こしつつある。その長期安定性、赤外線や紫外線を含まないこと、高い電気光変換効率、真空管不要、水銀を使わない親環境性などの特長から、固体照明デバイスとして、白熱電球はもちろん蛍光管を置き換えると予想されている。蛍光体材料としてCe(III)添加ガーネット蛍光体や2価のEu(II)を含む新規蛍光体の開発がなされているが、発光強度が温度上昇と共に低下する温度消光現象など、基礎光物性の理解のため、バンド構造との関連の系統的解明などが検討課題の一つとなっている。

2. 研究の目的

無機蛍光体の発光効率を支配している無輻射損失機構、特に局在励起電子準位とホストの非局在系電子構造の関係を明らかにするために、光伝導度測定を行うことにより、固体電子構造の全貌の系統的理解を得ることを目的とする。そのために、光励起伝導度の照射光波長依存性と温度依存性の自動測定システムを構築すると共に、4f-5d電子遷移を利用する新規蛍光体の光学特性と全電子構造の関係を明らかにする。これら固体照明用新規蛍光体はいずれもCe(III),Eu(II)イオンの5d-4f電子遷移を光吸収励起過程として、また5d-4fを発光遷移として利用しているため、従来のEu(III)やTb(III)蛍光体と比べ、吸収&発光の両電子遷移とも許容遷移であり、高い遷移確率と短い輻射寿命、幅広い発光スペクトルを有する。一方で、励起電子準位が5d軌道であるため、4f軌道と異なり、完全充填の5s²5p⁶軌道電子によって外

部から遮蔽されておらず、配位子場の影響を受けやすく、極小エネルギーオフセットの基底4f状態との差が大きい、Stokesシフトも大きい、という特徴を有する。以上はいずれもCe(III),Eu(II)蛍光体の特長でもあるが、大きく広がった励起5d電子軌道のホスト固体伝導帯(CB)との相互作用が無視できず、エネルギー準位構造によっては、励起状態電子がホストの伝導帯へ逃げることによる、発光効率の温度消光の原因にもなると考えられている。

3. 研究の方法

組成 $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Al_5O_{12}$, $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Al_2Ga_3O_{12}$, $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Ga_5O_{12}$ と $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Sc_2Al_{3-x}Ga_xO_{12}$ (x=0,1,2,3) の Ce³⁺添加各種ガーネットセラミックスを固相反応法により作製した。原料は、CeO₂(99.99%), Y₂O₃(99.99%), Al₂O₃(99.99%), Sc₂O₃(99.9%), Ga₂O₃(99.99%) 特級試薬を用いた。原料粉末を湿式混合し、乾燥させた後、50Mpaにてペレット成型を行い、1400~1600℃、大気雰囲気下の条件で焼成した。なお、 $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Al_5O_{12}$ は Ce:YAG、 $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Al_2Ga_3O_{12}$ は Ce:YAGG、 $(Y_{0.995}Ce_{0.005})_3Ga_5O_{12}$ は Ce:YGG と表記する。得られた試料は、粉末X線回折(XRD)測定より、結晶相を同定した。また、発光(Photoluminescence, PL)・励起(PL excitation, PLE)スペクトルと残光減衰曲線は、蛍光分光光度計(RF-5000, Shimadzu)を用いて測定した。光電流励起(Photocurrent excitation, PCE)スペクトルは、Xeランプと分光器を組み合わせ単色光を試料に照射し、その時の光電流値をデジタルエレクトロメータで測定し、励起波長に対してプロットすることにより得た。試料に電極を付け、石英窓付のクライオスタットに設置し、様々な温度で光伝導度の測定を行った。得られた光伝導度の温度依存性を各波長について Arrhenius プロットすることにより、各励起エネルギー準位からの伝導の活性化エネルギーを求め、波長の関数として解析

し、ホスト固体の伝導帯(CB)と局在励起準位とのエネルギー準位構造の関係を考察した。
4. 研究成果

PL・PLE スペクトル

Fig. 1 に Ce 添加 YAG, YAGG と YGG 結晶の PL/PLE スペクトルを示す。Ce: YAG においては、特徴的な 550nm にピークを持つブロード PL バンドと 340nm と 460nm にピークを持つブロードな PLE バンドが観測された。PL バンドは、 Ce^{3+} の最低 5d エネルギー準位 ($5d_1$) から 4f への遷移に帰属され、一方 PLE バンドはそれぞれ長波長側から $4f \rightarrow 5d_1$, $4f \rightarrow 5d_2$ (2nd lowest 5d level) 遷移に帰属される。Ce: YAGG においても、同様の PL バンドと PLE

バンドが観測された。Ce:YAG と比較すると、PL バンドは、短波長シフトし、PLE バンドにおいては、

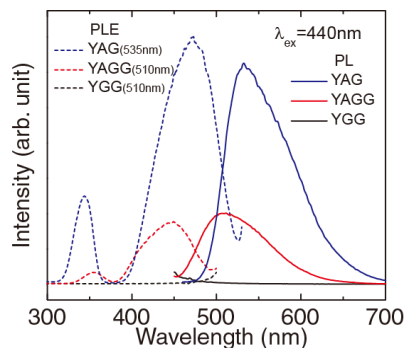


Fig.1: PLE and PL spectra

$4f \rightarrow 5d_1$ は短波長シフトし、 $4f \rightarrow 5d_2$ 遷移は長波長シフトした。PL, PLE 強度は、Ce:YAG のそれに比べ半分以下程度であった。また、Ce:YGG においては、発光が観測されなかった。以上から、Ga 固溶量増加に従い、PL・PLE 強度が単調減少することが分かる。バンドギャップエネルギーが Ga 固溶量増加により減少するので、この発光強度の低下は、 Ce^{3+} の 5d 励起準位から電子が伝導帯へ移動する光イオン化過程の可能性が高い。光イオン化過程の存在を確かめるために、光伝導度測定を行った。

光電流励起(PCE)スペクトル

Fig. 4 に 300K と 50K における光電流励起スペクトルを示す。Ce:YAG において、300~500nm の波長範囲の励起では、どの温度においても光電流が観測されなかったが、PL

測定において全く発光を示さなかった Ce:YGG は、どの温度においても $4f-5d_1$ と $4f-5d_2$ に対応する強い光電流励起バンドを示した。これは、 Ce^{3+} の $5d_1$ と $5d_2$ 準位の光励起により、電子が伝導帯へ移動したことを示している。また、300K での光電流強度は Ga 濃度が増加するにつれて光電流強度は増加し、発光強度の Ga 濃度依存性と逆の傾向であった。これらの結果は、発光の消光原因が電子移動(光イオン化)であることを強く示唆している。

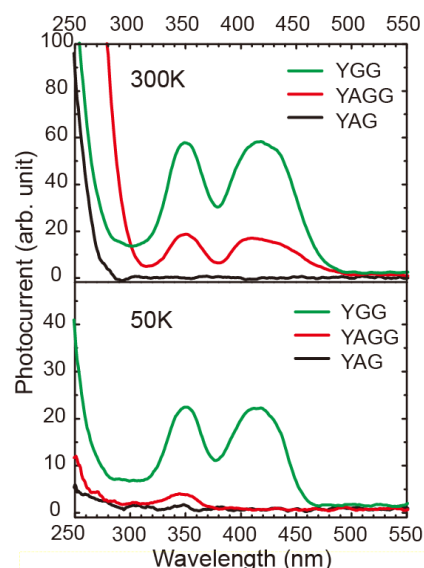


Fig.2: Photocurrent excitation spectra at 300K and 50K

一方、 Ce^{3+} 添加 YAGG は、300K においては、 $5d_1$ と $5d_2$ バンドの両方が観測されたが、50K 以下に冷却すると、 $4f-5d_1$ バンドが消滅した。これは、YAGG ホスト中では、 $Ce^{3+}:5d_1$ 励起準位は、熱活性化過程を経て、電子が伝導帯へ移動していることを示している。なお、 $Ce^{3+}:5d_2$ 光電流励起バンドは、50K 以下の低温でも観測されたため、 $5d_2$ 準位から伝導帯への電子移動は、熱活性化過程を経ない経路であることがわかる。つまり、 Ce^{3+} 添加 YAGG では、 $5d_1$ 準位は伝導帯の下、 $5d_2$ 準位は伝導帯の中に位置していると考えられる(Fig.3)。Ce:YGG では、 $5d_1$, $5d_2$ の光電流励起バンドが十分低温でも観測されたため、両励起バンドとも伝導帯に埋まっていると考えられる。こ

れにより, Ce:YGG においては光イオン化過程により, 発光が完全に消光し, Ce:YAGG においては, 熱アシテッド光イオン化過程による消光が存在することが明らかになった [4]。

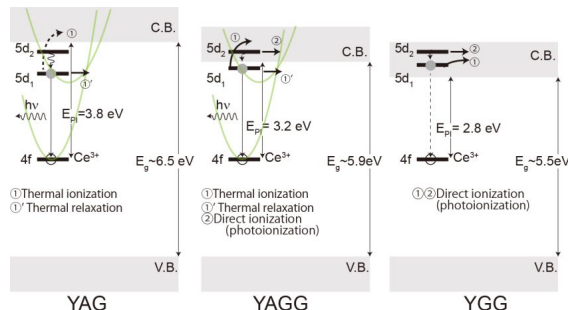


Fig.3. Comparison of band structures of three garnets doped with Ce^{3+} .

結論

Ce^{3+} 添加 YAG-YGG ガーネット固溶体を作製し, その光学 & 光電子物性を評価した. Ga 濃度増加に従い, Ce^{3+} の 5d-4f 発光強度の低下を観測し, Ce:YGG の室温での完全な消光を確認した. 光伝導度測定の温度依存性により, 局在エネルギー準位である Ce^{3+} の 5d 準位と非局在エネルギーバンドの伝導帯とのエネルギー的な相対関係を明らかにし, エネルギー準位図を作成した. また, そのエネルギー位置関係から, 消光原因が YAGG ホストで熱アシテッド光イオン化過程で YGG ホストでは光イオン化過程であると結論付けた.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 1 件)

- J. Ueda, K. Kuroishi, S. Tanabe, "Bright persistent ceramic phosphors of Ce^{3+} - Cr^{3+} -codoped garnet able to store by blue light", *Appl. Phys. Lett.*, **104**, 2014, pp. 101904-101907. 査読有 DOI: 10.1063/1.4868138
- Y. Katayama, J. Ueda, S. Tanabe, "Effect of Bi_2O_3 doping on persistent luminescence of $MgGeO_3:Mn^{2+}$ phosphor" *Opt. Mater. Express* **4**[4], 2014, pp.613-623, 査読有 DOI: 10.1364/OME.4.000613
- J. Ueda, M. Samusawa, K. Kumagai, A. Ishida, S. Tanabe, "Recreating the Lycurgus

- effect from silver nanoparticles in solutions and in silica gel", *J. Mater. Sci.* **49**[9], 2014, pp.3299-3304, 査読有 DOI: 10.1007/s10853-014-8047-0
- Y. Katayama, J. Ueda, S. Tanabe, "Photo-electronic properties and persistent luminescence in Pr^{3+} doped (Ca, Sr)TiO₃ ceramics", *J. Lumin.* **148**, 2014, pp.290-295, 査読有, DOI: 10.1016/j.jlumin.2013.12.041
- Y. Katayama, H. Tomimoto, J. Ueda, S. Tanabe, "Modulation of the optical properties of Pr^{3+} -doped Y₂O₃ ceramics by Zr doping", *J. Ceram. Soc. Jpn.* **122** [1], 2014, pp.89-92, 査読有 DOI: 10.2109/jcersj2.122.89
- Y. Zhuang, J. Ueda, S. Tanabe, "Tunable trap depth in Zn(Ga_{1-x}Al_x)₂O₄: Cr, Bi red persistent phosphors: considerations of high-temperature persistent luminescence and photostimulated persistent luminescence", *J. Mater. Chem. C* **1**[47], 2013, pp. 7849-7855. 査読有 DOI: 10.1039/C3TC31462F
- Y. Zhuang, S. Tanabe, "Conversion of Valence State and Coordination State of Fe in Transparent Glass-Ceramics Containing Li₂ZnSiO₄ Nanocrystals", *J. Am. Ceram. Soc.* **96**[9], 2013, pp. 2864-2869. 査読有 DOI: 10.1111/jace.12398
- J. Ueda, T. Shinoda, S. Tanabe, "Photochromism and near-infrared persistent luminescence in Eu^{2+} - Nd^{3+} - co-doped CaAl₂O₄ ceramics", *Opt. Mater. Express* **3**[6], 2013, pp. 787-793. 査読有 DOI: 10.1364/OME.3.000787
- Y. Zhuang, J. Ueda, S. Tanabe, "Enhancement of Red Persistent Luminescence in Cr^{3+} -Doped ZnGa₂O₄ Phosphors by Bi₂O₃ Codoping", *Appl. Phys. Express* **6**[5], 2013, 052602(4p). 査読有, DOI: 10.7567/APEX.6.052602
- J. Ueda, K. Aishima, S. Tanabe "Temperature and compositional dependence of optical and optoelectronic properties in Ce^{3+} -doped Y₃Sc₂Al_{3-x}Ga_xO₁₂ (x = 0, 1, 2, 3)", *Opt. Mater.*, **35**[11], 2013, pp.1952-1957, 査読有 DOI: 10.1016/j.optmat.2012.11.016
- Y. Katayama, S. Tanabe, "Mechanism of quantum cutting in Pr^{3+} - Yb^{3+} codoped oxyfluoride glass ceramics", *J. Lumin.* **134**, 2013, pp. 825-829, 査読有 DOI: 10.1016/j.jlumin.2012.06.042
- Y. Zhuang, S. Tanabe, "Photochromism and white long-lasting persistent luminescence in Bi^{3+} -doped ZnGa₂O₄ ceramics", *Optical Materials Express* **2**, 2012, pp. 1378-1383. 査読有 DOI: 10.1364/OME.2.001378
- J. Ueda, S. Tanabe, "Broadband near ultra violet sensitization of 1μm luminescence in Yb^{3+} -doped CeO₂ crystal", *J. Appl. Phys.*

110[7], 2011, pp. 073104-073110. 査読有
 DOI: 10.1063/1.3642984
 S.Nishiura, S.Tanabe, K.Fujioka, Y. Fujimoto, "Preparation of transparent Ce³⁺:GdYAG ceramics phosphors for white LED", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **18**, 2011, pp. 102005-102008, 査読有
 DOI: 10.1088/1757-899X/18/10/102005
 Y.Katayama, S.Tanabe, "Afterglow characteristics of CaTiO₃: Pr³⁺ prepared by solar furnace", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **18**, 2011, pp. 102003-102006. 査読有
 DOI: 10.1088/1757-899X/18/10/102003
J.Ueda, S.Tanabe, "Sensitization mechanisms of 1μm Luminescence in Tb³⁺-Yb³⁺ co-doped borate glasses", *Phys. Stat. Solidi A* **208**[8], 2011, pp. 1827-1832, 査読有
 DOI: 10.1002/pssa.201084072
J.Ueda, S.Tanabe, T.Nakanishi, "Analysis of Ce³⁺ luminescence quenching in solid solutions between Y₃Ga₅O₁₂ and Y₃Al₅O₁₂ by temperature dependence of photoconductivity measurement", *J. Appl. Phys.*, **110**[5], 2011, pp. 053102-053107, 査読有, DOI: 10.1063/1.3632069
 T.Nakanishi, Y.Katayama, J.Ueda, T. Honma, S.Tanabe, T.Komatsu, "Fabrication of Eu:SrAl₂O₄-based glass ceramics using frozen sorbet method", *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **119**[7], 2011, pp. 609-615. 査読有
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcersj2/119/1391/119_1391_609/pdf
 S.Nishiura, S.Tanabe, K.Fujioka, Y. Fujimoto, "Transparent Ce³⁺:GdYAG ceramic phosphors for white LED", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, **7934**, 2011, art. no. 793404, 査読有
 DOI: 10.1117/12.874118
J.Ueda, K.Aishima, S.Nishiura, S.Tanabe, "Afterglow luminescence in Ce³⁺-doped Y₃Sc₂Ga₅O₁₂ ceramics", *Applied Physics Express*, **4**[4], 2011, pp.042602-042604, 査読有 DOI: 10.1143/APEX.4.042602

② S.Nishiura, S.Tanabe, K.Fujioka, Y. Fujimoto, "Properties of transparent Ce:YAG ceramic phosphors for white LED", *Optical Materials*, **33**[5], 2011, pp.688-691, 査読有 DOI: 10.1016/j.optmat.2010.06.005

[学会発表](計29件)

S.Tanabe, "Bandgap Engineering of Persistent and Photo-Stimulated Phosphors and their Photo-Electric", *Phosphor Global Summit 2014* (招待講演), 2014年3月26日~28日, (San Diego, USA)

J. Ueda, S. Tanabe, "Development of blue excitable persistent phosphor of Ce³⁺-doped garnet ceramics by bandgap engineering and metal-sensitization", *Oxide-based Materials and Devices V, Photonics West 2014* (招待講演), 2014年2月1日~6日, Moscone Center (San Francisco, USA)
S. Tanabe, Y. Katayama, "Red persistent and photostimulable phosphors for bio-imaging", *The 2nd International Workshop on Persistent and Photo-stimulable Phosphors* (基調講演), 2013年11月17日~21日, (Guangzhou, China)
J. Ueda, S. Tanabe, "Electronic Process from 5d State and Electron Trap in Eu²⁺-Dy³⁺ Codoped SrAl₂O₄ Ceramic Phosphors", *The 2nd International Workshop on Persistent and Photo-stimulable Phosphors* (招待講演), 2013年11月17日~21日, (Guangzhou, China)
 Y. Katayama, J. Ueda, S. Tanabe, "Effect of Bi doping on persistent luminescence and photo-stimulated luminescence properties of MgGeO₃:Mn²⁺", *International Workshop on Luminescent Materials 2013(LumiMat'13)*, 2013年11月14日~15日, (京都)
S. Tanabe, J. Ueda, "Photoconductivity and electronic structures of persistent phosphors", *2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Sympo. I: "Rare Earth Doped Advanced Materials for Photonic Applications* (招待講演) 2013年9月20日, 同志社大学(京田辺)
上田純平, 田部勢津久, 「白色LED用蛍光体の光伝導度測定による消光機構の解明」、第35回応用物理学会秋季学術講演会、2013年9月16日, (京田辺)
黒石景友, 上田純平, 田部勢津久, 「Ce³⁺添加ガーネット蛍光体における電子トラップ深さ制御」、日本セラミックス協会年会 第26回秋季シンポジウム、2013年9月4日~6日, 信州大学(長野)
J. Ueda, S. Tanabe, "Band gap engineering and persistent luminescence in Ce³⁺-doped garnets", *The 4th International Workshop on Advanced Spectroscopy and Optical Materials (4th IWASOM)* (招待講演), 2013年7月14日~19日, (Gdansk, Poland)
S. Tanabe, T. Nakanishi, "Transparent glass ceramics showing long persistent luminescence", *10th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 10)* (招待講演), 2013年6月2日~7日, (San Diego, USA)
 Y. Zhuang, S. Tanabe, "Effect of Zn/Ga ratio on persistent luminescence in Bi³⁺ or/and Cr³⁺ doped ZnGa₂O₄ phosphors", *10th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 10)*, 2013年6月2日~7日, (San Diego, USA)

- S.Tanabe, J.Ueda, T.Nakanishi, "Active glass ceramics for photonic applications", "Oxide-based Materials and Devices IV", SPIE OPTO, Photonics West 2013, 2013年2月4日, (San Francisco, USA)招待講演
片山裕美子、田部勢津久、「(Ca,Sr)TiO₃:Pr³⁺における原子価間電荷移動と光電子物性」, The 23rd Meeting on Glasses for Photonics, 2013年1月30日(京都)
上田純平、田部勢津久、「Ce³⁺添加ガーネット蛍光体の電子移動制御による長残光の発現」, 第345回蛍光体同学会講演会(招待講演)2012年11月16日東京
篠田達昭、上田純平、田部勢津久、「CaAl₂O₄:Eu²⁺, Nd³⁺における近赤外長残光とフォトリミット特性」, 日本セラミックス協会年会 第25回秋季シンポジウム, 2012年09月19日, 名古屋
- S.Tanabe, "Ceramic and glass ceramic phosphors for white LEDs", JSAP OSA Joint Symposia 2012 (招待講演), 2012年9月11日~14日, 松山
- S.Tanabe, "Active glass ceramics for photonic applications", The 3rd International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices(招待講演), 2012年9月3日~7日, Belgrade
- J.Ueda, S.Tanabe, "Electronic and Optical Properties in Ce³⁺-Doped Garnet Ceramics", 8th International Conference on f-Elements, 2012年8月26日~30日, Udine
- S.Tanabe, "Novel optical glass and ceramics for green photonics", 18th International Symposium on Non-Oxide and New Optical Glasses (ISNOG)(招待講演), 2012年7月1日~6日, St.Malo
- J.Ueda, T.Nakanishi, Y.Katayama, S.Tanabe, "Electronic processes in Eu²⁺-Dy³⁺Codoped SrAl₂O₄ Ceramic Phosphors Induced with Thermo- and Persistent-Luminescence Behaviors", 5th International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA2012), 2012年6月7日(奈良)
- ②① J.Ueda, K.Aishima, S.Tanabe, "Analysis of luminescent quenching in Ce-doped garnet phosphors by temperature dependence of photoconductivity", 4th International Workshop on PHOTOLUMINESCENCE IN RARE EARTHS:PHOTONIC MATERIALS AND DEVICES (PRE'12), 2012年3月28日~30日, 京都大学芝蘭会館(京都)
- ②② S.Tanabe, J.Ueda, "Electronic and optical properties of Ce³⁺ doped garnet ceramics" (招待講演), Advances in Optical Materials (AIOM)(Optical Society of America), 2012年2月3日, Rancho Bernardo Inn (San Diego, USA)
- ②③ 田部 勢津久、「照明用白色LED技術の

- 展開と今後の展望」(招待講演)、第45回光学五学会関西支部連合講演会、2012年1月28日、キャンパスプラザ京都(京都)
- ②④ S.Tanabe, "Novel ceramic phosphor materials for green photonics" (招待講演), Italy in Japan 2011: Science, Technology and Innovation, 2011年11月22日, 京都)
- ②⑤ 田部 勢津久、「グリーンテクノロジーを指向した希土類波長変換材料」、日本希土類学会第29回講演会(招待講演)、2011年11月11日、千里阪急ホテル(大阪)
- ②⑥ S.Tanabe, "Ce³⁺-doped garnet ceramic phosphors for white LED", 220th ECS (Electrochemical Society) Meeting, 招待講演, 2011年10月12日, (Boston)
- ②⑦ J.Ueda, K.Aishima, S.Tanabe, "Long-lasting phosphorescence of Ce³⁺-doped garnet crystals", Phosphoros 2011 International workshop on Persistent Phosphors, 2011年9月19日~20日, (Gent, Belgium)
- ②⑧ S.Tanabe, J.Ueda, "Active glass ceramics containing functional crystals for photonics", The 9th International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies, (招待講演), 2011年7月11日, (Cairns, Australia)
- ②⑨ S.Tanabe, J.Ueda, "Rare-earth Doped Phosphor Materials for Green Technologies", 2011 Material Research Society (MRS), (招待講演), 2011年4月28日, (San Francisco, USA)

〔図書〕(計 2件)

上田純平、田部勢津久、シーエムシー出版、波長変換用蛍光体材料 白色LED・太陽電池への応用を中心として、2012、pp.190-199.

中西貴之、田部勢津久、NTS出版、「セラミックス機能化ハンドブック」(福長脩編)第2編 光機能 第1章 発光蛍光 第1節"白色LED用結晶化ガラス蛍光体"、2011、pp.54-61.

〔その他〕ホームページ等

<http://www.talab.h.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田部 勢津久 (TANABE, Setsuhisa)

京都大学・大学院人間・環境学研究科・教授
研究者番号：20222119

(3)連携研究者

上田 純平 (UEDA, Jumpei)

京都大学・地球環境学堂・助教
研究者番号：90633181