

平成 30 年 5 月 12 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04612

研究課題名(和文) 近紫外光 赤色光変換蛍光ナノシートおよびそのコンポジット膜の作製・評価と応用

研究課題名(英文) Preparation, characterization, and application of near-UV -&gt; red conversion fluorescent nanosheets and their composite films

研究代表者

磯部 徹彦 (ISOBE, Tetsuhiko)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：30212971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：水熱処理によって合成した水酸化物前駆体ナノシートを焼成して、近紫外光照射により赤色に発光するY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Bi<sup>3+</sup>,Eu<sup>3+</sup>ナノシートを作製した。ポリエチレンジアミンを吸着させて正に帯電したナノシートの分散液を調製した。一定の電圧を印加して透明導電性基板上に電気泳動電着によって蛍光ナノシートを堆積した。さらにポリビニルピロリドンにコーティングした。この膜試料が市販の単結晶シリコン太陽電池の特性に与える影響を評価した。

研究成果の概要(英文)：Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Bi<sup>3+</sup>,Eu<sup>3+</sup> nanosheets, which emit red light under near-UV irradiation, were obtained by calcining hydroxide precursor nanosheets synthesized through a hydrothermal method. An aqueous dispersion of positively charged Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Bi<sup>3+</sup>,Eu<sup>3+</sup> nanosheets with polyethyleneimine adsorbed to the surface was prepared for their deposition. Fluorescent nanosheets were electrophoretically deposited on a transparent conductive substrate under a constant voltage. Next, polyvinylpyrrolidone was coated on the film. The effects of the PVP-coated film samples on the properties of a commercial monocrystalline silicon photovoltaic module were evaluated.

研究分野：ナノ蛍光体材料

キーワード：蛍光体 ナノシート 波長変換 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

(1) 可視光に対して透明なナノ蛍光体

光散乱係数は物質の大きさの6乗に比例する。このため、光散乱係数を無視できるほど小さくし、可視光に対して透明にするためには、物質の大きさを可視光の波長のおよそ1/10以下、すなわち約50 nm以下にすることが必要とされる。無色透明な蛍光材料として、分子サイズの有機色素や希土類錯体が挙げられる。しかし、これらの蛍光材料の耐久性は著しく低い。一方、市販されている無機蛍光体は耐久性に優れているが、ミクロンサイズであり、透明ではない。研究代表者は、透明性・耐久性を兼ね備えた蛍光材料として、無機化合物の蛍光ナノ粒子に着目した。通常、無機蛍光体は原料の無機化合物粉末を混合し、高温で焼成して作製される。このような固相法で得られた蛍光体をナノサイズに微粉砕すると、種々の欠陥が生成され、蛍光強度は著しく低下する。このため、無機化合物の蛍光ナノ粒子を作製するためには、ソフトケミカルな手法である液相法の開発が求められる。さらに、実際に透明性を付与させるためには、粒子径約50 nm以下のナノ粒子が良好に分散した状態を実現しなければならない。(磯部徹彦 監修「ナノ蛍光体の開発と応用」シーエムシー出版、2007年8月発行)

(2) 近紫外光を赤色光へ変換する  $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノ蛍光体の開発と問題点

粒子径10 nm程度の  $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子からなる透明な分散液は、クエン酸前駆体を用いた共沈法によって作製できる (Huignard et al. *Chem. Mater.* 14, 2264 (2002)). 研究代表者はこの手法を活用して  $\text{Bi}^{3+}$  を  $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$  へドープし、バンドギャップを小さくすることを考えた。硝酸イットリウムと硝酸ユウロピウム(III)を純水に溶解し、クエン酸ナトリウムを添加して(Y,Eu)クエン酸塩前駆体を作製後、硝酸ビスマスのエチレングリコール溶液を添加し、さらに塩基側に調整したオルトバナジン酸ナトリウム水溶液を混合して  $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子を作製した。(Takeshita et al. *J. Lumin.* 129, 1067 (2009)) さらに水熱処理を施して  $\text{Bi}^{3+}$  や  $\text{Eu}^{3+}$  の組成の均一性の高い  $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子を作製する方法を確立した。透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察によると、 $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子の1次粒子の大きさは約10 nmであった。そして、見た目に透明で、近紫外光を照射すると赤色に発光する  $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子分散液を作製できた。このナノ粒子をウレタン樹脂と混合し、脱泡・攪拌処理後、バーコーターによってガラス板上に塗布すると、可視光に対して透明な厚膜を作製することができた。(Iso et al. *J. Electrochem. Soc.* 159 (3), J72 (2012).) また、電気泳動電着によってシリコン変性アクリル樹脂ナノ粒子と  $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノ粒子からなるコンポジット膜を作製すること

にも成功した。(Iso et al. *Langmuir*, 30, 1465 (2014).)

耐光性に関して精査した結果、 $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノ粒子に近紫外光の励起光を連続して照射し続けると、蛍光強度が低下する現象(光退色)が起こることが明らかにされた。この光退色はナノ粒子表面に吸着したクエン酸イオンが光酸化還元反応を通じて作用し、 $\text{V}^{5+}$  が  $\text{V}^{4+}$  へ還元され、電荷補償に伴って生成する酸素欠陥が蛍光強度低下の原因であることが明らかにされた。(Takeshita et al. *J. Electrochem. Soc.* 157 (3), J74 (2010).) さらに、ナノ粒子を焼成してクエン酸を熱分解すると、光退色が抑制されることが明らかにされた。(Iso et al. *J. Phys. Chem. C*, 118, 11006 (2014).) しかし、焼成するとナノ粒子は凝集して透明性が消失する。一旦凝集したナノ粒子を再分散させることは困難である。

さらに、 $\text{YVO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  は半導体であることから、このナノ粒子を樹脂中へ分散させると光触媒的な反応によって樹脂を分解することが明らかにされた。(Hara et al. *Mater. Sci. Eng. B* 178, 311 (2013).) このため、有機分子と直接接触しないように、ナノ粒子を無機物で被覆することが求められる。しかし、クエン酸イオンが粒子表面に強く配位しているために、クエン酸イオンを除去してナノ粒子表面にコーティング層を導入することは極めて困難である。

(3)  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシート蛍光体の提案

上記の問題点を解決し、近紫外光を赤色光に変換できる新規なナノ材料を創製するために、次の5つの条件を満足することが必須であると考えた。

- ① Vのような酸化数変動しやすい元素を含まない蛍光体母体を選択する。
- ②  $\text{Bi}^{3+}$  の 6s-6p 遷移は許容であるために遷移確率が高く、かつ、 $\text{Bi}^{3+}$  から  $\text{Eu}^{3+}$  へのエネルギー移動は効率よく起こるので、 $\text{Bi}^{3+}$  が近紫外光を吸収できる結晶場を作る母体材料を選択する。
- ③ 母体が半導体でなく、近紫外域にバンドギャップをもたない、すなわち、近紫外光が当たっても光触媒として作用しない母体材料を選択する。
- ④ 可視光に対して透明な材料形態を選択する。
- ⑤ 溶媒中で容易に透明に分散させることができる材料形態を選択する。

以上の条件を考慮し、次のような新規の研究に取り組む考えに至った。①～③を満足する蛍光体材料系として、 $\text{Bi}^{3+}$  の 6s-6p 遷移が紫外域に位置し、半導体ではない  $\text{Y}_2\text{O}_3$  を蛍光体母体にする、すなわち、「 $\text{Bi}^{3+}$  と  $\text{Eu}^{3+}$  をドープした  $\text{Y}_2\text{O}_3$  ( $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ )」が最適であると考えた。ナノ粒子は比表面積が大きく、高い表面エネルギーをもつため、凝集しやすく、凝集したナノ粒子を再分散すること

は容易ではないため、④と⑤を満足する材料形態として厚さ 50 nm 以下のナノシートが最適であると考えた。ナノシートの場合、焼成してもシートの形態を維持でき、溶媒中でシートをばらばらに分散できる報告例がある。さらに、液相合成だけで作製した蛍光ナノ粒子の蛍光量子収率は固相法のマイクロ粒子に比べて低い値であった。一方、ナノシートは、前駆体ナノシートを焼成して作製されるので、ナノ粒子に比べ、結晶性が高く、その結果、蛍光量子収率を向上できる期待がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、水熱法により合成した水酸化物前駆体ナノシートを焼成して  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートを作製した。つぎに、ポリエチレンイミン(PEI)を吸着させて正に帯電した  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートの分散液を用いて、電気泳動堆積法 (EPD) によって ITO 透明導電性ガラス基板上へ堆積膜を作製し、その特性を評価した。さらに、堆積膜にポリビニルピロリドン(PVP)をコートしてこの膜の透明性を向上させることを検討した。この膜試料が市販の単結晶シリコン (c-Si) 太陽電池の特性に与える影響を評価した。

## 3. 研究の方法

$\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  を溶解した水溶液を  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を溶解したエチレングリコール溶液に加えた。この混合溶液をトリエチルアミンに加えて混合し、160 °C で 4 h 水熱処理を施した後に遠心分離した。さらに超純水への再分散と遠心分離による洗浄操作を繰り返して行った後、一晚凍結乾燥した。得られた前駆体を 600 °C で 2 h 焼成し、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートを得た。

$\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートを PEI 水溶液に分散させ、1 M 硝酸で pH 7 に調整した。この分散液に ITO 被覆ガラス基板とステンレス板を 10 mm の間隔で平行に保持しながら垂直に浸漬した。直流電源で 2.5 V を 5 min 印加して EPD を行った。得られた堆積膜には PVP エタノール溶液をスピンコートした。作製した膜試料を、屈折率整合液を介して市販の c-Si 太陽電池に接着し、疑似太陽光 (AM1.5G, 1000 W m<sup>-2</sup>) 下で電流-電圧 (I-V) 特性を測定した。

また、 $\text{YCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.44 mmol、 $\text{BiCl}_3$  0.05 mmol、 $\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.01mmol をメタノール 16 mL に投入し、2.5 wt% ポリエチレンイミン水溶液 5 mL を加え、200 °C で 2.5 h オートクレーブ処理を行って前駆体を合成し、この前駆体を洗浄・乾燥した後、空気フロー中で 800 °C 2 h 焼成して  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートを作製することも検討した。しかし、形態や大きさが不均一であったため、膜試料の作製や太陽電池への応用に至らなかった。このため、本報告書ではこのナノシートの結果を省略したが、詳細は発表論文より参照できる。

## 4. 研究成果

### (1) $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ ナノシートの特性評価

図 1 に  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートの TEM 像を示す。形状は四角形であり、一辺が約 200 nm であった。前駆体には見られない無数の小さい空孔がナノシートには観察された。この空孔は焼成時の水分子の脱離によって生成したと考えられる。ナノシート 1 枚の制限視野電子線回折 (SAED) 像より、スポットパターンは単結晶様であった。それぞれのスポットは  $\text{Y}_2\text{O}_3$  の (400) と (440) に帰属された。

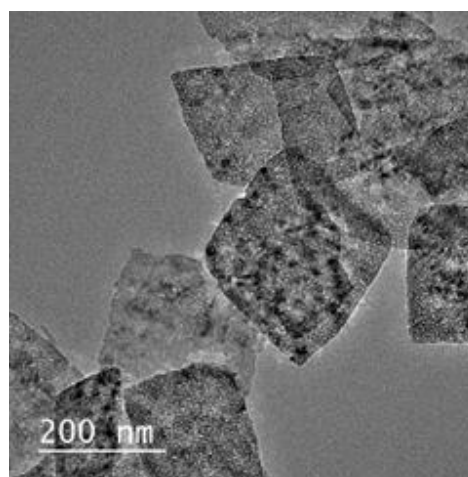


図 1  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートの TEM 像

表面粗さプロファイルより、ナノシート 1 枚の厚さは約 30 nm であった。粉末試料の X 線回折 (XRD) ピークは単相の立方晶系  $\text{Y}_2\text{O}_3$  に帰属された。XRD による同定は TEM の SAED による解析結果にも対応した。

拡散反射スペクトルには、260 nm と 330 nm に吸収ピークが見られ、それぞれ  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$  の電荷移動遷移と  $\text{Bi}^{3+}$  の  $6s^2 \rightarrow 6s6p$  遷移に帰属される。一方、可視光域に吸収ピークは見られなかった。612.4 nm の蛍光を測定して得た励起スペクトルには、300–400 nm に  $\text{Bi}^{3+}$  の  $6s^2 \rightarrow 6s6p$  遷移による幅広い励起ピークが見られた。一方、近紫外域での最適励起波長 331.4 nm で励起して得た蛍光スペクトルには、 $\text{Eu}^{3+}$  の  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  遷移による赤色蛍光ピークが 612.4 nm に観測された。これより、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$  ナノシートは、近紫外光で  $\text{Bi}^{3+}$  が励起され、 $\text{Bi}^{3+}$  から  $\text{Eu}^{3+}$  へのエネルギー移動を経て、 $\text{Eu}^{3+}$  が赤色に発光することが示された。蛍光量子収率は 13.7 % であった。

### (2) ナノシート膜の特性評価

印加電圧 2.5 V、堆積時間 5 min で作製したナノシート膜の表面および断面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像を図 2 に示す。ナノシートは基板上に均一かつ密に堆積した。膜表面の SEM 像より、堆積したナノシートの間に空隙が見られた。この原因のひとつとして、分散媒である水の電気分解による気泡の発生が考えられる。水の理論電解電圧は 1.23 V であるため、印加電圧 2.5 V の条件では水の

電気分解が起きる可能性がある。しかし、膜表面および内部に肉眼で確認できる大きさの気泡は存在しなかった。過電圧により水の電気分解が抑制されたことや、ナノシート間にできた空隙が発生した微小な気泡の抜け穴になり、気泡の成長が抑制されたことなどが考えられる。膜断面の SEM 像より、堆積時間 5 min の条件で作製した膜は厚さが 1.7  $\mu\text{m}$  で均一に堆積した。断面の堆積状態の乱れは、SEM 観察のため膜試料を破断した際に生じたと考えられる。

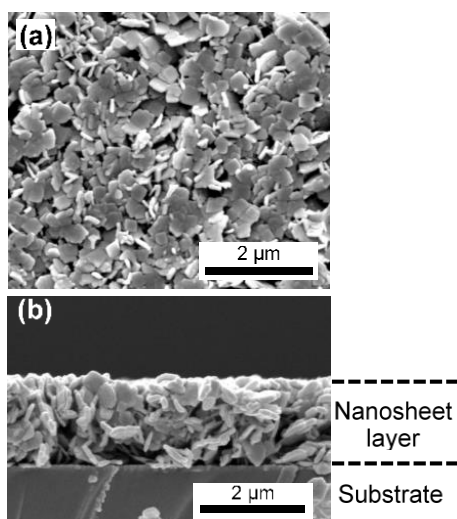


図2 ナノシート膜の(a)表面および(b)断面の SEM 像

印加電圧 2.5 V、堆積時間 5 min で作製した膜に PVP コートを施した PVP コート膜の表面と断面の SEM 像を図3に示す。ナノシート膜は、膜厚が約 2  $\mu\text{m}$  で滑らかな表面を持つ PVP 膜によって被覆されていた。

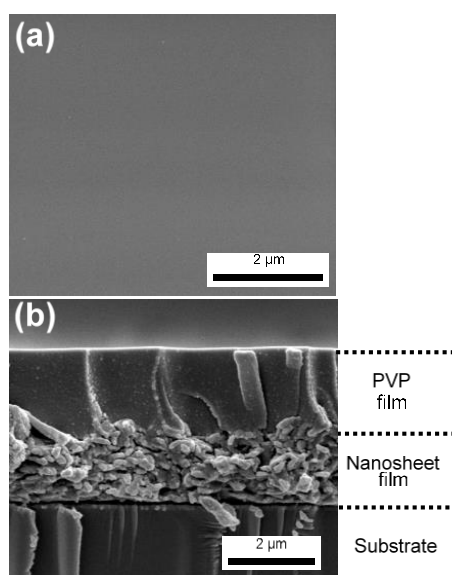


図3 PVP コートしたナノシート膜の(a)表面と(b)断面の SEM 像

PVP コート前の膜は見た目に半透明であるが、PVP コート後の膜は見た目に無色透明となった。図4に示すように、PVP コート前の膜の可視光域の透過率は 50%以下であったが、PVP コート後の膜の可視光域の透過率は 70%以上であった。

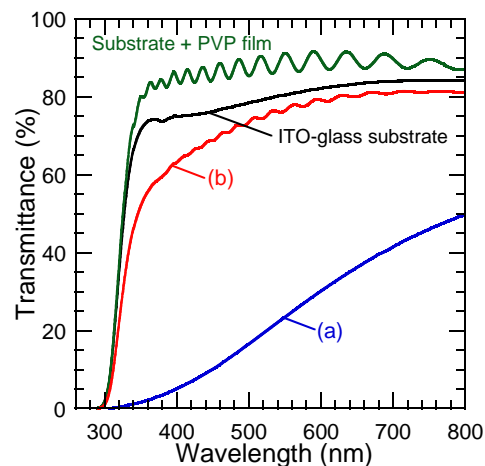


図4 (a) PVP コート前と(b) PVP コート後のナノシート膜の透過スペクトル

PVP コート膜の透過スペクトルが波状となっているのは、滑らかな表面と均一な膜厚を持つ PVP 膜による光の干渉の影響である。透過率が改善した理由のひとつに、ナノシート膜よりも低い屈折率を持つ PVP 膜による反射防止効果が考えられる。Fresnel の式より、垂直に入射する光の反射率は2つの媒質間における屈折率差に依存する。可視光域における PVP の屈折率は $\sim 1.5$ であり、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ の屈折率( $\sim 1.9$ )よりも空気の屈折率(1.0)に近い。さらに、ナノシート膜の粗い表面が滑らかな PVP 膜に被覆され、ナノシート膜表面の空隙を埋めたことにより光散乱が抑制されたことも理由として考えられる。PVP コート膜の透過スペクトルと基板に直接 PVP コートした試料との透過スペクトルの差は、短波長側になるほど大きくなった。Rayleigh 散乱の理論より光散乱強度は波長の4乗に反比例するため、短波長側ほど透過率への影響が増大する。これより、PVP コート後においても、ナノシート膜における光散乱の影響は完全に除去されていない可能性がある。

PVP コートにより膜の蛍光強度は減少した。PVP による吸収はほとんど 300 nm 以下にしかないため、PVP によりナノシート膜の励起光や蛍光が吸収されることはないと考えられる。そのため、蛍光強度の減少は、PVP コートにより励起光の多重散乱が抑制されたためと考えられる。

連続的に励起光を照射したときの蛍光強度変化を図5に示す。PVP コート前の膜では、612.4 nm における蛍光強度は、330.1 nm の励起光を 180 min 照射した後も初期強度の 102%を維持した。PVP コート膜では、612.4 nm における蛍光強度は、332.0 nm の励起光

を 180 min 照射した後も初期強度の 98% を維持した。これより、PVP コート膜も高い光安定性を持つことが明らかにされた。

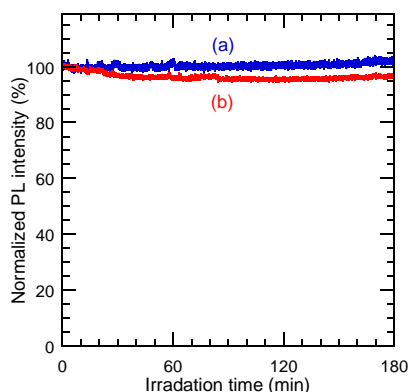


図 5 連続的に励起光を照射したときのナノシート膜の蛍光強度変化. (a) PVP コート前, (b) PVP コート後.

(3) ナノシート膜が c-Si 太陽電池に与える影響

疑似太陽光を用いて、膜試料および ITO 被覆ガラス基板を接着した c-Si 太陽電池の I-V 曲線を測定した。その結果を表 1 に示す。

表 1 c-Si 太陽電池の測定結果

	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (mA)	$\eta$ (%)	$\Delta\eta$ (%)
ガラス基板のみ	2.29	36.2	9.32	-
PVP コート前	2.30	34.9	9.03	-3.11
PVP コート後	2.30	37.6	9.72	4.29

開放電圧( $V_{oc}$ )は常に一定であったが、短絡電流( $I_{sc}$ )の値は試料によって変化した。PVP コート膜を設置したときに最大の  $I_{sc}$  値が得られた。光電変換効率( $\eta$ )は  $I_{sc}$  の値によって変化する。 $\eta$  の相対的な変化( $\Delta\eta$  (%))を以下の式より算出した。

$$\Delta\eta = \frac{\eta(N) - \eta(G)}{\eta(G)}$$

$\eta(N)$  と  $\eta(G)$  は、それぞれ膜試料と、ITO 被覆ガラス基板を設置したときの c-Si 太陽電池の  $\eta$  である。PVP コート前の膜試料の場合  $\Delta\eta$  は -3.11% であった。可視光域における透過率が低いことから、負の値になったと考えられる。一方、PVP コート後の膜試料の場合  $\Delta\eta$  は 4.29% であった。これは、膜の可視光域における透過率が PVP コートにより改善されたことが主な要因として考えられる。PVP コート前後の膜の正味の光学密度を、膜試料の光学密度から基板の光学密度を差し引くこ

とで求めたところ、PVP コート後の膜には  $\sim 330$  nm に  $\text{Bi}^{3+}$  の吸収ピークが見られた。そのため、波長変換効果が  $I_{sc}$  および  $\eta$  に寄与した可能性も考えられる。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) Yuta Kosuge, Yoshiki Iso, Tetsuhiko Isobe, Electrophoretically deposited  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  nanosheet films with high transparency for near-ultraviolet to red light conversion, *Langmuir*, 査読有, Vol. 34, 2018, pp. 3813-3820  
DOI:10.1021/acs.langmuir.7b04334
- (2) Tomotaka Watanabe, Yoshiki Iso, Tetsuhiko Isobe, Synthesis of  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  nanosheets from layered yttrium hydroxide precursor and their photoluminescence properties, *RSC Adv.*, 査読有, Vol. 7, 2017, pp. 14107-14113  
DOI:10.1039/C7RA01114H

[学会発表] (計 9 件)

- (1) 小菅 裕太, 磯 由樹, 磯部 徹彦, PVP コート  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  ナノシート電気泳動堆積膜の作製・特性評価・太陽電池応用, 2018 年 1 月 11 ~ 12 日, 第 56 回セラミックス基礎科学討論会 (つくば国際会議場)
- (2) 小菅 裕太, 磯 由樹, 磯部 徹彦, 電気泳動堆積法による  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  蛍光ナノシートの膜の作製と透光性の改善, 2017 年 3 月 14 ~ 17 日, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (パシフィコ横浜)
- (3) 磯 由樹, 磯部 徹彦, 希土類ドーピング型  $\text{Y}_2\text{O}_3$  蛍光ナノシートの開発, 2017 年 2 月 17 日, 第 366 回蛍光体同学会講演会 (化学会館, 東京)
- (4) Yoshiki Iso, Takuya Matsunaga, Keisuke Fujita, Yuta Kosuge, Tetsuhiko Isobe, Synthesis and characterization of  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Ln}^{3+}$  (Ln =Eu, Yb) fluorescent nanosheets, 2016 年 11 月 28 日 ~ 12 月 1 日, Phosphor Safari 2016 (Hong Kong, China)
- (5) Yuta Kosuge, Yoshiki Iso, Tetsuhiko Isobe, Fabrication of  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  fluorescent nanosheet films by electrophoretic deposition, 2016 年 10 月 2 ~ 7 日, PRiME2016 (Honolulu, Hawaii)
- (6) Yoshiki Iso, Takuya Matsunaga, Yuta Kosuge, Tetsuhiko Isobe, Near-UV  $\rightarrow$  red down-shifting  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  nanosheets for solar cells, 2016 年 4 月 17 ~ 21 日,

Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy (MCARE2016)  
(Clearwater, Florida, USA)

- (7) 小菅 裕太, 磯 由樹, 磯部 徹彦, 電気泳動堆積法による  $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}$  蛍光ナノシートの積層膜の作製, 2016年3月19~22日, 第63回応用物理学会春季学術講演会 (東京工業大学・大岡山キャンパス)
- (8) 渡邊 智貴, 松永 拓也, 磯 由樹, 磯部 徹彦, 層状水酸化イットリウム前駆体を用いた  $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}$  ナノシートの作製と蛍光特性, 2015年9月13~16日, 第76回応用物理学会秋季学術講演会 (名古屋国際会議場)
- (9) Tomotaka Watanabe, Takuya Matsunaga, Yoshiki Iso, Tetsuhiko Isobe, Synthesis of  $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}$  nanosheets from layered yttrium hydroxide precursor and their photoluminescent properties, 2015年7月27~30日, International Symposium on Phosphor Materials 2015 (Phosphor Safari 2015) (Niigata)

[その他]

ホームページ

<http://www.applc.keio.ac.jp/~isobe/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯部 徹彦 (ISOBE, Tetsuhiko)  
慶應義塾大学・理工学部・教授  
研究者番号: 30212971

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし