慶應義塾大学学術情報リポジトリ Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	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					
Sub Title	Preparation, characterization, and application of near-UV → red conversion fluorescent nanosheets					
	and their composite films					
Author	磯部, 徹彦(Isobe, Tetsuhiko)					
Publisher						
Publication year	2018					
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2017.)					
JaLC DOI						
Abstract	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Y2O3:Bi3+,Eu3+ナノシートを作製した。ポリエチレンイミ 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をコー 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。 Y2O3:Bi3+,Eu3+ 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 Y2O3:Bi3+,Eu3+ 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.					
Notes	研究種目 : 基盤研究(C)(一般) 研究期間 : 2015~2017 課題番号 : 15K04612 研究分野 : ナノ蛍光体材料					
Genre	Research Paper					
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_15K04612seika					

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって 保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

科学研究費助成事業 研究成果報告書

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 -> 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Y203:Bi3+,Eu3+ナノシートを作製した。ポリエチレンイ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をコーティングした。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):Y203:Bi3+,Eu3+ 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 Y203:Bi3+,Eu3+ 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50nm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)

 近紫外光を赤色光へ変換する YVO₄:Bi³⁺,Eu³⁺ナノ蛍光体の開発と問題点

粒子径 10 nm 程度の YVO₄:Eu³⁺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 Bi³⁺を YVO₄:Eu³⁺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 YVO4:Bi³⁺,Eu³⁺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 Bi³⁺や Eu³⁺ の組成の均一性の高い YVO4:Bi³⁺,Eu³⁺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 、 YVO₄:Bi³⁺,Eu³⁺ 蛍光ナノ粒子の1次粒子の大 きさは約10nm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 YVO₄:Bi³⁺,Eu³⁺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・撹拌処理後、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ーン変性ア クリル樹脂ナノ粒子と YVO₄:Bi³⁺,Eu³⁺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、 YVO4:Bi³⁺,Eu³⁺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、 V^{5+} が 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. Electochem. 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、YVO₄:Bi³⁺,Eu³⁺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) Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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。

①Vのような酸化数が変動しやすい元素を含まない蛍光体母体を選択する。

②Bi³⁺の 6s-6p 遷移は許容であるために遷移
 確率が高く、かつ、Bi³⁺から Eu³⁺へのエネル
 ギー移動は効率よく起こるので、Bi³⁺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、Bi³⁺の 6s-6p 遷移が紫外域に位置し、半導体ではない Y₂O₃ を蛍光体母体にすること、すなわち、「Bi³⁺と Eu³⁺をドープした Y₂O₃ (Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺)」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ミクロン粒子 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 $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}+ノシートを作製した。つぎに、$ ポリエチレンイミン(PEI)を吸着させて正に $帯電した<math>Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}+ノシートの分散液$ 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。

研究の方法

Y(NO₃)₃·6H₂OとEu(NO₃)₃·6H₂Oを溶解した 水溶液をBi(NO₃)₃·5H₂O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4h 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、一晩凍結乾燥した。 得られた前駆体を 600°C で 2h 焼成し、 $Y_2O_3:Bi³⁺,Eu³⁺ナノシートを得た。$

 $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}$ ナノシートをPEI 水溶液に分散させ、1M 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⁻²)下で電流-電圧 (I-V)特性を測定した。

また、YCl₃・6H₂O 0.44 mmol、BiCl₃ 0.05 mmol、EuCl₃・6H₂O 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 Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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) Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ナノシートの特性評価

図1に Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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 Y₂O₃の(400)と(440)に帰属された。



図1 Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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 Y₂O₃ 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 $O^{2-} \rightarrow Eu^{3+}$ の電荷移動遷移と 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 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、 Eu^{3+} の $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ 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、 $Y_2O_3:Bi^{3+},Eu^{3+}$ ナノシートは、近紫外光で Bi^{3+} が励起され、 Bi^{3+} から Eu^{3+} へのエネルギー移 動を経て、 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 μm 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 μm 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~1.5 であり、Y₂O₃の屈折 率(~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						
	$V_{ m oc}$	$I_{\rm sc}$	η (%)	<i>∆η</i> (%)		
	(V)	(mA)				
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_{∞})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(η)は I_{sc} の値によって変 化する。 η の相対的な変化($\Delta\eta$ (%))を以下の式 より算出した。

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

 η (N)と η (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 η 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 ~330 nm に Bi³⁺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 η 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)

- Yuta Kosuge, Yoshiki Iso, <u>Tetsuhiko Isobe</u>, Electrophoretically deposited Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ 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, <u>Tetsuhiko</u> <u>Isobe</u>, Synthesis of Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ nanosheets from layered yttrium hydroxide precursor and their photoluminescence properties, RSC Adv., 查読有, Vol. 7, 2017, pp. 14107-14113 DOI:10.1039/C7RA01114H

〔学会発表〕(計 9件)

- 小菅 裕太,磯 由樹,<u>磯部 徹彦</u>, PVP コート Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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,<u>磯部 徹彦</u>,電 気泳動堆積法による Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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, <u>磯部 徹彦</u>, 希土類ドープ型 Y₂O₃ 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, <u>Tetsuhiko Isobe</u>, Synthesis and characterization of Y₂O₃:Bi³⁺,Ln³⁺ (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, <u>Tetsuhiko Isobe</u>, Fabrication of Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ fluorescent nanosheet films by electrophoretic deposition, 2016 年 10 月 2 ~ 7 日, PRiME2016 (Honolulu, Hawaii)
- (6) Yoshiki Iso, Takuya Matsunaga, Yuta Kosuge, <u>Tetsuhiko Isobe</u>, Near-UV \rightarrow red down-shifting Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ 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,<u>磯部 徹彦</u>,電 気泳動堆積法による Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ 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) 渡邉 智貴, 松永 拓也, 磯 由樹, <u>磯</u> <u>部 徹彦</u>, 層状水酸化イットリウム前駆 体を用いた Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺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, <u>Tetsuhiko Isobe</u>, Synthesis of Y₂O₃:Bi³⁺,Eu³⁺ 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