

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2013

課題番号：24685031

研究課題名(和文)超二次元ナノ結晶を用いた発光素子の開発

研究課題名(英文)Development of two-dimensional nanosheet for light emitting device

研究代表者

伊田 進太郎 (Iida, Shintaro)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70404324

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円、(間接経費) 5,790,000円

研究成果の概要(和文)：ナノシートとは二次元平面の単結晶子であり、その厚さは約1ナノメートルである。ナノシートの厚さは単分子レベルであるため、量子閉じ込め効果に代表されるバルクには見られない様々な物性を示す。ナノシート研究はまだ新しく、そのため、新しい物性が期待される新しい材料である。本研究では光機能性ナノシートの発光素子などへの新規応用を目指して、ナノシートpn接合、窒素ドープナノシートの作製、p型ナノシートの作製、濃度消光を示さない蛍光ナノシートの作製及び、ナノシートの基礎電子物性の測定を目的とした。

研究成果の概要(英文)：Nanosheet is a two-dimensional material with a thickness of 1 nm. Since the thickness corresponds to the size of a molecule, it shows various physical properties such as a quantum size effect that a bulk material does not show. The study of nanosheet has just begun, and therefore, a new physical property and function are expected. In this study, we focused on the optical and/or light conversion properties of nanosheet. Preparation of nanosheet pn-junction, nitrogen-doped oxide nanosheet, p-type nanosheet, and luminescent nanosheet without quenching were performed.

研究分野：機能材料・デバイス

科研費の分科・細目：光学材料・素子

キーワード：ナノシート 希土類 蛍光 層状化合物 テルビウム ユーロピウム 濃度消光 発光素子

1. 研究開始当初の背景

ナノシートとは、ホスト層とゲスト種からなる層状化合物を水溶液中で剥離することによって得られる二次元平面の単結晶子であり、その厚さはホスト層 1 層の厚さ (約 1nm) とほぼ一致する。例えば、層状ペロブスカイトである $\text{Bi}_2\text{SrTa}_2\text{O}_9$ は、酸処理、アミン系界面活性剤処理を経て、ナノシートに剥離される。ナノシートの厚さは単分子レベルであるため、量子閉じ込め効果に代表されるバルクには見られない様々な物性を示す。また、ナノシートは電荷を帯びているため、交互積層法などの薄膜作製法により、ナノシートを緻密に基板の上に積層させることができ、複数のナノシートやイオン・錯体を任意の組み合わせで周期的に積層させることも可能になっている。

現在、ナノシートの発光という観点に特化して、研究を行なっている。これまでの具体的な研究成果としては、赤、緑、青の光の 3 原色に発光するペロブスカイト型酸化物の発光ナノシートを開発している。これらはいずれもホスト遷移金属酸化物のバンドギャップ光励起から発光中心への特異的エネルギー移動に基づく。また、ナノシートと層間希土類イオンを変化させて積層することにより、種々の色が組み合った発光に成功している。さらに、光電気化学を組み合わせることにより、発光の電圧制御にも成功した。その他、プロトンの吸着によってナノシート発光強度が大きく変化することを発見している。これは、表面から構成されていると言ってもよいナノシートの発光が、表面に吸着した化学種に強く影響を受けやすいことを意味している。我々は、このような蛍光ナノシートを用いて、厚さ nm サイズの発光素子の開発や、光エネルギー変換材料、蛍光塗料などへの展開が期待できると考えている。

2. 研究の目的

2 - 1 : 新規蛍光ナノシートの作製と、蛍光ナノシートの基礎電子物性の評価 :

デバイスの作製にはナノシートのライブラリの充実が不可欠であり、新しい蛍光ナノシートとして新しく酸窒化物ナノシートの作製方法を開発することを目的とした。また、これまで作製した蛍光ナノシートの物性は主にフォトルミネッセンス特性程度しか明らかになっておらず、蛍光ナノシートを用いて光電子デバイスを作製するためには、ナノシートのキャリアタイプ、キャリア濃度などの電子物性がそのデバイス設計の重要な指針になる。そのため、本研究ではこれまでに作製した半導体ナノシートの上記の電子物性を明らかにすることを目的とする。特に、ナノシートは量子サイズ効果によりバルク体と比較してバンドギャップが大きくなることが報告されており、本研究で求めるナノシートの基礎電子物性は、ナノシートの本質を理解する上で重要な結果をもたらすと考

えている。

2 - 2 : p 型ナノシートの作成

階層的な層状構造は、発光素子の設計・作製には不可欠であり、単結晶である異種ナノシートを積層して得られる層状構造は、その実現に大きく寄与する可能性を持っている。

しかしながら、ナノシートの積層に関して以下のような課題がある。1) ナノシートは形状がさまざまであり、集積化時に密にパッキングすることが困難である。2) ナノシートを用いた、光エネルギー変換素子や発光素子などを実現するためには、p 型、n 型酸化物半導体ナノシートが必要となるが、p 型半導体特性を示す単層膜または積層膜は殆ど報告されていない3) ナノシート積層膜を熱処理してナノシート間に化学結合を形成させると、多結晶膜になってしまう。本研究では、水酸化ニッケルナノシートを用いて、p 型特性を示す (111) 配向した酸化ニッケルナノシート膜の作成を目指した。

2 - 3 ナノシート pn 接合の作成

厚みが 1nm 程度の n 型半導体と p 型半導体を張り合わせた超薄膜ヘテロ pn 接合の作製し、単結晶ナノシートを張り合わせることで一般的な pn 接合のようなキャリアの拡散が接合界面で起こるかを確認することを目的とした。サイエンスとしての本研究の意義としては、膜厚が非常に薄い (1nm) p 型、n 型の異種半導体接合の作製とその界面の利用である。pn 領域が空乏層形成に必要な厚みよりも非常に薄い場合、電子密度は離散的になり量子井戸型構造をとる。このような構造では、電子のエネルギー緩和がバルク中と比べて遅くなることが知られており、新しい原理の発光素子が提案できる可能性がある

また、禁制帯幅の異なる半導体のヘテロ接合型の超薄膜発光デバイスを実験的に作製する場合、一般的な成膜方法では、格子の不整合、界面不純物層の形成や、物質の拡散などの影響により理想的なヘテロ pn 単結晶接合構造を形成することは難しい。一方、ナノシートは単結晶かつ、厚みが 1nm 程度であることから、p 型、n 型ナノシートを張り合わせた接合は、その光・電子物性を評価する上で、非常によい実験モデル構造となると考えている。

3. 研究の方法

窒素ドープ酸化物蛍光体ナノシートの作製 : 出発の層状酸化物として、RE-doped $\text{CsA}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$, RE: Eu and Tb, A: Ca and Sr を以下のように作成した。Cs, A(Ca or Sr), RE(Eu or Tb), Ta のモル比が 1.2:1.9:0.1:3.0 となるように、 Cs_2CO_3 , Ca_2CO_3 , SrCO_3 , $\text{Eu}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, $\text{Tb}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, Ta_2O_5 粉末を秤量し、イオン交換水中に分散させ、その後、加熱して水分を蒸発させ、450 で蒸発乾固

させた。得られた粉末をメノウ乳鉢で混合した後、1100 °C で 10 時間焼成することで出発の層状酸化物を得た。作製した層状酸化物をアンモニア気流中 800 °C で 6 時間熱処理することで、目的の層状酸窒化物を得た。得られた層状酸化物及び、層状酸窒化物を 5 M HNO₃ 100 mL 中で 7 日間攪拌することで層間の Cs⁺ を H⁺ と交換した。この溶液をイオン交換水で洗浄・遠心分離後、室温で乾燥させ、プロトン体を得た。次に、得られたプロトン体を 0.025 M エチルアミンもしくは、テトラブチルアンモニウムヒドロキシル溶液 50 mL 中で 7 日間攪拌し、アミンを層間にインターカレーションさせることで層状構造を剥離した。その後、遠心分離(3000rpm)で未剥離の層状酸化物を沈殿させ、その上澄みを回収してナノシートの分散溶液とした。

(111) 配向 p 型 NiO₂ ナノシート膜および、ナノシート pn 接合の作製：

NiO₂ ナノシート膜は水酸化ニッケルナノシートを經由して以下のように作成した。水酸化ニッケルナノシートは、均一沈殿法により合成した層間にドデシル硫酸イオンがインターカレートした層状水酸化ニッケルを剥離させ調整した。剥離においては、層状水酸化ニッケル 50mg をホルムアミド 50ml に分散させ超音波で 20 分間処理して剥離した。調整したナノシート溶液は超高速遠心分離して、沈殿物にエタノール(50ml)を注ぎ超音波で 60 分間処理し、Ni(OH)_{2-x} ナノシートのエタノール分散液を得た。Ni(OH)_{2-x} ナノシートは厚さ 1nm 幅 700nm 程度であった。Ni(OH)_{2-x} ナノシートの膜は LB 法を用いて作製した。基板は Si、石英、Si に Ti20nm, Pt200nm をスパッタさせた基板を用いた。Ni(OH)_{2-x} ナノシートのエタノール分散液 4cm³ を mill-Q 水 296cm³ と混合し、LB 装置のトラフに展開した。30 分静置後、バリアを 0.6mm/sec で 13mN/mm まで圧縮し、基板を水面に平行にして上部から表面に浮いている水酸化ニッケルナノシートを基板に転写した。基板は室温で乾かし、これらの操作を繰り返して、1~7 層 Ni(OH)_{2-x} ナノシート膜を得た。作製した Ni(OH)_{2-x} ナノシート膜は空气中で 400 °C 1 時間焼成することで、NiO ナノシート膜を得た。ナノシート pn 接合は、n 型として Ca₂Nb₃O₁₀ ナノシートを用いて LB 法により作成した。

4. 研究成果

窒素ドーパ酸化物ナノシートの作製：

Fig.1 にはナノシートの出発層状体として作製した Non-doped CsCa₂Ta₃O₁₀ の XRD パターンを示す。この層状酸化物をアンモニア気流中で焼成することで、窒素ドーパ CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y を得た。窒化処理前後で XRD パターンにほぼ変化は無く、結晶相 (P4/mmm) を保ったままであった(a =

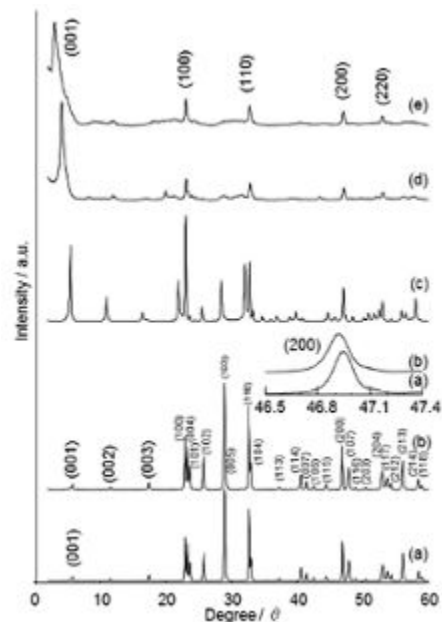


Fig.1 XRD パターン(a) CsCa₂Ta₃O₁₀、(b) CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y (c) HCa₂Ta₃O_{10-x}N_y (d) EA-intercalated Ca₂Ta₃O_{10-x}N_y (e) TBA-intercalated Ca₂Ta₃O_{10-x}N_y (reproduced from ref 1.)

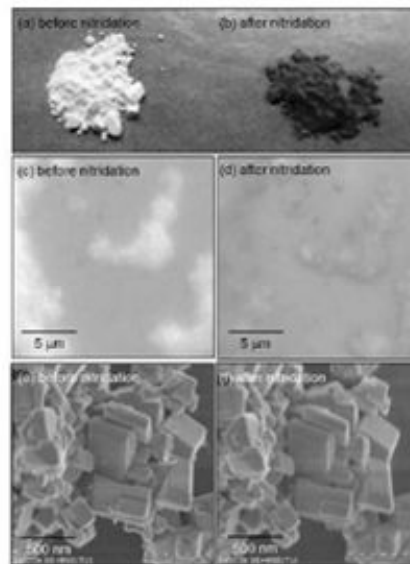


Fig.2 (a)、(b)窒化処理前後の CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y (c)、(d)光学顕微鏡で見た窒化処理前後の CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y、(e)、(f)FE-SEM で見た窒化処理前後の CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y (reproduced from ref 1.)

0.38672 nm、c = 1.55323 nm)。しかし、Fig.1 (a)、(b)に示すように面内方向のピークに関しては窒化処理することによって少し膨張した(a = 0.38683 nm)。CsCa₂Ta₃O_{10-x}N_y の TG/DTA 分析の結果より、空气中でサンプルを 20 から 800 の範囲で加熱すると重量が 0.389 %増加することが分かった。これは、置換された窒素が加熱によって酸素に置

換されたためであると考えられる。このため、2 個の窒素の抜け出しに対し、3 個の酸素が供給されるので、約 2%の窒素が置換されている計算になる。また、電荷の中性条件を考えると、 $\text{CsCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ の組成は $\text{CsCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{9.7}\text{N}_{0.2}$ と定まった。Fig.1(c)はプロトン交換後、Fig.1d はエチルアミン (EA) インターカレーション反応後、Fig.1e はテトラブチルアンモニウムヒドロキシリオン (TBA^+)をインターカレーションした後(ナノシート粉末)のサンプルの XRD パターンを示す。EA と TBA イオンをインターカレーションした試料は(001)面由来のピークが低角度側にシフトした。これは層間に有機アミンがインターカレーションしたためである。単層のナノシートは TBA 処理後には観察されたが、EA 処理後では観察されなかった。また、プロトン体に TBA^+ イオンを挿入することはできなかった。これは EA の方がイオンサイズが小さく、またアミノ基が炭素鎖に囲まれていないことから、層間に含まれるプロトンとルイス酸・塩基反応を起こしたためであると考えられる。EA が挿入されたことによって、層間が拡がり TBA^+ イオンも挿入することができるようになったと考えられる。窒化処理前後で XRD パターンに変化はなかったが、光学顕微鏡や FE-SEM を用いても確認を行った。測定についてはアルミナ基板上に粉末を乗せ、そのまま窒化処理を行った。Fig.2 には窒化処理前後の出発物質の写真(a)、(b)と光学顕微鏡像(c)、(d)、そして FE-SEM 像(e)、(f)を示す。窒化処理を行うことによって、粉末は白から橙に変化した。FE-SEM 像に変化は無く、結晶構造を維持したまま窒化反応が起きたことを確認した。また、結晶粒径のサイズは約 $0.1 - 0.5\mu\text{m}$ であった。光学顕微鏡像と写真で若干色が異なるのは、CCD カメラのフィルターの影響である。Fig. 3 には Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ ナノシートの AFM 像を示す。Tb をドーピングしてもナノシートの合成が確認できた。Fig.4 に作成したナノシート粉末の PL スペクトルを示す。Tb³⁺に特有の 4 本のシャープな発光スペクトルが観察された。窒化処理された N-doped 酸化物ナノシートと酸化物ナノシートで目視では蛍光色に大きな違いが観察されたが、スペクトル上では殆ど変化がなかった。Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ ナノシート分散液溶液はオレンジ色であり、紫外線を照射すると黄色を示した。通常、Tb³⁺を含む蛍光体は緑色発光を示すが、Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ ナノシートでは母結晶がオレンジ色を呈しているため、緑色発光とそれ自体のオレンジ色が合わさって目視では観察されるため、黄色に見えると考えられる。このような特性は偽造防止用のインクとして使用できる可能性があり、今後さらに研究を進めて行く予定である。

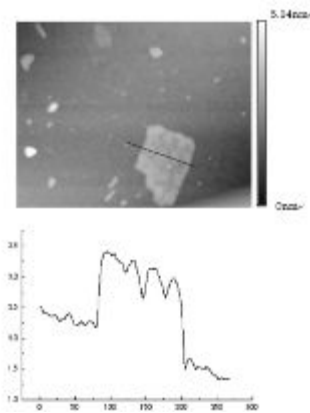


Fig. 3 AFM image of Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ nanosheet.

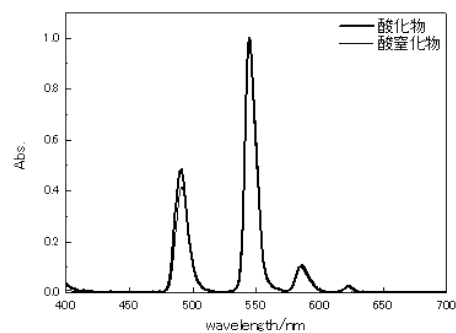


Fig.4 Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ ナノシート (酸窒化物)及び、Tb-doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ナノシート (酸化物)の PL スペクトル。

(111)配向 p 型 NiO_2 ナノシート膜の作製 :
 Figure.5a に $\text{Ni}(\text{OH})_{2-x}$ ナノシート分散溶液を遠心分離 (12000rpm, 1h) して得られたナノシート沈殿物を 400 ℃ 1 時間空气中で焼成した後の粉末 XRD パターンを示す。すべてのピークが NiO に帰属され、焼成により $\text{Ni}(\text{OH})_{2-x}$ ナノシートから NiO が生成することを確認した。Figure.5b-5e に $\text{Ni}(\text{OH})_{2-x}$ ナノシート積層膜 ($n=1, 3, 5, 7$) の 400 ℃ 1 時間大気中で焼成後の XRD パターンを示す。先に述べたように、 $33^\circ, 61^\circ, 69^\circ$ の回折ピークは Si 基板に由来する。ナノシート沈殿物を熱処理した場合と異なり、回折ピークは 37.343° のみに現われた。これは、 NiO の (111) 面ピークに対応する。つまり、生成した NiO nanosheet 膜が (111) 方向に配向していることが示された。(111) 回折の面間隔は 0.24nm であり、AFM によって観察された膜厚 ($0.3-0.4\text{nm}$) と大体一致した (Fig.5f)。 (001) 方向に配向した膜の焼成により (111) 面に配向した膜が得られるという結果は、層状水酸化コバルトや希土類層状水酸化物の単層膜において既に報告がされている。脱水プロセスにおいて、Co や希土類は酸素による 6 配位 8 面体構造は変わらず、酸化物膜の (111) 方向から見た金属の配位や配置は層状水酸化物膜の (100) 方向か

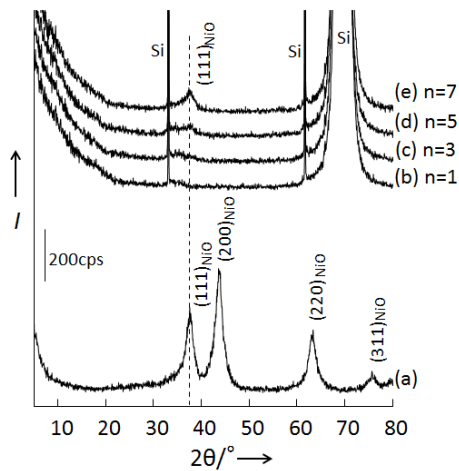


Fig.5 (a) 遠心分離で沈殿させた $\text{Ni}(\text{OH})_{2-x}\text{ns}$ を 400 1 時間大気中で焼成した粉末の XRD パターン . Si 基板上に積層させた NiO 膜(1~7 層)の XRD パターン (b)1 層, (c)3 層, (d)5 層, (e)7 層 .

ら見たそれらと酷似しており、見かけ上のトポタクティク変換と理解されている。今回の水酸化ニッケルナノシートの場合も同じ原理による見かけ上のトポタクティク変換であると言える。ただ、異なっているのは、先行研究は層状水酸化物を用いた膜であり、我々はそれを単層まで剥離したナノシートを用いた膜で行った点である。一度剥離して無秩序となったナノシートを LB 法により基板に(001)方向に配向させ、積層させて焼成により再び秩序を与えることで(111)方向に配向した膜を得ることができた。また、作成した NiO ナノシートは p 型半導体に典型的な光カソード電流を示した。我々の知る限り、これは p 型酸化物半導体の単層ナノシートまたは多層ナノシートでは初めての報告である。

ナノシート pn 接合の作製 :

ナノシート pn 接合がた発光素子を作成するにあたり、実際に超薄膜 pn 接合が可能かどうかまず最初に検証した。Fig.6 は P 型特性を示す NiO ナノシートと n 型特性を示す $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ (CNO) ナノシートが接合した箇所の TEM 像、AFM 像、SAED パターンである。厚さ 1.4nm の CNO シートと厚さ 0.3nm の NiO シートが単層で接合しており、接合部の電子線回折パターンは、NiO シートの(111)配向に由来する六角形状に広がった回折と、CNO シートの(001)配向に由来する正形状に広がった回折が混在した 2 種類の回折パターンが得られた。これらの結果は単結晶同士の p 型 n 型シートが接合していることを支持する結果であり、ナノシートを積層することで、超薄膜 pn 接合膜が作成できることが確認した。

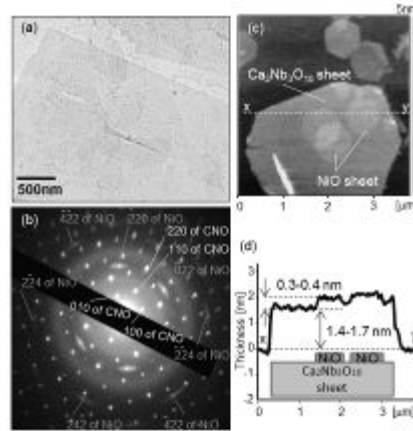


Fig. 6 ナノシート p-NiO ナノシートと n-CNO ナノシート pn 接合膜の (a) TEM 像, (b) SAED パターン, (c) AFM 像, and (d) AFM 像の断面プロファイル.

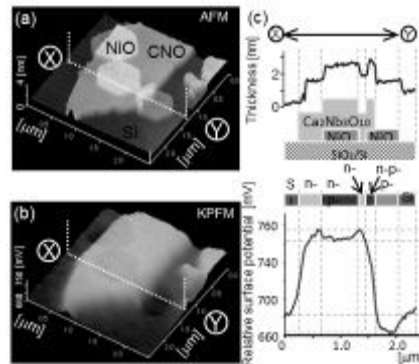


Fig.7 p 型-NiO シート/n 型の $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ シート積層箇所の AFM 像(a)と表面電位像(b)

次にナノシート pn 接合表面に通常の pn 接合のような電位勾配が形成されているかどうかをケルビンフォース顕微鏡 (KFM) 用いて確認した。Si 基板上に p 型の NiO シートを完全に覆うように n 型の $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ シートを積層させ、接合箇所の表面電位を KFM 測定により実施した。Fig.7 は p 型-NiO シート/n 型の $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ シート積層箇所の表面電位像である。測定表面はすべて n 型の $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ シートであるにもかかわらず、下地に p 型-NiO シートがあるところは表面電位が低下 (フェルミ準位が深くなる) している。これは、接合箇所で pn 接合が形成され $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ ナノシートのキャリアの一部が NiO 側に移動することにより表面電位(フェルミ準位)が変化したことを示している。つまり、非常に薄い p 型と n 型のナノシートを接合することで、両ナノシート内の自由キャリアが界面を飛び越えて、両者のフェルミレベルのバランスがとれるまで拡散したことを意味する結果であり、ナノシートの張り合わせにより極薄の pn 接合が形成できることを示唆している。

その他、ナノシートを用いて濃度消光を示さないナノシート蛍光体の開発を行った。母結晶として $\text{CsCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ を用いた。Fig.8 に $\text{CsCa}_{2-x}\text{Tb}_x\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ $x=0.1$ の時の励起・蛍光スペクトルを示す。 $x=0.001\sim 0.1$ まで蛍光励起スペクトルはほぼ一致していた。励起スペクトルの立ち上がりは、320nm 付近であり、紫外可視吸収のバンドギャップ吸収の立ち上がりとはほぼ一致した。蛍光スペクトルは可視領域に4個のピークを持つ Tb^{3+} 特有なスペクトルを示した。最大の蛍光強度を1として規格化すると、蛍光強度は、 Tb ドープ量が $x=0.005$ の時に最大値を示し、 Tb 濃度 $x=0.005$ から0.1の範囲では蛍光強度は減少した。一方、ドープ量0.1から0.3にかけては、蛍光強度は増加したが、 Tb^{3+} のドープ量が $x=0.2, 0.3$ では、不純物相を含んでいたため、層状体とナノシートの蛍光特性の比較は、 $x=0\sim 0.1$ の範囲で行なった。ナノシート分散溶液と層状化合物の蛍光強度を比較すると、ナノシートにすることで蛍光強度は1/10未満になった。これは、ナノシート溶液に含まれる水や TBA イオンの振動により消光が促進されたと考えられる。これはナノシートが表面原子のみで構成されているために周囲の影響を受けやすいことを示している。しかしながら、 Tb^{3+} の蛍光強度とドープ量の関係を見ると Tb の濃度が大きくなるほど、直線的に蛍光強度が大きくなり、出発の層状酸化物で見られた濃度消光は観察されなかった。層状構造ではホスト同士が近いために、両者が相互作用していると考えられる。一方、ナノシートの場合、両者は溶液中で剥離分散しているため、お互いの距離が層状体中のホスト層間の距離に比べて十分長く、相互作用しにくいと考えられる。そのため、濃度消光が観察されなくなったと考えられる。また、層状体の蛍光寿命は約2msであり、ナノシート分散溶液の寿命は約4msであった。両者とも寿命はmsと長く、ナノシートにすることで寿命はさらに長くなった。蛍光寿命がナノシートで長くなる機構は現在、調査中であるが濃度消光が観察されなくなった機構と関係していると考えられている。

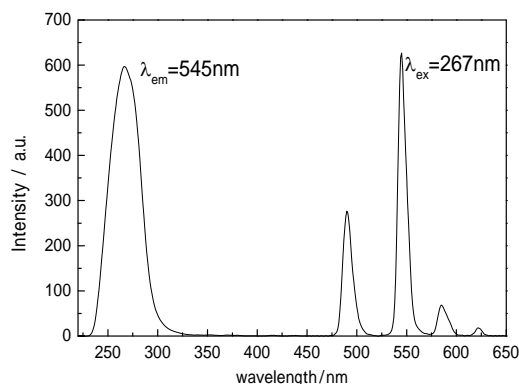


Fig. 8 $\text{CsCa}_{1.9}\text{Tb}_{0.1}\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ の蛍光スペクトル

本研究期間内に、窒素ドープ酸化物ナノシートを母体とする蛍光ナノシートの開発や、濃度消光を示さないナノシート蛍光体、p型特性を示すナノシートの合成に成功した。また、n型とp型のナノシートを張り合わせることで極薄のpn接合が形成可能であることが示された。これらの知見は今後のナノシートを用いた発光デバイスの開発に貢献すると考えられる。

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3件)

- 1) Ida, S., Takashiba, A., Koga, S., Hagiwara, H., Ishihara, T. "Potential gradient and photocatalytic activity of an ultrathin p-n junction surface prepared with two-dimensional semiconducting nanocrystals" *Journal of the American Chemical Society*, 136 (5), pp. 1872-1878 (2014)

他2報

[学会発表](計14件)

- 1) 伊田 進太郎, 二次元半導体ナノ結晶の作製とその光機能, 低温合成法による新機能性材料の創製(第10回), 2013.11.13.
- 2) S. Ida, S. Koga, Y. Okamoto, and T. Ishihara, Preparation of Tb^{3+} -doped $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_y$ Nanosheets by Exfoliation of Layered Compounds, International Symposium on Rare Earths 2012 in Okinawa for the 30th Anniversary of The Rare Earth Society of Japan, 2012.11.08.
- 3) 伊田 進太郎, ナノシートの形状を活かした光機能性材料の開発, 日本化学会「低次元系光機能材料研究会」第1回サマーセミナー(兼 西日本ナノシート研究会第1回シンポジウム), 2012.07.07.
- 4) 伊田進太郎, 岡本陽平, 萩原英久, 石原達己, 希土類ドープ層状酸窒化物の作製, 第29回希土類討論会, 2012.05.15.

他: 10件

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊田 進太郎(代表者)

研究者番号: 70404324