

研究種目：特別研究促進費
 研究期間：2004～2008
 課題番号：20900126（特定領域研究：16080211）
 研究課題名（和文）液相析出法による希土類系物質のパノスコピック形態制御と材料機能の高度発現
 研究課題名（英文）Panoscopic structural control and functionalization of rare-earth containing materials by the liquid phase deposition
 研究代表者
 出来 成人 (DEKI SHIGEHITO)
 神戸大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：10101065

研究成果の概要：

金属フッ化物錯体を前駆体とするソフト溶液プロセスである液相析出法による薄膜作製に対しては表面層の物性を活かした高機能発現に必要な薄膜形成反応プロセスにおける反応溶液組成・反応条件の最適化を試みた。特に、

- ・材料のマクロ的複合化技術、特に傾斜組成を有する薄膜設計の確立
- ・希土類含有物質の機能発現を目的とした組成の最適化
- ・金属ナノ粒子共存固定化による発光性希土類錯体の増強による機能化

の3点について検討を行ったところ、ナノコンポジットとしての複合系薄膜の機能を高次構造の構築によるパノスコピック材料としての薄膜高次構造化を行うことが可能となり、ナノコンポジットとしての複合系薄膜の機能を高次構造の構築において、より光学的物性制御に必要な空間的規則性を向上させるとともに、パノスコピック材料としての薄膜高次構造化手法を確立した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	24,900,000	0	24,900,000
2005年度	9,500,000	0	9,500,000
2006年度	2,900,000	0	2,900,000
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	2,000,000	0	2,000,000
総計	41,300,000	0	41,300,000

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：ナノ材料・複合材料・物性・表面・界面物性

1. 研究開始当初の背景

本研究は2004～2007年度に行われた特定領域研究「希土類系物質におけるパノスコピック形態制御と高次機能の発現」を継承することを目的に行われたものである。

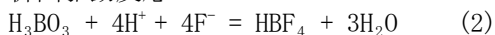
材料の機能性を生かした応用・展開を図る際には、一般的にその形状または形態に関する最適化が要求される。我々が従来開発を行ってきた湿式製膜法である液相析出法 (LPD法、*Liquid Phase Deposition*) は、液相と

いう凝縮系での環境低負荷型製膜溶液プロセスである。この反応は水溶液中における金属フルオロ錯体の加水分解平衡反応を利用した酸化物薄膜を基板上に直接合成する手法であり、一般に以下の反応で表すことができる。

析出平衡反応



析出駆動反応



このLPD製膜法は常温常圧下において反応が進行する溶液内反応であるため、極めて簡単な装置で合成可能であり、その短い平均自由行程により付き回り特性が良く、均一な組成の薄膜が形成され、基板形状追従性も非常に優れている。このLPD法は、単一組成の酸化物薄膜のみならず、すでに多相系酸化物薄膜・積層薄膜・組成傾斜化薄膜を作製することが可能であることを見出ししてきた。希土類イオンはフッ素との共存下において沈殿を生成することから、キレート錯体として溶存させ、他の酸化物との複合酸化物薄膜を生成しうる。このような組成を有する薄膜は、光電気化学・触媒化学エネルギー変換デバイス等の分野において広く研究が進められており、乾式法と比較しての優位性を見出されるとともに薄膜形状制御に優れた液相析出法による材料開発に期待が寄せられている。この成果を元に、希土類含有金属酸化物薄膜の構造制御による機能化に関する着想を得た。

さらに近年、発光性希土類錯体の発光現象について、金属ナノ粒子が有する表面増強場による発光強度の増大が認められることを見出した。この現象は従来、分散した金属粒子が発光性希土類錯体と共存した場合、消光効果のみを発現するのではなく、金属ナノ粒子の形状およびその配列の規則性を付与することにより、本来金属表面において認められる表面増強効果を利用して希土類錯体の発光現象を増強するという効果が見られるという現象である。この現象を生じる金属集合体構造をLPD法によって調製される金属含有複合系酸化物薄膜中に固定化し、発光強度の増大を希土類含有薄膜中で生じさせるという着想を得た。

本申請課題では、以上の研究により実証された成果を元に、界面上の反応において高い機能性が期待できる希土類およびその複合系薄膜の合成およびその機能発現に関する検討を行う。

2. 研究の目的

金属フッ化物錯体を前駆体とするソフト

溶液プロセスである液相析出法による薄膜作製に対しては表面層の物性を活かした高機能発現が期待されるが、その際に必要となることは、薄膜形成反応プロセスにおける反応溶液組成・反応条件の最適化である。本研究においては、これらの視点に立ち、

- ・材料のマクロ的複合化技術、特に傾斜組成を有する薄膜設計の確立
- ・希土類含有物質の機能発現を目的とした組成の最適化
- ・金属ナノ粒子共存固定化による発光性希土類錯体の増強による機能化

の3点について検討を行い、ナノコンポジットとしての複合系薄膜の機能を高次構造の構築によるナノスコピック材料としての薄膜高次構造化への基礎を形成した。

3. 研究の方法

(1) 材料の複合化技術、特に傾斜組成を有する薄膜設計の確立

液相析出法を用いることにより複合系酸化物薄膜の合成において前駆体となる反応溶液組成を連続的に変えていくことにより、析出時の組成が連続的に変化し、薄膜状傾斜材料を作製可能である。この傾斜組成を有する薄膜の組成制御、とりわけ希土類濃度の傾斜化を行い、薄膜の機能性傾斜材料(FGM)化を試み、その分光学的特性について検討した。また、液相析出法が高次構造セラミックスの調整を行うことが可能であることを利用し、異相系複合酸化物構造体を作成し、その組成と光学的特性について検討を行った。

(2) 希土類含有物質の機能発現を目的とした組成の最適化

本研究では、容易に薄膜の積層化が可能なLPDの特徴を生かして、これらの多元系薄膜の高機能化を目的とした組成の最適化を試みる。多元系酸化物薄膜の合成の際の反応速度は、均一系薄膜の場合とは異なることが予備的検討によって知られている。吸着種の分子振動・電荷移動について、分光学的測定により多元系薄膜の生成における反応過程について検討を試みる。最終的に、色素含有薄膜については含有色素の種類・組成・濃度等と薄膜物性の相関を顕微ラマン分光法により得、高機能化に必要な反応条件を見出すとともに、デバイス化に向け高次構造化した薄膜の調製を行った。

(3) 金属ナノ粒子共存固定化による発光性希土類錯体の増強による機能化

希土類錯体の発光現象においては、励起光に対してEu³⁺などの希土類イオンがエネルギー

ギーを吸収、エネルギー移動を受けると同時に、金属コロイドの表面に担持されていることから効果的な表面増強効果がもたらされる。本研究では、金属コロイド自身のプラズモン共鳴吸収時のエネルギー移動の阻害による消光と金属表面での被覆率の最適化がエネルギー移動における増強の2つの現象のバランスについて検討し、金属コロイド分散系における希土類錯体の発光機構の解明を目的とし、可視吸収分光分析装置および蛍光分光分析装置（いずれも既設）により検討を行った。さらに発光現象が認められた錯体および金属ナノ粒子共存コロイドについて、酸化物薄膜相内への固定化を試み、その配列の制御および、発光現象の最適化を図るとともに、金属ナノ粒子分散複合酸化物薄膜における発光増強に関する検討を試みた。

4. 研究成果

(1) 材料の複合化技術、特に傾斜組成を有する薄膜設計の確立

①反転オパール構造を有する $\text{Eu}^{3+}:\text{ZrO}_2$ 複合酸化物におけるEu発光挙動

パノスコピック材料において構造規則性を付与する方法として、各種テンプレート材料を用い、光学規則性を発現する数10~100 nmの周期性を有するナノ構造によって可視光領域における発光挙動を検討するために、液相充填法により希土類を含有させたナノ周期構造体酸化物の発光挙動について検討を行った。フォトニックバンドギャップ(結晶中でその構造により特定の光の存在、伝播を許さない範囲)が Eu^{3+} 発光波長(610 nm)付近に現れる反転オパール構造を有する $\text{Eu}^{3+}:\text{ZrO}_2$ 複合酸化物の作製を行い、評価を試みた。PSテンプレートを用いて作製した $\text{Eu}^{3+}:\text{ZrO}_2$ 複合酸化物の発光スペクトルにおいて粒径200 nmのPSをテンプレートとして作製した薄膜試料では610 nm付近に ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ に帰属される発光スペクトルが確認されたが、粒径310 nmのPSテンプレートを用いて作製した上記の試料からは610 nm付近の発光が認められなかった。粒径310 nmのPSテンプレートを用いて作製した試料の入射角 0° での反射ピークは610 nm付近であるためと考えられる。すなわち、 Eu^{3+} の発光は構造に由来するフォトニックバンドギャップ効果により抑制されたと考えられる。さらに、今回作製した各種酸化物、ならびに金属微粒子や希土類を分散させた複合酸化物ナノ周期構造体でフォトニックバンドギャップが確認され、屈折率、空隙の大きさにより反射ピークの位置は変化した。

②3次元規則構造からなる $\text{SnO}_2\text{-ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ 複合体におけるEu発光挙動

液相充填法にて反転オパール構造を有する SnO_2 を作製し、それらの内部への発光体として $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ の充填を行い、その発光特性の評価を行った。自己集積により得られたポリスチレン(PS)コロイド結晶をテンプレートとし、 SnO_2 を液相析出法にて析出させた後、 400°C にて2 h焼成を施すことで反転オパール構造を有する SnO_2 を作製した。さらにこの反転オパール構造を有する SnO_2 に液相析出法にて $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ を析出させ、 $\text{SnO}_2\text{-ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ 複合体を作製した。 $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ 充填前後における SnO_2 反転オパールの断面SEM像観察したところ、充填前の試料は球形の空隙が規則正しく配列した構造が観察された。さらに充填後の試料においては規則構造を保持したまま、空隙内部まで $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ が充填されていることが確認され、深部まで $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ の充填が進んでいた。絶対反射率測定の結果、充填前後のいずれの試料においても周期構造由来のストップバンドが確認された。 $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ を充填した SnO_2 コンポジットにおける絶対反射率測定によると、平均屈折率の増加に伴うストップバンドの長波長側へのシフトが見られた。これらの結果より、光学物性制御に対して $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ が充填された SnO_2 反転オパール構造体が有用であることが示唆された。周期構造体中の $\text{ZrO}_2:\text{Eu}^{3+}$ は、構造をもたない薄膜試料に比べ高い発光強度を示した。これは反転オパール構造内において励起光の多重反射が生じ、効率のよい発光が起きたものと考えられる。

③酸化スズをマトリックスとするナノ構造体の作製

透明導電性金属酸化物薄膜は、低い電気抵抗また広い光学バンドギャップを示すことから電気・光学分野におけるデバイス設計において欠かすことの出来ない重要な材料の1つである。なかでも酸化スズ(SnO_2)薄膜は、高い透明性及び電気伝導性を示すことから太陽電池用透明電極や固体センサーへの応用が期待されている。近年では、Laを添加した SnO_2 における CO_2 ガスに対する高感度センサーとしての可能性が報告されている。LPD法により La^{3+} をドーブした SnO_2 薄膜の作製を試みた。また、液相充填(Liquid Phase Infiltration; LPI)法により3次元周期構造を有するナノマテリアルの作製について検討を行った。得られた $\text{La}^{3+}/\text{SnO}_2$ 薄膜中のLa、Sn量を定量した結果、 $\text{La}^{3+}/\text{DTPA}$ 錯体の初期添加量の増加に伴い薄膜中のLa/Sn比が連続的に増加していくことが確認された。このことより、 $\text{La}^{3+}/\text{DTPA}$ 錯体の初期添加量を変化させ

ることにより薄膜中のLa/Sn比が容易に制御できることが明らかとなった。基板にはサイズのそろったポリスチレンコロイドを最密充填させたコロイド結晶を用いた。このコロイド結晶の空隙をLPI法により充填させた。広範囲にわたり反転オパール形の3次元周期構造体が作製されていることが確認された。また、鋳型に使用するコロイドの直径を変化させることで様々なサイズの空隙を有する反転オパール型ナノ構造体の作製に成功した。本手法を用いることで表面積の非常に大きなナノ構造体の作製が可能であり、センサー特性の向上が期待できる。

2. 希土類含有物質の機能発現を目的とした組成の最適化

液相析出(LPD)法はナノ空間において金属酸化物の高い充填性を達成した唯一の水溶液プロセスと言える。しかしながら、主反応場が界面近傍であるため詳細な反応機構は明らかとなっていない。我々は以前の報告において、LPDをポリエチレングリコール(PEG)の共存溶液中で反応させることにより、得られる酸化物ナノ粒子の析出量がオキシエチレン(EO)ユニット数に応じて著しく増加するということが明らかとしている。本報告ではLPD反応におけるEOユニットの作用について検討した。

$\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$, $n \cong 4, 13$ で示されるPEG水溶液に、金属フッ化物錯体および反応開始剤としてホウ酸を各所定濃度になるように攪拌混合し、30°Cにて所定時間反応させた。評価にはRaman, ATR-IR, DSCを用いた。

酸化チタンナノ粒子の収率は反応開始後急激に増加するが、フッ化物錯体の消費により約100 hrs以降において平衡状態に到達するものと考えられる。また258 hrs後の収率にPEG濃度依存性が確認されることからPEGがフッ化物錯体の平衡反応に影響を与えているものと考えられる。そこで反応開始前のPEG-フッ化物錯体水溶液をRaman, ATR-IRおよびDSCを用いて評価したところ、PEG濃度が増加するに従い、PEGとの相互作用が比較的弱い自由水が減少し、比較的強い束縛水が支配的になることが確認された。このことから系中におけるフッ化物錯体の水和状態が反応性に影響を与えているものと示唆される。

3. 金属ナノ粒子共存固定化による発光性希土類錯体の増強による機能化

本研究では、金属コロイド自身のプラズモン共鳴吸収時のエネルギー移動の阻害による消光と金属表面での被覆率の最適化によるエネルギー移動における増強の2つの現象

のバランスについて検討した。銀コロイドを分散させたEu(III)錯体からの発光増強について、大きな配位高分子を形成しない低濃度領域のEu(III)-ジピコリン酸(dipic)錯体の銀微粒子共存系における発光挙動を対象とし、溶液中での構造体形成とEu錯体の発光特性の相関について検討した。Eu(NO₃)₃·5H₂OのDMF溶液に所定量のdipicを加えた錯体溶液を作成し、dipic錯体溶液の蛍光スペクトル及び蛍光寿命を測定した。また、DMF中で保護剤をPoly(vinylpyrrolidone)としてAgNO₃を還元し調製した銀コロイドを錯体溶液に所定量添加し、TEM観察、UV-visスペクトル測定によりサンプル内の銀微粒子について、また発光スペクトル測定、蛍光寿命測定により希土類錯体についての知見を得た。Eu³⁺イオンに対する錯体の配位は[Eu(dipic)₃]³⁺で示される事が知られているが、発光スペクトルにおいて単一の蛍光バンドが見られるためには4-5倍のdipicが必要であることが明らかとなった。そこで、銀コロイド添加後のEu(dipic)₅³⁺によるプラズモン吸収の変化を測定したところ、添加後数日間を経て、銀コロイドの凝集を示すプラズモンが見られた。この試料について蛍光スペクトルを測定したところ、銀コロイド濃度が100pM程度までは蛍光が増強し、その後緩やかに減衰する結果が得られた。このことから、金属コロイド近傍における発光増強現象においては非常に増強の程度は限定されているが、その機構として、金属粒子の近接場において存在するEu錯体との相互作用が要因の一つとして挙げられることが明らかとなった。

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18件)

- ① "Equilibrium of dissolving species in aqueous H₂SiF₆ solution during the liquid phase deposition reaction", M. Mizuhata, Y. Saito, M. Takee, S. Deki, et al., *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **117(1363)**, 335-339 (2009) (査読有)
- ② "Organic compound/metal oxide hybrid thin film prepared by the liquid phase deposition method", S. Deki, Y. Kodama, M. Mizuhata, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **117(1363)**, 326-329 (2009) (査読有)
- ③ "Preparation of alpha-nickel hydroxide/carbon composite by the liquid phase deposition method", A. B. Beleke, A. Hosokawa, M. Mizuhata, S. Deki, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **117(1363)**, 392-394 (2009). (査読有)

- ④ “ α -Ni(OH)₂ thin films fabricated by liquid phase deposition method”, S. Deki, A. Hosokawa, A. B. Beleke, M. Mizuhata, *Thin Solid Films*, 517(5), 1546-1554 (2009). (査読有)
- ⑤ “Deposition of metal oxide films at liquid-liquid interface by the liquid phase deposition method”, S. Deki, A. Nakata, Y. Sakakibara, M. Mizuhata, *J. Phys. Chem. C*, **112(35)**, 13535-13539 (2008). (査読有)
- ⑥ Deep reactive ion etching (Deep-RIE) process for fabrication of ordered structural metal oxide thin films by the liquid phase infiltration method, M. Mizuhata, T. Miyake, T. Nomoto, S. Deki, *Microelectro. Eng.*, **85(2)**, 355-364 (2008). (査読有)
- ⑦ *Y. Saito, Y. Sekiguchi, M. Mizuhata, S. Deki, “Continuous deposition system of SnO₂ thin film by the liquid phase deposition (LPD) method”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **115(1348)**, 856-860 (2007), 査読有
- ⑧ Nakata, M. Mizuhata, S. Deki, “Novel fabrication of highly crystallized nanoparticles in the confined system by the liquid phase deposition (LPD) method”, *Electrochim. Acta*, **53(1)**, 175-178 (2007), 査読有
- ⑨ D-H. Cho, M. Mizuhata, S. Deki, “Synthesis and the luminescence property of Tb³⁺ doped ZrO₂ thin film by the liquid phase deposition method”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **115(1346)**, 608-611 (2007), 査読有
- ⑩ M. Tatemichi, M. Sakamoto, M. Mizuhata, S. Deki, *T. Takeuchi, “Protein-templated organic/inorganic hybrid materials prepared by liquid-phase deposition”, *J. Am. Chem. Soc.*, **129(35)**, 10906-10910 (2007), 査読有
- ⑪ S. Deki, H. Miki, M. Sakamoto, M. Mizuhata, “Fabrication of copper ferrite thin films from aqueous solution by the liquid-phase deposition method”, *Chem. Lett.*, **36(4)**, 518-519 (2007), 査読有.
- ⑫ S. Deki, A. Nakata, and M. Mizuhata, “High Quality Monodispersed Oxide Nanoparticles Prepared by the Liquid Phase Deposition Method in Aqueous Polymer Solution”, *ECS Transactions*, **3(9)**, 29 (2006), 査読有
- ⑬ K. Kuratani, M. Mizuhata, A. Kajinami, and S. Deki, *J. Alloys and Compounds*, **408-412**, 711-716 (2006) 査読有
- ⑭ S. Iizuka, S. Ooka, A. Nakata, M. Mizuhata, and S. Deki, Development of fabrication process for metal oxide with nano-structure by the liquid-phase infiltration (LPI) Method, *Electrochim. Acta*, **51**, 802-808 (2005), 査読有.
- ⑮ S. Deki, S. Iizuka, M. Mizuhata, and A.

Kajinami, Fabrication of nano-structured materials from aqueous solution by liquid phase deposition, *J. Electroanal. Chem.*, **584(1)**, 38-43 (2005), 査読有

- ⑯ Hnin Yu Yu Ko, M. Mizuhata, A. Kajinami, and S. Deki The dispersion of Au nanoparticles in SiO₂/TiO₂ layered films by the liquid phase deposition (LPD) method, *Thin Solid Films*, **491(1-2)**, 86-90 (2005)., 査読有
- ⑰ S. Deki, S. Iizuka, A. Horie, M. Mizuhata, and S. Deki, Liquid phase infiltration (LPI) process for fabrication of highly nano ordered material, *Chemistry of Materials.*, **16(9)**, 1747-1750 (2004), 査読有
- ⑱ L. Li, H. Nabika, M. Mizuhata, A. Kajinami, and S. Deki, Synthesis and properties of the inorganic/organic hybrid composite thin film by liquid-phase deposition method, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **112(5) Sup.**, S88-S93 (2004), 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ① 出来成人, パーフルオロスルホン酸膜内における酸化物ナノ粒子析出, 電気化学会第 76 回大会, 2009 年 3 月 29 日, 京都
- ② 水畑 穰, 液相析出反応によるパーフルオロスルホン酸膜中における酸化物ナノ粒子の生成, 日本化学会第 89 春季年会, 2009 年 3 月 26 日, 千葉
- ③ 水畑 穰, 銀微粒子共存系のユウロピウム錯体からの蛍光, 日本化学会第 89 春季年会, 2009 年 3 月 26 日, 千葉
- ④ 出来成人, 液相析出法による希土類系物質の形態制御合成法の開発, 科学技術による地域活性化戦略ワークショップ, 2009 年 2 月 21 日, 神戸
- ⑤ Deki Shigehito, “Preparation of Nanoparticles in Solution System by the Liquid Phase Deposition Method”, 11th Agilent Technology: Linz Winter Workshop, 2009 年 2 月 6 日, リンツ
- ⑥ 趙 度衡, “液相析出法による YSZ 薄膜の作製と導電率測定”, 第 25 回希土類討論会, 2008 年 5 月 30 日, 東京
- ⑦ Deki Shigehito, “Nanofabrication Process for Hierarchical Ordered Materials by the Liquid Phase Deposition Methods”, 213th Meeting of The Electrochemical Society, 2008 年 5 月 18 日, Phoenix
- ⑧ Deki Shigehito, “Nanofabrication of Advanced Materials by Wet Process”, 6th Asian Conference on Electrochemistry in Taipei, 2008 年 5 月 12 日, Taipei
- ⑨ 出来成人, 液相充填法による階層を有する

金属酸化物構造体の創製, 日本化学会第 88 春季年会, 2008/03/27, 東京

⑩出来成人, 液相析出法による有機色素含有金属酸化物薄膜の作製, 電気化学会第 75 回大会, 2008/03/31, 甲府

⑪水畑 穰, ナノ反応場としての異相共存場の解明と溶液反応による高次構造体の創製, 第 12 回コロイド・界面実践講座, 2007/12/10, 神戸

⑫趙 度衡, “液相析出法による Tb³⁺ doped ZrO₂ 薄膜の合成と発光特性”, 2007 年電気化学秋季大会, 2007/09/19, 東京

⑬出来成人, 液相充填法により酸化物反転オパール構造に充填された Tb³⁺ doped ZrO₂ の発光挙動と形状依存性, 2007 年電気化学秋季大会, 2007/09/19, 東京

⑭水畑 穰, “液相充填法による高次構造セラミックス薄膜の合成と光学・発光特性”, 日本セラミックス協会第 20 回秋季シンポジウム, 2007/09/13, 名古屋

[産業財産権]

○ 出願状況 (計 4 件)

①ナノオーダーサイズの三次元周期構造を有した三次元構造体 発明者: 出来成人, 権利者: 神戸大学, 特願 2008-020249, 2008. 1. 31

②ナノオーダーサイズの三次元周期構造を有した三次元構造体, 発明者: 出来成人, 権利者, 神戸大学, 特願 2008-020250, 2008. 1. 31

③複合微細構造体およびその製造方法, 発明者: 出来成人 他, 権利者: 神戸大学, 特願 2007-075356, 2007. 3. 22

④ナノ粒子およびその製造方法, 発明者: 出来成人 他, 権利者: 神戸大学, 特願 2006-223664, 2006. 8. 18

[その他]

本研究に関連する受賞

①出来成人 電気化学会学会賞・武井賞「電解質-水系を反応場とする新しい無機材料の創製と電気化学への展開」 2009 年

②中田明良・水畑 穰・出来成人 第 60 回コロイド及び界面化学討論会ポスター賞「ナノ制限空間における LPD 反応の特異性」 2007 年

③中田明良 日本化学会講演奨励賞「アルカンジオール共存下における液相析出法を用いた金属酸化物ナノ粒子の合成」 2006 年

④李 林 中国留日同学会第 10 回在日中国人留学成果論文集優秀論文賞・兵庫県知事賞

“Synthesis and properties of the inorganic/organic hybrid composite thin film by liquid-phase deposition method” 2005 年

⑤出来成人・中田明良・水畑 穰 電気化学会論文賞 “Fabrication of Metal-oxide Nanoparticles by the Liquid Phase Deposition Method in the Heterogeneous System” 2005 年

⑥大岡幸代 電気化学会第 72 回大会ポスター賞「液相充填 (LPI) 法を利用したナノ周期構造を有する金属酸化物の合成」 2005 年

⑦中田明良 第 41 回マテリアルズ・テーラリング研究会優秀賞 “Fabrications of Metal-oxide Nanoparticles by the LPD Method in the Heterogeneous System” 2005 年

⑧大岡幸代 第 41 回マテリアルズ・テーラリング研究会優秀賞 “Fabrication of Metal Oxide with Highly Ordered Structures in Nano Space by the Liquid Phase Infiltration (LPI) Method” 2005 年

⑨飯塚幸彦 第 38 回マテリアルズ・テーラリング研究会優秀賞「LPD 法による高次ナノ構造を有する金属酸化物薄膜の作成」 2004 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出来 成人 (DEKI SHIGEHITO)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10101065

(2) 研究分担者

水畑 穰 (MIZUHATA MINORU)
神戸大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10283871

梶並 昭彦 (KAJINAMI AKIHIKO)

神戸大学・環境管理センター・准教授
研究者番号: 10169443

(3) 連携研究者

該当なし