

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350012

研究課題名（和文） 半導体ナノ構造体の界面エンジニアリングとキャリアダイナミクスの極微分光

研究課題名（英文） Interfacial Engineering of Semiconductor Nanocrystals and their Carrier Dynamics by Microspectroscopy

研究代表者

玉井 尚登（TAMAI NAOTO）

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：60163664

研究成果の概要（和文）：界面エンジニアリングによって界面制御した II-VI 族化合物半導体（CdS, CdSe, CdTe, PbS）のナノ構造体や貴金属ナノ微粒子を接合したナノ構造体をコロイド合成した。これらの系のキャリアダイナミクスをフェムト秒過渡吸収分光，時間分解発光分光，および単一微粒子分光で解析し，温度依存性の実験と併せて，単一励起子の緩和や複数励起子によるオージェ再結合の界面構造依存性およびフォノン効果を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：II-VI semiconductor nanocrystals (CdS, CdSe, CdTe, PbS) were prepared by colloidal synthetic methods and their interfacial properties were controlled by interfacial engineering using various capping reagents, shells, and metal nanoparticles. Carrier dynamics of these nanocrystals were examined by femtosecond transient absorption, time-resolved emission, and single particle spectroscopy. Effects of interfacial structures and phonons on single exciton dynamics and Auger recombination due to the interaction of multiple excitons were analyzed together with the temperature dependence on carrier dynamics.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 9,800,000 | 2,940,000 | 12,740,000 |
| 2011年度 | 3,800,000 | 1,140,000 | 4,940,000 |
| 2012年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 15,400,000 | 4,620,000 | 20,020,000 |

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎科学・物理化学

キーワード：電子状態

1. 研究開始当初の背景

半導体量子ナノ構造体の一つである量子ドット (QDs) は， a) 有機化合物に比べて耐光性が高く， b) 発光スペクトルのバンド幅が狭い， c) 量子サイズ効果によるスペクトルのチューニングが可能， d) 発光量子収率も高く吸収係数も $10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 以上と大きい，等の様々な特徴を持っている。このために，半導体 QDs は生物系の蛍光ラベルだけで

なく，表示素子，QD レーザーなど種々の応用が考えられている。我々は，高温・有機溶媒を用いる従来の TOP/TOPO 合成法ではなく，低温・水溶媒を用いる新規なコロイド合成方法を用いて CdTe QDs を合成し，その光物性をピコ秒やフェムト秒レーザー分光法により解析してきた。特に，
1) 単一微粒子分光を用いた QDs の発光明滅現象と媒質効果，

- 2) QDs のパルスレーザー捕捉とガラス基板への固定化,
 - 3) QDs の Z-スキャン法および四光波混合による非線形光学特性の解析,
 - 4) QDs の蛍光相関法によるダーク状態の解析,
- など, QDs に特有な光物性に関するいくつかの新しい知見を得ることが出来た。しかし, 種々の形状を持った量子ナノ構造体の形状やサイズと励起子の振る舞いおよび光物性との関係は未解明なところが多い。

一方, QDs に複数個の励起子を生成させるとキャリア同士の相互作用によるオージェ効果 (オージェ再結合定数 τ_{Auger}) が誘起されるが, その粒径 (D) 依存性を解析したところ, QDs の周りの保護剤の種類によって粒径依存性が異なる事 (保護剤 thioglycolic acid, $\tau_{\text{Auger}}=D^{4.6}$; oleic acid, $\tau_{\text{Auger}}=D^{7.0}$), また Klimov らが解析している CdSe の粒径依存性 ($\tau_{\text{Auger}}=D^{3.0}$) と異なり, むしろ理論値 ($\tau_{\text{Auger}}=D^m$ ($5 < m < 7$)) に近いこと等が分かった (*J. Phys. Chem. C*, **113**, 11783 (2009))。これらの考察から, オージェ効果は電子運動量の不確定性の大きな界面の効果を強く受けることが示唆された。さらに我々は, 1 個の光子で複数個の励起子を生じる逆オージェ効果に関しても界面効果が強く表れ, 保護剤を従来のものと変えることにより CdTe 量子ドットの逆オージェ効果を時間分解レーザー分光法により初めて明らかにした (*Chem. Lett.*, **38**, 830 (2009))。逆オージェ効果は, バルク半導体では数%以下の効率しかないが, QDs で顕著に観測されるものであり, 2004 年に Klimov らが PbSe QDs を用い 3.8Eg の励起エネルギーで 200%以上の量子効率があることを実験的に初めて示した。

逆オージェ効果は光エネルギー変換において特に重要であり, 1 個の光子エネルギーで最大 1 個の電子しか酸化チタン等に注入できない従来の色素増感太陽電池に比べ, 1 個の光子で複数個の電子を注入することが出来るので光電変換効率を大きく上げることが可能になる。Nozik らも最近, CdSe および PbS QDs を用いて逆オージェ効果を確認しているが, QDs の処理方法によって量子効率が増加することを見いだした。この効果は, キャリアの閉じこめと電子-正孔クーロン相互作用のためとされているが, 逆オージェ効果を支配するパラメータに関しては, 未だ明らかになっていない。一方 Bawendi らにより, CdSe および CdTe QDs に関しては, 3Eg の励起エネルギーまで逆オージェ効果が観測されないという論文が出された (*Phys. Rev. B*, **76**, 081304 (2007))。現在の処, 逆オージェ効果に関しては実験的にも混沌としている状況であるが, 我々や Nozik らの結果を考慮すると, QDs 界面の性質によって複数励起子の生成

やキャリアダイナミクスが大きく影響を受けると考えられる。

以上の様な経緯から, 本研究では種々の半導体ナノ構造体をコロイド法により合成し, 界面エンジニアリングによって界面および界面層の性質を制御すると共に, 界面制御したナノ構造体のキャリアダイナミクスを時間分解レーザー分光法および極微分光法で解析し界面の性質との相関を解明しようと考えた。

2. 研究の目的

本研究では, II-VI 族化合物半導体に着目し, そのナノ構造体である半導体量子ドットや量子ロッド, **貴金属ナノ微粒子を接合した半導体ナノ構造体**をコロイド法により合成する。さらに極微分光法によりそれらの発光スペクトルや発光寿命を測定するだけでなく, 半導体ナノ構造体の発光明滅現象やオージェ効果, 逆オージェ効果などのキャリアダイナミクスを単一微粒子レベルで解明する。特に半導体ナノ構造体の界面エンジニアリングによって波動関数のしみ込み深さを変えたり, コア-シェル構造において Type I, Type II などのコアとシェルのエネルギー準位関係を巧みに設計したナノ構造体を合成し, キャリアダイナミクスに及ぼす効果を解明すると共に, その温度依存性を明らかにする。さらに, 半導体ナノ構造体の電子状態を第一原理計算により計算し, 実験結果と比較検討する。この様な研究は, 基礎研究として重要なだけでなく光エネルギー変換や発光材料等への応用においても基盤となる技術・知識を与えるものである。

3. 研究の方法

コロイド合成法により, 種々の保護剤を用いて CdS や CdTe などの II-VI 族化合物半導体のナノ構造体を合成する。また界面エンジニアリングによって波動関数のしみ込み深さを変えたものやコアとシェルのエネルギー準位関係を巧みに設計したコア-シェル型ナノ構造体を合成する。合成した半導体ナノ構造体の光物性を, 可視領域および近赤外領域のフェムト秒過渡吸収分光法, 時間分解発光分光法, および顕微鏡を用いた極微分光法により解明する。

1) オージェ効果・キャリア緩和の界面構造, 形状・サイズ依存性と温度依存性の解析

界面エンジニアリングによって界面構造を制御した種々の CdTe ナノ構造体および CdTe/CdS コアシェル QDs, CdS QDs, CdSe QDs を用意すると共に, サイズを大きく変えた試料を用いて時間分解レーザー分光法による実験を行い, 励起子カップリングの強さとオージェ効果, 界面構造とオージェ効果の相関を解明する。この為に QDs などのナノ構

造体を 2 mm 程度の厚みを持つ透明高分子媒体中に取り込み、分光用クライオスタットを用いて過渡吸収ダイナミクスおよび発光の励起光強度依存性を解析する。水溶性 QDs は保護剤周りの媒質を工夫することにより PMMA 等の高分子に取り込んだ低温実験用の媒体を作製する。また、CdS QDs と CdS ナノロッドを用い、形によってオージェ効果がどのような影響を受けるのかそのサイズ依存性を解析・比較する。さらに、保護剤を配位子交換によって制御した種々の QDs を用意し、過渡吸収ダイナミクスと発光ダイナミクスの励起波長依存性、温度依存性を調べることにより、オージェ再結合やキャリア緩和を支配する要因を解明する。半導体ナノ構造体のオージェ効果やキャリア増幅は状態密度や電子-格子カップリングが重要と考えられるので、理論面からもアプローチする。

2) 単一ナノ構造体の発光明滅現象とオージェ効果・キャリア緩和の界面構造依存性

単一微粒子分光を用いて、CdSe ナノロッドおよび金ナノ微粒子が接合した CdSe/Au ハイブリッドナノ構造体の発光明滅現象と発光ダイナミクス、発光スペクトルを測定し、単一 CdSe ナノロッドの中性およびオージェ効果によってイオン化した CdSe ナノロッドの緩和ダイナミクス、CdSe/Au ハイブリッド系における中性およびイオン化状態における電子移動過程を解析する。また、欠陥発光を示しながら高い発光量子収率を持つ CdSe QDs を合成し、単一微粒子分光を用いて発光明滅現象や寿命、スペクトル解析から、単一微粒子レベルで欠陥発光の振る舞いを解明する。

4. 研究成果

1) 有機物を保護剤とした CdTe 量子ドット (QDs) を用いて複数励起子を発生させ、Biexciton や Triexciton の結合エネルギーをストリークカメラによる時間分解発光スペクトルから解析した。その結果、Biexciton の結合エネルギーは 30 ~ 60 meV、Triexciton は 80 ~ 160 meV と粒径の減少と共に大きくなり、CdSe QDs の値よりも大きく量子閉じ込め効果を強く受けていること、Triexciton は IP 状態の性質を持っており分極しやすい為結合エネルギーが大きい事が示唆された。

2) CdTe QDs を用いて、励起子発光寿命の励起光強度依存性を詳細に解析する事によりオージェ再結合の温度依存性 (10 ~ 298 K) を明らかにした。その結果、a) CdTe QDs のオージェ再結合寿命は温度の低下と共に緩やかに増加すること、b) バルクのオージェ再結合にあるような活性化障壁が存在しないこと、c) オージェ再結合の終状態にフォノンが関与していること等が明らかになった。

3) SiO₂ でコートした、内部に CdS ナノクラスターを含む CdTe QDs のオージェ再結合を

過渡吸収分光法により解析した。その結果、クラスターサイズが大きくなると CdTe そのものに比べて再結合寿命が 4 倍近く長くなり、直接のシェル構造を持たなくても CdTe QDs 周りに CdS クラスターが存在するだけでオージェ再結合を抑制できることが明らかになった。

4) オージェ再結合の界面依存性を解析するために CdS QDs を種々の保護剤で保護し、固有発光とトラップ発光が同時に観測される QDs を合成すると共に、時間分解分光でオージェ再結合を評価した。その結果、界面保護剤に関係無く $\tau_{\text{Auger}} \sim D^{6.0}$ の関係を示した。以前の結果を考慮すると、単一励起子は界面効果を強く受けるが複数励起子の再結合によるオージェ効果は界面層に勾配を持つような電子状態変化が重要であることがわかった。

5) CdS ナノロッドと CdS QDs の 3 次の非線形効果である 2 光子吸収を 2 光子蛍光法を用いて解析したところ、CdS ナノロッドの 2 光子吸収断面積は QDs に比べ 1 桁以上大きな値を持つことが分かった。

6) シェル厚みの異なった CdTe/CdS コアシェル QDs を新規な水熱合成で合成すると共に、そのキャリアダイナミクスを時間分解発光分光で解析した。シェルの厚みが増加すると、波動関数の penetration によって吸収、発光共に著しく長波長シフトし、発光のブロードニングと発光寿命が一桁以上長くなる現象が観測された。さらに CdTe/CdS コアシェル QDs の過渡吸収分光の励起光強度依存性からオージェ再結合を解析し、quasi-Type II である事を明らかにした。

7) QDs の欠陥発光は界面の影響を強く受けると考えられるが、発光量子収率が低い為これまで単一微粒子分光による研究がなかった。そこで、欠陥発光を主発光とする 2 種類の QDs、L-グルタチオンキャップ CdS QDs および CdSe QDs の単一微粒子分光から欠陥準位由来の発光のメカニズムを解明した。その結果、a) 欠陥発光を主発光とする単一 QDs の発光プリンキングは強度分布が広いという特徴を持っていること、b) 単一 QDs の発光スペクトルはバンド幅が狭く、時間的に拡散すること、従って複数の準位の欠陥発光が存在し、その間を時間的に変動していることが示唆された。また単一寿命も強度の強さによって緩和の挙動が異なるなど、いくつかの知見を得ることができた。

8) CdSe ナノロッド (NRs) に金ナノ微粒子が接合したハイブリッドナノ構造体の単一微粒子分光により、CdSe NRs の発光は単一でも単一指数関数からずれる事、励起子間相互作用によってオージェイオン化した CdSe NRs は寿命が短くなる事、金ナノ微粒子接合系では

中性およびイオン化状態から電子移動する事を明らかにした。

さらに、励起波長を変えた状態選択励起によるフェムト秒過渡吸収分光によりキャリアダイナミクスを解析した。その結果、 1σ 励起による 1σ ブリーチの立ち上がりは、金ナノ微粒子の接合にかかわらずパルス応答と同じであったが、高エネルギー励起すると金接合系でCdSe NRsより 1σ の立ち上がりが早くなり、ブリーチ収率も低下した。立ち上がりと収率の解析から、CdSe NRsのホットな高励起状態から金に電子移動が起こる事、ホット電子移動速度は金ナノ微粒子の粒径に応じて0.5~1.0 psである事を明らかにした。金ナノ微粒子を接合したCdTe NRsでは、高励起状態からのホット電子移動とコヒーレント音響フォノンを観測した。PbS-金ハイブリッドナノ構造体では、TEM測定から金ナノ微粒子がPbS QDsに複数個接合している事、近赤外過渡吸収分光と近赤外発光寿命測定により、PbS QDsから金へ電子移動しているがCdSeやCdTe系と異なりホット電子移動は観測されない事などが明らかになかった。

9) サイズ分散の小さなコアシェル型Au/PbSハイブリッドナノ構造体を合成し、FDTD計算とフェムト秒過渡吸収分光で緩和ダイナミクスを解析した。吸収スペクトルの帰属と観測されたコヒーレント音響フォノンから粒子全体のbreathingモードによる振動を明らかにし、電子-フォノンカップリング時定数を求めた。

10) 一次的に半導体ナノ構造体を配列させる手法として、DNAをテンプレートとして用いCdTe QDsを吸着配列させる手法を開発すると共に、単一DNA-QDs系の時間分解発光スペクトルおよび発光寿命から、一次的に配列したCdTe QDs間の励起エネルギー移動速度を解析した。

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 22 件)

- 1) G. Sagarzazu, K. Inoue, M. Saruyama, M. Sakamoto, T. Teranishi, S. Masuo and N. Tamai, "Ultrafast Dynamics and Single Particle Spectroscopy of Au-CdSe Nanorods", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **15**, 2141-2152 (2013), 査読有
- 2) X-F. Wang, L. Wang, Z. Wang, Y. Wang, N. Tamai, Z. Hong, and J. Kido, "Natural Photosynthetic Carotenoids for Solution-Processed Organic Bulk- Heterojunction Solar Cells", *J. Phys. Chem. C*, **117**, 804-811 (2013), 査読有

- 3) 半導体量子ドットにおけるオージェ再結合の界面効果と温度効果, 小林洋一, 玉井尚登, *表面*, **49**, 397-406 (2012), 査読無
- 4) L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, and N. Tamai, "Effect of Dipole Coupling on Near-IR LSPR and Coherent Phonon Vibration of Periodic Gold Pair Nanocuboids", *J. Phys. Chem. C*, **116**, 17838-17846 (2012), 査読有
- 5) Y. Kobayashi, Y. Nonoguchi, L. Wang, T. Kawai, and N. Tamai, "Dual Transient Bleaching of Au/PbS Hybrid Core/Shell Nanoparticles", *J. Phys. Chem. Lett.*, **3**, 1111-1116 (2012), 査読有
- 6) E. S. Shibu, A. Sonoda, Z. Tao, Q. Feng, A. Furube, S. Masuo, L. Wang, N. Tamai, M. Ishikawa, and V. Biju, "Photofabrication of Fullerene-Shelled Quantum Dots Supramolecular Nanoparticles for Solar Energy Harvesting", *ACS Nano*, **6**, 1601-1608 (2012), 査読有
- 7) T. Gunshi, S. Watanabe, and K. Ogasawara "First-principles calculation of ZnS nanocluster and bulk", *Bull. of the Society for Discrete Variational Xa*, **25**, 124-127 (2012), 査読無
- 8) A. Mandal and N. Tamai, "Suppressed Blinking Behavior of Thioglycolic Acid Capped CdTe Quantum Dot by Amine Functionalization", *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 263111-1-263111-4 (2011), 査読有
- 9) R. Ohshima, T. Nakabayashi, Y. Kobayashi, N. Tamai, and N. Ohta, "External Electric Field Effects on State Energy and Photoexcitation Dynamics of Water-Soluble CdTe Nanoparticles", *J. Phys. Chem. C*, **115**, 15274-15281 (2011), 査読有
- 10) X-F. Wang, L. Wang, N. Tamai, O. Kitao, H. Tamiaki, and S. Sasaki, "Development of Solar Cells Based on Synthetic Near-Infrared Absorbing Purpurins: Observation of Multiple Electron Injection Pathways at Cyclic Tetrapyrrole - Semiconductor Interface", *J. Phys. Chem. C*, **115**, 24394-24402 (2011), 査読有
- 11) L. Pan, G. Pan, X. Che, L. Wang, N. Tamai, and Z. Dai, "Hyperbranched CdTe Nanostructures via a Self-Assembly Route: Optical Properties", *Appl. Opt.*, **50**, G31-G36 (2011), 査読有
- 12) L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, and N. Tamai, "Plasmon Coupling and Coherent Acoustic Phonon Dynamics of Periodic Gold Pair Nanocuboids by Near-IR Transient Absorption Spectroscopy", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **221**, 164-168 (2011), 査読有

- 13) 小林洋一, 玉井尚登, “半導体量子ドットのオージェ再結合ダイナミクス”, *光化学*, **42**, 20-23 (2011), 査読無
- 14) Y. Kobayashi, T. Nishimura, H. Yamaguchi, and N. Tamai, “Effect of Surface Defects on Auger Recombination in Colloidal CdS Quantum Dots”, *J. Phys. Chem. Lett.*, **2**, 1051–1055 (2011), 査読有
- 15) A. Mandal and N. Tamai, “Luminescence Enhancement of Water Soluble CdTe Quantum Dots by Proper Surface Modification with Ethylene Diamine”, *Chem. Phys. Lett.*, **507**, 248–252 (2011), 査読有
- 16) L. Wang, A. Kiya, Y. Okuno, Y. Niidome, and N. Tamai, “Ultrafast Spectroscopy and Coherent Acoustic Phonon of Au-Ag Core-Shell Nanorods”, *J. Chem. Phys.*, **134**, 054501-1–054501-6 (2011), 査読有
- 17) G. Sagarzazu, Y. Kobayashi, N. Murase Y. Ping and N. Tamai, “Auger Recombination Dynamics in Hybrid Silica-Coated CdTe Nanocrystals”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **13**, 3227-3230 (2011), 査読有
- 18) S. Yamaji, K. Yokono, K. Higashiura, and K. Ogasawara, “Electronic structure analysis of CdS surface by first-principles calculations”, *Bull. of the Society for Discrete Variational $X\alpha$* , **24**, 209-213 (2011), 査読有
- 19) K. Yokono, S. Yamaji, K. Higashiura, and K. Ogasawara, “The analysis of the energy levels of CdTe bulk and surface by first-principles calculations”, *Bull. of the Society for Discrete Variational $X\alpha$* , **24**, 124-127 (2011), 査読無.
- 20) Y. Kobayashi and N. Tamai, “Size-Dependent Multiexciton Spectroscopy and Moderate Temperature Dependence of Biexciton Auger Recombination in Colloidal CdTe Quantum Dots”, *J. Phys. Chem. C*, **114**, 17550–17556 (2010), 査読有
- 21) X.-F. Wang, H. Tamiaki, L. Wang, N. Tamai, O. Kitao, H. Zhou and S. Sasaki, “Chlorophyll-*a* Derivatives with Various Hydrocarbon Ester Groups for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells: Static and Ultrafast Evaluations on Electron Injection and Charge Collection Processes”, *Langmuir*, **26**, 6320– 6327 (2010), 査読有
- 22) L. Wang, H. Zhao, L. Pan, Y.-X. Weng, Y. Nakato, and N. Tamai, “Ultrafast Carrier Dynamics of Titanic Acid Nanotubes Investigated by Transient Absorption Spectroscopy”, *J. Nanosci. Nanotech.*, **10**, 8349–8355 (2010), 査読有
- 2) T. Hirose, H. Shigemasa, Y. Kutsuma, T. Kaneko and N. Tamai, “Energy Transfer Dynamics of CdTe Quantum Dots on Epitaxial Graphene prepared by Si sublimation of 4H-SiC(0001)”, 7th Asian Photochemistry Conference 2012 (Icho Kaikan, Osaka University, Nov. 12 – 15, 2012).
- 3) T. Okuhata, Y. Kobayashi, Y. Nonoguchi, T. Kawai, and N. Tamai, “Hot Carrier and Coherent Phonon Dynamics of CdTe/Au Hybrid Nanostructures”, 7th Asian Photochemistry Conference 2012 (Icho Kaikan, Osaka University, Nov. 12 – 15, 2012).
- 4) M. Ozaki, M. Tsuboi, and N. Tamai, “Luminescence Properties and Auger Recombination of Cu-doped CdSe Nanocrystals”, 7th Asian Photochemistry Conference 2012 (Icho Kaikan, Osaka University, Nov. 12 – 15, 2012).
- 5) N. Tamai, “Carrier Relaxation and Luminescence Properties of Semiconductor Nanoparticles and Their Applications”, FluoroFest Workshop (Kyoto, Japan, Nov. 8-9, 2012). (招待講演)
- 6) L. Wang, S. Gabriel, T. Okuhata, Y. Kobayashi, and N. Tamai, “Elementary Processes of Photoexcited Semiconductor Nanoparticles”, Japan-India Bilateral Symposium on Supramolecular Nanomaterials for Energy Innovation (Alpha Anabuki Hall, Takamatsu, Japan, Oct. 15-16, 2012). (招待講演)
- 7) T. Hirai, C. L. Li, M. Ando, N. Murase, and N. Tamai, “Preparation and Evaluation of CdSe Quantum Dots Direct-coated with TiO₂ for Energy Conversion”, Japan-India Bilateral Symposium on Supramolecular Nanomaterials for Energy Innovation (Alpha Anabuki Hall, Takamatsu, Japan, Oct. 15-16, 2012).
- 8) N. Tamai, “Elementary Processes of Photoexcited Nanoparticles: Plasmonic Systems and Semiconductor Quantum Dots”, The International Workshop on Single Molecule/Nanoparticle Spectroscopy (National Chiao Tung Univ., Taiwan, June 27-28, 2012). (招待講演)
- 9) T. Okuhata, Y. Kobayashi, Y. Nonoguchi, T. Kawai, N. Tamai, “Synthesis and Carrier Dynamics of CdTe/Au Hybrid Nanostructures”, Yamada Conference LXVI, International Conference on the

[学会発表] (計 65 件)

- 1) G. Sagarzazu, K. Inoue, M. Saruyama, M. Sakamoto, T. Teranishi, N. Tamai, “Hot

- Nanostructure-Enhanced Photo-Energy Conversion (Miraikan, June 3-6, 2012).
- 10) Y. Kobayashi, Y. Matsumoto, Y. Tian, L. Wang and N. Tamai, “Auger Recombination and Multiexciton States of II-VI Semiconductor Quantum Dots”, 7th International Conference on Quantum Dots (QD 2012), (Santafe Convention Center, Santafe, New Mexico, USA, May 13~18, 2012).
 - 11) G. Sagarzazu, M. Saruyama, K. Inoue, T. Teranishi, S. Masuo and N. Tamai, “Ultrafast Electron Transfer in Au-CdSe Nanorods”, 7th International Conference on Quantum Dots (QD 2012), (Santafe Convention Center, Santafe, New Mexico, USA, May 13~18, 2012).
 - 12) G. Sagarzazu, M. Saruyama, T. Teranishi, and N. Tamai, “Carrier Dynamics of Au-CdSe Colloidal Nanorods”, XXV International Conference on Photochemistry (Beijing, China, August 7-12, 2011).
 - 13) L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, and N. Tamai, “Influence of Dipole Coupling on Periodic Gold Pair Nanocuboids by Near-IR Transient Absorption Spectroscopy”, XXV International Conference on Photochemistry (Beijing, China, August 7-12, 2011).
 - 14) Y. Kobayashi, T. Nishimura, H. Yamaguchi, and N. Tamai, “Effect of Surface Defects on Size-dependent Auger Recombination in CdS Quantum Dots”, XXV International Conference on Photochemistry (Beijing, China, August 7-12, 2011).
 - 15) L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, and N. Tamai, “Effect of Plasmon Coupling on Near-IR Vibrational Dynamics of Periodic Gold Nanocuboids”, Pacificchem 2010 (Honolulu, Hawaii, December 15-20, 2010)
 - 16) N. Tamai and Y. Kobayashi (Invited), “Multiexciton Spectroscopy and Temperature Dependence of Auger Recombination in CdTe Quantum Dots”, The 7th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience 2010 (Daegu, Korea, October 23-26, 2010)
 - 17) N. Tamai, L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, A. Kiya, Y. Okuno, Y. Niidome, “Coherent Phonon Vibration of Gold Nanostructures and Its Control by Two Excitation Pulses”, XXIIIth IUPAC Symposium on Photochemistry (Ferrara, Italy, July 11-16, 2010)
 - 18) Y. Kobayashi, N. Tamai, “Effects of Temperature on Biexciton Auger Recombination of Cadmium Telluride Quantum Dots”, XXIIIth IUPAC Symposium

on Photochemistry (Ferrara, Italy, July 11-16, 2010)

- 19) S. Kudo and N. Tamai, “Single-Particle Spectroscopy and Energy Transfer Dynamics of CdTe Quantum Dots Bound to DNA”, XXIIIth IUPAC Symposium on Photochemistry (Ferrara, Italy, July 11-16, 2010)

他 46 件

〔その他〕

ホームページ等

<http://sci-tech.ksc.kwansei.ac.jp/~tamai/Top.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉井 尚登 (TAMAI NAOTO)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：60163664

(2) 研究分担者

小笠原 一禎 (OGASAWARA KAZUYOSHI)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：10283631