

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05957

研究課題名(和文) 表面高機能化ナノ複合蛍光体による生体影響ガスセンサに関する研究

研究課題名(英文) Study on hazardous gas sensor using nanocomposite phosphors with functionalized surfaces

研究代表者

安藤 昌儀 (ANDO, Masanori)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・上級主任研究員

研究者番号：20356398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：蛍光変化でガスを検知できる半導体量子ドット(QD)に、生体影響ガス(脱臭等に利用され有毒なオゾン(O₃)、大気汚染物質である二酸化窒素(NO₂))に対する吸脱着特性・触媒機能等を有する貴金属ナノ粒子を加えて表面高機能化し、センサ特性向上を図った。CdSe系QDと貴金属の多孔質ナノ複合薄膜は、AuやPtの添加でO₃感度とNO₂感度が増大し、Pt-Pd合金の添加でNO₂感度が増大しO₃応答後の回復が高速化した。O₃感度はPt-QD薄膜>>Pt-Pd-QD薄膜、NO₂感度はPt-Pd-QD薄膜>>QD単独薄膜であり、O₃、NO₂識別検知の可能性が示唆された。各種技術と比較し本技術の利点を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来ほとんど研究されておらず研究代表者らが見出した、CdSe等の量子ドット(QD)の蛍光変化を用いたガスセンサ技術を展開し、QDに、ガス吸脱着機能や触媒機能をもつ貴金属ナノ粒子を複合化し、生体に影響を及ぼす有害ガスであるO₃やNO₂への感度向上を達成した。さらに、複数種類のナノ複合材料がO₃とNO₂に対して示す蛍光変化の違いを用いたO₃、NO₂識別検知の可能性を示した。本研究の成果は、光・表面機能性ナノ粒子の複合化により高いガスセンサ機能を得た点でナノ機能材料化学と環境化学に寄与し、また、安全・安心の確保のため高まっている高感度有害ガスセンサ開発への社会的要請に応えるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, semiconductor quantum dots (QDs), which can detect gases by photoluminescence change, were combined with noble metal nanoparticles with adsorption/desorption properties and catalytic properties for hazardous gases (ozone (O₃), a toxic gas used for deodorization, and nitrogen dioxide (NO₂), an air pollutant) to enhance the surface function of QDs and to improve their gas sensing properties. In the porous nanocomposite films of CdSe QDs and noble metals, the addition of Au or Pt increased the O₃ and NO₂ sensitivities, and the addition of Pt-Pd alloys increased the NO₂ sensitivity and accelerated the recovery of PL intensity after the PL quenching on exposure to O₃. The O₃ sensitivity was Pt-QD film >> Pt-Pd-QD film and NO₂ sensitivity was Pt-Pd-QD film >> QD single film, suggesting the possibility of recognition of O₃ and NO₂ using these films. Comparison with various gas sensor technologies showed the advantages of the gas sensor technology obtained in this study.

研究分野：光機能性ナノ材料

キーワード：生体影響ガス 光学式ガスセンサ 蛍光 表面高機能化 光ナノ複合材料 オゾン 二酸化窒素

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化合物半導体からなる量子ドット(Quantum Dot (QD))は、新規高輝度蛍光体として注目され、電子材料やバイオ用蛍光試薬への応用研究が進んでいるが、ガスセンサへの応用はほとんど未開拓であった。光学式ガスセンサは、従来主流であった電気式ガスセンサと比較して、電磁氣的ノイズに強く、電気火花発生の危険がないので安全性が高く、センサ素子から非接触・遠隔で信号読み出しができ、光ファイバーや光導波路との整合性が良い等の利点があるため、次世代型センサとして注目されている。中でも、蛍光利用型センサは、光吸収利用型センサと比較して出力信号のダイナミックレンジを広くできるので高感度化に有利である。

本研究に先立って、研究代表者らは、II-VI 族化合物半導体であるセレン化カドミウム(CdSe)系 QD 等が、生体影響ガスの 1 つであるオゾンに感応して可逆的な蛍光強度変化を示し、オゾンセンサへの応用可能性があることを見出した(科研費 基盤研究(C)、課題番号:26410201、研究期間:2014-2017 年度)。しかしながら、QD 単独薄膜では、オゾンに対する感度や応答・回復速度が、幅広いオゾン濃度を検知できるセンサへの応用にはまだ不十分と考えられたため、感度や応答・回復速度を向上させる新技術の研究開発が必要であった。また、オゾン以外の、生体に影響を及ぼす大気汚染物質のような有害ガスの新規光学式センサ技術も求められていた。

2. 研究の目的

安全・安心で快適な生活を実現する上で、空気質をモニターするガスセンサは必要不可欠である。省エネや防音のために住宅やオフィスの気密化が進むにつれて、生体に影響を及ぼす有害ガスを、種々の利点を有する光学的方法により簡便に高感度で検知できる新規センサ技術への要望が高まっている。QD は表面原子の割合が大きく、表面状態の僅かな変化によって蛍光強度等が変化するので、この特性を用いた高感度ガスセンシングが期待される。本研究では、研究代表者らが最近、オゾンによる可逆的な蛍光強度変化を見出した QD に、複合化による相乗作用でガス感度の向上が見込まれるナノ機能材料を複合化して表面高機能化ナノ複合化ナノ複合蛍光体薄膜を作製し、これらの薄膜を用いて、生体影響ガスの高感度・高速センシングを目指した。生体影響ガスとしては、強力な酸化剤としての利用、また、脱臭や殺菌用の利用が拡大しているが一定濃度以上で強い毒性を示すオゾン(O₃)、および、硝酸の原料として重要であるが、化石燃料の燃焼で発生し、強い毒性と刺激臭をもち大気汚染の原因ガスとなる二酸化窒素(NO₂)を検知対象とした。CdSe 系コアシェル型 QD に、ガス吸脱着促進効果、ガス反応への触媒活性、あるいは局所電場効果のような電子的相互作用による蛍光強度増幅やセンサ出力 S/N 比向上に繋がる効果を有する、金(Au)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)のような貴金属(Noble Metal (NM))のナノ粒子を複合化し、高感度と高速応答・回復を示す蛍光利用型光学式ガス(O₃, NO₂)センサ材料実現に繋がる新技術を研究開発することを目的とした。

3. 研究の方法

QD として、CdSe コアと硫化亜鉛(ZnS)シェルからなり、最外層を有機物の界面活性剤で被覆した赤色発光 CdSe/ZnS コアシェル型 QD を用いた。この QD は、研究代表者らがこれまでに試験した各種 QD の中で蛍光変化による O₃ 感度が高く、また、高濃度の O₃ に曝露しても劣化しにくく可逆的な応答を保持し、優れた長期安定性をもつ。ガス感度と応答・回復速度の向上を目指して、QD に、NM として Au, Pt, あるいは Pt-Pd 合金のナノ粒子を複合化し表面高機能化ナノ複合体薄膜を作製した。比較のために QD 単独薄膜も作製した。一方、これらの NM-QD 複合薄膜および QD 単独薄膜について、新たに NO₂ 感度、すなわち、NO₂ 曝露時の蛍光変化を調べた。

QD 単独薄膜と NM-QD 複合薄膜は、以下の方法で作製した。QD 単独薄膜は、QD 分散液をガラス基板(18 x 18 x 0.12-0.17 mm (t))上にキャスト法で作製した。QD 分散液は、トリオクチルホスフィン(Trioctylphosphine (TOP))およびトリオクチルホスフィンオキシド(Trioctylphosphine Oxide (TOPO))で被覆された赤色発光 CdSe/ZnS コアシェル型 QD を均一分散したデカン溶液(QD 濃度:1 μM)を用いた。QD のデカン分散液をガラス基板上にキャストした後、真空乾燥した。NM-QD 複合薄膜は以下の方法で作製した。平均膜厚 5 nm 未満の NM 薄膜(NM: Au, Pt, Pt-Pd 合金(Pt/Pd=85/15, w/w))は、直流スパッタ装置を用い、圧力 0.1 Torr で 10 秒間スパッタコートし、ガラス基板上に堆積させた。次に、QD のデカン分散液(1 μM)を NM 薄膜上にキャストし、続いて真空乾燥した。

作製した NM-QD 複合薄膜と QD 単独薄膜の微細構造は、原子力顕微鏡(Atomic Force Microscope (AFM))ならびに走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope (SEM))で観察した。また、QD と複合する前段階の、スパッタ法でガラス基板上に堆積させた Au, Pt, Pt-Pd 合金ナノ粒子を、AFM と SEM で観察した。

ガラス基板上の薄膜の蛍光強度とスペクトルは、独自設計の石英製ガス流通光学セル(内容積 41 mL)中で、所定のガスを流通しながら、25、1 気圧において、光ファイバー付マルチチャンネル光検出器を用いて測定した。ガスセンサ薄膜は、石英製光ファイバーおよび 365 nm 光を選択透過するバンドパス光学フィルターを通して紫外光(波長 365 nm)で励起し、薄膜試料が発する蛍光を一定時間間隔で連続的に測定した。

薄膜を格納したガス流通セルに、 O_3 あるいは NO_2 を含有しない合成空気（窒素 78.5%、酸素 21.5%）、所定濃度の O_3 (0.5-200 ppm) を含有する合成空気、あるいは、所定濃度の NO_2 (1-100 ppm) を含有する合成空気を、100 mL/分で流通した。 O_3 含有空気は、独自設計のオゾン発生器を用い、チャンバー内で合成空気に波長 185 nm の紫外線をパルス照射し、光化学反応により酸素からオゾンを生成させ、オゾン濃度計と接続してオゾン濃度をフィードバック制御した。 NO_2 含有合成空気は、1, 10, あるいは 100 ppm の NO_2 を含有する合成空気を用いた。

4. 研究成果

ガラス基板にスパッタコートした Au, Pt, Pt-Pd 合金の AFM 像と SEM 像より、Au, Pt, Pt-Pd 合金は、いずれもナノ粒子の形状でガラス基板に分散し、全体として多孔質薄膜を構成していることがわかった。また、スパッタコートした Au, Pt, Pt-Pd 合金は、各貴金属のナノ粒子に特有の、淡赤紫色、淡茶褐色、淡褐色を呈した。

図 1(a)-(d)に、QD 単独薄膜、Au-QD 複合薄膜、Pt-QD 複合薄膜、Pt-Pd-QD 複合薄膜の AFM 像、図 2(a)-(d)に、これら 4 種類の薄膜の SEM 像を示す。AFM 像と SEM 像における明色部分は QD の凝集体を示し、暗色部分は薄膜中の細孔を示す。AFM 像と SEM 像から、これら 4 種類の試料は、いずれも、QD の微小な凝集体とその間の空隙からなる多孔質構造をもち、Au-QD 複合薄膜では比較的小さな QD 凝集体(50-200 nm)が多く、Pt-Pd-QD 複合薄膜ではより大きな QD 凝集体が多いことがわかった。このような多孔質薄膜はガスを吸着しやすくガスセンサに有利である。

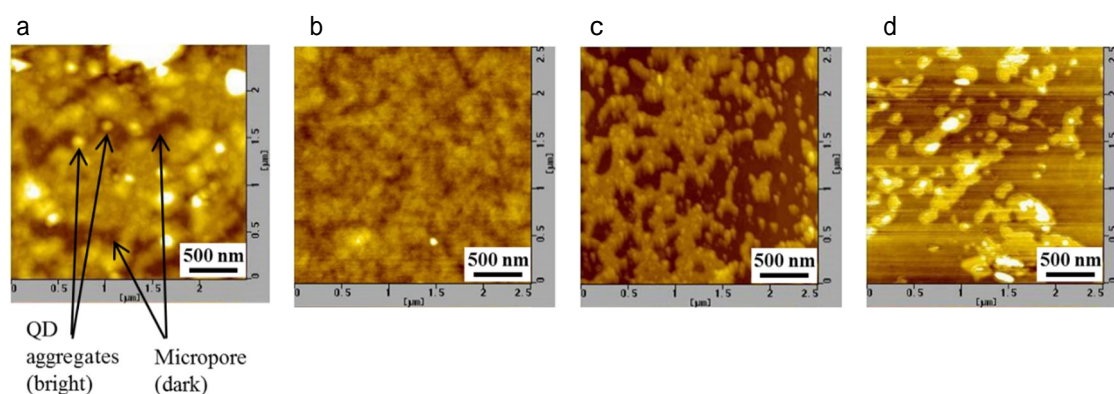


図 1. (a) QD 単独薄膜、(b) Au-QD 薄膜、(c) Pt-QD 薄膜、(d) Pt-Pd-QD 薄膜の AFM 像

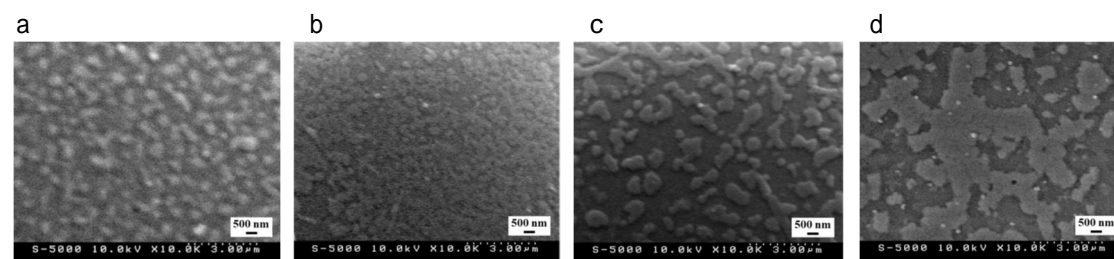


図 2. (a) QD 単独薄膜、(b) Au-QD 薄膜、(c) Pt-QD 薄膜、(d) Pt-Pd-QD 薄膜の SEM 像

O_3 や NO_2 を含まない空気中で、QD 単独薄膜、Au-QD 複合薄膜、Pt-QD 複合薄膜、Pt-Pd-QD 複合薄膜は、いずれも強い赤色の蛍光を発し、蛍光ピーク波長は、各々 652, 657, 656, 659 nm であった。4 種類の薄膜中で Pt-QD 薄膜が最も強い蛍光を示し、これは、Pt ナノ粒子のプラズモン効果、局所電場効果による Pt ナノ粒子近傍での電場強度増大、Pt による QD の表面欠陥の不活性化等の、Pt と QD の間の電子的相互作用を反映したものと考えられる。

室温(25)・1 気圧において、QD 単独薄膜、Au-QD 複合薄膜、Pt-QD 複合薄膜、Pt-Pd-QD 複合薄膜は、いずれも、空気中の O_3 あるいは NO_2 に感应して可逆的な蛍光消光を示し、蛍光強度減少率はガス濃度が増すにつれて増大し、蛍光ピーク波長は O_3 や NO_2 に影響されず一定であった。 O_3 曝露時あるいは NO_2 曝露時に蛍光の波長やスペクトル形状に変化が見られなかったことは、 O_3 や NO_2 の曝露によって QD が凝集や分解等の劣化を起こさなかったことを示している。なぜなら、もし QD が凝集すれば、小さな QD から大きな QD 凝集体へのエネルギー移動により、蛍光スペクトルの長波長シフトが生じ、一方、もし QD が酸化されて崩壊や腐食を生じれば、量子サイズ効果により、蛍光スペクトルが短波長シフトすると考えられるからである。

表 1 に、QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜が、空気中の各種濃度の O_3 あるいは NO_2 に感应して示す蛍光強度変化率をまとめた。また、図 3 に、空気中の O_3 濃度を、0 0.5 0 ppm と変化させた時の、QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の蛍光強度の時間応答を示した。

表 1. 空気中の O₃ あるいは NO₂ による、QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の蛍光強度変化率 (25 °C、1 気圧)

空気中の O ₃ あるいは NO ₂ の濃度 (ppm)	O ₃ あるいは NO ₂ による蛍光強度変化率							
	QD 単独薄膜		Au-QD 薄膜		Pt-QD 薄膜		Pt-Pd-QD 薄膜	
	O ₃	NO ₂	O ₃	NO ₂	O ₃	NO ₂	O ₃	NO ₂
0.5	-0.09		-0.11		-0.13		-0.06	
1	-0.11	-0.06	-0.14	-0.10	-0.17	-0.11	-0.08	-0.12
2	-0.14		-0.18		-0.22		-0.10	
5	-0.18		-0.23		-0.27		-0.14	
10	-0.22	-0.12	-0.28	-0.19	-0.33	-0.20	-0.17	-0.22
20	-0.26		-0.32		-0.39		-0.20	
50	-0.32		-0.40		-0.48		-0.26	
100	-0.38	-0.25	-0.47	-0.42	-0.56	-0.44	-0.31	-0.49
200	-0.47		-0.57		-0.67		-0.38	

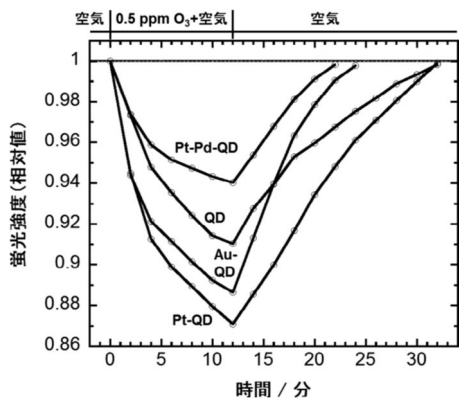


図 3. 空気中の O₃ 濃度を 0.5 ppm と変化させた時の、QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の蛍光強度の時間応答

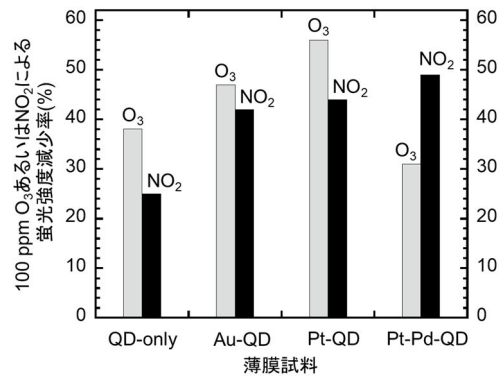


図 4. QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の、空気中の 100 ppm O₃ あるいは 100 ppm NO₂ による蛍光強度減少率

Pt-QD 薄膜と Au-QD 薄膜の O₃ による蛍光強度変化率は、QD 単独薄膜よりも大きく、貴金属ナノ粒子の複合化による O₃ 感度向上が確認された。Pt ナノ粒子の複合化により、O₃ 感度は QD 単独薄膜よりも 43% 向上し、Au ナノ粒子の複合化で 27% 向上した。この増感効果は、Pt ナノ粒子や Au ナノ粒子による O₃ 吸着の促進や、これらの貴金属ナノ粒子の近傍で電場強度が高まる局所電場効果等を反映したものと推測した。一方、Pt-Pd-QD 薄膜では、O₃ による蛍光強度変化率は QD 単独薄膜よりも 32% 低下し、これは、Pd が O₃ 分解触媒活性をもつため、薄膜に吸着した O₃ 分子が分解され、薄膜表面での O₃ 濃度が低下した効果によるものと考えられる。

各薄膜を、0.5 ppm O₃ に曝露後、雰囲気を O₃ 非含有空気に戻して蛍光強度の応答・回復速度を調べたところ、QD 単独薄膜に比べて、初期応答速度は Au-QD 薄膜と Pt-QD 薄膜が速く、回復速度は Au-QD 薄膜と Pt-Pd-QD 薄膜が速く Pt-QD 薄膜が遅いという結果を得た (図 3)。これは、Pt や Au のナノ粒子による O₃ 吸着促進や、Pd の触媒活性による速やかな O₃ 分解を反映していると考えられる。さらに前述のように、いずれも多孔質構造を有する QD 単独薄膜、Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の中で、Au-QD 薄膜が細孔径の最も小さなスポンジ状の微細構造をもち、ガスの吸脱着に伴う薄膜の速やかな電子状態変化に有利と考えられることが、回復速度向上の一因であると推測される。これらの結果より、4 種類の薄膜中では、Au-QD 薄膜が、高い O₃ 感度と速い応答・回復速度を両立しているため、蛍光変化型 O₃ センサ材料として最良と結論した。

Au-QD 薄膜、Pt-QD 薄膜、Pt-Pd-QD 薄膜の NO₂ による蛍光強度減少率は、いずれも QD 単独薄膜に比べて増大した (表 1)。QD に Au, Pt, Pt-Pd 合金を複合化すると、NO₂ 感度が各々 68, 76, 96% 増大し、Pt-Pd-QD 薄膜が最も高い NO₂ 感度を示した。また、NO₂ に対する応答速度と、NO₂ 曝露後の NO₂ 非含有空気中での回復速度を調べたところ、応答速度は Pt-Pd-QD 薄膜が最も速く、次いで Pt-QD 薄膜が僅かに遅く、回復速度は Pt-QD 薄膜が他の 3 種類の薄膜よりも際立って高速であった。これらの結果より、蛍光変化型 NO₂ センサ材料としては、4 種類の薄膜の中で、Pt-QD 薄膜が、高い NO₂ 感度と速い応答・回復速度を兼ね備えており、最良と結論した。

図4に、QD単独薄膜、Au-QD薄膜、Pt-QD薄膜、Pt-Pd-QD薄膜の100 ppm O₃あるいは100 ppm NO₂による蛍光強度減少率の比較を示す。4種類の薄膜中で、Pt-Pd-QD薄膜はO₃感度が最も低く、NO₂感度が最も高いという対照的な結果が得られた。O₃感度は、Pt-QD薄膜 > Au-QD薄膜 > QD単独薄膜 > Pt-Pd-QD薄膜であり、NO₂感度は、Pt-Pd-QD薄膜 > Pt-QD薄膜 > Au-QD薄膜 > QD単独薄膜であった。[100 ppm O₃による蛍光強度減少率]/[100 ppm NO₂による蛍光強度減少率]の比は、QD単独薄膜、Au-QD薄膜、Pt-QD薄膜、Pt-Pd-QD薄膜について各々1.52, 1.12, 1.27, 0.63であった。Pt-Pd-QD薄膜における低いO₃感度は、前述のようにPdのO₃分解触媒活性によるものと考えられ、一方、PdはNO₂分解を促進しないので、Pt-Pd-QD薄膜へのNO₂吸着量が増大し、高いNO₂感度をもたらしたと考えられる。このことは、QDに、特定のガスへの吸脱着特性や触媒特性をもつ貴金属ナノ粒子を複合化することで、蛍光変化による光学的なガスセンサ感度を向上させることを示すと同時に、ガス選択性を付与できる可能性を示しており、O₃感度とNO₂感度が大きく異なる複数種類の薄膜の蛍光強度変化を同時測定・比較することで、共に酸化性の有害ガスであるO₃とNO₂を光学的に識別検知できる可能性が示唆された。

O₃あるいはNO₂による薄膜の蛍光強度変化は、試験したガス濃度範囲では高濃度域でも飽和せず、広い濃度範囲に対応できるガスセンサ材料として有望であることがわかった。さらに、蛍光強度変化とガス濃度の関係をStern-Volmerプロットにより調べたところ、O₃による蛍光消光の機構とNO₂による蛍光消光の機構は類似点が多いことが明らかになった。O₃やNO₂によるQD薄膜の蛍光消光機構として、2つの可能性を推測している。第1の機構は、QDの表面への酸化性O₃やNO₂の吸着による、電荷担体の非発光再結合の増大である。第2の機構はO₃やNO₂によるQDの表面欠陥の活性化である。O₃やNO₂を含有しない空気中では、QDの表面欠陥はQD表面を被覆する界面活性剤であるTOPやTOPO上によって不活性化されているので、QDは強い蛍光を発する。O₃やNO₂がQDの表面に吸着すると、QDとTOPやTOPOの間の結合が弱まり、表面欠陥が活性化されて蛍光が消光すると考えられる。QDの無機表面へのTOPとTOPOの吸着は比較的弱いので、O₃分子やNO₂分子はTOPあるいはTOPOの薄い層を貫通してCdSe/ZnSコアシェル型QDの無機表面に吸着すると推測される。Au, Pt, Pt-Pd合金は、O₃とNO₂に対して貴金属種に応じて異なる吸脱着特性や触媒特性をもつので、これらの貴金属ナノ粒子の複合化によってO₃ならびにNO₂に対する感度や応答・回復速度が向上すると共に、O₃感度とNO₂感度の大小関係や相対比が4種類の薄膜の間で異なるという結果をもたらしたと考えられる。

以上のように、本研究では、QDにNMナノ粒子を複合化した表面高機能化ナノ複合蛍光体薄膜が、ガスセンサ材料として有利な多孔質構造をもち、生体に影響する有害ガスであるO₃やNO₂に感応して可逆的な蛍光強度変化を示し、QD単独薄膜よりもガス感度や応答・回復速度が向上することを示した。また、NMの種類に応じた特定のガスに対する吸脱着促進効果や触媒効果を用いてガス選択性を付与でき、さらに、特性の異なる複数種類のNM-QD複合薄膜を併用することによるガス識別検知の可能性が示唆された。これらの実験結果は、ナノ機能材料化学と環境化学に学術的に寄与すると同時に、社会的な要請に応えるものであり、複数の原著論文として発表した。また、各種オゾンセンサ技術、ならびに、非酸化物系II-VI族半導体を用いた各種ガスセンサ技術について、それぞれ最近の進歩を幅広く調査した結果を複数の総説として発表し、世界の最先端研究動向の中における本研究成果の意義や利点と、今後の展開可能性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Ando Masanori, Kawasaki Hideya, Tamura Satoru, Haramoto Yoshikazu, Shigeri Yasushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Recent Advances in Gas Sensing Technology Using Non-Oxide II-VI Semiconductors CdS, CdSe, and CdTe	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemosensors	6. 最初と最後の頁 482 ~ 482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/chemosensors10110482	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 安藤昌儀、稲垣洸亮、川崎英也、茂里康	4. 巻 130
2. 論文標題 Reversible sensing of nitrogen dioxide using photoluminescent CdSe/ZnS quantum dots and enhanced response by combination with noble metals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 180-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.21088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 安藤昌儀、稲垣洸亮、川崎英也、Vasudevanpillai Biju, 茂里康	4. 巻 36
2. 論文標題 Photoluminescent ozone sensor with enhanced sensitivity by using CdSe/ZnS quantum dots modified with gold and platinum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 989-995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P490	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 安藤昌儀、川崎英也、稲垣洸亮、茂里康	4. 巻 56
2. 論文標題 量子ドットと貴金属ナノ粒子の複合化によるガスセンサ機能向上を確認 ~ 蛍光を利用した高感度オゾンセンサへの応用可能性 ~	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CERAMICS JAPAN	6. 最初と最後の頁 190-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 安藤昌儀、稲垣洸亮、川崎英也、Vasudevanpillai Biju, 茂里康	4. 巻 -
2. 論文標題 Photoluminescent ozone sensor with enhanced sensitivity by using CdSe/ZnS quantum dots modified with gold and platinum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P490	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 安藤昌儀、稲垣洸亮、川崎英也、茂里康	4. 巻 92
2. 論文標題 CdSe系蛍光量子ドットを用いたオゾンガスセンシングと貴金属複合効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 色材協会誌	6. 最初と最後の頁 362-368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 安藤昌儀、Vasudevanpillai Biju, 川崎英也、茂里康	4. 巻 -
2. 論文標題 Optical ozone sensing by composite films of noble metals and CdSe/ZnS quantum dots	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS 2018)	6. 最初と最後の頁 91-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5162/IMCS2018/OS1.3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 安藤昌儀、茂里康	4. 巻 53
2. 論文標題 量子ドットの新しいガスセンサ機能物性を確認 ~ 蛍光強度変化でアルキルアミンガスを検知 ~	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CERAMICS JAPAN	6. 最初と最後の頁 363-363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 安藤昌儀
2. 発表標題 蛍光量子ドットを用いた光学式ガスセンシングと貴金属複合化による増感効果
3. 学会等名 色材協会 顔料物性研究会 2022年 第2回研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲垣洸亮、安藤昌儀、茂里康、川崎英也
2. 発表標題 貴金属・CdSe/ZnS蛍光量子ドット複合薄膜を用いたオゾンセンシング
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣洸亮、安藤昌儀、茂里康、川崎英也
2. 発表標題 貴金属・CdSe/ZnS蛍光量子ドット複合薄膜を用いたオゾンセンシング
3. 学会等名 第37回 関西界面科学セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣洸亮、安藤昌儀、茂里康、川崎英也
2. 発表標題 貴金属添加によるCdSe/ZnS蛍光量子ドットのオゾン感度増大
3. 学会等名 2019年日本化学会中国四国支部大会 - 徳島大会 -
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤昌儀、Vasudevanpillai Biju, 川崎英也、茂里康
2. 発表標題 Optical ozone sensing by composite films of noble metals and CdSe/ZnS quantum dots
3. 学会等名 17th International Meeting on Chemical Sensors (IMCS 2018) (第17回化学センサ国際会議) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤昌儀
2. 発表標題 Study on photoluminescent semiconductor nanoparticles and their composites for optical sensing of ozone in air
3. 学会等名 Vienna University of Technology (TU Wien), ISAS Lecture Meeting (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲垣洸亮、安藤昌儀、茂里康、川崎英也
2. 発表標題 CdSe系蛍光量子ドットのオゾンガスセンサ特性に対する貴金属添加効果
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 オゾン検知用ナノ複合材料及びそれを用いたオゾン検知方法	発明者 安藤昌儀、茂里康、 野田和俊、愛澤秀信	権利者 国立研究開発法人 産業技術総合 研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-130126	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	茂里 康 (SHIGERI Yasushi) (90357187)	和歌山県立医科大学・医学部・教授 (24701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関