



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



発光ナノ材料の合成と物理化学：色素をドーピング  
および色素をド  
ーピングしないシリカナノ粒子、ならびにカーボン  
ドットを包含した リン酸カルシウム

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2025-06-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Noor, E Ashrafi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/0002000342">http://hdl.handle.net/10258/0002000342</a>

氏名	Noor E Ashrafi (ノイアシュラフィ)
学位論文題目	Synthesis and Physical Chemistry of Luminescent Nanomaterials: Dye-Doped and Dye-Free Silica Nanoparticles and Carbon Dot-Encapsulated Calcium Phosphate Salts (発光ナノ材料の合成と物理化学：色素をドーピングおよび色素をドーピングしないシリカナノ粒子、ならびにカーボンドットを包含したリン酸カルシウム)
論文審査委員	主査 教授 飯森 俊文 教授 中野 英之 准教授 馬渡 康輝

### 論文内容の要旨

本論文では、環境科学、産業、生物学の各分野における応用が期待される発光性ナノ材料の合成と物理化学的な特性の研究を行った。

ピレンをドーブしたシリカナノ粒子 (PSNPs) をマイクロエマルジョン法を用いて合成した。ナノ粒子は平均サイズ約 72 nm の球状であり、エキシマー発光を示した。蛍光量子収率は 27% であった。PSNPs の蛍光特性が水中酸素濃度によって変化することを明らかにし、溶存酸素濃度の測定や水質モニタリングのためのセンサーとしての応用が期待される。さらに光励起により一重項酸素が発生することを明らかにし、光触媒作用や抗菌作用への応用の可能性が示された。

窒素雰囲気下で様々な温度でシリカナノ粒子を焼成して室温リン光発光材料を作成した。合成した材料に 365 nm の励起光を照射するとリン光を肉眼でも確認できた。発光のメカニズムとして、シリカマトリックス中に存在する炭素原子により生成する欠陥に起因した発光の可能性がある。本研究で開発したナノ粒子は、長寿命の発光を示す安定な材料としてバイオイメージング、バイオセンシング、偽造防止技術などへの応用が考えられる。

リン酸カルシウムに蛍光発光体としてカーボンドット (CDs) を包含することにより、発光性リン酸カルシウムを作成した。カルシウム源として様々なカルシウム塩、およびリン酸を使用し、共沈法により発光性リン酸カルシウムを作成した。XRD および FTIR によりブルサイトおよびヒドロキシアパタイトの生成を確認した。365 nm の励起光で光励起すると CDs 由来の青色の蛍光が観測された。本研究で作成した発光ナノ材料は、生体適合性、生分解性を有していることから、バイオイメージングやバイオセンシングへの応用に理想的な材料であると考えられる。

総括として、本研究では発光性ナノ材料を合成し、その構造および物理化学的な特性の評価を行い、多機能性と安定性を有することを明らかにした。多機能性と安定性を材料に付与することは材料工学の分野における重要な課題であると考えられる。また本研究で合成さ

れたナノ材料は、生物学において酸素センシング、バイオイメージングなどへの応用が期待されるとともに、光触媒反応を利用した工業廃水処理などを通して実社会における応用の可能性が示されている。

#### ABSTRACT

The synthesis and photophysical properties of various luminescent nanomaterials with potential applications across environmental, industrial, and biomedical fields were studied.

Pyrene-doped silica nanoparticles (PSNPs) were synthesized using a water-in-oil microemulsion method, embedding pyrene within a silica matrix. Characterization techniques confirmed the formation of spherical particles with an average size of 72 nm and a quantum yield of 27% for excimer emission. The fluorescence property of PSNPs changed with oxygen concentration dissolved in water, enabling oxygen monitoring, which is beneficial for measuring dissolved oxygen concentration, monitoring water quality and so on. The singlet oxygen generation upon photoexcitation highlights their potential in photocatalysis and antibacterial applications.

Room temperature phosphorescence (RTP) materials were prepared using silica nanoparticles heated under a nitrogen atmosphere at various temperatures. The nanoparticles showed RTP which was visible to the naked eye after the excitation light at 365 nm was turned off. This RTP may be attributed to carbon substitutional defects within the silica lattice. **Stable** long-lasting luminescence **of nanoparticles prepared in this study is** suitable for applications in bioimaging, biosensing, and anti-counterfeiting technologies.

Fluorescent calcium phosphates were prepared by encapsulating carbon dots (CDs) as fluorescent emitters. Using calcium salts as calcium sources, and phosphoric acid, the fluorescent calcium phosphates were produced via a co-precipitation method. XRD and FTIR confirmed the formation of brushite and hydroxyapatite. The calcium phosphates exhibited blue fluorescence under the excitation light at 365 nm, originating from the CDs. Their biocompatibility and fluorescence characteristics make them **suitable** for biomedical applications, particularly in bioimaging and biosensing, where materials need to be safe, degradable, and interact well with biological systems.

Overall, advanced luminescent nanomaterials which were synthesized and characterized in this study possess multifunctionality and stability. These are challenging properties in the field of materials engineering. **The nanomaterials synthesized in this study show potential for real-world applications such as oxygen sensing and bioimaging in biology, and waste water treatment using photocatalysis reactions in industry.**

#### 論文審査結果の要旨

ナノメートルサイズの粒子（ナノ粒子）の合成と光機能の研究は、工学における重要な分野の一つである。本論文では、環境、産業、生物学の各分野における応用が期待される発光ナノ材料の合成、および物理化学的な視点からナノ材料の機能解明に関する研究を行っている。

第1章では、ナノ粒子に関する過去の研究について解説がなされている。発光ナノ粒子の合成と機能解明に焦点を当てて本論文の位置づけを論じ、論文の目的および構成が述べられている。

第2章では、ピレンをドーピングしたシリカナノ粒子（PSNPs）をマイクロエマルジョン法を用いて合成した研究が報告されている。合成されたナノ粒子は平均サイズ約 72 nmの球状であり、ピレンに由来するエキシマー発光を示した。蛍光量子収率は

27 %であった。PSNPsの蛍光スペクトルおよび蛍光寿命は水中に溶存する酸素濃度によって変化することを明らかにし、酸素濃度のモニタリングのための光センサーとしての応用が示されている。さらに紫外光照射により一重項酸素が発生することを明らかにし、光触媒反応や抗菌作用への応用の可能性が示されている。これらの研究により、本研究で合成されたナノ粒子は、バイオイメージングへの応用とともに酸素センサーや一重項酸素発生といった多重機能を有する材料であることが示されている。

第3章では、マイクロエマルジョン法により合成したシリカナノ粒子を窒素雰囲気下で加熱すると室温でリン光を示す発光ナノ粒子が得られることが報告されている。ナノ粒子に紫外光を照射すると、緑色のリン光を肉眼でも確認できる。焼成時の温度を変えて合成したナノ粒子の発光寿命およびリン光スペクトルについても検討がなされ、温度によって発光強度が変化することが示されている。本研究で開発したナノ粒子は生体親和性の高さが期待され、長寿命の発光を示す安定な材料として、バイオイメージング、バイオセンシング、偽造防止技術などへの応用が考えられる。

第4章では、リン酸カルシウムに蛍光発光を示すナノ粒子であるカーボンドット(CDs)を包含することにより、蛍光材料が得られることが報告されている。走査型電子顕微鏡を用いた実験により、リン酸カルシウム粉末のマイクロメートル～ナノメートルスケールでの形態を明らかにするとともに、粉末X線回折およびFTIRスペクトル測定によりリン酸カルシウムの構造解析が行われている。さらに粉末を紫外光で励起すると青色の蛍光が観測されることが示されている。本研究で合成した蛍光ナノ材料は生体適合性、生分解性を有していると考えられることから、バイオイメージングやバイオセンシングへの応用に理想的な材料であると考えられる。

以上、本論文では、複数種類の発光ナノ材料の合成法を検討し、構造解析、および光物理過程と光化学反応の解明により、多重機能を有する材料であることを実験的な根拠とともに示している。本論文の研究成果は、酸素センシング、バイオイメージング、および光触媒といった工学分野の発展に寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。