

セラミックスナノ粒子を起点とした OTN近赤外バイオイメージングシステムの開発

曾我公平*†

*東京理科大学基礎工学部 東京都葛飾区新宿6-3-1 (〒125-8585)

† Corresponding Author, E-mail: mail@ksoga.com

(2014年9月18日受付, 2014年11月12日受理)

要 旨

希土類イオンを含有するセラミックスの可視光から近赤外光に及ぶ発光は、従来レーザーロッドやディスプレイ用の発光体として応用されてきた。一方、近赤外波長域は生体の光損失が少なく、透明度の高い波長域として知られているため、近赤外の発光を利用したバイオイメージングが注目を浴びている。著者らは希土類イオン含有セラミックスナノ粒子を生体機能化することで、生体の高い透光性を活かした近赤外蛍光バイオイメージングに応用するとともに、この波長域、とくに1,000 nmを超える (OTN) 波長域での蛍光バイオイメージングシステムの開発に取り組んできた。本稿では、発光体としての希土類イオン含有セラミックスナノ粒子を起点とした小動物の近赤外蛍光バイオイメージングシステムの開発について概説する。

キーワード：希土類イオン, 近赤外, セラミックス, ナノ粒子, バイオイメージング

1. はじめに

希土類イオンを含有するセラミックスは、古くはブラウン管用の蛍光材料として用いられ¹⁾、現在でもNd:YAGレーザーに代表される固体レーザーや光通信用の増幅器における発光体として用いられている²⁾。これらの発光体における電子遷移の多くは、希土類イオンの4f電子状態内の電子遷移に基づいている。よく知られている銅や鉄などの遷移金属の着色はd電子状態内の電子遷移に基づいているが、4f電子遷移の光吸収、発光によるスペクトルを最も特徴づけているのは、空軌道をもつ4f電子軌道の外側に存在する5s²5p⁶軌道の遮蔽効果である。一般に、主量子数が大きい軌道ほど原子核から離れて確率密度が分布するためにクーロン力が弱く、高いエネルギーをもつが、希土類などのように重い原子やイオンでは大きい角運動量が許されるために主量子数によるエネルギーの順番が逆転する。結果として、空間的に内側にある4f軌道には5s²5p⁶軌道よりもエネルギーが高いために空軌道が存在し電子遷移を起こせるが、さらに外側の球対称に充満した5s²5p⁶軌道によって電気的に遮蔽されている。このため、希土類イオンのスペクトルは、ほかの遷移金属のスペクトルよりもはるかに狭く、また周囲のイオンの振動を伴った電磁場の影響が弱められるために熱振動

による緩和 (振動緩和) も起こしにくい。さらに狭い準位幅にともなって、その準位構造は離散的である。4f電子遷移のもう一つの特徴は、光の吸収や発光をともなう電子双極子遷移が本来はパリティ禁制であり、外場の影響によってわずかに許されたものであるため、その振動子強度は弱い許容の磁気双極子遷移や四重極子遷移と同程度であり、許容された遷移金属の電気双極子遷移と比べると10⁻⁶~10⁻⁵倍程度に小さい³⁾。これらの狭い準位幅と弱い吸収、そして本質的に希土類が「希な」元素であることが、希土類イオンを含有する物質が古典的には「色材」として用いられてこなかったおもな理由である。一方、レーザーや光通信への応用では、準位幅が狭いことと振動緩和を起こしにくいことが功を奏して実用的な発光材料として用いられている。とくに、近赤外光の発光においては発光始準位と終準位の間隔が可視発光に比べて狭いために振動緩和を起こしやすく、発光効率の高い材料は限られる。この場合に希土類イオンを含有するセラミックスは有用に用いられており、固体レーザーの代表であるNd:YAGレーザーでは800 nm励起1,064 nm発光、光通信用の増幅器であるErドープ石英系ガラスファイバーでは980 nm励起1,550 nm発光と、その波長はいずれも近赤外波長域である²⁾。

さて、下村 脩氏のノーベル賞受賞⁴⁾に見られるように、生命現象を解明するうえで観察対象に蛍光性を付与して観察を行う蛍光バイオイメージングは、高感度で多色、動的な観察が可能なイメージング手段としていまやバイオテクノロジーに不可欠なツールになっているばかりでなく、がんをはじめとする種々の疾患の診断に用いられる重要な可視化技術である。生命系を構成する物質の多くが有機物であることから、これまでの蛍光バイオイメージングにはおもに有機系の発光体が用いられてきた。また既往のカメラを用いるために観察する蛍光は可視



〔氏名〕 そが こうへい
 〔現職〕 東京理科大学基礎工学部材料工学科 教授
 〔趣味〕 音楽鑑賞, 絵画鑑賞, 陶磁器鑑賞, 比較文化論
 〔経歴〕 1995年3月東京大学大学院工学系研究科材料科学専攻博士課程修了, 博士 (工学) 取得。同専攻助手, 東京大学新領域研究科助手を経て, 現在に至る。1999~2000年米国ニュージャージー州ラトガース大学博士研究員。2009~2010年台湾國立清華大學, 國立陽明大學客員教授。