

研究成果報告書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		環境半導体ナノクラスターが示す新奇な光物性の起源解明と応用			
研究テーマ (欧文) AZ		Origin of Unique Optical Properties of Environmentally-friendly Nanoclusters			
研究氏 代表名 者	カナ CC	姓)シラハタ	名)ナオト	研究期間 B	2016 ~ 2018 年
	漢字 CB	白幡	直人	報告年度 YR	2018 年
	ローマ字 CZ	SHIRAHATA	NAOTO	研究機関名	物質・材料研究機構
研究代表者 CD 所属機関・職名		国立研究開発法人 物質・材料研究機構・主席研究員			
<p>概要 EA (600 字~800 字程度にまとめてください。)</p> <p>半導体シリコン(Si)は間接遷移型バンド構造をもつため強い発光は望めない。ところが 5nm 以下に微小粒子化すると目視できるほどの強さの発光をもたらす、発光の量子収率は 1~2%である。本研究では、この蛍光量子収率(PLQY)を56%まで増強するプロセスとメカニズムを明らかにした。PLの温度依存性を調べたところ、水素終端化 SiQD 中で生成した光励起キャリアは大半が無輻射失活していることが分かった。一方で、Si-H 結合を Si-C 結合へリガンド交換した SiQD では、無輻射失活のチャンネル生成が抑制され PLQY が 56%まで増強されることが明らかとなった[J. Phys. Chem. C. 2018, 122, 6422]。</p> <p>次に、このような強蛍光体を活性層に具備する発光ダイオードを作製した。デバイス構造を逆構造にしたところ、外部量子収率は 3.5%まで増大し、さらに優れたデバイス安定性を示すことが分かった[J. Phys. Chem. Lett. 2018, 9, 5400]。次に、レーザーデバイス研究へ発展させるために、当該デバイスを光共振器中においたが光ゲインを得ることができなかった。これを解決するために反転分布の形成を目論んだ。具体的には SiQD へ不純物イオンをドーピングするために合成プロセスを開発した。現状で Co ドーピングには成功している[Angew. Chem. Int. Ed. 2017, 56, 6157]。</p> <p>デバイス活性層を SiQD の高密度粒子膜で作製するために、電気泳動法の開発を進め、現状では QD 薄膜形成ができる段階まで来た[Mater. Trans. 2019, 60, 49]。また、SiQD とは別に青色蛍光体の開発を進め、34%の PLQY を示すシリカナノ粒子の合成にも成功した[J. Mater. Chem. B 2017, 5, 1363]。</p>					
キーワード FA	量子効果	シリコン	発光ダイオード	無輻射失活構造	

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 ^{GB}	Transition-Metal-Doped NIR-Emitting Silicon Nanocrystals							
	著者名 ^{GA}	S. Chandra, Y. Masuda, N. Shirahata, F. Winnik	雑誌名 ^{GC}	Angewandte Chemie International Edition					
	ページ ^{GF}	6157~6160	発行年 ^{GE}	2	0	1	7	巻号 ^{GD}	56
雑誌	論文標題 ^{GB}	A One-pot Synthesis of Water Soluble Highly Fluorescent Silica Nanoparticles							
	著者名 ^{GA}	S. Chandra, G. Beaune, N. Shirahata, F. Winnik	雑誌名 ^{GC}	Journal of Materials Chemistry B					
	ページ ^{GF}	1363~1370	発行年 ^{GE}	2	0	1	7	巻号 ^{GD}	5
雑誌	論文標題 ^{GB}	Inverted Device Architecture for Enhanced Performance of Flexible Silicon Quantum Dot Light Emitting Diode							
	著者名 ^{GA}	B. Ghosh, H. Yamada, S. Chinnathambi, I. N. G. Ozbilgin, N. Shirahata	雑誌名 ^{GC}	Journal of Physical Chemistry Letters					
	ページ ^{GF}	5400~5407	発行年 ^{GE}	2	0	1	8	巻号 ^{GD}	9
雑誌	論文標題 ^{GB}	Impact of Anchoring Monolayers on the Enhancement of Radiative Recombination in Light-Emitting Diodes Based on Silicon Nanocrystals							
	著者名 ^{GA}	B. Ghosh, T. Hamaoka, Y. Nemoto, N. Shirahata	雑誌名 ^{GC}	Journal of Physical Chemistry C					
	ページ ^{GF}	6422~6430	発行年 ^{GE}	2	0	1	8	巻号 ^{GD}	122
雑誌	論文標題 ^{GB}	Preparation of Double-shelled Fluorescent Silicon Nanocrystals and Fabrication of Its Thin Layer by Electrophoretic Deposition Process							
	著者名 ^{GA}	N. Shirahata, T. Uchikoshi, T. K. N. Nguyen, Y. Masuda, Y. Sakka	雑誌名 ^{GC}	Materials Transactions					
	ページ ^{GF}	49~54	発行年 ^{GE}	2	0	1	9	巻号 ^{GD}	60
図書	著者名 ^{HA}								
	書名 ^{HC}								
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}	

欧文概要 EZ

In this study, we provide a direct evidence of the controlled structure of silicon quantum dots (SiQDs) which allows the enhanced photoluminescence quantum yields (PLQYs). Specifically the ligand exchange between the hydrogen atoms and hydrocarbon chains led to the dramatic enhancement of PLQYs from 1.7% to 56%. According the systematic study on temperature dependence of PL properties along with relaxation dynamics, we discussed that the alkyl monolayers provide an anchor that prevents the lattice distortion of the diamond cubic lattice of Si, thus inhibiting the creation of nonradiative channels. It is noteworthy that this anchoring effect is responsible for the high PLQYs [*J. Phys. Chem. C*. 2018, 122, 6422]. In the next study, the highly-emitting SiQD was used as an active layer for light emitting diode. We proposed that inverted structure of the diode provides a good optical performance such as a high external quantum yield (~3.5%), a long device lifetime, and stable electroluminescence spectral stability even at high operation voltage [*J. Phys. Chem. Lett.* 2018, 9, 5400]. This device structure is mounted in the optical cavity for investigating optical gain of the spontaneous emission, but optical gain was not obtained. To overcome the problem, we developed a method for impurity-doping into the SiQD lattice [*Angew. Chem. Int. Ed.* 2017, 56, 6157]. For preparation of an active layer in which SiQD are densely packed, we investigated the electrophoretic deposition process for SiQD [*Mater. Trans.* 2019, 60, 49]. We also developed a chemical method to prepare blue-emitting silica nanoparticles that exhibit the PLQY of 34% for device fabrication working in the short-visible wavelength region [*J. Mater. Chem. B* 2017, 5, 1363].