

球形シリコン Mie 共振器による単層 WS₂ の発光特性制御

Controlling Emission of WS₂ Monolayer with a Spherical Silicon Mie Resonator

神戸大院工¹, スタンフォード大学², デンマーク工科大学³ ○籾本 樹生¹, Yan Joe Lee², Søren Raza³, 杉本 泰¹, 藤井 稔¹, Mark Brongersma²

Kobe Univ.¹, Stanford University², Technical University of Denmark³, °Tatsuki Hinamoto¹, Yan Joe Lee², Søren Raza³, Hiroshi Sugimoto¹, Minoru Fujii¹, Mark Brongersma²

E-mail: fujii@eedept.kobe-u.ac.jp

近年注目を集める 2 次元層状物質の中でも、単層の遷移金属ダイカルコゲナイド (MeX₂: Me = Mo or W, X = S or Se) は、室温で安定な励起子発光を示すことが報告されており、量子発光体としての応用が期待される。このような量子発光体の発光特性を制御することは、次世代の光電子デバイスへの応用に必要不可欠である。

そのような発光特性制御をナノスケールで実現するため、高屈折率誘電体ナノアンテナの Mie 共鳴現象を利用することが提案されている。高屈折率誘電体ナノ構造を発光体近傍に配置することで、ナノ構造に誘起される電気・磁気双極子モードと発光体自身の電気双極子が干渉し、発光に指向性が生じる。実際に、MoS₂ 近傍にシリコンナノワイヤ (1 次元構造) を配置し、高い指向性を観測したことが近年報告された[1]。本研究では、更に微小な 0 次元の指向性ナノアンテナの実現を目指し、直径 100-200 nm の球形シリコンナノ粒子の利用を提案する。

本研究の模式図を Figure 1a に示す。石英基板上に成長させた単層 WS₂ 上に、コロイド溶液のドロップキャストによって球形シリコンナノ粒子を配置する。Figure 1b に作製した構造の SEM 像と、顕微分光法により測定した単一粒子の散乱スペクトルを示す。測定したスペクトルは、FDTD 法による計算結果とよく一致しており、目的の構造ができていることが示唆される。続いて、発光の指向性を評価するため、上下方向にそれぞれ配置した対物レンズを通して、粒子周辺での WS₂ からの発光イメージを測定した (Figure 1c,d)。測定には APD を用い、ロングパスフィルタを通して 630 nm の励起子発光を検出した。上方検出時に発光が強く検出されており、発光が上方へと輻射されていることがわかる。本研究では、シリコンナノ粒子の無い場合に比べ、前方/後方発光強度比が最大 3 倍増大した。発表では、点双極子源励起に関して計算した Mie 理論による解析結果や、この指向性の起源、粒子のサイズ依存性、散乱スペクトルとの関連について議論する。

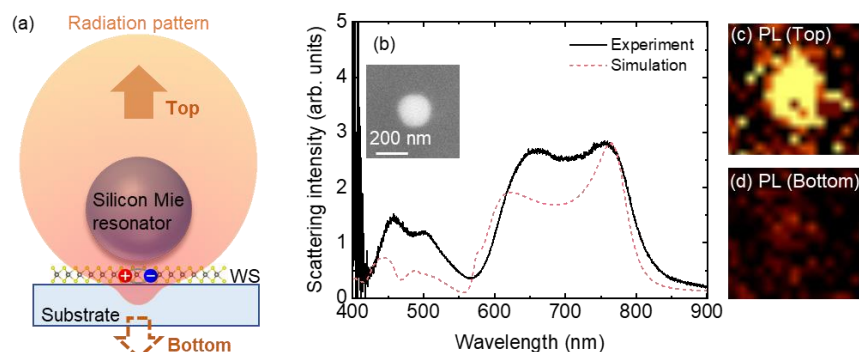


Figure 1 (a) Schematic illustration of the proposed spherical Si Mie resonator. (b) Measured (solid) and calculated (dashed) scattering spectra of the Si nanosphere. A SEM image is shown in the inset. (c,d) Photoluminescence images of the WS₂ under the nanosphere detected in (c) top and (d) bottom direction (excitation wavelength = 485 nm).

[1] A.F. Cihan et al., Nat Photonics. 12 284 (2018)