

高屈折率誘電体-金属ハイブリッドナノ粒子の指向性散乱制御

Directional Scattering of High Refractive Index Dielectric-Metal Hybrid Nanoparticle

神戸大院工¹, JST さきがけ² ○杉本 泰^{1,2}, 雛本 樹生¹, 藤井 稔¹Kobe Univ.¹, JST-PRESTO² ○Hiroshi Sugimoto^{1,2}, Tatsuki Hinamoto¹, Minoru Fujii¹

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

【背景・目的】高屈折率誘電体ナノ粒子は、電気 (ED)・磁気双極子 (MD) Mie 共鳴を励起することができるため、ED と MD の散乱が遠方場で干渉する Kerker 効果により、指向性散乱を示す。そのため、Mie 共鳴ナノ粒子を2次元に配列したメタサーフェス構造が活発に研究されている。しかしながら、誘電体ナノ粒子単体では ED・MD の共鳴波長が異なるため、双方の大きさが一致する波長 (Kerker 第一条件) では散乱効率が小さい。ED・MD 共鳴を同一波長で励起するため、コアシェル構造や多量体構造、プラズモニック構造とのハイブリッド構造が提案されている。指向性散乱について良好な理論予測が示されているが、実験的には基板の存在や測定系の制限により、ナノ粒子の前方・散乱強度比など散乱指向性を定量的に決定するのは困難である。本研究では、ED, MD モードを個別に制御可能なハイブリッド構造として、Si と Au ナノ粒子からなるヘテロダイマー粒子に着目し、前方・後方散乱比率を定量的に決定する手法を提案する[1]。

【研究方法・結果】結晶性 Si の球状粒子[2]を非常に薄い SiO₂ 膜(10 nm)上に配置することで、基板の影響を排除し、TEM による厳密な粒子形状・サイズの観測を可能にした。真空中の Si 粒子の MD ピークの前方・後方散乱強度比 (FW/BW) を計算で求め、暗視野散乱測定結果と比較することで実験系の散乱強度の補正值を求めた。図1は、Si ナノ粒子単体 (143 nm) の前方・後方散乱、および FW/BW スペクトルの実験結果である。単一 Si 粒子単体では、650 nm あたりで前方散乱が支配的になるが、前述の通りその波長での散乱強度は非常に小さい。次に、溶液プロセスで合成した Si-Au ナノ粒子ダイマーの指向性散乱特性を図2に示す。TEM 像より、所望の構造が形成されていることが確認でき、120 nm Si 粒子の MD 波長~525 nm で FW/BW は最大となる。これは、Au ナノ粒子(100 nm)のブロードな表面プラズモン共鳴と Si 粒子の MD の干渉による Kerker 効果で説明される。講演では、電磁場分布等から指向性散乱の起源を詳細に解明し、Si ナノ粒子のサイズで指向性散乱波長を制御可能であることを示す。

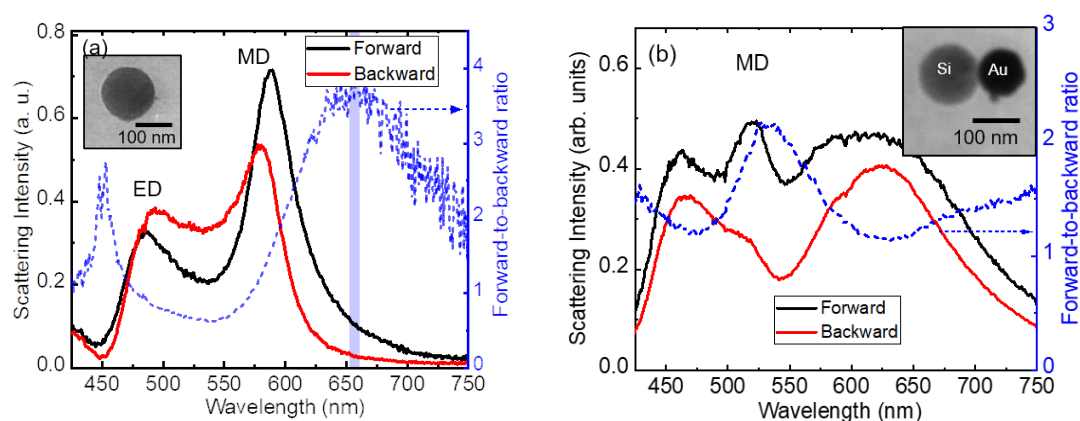
[1] H. Sugimoto, *et al.*, *Advanced Optical Materials* 7, 1900591 (2019).[2] H. Sugimoto, *et al.*, *Advanced Optical Materials* 8, 2000033 (2020).

Figure 1. Calibrated FW (black) and BW (red) scattering and FW/BW ratio (blue) spectra of (a) a Si nanosphere (143 nm) and (b) a Si-Au heterodimer shown in TEM images in insets.