

Mie 共鳴により発色するシリコンナノ粒子インク (II)

Mie Resonant Silicon Nanoparticle Color Inks (II)

神戸大院工¹, JST さきがけ² ○岡崎 拓真¹, 杉本 泰^{1,2}, 雛本 樹生¹, 藤井 稔¹

Kobe Univ.¹, JST-PRESTO² ○Takuma Okazaki¹, Hiroshi Sugimoto^{1,2}, Tatsuki Hinamoto¹, Minoru Fujii¹

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

我々は高屈折率誘電体ナノ構造の Mie 共鳴による発色に着目し、多様な基材に大面積に着色できる Si ナノ粒子インクの開発を行っている[1,2]。図 1(a)は独自に開発した単分散 Si ナノ粒子インクの TEM 像であり、図 1(b)のように暗所・白色 LED 照射下では サイズに依存した鮮やかな散乱発色を示す[3]。このように低密度なインクでは単一 Si 粒子と同様の散乱特性を示すが、自然光下で明るい発色は得られず、透過率が高いため基材や周囲の環境に大きく影響される。高密度なインクでは反射率が大きくなり、透過率が減少する一方、彩度が低下する現象がみられる。これは多重散乱に起因すると考えられるが、定量的に明らかになっていない。本研究では、ナノ粒子懸濁液における多重散乱を考慮したシミュレーション手法を確立し、高彩度と大きい反射強度を両立した Si ナノ粒子インクの開発を目指す。

単一 Si ナノ粒子の散乱・吸収効率、散乱強度角度分布を Mie 理論から求め、モンテカルロ法を用いて Si ナノ粒子分散溶液 (光路長: 2 mm) に入射した光子を追跡することで、各波長における拡散反射強度を求めた。図 2(a)に濃度の異なる Si ナノ粒子 (120 nm) インクの拡散反射スペクトルを示す。低濃度 (≤ 0.014 mg/mL) では、 ~ 500 nm に電気・磁気双極子 Mie 共鳴に由来するピークがみられ、緑色を呈色する。一方、 0.14 mg/mL 以上で 500 nm のピーク強度は飽和し、 600 - 900 nm の領域にブロードなピークが発現する。これにより、挿入図のように彩度が大きく低下する。拡散反射スペクトル変化の要因を明らかにするため、図 2(b)に各濃度の拡散反射光の平均散乱回数を示す。 500 nm 付近では散乱回数 5 回程度であり、これは(i) Si が 500 nm 以下で強い吸収を持つこと、(ii)後方への散乱指向性を有する (Kerker 効果) ことに起因する。一方、 600 - 900 nm では吸収が小さいため、 8 - 13 回程度散乱されて拡散反射に寄与する。よって、Mie 共鳴波長のみで高い強度を達成するには、長波長域での多重散乱効果の抑制が必要である。講演では、多重散乱の抑制のため、吸収材料としてカーボンブラックナノ粒子を混合し、インクの彩度向上と基材への着色を理論・実験両面から示す。[1] 岡崎他, 2019 年秋季応用物理学会, 20p-E208-9. [2] 杉本他, 2020 年春季応用物理学会, 14a-B309-1. [3] Sugimoto, *et al.*, *Adv. Opt. Mater.* 8, 2000033 (2020)

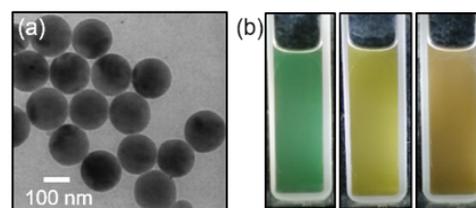


Figure 1. (a) TEM image of Si nanoparticles (NPs). (b) Photos of Si NP inks with different sizes under white LED illumination.

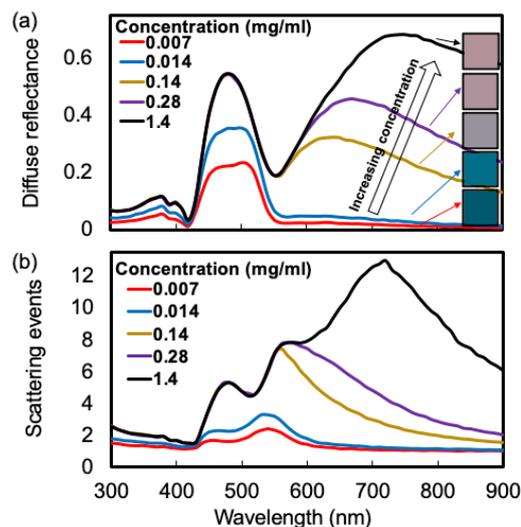


Figure 2. Simulated (a) diffuse reflectance and (b) number of scattering events of 120 nm Si NP inks with different concentrations.