

共焦点光散乱顕微分光・イメージング装置の開発

(阪大院工) 宇和田貴之, 朝日剛, ○増原宏

[序] 我々はこれまでに、非発光性ナノ粒子の分光スペクトルを単一粒子レベルで測定することを目的に顕微光散乱分光装置を開発し、単一粒子のレイリー散乱スペクトルから金ナノ粒子や有機ナノ結晶の分光特性とそのサイズ依存性を検討してきた^{1,2)}。今回、高い空間分解能の散乱光イメージングと光散乱スペクトルを同時測定可能な、共焦点光散乱顕微分光・イメージング装置を開発したので報告する。本装置の基本性能を単一金ナノ粒子の散乱スペクトル測定によって評価した。

[実験] Fig. 1 に作製した分光装置の概略図を示す。光源には、フェムト秒 Ti:sapphire レーザー(76 MHz, 100 fs, 780 nm)の基本波をフォトニック結晶ファイバー(コア系 1.8 μm , 長さ 100 cm, ゼロ分散波長 750 nm)に導入し発生させた白色光(500~750 nm)を用いた。白色光を倒立方顕微鏡に導き、対物レンズ(60 倍, N.A. 0.7)を通して試料表面に集光した。試料からの後方散乱光を同じ対物レンズで集め、イメージングピンホールを通した後に ICCD 分光器に導いた。試料はピエゾステージ上に置き、ステージを走査させながら各位置での散乱光強度スペクトルを測定した。ピエゾステージの稼働範囲は縦横方向にそれぞれ 100 μm 、高さ方向に対して 100 μm である。試料には、金ナノ粒子(平均粒径 100 nm)ガラス基板の上にスピンコートし、その上へマッチングオイル(屈折率 1.52)を滴下したもの、および金ナノ粒子をドーブした PVA フィルムを用いた。

[結果と考察] 金ナノ粒子を平均粒子間距離が 10 μm 以上になるようガラス基板の上に分散させた試料を用いて、基板表面上の単一金ナノ粒子の散乱スペクトルを測定した結果を Fig. 2 に示す。スペクトルの測定時間は 10 秒である。図には、分光器で測定した散乱光強度スペクトルを入射白色光スペクトルで割り算し、散乱効率スペクトルを示してある。金ナノ粒子は、可視域に表面プラズモン共鳴(Surface Plasmon Resonance; SPR)に由来する強い光散乱を示すことがよく知られている。屈折率 1.52 の媒体中にある直径 90 nm の金ナノ粒子の SPR 散乱スペクトルを Mie 散乱理論より計算し、測定した散乱効率スペクトルと比較した結果、スペクトル形状がよく一致した。このことから、本装置を用いて単一金ナノ粒子の散乱効率スペクトルを正確に測定できることが示された。

Fig. 3 に単一金ナノ粒子の散乱光イメージを示す。この図は、ピエゾステージを横方向に 300 nm ステップで 0.2 秒/ステップの速度で走査し、各点からの波長 610 ± 10 nm の散乱光強度をイメージングしたものである。このように粒径 90 nm の金ナノ粒子について非常に高いコントラスト光散乱イメージを測定することができた。Fig. 4 に光散乱イメージの横方向、および高さ方向の断面プロファイルを示す。これらの半値幅から求めた空間分解能は、横方向に対して約 0.5 μm 、高さ方向では約 3.9 μm となった。これらの値は対物レンズの N.A. から見積もられる光の回折限界による空間分解能とほぼ一致している。このように共焦点光散乱顕微分光・イメージング装置を用いることにより、単一金ナノ粒子の光散乱イメージを光の回折限界の空間分解能で測定すると同時に、その散乱効率スペクトルを測定できることが示された。PVA フィルム中に高濃度に分散した金ナノ粒子の三次元散乱光イメージについても併せて報告する。

高い空間分解能で光イメージングする装置としては、走査型近接場光学顕微鏡が知られているが、

測定対象は基板表面上のナノ粒子に限定される。一方、共焦点顕微鏡では、比較的厚い媒質中のナノ粒子の3次元光イメージングが可能である。発表当日は、これらの特性を活用した本装置の応用について議論する。

[1] T. Itoh, T. Asahi, H. Masuhara, *Appl. Phys. Lett.* **79**, 11, 1667 (2001)

[2] T. Asahi, H. Masuhara in *Single Organic Nanoparticles*, Masuhara, H. Nakanishi, K. Sasaki (Eds.), 94 (Springer, 2002)

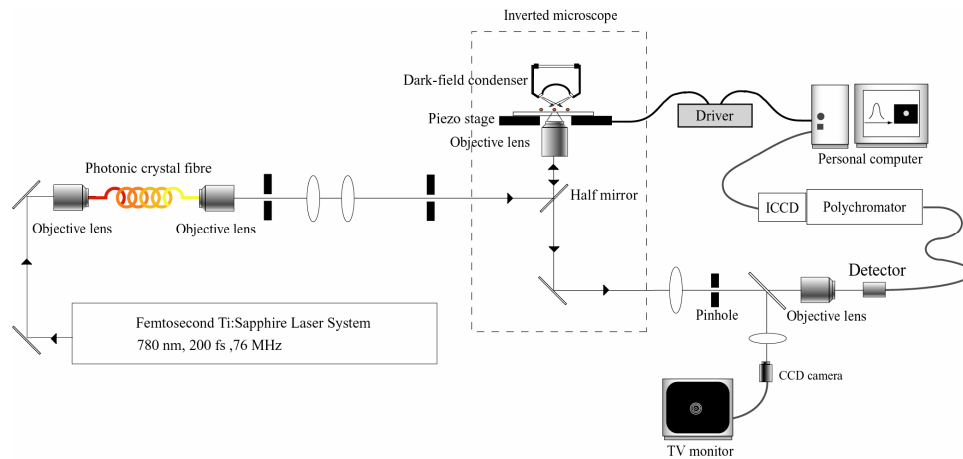


Figure 1 共焦点光散乱顕微・分光イメージング装置の概略図。

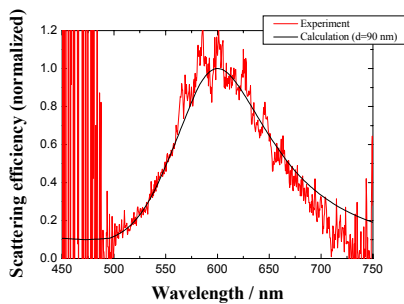


Figure 2 単一金ナノ粒子の光散乱スペクトル。

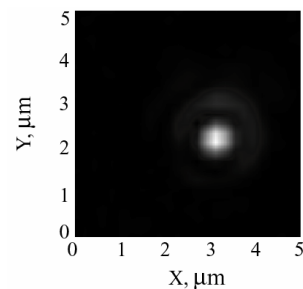


Figure 3 金ナノ粒子の散乱光イメージ。

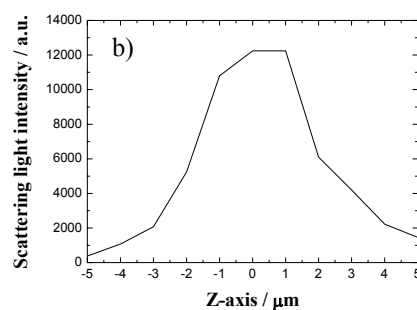
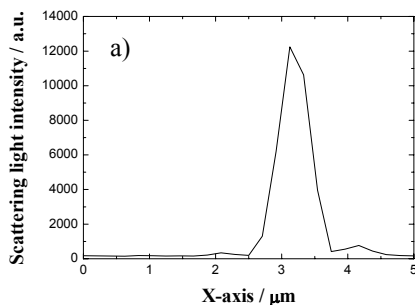


Figure 4 a) Fig. 3 散乱光イメージの X 軸 ($Y=2.3 \mu\text{m}$) 方向に対する断面プロファイル。 b) もっとも SN 比よくイメージを得た高さを $Z=0$ として、Fig. 3 において信号の最も強い位置においての高さ方向に対する断面プロファイル。