

レーザー加工による金属メソ円形構造体の作製とその顕微分光研究

(早大院理工) ○ 平野祐樹, 井村考平

Laser fabrication and microscopic study of metal circular mesostructures

(Waseda Univ.) ○ Yuki Hirano, Kohei Imura

【序】数百 nm～数 μm のメソスコピックスケールの空間構造を持つメソ構造体は、バルクとは異なる光学特性を示す。特に貴金属メソ構造体は、プラズモン共鳴により光増強効果など特異な光学特性を示すことから、光反応場や光デバイスなどへの応用が期待されている。プラズモンの特性は、メソ構造体のサイズや形状に依存し、これを簡便かつ自在に加工する技術が求められている。本研究では、レーザー加工による 3 次元メソ構造体の作製法を確立し、作製した構造体の光学特性を究明することを目的とした。

【実験】貴金属メソ構造体は、ガラス基板上に蒸着した金属薄膜に、パルス発振レーザー光を照射して作製した。メソスコピックスケールでの加工を実現するために、自作の光学顕微鏡を用い、チタンサファイヤレーザー光（波長 800 nm）を回折限界程度の微小スポットに絞った。レーザー光の露光時間、光強度を調整して、金属薄膜上に構造体を作製した。構造体の形状は、原子間力顕微鏡（AFM）を用いて評価した。また、構造体の光学特性は、光学顕微鏡、および開口型近接場光学顕微鏡（SNOM）を用いて評価した。散乱および透過測定は、光源としてキセノンランプを用いた。

【結果と考察】レーザー加工により、入射光平均パワー $>400\text{ mW}$ で金マイクロホール構造が、 $200\sim400\text{ mW}$ で直径数 μm の金マイクロバンプ構造が、 $<200\text{ mW}$ で直径 $600\sim900\text{ nm}$ の金ナノバンプ構造が作製されることが明らかとなった。金マイクロホール構造の AFM 測定結果から、ガラス基板が隆起していないことが明らかとなったため、金マイクロバンプ構造体は、隆起した金薄膜とガラス基板の間が中空になっていると推測される。図 1 に、レーザー加工により金薄膜上に作製した金マイクロバンプ構造の AFM 像を示す。図中の明部と暗部は、それぞれ隆起部分と平坦な薄膜部分に相当する。AFM のラインプロファイルから、金薄膜分は厚さ約 15 nm 、隆起部分は高さ約 260 nm 、直径約 $1.7\ \mu\text{m}$ であることが明らかとなった。また、加工により作製される最小の構造体は、AFM のラインプロファイルから、隆起部分は高さ約 68 nm 、直径約 640 nm であることが明らかとなった。直径は、光の回折限界から見積もられる光スポット径と同程度であるため、光照射部分のみが加工されている。図 2 に、光学顕微鏡を用いて測定した、金マイクロバンプ構造の散乱スペクトルを示す。散乱スペクトルは、金薄膜上での散乱光強度を I_0 、金マイクロバンプ構造での散乱光強度を I として、 I/I_0 より評価した。金マイクロバンプ構造の散乱スペクトルは、波長 420 nm 、 670 nm 近傍にピークを示す。スペクトル形状が平坦な金薄膜と明らかに異なることから、実測された共鳴構造はプラズモン共鳴に起因すると推測される。図 3 に、SNOM を用いて測定した金マイクロバンプ構造体の近接場吸収スペクトル

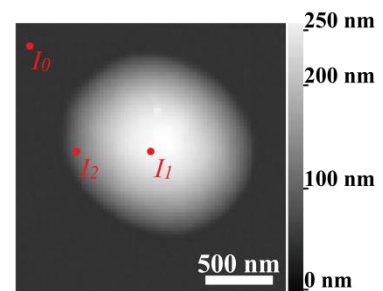


図 1. 金マイクロバンプ構造の AFM 像

を示す。図 1 中で、構造の金薄膜部分での透過光強度を I_0 、隆起部分での 2 点の透過光強度を、それぞれ $I=I_1, I=I_2$ とした時、 $-(I-I_0)/I_0$ を縦軸とする。金マイクロバンプ構造の近接場吸収スペクトルは、金マイクロホール構造および金薄膜とは異なる吸収特性を示すことが明らかとなった。また、金マイクロバンプ構造は、 $I=I_1$ において、出射偏光に依らず同じ近接場吸収特性を示し、波長 450 nm, 710 nm 近傍に共鳴帯を、波長 570 nm 近傍に透過光の増強帯を持つ。近接場吸収スペクトルと散乱スペクトルの共鳴構造が一致するため、近接場吸収の共鳴帯も、プラズモン共鳴に起因すると推測される。図 4 (a, b) に、SNOM を用いて測定した金マイクロバンプ構造の近接場透過像を示す。図中の明暗は、透過光強度の強弱に相当する。波長 570 nm で観測した近接場透過像では、図 4 (a) 中の点 A→B→C の順に、透過光が、弱→強→微弱となることがわかった。波長 710 nm で観測した近接場透過像では、図 4 (b) 中の点 A'→B'→C' の順に、透過光が、強→弱→微弱となることがわかった。図 4 (c) に示す、構造の頂点を横切る透過光強度のラインプロファイルから、透過光の強/弱が同じ位置で対になっていることがわかる。散乱測定、近接場吸収測定結果より、波長 570 nm, 710 nm で観測した透過像は、プラズモン共鳴に由来する吸収と、プラズモン共鳴を介した異常透過光現象に由来すると解釈できる。点 A の透過光強度が金薄膜と比べて強弱を示す現象は、金マイクロホール構造の近接場透過像でも観測された。

レーザー加工法による、3 次元的に滑らかな金メソ円形構造体の作製法を検討した。加工条件により、構造形状とサイズの制御が可能であることが明らかとなった。金マイクロバンプ構造の近接場透過像は、プラズモン共鳴に起因する異常透過光現象に由来した像を示すことから、異常透過光現象を用いた光化学反応場としての応用が期待される。

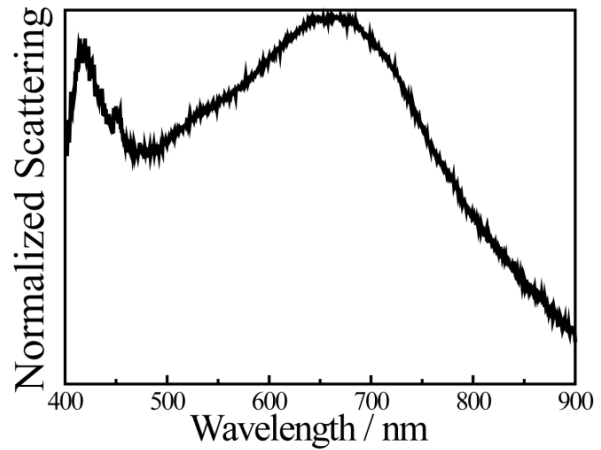


図 2. 金マイクロバンプ構造の散乱スペクトル

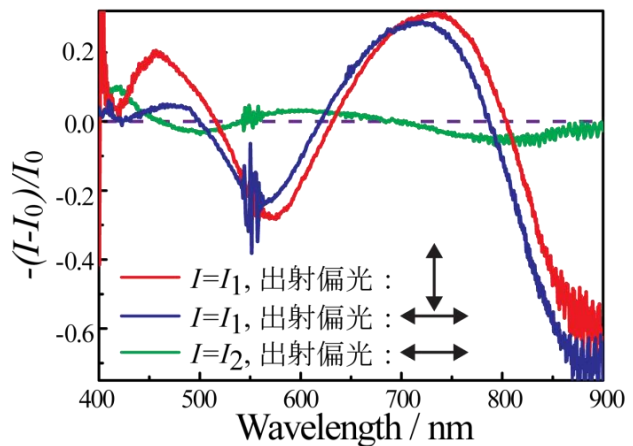


図 3. 金マイクロバンプ構造の近接場吸収スペクトル

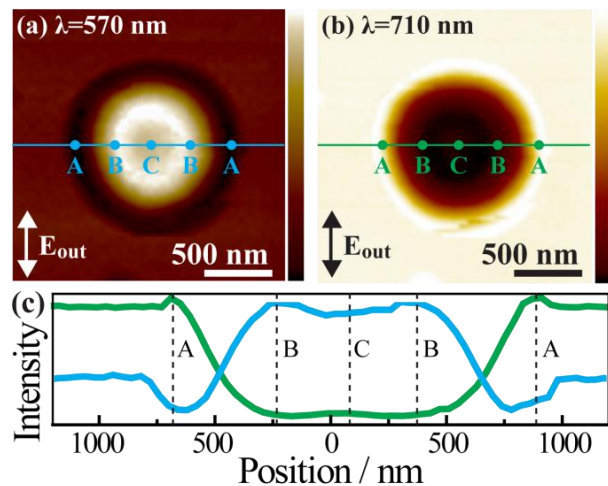


図 4. 金マイクロバンプ構造の近接場透過像
波長 (a) 570 nm, (b) 710 nm, (c) 透過光強度のラインプロファイル (青: 570 nm, 緑: 710 nm)。