

4B12

プラズモンによる微小開口からの透過光増強

(早稲田大¹, JST さきがけ², 北大電子研³, 分子研⁴) ○井村考平^{1,2}, 上野貢生^{2,3}, 三澤弘明³, 岡本裕巳⁴

【序】 金属板に作製した開口に光を照射すると、開口を通して光は透過する。透過する光強度は、開口径の減少とともに急激に減少する。開口サイズが光の波長程度以下になると透過光はほとんど観測されず、開口近傍に近接場光が発生する。近接場光を利用する近接場光学顕微鏡の空間分解能は、開口径と同程度である。近接場光学顕微鏡の性能を向上するためには、近接場光強度の改善が不可欠である。

貴金属ナノ構造体に励起されるプラズモン共鳴は、局所的に光電場を増強し、近傍に存在する光と物質の相互作用を強くする。相互作用はプラズモン共鳴波長において特に強く、これを利用すると従来の近接場光学顕微鏡の空間分解能を改善できる可能性がある。我々は、これまでに、ナノサイズの微小開口近傍に金ナノ構造体を近接させたときに、透過光強度が増強する場合があることを見いだしている¹⁾。本研究では、直径 50 - 200 nm の金ナノディスクを用いて、微小開口からの透過光強度の波長特性を系統的に調べ、透過光増強のメカニズムを解明することを目的とした²⁾。

【実験】 金ナノディスクは、電子線リソグラフィ・リフトオフ法によりガラス基板上に作製した。微小開口は、市販品の開口型近接場ファイバースコープを用いた。図 1 に近接場測定の様式図を示す。測定では、光源としてキセノンランプを用い、近接場ファイバースコープに光を導入し、裸のガラス基板上での微小開口からの透過光強度 I_0 と開口にディスクを近接させた時の透過光強度 I を分光検出した。

【結果及び考察】 図 2 に、金ナノディスクのファーフールド吸収スペクトルを示す。図から、直径の増大とともに共鳴波長が長波長側にシフトしピーク強度が大きくなる事が分かる。観測されるピーク波長の直径依存性は、金ナノロッドで観測された長軸/短軸比(ア

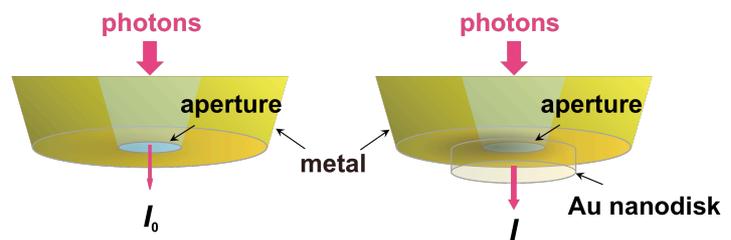


図 1. 近接場測定の様式図。

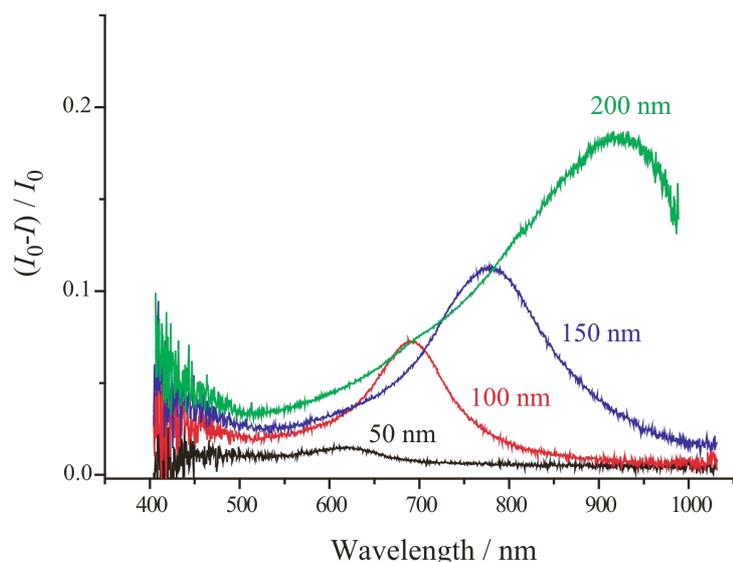


図 2. 金ナノディスク(直径 50-200 nm, 高さ 35 nm)のファーフールド吸収スペクトル。

スペクト)依存性と定性的に一致することから、アスペクト比(直径/高さ)依存性として理解できる。つまり、アスペクト比の増加とともにディスク内部に発生する反電場が小さくなるために、共鳴波長が長波長にシフトすると理解される。以上より、観測されるピークは、プラズモン共鳴に帰属される。一方、直径の増大とともに観測されるピーク強度の増大は、散乱断面積がディスクの体積の二乗に比例し増大するためと理解される。これらの光学特性は、古典電磁気学計算により、良く再現される。

図 3 に金ディスクにおいて観測される近接場透過スペクトルを示す。ここでは、ディスク直径(150 nm)は近接場プローブ開口径(100 nm)よりも大きい。したがって、開口部は、ディスクにより幾何学的に塞がれており(図 1 右の状況)、幾何光学では光は透過しない配置である。図 3 の縦軸 I/I_0 は、ディスク中央で計測した透過光強度とガラス基板上で測定した透過光強度の比を示す。図中の破線は、 $I/I_0=1$ を示し、開口からの透過光強度が試料により影響を受けない場合に相当する。透過光が試料により吸収・散乱される場合は、

$I/I_0 < 1$ となる。波長 400-650 nm では、透過率は 1 よりも小さく、ディスクの吸収や散乱により透過光強度が減少すると理解される。一方、長波長側では、透過率が 1 よりも大きくなる。この結果は、開口をディスクで塞ぐことにより、透過光強度がむしろ強くなることを示す。透過率は、波長 840 nm 近傍でピークを示し、その増強度は 2.7 倍に達する。同様の測定を、ディスク直径を変化させて測定した結果、直径 100-200 nm のディスクにおいても透過率の増強が観測された。ピーク波長は、ディスク直径の増大とともに長波長シフトし、その増強度はさらに大きくなる。直径 200 nm のディスクでは、最大で約 5 倍の増強度に達する。ピーク波長と増強度のディスクサイズ依存性は、図 2 において観測されたプラズモン共鳴波長のディスクサイズ依存性と類似している。このことから、光増強過程にプラズモン共鳴が関与していると考えられる。実際、古典電磁気学モデルに基づいたシミュレーションにより、観測される分光特性が良く再現されることが明らかとなった。この結果は、開口近傍に存在する近接場光が、プラズモン共鳴により効率的にディスクに結合し、その後、励起されたプラズモンが高い効率で外部に輻射するために、透過光の増強として観測されたと解釈できる。ディスクに励起されるプラズモンは、光を集光・放出するアンテナとして作用することが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) K. Imura, T. Nagahara, H. Okamoto, *Chem. Phys. Lett.* **400**, 500 (2004).
- 2) K. Imura, K. Ueno, H. Misawa, H. Okamoto, *Nano Lett.* **11**, 960 (2011).

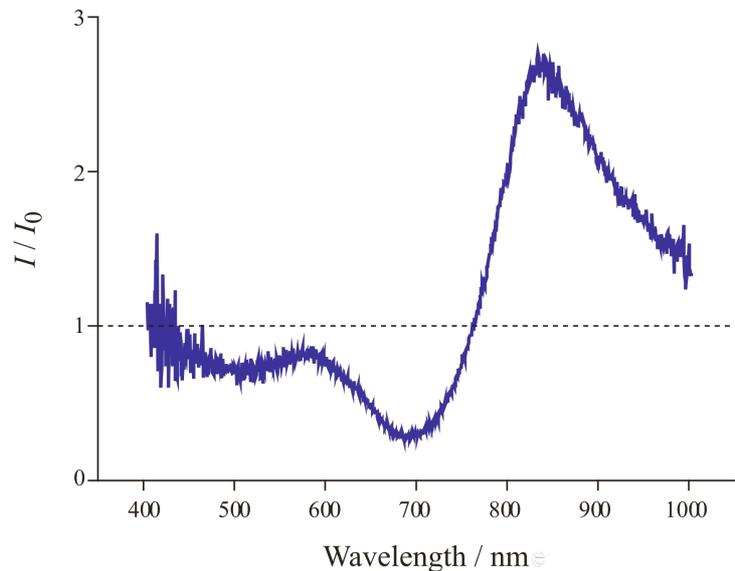


図 3. 単一金ナノディスク(直径 150 nm, 高さ 35 nm)の近接場透過スペクトル。