

1B18

金ナノディスクの近接場顕微分光

(分子研¹, 北大電子研²) ○井村考平¹, 岡本裕巳¹, 上野貢生², 三澤弘明²

【序】貴金属ナノ構造は、局在プラズモン共鳴により光強結合場を誘起することから、ナノマイクロ光学素子のインターフェースとして機能する光ナノデバイスや、新しい光反応場の構成要素として注目されている。光強結合場を設計し制御するためには、プラズモンの空間構造を理解することが本質的である。我々はこれまでに、近接場光学顕微鏡の高い空間分解能を利用して、化学的に合成した金ナノ微粒子のプラズモンの波動関数が可視化されることを報告してきた。本研究ではこれをさらに発展させ、化学的合成法では作製困難な円板状の金ナノ構造（ナノディスク）を電子線リソグラフィ法で作製し、近接場顕微分光によるプラズモンの可視化を行なった。

【実験】金ナノディスク（直径数十～数百 nm）は、ガラス基板上に電子線リソグラフィ・リフトオフ技術により作製した。構造体は、 $1\mu\text{m}$ ごとに配置し、ナノ構造それぞれに励起されるプラズモンが互いに相互作用しない設計とした。本研究に用いた近接場光学顕微鏡は、開口型ファイバースコープを用いるもので、駆動系に閉回路ピエゾステージを用い、高い位置再現性を達成している。空間分解能は、プローブの開口径程度（数十 nm）である。近接場透過像の測定にはキセノンランプを、また二光子励起測定用の光源にはフェムト秒チタンサファイアレーザー（ $\lambda = 780\text{-}920\text{ nm}$ ）を用いた。試料は近接場プローブ開口部より光照射し、透過光又は発光を対物レンズで集光後、分光検出した。イメージ測定では、透過光又は発光の強度を検出しながら試料を走査することで、励起確率像を得た。入射光の偏光は、半波長板及び四分の一波長板で制御し、検出光の偏光方向は、検光子で識別した。

【結果及び考察】図 1 に作製した金ナノディスクの走査電子顕微鏡像を示す。観測されるナノ構造（設計寸法：直径 400 nm）の形状から、電子線描画装置の分解能（5 nm）

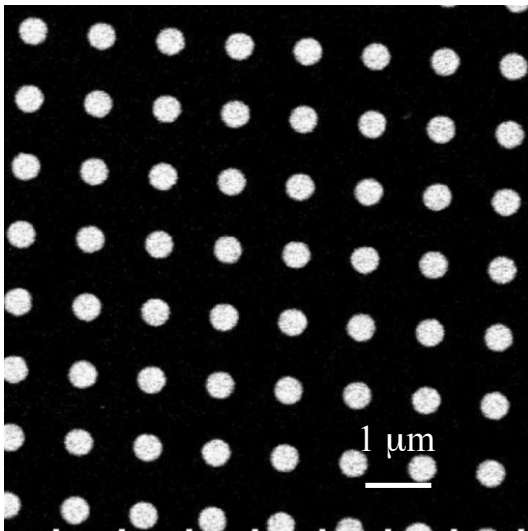


図 1 金ナノディスク（直径 400 nm）の走査電子顕微鏡像。

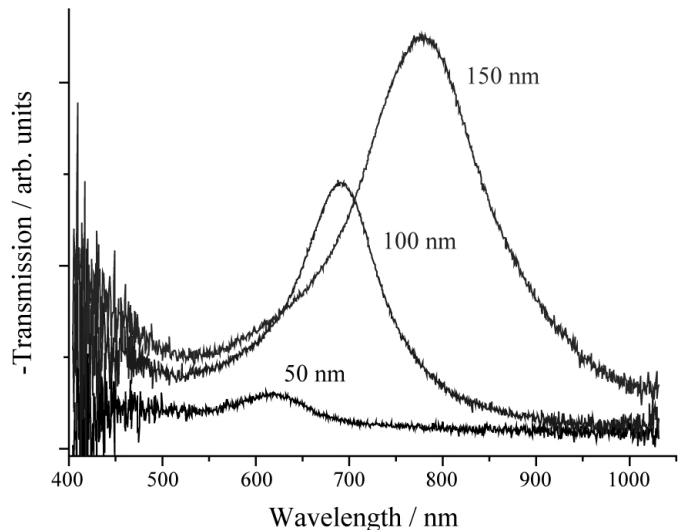


図 2 金ナノディスク（直径 50, 100, 150 nm）のファーストフィールド透過スペクトル。

程度の高い精度でナノ構造体を作製可能であることが分かる。金ナノディスクの高さは、近接場光学顕微鏡や原子間力顕微鏡による表面形態測定から決定した。

図2に、金ナノディスク（高さ40 nm，直径50, 100, 150 nm）のファーフールド透過スペクトルを示す。縦軸は、負の透過率であり、透過光の減少（吸収および散乱）を示す。図から、透過スペクトルに共鳴ピークが観測され、ディスク直径（またはアスペクト比（直径/高さ））の増加と共に、共鳴波長が長波長にシフトすることが分かる。直径の大きいナノディスク（直径>200 nm）では、波長1000 nm以上の領域で共鳴ピークを示すと考えられる。これらの観測結果は、金ナノロッド透過スペクトルのアスペクト比依存性と同様である。

近接場透過像測定は、ナノ構造に励起されるプラズモンの空間特性を明らかにする有効な手段である。波長800 nmで観測した無偏光の近接場透過像では、ナノディスクの直径が小さい（ ≤ 150 nm）場合は、ディスクの中心付近に円形の励起像が得られ、また直径の大きいディスク（ > 150 nm）では、ドーナツ状の励起像が観測された。これらの観測結果は、光子状態密度計算の結果（プラズモン波動関数の空間形状）と定性的に一致する。このことから、小さいナノディスクのスペクトル（図2）において可視域に観測されるピーク構造は、最低次のプラズモンモードに帰属される。

偏光測定からは、波動関数の空間形状についてさらに重要な情報が得られた。図3(a)に、金ナノディスク（直径400 nm）の近接場偏光透過像を示す。図中の明部は、透過光の減少（吸収）部分に相当する。図から、入射偏光と直交する方向に吸収（励起）確率に変動する特徴的な空間構造が明らかとなった。この結果は、金ナノロッド（図3(b))において、ロッド長軸に平行な入射偏光により、偏光方向に振動するプラズモンの波動関数の空間構造が見いだされたことと対照的である。ナノディスク、ナノロッドで観測された偏光特性の相違は、プラズモンモードの振動方向と関係していると考えられる。詳細は、発表当日議論する。

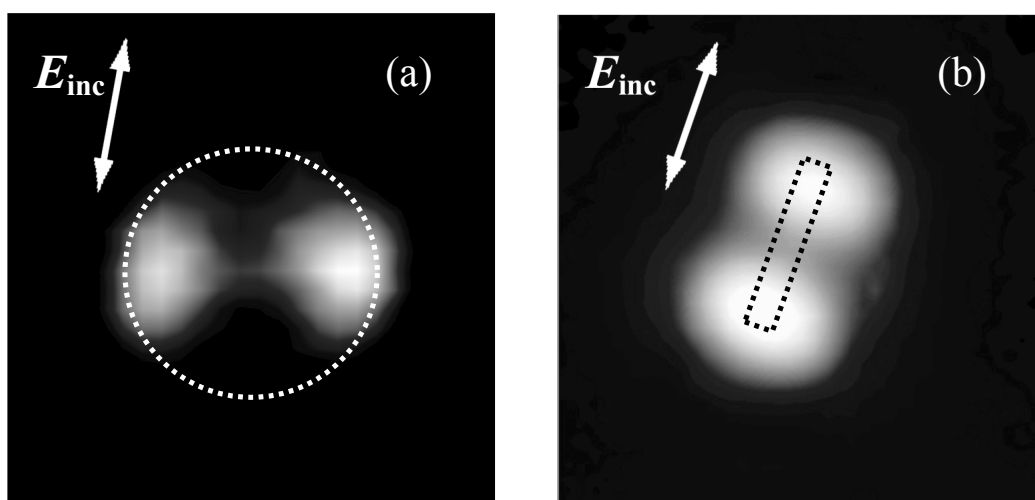


図3 波長800 nmで観測した近接場偏光透過像 (a) 金ナノディスク（直径400 nm ×高さ35 nm），(b) 金ナノロッド（長さ180 nm ×直径30 nm）。破線：ナノ構造の概形。矢印：入射偏光方向。