

課題名 (タイトル) :

近接場プラズモニックプローブの解析

利用者氏名 : 田口 敦清

所属 : 和光研究所 基幹研究所 河田ナノフォトニクス研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

エクストリームフォトニクスプロジェクト・近接場ナノフォトニクス研究チームでは、金属先端増強近接場光学顕微鏡(先端増強 NSOM)の開発研究を推進している。これに関連して、金属プローブ先端に光を照射した時に形成される局在プラズモン増強電場の特性を、計算機シミュレーションを用いて解析した。先端増強 NSOM では、プローブ先端の増強電場が、信号の強さや空間分解能を決定するため、プローブの材料、形状、構造の最適化が重要と考えられる。しかし、作製したプローブのばらつきや評価方法の欠如から、最適なプローブ構造を実験的に系統だてて示すことは現時点では容易ではない。そこで本研究課題では、計算機シミュレーションを用い、プローブ材料、形状、照明方法等をパラメータとしてプローブ先端に形成される電場を解析した。

2. 具体的な利用内容、計算方法

今回の解析では、ガラス基板上に位置するプローブ先端の電磁場応答を解析した。入射光は、ガラス基板の裏面から高開口数で入射し、プローブ先端に集光している。プローブの材質は銀で、形状がコーン形状の場合と、ロッドの場合とで、プローブ先端のスペクトルの違いを検討した。モデルに使ったパラメータは以下の通り ; 開口数 [1.0-1.4], 偏光はラジアル偏光, プローブ先端径は 30nm, コーンアングル 30 度。計算は FDTD 法を用いて行い、広帯域パルスを入射し、時間領域波形をフーリエ変換してスペクトルを算出した。

3. 結果

プローブの形状がコーン形状とロッド形状では、スペクトルの構造に大きな違いが見られた。ロッド形状では、ロッドの長さ依存した局在プラズモンの共鳴ピークが現れた。ロッドの長さを変化

させると、共鳴ピークの波長も変化する。それに対して、コーン形状のスペクトルは基本的にピーク構造を持たず、広い波長帯域にわたってブロードなスペクトル波形となった。時間領域波形の観察から、入射波はプローブ先端で金属とカップリングした後、伝搬モードへと変換されてプローブの側面に沿って伝搬していく。その結果、ロッドの場合に見られるような固有のモードを持たず、スペクトルがブロードになるものと理解される。従って、特定の波長で大きな増強を得るためには、ロッドをプローブに用いるか、あるいはコーン形状ではキャビティ効果を示す擬似的構造を人為的に作製することが効果的であると考えられる。

4. まとめ

プローブの形状 (ロッド, コーン) による先端スペクトルの比較を行った。その結果、ロッドではキャビティ効果によるピーク構造が見られるのに対して、コーン形状では入射光がプローブ先端で伝搬モードに変換されるためにキャビティが形成されずスペクトルがブロードになることが分かった。

5. 今後の計画・展望

ロッド形状は特定の波長を増強することができるため信号強度を高めることができるが、実験的には作製が難しい。そこで、作製技術の開発とともに、計算の課題としてコーン形状において疑似キャビティ効果を示すような形状を検討する。具体的なアイデアとしては、表面レリーフをコーン側面に導入する等を検討する。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況 (どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか) や、継続して利用する際に行う具体的な内容 (疑似キャビティ効果を示す構造の検討を行う。また、研究の進捗に応じて、プローブだけでなく、他の金属ナノ構造の電磁場応答解析を行う。