

プロジェクト名(タイトル):

## 光メタマテリアルの電磁場解析

○田中拓男(1,2)

(1) 開拓研究本部 田中メタマテリアル研究室

(2) 光量子工学研究領域 フォトン操作機能研究チーム

## 1. 本プロジェクトの研究の背景、目的

波長よりも細かな人工構造を用いて物質の光学特性を制御した「光メタマテリアル」とその応用技術について研究を行っている。光メタマテリアルの構造は光の波長よりも微細なため、可視光をターゲットとしたメタマテリアルの場合、それを構成する素子のサイズは数十～数百ナノメートルになる。一方、メタマテリアル自体はこのような基本素子の集積体なので、素子とメタマテリアル全体のサイズ比は $10^3\sim 10^6$ にも及ぶ。さらに、メタマテリアルの特性は1つの波長の光のみに限定されず、赤外から紫外域の広い波長領域にわたって解析する必要がある。そのため、メタマテリアルの構造の設計や特性評価を行う計算は大規模なものになる。このような光メタマテリアルについて、今年度は誘電体ナノ構造の Mie 共鳴特性の解析と、それを用いた光波の位相制御技術について電磁界解析を実施した。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

誘電体ナノ粒子としてシリコン(Si)、窒化ガリウム(GaN)を想定し、これらの物質のナノ構造(球、円筒形、立方体)に光波が照射された場合の光散乱特性を分割双極子近似法(DDA法)を用いて計算した。平行して研究室内の計算機にて有限要素法を用いた解析も行い、両者を比較した。計算では、球の半径や円筒形の高さなどの構造パラメータに加えて可視から遠赤外光までの波長や光の入射角、偏光状態などを網羅的に変化させた。また、ナノ構造単体の光学特性に加えて、これらが基板表面に周期的に配列した構造についても、配列周期等を変化させてその依存性を計算した。そして得られた反射・透過スペクトルから、光の反射・透過光強度に加えて、反射光、透過光の位相が波長に応じてどう変化するかを求めた。また、電場強度分布も求め、光電場が構造内のどこに局在しているかを評価した。

## 3. 結果

Si は可視光から赤外光を含む広い波長領域において3.0を超える屈折率を持っている事から、強いMie共鳴が得られ、共鳴波長付近においては透過光や反射光には $2\pi$ を超える位相変化が重畳することが解った。特に、電気双極子モードと磁気双極子モードがオーバーラップするいわゆる Kerker 条件を満たす構造では、光の後方散乱が抑制されて反射率がゼロになり、ほぼ全ての光エネルギーが透過光に移ることが確認できた。またMie共鳴波長は、ナノ構造の構造パラメータを制御することによって調整できることもわかった。一方 Si は、赤外光域では透明であるものの、可視光域では光を吸収するため、透過型光学素子への応用には適さない事が確認できた。

GaNはその屈折率が2.3程度とSiのそれには及ばないため、Mie共鳴は弱く、光の局在効果もSiほどには高められないことがわかった。しかし GaN は、可視光～赤外光のほぼ全域で透明であるため、透過型光学素子へも応用できるという、Siにはない大きな長所を有することを確認した。

## 4. 今後の計画・展望

光メタマテリアルを構成するナノ構造体の1つとして誘電体ナノ構造のMie共鳴特性を評価した。その結果、SiやGaNを用いたナノ構造アレイが $2\pi$ 以上の位相差を生み出すことを確認できた。Mie共鳴特性のみの比較では、屈折率の大きなSiの方がGaNと比較して強い共鳴特性が得られたが、Siは可視光域では不透明であるのに対し、GaNは可視光域でも透明であるという長所があることがわかった。これらの結果をもとにGaNを用いて、ナノメートル厚の平板構造のみでレンズ機能を実現する「メタレンズ」を設計・試作した。次年度以降は、試作したメタレンズの光機能特性(光集光特性や収差)を実験的に評価するが、平行して、レンズ構造全体を計算モデルとした大規模電磁界計算を実施して、その結果を実験値と比較することでメタレンズとしての光メタマテリアル構造の最適化を行う予定である。