

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 田丸 博晴

金属の自由電子の疎密波であるプラズマ振動は、金属微小構造においては可視域の光に共鳴する振動数を持つ。これをプラズマ共鳴と呼び、金微粒子によるステンドグラスの呈色のように、電磁場と強く相互作用することが古くから知られていた。一方、プラズマ振動の波長は同じ振動数を持つ自由空間の光の波長に比べてはるかに短いために、金属微小構造は光の回折限界を超える空間分解能をもつ探針として、また微小領域において光学情報処理をするナノ・オプティクスの子として、近年応用への期待が急速に高まっている。本論文は、マクスウェル方程式の数値的解法の一つである有限差分時間領域 (FDTD) 法を用いてプラズマ共鳴を記述する場合、計算の適用範囲はどこにあるか、またその限定要因は何かという数値計算上の限界を見極め、この計算法が応用にどこまで資することが出来るかを、数値計算、解析解、実験を比較しながら検討したものであって、全5章よりなる。

第1章は序論である。FDTD法はアンテナなど金属が完全導体として近似できる周波数領域での応用が従来多く行われてきたが、本論文では誘電率分散を正面から取り上げること、また解の正確さを解析解と実験の両面から検証することが述べられている。

第2章では、本論文で用いられるFDTD法を計算機に実装する場合の実際的な戦略について議論している。特に、プラズマ共鳴の解析をする場合、非常に広い周波数域で計算する必要があることからインパルス応答計算を採用すること、計算の実験的な検証のため遠方解を信頼性良く求めること、誘電率分散の誤差が計算結果にどのように影響するかということの数値的に検証すること、などの検討項目が挙げられている。そして、これらの項目を金と銀という典型的な金属の微小球について検討し、少なくとも半定量的に正しい結果に到るために注意すべき条件を明らかにしている。特に、散乱よりも吸収の効果が支配的になる小さな構造においては、共鳴周波数における誘電率の虚部の相対誤差が決定的に重要であるという有用な指針を見出した。

第3章では数値計算と実験の比較を行っている。計算との比較を行うためには、実験においても金属の微小球あるいは球に準ずる簡単な構造をもつ微粒子の光学応答を、孤立した単体の状態で調べる必要がある。このために、金属微粒子をガラス基板上にまばらに分散させ、これを暗視野顕微分光法により視野中の特定の輝点だけをピンホールで取り出して散乱スペクトルを測定する方法を開発した。この輝点は個々の微粒子に由来するものであるが、別途SEMで観察する事により、対応する微粒子の形状や大きさを測定することが可能である。この形状に関する測定値を使ってFDTD計算を行い、散乱スペクトルの形状や偏光依存性との比較を試みた。実際に用いた微粒子は、孤立球、二連球、ナノロッドなどであり、それぞれについて実測スペクトルを良く再現するためのキーとなるパラメータを同定し、このパラメータのみの系統的な変化として多数の実測スペクトルを数値的に再現する事に成功した。また、解析解が知られていないナノロッドについて、経験的な近似解を見出し、このような解が探索的な研究において有用であることを示した。

第4章では、数値解法としての精度の限界がどこにあるかを調べるために、球の場合についてFDTD計算と解析解を比較検討した結果を述べている。その結果、数値計算は全散乱断面積としてのスペクトルを定量的に正しく与えるものの、吸収断面積は系統的に低めに出ることが見出された。これは数値計算を行う時に滑らかな表面を凹凸のあるメッシュで表現することにより近接場が正しく評価されない

効果であると推定されたが、詳細の理解には到っていない。

第5章は、前4章をまとめ、今後のFDTD計算の展望について述べたものである。

以上要するに、本論文はパソコンレベルの比較的小さな計算資源でも実用上意味のある数値計算が可能なFDTD法を用いて、金属ナノ構造のプラズマ共鳴現象の数値計算を行い、計算の信頼性について実際の問題に則して検討を加えたものであって、ナノ・オプティクス設計および近接場領域における電磁現象の定量的な解明に資すると期待される。これらの点で、本研究は物理工学、光工学の進展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。