18p-PB11-12

銀微粒子における局在表面プラズモンの実効モード体積のサイズ依存性に関する FDTD 解析

Analysis of the size dependence of the effective mode volume of localized surface plasmon in Ag nanoparticles using the FDTD method

新潟大自然研[1]，新潟大超域[2]，○新野 信宏[1]，岡 寿樹[2]

Niigata Univ., ○Nobuhiro Niino and Hisaki Oka

E-mail: h-oka@eng.niigata-u.ac.jp

【はじめに】表面プラズモンによる巨大な電場増強は、分子系の非線形光学応答の増強や効率的光反応場の構築など様々な応用が期待されている。プラズモンの光学応答は cavity QED 理論の枠組みに帰着させることが可能であり、実際、分子–プラズモン相互作用の解析にも良く用いられる。しかし、結合係数 g の評価の際に mode 体積の概念をプラズモン場に導入するには注意が必要である。実際、mode 体積を導入した解析は実験結果を比較的良く再現する一方、奇異なサイズ依存性を示すことが知られている[1]. 本研究では、FDTD 法を用いて様々な金属ナノ構造体の実効 mode 体積を解析し、そのサイズ依存性について報告する。

【解析方法】解析領域の中心に銀微粒子を配置し、プラズモン共鳴波長の cw 光を入射することで局在表面プラズモンの実効 mode 体積を計算し、そのサイズ依存性を解析する。実効 mode 体積は以下の式で評価する[3]：

$$V_{eff} = \frac{\int_a^{\infty} d\mathbf{x}\varepsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{x},t)\cdot\mathbf{E}(\mathbf{x},t)}{\max\left[\varepsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{x},t)\cdot\mathbf{E}(\mathbf{x},t)\right]}.$$

ここで a は銀微粒子を特徴づけるサイズ（球では半径等）である。実際の FDTD 計算では t は定常状態となる値で打ち切り、また波動帯の成分を取り除くため積分範囲は解析空間全体ではなく一辺 10a の正方形とした。本研究では簡単のため二次元系を採用し、銀微粒子のパラメータは文献[2]を用い、銀微粒子の外の解析領域は簡単のため真空とした。

【結果と考察】図 1 に実効 mode 体積のサイズ依存性の解析結果の一例を示す。解析解との比較ため、銀微粒子は単純な円形とした。横軸は半径 a、縦軸は V_{eff} である。a の増加とともに V_{eff} も増加し、その傾向は双極子近似から得られる解析解とおおよそ一致し、FDTD 法による計算の妥当性を示している。しかし、25nm 付近から V_{eff} の増加率が減少し、解析解とのずれが大きくなる。これは粒径が増加したことによる多重極成分の影響と考えられる。発表では、ナノアンテナ構造や様々な形状の銀粒子に対する V_{eff} のサイズ依存性について報告する。

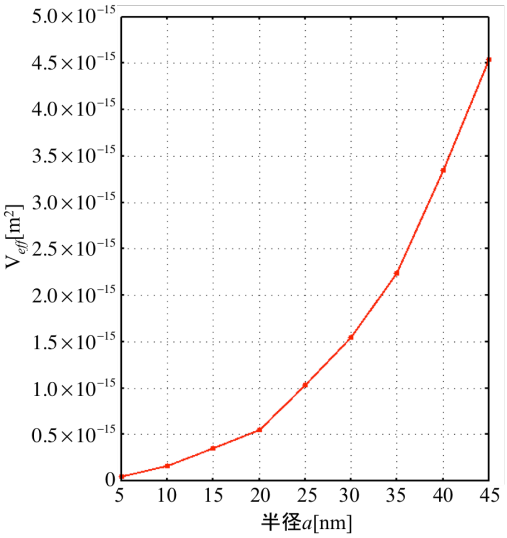


図 1 実効 mode 体積の半径依存性

参考文献

[1] 岡 寿樹, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 19a-PA2-1 (2014).

[2] S. K. Gray *et al.*, Phys. Rev. B **68**, 045415 (2003).

[3] J. Vučković *et al.*, Phys. Rev. A **66**, 023808 (2002).

© 2014 年　応用物理学会