

金ナノ周期構造体における分散性モデルの比較検討

Comparative study of dispersibility models in gold nanoparoidic structures

○安藤雄喜¹, 岸本誠也², 胡桃聡², 大貫進一郎²

*Yuki Ando¹, Seiya Kishimoto¹, Satoshi Kurumi¹, Ohnuki Shinichiro¹

Abstract: The purpose of this study is to clarify localized plasmon due to the size of the nanoparoidic structure. Computational model is the gold nanostructures generated on the substrate. The computational model is made from the image obtained by an atomic force microscope. Electromagnetic field analysis based on the finite difference method is performed and a metal dispersion model is evaluated.

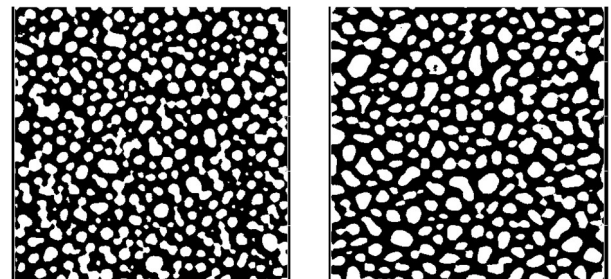
近年、近接場光を利用したデバイス開発のため、局在プラズモンの研究が精力的に進められている^{[1][2]}。局在プラズモンは、照射する光の波長に対し十分に小さい金属粒子において、入射光により粒子中の自由電子が集団振動を生じ、非常に強い光の局在を生じさせる現象である。特定の波長の光を増強し利用するため、基板上に製膜された粒子構造体によるプラズモン共鳴の実験的検証が行われている。図1は物理気相成長法によって作成された粒子構造体のサンプルである。このような多数の金ナノ粒子からなる構造体の電磁界シミュレーションは計算時間が膨大となるため、粒径と局在プラズモンの関係に対して数値的に十分な議論は行われていない。

本報告では FDFD (finite-difference frequency-domain)法を用いて電磁界解析を行う。また、金属の分散性媒質は、分極 \mathbf{P} を表現する分散性モデルを考慮する。式(1)に示す Hydrodynamic Drude モデルは、粒子表面での電子散乱を表現することができ、ナノオーダーの金属粒子の解析で用いられる^{[3][4]}。

$$\beta^2 \nabla(\nabla \cdot \mathbf{P}) + (\omega^2 + j\gamma\omega)\mathbf{P} = -\varepsilon_0 \omega_p^2 \mathbf{E} \quad (1)$$

ここで初項は非局所効果を考慮した項であり、 $\beta^2 = v_F^2/3$ 、 v_F はフェルミ速度、 γ は電子の衝突係数、 ω_p はプラズマ周波数を示す^{[3][4]}。実際に計算を行う際には、Maxwell方程式と式(1)を Yee 格子^[5]に準ずるように離散化し、空間微分を差分化することで得られる線型方程式を解く。

上記計算手法を用いて、物理気相成長法によって異なる条件で基板上に生成された金ナノ構造体を対象とし電磁界解析を行う。金ナノ構造体の形状は原子間力顕微鏡により得られた図1の画像に基づき、粒径が小さいパターンAと粒径が大きいパターンBを解析形状として扱う。各



(a) パターン A

(b) パターン B

図1 解析モデル

解析形状の入射波長に対する局所電界強度を取得し、Hydrodynamic Drude モデルと Drude モデルの結果の比較を行い、分散性モデルの妥当性について検討する。

参考文献

- [1] Martti Kauranen and Anatoly V.Zayats, Nonlinear plasmonics, nature photonics, November 2012, vol.6, pp. 737-748
- [2] 安藤 雄喜, 呉 迪, 山口 隆志, 岸本 誠也, 大貫 進一郎, “微小金円柱の断面形状変化に対するプラズモン伝搬解析”, 2020年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会 C-15-5
- [3] 安藤 雄喜, 岸本 誠也, 胡桃 聡, 大貫 進一郎, “物理気相成長法により生成した金ナノ周期構造体の電磁界解析”, 信学技報, EMT2020-28, 2020(印刷中)
- [4] Cristian Cirac, John B. Pendry, and David R. Smith, “Hydrodynamic Model for Plasmonics: A Macroscopic Approach to a Microscopic Problem”, ChemPhysChem, 2013, Vol. 14, pp: 1109 – 1116
- [5] Allen Taflove, Susan C. Hagness, “Computational Electrodynamics: The Finite - Difference Time - Domain Method”, ARTECH HOUSE ANTENNAS AND PROPAGATION LIBRARY, 2005