

FDFD 法を用いた微小金属円柱列におけるプラズモンモード特性解析 Characteristics Analysis of Plasmon Mode in Nano Metal Cylinders Using FDFD Method

○安藤 雄喜¹, 呉 迪², 岸本 誠也³, 大貫 進一郎³

*Yuki Ando¹, Di Wu², Seiya Kishimoto³, Shinichiro Ohnuki³

Abstract: There are two modes of surface plasmons for metallic strip: the long-range mode is that plasmon propagates along the metal surface over long distances and the short-range mode is that plasmon is strongly localized. In this study, the electromagnetic field near the metallic cylinders is analyzed by using the FDFD (Finite-Difference Frequency-Domain) method which is the frequency domain method. We compare the modes near the gold strip and the gold column.

金属中における自由電子の集団振動はプラズモンと定義され、外部の電磁界により励起し金属内に疎密波として伝搬する。また金属表面では特に表面プラズモンと呼ばれ、外部の電磁界とエネルギーの結合を生じる。表面プラズモンには電子の振動方向により2つのモードが存在し、プラズモンが金属表面にそって長距離に伝搬する長距離モードとプラズモンが強く局在する短距離モードに分かれる^[1]。その伝搬特性を利用する金属形状にはストリップや円柱列が考案されている^[2,3]。しかし円柱列とストリップとの伝搬特性の比較については十分な検討が行われていない。

本研究では微小金属円柱を並べ、その分極方向を変化させた際のプラズモン解析を行い、金ストリップの表面プラズモンモードとの比較を行う。数値解析にはFDFD (Finite-Difference Frequency-Domain) 法を用いる。本手法はMaxwell方程式を周波数領域において離散化し、電界、磁界、分極を未知数とする連立一次方程式を解く手法である。定常応答を一度の計算で求めることができるため、解析条件によっては時間領域の手法に比べ短時間で応答を求めることが可能である。金属の分散性を考慮するため、式(1)に示す分極の方程式を補助方程式として用いる。

$$\beta^2 \nabla(\nabla \cdot \mathbf{P}) - (-\omega^2 + j\omega\Gamma)\mathbf{P} + \epsilon_0 \omega_p^2 \mathbf{E} = 0 \quad (1)$$

ここで、 β : 非局所効果の係数, ω_p : プラズマ周波数, Γ : 衝突係数とする。

金属円柱を真空中に配置し、電磁界の励振源としてダイポールソースを想定する。金円柱列の解析モデルを図1に示す。ここで金円柱内の分極方向をエネルギーの進行方向に対し垂直にした横モード、平行にした縦モードとし、それぞれのモードで解析を行う。金ストリップ近傍の長距離モードと短距離モードの電界分布と金円柱列近傍の電界分布を比較し、金円柱列におけるプラズモンの伝搬特性を検討する。

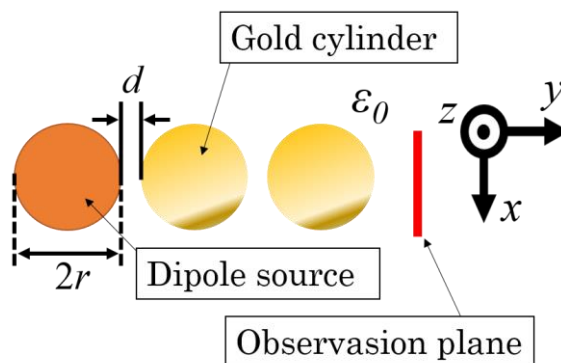


図1. 金円柱列の解析モデル

謝辞

本研究を行う上で日頃より研究討論を頂いている、(地独)東京都立産業技術研究センター山口隆志様に深謝の意を表す。

この研究は、科研費基盤(C)17K06401、及び日本大学 理工学部プロジェクト研究助成金の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Pierre Berini, "Long-range surface plasmon polaritons", *Advances in Optics and Photonics* 1, pp. 484—588, 2009.
 [2] W. Nomura, et al, "Nanodot coupler with a surface plasmon polariton condenser for optical far/near-field conversion" *Appl. Phys. Lett.*, vol.86 ,No.181108, pp.181108-1 — 181108-3, 2005.
 [3] 安藤雄喜, 呉迪, 遠藤源博, "FDFD 法を用いた金属細線導波路の伝搬解析", 光エレクトロニクス研究会 4月研究会, 2019.