

## 微小金円柱列の波長応答解析

—円柱間距離を変化させた場合—

## Wavelength Response Analysis of a Gold Nano-Cylinder Chain

—Varying the Distance Between Cylinders—

○長澤和也<sup>1</sup>, 竹内嵩<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>3</sup>\*Kazuya Nagasawa<sup>1</sup>, Takashi Takeuchi<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>3</sup>

Abstract: Recently, metallic nano-particle chains with exciting Localized Surface Plasmon (LSP) have attracted attention for application in nano-devices such as effective light nano-antennas, biosensors, plasmonic waveguides, and so on. In this report, we investigate wavelength responses of a metallic nano-cylinder chain varying the distance between cylinders.

## 1. はじめに

近年, 局在表面プラズモン(Localized Surface Plasmon; LSP)を微小金属列に励起させ, 光アンテナ, バイオセンサー, プラズモニック導波路等に利用する研究が盛んに行われている<sup>[1-2]</sup>. 微小金属に励起する LSP の強さは, 励起光の波長に大きく依存する<sup>[3-5]</sup>. 本報告では LSP が励起された微小金円柱列について電磁界解析を行い, 円柱間距離を変化させた際の波長応答について検討を行う.

## 2. 解析手法

本報告では, 時間領域有限差分(Finite Difference Time Domain; FDTD)法を用いて解析を行う<sup>[6]</sup>. 本解析手法は, 次式に示すマクスウェル方程式を空間的, 時間的に中心差分を用いて離散化することで時間領域の電磁界解析を行う手法である.

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (2)$$

金属の周波数分散性を考慮するために, 次式に示す電子の運動方程式を補助方程式として用いる<sup>[7]</sup>.

$$m \frac{d^2 \mathbf{u}}{dt^2} + m\gamma \frac{d\mathbf{u}}{dt} = q\mathbf{E} \quad (3)$$

ここで  $m$ ,  $\mathbf{u}$ ,  $\gamma$ ,  $q$  はそれぞれ, 電子の有効質量, 変位ベクトル, 衝突係数, 電荷量を示す.

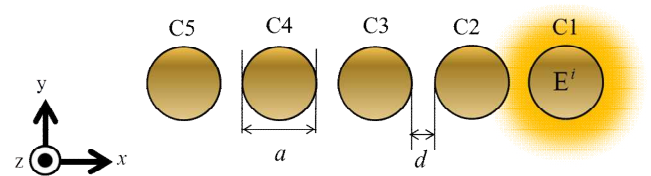
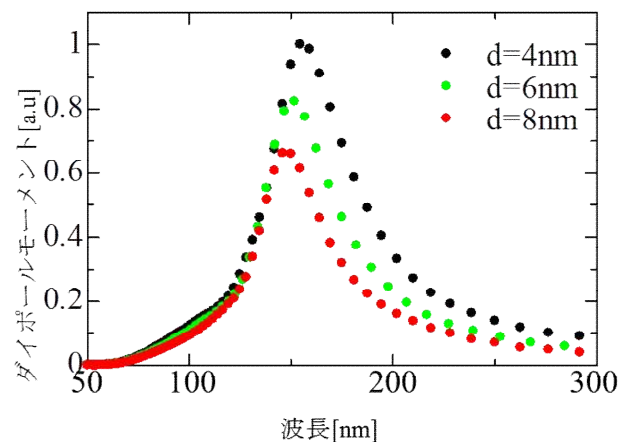


Figure 1. Geometry of gold cylinder chain

Figure 2. Wave length responses of dipole moments excited by  $E_y$ 

また本解析では, 式(4)に示す誘電率を用いる.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \varepsilon_L(\omega) + \varepsilon_D(\omega) \quad (4)$$

$$\varepsilon_L(\omega) = \sum_j \frac{\Delta\varepsilon_L \omega_{Lj}^2}{\omega_{Lj}^2 - \omega(\omega + i2\delta_{Lj})} \quad (5)$$

$$\varepsilon_D(\omega) = -\frac{\omega_D^2}{\omega(\omega + i\gamma)} \quad (6)$$

但し,  $\epsilon_{\infty}$ : 周波数無限大の誘電率,  $\epsilon_L$ : Lorentz モデル,  $\epsilon_D$ : Drude モデルの誘電率,  $\omega_{Lj}$ : 共振周波数,  $\omega_D$ : プラズマ周波数,  $\delta_{Lj}$ : 電子の位相緩和率,  $\Delta\epsilon_L$ : 電子が遷移する際の比誘電率の変位.

### 3. 解析結果

Fig. 1 に示す微小金円柱列について電磁界解析を行う. 直径  $a=10$  nm の金円柱 5 個を等間隔に  $x$  軸方向に配置し, 円柱 C1 内部の電子を一樣な電界で励振することで LSP を励起する. 電界は  $x$  成分のみを持つ  $E_x$  と  $y$  成分のみを持つ  $E_y$  の場合についてそれぞれ解析を行う.

Fig. 2 に  $E_y$  で励振した場合の円柱 C5 内部に誘起されるダイポールモーメントの波長応答を示す. 共振波長のピークは円柱間距離  $d$  が長くなるにつれて短波長側に遷移し, ダイポールモーメントは小さくなる.

Fig. 3 に  $E_x$  で励振した場合の円柱 C5 内部に誘起されるダイポールモーメントの波長応答を示す. 共振波長のピークは  $E_y$  で励振した場合と比べ, 短波長側にあることがわかる. また  $d$  を長くしていくと波長応答は長波長側に遷移し, ダイポールモーメントは小さくなることを確認できる.

### 4. まとめ

本報告では, 微小金円柱列について円柱間距離の変化に対する LSP の波長応答について検討を行った.  $E_y$  で励振した場合, 円柱間距離  $d$  を長くするにつれ共振波長のピークは短波長側に遷移していくことを確認した. また  $E_x$  で励振した場合, 共振波長のピークは円柱間距離  $d$  を長くするにつれ長波長側に遷移していくことを示した.

### 5. 謝辞

本研究の一部は, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた.

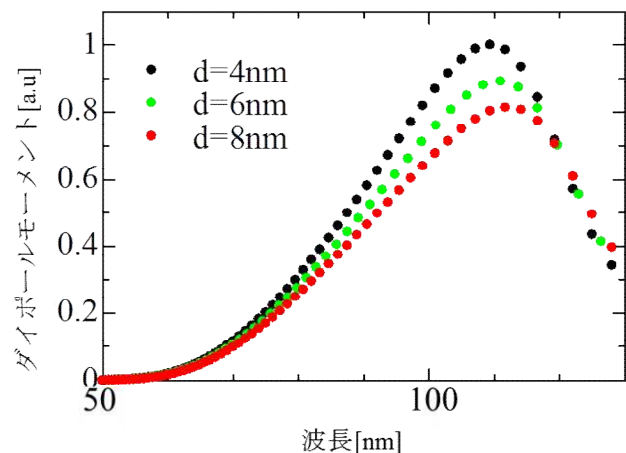


Figure 3. Wave length responses of dipole moments excited by  $E_x$

### 6. 参考文献

- [1] V. Kravets, O. Yeschenko, V. Gozhenko, L. Ocola, D Smith, J. Vedral and A. Pinchuk, : "Electrodynamic coupling in regular arrays of gold nanocylinders", J. Phys, D: Appl Phys. Rev., Vol. 45, pp. 045102-1 –045102-8, 2012.
- [2] S. Maier, P. Kik and H. Atwater, : "Optical pulse propagation in metal nanoparticle chain waveguides", Phys Rev, B 67, pp.205402-1 –205402-5, 2003.
- [3] Q. Wei, K. Su, S. Durant and X. Zhang, : "Plasmon Resonance of Finite One-Dimensional Au Nanoparticle Chains", Nano Lett., Vol.4, No.6, pp.1067-1071, 2004.
- [4] 長澤和也, 竹内嵩, 大貫進一郎, : "微小金円柱列の電磁界解析-局在表面プラズモンの励振方向を変化させた場合-", 電子情報通信学会, 2014年ソサイエティ論文集, C-1-19.
- [5] 長澤和也, 竹内嵩, 大貫進一郎, : "微小銀円柱列を用いたプラズモニック導波路の電磁界解析", 電子情報通信学会, 2014年総合大会論文集, C-1-24.
- [6] A. Taflove, : "Computational Electrodynamics the Finite-Difference Time-Domain Method". Norwood, MA: Artech House, 1995.
- [7] T. Yamaguchi, and T. hinata, : "Optical near-field analysis of spherical metals, Application of the FDTD method combined with the ADE method", Opt. Express, 15, pp .11481-11491, 2007.