

微小金円柱列における局在表面プラズモンの波長応答解析

—L 字配置によるコーナー部の影響—

Wavelength Response Analysis of the Localized Surface Plasmons in a Gold Nano-Cylinder Chain

—Corner Effect of Gold Cylinders Arrayed in L shape—

○高橋涼¹, 長澤和也, 大貫進一郎²* Ryo Takahashi¹, Kazuya Nagasawa, Shinichiro Ohnuki²

Abstract: Recently a metallic nano-particles chain has attracted attention in plasmonics for realizing plasmonic waveguides, wiring for optical IC, and so on. Authors have analyzed the wavelength response of Localized Surface Plasmon (LSP) which propagated in the gold nano-cylinder chain and studied the optical properties due to the distance between cylinders. In this paper, we will discuss the wavelength response of a gold nano-cylinder chain and investigate the corner effect of cylinders arrayed in L shape.

1. はじめに

近年, 微小金属を配列し局在表面プラズモン (LSP : Localized Surface Plasmon) を利用するプラズモニック導波路などの研究が注目されている [1-3]. これらのデバイス設計において LSP を励振するために分極方向を適切に選択しなければならない. 本報告では, 微小金円柱を L 字に配置したモデルに対して解析を行い, L 字のコーナー部が光学応答に与える影響を明らかにする.

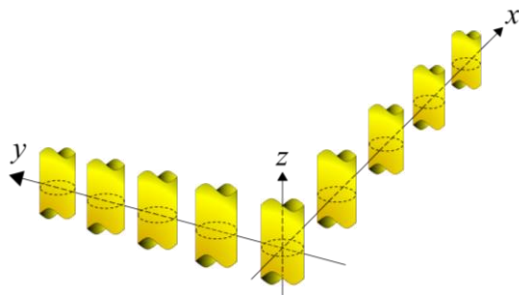


Figure 1 Geometry and coordinate systems

2. 解析方法

本報告では, 時間領域有限差分 (FDTD : Finite Difference Time Domain) 法を用いて解析を行う [4-5]. 次式に示すマクスウェル方程式を時間的, 空間的に中心差分を用いて時間領域の電磁界解析を行う.

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

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

金属の分散性に Drude Model を考慮し, 以下の電子の運動方程式を補助方程式として用いる [6].

$$m_e \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = e\mathbf{E} - \gamma \mathbf{v} \quad (3)$$

ここで m_e は電子の有効質量, $\mathbf{v}$ は変位ベクトル, γ は衝突周波数を表す.

また本解析では, 式(4)に示す誘電率を用いる.

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

$$\varepsilon_D(\omega) = -\frac{\omega_D^2}{\omega(\omega + i\gamma)} \quad (5)$$

ε_∞ はそれぞれ周波数無限大での誘電率, ω_D はプラズマ周波数を示す.

ここで次に示す差分式から金円柱内の分極電流を求める.

$$\mathbf{J}_D(x)^{n+1} = \alpha_D \mathbf{J}_D(x)^n + \xi_D \mathbf{J}_D(x)^{n-1} + \eta_D \frac{\mathbf{E}(x)^{n+1} - \mathbf{E}(x)^{n-1}}{2\Delta t} \quad (6)$$

$$\mathbf{J}_T(x)^{n,n-1} = \frac{1}{2} \{ (\alpha_D + 1) \mathbf{J}_D(x)^n + \xi_D \mathbf{J}_D(x)^{n-1} \} \quad (7)$$

$$\alpha_D = \frac{4}{2 + \gamma\Delta t} \quad (8)$$

$$\xi_D = \frac{2 - \gamma\Delta t}{2 + \gamma\Delta t} \quad (9)$$

$$\eta_D = \frac{2\varepsilon_0\omega_D^2\Delta t^2}{2 + \gamma\Delta t} \quad (10)$$

これらを用いて, LSP が伝搬した際の金属内部に誘起されるダイポールモーメントを求める.

3. 解析結果

Fig. 2(a)と(b)はそれぞれ微小金円柱を直線に配置した場合, L 字に配置した場合の解析モデルである. 金円柱の直径は $a = 10 \text{ nm}$ とする. 直線に配置した場合, 円柱 C1 から C19 まで計 19 個を円柱間距離 $d = 6 \text{ nm}$ で x 軸方向に配置する. L 字に配置した場合, 円柱 10 個を $d = 6 \text{ nm}$ で x 軸方向に配置し, 円柱 C11 から等間隔で y 軸方向に配置した. Fig. 2(a)と(b)共に円柱列は C1 横に配置したダイポール波源により励振する.

円柱 C1 から C19 内部のダイポールモーメントのピ

ークを Fig. 3(a)に示す. 横軸は円柱の個数, 縦軸はダイポールモーメントの大きさであり, 円柱 C1 のダイポールモーメントの大きさで規格化をした. ダイポール波源から離れるほどダイポールモーメントのピークは減衰していることがわかる. また, 減衰率がダイポール波源から離れるほど緩やかになっていることも確認できる.

Fig. 3(b)に円柱 C1 から C19 内部のダイポールモーメントのピークを示す. 横軸は円柱の個数, 縦軸はダイポールモーメントの大きさであり, 円柱 C1 のダイポールモーメントの大きさで規格化をした. Fig. 3(a)と同様にダイポール波源から離れるほどダイポールモーメントのピークが減衰している傾向が確認できる. しかし, L 字のコーナー部である円柱 C10 のダイポールモーメントが減衰していることを確認した.

4. まとめ

本報告では微小金円柱列を直線配置した場合と L 字型配置した場合について電磁界解析を行い, 金円柱列を曲げることによって光学応答に与える影響を検討した. L 字に配列した場合, コーナー部である円柱 C10 のダイポールモーメントが減衰することを確認した.

5. 謝辞

本研究の一部は, 科研費基盤(C)26420321, 及び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.

6. 参考文献

- [1] W. Nomura, M. Ohtsu, and T. Yatsui: "Nanodot coupler with a surface plasmon polariton condenser for optical ar/near-field nversion", Appl. Phys. Lett., Vol. 86, pp. 181108-1—181108-3, April, 2015
- [2] V. Kravets, O. Yeshchenko, V. Gozhenko, L. Ocola, D. Smith, J. Vedral and A. Pinchuk: "Electrodynamic coupling irregular arrays of gold nanocylinders", J. Phys. D: Appl Phys, Vol. 45. 045102(8pp), Jan. 2012.
- [3] T. Coenen, E. J. Vesseur, A. Polman, and A. F. Koenderink: "Directional emission from Plasmonic Yagi—Uda Antennas Probed by Angle-Resolved Cathodoluminescence Spectroscopy", Nano Lett. Vol. 11, pp.3779—3784.
- [4] S. Ohnuki, K. Nagasawa, T. Takeuchi: "Analysis of Electromagnetic Fields in a Metal Nano-Cylinder Chain Excited by Localized Surface Plasmons" IEICE Technical Report, PN2014-52, pp.155-158, Jan 2015
- [5] K. Nagasawa, R. Takahashi, S. Ohnuki: "Wavelength Response Analysis of the Localized Surface Plasmon in a Gold Nano-Cylinder Chain - Nonlocal Effect Due to Distance between Cylinders -" The 2015 IEICE General Conference, C-1-4, Mar 2015
- [6] J. M. McMahon, S. K. Gray, and G. C. Schatz: "Calculatiung nonlocal optical properties of structures with arbitrary shape", Phys. Rev. B., Vol. 82, pp.035423-1—035423-12, 2010.

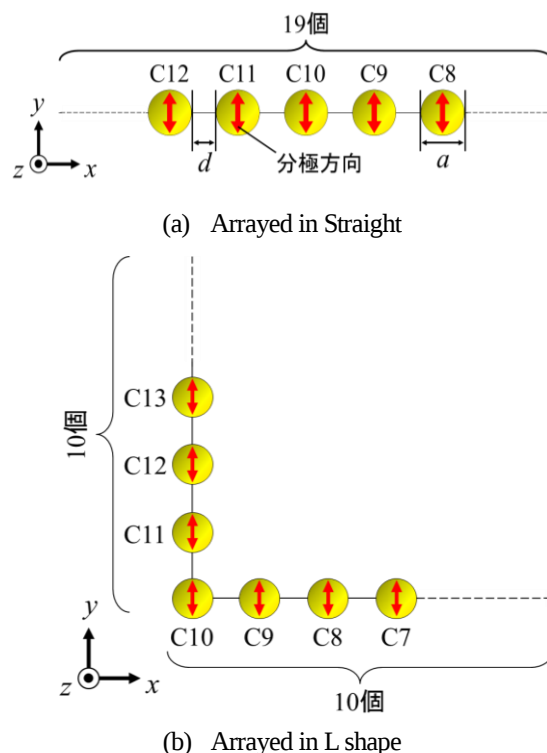


Figure 2 Geometry of the gold nano-cylinder chain

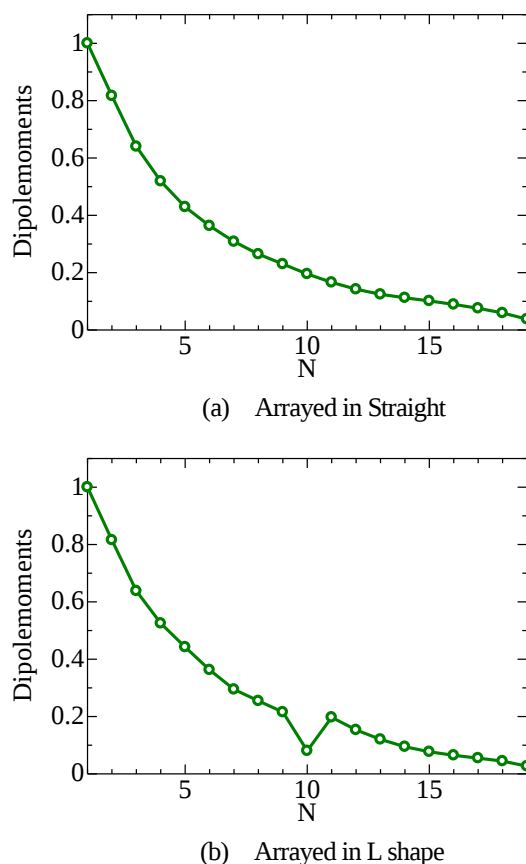


Figure 3 Dipole moments peaks of the gold cylinder