

金属細線間における近接場光の電磁界分布 Field Distribution of Near Field Light for Metallic Nano Wires

○関口洋平¹, 加藤司², 岩松寛³, 大貫進一郎⁴

*Yohei Sekiguchi¹, Tsukasa Kato², Hiroshi Iwamatsu³, Shinichiro Ohnuki⁴

Abstract: Near-field light has attracted attention for microfabrication. In this report, electromagnetic field distribution is analyzed for nano-scale metallic wires with the finite difference time domain method.

1. はじめに

光の波長よりも十分に小さい物体において, 誘電率が負になる時, 近接場光が発生し, 物体近傍に強いエネルギーが局在する. そのためナノスケールにおける微細加工などの分野で近接場光は注目されている^{[1][2]}.

本報告では, 金属細線を 2 本配置した場合について, 形状の変化に対する細線近傍での電磁界解析を行い, 近接場光の電磁界分布について検討する.

2. 解析手法

本報告では近接場光の解析を行うために ADE-FDTD 法を用いる^[3]. 本手法では以下の式(1), (2)に示す Maxwell 方程式に複素誘電率を考慮するため, 式(3)に示す電子の運動方程式を組み込み, 差分化を行う.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}_f \quad (2)$$

$$m \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} + m\nu \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + m\omega^2 \mathbf{u} = q\mathbf{E} \quad (3)$$

ここで m は電子の有効質量, ν は衝突周波数, ω は媒質の共振周波数, \mathbf{u} は変位ベクトル, q は電子の電荷, \mathbf{E} は全電界である. また, 単位体積あたりの電子数を N 個とする. 式(4), (5)を用いて式(3)を一階の微分方程式に変形させ, 式(1), (2)に示す Maxwell 方程式に組み込む.

$$\mathbf{P} = ANq\mathbf{u} \quad (4)$$

$$\mathbf{J} = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} \quad (5)$$

ここで \mathbf{P} は分極ベクトル, \mathbf{J} は電流ベクトルを示す.

3. 数値解析

本報告では, Figure 1 に示す z 軸方向に一様で x 方向の長さ a nm, y 方向の長さ b nm の媒質銀の楕円柱を金

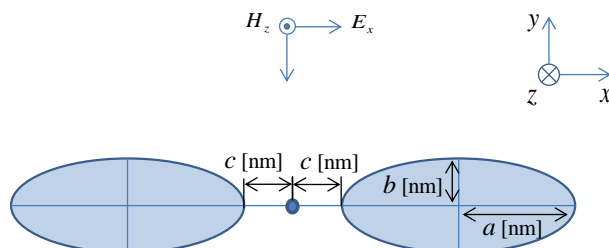


Figure 1. Geometry of metallic nano wires

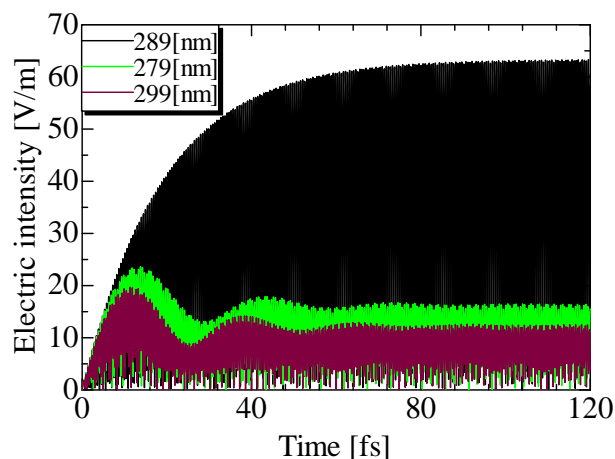


Figure 2. Time response of the electric intensity between nano wires.

属細線と仮定し, 2 本配置させた場合の電磁界解析を行う. 振幅 1 V/m で x 成分のみを持つ H 波を $+y$ 方向から入射し, 楕円柱から c nm 離れた点での電界強度を検討する.

Figure 2 は $a = 3$ nm, $b = 1$ nm, $c = 1.5$ nm とした場合の電界強度の時間応答を示す. 入射波長の違いにより, 定常状態に至るまでの過程が異なる. 入射波長 289 nm の時に電界強度が最大となり, この電界強度をピーク電界, ピーク電界が得られる入射波長を共振波長とする.

Table 1 は $c = 1.5$ nm とし, 楕円の長短比 $a:b$ を変化させたときの観測点での共振波長とピーク電界を示す. b, c を固定し a を x 方向に長くすると, 共振波長は長波

長方向に遷移し、ピーク電界が大きくなることを確認できる。 $a:b=4:1$ の時には電界強度は 67.40 V/m, 共振波長 326 nm が得られる。また, a,c を固定し b を y 方向を長くすることにより共振波長が短波長方向に遷移し、ピーク電界が小さくなることを確認できる。 $a:b=1:4$ の時には電界強度は 16.72 V/m, 共振波長 158 nm が得られる。

Figure 3 に長短比 4 : 1 に対する共振時での電磁界分布を示す。楕円柱の端部での電界強度は 71.70 V/m が得られ、端部に電界強度が集中している。細線間には端部が対になっているため、得られる電界強度が大きくなるのがわかる。

Figure 4 に長短比 1 : 4 に対する共振時での電磁界分布を示す。楕円柱の端部での電界強度は 17.06 V/m が得られ、端部に電界強度が集中している。細線間には広域に電界が分布しているのがわかる。

4. まとめ

本報告では、金属細線を 2 本配置した場合について、形状の変化に対する細線間に発生する近接場光の解析を行い、電磁界分布について検討を行った。 a を長くすることにより共振時に得られる電界強度が大きくなることを確認し、楕円の長短比 a/b が大きくなるにつれ共振波長が長波長方向に遷移すること確認した。

5. 謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究(C)No.22560349, カシオ科学振興財団研究助成, 及び日本大学学術研究戦略プロジェクトの援助を受けて行われた

6. 参考文献

[1] 大津元一：ナノオプティクス大容量ストレージ, オーム社, 2008.
 [2] 関口洋平, 大貫進一郎：「光直接記録による高密度記録のためのアンテナ設計」, 電気学会 2011 第 2 回学生研究発表会, 2-3, 2011.
 [3] T. Yamaguchi, and T. Hinata : "Optical near-field analysis of spherical metals : Application of the FDTD method combined with the ADE method", Opt. Express, Vol.15, pp11481-11491, 2007.

Table 1. Characteristics of the wave length and electric intensity.

$a : b$	Electric intensity [V/m]	Wave length [nm]
4 : 1	67.40	326
3 : 1	63.38	289
2 : 1	58.69	248
1 : 1	24.61	199
1 : 2	13.88	171
1 : 3	17.85	162
1 : 4	16.72	158

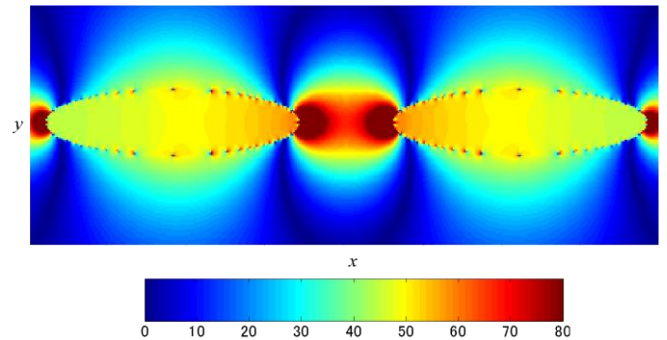


Figure 3. Electric field distribution for $a : b = 4 : 1$.

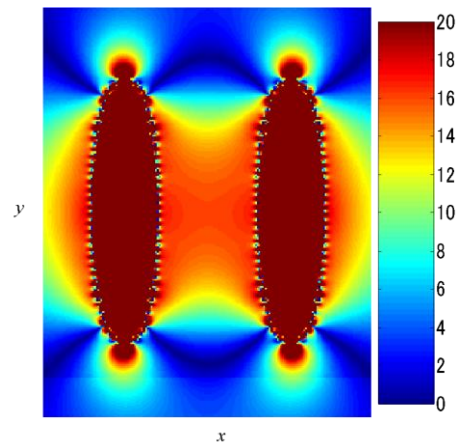


Figure 4. Electric field distribution for $a : b = 1 : 4$.