

光ナノダイポールアンテナとスパイラルアンテナの解析

大野, 築 / OHNO, Kizuku

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011096>

光ナノダイポールアンテナとスパイラルアンテナの解析

ANALYSIS OF OPTICAL NANO-DIPOLE AND SPIRAL ANTENNAS

大野 築

Kizuku OHNO

指導教員 山内 潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Optical nano-dipole and spiral antennas are analyzed using the finite-difference time-domain (FDTD) method. The antenna impedance of a nano-dipole can be matched to a metal-insulator-metal (MIM) waveguide impedance by the aid of a shunt stub connected at the feed point. Generation of a circularly polarized wave is numerically demonstrated by a rectangular spiral structure fed by the MIM waveguide.

Key Words : Characteristics impedance, Optical antennas, Impedance matching, Circularly polarized wave.

1. まえがき

光波帯で動作するナノスケールのアンテナの研究が注目を集めている [1]-[5]. 光デバイスの制作の際に, Metal-Insulator-Metal(MIM) で構成される導波路による有線接続でなく, ナノアンテナの無線リンクを用いることで, 低損失な光伝送が実現すると期待されている.

本稿では, マイクロ波帯のアンテナに対応したナノダイポールとナノスパイラルアンテナを取り上げる. はじめに, ナノダイポールアンテナの解析を行い, 給電端に開放スタブを付加することで, インピーダンスの不整合が改善される様子を示す. 次に, ナノスパイラルアンテナの解析を行う. マイクロ波帯のアンテナと同様に円偏波が得られる様子を示す. 解析には FDTD 法を用いる.

2. 本論

(1) 光ナノダイポールアンテナ

光ナノダイポールアンテナの構造を図 1 に示す. アンテナを構成する金属ロッドは Ag[6] とし, Drude-Lorentz 媒質として扱う. 2 本の金属ロッドを間隔 $g = 12 \text{ nm}$ で配置した MIM 導波路を給電線とし, 断面の一边は $w = 20 \text{ nm}$ の正方形とする. ダイポール長は $l_d = 160 \text{ nm}$ とし, 給電端での整合を目的としてスタブを付加する. スタブ長 l_s は可変とする. 使用波長は $\lambda = 700 \text{ nm}$ に選ぶ.

はじめに, 給電線にあたる MIM 導波路の特性インピーダンスについて検討する. マイクロ波帯における平行 2 線路では TEM モードが伝搬するため, 線路の特性インピーダンスは加わる電圧と電流の比で求まる. 他方, 光波帯における MIM 導波路では, 表面プラズモンポラリトンが伝搬し, 伝搬波を TEM モードとし

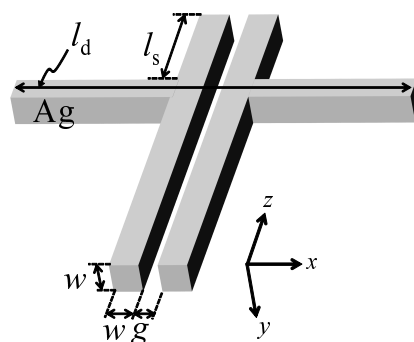


図 1 光ナノダイポールアンテナ

て扱うことが一般に困難となる. しかしながら, 本稿で用いる構造ではギャップ幅を 12 nm と狭く設定しているので, 固有モード界はギャップに強く閉じ込められ, 伝搬方向成分はわずかとなる. 従って, 特性インピーダンスは次式のように, 固有モード界を用いて算出できる [7].

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{\int_{-g/2-w/2}^{g/2+w/2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}}{\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}} \quad (1)$$

ここで文献 [7] とは異なり, 金属内部に存在する電界も評価している. 計算の結果, 特性インピーダンスは $420 - j3 \Omega$ と算出されている.

次に, 給電端における不整合の改善について議論する. 図 2 に, スタブ長 l_s に対する反射率を示す. スタブを付加していない場合 ($l_s = 0 \text{ nm}$) では, 反射率が 0.54 となる. 他方, l_s を約 20 nm に選ぶことで反射率が大幅に低減され, インピーダンス整合の達成されることが確認できる.

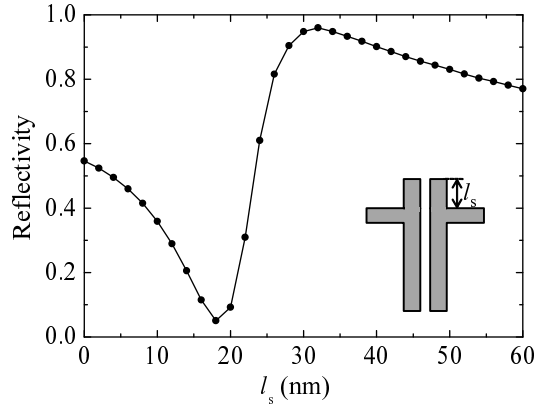


図 2 スタブ長 l_s に対する反射率

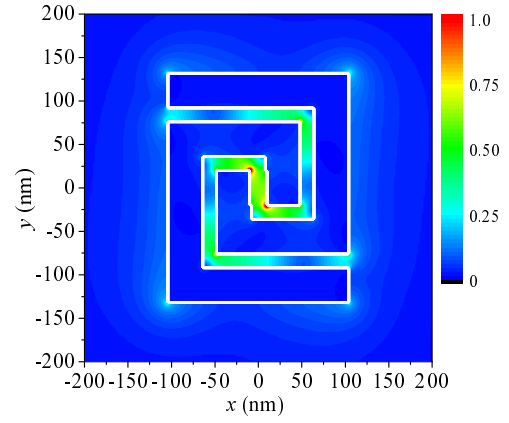


図 4 界分布 ($\sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2}$, $\lambda = 700$ nm)

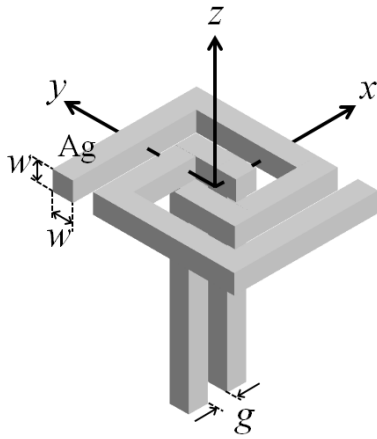


図 3 光ナノスパイラルアンテナ

(2) 光ナノスパイラルアンテナ

本節では、円偏波の発生を目的として、光ナノスパイラルアンテナを解析する。図 3 に構造を示す。スパイラルの形状はマイクロ波帯でも用いられている角型とし、巻き数は 1 に選ぶ。給電線のギャップは $g = 20$ nm, 金属ロッドの一辺は $w = 40$ nm とする。

はじめに、図 4 に波長を $\lambda = 700$ nm としたときのスパイラル面における界分布 ($\sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2}$) を示す。図より、ギャップ間に界の伝搬している様子が確認できる。これにより、円偏波が発生すると期待される。

軸比と反射率の波長特性を図 5 に示す。図より、波長 $\lambda = 680 \sim 820$ nm の帯域において、軸比は 3 dB 以下となり、放射界は円偏波となっていることがわかる。また、このときの反射率は 0.1 以下となり、図示しないが放射効率は 0.95 程度にとどまっている。つまり、ナノスパイラルアンテナは、スタブ等のインピーダンス整合法を用いることなく整合が達成され、円偏波を得ることができる。

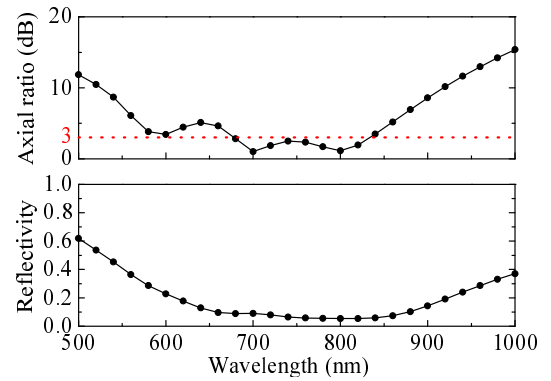


図 5 軸比と反射率の波長特性

3. まとめ

光波帯で動作するナノアンテナを FDTD 法を用いて解析した。ナノダイポールアンテナの給電端にスタブを付加することで、インピーダンスの不整合を改善できることを明らかにした。さらに、ナノスパイラルアンテナの解析を行った。波長 $\lambda = 680 \sim 820$ nm の帯域において円偏波が得られることを明示した。このとき、反射率は 0.1 以下となり、放射効率が約 0.95 にとどまることを示した。

参考文献

- 1) A. Alù and N. Engheta, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 104, no. 21, 213902, 2010.
- 2) M. Klemm, *International Journal of Optics*, vol. 2012, 348306, 2012.
- 3) J. Yamauchi, K. Ohno, J. Shibayama, and H. Nakano, *Proceedings of ISAP*, TH4A_11, 2014.
- 4) J. Shibayama, N. Sasaki, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEEE APWC*, pp. 141-142, 2014.
- 5) 大野 築, 山内 潤治, 柴山 純, 中野 久松, 信学ソ大, C-15-4, 2014.
- 6) P. B. Johnson and R. W. Christy, *Phys. Rev. B*, vol. 6, no. 12, pp. 4370-4379, 1972.
- 7) H. Nejati and A. Beirami, *Opt. Lett.*, vol. 37, no. 6, pp. 1050-1052, 2012.