

光波帯における誘電体ナノロッドアンテナの 数値解析

本田, 慧 / HONDA, Satoshi

(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)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014192>

光波帯における誘電体ナノロッドアンテナの数値解析

NUMERICAL ANALYSIS OF DIELECTRIC NANOROD ANTENNA AT OPTICAL FREQUENCIES

本田 慧

Satoru HONDA

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

A dielectric nanorod antenna is studied at optical wavelengths using the FDTD method. Consideration is first given to a modification of a metal-insulator-metal (MIM) waveguide for feeding. To efficiently excite the dielectric nanorod, we introduce a T-shaped exciter between the nanorod and the MIM waveguide. Next, the radiation characteristics of the dielectric nanorod antenna are evaluated in free space. It is found that a high directive gain of 10 dBi is obtained.

Key Words : Nanoantenna, Optical antenna, Nanorod, Surface plasmon polariton.

1. まえがき

光波帯で動作するナノスケールのアンテナが注目されており、センサや光検出器などへの応用が期待されている [1]. 近年、光集積回路間の接続にナノアンテナを用いた無線リンクが提案されており、回路の簡素化低損失化が期待されている [2]-[4].

本稿では、放射部が誘電体からなるナノロッドアンテナを検討する [5]-[8]. はじめに、MIM 導波路からナノロッドへの接続に用いる給電部の設計を設計し、最適化を行う. 次に、設計した励振部を用いて、ナノロッドアンテナの放射特性を評価する. 結果として高い指向性利得と放射効率が得られる様子を示す. 解析には FDTD 法を用いる.

2. 本論

(1) アンテナ構造と励振部の設計

検討する誘電体ナノロッドアンテナの構造を図1に示す. 給電には2本の金属ロッドで構成される金属-絶縁体-金属 (MIM) 導波路を利用する. 金属ロッドのギャップ間隔を $g = 50 \text{ nm}$ とする. 給電に用いる金属ロッドの断面は $w = 100 \text{ nm}$ の正方形とする. 金属には Ag[9] を用い Drude-Lorentz 分散性媒質として扱う. ナノロッドの屈折率を $n_{\text{rod}} = 2.63$ (SiC) とし、幅を $w_{\text{rod}} = 250 \text{ nm}$ とする. 使用波長は $\lambda = 700 \text{ nm}$ とする. 給電導波路内には E_x を主成分とする基本固有モードを一方向励振手法を用いて入射する.

ナノロッドを効率よく励振するためには、給電導波路とナノロッド間の励振構造について検討する必要がある. 本稿では、文献 [10] で検討された T 字型の励振構造を採用する. はじめに給電導波路とナノロッド間で生じる反射波低減の観点から、励振部の構造パラメー

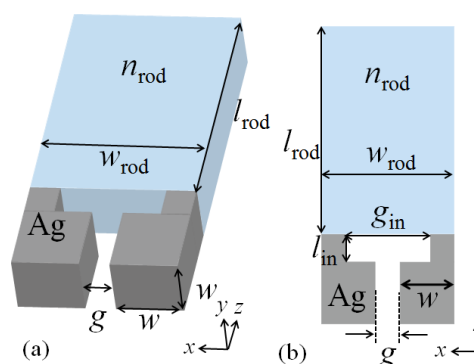


図1 誘電体ナノロッドアンテナ (a) 全体図 (b) 上面図

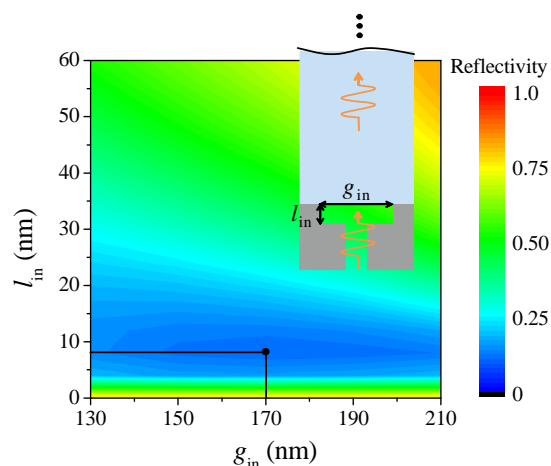


図2 反射率の等高線

タ (l_{in} , g_{in}) の最適化を行う. その際、アンテナの射出端からの反射を抑制するために、ロッド長 (l_{rod}) は半無限であると仮定する. 図2に l_{in} , g_{in} を可変とした際の反射率の等高線を示す. 図より、 $l_{\text{in}} = 8 \text{ nm}$, $g_{\text{in}} = 170 \text{ nm}$ にて最小反射率 0.11 が得られる. 即ち、構造パラ

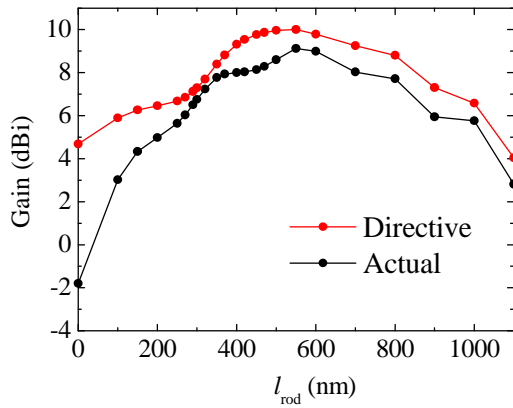


図 3 ロッド長に対する利得特性

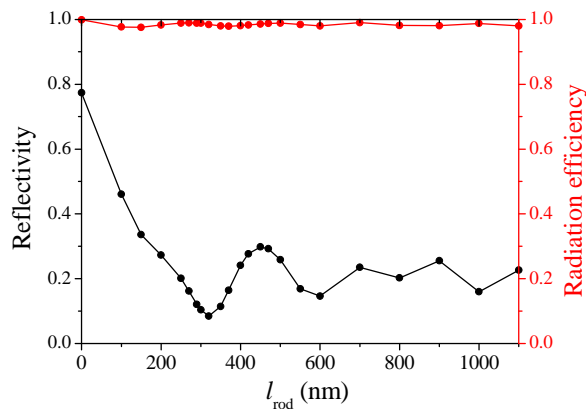


図 4 ロッド長に対する反射率と放射効率

メータを適切に選ぶことで給電導波路とナノロッド間の反射を低減できることがわかる。以下の検討では最小反射率の得られたパラメータを採用する。

(2) 放射特性

本節では、前節で設計した励振部を用いてロッド長に対するナノロッドアンテナの放射特性を調査する。図 3 に利得を、図 4 に反射率と放射効率を示す。なお、 $l_{\text{rod}} = 0$ nm の場合は MIM 導波路と励振部のみの結果である。図 3 より、ロッド長を増加させていくと、利得が増加し、特定のロッド長で最大値に達する。利得が最大値に達した後は、ロッド長の増加に伴い減少する。これは、ロッド内を伝搬する導波モードとロッド近傍の空气中を伝搬する放射モードが位相干渉を起こしながら伝搬するために生じる現象である。2つの波がほぼ同位相になるロッド長にて、棒先端を含む面内に等位相とみなせる界が広がり、結果として先鋭化された指向性、高利得が得られる。本稿で扱うナノロッドアンテナでは、 $l_{\text{rod}} = 550$ nm にて高い指向性利得 10 dBi と動作利得 9.1 dBi が得られる。このアンテナでは、指向性利得と動作利得との間に差が生じた。この差の原因は、給電導波路及び励振部で生じる金属による損失と、アンテナ終端にて反射が生じたことが原因である。一例として、図 4 よりロッド長 $l_{\text{rod}} = 550$ nm の場合を取り

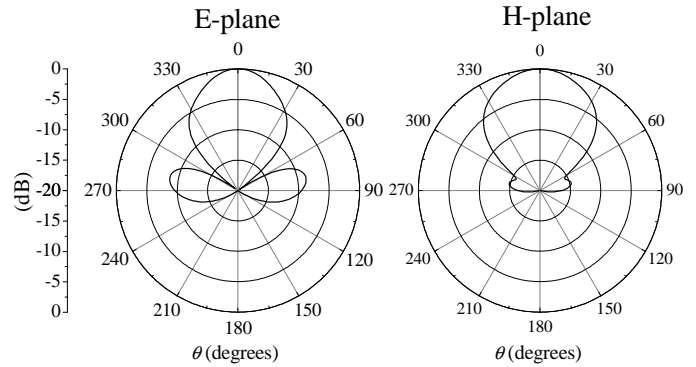


図 5 放射パターン ($l_{\text{rod}} = 550$ nm)

上げると、放射効率は 0.98 であり、金属による損失はわずかである。しかし反射率は 0.16 ほど存在し、ロッド終端で反射が生じている。

図 5 に高い利得が得られた $l_{\text{rod}} = 550$ nm での放射パターンを示す。E 面、H 面ともに、 0° 方向に先鋭化された遠方放射界が得られていることがわかる。この際のビーム半値幅はそれぞれ、 $\pm 22^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ となる。

3. まとめ

FDTD 法により、光波帯で動作する誘電体ナノロッドアンテナの特性を明らかにした。はじめに、給電線である MIM 導波路からナノロッドへの励振部について検討した。MIM 導波路を T 字形状に変形することで、接続端での反射を抑制し効率よくナノロッドへ励振できることを示した。さらに、ナノロッドアンテナの放射特性について議論した。ロッド長が増加すると利得が増加し、550 nm で指向性利得がピークである 10 dBi が得られることを示した。その際の放射効率は 0.98 であり、金属による損失がわずかであることを明示した。

参考文献

- 1) L. Novotny and N. van Hulst, *Nature Photonics*, vol. 5, pp. 83-90, 2011.
- 2) A. Alù and N. Engheta, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 104, no. 21, 213902, 2010.
- 3) M. Klemm, *International Journal of Optics*, vol. 2012, 348306, 2012.
- 4) Y. Yang, Q. Li and M. Qiu, *Scientific Reports* 6, 19490, 2016.
- 5) 山内 潤治, 本田 慧, 柴山 純, 中野 久松, 信学総大, B-1-126, 2016.
- 6) J. Yamauchi, S. Honda and H. Nakano, *URSI AP-RASC*, pp. 1813-1814, 2016.
- 7) 本田 慧, 山内 潤治, 中野 久松, 信学ソ大, B-1-38, 2016.
- 8) 本田 慧, 山内 潤治, 中野 久松, 信学技報, vol. 116, no. 388, OPE2016-156, pp. 263-268, 2017.
- 9) P. B. Johnson and R. W. Christy, *Phys. Rev. B*, vol. 6, no. 12, pp. 4370-4379, 1972.
- 10) G. Veronis and S. Fan, *Optics Express*, vol. 15, no. 3, pp. 1211-1221, 2007.