法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-31

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 nm とする.給電に用いる金属 ロッドの断面はw = 100 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 $n_{\rm rod} = 2.63$ (SiC)とし,幅 を $w_{\rm rod} = 250$ nm とする.使用波長は $\lambda = 700$ 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,アンテナの出射 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、 $l_{in} = 8$ nm、 $g_{in} = 170$ nm にて最小反射率 0.11 が得られる.即ち、構造パラ



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、lrod = 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気 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_{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_{rod} = 550 nm の場合を取り



図 5 放射パターン (l_{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 $l_{rod} = 550 \text{ nm}$ 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, ±22°, ±30° 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

- L. Novotny and N. van Hulst, *Nature Photonics*, vol. 5, pp. 83-90, 2011.
- A. Alù and N. Engheta, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 104, no. 21, 213902, 2010.
- M. Klemm, International Journal of Optics, vol. 2012, 348306, 2012.
- Y. Yang, Q. Li and M. Qiu, *Scientific Reports* 6, 19490, 2016.
- 山内 潤治,本田 慧,柴山 純,中野 久松,信学総大,B-1-126,2016.
- 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.
- 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.