

Análise Ressonante de Nanobarras Metálicas Alimentadas por Feixe Gaussiano pelo MoM

Janilson L. de Souza e Karlo Q. da Costa

Resumo — Este artigo apresenta uma análise ressonante de nanobarras metálicas cilíndricas alimentadas por um feixe Gaussiano. A solução numérica da equação integral do campo elétrico foi feita pelo Método dos Momentos (MoM) com aproximação linear da corrente, funções base senoidal e impedância superficial finita. Para um comprimento de onda fixo, são apresentados os resultados da variação da corrente em função dos parâmetros geométricos da nanoestrutura e as distribuições de campo próximo nas ressonâncias.

Palavras-Chave — Nanobarras metálicas cilíndricas, Método dos Momentos, impedância superficial finita, feixe gaussiano.

Abstract — This article presents a resonant analysis of metallic cylindrical nanorods fed by a Gaussian beam. The Method of Moments (MoM) with linear current approximation, sinusoidal basis functions, and finite surface impedance was used to solve numerically the electric field integral equation. For a fix wavelength, we present the variation of the current distribution in function the geometric parameters of the nanostructure, and the near electric field distribution on the resonances.

Keywords — Metallic cylindrical nanodipoles, Method of Moments, finite surface impedance, Gaussian beams.

I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da plasmônica surgiu o conceito de antenas ópticas que são dispositivos projetados para transmitir e receber campos ópticos de forma localizada [1]. Além de realçar e confinar campos ópticos [1]. Tais dispositivos exploram as propriedades físicas únicas de nanoestruturas metálicas que se comportam como plasmas fortemente acoplado em frequências ópticas [2]. Estas propriedades intrigantes implicam em um grande potencial para aplicação na biologia, química, informática, microscopia óptica, etc [1].

Recentemente nanoantenas estão sendo empregadas para o desenvolvimento de nanocircuitos plasmônicos eficientes, sendo estas em formato de um par de nanobarras acoplados, separados por uma pequena abertura para recepção de energia que é guiada por uma OTL [3]-[4] e recebida por uma nanoantena emissora. Nesta configuração quando alimentadas por um feixe Gaussiano [3], trabalham em uma frequência fixa, já para uma fonte de tensão [4], a frequência é variável.

Neste trabalho, uma nanobarra cilíndrica será analisada teoricamente utilizando o MoM, em uma frequência fixa, com o objetivo de verificar quais são as dimensões ótimas da estrutura, através dos seus comprimentos ressonantes.

II. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O problema de análise de antenas da Fig. 1 (a) consiste em um campo elétrico E_i proveniente de um feixe Gaussiano (Fig. 1 (b)), este feixe produz corrente elétrica no condutor que por sua vez irá radiar um campo E_e . Esta nanobarra cilíndrica é constituída de ouro de comprimento finito L , raio de seção transversal a e é alimentada por um feixe de raio w e cintura w_0 . A nanobarra está sobre o eixo x , e o feixe Gaussiano se propaga na direção z .

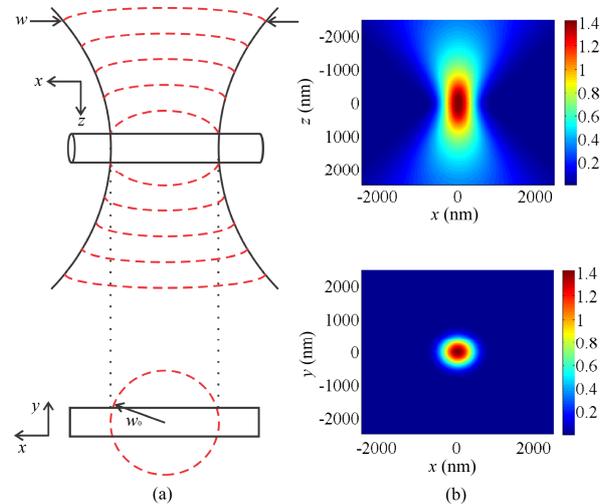


Fig. 1. Geometria de uma nanoantena cilíndrica (a) de comprimento de L , raio a , alimentada por um feixe gaussiano (b) de raio w e cintura w_0 .

O feixe Gaussiano [5] é descrito por funções matemáticas que formam uma solução da forma paraxial da equação de Helmholtz (1), onde o resultado no formato de uma função gaussiana representa a amplitude complexa do campo elétrico, que se propaga juntamente com o campo magnético correspondente, derivados da função potencial (2), como uma onda eletromagnética num feixe. A potência do feixe é expressa por $P_{feixe}=(u_0^2 kw)/(2\mu_0)$.

$$u = u_0 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w(z)} \exp\left(\frac{-\rho^2}{w^2}\right) \exp\left[-j\left(\frac{k\rho^2}{2R} - \phi\right)\right] \quad (1)$$

$$\bar{A} = \psi \hat{x} = u(x, y, z) e^{-jkz} \hat{x} \quad (2)$$

onde: u_0 é a amplitude do feixe, R é o raio de curvatura da frente de onda, w é o raio do feixe, para $z=z_0$, w tem um valor mínimo chamado de cintura do feixe ($w_0=w(z_0)=(2s/k)^{1/2}$), sendo s um parâmetro confocal.

O ouro apresenta uma permissividade ϵ_r na faixa óptica ($\lambda > 500\text{nm}$) e uma impedância superficial Z_s [4]. Após ter todos

os parâmetros da Fig. 1 (a), aplica-se a condição de contorno do campo elétrico na superfície do metal (3).

$$(\vec{E}_e + \vec{E}_i) \cdot \vec{a}_i = Z_s I \quad (3)$$

Ao ser substituída a equação integral do campo elétrico E_e [4] em (3) e aplicando o MoM com funções base senoidal e funções teste pulso retangular e a aproximação linear da corrente [6] na Fig. 1 (a), obtemos o seguinte sistema de equações

$$V_m = Z_s I_m \Delta + \sum_{n=1}^{N-1} Z_{mn} I_n, \quad m = 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

onde V_m é a tensão em um segmento genérico m , os elementos de Z_{mn} representam a impedância mútua entre os pontos m e n .

III. RESULTADOS

Com base na teoria apresentada acima foi desenvolvido dois programas computacionais no *software* MatLab. Um programa é o principal, onde é calculada a corrente na nanobarra variando seu comprimento e raio, e o outro programa calcula o campo elétrico próximo em um plano paralelo ao plano xy . As simulações serão feitas a partir do MoM aplicando um feixe Gaussiano com $\lambda=830\text{nm}$ ($F=361,45$ THz), $w_0=340\text{nm}$, $P_{\text{feixe}}=1\text{nW}$ e com um determinado valor de N segmentos em L no qual este deverá satisfazer um critério de estabilidade do método de $(\Delta L/2a) \geq 1$.

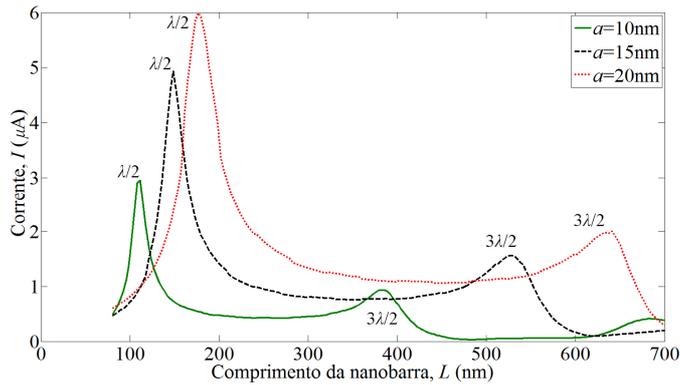


Fig. 2. Variação da amplitude corrente no centro da nanobarra (I) em função de L para $a=10, 15$ e 20nm .

A Fig. 2 apresenta a variação da corrente no centro da nanobarra em função da variação do comprimento L de 80 à 700nm para $a=10, 15$ e 20nm . Os resultados mostram a nanobarra operando com comprimentos ressonantes nos modos $L_{\lambda/2}$ e $L_{3\lambda/2}$, sendo que para cada um dos raios mostrados têm-se estes modos (Tabela I) que representam a melhor geometria da nanoantena cilíndrica (Fig. 1), para cada um dos raios mostrados, para absorção da energia proveniente do feixe. Na figura é visível o aumento da corrente com o aumento de a , isso ocorre devido ao aumento da área de absorção da potência do feixe. Além disso, existe um deslocamento nas curvas para a direita dos modos ressonantes com o aumento de a . Isto significa em um aumento dos comprimentos ressonantes ($L_{\lambda/2}$ e $L_{3\lambda/2}$). Estes resultados para o feixe Gaussiano estão em concordância com aqueles observados para o caso de excitação por uma onda plana [1].

A Tabela I mostra os comprimentos ressonantes da Fig. 2, com os seus números de segmentos N satisfazendo o critério de estabilidade pré-estabelecido anteriormente. Com os parâmetros da tabela, é mostrada na Fig. 3 a distribuição do campo elétrico total, a partir de (3), no plano $z=a+10\text{nm}$ para os comprimentos ressonantes da Fig. 2.

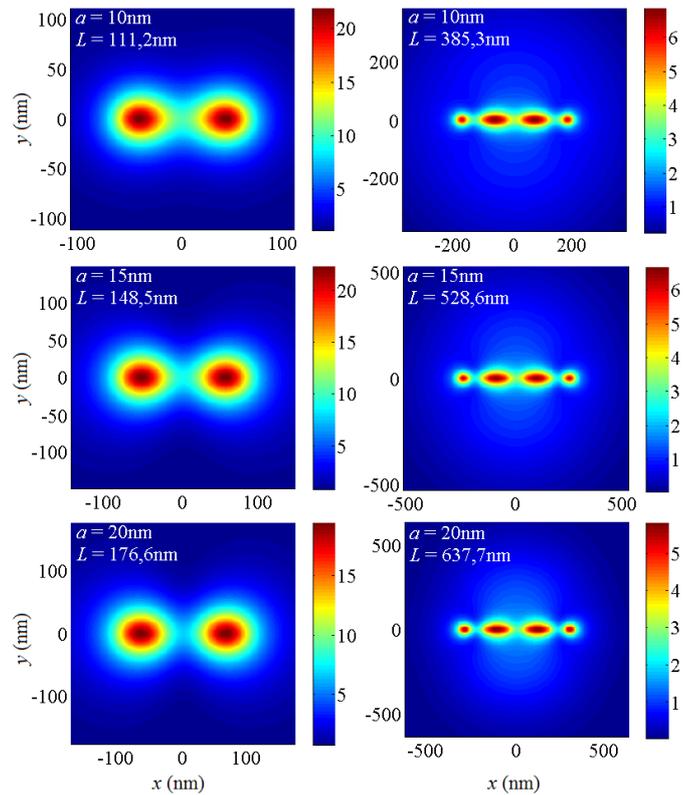


Fig. 3. Distribuição do campo elétrico (V/m) no plano $z=a+10\text{nm}$ para $a=10, 15$ e 20nm , nos seus respectivos $L_{\lambda/2}$ e $L_{3\lambda/2}$ da Fig. 2.

TABELA I. COMPRIMENTOS RESSONANTES L DA NANOBARRA.

a (nm)	$L_{\lambda/2}$ (nm)	N	$L_{3\lambda/2}$ (nm)	N
10	111,2	5	385,3	19
15	148,5	4	528,6	17
20	176,6	4	637,7	15

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou o comprimento ressonante de nanobarras cilíndricas alimentadas por um feixe Gaussiano com $\lambda=830\text{nm}$ e $w_0=340\text{nm}$. O método dos momentos foi utilizado para modelagem numérica do problema de espalhamento em questão. Os resultados obtidos são para os comprimentos ressonantes são similares àqueles calculados para o caso de onda plana. O estudo apresentado é importante para otimizar o projeto de nanoantenas operando no modo de recepção. Esta situação pode ser aplicada como uma forma de alimentação de um nanocircuito plasmônico.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Q. Costa e V. Dmitriev, "Aplicação do Método dos Momentos Linear para Análise de Nanoantenas Cilíndricas", SBRT 2011 – XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – Outubro de 2011, Curitiba, PR.
- [2] L. Novotny, and B. Hecht, *Principles of Nano-Optics*, New York: Cambridge, 2006.
- [3] J.-S. Huang, et. al., "Impedance Matching and Emission Properties of Nanoantennas in an Optical Nanocircuit," *Nano Lett.*, vol. 9, N5, pp. 1897-1902, 2009.
- [4] K. Q. Costa, et. al., "Impedance Matching Analysis of an Optical Nanocircuit Fed by an Aperture Probe", *J. of Micr., Opt. and Electr. Appl.*, Vol. 12, January 2012.
- [5] K. Zhang, D. Li, *Electromagnetic Theory for Microwaves and Optoelectronics*, New York: Springer, November 12, 2007.
- [6] K. Q. Costa, and V. Dmitriev, "Software Based on MoM Model to Analyze Electromagnetic Transients in Grounding Systems," *Int. Conf. on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*, Nov. 2006.