

Simulação de acopladores direcionais plasmônicos utilizando BPM

Edgar H. Sobreira¹, Marcos S. Gonçalves², Leonardo L. B. Roger³

Faculdade de Tecnologia (FT) – Unicamp – Limeira/SP – Brasil

¹ Bolsista SAE/Unicamp; ² Orientador; ³ Co-orientador

edgar.hsobreira@yahoo.com.br e marsergon@gmail.com



SAE SERVIÇO DE APOIO AO ESTUDANTE



Palavras-chave: Ondas Plasmônicas, Nanotecnologia, Nano Estruturas, Acopladores Direcionais, Método dos Elementos Finitos, BPM.

1. Introdução

Com o aumento da demanda de informação, almeja-se o desenvolvimento de dispositivos com alta capacidade de processamento de informação em escalas cada vez mais reduzidas. Devido à limitação imposta pelos componentes elétrico/eletrônicos na velocidade de processamento, uma das soluções encontradas é a utilização de componentes fotônicos. Contudo, a redução das dimensões é restringida pelo limite da difração [1]. Uma solução para esse obstáculo é o uso de ondas Plasmônicas ou SSP (SSP – Surface Plasmon Polariton) [2-3], que são ondas eletromagnéticas que se propagam na superfície de separação entre um metal e um dielétrico. O SSP surge devido à ressonância nas oscilações coletivas das cargas elétricas na superfície de um metal com o campo elétrico da luz introduzido na estrutura.

Uma importante vantagem dos guias plasmônicos em relação aos guias de onda dielétricos convencionais é o maior confinamento das ondas eletromagnéticas, tornando-os muito interessantes na integração de componentes nanométricos. Como exemplo, a Fig. 1 mostra um (a) guia plasmônico, (b) o pulso gaussiano inserido na entrada e (c) o modo propagante estável obtido na saída.

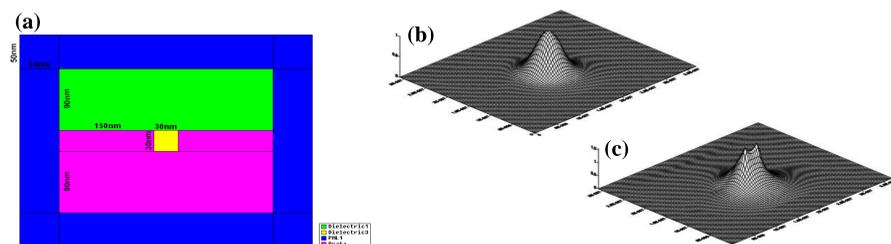


Figura 01 – (a) Estrutura de Guia Plasmônico composta por três materiais e PML. Onde Dielectric1 possui $\epsilon_r = 1$; Dielectric3 possui $\epsilon_r = 1.8$; PML possui $\epsilon_r = 1$ e Prata possui $\epsilon(\omega) = -17,3198+j0,7137$; (b) Pulso gaussiano com amplitude 1 (A/m) e largura 30 nm, inserido no centro do guia; (c) Modo de propagação atingido e estável em aproximadamente 50nm.

3. Metodologia

As análises dos componentes plasmônicos serão realizadas através do método dos elementos finitos. Neste método, todo o domínio contínuo é substituído por subdomínios. Nestes subdomínios, a função desconhecida, que neste caso será o campo magnético da equação de onda escalar (1), passa a ser representada por funções de interpolação, com um determinado número de coeficientes a serem determinados. Assim, a solução original da equação diferencial, que possui um grau de liberdade infinito (domínio contínuo), é convertida à solução de um sistema de equações lineares de um problema. A discretização da seção transversal do dispositivo foi feita pelo programa computacional GiD e para a visualização dos campos utilizou-se o programa Surfer.

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Para determinar a permissividade elétrica relativa dos metais utiliza-se o modelo de Drude [3,4], conforme mostrado em (2), onde ω é a frequência angular de operação, ω_p é a frequência de ressonância do plasma, γ é a taxa de colisão e ϵ_∞ é a permissividade elétrica relativa que define a polarização dos metais. Para a prata, tem-se $\omega_p = 1,346 \cdot 10^{16}$ (rad/s), $\gamma = 9,617 \cdot 10^{13}$ (rad/s) e $\epsilon_\infty = 4,2$. A permissividade elétrica relativa da prata obtida foi de $\epsilon_r(\omega) = -17,3198+j0,7137$, para o comprimento de onda de 650 nm.

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + j\gamma\omega} \quad (2)$$

4. Resultados Obtidos

O acoplador direcional desenvolvido está representado na Fig. 02.(a). Neste acoplador foi introduzido um pulso gaussiano no guia da esquerda, com amplitude de 1 (A/m) e uma largura de 30nm, conforme mostrado na Fig. 02.(b). Na Fig. 02 (c) é possível observar que a máxima transferência de energia do guia da esquerda para o guia da direita ocorre na distância de 250 nm. Esta distância é conhecida como comprimento de acoplamento. Contudo, devido às perdas provocadas pela prata, a eficiência do acoplador fica comprometida para comprimentos muito longos. A Fig. 02 (d) mostra a distribuição do campo magnético para uma distância de 600 nm. Por esta figura, pode-se verificar que o campo magnético tende a se espalhar nas regiões do substrato de prata, provocando a perda de guiamento.

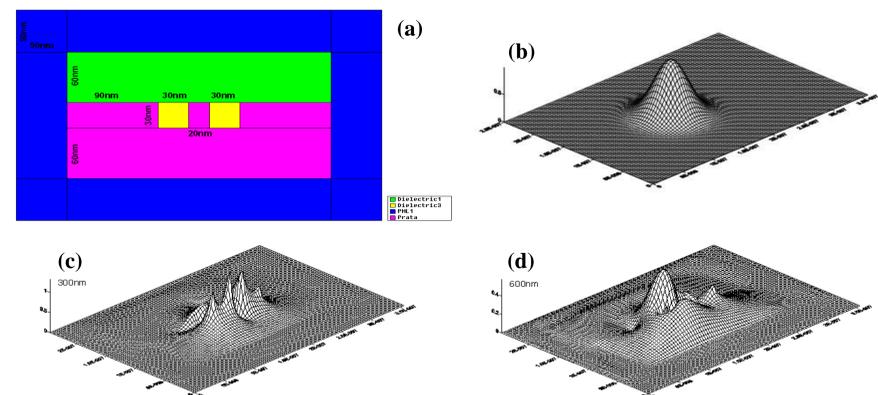


Figura 02 – (a) Acoplador Direcional Plasmônico composto por dois dielétricos, um metal e PML; (b) Pulso gaussiano com amplitude 1 (A/m) e largura 30 nm, inserido no centro do guia; (c) Modo de propagação atingido e máxima transferência de energia em 250nm; (d) Distribuição do campo magnético em 600nm com consideráveis perdas de guiamento.

A solução adotada para reduzir a perda provocada pelas regiões metálicas foi o uso de substratos dielétricos. A Fig. 3 (a) mostra o acoplador desenvolvido. A partir desta figura, observa-se que somente nas regiões laterais e centro do guias utilizou-se a prata. Desta forma, é possível reduzir as perdas e garantir a formação do SSP. A Fig. 3 (b) mostra a distribuição do campo magnético ao atingir o comprimento de acoplamento, que foi de 100 nm aproximadamente. Além disso, não houve perdas consideráveis de guiamento durante a propagação para grandes comprimentos. A Figura 03.(c) mostra a distribuição do campo magnético para o comprimento de 1 μm . Nesta figura, pode-se observar que a perda para este acoplador foi menor quando comparado com o caso anterior.

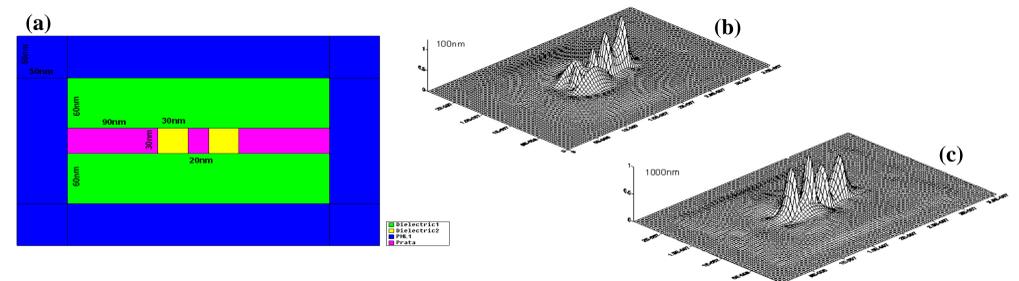


Figura 03 – (a) Estrutura de Guia Plasmônico composta por dois dielétricos, um metal e PML; (b) Modo de propagação atingido e máxima transferência de energia em 100nm; (c) Modo de propagação em 1 μm , estável e com poucas perdas.

5. Considerações Finais / Conclusão

Através da simulação computacional, é possível acompanhar a evolução espacial da propagação de uma onda eletromagnética em uma estrutura plasmônica. Através do BPM, foi possível a análise e aprimoramento de guias de ondas para ondas plasmônicas e acopladores ópticos. Através das simulações realizadas nos dispositivos desenvolvidos, verificou-se a viabilidade do uso de SSP na construção de estruturas ópticas em nanoescalas.

Referências Bibliográficas

- [1] M. M. J. Treacy, “Dynamical diffraction explanation of the anomalous transmission of light through metallic gratings”, *Phy. Rev. B*, pp. 195105-1 – 195105-12, 2002.
- [2] T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, T. Thio, and P. A. Wolff, “Extraordinary optical transmission through sub wavelength hole arrays”, *Lett. Nature*, vol. 391, pp. 667-669, February 1998.
- [3] S. A. Maier, “Plasmonics: fundamentals and applications” Springer, 2007.
- [4] M. L. Brongersma, P. G. Kik, “Surface plasmon nanophotonics”, Spinger, 2007.
- [5] Y. Tsuji, M. Koshiba: ‘Finite element beam propagation method for three-dimensional optical waveguide structures’, *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp 1728-1734, 1997.
- [6] J. M. Jin, “The finite element method in electromagnetics”, segunda edição, Wiley, New York, 2002.
- [7] M. S. Gonçalves, C. H. S. Santos, H. E. H. Figueroa e A. C. Bordonalli, “Parallel 3D full-time domain applied to photonic structures”, *IET optoelectronics*, vol. 5, pp 40-45, 2011.