

# Estudo das Perdas por Espalhamento de Guias de Onda Dielétricos Segmentados



Jaqueline Oliveira Zampronio<sup>1</sup>, Marcos Sérgio Gonçalves<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Bolsista PIBITI/CNPq; <sup>2</sup> Orientador



**Palavras-chave:** Método dos Elementos Finitos, Guias de onda segmentados, Análise de perdas.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, tem-se observado a preocupação em desenvolverem-se componentes capazes de processar informações em altíssima velocidade. Dada a limitação imposta pelos componentes elétrico/eletrônicos nesta tarefa, uma das soluções encontradas é o uso de componentes fotônicos. Além disto, devido à alta integração, deseja-se componentes com dimensões cada vez menores. Uma das maneiras de se realizar essa alta integração de componentes é o uso do alto contraste de índice de refração entre o núcleo e os substratos dos guias de onda dielétricos, garantindo um guiamento forte dos campos eletromagnéticos nas estruturas. Sendo que recentemente, os guias de onda segmentados têm se mostrado vantajosos para essas finalidades.

A principal característica dos guias segmentados na redução das perdas por espalhamento é o deslocamento espacial dos modos de propagação do núcleo, provocado pelas descontinuidades introduzidas pela segmentação. Esse deslocamento espacial dos modos foi mais bem observado através de simulações 3D de autovalores [6], conforme pode ser visualizado na Fig.1(b). Esta figura mostra o deslocamento espacial dos modos para o caso TE e para o caso TM do guia mostrado na Fig. 1(a). Também, através dessa figura, pode-se observar que boa parte da energia do modo seja guiada fora do núcleo e concentrando-se entre o ar e o substrato, no qual o contraste do índice refração é menor. Portanto, as perdas de espalhamento serão menores.

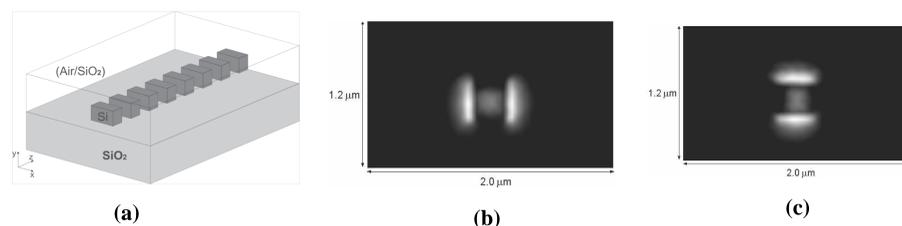


Fig 1- (a) Guia de onda segmentado de alto contraste de índice de refração entre núcleo e substrato, (b) Deslocamento espacial dos modos de propagação de (a) no caso TE e (c) no caso TM.

## 2. Metodologia

As análises dos guias segmentados 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 serão os campos elétricos ou magnéticos da equação de onda, 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 com grau de liberdade finito (domínio discreto). Também, serão consideradas as análises no domínio da frequência, permitindo uma redução nas janelas computacionais menores quando comparadas com as utilizadas nas análises no domínio do tempo. Dessa forma, haverá uma redução nos esforços computacionais e nos tempos de simulação.

A primeira etapa para a realização das simulações consiste em discretizar a geometria do dispositivo em análise, gerando-se a “malha”. A “malha” são arquivos que contêm informações, tais como coordenadas, número de elementos, tipos de materiais etc. Para gerar a “malha”, será utilizado o programa computacional GiD. Esta etapa é conhecida como pré-processamento. A seguir inicia-se a etapa de processamento, que consiste na resolução da equação de onda para o campo elétrico no domínio da frequência. Para isto, utiliza-se o método de Galerkin, as condições de contorno, o campo inicial e a “malha”. Deve-se ressaltar que, neste trabalho, o campo inicial considerado é a componente  $x$  do campo elétrico do modo fundamental. Este modo é obtido com o auxílio de um programa de autovalores desenvolvido pelo orientador desta iniciação. Além do modo fundamental, as análises de autovalores fornece o índice de refração efetivo do guia.

O equacionamento final da etapa de processamento resulta em um sistema linear de equações. Uma vez resolvido este sistema linear, inicia-se a etapa de pós-processamento. Para isto, utilizam-se programas computacionais comerciais como o MATLAB® e o SURFER®.

## 3. Resultados Obtidos

Uma vez concluída a etapa de aprendizagem dos programas, deu-se início às medidas das perdas dos guias de onda segmentados. Primeiramente, considerou-se um guia de onda contínuo com imperfeições de  $0,05\mu\text{m}$  de amplitude e  $100\mu\text{m}$  de comprimento. A Fig. 2 mostra o guia de onda com imperfeições e a Fig. 3 mostra a propagação do campo elétrico. Para medir as perdas, utilizou-se de dois pontos de amostragem do campo elétrico, sendo que cada ponto foi colocado em um extremo do guia. Desta forma, foi possível obter a amplitude do campo elétrico de entrada e de saída do guia de ondas e, portanto, determinar as perdas provocadas pelas imperfeições. Neste caso, verificou-se que a perda foi de aproximadamente 18 dB/cm.

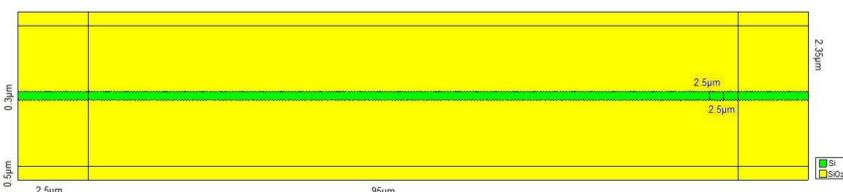


Fig. 2 - Guia de onda contínuo com imperfeições no núcleo de  $0,05\mu\text{m}$  de amplitude.



Fig. 3 - Propagação da onda eletromagnética ao longo do guia de onda contínuo de  $100\mu\text{m}$  com imperfeições.

Conhecendo a atenuação dos guias de ondas contínuos, desenvolveu-se um guia de onda segmentado com imperfeições de  $0,05\mu\text{m}$ , periodicidade de  $250\text{nm}$  e *duty cycle* de 50% e  $100\mu\text{m}$  de comprimento. A Fig 4(a) mostra a geometria utilizada e a Fig. 4(b) e Fig. 4(c) mostram a propagação do campo elétrico na estrutura analisada. Assim como no exemplo anterior, dois pontos de amostragem foram utilizados para verificar o valor do campo elétrico. Neste caso, verificou-se que a perda ficou em torno de 15,5 dB/cm. Desta forma, fica comprovado que a atenuação do guia de onda segmentado foi menor que a atenuação do guia de onda contínuo. Porém, deve-se ressaltar que estas análises foram realizadas em um simulador 2D escalar, na qual verificou-se que a uma imprecisão associada às análises. Numa análise vetorial, em que o deslocamento espacial fosse observado, a perda por espalhamento poderia assumir valores menores que o obtido.

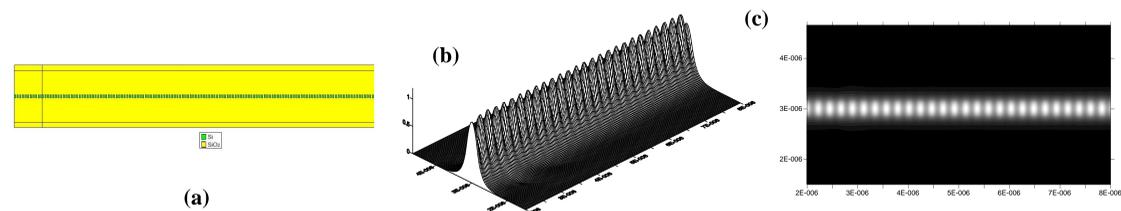


Fig. 4 – (a) Guia de onda segmentado com imperfeições,  $A = 250\text{nm}$  e *duty cycle* de 50%, (b) e (c) Propagação da onda eletromagnética ao longo dos guias segmentados com imperfeições.

## 4. Conclusão

A primeira etapa da iniciação científica foi dedicada à revisão dos principais conceitos que envolvem o método dos elementos finitos, os guias de onda segmentados e as perdas de espalhamento e imperfeições dos processos de fabricação na parede do núcleo destes guias. Desta forma, pode-se adquirir os conhecimentos teóricos necessários para o desenvolvimento do projeto proposto. Com esta metodologia, foi possível analisar a propagação dos campos eletromagnéticos em guias de ondas segmentados com imperfeições.

Com o decorrer do projeto, foi possível verificar a não viabilidade de se utilizar simuladores escalares neste tipo de estrutura, pois os modos de propagação fundamentais são quasi-TE. Desta forma, haverá o campo elétrico será formado por mais de uma componente. Em uma análise mais precisa, deveria ser utilizados simuladores em três dimensões e vetoriais. Porém, mesmo utilizando um simulador escalar, foi observado que as perdas em guias de onda segmentados são menores que em guias de onda contínuo.

## 5. Bibliografia

- [1] F. P. Payne, and J. P. R. Lacey, “A theoretical analysis of scattering loss from planar optical waveguides,” *Opt. Quantum Electron*, vol. 26, pp. 977–986, 1994.
- [2] M. Hochberg, T. Baehr-Jones, C. Walker, J. Witzens, L. C. Gunn, and A. Scherer, “Segmented waveguides in thin silicon-on-insulator,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 22, pp. 1493–1497, 2005.
- [3] J. Cardenas, C. B. Poitras, J. T. Robinson, K. Preston, L. Chen, and M. Lipson, “Low loss etchless silicon photonic waveguides,” *Opt. Express*, vol. 17, no. 6, pp. 4752–4757, 2009.
- [4] P. J. Bock, P. Cheben, J. H. Schmid, J. Lapointe, A. Del’age, S. Janz, G. C. Aers, D.-X. Xu, A. Densmore, and T. J. Hall, “Subwavelength grating periodic structures in silicon-on-insulator: a new type of microphotonic waveguide,” *Opt. Express*, vol. 18, no. 19, pp. 20 251–20 262, 2010.
- [5] I. Molina-Fernandez, R. Halir, A. Ortega-Moñux, L. Zavargo-Peche, S. R. García, A. Maese-Novo, D. Perez-Galacho, G. Wanguemert-Perez, P. Cheben, and D.-X. Xu, “New concepts in silicon component design using subwavelength structures,” *Proc. SPIE* 8266, 82660E, 2012.
- [6] Y. H. Isayama, M. S. Gonçalves, H. E. Hernández-Figueroa, “Modal Analysis of Subwavelength Grating Waveguides using 3D Finite Element Method”, 15° SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e o 10° CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, João Pessoa, PB, 2012.
- [7] J. Jin, *The finite element method in electromagnetics*, 2nd ed. Wiley, New York, 2002.
- [8] Gonçalves, Marcos Sergio; Silva-Santos, C.H.; Hernandez-Figueroa, H.E.; Bordonalli, A.C. . Parallel three-dimensional full-time domain applied to photonic structures. *IET Optoelectronics*, v. 5, p. 40-45, 2011.
- [9] Y. Tsuji e M. Koshiba, “Finite Element Method Using Port Truncation by Perfectly Matched Layer Boundary Conditions for Optical Waveguide Discontinuity Problems”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 20, no. 3, março 2002.
- [10] C. Manolatu, Steven G. Johnson, Shanhui Fan, Pierre R. Villeneuve, H. A. Haus e J. D. Joannopoulos, “High-Density Integrated Optics”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 17, no. 9, setembro de 1999.
- [11] C. E. Rubio-Mercedes, H. E. Hernández-Figueroa, I. T. Lima, Jr. e V. F. Rodríguez-Esquerre, “Periodic segmented waveguide analysis by using the 2D finite element method”, *Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2011 SBMO/IEEE MTT-S International.