

Diferentes tipos de perfil para acopladores cônicos

Lucivaldo Barbosa de Aguiar Júnior

Abstract—Esse documento descreve a diferença de desempenho para diferentes formatos de tapers por meio de simulações computacionais através do Ansys Lumerical MODE que inspecionam os níveis de transmissão. Foram avaliados os tapers: linear, exponencial e parabólico.

Index Terms—taper, exponential, parabolic, linear, transmission, ansys, lumerical.

I. INTRODUÇÃO

OS dispositivos fotônicos de Silício são vistos como o futuro da área de comunicações ópticas. Sendo vistos como ideais para interconexões ópticas de alta velocidade e baixo consumo. Assim são considerados muito por conta do processo de fabricação complementares aos dispositivos CMOS. É muito comum que em dispositivos fotônicos compactos, por conta da diferença dos índices de refração entre o núcleo de Silício e da casca de dióxido de Silício, a largura fique em torno de $5\mu m$. No entanto, buscando aumentar a performance são modelados diferentes guias de onda parte de um mesmo dispositivo, onde cada um tem um papel único.

Um dos maiores problemas enfrentados na área é o alto índice de perdas na conexão entre os guias de Silício e fibras ópticas quando há o acoplamento ou desacoplamento de luz. Então, os tapers são utilizados como acopladores, principalmente para reduzir o desalinhamento dos modos propagados a fim de diminuir a perda por acoplamento.

Como os tapers são projetados para transformar o tamanho e o formato dos modos entre outros guias completamente distintos, eles devem operar de forma adiabática, ou seja, os modos de primeira ordem dos guias de onda devem sofrer nenhuma ou uma pequena conversão para modos de ordem mais alta ou ainda se tornar modos de radiação. Essa operação adiabática é feita por meio de uma transição suave na largura dos guias cônicos - tapers.

Ao longo dos anos, diversos modelos cônicos diferentes foram propostos, dentre eles nós temos: o linear, o exponencial e o parabólico. Cada modelo tem suas vantagens e desvantagens, o linear, por exemplo, precisa de um comprimento maior para alcançar os efeitos adiabáticos, no entanto, por muitos anos foi o único a ser fabricado mesmo que as simulações de outros modelos fossem promissoras.

Modelos de guias onda não adiabáticos também foram propostos, realizando experimentos com dados de transmissão promissores, no entanto, o princípio da não adiabaticidade é muito complexo e até o momento não foi possível dar continuidade no desenvolvimento para esses modelos.

Este estudo foi feito sob orientação do professor Dr. Adolfo Fernandes Herbster como trabalho final da capacitação.

II. DESCRIÇÃO DOS DISPOSITIVOS

Conforme mencionado anteriormente, foram projetados três guias cônicos diferentes utilizando o objeto polígono do simulador, todos os tapers têm um comprimento de $5\mu m$, o lado maior igual a $2\mu m$ e o lado menor igual a $0.5\mu m$. O primeiro guia de onda simulado foi o taper linear, modelado a partir da seguinte equação [3]:

$$f(x) = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \cdot (y_1 - y_0) \quad (1)$$

Em que x_0 , x_1 , y_0 e y_1 , são respectivamente, os pontos inicial e final e o lado maior e o lado menor do taper. O dispositivo é exibido na Figura 3.

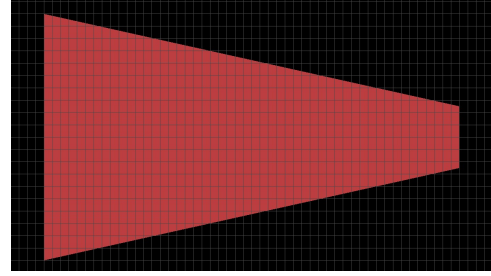


Fig. 1. Taper linear.

O taper exponencial foi modelado conforme a equação abaixo [2]:

$$f(x) = y_0 + \exp\left(\frac{g \cdot x}{L} - 1\right) \cdot \frac{(y_1 - y_0)}{\exp(g) - 1} \quad (2)$$

Em que L é o comprimento do taper e g é um parâmetro associado ao perfil do dispositivo, no caso, $g = \ln(\frac{y_1}{y_0})$. O dispositivo é exibido na Figura 2.

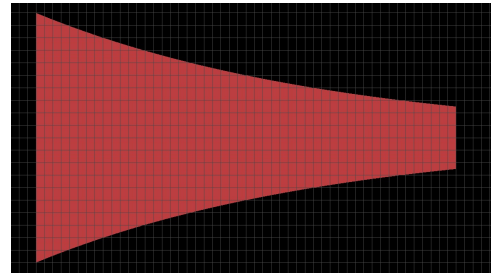


Fig. 2. Taper exponencial.

O último guia de onda simulado foi o taper parabólico, modelado a partir da seguinte equação [2]:

$$f(x) = y_0 + \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0}\right)^2 \cdot (y_1 - y_0) \quad (3)$$

O dispositivo é exibido na Figura 3.

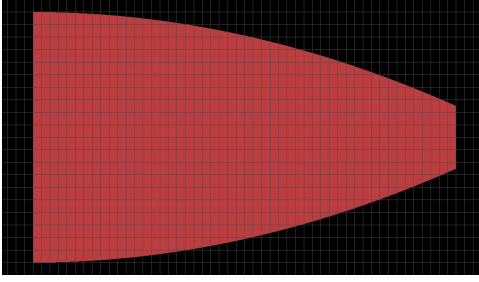


Fig. 3. Taper parabólico.

Em todas as simulações foram utilizados guias monomodo tanto na entrada quanto nas saídas dos tapers.

III. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Foram utilizados recursos do software Lumerical Ansys MODE em conjunto com a API em Python para construir o modelo e realizar as simulações. O *solver* utilizado foi o EME - *Finite Difference Eigenmode Expansion* com *grid sizes* inferiores a 1 nm , *mesh cells* igual a 200, *background material* SiO_2 , direção de propagação no eixo x com 3 grupos de células, um para o taper e um para cada guia das extremidades sendo o número de células do grupo que engloba o taper muito maior que os outros dois. Os modos selecionados para as portas dos solvers foram os *fundamental modes* em ambas. Além disso, foi adicionado um monitor de perfil de campo 2D normal ao eixo Z .

A figura 4 apresenta os perfis de campo simulados na principal referência deste trabalho [1].

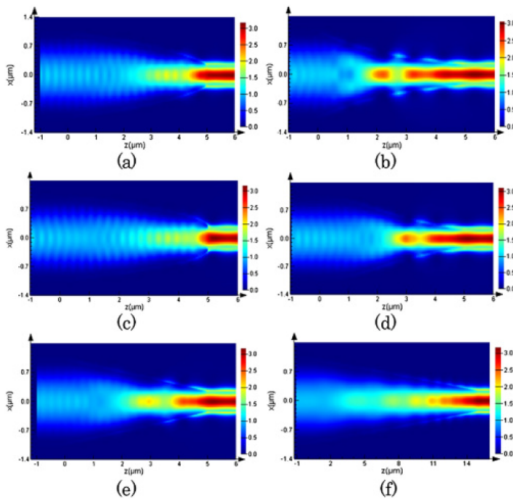


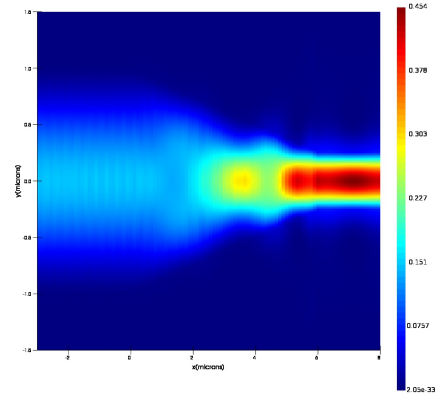
Fig. 4. Perfis de campo do trabalho utilizado como principal referência.

É importante atentar-se principalmente às Figuras 4(b), 4(c) e 4(e) que são, respectivamente, os modelos exponencial, parabólico e linear.

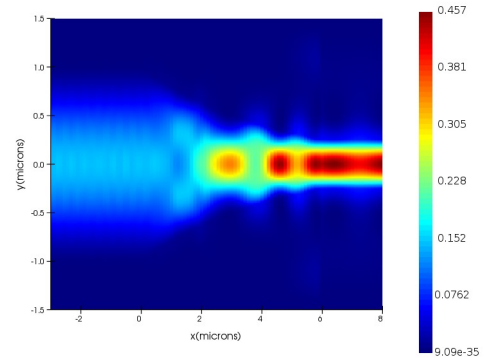
Com todo o ambiente preparado, utilizando ferramentas como o *mode convergence sweep* foram realizadas algumas simulações a fim de encontrar os parâmetros ótimos e obter um comportamento mais próximo das curvas apresentadas no

Artigo [1] chegando a um valor de 20 modos para as duas primeiras células e 5 para a última,

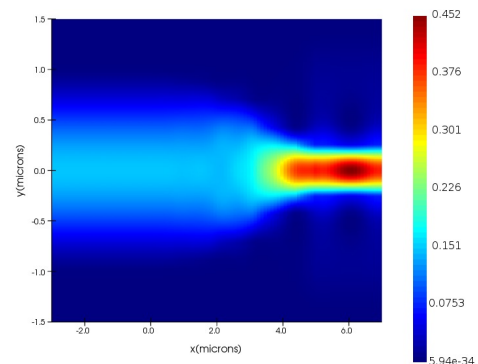
Na Figura 5, temos o perfil de campo $|E|^2$ da simulação cujo taper tem o perfil cônico linear.

Fig. 5. Perfil de campo $|E|^2$ do taper linear.

Na Figura 6, temos o perfil de campo da simulação cujo taper tem o perfil cônico exponencial.

Fig. 6. Perfil de campo $|E|^2$ do taper exponencial.

Na Figura 7, temos o perfil de campo da simulação cujo taper tem o perfil cônico parabólico.

Fig. 7. Perfil de campo $|E|^2$ do taper parabólico.

Em seguida, é possível comparar os gráficos de transmissão ao utilizar a ferramenta *Propagation Sweep* da janela EME

Analysis Window e fazer uma varredura do comprimento do taper começando em $1\mu\text{m}$ e terminando em $6\mu\text{m}$ com um intervalo de 0.1, ou seja, 51 pontos.

As Figuras 8, 9 e 10 mostram uma comparação entre os desempenhos dos dispositivos simulados e dos apresentados no artigo de referência [1].

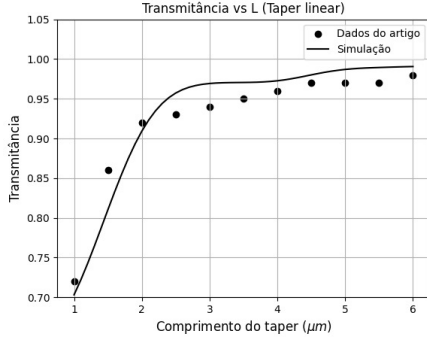


Fig. 8. Resultado do *sweep* do taper linear.

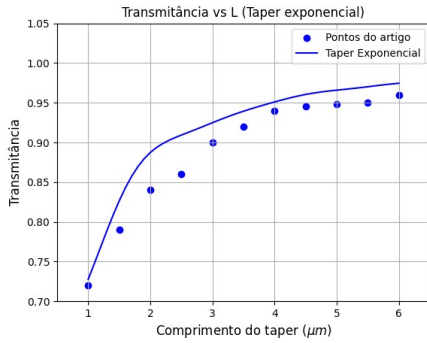


Fig. 9. Resultado do *sweep* do taper exponencial.

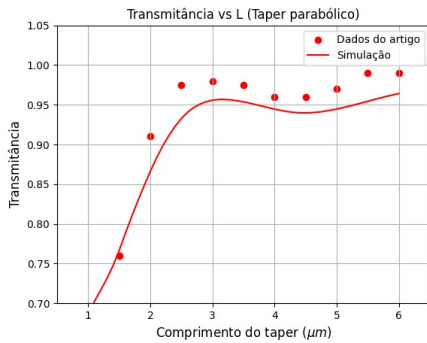


Fig. 10. Resultado do *sweep* do taper parabólico.

A Figura 11 mostra um comparativo entre todos os tapers simulados fazendo uma varredura do comprimento do taper.

IV. ANÁLISE

Apesar do fato de que os pontos que representam o desempenho dos dispositivos em função da transmissão do artigo [1] foram obtidos via inspeção visual, ainda é possível

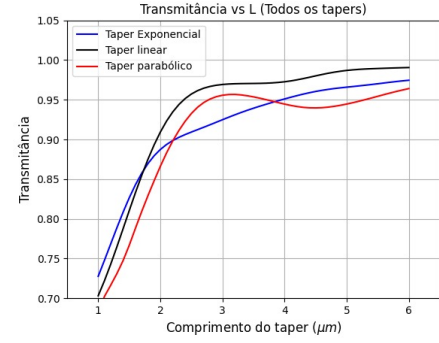


Fig. 11. Comparação entre os tapers simulados.

fazer análises quantitativas e qualitativas tanto do gráfico de transmissão quanto dos gráficos de perfil de campo.

Comparando os perfis de campo do artigo com os reproduzidos, nota-se um nível de semelhança elevado em todos os casos.

Em relação ao gráfico das transmissões, é possível perceber que embora os gráficos da simulação não reproduzam de maneira exata os gráficos da referência utilizada o comportamento da curva se assemelha muito. O gráfico linear cresce de forma rápida e se estabiliza em torno de 97%, o exponencial cresce de uma maneira mais suave se estabilizando em torno de 96% e o parabólico também cresce de maneira rápida, mas tem um comportamento análogo a uma resposta subamortecida antes de se estabilizar em torno de um pouco mais de 95%. Utilizando a equação 4 onde P_a e P_s são, respectivamente, os pontos mais distantes entre si da curva do artigo e da curva simulada.

$$\epsilon(\%) = \frac{P_s - P_a}{P_a} \cdot 100\% \quad (4)$$

foram obtidos:

$$\epsilon(\%)_{linear} = \frac{0.94 - 0.96}{0.96} \cdot 100\% = -2,08\%$$

$$\epsilon(\%)_{exponencial} = \frac{0.86 - 0.91}{0.91} \cdot 100\% = -5,49\%$$

$$\epsilon(\%)_{parabólico} = \frac{0.93 - 0.97}{0.97} \cdot 100\% = -4,12\%$$

V. CONCLUSÃO

Foram estudadas diferentes formas de perfil de guias de ondas cônicos - tapers com o principal intuito de analisar sua adiabaticidade observando os perfis de campo e desempenho de acoplamento ao observar os gráficos de transmissão.

Os perfis de campo dos dispositivos simulados se mostraram muito semelhantes aos perfis de campo da principal referência utilizada e em ambos os casos é possível perceber que necessita-se de um comprimento maior para o taper caso o efeito adiabático seja desejado.

Os gráficos de transmissão tiveram comportamentos também muito semelhantes, sendo possível comparar a performance para cada um dos perfis em diferentes comprimentos do dispositivo.

REFERENCES

- [1] Yunfei Fu, Tong Ye, Weijie Tang, and Tao Chu, *Efficient adiabatic silicon-on-insulator waveguide taper*, Vol. 2, Issue 3, pp. A41-A44 (2014)
- [2] J. J. Wu, B. R. Shi, and M. Kong, *Exponentially tapered multi-mode interference couplers*, Chin. Opt. Lett. 4, 167–169 (2006).
- [3] Guanghui Ren, Shaowu Chen, Yongpeng Cheng and Yao Zhai, *Study on inverse taper based mode transformer for low loss coupling between silicon wire waveguide and lensed fiber*, Optics Communications, Volume 284, Issue 19, 2011.