

# Estruturas Interposer com Guias de Onda SU-8 para Packaging Óptico 3D

Celio Antonio Finardi (CTI) celio.finardi@cti.gov.br

## Resumo

A mudança do processamento sinais do meio eletrônico para o fotônico não é um processo de simples transportabilidade de conceitos de um para outro. Em soluções ópticas integradas as conexões ópticas entre chips e placas precisam ser empregadas com transferência rápida de dados. Neste sentido este artigo propõe o uso de guias de onda em polímero para gerar estruturas intermediárias (interposer) para roteamentos e conexões na camada de condução de luz. Apresenta-se um estudo numérico do acoplamento vertical entre guias de onda SU-8 configurando estruturas interposer para aplicação nos desenvolvimentos em packaging óptico.

*Palavras-chave:* Guias de onda em polímeros; Interposer óptico; Packaging óptico; Óptica integrada.

## 1. Introdução

A fibra óptica tem sido usada para transmissão de longa distância, atendendo às necessidades tecnológicas e de mercado. Mas para curtas distâncias que é o caso de soluções ópticas compactas e complexas com hibridização e interconexões ópticas (tipo MCM – Módulos Multichip), só o uso fibras para conexões é impraticável, buscando-se adotar o conceito de estruturas multicamadas como na eletrônica convencional (PCBs) e integrada.

No entanto, a filosofia do processamento eletrônico para o fotônico não é uma simples cópia ou transportabilidade de conceitos. É necessário garantir a integração de dispositivos para geração, processamento, transmissão e recepção de luz, em soluções multifuncionais como transceptores ópticos (ilustrado na Figura 1) combinando várias técnicas (SCHRÖDER, 2019).

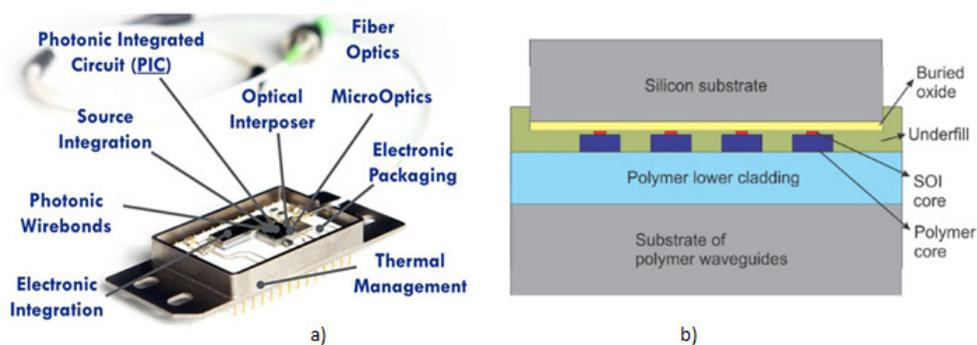


Figura 1 – a) Ilustração de Packaging Óptico (fonte: Ficontec) b) Conexões entre guias de silício e de polímeros na técnica de flip-chip

O escopo em packaging óptico é amplo e em evolução (CARROLL, 2016). Este artigo tem como objetivo discutir um subconjunto deste escopo usando guias de onda em polímero para configuração de interposer óptico para roteamentos e conexões de luz para as bandas S a L (1400 - 1600 nm).

## 2. Estruturas para interposer óptico

O interposer é uma estrutura intermediária para roteamento óptico em uma camada ou conexão para outra (Figura 2). Essas estruturas são utilizadas para distribuir os sinais ópticos, semelhante ao papel desempenhado pelas trilhas e vias de cobre em placas de PCB de alta densidade.

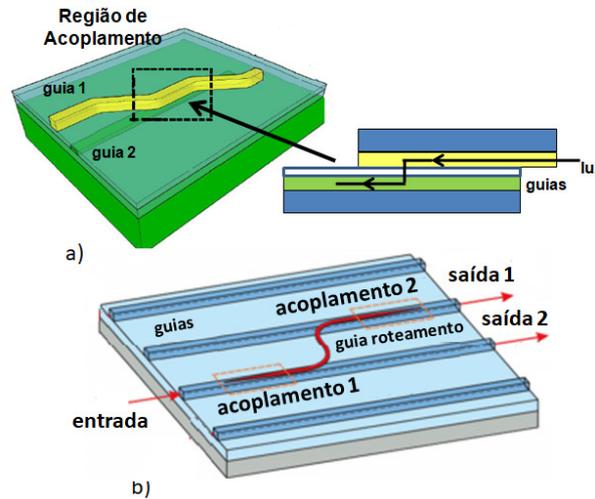


Figura 2 – a) Acoplamento vertical S-shaped entre 2 guias de onda b) exemplo de roteamento de sinal óptico (figura adaptada de LA PORTA (2018))

O estudo é baseado em guias de onda SU-8, uma vez que este polímero é amplamente utilizado como estruturas funcionais para soluções micromecânicas 3D com excelentes características mecânicas, impermeabilidade à água, alta estabilidade, alta uniformidade e resistência química. É também um polímero opticamente transparente com alto índice de refração e transmissão superior a 95% a partir do comprimento de onda de 400 nm e com baixa birrefringência, bastante adequado para soluções ópticas.

As estruturas interposer analisadas são baseadas em dois tipos de guias de onda SU-8 desenvolvidos em trabalhos anteriores (CORDOBA, 2018) (FINARDI, 2020) - guias de onda ridge e inverted rib (Figura 3). Definiram-se estas configurações de modo a possibilitar a prototipagem nos laboratórios do CTI.

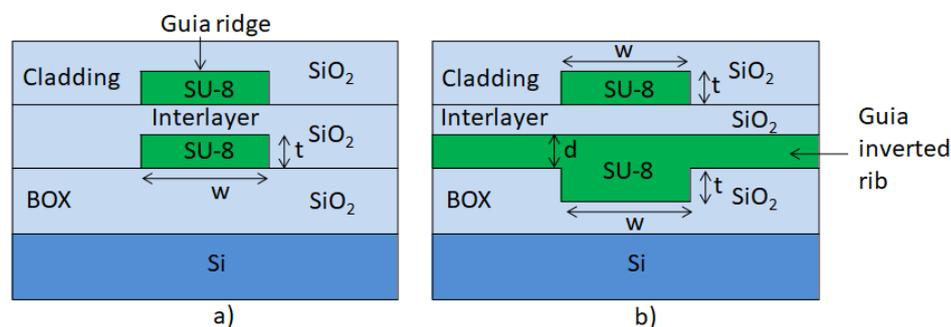


Figura 3 – Estruturas Interposers - a) guia ridge / guia ridge b) guia inverted rib/ guia ridge

## 3. Resultados

O acoplamento vertical S-shaped (TAKAGI, 1992) nas estruturas propostas (Figura 3) foi simulado no comprimento de onda  $\lambda = 1550$  nm com a ferramenta COMSOL Multiphysics (Wave Optics Module) e para os modos de polarização TE e TM.

O espaçamento (gap) vertical entre os dois (2) guias foi definido pela camada de SiO<sub>2</sub> (interlayer).

a. Interposer com Guias Ridge /Ridge

A estrutura analisada da Figura 3 a), apresenta as seguintes dimensões:

- Dimensões dos guias de onda ridge
  - largura (w) = 1,7 μm
  - espessura (t) = 1,2 μm
- Espessura de SiO<sub>2</sub> (interlayer) = 0,3 μm
- Espessura BOX = 4 μm
- Espessura SiO<sub>2</sub> cladding = 0,5 μm

A metodologia de análise baseia-se na obtenção dos índices efetivo ( $n_{\text{eff}}$ ) no comprimento de onda definido para os modos dois (2) acoplados TE (simétrico e assimétrico) e TM (simétrico e assimétrico), ilustrados na Figura 4.

A partir da diferença do  $n_{\text{eff}}$  dos modos define-se o coeficiente de acoplamento ( $\kappa$ ) através da expressão  $\kappa = \pi \Delta n_{\text{eff}}/\lambda$  (CHROSTOWSKI, 2013).

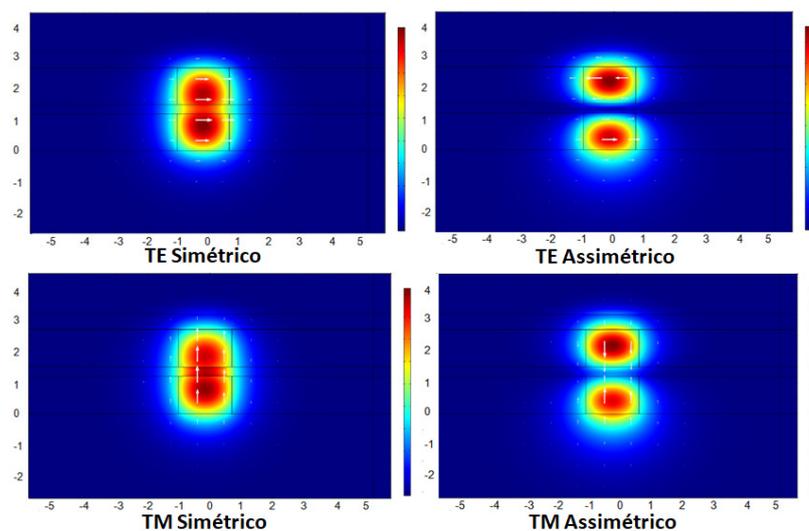


Figura 4 – Módulo de campo normalizado simulado na seção transversal de acoplamento de interposer com guias ridge/ridge nos modos TE e TM

Dos resultados no COMSOL tem-se tabela 1 com os índices efetivos ( $n_{\text{eff}}$ ) e os coeficientes de acoplamento ( $\kappa$ ) para os modos estudados no comprimento de onda  $\lambda = 1550$  nm.

$n_{\text{eff TE}}$		$n_{\text{eff TM}}$	
Simétrico	Assimétrico	Simétrico	Assimétrico
1,514123	1,483045	1,513232	1,480260
$\kappa_{\text{TE}} = 0,063$		$\kappa_{\text{TM}} = 0,066$	

Tabela 1 – Interposer guias ridge/ridge - índices efetivos e coeficientes de acoplamento nos modos TE e TM

A partir dos dados da Tabela 1 pode-se definir a região de acoplamento no guia superior, através da expressão  $L = \lambda/(2\Delta n_{\text{eff}})$  (CHROSTOWSKI, 2013), resultando;

- Modo TE  $\rightarrow L = 24,94 \mu\text{m}$
- Modo TM  $\rightarrow L = 23,50 \mu\text{m}$

Através da expressão  $P_{\text{acoplada}}/P_{\text{entrada}} = \text{sen}^2(kL)$ , tem-se na Figura 5 o gráfico de potência acoplada no guia superior, podendo-se estabelecer uma região de acoplamento (L) que seja o melhor compromisso de acoplamento (integral ou parcial) nos dois (2) modos de propagação.

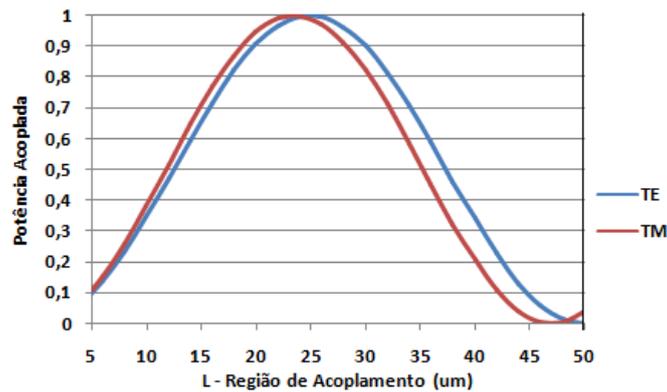


Figura 5 – Gráfico de potência acoplada em função de região de acoplamento para interposer ridge/ridge

#### b. Interposer com Guias Inverted Rib /Ridge

A estrutura da Figura 3 b), apresenta as seguintes dimensões:

- Dimensões do guia de onda inverted rib:
  - largura (w) = 1,7  $\mu\text{m}$
  - espessura (t) = 0,6  $\mu\text{m}$
  - espessura rib (d) = 0,6  $\mu\text{m}$
- Dimensões do guia de onda ridge:
  - largura (w) = 2,0  $\mu\text{m}$
  - espessura (t) = 1,5  $\mu\text{m}$
- Espessura de SiO<sub>2</sub> (interlayer) = 0,3  $\mu\text{m}$
- Espessura BOX = 4  $\mu\text{m}$
- Espessura SiO<sub>2</sub> cladding = 0,5  $\mu\text{m}$

Com o mesmo procedimento anterior tem-se:

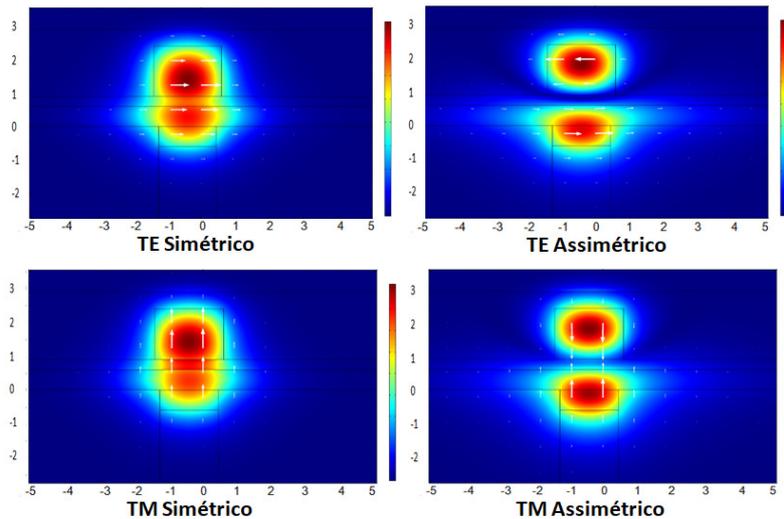


Figura 6 – Módulo de campo normalizado simulado na seção transversal de acoplamento de interposer com guias inverted rib/ridge nos modos TE e TM

A tabela 2 apresenta os índices efetivos ( $\eta_{\text{eff}}$ ) e os coeficientes de acoplamento ( $\kappa$ ) para os modos de propagação no comprimento de onda  $\lambda = 1550$  nm.

$\eta_{\text{eff TE}}$		$\eta_{\text{eff TM}}$	
Simétrico	Assimétrico	Simétrico	Assimétrico
1,526320	1,498737	1,524615	1,495598
$\kappa_{\text{TE}} = 0,056$		$\kappa_{\text{TM}} = 0,059$	

Tabela 2 – Interposer guias inverted rib/ridge - índices efetivos e coeficientes de acoplamento nos modos TE e TM

Com os dados da Tabela 2 é definida as regiões de acoplamento para os dois (2) modos, como descrito nateriormente.

- Modo TE  $\rightarrow L = 28,10 \mu\text{m}$
- Modo TM  $\rightarrow L = 26,70 \mu\text{m}$

Da mesma forma apresentada para o interposer anterior, com o gráfico da Figura 7 pode-se estabelecer um comprimento que seja o melhor compromisso de acoplamento (integral ou parcial) nos dois (2) modos de propagação.

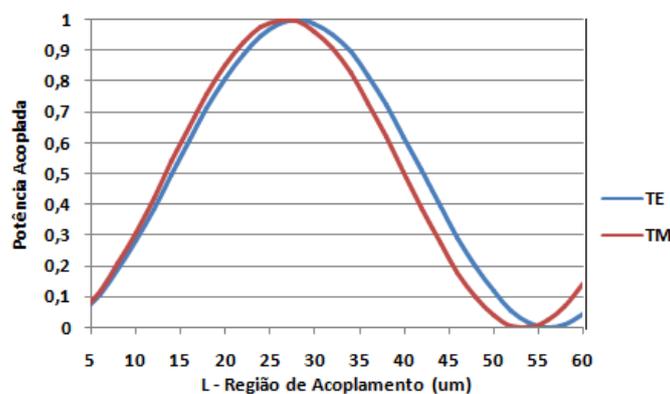


Figura 7 – Gráfico de potência acoplada em função de região de acoplamento para interposer inverted rib/ridge

Com os resultados obtidos pode-se elaborar os layouts para as estruturas e

## 5. Conclusões

Apresentou-se análise numérica para duas (2) estruturas interposer considerando as facilidades para prototipagem interna. Estas estruturas demonstraram que podem ser usadas para roteamentos e conexões na camada de condução de luz.

Os guias de onda SU-8 empregados já foram fabricados e testados em vários blocos ópticos (acopladores direcionais, ressoadores em anel, junção Y, ...), assegurando que os processos de fabricação estão estabelecidos, viabilizando atender os requisitos dos interposers para packaging óptico em conceito 3D.

Os próximos passos do trabalho serão: prototipar as estruturas interposer (elaborar layouts e realizar fabricação) para validar os resultados simulados com os experimentais e planejar o uso desse conceito para o packaging óptico de solução fotônica de média complexidade.

## Referências

**CARROLL, L., LEE, J., SCARCELLA, C., GRADKOWSKI, K., DUPERRON, M, LU, H., ZHAO, Y., EASON, C., MORRISSEY, P., RENSING, M., COLLINS, S., HWANG, H. & O'BRIEN, P.** *Photonic Packaging: Transforming Silicon Photonic Integrated Circuits into Photonic Devices*. Applied Sciences, 2016.

**CHROSTOWSKI, L. & HOCHBERG, M.** *Silicon Photonics Design Book*. 2013

**CORDOBA, J., FINARDI, C. A. & PANEPUCCI, R. R.** *SU-8 GPON Diplexer Based On H-Line Lithography by Direct Laser Writer*. Journal: IEEE Photonics Technology, 2018.

**FINARDI, C., CARVALHO, W., ZOLDAN, V., PANEPUCCI, R. R. & G. N., MALHEIROS-SILVEIRA.** *Foundry produced SU-8 inverted-rib waveguide-based components*. Proceedings' SPIE Optical Engineering + Applications, 2020

**LA PORTA, A., WEISS, J., DANGEL, R., JUBIN, D., MEIER, N., HORST, F. & JAN OFFREIN, B.** *Broadband and scalable optical coupling for silicon photonics using polymer waveguides*. Advanced Optical Technologies, 2018.

**SCHRÖDER, H.** *Advances in Optical Communications: Making optical printed circuit boards on an industrial scale*. Laser Focus World, Vol 55, Issue 10, 2019.

**TAKAGI, A., JINGUJI, K. & KAWACHI, M.** *Wavelength Characteristics of (2x2) Optical Channel-Type Directional Couplers with Symmetric or Nonsymmetric Coupling Structures*. Journal of Lightwave Technology, Vol. 10, 1992

## Agradecimentos

Ao CNPq pelo suporte financeiro, as equipes do CTI pelo apoio técnico e a COLAB pela disponibilização da ferramenta de simulação COMSOL.