

## Circuito Integrado para Sensoriamento de Deformação

### Função

[001] A presente topologia de circuito integrado refere-se a um circuito fotônico integrado em plataforma SOI (*Silicon-on-Insulator*) destinado ao sensoriamento de deformação, baseado na grade de Bragg. Essa estrutura apresenta variações periódicas de índice refração, ressonando apenas em um comprimento de onda, conhecido como comprimento de onda de Bragg ( $\lambda_B$ ). A potência transmitida por essa estrutura também irá mudar de acordo com  $\lambda_B$ . Ao aplicar deformações, linearmente espaçadas, à grade de Bragg (alteração do comprimento ou largura, por exemplo) o comprimento de onda de ressonância também será deslocado em passos lineares, ou seja,  $\lambda_B$  varia com a deformação por meio de uma relação linear, possibilitando seu uso para sensoriamento. Como alternativa ao uso de um OSA (*Optical Spectrum Analyzer*) posiciona-se dois lasers em comprimentos de onda fixos e distintos: um em  $\lambda_B$  para zero deformação e outro no centro da banda de passagem para zero deformação. Assim, ao aplicar deformação, as potências transmitidas nos comprimentos de onda dos lasers irão variar conforme a deformação aplicada sendo possível calcular a razão de potências. Diferente da relação entre  $\lambda_B$  e deformação, a relação entre razão de potências e deformação é linear apenas para uma deformação máxima limite. Vale destacar também que além da grade de Bragg é utilizado um circuito óptico para filtragem bem como fotodetectores, para a obtenção da potência exata nos comprimentos de onda de cada laser.

### Componentes e Interconexões

[002] A arquitetura da topologia compreende três circuitos: um destinado ao estado de zero deformação; um destinado a medir deformações verticais e outro destinado a medir deformações horizontais. A estrutura da topologia possui cinco elementos principais: (i) um arranjo composto por acopladores de grade (*grating coupler*) projetados para operar na banda C; (ii) um arranjo de divisores ópticos 1x2 para distribuir potência para cada circuito; (iii) um arranjo composto por três grades de Bragg e dois guias ópticos para defasagem (*phase shifters*) para cada um dos três circuitos; (iv) um interferômetro de Mach-Zehnder (MZI – *Mach-Zehnder Interferometer*) 1x2 para divisão e recombinação dos feixes ópticos em

banda C, para cada circuito; e (v) um arranjo composto por dois multiplexadores 3x1, cada um composto por duas chaves térmicas, permitindo a análise de cada um dos três circuitos, individualmente, dada uma tensão elétrica aplicada;

[003] O arranjo dos acopladores de grade é composto por: (i) dois acopladores superiores (Figura 1), centralizados em dois comprimentos de onda distintos, de 1549,26 nm e 1550,85 nm. Posteriormente são combinados em um combinador óptico do tipo Y-Branch 2x1; e (ii) dois acopladores inferiores (Figura 7) posicionados ao final do circuito, após os filtros, sendo responsáveis pela obtenção das potências;

[004] O arranjo dos divisores ópticos é composto de dois *splitters* do tipo Y-Branch 1x2 (Figura 2), servindo para atender os três circuitos projetados. O primeiro *splitter* deve possuir, na saída superior, 66,67% de sua potência incidente e, na saída inferior, 33,33%. Já o segundo *splitter* deve apresentar, em ambas as saídas, 50% de sua potência incidente. Dessa maneira, todos os circuitos são atendidos com 33,33% da potência incidente no combinador;

[005] O arranjo das três grades de Bragg (Figura 3) e os dois *phase shifters* é posto em sequência ao combinador e anterior ao MZI, em cada circuito. Com os *phase shifters* ocorre a planificação da banda de passagem da grade de Bragg, existindo assim uma região de referência, onde a potência observada se mantém constante. Para o circuito com zero deformação são utilizados o período da grade e comprimento dos *phase shifters* iguais a 315,64 nm. Já para as deformações horizontal e vertical são utilizados o período da grade e comprimento dos *phase shifters* iguais a 316,34 nm, apenas rotacionando um circuito do outro em 90°. Para todos os circuitos a variação de largura entre a maior e menor sessão da grade é igual a 40 nm, a quantidade de períodos é 75, 150 e 75;

[006] O MZI (Figura 4) é composto por: (i) um divisor óptico do tipo Y-Branch 1x2; (ii), dois guias ópticos, cada um conectado a uma saída do divisor, cujo guia menor possui 50  $\mu\text{m}$  e uma diferença  $\Delta L$  igual a 180,49  $\mu\text{m}$  de tal forma que o pico de transmissão de cada uma das saídas do MZI esteja centrado em cada um dos comprimentos de onda dos lasers; e (iii) um acoplador direcional, onde

o par de guias ópticos é interligado. Ao todo tem-se três MZI's (para cada circuito) com acopladores direcionais nas saídas (seis ao todo);

[007] Os multiplexadores (Figura 5) são compostos por duas chaves térmicas seletoras 2x2 (Figura 6), visto que, para compor um multiplexador 3x1 é necessárias duas chaves, permitindo analisar um circuito por vez, a partir do controle da chave térmica, ao aplicar uma tensão elétrica. O uso dessa técnica permite o uso de apenas dois acopladores de grade na saída (Figura 7), já que, caso contrário, seria necessário o uso de seis acopladores de grade para as seis saídas dos três MZI's;

[008] A estrutura tem componentes conectados por guias ópticos lineares, possuindo todos eles 500 nm de largura e 220 nm de espessura, permitindo que, para comprimentos de onda fixos nos acopladores de grade superiores, seguidos pelos fenômenos da grade de Bragg e a filtragem no MZI, possam ser obtidas as potências a partir dos acopladores de grade inferiores e assim obter a relação entre elas.

[009] Na Figura 8 é ilustrado o chip completo, com o circuito principal à esquerda, chaves térmicas ao centro e acopladores de grade de saídas à direita, possuindo ao todo 10x10 mm<sup>2</sup> de área ocupada.

### **Aplicações**

[010] O circuito visto na topologia descrita é feito visando seu uso para sensoriamento de deformações em baterias de lítio, observando o inchaço e assim prever tempo restante de uso. Além disso, sistemas MEMS (*Micro-Electro-Mechanical-Systems*) podem aproveitar desse circuito para monitoramento e controle de qualidade, semelhante aos sensores piezorresistivos. O dispositivo óptico apresenta vantagens como imunidade a interferência eletromagnética, redução de riscos de faíscas e leitura em alta velocidade