

## Estudo de espelhos de Bragg baseados em filmes intercalados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> e de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO.

Leonardo Rodrigues da Costa\*, Diego S. da Silva, José M. Clemente, Rafael Merlo, Odilon Couto, Francisco C. Marques, Fernando Iikawa

### Resumo

Espelhos de Bragg são heteroestruturas de alta e seletiva refletividade. O objetivo desse projeto é a simulação, confecção e caracterização de um espelho Bragg óptico feito com camadas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> e de outro com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO. A simulação foi feita no software Mathematica™ e a caracterização foi feita pela medida da refletividade (para ambos espelhos) e também da difração de raios-x, para o estudo da camada de ZnO.

### Palavras-chave:

Espelhos de Bragg, refletividade, simulação.

### Introdução

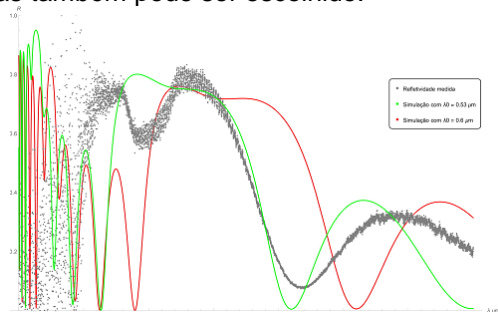
Os espelhos de Bragg (*Distributed Bragg reflectors* – DBR, em inglês) são feitos por camadas de pares de dielétricos transparentes empilhadas alternadamente, formando assim um espelho de alta refletividade óptica pelo contraste dos seus índices de refração. É importante destacar que um DBR pode ser fabricado para qualquer tipo de onda, como, por exemplo, a onda sonora. A refletividade máxima de um DBR é seletiva, ocorrendo apenas para uma banda limitada de comprimentos de onda, centrada em um  $\lambda_0$  específico. O design do perfil de refletividade pode ser feito selecionando os materiais, espessuras e o número de camadas de um DBR.

Pela sua simplicidade e versatilidade, os DBRs tiveram diversas aplicações nos anos recentes, como, por exemplo, cavidades acústicas/fotônicas<sup>1</sup>, ressonadores de ondas guiadas<sup>2</sup> e em lasers<sup>3,4</sup>.

A proposta deste projeto é a simulação, confecção (pelo método de deposição atômica), e a caracterização dos DBR de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> e de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO.

### Resultados e Discussão

Neste projeto, primeiramente, realizamos a simulação computacional da curva de refletividade dos DBR a partir das dispersões dos índices de refração dos materiais constituintes e dos parâmetros do DBR. Os valores das espessuras das camadas são otimizados para reflexão máxima em um  $\lambda_0$  escolhido, o número de camadas também pode ser escolhido.



**Figura 1:** Sobreposição dos espectros da refletividade de DBR de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> medida (cinza), com a simulação cujo  $\lambda_0$  está em 600nm (vermelho) e 530nm (verde)

Em seguida, confeccionamos o DBR composto por Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> e outro, ainda em fase de preparação, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO, ambos depositados sobre um substrato de silício por método ALD (*atomic layer deposition*).

O DBR de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> conta com cinco bicamadas sendo que a espessura esperada da camada de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é 50nm e a do TiO<sub>2</sub>, 92.3nm. Essa configuração deveria produzir uma refletividade de até 80% da luz incidente, centrada em  $\lambda_0=600$ nm. A medição indicou que a curva deste DBR se encaixava melhor com a simulação da refletividade centrada em  $\lambda_0=530$ nm. Isso significa que a espessura das camadas foi sobreestimada.

O DBR de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO ainda não foi concluído, porque o crescimento de ZnO não foi otimizado. Isso porque no caso de ZnO é necessário que o eixo cristalino fique alinhado ao longo da direção de crescimento para maximizar suas propriedades piezoelétricas. As medidas deste alinhamento de ZnO vêm sendo feitas por difração de raios-x.

### Conclusões

Apesar das medições serem ainda preliminares, os resultados foram promissores. A deposição pelo método ALD foi eficaz em produzir um DBR de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> com 5 pares de camadas e refletividade característica. O máximo de refletividade deste DBR teve a amplitude esperada (80%). Porém, como observamos na figura 1, a curva que melhor se encaixa às medições é a simulação do DBR com  $\lambda_0=530$ nm, o que nos leva a acreditar que as espessuras das camadas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> são menores do que esperávamos. Esses resultados são animadores e motivam a continuação do projeto.

### Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para este projeto, através do programa PIBIC.

<sup>1</sup> A. Soukiassian, et al., Appl. Phys. Lett. 90, 042909 (2007)

<sup>2</sup> E. Lebrasseur, et al., "Design and fabrication of an acoustic bragg mirror for miniaturized quartz resonators." Acoustics 2012, Apr 2012, Nantes, France (2012)

<sup>3</sup> S. Shutts, et al., "Deep etched distributed Bragg reflector (DBR) InP/AlGaInP quantum dot lasers" SPIE OPTO 2011, San Francisco, USA (2011)

<sup>4</sup> P. Yousefi, et al., "Silicon dual pillar structure with a distributed Bragg reflector for dielectric laser accelerators: Design and fabrication" FAU & Max Planck Institute for the Science of Light (2018)