

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GUIAS DE ONDA DE TeO₂-ZnO PARA APLICAÇÕES EM OPTOELETRÔNICA

Vanessa Duarte Del Cacho¹, Davinson Mariano da Silva², Acácio Luiz Siarkowski³, Luciana Reyes Pires Kassab⁴

¹Aluna de pós doutorado da Escola Politécnica/USP

²Aluno de doutorado do curso de pós graduação da Escola Politécnica/USP

³Pesquisador Dr. da Escola Politécnica/USP

⁴Prof^a Dr^a do Departamento de Ensino Geral da FATEC-SP

e-mail: vainessacacho@gmail.com, kassablm@osite.com.br

Resumo

Este trabalho apresenta resultados experimentais sobre guias de onda do tipo “rib” produzidos com filmes finos de TeO₂-ZnO depositados pela técnica de RF “Sputtering”. Os filmes finos foram depositados em temperatura ambiente utilizando plasma Ar/O₂, pressão de 5 mTorr e potência de 50 W em substratos de silício (100). Processos de litografia óptica e corrosão por plasma de SF₆ foram utilizados. Os diversos testes realizados com estes processos permitiram encontrar as melhores condições para a implementação dos guias de onda. A geometria dos guias foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Perdas por propagação de 0,1 dB/cm (para guias de onda “rib” com largura de 10 μm) e 1,5 dB/cm (para largura de 3-5 μm) foram obtidas para altura de 90 nm.

1. Introdução

Vidros de telureto são fortes candidatos para a produção de guias de onda aplicados a sistemas de comunicação de baixa dissipação na região do infravermelho médio, lasers mais eficientes, amplificadores e dispositivos não-lineares [1-3]. Estes materiais têm energia de fônon relativamente baixa (600-850), são quimicamente estáveis e apresentam uma transparência considerável ao longo de uma região ampla do espectro (400-8000 nm) [1,2]. Possuem índices de refração lineares elevados ($n > 2$) favorecendo o confinamento da luz nos guias de onda quando utilizados juntamente com um substrato com índice de refração reduzido [4]. Estas propriedades os tornam bons candidatos para aplicações em dispositivos fotônicos.

Os guias de onda são dispositivos que permitem a condução da luz de forma controlada. Um núcleo envolvido por uma cobertura de material com índice de refração menor do que o índice de refração do núcleo consegue confinar um feixe de luz por reflexão total interna. Este efeito facilita o confinamento da luz gerada dentro de um meio de índice de refração alto, onde é possível construir canais/guias que conduzem a luz de um local para outro através de um determinado

caminho. Nos guias do tipo “rib”, o núcleo é parcialmente corroído para a definição das paredes laterais [5].

Neste trabalho, a produção e caracterização de guias de ondas “rib” de TeO₂-ZnO são investigados pela primeira vez, usando filmes finos produzidos por RF “sputtering” e caracterizados por meio de várias técnicas. Em especial, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi essencial para otimizar os processos para a construção dos guias de onda.

2. Metodologia

Fabricação dos guias de onda

Os guias foram construídos sobre substratos de silício, utilizando-se os processos convencionais de microeletrônica: limpeza química, oxidação térmica, deposição por “sputtering”, litografia óptica e corrosão por plasma.

O guia de onda foi fabricado a partir de um substrato de silício (Si) monocristalino que apresenta um alto índice de refração e também uma alta absorção para a luz visível (633 nm). Portanto, é necessária a utilização de uma camada isolante, neste caso um filme espesso de SiO₂, antes da deposição do filme de guiamento (TeO₂-ZnO), para a isolação do campo evanescente do modo guiado.

As etapas de fabricação dos guias de onda são esboçadas na Figura 1. As etapas foram realizadas como segue: (a) deposição dos filmes de TeO₂-ZnO e SiO₂ sobre o substrato de silício, (b) aplicação do fotorresiste e alinhamento da máscara; (c) exposição do fotorresiste à luz UV; (d) após a exposição, o fotorresiste sensibilizado é removido por uma solução reveladora; (e) corrosão por plasma “Reactive Ion Etching” (RIE) do filme de TeO₂-ZnO; (f) Guia de onda “rib” final após a remoção do fotorresiste.

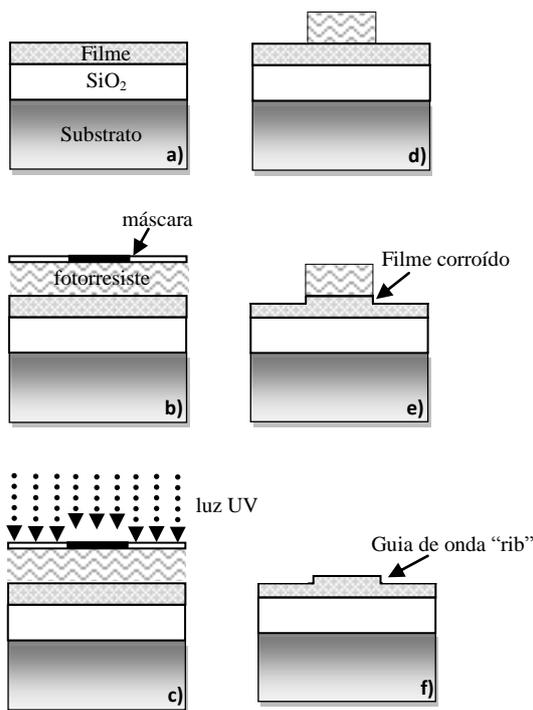


Figura 1 - As etapas utilizadas para a fabricação dos guias de ondas “rib” de TeO₂-ZnO.

Deposição do filme

O alvo foi fabricado usando óxidos puros de: 85,0 de TeO₂ e 15,0 de ZnO (% em peso). O fluxograma da Figura 2 apresenta as etapas para a produção do alvo.

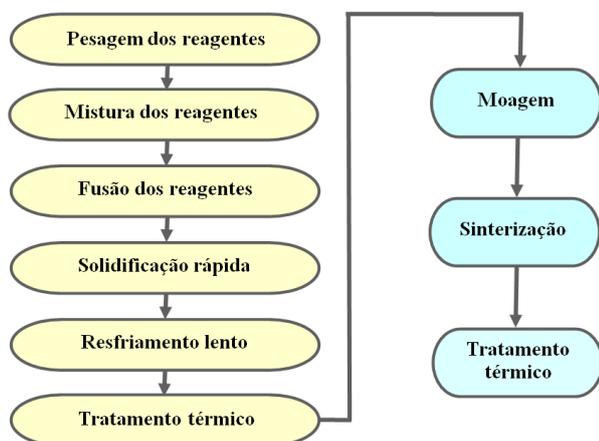


Figura 2 – Fluxograma das etapas usadas na produção do alvo vítreo.

Os óxidos foram misturados e prensados uniaxialmente sob pressão de aproximadamente 4000 Kg/cm², seguido de sinterização à 420°C por 10h. Lâminas de silício tipo P, com 76,2 milímetros de diâmetro, resistividade entre 1 e 10 Ω.cm, e orientação cristalográfica (100) foram utilizadas como substratos. A seqüência de fabricação começa com um processo de oxidação térmica (à 1150°C) para obter

uma camada de isolamento de óxido de silício de 1µm de espessura sobre o substrato de silício.

O filme fino vítreo foi produzido utilizando a técnica de por RF “magnetron sputtering” à temperatura ambiente, com plasma de argônio. As condições de deposição estão apresentadas na Tabela I.

Tabela I – Parâmetros de deposição dos filmes finos de TeO₂-ZnO.

Condições	Filme de TeO ₂ -ZnO
Pressão (mTorr)	5
Fluxo de Ar (sccm)	10
Fluxo de O ₂ (sccm)	2
Potência RF (W)	50
Tempo de deposição (h)	6
Distância entre o substrato e o alvo (cm)	14

Corrosão por plasma

Os guias de onda “rib” de TeO₂-ZnO foram definidos pela corrosão por plasma de SF₆ em um reator “Reactive Ion Etching” (RIE) com uma máscara de fotorresiste. As condições de corrosão são mostradas na Tabela 2. A remoção do fotorresiste foi feita inicialmente utilizando plasma de O₂ por 5 minutos, pressão de 100 mTorr e potência de RF de 100W. A remoção total do fotorresiste foi obtida com a solução comercial “Microstrip” (“Positive Photo Resist Strip”) por 15 minutos. A composição da solução não é fornecida pelo fabricante.

Tabela II – Parâmetros de corrosão por plasma dos filmes de TeO₂-ZnO.

Condições	Filme de TeO ₂ -ZnO
Pressão (mTorr)	100
Fluxo SF ₆ (sccm)	25
Potência RF (W)	50
Tempo de corrosão (min)	1

3. Resultados

A espessura final e o índice de refração do filme de TeO₂-ZnO foram medidos por Perfilometria e Elipsometria óptica (em 633nm). A rugosidade da superfície do filme foi determinada por AFM (“Atomic Force Microscopy”). Os resultados obtidos estão na Tabela III.

Tabela III – Resultados obtidos por perfilometria, elipsometria (λ = 633 nm) e AFM.

Resultados	TeO ₂ -ZnO	SiO ₂
Espessuras (nm)	622 ± 6	1145 ± 5
Índice de refração	2,04 ± 0,02	1,463 ± 0,002
Rugosidade (nm)	1,4 ± 0,2	0,7 ± 0,2

A rugosidade das áreas corroídas do filme TeO₂-ZnO aumentou para 1,8 ± 0,7 nm após o processo de corrosão por plasma. A rugosidade das paredes do guia

“rib” estimada por imagens de MEV encontra-se no intervalo de 30-50 nm [6,7], enquanto que a altura do “rib” medida por perfilometria é de 90 nm.

O plasma de oxigênio não removeu o fotorresiste completamente (figura 3a) e foi necessário utilizar a solução “Microstrip” (figura 3b).

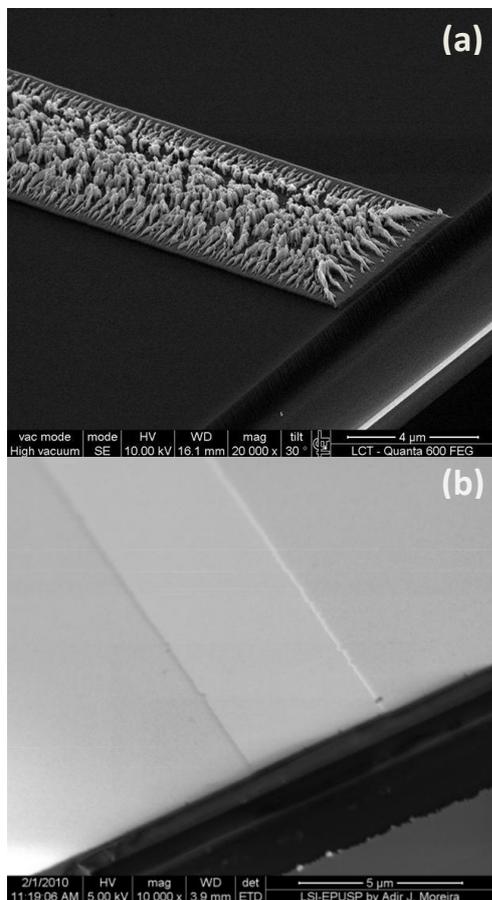


Figure 3 – Imagens de MEV do guia de onda “rib” de telureto corroído por plasma de SF_6 : (a) depois da exposição ao plasma de O_2 (com resíduos de fotorresiste) e (b) após o uso da solução “Microstrip”.

A Figura 4 apresenta o espectro de transmitância óptica na região do visível e do ultravioleta do filme de TeO_2 -ZnO, depositado sobre substrato de vidro.

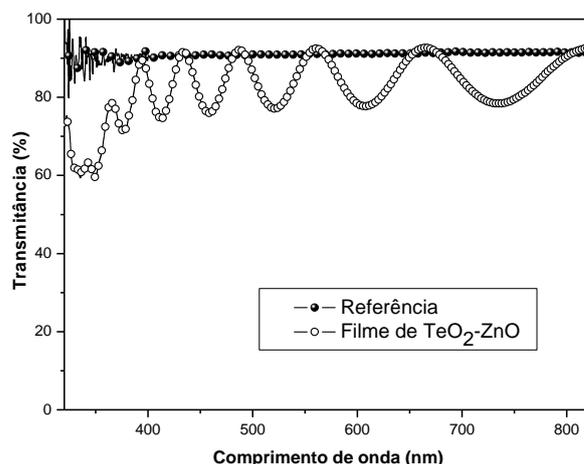


Figura 4 – Transmitância na região do ultravioleta e do visível do filme de TeO_2 -ZnO.

Os filmes apresentaram uma boa uniformidade, homogeneidade e uma transmitância óptica superior a 90% (para o comprimento de onda > 400 nm). Os altos percentuais de transmitância indicam baixa absorção no comprimento de onda de interesse (633 nm) o que possibilita o uso do filme de telureto para a aplicação em guias de onda.

Os guias de ondas “rib” de TeO_2 -ZnO foram analisados opticamente, quanto à atenuação no guiamento, usando um laser de HeNe de 633 nm e uma fibra óptica posicionada na borda do guia de onda alinhados por microposicionadores. A Figura 5 mostra a imagem do guiamento no arranjo experimental usado.

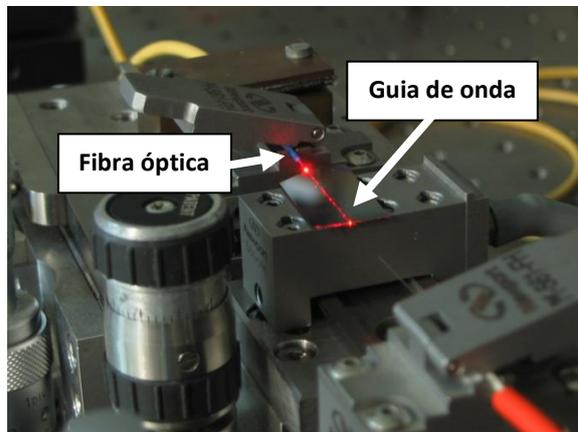


Figura 5 - Imagens do guiamento óptico na estrutura “rib” de TeO_2 -ZnO.

Os guias de onda “rib” de TeO_2 -ZnO apresentaram alto campo de confinamento e propagação multimodo para a luz polarizada (TE) em 633 nm. O modo de propagação foi analisado com um software de simulação de óptica integrada [8].

Os valores de atenuação medidos e simulados para o guiamento multimodo (TE) nos guias de ondas de TeO_2 -ZnO, com larguras de 3 à 5 e 10 μm (em 633 nm) estão na Tabela IV.

Tabela IV – Valores médios de atenuação dos guias de ondas produzidos.

Largura do “rib” (μm)	Atenuação medida (dB/cm)	Atenuação simulada (dB/cm)
3-5	1,5 ± 0,3	1,39
10	0,10 ± 0,03	0,03

As medidas de atenuação no guiamento foram feitas a partir de imagens do espalhamento dos guias de ondas. Estas imagens foram capturadas por uma câmera CCD (Dispositivo de Carga Acoplada) interligada a um microcomputador e posicionada acima dos guias de ondas. As imagens gravadas foram analisadas em um programa de tratamento de imagens (ImageJ) que possibilita medir a variação luminosa no guia de onda. Com os valores de intensidade luminosa em pontos distintos do guia de onda, calculam-se as perdas por propagação α (dB/cm).

A principal fonte de atenuação óptica nestes guias de onda é o espalhamento da luz devido à rugosidade nas interfaces dos filmes [9].

4. Conclusões

Este trabalho investigou pela primeira vez a confecção e caracterização de guias de onda “rib” produzidos a partir de filmes finos de TeO₂-ZnO. A técnica de deposição RF “sputtering” foi utilizada para obtenção de filmes finos a partir do alvo vítreo de TeO₂-ZnO. Os processos de litografia óptica e corrosão por plasma de SF₆ foram utilizados para a produção dos guias de onda “rib”.

Perdas por propagação de 0,1 dB/cm para guias de onda “rib” com largura de 10 μm e 1,5 dB/cm para largura de 3-5 μm, estão de acordo com os valores teóricos obtidos nas simulações numéricas. Este trabalho apresentou o desenvolvimento da tecnologia adequada para a produção de guias de onda de TeO₂-ZnO, possibilitando aplicações em optoeletrônica e fotônica.

Agradecimentos

À CAPES e ao INCT/CNPq, pelo apoio financeiro na forma de bolsas e projetos concedidos.

Referências Bibliográficas

- [1] Dumbaugh, W.R., **Heavy metal oxide glasses containing Bi₂O₃**, Physics and Chemistry of Glasses, v.27, p.119-125, 1986.
- [2] Lines M. E., et. al., **Oxide glasses for fast photonic switching: A comparative study**, J. Appl. Phys. 69, p. 6876- 6884, 1991.
- [3] Vogel, E. M., Weber, M. J., et. al., **Nonlinear optical phenomena in glass**, Physics and chemistry of glasses, vol. 32, n° 6, p. 231-254, 1991.
- [4] Mailis, S., Riziotis, C., et. al., **Growth and characterization of pulsed laser deposited lead germanate glass optical waveguides**, Optical Materials, vol.12, p. 27-33, 1999.
- [5] Del Cacho, V.D., **Produção e caracterização de guias de onda de germanato e telureto para aplicações em optoeletrônica**, tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [6] Siarkowski, A. L.; **Implementação de sensores ópticos integrados para aplicações em análises químicas e ambientais**, tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007.
- [7] Bulla, D. A. P., **Desenvolvimento e Caracterização de Filmes Finos de Óxido de Silício e Nitreto de Silício para a Fabricação de Guias e Sensores Ópticos**, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [8] **BBV** – Programas registrados por BBV Software BV, Enschede, 1998.
- [9] Deri, R.J.; Kapon, E.; et. al., **Scattering in Low-loss GaAs/GaAlAs rib waveguides**, Applied Physics Letters, v. 51, n° 11, p. 789-791, 1987.