

Trabalho

Título em Português: Fabricação de guias curvos em vidros ópticos com pulsos de femtossegundos

Título em Inglês: Fabrication of curved waveguides in optical glasses with fs-pulses

Autor: Pedro Takeshi Matsumoto Viana

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Cleber Renato Mendonça

Área de Pesquisa / SubÁrea: Física da Matéria Condensada

Agência Financiadora: CNPq - PIBIC

Fabricação de guias de onda curvos em vidros ópticos com pulsos de femtossegundos

Pedro Takeshi Matsumoto Viana

Lucas K. Nolasco

Prof. Dr. Cleber Renato Mendonça

Instituto de Física de São Carlos - USP

pedrotmviana@usp.br

Objetivos

Este projeto busca a fabricação de guias de onda retos e curvos, ambos com boa qualidade de propagação. Para isso, foram determinados os parâmetros experimentais ideais para a fabricação assim como analisar a diferença entre as geometrias de guia de onda e comparar as perdas de propagação obtidas em cada situação.

Métodos e Procedimentos

Cerca de 10 guias de onda foram microfabricados em amostras de vidro BK7 10x10mm² onde é empregado um laser que utiliza Yb:KGW como meio ativo, que opera em taxa de repetição variável e emite pulsos com duração de 216 fs centrado em 1030 nm. O feixe laser é direcionado através de espelhos para uma objetiva com abertura numérica de 0.40 (20x), responsável por sua focalização na amostra, que por sua vez é posicionada em um estágio de translação (x, y, z), utilizado para movê-la em relação ao laser com o auxílio de um programa desenvolvido em *LabVIEW*. A fim de determinar a fluência (energia por área) de limiar necessária para a fabricação dos guias de onda, foi utilizado o método de dano zero [1]. Por fim, após a fabricação e análise das estruturas, que foi feita empregando técnicas de microscopia, as amostras foram levadas a um sistema de acoplamento para verificar a

qualidade dos guias de onda produzidos e calcular as perdas de propagação.

Resultados

A fim de fabricar os guias de onda no volume da amostra, primeiro foram feitos testes na superfície para determinar parâmetros ideais como a velocidade de varredura (v) e a fluência de limiar (F_{th}), onde foram encontrados valores de 10 $\mu\text{m/s}$ e 2.8 J/cm^2 , respectivamente. Visto estes resultados, foram fabricados guias retos e curvos com energias de pulso de 264, 360 e 480 nJ, como mostra a Figura 1, onde as imagens estão organizadas em ordem crescente de energia (de cima para baixo). O guiamento de luz não foi verificado nos casos (a) e (b) guias de onda curvos, devido ao padrão de entrada não ideal encontrado [2]. Como para a situação da Fig. 1 (c) observou-se um perfil de intensidade de saída não-gaussiano, as perdas de propagação foram calculadas apenas para os guias de onda retos (Fig. 1 (d) e (f)), visto que a amostra correspondente a Fig.1 (e) foi quebrada durante o processo de polimento. Desse modo, foram encontradas perdas de propagação de 7.5 e 6.0 dB/cm para os guias fabricados com energias de pulso de 264 e 480 nJ respectivamente, valores estes que destoam daqueles reportados na literatura (~ 0.5 dB/cm) [3]. Portanto os parâmetros experimentais adotados para a fabricação destes guias de onda devem ser reavaliados. Ao utilizar uma

velocidade de varredura menor, por exemplo, é possível fabricar uma estrutura com menos imperfeições e evitar danos indesejados no material, assim aumentando a qualidade de guiamento do guia de onda.

Outra alternativa para viabilizar o guiamento no caso dos guias curvos é a mudança do formato do guia, onde foi proposto uma curva em formato de S, em detrimento do *design* anterior, dado por arcos de circunferência. O novo guia de onda é suavemente curvado ao longo de todo o seu comprimento, como mostrado parcialmente na Fig. 2, diferente do que é visto na Fig. 1, onde a curva ocorre de maneira abrupta. No entanto, apesar do bom indicativo mostrado pelo padrão de entrada da Fig. 2, um guiamento significativo não foi verificado, assim como no caso dos guias curvos fabricados no *design* anterior, onde foram vistos perfis de saída não-gaussianos. Desse modo, pode ter ocorrido uma mudança do índice de refração do material indesejada, que impossibilitou o guiamento expressivo de sinal.

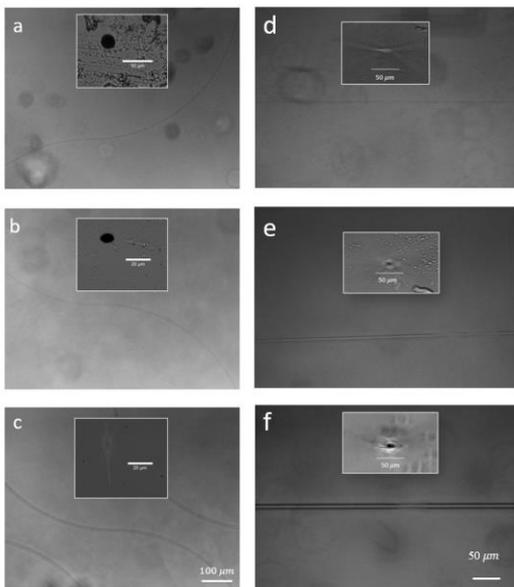


Figura 1: Vista superior e da entrada dos guias de onda fabricados com 264 nJ (a, d), 360 nJ (b, e) e 480 nJ (c, f). As inserções nas imagens mostram diferentes padrões de entrada encontrados em cada uma das amostras.

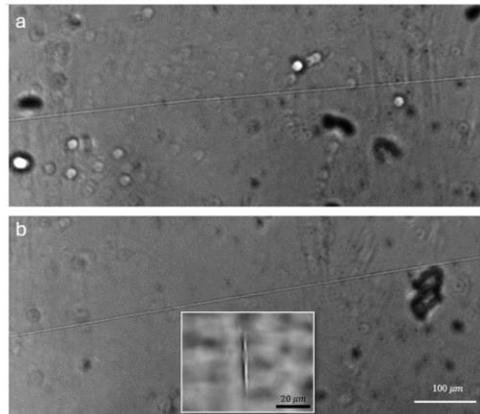


Figura 2: Vista superior e da entrada dos novos guias de onda. A inserção na imagem mostra um padrão de entrada ideal.

Conclusões

Os impactos tanto da geometria da microestrutura, quanto dos parâmetros de fabricação foram estudados para a microfabricação de guias de onda em vidros ópticos. Para isso, foram empregadas técnicas como o método de dano zero. Porém, após o estudo dos guias de onda produzidos, onde foram utilizadas técnicas de microscopia e cálculo de perdas, ainda é necessário otimizar os parâmetros e métodos utilizados a fim de produzir guias de onda de melhor qualidade.

Referências

- [1] J. M. Liu, "Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes", *Opt Lett*, vol. 7, nº 5, p. 196–198, 1982, doi: 10.1364/OL.7.000196.
- [2] F. Chen e J. R. V. de Aldana, "Optical waveguides in crystalline dielectric materials produced by femtosecond-laser micromachining", *Laser Photon Rev*, vol. 8, nº 2, p. 251–275, 2014, doi: 10.1002/lpor.201300025.
- [3] S. M. Eaton *et al.*, "Low-loss waveguides fabricated in BK7 glass by high repetition rate femtosecond fiber laser", *Appl Opt*, vol. 47, nº 12, p. 2098–2102, 2008, doi: 10.1364/AO.47.002098.

Fabrication of curved waveguides in optical glasses with fs-pulses

Pedro Takeshi Matsumoto Viana

Lucas K. Nolasco

Prof. Dr. Cleber Renato Mendonça

São Carlos Institute of Physics - USP

pedrotmviana@usp.br

Objectives

This project explores the fs-micromachining of both curved and linear waveguides with good guiding quality. To achieve that, we determine the ideal experimental parameters for fs-micromachining, analyze the differences between the waveguide geometries, and compare the propagation losses in each situation.

Materials and Methods

Nearly 10 waveguides were fabricated in 10x10 mm² BK7 samples where fs-micromachining was carried out with a Yb:KGW laser that operates at a variable repetition rate with 216 fs pulses centered at 1030 nm. The laser beam is focused on the sample using a series of mirrors and a 0.40 (20x) numerical aperture objective. The sample is positioned on an (x, y, z) translation stage, which is used to move it relative to the laser with the aid of a LabVIEW program. To determine the threshold fluence (energy per area) required for waveguide fabrication, the zero damage method [1] was used. Finally, after the fabrication and analysis of the structures using microscopy techniques, the samples were taken to a coupling system to verify the quality of the produced waveguide and calculate the propagation losses.

Results

To fabricate waveguides within the sample volume, initial tests were conducted on the surface to determine optimal experimental parameters such as scanning speed (v) and threshold fluence (F_{th}), where we determined values of 10 $\mu\text{m/s}$ and 2.8 J/cm^2 , respectively. Based on these results, linear and curved waveguides were fabricated with pulse energies of 264, 360 and 480 nJ, as shown in Figure 1, where the images are organized in increasing order of energy (from top to bottom). Light guidance was not observed in for the cases corresponding to Fig. 1 (a) and (b) for the curved waveguides, due to the non-ideal waveguide exit patterns [2] found, shown in the inset of Fig. 1. Because in the results of Fig. 1 (c) a non-Gaussian guided light pattern was observed at its exit, propagation losses were only measured for the linear waveguides in Fig. 1 (d) and (f), while the sample corresponding to Fig. 1 (e) broke during the polishing. As a result, propagation losses of 7.5 and 6.0 dB/cm were found for the linear waveguides fabricated with pulse energies of 264 and 480 nJ, respectively, values that differ from those reported in the literature (~ 0.5 dB/cm) [3]. Therefore, the experimental parameters adopted for fabricating these waveguides should be reevaluated. For instance, using a lower scanning speed could produce a structure with fewer imperfections and avoid undesirable

damage to the material, thus improving the waveguide quality. Another alternative to enable guidance in the case of curved guides is to change the shape of the structure, where a S-shaped curve was proposed instead of the previous circular arc design. The new waveguide is curved smoothly along its entire length, as shown in Fig. 2, differing from what is seen in Fig. 1, where the curve occurs abruptly. However, despite the promising input pattern, as partially shown in Fig. 2, significant signal guidance was not observed; similar to the case of the curved guides fabricated with the previous design, where non-Gaussian output profiles were observed, an undesired change in the material's refractive index may have occurred.

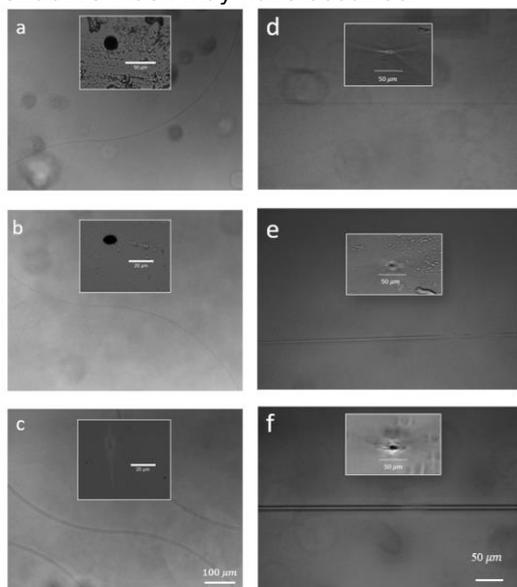


Figure 1: Waveguide's top and side views fabricated with 264 nJ (a, d), 360 nJ (b, e) and 480 nJ (c, f) The insets show different input patterns found in each of the samples.

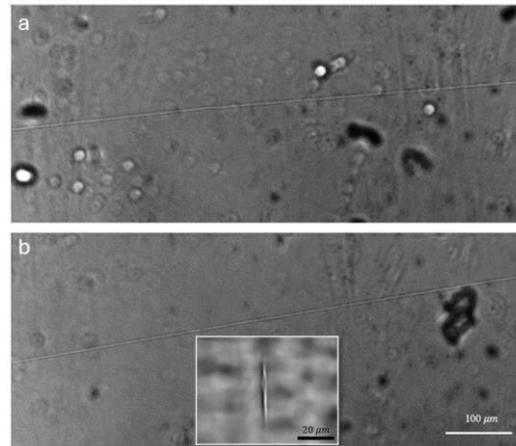


Figure 2: New waveguide's top and side views. The inset shows an ideal input pattern.

Conclusions

The impacts of both the microstructure's geometry and the fabrication parameters were studied for the fs-micromachining of waveguides in optical glasses. Techniques such as the zero damage method were employed for this purpose. However, after studying the produced waveguides using microscopy and loss calculation techniques, it is still necessary to optimize the parameters and methods used to produce higher-quality waveguides.

References

- [1] J. M. Liu, 'Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes', *Opt Lett*, vol. 7, no. 5, pp. 196–198, 1982, doi: 10.1364/OL.7.000196.
- [2] F. Chen and J. R. V. de Aldana, 'Optical waveguides in crystalline dielectric materials produced by femtosecond-laser micromachining', *Laser Photon Rev*, vol. 8, no. 2, pp. 251–275, 2014, doi: <https://doi.org/10.1002/lpor.201300025>.
- [3] S. M. Eaton *et al.*, 'Low-loss waveguides fabricated in BK7 glass by high repetition rate femtosecond fiber laser', *Appl Opt*, vol. 47, no. 12, pp. 2098–2102, 2008, doi: 10.1364/AO.47.002098.