

Título em Português: PRODUÇÃO DE GUIAS DE ONDA VOLUMÉTRICAS COM PULSOS DE FEMTOSSEGUNDOS

Título em Inglês: production of volumetric waveguides with femtosecond pulses

Autor: Vinícios Tadeu Rodrigues Tranzil

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Cleber Renato Mendonça

Área de Pesquisa /
SubÁrea: Física Geral

Agência Financiadora: Outros

PRODUÇÃO DE GUIAS DE ONDA VOLUMÉTRICAS COM PULSOS DE FEMTOSSEGUNDOS

Vinícios Tadeu Rodrigues Tranzil

Prof. Dr. Cleber Renato Mendonça

Instituto de Física de São Carlos/USP

vinicios.tranzil@usp.br

Objetivos

Lasers de pulsos ultracurtos possuem larga banda espectral e altas intensidades de pico graças à sua curta duração, tipicamente da ordem de 10^{-12} até 10^{-15} segundos [1]. Tais características favorecem efeitos ópticos de natureza não-linear que podem ser utilizados para promover alterações estruturais de dimensões micrométricas dentre as quais destacam-se os guias de onda microfabricados, estruturas capazes de guiar a luz através de algum material que possua alta janela de transparência e que sejam suscetíveis aos efeitos ópticos não-lineares. Características essas presentes nos vidros sintetizados pelo composto binário de fosfato de metais pesados e óxidos de metais de transição, como o $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$. Dito isso, o presente trabalho objetiva medir as fluências de limiar de dano de 6 amostras de vidro de $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$ com diferentes proporções entre os dois componentes, segundo a nomenclatura PXNY onde X e Y representam, respectivamente, a porcentagem de $Pb_2P_2O_7$ e de Nb_2O_5 bem como fabricar guias de onda na amostra que apresentar as condições mais favoráveis para tanto e caracterizá-los quanto a perdas e transmissão.

Métodos e Procedimentos

A montagem experimental utilizada na maior parte do projeto é um laser de femtossegundos operando em um comprimento de onda de 1030

nm e com duração de 216 fs em um conjunto com um estágio de translação xyz controlado via computador e uma objetiva de 20x para focalizar o feixe na amostra. O sistema também conta com uma câmera CCD para acompanhamento do processo de fabricação em tempo real.

Segundo Liu [2], o raio, r_{th} , de uma linha produzida na superfície de uma amostra usando um laser de perfil Gaussiano depende da energia por pulso, E_p , do laser segundo a equação (1). Onde w_0 é a cintura do feixe e E_{th} é a energia de limiar de dano da amostra.

$$r_{th}^2 = \left(\frac{w_0^2}{2} \ln \frac{E_p}{E_{th}} \right) \quad (1)$$

Uma vez determinados a energia de limiar de dano e a cintura do feixe para diversos números de pulso, N, obtidos através da variação da taxa de repetição do laser e da velocidade com que as linhas são fabricadas, é possível utilizar o modelo empírico proposto na equação (2) para obter as fluências de limiar de dano para poucos e para muitos pulsos, respectivamente $F_{th,1}$ e $F_{th,\infty}$.

$$F_{th,N} = (F_{th,1} - F_{th,\infty})e^{-k(N-1)} + F_{th,\infty} \quad (2)$$

Porém, toda a discussão somente faz sentido se o mecanismo de fotoionização não-linear dominante for a absorção multifotônica. Segundo Keldysh [3], é possível determinar o mecanismo de fotoionização dominante através da equação (3). É conveniente definir que, se γ_k for maior que 1,5, as absorções não lineares são majoritariamente devidas à absorção multifotônica.

$$\gamma_k = \frac{\omega_0}{e} \sqrt{\frac{m_e \epsilon_0 c n E_g}{I_0}} \quad (3)$$

Resultados

Os valores de $F_{th,1}$ e $F_{th,\infty}$ estão elencados na Tabela 1.

Amostra	$F_{th,1} [J/cm^2]$	$F_{th,\infty} [J/cm^2]$
P9N1	$1,4 \pm 0,1$	$0,19 \pm 0,02$
P8N2	$1,7 \pm 0,3$	$0,17 \pm 0,02$
P7N3	$1,5 \pm 0,1$	$0,45 \pm 0,02$
P6N4	$1,8 \pm 0,3$	$0,38 \pm 0,03$
P5N5	$1,5 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
P4N6	$1,6 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,1$

Tabela 1: Parâmetros de Incubação

Da mesma forma, os parâmetros de Keldysh obtidos estão organizados na Figura 1. Eles foram dispostos em função do número de onda.

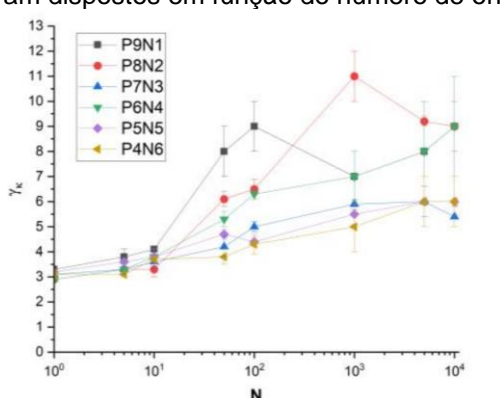


Figura 1: Parâmetros de Keldysh em função do número de pulso

A imagem 2 mostra alguns dos primeiros guias fabricados usando uma taxa de repetição de 197,5 KHz e uma velocidade de varredura de 0.1 mm/s.

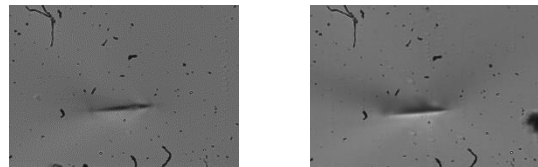
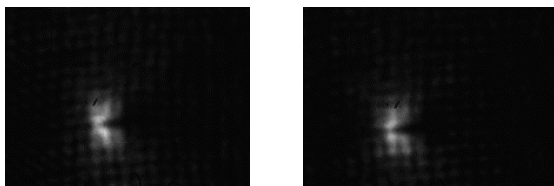


Figura 2: Primeiros guias de onda fabricados na amostra P8N2

Conclusões

Os valores obtidos para as fluências de limiar de dano para as amostras indicam que a proporção relativa de $Pb_2P_2O_7$ e de Nb_2O_5 não influencia nas propriedades ópticas não-lineares das amostras. Além disso, a natureza das fotoionizações responsáveis pelos processos de microestruturação nas condições analisadas é predominantemente multifotônica. O acoplamento de luz nos guias fabricados até então não foi satisfatório pois a taxa de repetição utilizada foi baixa. Os próximos passos serão fabricar os guias na P8N2 com uma taxa de repetição de 1008 KHz e prosseguir com a avaliação desses guias.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao professor Cleber Mendonça pela orientação e ao Lucas Konaka Nolasco e Pedro Takeshi pelo suporte desde o início do projeto e à Dow Chemical pelo financiamento da minha bolsa.

Referências

- [1] GATTASS, R. R.; MAZUR, E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials. **Nature Photonics**, v. 2, n. 4, p. 219–225, abr. 2008.
- [2] LIU, J. M. Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes. **Optics Letters**, v. 7, n. 5, p. 196, 1 maio 1982.
- [3] SOVIET; JETP. IONIZATION IN THE FIELD OF A STRONG ELECTROMAGNETIC WAVE. **J. Exptl. Theoret. Phys**, v. 20, n. 5, p. 1945–1957, 1965.
- [4] MANZANI, D. et al. Highly nonlinear $Pb_2P_2O_7-Nb_2O_5$ glasses for optical fiber production. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 443, p. 82–90, jul. 2016.

PRODUCTION OF VOLUMETRIC WAVEGUIDES USING FEMTOSECOND PULSES

Vinícios Tadeu Rodrigues Tranzil

Prof. Dr. Cleber Renato Mendonça

Institute of Physics of São Carlos/USP

vinicios.tranzil@usp.br

Objectives

Ultrashort pulse lasers possess a broad spectral bandwidth and high peak intensities due to their short duration, typically in the range of 10^{-12} to 10^{-15} seconds [1]. These characteristics favor nonlinear optical effects that can be used to promote structural changes on a micrometric scale, among which microfabricated waveguides stand out. These structures are capable of guiding light through materials with a high transparency window and that are susceptible to nonlinear optical effects. Such characteristics are present in glasses synthesized from the binary compound of heavy metal phosphate and transition metal oxides, such as $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$. Therefore, this study aims to measure the damage threshold fluences of 6 glass samples of $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$ with different proportions between the two components, according to the nomenclature PXNY where X and Y represent, respectively, the percentage of $Pb_2P_2O_7$ and Nb_2O_5 , as well as to fabricate waveguides in the sample that presents the most favorable conditions for this purpose and characterize them in terms of losses and transmission.

Materials and Methods

The experimental setup used for most of the project is a femtosecond laser operating at a wavelength of 1030 nm and with a duration of 216 fs, combined with a computer-controlled xyz translation stage and a 20x objective to focus the

beam on the sample. The system also includes a CCD camera for real-time monitoring of the fabrication process. According to Liu [2], the radius, r_{th} , of a line produced on the surface of a sample using a Gaussian-profile laser depends on the pulse energy, E_p , of the laser according to equation (1). Where w_0 is the beam waist and E_{th} is the damage threshold energy of the sample.

$$r_{th}^2 = \left(\frac{w_0^2}{2} \ln \frac{E_p}{E_{th}} \right) \quad (1)$$

Once the damage threshold energy and beam waist for various pulse numbers, N, are determined by varying the laser repetition rate and the speed at which the lines are fabricated, it is possible to use the empirical model proposed in equation (2) to obtain the damage threshold fluences for few and many pulses, respectively $F_{th,1}$ and $F_{th,\infty}$.

$$F_{th,N} = (F_{th,1} - F_{th,\infty}) e^{-k(N-1)} + F_{th,\infty} \quad (2)$$

However, the entire discussion only makes sense if the dominant nonlinear photoionization mechanism is multiphoton absorption. According to Keldysh [3], it is possible to determine the dominant photoionization mechanism through equation (3). It is convenient to define that if γ_k is greater than 1,5, the nonlinear absorptions are predominantly due to multiphoton absorption.

$$\gamma_k = \frac{\omega_0}{e} \sqrt{\frac{m_e \epsilon_0 c n E_g}{I_0}} \quad (3)$$

Results

The values of $F_{th,1}$ and $F_{th,\infty}$ are listed in Table 1

Sample	$F_{th,1} [J/cm^2]$	$F_{th,\infty} [J/cm^2]$
P9N1	$1,4 \pm 0,1$	$0,19 \pm 0,02$
P8N2	$1,7 \pm 0,3$	$0,17 \pm 0,02$
P7N3	$1,5 \pm 0,1$	$0,45 \pm 0,02$
P6N4	$1,8 \pm 0,3$	$0,38 \pm 0,03$
P5N5	$1,5 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
P4N6	$1,6 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,1$

Table 1: Incubation Parameters

Similarly, the obtained Keldysh parameters are organized in Figure 1. They are plotted as a function of the wave number.

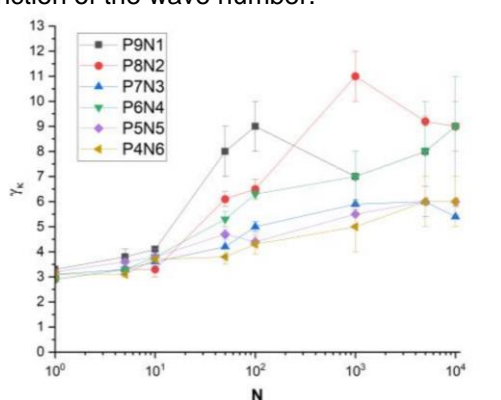


Figure 1: Keldysh Parameters as a Function of Pulse Number

Image 2 shows some of the first waveguides fabricated using a repetition rate of 197,5 KHz and a scanning speed of 0,1 mm/s.

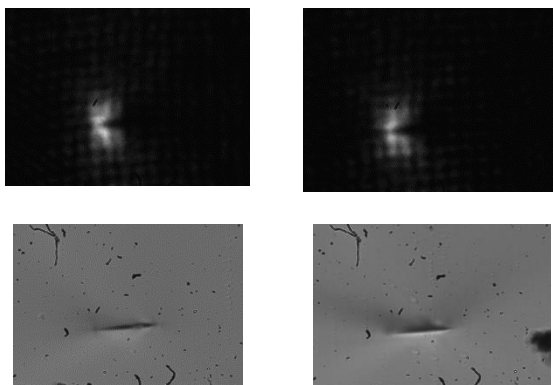


Figure 2: First waveguides fabricated in sample P8N2

Conclusions

The values obtained for the damage threshold fluences for the samples indicate that the relative proportion of $Pb_2P_2O_7$ and Nb_2O_5 does not influence the nonlinear optical properties of the samples. Additionally, the nature of the photoionizations responsible for the microstructuring processes under the analyzed conditions is predominantly multiphoton. The light coupling in the waveguides fabricated so far has not been satisfactory because the repetition rate used was low. The next steps will be to fabricate the waveguides in P8N2 with a repetition rate of 1008 KHz and proceed with the evaluation of these waveguides.

Acknowledgments

My sincere acknowledgment to Professor Cleber Mendonça for his guidance, and to Lucas Konaka Nolasco and Pedro Takeshi for their support since the beginning of the project, and to Dow Chemical for funding my scholarship.

References

- [1] GATTASS, R. R.; MAZUR, E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials. **Nature Photonics**, v. 2, n. 4, p. 219–225, abr. 2008.
- [2] LIU, J. M. Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes. **Optics Letters**, v. 7, n. 5, p. 196, 1 maio 1982.
- [3] SOVIET; JETP. IONIZATION IN THE FIELD OF A STRONG ELECTROMAGNETIC WAVE. **J. Exptl. Theoret. Phys**, v. 20, n. 5, p. 1945–1957, 1965.
- [4] MANZANI, D. et al. Highly nonlinear $Pb_2P_2O_7$ - Nb_2O_5 glasses for optical fiber production. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 443, p. 82–90, jul. 2016.