

Título em Português:	PRODUÇÃO DE GUIAS DE ONDA VOLUMÉTRICAS COM PULSOS DE FEMTOSSEGUNDOS
Título em Inglês:	production of volumetric waveguides using 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

O guiamento de luz é condição necessária para o desenvolvimento de tecnologias fotônicas. Guias de onda micro-estruturados exibem robustez mecânica, além de sua tridimensionalidade^[1]. Vidros de fosfato de metais pesados e óxidos de metais de transição possuem larga janela de transparência e são suscetíveis a efeitos ópticos não-lineares de natureza ultra-rápida. Através desses efeitos, é possível produzir estruturas de ordem micrométrica em vidros desse tipo, desde que sejam atingidas intensidades suficientemente intensas para tanto. Condição essa que pode ser satisfeita pelo uso de fontes laser de pulsos ultracurtos. Diante disso, o projeto se propõe a caracterizar como 6 amostras de $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$ (que se diferenciam quanto a proporção entre os dois componentes seguindo o padrão de nomenclatura $PXNY$, em que, X e Y representam respectivamente a porcentagem de $Pb_2P_2O_7$ e de Nb_2O_5) se comportam do ponto de microfabricação bem como produzir guias de onda nas mesmas amostras e caracterizá-los.

Métodos e Procedimentos

Segundo Liu^[2], o raio r_{th} de uma linha produzida na superfície de uma amostra por um laser de perfil Gaussiano depende da energia por pulso, (E_p), segundo

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

onde w_0 e E_{th} são respectivamente a cintura do feixe e a energia de limiar de dano da amostra, as quais são usadas para construir a fluência de limiar de dano, F_{th} , da amostra para um determinado número de pulso N . Isso é necessário para, usando o modelo empírico proposto na Equação (2), determinar as fluências de limiar de dano para poucos pulsos, $F_{th,1}$, e para muitos pulsos, $F_{th,\infty}$.

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

Além disso, segundo Keldysh^[3], dentro de um regime de poucos pulsos, as absorções multifotônica e por tunelamento são regimes de alta e baixa frequência de um processo de fotoionização mais geral, com a predominância do primeiro, caracterizada quando o fator de Keldysh, Equação (3), for maior que 1,5 e do segundo em caso contrário.

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

onde m_e é a massa do elétron, ϵ_0 é a permissividade elétrica, c é a velocidade da luz, n é o índice de refração da amostra. E_g é a energia de gap da amostra, obtida a partir de espectroscopia de absorção UV-Vis e I_0 é a intensidade de pico para um dado número de pulso.

As linhas foram feitas usando uma fonte laser operando em um comprimento de onda de 1030 nm com duração de 216 fs em conjunto

com um estágio de translação xyz e uma objetiva de 20x. Todo o processo de microfabricação foi acompanhado em tempo real através de uma câmera CCD. Os diferentes números de pulsos foram obtidos através da variação da taxa de repetição do laser e da velocidade com que as linhas foram feitas.

Resultados

Como pode ser observado na Tabela 1, no regime de poucos pulsos, a adição do Nb_2O_5 não provoca alterações significativas na fluência de limiar de dano das amostras.

Amostra	$F_{th,1} [J/cm^2]$	$F_{th,\infty} [J/cm^2]$	K
P9N1	1.4 ± 0.1	0.19 ± 0.02	0.05 ± 0.01
P8N2	1.7 ± 0.3	0.17 ± 0.02	0.019 ± 0.003
P7N3	1.5 ± 0.1	0.45 ± 0.02	0.015 ± 0.002
P6N4	1.8 ± 0.3	0.38 ± 0.03	0.09 ± 0.03
P5N5	1.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.08 ± 0.03
P4N6	1.6 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.05 ± 0.02

Tabela 1: Parâmetros de Incubação

Além disso, avaliando os parâmetros de Keldysh calculados para diferentes números de pulsos, pode-se afirmar que, ao menos na região de poucos pulsos, as absorções não lineares são fundamentalmente multifotônicas.

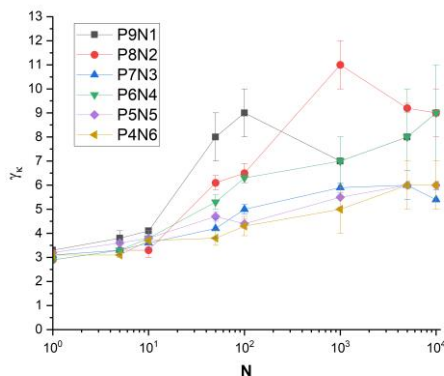


Figura 1: Parâmetros de Keldysh em função do número de pulso

Conclusões

Os parâmetros de incubação, especificamente as fluências de limiar de dano para poucos pulsos, que foram obtidas são, em primeira análise, altas para um fenômeno que se espera que seja de absorção de 3 fótons, condição que foi verificada analisando o resultado da espectroscopia UV-VIS. Além disso, dada a quantidade de amostras e ao retrabalho envolvido no estudo das linhas feitas para N baixo, os guias de onda ainda não foram fabricados. Porém, os próximos esforços imediatos serão nesse sentido.

Agradecimentos

Meus agradecimentos ao Instituto de Física de São Carlos e ao Grupo de Fotônica, em especial ao Lucas Nonaka Nolasco e ao André Romero por todo o apoio ao longo do projeto. Agradeço também a Dow Chemical pelo financiamento da bolsa de Iniciação Científica.

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 Pb2P2O7-Nb2O5 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

São Carlos Institute of Physics/USP

vinicios.tranzil@usp.br

Objectives

Waveguides are necessary for the development of photonic technologies. Micro-structured waveguides exhibit mechanical robustness in addition to their three-dimensionality^[1]. Phosphate glasses, composed of heavy metals and transition metal oxides, present a wide transparency window and are susceptible to nonlinear optical effects of ultrafast nature. Through these effects, it is possible to produce micrometric-sized structures in such glasses, provided that sufficiently intense intensities are reached. This condition can be satisfied by using ultrashort pulses laser sources, given their short temporal duration. Given this, the project proposed to characterize the behavior of 6 samples of $Pb_2P_2O_7 - Nb_2O_5$ (which differ in the proportion between the two components following the nomenclature pattern $PXNY$, where X and Y respectively represent the percentage of $Pb_2P_2O_7$ and Nb_2O_5) concerning microfabrication, as well as producing waveguides and their characterization.

Materials and Methods

According to Liu^[2], the radius, r_{th} , of a line produced on the surface of a sample by a Gaussian profile laser depends on the energy per pulse, (E_p) , according to

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

in which w_0 and E_{th} are respectively the beam waist and the damage threshold energy of the sample, which are used to determine the damage threshold fluency, F_{th} , of the sample for a given pulse number N . This is necessary to determine the damage threshold fluence for a few pulses, $F_{th,1}$, and for many pulses, $F_{th,\infty}$, using the empirical model proposed in Equation (2).

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

Moreover, according to Keldysh^[3], within a regime of few pulses, multiphotonic absorption and tunneling ionization are high- and low-frequency regimes of a more general process, with the predominance of the multiphotonic absorption characterized by a Keldysh factor, Equation (3), greater than 1,5 and the predominance of tunneling absorptions in otherwise.

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

where m_e is the electron mass, ϵ_0 is the electrical permittivity, c is the speed of light, n is the refractive index of the sample, E_g is the energy gap of the sample obtained from UV-Vis absorption spectroscopy and I_0 is the peak intensity for a given pulse number.

The lines were made using a laser source operating at a wavelength of 1030 nm with a

pulse duration of 216 fs in conjunction with an xyz translation stage and a 20x objective. The entire microfabrication process was tracked in real-time through a CCD camera. The different numbers of pulses were obtained by varying the laser repetition rate and the speed at which the lines were made.

Results

As can be seen in Table 1, in the regime of a few pulses, the addition of the Nb_2O_5 does not cause significant changes in the damage threshold fluence of the samples.

Sample	$F_{th,1} [J/cm^2]$	$F_{th,\infty} [J/cm^2]$	K
P9N1	1.4 ± 0.1	0.19 ± 0.02	0.05 ± 0.01
P8N2	1.7 ± 0.3	0.17 ± 0.02	0.019 ± 0.003
P7N3	1.5 ± 0.1	0.45 ± 0.02	0.015 ± 0.002
P6N4	1.8 ± 0.3	0.38 ± 0.03	0.09 ± 0.03
P5N5	1.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.08 ± 0.03
P4N6	1.6 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.05 ± 0.02

Table 1: Incubation Parameters

Moreover, evaluating the Keldysh parameters calculated for different numbers of pulses, it can be stated that, at least in the region of a few pulses, the nonlinear absorptions are fundamentally multiphotonic.

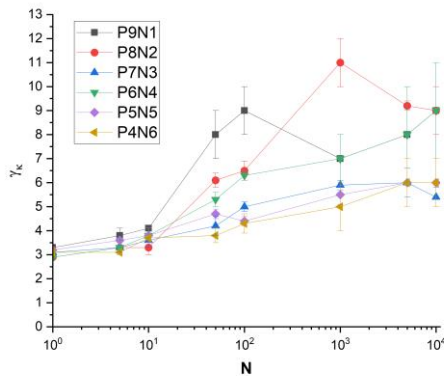


Figura 1: Keldysh parameters as a function of number pulse

Conclusions

The incubation parameters, specifically the damage threshold fluences for a few pulses, that were obtained are, in the first analysis, high for a phenomenon that is expected to be 3-

photon absorption. This condition was verified by analyzing the result of UV-VIS spectroscopy. In addition, given the amount of samples and the rework involved in studying the lines made for low N, the waveguides have not yet been manufactured. However, the following immediate efforts will be in this direction.

Acknowledgments

Thanks to the Institute of Physics of São Carlos and the Photonics Group, especially Lucas Konaka Nolasco and André Romero, for all the support throughout the project. I also thank Dow Chemical for funding the Scientific Initiation 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 Pb2P2O7-Nb2O5 glasses for optical fiber production. *Journal of Non-Crystalline Solids*, v. 443, p. 82–90, jul. 2016.