

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 da Matéria Condensada

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 da luz é condição necessária para o desenvolvimento de novas tecnologias fotônicas, principalmente em dispositivos de óptica integrada. O desenvolvimento de tais guias em materiais vítreos apresenta vantagens principalmente relativas a tridimensionalidade e robustez mecânica^[1]. Vidros de Pirofosfato de metais pesados possuem boas propriedades ópticas e exibem efeitos ópticos não lineares de natureza ultrarrápida. Dessa forma, é possível produzir estruturas de ordem micrométrica nesse tipo de material com o uso de um laser suficientemente intenso. Diante disso, os objetivos do projeto de iniciação científica foram primeiramente avaliar como amostras de vidros de Pirofosfato de Chumbo aos quais foram adicionadas diferentes quantidades de Óxido de Níbio ($Pb_2P_2O_7-Nb_2O_5$) respondem a pulsos ultracurtos do ponto de vista de microestruturação, bem como produzir as guias de onda neste material. A nomenclatura das amostras foi convencionada como PXNY, em que, X e Y representam as proporções de Pirofosfato de Chumbo e de Óxido de Níbio respectivamente, por exemplo, P9N1 é a amostra que contém 90% de ($Pb_2P_2O_7$) e 10% de Nb_2O_5 .

Métodos e Procedimentos

Para a avaliação do efeito de incubação das amostras foi utilizado o método de dano zero^[2] que se baseia em produzir linhas na superfície das amostras usando pulsos laser com perfil de

intensidade Gaussiano, usando diferentes energias. As espessuras das linhas dependem da energia por pulso segundo:

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

As linhas foram feitas usando um laser de comprimento de onda 1030 nm e duração de 216 fs. Adicionalmente, foi utilizado um estágio de translação xyz para movimentar a amostra e uma objetiva de 20x. Uma câmera CCD foi utilizada para acompanhar o processo de microfabricação em tempo real. Tanto a frequência quanto a velocidade de varredura para a produção das linhas foram variadas de forma que fosse possível obter as energias de limiar de dano E_{th} e a cintura do pulso w_0 para diferentes números de pulso através do ajuste dos gráficos dos raios ao quadrado em função da energia por pulso usando a equação (1), de forma que, a Fluência de limiar de dano pudesse ser calculada através de.

$$F_{th} = (2 E_{th}) / \left[\pi (w_0)^2 \right] \quad (2)$$

O efeito de incubação pode ser caracterizado através do modelo descrito por.^[3]

$$F_{th,N} = (F_{th,1} - F_{th,\infty}) e^{-k(N-1)} + F_{th,\infty} \quad (3)$$

Resultados

As energias de bandgap das amostras (Tabela 1) foram obtidos diretamente através dos espectros de absorção linear UV-Vis, mostrados na Fig. 1. Estes resultados indicam que as amostras P7N3 e P6N4 tem composições equivalentes do mesmo modo que P5N5 e P4N6.

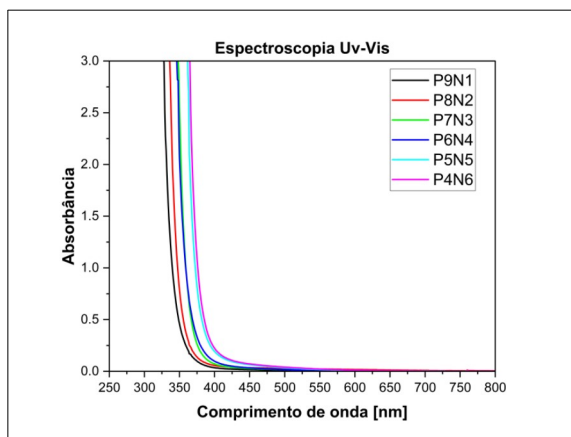


Figura 1: Espectroscopia UV-Vis

Amostra	Método Direto [eV]	Referência [eV]
P9N1	3.65	3.66
P8N2	3.56	3.55
P7N3	3.43	3.43
P6N4	3.45	3.36
P5N5	3.33	3.24
P4N6	3.30	3.11

Tabela 1: Energy gaps das amostras

Amostra	F_1 [J/cm ²]	F_∞ [J/cm ²]	k
P9N1	1.3 ± 0.2	0.24 ± 0.01	0.19 ± 0.05
P8N2	1.7 ± 0.2	0.19 ± 0.02	0.14 ± 0.04
P7N3/P6N4	1.5 ± 0.2	0.34 ± 0.04	0.13 ± 0.05
P5N5/P4N6	1.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.03 ± 0.01

Tabela 2: Resultados das incubações

Os parâmetros de incubação (k), que medem a eficiência pela qual a fluência atinge sua saturação (Tabela 2), mostram que mais pulsos são necessários para atingir a saturação nas amostras com maior concentração de Nb_2O_5 .

Conclusões

Até o momento, existem indícios suficientes para afirmar que os efeitos de incubação são menos eficientes na amostra P5N5/P4N6. Para as demais, com cerca de 10 pulsos por ponto, a fluência de limiar cai quase que totalmente para o seu valor de saturação, ao passo que, para a P5N5-P4N6 o mesmo efeito é observado com cerca de 100 pulsos por ponto. Vale ressaltar que a grande variação no valor de k chamou a atenção e os próximos esforços serão no sentido de entender o mecanismo por trás disso. Além disso, é necessário entender melhor o mecanismo de ionização não-linear predominante nas situações de interesse. Para tanto, é preciso calcular os parâmetros de Keldysh que caracterizam a relação entre absorções de natureza multifotônica ou por tunelamento.

Ademais, ainda é necessário determinar as melhores condições para fabricação dos guias e respectivas caracterizações.

Referências Bibliográficas

- [1] 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.
- [2] LIU, J. M. Simple technique for measurements of pulsed gaussian-beam spot sizes. **Optics Letters**, v. 7, n. 5, p. 196, 1982.
- [3] NOLASCO, Lucas Konaka. **Investigation of the fs-micromachining process in GaN and diamond**. 2021. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. doi:10.11606/D.18.2021.tde-22042021-165900. Acesso em: 2022-08-04.
- [4] MANZANI, Danilo. **Vidros óxidos contendo átomos pesados para aplicações em óptica não linear e fotônica na região do infravermelho**. 2011. 226 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/105792>>

PRODUCTION OF VOLUMETRIC WAVEGUIDES WITH FEMTOSECOND PULSES

Vinicios Tadeu Rodrigues Tranzil

Prof Dr Cleber Renato Mendonça

São Carlos Institute of Physics/USP

vinicios.tranzil@usp.br

Objectives

Light guidance is a necessary condition for the development of new photonic technologies, mainly on integrated optics devices. The development of such guides in vitreous materials presents advantages mainly with regard to three-dimensionality and mechanical robustness^[1]. Heavy metal pyrophosphate glasses have good optical properties and exhibit ultrafast nonlinear optical effects. In this way, it is possible to produce micrometer-sized structures on the volume of this type of material without to cause damage on its surface with a sufficiently strong laser source. In view of this, the objectives of this undergraduate research project were to evaluate how samples of lead pyrophosphate glasses containing different amounts of niobium oxide ($Pb_2P_2O_7-Nb_2O_5$) responds to ultrashort pulses in what concerns to microstructuring processes, as well as to produce waveguides in this material. The samples were named in the form PXNY, where, X and Y represents the amounts of lead pyrophosphate and niobium oxide respectively, namely, P9N1 is the sample containing 90% of ($Pb_2P_2O_7$) and 10% of Nb_2O_5 .

Materials and Methods

Zero damage method^[2] was used to evaluate the incubation effect in the samples. The method is based on producing lines on the surface of the samples using laser pulses with a Gaussian intensity profile. Line thickness depends on energy per pulse according:

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

A laser with a wavelength of 1030 nm and 216fs as duration was used to made the lines. Additionally, a translation stage was used to move the sample and a 20x objective allows to focalize the laser in the sample. Also, a CCD camera was used to monitor the micromachine process in real time. The laser frequency and translation stage speed was chosen the way that allows to reach the damage energy threshold E_{th} and the pulse waist w_0 for different numbers of pulses per spot fitting the plot of squared radii of the lines as an energy per pulse function using equation(1), so that, damage threshold fluence could be obtained through:

$$F_{th} = (2 E_{th}) / \left[\pi (w_0)^2 \right] \quad (2)$$

The incubation effect can be described through:^[3]

$$F_{th,N} = (F_{th,1} - F_{th,\infty}) e^{-k(N-1)} + F_{th,\infty} \quad (3)$$

Results

The bandgap energies of the samples (Table 1) were obtained directly through the linear absorption spectra UV-Vis, shown in Fig. 1. These results indicate that the samples P7N3

and P6N4 have equivalent compositions just like P5N5 and P4N6.

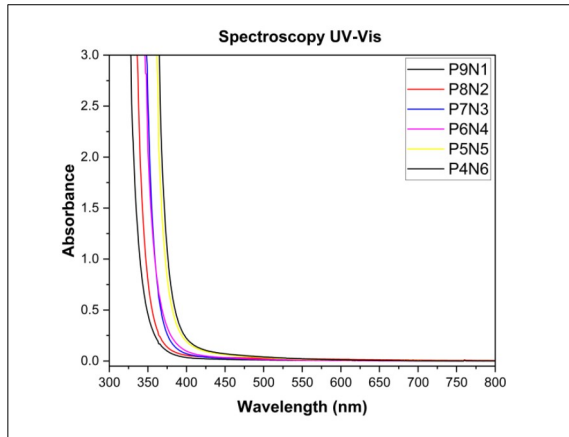


Figure 1: UV-Vis Spectroscopy

Sample	Direct Method [eV]	Reference [eV]
P9N1	3.65	3.66
P8N2	3.56	3.55
P7N3	3.43	3.43
P6N4	3.45	3.36
P5N5	3.33	3.24
P4N6	3.30	3.11

Table 1: Samples energy gaps

Sample	$F_1 [J/cm^2]$	$F_\infty [J/cm^2]$	k
P9N1	1.3 ± 0.2	0.24 ± 0.01	0.19 ± 0.05
P8N2	1.7 ± 0.2	0.19 ± 0.02	0.14 ± 0.04
P7N3/P6N4	1.5 ± 0.2	0.34 ± 0.04	0.13 ± 0.05
P5N5/P4N6	1.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.03 ± 0.01

Table 2: Incubation results

The incubation parameters (k), which measure the efficiency by which the fluence reaches its saturation (Table 2), show that more pulses are needed to reach saturation in samples with higher concentration of Nb_2O_5 .

Conclusions

So far, there is enough evidence to say that the incubation effects are less efficient in the sample P5N5/P4N6. For the others, at about 10 pulses per spot, the damage threshold fluence drops almost entirely to its saturation value, whereas, for P5N5-P4N6, the same effect is observed at about 100 pulses per spot. The next efforts will be towards understanding the mechanism behind the large variation in the k values. Furthermore, it is necessary a better

understanding on what concerns the nonlinear ionization mechanism prevailing in the situations of interest. To do so, it is necessary to calculate the Keldysh parameters, which characterize the balance of multiphotonic and tunnelling ionizations. Furthermore, it is still necessary to determine the best conditions for the manufacture of the waveguides.

References

[1] 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.

[2] LIU, J. M. Simple technique for measurements of pulsed gaussian-beam spot sizes. **Optics Letters**, v. 7, n. 5, p. 196, 1982.

[3] NOLASCO, Lucas Konaka. **Investigation of the fs-micromachining process in GaN and diamond**. 2021. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. doi:10.11606/D.18.2021.tde-22042021-165900. Acesso em: 2022-08-04.

[4] MANZANI, Danilo. **Vidros óxidos contendo átomos pesados para aplicações em óptica não linear e fotônica na região do infravermelho**. 2011. 226 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/105792>>