

Título em Português: Fabricação de acopladores ópticos direcionais via fotopolimerização por absorção de dois fótons

Título em Inglês: Fabrication of directional optocouplers via two-photon absorption polymerization

Autor: Gabriel Henrique Armando Jorge

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 - PIBITI

FABRICAÇÃO DE ACOPLADORES ÓPTICOS DIRECIONAIS VIA FOTOPOLIMERIZAÇÃO POR ABSORÇÃO DE DOIS FÓTONS

Gabriel H. A. Jorge

Adriano J. G. Otuka

Cleber R. Mendonça

Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo

gabriel.henrique.jorge@usp.br

Objetivos

Guias de onda são dispositivos fotônicos que estão fortemente presentes na comunicação óptica e já bem estabelecidos em chips ópticos integrados, tendo ampla aplicação tecnológica e grande interesse na pesquisa fundamental. Tendo em vista que a produção de guias via fotopolimerização por absorção de dois fótons (2PP) tem ganho impulso e fornecido resultados promissores na última década (1), pretende-se empregar o método para a fabricação de geometrias de acopladores ópticos direcionais, previamente simuladas computacionalmente. Além da possibilidade de utilizar diferentes resinas, serão testados diversos parâmetros, como a intensidade do feixe, tempo de exposição e densidade de pontos, que são essenciais para o controle das características finais das microestruturas, como rugosidade e rigidez (2). Vantagens memoráveis deste método incluem a variabilidade de formas, biocompatibilidade e a conveniente facilidade de sua funcionalização - por exemplo, com a incorporação de compostos de interesse, algo promissor em aplicações tridimensionais na microescala e produzindo bons concorrentes das usuais plataformas de silício. Os dispositivos estudados aqui podem fornecer soluções como conexões de guia de ondas, usadas atualmente em pesquisas para habilitar circuitos fotônicos complexos, combinando muitos componentes individuais em um sistema para cumprir funções ópticas complexas.

Métodos e Procedimentos

A 2PP é um método baseado no fenômeno óptico não-linear de absorção de dois fótons (2PA), previsto inicialmente por Maria Göppert-Mayer (3). Promovendo o fenômeno em um fotoiniciador, ocorre a quebra de uma ligação química, gerando-se radicais livres que desencadeiam a polimerização de resinas acrílicas em uma dada amostra, possibilitando uma microfabricação aditiva com resolução inferior ao limite de difração. Neste projeto, utiliza-se um laser Ti:safira, centrado em 780 nm, com largura de banda 50 nm, taxa de repetição de 86 MHz e pulsos de 100 fs para a polimerização em resinas acrílicas, nomeadamente SR 368, SR 399 e SR 499. É conhecido que a estrutura aromática do SR 368 confere dureza ao polímero e as longas cadeias lineares do SR 399 e do SR 499 conferem, respectivamente, flexibilidade e redução do encolhimento típico do processo de polimerização (4-6). Foram utilizadas diferentes combinações dos monômeros para compor as resinas e verificar as propriedades finais das microestruturas. Em todas as combinações adiciona-se o fotoiniciador numa proporção de 3% do peso total.

Resultados

Dentre as combinações testadas, destacam-se a 70% SR 368 + 30% SR 499, 90% SR 399 + 10% SR 368 e a 1:1:1 dos monômeros

supracitados. Na Figura 1, constam as microscopias de varredura eletrônica (MEV) de uma das resinas, a combinação 1:1:1, que forneceu características promissoras tanto para guias retos como para guias curvos.

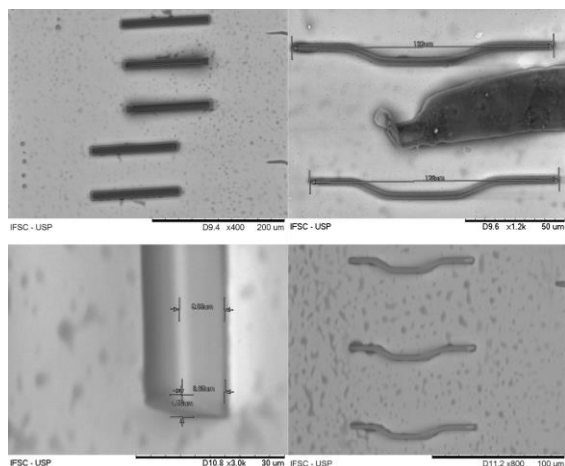


Figura 1: Guias produzidos com resina acrílica. No sentido de leitura ocidental usual, vê-se guias retos, visão superior de guias curvos, detalhe da ponta de um guia, guias curvos em ângulo.

Conclusões

Até o momento, os guias produzidos com a proporção 1:1:1 mencionada apresentaram faces planas mais bem definidas, baixo encolhimento, boa aderência ao substrato e menor rugosidade em comparação com outras resinas testadas. A qualidade das estruturas e sua espessura são altamente dependentes da intensidade laser incidente na amostra, sendo que o ideal é que a fabricação seja feita com a intensidade no limiar de fotopolimerização. Outros fatores importantes são a densidade de pontos em que se incide o laser, o tempo de exposição desses pontos à radiação e também a forma como é feita a vetorização da microfabricação, ou seja, como o laser percorre a amostra durante a polimerização. Tais fatores interferem na rugosidade e sustentação mecânica dos guias. A fabricação que percorre perpendicularmente à direção dos guias de onda pode produzir defeitos que causariam mais perdas por espalhamento, e o aumento da densidade e tempo de exposição dos pontos potencialmente reduzem esses defeitos, podendo trazer também uma maior sustentação aos guias.

Referências Bibliográficas

- GÖPPERT-MAYER M. Über elementarakte mit zwei quantensprüngen. **Annalen der Physik**, v. 401, n. 3, p. 273- 294, 1931.
- EL-TAMER, A.; HINZE, U.; CHICHKOV, B. N. Two-photon polymerization in optics, microfluidics, and biomedicine. In: SUGIOKA, K.(ed.) **Handbook of laser micro- and nano-engineering**. Switzerland: Springer Nature, 2020.
- ZHOU, X.; HOU, Y.; LIN, J. A review on the processing accuracy of two-photon polymerization. **AIP Advances**, v. 5, n.3, p.030701, 2015.
- BALDACCHINI, T. et al. Acrylic-based resin with favorable properties for three-dimensional two-photon polymerization. **Journal of Applied Physics**,v. 95, n. 11, p.6072-6076, 2004.
- CALLIS, P. R. Two-Photon –induced fluorescence. **Annual Review of Physical Chemistry**, v. 48,p. 271–297, 1997. doi.org/10.1146/annurev.physchem.48.1.271.61
- MARUO, S.; NAKAMURA, O.; KAWATA, S. Three-dimensional microfabrication with two-photon-absorbed photopolymerization. **Optics Letters**, v. 22,n. 2, p. 132–134, 1997.62
- OTUKA, A. J. G. et al.Femtosecond lasers for processing glassy and polymeric materials. **Materials Research**, v.17,n. 2, p. 352–358, 2014

FABRICATION OF DIRECTIONAL OPTOCOUPERS VIA TWO-PHOTON ABSORPTION POLYMERIZATION

Gabriel H. A. Jorge

Adriano J. G. Otuka

Cleber R. Mendonça

Institute of Physics of São Carlos/University of São Paulo

gabriel.henrique.jorge@usp.br

Objectives

Waveguides are photonic devices that are strongly present in optical communication and already well established in integrated optical chips, having wide technological application and great interest in founding research. Given that the production of guides via photopolymerization by absorption of two photons (2PP) has gained momentum and provided promising results in the last decade (1), it is intended to employ the method for the manufacture of geometries of directional optical couplers, previously simulated computationally. In addition to the possibility of using different photoresists, several parameters will be tested, such as beam intensity, exposure time and point density, which are essential for controlling the final characteristics of microstructures, such as roughness and stiffness (2). Memorable advantages of this method include the variability of geometries, biocompatibility and the convenient ease of its functionalization - for example, with the incorporation of compounds of interest. That is something promising in three-dimensional applications in the microscale and has produced good competitors of the usual silicon platforms. The devices studied here can provide solutions such as waveguide connections, currently used in research to enable complex photonic circuits, combining many individual components into one system to fulfill complex optical functions.

Methods and Procedures

2PP is a method based on the nonlinear optical phenomenon of two photon absorption (2PA), initially predicted by Maria Göppert-Mayer (3). Promoting the phenomenon in a photoinitiator, a chemical bond breaks, generating free-radicals that trigger the polymerization of acrylic resins in a given sample, enabling an additive microfabrication with a resolution lower than the diffraction limit. In this project, a Ti:sapphire laser is used, centered at 780 nm, with bandwidth of 50 nm, repetition rate of 86 MHz and pulses of 100 fs for polymerization in acrylic resins, namely SR 368, SR 399 and SR 499. It is known that the aromatic structure of the SR 368 gives hardness to the polymer and the long linear chains of the SR 399 and SR 499 confer, respectively, flexibility and reduction of the typical shrinkage of the polymerization process (4-6). Different combinations of monomers were used to make up the resins and verify the final properties of the microstructures. In all combinations, the photoinitiator is added to a ratio of 3% of the total weight.

Results

Among the combinations tested, 70% SR 368 + 30% SR 499, 90% SR 399 + 10% SR 368 and 1:1:1 of the aforementioned monomers stand out. Figure 1 shows the scanning electron microscopy (SEM) of one of the resins, the 1:1:1 combination, which provided promising characteristics for both straight and curved guides.

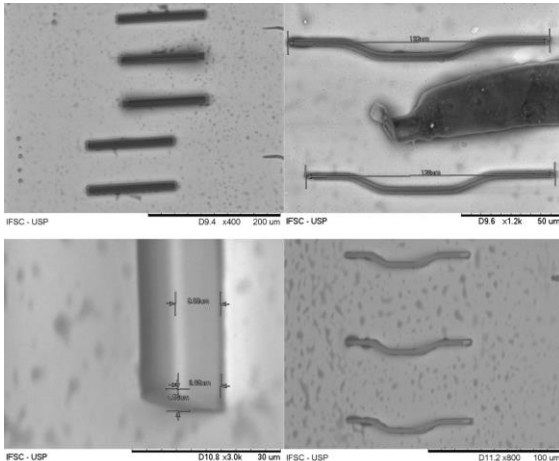


Figure 1: Guides produced with an acrylic resin. In the usual western reading direction, one sees straight guides, upper view of curved guides, detail of the tip of a guide, curved guides at an angle.

Conclusions

To date, the guides produced with the mentioned 1:1:1 ratio presented better defined flat faces, low shrinkage, good adhesion to the substrate and lower roughness compared to other tested resins. The quality of the structures and their thickness are highly dependent on the laser intensity incident in the sample, and the optimal results occur when the manufacture is done with the intensity at the photopolymerization threshold. Other important factors are the density of points at which the laser is used, the time of exposure of these points to radiation and also the way in which microfabrication is vectorized, that is, how the laser travels through the sample during polymerization. Such factors interfere in the roughness and mechanical support of the guides. The manufacture that travels perpendicular to the direction of the waveguides can produce defects that would cause more losses by scattering, and the increase in the density and exposure time of the points potentially reduce these defects, and may also bring greater support to the guides.

References

1. GÖPPERT-MAYER M. Uber elementary acts with two quantum leaps. **Annalen der Physik**, v. 401, n. 3, p. 273- 294, 1931.
2. EL-TAMER, A.; HINZE, U.; CHICHKOV, B. N. Two-photon polymerization in optics, microfluidics, and biomedicine. In: SUGIOKA, K.(ed.) **Handbook of laser micro- and nano-engineering**. Switzerland: Springer Nature, 2020.
3. ZHOU, X.; HOU, Y.; LIN, J. A review on the processing accuracy of two-photon polymerization. **AIP Advances**, v. 5, n.3, p.030701, 2015.
4. BALDACCHINI, T. et al. Acrylic-based resin with favorable properties for three-dimensional two-photon polymerization. **Journal of Applied Physics**,v. 95, n. 11, p.6072-6076, 2004.
5. CALLIS, P. R. Two-Photon –induced fluorescence. **Annual Review of Physical Chemistry**, v. 48,p. 271–297, 1997. doi.org/10.1146/annurev.physchem.48.1.271.61
6. MARUO, S.; NAKAMURA, O.; KAWATA, S. Three-dimensional microfabrication with two-photon-absorbed photopolymerization. **Optics Letters**, v. 22,n. 2, p. 132–134, 1997.62
7. OTUKA, A. J. G. et al. Femtosecond lasers for processing glassy and polymeric materials. **Materials Research**, v.17,n. 2, p. 352–358, 2014