

# Microusinagem de vidro óptico com laser de femtossegundos

Wagner de Rossi, Leandro Matioli Machado, Ricardo Elgul Samad, Nilson Dias Vieira Jr.

**Resumo:** Pulsos laser de femtossegundos foram utilizados para o desenvolvimento de um processo de usinagem em vidro óptico BK7. A técnica desenvolvida permite a obtenção de estruturas micrométricas sem efeitos térmicos e foi utilizada para produção de microcanais que estão sendo utilizados na confecção de circuitos microfluídicos completos.

**Palavras-Chaves:** laser de femtossegundos; microusinagem a laser; estruturas micrométricas.

## Introdução:

Pulsos laser ultracurtos focalizados, com largura temporal da ordem de dezenas de femtossegundos ( $10^{-14}$ s) apresentam intensidades de campo elétrico extremamente altas, aproximando-se do campo elétrico que blinda os elétrons de valência nos átomos. Isto leva a fenômenos físicos nunca antes observados e têm sido explorados em diversos campos da física e engenharia. Em particular, a usinagem de estruturas controladas de algumas centenas de nanômetros em qualquer tipo de material se torna possível. Como o aquecimento dos elétrons se dá em um tempo mais curto que o tempo de interação elétron-fonon, é possível que o material seja ejetado antes que haja transferência de calor para a rede, tornando inexistente qualquer zona afetada pelo calor e aumentando enormemente a precisão do dano provocado. Assim, torna-se possível a obtenção de “danos” com dimensões abaixo do comprimento de onda do laser utilizado que é de  $\approx 800$  nm. Esta técnica foi assim aprimorada para utilização em usinagem de estruturas micrométricas em alguns dielétricos. Em particular, o vidro óptico do tipo BK7 foi utilizado para a usinagem de microcanais em sua superfície com o intuito de utilizá-los na confecção de circuitos microfluídicos.

## Procedimento experimental

Neste trabalho foi utilizada uma estação de trabalho<sup>1</sup> especialmente desenvolvida para microusinagem com pulsos laser ultracurtos. Foram utilizados pulsos 100 fs de largura temporal, focalizados em um diâmetro de  $\sim 10$  micra, a uma taxa de repetição controlada de até 4 kHz. O ponto focal do feixe laser, incidente sobre uma placa de BK7, é movimentado por um sistema de três eixos com precisão micrométrica, controlado por sistema CNC. Com a utilização de método tradicional TRD e do método *D-Scan*<sup>2</sup>, foram determinados os limiares de ablação do BK7 para pulsos únicos e para pulsos sobrepostos. Desta maneira foram determinadas as regiões de baixa e de alta fluência para este material em função do número de pulsos laser sobrepostos.

Este procedimento é de fundamental importância quando da usinagem de precisão com a utilização de pulsos laser ultracurtos. Isto é necessário porque cada pulso laser retira uma quantidade muito pequena de material, tornando necessário a sobreposição de muitos pulsos para se atingir uma profundidade desejada. Como o acúmulo de pulsos sobre uma mesma posição modifica a estrutura do material afetado, o tamanho da região ablacionada varia com o número de pulsos previamente incidentes. Assim, um projeto de uma cavidade deve ser feito em camadas de profundidades diferentes, e levar em conta não somente o diâmetro do feixe laser, mas também o tamanho da “cratera” ablacionada, que é função do número prévio de pulsos que incidiram sobre aquele determinado ponto.

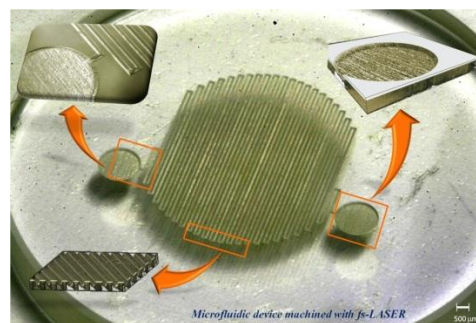
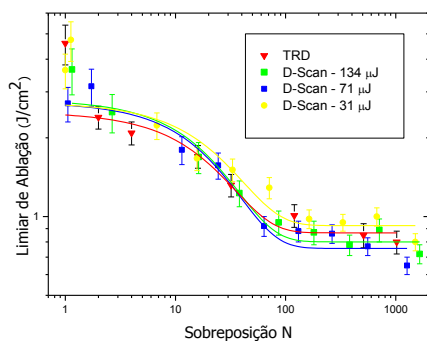
Assim, um feixe laser foi focalizado sobre a superfície do BK7 e canais de seção  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$  e 15 mm de comprimento foram obtidos. Isto foi feito através da varredura longitudinal e transversal do feixe laser, onde a taxa de sobreposição longitudinal (ao longo

do comprimento do canal) foi controlada através da sincronia entre a taxa de repetição dos pulsos e a velocidade de deslocamento. A taxa de sobreposição lateral foi escolhida para ser de 75% e levou em conta o tamanho do dano provocado por cada pulso. Cada pulso retira uma quantidade de material muito pequena, causando um aprofundamento de poucas centenas de nanômetros. Isto tornou necessária a repetição do processo de varredura por inúmeras vezes até que se atingisse a profundidade desejada. Como o tamanho do dano varia para cada camada de material retirado, os cálculos foram então repetidos para cada uma destas camadas<sup>3</sup>.

Além deste cuidado, ainda foi necessário manter a densidade de energia dentro da região de baixa fluência. Isto garantiu alta precisão dimensional e a ausência de efeitos térmicos como rebarbas, material ressolidificado e zona afetada pelo calor.

## Resultados e discussão

O gráfico da figura abaixo mostra a relação entre o limiar de ablação e o número de pulsos sobrepostos obtidos pelo método de D-Scan. Estes dados foram então utilizados para os cálculos dos parâmetros de processo, conforme descrito acima e resultaram em canais com dimensões controladas, sem efeitos térmicos e boa definição de borda. A figura seguinte mostra uma serpentina de canais usinada desta maneira. Os resultados experimentais asseguram a eficácia e utilidade prática da técnica de usinagem desenvolvida.



Medidas do limiar da ablação do Bk7 em função da sobreposição de pulsos para diferentes energias de pulso. Serpentina de microcanais de  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}^2$  usinados na superfície de vidro óptico BK7.

## Agradecimentos

Trabalho financiado pelos projetos FAPESP N. 2009/07912-0, e CNPq N. 473239/2009-4

## Referências

- <sup>1</sup> Vidal, J.T., “Desenvolvimento de um sistema opto-mecânico para micro usinagem com laser de femtosegundo”, Tese de doutorado defendida no IPEN, sob orientação de W. de Rossi, em 2010.
- <sup>2</sup> Machado, Leandro Matioli ; SAMAD, Ricardo Elgul ; de Rossi, Wagner ; Junior, Nilson Dias Vieira . D-Scan measurement of ablation threshold incubation effects for ultrashort laser pulses. Optics Express, v. 20, p. 4114, 2012.
- <sup>3</sup> Machado, L.M. ; Samad, R.E. ; Freitas, A.Z. ; Vieira, N.D. ; de Rossi, W. . Microchannels Direct Machining using the Femtosecond Smooth Ablation Method. Physics Procedia, v. 12, p. 67-75, 2011.

e-mail: wderossi@ipen.br