ESTUDO DA TÉCNCA DE ESPECTROSCOPIA Z-SCAN

Thiago Pereira de Oliveira (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mariana Sversut Gibbin Brandão (Coorientadora), Vitor Santaella Zanuto (Orientador). E-mail: vszanuto@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Maringá, PR.

Física / Física da matéria condensada.

Palavras-chave: Óptica não linear; Programação; Resolução temporal.

RESUMO

A técnica Z-scan é utilizada para caracterizar propriedades ópticas não lineares de materiais, permitindo determinar parâmetros associados à absorção e à refração não lineares a partir da variação da transmitância da amostra ao longo da direção de propagação do feixe. Nesse trabalho, são apresentados os fundamentos da técnica, sua montagem experimental e o desenvolvimento de um programa em linguagem de blocos para automação da aquisição de dados da técnica. Foi aplicada a técnica em um vidro Q98 dopado com 6% de Neodímio, sendo observado os efeitos ópticos não lineares, obtendo o índice de refração não linear no valor de $4{,}64\times10^{-9}$ $\times10^{-9}$ cm^2/W.

INTRODUÇÃO

O estudo da óptica não linear fundamenta-se na interação da luz com a matéria e na resposta de um meio quando submetido a campos elétricos de alta intensidade. Entre as técnicas desenvolvidas para caracterizar esses efeitos, destaca-se a varredura em Z (Z-scan), proposta por Sheik-Bahae *et al.* (1989) que consiste na medida da transmitância da amostra ao longo do eixo de propagação de um feixe laser focalizado por uma lente. À medida que a amostra se aproxima da região focal, a intensidade do feixe aumenta, favorecendo a manifestação de efeitos ópticos não lineares. Por sua versatilidade, aprimoramentos foram propostos, como a aquisição temporal do sinal que permite desacoplar as contribuições dos efeitos não lineares eletrônicos de outros efeitos parasitas (ZANUTO *et al.*, 2021). Além disso, com o aumento da potência do feixe observa-se diferentes efeitos não lineares.

Assim, este trabalho visa explorar os efeitos não lineares por meio da espectroscopia Z-scan, abrangendo seus fundamentos, a montagem experimental e o desenvolvimento de uma rotina baseada em programação em blocos para o controle e a automação da aquisição de dados. Para o estudo e a validação do programa desenvolvido, foi utilizada uma amostra comercial Q98 dopada com 6% ND com 1,5 mm de espessura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Modelo teórico

O modelo teórico utilizado foi derivado por Sheik-Bahae *et al.* (1990), que descreve a resposta óptica não linear do meio a partir da polarização induzida pelo campo eletromagnético. Nesse formalismo, a susceptibilidade elétrica complexa apresenta contribuições associadas à absorção de dois fótons, relacionada à sua parte imaginária, e à variação não linear do índice de refração, ligada à parte real. As Equações (1) e (2) descrevem a interação do feixe com o meio não linear após sua propagação pela amostra. A Equação (1) representa a contribuição da absorção não linear para o feixe transmitido:

$$T(z) = \frac{(1+x^2)}{q_0} ln\left[1 + \frac{q_0}{1+x^2}\right] e^{-\alpha_0 L}. \quad (1)$$

Enquanto a Equação (2) descreve a alteração da frente de onda decorrente da variação não linear do índice de refração, podendo resultar em avanço/atraso de fase:

$$T(z) = 1 + \frac{4xk\,\Delta\Phi}{(x^2+1)(x^2+9)}. \quad (2)$$

Onde $x = z/z_c$, $q_0 = \alpha_2 I_0 L_{eff}$ e $\Delta\Phi = n_2 L_{eff} I_0$, sendo z a posição da amostra em relação ao foco do laser, z_c o parâmetro de Rayleigh, α_2 o coeficiente de absorção de dois fótons, α_0 o coeficiente de absorção linear, I_0 a intensidade no foco, L_{eff} o comprimento efetivo da amostra, k o número de onda e n_2 o índice de refração quadrático. O modelo considera uma amostra suficientemente fina em relação a z_c (o feixe se mantém constante dentro da amostra), o feixe com perfil radial gaussiano e intensidade aproximadamente constante ao longo da amostra.

Arranjo experimental

A Figura 1 representa a montagem de Z-scan, com laser contínuo em 532 nm. As lentes L1-L4 ajustam, focalizam ou expandem o feixe. Enquanto, os espelhos E1 e E2 direcionam o feixe. Os detectores de silício D1 e D2 captam o sinal relacionado à absorção e a refração não lineares, respectivamente.

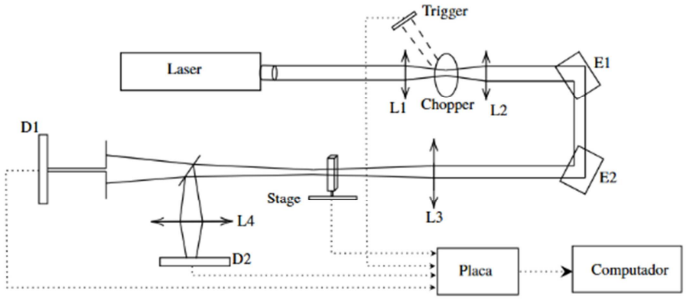


Figura 1 – Arranjo experimental de Z-scan com os modos fenda aberta e fenda fechada.

O D1 possui uma fenda que permite detectar apenas a região central do feixe. A amostra é posicionada em um *stage* acoplado a um motor de passo que permite a translação em torno do foco do feixe, com deslocamento de 0,2 mm/passo. O *stage*

e os detectores são controlados por uma placa USB-6008, enquanto todo o aparato é controlado pelo computador por uma linguagem de programação baseada em blocos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse trabalho dividem-se em duas etapas: o desenvolvimento do programa para automação do processo de aquisição de dados e a caracterização dos efeitos não lineares de uma amostra de Q98 com 6% de Neodímio.

Confecção do programa

O programa desenvolvido tem total controle do deslocamento do *stage*. É possível controlar o sentido e a quantidade de passos no motor, permitindo um deslocamento preciso com o incremento de 0,2 mm/passo. A cada posição, o programa adquire os dados dos sensores, identificando a posição e o respectivo sensor. O sinal transiente é processado e sua média é calculada antes de salvá-lo. A aquisição é sincronizada por meio de um *trigger*, de modo que os dados dos sensores sejam registrados somente após sua ativação.

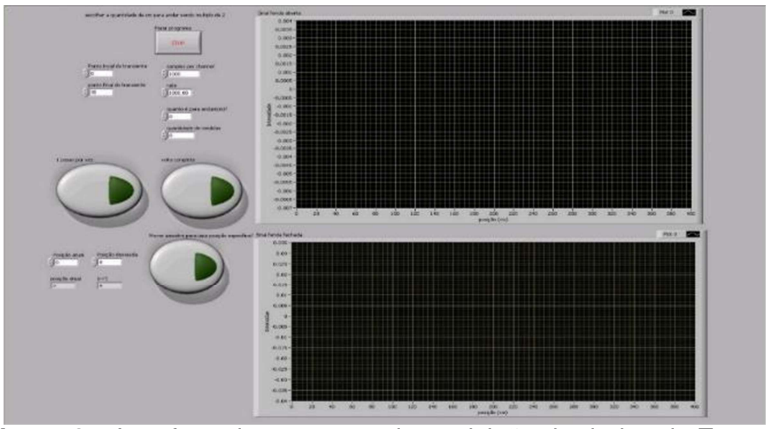


Figura 2 – Interface do programa de aquisição de dados do Z-scan.

A interface apresentada na Figura 2 reúne as funcionalidades explicadas previamente, além de outras. Entre elas, destaca-se a aquisição contínua do sinal para a calibração do sistema. Também permite escolher quantos pontos e a escala temporal em cada medida, com 5000 pontos no máximo e 2 ms entre eles.

Dados experimentais

A Figura 3a apresenta o resultado de transmitância do Q98 com a fenda fechada, relacionada à contribuição do índice de refração não linear, enquanto as Figuras 3b e 3c apresentam os sinais transientes, correspondentes ao vale e pico, respectivamente. A curva foi obtida em uma varredura completa em torno do foco de uma lente de 10 cm, com z_c = 1,3 mm e potência do laser de 60 mW. Contudo, não

foi observada contribuição significativa de absorção não linear para a amostra nas condições avaliadas.

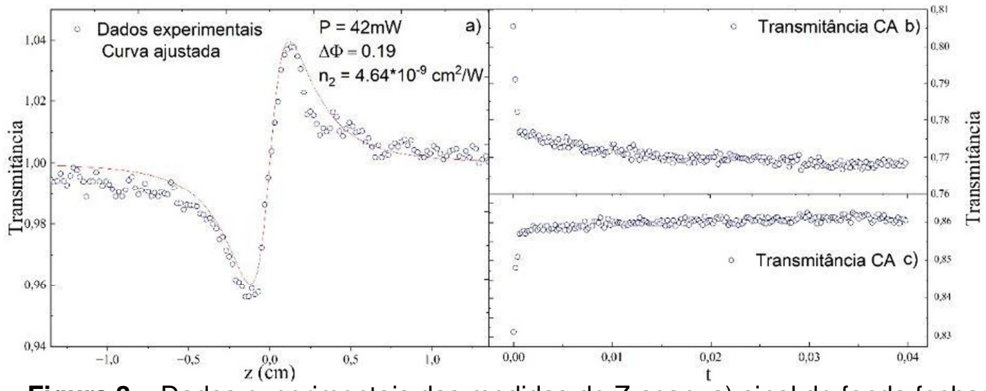


Figura 3 – Dados experimentais das medidas de Z-scan. a) sinal de fenda fechada em função da posição, b) sinal transiente no vale, e c) sinal transiente no pico.

O ajuste dos dados experimentais com a Equação (1) forneceu um valor de $4{,}64\times10^{-9}$ cm^2/W para o índice de refração não linear.

CONCLUSÕES

O programa de aquisição de dados de Z-scan respondeu corretamente a todos os comandos, integrando o movimento do *stage* à aquisição dos dados e permitindo acompanhar a visualização da transmitância em função da posição. Também foi possível caracterizar a resposta óptica não linear da amostra Q98-6%Nd, obtendo o valor de $4{,}64\times10^{-9}$ cm^2/W para o índice de refração não linear.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária e ao CNPq/CAPES pela oportunidade e incentivo com a bolsa de estudos, e à UEM pela infraestrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

SHEIK-BAHAE, M.; SAID, A. A.; VAN STRYLAND, E. W. High-sensitivity, single-beam n_2 measurements. *Optics Letters,* v. 14, n. 17, p. 955–957, 1989.

SHEIK-BAHAE, M., *et al*. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, v. 26, n. 4, p. 760-769, 1990.

ZANUTO, V.S., *et al*., Single-beam time-resolved cw thermal Z-scan analysis applied in solids. *Optics & Laser Technology,* v. 142, p. 107248, 2021.