

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DA TÉCNICA DELENTE TÉRMICA

Marcos Vinicius de Moraes (PIBIC/FA/UEM), Nelson Guilherme Castelli
Astrath (Orientador), e-mail: ngcastrath@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Maringá, PR.

Ciência Exatas e da Terra: Física.

Palavras-chave: lente térmica, espectroscopia, caracterização de materiais.

Resumo:

Neste trabalho, foi estudada a teoria relacionada ao efeito de lente térmica com a solução das equações de difusão de calor no material. Medidas experimentais foram realizadas em vidros aluminossilicato de cálcio dopados com Nd_2O_3 , e propriedades termo-ópticas foram determinadas e comparadas aos valores da literatura.

Introdução

A determinação das propriedades ópticas e térmicas de materiais transparentes demanda a utilização de vários métodos para avaliar os fenômenos envolvidos. Dentre esses métodos, as técnicas fototérmicas vêm sendo amplamente empregadas no estudo de materiais para determinação quantitativa dos processos de transferência de energia na amostra, revelando informações correlacionadas com a composição do material. Os métodos fototérmicos têm como base a detecção de ondas térmicas que se propagam em uma amostra após a geração de calor por absorção de radiação. Neste processo, tanto as propriedades de difusão de calor, que determinam a carga térmica induzida no material, quanto o comportamento óptico do mesmo podem ser avaliados simultaneamente, fornecendo informações que são decisivas em termos da utilização do referido material em sistemas ópticos. O objetivo desse trabalho é analisar, de um ponto de vista teórico e experimental, a técnica de lente térmica, bem como entender os procedimentos necessários para a compreensão desses fenômenos.

Materiais e métodos

O efeito fototérmico é gerado quando um feixe luminoso incide em um material absorvedor. Parte da energia absorvida é convertida em calor, resultando em uma variação de temperatura no material. Neste trabalho, a amostra é excitada por um feixe laser com perfil de intensidade radial gaussiano. O feixe é focado por uma lente e a amostra é posicionada de tal forma que seu centro fique na

cintura do feixe de excitação. A variação de temperatura induzida na amostra causa variação no índice de refração e deformação do material. Para medidas de lente térmica, um segundo feixe laser, também com perfil de intensidade gaussiano, e de baixa intensidade, passa pela amostra colinearmente ao feixe de excitação e prova o efeito de lente térmica formado na amostra. O feixe de prova é propagado e detectado por um fotodiodo no campo distante.

A variação de temperatura provocada pelo laser de excitação da amostra é definida pela solução da equação de difusão térmica

$$\frac{\partial}{\partial t} T(r, z, t) - D \nabla^2 T(r, z, t) = Q(r, z, t). \quad (1)$$

D é a difusividade térmica do material, $T(r, z, t)$ é a variação de temperatura, $Q(r, z, t) = Q_0 e^{-2r^2/\omega_0^2} Q(z)$ é o termo de fonte, considerando a excitação com perfil gaussiano, e $Q_0 = 2A_e P_e \phi / (\rho c \pi \omega_0^2)$, com A_e sendo o coeficiente de absorção óptica, P_e a potência do feixe de excitação, ϕ a fração da energia absorvida convertida em calor, ρ a densidade, c o calor específico e ω_0 o raio do feixe de excitação na amostra. Consideramos neste trabalho materiais com baixo coeficiente de absorção, $Q(z) \rightarrow 1$.

A partir da solução da equação 1, a mudança de fase pode ser escrita, para a aproximação de amostra espessa, como

$$\varphi(g, t) = \frac{2\pi}{\lambda_p} L \frac{ds}{dT} [T(g, t) - T(0, t)]. \quad (2)$$

λ_p é o comprimento de onda do feixe de prova, L é a espessura da amostra, $g = (r/\omega_p)^2$, ω_p é o raio do feixe de prova na amostra e ds/dT o coeficiente térmico da variação do caminho óptico.

A intensidade do campo elétrico do feixe de prova no plano do detector é dada por

$$\frac{I(t)}{I(0)} = \left| \int_0^\infty e^{-(1+iV)g} e^{-i\varphi(g, t)} dg \right|^2. \quad (3)$$

$V = Z_1/z_c$, com Z_1 sendo a distância entre o feixe de prova na cintura e a amostra e z_c é a distância confocal do feixe de prova.

Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra um diagrama da montagem experimental da técnica de lente térmica. O feixe de excitação (verde) é modulado e excita a amostra. O feixe de prova (vermelho) passa pela região da amostra perturbada pelo feixe de excitação, provando o efeito. Note que dois sensores são utilizados, um para provar o efeito, em campo distante, e outro acoplado ao osciloscópio para acionar a leitura dos dados quando incide o feixe de excitação.

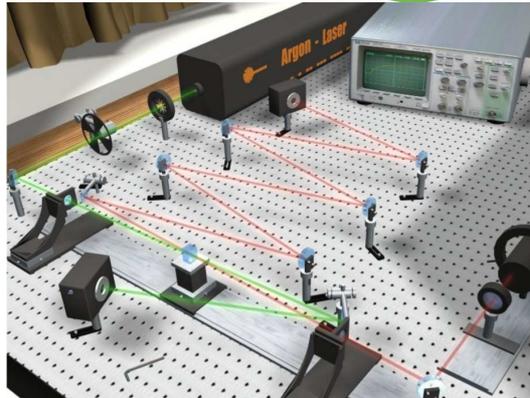


Figura 1 - Esquema da montagem experimental da técnica de Lente Térmica. (BELANÇON, 2009).

Foram realizadas medidas de L.T em amostras de vidro aluminossilicato de cálcio dopadas com 0,5%, 2,0% e 3,0% de Nd_2O_3 . Os parâmetros da montagem foram determinados conforme descrito em ALANIS, 2014, como $m = 43$, $V = 4,4$ e $\omega_{0e} = 49,9 \mu\text{m}$. As medidas foram realizadas para diferentes potências do feixe de excitação, e os transientes obtidos para a intensidade do sinal em função do tempo são mostrados na figura 2.

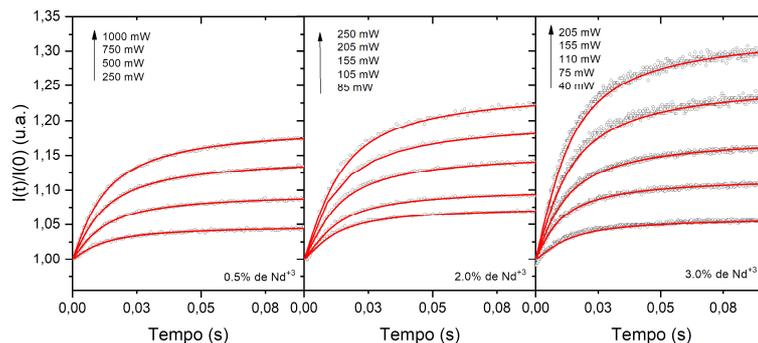


Figura 2 – Resultados experimentais de LT das amostras com diferentes concentrações de Nd^{3+} , em diferentes potências. Símbolos representam resultados experimentais e linhas contínuas os ajustes numéricos.

Com os ajustes dos transientes experimentais é possível obter o comportamento de $\theta = P_e A_e L (ds/dT) / (\lambda k)$ com a potência do feixe de excitação, conforme mostra a figura 3. k é a condutividade térmica do material.

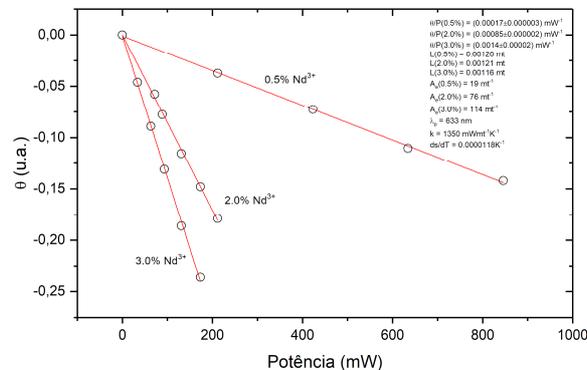


Figura 3 – Resultados de θ em função da potência para as diferentes concentrações, obtidos por ajuste do dado experimental. Símbolos são resultados experimentais e linhas contínuas mostram o ajuste linear.

A análise da Figura 3 nos permite obter valores de eficiência quântica de emissão do material a partir das constantes listadas no gráfico (ROHLING, 2004 e RODRIGUES, 2009). Foram obtidos os valores de 0,95, 0,68 e 0,48 para as amostras dopadas com 0,5, 2,0 e 3,0% de Nd^{3+} , respectivamente. Estes valores encontram-se em boa concordância com a literatura. A diminuição dos valores da eficiência quântica com o aumento da concentração de dopante está relacionada ao efeito *quenching* do dopante.

Conclusão

Neste trabalho, a técnica de lente térmica foi estudada teoricamente e experimentos realizados em vidros semitransparentes dopados com o íon Nd^{3+} . Os dados experimentais foram ajustados com o modelo para baixa absorção óptica e desses ajustes pôde-se obter a eficiência quântica de luminescência do material para cada concentração. Os valores obtidos estão dentro dos valores encontrados na literatura.

Agradecimentos

Agradecemos às agências CAPES, Fundação Araucária e CNPq, pelo apoio financeiro.

Referências

ALANIS, D. **Investigação dos processos de absorção de estado excitado em vidros dopados com Tb^{3+} por espectroscopia de espelho térmico.** 2014. 76f. Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

BELANÇON, M. P. **Análise das Técnicas de Espelho Térmico e de lente térmica para o estudo de materiais semitransparentes e opacos.** 2009. 92f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

RODRIGUES, T. P. etl al. Discriminating the role of sample length in thermal lensing of solids. **Optics Letters.** Washington, v. 39, n. 13, p. 4013-4016, 2014.

ROHLING, J. H. **Preparação e caracterização do vidro aluminosilicato de cálcio dopado com terras raras para emissão laser no infravermelho próximo e médio.** Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, 2004.

SATO, F. **Desenvolvimento da Técnica de Espelho Térmico.** 2009. 125f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.