



# ÓPTICA NÃO LINEAR DE MATERIAIS PARA APLICAÇÕES EM FOTÔNICA.

Fabiano Santana da Silva <sup>1</sup>

## INTRODUÇÃO

A óptica não linear trata do estudo da interação da luz com a matéria no regime em que suas propriedades ópticas são modificadas pela presença da luz de alta intensidade [Frejlich, 2011]. Muito embora as propriedades não lineares da constante dielétrica e da susceptibilidade magnética fossem conhecidas há muito tempo, os processos ópticos não lineares só começaram a ser observados experimentalmente no início da década de 60. Isto decorreu do fato de que tais processos necessitam de altas intensidades de campo eletromagnético para se manifestarem, o que só é possível usando-se como fonte de radiação lasers pulsados. Devido a tal fato, o princípio da superposição não se aplica à óptica não linear [Boyd, 2003].

Desde então, ocorreram enormes avanços, não só no entendimento dos aspectos fundamentais que regem a interação da radiação com a matéria, como também no desenvolvimento de uma grande variedade de aplicações tecnológicas. Para frisar este último ponto, citamos o nascimento da indústria da optoeletrônica, e também a corrida para se alcançar o desenvolvimento de dispositivos inteiramente fotônicos, ou seja, aqueles que funcionam apenas através da luz e de sua interação com a matéria, dispensando assim a atual tecnologia eletrônica, que é mais lenta e consome mais energia [Yamane, 2000]. Usando a óptica não linear, há a possibilidade de, no futuro próximo, termos chaves puramente ópticas, que poderá ser aplicadas à área das comunicações ópticas e a memórias e computadores ópticos [Yamane, 2000].

Atualmente tem-se conhecimento de um vasto número de processos ópticos não lineares, como por exemplo, a geração de novas frequências através de geração de harmônicos, soma e diferença de frequências, assim como auto modulação de fase, mistura de ondas, conjugação de fase [Yamane, 2000]. Estes fenômenos são objetos de estudo da óptica não linear e também são usados no desenvolvimento de técnicas de caracterização de materiais, com foco na pesquisa e aplicações desses em muitos ramos da ciência e engenharia.

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Física da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [sunsolaris8@hotmail.com](mailto:sunsolaris8@hotmail.com);



Em particular, temos também materiais com respostas não lineares grandes, porém lentas, podendo ser úteis para outras aplicações.

Materiais com não linearidades termo ópticas podem apresentar um caráter de não localidade como consequência do processo de condução do calor. Esta propriedade tem sido objeto de estudo na interação entre feixes de sólitons (ondas que não se deformam durante sua propagação, mas podem ter suas propriedades modificadas em meios não lineares [Oliveira,2010].

Nos últimos anos tem havido um grande interesse na pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, a partir de diferentes abordagens, para aplicações que conectam a óptica não linear a outras áreas, como engenharia molecular, onde se busca projetar materiais que possuam, em nível molecular, propriedades ópticas não lineares desejáveis. Seguindo esta linha, novos sistemas vítreos com diferentes composições químicas são coerentemente projetados para possuírem respostas ópticas não lineares altas e rápidas, objetivando explorar suas potencialidades para aplicações em fotônica [Kyuma,1983]. Com advento da nanotecnologia, tem se fabricado sistemas compostos nanoestruturados para se explorar suas propriedades ópticas não lineares [Prasad, 1991].

Para isso fizemos uma revisão bibliográfica sobre os princípios básicos de óptica não linear e como é possível medir o índice de refração e o coeficiente de absorção não lineares de materiais para verificar se os mesmos podem ser usados em aplicações fotônicas sob condições especiais.

Para isso, abordamos a técnica de espectroscopia conhecida como Z-scan para se estudar as não linearidades ópticas de meios nanoestruturados, destacando-se o caso de um filme fino de composição  $60\text{PbO} - 40\text{GeO}_2$  (60% de óxido de chumbo e 40% de óxido de germânio), denominado PGO, contendo nanopartículas de ouro. Foi levada em conta a influência das nanopartículas no comportamento óptico do filme quando o mesmo é submetido a um feixe laser incidente de alta intensidade (pulsado) operando na região do visível ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ ), com duração de pulsos de 80 ps.

O alto valor de  $(1,7 \pm 0,3) \times 10^4 \text{ cm/GW}$  para o filme PGO com ouro, na região do visível, foi atribuído ao fenômeno de absorção de dois fótons em  $\lambda = 532 \text{ nm}$ . Comparando este valor com o obtido em  $\lambda = 800 \text{ nm}$  na região do infravermelho próximo, podemos ver que o filme PGO com ouro é um forte candidato a limitador óptico. Analisando o alto valor de  $(6 \pm 1) \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{W}$  medido em 532 nm, também pela técnica Z-scan, vimos que a não



linearidade do filme deve-se exclusivamente as nanopartículas de ouro, já que o filme sem ouro não apresenta comportamento não linear.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

A técnica de varredura Z, também conhecida como Z-scan, é empregada para se medir o índice de refração não linear  $n_2$ , que está relacionado à parte imaginária da susceptibilidade não linear de terceira ordem,  $\text{Im}(\chi^3)$  e a absorção não linear, associada a  $\text{Re}(\chi^3)$  que podem estar conectados, por exemplo, com o fenômeno da absorção de dois fótons. Para isso, o Z-scan se baseia na distorção espacial do feixe laser ao atravessar um meio não linear, [Bahae, 2000]; e se mostrou de fácil implementação no estudo de materiais transparentes, pois consegue combinar uma montagem experimental simples, usando um feixe laser único, com uma grande sensibilidade da medida. Ela tem sido empregada para analisar o comportamento não linear de semicondutores [Said, 1992], vidros dielétricos [Yamane, 2000] e moléculas orgânicas [Said, 1994], com a não linearidade variando numa escala de milissegundos [Krauss, 1994].

Uma das principais características da técnica é a capacidade de se estimar o índice de refração não linear através de uma relação simples entre a variação da transmitância observada durante a varredura da amostra na direção de propagação do feixe e a distorção da fase induzida.

Temos que destacar que a técnica de Z-scan fornece uma detecção sensível e direta, fazendo uso de um aparato experimental simples. A ideia, como dito, é correlacionar a variação da intensidade que chega em uma abertura no plano de observação com a variação de fase induzida pela incidência do laser.

A potência transmitida através da abertura mínima de uma íris posicionada antes de um detector após a amostra (configuração chamada de “closed Z-scan”) é captada quando um feixe laser atravessa uma amostra que se move ao longo do eixo de propagação. A amostra se move ao redor da posição focal de uma lente posicionada antes dela, estando sujeita a diferentes intensidades do campo elétrico incidente.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos até aqui apresentados mostram que a presença de NP's de Au modificam as propriedades ópticas do filme PGO quando adicionadas a ele. O que mostra a absorbância, relacionada ao espectro de absorção linear do filme PGO amorfo (sem ouro) e do filme PGO com NP's de Au. Enquanto o espectro do filme PGO sem as NP's praticamente não muda ao longo da faixa de comprimentos de onda, observa-se uma forte banda de absorção centrada em  $\lambda = 575 \text{ nm}$  para o filme dotado de nanopartículas de ouro.

As propriedades ópticas não lineares dos filmes foram analisadas através da técnica de Z-scan no regime de picossegundos (laser incidente operando em  $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) e através da técnica da chave kerr no regime de fentossegundos (laser incidente operando em  $\lambda = 800 \text{ nm}$ ) [Oliveira, 2010]. No estudo se observou que o filme com Au apresentava uma resposta não linear mais rápida do que 100 fs. Além disso, ao medir o comportamento do sinal do filme PGO com ouro em função da intensidade do laser incidente obtive-se um valor  $n_2 = (10 \pm 2) \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{GW}$  [Araújo, 2013] para  $\lambda = 800 \text{ nm}$ .

Como mencionado, o índice de refração  $n_2$  e o coeficiente de absorção  $\alpha_2$  de um material medidos em um determinado comprimento de onda. O filme PGO com Au apresenta, em  $\lambda = 532 \text{ nm}$ , valores de  $n_2 = (6 \pm 1) \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{W}$  e  $\alpha_2 = (1,7 \pm 0,3) \times 10^4 \text{ cm/GW}$ , onde esses resultados são atribuídos à presença de NP's de Au no filme, uma vez que não se observou sinal não linear no filme PGO amorfo neste comprimento de onda [Oliveira, 2010]. Podemos observar, na Figura 12, que o filme atua como um meio focalizador ( $n_2 > 0$ ) e a sua absorção não linear se deu devido à absorção de dois fótons ( $\alpha_2 > 0$ ) para  $\lambda = 532 \text{ nm}$  no regime de picossegundos. Esses resultados e comparações com  $\lambda = 800 \text{ nm}$  (utilizando a técnica da chave kerr, não detalhada aqui). De acordo com esta tabela,  $\alpha_2$  é da ordem de  $10^4 \text{ cm/GW}$  no regime de picossegundos em  $\lambda = 532 \text{ nm}$  (região do espectro visível). No regime de fentossegundos,  $\alpha_2$  é muito pequeno (menor que o limite de detecção do fotodiodo) na região do infravermelho próximo ( $\lambda = 800 \text{ nm}$ ). Assim, podemos analisar o filme PGO contendo nanopartículas de ouro como ótimo candidato a limitador óptico no visível.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aqui destacamos o trabalho realizado associado à fabricação de filmes finos [Kassab, 2009] cuja à matriz vítrea (meio hospedeiro) chamada PGO, de composição  $60\text{PbO}-40\text{GeO}_2$  (60% de óxido de chumbo e 40% de óxido de germânio), foram acrescentadas as NP's de ouro através da técnica de sputtering. Observou-se uma boa aderência ao substrato (PGO) e alta resistência mecânica, além do aumento da susceptibilidade não linear de terceira ordem na presença de NP's metálicas [Oliveira, 2010]. O interesse no estudo das NP's de ouro está justamente ligado à possibilidade de construir dispositivos fotônicos que façam uso do seu comportamento não linear quando em forma de filme fino.

A síntese do filme PGO com ouro se deu pelo processo já mencionado (sputtering), com o detalhe de se controlar o tempo de exposição do substrato vítreo ou matriz vítrea (PGO) ao vapor contendo o material a ser depositado (Au); com isso teve-se um controle sobre a espessura do filme. O filme, de espessura  $L= 1,1 \mu\text{m}$  foi submetido a um tratamento térmico à temperatura  $T = 370 \text{ }^\circ\text{C}$  por um período de dez horas, o que acabou resultando na modificação de suas propriedades óptica, nesse caso aumentando a sua transmitância linear e consequentemente diminuindo a sua absorção não linear [Araújo, 2013]. Depois do processo de obtenção deste filme, o tamanho das NP's de Au foram medidas através de microscopia eletrônica de transmissão (TEM), onde a morfologia e a dispersão das partículas de ouro, puderam ser analisadas [Kassab, 2009]. Por meio da imagem obtida foi possível efetuar cálculos estatísticos do tamanho médio das NP's,  $15 \text{ nm}$ . E com esse resultado foi possível verificar a distribuição das NP's de Au sobre a matriz PGO.

**Palavras-chave:** Resumo expandido; Óptica Não Linear, Técnica de Z-scan, Fotônica.

## REFERÊNCIAS

[Araújo, 2013] C. B. de Araújo, T. R. Oliveira, E. L. Falcão-Filho, D. M. Silva, L. R. P. Kassab. *Nonlineer optical properties of PbO-GeO<sub>2</sub> films containg gold nanoparticles*. Journal of Luminescence, **133**, 180-183 (2013).

[Bahae, 2000] M. Sheik-Bahae e M. P. Hasselbeck, *OSA Handbook of Optics*, **IV**, chapter 17 (2000).



[Cho, 2004] Y. R. Cho, J. H. Park, W. S. Chung e K. H. Kim, *Synthesis and mechanical properties of Cr–Si–N coatings deposited by a hybrid system of arc ion plating and sputtering techniques*. Surface and Coatings Technology, **188-189** (2004).

[Frejlich, 2011] J. Frejlich. *Optical recording mechanisms in undoped titanosillenite crystals*. Journal of Applied Physics **109**, 024901 (2011).

[Krauss, 1994] T. D. Krauss e F. W. Wise, *Femtosecond measurement of nonlinear absorption and refraction in CdS, ZnSe, and ZnS*, Appl. Phys. Lett. **65**, 1739 (1994)

[Kassab, 2009] L. R. P. Kassab, D. S. da Silva, R. de Almeida e C. B. de Araújo, *Photoluminescence enhancement by gold nanoparticles in Eu<sup>3+</sup> doped GeO<sub>2</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses*, Appl. Phys. Lett., **94**, 101912 (2009).

[Oliveira, 2010] T. P. R. de Oliveira, *Não-linearidades de terceira ordem de nanocolóides, filmes finos e vidros fotônicos*, Tese de Doutorado, UFPE (2010).

[Prasad, 1991] P. N. Prasad e D. J. Williams, *Introduction to Nonlinear Effects in Molecules and Polymers*, Wiley & Sons (1991).

[Yamane, 2000] M. Yamane e Y. Asahara, *Glasses for Photonics*, Cambridge University Press, (2000).