

# Alta eficiência de difração para redes termicamente fixadas em $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$

*Ivan de Oliveira and Jaime Frejlich*

Instituto de Física “Gleb Wataghin” - Universidade Estadual de Campinas  
13083-970 Campinas SP Brazil  
*ivoliv@ifi.unicamp.br*

## Abstract

Neste trabalho mostramos a forma de se obter altos valores para a eficiência de difração de redes fixadas termicamente em  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ . Mostramos que utilizando polarização ordinária para o registro a temperatura ambiente e luz com polarização extraordinária para a leitura, após fixação à alta temperatura, podemos obter altos valores para a eficiência de difração, inclusive 100%.

## 1 Introdução

Os fotorrefrativos são materiais fotocondutores e eletro-ópticos [1, 2]. Sob ação da luz de comprimento de onda adequado, cargas livres são excitadas até a banda de condução a partir de centros foto-ativos. Essas cargas difundem ou são arrastadas por um campo elétrico externo, sendo posteriormente presas em armadilhas. Resultando assim um desbalanceamento elétrico local com acúmulo de cargas de um sinal nas regiões iluminadas e de sinal oposto nas regiões escuras. Consequentemente criam-se campos elétricos que produzem alterações no índice de refração do material, via efeito eletro-óptico. O resultado final é o armazenamento da informação luminosa sob a forma de uma modulação do índice de refração, ou seja o registro de um holograma de fase em volume. O holograma assim registrado nestes materiais é reversível e pode ser facilmente apagado ao escrever uma nova informação. Essa característica é muito importante nas aplicações sobre processamento de imagens. Paradoxalmente, algumas das aplicações tecnológicas destes materiais necessitam que as informações e/ou estruturas neles gravadas sejam fixadas de forma a não serem apagadas nem alteradas pela luz. Esse é o caso de memórias permanentes ou componentes ópticos difratantes como os filtros de Bragg. Esse interesse tecnológico motivou um grande esforço para se achar técnicas eficientes para fixar hologramas, sobre tudo em  $\text{LiNbO}_3$  [3, 4] e em sillenitas [5]. As técnicas atuais para fixar hologramas são térmicas: um holograma é gravado da forma usual e depois é esquentado (mais de  $100^\circ$ ) até que, íons (hidrogênio) presentes no volume do material possam se difundir dentro do material de forma de compensar parcialmente ou totalmente a modulação de carga gerada pela ação da luz. Depois disto, a amostra é resfriada até a temperatura ambiente e uma luz uniforme é projetada sobre o material para apagar o holograma inicialmente gravado, restando assim apenas o holograma originado na distribuição de íons que, por não serem fotoativos, ficaram inalterados. Assim resulta uma cópia (defasada  $180$  graus) do holograma original. Alternativamente essa migração compensatória de íons poderia ser produzida durante a própria gravação, se esta for realizada à temperatura elevada. Realizar um registro holográfico a temperatura muito acima do ambiente, é uma tarefa tecnicamente muito difícil. Neste trabalho utilizamos os estados de polarizações ordinária e extraordinária da luz para o registro da rede eletrônica e leitura da rede fixada respectivamente. A modulação de índice de refração registrada com luz extraordinária é cerca de 3 vezes maior que a registrada com luz ordinária. Considerando esse fato realizamos o registro de uma rede eletrônica, a temperatura ambiente, com luz ordinária e após o processo de fixação a alta temperatura medimos a eficiência de difração com luz extraordinária, conseguindo assim valores altos para a eficiência de difração da rede fixa.

## 2 Modelo Teórico

A eficiência de difração de uma rede gravada em cristais fotorrefrativo, na ausência de acoplamento de fase é da por [6]

$$\eta = \sin^2 \left( \frac{\pi \Delta n d}{\lambda \cos \theta} \right) \quad (1)$$

com

$$\Delta n = n^3 r |E_{sc}| / 2 \quad (2)$$

onde  $\theta$  o semi-ângulo entre os feixes de escrita,  $\lambda$  o comprimento de onda,  $d$  é a espessura da rede,  $n$  é o índice de refração,  $r$  o coeficiente eletro-óptico e  $E_{sc}$  o campo gerado pelas cargas no volume do material. Para as direções ordinária e extraordinária temos os respectivos coeficientes eletro-ópticos  $r_{13} = 8.6$  pm/V e  $r_{33} = 30.8$  pm/V. Para um mesmo campo  $E_{sc}$  temos uma variação de índice de refração vista pela luz maior quando incidimos luz polarizada na direção do coeficiente  $r_{33}$ , polarização extraordinária.

### 3 Experimento e Resultados

Para estudarmos o registro holográfico, a temperatura ambiente, em  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  utilizando os estados de polarizações ordinária e extraordinária utilizamos a técnica do registro auto-estabilizado [7]. Essa técnica permite gravarmos 100% de eficiência de difração [8]. O processo de registro auto-estabilizado é baseado na técnica da modulação de fase [9]. Essa técnica consiste em modularmos um dos feixes de escrita com uma frequência  $\Omega$  muito maior que o inverso do tempo de reposta do material. A modulação em um dos feixes produz termos harmônicos em  $\Omega$  cujo o primeiro e o segundo termos são dados por

$$I^\Omega = C_1 \sqrt{\eta(1-\eta)} \sin\varphi \quad (3)$$

$$I^{2\Omega} = C_2 \sqrt{\eta(1-\eta)} \cos\varphi \quad (4)$$

onde  $C_1$  e  $C_2$  são constantes experimentais,  $\varphi$  a diferença de fase entre os feixes transmitido e difratado e  $\eta$  a eficiência de difração. Para o registro auto-estabilizado em  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  o segundo harmônico é zero, dessa forma a evolução temporal da eficiência de difração durante o registro a temperatura ambiente é dado pelo primeiro harmônico, uma vez que  $\varphi = 0$ . Na figura (1) mostramos a evolução do primeiro harmônico durante o registro a temperatura ambiente de uma rede eletrônica para os feixes de escrita polarizado na direção ordinária e extraordinária para uma amostra de  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  reduzida ou seja amostra com grande quantidade de centro doadores  $\text{Fe}^{2+}$ .

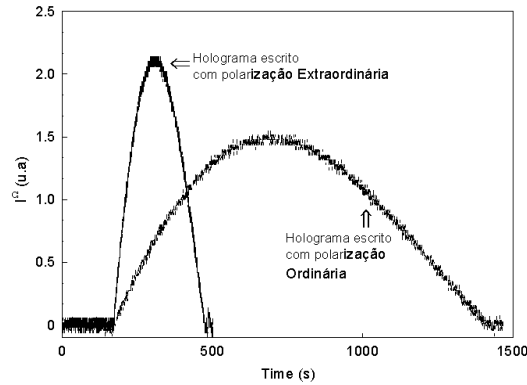


Figure 1: Evolução do primeiro harmônico durante escrita de uma rede eletrônica a temperatura ambiente para polarizações ordinária e extraordinária. A rede eletrônica foi registrada utilizando comprimento de onda  $\lambda = 514.5$  nm e com um período  $\Lambda = 0.6$   $\mu\text{m}$ .

Apois o processo de registro auto-estabilizado a temperatura ambiente a amostra foi aquecida a  $150^\circ\text{C}$  durante 20 minutos, esse tempo foi suficiente para que a compensação da rede eletrônica fosse total. Neste trabalho utilizamos duas amostras diferentes para o processo de fixação, a diferença entre elas está na relação entre centro doador e aceitador, ou seja, a relação  $r = \text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ . A relação  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  é quem determina a eficiência da rede fixa após a revelação com luz branca [10]. Ocorrida a compensação e fixação a amostra foi submetida a luz branca, a temperatura ambiente, para que houvesse o apagamento da rede eletrônica de modo a restar apenas a rede fixa. Neste trabalho utilizamos duas amostras com diferentes estados de oxidação, ou seja, diferentes valores da razão  $r$ . Na figura (2) mostramos a evolução da eficiência de difração durante o processo de revelação, para uma amostra com  $r = 0.02$ . A evolução da eficiência de difração durante a revelação com luz branca para uma amostra muito oxidada ( $r < 0.003$ )

é mostrada na figura (3). Para ambas amostras a eficiência de difração da rede eletrônica inicialmente gravada, a temperatura ambiente, foi cerca de 75% e utilizando polarização ordinária.

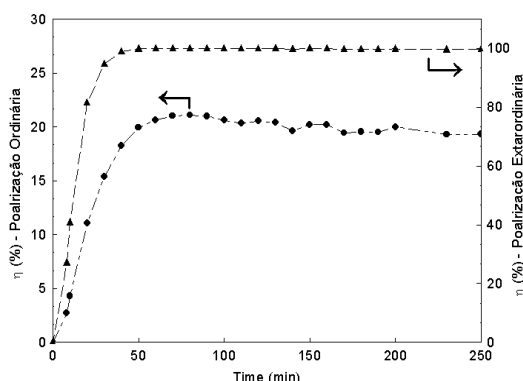


Figure 2: Evolução da eficiência de difração durante a revelação com luz branca para amostra com  $r = 0.02$ .

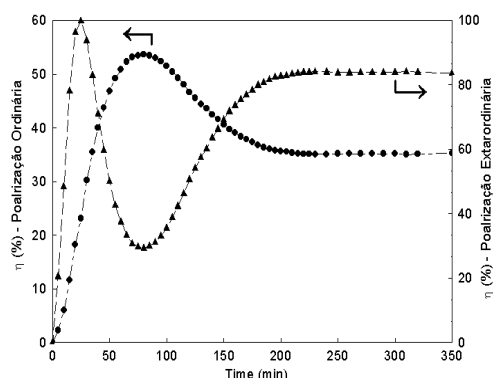


Figure 3: Evolução da eficiência de difração durante a revelação com luz branca para amostra com  $r < 0.003$ .

## 4 Discussão e Conclusão

Nas figuras (2) e (3) temos mostrado a evolução da eficiência de difração durante a revelação com luz branca, a temperatura ambiente, após o processo de fixação a alta temperatura. Podemos notar pela figura (2) que quando medimos a eficiência de difração com luz de polarização ordinária temos cerca de 20% de luz difratada. Para fazemos a leitura da rede com luz de polarização extraordinária temos 100% de luz difrada. Para a amostra com  $r < 0.003$  quando temos 35% de luz difratada com luz de polarização ordinária temos cerca de 80% de luz difratada com luz de polarização extraordinária. É interessante salientarmos que apesar de termos 80% de luz difratada com luz de polarização extraordinária a modulação de índice vista pela luz é maior, pois como podemos notar pela equação (1) a eficiência de difração começa a diminuir quando passa pelo máximo, isso ocorre porque temos um aumento na modulação de índice de refração. Tal situação fica evidente na figura (3). É importante notarmos também que para uma amostra oxidada a eficiência de difração da rede fixa (revelada) é maior em relação a uma amostra não muito oxidada, para o mesmo estado de polarização da luz utilizado durante a escrita da rede.

Como conclusão mostramos que é possível obter valores altos para a eficiência de difração, para rede fixadas temicamente, e também valores altos para a modulação de índice de refração utilizando os estados de polarização ordinária e extraordinária para a escrita e leitura a temperatura ambiente respectivamente.

## Agradecimentos

Os autores agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP ), Brasil, pelo suporte financeiro e a Universidade Autônoma de Madri-Espanha pelas amostras

## References

- [1] D. M. Pepper, J. Feinberg, N. V. Kukhtarev, “*The Photorefractive Effect*”, *Scientific American* **October**, 34–40 (1990).
- [2] P. Günter, J. P. Huignard, *Photorefractive Materials and Their Applications I*, of ed. by P. Günter, J.-P. Huignard, volume 61, Volume 61, Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg) (1988).
- [3] A. Méndez and L. Arizmendi, *Optical Materials* **10**, 55–59, 1998
- [4] A. Yariv, S. Orlov, G. Rakuljik, and V. Leyva, *Opt. Lett.* **20**, 1334 (1995).
- [5] S.W. McCahon, Daniel Rytz, George C. Valley, Marvin B. Klein and B. A. Wechsler, *Appl. Opt.*, **28**, 1967–1969, 1989
- [6] H. Kogelnik”, *Bell Syst. Tech. J.*, **48**, 2909-2947, 1969”
- [7] M.C.Barbosa, I. de Oliveira and J. Frejlich, *Opt. Commun.*, **201**, 293-299, 2002
- [8] A. A. Freschi, P. M. Garcia, I. Rasnik, K. Buse and J. Frejlich *Opt. Lett.*, **21**, 152–154, 1996
- [9] S. Bian, J. Frejlich, *Opt. Lett.*, **19**, 1702-1704, 1994
- [10] E.M.Miguel, J.Limeres, M.Carrascosa and L.Arizmendi, *J.Opt.Soc.Am. B*, **17**, 1140-1146, 2000