

Estudo e Desenvolvimento de um Protótipo de Laser de Ho:YLF

Zezell, D.M.; de Rossi, W.; Nogueira, G.E.C.; Berretta, J.R.; Ranieri, I.M.; Costa, F.E.; Vieira Jr., N.D.; Morato, S.P.
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN-SP

1- Introdução

O desenvolvimento da tecnologia dos lasers de estado sólido, tanto em relação à obtenção de novos materiais laser, como em relação aos conceitos de construção, fizeram destes instrumentos uma ferramenta com inúmeras aplicações em processamento de materiais, holografia, telemetria, fusão termonuclear, medicina e, em geral, na pesquisa científica onde altas densidades de potência são necessárias.

Os lasers de $Al_3Y_3O_{12}$ (YAG) dopados com terras raras tem sido um dos meios laser ativos mais utilizados, apesar das dificuldades de obtenção da matriz hospedeira (devido ao seu alto ponto de fusão) e dos problemas térmicos quando em operação laser. Como uma alternativa para esta matriz hospedeira, o $LiYF_4$ (YLF) tem se destacado devido às suas características térmicas e estruturais, que permitem a obtenção de uma qualidade de feixe superior ao YAG, para aplicações específicas.

Esta matriz tem sido objeto de estudos da Divisão de Óptica do IPEN nos últimos dez anos, tendo sido implantada neste período toda a infra-estrutura necessária para o crescimento de monocristais de fluoretos, para a sua caracterização espectroscópica, para a produção de bastões, para a construção de ressonadores ópticos, fontes de bombeio e refrigeração e para a construção de protótipos.

O YLF tem estrutura tipo Scheelita (tetragonal), grupo de simetria espacial C_{6h}^{2d} - $I4_1/a$, com parâmetros de rede: $a = 5,175 \text{ \AA}$ e $c = 10,740 \text{ \AA}$; é um cristal alfabético, pois o ítrio pode ser substituído por qualquer íon trivalente de terra rara. Os níveis de dopagem, para as terras raras com raios iônicos próximos ao do ítrio, pode atingir 100%, além de ser possível a introdução simultânea de várias terras raras. O sítio ocupado pela terra rara (simetria S_4) não possui simetria de inversão, desta forma a mistura dos termos de paridade par nas funções de onda do multipletto f toma as transições ópticas permitidas e com a intensidade necessária para a emissão laser. Sendo um cristal uniaxial positivo, o YLF tem a vantagem de que a birrefringência natural compensa aquela induzida termicamente durante a operação laser.

As crescentes aplicações dos lasers de hólmio emitindo na região de comprimento de onda $2 \mu\text{m}$, em sistemas de análise atmosférica LIDAR e em Medicina entre outros, motivaram o estudo para desenvolvimento de um protótipo deste laser no IPEN. A emissão em $\lambda = 2 \mu\text{m}$ é fortemente absorvida pela água e é *eye safe*.

Os cristais de Ho:YLF que estão sendo caracterizados e testados atualmente visam a construção de um protótipo de laser pulsado para aplicações médicas. Um levantamento extensivo das áreas de aplicações médicas destes lasers foi realizado e este protótipo será testado, em colaboração com a classe médica em odontologia (na remoção de cáries e no preparo cavitário), em ortopedia (para a ablação de cartilagens, tratamento de hérnia de disco, joelho e ombros), em oftalmologia (no tratamento de glaucoma) e em cardiologia (na desobstrução de artérias).

2- Produção do bastão

O cristal de YLF foi crescido à partir da fusão pelo método de Czochralski sob atmosfera de argônio. Os fluoretos de ítrio e de terras raras utilizados para o crescimento destes cristais foram sintetizados à partir de óxidos ultra puros, através do processo de hidrofluorinação a alta temperatura e em atmosfera de ácido fluorídrico (HF) e argônio. Depois de crescido, o cristal sofreu um tratamento térmico para aliviar as tensões internas. Através de monitoração por métodos de análise físico-químicas (difração de raios-X, fluorescência de raios-X e espectrometria de emissão atômica) foi verificada a pureza estequiometria dos materiais. Após a obtenção do monocristal, amostras foram analisadas, tanto em termos de concentração das terras raras, como em termos de suas características espectroscópicas: absorção óptica, emissão, tempo de decaimento e orientação cristalográfica. Finalmente, o monocristal crescido foi monitorado via incidência de um laser de hélio-neônio para verificação da presença de centros espalhadores de luz e via polarizadores cruzados para a verificação da presença de domínios. Estes experimentos dão uma idéia preliminar da existência de qualquer tensão estrutural que possa acarretar a depolarização da luz e conseqüentemente a deterioração da ação laser. As melhores regiões então foram escolhidas para a confecção dos bastões.

No caso do hólmio, porém não é possível introduzi-lo no YLF em concentrações acima de 10 mol%, além disso a transição laser ativa de interesse ($2,067 \mu\text{m}$) é uma transição para o estado fundamental que possui um desdobramento de 315 cm^{-1} na rede do YLF, constituindo-se num sistema de três níveis à 300 K. Isso faz com que a transição apresente uma energia de limiar altíssima e praticamente impossível de se operar o laser à temperatura ambiente. A fim de inverter a população deste nível é necessário introduzir outros íons de terras raras, em concentrações muito maiores que a do íon ativo, para que funcionem como sensitizadores. Os sensitizadores para o hólmio são o érbio em concentrações de 30 a 40 mol% e o túlio em concentrações de 6 a 10 mol%, os quais absorvem a energia de excitação da lâmpada de bombeio e transferem eficientemente para o íon laser ativo possibilitando a inversão de população pretendida.

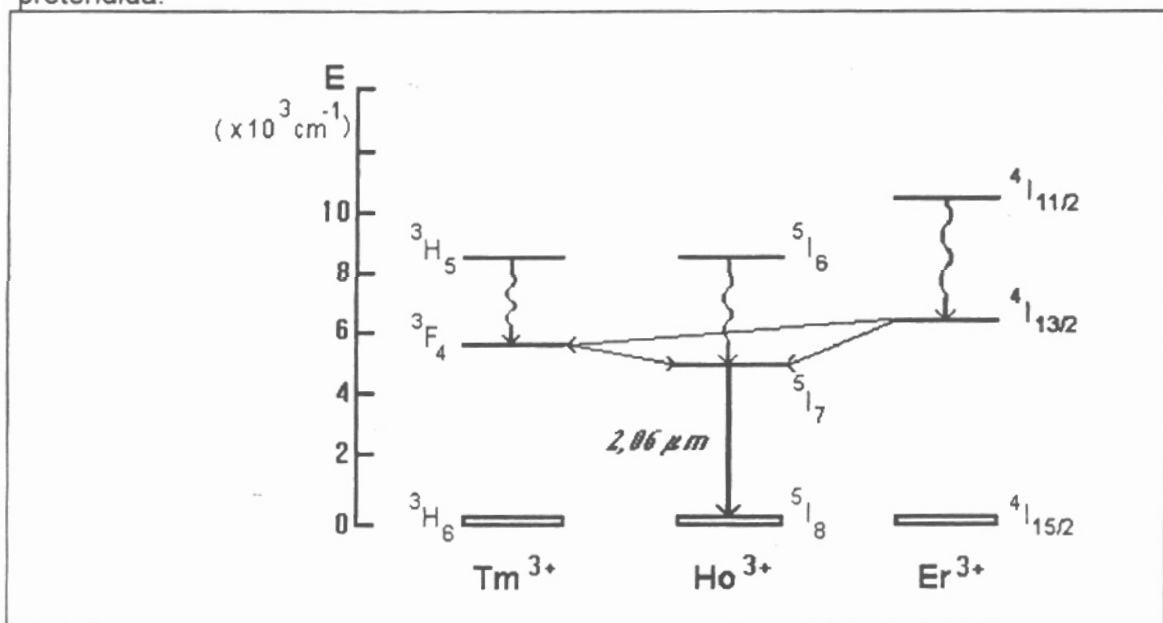


Figura 01- Esquema de transferência de energia dos íons Tm^{3+} e Er^{3+} para o Ho^{3+} no YLF

Os processos de transferência de energia dos primeiros estados excitados do Er^{3+} ($^4I_{13/2}$) e do Tm^{3+} (3F_4) para o nível 5I_7 do Ho^{3+} são apresentados na figura 01.

O cristal de $Er:Tm:Ho:YLiF_4$ para a confecção de bastões para o protótipo foi crescido na direção (100), isto é, com o eixo c perpendicular à direção de crescimento, com concentrações de 35% de érbio, 10% de túlio e 2% de hólmio. O diâmetro dos bastões foram 4 e 6 mm e têm 55 mm de comprimento. As faces foram polidas com planicidade $\lambda/10$ no infravermelho e com paralelismo de 30 min. de arco.

3- Projeto do Protótipo

O acoplamento da lâmpada de bombeio com o bastão laser é feito por um invólucro refletor de configuração de dupla elipse, com as lâmpadas de bombeio nos focos e o bastão no foco comum, sendo todo o conjunto refrigerado por circulação de água. A cavidade refletora é revestida com prata. O bombeio do bastão de $Er:Tm:Ho:YLiF_4$ é feito através de uma lâmpada flash de xenônio com baixa pressão.

Em lasers de alta potência média (acima de 2 kW de bombeio), uma lente térmica é provocada no bastão devido ao alto gradiente de temperatura. No regime de operação multimodo, utiliza-se um ressonador plano-côncavo com grande raio de curvatura, o qual proporciona uma grande estabilidade à ação laser. O efeito de lente termicamente induzido é particularmente importante no caso de lasers que utilizam a matriz de YAG e é pequeno no caso do YLF, pois é compensado pela birrefringência natural desta matriz.

A fonte de bombeio para o modo de operação pulsado do laser de $Ho:YLF$ está sendo desenvolvida para que o laser opere na faixa de 1J, com duração de pulso de 250 μs (FWHM) e taxa de repetição de 5-10 Hz. O sistema elétrico terá chaves de segurança para evitar o super aquecimento do sistema e também controlará a qualidade da água deionizada, que é usada para a refrigeração do laser.

4- Resultados

Enquanto a fonte de bombeio definitiva está sendo contruída, testamos dois bastões de $Er:Tm:Ho:YLiF_4$ em um arranjo experimental utilizando a fonte de um laser de $Nd:Glass$ que admite energias de excitação de até 360J, com taxa de repetição de até 1Hz, com largura temporal de 300 μs . O bastão # 1 com diâmetro 6mm e 55mm de comprimento foi crescido no IPEN como descrito no item 2, não emitiu radiação. O bastão # 2, retirado do mesmo cristal, mas com diâmetro 4mm, permitirá que a luz flash de excitação ilumine todo seu volume sem ser absorvida na superfície como ocorreu para o bastão # 1, está sendo polido para ser testado em breve. O bastão # 3 com 5,5 mm de diâmetro e 80mm de comprimento, crescido na Bell-Labs foi testado neste arranjo e emitiu radiação laser centrada em $\lambda = 2,067 \mu m$ e 300 μs de duração de pulso (FWHM). Utilizamos espelhos desenvolvidos no IPEN, através da evaporação de multicamadas de Criolita e ZnS depositadas em substratos de BK7, transmissores para $\lambda = 632$ nm para permitir alinhamento com o laser de He-Ne. Foram testados espelhos de saída com refletividade 65% e 79% em $\lambda = 2,067 \mu m$. O comprimento do ressonador foi de 98cm e a temperatura da água de refrigeração foi de 20 °C.

As energias de emissão do laser de $Ho:YLF$ em relação às diferentes energias de bombeio e espelhos de saída encontram-se descritas na figura 01. Obtivemos energias de saída maiores que 1,2 J com espelho de 65% de reflexão e 0,68% de *slope efficiency*. Energias maiores que 1 J foram observadas com espelho de 79% de

reflexão e 0,79% de *slope efficiency*. Nestes casos operamos com temperatura de refrigeração de 20 °C. Para temperatura de 15 °C obtivemos energias de saída maiores que 1,5 J. Os valores de *slope efficiency* obtidos são maiores que aqueles encontrados na literatura (0,2- 0,6%)¹⁻² para mesma temperatura de operação, mas menores do que aqueles de sistemas operando à baixa temperatura (-10°C à -50°C, com *slope efficiency* de 0,7% à 1,28%)³⁻⁴. Acreditamos que com um novo cristal que será crescido em futuro próximo, utilizando-se concentrações mais adequadas de hólmio e com o protótipo definitivo poderemos obter resultados ainda mais interessantes do que os apresentados pela literatura.

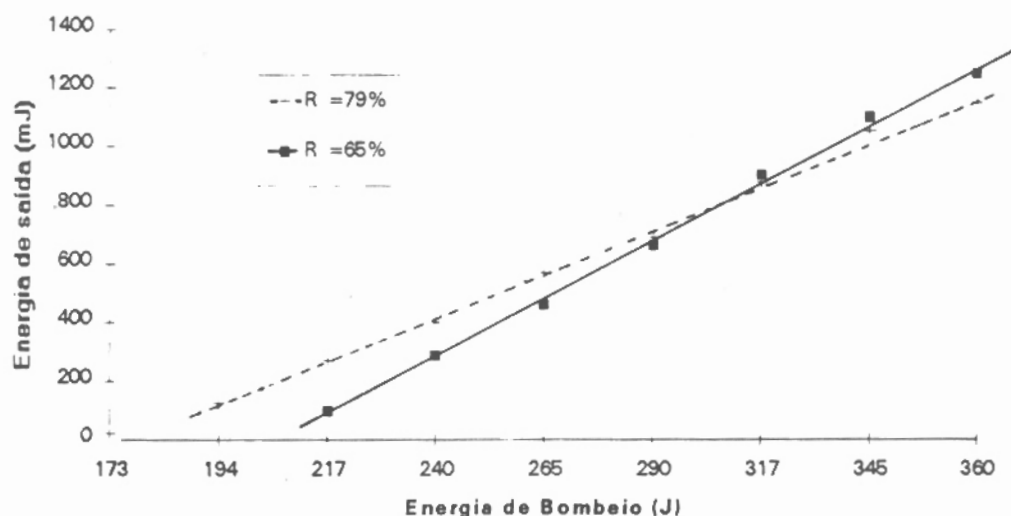


Figura 01- Energia de saída para o laser de Ho:YLF em relação à energia de bombeio com diferentes espelhos de saída, e temperatura do fluido de refrigeração 20 °C.

5- Referências

- 1- Chicklis, E.P.; Naiman, C.S.; Folweiler, R.C.; Gabbe, D.R.; Jenssen, H.P.; Linz, A.- "High Efficiency Room-Temperature 2.06 μm Laser Using Sensitized Ho⁺³:YLF"- Appl. Phys. Lett. **19**(4): 119-121, 1971.
- 2- Chicklis, E.P.; Naiman, C.S.; Folweiler, R.C.; Doherty, J.C.- "Stimulated Emission in Multiply Doped Ho⁺³:YLF and YAG- A Comparison"- IEEE J. of Quantum Electronics **QE 8**(2): 225-230, 1972.
- 3- Kalisky, Y.; Kagan, J.; Sagie, D.; Lotem, H.- "Single Pulsed and CW Multiply Doped Ho:YAG and Ho:YLF Laser"- J. Phys. C7 **48**(suppl. 2): 363-365, 1987.
- 4- Kalisky, Y.; Kagan, J.; Sagie, D.; Lotem, H.; Brenier, A.; Pedrini, C.; Boulon, G.- "Spectroscopic properties, energy transfer, and Laser Operation of Pulsed Holmium Lasers"- J. Appl. Phys. **70**(8): 4095-4100, 1991.