

LASER DE Nd:YLF BOMBEADO COLINEARMENTE POR LASER DE ARGÔNIO

E. P. Maldonado, I. M. Ranieri, N. D. Vieira Jr. e S. P. Morato

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN-SP
Supervisão de Materiais Optoeletrônicos
P.O.Box 11,049 Pinheiros, São Paulo, Brazil 05549

RESUMO

Desenvolveu-se um laser de Nd:YLF, a partir de um cristal sintetizado em nossos laboratórios, que consiste em um bastão de 4 cm de comprimento com faces em ângulo de Brewster, em uma cavidade de três espelhos com compensação astigmática, e bombeado colinearmente por um laser de Argônio na linha de $\lambda = 514$ nm. O projeto do ressonador óptico, assim como os resultados de uma caracterização preliminar são discutidos. O laser fornece 50 mW c.w. TEM₀₀ para uma potência de bombeio de 800 mW, o que corresponde a uma eficiência da ordem de 6%.

INTRODUÇÃO

Lasers de Nd bombeados longitudinalmente por outros lasers, usualmente lasers de diodo, consistem em sistemas altamente eficientes, com coerência espacial e temporal muito maiores que as de um laser de diodo e com vida útil muito maior que a deste último. Além disso, o feixe óptico gerado por um oscilador de Nd:YLF, por exemplo, pode ser amplificado por amplificadores de Nd:vidro de alto ganho, esquema usualmente utilizado para fusão nuclear por confinamento inercial. As linhas de absorção estreitas, mas intensas, de materiais tais como o Nd:YAG ou Nd:YLF, tornam estes materiais bastante adequados para bombeamento óptico de banda estreita. Quando o feixe de bombeio é colinear com o ressonador (bombeamento longitudinal), a sobreposição entre o volume bombeado e o modo TEM₀₀ pode ser otimizada [1,2], maximizando a eficiência do sistema.

CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

1) O bastão de Nd:YLF.

Um bastão de Nd:YLF foi extraído de um cristal sintetizado em nosso laboratório de crescimento de cristais, de forma que o eixo do bastão (que corresponde aproximadamente à direção de crescimento do cristal) está alinhado com o eixo c cristalino. Com comprimento de 40 mm, as faces deste bastão foram cortadas em ângulo de Brewster para minimizar as reflexões do feixe de bombeio e do feixe intracavidade. O cristal foi caracterizado quanto à absorção do feixe de bombeio, o que resultou em um valor de 0,22 cm⁻¹ para $\lambda_p = 514,5$ nm. Para $\lambda = 488$ nm, a transmissão óptica do bastão é de 95%, o que demonstra as baixas perdas passivas deste elemento. O comprimento de 40 mm do bastão de Nd:YLF, que corresponde a quatro ou oito vezes os comprimentos típicos utilizados para lasers de Nd bombeados por lasers de diodo, é motivado pela baixa absorção do Nd:YLF no comprimento de onda disponível para o bombeio ($\lambda_p = 514,5$ nm).

2) O ressonador idealizado.

O projeto do ressonador inicia-se pelo cálculo da cintura do feixe de bombeio, com a condição de que o comprimento óptico do bastão de Nd:YLF corresponda a duas vezes o parâmetro confocal deste feixe [3]. Assim:

$$\ell_{op} = \frac{2 \cdot \pi \cdot w_p^2}{\lambda_p} \quad (1)$$

onde, $\ell_{op} = n \cdot \ell$; n é o índice de refração do Nd:YLF para a polarização σ (perpendicular ao eixo-c) : $n = 1,45$. Dado que $\ell = 40$ mm, temos :

$$w_p = 69 \mu\text{m} \quad (2)$$

Apesar de ligeiramente diferente deste valor ideal, uma cavidade com $w_p = 64 \mu\text{m}$ e $w_0 = 91,5 \mu\text{m}$ ($w_0 / w_p \cong \sqrt{2}$) pôde ser desenvolvida com o conjunto de espelhos disponíveis no laboratório. O ressonador consiste de um espelho de +5 cm de raio de curvatura, R_1 , um espelho de +1 m de raio de curvatura, R_3 , e um espelho de saída plano, R_2 . O feixe refletido pelo espelho R_1 e o feixe refletido pelo espelho R_3 formam um ângulo de 20° entre si, tendo o espelho R_3 como vértice. O ângulo de incidência de 10° no espelho R_3 compensa exatamente o astigmatismo introduzido pelo bastão em ângulo de Brewster [4]. Dentre outras qualidades, este ressonador possui um feixe de saída com parâmetro confocal de 10 m, o que é conveniente para o ajuste do comprimento da cavidade, para o regime de travamento de modos. O comprimento total do ressonador é igual a 150 cm, o que corresponde a uma separação em frequência de 100 MHz para os modos longitudinais. A distância entre o espelho R_1 e o espelho R_3 deve ser igual a $52,40 \pm 2,3$ cm para satisfazer o intervalo de estabilidade do ressonador. O ressonador projetado possui também uma baixa sensibilidade a desalinhamentos dos espelhos [5,6]. O modo TEM_{00} desse ressonador é mostrado na figura 1. A tabela 1 mostra os parâmetros calculados para o ressonador.

O laser de argônio disponível no grupo é um laser Spectra-Physics modelo 171. O feixe de saída é polarizado verticalmente devido às janelas de quartzo em ângulo de Brewster que delimitam o tubo de argônio. Uma abertura regulável intracavidade, próxima do espelho de saída, permite a seleção do modo TEM_{00} . Acoplado ao espelho de fundo, um prisma permite a seleção de uma das linhas de operação deste laser. A máxima potência de saída corresponde a 2 W em 38 Å, para modo TEM_{00} puro e comprimento de onda igual a 514,5 nm.

O feixe de saída foi então caracterizado quanto à posição e o valor de sua cintura, de onde se obteve uma expressão geral para a propagação deste : $w_0 = 0,39(2)$ mm e $z_0 = -94(6)$ cm, onde a origem do eixo z corresponde ao espelho de saída do laser. Foi utilizado o método da borda de lâmina para esta caracterização [7].

O feixe de bombeio é focalizado por um sistema de duas lentes, injetado na cavidade pelo espelho R_1 , sendo que o ajuste final para a focalização correta é feito através de medidas cuidadosas do feixe, através do método da borda de lâmina. Fisicamente, a distância entre R_1 e R_3 é aumentada, para se estabilizar o ressonador, devido à refração provocada pelo bastão de Nd:YLF, na cintura do feixe. Medidas cuidadosas do desvio na posição desta cintura foram feitas, sendo que não foi possível detectar a presença de efeitos de lente térmica no bastão. A cavidade é então aumentada em 28 mm, no braço entre R_1 e R_3 , para compensar este efeito.

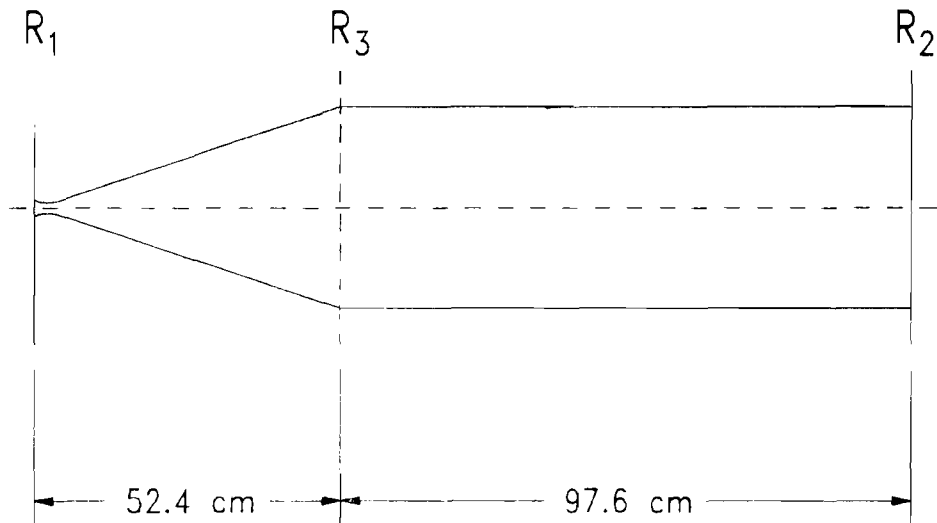


fig.1) Modo TEM_{00} do ressonador desenvolvido para o laser de Nd:YLF bombeado por laser de argônio. O comprimento total corresponde a 150 cm. O espelho R_1 tem +5 cm de raio de curvatura, o espelho R_3 tem +1 m de raio de curvatura, e o espelho de saída R_2 é plano. O feixe refletido pelo espelho R_1 e o feixe refletido pelo espelho R_3 formam um ângulo de 20° entre si, tendo o espelho R_3 como vértice.

	$\lambda = 1053 \text{ nm}$	$\lambda_p = 514,5 \text{ nm}$
Estabilidade do ressonador	$g_1 \cdot g_2 = 0.506$	$g_1 \cdot g_2 = 0.506$
Cintura do feixe esquerda	91,5 μm	64,0 μm
Distância do espelho R_1	23 mm	23 mm
Cintura do feixe direita	1,83 mm	1,28 mm
Distância do espelho R_2	0	0
Cintura do feixe em R_3	1,83 mm	1,28 mm

tab.1) Parâmetros do ressonador para os comprimentos de onda de bombeio e emissão.

3) Caracterização Preliminar.

O laser está atualmente operacional, com limiar para potência de 100 mW de bombeio. A otimização do sistema e a sua completa caracterização estão em andamento. Dados iniciais da potência de saída em função da potência de bombeio são mostrados na figura 2.

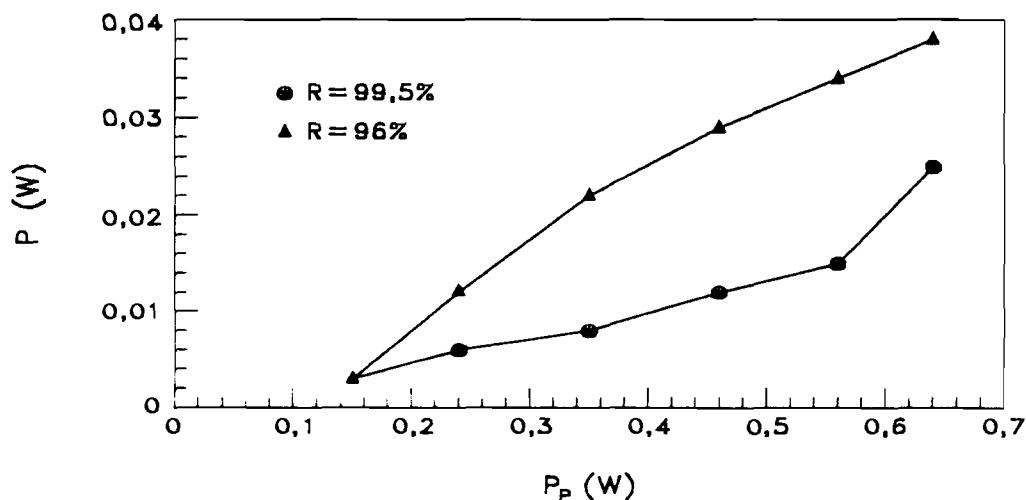


fig.2) Potência de saída do laser de Nd:YLF desenvolvido em função da potência do laser de bombeio, para duas diferentes refletividades do espelho de saída. O laser opera no modo TEM₀₀.

CONCLUSÕES

O laser de Nd:YLF está sendo otimizado e caracterizado quanto aos parâmetros fundamentais da cavidade (coeficiente de ganho, perdas, taxa de bombeio). Através da determinação experimental do perfil espacial do modo TEM₀₀ oscilante e do conhecimento das características geométricas do feixe de bombeio, uma análise dos parâmetros do laser mais detalhada poderá ser realizada. Estudar-se-á também a performance deste sistema no regime de chaveamento-Q. O laser será então estudado com profundidade no regime "mode-locked". Espera-se que, através de uma análise cuidadosa do travamento de modos ativo, efeitos não-lineares tais como auto-modulação de fase e auto-focalização possam ser quantificados nesse sistema, o que irá fornecer o conhecimento necessário para a realização do regime "Kerr lens mode-locking" no laser de Nd:YLF [8].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Laporta,P.; Brussard,M.; "Design Criteria for Mode Size Optimization in Diode-Pumped Solid State Lasers": IEEE J. Quant. Electr. **27** (1991) 2319
- [2] Frauchiger,J.; Albers,P.; Weber,H.P.; "Modeling of Thermal Lensing and Higher Order Ring Mode Oscillation in End-Pumped CW Nd:YAG Lasers": IEEE J. Quant. Electr. **28** (1992) 1046
- [3] Koechner,W.; "Solid State Laser Engineering": (1988) Springer-Verlag, N.Y.
- [4] Kogelnik,H.W.; Ippen, E.P.; Dienes,A.; Shank,C.V.; "Astigmatically Compensated Cavities for CW Dye Lasers": IEEE J. Quant. Electr. **8** (1972) 373
- [5] Magni,V.; "Resonators for Solid-State Lasers With Large-Volume Fundamental Mode and Alignment Stability", Appl. Opt. **25**, (1986) 107
- [6] Silvestri,S.; Laporta,P.; Magni,V.; "Misalignment sensitivity of solid-state laser resonators with thermal lensing", Opt. Commun. **59**, (1986) 43
- [7] Khosrofián,J.M.; Garctz,B.A.; "Measurement of a Gaussian Laser Beam Diameter Through the Direct Inversion of Knife-Edge Data": Appl. Opt. **22** (1983) 3406
- [8] Liu,K.X.; Flood,C.J.; Walker,D.R.; van Driel,H.M.; "Kerr Lens Mode Locking of a Diode-Pumped Nd:YAG Laser": Optics Lett. **17** (1992) 1361