

LASER DE CENTRO DE COR

GREGÓRIO PEREIRA PRIMO E NILSON DIAS VIEIRA JUNIOR

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
CAIXA POSTAL 11049 - CEP: 05499
SÃO PAULO - BRASIL

RESUMO

É dada a descrição do aparato experimental de um laser de centro de cor, desde o criostato, cavidade ressonante até os cristais laser ativos e como prepará-los.

São estudados os cristais de KCl e NaCl com centros de cor de $Tl^{0(1)}$ e F_2^+ , respectivamente, que emitem na região espectral de 1,5 μm . Além disso é discutida a reversão da cavidade laser operando de modo linear para uma operação do modo em anel.

1. INTRODUÇÃO

Alguns centros de cor em cristais haletos alcalinos são eficientes como meios ativos para lasers sintonizáveis na região do infravermelho próximo. Estes centros de cor cobrem a região espectral de 800 nm até 4,0 μm e são capazes de gerar pulsos curtos e ultracurtos.

Estes cristais lasers operam a baixas temperaturas (LNT) e, portanto, é necessária a sua utilização em uma cavidade criogênica.

As primeiras idéias de se utilizar centros de cor em haletos alcalinos como meios ativos, foram desenvolvidas por Fritz e Menke [1] e, posteriormente, lasers de centro de cor se tornaram tecnologicamente viáveis com os trabalhos de Linn Mollenauer [2].

De um modo geral, centros de cor podem ser formados de maneira controlada por irradiação ou por coloração aditiva. Nestes processos, formam-se centros F (vacância aniônica com um elétron armadilhado), seus agregados (F_2, F_2^+, \dots) e seus complexos ($F_A, Tl^{0(1)}, \dots$).

Neste trabalho são descritas duas cavidades lasers para operarem centros de cor nas quais serão estudados os centros de $Tl^{0(1)}$ em KCl e F_2^+ em NaCl, cujas emissões são bandas largas, na região de 1,5 μm .

A configuração destas cavidades é capaz de atender a utilização de vários outros cristais com centros diversos possibilitando o estudo da emissão laser em vários comprimentos de onda, além de permitir o estudo de geração de pulsos ultracurtos ou, inversamente, de gerar comprimentos de onda

muito bem definidos com aplicação em espectroscopia de alta resolução.

2. ARRANJO EXPERIMENTAL

Um sistema de refrigeração criogênica do cristal laser ativo é necessário, pois a maioria dos centros de cor são instáveis a temperatura ambiente ou sofrem efeitos fototérmicos. Além disso a eficiência quântica de luminescência, em geral, diminui com o acréscimo da temperatura.

Temos também que, devido as altas seções de choque e aos curtos tempos de decaimento, faz-se necessário desenhos de cavidades ressonantes que possibilitem uma focalização intracavidade, onde o modo do feixe é altamente concentrado, além de ser desejável um comprimento de cavidade suficiente para fins de sintonia [4]. Estes requerimentos são satisfeitos por ressonadores de 3 espelhos que formam a chamada cavidade linear, facilmente operável. Uma cavidade em anel, no entanto, é mais eficiente, pois permite evitar o problema de "hole-burning" espacial, aumentando a potência de saída para operação em frequência única [5]. O hole-burning espacial ocorre na configuração linear devido às ondas estacionárias dentro da cavidade, enquanto que na configuração em anel pode-se obter ondas viajantes, quando operado no modo unidirecional.

2.1. Criostato

Desenvolvemos um criostato, baseado no modelo desenhado por Mollenauer [3], que armazena nitrogênio líquido durante aproximadamente 65 horas e que permite refrigerar o cristal a temperatura de N, líquido e cessar a operação no momento desejado numa operação rápida.

Tal criostato consiste basicamente de um bojo interno, utilizado como reservatório, isolado do calor proveniente do ambiente, tendo uma extensão flexível, que chamaremos "dedo frio", que por acionamento externo pode abaixar até o suporte do cristal que será refrigerado. Este criostato é acoplado na cavidade óptica do laser e está esquematizado na figura 1.

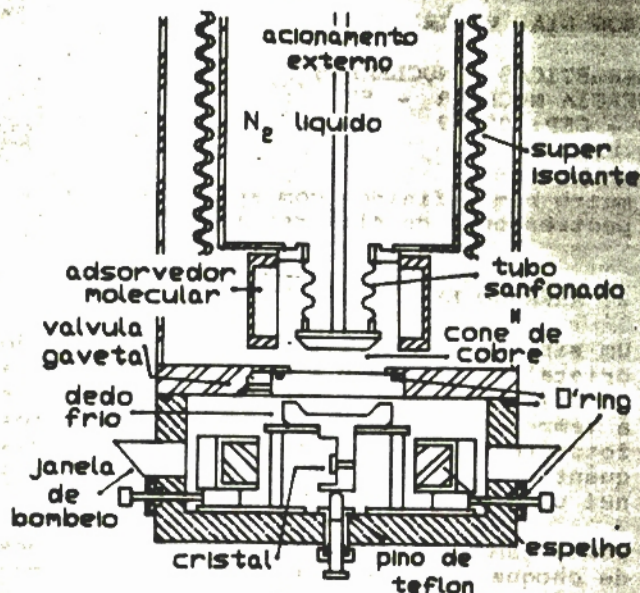


FIGURA 1. Criostato

A transferência de calor no criostato, se dá por condução e por radiação sendo que estas podem ser calculadas como se segue:

$$\frac{dQ_{\text{cond.}}}{dt} = \frac{A \lambda(T) \Delta T}{h}$$

onde $\lambda(T) = 0,123 \text{ W/cm} \cdot \text{deg}$ para o aço inox, A é a área de transmissão, h é o comprimento do tubo transmissor e ΔT a variação de temperatura.

$$\frac{dQ_{\text{rad.}}}{dt} = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{deg}^4$, A é a área de radiação, ϵ é a emissividade do material, T_1 e T_2 as temperaturas envolvidas. Deste modo vê-se que deve-se ter a menor área de condução possível. Para tal, usamos um tubo de aço inox de 0,2 mm de espessura para unir os bojos interno e externo e como dedo frio usamos uma peça de cobre, pois queremos boa condutividade térmica para refrigerar o cristal. Ao dedo frio estão soldados um fole metálico que o une ao bojo interno e uma haste que permite seu acionamento externo. Também devemos ter um bom vácuo entre os bojos reduzindo a condução por ar, sendo então de grande importância as soldas do criostato.

Para a redução de transmissão de calor por radiação, além de um polimento no bojo interno para aumentar a reflexão, nós o revestimos com mylar aluminizado, que possui um lado isolante e o outro altamente refletor para o infravermelho (calor) reduzindo assim, a emissividade envolvida, pois para o alumínio ela é a metade da emissividade do aço inox.

Uma gaiola contendo adsorvedor molecular é colocada ao redor do fole metálico, aprisionando água do ar e melhorando seu desempenho.

Este sistema mostrou-se eficiente e muito prático sendo utilizado de forma rotineira em nossos laboratórios.

2.2. Cavidade Linear

A cavidade linear possui uma configuração baseada em um sistema ressonador de 3 espelhos, onde o cristal com os centros de cor laser ativo é posicionado no foco, como mostra a figura 2, em ângulo de Brewster para reduzir ao máximo as perdas por reflexão.

Um parâmetro importante deste sistema, é o intervalo de estabilidade dado por [4]:

$$\delta_{\text{min}} = \frac{f^2}{(d_2 - R_2 - f)}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{f^2}{(d_2 - f)}$$

onde f e d_2 estão representados na figura 2 e R_2 é o raio de curvatura do espelho M_2 da mesma figura.

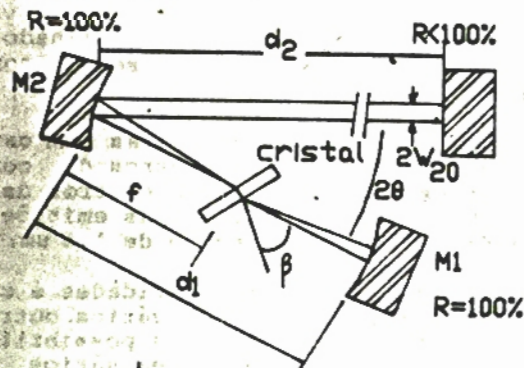


FIGURA 2. Ressonador de 3 espelhos.

Esta cavidade está enclausurada por um corpo de alumínio, de modo a podermos sobrepôr a ela o criostato, já descrito. Além do mais, a ela está associado o sistema de vácuo, necessário para evitar a deterioração da superfície do cristal, que normalmente é higroscópico, além da absorção de água interferir na região do infravermelho próximo.

Para reduzir perdas por reflexão dos feixes de bombeio e resultante, as janelas ópticas de entrada e saída do feixe estão posicionadas em ângulo de Brewster.

A configuração final na qual trabalhamos está esquematizada na figura 3.

A fim de maximizar o desempenho do laser, desenvolvemos dois sistemas micrométricos de posicionamento para os espelhos. O primeiro atua sobre o conjunto constituído pelos espelhos M₁ e M₂, pelo cristal e lente L, e ajusta o feixe no cristal. O segundo sistema atua apenas sobre o espelho M₂, servindo para sintonizar o intervalo de estabilidade. Ambos os sistemas possuem controle externo ao sistema de vácuo.

Em nossa configuração o cristal está no foco do espelho M₂, de raio de curvatura R₂ = 50 mm e no centro de curvatura do espelho M₁, de raio de curvatura R₁ = 25 mm. O ângulo entre os dois braços do laser é de 2θ = 20° para compensar o astigmatismo introduzido pelo cristal que possui espessura aproximada de 2 mm. [4].

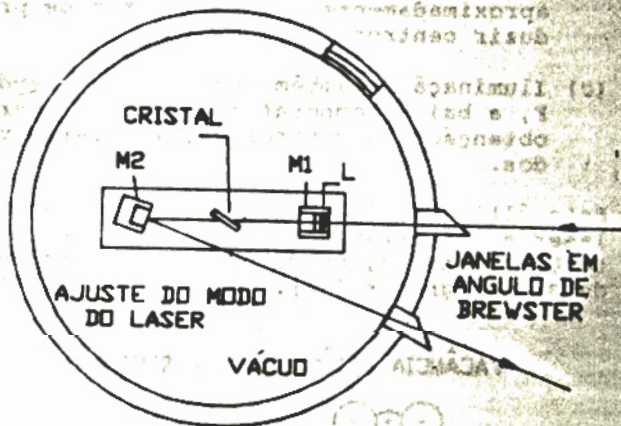


FIGURA 3. Cavidade Linear

2.3. Cavidade em Anel

Ao contrário da cavidade linear, na cavidade em anel pode-se obter uma operação unidirecional através de um espelho extra acoplado como mostra o esquema conceitual da figura 4 [6], evitando as ondas estacionárias e aumentando assim, a eficiência do laser num único modo longitudinal. Este espelho adicional não influencia as

frequências nas quais esta cavidade oscila, apenas direciona a onda na cavidade.

A configuração na qual trabalhamos está esquematizada na figura 5 e possui um intervalo de estabilidade dado por [7]:

$$0 < \delta < \frac{4f^2}{(d - 2f)}$$

onde f é a distância focal dos espelhos e d é o comprimento total dos braços da cavidade.

Como na cavidade linear, temos o sistema enclausurado de modo a podermos acoplar a ele o criostato e ainda fazermos vácuo para proteção do cristal. As janelas ópticas e os sistemas de ajuste dos espelhos são idênticos à cavidade linear, com a diferença que ambos os espelhos estão inclinados de 2θ = 20° em relação ao feixe incidente.

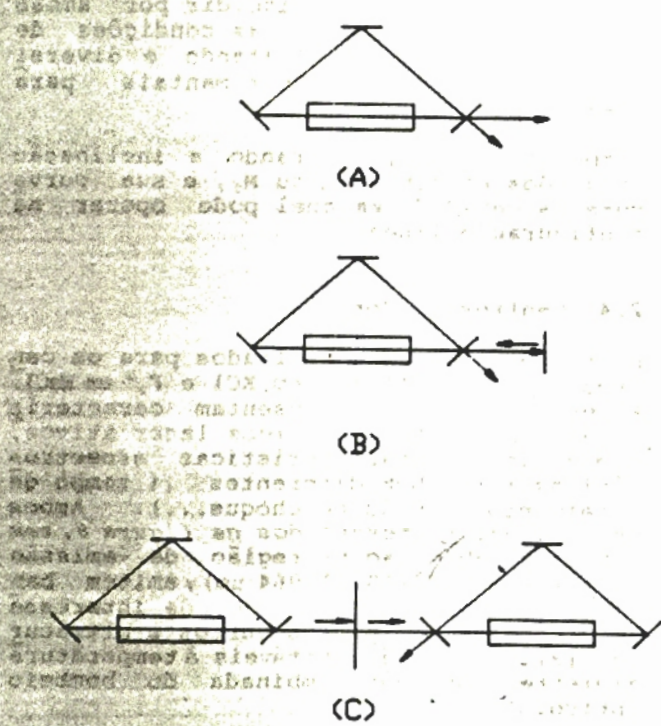


FIGURA 4. Esquema conceitual de operação unidirecional da cavidade em anel. (a) Laser em anel. (b) Laser em anel com um espelho extra. (c) Diagrama conceitual do laser em anel com um espelho extra.

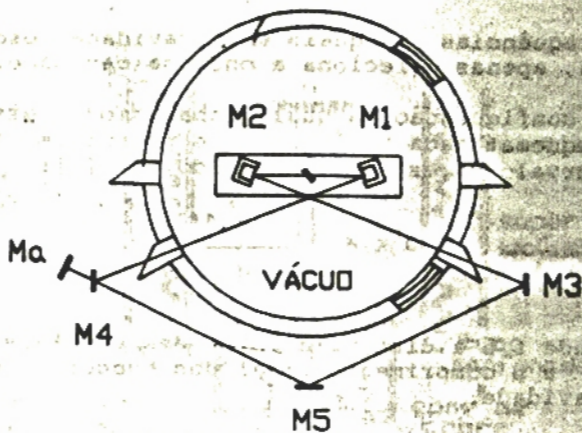


FIGURA 5. Cavidade em Anel

Em nossa configuração, o cristal está posicionado em ângulo de Brewster no foco coincidente dos dois espelhos, M_1 e M_2 , que possuem mesmo raio de curvatura $R_1 = R_2 = 50$ mm.

Este desenho de cavidade, além de muito compacta, é totalmente simétrico, permitindo ao feixe de bombeio incidir por ambas as direções sem alterar as condições de operação do laser, facilitando a diversificação dos arranjos experimentais para futuros projetos.

Também temos que, alterando a inclinação de um dos espelhos M_1 ou M_2 , e sua curvatura, a cavidade em anel pode operar na configuração linear.

2.4. Centros de Cor

Nossos estudos estão voltados para os centros de cor de $Tl^{O(1)}$ em KCl e F_2^+ em NaCl. Estes dois centros apresentam características semelhantes como meios laser ativos, apesar de suas características espectroscópicas serem bem diferentes (tempo de decaimento, secção de choque...). Ambos os centros, representados na figura 6, tem bandas de absorção na região de emissão do laser de Nd:YAG ($1,064 \mu m$), emitem banda larga na região de $1,5 \mu m$, de interesse na propagação de pulsos curtos e ultracurtos [8]. Ambos são instáveis à temperatura ambiente, com ação combinada do bombeio óptico.

Os centros de $Tl^{O(1)}$ em KCl são obtidos em cristais de KCl contendo $\approx 0,3$ mol % de TlCl. Nestes cristais são criadas grandes quantidades de centros F ($\approx 10^{18}/cm^3$), por meio de irradiação com um feixe de elétrons de $100 \mu A/cm^2$ min, a temperaturas de $-100^\circ C$. Após formados os centros F, nova irradiação com luz branca de alta intensidade a temperatura aproximada de

$30^\circ C$ por uns 15 min., converte grande parte destes centros em centros de $Tl^{O(1)}$ [9], que então são estáveis para armazenamento a temperatura ambiente. O processo de fotoagregação decorre da ionização dos centros F e a subsequente mobilidade das vacâncias à essa temperatura.

Os centros F_2^+ em NaCl possuem alta mobilidade, sofrendo reorientação durante o processo de bombeio, limitando o tempo de utilização destes centros, em altas intensidades, a poucas horas.

Um passo decisivo para se obter uma emissão laser estável, foi a descoberta do centro $(F_2^+)_H$, o qual consiste de centros F_2^+ associados a impurezas aniônicas do plamente carregadas. Tal centro pode ser obtido em cristais de NaCl dopados com OH^- que por coloração aditiva, forma o centro $F_2^+ : O^{--}$ que apresenta uma operação laser estável [10], sendo que a concentração de OH^- deve ser em torno de 10 - 40 ppm para uma pressão de coloração em torno de 20 Torr.

O procedimento de formação dos centros $(F_2^+)_H$ em NaCl:OH⁻ está descrito na literatura e consiste dos seguintes passos:

- Coloração aditiva do cristal em vapor de metal alcalino (Na, no nosso caso), produzindo centros F e defeitos O^{--} ;
- Fotoagregação à temperatura ambiente com luz da banda F (400 - 500 nm) por aproximadamente 30 min., a fim de produzir centros F_2^+ ;
- Iluminação, também com luz da banda F, a baixa temperatura (77 K), para obtenção dos centros $(F_2^+)_H$ perturbados.

Este último estágio, que deixa o centro laser ativo estável, ainda não é totalmente compreendido, sendo objeto de estudo de alguns grupos [11].

VACÂNCIA ANIÔNICA — SÍMBOLO

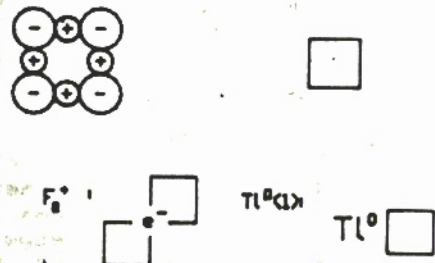


FIGURA 6. Representação da vacância aniônica, centros F, F_2^+ e $Tl^{O(1)}$.

3. CONCLUSÃO

Descreveu-se os principais aspectos tecnológicos de construção de um laser de centro de cor. Em particular, para uma operação rotineira do laser é necessário um sistema criogênico versátil, que possibilite a sua operação por períodos prolongados. Esse criostato foi construído e está descrito no texto. Além disso, ênfase foi dada na obtenção dos meios laser ativos de $Tl^{+}(1)$ em KCl e F_2^{+} em $NaCl$, que emitem na região de $1,5\mu m$, importante para simulação de processos em telecomunicações ópticas. Já foi obtida ação laser nesse sistema, num esquema de cavidades acopladas, descrito em outro trabalho [9].

4. REFERÊNCIAS

- [1] B. Fritz and E. Menke, Solid State Commun., 3, 61 (1965).
- [2] L.F. Mollenauer and D.H. Olson, J. Appl. Phys., 46, 3109 (1975).
- [3] L.F. Mollenauer, ed., "Tunable Lasers", 227, Springer-Verlag, Berlin (1987).
- [4] H.W. Kogelnik, E.P. Ippen, A. Dienes, C.V. Shank, IEEE J. Quantum Electronics, QE-8, 373 (1972).
- [5] G. Phillip, P. Hinske, W. Demtroder, K. Mollmann and R. Beigang, Appl. Phys., B47, 127 (1989).
- [6] F.R. Faxvog, Opt. Lett., 5, 285 (1980).
- [7] W.W. Rigrod, Bell Syst. Tech. J., 44, 907 (1965).
- [8] L.F. Mollenauer and R.H. Stolen, Opt. Lett., 9, 13 (1984).
- [9] N.D. Vieira Jr., L.S. Assis and S.P. Morato, Opt. Commun., 79, 71 (1990).
- [10] J.F. Pinto, E. Georgiou and C.R. Pollock, Opt. Lett., 11, 519 (1986).
- [11] G. Lifante, P. Silfsten and F. Cussó, Phys. Rev., B40, 9925 (1989).