# LASER DE CENTRO DE COR

#### GREGORIO PEREZ PEIRO 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 crios tato, cavidade ressonante até os cristais laser ativos e como prepará-los.

São estudados os cristais de KCle NaCl com centros de cor de  $Tl^{O}(1) = F_{2}^{+}$ , respectiva mente, que emitem na região espectral de l,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 à baixas tem peraturas (LNT) e, portanto, é necessária a sua utilização em uma cavidade criogên<u>i</u> ca.

As primeiras idéias de se utilizar centros de cor em haletos alcalinos como meios ati vos, 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 irradia ção ou por coloração aditiva. Nestes processos, formam-se centros F (vacância aniônica com um elétron armadilhado), seus agregados ( $F_2$ ,  $F_2^+$ ...) e seus complexos ( $F_A$ , Tl<sup>O</sup>(1)...).

Neste trabalho são descritas duas cavidades lasers para operarem centros de cor nas quais serão estudados os centros de  $Tl^{O}(1)$ em KCl e F<sub>2</sub><sup>+</sup> 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 cris tais com centros diversos possibilitando o estudo da emissão laser em vários compri mentos de onda, além de permitir o estudo de geração de pulsos ultracurtos ou, inver samente, de gerar comprimentos de onda muito bem definidos com aplicação em es pectroscopia 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 à temperatura ambiente ou sofrem efeitos fototérmicos. Além disso a eficiência quântica de luminescência, em geral, dimi nui com o acréscimo da temperatura.

Temos também que, devido as altas secções de choque e aos curtos tempos de decaimen to, faz-se necessário desenhos de cavida des ressonantes que possibilitem uma foca lização intracavidade, onde o modo do feixe é altamente concentrado, além de ser desejável um comprimento de cavidade suficiente para fins de sintonia [4]. Es, tes requerimentos são satisfeitos por res sonadores de 3 espelhos que formam a cha mada cavidade linear, facilmente operavel. 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 fre quência 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, guando ope rado no modo unidirecional.

#### 2.1. Criostato

Desenvolvemos um criostato, baseado no mo delo desenhado por Mollenauer [3], que armazena nitrogênio líquido durante apro ximadamente 65 horas e que permîte refri gerar o cristal à temperatura de N<sub>2</sub> líqui do 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 chamare mos "dedo frio", que por acionamento externo pode abaixar até o suporte do cristal que será refrigerado. Este crios tato 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:

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

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

$$\frac{dQ_{rad.}}{dt} = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \frac{\varepsilon}{2}$$

onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-12} \, \text{W/cm}^2 \, \text{.deg}^4$ , A é a área de radiação, ε é a emissividade do material, T1 e T2 as temperaturas envol vidas. 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 ex terno 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 permi te 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 pos sui um lado isolante e o outro altamente refletor para o infravermelho (calor) redu zindo 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,apri sionando água do ar e melhorando seu de sempenho.

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

# 2.2. Cavidade Linear

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

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

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

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.

Revista Brasileira de Aplicação de Vácuo, Vol. 10, nº 1, 1991

Esta cavidade está enclausurada por um corpo de alumínio, de modo a podermos so brepor a ela o criostato, já descrito.Além do mais, a ela está associado o sistema de vácuo, necessário para evitar a deteriora ção da superfície do cristal, que normal mente 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 posicio nadas 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 pri meiro atua sobre o conjunto constituído pelos espelhos  $M_1 \in M_2$ , pelo cristal e len te L, e ajusta o feixe no cristal. O segun do sistema atua apenas sobre o espelho  $M_2$ , 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  $M_2$ , de raio de curvatura  $R_2 = 50 \text{ mm}$  e no centro de curvatura do es pelho  $M_1$ , de raio de curvatura  $R_1 = 25 \text{ mm}$ . O ângulo entre os dois braços do laser é de 2  $\theta = 20^{\circ}$  para compensar o astigmatismo introduzido pelo cristal que possui espes sura aproximada de 2 mm [4].



# 2.3. Cavidade em Anel

Ao contrário da cavidade linear, na cavida de em anel pode-se obter uma operação uni direcional através de um espelho extra aco plado como mostra o esquema conceitual da figura 4 [6], evitando as ondas estacioná rias e aumentando assim, a eficiência do laser num único modo longitudinal. Este espelho adicional não influencia as the state of the second second second states we are second states we are second so and second s

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

A configuração na qual trabalhamos está esquematizada na figura 5 e possui um in tervalo 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 ópti cas e os sistemas de ajuste dos espelhos são idênticos a cavidade linear, com a diferença que ambos os espelhos estão in clinados de 2  $\theta$  = 20° em relação ao feixe incidente.









(B)

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



FIGURA 5. Cavidade em Anel

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

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

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

#### 2.4. Centros de Cor

Nossos estudos estão voltados para os cen, tros de cor de  $Tl^{O}(1)$  em KCl e  $F_{2}^{+}$  em NaCl. Estes dois centros apresentam caracterís ticas semelhantes como meios laser ativos, apesar de suas características espectros cópicas 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 µm), emitem ban da larga na região de 1,5µm, de interesse na propagação de pulsos curtos e ultracur tos [8]. Ambos são instáveis à temperatura ambiente, com ação combinada do bombeio óptico.

Os centros de Tl<sup>O</sup>(1) em KCl são obtidos em cristais de KCl contendo  $\approx 0,3 \mod \$$  de TlCl. Nestes cristais são criadas grandes quantidades de centros F ( $\approx 10^{16}/\text{cm}^3$ ), por meio de irradiação com um feixe de elé trons de 100  $\mu$  A/cm<sup>2</sup> min, a temperaturas de - 100<sup>o</sup>C. Após formados os centros F, nova irradiação com luz branca de alta intensidade a temperatura aproximada de Review Breakleica de Adlicação de Vácua, Vol., 10, 4º 1, 199

-  $30^{\circ}$ C por uns 15 min., converte grande parte destes centros em centros de Tl<sup>o</sup>(1) [9], que então são estáveis para armazena mento 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,<sup>+</sup> em NaCl possuem alta mobi lidade, sofrendo reorientação durante o processo de bombeio, limitando o tempo de utilização destes centros, em altas inten sidades, a poucas horas.

Um passo decisivo para se obter uma emis, são laser estável, foi a descoberta do centro  $(F_2^+)_H$ , o qual consiste de centros  $F_2^+$  associados a impurezas aniônicas du 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 concentra ção 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 lit ratura e consiste dos seguintes passos:

- (a) Coloração aditiva do cristal em vapor de metal alcalino (Na, no nosso caso), produzindo centros F e defeitos 0<sup>--</sup>;
- (b) Fotoagregação à temperatura ambiente com luz da banda F (400 - 500 nm) por aproximadamente 30 min., a fim de pro duzir centros  $F_2^+$ ;
- (c) Iluminação, também com luz da banda F, a baixa temperatura (77 K), para obtenção dos centros (F<sub>2</sub><sup>+</sup>)<sub>H</sub> perturba dos.

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





## 3. CONCLUSÃO

Descreveu-se os principais aspectos tecno lógicos de construção de um laser de cem tro de cor. Em particular, para uma opera ção rotineira do laser é necessário um sis tema criogênico versátil, que possibilite a sua operação por períodos prolongados.Es se criostato foi construído e está descri to no texto. Além disso, ênfase foi dado na obtenção dos meios laser ativos de Tl<sup>O</sup>(1) em KCle F<sub>2</sub><sup>+</sup> em NaCl, que emitem na região de 1,5µm, 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., <u>3</u>, 61 (1965).
- [2] L.F. Mollenauer and D.H. Olson, J. Appl. Phys., <u>46</u>, 3109 (1975).

- [3] L.F. Mollenauer, ed., "Tunable Lasers", 227, Springer-Verlag, Berlim (1987).
  - [4] H.W. Kogelnik, E.P. Ippen, A. Dienes, C.V. Shank, IEEE J. Quantum Electronics, <u>QE-8</u>, 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., <u>44</u>, 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., <u>79</u>,71 (1990).

  - [11] G. Lifante, P. Silfsten and F. Cussó, Phys. Rev., B40, 9925 (1989).