

MEDIDAS DE GANHO EM LASER DE CO₂ CW DE BAIXA PRESSÃO.

N.A.S.Rodrigues, J.B.Chanes Jr e K.Jayaram
CTA-IEAv - S.José dos Campos

Neste trabalho é apresentada uma série de medidas de ganho em laser de CO₂ CW de baixa pressão que foram realizadas com o propósito de estudar o comportamento de um amplificador laser de CO₂ com os parâmetros pressão e corrente de descarga. São também apresentados um modelo teórico, baseado em equações de taxa, usado para descrever o comportamento do laser e o procedimento experimental adotado.

Laser de CO₂, ganho, física molecular.

1. INTRODUÇÃO

No laboratório de Lasers de Alta Potência (LAP) da Divisão de Laser estão sendo desenvolvidos vários tipos de lasers de CO₂, entre contínuos e pulsados, e um parâmetro fundamental para a caracterização destes lasers é o ganho. O ganho, neste contexto, é encarado de modo similar ao ganho de circuitos eletrônicos, já que o laser é, a rigor, um amplificador de radiação.

2. O LASER DE CO₂.

O laser de CO₂ emite radiação no infravermelho, com comprimentos de onda entre 9 e 11 μ m, aproximadamente. As transições que caracterizam a emissão laser em CO₂ são vibracional-rotacionais entre níveis excitados próximos do estado fundamental.

2.1 ESPECTROS VIBRACIONAL E ROTACIONAL.

A molécula de CO₂ é uma molécula simples, linear e simétrica, cujo espectro de absorção, principalmente no infravermelho, é bem conhecido (Courtoy-1957). Possui três modos/

normais de vibração : estiramento simétrico, flexão dupla - mente degenerada e estiramento assimétrico (fig. 1), indicada pela sequência de números $n_1 n_2^m n_3$, onde o índice m indica o momento angular associado ao modo de flexão.

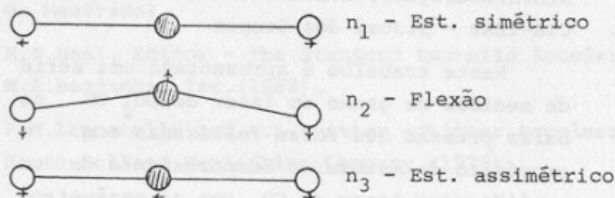


Fig. 1 Modos normais de vibração da molécula de CO_2 .

As principais transições onde ocorre emissão laser em CO_2 são: $00^0 1 \rightarrow 10^0 0$, com $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ e $00^0 1 \rightarrow 02^0 0$, com $\lambda = 9.6 \mu\text{m}$.

Como os níveis de interesse para ação laser em CO_2 são níveis vibracionais próximos ao estado fundamental, pode-se descrever os espectros vibracional e rotacional através dos modelos de oscilador harmônico e rotor rígido, com boa precisão (Demaria-1973, Tychinskiy-1967).

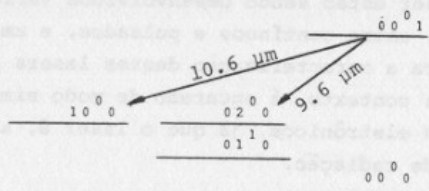


Fig. 2 Níveis vibracionais da molécula de CO_2 de interesse na ação laser.

2.2 PROCESSOS DE EXCITAÇÃO E RELAXAÇÃO.

Dois processos são importantes na excitação da molécula de CO_2 : colisão com elétrons e transferência ressonante/ de energia da molécula de N_2 excitada em seu primeiro estado vibracional para a molécula de CO_2 .

A adição de N_2 no laser de CO_2 é efetuada com a finalidade de aumentar a taxa de excitação do CO_2 para o nível $00^0 1$, pois a energia da molécula de N_2 excitada em seu pri-

meiro estado vibracional difere em apenas 18 cm^{-1} , portanto menos que KT , da energia do nível 00^0_1 da molécula de CO_2 , favorecendo a transferência ressonante de energia entre estas moléculas. Além disso, a excitação do N_2 por colisão / com elétrons é mais eficiente que a excitação do CO_2 pelo mesmo processo (Nighan-1970, Lowke et al.-1973).

A relaxação dos níveis inferiores de laser ocorre principalmente por processos colisionais. A adição de He é efetuada com a finalidade de favorecer este processo (Taylor / et al.-1969, Levinson et al.-1969).

3. MODELO TEÓRICO.

A hipótese simplificadora para a construção do modelo/ teórico é considerar os estados excitados no modo de estiramento assimétrico (00^0_1 , 00^0_2 , etc.) como um mesmo nível, o nível superior do laser, e considerar os excitados nos modos 10^0_0 , 01^1_0 e 02^0_0 como um outro nível, o nível inferior do laser. A fig. 3 mostra esta hipótese simplificadora.

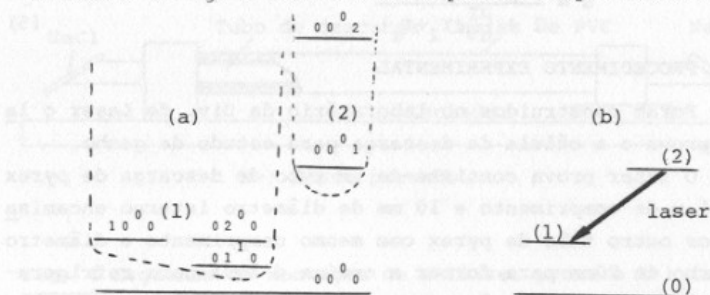


Fig. 3 a.) Hipótese simplificadora; b-) Modelo utilizado.

Esta hipótese é justificada pelo fato de haver um forte acoplamento entre as populações dos níveis indicados por (2) na fig.3, o mesmo ocorrendo entre as populações dos níveis indicados por (1) (Demaria-1973, Tychinskiy-1967, Du - ley-1976, Moore et al.-1967).

Desta maneira podemos escrever as equações de taxa para as populações dos níveis como

$$\dot{N}_2 = W_p N_0 - \frac{\sigma I}{h\nu} (N_2 - N_1) - \frac{N_2}{\tau_2} \quad (1)$$

$$\dot{N}_1 = \frac{\sigma I}{h\nu} (N_2 - N_1) - \frac{N_1}{\tau_1} \quad (2)$$

onde: N_1 = população do i-ésimo nível;

W_p = taxa de bombeamento;

σ = secção reta de emissão estimulada (ou de absorção)

$h\nu$ = energia do fóton emitido ou absorvido;

I = intensidade da radiação no meio ativo;

τ_1 = tempo de vida do i-ésimo nível.

Chamando $\Delta N = N_2 - N_1$, e assumindo regime estacionário / de operação (CW), ou $\dot{N}_2 = \dot{N}_1 = 0$, obtém-se

$$\Delta N = \frac{W_p N_0 \tau_2}{1 + \frac{\sigma I}{h\nu} (\tau_2 + \tau_1)} \quad (3)$$

e como o ganho é dado por

$$\alpha = \sigma \Delta N \quad \text{então} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\sigma W_p N_0 \tau_2}{1 + \frac{\sigma I}{h\nu} (\tau_2 + \tau_1)} \quad (5)$$

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

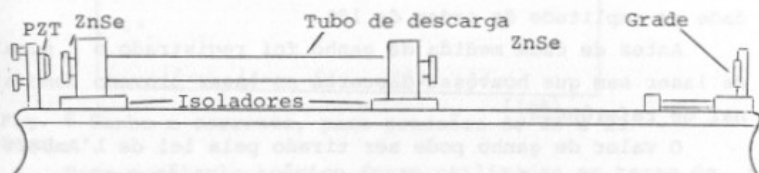
Foram construídos no laboratório da Div. de Laser o laser prova e a célula de descarga para estudo de ganho.

O laser prova consiste de um tubo de descarga de pyrex com 1 m de comprimento e 10 mm de diâmetro interno encamisado por outro tubo de pyrex com mesmo comprimento e diâmetro interno de 20mm para formar a camisa d'água para refrigeração. Ambos os tubos são suportados por duas peças usinadas/ de alumínio que são também os eletrodos da célula de descarga. A vedação de vácuo entre os tubos e os eletrodos foi feita por anéis de borracha. Duas janelas de ZnSe com revestimento antirrefletor são utilizadas para fechar o sistema, suportadas por flanges de nylon sobre anéis de borracha. A cavidade óptica utilizada consiste de uma grade de difração com 80 linhas/mm, quadrada com 15 mm de lado e um espelho / de acoplamento plano de germânio sem revestimento. A cavidade de plano-plano não favorece a estabilidade de funcionamento do laser, mas no momento em que foram efetuadas as medidas/

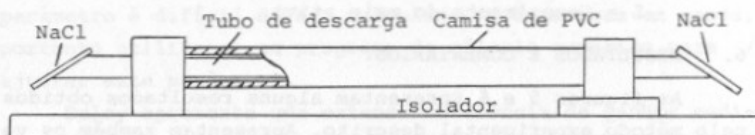
não eram disponíveis espelhos esféricos de acoplamento.

Os eletrodos (devidamente isolados) e os suportes da / óptica de cavidade são fixos em um trilho de trem de 2 m de comprimento para estabilidade mecânica.

No anodo há um acoplamento para ligação com bomba de vácuo "PFEIFFER" modelo UNO-030-A. No catodo há um acoplamento para entrada de mistura de gases (10% CO_2 , 10% N_2 e / 80% He).



a-) Laser prova.



b-) Laser provado.

Fig. 4 Esquemas de montagem do a-) laser prova e b-) laser provado.

O sinal perdido pela grade de difração no laser prova, é lido por uma termopilha "COHERENT RADIATION" modelo 201 e, após convertido em sinal elétrico, é fornecido a um circuito de estabilização que controla o PZT sobre o qual está fixado o espelho de acoplamento.

A célula de descarga estudada foi construída de maneira bastante similar, com a diferença de que o tubo de descarga tem 1,5 m de comprimento e 15,6 mm de diâmetro interno; a camisa d'água é feita em tubo de PVC de 1 1/4" e o tubo interno é fechado por duas janelas de NaCl em ângulo /

de Brewster.

5. ARRANJO EXPERIMENTAL

Os dois lasers anteriormente descritos foram alinhados de modo que o feixe emergente do laser prova passasse pelo/ laser provado e fosse lido por um detetor calorimétrico / "SCIENTECH" mod. 362. O sinal lido, transformado em sinal / elétrico pelo detetor, foi registrado em um registrador gráfico "HP" mod. 7046-A. O laser prova foi sintonizado na linha P(20) e operou com uma potência de 100 mW, com estabilidade em amplitude da ordem de 10%.

Antes de cada medida de ganho foi registrado o sinal de laser sem que houvesse descarga no laser provado como sinal de referência.

O valor de ganho pode ser tirado pela lei de L'Ambert

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln(I/I_0) \quad (6)$$

onde: I = Intensidade do sinal amplificado;

I_0 = Intensidade do sinal de referência;

L = Comprimento do meio ativo.

6. RESULTADOS E COMENTÁRIOS.

As figuras 5 e 6 apresentam alguns resultados obtidos pelo método experimental descrito. Apresentam também os valores teóricos calculados pelo modelo também descrito, indicados por linhas contínuas.

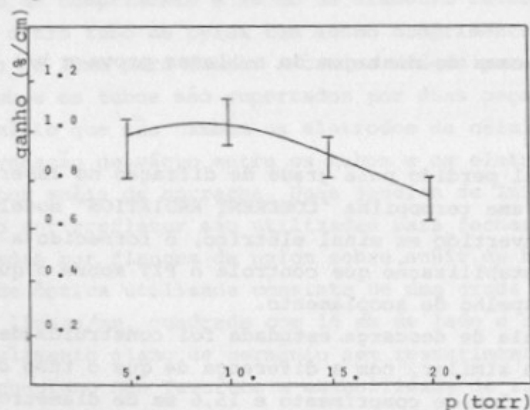


Fig. 5 Ganho x pressão, para uma corrente de 20 mA.

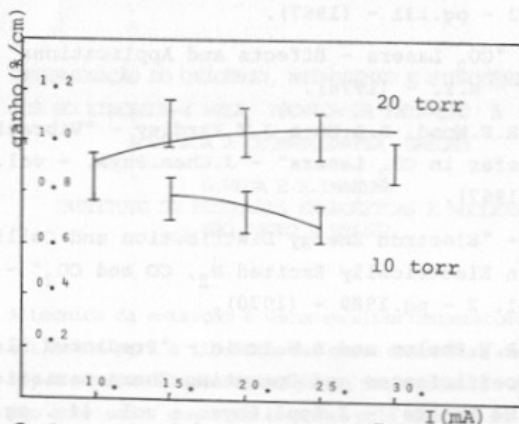


Fig. 6 Ganho x corrente, para pressões de 10 e 20 torr.

Para o cálculo teórico foram utilizadas as taxas de bombeamento apresentadas por Nighan. As taxas de bombeamento dependem da energia dos elétrons, e esta última depende da relação campo elétrico por população (E/N). Este último parâmetro é difícil de ser calculado em descargas em gases, portanto utilizamos um programa de cálculo numérico para ajustar este parâmetro.

Duley apresenta uma extensa referência de ganhos medidos e calculados. Os valores apresentados neste trabalho concordam bastante bem com aqueles verificados em sistemas semelhantes.

7. AGRADECIMENTOS.

Agradecemos ao Dr. Reginaldo dos Santos, diretor do Instituto de Estudos Avançados, e ao Dr. Cesar C. Ghizoni, chefe da Divisão de Laser, pelo apoio incondicional.

8. REFERÊNCIAS.

- C.P. Courtoy - "Spectres de Vibration-Rotation de Molecules Simples Diatomique ou Polyatomique avec long Parcours d'Absorption" - Can.J. Phys. - vol. 35 - pg 608 - (1957).
- A.J. Demaria - "Review of CW High-Power CO₂ Lasers" - Prog. IEEE - vol. 61 - pg. 731 - (1973) -
- V.P. Tychinskiy - "Powerful Gas Lasers" - Sov. Ph. Usp. -

vol. 10 . n° 2 - pg.131 - (1967).

- W.W.Duley - "CO₂ Lasers - Effects and Applications" - Academic Press - N.Y. - (1976).
- C.B.Moore, R.E.Wood, B.L.Hu e J.T.Yardley - "Vibrational/Energy Transfer in CO₂ Lasers" - J.Chem.Phys. - vol.46 - pg.4222 - (1967).
- W.L.Nighan - "Electron Energy Distribution and Collisional Rates in Electrically Excited N₂, CO and CO₂" - Phys. Rev. A - vol. 2 - pg.1989 - (1970).
- J.J.Lowke, A.V.Phelps and B.W.Irwin - "Predicted Electron Transport Coefficients and Operating Characteristics of CO₂ - N₂ - He Lasers" - J.Appl.Phys. - vol. 44 . pg.4664 - (1973).
- R.L.Taylor and S.Bitterman - "Survey of Vibrational Relaxation Data for Processes Important in the CO₂ - N₂ Laser System" - Rev.Mod.Phys. - vol. 41 - pg.26 - (1969).
- G.R.Levinson, A.N.Sviridov, V.P.Tychinskiy and V.G.Frolova - "Measurement of the Lifetimes of the 00⁰V System of Vibrational Levels of CO₂ Molecules" - Rad.Eng.Elect.Phys. vol. 14 - pg.580 - (1969).