

CONSTRUÇÃO DE UM MODULADOR ACUSTO-ÓTICO PARA CHAVEAMENTO-Q DE UM LASER DE NEODÍMIO

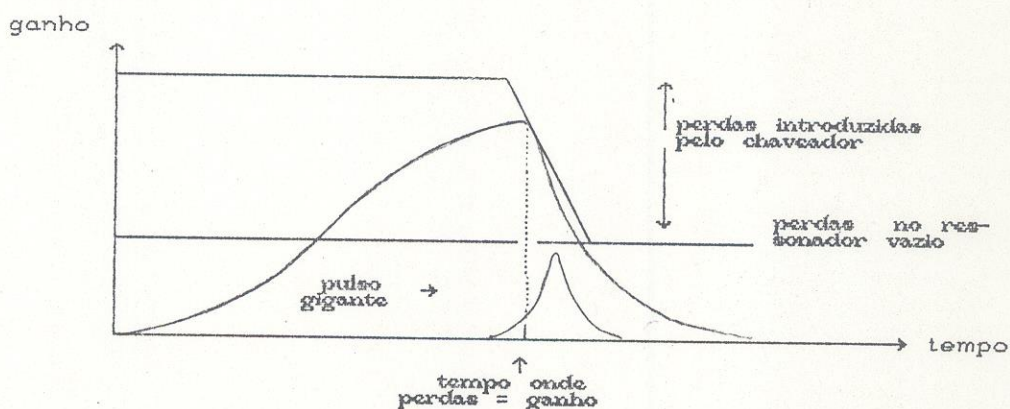
Edison Puig Maldonado, Nilson Dias
Vieira Jr., Gessé Eduardo Calvo No-
gueira, Spero Penha Morato e Wagner
de Rossi - IPEN-CNEN/SP

OBJETIVO : obtenção de pulsos curtos, intensos, no Programa de Desenvolvimento de Lasers de Nd:YLF (FINEP).

INTRODUÇÃO :

O chaveamento-Q caracteriza-se pela modulação das perdas de uma cavidade laser, de forma ativa (moduladores acústico-óptico, eletro-óptico, mecânicos, etc) ou passiva (absorvedor saturável), de modo que com essa modulação, uma maior inversão de população é obtida e a saída do laser caracteriza-se por pulsos de alta potência.

Chaveamento Q :



No Laser pulsado, o ganho é muito alto ($g_{max} \gg$ perdas no ressonador "vazio") : a modulação deve ser muito grande \rightarrow absorvedor saturável de $LiF:F_2$.

No Laser contínuo, as perdas toleradas são em torno de dezenas % pois o ganho é baixo \rightarrow modulador acusto-otico.

O modulador de perdas acústico-óptico consiste em um meio espalhador (sílica fundida) ao qual é colado um transdutor piezoelétrico (lâmina de $LiNbO_3 - 36^\circ Y$) acoplado a uma fonte excitadora de rádio frequência (50 MHz), chaveada, com taxa de repetição ajustável (1 Hz a 50 kHz). O transdutor, quando excitado, gera ondas acústicas que se propagam no bloco de sílica (não há formação de onda estacionária). Estas, formam uma grade de difração volumétrica de fase, atuando no regime de Bragg, que difrata o feixe em uma única direção, fora da região de alinhamento do laser.



Assim, durante a excitação acústica, o meio ativo armazena energia para posteriormente, quando as ondas acústicas evanescerem, descarregar a energia em um pulso gigante.

TEORIA DO CHAVEAMENTO-Q :

Fator de qualidade (Q) de uma cavidade laser :

$$Q = \frac{4 \pi l'}{\epsilon}$$

Equações de taxa :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \phi \left[c \sigma n \frac{l}{l'} - \frac{\epsilon}{t_r} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \gamma n \phi \sigma c$$

$$\epsilon = - \ln R_1 + L + \zeta(t, \phi)$$

onde :

σ = seção de choque de absorção

$t_r = 2 l' / c$ = tempo de ida-e-volta

l = comprimento do meio ativo

l' = comprimento da cavidade

ϵ = perdas por ida-e-volta

$\gamma = 1 + g_2/g_1$ (p/ sistemas de tres niveis)

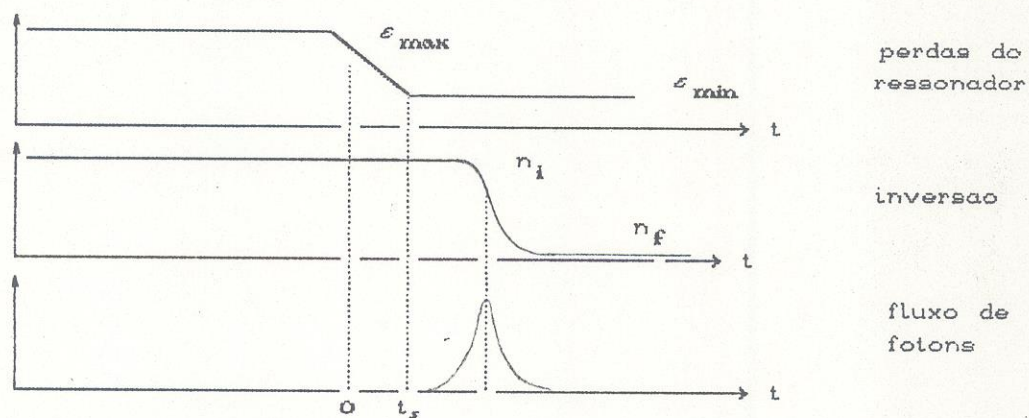
$\gamma = 1$ (p/ sistemas de quatro niveis)

R_1 = perdas de acoplamento

L = perdas incidentais

$\zeta(t, \phi)$ = perdas introduzidas pelo Q-switch

se ζ pode ser aproximada por uma função rampa (ou degrau), a solução das equações tem a seguinte forma :



o pulso não se desenvolve imediatamente após $t=0$, mas há um atraso durante o qual $\phi(t)$ cresce exponencialmente a partir do ruído:

$$t_D = \frac{tr \ln [\phi_{max} / (20 \phi_i)]}{2 g_o l - \epsilon}$$

onde $\phi_i \cong n_2 (\Omega/4\pi) (\tau_o/\tau_f)$

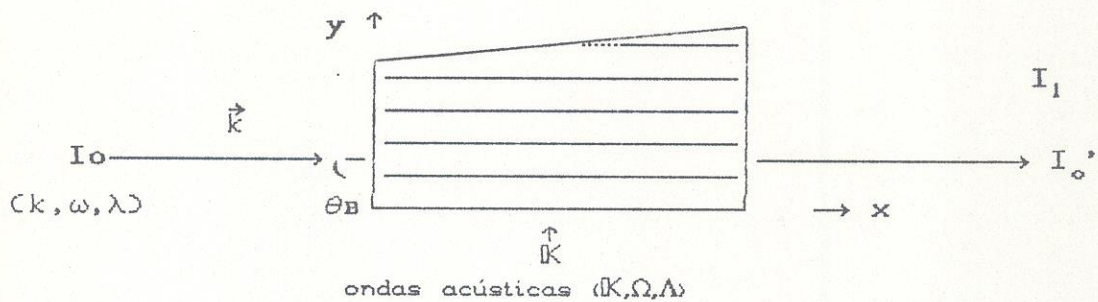
para a obtenção de um único e intenso pulso, o tempo de chaveamento (t_c) deve ser da ordem de t_D .

Energia por pulso : $E_o = (n_i - n_f) h\nu V \sigma_o$

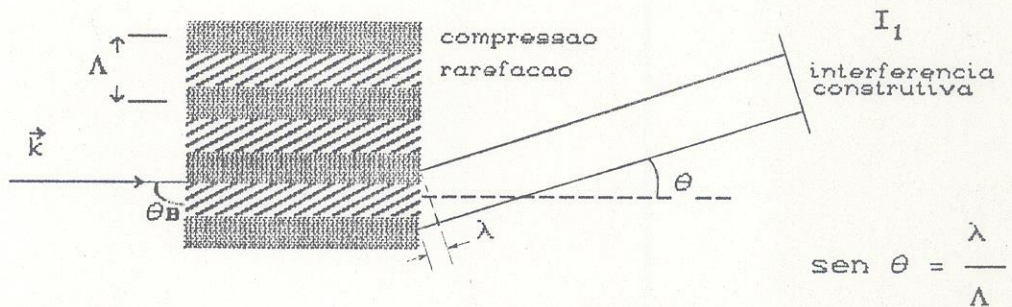
Potência média : $P_{ap} = (PRF) \cdot E_o$

onde: V = volume laser efetivo
 (PRF) = taxa de repetição do chaveamento
 $\sigma_o = \ln(R_1) / [\ln(R_1) - L]$

TEORIA DO CHAVEADOR A-O :



I_1 é a onda espalhada pela interação com a grade de difração.



$$\theta \cong 2 \theta_B \quad \rightarrow \quad \lambda = 2 \Lambda \text{ sen } \theta_B$$

O meio de propagação sofre uma modulação no índice de refração :

$$n(y,t) = n + \Delta n \text{ sen } (\Omega t + ky)$$

Para ondas planas :

$$\nabla^2 E = \frac{[n(y,t)]^2}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

a solução desta equação, no regime de Bragg $[(L\lambda/2\Lambda^2) \geq 1]$ e para $\theta_0 \cong \theta_B$ é :

$$\frac{I_1}{I_0} = \text{sen}^2(\xi/2) \quad ; \quad \xi = \frac{-k\Delta n L}{\cos \theta_0}$$

para relacionar a modulação do índice de refração com a potência acústica, temos :

$$\Delta \left(\frac{1}{n^2} \right) = p S \quad \rightarrow \quad \delta n = n^3 p S$$

onde : p = constante fotoelástica
 S = esforço

Potência acústica : $P_{ac} = \frac{1}{2} \rho v^3 |S|^2 L H$

onde : ρ = densidade do meio
 v = velocidade acústica
 L = largura do plano da onda acústica
 H = altura do plano da onda acústica

Portanto :

$$\delta n = n^3 p^2 \frac{2 P_{ac}}{\rho v^3 L H}$$

$$\xi = \frac{k}{\cos \theta_0} \left(\frac{n^6 p^2}{\rho v^3} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{P_{ac} L}{2 H} \right)^{1/2}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \text{sen}^2 \left[\frac{\pi}{\lambda \cos \theta_0} \left(\frac{M_2 P_{ac}}{2} \cdot \frac{L}{H} \right)^{1/2} \right]$$

onde : M_2 = figura de mérito do material = $\left(\frac{n^6 p^2}{\rho v^3} \right)$

Seja : $a = \frac{2 \lambda L}{\pi \omega_0 \Lambda}$

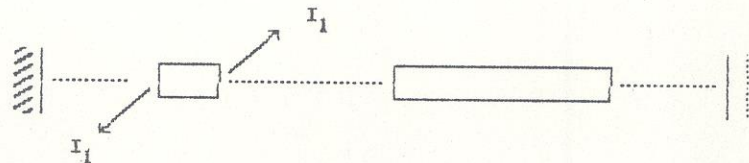
Maydan (IEEE J. Q. Electr. QE-6, 15(1970)) analisou graficamente a amplitude de pico da onda ótica espalhada e o tempo de subida do pulso gerado, ambos em função do número a . Da análise da amplitude espalhada conclue-se que para $1 < a < 3$ a intensidade é ótima e da análise do tempo de subida conclue-se que a deve ser menor do que 1.5 para pulsos o mais curtos possível. Portanto, para pulsos curtos e intensos:

$a_{\text{ótimo}} = 1.5$

e

$$tr \cong 1.7 \frac{\omega_0}{v} \quad \rightarrow \quad f_0 \geq \frac{2}{tr}$$

...no meio laser ativo :



DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO DESENVOLVIDO :

i) Cálculos preliminares, escolha dos materiais, estimativas :

Para a construção do chaveador nacional, o gerador de ondas acústicas escolhido foi o niobato de lítio (LiNbO₃) corte 36°Y por causa do seu grande valor de M_2/Γ , onde Γ é o coeficiente de absorção, comparado com outros materiais. O meio propagador escolhido foi a sílica fundida (SiO₂) por razões de transmissão, estabilidade, disponibilidade, limiar de dano ótico, etc.

Para obtermos tempos de pulso da ordem de 50 ns $\rightarrow f_0 \geq 40$ MHz

$$f_0 = 50 \text{ MHz}$$

em sílica fundida, $\Lambda = 120 \mu\text{m}$. Como $a = 1.5 \rightarrow L = 280 \omega_0$ o que, em um laser de Nd onde tipicamente $\omega_0 \geq 1.0 \mu\text{m}$, dá :

$$L = 2.8 \text{ cm}$$

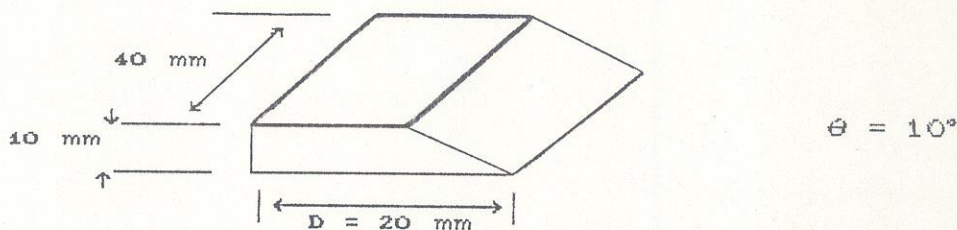
Para ter certeza que o feixe ótico é interceptado pelo feixe acústico :

$$H = 8 \text{ mm}$$

Temos então : $L / H = 5$

A lâmina de LiNbO₃ ($v_{ac} = 6.6 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$) foi escolhida com espessura ($3/2$) $\Lambda = 204 \mu\text{m}$. A transmissão acústica direta entre o LiNbO₃ e o SiO₂ é aprox. 85%.

O bloco tem a maior profundidade possível para não haver reflexão :



Além disso, o bloco de sílica é terminado c/ um ângulo de 10° e um bloco de cobre (que tem a mesma impedância acústica - ρv) é colado na sua traseira (atenuador acústico e dissipador térmico).

Nessas condições, a Potência Acústica para defletir o feixe é

$$\frac{I}{I_0} = \text{sen}^2 [0.19 (\text{Pa})^{1/2}] \quad ; \quad \text{Pa (watts)}$$

$\rightarrow 3 \% / \text{ watt}$ (por passo)

Como na cavidade tem dois passos : $\rightarrow 6 \% / \text{ watt}$

Precisamos de, no máximo, 60 % de perda $\rightarrow 10 \text{ watts}$.

ii) Construção :

Desenvolvemos uma fonte de R.F. centrada em 50 MHz, chaveada, de 20 watts. A fonte foi testada em um chaveador comercial (fora da cavidade) onde obtivemos tempos de subida do pulso da ordem de 150 ns.

Obtivemos um bloco de sílica fundida, grau B1, com as faces que interceptam o feixe ótico polidas com qualidade $\lambda/10$, com um ângulo entre elas de 0.25° e uma face polida com qualidade ótica de λ , fazendo com sua oposta um ângulo de 10° (dimensões descritas no item (i)), da FUMBEC.

As lâminas de LiNbO_3 , cortadas na direção 36°Y (direção que apresenta o maior coeficiente piezoelétrico para geração de ondas longitudinais), com espessura de 2 mm, comprimento de 50 mm e altura de 14 mm (compradas) foram cortadas e polidas em nossos laboratórios, com a maior qualidade e homogeneidade possíveis, na espessura de $192(6) \mu\text{m}$, correspondente ao 3° harmônico de vibração em 50 MHz (aproximadamente). O acoplamento mecânico entre a lâmina e o bloco de sílica fundida foi feito com uma camada fina e altamente uniforme de graxa de silício, com o auxílio de um 'jig' desenvolvido.

Foram depositadas nas faces óticas do bloco camadas antirefletoras, pelo laboratório de filmes finos do grupo. Também os contatos elétricos foram feitos, com camadas de Au, tanto na superfície do bloco como na superfície da lâmina.

Foram desenhadas e executadas em nossas oficinas as partes mecânicas do chaveador, e os contatos elétricos com os filmes de ouro foram feitos com pequenos fardos metálicos prensados. O conjunto foi acoplado ao sistema lâmina + bloco e a impedância elétrica do sistema está sendo caracterizada para o casamento com a fonte de R.F. Utilizamos para tal o equipamento 'RF Vector Impedance Meter - model 4815 A' da H.P.

iii) Estágio futuro - caracterização :

- Medidas da intensidade do feixe laser defletido em função da potência elétrica aplicada.
- Medidas da perda introduzida pelo chaveador.
- Medidas do tempo de chaveamento do sistema (fora da cavidade laser)
- Estudo experimental da potência média e potência de pico de saída do laser vs. potência elétrica aplicada e taxa de repetição do chaveador (intra cavidade).
- Elaboração e concretização de um método experimental prático para a determinação da refletividade ótima do espelho de saída de um sistema laser, utilizando-se o chaveador construído como defletor de Bragg.

ILUSTRAÇÕES :

BIBLIOGRAFIA :

- 1) Koechner, W. "Solid State Laser Engineering" , Springer-Verlag, New York
- 2) Uchida, N.; Niizeki, N. "Acoustooptic Deflection Materials and Techniques" , Proc.IEEE, vol 61 , 1073 (1973)
- 3) Maydan "Acoustooptical Pulse Modulators", IEEE J.Quant.Electr., vol QE-6, 15 (1970)
- 4) Pinnow, D. A. "Guide-Lines for the Selection of Acoustooptic Materials", IEEE J.Q.Electr.,QE-6, 233 (1970)
- 5) Cristais Importados da Firma "Cristal Technology Inc."
- 6) Fynn, W.; Powell, J. A. "The Cutting and Polishing of Eletro-Optic Materials", Adam Hilger Ltd, Bristol
- 7) Abrecht, G. F.; Lund, L.; Smith, D. "Building a Simple Realiable Low-Cost Modelocker System", Appl.Opto, 22,1276 (1983)
- 8) Sittig, E. K. "Effects of Bonding and Electrode Layers on the Transmission Parameters of Piezoelectric Transducers Used in Ultrasonics Delay Lines" , IEEE Trans.Sonics Ultrason., SU-16 pp 2-10, (1969)
- 9) Mattiat, O. E. (Ed) "Ultrasonic Transducer Materials", Plenum Press, New York, (1971)
- 10) Munhoz, Agda C. L. "Transdutores Ultra Sônicos - Construção , Caracterização e Aplicações" , Tese de Mestrado, IFUSP, (1985), (1985)
- 11) Wagner; Lengyel "Evolution of the Giant Pulse in a Laser", J. Appl. Phys., vol. 34, n. 7, 2040 (1963)
- 12) Baldwin "Output Power Calculations for a Continuosly Pumped Q-Switching YAG: Nd³⁺-Laser" - IEEE J. Q. Electr., QE-7, n. 6, 220 (1971) (1971)