



Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0205375-6

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0205375-6

(22) Data do Depósito: 26/11/2002

(43) Data da Publicação do Pedido: 27/07/2004

(51) Classificação Internacional: G02F 1/355

(54) Título: DISPOSITIVO DE LIMITAÇÃO ÓPTICA DE MÚLTIPLAS PASSAGENS

(73) Titular: FAPESP - FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. CGC/CPF: 43828151000145. Endereço: Rua Pio XI, 1500, Alto da Lapa, São Paulo, SP, BRASIL(BR), 05468-901; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, -. CGC/CPF:63025530000104. Endereço: Rua da Reitoria, 109, Cidade Universitária, "Armando de Salles Oliveira", Butantã, São Paulo, SP, BRASIL(BR), 05508-900

(72) Inventor: SERGIO CARLOS ZILIO

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 07/06/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 07 de Junho de 2016.

Assinado digitalmente por:
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patente

15 de Novembro
REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
de 1889

DISPOSITIVO DE LIMITAÇÃO ÓPTICA DE MÚLTIPLAS PASSAGENS.

A presente invenção refere-se a um dispositivo de limitação óptica de alta eficiência baseado numa geometria óptica de múltiplas passagens do pulso através de um material não linear. Este dispositivo propicia a limitação da energia por ele transmitida quando a energia incidente excede um determinado patamar. O meio não linear empregado pode apresentar diferentes tipos de não linearidades, tais como: efeitos térmicos, espalhamento não linear e processos de absorção saturada reversa.

O desenvolvimento de dispositivos passivos para limitar a intensidade de pulsos laser é um assunto de grande relevância em diversas áreas de aplicação como exemplo na proteção de olhos e sensores da incidência de altas intensidades luminosas. Este tipo de dispositivo tem a capacidade de promover uma diminuição na transmissão da luz em função do aumento da intensidade de luz nele incidente.

O processo de limitação óptica geralmente está relacionado a algum mecanismo não linear como por exemplo a absorção saturada reversa, absorção multifotônica, lente térmica, o espalhamento não linear, etc. O uso do processo de Absorção Saturada Reversas para limitação óptica foi reportado por diversos autores em diversas publicações científicas tais como J. S. Shirk, et al, in *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, pp. 1880 (1993); J. W. Perry, et al, in *Science*, Vol 273, pp. 1533 (1996); J. S. Shirk et al, in *J. Phys. Chem. A*, Vol. 104, pp.1438 (2000) e W. J. Su, et al, in *Chem. Mater.*, Vol. 10, pp. 1212 (1998). Já o uso de absorção multifotônica foram apresentadas por J. L. Bredas, et al, in *Nonlin. Opt.*, Vol. 298, pp. 1 (1999) e por G. S. He, et al, in *Opt. Lett.*, Vol. 20, pp. 1524 (1995). Para um dado processo não linear, os principais aspectos a serem levados em consideração, com relação à limitação óptica, são a magnitude e tempo de

resposta do processo não linear. Apenas alguns materiais possuem as características necessárias para a construção de dispositivos práticos, a exemplo da fitalocianina de chumbo e índio que foram usados por J. S. Shirk supra citado, bastante convenientes para a confecção de dispositivos
5 que fazem uso do processo de Absorção Saturada Reversa. Suspensões de partículas de carbono, que apresentam o mecanismo de espalhamento não linear e formação de micro plasmas mostraram-se convenientes para aplicações em limitadores ópticos numa ampla faixa espectral segundo K. Mansour et al, in J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 9, pp. 1100 (1992) e O. Durand,
10 et al, in J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 16, pp. 1431 (1999). Além desses materiais, compostos que apresentam não linearidades térmicas e Absorção Saturada Reversa, também podem ser usados em limitadores baseados em cristais fotônicos segundo H. B. Lin, et al, in Opt. Lett., Vol. 23, pp. 94 (1998).

15 Além dos diferentes tipos de materiais e do mecanismo não linear específico, outro fator que afeta a performance de um dispositivo de limitação óptica é sua concepção geométrica. Certas configurações tem sido utilizadas em limitação óptica, sendo que a mais simples consiste de um par de lentes com o meio não linear colocado no foco da primeira lente.
20 Desenhos mais sofisticados incluem o dispositivo em geometria Tandem, usado por A. A. Said, et al, in Proc. SPIE, Vol. 2853, pp. 158 (1996), o dispositivo de foco em cascata usado por F. E. Hernández, et al, in Opt. Lett., Vol. 25, pp. 1180 (2000) e o limitador baseado em reflexão total interna usado por C. M. Lawson, et al, in Appl. Phys. Lett., Vol.58, pp.
25 2195 (1991).

Um importante aspecto a ser abordado na otimização de dispositivos de limitação óptica refere-se ao tempo de resposta do material em relação ao tempo de duração do pulso. Uma vez que o processo de formação da não

linearidade é produzido à medida que o pulso incidente se propaga dentro da amostra para tempos de resposta maiores que a duração do pulso, a parte inicial do pulso sofrerá apenas um efeito de limitação moderado pois a não linearidade não estará completamente desenvolvida nesta passagem. Uma
5 não linearidade térmica, por exemplo, tem um tempo de formação que depende do diâmetro do feixe e da velocidade do som sendo tipicamente por volta de 50 ns, tempo este mais longo do que os tempos de duração característicos de pulsos de laser *Q-switched*. No caso da Absorção Saturada Reversa, podemos ter materiais onde este processo tenha um
10 longo tempo de formação. Neste caso, mesmo se a magnitude da absorção saturada reversa for muito alta (alta seção de choque do estado tripleto), o efeito de limitação será pequeno, pois apenas uma pequena parte da população estará no estado tripleto.

Com o intuito de solucionar esta dificuldade relacionada à diferença
15 entre o tempo de formação do processo não linear e a duração do pulso do laser, desenvolveu-se a presente patente de invenção, que consiste num arranjo para um dispositivo de limitação óptica baseado numa configuração de múltiplas passagens em anel com apenas três espelhos. Esta configuração faz com que o pulso laser passe repetidas vezes no mesmo
20 ponto do material não linear, aumentando sua resposta óptica devido a processos acumulativos. Além disso, essa configuração não introduz grandes distorções do perfil transversal do feixe de laser. Sua geometria é semelhante aquela usada para amplificadores de pulsos ultracurtos em sistemas laser de Ti:safira mostrado por S. Backus, et al, in Opt. Lett., Vol.
25 20, pp. 2000 (1995).

A presente invenção poderá ser melhor compreendida através das figuras anexas e explicações abaixo descrita, onde:

A Figura 1 representa a geometria do limitador de múltiplas

passagens onde temos o feixe de laser (1), três espelho planos (2), (6) e (7), dois espelhos curvos (3) e (5) e uma amostra não linear (4).

A **Figura 2** representa o arranjo experimental onde o dispositivo de limitação foi testado, onde temos o laser (8), uma lâmina de onda (9), um polarizador (10), um feixe de laser (1), três espelho planos (2), (6) e (7), dois espelhos curvos (3) e (5), uma amostra não linear (4), uma lente (11), uma íris (12) e um fotodetector (13).

A **Figura 3** representa um gráfico que demonstra o resultado da energia transmitida em função da energia incidente no limitador para uma suspensão de carbono em dissulfeto de carbono. Os quadrados sólidos demonstram o caso de uma passagem, os círculos abertos demonstram o caso de três passagens e os triângulos abertos demonstram o caso de sete passagens.

Primeiramente, é apresentada a geometria do dispositivo de limitação óptica de múltiplas passagens e então a sua utilização na limitação da energia de pulsos provenientes de um laser.

A geometria de múltiplas passagens consiste de dois espelhos esféricos (3) e (5), separados por uma distância igual a soma de suas distâncias focais [geometria confocal]. Um espelho plano (6) é colocado ligeiramente deslocado à linha que une o centro de curvatura dos espelhos esféricos de tal forma a fechar o percurso do feixe de laser (1). O sistema óptico é alinhado de tal forma que o caminho do feixe, em cada volta, se sobrepõem na região onde a amostra não linear (4) é colocada. Assim, esta configuração permite que o feixe laser (1) seja repetidamente focalizado dentro do material não linear (4). O ponto focal está localizado no centro dos dois espelhos esféricos. Dois espelhos planos (2) e (7), que não fazem parte da cavidade de múltiplas passagens, são usados para introduzir e extrair o feixe de laser da cavidade respectivamente. O número de

passagens na amostra não linear pode ser controlada pelo cuidadoso posicionamento e alinhamento dos três espelhos (3) (5) (6) que compõe a cavidade. O número máximo de passagem é limitado apenas pelo tamanho do feixe de laser e dos espelhos utilizados.

5 A funcionalidade deste dispositivo de limitação pode ser demonstrada com um laser de Nd:YAG Q-switched (8), que produz pulsos com duração de 10 ns, comprimento de onda de 532 nm e operando a uma taxa de repetição de 5 Hz. A energia de entrada no limitador é controlada através de uma lâmina de onda (9) e um polarizador (10). A amostra não
10 linear (4) utilizada foi uma suspensão de partículas de carbono dissolvida em dissulfeto de carbono. Por ser líquida, essa amostra é acondicionada em uma cubeta de quartzo. Após passar pelo dispositivo de limitação, o feixe é coletado por uma lente com 10 cm de comprimento focal (11) e direcionado para uma íris (12) colocada em frente ao fotodetector (13) para
15 medir a energia transmitida em função da energia de entrada.

Primeiramente é feita uma medida da energia transmitida em função da energia incidente para uma única passagem na cavidade com a amostra numa concentração C , e então são feitas “n” passagens com uma concentração $C_n = C/n$, mas com os feixes não sobrepostos na região da
20 amostra. Esse procedimento de manter a concentração proporcional ao inverso do número de passagem é utilizado para preservar a amplitude da transmitância independentemente do número de passagens, facilitando a análise comparativa do efeito das múltiplas passagens. O resultado destes dois experimentos é praticamente o mesmo uma vez que, como não há
25 efeito acumulativo, o maior caminho óptico é compensado pela menor concentração. Finalmente, os feixes são sobrepostos e uma melhora na performance do limitador devido ao processo acumulativo pode ser observada.

É medido o efeito para uma amostra [concentração: C] com transmitância linear de 60% usando apenas uma passagem. O resultado é mostrado pelos quadrados sólidos demonstrados no gráfico (fig.3), onde o eixo da abscissa representa a energia incidente no limitador e o eixo da ordenada a energia transmitida. Em seguida a amostra é diluída para apresentar a mesma transmitância não linear em três passagens [$C_3 \cong C/3$]. Quando os feixes não se sobrepõem na amostra, o efeito de limitação tem aproximadamente a mesma magnitude e comportamento observado para o experimento com uma única passagem e menor concentração [resultado não apresentado]. Quando os feixes são sobrepostos, uma melhora significativa pode ser observada na performance do limitador, como mostra os círculos abertos no gráfico (fig.3). A energia transmitida fica fixa em um valor constante para energias incidentes maiores do que 0.2 mJ. Finalmente, a suspensão de carbono é diluída ainda mais [$C_7 \cong C/7$] para permitir a realização de um experimento de sete passagens, cujo resultado é mostrado pelo triângulo abertos (Fig.3). Neste caso a performance do limitador é ainda melhor e a energia transmitida decresce quando a energia incidente é maior do que 0.3 mJ. O mecanismo de limitação na suspensão de partículas de carbono deve-se a um forte processo de espalhamento causado pela formação de micro-plasmas induzido por laser e geração de bolhas. Quando o feixe retorna para a amostra ele já encontra um meio altamente espalhador que afeta igualmente a parte inicial do pulso. Este processo é bastante diferente de apenas aumentar o comprimento da amostra, uma vez que neste caso a fração inicial do pulso não encontra o micro plasma ou bolhas induzidas e o espalhamento é negligenciável.

A alta eficiência deste dispositivo de limitação óptica de múltiplas passagens deve-se ao efeito acumulativo obtido quando o feixe laser é repetidamente focalizado dentro do meio não linear. No exemplo aqui

mencionado foi utilizado como meio não linear uma suspensão de partículas de carbono, onde o processo não linear explorado foi o espalhamento não linear. Porém, outros materiais exibindo diferentes processos não lineares [absorção saturada reversa e efeitos térmico] podem
5 ser utilizados nesta mesma geometria, viabilizando também um melhor performance.

REIVINDICAÇÕES

- 1. DISPOSITIVO DE LIMITAÇÃO ÓPTICA DE MÚLTIPLAS PASSAGENS**, caracterizado por compreender uma geometria óptica de múltiplas passagens, a dita geometria envolvendo três espelhos, sendo dois espelhos esféricos (3) e (5) e um plano (6), onde no ponto focal dos ditos espelhos esféricos é posicionada uma amostra não-linear (4) que responde a um pulso de entrada de modo que passagens sucessivas do dito pulso de entrada no interior da dita amostra permita um efeito acumulativo limitador da energia transmitida pelo dito dispositivo.
- 2. DISPOSITIVO DE LIMITAÇÃO ÓPTICA DE MÚLTIPLAS PASSAGENS** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela disposição confocal dos espelhos esféricos (3) e (5), ou seja, espelhos separados por uma distância igual à soma de suas distâncias focais e com o espelho (6) colocado paralelamente à linha que une o centro de curvatura dos espelhos esféricos, a uma dada distância desta, este sistema óptico alinhado permite que o caminho do feixe em cada volta se sobrepõe no ponto focal dos espelhos esféricos onde se encontra posicionado um material não-linear que produz a limitação da energia transmitida pelo dito dispositivo devida à ação de efeitos lentos e acumulativos.

Fig. 1

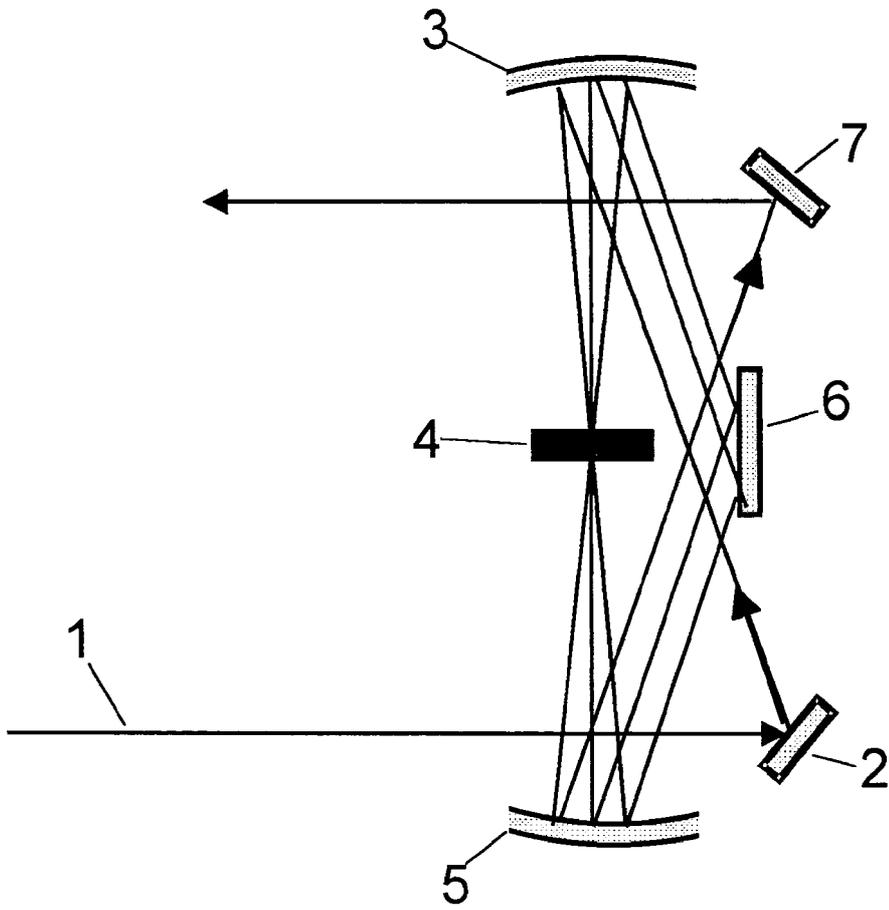


Fig. 2

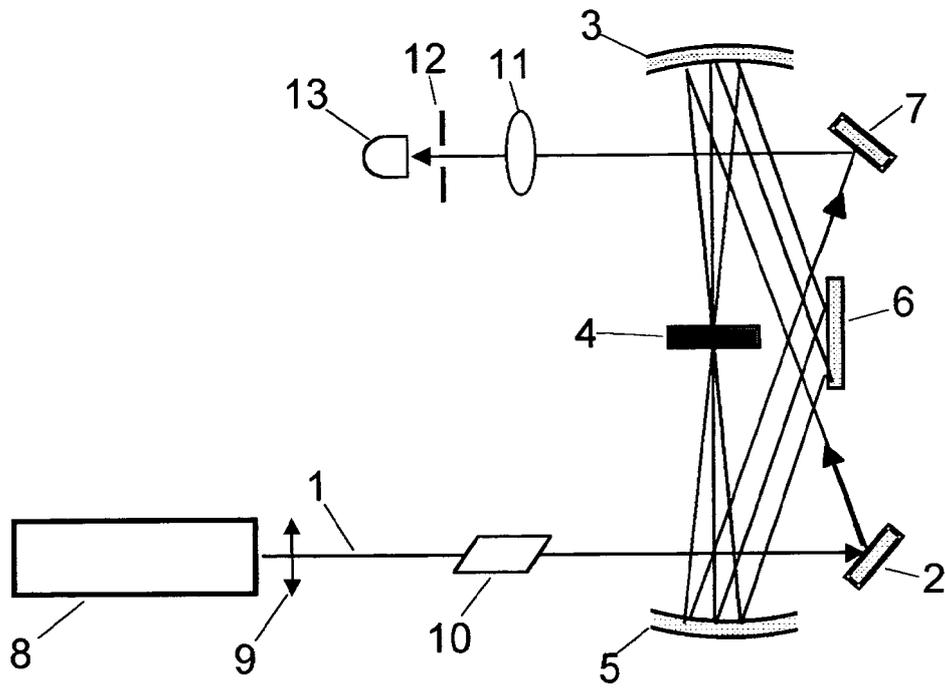
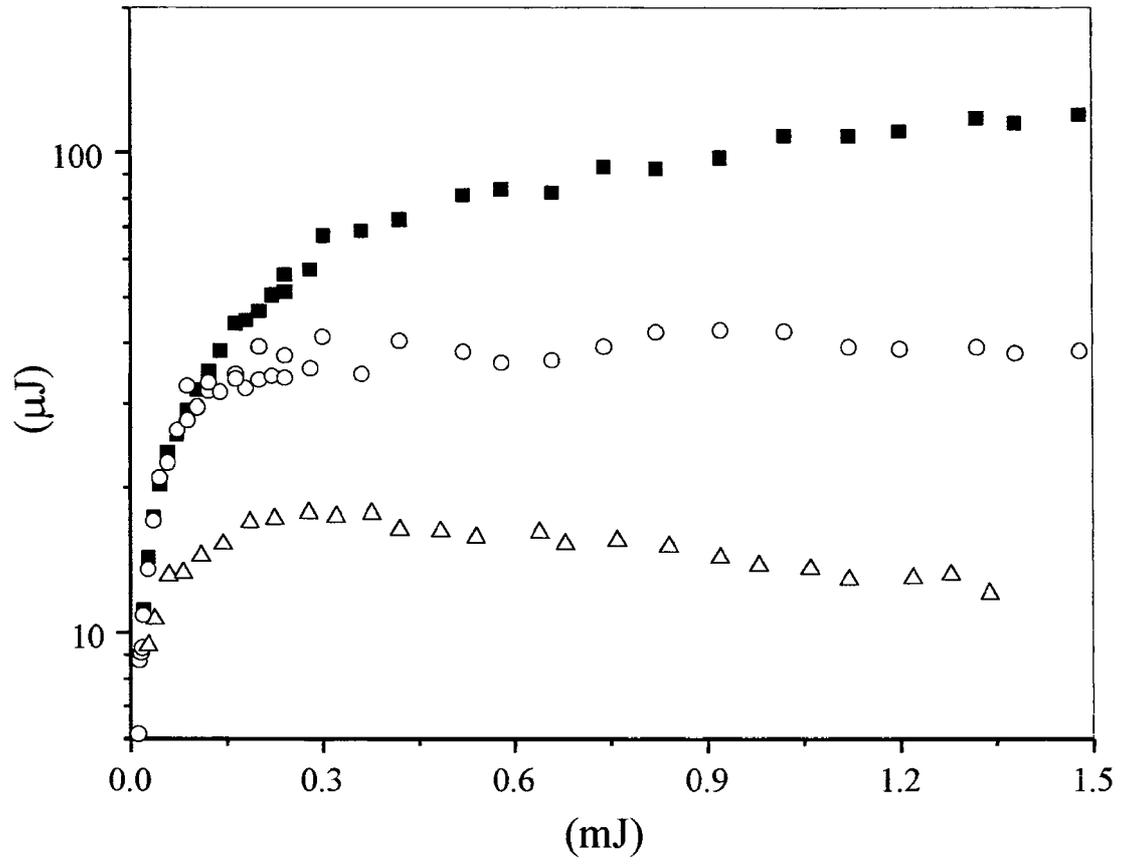


Fig. 3



RESUMO**DISPOSITIVO DE LIMITAÇÃO ÓPTICA DE MÚLTIPLAS PASSAGENS.**

A presente invenção refere-se a um dispositivo de limitação óptica de
5 alta eficiência baseado numa geometria óptica de múltiplas passagens com
três espelhos (3) (5) (6). Este dispositivo propicia a limitação da energia
por ele transmitida quando a energia incidente excede um determinado
patamar, podendo ser empregado na proteção de olhos e sensores da
incidência de altas intensidades luminosas. Sua alta eficiência deve-se ao
10 fato de que esse dispositivo pode tirar o proveito de não linearidade lentas,
mas altas. Esses efeitos lentos podem ser acumulados quando o feixe laser
é repetidamente focalizado dentro do meio não linear (4) multiplicando-se
o efeito não linear. O meio não linear usado neste dispositivo pode
apresentar diferentes processos não lineares como exemplo: efeitos
15 térmicos, espalhamento não linear e processos de absorção saturada
reversa.