



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00564**

(22) Data de depozit: **16/06/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/09/2017** BOPI nr. **9/2017**

(41) Data publicării cererii:
30/01/2013 BOPI nr. **1/2013**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
OPTOELECTRONICĂ - INOE 2000,
STR.ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,
IF, RO**

(72) Inventatori:
• **MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVIȚEI
NR.160, BL.B, SC.A, AP.42, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **LĂNCRĂNȚAN ION IOAN-FERDINAND,
STR.VELEI NR.2, BL.2, SC.2, AP.57,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **SAVASTRU DAN, STR.IANI BUZOIANI
NR.3, BL.16, SC.A, AP.2, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **POPESCU AURELIAN, STR.ȘELIMBĂR
NR.27, MĂGURELE, IF, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**RO 87721; RO 84174; RO 102994;
RO 114702 B1; US 2005/0094678 A1**

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV LASER CU FUNCȚIONARE
ÎN REGIM DE COMUTAȚIE OPTICĂ PASIVĂ**



RO 128119 B1

1 Invenția se referă la o metodă de control al funcționării unui laser cu corp solid, în
2 regim de comutație optică pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante laser cu emisie
3 de impulsuri laser de mare energie, cu o distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității
4 laser, corespunzătoare oscilației laser în modul TEM₀₀ de volum mare cu lungimi de undă
5 în domeniul spectral 1...5 μm, astfel încât durata acestora la semiamplitudine să devină
6 aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități, și la un dispozitiv
7 care aplică metoda.

8 Se cunosc metode ce folosesc dispozitive de tipul cristalelor electrooptice sau acusto-
9 optice introduse în interiorul cavității rezonante laser sau a motoarelor electrice de mici
10 dimensiuni cu viteză mare de rotație a unui element optic al cavității rezonante laser. Aceste
11 dispozitive permit controlul activ al factorului de calitate al cavității rezonante laser, acționând
12 asupra transmisiei optice corespunzătoare la o anumită direcție de polarizare a luminii laser
13 emise sau a reflectivității uneia dintre componentele cavității rezonante. În acest sens, aminti-
14 tim brevetele **US 3546620**, **US 3613024**, **US 6587483**, **US 6810052**, **US 7068688** și
15 **US 20050276285** referitoare la metode și dispozitive de comutare a factorului de calitate al
16 cavității rezonante laser.

17 Dezavantajele principale ale acestor soluții constă în aceea că dispozitivele de control
18 și acționare a cristalelor electrooptice sau acustooptice sau a motoarelor electrice de mare
19 frecvență de rotație necesită consumuri relativ ridicate de energie electrică, operarea cu ten-
20 siuni de ordinul kilovoltului, care trebuie să varieze pe durate de ordinul nanosecundelor,
21 semnale electrice de frecvențe ridicate care induc zgomot electromagnetic. De asemenea,
22 astfel de componente și oscilatoarele laser în care sunt folosite necesită costuri mari de
23 fabricație. Un alt dezavantaj al acestor soluții este acela că, pentru obținerea de distribuții de
24 tip „vârf de ac”, adică având o distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității fasciculului
25 laser, caracteristică de interes pentru multe aplicații, având în vedere eficiența energetică
26 mărită în obținerea efectelor dorite, este necesară introducerea unor elemente mecanice de
27 obturare, diafragmare, în interiorul rezonatorului laser realizându-se astfel eliminarea modurilor
28 periferice de oscilație laser și selectarea, păstrarea modurilor de oscilație laser care au un
29 singur maximum axial de oscilație laser. Prin aceasta se realizează conversia emisiei laser
30 de la o distribuție multimod a intensității de fascicul la una monomod. Această conversie
31 înseamnă reducerea energiei utile laser emise pentru o valoare dată a energiei de pompaj.

32 Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în
33 obținerea de impulsuri laser de mare strălucire, adică de mare energie emisă ca impulsuri
34 singulare și cu durate la semiamplitudine foarte scurte.

35 Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că va
36 consta în generarea de impulsuri laser de mare energie, cu durate la semiamplitudine de
37 nanosecunde, adică de mare strălucire, având și o lege de distribuție Gauss sau
38 super-Gauss a intensității fasciculului laser, folosind un comutator optic pasiv având un factor
39 mare de contrast, adică un raport mare între transmitanțele la lungimea de undă laser la
40 semnal mic, nesaturată, a absorbției materialului comutatorului optic pasiv, și saturată, adică
41 limitată de reflexia Fresnel, pe fețele optice active ale comutatorului optic pasiv care este
42 montat în interiorul unei cavități rezonante laser, formate din două oglinzi laser, dintre care
43 una are o reflexie la lungimea de undă laser variabilă radial față de centrul său, care coincide
44 cu axa optică a laserului, legea de variație fiind de tip Gauss sau super-Gauss, impunând,
45 prin valoarea ridicată a factorului de contrast al comutatorului optic pasiv, extracția unor
46 impulsuri laser cu valori mari ale energiei și cu durate la semiamplitudine de ordinul a
47 $(1,01...15) \cdot \tau_r$, unde τ_r este durata de parcurs dus-întors a cavității rezonante laser de către
48 radiația luminoasă.

RO 128119 B1

Dispozitivul conform invenției folosește oscilatoare laser operate în regim de comutație optică pasivă a factorului de calitate al cavității rezonante laser ce are în componență un laser cu corp solid, a cărui cavitate rezonantă este formată dintr-o oglindă laser având o reflectanță de ~ 100% la lungimea de undă a laserului, un polarizor format dintr-o plachetă de cuarț montată la unghi Brewster față de axa optică a cavității rezonante laser, un comutator optic pasiv al factorului de calitate a cavității rezonante laser, un mediu activ laser cu corp solid și o oglindă laser având o reflectanță la lungimea de undă laser variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- este ușor de aplicat;
- este mai ieftină de fabricat în raport cu alte metode;
- este fiabilă, necesitând doar strictul necesar de circuite electronice.

În figură, se prezintă schematic o formă preferată de realizare a invenției.

Se cunoaște din literatură faptul că emițătoarele laser cu corp solid, având ca mediu activ cristale sau sticlă optică dopată cu ioni de pământuri rare, pot funcționa, în cazul în care pompajul mediului activ se face în impuls, în regim relaxat, adică având un factor de calitate a cavității rezonante laser de valoare constantă, caz în care emisia laser constă într-un tren de impulsuri laser de energie relativ mică, cu durate mari la semi-amplitudine și având forme de timp aleatorii sau în regim de comutație, într-o formulare mai precisă: „a factorului de calitate a cavității rezonante laser”, factorul de calitate având o valoare variabilă pe timpul desfășurării emisiei laser, de la una foarte joasă (corespunzând condițiilor de extincție a emisiei laser, datorită pierderilor mari) la una foarte ridicată (corespunzând condițiilor optime de emisie laser, adică pierderi foarte mici) și înapoi.

Se cunoaște, din literatură, faptul că emițătoarele laser cu corp solid, aparate care au un număr foarte mare și în continuă creștere de aplicații, sunt mult mai eficiente, în sensul obținerii acelorași efecte utile cu mai puțină energie laser, în cazul în care emisia laser este o funcție uniformă de distanța față de axa optică și cu un singur maximum central, pe această axa optică. În mod uzual, în primul stadiu de proiectare și realizare, în absența oricăror metode de control a distribuției radiale de intensitate a fasciculului laser, din teoria propagării radiației electromagnetice în ghiduri de undă, prin rezonatoare laser, într-un plan normal la axa optică a rezonatorului laser, presupus a avea o simetrie circulară, plan aflat la distanța z de talia fasciculului, mijlocul rezonatorului laser se obține pentru descrierea distribuției transversale, radiale a intensității laser a modului de oscilație $TEM_{p,l}$, o funcție de forma:

$$I_{pl}(r(z), \phi, z) = I_0 \rho(z)^l \left[L_p^l(\rho(z)) \right]^2 \left(\cos^2(l\phi) \right) \exp(-\rho(z)) \quad (1)$$

unde r este distanța față de axa optică, fiind considerată o funcție de z , $L_p^l(\rho)$ este polinomul Laguerre generalizat de grad p și indice l , iar $w(z)$ este raza spotului fasciculului laser pe planul aflat la distanța z de mijlocul rezonatorului laser. În ecuația (1), $\rho(z)$ este definită ca o rază normalizată la raza spotului laser și este exprimată prin relația:

$$\rho(z) = \frac{2r^2(z)}{w^2(z)} \quad (2)$$

Raza spotului laser este funcție de z pentru o configurație dată de cavitate rezonantă laser și are o valoare minimă, w_0 la $z = 0$, unde este poziționată talia cavității rezonante laser. Din ecuația (1) se observă faptul că distribuția radială de intensitate laser are, într-un plan normal la axa optică a rezonatorului laser aflat la distanța z de talie, puncte de nul, puncte

RO 128119 B1

1 în care are valoarea zero. Intensitatea unui fascicul laser poate fi definită ca un produs de
doi termeni, unul care este funcție numai de ρ , iar celălalt numai de unghiul ϕ . Se poate
3 observa faptul că talia w_0 a unei cavități rezonante laser, în cazul neluării niciunei măsuri din
construcție de control a distribuției radiale de intensitate a fasciculului laser, este aproximativ
5 egală cu raza mediului activ laser, presupus cilindric. În cazul în care mediul activ laser nu
are o formă cilindrică, talia este aproximativ egală cu cea mai mică dimensiune transversală
7 față de axa cavității rezonante laser a mediului activ.

Din ecuația (1) se poate observa faptul, verificat experimental, că, pentru obținerea
9 unei distribuții de tip „vârf de ac”, adică având o distribuție Gauss sau super-Gauss, a
intensității fasciculului laser, cu un singur maximum central, pe axul cavității rezonante laser,
11 soluția este introducerea unor elemente mecanice de obturare, diafragmare în interiorul
rezonatorului laser, realizându-se astfel eliminarea modurilor periferice de oscilație laser, a
13 maximelor neaxiale de intensitate laser. Aceasta este modalitatea clasică de conversie de
la emisia multimod, definită de ecuația (1) la emisia laser de tip mod singular, denumit
15 TEM₀₀, definit prin relația:

$$I_{00}(r(z), \phi, z) = I_0 \exp(-\rho(z)) \quad (3)$$

17 Această conversie de la emisia laser cu o distribuție transversală de intensitate laser
multimod la cea TEM₀₀ înseamnă și micșorarea eficienței de transformare a energiei de
19 pompaj în energie utilă laser. Motivul principal al scăderii eficienței de transformare a ener-
giei de pompaj în energie utilă laser rezultă din faptul că este, practic, obturată o parte din
21 secțiunea transversală a mediului activ.

Se cunoaște din literatură faptul că, pentru o configurație dată a cavității rezonante
23 laser, se poate evita obturarea unei părți din secțiunea transversală a mediului activ prin
utilizarea unor oglinzi laser care au o reflectantă variabilă radial, după o lege Gauss sau
25 super-Gauss, la lungimea de undă laser. De asemenea, se cunoaște din literatură faptul că,
datorită modului de funcționare, prin saturarea absorbției la lungimea de undă laser, în
27 funcție de intensitatea fasciculului incident, a unor centri absorbantți, modurile de oscilație
laser având maxime axiale de intensitate vor fi discriminate pozitiv în raport cu cele care au
29 maxime neaxiale; altfel spus, modul TEM₀₀ va fi favorizat.

Funcționarea unui comutator optic pasiv introdus în interiorul unei cavități rezonante
31 laser se poate analiza considerând ecuațiile cuplate de rată:

$$\frac{dn}{dt} = K_g N_g n - K_a N_a n - \beta K_a (N_{a0} - N_a) n - \gamma_c n \quad (4)$$

$$\frac{dN_g}{dt} = R_p - \gamma_g N_g - \gamma K_g N_g n \quad (5)$$

$$\frac{dN_a}{dt} = \gamma_a (N_{a0} - N_a) - K_a N_a n \quad (6)$$

41 unde n este densitatea de fotoni în interiorul cavității rezonante laser, N_g este densitatea de
inversie de populație în mediul activ, N_a este densitatea de centri absorbantți din comutatorul
43 optic pasiv, N_{a0} este valoarea inițială a acestei densități, adică a centrilor absorbantți aflați pe
nivelul energetic fundamental, K_g și K_a sunt coeficienții de cuplaj ai radiației laser cu mediul
45 activ și cu absorbatul saturabil, γ_g și γ_a sunt coeficienții de scădere ai densității de inversie
de populație și ai densității de centri absorbantți excitați, γ_c este coeficientul de scădere al
47 densității de fotoni, datorită pierderilor cavității rezonante laser prin absorbții parazite, prin
difracție și prin împrăștiere. Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale cuplate definit mai

sus poate să fie făcută numeric sau folosind o aproximație care poate fi considerată drept corectă, date fiind valorile timpilor caracteristici de desfășurare a proceselor care concură la comutarea optică pasivă a factorului de calitate a unei cavități rezonante laser, și anume aproximația comutării instantanee a factorului de calitate, a transmitanței comutatorului optic pasiv, în cazul analizat. În acest caz, considerându-se ecuațiile de definire a valorilor densității de inversie de populație în mediul activ de prag de declanșare a oscilației laser în regim de comutație, N_{gi} :

$$N_{gi} = \frac{-\ln(R_1) - \ln(R_2) - 2\ln(T_{Lin})}{\sigma_g l_{MA}} \quad (7)$$

și de declanșare a oscilației laser în regim relaxat, având comutatorul optic pasiv complet transparent, N_{gth} :

$$N_{gth} = \frac{-\ln(R_1) - \ln(R_2) - 2\ln(T_{Lfin})}{\sigma_g l_{MA}} \quad (8)$$

unde R_1 și R_2 sunt reflectantele la lungimea de undă laser ale celor două oglinzi ale cavității rezonante laser, σ_g este secțiunea eficace de emisie a mediului activ, l_{MA} este lungimea utilă a mediului activ, iar T_{Lin} și T_{Lfin} sunt transmitanțele la lungimea de undă a comutatorului optic pasiv în starea inițială și finală, deschisă, corespunzătoare excitării cvasi totalității centrilor absorbantți pe primul nivel electronic excitat.

În final, după o serie de calcule algebrice, se obține, pentru definirea duratei la semiamplitudine a impulsului laser, relația:

$$\tau_p = \tau_r \frac{N_{gi} - N_{gf}}{N_{gi} - N_{gt} \left[1 + \ln\left(\frac{N_{gi}}{N_{gt}}\right) \right]} \quad (9)$$

unde τ_r este timpul de parcurs dus-întors, de către lumină, al cavității rezonante laser, definit prin:

$$\tau_r = \frac{2l}{c} \quad (10)$$

unde c este viteza luminii. Valoarea finală, reziduală după terminarea emisiei de fotoni laser în regim de comutație a densității de inversie de populație în mediul activ, N_{gf} este obținută ca soluție a ecuației transcendente:

$$N_{gi} - N_{gf} - N_{gth} \ln\left(\frac{N_{gi}}{N_{gf}}\right) \cong 0 \quad (11)$$

Se poate observa, din ecuațiile (7), (8), (9) și (11), că valorile T_{Lin} și T_{Lfin} au un rol important, mai precis raportul lor, definit prin factorul de contrast al comutatorului optic pasiv:

$$K = \frac{(OD)_i}{(OD)_f} \quad (12)$$

unde OD este densitatea optică a comutatorului optic pasiv, definită ca:

$$(OD)_i = -\lg(T_{Lin}) \quad (13)$$

$$(OD)_f = -\lg(T_{Lfin}) \quad (14)$$

RO 128119 B1

1 Din ecuația (9) se poate observa, după o introducere a unei dezvoltări în serie Taylor
a factorului de înmulțire a τ_r , după raportul dintre N_{gr}/N_{gth} , faptul că valoarea sa se apropie de
3 unu pentru valori ale N_{gr}/N_{gth} , corespunzând unor valori din domeniul 10...20 ale factorului de
contrast al comutatorului optic pasiv.

5 Metoda de control a funcționării unui laser cu corp solid în regim de comutație optică
pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante laser cu emisie de impulsuri laser de mare
7 energie cu distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității laser, corespunzătoare oscilației
laser în modul TEM_{00} de volum mare cu lungimi de undă în domeniul spectral 1...5 μm și cu
9 durata la semiampitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei
cavități rezonante laser, ca elemente principale ale metodei conform invenției, constă în utili-
11 zarea unui comutator **3** optic pasiv cu factor mare de contrast, introdus în interiorul cavității
rezonante, și a unei oglinzi **5** laser, având o reflectanță variabilă radial după o lege de distri-
13 buție Gauss sau super-Gauss. Astfel, metoda constă în emisia de impulsuri laser de mare
energie cu distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității laser, corespunzătoare oscilației
15 laser în modul TEM_{00} de volum mare cu lungimi de undă în domeniul spectral 1...5 μm și cu
durata la semiampitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a cavității
17 rezonante laser, folosind un comutator **3** optic pasiv introdus în interiorul cavității rezonante
formate din niște oglinzi **1**, **5** laser, dintre care o oglindă **5** are o reflexie la lungimea de undă
19 laser variabilă radial față de centrul său, comutatorul **3** având un factor de contrast mare,
având la lungimea de undă a laserului o transmitanță optică variabilă de la o valoare inițială
21 foarte mică la una finală, corespunzătoare emisie laser, foarte mare, limitată de reflexiile
Fresnel pe suprafețele sale optic active, oglinzile **1**, **5** laser având distribuții radiale Gauss
23 sau super-Gauss a reflectivității.

25 Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o un laser cu corp solid, a cărui
cavitate rezonantă este formată dintr-o oglindă laser **1** având o reflectanță de $\sim 100\%$ la
lungimea de undă a laserului, un polarizor **2** format dintr-o plachetă de cuarț montată la unghi
27 Brewster față de axa optică a cavității rezonante laser, un comutator **3** optic pasiv al facto-
rului de calitate a cavității rezonante laser pentru obținerea regimului de comutație optică
29 pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante laser, un mediu **4** activ laser cu corp solid,
și o oglindă **5** laser, având o reflectanță la lungimea de undă laser variabilă radial după o
31 lege de distribuție Gauss sau super-Gauss, pentru creșterea eficienței de transformare a
energiei de pompaj în energie utilă laser.

33 O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în reprezentare
schematică, în legătură cu figura. Conform invenției, dispozitivul este alcătuit dintr-o oglindă
35 **1** laser având o reflectanță de $\sim 100\%$ la lungimea de undă laser, un polarizor **2**, format
dintr-o lamelă de cuarț montată la unghi Brewster față de axa optică a cavității rezonante
37 laser, un comutator **3** optic pasiv al factorului de calitate a cavității rezonante laser, un mediu
4 activ laser cu corp solid, și o oglindă **5**, laser având o reflectanță la lungimea de undă a
39 laserului variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss.

RO 128119 B1

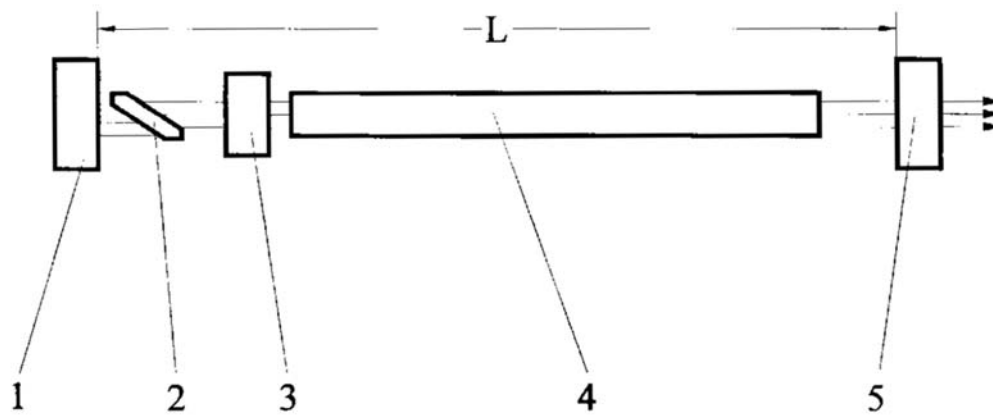
Revendicări

1. Metodă de control a funcționării unui laser cu corp solid, **caracterizată prin aceea că**, pentru a se obține impulsuri laser de mare strălucire, constă în emisia de impulsuri laser de mare energie cu distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității laser, corespunzătoare oscilației laser în modul TEM₀₀ de volum mare cu lungimi de undă în domeniul spectral 1...5 μm și cu durată la semiamplitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități rezonante laser, folosind un comutator (3) optic pasiv, introdus în interiorul cavității rezonante formate din niște oglinzi (1, 5) laser, dintre care o oglindă (5) are o reflexie la lungimea de undă laser variabilă radial față de centrul său, comutatorul (3) având un factor de contrast mare, având la lungimea de undă a laserului o transmitanță optică variabilă de la o valoare inițială foarte mică la una finală, corespunzătoare emisie laser, foarte mare, limitată de reflexiile Fresnel pe suprafețele sale optic active, oglinzile (1, 5) laser având distribuții radiale Gauss sau super-Gauss a reflectivității. 3 5 7 9 11 13
2. Dispozitiv de control a funcționării unui laser cu corp solid care aplică metoda definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o oglindă (1) laser având o reflectanță de ~ 100% la lungimea de undă laser, un polarizor (2) format dintr-o lamelă de cuarț montată la unghi Brewster față de axa optică a cavității rezonante laser, un comutator (3) optic pasiv pentru obținerea regimului de comutație optică pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante, un mediu (4) activ laser corp solid și o oglindă (5) laser având o reflectanță la lungimea de undă a laserului variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss, pentru creșterea eficienței de transformare a energiei de pompaj în energie utilă laser. 15 17 19 21 23

(51) Int.Cl.

H01S 3/106 (2006.01),

H01S 3/11 (2006.01)



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 424/2017