



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2011 00564

(22) Data de depozit: 16.06.2011

(41) Data publicării cererii:
30.01.2013 BOPI nr. 1/2013

(71) Solicitant:
• 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

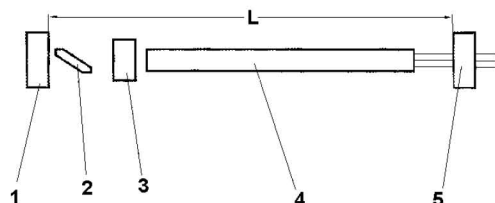
(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV LASER CU FUNCȚIONARE ÎN
REGIM DE COMUTAȚIE OPTICĂ PASIVĂ CU EMISIE DE
IMPULSURI DE MARĂ ENERGIE ȘI CU DURATE
ULTRASCURTE DE NANOCURTE LA SEMIAMPLITUDINE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv laser cu funcționare în regim de comutație optică pasivă, cu emisie de impulsuri de mare energie și cu durate ultrascurte de nanosecunde la semiamplitudine. Metoda conform invenției este caracterizată prin aceea că, pentru a se obține în regim de comutație optică pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante laser, o emisie 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 durata la semiamplitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități rezonante laser, se folosește un comutator optic pasiv, dispozitiv având un factor de contrast mare, adică având, la lungimea de undă a laserului, o transmitanță optică variabilă de la o valoare inițială foarte mică la una finală, corespunzătoare emisiei laser, foarte mare, limitată de reflexii Fresnel pe suprafețele sale optice active, precum și oglinzi laser având o reflectanță variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un laser cu corp solid, a cărui cavitate rezonantă este formată dintr-o oglindă (1) laser având o reflectanță de aproximativ 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 al factorului de calitate a cavității rezonante laser, 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.

Revendicări: 2
Figuri: 1



18

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. 24 00564
Data depozit ... 16 -06- 2011

METODĂ ȘI DISPOZITIV LASER CU FUNCȚIONARE ÎN REGIM DE COMUTAȚIE OPTICĂ PASIVĂ CU EMISIE DE IMPULSURI DE MARE ENERGIE ȘI CU DURATE ULTRASCURTE DE NANOSECEUNDE LA SEMIAMPLITUDINE

Invenția se referă la o metodă 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 energie cu o 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 astfel încât durata acestora la semiamplitudine să devină aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități și la un dispozitiv care aplică metoda.

Se cunosc metode ce folosesc dispozitive de tipul cristalelor electrooptice sau acustooptice introduse în interiorul cavității rezonante laser sau a motoarelor electrice de mici dimensiuni cu viteză mare de rotație a unui element optic al cavității rezonante laser. Aceste dispozitive permit controlul activ al factorului de calitate al cavității rezonante laser acționând asupra transmisiei optice corespunzătoare la o anumită direcție de polarizare a luminii laser emise sau a reflectivității uneia dintre componentele cavității rezonante. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. US3546620, US3613024, US6587483, US6810052, US7068688 și US20050276285 referitoare la metode și dispozitive de comutare a factorului de calitate al cavității rezonante laser.

Dezavantajele principale ale acestor soluții constă în aceea că dispozitivele de control și acționare a cristalelor electrooptice sau acustooptice sau a motoarelor electrice de mare frecvență de rotație necesită consumuri relativ ridicate de energie electrică, operarea cu tensiuni de ordinul kilovoltului, care trebuie să varieze pe durate de ordinul nanosecundelor, semnale electrice de frecvențe ridicate care induc zgomot electromagnetic. De asemenea, astfel de componente și oscilatoarele laser în care sunt folosite necesită costuri mari de fabricație. Un alt dezavantaj al acestor soluții este acela că pentru obținerea de distribuții de tip „vârf de ac”, adică având o distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității fasciculului laser, caracteristică de interes pentru multe aplicații, având în vedere eficiența energetică marită în obținerea efectelor dorite, este necesară introducerea unor elemente mecanice de obturare, diafragmare, în interiorul rezonatorului laser realizându-se astfel eliminarea modurilor periferice de oscilație laser și selectarea, păstrarea modurilor de oscilație laser care au un singur maxim axial de oscilație laser. Prin aceasta se realizează conversia emisiei laser

de la o distribuție multimod a intensității de fascicul la una monomod. Această conversie înseamnă reducerea energiei utile laser emise pentru o valoare dată a energiei de pompaj.

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că permite generarea de impulsuri laser de mare energie cu durate la semiamplitudine de nanosecunde, adică de mare strălucire, având și o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss a intensității fasciculului laser, folosind un comutator optic pasiv având un factor mare de contrast, adică un raport mare între transmitanțele la lungimea de undă laser la semnal mic, nesaturată a absorbției materialului comutatorului optic pasiv, și saturată, adică limitată de reflexia Fresnel pe fețele optice active ale comutatorului optic pasiv care este montat în interiorul unei cavități rezonante laser formate din două oglinzi laser dintre care una are o reflexie la lungimea de undă laser variabilă radial față de centrul său, care coincide cu axa optică a laserului, legea de variație fiind de tip Gauss sau super-Gauss, impunând, prin valoarea ridicată a factorului de contrast al comutatorului optic pasiv, extracția unor impulsuri laser cu valori mari ale energiei și cu durate la semiamplitudine de ordinul a $(1,01 - 1,5) \cdot \tau_r$ unde τ_r este durata de parcurs dus-întors a cavității rezonante laser de către radiația luminoasă.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în obținerea de impulsuri laser de mare strălucire, adică de mare energie emisă ca impulsuri singulare și cu durate la semiamplitudine foarte scurte, la costuri de fabricație reduse, folosind oscilatoare laser operate în regim de comutație optică pasivă a factorului de calitate al cavității rezonante laser ce are în componență cel puțin o oglindă având reflectanța la lungimea de undă laser definită după o lege de variație Gauss sau super-Gauss.

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 semiamplitudine și având forme de timp aleatorii sau în regim de comutație, într-o formulare mai precisă: „a factorului de calitate a cavității rezonante laser”, care factor de calitate are 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 emisiei 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 acclorași 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 maxim 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_{pl} , o funcție de forma:

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

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 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 observa faptul că talia w_0 a unei cavități rezonante laser, în cazul neluării nici unei măsuri din construcție de control a distribuției radiale de intensitate a fasciculului laser, este aproximativ 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 față de axa cavității rezonante laser a mediului activ.

Din ecuația (1) se poate observa faptul, verificat experimental, că pentru obținerea unei distribuții de tip „vârf de ac”, adică având o distribuție Gauss sau super-Gauss, a intensității fasciculului laser, cu un singur maxim central, pe axul cavității rezonante laser, soluția este introducerea unor elemente mecanice de obturare, diafragmare, în interiorul rezonatorului laser, realizându-se astfel eliminarea modurilor periferice de oscilație laser, a 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 TEM_{00} , definit prin relația:

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

Această conversie de la emisia laser cu o distribuție transversală de intensitate laser multimod la cea TEM_{00} înseamnă și micșorarea eficienței de transformare a energiei de pompaj în energie utilă laser. Motivul principal al scăderii eficienței de transformare a energiei de pompaj în energie utilă laser rezultă din faptul că este, practic, obturată o parte din secțiunea transversală a mediului activ.

Se cunoaște din literatură faptul că pentru o configurație dată a cavității rezonante laser, se poate evita obturarea unei părți din secțiunea transversală a mediului activ prin utilizarea unor oglinzi laser care au o reflectanță variabilă radial, după o lege Gauss sau 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, funcție de intensitatea fasciculului incident, a unor centri absorbante, modurile de oscilație laser având maxime axiale de intensitate vor fi discriminate pozitiv în raport cu cele care au maxime neaxiale, altfel spus, modul TEM_{00} va fi favorizat.

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

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

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

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

unde n este densitatea de fotoni în interiorul cavități rezonante laser, N_g este densitatea de inversie de populație în mediul activ, N_a este densitatea de centri absorbanti din comutatorul optic pasiv, N_{a0} este valoarea inițială a acestei densități, adică a centrilor absorbanti aflați pe nivelul energetic fundamental, K_g și K_a sunt coeficienții de cuplaj ai radiației laser cu mediul activ și cu absorbantul saturabil, γ_g și γ_a sunt coeficienții de scădere al densității de inversie de populație și al densității de centrul absorbanti excitați, γ_c este coeficientul de scădere al densității de fotoni datorită pierderilor cavități 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 reflectanțele 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 comutatorului optic pasiv în starea inițială și finală, deschisă, corespunzătoare excitării cvasi totalității centrilor absorbanți 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 emisieii 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 defintă ca:

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

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

Din ecuația (9) se poate observa, după o introducerea 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 unu pentru valori ale N_{gr}/N_{gth} corespunzând unor valori din domeniul 10 - 20 ale factorului de contrast al comutatorului optic pasiv.

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 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 durata la semiamplitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități rezonante laser, ca elemente principale ale metodei conform invenției, constă în utilizarea unui comutator optic pasiv cu factor mare de contrast și a unei oglinzi laser având o reflectanță variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss.

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o un laser cu corp solid a cărui cavitare rezonantă este formată dintr-o oglindă laser având o reflectanță de ~ 100% la lungimea de undă a laserului (1), un polarizor format dintr-o plachetă de cuarț montată la unghi Brewster față de axa optică a cavității rezonante laser (2), un comutator optic pasiv al factorului de calitate a cavității rezonante laser (3), un mediu activ laser cu corp solid (4) și o oglindă laser având o reflectanță la lungimea de undă laser variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss (5).

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 fig. 1 se prezintă schematic o formă preferată de realizare a invenției.

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

REVENDICĂRI

1. Metodă de control a funcționării unui laser cu corp solid **caracterizată prin aceea că** pentru a se obține în regim de comutație optică pasivă a factorului de calitate a cavității rezonante laser o emisie 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 durata la semiamplitudine aproximativ egală cu timpul de parcurgere dus-întors a acestei cavități rezonante laser se folosește un comutator optic pasiv dispozitiv având un factor de contrast mare, adică având, la lungimea de undă a laserului, o transmittanță 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 precum și oglinzi laser având distribuții radiale Gauss sau super-Gauss a reflectivității.

2. Dispozitiv de control a funcționării unui laser corp solid care aplică metoda definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o oglindă laser având o reflectanță de $\sim 100\%$ la lungimea de undă laser (1), un polarizor format dintr-o lamelă de cuarț montată la unghi Brewster față de axa optică a cavității rezonante laser (2), un comutator optic pasiv al factorului de calitate a cavității rezonante laser (3), un mediu activ laser corp solid (4) și o oglindă laser având o reflectanță la lungimea de undă a laserului variabilă radial după o lege de distribuție Gauss sau super-Gauss (5).

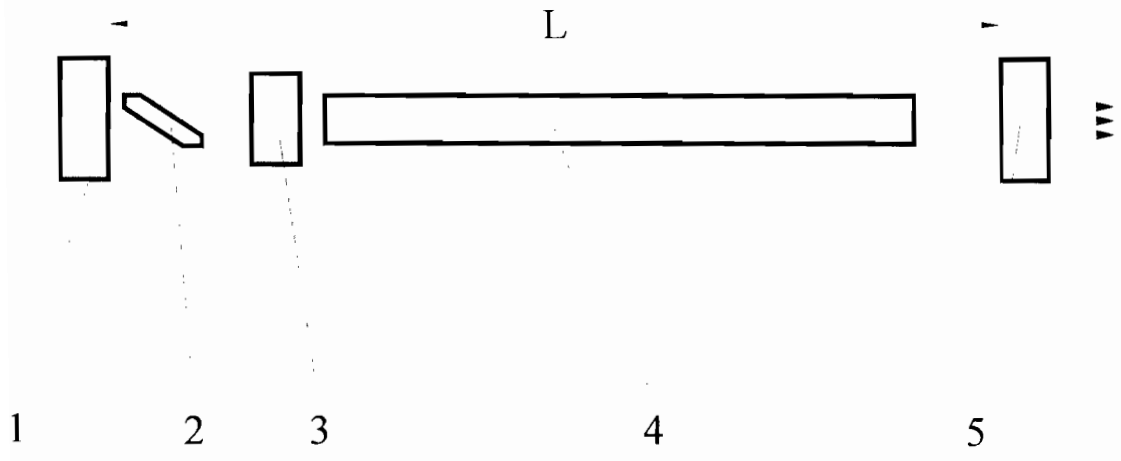


Fig. 1