

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2023 00314**

(22) Data de depozit: **21/06/2023**

(41) Data publicării cererii:
30/10/2023 BOPI nr. **10/2023**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI - INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR
NR. 409, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **PAVEL NICOLAIE, STR. BUJORILOR
NR.5, BL. B21, SC. B, AP. 17, MĂGURELE,
IF, RO;**
• **GRIGORE OANA- VALERIA,
STR.TINERETULUI, NR.6, BL.E2, ET.3,
AP.15, URZICENI, IL, RO;**
• **CROITORU GABRIELA, STR. SECUIILOR,
NR. 11, BL.18, SC.3, AP.78, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **SISTEM LASER PENTRU APRINDEREA AMESTECURILOR
COMBUSTIBILE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem laser pentru aprinderea amestecurilor combustibile. Sistemul, conform invenției, conține un mediu activ compozit cilindric având o gaură centrală (3) pentru răcire în timpul funcționării și fiind compus dintr-un mediu activ laser (1) și un mediu comutator pasiv (2) lipite între ele, un rezonator optic cu o oglindă (4) depusă pe suprafața liberă a mediului activ laser (1) și o oglindă (5) de extracție a radiației laser depusă pe suprafața liberă a mediului comutator pasiv (2), niște diode laser (6a-6d) cuplate la niște fibre optice (7a-7d), care livrează radiație (8a-8d) la lungimea de undă de pompaj, direcția de propagare fiind în lungul axei sistemului, un set de lentile (9a-9d), care focalizează fiecare radiație de pompaj, un sistem de prisme triunghiulare (10a-10d), care schimbă cu 90° direcția de propagare a radiației de pompaj, urmat de un alt sistem de prisme triunghiulare (11a-11d), care schimbă din nou cu 90° direcția de propagare a radiației laser, astfel încât fiecare radiație de pompaj este perpendiculară pe oglindă (4) și este introdusă și absorbită în zone determinate ale mediului activ laser (1).

Revendicări: 5
Figuri: 3

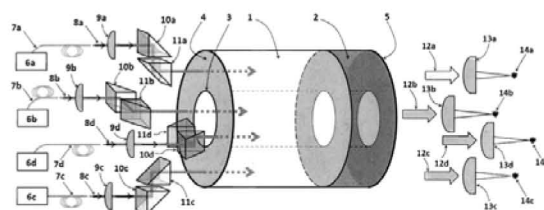


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2023 ep 314
Data depozit 21-06-2023

RO 137724 A0

45

DESCRIEREA INVENȚIEI

TITLUL INVENȚIEI

SISTEM LASER PENTRU APRINDEREA AMESTECURILOR COMBUSTIBILE

DOMENIUL TEHNIC. Invenția este în legătură cu aprinderea amestecurilor combustibile care au nevoie de o sursă externă de energie pentru a fi aprinse, fiind de interes pentru diferite echipamente termice (camere de aprindere cu volum constant, centrale termice, sau cazane cu aburi) sau pentru diferite motoare cu ardere internă (motoare de automobil, motoare pentru rachete sau turbo-reactoare pentru avioane și elicoptere, motoare pentru vapoare, sau unități de generare a energiei electrice). Metoda implică utilizarea unui laser cu corp solid pompat cu diode laser, cu emisie pulsată în regim comutat, care furnizează mai multe fascicule, astfel încât aprinderea se face într-un punct sau simultan în mai multe puncte. Pentru un eveniment de aprindere, fiecare fascicul laser poate conține câte un puls laser, sau trenuri de pulsuri laser pentru ca aprinderea să fie obținută pentru amestecuri combustibile cu diferite concentrații. Metoda asigură aprinderea eficientă a amestecurilor combustibile stoichiometrice (cu raport relativ combustibil/aer, $\lambda = 1$) și permite aprinderea amestecurilor sărace / diluate în combustibil (cu $\lambda > 1$), conducând la economii de combustibil.

STADIUL TEHNICII

Aprinderea cu laser a amestecurilor combustibile asigură anumite avantaje în comparație cu aprinderea clasică cu bujie electrică. Astfel, flacăra se dezvoltă liber, deoarece viteza și traiectoria acesteia nu sunt influențate de prezența electrodului electric. Apoi, aprinderea se poate face în orice zonă a camerei de combustie sau a cilindrului motorului, iar în acest fel distanța de ardere poate fi redusă și durata procesului de combustie poate fi optimizată. Aprinderea cu laser se poate iniția în mai multe puncte simultan, realizându-se astfel un control spațial al aprinderii combustibilului. În plus, controlul aprinderii poate fi realizat și temporal, prin aplicarea unui singur puls laser sau prin utilizarea unor trenuri de pulsuri laser pentru un singur eveniment de aprindere. Aceste aspecte conduc, în cazul aprinderii cu laser în comparație cu aprinderea cu bujie electrică, la scurtarea duratei procesului de combustie, la creșteri ale presiunilor maxime atinse și astfel la creșterea eficienței de ardere, precum și la posibilitatea de utilizare a unor amestecuri combustibile diluate (ceea ce determină economii de combustibil).

Vom discuta diferite metode propuse pentru aprinderea cu laser a amestecurilor combustibile, prin focalizarea unui fascicul laser în mai multe puncte, sau prin focalizarea individuală a mai multor fascicule laser. Într-o camera statică, cu volum constant, aprinderea cu laser în două puncte a fost obținută prin focalizarea a două fascicule laser [T. Phuoc, *Single-point versus multi-point laser ignition: experimental measurements of combustion times and pressures*, Combustion



and Flame, vol. **122** (4), 508-510 (2000)]. Pentru introducerea fasciculelor în cameră au fost folosite două ferestre transparente la radiația laser, poziționate astfel încât punctele de aprindere au fost plasate simetric față de centrul camerei de aprindere.

Într-o altă abordare, două puncte de aprindere au fost obținute prin atașarea la camera statică a unei cavități conice [M.H. Morsy et al, *Laser-induced two-point ignition of premixture with a single-shot laser*, Combustion and Flame, vol. **124** (4), 724-727 (2001)]. Primul punct de aprindere a fost obținut prin focalizarea directă a fasciculului laser în camera statică; în continuare, radiația laser a fost direcționată către cavitatea conică, pe pereții căreia s-a reflectat pentru a se obține al doilea punct de aprindere. Pentru realizarea a trei puncte de aprindere, camera statică a fost echipată cu două cavități conice, fiecare cavitate fiind folosită pentru focalizarea radiației laser [M.H. Morsy, S.H. Chung, *Laser-induced multi-point ignition with a single-shot laser using two conical cavities for hydrogen/air mixture*, Experimental Thermal and Fluid Science, vol. **27** (4), 491-497 (2003)]. Aceste configurații au fost utilizate pentru studii ale proprietăților aprinderii cu laser (presiuni maxime și timpi de combustie) în cazul unor amestecuri combustibile CH₄-aer și H₂-aer. Totuși, pentru obținerea mai multor puncte de focalizare astfel de soluții constructive sunt complicate; astfel de soluții sunt utile pentru studii experimentale, însă implementarea lor într-un dispozitiv real implică probleme tehnice greu de rezolvat.

Trei puncte de aprindere au fost obținute, într-o cameră de combustie statică, prin focalizarea unui fascicul laser cu ajutorul unei lentile difractive [M. Weinrotter et al, *Laser ignition of ultra-lean methane/hydrogen/air mixtures at high temperature and pressure*, Experimental Thermal and Fluid Science, vol. **29** (5), 569-577 (2005)]. Aceasta metodă este simplă și ușor de implementat, însă distanța dintre punctele de aprindere poate fi modificată într-un domeniu limitat.

Trei puncte de aprindere au fost obținute de la un fascicul laser cu ajutorul unui modulator spațial [E. Lyonet al, *Multi-point laser spark generation for internal combustion engines using a spatial light modulator*, Journal of Physics D - Applied Physics, vol. **47** (47) 475501 (2014)]. Totuși, un astfel de modulator optic are un prag de distrugere redus la radiația laser.

În documentul **JP2006242038A** se propune utilizarea unui fascicul laser iar cu ajutorul unor elemente piezoelectrice sau componente cu proprietăți magnetice se modifică suprafața lentilei de focalizare, astfel încât fasciculul inițial este divizat în mai multe fascicule care apoi sunt focalizate individual. Astfel, aprinderea se poate realiza în două sau mai multe puncte.

Documentul **JP2007291965A** consideră utilizarea unui fascicul laser care este introdus în cilindrul motorului și care se reflectă pe pereții acestuia. După fiecare reflexie fasciculul este focalizat rezultând mai multe puncte de aprindere. Totuși, peretele cilindrului motorului nu poate fi menținut curat în cursul funcționării, iar propagarea fasciculului laser este afectată de amestecul de combustibil din cilindru.

În documentul **JP2008002409A** se propune folosirea unui mediu activ laser care este plasat într-un rezonator optic a cărui oglindă de extracție prezintă mai multe găuri, astfel încât laserul

24



emite mai multe fascicule. Însă, eficiența optică a unui astfel de laser este redusă, datorită configurației rezonatorului optic.

Documentul **WO2011/015406A2** consideră utilizarea unui singur mediu activ laser care este pompat în diferite regiuni, iar fiecare zonă emite un fascicul laser care apoi este focalizat pentru a obține mai multe puncte de aprindere. Alternativ, fasciculele laser pot fi combinate și focalizate într-un singur punct.

Documentul **JP5630765B2 / WO2012039123A** propune folosirea unui singur mediu activ laser pentru obținerea mai multor fascicule, iar fiecare fascicul laser este focalizat în cilindrul motorului cu un sistem optic care schimbă și direcția de propagare a acestuia pentru a accesa diferite zone ale cilindrului.

În documentul **US20080257294A1** se propune plasarea pe cilindrul motorului a mai multor dispozitive laser, iar fiecare laser livrează câte un fascicul care apoi este focalizat în cilindru pentru obținerea punctului de aprindere. Totuși, utilizarea mai multor dispozitive laser implică modificări ale geometriei și dimensiunilor cilindrului motorului.

Documentul **WO2002081904A1** propune utilizarea unei surse laser plasată în afara motorului, urmată de un element optic care asigură transmisia fasciculului laser către motor și apoi divizarea acestuia în mai multe fascicule, fiecare fascicul fiind focalizat individual în cilindrul motorului.

Autorii documentului **RO129307** propun utilizarea unei proiectări speciale a mediului laser, acesta fiind de tip dreptunghiular, în care radiația de pompaj de la două diode, fiecare cuplată la fibra optică, este introdusă cu ajutorul a două prisme. Laserul emite două fascicule, care sunt focalizate cu un sistem optic pentru a se obține două puncte de aprindere.

Documentul **RO132267** prezintă o configurație pentru un laser cu patru fascicule, acesta fiind constituit dintr-un mediu laser de tip compozit cilindric care este pompat cu patru diode laser cuplate la fibra optică pentru a emite patru fascicule laser. Sunt propuse diferite sisteme optice de focalizare care permit obținerea unui punct de aprindere, precum și a patru puncte de aprindere care pot fi poziționate în lungul axei centrale a sistemului, dar și în afara sau înăuntrul acesteia. Configurația este bine elaborată din punct de vedere tehnic, însă nu destul de compactă, datorită poziționării fibrelor optice ale diodelor laser de pompaj perpendicular pe axa mediului laser compozit. Mai mult, mediul laser compozit nu poate fi răcit eficient în cazul funcționării la temperaturi ridicate (specifice motoarelor cu ardere internă). În plus, atât în acest document cât și în cele menționate anterior, nu este discutat regimul de funcționare a laserului.

PROBLEMA TEHNICĂ PE CARE O REZOLVĂ INVENTIA

În cazul aprinderii amestecurilor combustibile se dorește obținerea de timpi de ardere cât mai rapizi și de presiuni ridicate, o îmbunătățire a eficienței procesului de ardere, precum și extinderea limitelor amestecurilor combustibile care pot fi aprinse, în principal a amestecurilor diluate a căror utilizare poate conduce la economii de combustibil. Problema tehnică pe care o



rezolvă această invenție este de a realiza un laser compact pompat cu diode laser, care să funcționeze în condiții de vibrații și temperaturi ridicate, care să livreze mai multe fascicule ce pot fi focalizate într-un volum stabilit al amestecului combustibil, care să permită aprinderea într-un punct sau simultan în mai multe puncte iar pentru fiecare eveniment de aprindere să fie utilizat un puls laser sau un tren de pulsuri laser, soluții ce permit creșterea eficienței de aprindere și extinderea limitelor de aprindere ale amestecurilor combustibile.

DESCRIEREA INVENȚIEI

Conform invenției, așa cum este descrisă în continuare, problema obținerii unui laser compact cu mai multe fascicule, fiecare fascicul conținând un puls sau trenuri de pulsuri, fiecare puls cu putere de vârf suficient de ridicată pentru a iniția aprinderea unor amestecuri combustibile, este rezolvată prin faptul că: rezonatorul laser este de tip monolitic și conține un mediu activ laser de tip compozit în formă tubulară (cilindru găurit); că pompajul mediului activ laser se face cu diode laser cuplate la fibre optice; că un sistem optic transportă și introduce radiația de pompaj în mediul activ laser astfel încât direcția de propagare a radiației de pompaj este paralelă cu axa sistemului laser; că prin modificarea duratei pulsului de pompaj livrat de o diodă laser un fascicul laser emis de mediul activ conține un singur puls sau trenuri de pulsuri laser; că focalizarea fiecărui fascicul laser se face cu o singură lentilă astfel încât este obținut fenomenul de aprindere.

Mediul laser este de tip compozit, fiind realizat prin lipirea prin contact optic a unui mediu activ laser la un mediu optic cu transmisie variabilă la lungimea de undă a radiației laser (numit și mediu comutator cu absorbție variabilă). Pentru răcire, necesară în cazul funcționării pe un motor (adică la temperaturi ridicate), mediul laser poate fi de formă cilindrică sau deptunghiulară, având în zona centrală o gaură (un orificiu) cu diametru determinat. Ca mediu activ laser pot fi utilizate medii ceramice de tipul Nd:YAG sau Yb:YAG sau medii cristaline de tipul Nd:YAG, Yb:YAG, Nd:YVO₄ sau Nd:GdVO₄, iar ca mediu comutator se poate folosi Cr⁴⁺:YAG (de tip ceramic sau cristalin). Caracteristicile mediului activ laser, adică gradul de dopaj cu ionul activ Nd sau Yb și lungimea mediului, se stabilesc astfel încât să se obțină o absorbție ridicată (peste 95%) a radiației de pompaj, astfel încât proprietățile mediului comutator să nu fie influențate de radiația de pompaj rămasă neabsorbită. În general, lungimea mediului activ laser se poate proiecta să fie de până la 10 mm. Mediul comutator poate avea o lungime de ordinul mm (sub 5 mm) pentru a se asigura transmisia necesară emisiei unor pulsuri laser cu putere de vârf ridicată.

Rezonatorul laser este de tip monolitic. Oglinda dielectrică cu reflectivitate 100% la lungimea de undă laser se depune pe suprafața liberă a mediului activ laser (suprafața dinspre sistemul optic de pompaj); aceasta oglindă prezintă și transmisie ridicată (peste 97%) la lungimea de undă de pompaj. Oglinda de extracție laser se depune pe suprafața liberă a mediului comutator (suprafața dinspre sistemul optic de focalizare a fasciculelor laser), având o reflectivitate determinată la lungimea de undă laser. În general, reflectivitatea acestei oglinzi este în domeniul 40% la 60% pentru obținerea de pulsuri laser cu putere de vârf ridicată. Această configurație, de

rezonator monolitic cu mediu laser compozit tubular (găurit în mijloc), asigură o structură compactă a laserului, rezistență la vibrații și răcire eficientă în cazul funcționării la temperaturi ridicate.

Pompajul optic se face cu diode laser cuplate la fibre optice, acestea fiind poziționate paralel cu axa centrală a mediului laser compozit. Utilizarea mai multor fibre optice care sunt dispuse circular poate conduce la un montaj al cărui diametru este mai mare decât cel al mediului laser compozit. Pentru a avea un dispozitiv compact, fiecare sistem optic de transfer al radiației de pompaj în mediul laser compozit este compus dintr-o lentilă și două prisme. Lentila focalizează radiația livrată de fibra optică. În continuare, o prismă schimbă direcția de propagare a radiației de pompaj cu 90° . A doua prismă schimbă din nou direcția de propagare cu 90° , astfel încât direcția finală de propagare a fasciculului de pompaj este din nou paralelă cu axa mediului laser compozit. Prin alegerea distanței dintre prisme se reduce diametrul mediului laser compozit. Prin stabilirea distanțelor dintre lentilă și prima prismă, dintre prisme și dintre a doua prismă și mediul laser compozit se asigură focalizarea radiației de pompaj în mediul laser compozit, în poziția și la dimensiunile necesare pentru a avea o suprapunere ridicată (aproape de unitate) a volumului pompat cu volumul care emite laser. Astfel, pompajul longitudinal cu acest sistem optic asigură transferul radiației de pompaj simultan în mai multe zone ale mediului laser compozit, folosind o soluție simplă și fără pierderi, menținând o structură compactă a întregului sistem.

Focalizarea fiecărui fascicul laser se face independent, cu câte o lentilă. Acestea pot avea lungimi focale egale, astfel încât punctele de focalizare (de aprindere cu laser) să fie poziționate în același plan. În plus, pot fi utilizate lentile cu lungimi focale diferite, astfel încât punctele de focalizare sunt plasate în puncte plasate în plane diferite iar aprinderea cu laser se va obține într-un volum controlat.

Pompajul diodelor laser se face în regim pulsant, cu pulsuri electrice dreptunghiulare având durata apropiată de timpul de viață al nivelului laser superior specific mediului activ laser. Astfel, rezonatorul laser proiectat corespunzător va emite fascicule care conțin câte un puls laser pentru o energie de pompaj stabilită. Durata unui puls laser poate fi de ordinul nanosecundelor (ns). Creșterea energiei de pompaj (care se poate realiza prin creșterea duratei pulsului electric de pompaj) va conduce la emisia mai multor pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj. Fiecare fascicul laser va conține mai multe pulsuri, operând în regim de "trenuri de pulsuri". Durata dintre două pulsuri laser consecutive într-un tren de pulsuri poate varia în domeniul zeci - sute de microsecunde (μs). Diodele laser pot fi operate independent sau simultan. Această soluție asigură posibilitatea de a obține aprinderea cu laser în diferite combinații: într-un punct sau în mai multe puncte cu un singur puls laser sau într-un punct sau în mai multe puncte folosind trenuri de pulsuri laser. În timp ce aprinderea într-un singur punct este eficientă pentru amestecuri combustibile stoichiometrice ($\lambda = 1$), celelalte combinații de aprindere conduc la aprinderea unor amestecuri combustibile diluate ($\lambda > 1$) și la extinderea pragului limită de aprindere pentru amestecurile combustibile diluate. În plus, aprinderea în trenuri de pulsuri conduce la o ardere mai rapidă a combustibilului și la presiuni mai ridicate, în comparație cu aprinderea cu un singur puls.

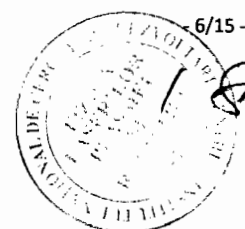
FIGURI ȘI MOD DE REALIZARE

Alte caracteristici și avantaje ale invenției rezultă din desenele următoare.

Figura 1a este o vedere generală a sistemului laser, în care focalizarea fasciculelor laser se face cu lentile cu distanța focală egală, astfel că punctele de focalizare (în care se inițiază aprinderea) sunt în același plan, acesta fiind perpendicular pe axa întregului sistem laser. Configurația laser conține un mediu activ laser de formă cilindrică **1** la care se atașează, în partea dreaptă, un mediu optic **2** care acționează ca un comutator pasiv. Contactul optic dintre cele două medii se poate obține prin diferite metode specifice, rezultând o structură compozită mediu activ laser - mediu comutator pasiv. Mediul laser compozit este de formă tubulară având un orificiu cilindric **3** în centrul lui. Această geometrie permite răcirea mediului laser compozit pe suprafața exterioară precum și pe interior (prin suprafața asigurată de gaura interioară) obținându-se astfel o răcire eficientă. Mediul activ laser poate fi Nd:YAG, Yb:YAG, Nd:YVO₄ sau Nd:GdVO₄, iar mediul comutator pasiv poate fi Cr⁴⁺:YAG cu absorbție saturabilă la lungimea de undă laser. Rezonatorul laser de tip monolitic se obține prin depunerea pe suprafața din stânga a mediului activ laser a unei oglinzi dielectrice **4** cu reflectivitate ridicată (peste 99.9%) la lungimea de undă laser și cu transmisie ridicată (mai mare de 97%) la lungimea de undă de pompaj și prin depunerea pe suprafața din dreapta a mediului comutator pasiv a unei oglinzi dielectrice **5** cu transmisie parțială la lungimea de undă laser. Această structură de tip mediu laser compozit cu rezonator monolitic asigură stabilitate în funcționare și în condiții de vibrații.

Diodele laser **6a**, **6b**, **6c**, **6d** sunt cuplate la fibre optice **7a**, **7b**, **7c**, **7d** poziționate în lungul axei sistemului laser și furnizează radiația de pompaj **8a**, **8b**, **8c**, **8d** necesară pentru a obține emisie laser de la mediul laser compozit. Focalizarea radiației de pompaj se face cu lentile **9a**, **9b**, **9c**, **9d**, fiind utilizată o singură lentila pe fiecare linie de pompaj, pentru realizarea simplă a alinierii fasciculului. În continuare, prisme triunghiulare **10a**, **10b**, **10c**, **10d** schimbă direcția de propagare a fasciculelor de pompaj cu 90°. Alte prisme triunghiulare **11a**, **11b**, **11c**, **11d** schimbă din nou cu 90° direcție de propagare, aceasta devenind paralelă cu axa sistemului și realizează introducerea radiației de pompaj în mediul activ laser. Deoarece capetele de prindere a fibrelor optice au dimensiuni relativ ridicate (diametru de 8 mm), poziționarea lor pe un cerc impune cerințe asupra diametrului mediului laser compozit. Soluția de utilizare a două prisme pe fiecare linie de pompaj permite, prin ajustarea distanței dintre prisme, să fie folosit un mediu laser compozit cu diametru mai mic, astfel realizabil prin tehnici actuale la un preț rezonabil. În plus, prin ajustarea distanței dintre lentila de focalizare și prima prismă, a distanței dintre prisme și a distanței dintre a doua prismă și mediul laser compozit, fasciculul de pompaj este focalizat în poziția dorită pe suprafața **4** și la adâncimea necesară în mediul activ laser **1** (adică la o anumită distanță în mediul laser **1** față de oglinda **4**).

Rezonatorul laser de tip monolitic se formează între oglinzile dielectrice paralele **4** și **5**. Pompajul longitudinal asigură o suprapunere ridicată (aproape de unitate) între volumul pompat cu radiație la lungimea de undă de pompaj și volumul din mediul activ laser care emite radiație la



lungimea de undă laser. Absorbția radiației de pompaj conduce la realizarea unei inversii de populație în fiecare volum pompat, iar după depășirea nivelului de prag necesar emisiei laser și saturarea mediului comutator pasiv în regiunile corespunzătoare mediului activ laser cu inversii de populație vor fi emise fascicule laser pulsate **12a, 12b, 12c, 12d**.

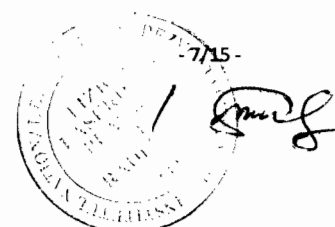
Fiecare fascicul laser **12a, 12b, 12c, 12d** este focalizat cu ajutorul unei lentile **13a, 13b, 13c, 13d** care poate fi identică pentru fiecare fascicul. Punctele de aprindere **14a, 14b, 14c, 14d** se obțin în focarul lentilelor, fiind situate în același plan, acesta fiind perpendicular pe axa sistemului laser. Mediul laser de tip compozit, cu geometrie tubulară, poate fi realizat și sub formă de dreptunghi sau altă formă de paralelipiped, cu suprafețe de intrare și ieșire paralele de tip poligon, cazuri în care numărul de diode laser de pompaj și astfel numărul de fascicule laser poate fi crescut. Focalizarea fasciculelor laser se poate face și cu lentile având distanța focală diferită, rezultând puncte ce permit inițierea aprinderii într-un volum mai mare al amestecului combustibil.

Figura 1b este o vedere a ansamblului laser dinspre sistemul optic de pompaj. Sunt indicate fibrele optice **7a, 7b, 7c, 7d** care livrează fasciculele optice / radiațiile de pompaj **8a, 8b, 8c, 8d**, lentilele **9a, 9b, 9c, 9d** care focalizează radiația de pompaj, prismele **10a, 10b, 10c, 10d** care schimbă cu 90° direcția de propagare a fiecărei radiații de pompaj, prismele **11a, 11b, 11c, 11d** care schimbă din nou cu 90° direcția de propagare astfel încât fiecare radiație de pompaj să fie incidentă pe oglinda dielectrică **4** care este depusă pe mediul activ laser **1**, acesta fiind de formă tubulară cu un orificiu circular **3** în centru.

Figura 1c prezintă o variantă de realizare a sistemului optic de pompaj în care prismele triunghiulare **11a, 11b, 11c, 11d** sunt înlocuite cu prisme trapezoidale **15a, 15b, 15c, 15d** care sunt în contact cu mediul activ laser **1** prin intermediul oglinzii dielectrice **4**. Această configurație crește rezistența la vibrații a sistemului laser.

Fiecare fascicul laser poate să conțină, pentru fiecare eveniment de aprindere, câte un puls laser sau câte un tren de pulsuri laser. Figura 2a prezintă situația în care fiecare diodă laser **6a, 6b, 6c, 6d**, Figura 1a, este operată la o rată de repetiție f_{rep} astfel că durata dintre două pulsuri de pompaj este $\Delta t_{rep} = 1/f_{rep}$, fiecare puls de pompaj este dreptunghiular cu durata t_{pump} , iar fibrele optice **7a, 7b, 7c, 7d**, Figura 1a, transmit radiația de pompaj **8a, 8b, 8c, 8d**, Figura 1a, către sistemul laser care va genera fascicule laser **12a, 12b, 12c, 12d**, Figura 1a, fiecare fascicul conținând un singur puls laser. Rata de repetiție f_{rep} a pulsurilor laser poate fi ajustată în intervalul 1 Hz la 100 Hz, acest domeniu fiind suficient pentru aplicații care presupun aprinderea controlată în motoarele cu ardere internă ale automobilelor. În cazul în care mediul activ laser este de tip Nd:YAG, radiația de pompaj are lungimea de undă de 807 nm iar durata pulsului de pompaj este 250 μ s, în concordanță cu timpul de viață al nivelului laser superior al Nd:YAG. Prin creșterea duratei pulsului de pompaj t_{pump} sistemul laser poate emite un număr crescut de pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj.

Figura 2b prezintă un mod de operare în care durata pulsului de pompaj dreptunghiular t_{pump} este crescută astfel încât pentru fiecare fascicul de pompaj **8a, 8b, 8c, 8d**, Figura 1a, sistemul



laser va emite câte un fascicul laser **12a, 12b, 12c, 12d**, Figura 1a, care conține cinci pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj. Acest regim de operare este în "tren de pulsuri" cu cinci pulsuri laser la rata de repetiție f_{rep} . Durata Δt dintre oricare două pulsuri consecutive dintr-un tren de pulsuri laser este egală.

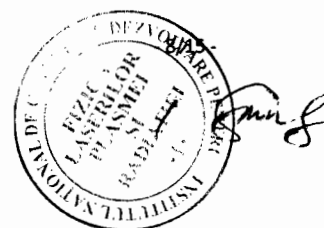
Figura 2c arată cazul în care durata pulsului de pompaj dreptunghiular t_{pump} este crescută astfel încât fiecare fascicul laser **12a, 12b, 12c, 12d**, Figura 1a, conține zece pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj, la aceeași rata de repetiție f_{rep} utilizată pentru cazurile prezentate în Figura 2a și Figura 2b. Se obține operarea în "tren de pulsuri" cu 10 pulsuri laser pentru fiecare puls de pompaj. Utilizarea diferitelor configurații și combinații de aprindere, spre exemplu aprinderea într-un punct cu un singur puls laser, aprinderea într-un punct cu trenuri de pulsuri laser, aprinderea în patru puncte cu câte un singur puls laser, aprinderea în patru puncte cu trenuri de pulsuri laser, sau alte combinații, va crește posibilitatea de a aprinde amestecuri combustibile sărace, precum și extinderea limitelor inferioare pentru amestecurile sărace în combustibil care pot fi aprinse.

Figura 3 prezintă diferite modalități de focalizare a fasciculelor laser pentru a obține puncte de aprindere care să permită accesarea diferitelor volume ale amestecurilor combustibile. Figura 3a este un aranjament (privire laterală) în care fasciculele laser **12a, 12b, 12c, 12d** sunt focalizate cu lentile **13a, 13b, 13c, 13d** care au aceeași lungime focală și care sunt plasate la aceeași lungime de suprafața 5 a mediului compozit Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG. În consecință, punctele de aprindere vor fi situate în același plan, perpendicular pe axa de simetrie a sistemului laser.

Figura 3b indică o soluție în care două fascicule laser **12a, 12c** sunt focalizate cu lentile identice **13a, 13c** în două puncte **14a, 14c** situate la distanță focală egală, iar alte două fascicule laser **12b, 12d** sunt focalizate cu lentile **16a, 16b** având distanța focală mai lungă, obținându-se două puncte de aprindere **17a, 17b** aflate la distanță mai mare de planul în care sunt plasate toate lentilele. Alte combinații de câte două lentile pot fi utilizate. Soluția permite aprinderea amestecurilor combustibile într-un volum mai mare decât cel realizabil cu montajul din Figura 3a.

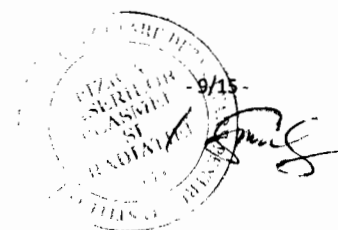
Figura 3c arată un aranjament în care fiecare fascicul laser **12a, 12b, 12c, 12d** este focalizat cu câte o lentilă **13a, 18, 19, 20** având fiecare lungime focală diferită (lungime focală lentila **13a** < lungime focală lentila **18** < lungime focală lentila **19** < lungime focală lentila **20**), astfel încât punctele de focalizare **14a, 21, 22, 23** sunt poziționate la distanțe crescătoare față de planul în care sunt plasate lentilele. Acest aranjament permite aprinderea într-un volum și mai mare al amestecului combustibil, în comparație cu montajele prezentate în Figura 3a și Figura 3b. Aprinderea amestecurilor combustibile se poate face într-un punct sau în mai multe puncte (în orice combinație), considerând fascicule laser care conțin câte un puls laser pentru un puls de pompaj sau trenuri de pulsuri laser pentru un puls de pompaj.

În experimente preliminare efectuate de autori, a fost utilizat un mediu laser compozit tubular constituit dintr-un mediu laser Nd:YAG ceramic cu lungimea de 8.5 mm, atașat / lipit la un mediu Cr⁴⁺:YAG ceramic, comutator cu absorbție saturabilă, având lungimea de 2.5 mm. Diametrul



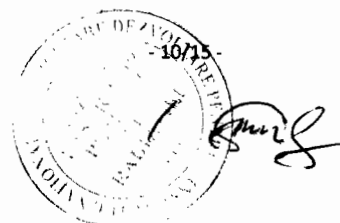
mediului compozit Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG a fost de 17 mm, iar orificiul cilindric central a avut diametrul de 6 mm. În cazul în care fiecare diodă de pompaj a livrat radiația de pompaj sub forma unui puls dreptunghiular cu durata de 250 μ s la lungimea de undă de 807 nm, mediul compozit Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG a emis patru fascicule laser la lungimea de undă de 1.06 μ m, fiecare fascicul conținând câte un puls laser cu energia de 3.5 mJ și durata de \sim 1 ns (putere de vârf de 3.5 MW). Pentru un pompaj optic cu pulsuri dreptunghiulare având durata de 950 μ s, mediul Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG a emis patru fascicule laser, fiecare fascicul având cinci pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj. Durata Δt dintre fiecare puls laser a fost de 160 μ s. Când radiația de pompaj a conținut pulsuri la 807 nm cu durata de 1.750 μ s, mediul Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG a emis 10 pulsuri laser pentru fiecare puls de pompaj, obținând-se operarea în "tren de pulsuri" cu câte 10 pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj. Durata unui puls laser a fost de \sim 1 ns iar durata Δt dintre două pulsuri laser consecutive a fost de 160 μ s; energia fiecărui puls laser a fost de 3.5 mJ și astfel energia totală a trenului de pulsuri a fost de 35 mJ.

În experimente s-a efectuat aprinderea cu laser a amestecurilor CH₄/aer într-o cameră statică (cu volum de 0.205 dm³) folosind diferite configurații de aprindere. Amestecul CH₄/aer a fost introdus în camera statică la presiunea de 1 bar, în diferite concentrații λ , iar focalizarea fasciculelor laser s-a făcut cu lentile identice având distanța focală de 11 mm, poziționate în același plan (conform Figura 3a). Astfel, pentru aprinderea într-un punct **14a**, Figura 3a, cu un singur puls laser, s-a obținut aprinderea de amestecuri CH₄/aer cu λ între $\lambda = 0.90$ (amestecuri bogate în combustibil) și $\lambda = 1.67$ (amestecuri sărace / diluate în combustibil). Aprinderea în același punct **14a**, Figura 3a, cu trenuri de câte cinci pulsuri a condus la extinderea limitelor de aprindere a amestecurilor CH₄/aer, aprinderea fiind realizată pentru λ între $\lambda = 0.88$ și $\lambda = 1.74$. Pentru aprinderea în toate cele patru puncte **14a**, **14b**, **14c**, **14d**, Figura 3a, cu câte un puls laser, aprinderea s-a făcut cu succes pentru amestecuri CH₄/aer cu λ între $\lambda = 0.84$ și $\lambda = 1.84$, obținându-se din nou o extindere a limitelor de aprindere. Aprinderea în patru puncte **14a**, **14b**, **14c**, **14d**, Figura 3a, cu trenuri de câte cinci pulsuri laser a permis o mai largă extindere a limitelor de aprindere a amestecurilor CH₄/aer, de la $\lambda = 0.82$ la $\lambda = 1.86$. Eficiența de aprindere a amestecurilor CH₄/aer stoichiometrice (cu $\lambda = 1$) a fost de 78% pentru aprinderea într-un punct **14a**, Figura 3a, cu un singur puls laser, de 82% pentru aprinderea în patru puncte **14a**, **14b**, **14c**, **14d**, Figura 3a, cu un singur puls laser; fiind crescută la 84% pentru aprinderea în patru puncte cu trenuri de câte cinci pulsuri laser. Astfel, s-a arătat că aprinderea în mai multe puncte, cu un singur puls laser sau cu trenuri de pulsuri laser, crește eficiența aprinderii și extinde limitele de aprindere ale amestecurilor combustibile CH₄/aer în comparație cu aprinderea într-un singur punct cu un singur puls laser, respectiv cu aprinderea în patru puncte cu câte un singur puls laser.



REVENDICARI

1. Un dispozitiv laser pentru aprinderea amestecurilor combustibile **caracterizat prin aceea că** conține un mediu activ compozit cilindric compus dintr-un mediu activ laser cilindric (1) și un mediu comutator pasiv cilindric (2) acestea fiind lipite între ele prin metode optice iar mediul compozit este tubular cu o gaură cilindrică centrală (3) pentru răcire în timpul funcționării; că rezonatorul optic este de tip monolitic având oglinda (4) cu reflectivitate de 100% la lungimea de undă laser și cu transmisie ridicată la lungimea de undă de pompaj depusă pe suprafața liberă a mediului activ laser iar oglinda (5) de extracție a radiației laser este depusă pe suprafața liberă a mediului comutator pasiv; că diode laser (6a, 6b, 6c, 6d) cuplate la fibre optice (7a, 7b, 7c, 7d) livrează radiație (8a, 8b, 8c, 8d) la lungimea de undă de pompaj, direcția de propagare fiind în lungul axei dispozitivului laser; că un set de lentile (9a, 9b, 9c, 9d) focalizează fiecare radiație de pompaj; că un sistem de prisme triunghiulare (10a, 10b, 10c, 10d) schimbă cu 90° direcția de propagare a radiației de pompaj urmat de un alt sistem de prisme triunghiulare (11a, 11b, 11c, 11d) care schimbă din nou cu 90° direcția de propagare a radiației laser, astfel încât fiecare radiație de pompaj este perpendiculară pe oglinda dielectrică (4) și este introdusă și absorbită în zone determinate ale mediului activ laser (1).
2. Un dispozitiv laser pentru aprinderea amestecurilor combustibile, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** ghidarea radiației de pompaj în mediul activ laser (1) se face cu prisme trapezoidale (15a, 15b, 15c, 15d) aflate în contact cu oglinda dielectrică (4).
3. Un dispozitiv laser pentru aprinderea amestecurilor combustibile, conform revendicării 1 și revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** diode laser (6a, 6b, 6c, 6d) cuplate la fibre optice (7a, 7b, 7c, 7d) livrează radiație de pompaj (8a, 8b, 8c, 8d) sub formă de pulsuri dreptunghiulare cu durată ajustabilă astfel încât mediul compozit laser emite fascicule laser (12a, 12b, 12c, 12d) care conțin un singur puls laser pentru un puls de pompaj sau conțin trenuri de pulsuri laser pentru un singur puls de pompaj.
4. Un dispozitiv laser pentru aprinderea amestecurilor combustibile, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** lentile identice (13a, 13b, 13c, 13d) sunt plasate la aceeași distanță de mediul compozit laser și focalizează fasciculele laser pentru a iniția puncte de aprindere (14a, 14b, 14c, 14d) situate în lungul axei sistemului la distanțe egale de lentile.
5. Un dispozitiv laser, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** la distanță egală de mediul compozit laser sunt plasate lentile (13a, 18, 19, 20) având distanța focală diferită și care focalizează fasciculele laser pentru a induce puncte de aprindere (14a, 21, 22, 23) situate la distanțe diferite de lentile pentru aprinderea într-un volum mare a amestecurilor combustibile.



FIGURI

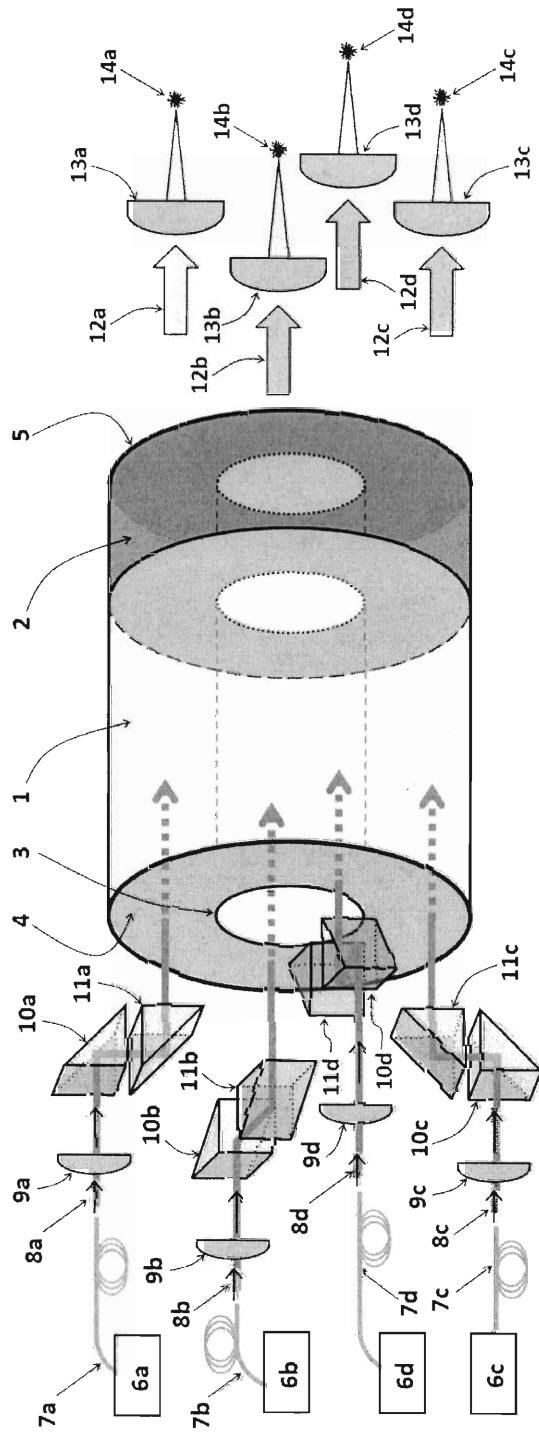


Figura 1a



34

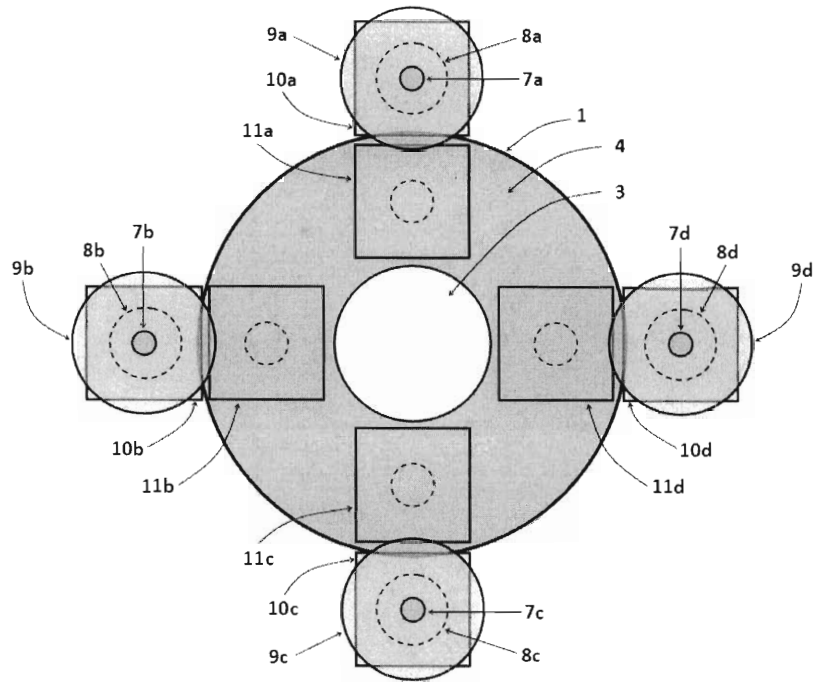


Figura 1b

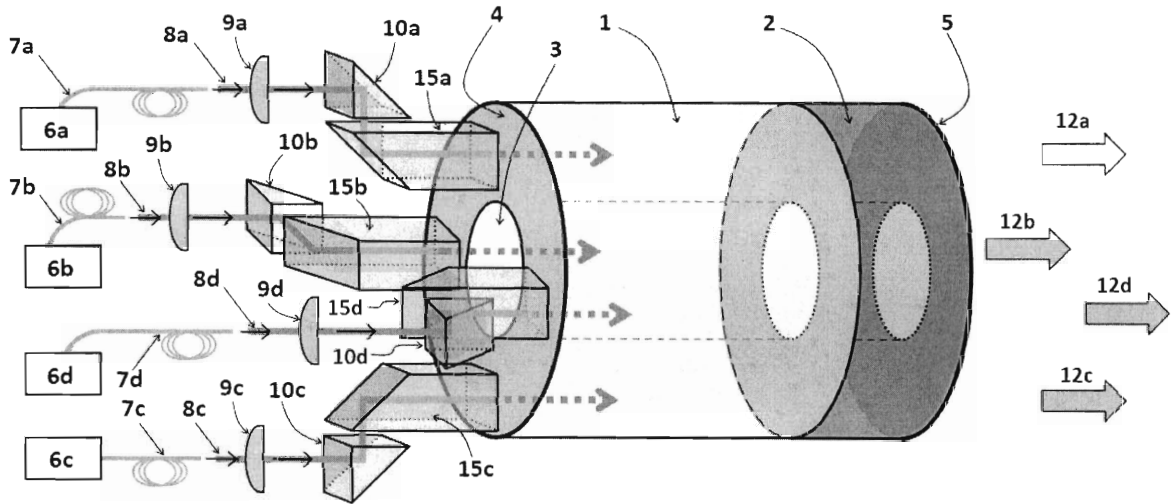


Figura 1c

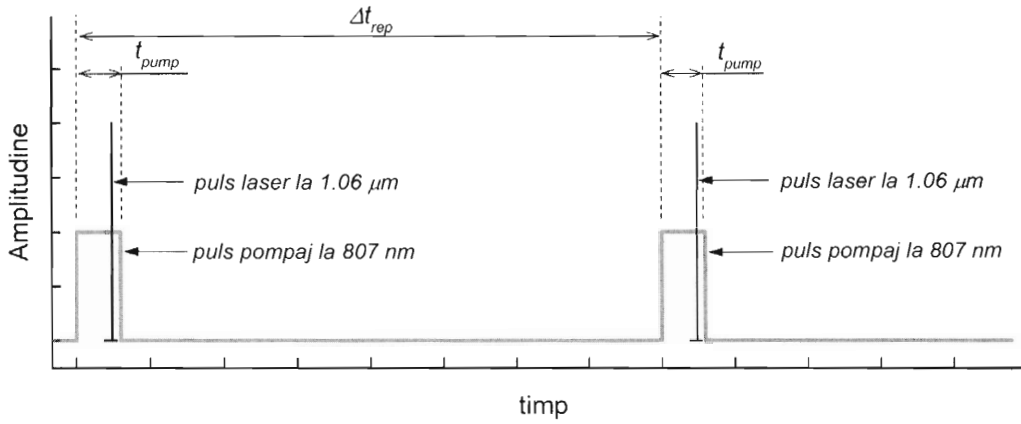


Figura 2a

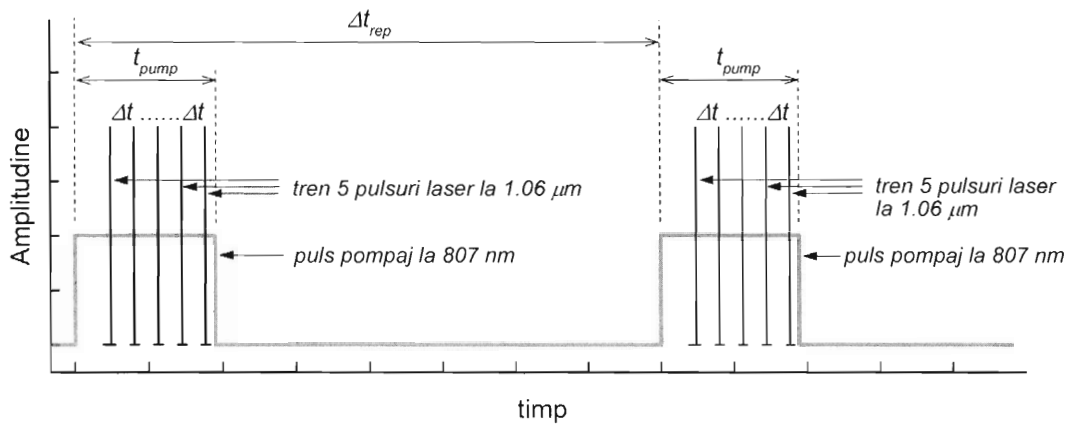


Figura 2b

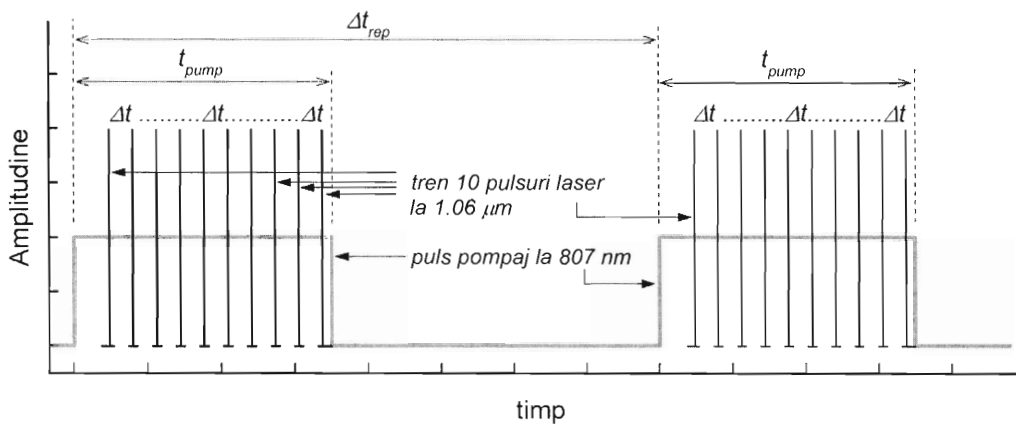


Figura 2c



[Handwritten signature]

32

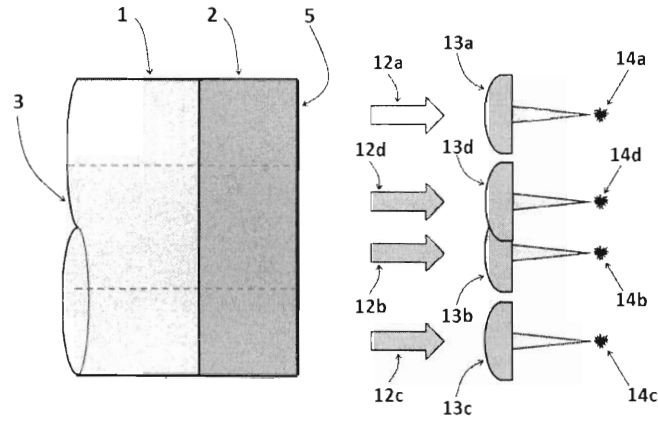


Figura 3a

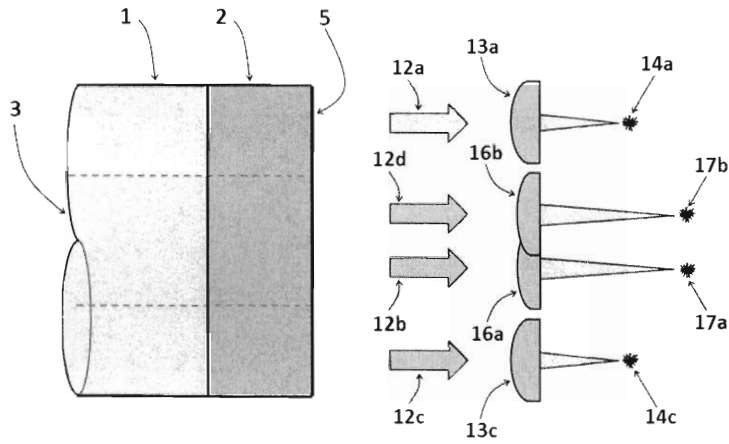


Figura 3b

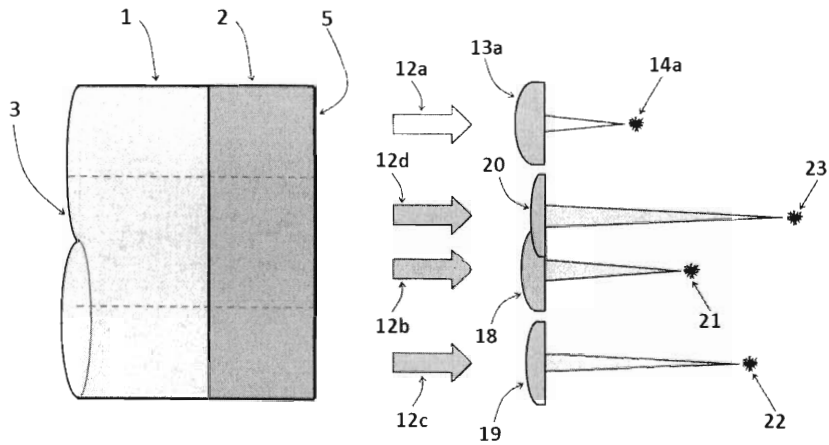


Figura 3c

