



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00757**

(22) Data de depozit: **29.07.2011**

(41) Data publicării cererii:
28.02.2013 BOPI nr. **2/2013**

(71) Solicitant:
• **OPTOELECTRONICA 2001 S.A.**,
STR. ATOMIȘTILOR NR. 409, MĂGURELE,
IF, RO

(72) Inventatori:
• **NECȘOIU TEODOR**,
ALEEA AV.LT.GHEORGHE STĂLPEANU
NR.1, BL.1, ET.10, SC.1, AP.37, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;

• **COMĂNESCU BRÎNDUȘ DANIEL**,
ALEEA COSTINEȘTI NR. 5, BL. 3, SC. A,
ET. 2, AP. 5, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;
• **STANCU RADU FLORIN**,
BD. ALEXANDRU OBREGIA NR. 2A BIS,
BL. 2A, SC. A, ET. 10, AP. 60, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **DMITRI DVORNIKOV**,
STR. GHEORGHE ASĂCHI NR. 60/1,
AP. 29, CHIȘINĂU, MD, MD;
• **ȘERBĂNESCU MIHAI**, STR. POLONĂ
NR. 38, AP. 1, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO

(54) LASER CU FIBRĂ OPTICĂ COMPACT

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un laser cu fibră optică compact. Laserul conform invenției este constituit dintr-un oscilator master și un amplificator optic, oscilatorul master fiind alcătuit dintr-o fibră optică dopată cu Tm, diode (3) laser de pompaj, combinator, rețele Bragg (2, 6) și laser de marcare, cu scopul de a produce o undă de înaltă coerență, iar amplificatorul optic fiind alcătuit dintr-o fibră optică dopată cu Tm, diode laser de pompaj și combinator, cu scopul de a crește puterea radiației laser emise de oscilator, și de a-i menține proprietățile; între cele două etaje, cel de oscilație și cel de amplificare, se utilizează un izolator optic și un adaptor de câmp modal, iar sistemul de ieșire este alcătuit din absorbant (11) radiației de pompaj și capăt (12) de fibră optică.

Revendicări: 4
Figuri: 2

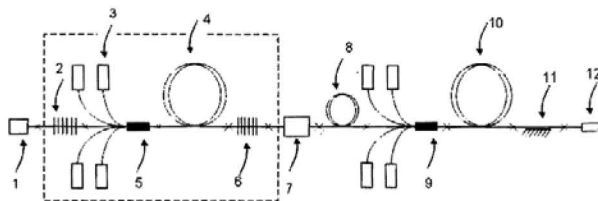


Fig. 1



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. <u>a 2011 00457</u>
Data depozit <u>29-07-2011</u>

DESCRIERE

LASER CU FIBRA OPTICA COMPACT

Laserii cu fibra optica se caracterizeaza printr-o multitudine de avantaje fata de laserii clasici, deoarece au o durata de viata foarte mare, calitatea fascicolului laser este mai buna si totodata nu necesita o racire foarte complicata. La puteri mici, de ordinul zecilor de watti, aceasta se poate realiza cu aer.

In brevetul **US5920668** este descris un modul laser cu fibra optica compact ce utilizeaza ca mediu activ fibra optica dopata cu Yb. Acesta este compus din oscilator master, amplificator, intre care se fixeaza un izolator optic. Ca sistem de pompaj, acesta utilizeaza un modul laser conectat la fibra din oscilatorul master si unul conectat la amplificator.

In prezenta inventie, fata de tehnologia modulelor laser cu fibra optica compacte de pana acum, propunem ca mediu activ fibra dopata cu Tm, pentru obtinerea unui fascicol laser de calitate mai buna, cu o absorbtie mai buna in materie organica sau care contine apa, aplicabil in diverse domenii, cum ar fi gravarea, holografia sau medicina, domenii ce implica ablatia laser. De asemenea, pompajul nu se realizeaza cu module, ci cu un anumit numar de diode laser, conectate prin multiplexoare optice la oscilatorul master, respectiv amplificator. Aceasta schema permite avantajul ca in cazul deteriorarii uneia dintre diode, aceasta poate fi suplinita de celelalte diode pana la inlocuirea ei. Se utilizeaza un numar suficient de diode astfel incat sa obtina in urma pompajului pe fibra o radiatie laser de calitate si totodata se asigura un timp de viata indelungat pentru intregul sistem. O alta noutate o constituie utilizarea adaptorului de camp modal dupa izolator, pentru asigurarea unei transmisii laser eficiente intre oscilator si amplificator. Ca iesire laser din amplificator se utilizeaza un absorbant al energiei de pompaj reziduale, ce se transmite prin izolator si a unui capat de fibra optica, pentru a evita anumite reflexii inapoi in mediul activ al amplificatorului, care ar putea afecta obtinerea efectului laser sau distrugerea localizata a fibrei optice.

Inventia consta intr-un laser cu fibra optica compact, de tip MOPA, alcatuit dintr-un oscilator master si un amplificator optic, cele doua componente fiind descrise pe larg in capitolele anterioare. Oscilatorul master produce o unda de inalta coerenta, iar amplificatorul are rolul de a creste puterea radiatiei laser emise de oscilator, dar si de a-i mentine proprietatile. Oscilatorul master nu trebuie sa fie foarte puternic si nu trebuie sa opereze la eficiente foarte mari, deoarece eficienta globala este determinata mai ales de amplificatorul optic.

Lungimea de unda a diodelor de pompaj este de 793 nm, aceasta fiind de altfel lungimea de unda la care spectrul de emisie al diodelor coincide cu spectrul de absorbtie al mediului activ fibra optica dopata cu Tm. Fibra activa, pe langa dopajul cu Tm, contine si alte elemente co-dopante si este optimizata pentru cel mai eficient transfer optic al energiei de pompaj.

Caracteristicile fibrei active ce intra in componenta oscilatorului master sunt urmatoarele: manta dubla si miez dopat cu Tm, diametru 10/125 μm , apertura numerica miez 0.15. Practic, mediul activ al acestui laser il reprezinta miezul fibrei active, aici avand loc procesele de castig si efect laser.

Fibrele optice dopate sunt un mediu activ atractiv din multe puncte de vedere:

- Deoarece pot fi indoite si adunate sub forma unor bobine, iar lumina ce se propaga este protejata de mediul inconjurator, laserii cu fibra optica pot avea un design compact;
- Elementul activ din fibra are o banda larga de castig datorita tranzitiilor laser, permitand o selectie a lungimilor de unda si/ sau generarea de pulsuri ultrascurte. De asemenea, laserii cu fibra optica au zone spectrale largi, cu un pompaj bun, astfel incat stabilizarea in temperatura a diodelor de pompaj nu este de obicei necesara;
- Calitatea fasciculului limitata de difractie este usor de obtinut cand fibrele monomodale sunt utilizate, si cateodata cu fibre multimod;
- Datorita eficientei mari de castig al fibrelor dopate, laserii cu fibra optica au potentialul de a opera la puteri de pompaj foarte mici. De asemenea, este posibila obtinerea unor eficiente foarte mari in putere;
- Recent, potentialul pentru puteri de iesire foarte mari (cativa kW cu fibre cu dublu invelis) a fost demonstrat;
- Laserii cu fibra optica pot opera la tranzitii laser dificile, datorita intensitatilor mari de pompaj aplicate pe lungimi mari.

Laserul este compus, conform figurii [1], din doua module de baza: oscilator master si un etaj de amplificare. Dupa amplificare se afla sistemul optic de iesire.

Oscilatorul master produce o unda de inalta coerenta, iar amplificatorul are rolul de a creste puterea radiatiei laser emise de oscilator, dar si de a-i mentine proprietatile. Oscilatorul master nu este foarte puternic si nu opereaza la eficiente foarte mari, deoarece eficienta globala este determinata mai ales de amplificatorul optic.

Lungimea de unda a diodelor de pompaj este de 793 nm, aceasta fiind de altfel lungimea de unda la care spectrul de emisie al diodelor coincide cu spectrul de absorbtie al mediului activ fibra optica dopata cu Tm. Fibra activa utilizata, pe langa dopajul cu Tm, contine si alte elemente co-dopante si este optimizata pentru cel mai eficient transfer optic al energiei de pompaj.

Oscilatorul master contine: fibra activa dopata cu Tm, diode laser de pompaj, combinator, retele Bragg si laser de marcare.

Amplificatorul optic contine: fibra activa dopata cu Tm, diode laser de pompaj, combinator.

Intre cele doua etaje, cel de oscilatie si cel de amplificare, se utilizeaza un izolator optic.

In oscilatorul master se utilizeaza un numar de 5 diode, avand o putere optica de iesire totala de 25W. Puterea electrica maxima necesara pentru operarea diodelor la puterea maxima de iesire este, conform parametrilor de curent si tensiune, de 60 W.

Pentru a obtine o putere de iesire laser a oscilatorului de 5 W, este necesara o putere de pompaj $P_p = 14W$.

Radiatia laser de pompaj a diodelor va fi transmisa fibrei active prin intermediul unui combinator optic $(6+1) \times 1$. Numit si multiplexor optic, acesta este o componenta esentiala utilizata pentru cuplarea radiatiei diodelor de pompaj, astfel incat la intrare avem un numar de fibre optice, iar la iesire avem o singura fibra. Semnalul tuturor fibrelor de intrare este compus intr-un singur semnal de iesire.

Avand in vedere caracteristicile diodelor, se constata faptul ca este necesar un numar de 5 diode, utilizate la puterea optica 75% din puterea totala de iesire a acestora. In acest fel se asigura cresterea duratei de viata a diodelor.

De asemenea, pentru a obtine efectul laser, este necesara utilizarea a doua retele Bragg pe baza de fibra optica, conectate la cele doua capete ale fibrei active dopate cu Tm: una de inalta reflectivitate $R > 99\%$ la lungimea de unda 2000 nm, iar cealalta, cu rol de cuplor de iesire, avand o reflectivitate de aproximativ 30% la aceeasi lungime de unda.

O retea de fibra Bragg este un reflector de tip Bragg construit intr-o fibra optica de lungime redusa care reflecta in mod particular anumite lungimi de unda si transmite alte lungimi de unda. Acest lucru se poate obtine prin modificarea periodica a indicelui de refractie al miezului fibrei care genereaza lungimi de unda asemanatoare oglinzii dielectrice. O retea Bragg poate fi folosita ca un filtru optic pentru a bloca anumite lungimi de unda sau ca un reflector de lungimi de unda.

În amplificator se utilizează un număr de 19 diode de pompaj, identice cu cele utilizate în oscilator. Puterea electrică maximă necesară pentru operarea diodelor la puterea maximă de ieșire este, conform parametrilor de curent și tensiune, de 228 W.

Utilizând configurația descrisă mai sus se poate obține o putere minimă în regim undă continuă de 25 W. Pentru randamentul amplificatorului s-a calculat o valoare de 44%.

Combinatorul utilizat este de tip $(19+1) \times 1$ și are următoarele caracteristici:

În vederea pompajului, diodele sunt utilizate la 83% din puterea totală de ieșire a acestora. În acest fel se asigură creșterea duratei de viață a diodelor.

Alta componentă importantă a laserului cu fibră optică este izolatorul optic. Acesta se plasează între oscilator și amplificator laser și are rolul de a împiedica întoarcerea radiației laser în oscilator pentru a evita distrugerile optice ale componentelor oscilatorului.

Izolatorul optic este o componentă pasivă, adică nu produce pierderi mari și nu afectează în vreun fel calitatea emisie laser a oscilatorului. Componenta principală a unui izolator optic este un dispozitiv de tip Faraday. Câmpul magnetic B aplicat determină o rotație în polarizarea luminii ca urmare a efectului Faraday.

Un izolator Faraday este alcătuit din 3 părți: un polarizor de intrare, un rotator Faraday și un polarizer de ieșire (analizor) la 45° . Fasciculul de intrare devine polarizat vertical la ieșirea din prima componentă a izolatorului, apoi este rotit cu 45° de rotator și la ieșire analizorul permite ca fasciculul să iasă. Radiația care încearcă să intre în izolator prin analizor devine polarizată la 45° dar în mod orizontal (rotația depinde de sensul deplasării). Cum polarizorul este aliniat vertical, fasciculul de radiație nu poate ieși prin intrarea izolatorului datorită diferenței de polarizare.

Adaptorul de câmp modal este utilizat pentru a regla transferul de radiație între oscilatorul master și amplificator, având în vedere că există diferențe între diametrele și aperturile numerice ale fibrelor active ale acestora.

Sursa de alimentare pentru diodele laser de pompaj din cadrul oscilatorului master include un ventilator și placă de răcire pe care se pot fixa diodele laser și elementele termoelectrice. Tehnologia include un driver de mare precizie pentru diode și unul de mare precizie pentru răcirea termoelectrică, cu controller de temperatură și control logic. Aceasta tehnologie oferă o mare precizie și stabilitate în curent, o performanță dinamică excelentă, o impedanță de ieșire înaltă și interferență electromagnetică mică.

Dinamica impedanței de ieșire este extrem de importantă, deoarece are un efect semnificativ asupra curentului în cazul în care valoarea impedanței de încărcare se alterează brusc.

Sursa de alimentare poate fi operata manual sau de la distanta, cu interblocare de siguranta si pentru curenti de pana la 60 A. Sistemul poate fi configurat si controlat prin conexiune RS 232. Nivelurile de semnal la iesirea de control sunt potrivite pentru standardul industrial de conectare directa a unui controller programabil (PLC) sau a unui alt tip de controller.

Managementul termic al sistemului poate fi descompus in diferite componente ce trebuie sa raspunda la diferite probleme termice.

Fibra activa insasi trebuie sa fie racita pentru a mentine laserul sa opereze eficient si pentru a evita distrugerea termica a polimerului. Acest lucru se obtine prin infasurarea fibrei in jurul unei mandrine cu o canelura in V taiata in jurul ei. Canelura tine fibra in loc si ajuta la racire mai mult decat daca fibra ar fi fost doar infasurata in jurul unei tobe. Situatia ideala ar fi de a inlocui "V"-ul cu o canelura "U", care sa aiba curbura de jos potrivita pentru diametrul exterior al fibrei, pentru a permite cel mai bun contact termic. Dornul insusi este racit conductiv de apa pe o suprafata pentru a mentine temperatura constanta.

Infasurarea fibrei in jurul unei mandrine este o solutie simpla, totusi utilizarea unor fibre pasive la ambele capete ale fibrei active pentru a reduce impactul incalzirii directe pe capatul fibrei este de asemenea critic. Acest lucru conduce la o continua provocare in managementul termic, deoarece cand se realizeaza suduri cu fibre pasive, regiunea trebuie sa fie curatata de polimer, astfel incat fibra sa nu poata fi indoita fara a distruge sudura. Fibra trebuie sa fie mentinuta dreapta, iar managementul termic este realizat prin punerea fibrei intr-o canelura dreapta si impinsa in mandrina la o inaltime adecvata, astfel incat intreaga fibra ramane in contact cu placa de racire.

Deoarece canelura V nu este in contact perfect cu intreaga suprafata a fibrei si deoarece pot exista mici spatii de aer la interfata dintre canelurile V si mandrina, fibra este de asemenea acoperita intr-o pasta conductiva, avand conductivitatea de 0,7 W/mK. Desi conductivitatea pastei este mai mica chiar si decat cea a sticlei, este mai mare ca a aerului si va spori racirea intr-o oarecare masura in comparatie cu aerului ce inconjoara fibra, cu cat ajuta la raspandirea racirii peste intreaga suprafata a fibrei, in ciuda faptului ca fibra se afla in contact cu placa de racire in doua puncte ale canelurii V. Diferenta intre pasta termica si o placa de racire perfecta este relativ mica, de doar cateva grade. In esenta, conductivitatea termica a materialului ce inconjoara fibra inainte de placa de racire trebuie sa fie mare decat conductivitatea stratului de polimer a fibrei pentru a mentine temperaturile sub control. Utilizarea pastei termice si a schemei de racire este suficienta pentru a proteja fibra de distrugerea polimerului.

Sursa de alimentare are de asemenea rolul de a proteja diodele laser in timpul functionarii de efecte electrice tranzitorii, prin asigurarea unor limite optime de curent si tensiune. Un monitor de tip termistor ofera protectie suplimentara printr-o limita de temperatura programabila care poate fi utilizata pentru oprirea emisiei laser si pentru a preveni distrugerea diodelor.

Cea mai buna metoda de operare astfel incat sa nu se distruga driverul sau dioda este sa se urmeze urmatoorii pasi:

- se verifica daca iesirea este neconectata si tensiunea de iesire este pusa la zero inainte de a porni aparatul;
- se programeaza tensiunea la maximum 2V;
- se conecteaza iesirea;
- se porneste curentul usor folosind increменти de 0.1A ;
- cand se atinge curentul dorit se miscoreaza usor tensiunea astfel incit sa fie cu 0.05V sub tensiunea de operare normala;
- cand se opreste laserul se reduce usor curentul;
- se deconecteaza iesirea.

Puterea laserului in regim unda continua se controleaza prin operarea curentului de pompaj al diodelor laser. Modularea fascicolului de iesire laser se face prin varierea frecventei in regim cuasicontinuu, prin reglarea curentului de pompaj al si al regimului de functionare al diodelor laser.

In FIG. 1 este reprezentat laserul cu fibra optica. In chenarul cu linii punctate se gaseste oscilatorul master, alcatuit din cele doua retele Bragg (2, 6), diodele de pompaj (3), multiplexorul optic (5). Intre amplificator si oscilator master se gasesc izolatorul optic si adaptorul de camp modal. Sistemul de iesire este alcatuit din absorbant radiatie de pompaj (11) si capat de fibra optica (12).

In FIG. 2 este reprezentat sistemul de racire al fibrei optice, alcatuit din bobina de metal (14) in jurul careia este fixata fibra in caneluri V (15) si totodata este imersata in pasta termoconductiva (16). La baza sistemului se gaseste placa de racire (13).

REVENDICARI

1. Laser cu fibra optica compact modular, caracterizat prin aceea ca permite realizarea unui laser cu fibra optica cu putere scalabila, impachetat astfel incat se obtine un gabarit redus si se realizeaza o racire eficienta.
2. Utilizarea absorbanului puterii de pompaj reziduale, pentru imbunatatirea obtinerii efectului laser in amplificator.
3. Sistemul asigura imbunatatirea rezolutiei in procese care implica indepartarea de material cu laserul.
4. Laserul cu fibra optica compact poate fi utilizat in aplicatii precum holografia digitala.

DESENE EXPLICATIVE

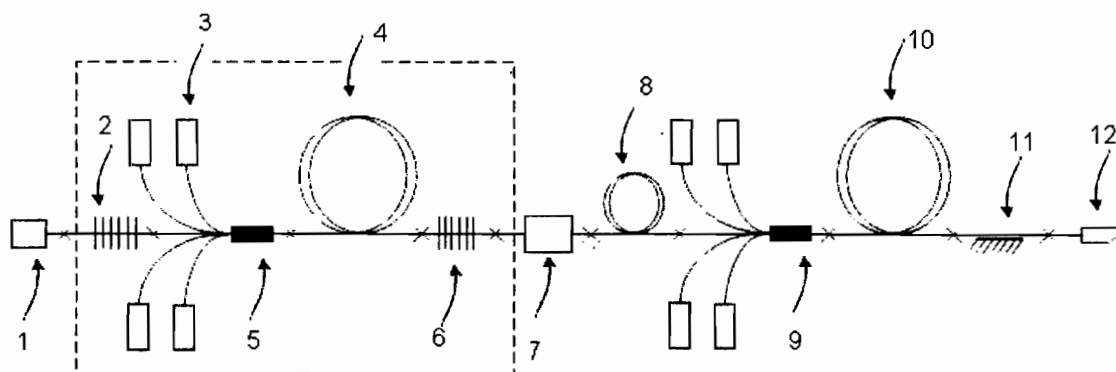


FIG. 1

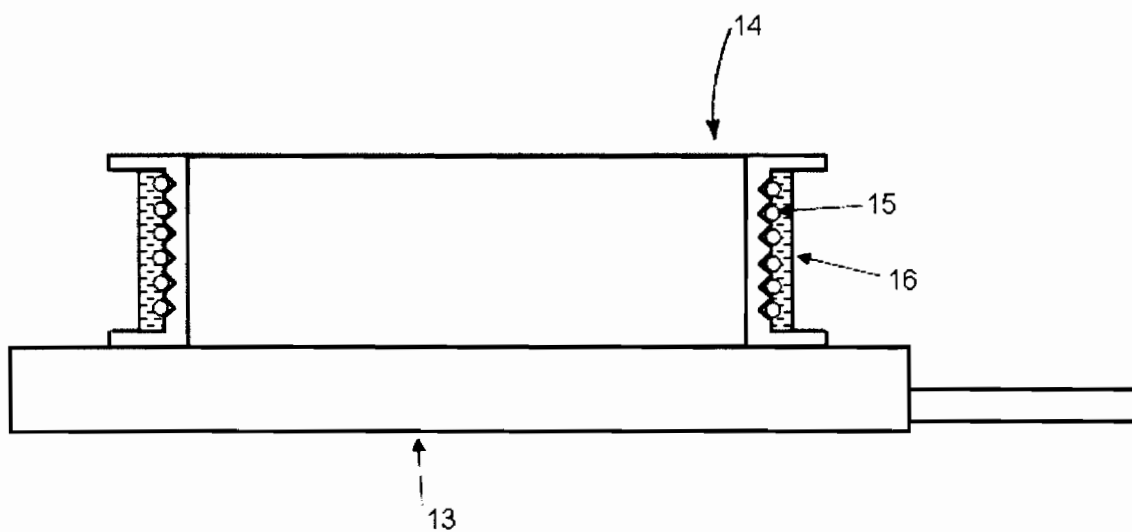


FIG. 2.