



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2015 00084**

(22) Data de depozit: **06/02/2015**

(41) Data publicării cererii:  
**30/08/2016** BOPI nr. **8/2016**

(71) Solicitant:  
• **FIBER LASER OPTICS S.R.L.**,  
STR. LACULUI NR. 35, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:  
• **COMANESCU BRINDUS**,  
ALEEA COSTINEȘTI NR. 5, BL. 3, SC. A,  
ET. 2, AP. 5, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,  
RO;

• **STAN GHEORGHE**,  
STR. VALEA IALOMIȚEI NR. 1A, BL. 18A,  
SC. 3, ET. 4, AP. 108, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• **LAZĂR MARIAN**, STR. HAȚEGANA  
NR. 6A, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO

(54) **LASER CU FIBRĂ OPTICĂ, ADAPTABIL PENTRU APLICAȚII  
DE PRELUCRARE INDUSTRIALĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un laser cu mediu activ fibră optică. Laserul conform invenției este alcătuit dintr-un oscilator master (OL), dintr-un amplificator optic (AO) și dintr-un controler laser, în care oscilatorul master (OL) produce o radiație laser de putere redusă, cu o calitate ridicată, coerentă, și cuprinde: o diodă de inițiere, un izolator optic, un adaptor de câmp, un preamplificator optic (PA), un izolator optic și un laser de marcă, în care preamplificatorul optic cuprinde un cuplor optic, diode de pompaj optic, mediu activ fibră optică, iar amplificatorul optic (AO) are rolul de a crește puterea radiației laser emise de oscilator (OL), în același timp păstrând proprietățile acesteia, și cuprinde, la rândul lui, următoarele elemente: un cuplor optic, diode de pompaj optic, mediu activ fibră optică.

Revendicări: 6  
Figuri: 2

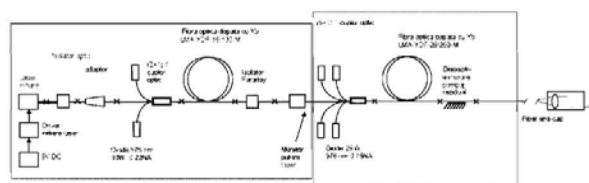


Fig. 1

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).



## DESCRIERE

Laserii cu mediu activ fibra optica reprezinta ultima generatie de laser aparuta. Spre deosebire de laserii clasici cu mediu activ solid au o serie de avantaje care ii recomanda in utilizare: durata de viata ridicata, calitate a fascicolului laser buna, fiabilitate ridicata, intretinere usoara, etc.

In brevetul **US5920668** este descris un laser cu mediu activ fibra optica compact ce utilizeaza ca mediu activ fibra optica dopata cu Yb. Acest laser este alcatuit din oscilator master, izolator optic, amplificator optic realizate compact. Pompajul optic al laserului se realizeaza cu un modul laser conectat prin fibra optica.

In prezenta inventie, fata de tehnologia clasica a laserilor cu mediu activ fibra optica propunem un laser cu mediu activ fibra optica dopata cu Yb realizat modular astfel incat sa se poata creste puterea la iesire, sa avem un fascicol laser de calitate buna, flexibil care se poate utiliza in domenii si aplicatii diferite cum ar fi gravare, gravare adinca, taiere, gaurire, in industrie, cercetare, in orice domeniu care implica ablatia laser. Spre deosebire de laserul din brevetul sus mentionat, noi propunem un pompaj laser modular, compact, pentru preamplificatorul optic, pentru amplificatorul optic cu un numar de diode asamblate la mediile active. Diodele de pompaj optic sunt astfel conectate ca ansamblul lor are o durata de functionare ridicata. Durata de viata a ansamblului este conditionata si de durata de viata ridicata a diodelor de pompaj precum si a diodei de initiere laser, ceea ce duce la o probabilitate foarte scazuta ca ansamblul sa functioneze defectuos. Pompajul optic al mediilor active ale preamplificatorului si respectiv amplificatorului optic se realizeaza cu diode laser, conectate prin cuploare optice. Functionarea defectuoasa a unei diode de pompaj din amplificatorul laser poate insemna fie reducerea puterii de pompaj optic ceea ce conduce la reducerea puterii de iesire a laserului, fie emisia diodei pe o plaja de emisie mai larga de lungimi de unda sau variatia lungimii de unda, ceea ce poate duce la probleme in functionarea laserului deoarece mediul activ fibra optica este optimizat sa functioneze pe un domeniu de lungime de unda 1060 – 1115 nm. Arhitectura aceasta de laser este aleasa pentru ca are avantajul ca in cazul unei functionari necorespunzatoare a uneia dintre diodele de pompaj, aceasta poate fi suplinita de celelalte diode pana la inlocuirea ei. Se utilizeaza un numar suficient de diode astfel incat acestea sa fie capabile sa suplineasca reducerea puterii de iesire a uneia dintre ele. Pentru ca la iesirea din laser sa avem doar lungimea de unda dorita si sa se elimine lungimea de unda de pompaj optic se introduce un dispozitiv optic de disipare a energiei de pompaj reziduale. Terminatia laserului este astfel ca mediul activ fibra optica din amplificatorul optic se introduce un dispozitiv de capat care reduce reflexia inapoi a radiatiei laser la un nivel care nu afecteaza performanta ansamblul laseri si nu afecteaza mediul activ fibra optica.

Inventia consta intr-un laser cu fibra optica compact, de tip MOPA, alcatuit dintr-un laser de initiere, preamplificator optic (PO), un amplificator optic (AO), diode de pompaj optic, componente optice, electrooptice si electronice de eficienta si performanta ridicata si care poate functiona in regim continuu, modulat si pulsant.

Dioda laser de initiere produce o radiatie laser de putere redusa, cu calitate ridicata pe o lungime de unda bine definita cu toleranta stransa, cu functionare atat in regim, continuu, modulat sau pulsant care intra in preamplificatorul optic. Acesta amplifica radiatia laser emisa de dioda de initiere laser conform unui algoritm detreminat functie de regimul de lucru si de puterea radiatiei laser la iesire. Puterea radiatiei laser la iesirea preamplificatorului optic este masurata cu ajutorul unui dispozitiv de splitare a radiatiei laser pe fibra optica. Astfel la iesirea din preamplificatorul optic se obtine o radiatie laser coerenta, de calitate ridicata, cu puterea cunoscuta, pe care amplificatorul optic o amplifica pana la nivelul dorit. In acest fel se pastreaza calitatea fasciculului laser la iesirea din laser, se obtine o putere ridicata si

cunoscuta cu precizie iar eficiența conversiei energiei electrice în radiație laser este foarte ridicată.

Diodele de pompaj optic ale mediilor active ale preamplificatorului și respectiv amplificatorului optic sunt alese astfel încât spectrul lor de emisie să se potrivească cu spectrul de absorbție maximă a mediilor active fibra optică. Astfel emisia lor este centrată pe vârful de absorbție ridicată a mediului activ cu toleranță strânsă. Diodele de pompaj optic sunt cuplate la un cuplor optic (2+1)×1 care are la intrare fibra optică cu diametru de 105 μm±1.5 μm, diametru înveliș 125 μm, apertură de 0.22 și randamentul de 92%. Cuplorul optic transmite maximal radiația de pompaj la fibra optică activă și asigură adaptarea miezurilor optice pentru propagarea optimă a radiației laser dorite.

Caracteristicile diodelor de pompaj optic ale preamplificatorului sunt următoarele: fibra optică de ieșire : 105 μm miez, 125 μm manta, NA fibra: <0,20, putere optică : 10 W, lungime de undă: 976 ± 3 nm, curent operare: max. 13 A, tensiune operare: max. 2V.

Caracteristicile fibrei optice active ce intră în componenta preamplificatorului optic sunt următoarele: lungimea de undă de operare - 1060 – 1115 nm, diametru miez - 15.0 ± 1.5 μm, diametru manta - 130.0 ± 2.0 μm, diametru înveliș 245.0 ± 10.0 μm, material înveliș - Polimer cu indice de refracție redus, absorbție la lungime de undă de pompaj a mantei 5.40 dB/m la 976 nm, atenuare manta ≤ 15.0 dB/km @ 1095 nm, apertură numerică miez (nominal) 0.080 ± 0.005, apertură numerică manta (nominal) ≥ 0.46. Lungimea mediului activ fibra optică al preamplificatorului optic este aleasă optimal pentru eficiență.

Caracteristicile fibrei optice active care intră în componenta amplificatorului optic sunt următoarele: lungimea de undă de operare : 1060 – 1115 nm, diametru miez : 25.0 ± 2.5 μm, diametru manta : 250.0 ± 10.0 μm, diametru înveliș : 400.0 ± 20.0 μm, material înveliș: polimer cu indice de refracție mic, absorbție la lungime de undă de pompaj a mantei : 4.80 dB/m la 975 nm, atenuare manta : ≤ 15 dB/km @ 1095 nm, apertură numerică miez: (nominal) 0.080 ± 0.005, apertură numerică manta (nominal) : ≥ 0.46. Lungimea mediului activ fibra optică al amplificatorului optic este aleasă optimal pentru eficiență.

Practic, mediul activ al laserului este miezul fibrelor optice ale preamplificatorului optic și amplificatorului optic, aici având loc procesele de amplificare a radiației laser dorite.

Fibrele optice dopate sunt folosite ca mediu activ din multe puncte de vedere:

- Pot fi utilizate cu ușurință: asamblate, indoite și incolacite sub forma unor bobine
- Radiația optică ce se propagă este neafectată de mediul inconjurator
- Permite răcirea foarte simplă a mediilor active fibra optică
- Permite realizarea unor laseri cu design compact, cu greutate redusă, scalabili ca putere
- Au o bandă largă de câștig datorită tranzițiilor laser, permițând o selecție a lungimilor de undă și/sau generarea de pulsuri ultracurte. De asemenea, laserii cu fibra optică au zone spectrale largi, cu un pompaj bun, astfel încât stabilizarea în temperatură a diodelor de pompaj nu este de obicei necesară

— Calitatea fasciculului emis este bună.

— Datorită pompajului selectiv în banda de absorbție laserii cu mediu activ fibra optică se pompează cu puteri reduse și au eficiențe ridicate de conversie electric-radiație laser dorită.

— Laserii cu fibra optică pot opera la tranziții laser dificile, datorită intensităților mari de pompaj aplicate pe lungimi mari.

În FIG. 1 este reprezentat laserul cu fibra optică. Oscilatorul laser (OL) este alcătuit din: laser de inițiere, preamplificator optic, amplificator optic, optica de ieșire. Laserul de inițiere este alcătuit din: dioda laser de inițiere laser și electronica de comandă și control asociată compusă din driver dioda inițiere laser și sursa alimentare driver. Preamplificatorul optic (PO) este alcătuit din: diode de pompaj, fibra activă dopată cu Yb, cuplorul optic și electronica de putere de pompaj a diodelor de pompaj, sub controlul unui controler unic al

anasamblului laser. Amplificatorul optic (AO) este alcătuit din: diode de pompaj optic, fibra optica, cuplor optic si si electronica de putere de pompaj a diodelor de pompaj, sub controlul unui controler unic al anasamblului laser. Puterea de iesire din amplificator poate fi ridicata prin cresterea numarului de diode de pompaj si prin cresterea puterii individuale a fiecărei diode sub controlul controlerului ansamblului laser. Optica de iesire este compusa din dispozitiv de eliminare a pompajului optic rezidual, optica de capat, colimator de iesire. Are si rolul de a reduce reflexia inapoi a radiatiei de iesire la valori care nu impacteaza ansamblul laser.

In FIG. 2 este reprezentat sistemul de montare a mediului activ fibra optica dopata cu Yb. Mediul activ se monteaza incolacit pe un suport metalic canelat, de greutate redusa, cu un coeficient de transfer termic ridicat. Canelura are dimensiunea corespunzatoare diametrului mediului activ fibra optica folosit. Diametrul suportului metalic este 15 cm. Dimensiunea canelurii este importanta si personalizata pentru fiecare mediu activ, deoarece un contact cat mai bun al mediului activ cu suportul sau permite un transfer termic ridicat intre fibra optica care se incalzeste in functionare si suportul acesteia. Acest lucru permite o crestere a randamentului de functionare a laserului si un control mai bun al propagarii radiatiei prin fibra. Fibra optica este infasurata in jurul suportului metalic, pozitionata in canelura si peste ea se adauga pasta termoconductiva. Suportul metalic al fibrei se fixeaza pe o placa de racire. Racirea suportului se realizeaza atat prin contact termic cu placa de racire. si prin convecție in aerul ambiant.

Laserul de initiere produce o radiatie laser de inalta coerenta, de calitate ridicata, iar preamplificatorul si amplificatorul optic au rolul de a creste puterea radiatiei laser emise la valoarea necesara la iesire, in acelasi timp mentinand parametrii de performanta ai fascicolului laser la iesire in limitele impuse. Laserul de initiere lucreaza la puteri reduse si nu afecteaza eficienta globala, deoarece eficienta globala este determinata in mod semnificativ de cea a amplificatorului optic.

Calitatea emisiei este data de dioda de initiere laser care trebuie sa emita pe lungimea de unda de 1064 nm cu toleranta de +/- 1 micron un fascicul laser cu puterea de maxim 500 mW maxim si in regim pulsant, de la 5 ns, un fascicul laser de calitate ridicata.

Intre dioda de initiere laser si preamplificatorul optic se foloseste un izolator optic de banda ingusta si putere scazuta care reduce radiatia laser retroreflectata la un nivel care nu afecteaza dioda.

Radiatia laser a celor 6 diode de pompaj ale amplificatorului optic este transmisa mediului activ cu ajutorul unui cuplor optic (6+1)x1. Cuplorul optic trebuie sa aibe urmatoarele caracteristici: fibra optica de intrare cu diametru miezului de 105 microni, diametrul invelisului de reflexie de 125 microni, apertura numerica de 0,22 si un randament de peste 90%.

Utilizarea diodelor de pompaj optic la doar 75% din puterea totala optica de iesire permite cresterea duratei de viata a acestora .

Puterea electrica necesara operarii diodelor preamplificatorului optic este de 46 W iar puterea electrica necesara operarii diodelor amplificatorului optic este de 330 W.

Pompajul optic maxim al amplificatorului este de 140 W si ca urmare rezulta la iesire o putere de maxim 100 W in regim continuu.

Intre etajele de preamplificare si amplificare optica se foloseste un izolator optic de putere medie care reduce radiatia laser retroreflectata la un nivel care nu afecteaza parametrii preamplificatorului optic. Acesta este o componenta pasiva, nu introduce pierderi mari si nu afecteaza in vreun fel calitatea emisiei laser a oscilatorului. Componenta principala a unui izolator optic este un dispozitiv de tip Faraday. Campul magnetic B aplicat determina o rotatie in polarizarea luminii ca urmare a efectului Faraday. Un izolator Faraday este alcătuit din 3 parti: un polarizor de intrare, un rotator Faraday si un polarizor de iesire (analizor) la 45°.

Fasciculul de intrare devine polarizat vertical la iesirea din prima componenta a izolatorului, apoi este rotit cu  $45^\circ$  de rotator si la iesire analizorul permite ca fasciculul sa iasa. Radiatia care incearca sa intre in izolator prin analizor devine polarizata la  $45^\circ$  dar in mod orizontal (rotatia depinde de sensul deplasarii). Cum polarizorul este aliniat vertical, fasciculul de radiatie nu poate iesi prin intrarea izolatorului datorita diferentei de polarizare.

Intre izolatorul optic care protejeaza dioda de initiere laser si preamplificatorul optic se introduce un adaptor de camp pentru a facilita transferul de radiatie optica intre dioda de initiere laser si preamplificatorul optic, eliminand problemele de conectare al fibrelor optice cu miezuri optice diferite.

Diodele de pompaj ale preamplificatorului optic sunt alimentate de la o sursa de alimentare cu caracteristicile: 150 W, 60 A, Sursa de alimentare pentru diodele laser de pompaj din cadrul oscilatorului master are caracteristicile: 400W, 80 A.

Dinamica impedantei de iesire este extrem de importanta, deoarece are un efect semnificativ asupra curentului in cazul in care valoarea impedantei de incarcare se altereaza 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.

Controllerul laserului permite alimentarea corecta a diodelor de pompaj, diodei de initiere laser, precum si monitorizarea functionarii acestora.

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 invelisului de protectie. Acest lucru se obtine prin infasurarea fibrei in jurul unei miez prevazut cu o canelura prelucrata pe suprafata cilindrica laterala. Canelura are rolul de a fixa fibra activa si ajuta la racire mai mult decat daca fibra ar fi fost doar infasurata in jurul miezului fara caneluri. Situatiile ideale 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 un bun contact termic. Miezul pe care se fixeaza fibra optica activa are un diametru optimizat pentru a reduce pierderile prin fibra optica si este racit conductiv cu ajutorul unui circuit de racire cu agent de racire apa pentru a mentine temperatura constanta.

Atunci cand se realizeaza suduri cu fibre optice regiunea trebuie sa fie curatata de miezul exterior de polimer iar apoi se redepune polimerul astfel incat fibra sa prezinte o anumita rigiditate. Fibra trebuie sa fie mentinuta dreapta in zona lipiturii optice. Managementul termic este realizat prin punerea fibrei intr-un suport special fixat pe placa de racire pentru a realiza schimbul termic.

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  $0,7 \text{ W/mK}$ . 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 si schimbul termic pe 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 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 temperaturi de functionare ridicate.

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.

Pornirea si oprirea laserului se fac conform unor algoritmi prestabiliti asigurand pompajul diodelor laser la valori precise si conform unor secvente de timp stabilite cu precizie. Oprea laserului se face la initiativa operatorului, sau preprogramat, sau in functie de situatiile de urgenta pentru asigurarea protectiei la lucrul cu radiatia laser de mare putere.

Controlerul permite operatorului sa genereze programe noi de lucru cu modificarea parametrilor de putere, timp, modulatie, factor de umplere si durata de proces conform cu cerintele specifice procesului industrial in care se integreaza

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.

## REVENDICARI

1. Laser cu mediu activ fibra optica alcatuit din laser de initiere, preamplificator optic si amplificator optic (AO) caracterizat prin aceea ca permite o functionare flexibila in regim continuu, modulat si pulsant si o crestere a puterii de iesire atat prin adaugarea de etaje de amplificare optica si asamblarea lor astfel incat laserul sa fie compact, adaptabil, modular.
2. Laser cu mediu activ fibra optica caracterizat printr-o calitate imbunatatita a radiatiei laser la iesire datorita utilizarii unui suport de fibra optica cu diametrul de 15 cm pe care aceasta se infasoara.
3. Laser cu mediu activ fibra optica caracterizat prin aceea ca are o eficienta si rezolutie ridicata in procese care implica indepartarea de materiale diferite.
4. Laser cu mediu activ fibra optica caracterizat prin aceea ca poate fi utilizat in aplicatii speciale precum holografia digitala cu rezolutie ridicata.
5. Laser cu mediu activ fibra optica caracterizat prin stabilitatea ridicata a fascicolului laser datorita controlului cu precizie a momentelor de timp la care se face pompajul etajelor de preamplificare si amplificare optica in raport cu laserul de initiere precum si datorita controlului comun al pompajului etajelor de preamplificare si amplificare optica.
6. Laser cu mediu activ fibra optica caracterizat prin precizia indicarii puterii de iesire datorita relatiei dintre puterile de pompaj stabilite pentru acest aparat si masurarii directe a puterii dupa etajul de preamplificare optica.

### DESENE EXPLICATIVE

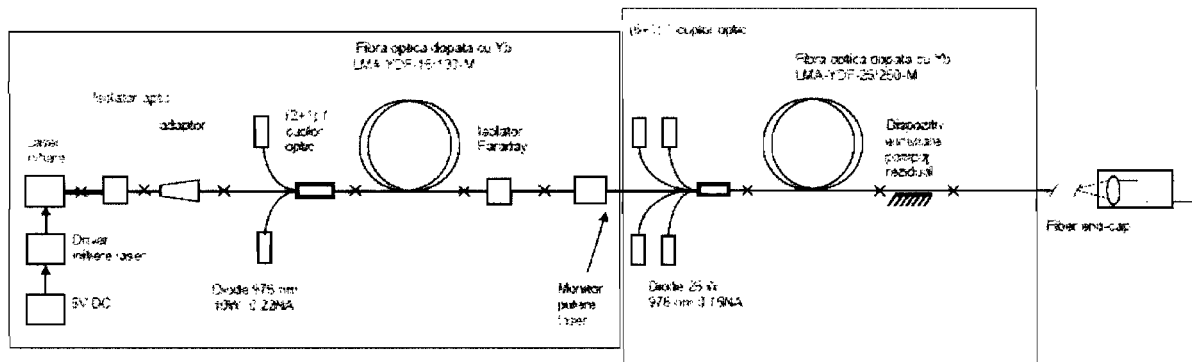


FIG. 1

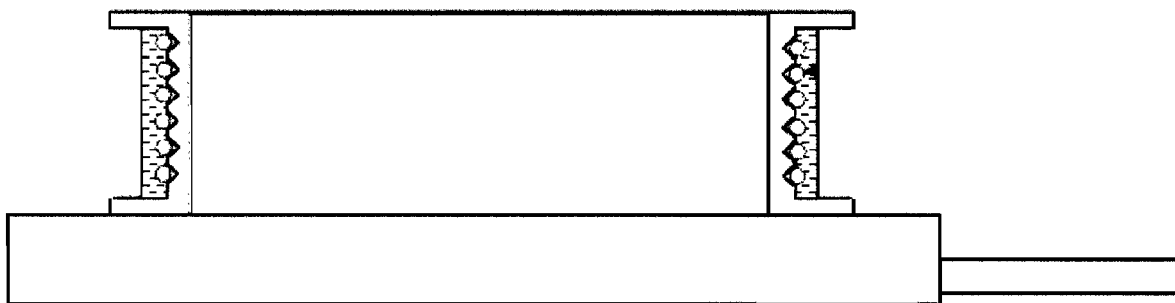


FIG. 2