



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00355**

(22) Data de depozit: **08/05/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/07/2020** BOPI nr. **7/2020**

(41) Data publicării cererii:
29/04/2016 BOPI nr. **4/2016**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA
HULUBEI", STR.REACTORULUI NR.30,
MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **URSESCU DANIEL,**
*STR.SOLD.ENE MODORAN NR.13,
BL.M169, SC.1, ET.2, AP.12, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;*
• **CERNĂIANU MIHAIL OCTAVIAN,**
*STR.NICOLAE TITULESCU NR.42,
CRAIOVA, DJ, RO*

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**RO 130872 A2; JPH 02198182 A;
US 2008/00889241 A1**

(54) **SISTEM HIBRID DE AJUSTARE A FRONTULUI DE UNDĂ
ȘI GENERARE A POLARIZĂRII CIRCULARE
DINTR-UN FASCICUL LASER POLARIZAT LINIAR**



RO 131067 B1

1 Invenția se referă la un sistem hibrid pentru generarea polarizării circulare și,
concomitent, ajustarea frontului de undă, în care fasciculul de ieșire este coliniar cu fasciculul
3 de intrare, ce poate fi folosit și în cazul fasciculelor laser de bandă largă, cum ar fi pulsurile
ultra scurte și ultra intense cu puteri de vârf de ordinul Petawaților.

5 Experimentele cu pulsuri laser ultra scurte și ultra intense necesită, în anumite cazuri,
ca pulsurile să aibă polarizare circulară. De exemplu, în condițiile în care un puls laser ultra
7 intens interacționează cu o folie subțire, pulsul poate accelera electronii și ionii la viteze
relativiste. Distanța dintre electroni și ioni va rămâne relativ redusă și instabilitățile nu au timp
9 să apară. Acest tip de accelerare, numit „radiation pressure acceleration”, are multe avantaje
în comparație cu alte metode de accelerare, dar câteva condiții trebuie satisfăcute. Una din
11 aceste condiții implică că fasciculul laser să fie circular polarizat
[10.1103/RevModPhys.85.751, Rep. Prog. Phys. 75 (2012) 056401]. În general, sistemele
13 laser folosite produc pulsuri laser liniar polarizate. Este astfel necesar un sistem pentru a
transforma un fascicul liniar polarizat într-unul circular polarizat.

15 De asemenea, experimentele cu pulsuri laser ultra scurte și ultra intense necesită,
în anumite cazuri, ca frontul de undă al pulsului laser să fie planar pentru că, în acest fel,
17 pulsul laser poate fi focalizat în pata focală cea mai mică posibil. De exemplu, în cazul
experimentelor în care se dorește concentrarea pulsului într-o pată focală cât mai mică, cât
19 mai aproape de așa numita limită de difracție, pentru a atinge cea mai înaltă intensitate pe
țintă [OPTICS EXPRESS, Vol. 16, No 16, 11987 (2008)], este necesar ca fasciculul să aibă
21 aberații (distorsiuni) optice spațiale cât mai reduse [OPTICS LETTERS, Vol. 23, No 13, 1043
(1998)]. Aceste aberații înseamnă deviații de la un profil planar al frontului de undă. Printre
23 cauzele apariției acestor distorsiuni se numără efectele termice în componentele optice prin
care se propagă pulsul, efecte de optică neliniară, dar și distorsiuni introduse de
25 componentele optice cu suprafața imperfectă, folosite în sistemele laser, în particular în
laseri bazați pe tehnica „Chirped Pulse Amplification” (CPA). Suprafețele cu imperfecțiuni pot
27 fi astfel datorită imperfecțiunii de prelucrare, dar, de asemenea, imperfecțiunile pot fi
generate de rama suport a componentelor optice și chiar de modificări ale geometriei
29 suprafeței oglinzii datorită deformării sub acțiunea câmpului gravitațional. Este astfel necesar
un sistem pentru a ajusta frontul de undă al fasciculelor laser.

31 Sistemele optice pentru generarea polarizării circulare și sistemele optice pentru
ajustarea frontului de undă sunt considerate, de obicei, în mod separat.

33 O metodă uzuală de a genera polarizare circulară este de a utiliza lame sfert de
undă. Aceste lame se folosesc în cazul fasciculelor laser de intensitate și diametre reduse,
35 deoarece fasciculul laser trebuie să traverseze lama pentru a converti lumina liniar polarizată
într-una circular polarizată și invers. Pentru fascicule laser de diametre mari (>200 mm),
37 puteri ridicate (>1 PW) și banda spectrală largă (>10 nm), nu sunt cunoscute, în momentul
de față, lame sfert de undă de calitate satisfăcătoare. Fasciculul laser în această situație
39 necesită să fie transportat folosind doar sisteme optice în reflexie; în caz contrar, există riscul
ca, la propagarea prin material, pulsul laser să se distorsioneze datorită efectelor optice
41 neliniare. Sistemele ce folosesc doar componente optice în reflexie pentru a introduce un
defazaj între polarizarea de tip S și cea de tip P a unui fascicul laser reprezintă o alternativă
43 la sistemele asemănătoare ce folosesc lame sfert de undă.

45 Este cunoscută metoda de a folosi o lamă de mică [OPTICS EXPRESS, Vol. 19, No.
18, 17151 (2011)] care poate fi produsă cu diametru mare și grosime redusă pentru a nu
afecta semnificativ calitatea fasciculului laser (frontul de undă și, în consecință, dimensiunea
47 petei focale pe țintă).

RO 131067 B1

Dezavantajul acestei metode este că lama introduce un defazaj care nu este ajustabil și, în consecință, introduce o elipticitate în polarizare (e.g. fig. 4c și d din articolul citat indică elipticitate de aproximativ 84% pentru o lamă sfert de undă). Mai mult, pragul de distrugere este raportat a fi de 400 ori mai redus decât la un sistem cu oglinzi dielectrice cu întârziere de fază. De asemenea, aceasta metodă nu permite ajustarea frontului de undă al fasciculului laser.

Sunt, de asemenea, cunoscute sisteme în reflexie de generare a polarizării circulare pentru fascicule laser [Review of Scientific Instruments 83, 036104 (2012); OPTICS EXPRESS, Vol. 19, No. 18, 17151 (2011); OPTICS EXPRESS, Vol. 20, No. 18, 20742 (2012)]. Sistemele prezentate folosesc oglinzi dielectrice pentru a genera defazajul între polarizările de tip S și P.

Dezavantajul acestor abordări este că nu permit ajustarea sau corectarea frontului de undă al fasciculului laser.

Este cunoscută invenția **US 4312570** de creare a unui sistem bazat pe reflexie, care să genereze un defazaj de 90° între polarizările de tip S și P, prin aplicarea unor straturi transparente pe suprafața reflectivă a unui substrat. Straturile adiacente sunt confecționate din materiale cu indici de refracție substanțial diferiți. Grosimea straturilor depuse este mai mică de un sfert de lungime de undă față de lungimea de undă a frecvenței centrale a fasciculului laser. Grosimea straturilor diferă de la un strat la altul într-un fel predeterminat, pentru a controla și produce cu exactitate defazajul de 90° între polarizările de tip S și P.

Dezavantajul soluției de mai sus este că nu permite ajustarea frontului de undă al fasciculului laser.

Este cunoscută, de asemenea, invenția **US 4379622 A**, care prezintă un sistem de introducere a defazajului de bandă largă având un unghi de defazaj fix, și care folosește un substrat metalic însoțit de alte straturi depuse formate din materiale dielectrice. Sistemul folosește două oglinzi în reflexie, fiecare introducând un defazaj de 45° între polarizările de tip S și P.

Sistemul respectiv are dezavantajul că fasciculul incident nu este coliniar cu fasciculul de ieșire. Pentru aceasta, este necesară existența a minim o oglindă suplimentară, care să introducă un defazaj de 0 sau 180° , pentru a reflecta fasciculul coliniar, pe aceeași direcție cu cea a fasciculului incident, configurație care este întâlnită de cele mai multe ori în transportul fasciculului laser până la țintă.

De asemenea, dezavantajul soluției de mai sus este și că nu permite ajustarea frontului de undă al fasciculului laser.

Este cunoscută, de asemenea, invenția **US 4322130 A**, care folosește o oglindă formată dintr-un strat metalic depus de un substrat și cel puțin un strat adițional de material dielectric, în care, prin variațiile de index de refracție și grosime a straturilor dielectrice, se obține o diferență de fază între polarizările de tip S și P ale componentei reflectate. Invenția se referă la producerea unui defazaj diferit de 180° între componentele S și P ale fasciculului laser incident.

Invenția de mai sus prezintă aceleași dezavantaje prezentate anterior, prin aceea că nu permite și ajustarea frontului de undă al fasciculului laser.

O metodă uzuală de a ajusta frontul de undă al fasciculelor laser este de a folosi oglinzi deformabile. Acestea se utilizează și în cazul sistemelor laser pulsate ultra-intense, înainte de compresorul optic final, dar și în cazul experimentelor, acolo unde e necesară o reajustare a frontului de undă pentru a obține un spot focal cât mai redus și o intensitate cât mai ridicată [citare oe2008].

RO 131067 B1

1 În configurațiile existente și cel mai des întâlnite, dezavantajele folosirii oglinzii
deformabile este că necesită un set de două oglinzi adiționale pentru ca fasciculul de ieșire
3 să fie coliniar cu fasciculul de intrare.

Sunt cunoscute și patente [US 6959992, US 8079721, EP 0546811 A1] care
5 adresează sisteme de corecție a frontului de undă cu ajutorul oglinzilor deformabile.

Dezavantajul soluțiilor pentru corecția frontului de undă de mai sus este că acestea
7 nu iau în considerare și posibilitatea de a controla gradul de polarizare al fasciculului laser,
în particular prin transformarea acestuia din polarizare liniară în polarizare circulară.

9 Este cunoscut patentul US 7859752 care folosește o oglindă adaptivă și o oglindă
sferică pentru a modifica forma fasciculului laser la ieșirea din sistemul propus și a produce
11 la ieșire un fascicul laser circular polarizat.

Dezavantajul soluției de mai sus este că direcția fasciculului laser de la ieșirea din
13 sistem nu este coliniară cu direcția fasciculului laser de intrare și nu permite ajustarea
gradului de polarizare, unghiul de incidență al fasciculului laser pe oglinzi fiind fix. Mai mult,
15 sistemul nu permite ajustarea componentelor de polarizare de tip S și P și reglarea raportului
între componentele de polarizare de tip S și P, în acest caz fiind necesară optica
17 suplimentară.

19 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă într-un sistem care să poată
genera fascicule laser polarizate circular independent sau simultan, cu corecția frontului de
undă al fasciculului laser.

21 Sistemul hibrid de generare a polarizării circulare și ajustare a frontului de undă,
conform invenției, elimină dezavantajele de mai sus prin aceea că:

23 - sistemul folosește minim trei oglinzi pentru a realiza concomitent ajustarea frontului
de undă și generarea polarizării circulare a unui fascicul laser, una din cele trei oglinzi fiind
25 oglinda deformabilă, reducând semnificativ costul echipamentului necesar pentru controlarea
frontului de undă și generarea de fascicule polarizate circular în comparație cu soluții ce ar
27 folosi două sisteme independente pentru controlul frontului de undă și pentru generarea
polarizării circulare;

29 - sistemul păstrează direcția fasciculului laser de intrare coliniară cu direcția
fasciculului laser de la ieșirea sistemului;

31 - sistemul poate folosi oglinzi care pot fi produse cu dimensiuni mari;

33 - sistemul poate ajusta fin elipticitatea fasciculului eliptic polarizat până la obținerea
unei polarizări circulare sau, în cazul în care experimentul o cere, obținerea unei polarizări
ușor diferite de polarizarea circulară;

35 - în cazul în care lungimea de undă a fasciculului laser variază, se poate ajusta fin,
cu ajutorul sistemului propus, elipticitatea fasciculului eliptic polarizat, până la obținerea unei
37 polarizări circulare;

39 - pragul de distrugere pentru oglinzi, ca cele de argint, de aur sau dielectrice este
ridicat față de lamele sferice de undă în transmisie, ajungând la 400 mJ/cm² la argint și la 200
mJ/cm² la aur în timp ce, pentru cuarț și mică, pragul de distrugere e sub ordinul miliJoule
41 per cm² [OPTICS EXPRESS, Vol. 19, No. 18, 17151 (2011)].

43 Sistemul hibrid de ajustare a frontului de undă și generare a polarizării circulare
conform invenției prezintă următoarele avantaje:

45 - asigură ajustarea fină a frontului de undă și, concomitent, generarea polarizării
circulare a unui fascicul laser, folosind un minim de trei oglinzi, dintre care una fiind cea
deformabilă;

47 - asigură ajustarea fină a elipticității fasciculului eliptic polarizat până la obținerea unei
polarizări circulare sau, în cazul în care experimentul o cere, se poate obține o polarizare
49 ușor diferită de polarizarea circulară;

RO 131067 B1

- asigură obținerea fasciculului circular polarizat prin folosirea de oglinzi care pot fi produse cu dimensiuni mari (peste 0,5 m) și calitate corespunzătoare concomitent cu un front de undă planar; 1
 - asigură reglarea raportului între componentele de polarizare de tip S și P prin rotirea solidară a întreg sistemului de oglinzi în jurul axei determinate de direcția de propagare a fasciculului incident; 3
 - asigură un cost redus, folosind un singur echipament pentru controlarea frontului de undă și generarea de fascicule polarizate circular în comparație cu soluții ce ar folosi două sisteme independente pentru controlul frontului de undă și pentru generarea polarizării circulare; 7
 - asigură posibilitatea de ajustare a fasciculului eliptic polarizat până la obținerea unei polarizări circulare, în cazul în care lungimea de undă a fasciculului variază; 9
 - asigură versatilitatea unui aranjament experimental, deoarece sistemul are proprietatea că fasciculul de intrare este coliniar cu fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul de ieșire având aceeași poziție și direcție în prezența și în absența sistemului de generare a polarizării circulare și ajustare a frontului de undă; 11
 - asigură posibilitatea funcționării simultan sau independent pentru ajustarea frontului de undă și generarea polarizării circulare; 13
 - asigură posibilitatea eliminării din calea fasciculului de intrare a celor trei oglinzi folosind un subsistem electro-mecanic de acționare parte a sistemului; 15
 - asigură corecția frontului de undă în cazul în care oglinzile din sistem sunt afectate de deformări, cum ar fi cele datorate acțiunii câmpului gravitațional. 17
- Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...4, care reprezintă: 23
- fig. 1, rezultatele simulării în mediul Optica 3, reprezentând vederea 3D laterală a sistemului cu trei oglinzi, din care una deformabilă, propus, în care fasciculul reflectat este coliniar cu fasciculul incident și în care defazajul între polarizările de tip S și P este de 90°; 25
 - fig. 2, schema de principiu, cu trei oglinzi, din care una deformabilă, propus, care exemplifică posibilitatea ajustării sistemului cu cinci grade de libertate (trei rotații și două translații); 27
 - fig. 3, exemplificare de schemă pentru ansamblul mecanic, cinci grade de libertate, reprezentare laterală; 29
 - fig. 4, exemplificare de schemă pentru ansamblul mecanic, cinci grade de libertate, reprezentare frontală. 31
- Sistemul hibrid de generare a polarizării circulare și ajustare a frontului de undă al fasciculului laser, exemplificat, conform invenției, este alcătuit din trei oglinzi, cu reflectivitate ridicată la lungime de undă corespunzătoare fasciculului de lumină utilizat (e.g. fascicul laser la 815 nm). Sistemul are proprietatea că fasciculul de intrare este coliniar cu fasciculul de ieșire, în acest fel fasciculul de ieșire având aceeași poziție și direcție în prezența și în absența sistemului hibrid de generare a polarizării circulare și ajustare a frontului de undă al fasciculului laser, așa cum este ilustrat în fig. 1. 35
- În cazul unei surse polarizate liniar, direcția de polarizare și direcția de propagare determină un plan, numit mai departe planul polarizării. 37
- Cele trei oglinzi au același plan de reflexie, numit mai departe planul de reflexie. Acestea pot fi rotite solidar în jurul axei determinate de direcția de propagare a fasciculului incident. 39
- Prin rotirea solidară a celor trei oglinzi în jurul axei de propagare a fasciculului incident, se transformă polarizarea fasciculului incident, care este de tip S sau P, în polarizare cu două componente, de tip S și de tip P. Acestea ajung defazate la ieșirea din sistem cu aproximativ $\pi/2$, corespunzând polarizării circulare. 41

RO 131067 B1

1 Oglinda deformabilă este aleasă ca fiind cea cu apertura cea mai mică (oglinza 2 în
2 fig. 2). Cu ajutorul oglinzii deformabile, se ajustează frontul de undă al fasciculului laser.
3 Acest tip de oglinzi prezintă o membrană flexibilă, cu proprietăți optice reflective pentru
4 fasciculul laser incident.

5 Prin rotirea în jurul unei axe perpendiculare pe planul de reflexie a fiecăreia dintre
6 oglinzi și prin translatarea lor corespunzătoare, se poate regla fin defazajul între
7 componentele S și P, și se poate păstra, în același timp, condiția de coliniaritate a
8 fasciculului incident și cel de ieșire din sistem, ca în fig. 2.

9 Un exemplu particular al sistemului hibrid, de generare a polarizării circulare și
10 ajustare a frontului de undă, conform invenției, este alcătuit dintr-un cadru **4** fix care are
11 atașat un sistem de ghidare circular **6** cu bile, cu axa de rotație în jurul axei determinată de
12 direcția de propagare a fasciculului incident, astfel încât să asigure rotirea cadrului **5**, în
13 interiorul căruia, cu ajutorul unui subsistem electro-mecanic de acționare **14**, sprijinit pe
14 cadrul **5**, culisează cadrul **15** suport pentru subansamblul format din trei oglinzi, oglinda
15 frontală **1**, oglinda superioară **2**, oglinda posterioară **3**, ansamblul astfel obținut, alcătuit din
16 cadrul **5**, cadrul **14** și cele trei oglinzi, rotindu-se cu ajutorul unui sistem format dintr-o roată
17 dințată **7**, cu axa de rotație în jurul axei determinată de direcția de propagare a fasciculului
18 incident, și un sistem electromecanic de acționare, **8**, care permite înclinarea cadrului **5**
19 (fig. 3, 4).

20 Oglinda frontală **1** este sprijinită pe o ramă suport **13**, susținută cu ajutorul a doi piloni
21 **12** de o parte și de alta a oglinzii, ghidată cu ajutorul unor ghidaje pe șină **11**, care asigură
22 un grad de libertate prin înclinarea oglinzii cu ajutorul unui sistem electro-mecanic de
23 acționare **9**.

24 Oglinda superioară **2**, reprezentând oglinda adaptivă, este sprijinită pe o ramă suport
25 tip **13**, susținută cu ajutorul a doi piloni, tip **12**, ghidată cu ajutorul unor ghidaje pe șină, tip
26 **11**, subansamblul astfel alcătuit este susținut de un sistem mecanic **10**, care permite
27 translația subansamblului și rotirea oglinzii cu ajutorul unui sistem electromecanic de
28 acționare, tip **9**, asigurându-se, în acest fel, două grade de libertate pentru oglinda
29 superioară. Această oglindă asigură și eventualele corecții ale frontului de undă datorate
30 acțiunii câmpului gravitațional asupra oglinzilor. Oglinda adaptivă poate corecta distorsiunile
31 frontului de undă datorate imperfecțiunilor oglinzilor sau deformărilor oglinzilor datorate
32 acțiunii câmpului gravitațional, prin folosirea unor pistoane atașate de o membrană flexibilă,
33 acoperită cu strat metalic și/sau dielectric, cu proprietăți reflective pentru fasciculul laser
34 incident. Corecția frontului de undă se realizează acționând pistoanele atașate membranei
35 și urmărind modificările aduse frontului de undă, cu ajutorul unui senzor de front de undă,
36 amplasat după oglinda adaptivă și după ansamblul de oglinzi asupra cărora se dorește
37 efectuarea corecției frontului de undă.

38 Oglinda posterioară **3** permite două grade de libertate, sistemele mecanice de
39 acționare fiind similare sistemului pentru oglinda superioară **2**.

40 Sistemul de culisare a cadrului **15** în interiorul cadrului **5** permite eliminarea din calea
41 fasciculului a oglinzilor **1** și **2**, și, în consecință, a sistemului de generare a polarizării
42 circulare și ajustare a frontului de undă, în cazul în care nu se dorește intervenția asupra
43 parametrilor fasciculului incident.

44 În cazul pulsurilor laser ultra scurte și ultra intense, acestea au nevoie să se propage
45 în vid pentru a nu suferi distorsiuni și, ca urmare, sistemele electro-mecanice descrise
46 anterior necesită a fi compatibile cu vidul. În acest caz, cadrul de sprijin **4** este plasat într-o
47 incintă de vid necesară pentru a transporta fasciculele laser de ultra-înaltă intensitate. În
48 acest caz, și oglinda adaptivă trebuie să fie compatibilă cu vidul.

RO 131067 B1

Revendicări

1. Sistem hibrid de ajustare a frontului de undă și generare a polarizării circulare dintr-un fascicul laser polarizat liniar folosind doar optica în reflexie, alcătuit din trei oglinzi (1, 2, 3) cu dimensiuni ce pot atinge valori mari, de ordinul metrului pătrat sau mai mult, configurația acestora fiind realizată în așa fel încât fasciculul de intrare este coliniar cu fasciculul de ieșire, ce are în componenta sa un cadru (4) fix care are atașat un subsistem (6) de ghidare circular cu axa de rotație în jurul axei determinate de direcția de propagare a fasciculului incident, astfel încât să asigure rotirea unui alt cadru (5), care acționează ca suport pentru subansamblul format din cele trei oglinzi (1, 2, 3), oglinda (1) frontală, oglinda superioară (2) și oglinda posterioară (3), cu ajutorul unui ansamblu format dintr-o roată (7) dințată, cu axa de rotație în jurul axei determinate de direcția de propagare a fasciculului incident, și un subsistem (8) electro-mecanic de acționare care permite înclinarea cadrului (5), în care oglinda (1) frontală este sprijinită pe o montură (13), susținută cu ajutorul a doi piloni (12), de o parte și de alta a oglinzii (1), ghidată cu ajutorul unor ghidaje (11) pe șină, care asigură un grad de libertate prin înclinarea oglinzii cu ajutorul unui subsistem (9) electro-mecanic de acționare, iar oglinda (2) superioară este sprijinită pe o montură (13), susținută cu ajutorul a doi piloni (12), ghidată cu ajutorul unor ghidaje (11) pe șină, subansamblul astfel alcătuit este susținut de un subsistem (10) mecanic, care permite translația subansamblului și rotirea oglinzii (2) cu ajutorul unui subsistem (9) electro-mecanic de acționare, asigurând-se, în acest fel, 2 grade de libertate pentru oglinda (2) superioară, și o oglindă (3) posterioară ce permite două grade de libertate, subsistemele mecanice de acționare fiind similare sistemului pentru oglinda (2) superioară, **caracterizat prin aceea că** oglinzile (1, 3) frontală și posterioară sunt plane și oglinda (2) superioară este adaptivă, conținând, în plus, un subsistem electro-mecanic (14) ce acționează asupra un cadru culisant (15) în interiorul cadrului (5), care permite eliminarea din calea fasciculului de intrare a celor trei oglinzi.
2. Sistem hibrid conform revendicărilor precedente, **caracterizat prin aceea că**, pentru obținerea corecției frontului de undă și a fasciculului polarizat circular de ultra-înaltă intensitate, atât oglinzile (1, 2, 3) cât și toate subansamblele (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) mecanice și electrice sunt compatibile cu vidul.

(51) Int.Cl.

G02B 27/28 (2006.01),

G02B 5/30 (2006.01)

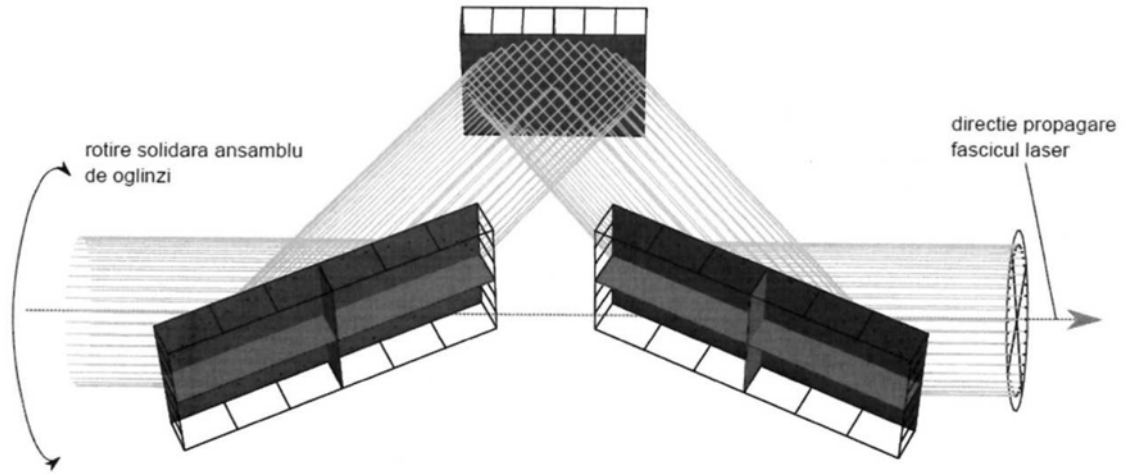


Fig. 1

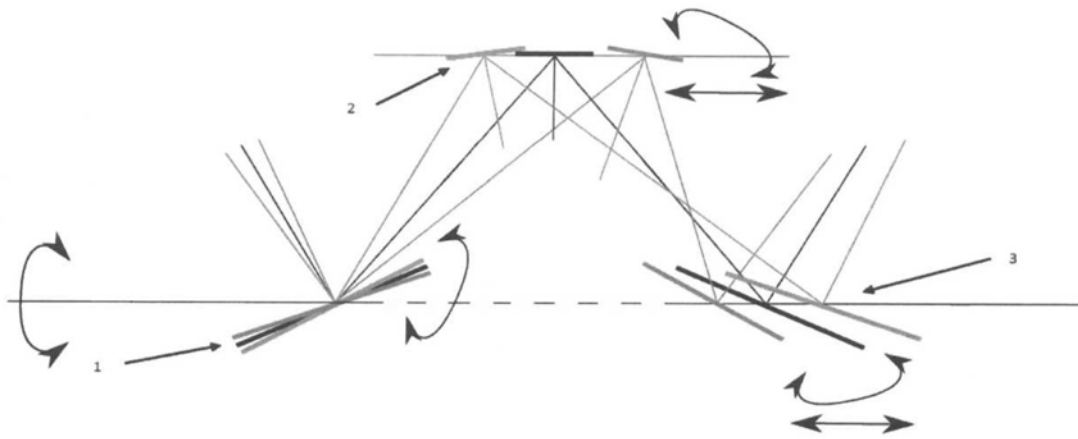


Fig. 2

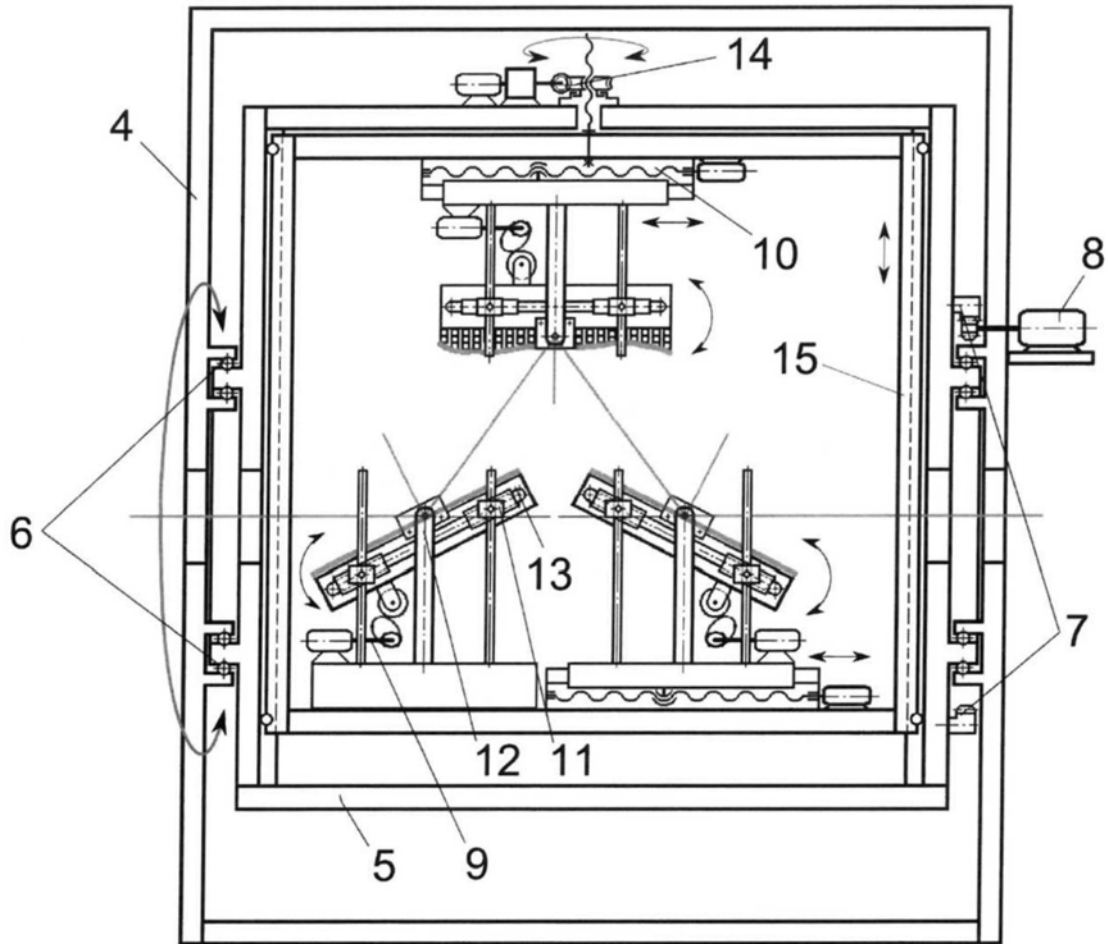


Fig. 3

(51) Int.Cl.

G02B 27/28 (2006.01);

G02B 5/30 (2006.01)

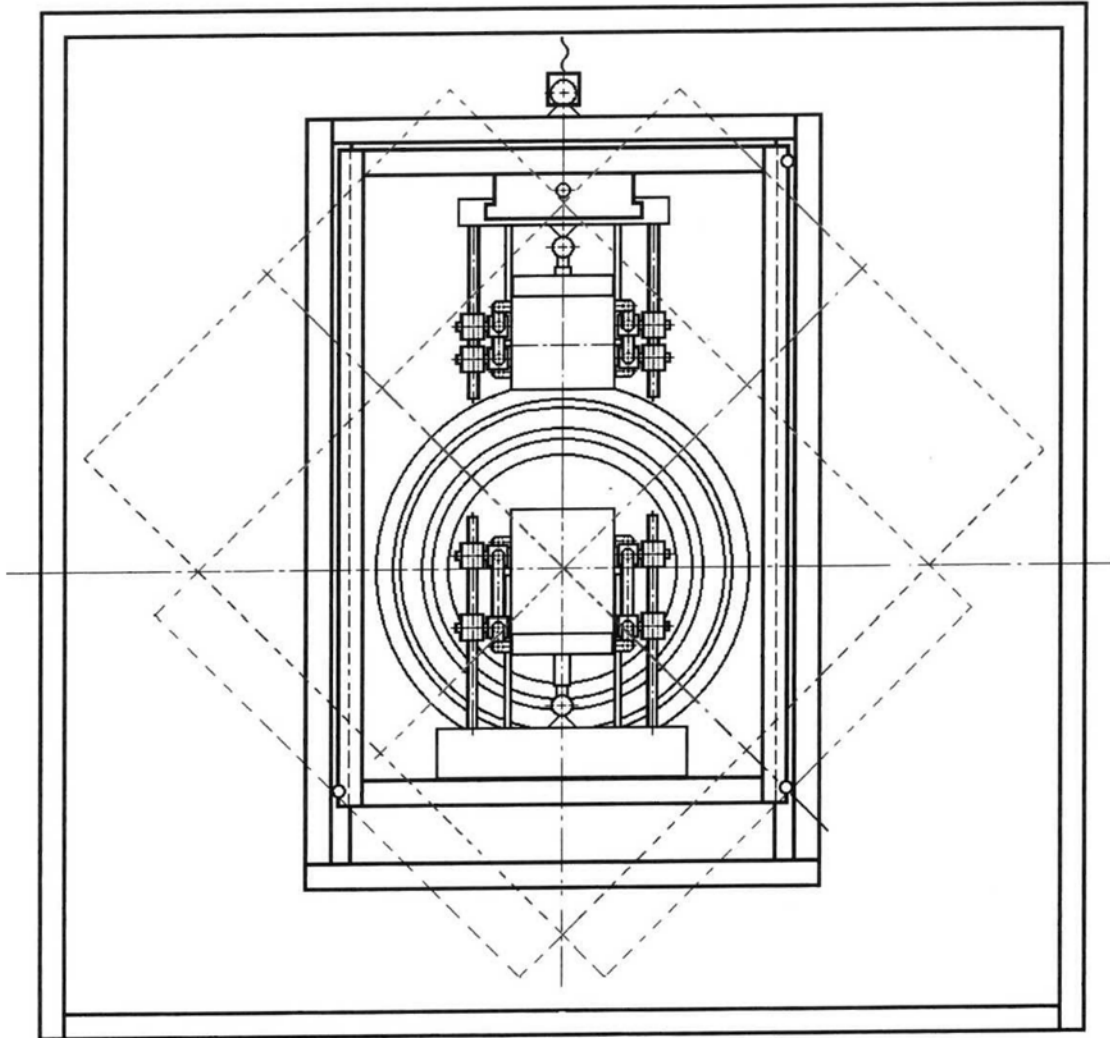


Fig. 4