



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00643**

(22) Data de depozit: **28/08/2013**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/05/2022** BOPI nr. **5/2022**

(41) Data publicării cererii:  
**30/03/2015** BOPI nr. **3/2015**

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

(72) Inventatori:  
• **GANCIU PETCU MIHAI, STR. BÎRNOVA  
NR.6, BL. M111C, SC. 1, ET. 4, AP. 23,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **PISO MARIUS-IOAN,  
STR.MAREȘAL ALEXANDRU AVERESCU  
NR.5, BL.3, SC.B, ET.6, AP.25, SECTOR 1,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **STOICAN OVIDIU-SORIN,  
STR. FIZICIENILOR NR. 6, BL. 4, SC. 2,  
ET. 2, AP. 26, MĂGURELE, IF, RO;**  
• **MARGHITU OCTAV, STR CIHOSCHI  
NR.13 AP.22 SECT.1, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **DABU RĂZVAN-VICTOR-ANTON,  
BD. BANUL MANTA NR. 12, BL. 26, SC. B,  
ET. 2, AP. 50, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,  
RO;**  
• **SURMEIAN AGAVNI, STR. PRIBEAGULUI  
NR. 1, BL. 25, SC. B, AP. 37, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **JULEA ANDREEA-MARIA,  
STR. FIZICIENILOR NR. 21, BL. M1, AP. 3,  
MĂGURELE, IF, RO;**  
• **MIHALCEA BOGDAN-VASILE,  
STR. CÂMPIA LIBERTĂȚII NR. 14,  
BRAGADIRU, IF, RO;**  
• **GROZA ANDREEA-LILIANA,  
STR. STÂNJENEILOR NR. 4, BL. 62, SC. 1,  
ET. 8, AP. 52, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,  
RO;**  
• **DISPLASU CONSTANTIN,  
STR. NERVA TRAIAN NR. 1, BL. K6, SC. 1,  
AP. 22, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **MORJAN ION, STR.CĂRĂMIDARII DE  
JOS NR.1, BL.76, SC.B, ET.8, AP.79,  
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**BERNHARD HIDDING & COLECTIVE,  
LASER PLASMA-ACCELERATORS A  
NOVEL, VERSATILE TOOL FOR SPACE  
RADIATION STUDIES", NUCLEAR  
INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS  
RESEARCH", SECTION A, ISSN 0168-9002,  
NR. 1, VOL. 636, PP. 31-40, ELSEVIR,  
OLANDA, 2011; US 2011/240888;  
WO 2005/069451 A1**

(54) **SISTEM ȘI PROCEDEU DE TESTARE AL EFECTULUI  
FLUXURILOR PULSATE ȘI SINCRONIZATE DE PARTICULE  
ACCELERATE LASER**



# RO 130134 B1

1 Inventția se referă la un sistem și un procedeu pentru testarea componentelor, cir-  
cuitelor și echipamentelor complexe prin determinarea efectului pe care îl are asupra carac-  
3 teristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care  
controlează funcționarea acestora, un flux extern de particule ce poate fi însoțit de un flux  
5 de radiație X sau gama, având diverse energii și intensități, și care pot fi, de exemplu:  
dispozitive electrice, electronice, optice, mecanice sau combinații ale acestora și care sunt  
7 conținute de echipamentele electronice aflate la bordul sateliților, navelor spațiale sau  
avioanelor zburând la foarte mare altitudine, a sistemelor de control ale reactoarelor nucleare  
9 sau a acceleratoarelor de particule, a instalațiilor utilizate pentru manipularea materialelor  
radioactive și în zonele afectate de accidente nucleare.

11 Radiația X este radiația electromagnetică cu lungimea de undă cuprinsă între 10 pm  
și 10 nm, iar radiație gama, radiația electromagnetică cu lungimea de undă mai mică decât  
13 10 pm.

15 Este cunoscut faptul că fluxurile de particule, cum ar fi fluxurile de electroni, ioni,  
protoni, neutroni și alte particule elementare precum și radiația electromagnetică de lungime  
de undă foarte mică, comparabilă cu dimensiunile atomilor sau moleculelor, cum sunt de  
17 exemplu radiațiile X și gama, pot afecta integritatea echipamentelor electronice conducând  
la distrugerea sau funcționarea eronată a acestora (a se vedea, de exemplu **A. Holmes-  
19 Siedle, L. Adams, Handbook of Radiation Effects, Oxford University Press, England,  
2002, ISBN 0-1-850733-X**). Asemenea situații se întâlnesc în cazul echipamentelor electro-  
21 nice aflate la bordul sateliților, navelor spațiale sau avioanelor zburând la foarte mare  
altitudine, sistemelor de control ale reactoarelor nucleare sau a acceleratoarelor de particule,  
23 a instalațiilor utilizate pentru manipularea sau reciclarea materialelor radioactive sau în  
zonele afectate de accidente nucleare.

25 Prin urmare reprezintă o mare importanță practică realizarea de echipamente, circuite  
și componente electrice, electronice sau optoelectronice, precum și programarea lor  
27 adecvată, astfel încât să funcționeze normal în prezența radiațiilor cu spectru energetic larg.  
Aceasta impune testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe în condiții  
29 similare celor enumerate mai sus. În acest scop este necesară realizarea unor sisteme cu  
ajutorul cărora să se genereze fluxuri de particule ale căror caracteristici să fie asemănătoare  
31 cu cele întâlnite în spațiul cosmic, la mare altitudine, în interiorul reactoarelor nucleare sau  
în zonele afectate de accidente nucleare și urmărirea efectelor acestor fluxuri de particule  
33 asupra componentelor și circuitelor.

35 De exemplu în lucrarea **X. Wang, Quasi-monoenergetic laser-plasma acceleration  
of electrons to GeV, Nature Communications vol. 4, article number: 188, doi:  
37 10.1038/ncomms2988 din 11 iunie 2013**, este descris un sistem de producere a unui  
fascicul de electroni cu energia de 2GeV bazat pe interacția unui puls laser ultra-scurt,  
extrem de intens, de ordinul a IPW (durata 150 fs, lungimea de undă 1057  $\mu\text{m}$ , energia  $E \leq$   
39 150 J) care interacționează cu un mediu gazos format din He, cu puritate 99,99%, la pre-  
siunea 1-8 torr, aflat într-un tub capilar cu diametrul de 3 mm și lungimea de 7 cm. În con-  
41 tinuare asemenea sisteme de accelerare a particulelor, bazate pe interacția dintre fascicule  
laser pulsate de mare intensitate și diverse ținte, vor fi denumite acceleratoare laser-plasmă.  
43 În cazul unui accelerator convențional este nevoie de o distanță de circa 10000 de ori mai  
mare pentru a obține un fascicul de electroni cu aceeași energie. Declanșarea acceleratorului  
45 laser-plasmă, însemnând generarea la ieșirea acestuia a unui grup de particule accelerate,  
denumit în continuare pachet de particule accelerate, are loc ca urmare a aplicării la intrarea  
47 sa a unui puls laser ultrascort, denumit în continuare puls laser incident, de mare intensitate  
furnizat de către un laser de mare putere extern. Natura, forma și dimensiunile țintei, de

1 asemenea intensitatea și durata pulsului laser incident determină tipul de particule care  
2 urmează a fi generate. Prin modificarea acestor caracteristici se poate controla tipul și  
3 energia particulelor generate. De exemplu, conform **S. Abuazoum, S. M. Wiggins, R. C.  
4 Issac, G. H. Welsh, G. Vieux, M. Ganciu, and D. A. Jaroszynski, "A high voltage pulsed  
5 power supply for capillary discharge waveguide applications", Rev. Sci. Instrum. 82,  
6 063505 (2011)**, un accelerator de electroni poate fi realizat utilizând interacția unui fascicul  
7 laser focalizat cu o plasmă filamentară indusă într-un tub capilar care permite adaptarea  
8 parametrilor fasciculelor de electroni accelerați la condițiile de test (durată, energie, diver-  
9 gență) prin modularea parametrilor curentului inițial în capilar și a presiunii precum și a naturii  
10 gazului din interiorul capilarului. Dispozitivele de accelerare de electroni, respectiv protoni,  
11 pot crea prin combinarea lor, amestecuri de particule accelerate ionizante cu diferite com-  
12 poziții care să includă și generarea altor tipuri de radiație (X, gama) sau de alte particule  
13 nucleare (neutroni) într-un interval de timp controlat. În **B. Hidding et al, Laser-plasma-  
14 accelerators-A novel, versatile tool for space radiation studies, Nuclear Instruments  
15 and Methods in Physics Research A 636, (2011), 31-40**, se demonstrează că distribuția  
16 după energie a particulelor generate de către acceleratoarele laser-plasmă pot avea carac-  
17 teristici similare cu cele întâlnite în spațiul cosmic. Prin urmare există posibilitatea utilizării  
18 fluxurilor de particule generate de către acceleratoarele laser-plasmă, pentru testarea efec-  
19 telor unor fluxuri de particule cu caracteristici asemănătoare celor din spațiul cosmic asupra  
20 componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, inclusiv asupra programelor care le  
21 controlează funcționarea, aflate la bordul sateliților și navelor spațiale.

22 O astfel de soluție tehnică cunoscută, este cea a unui sistem de testare care folo-  
23 sește un singur accelerator plasmă-laser. Laserul de mare putere generează pulsuri ultra-  
24 scurte de foarte mare intensitate care se propagă de-a lungul unei direcții. Acestea sunt  
25 dirijate către o oglindă parabolică care la rândul său le focalizează asupra unei ținte solide  
26 sau gazoase conținută de către acceleratorul laser-plasmă. Fiecare puls laser incident  
27 declanșează un proces fizic complex în urma căruia se generează la ieșirea acceleratorului  
28 laser-plasmă un fascicul pulsant de particule accelerate având o anumită divergență spațială.

29 În același scop, se mai cunoaște soluția tehnică descrisă în cererea de brevet  
30 americană **US 2011/0240888 A1** publicată la 06 octombrie 2011, în care este prezentată o  
31 metodă pentru testarea sensibilității componentelor și circuitelor electronice la efectele  
32 radiației. Se pot produce mai multe tipuri de particule și radiații, cum ar fi de electroni,  
33 protoni, ioni, neutroni și fotoni, și combinații ale acestor produși, într-o gamă largă de para-  
34 metri, care sunt relevanți pentru cazul utilizării de componente electronice, circuitelor și echi-  
35 pamentelor în spațiu, cum ar fi cele instalate la bordul sateliților, cele care funcționează la  
36 altitudini mari sau în locurile unde există substanțe radioactive, cum ar fi centralele nucleare.  
37 Variindu-se cel puțin un parametru selectat din grupul constând din: energia impulsului laser,  
38 energia de acționare a impulsului laser, durata fasciculului, lungimea de undă, forma  
39 fasciculului și densitatea fasciculului, rezultă un fascicul de radiație cu o distribuție de energie  
40 a particulelor accelerate apropiată de cea exponențială având o componentă electronică  
41 importantă.

42 În scopul testării componentelor și circuitelor complexe folosind acceleratoare de  
43 particule compacte de mici dimensiuni care au caracteristici comparabile cu cele ale acce-  
44 leratoarelor convenționale și care utilizează lasere de foarte mare putere este cunoscută  
45 cererea de brevet **US 200911042 A1** din 07.07.2009, "*Metodă și aparat de testarea  
46 circuitelor electronice*". Metoda constă în iradierea cu un fascicul de particule accelerate într-  
47 un accelerator laser-plasmă a circuitului electronic și analizarea semnalului de ieșire de

# RO 130134 B1

1 răspuns de către circuitul electronic în perioada în care fluxul de particule este aplicat asupra  
circuitului. Metoda mai constă în acumularea probelor pentru a genera o valoare urmată de  
3 generarea unui rezultat test bazat pe această valoare. Aparatul pentru testarea circuitelor  
electronice, conform cererii de brevet mai sus amintite, este alcătuit dintr-un laser al cărui  
5 puls este aplicat asupra acceleratorului laser-plasmă, un sistem de control operabil pentru  
a direcționa fasciculul de particule accelerate pe o locație anumită de pe circuitul electronic,  
7 și un circuit de măsurare, în care circuitul de măsurare determină o multitudine de  
eșantioane dintr-un semnal de ieșire de răspuns de la circuitul electronic în perioada în care  
9 radiația laser este aplicată. Aparatul mai include un procesor de semnal, care acumulează  
probele și generează o valoare și un rezultat-test bazat pe acea valoare.

11 În scopul testării efectului fluxurilor de particule de mare energie asupra componen-  
telor, circuitelor și echipamentelor complexe se folosesc, de preferință, acceleratoare de  
13 particule convenționale a căror funcționare se bazează pe accelerarea particulelor încărcate  
în diverse configurații de câmpuri electrice și magnetice. Utilizarea lor prezintă următoarele  
15 dezavantaje:

- generarea fluxurilor de particule necesită instalații de dimensiuni foarte mari;
- 17 - sunt generate fluxuri care conțin un singur tip de particule, în consecință nu poate  
fi testat efectul acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule;
- 19 - secțiunea fasciculului de particule este foarte mică astfel încât nu poate fi testat  
efectul acțiunii fasciculului asupra întregului element testat sau asupra unei suprafețe  
21 semnificative a acestuia;
- fluxul de particule este de regulă monoenergetic, caracteristică care diferă de cea  
23 întâlnită în situațiile reale pentru care trebuie efectuate testele;

În scopul emiterii de fluxuri de particule de mare energie folosite pentru testarea  
25 componentelor și circuitelor complexe, este cunoscută utilizarea acceleratoarelor de particule  
compacte, de mici dimensiuni care au caracteristici comparabile cu cele ale acceleratoarele  
27 convenționale și care utilizează fascicule lasere de foarte mare putere. Acest tip de accelera-  
toare se bazează pe generarea particulelor și accelerarea lor în plasma formată în urma  
29 interacției dintre fasciculul laser și o țintă solidă sau gazoasă.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în generarea simultană sau cu  
31 un anumit decalaj temporal, a mai multor fluxuri de particule concurente, de diferite tipuri,  
care se propagă în direcții diferite, prezintă o anumită extindere spațială, și au caracteristici  
33 asemănătoare celor din spațiul cosmic.

Sistemul de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, rezolvă  
35 problema tehnică menționată mai sus, fiind caracterizat conform invenției prin aceea că, într-  
o primă variantă constructivă, este format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă,  
37 separate, plasate în poziții diferite față de subsistemul de testat și care generează cel puțin  
niște fascicule pulsate de particule accelerate de același tip sau de tipuri diferite, funcție de  
39 construcția acceleratoarelor laser-plasmă, la intrarea fiecăruia din cel puțin două accelera-  
toare laser-particulă aplicându-se pulsuri laser incidente provenind de la niște lasere de mare  
41 putere, astfel încât suprafața expusă fasciculelor de particule de către subsistemul testat să  
fie mai mare decât dacă s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă, un  
43 fascicul laser generat de către unul din laserele de mare putere fiind dirijat de către o oglindă  
către o oglindă parabolică, care focalizează fasciculul la intrarea unuia dintre acceleratorului  
45 laser-plasmă și un alt fascicul laser, generat de către celălalt laser de mare putere fiind dirijat  
de către o altă oglindă către o altă oglindă parabolică, care focalizează fasciculul la intrarea

# RO 130134 B1

cel de-al doilea accelerator, și prin aceea că mai conține instrumentele de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul de testat și măsurarea parametrilor funcționali ai acestuia după aplicarea fluxurilor de particule.	1 3
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, conținând tipuri diferite de particule, sunt aplicate asupra aceleiași zone a subsistemului de testat.	5 7
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule pot fi aplicate asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.	9
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că, acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere de mare putere este comandată de către un modul care generează niște semnale de comandă care pot fi decalate în timp, permițând astfel aplicarea succesivă a unor fluxuri de particule asupra subsistemului de testat, asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite ale acestuia.	11 13 15
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, semnalele de comandă pot fi simultane permițând astfel aplicarea simultană a unor fluxuri de particule asupra subsistemului de testat, asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite ale acestuia.	17 19
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, numărul acceleratoarelor laser-plasmă separate se adaptează necesităților de testare și dimensiunilor subsistemelor de testat, în funcție de puterea și numărul laserelor.	21 23
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se poate roti astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri și asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.	25 27
Sistemul de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe, rezolvă problema tehnică menționată, prin aceea că, într-o a doua variantă constructivă, în care este testat efectul radiațiilor asupra subsistemului de testat, este format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă separate, în care pulsul laser incident pentru fiecare din cele cel puțin două acceleratoare laser-plasmă este furnizat de către un singur laser de putere, un fascicul de ieșire al acestuia fiind divizat de către un divizor de fascicul, unul dintre fascicule fiind dirijat cu ajutorul unor oglinzi către o oglindă parabolică, aceasta focalizând fasciculul la intrarea unuia dintre acceleratoarele laser-plasmă, celălalt fascicul, după ce traversează o lamă de compensare, fiind dirijat cu ajutorul unor oglinzi către o oglindă parabolică, aceasta focalizând fasciculul la intrarea celuilalt accelerator laser-plasmă, și în care prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi se modifică drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării unuia dintre acceleratoare laser-plasmă care implicit va genera fluxurile de particule accelerate cu o anumită întârziere față de celălalt accelerator laser-plasmă care generează fluxurile de particule accelerate, și prin aceea că mai conține instrumentele de măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul de testat și măsurarea parametrilor funcționali ai acestuia după aplicarea fluxurilor de particule.	29 31 33 35 37 39 41 43 45
Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, conținând tipuri diferite de particule, sunt aplicate asupra aceleiași zone a subsistemului de testat.	47

# RO 130134 B1

1 Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem și prin faptul că acesta, conform  
invenției, este caracterizat prin aceea că, fasciculele pulsate de particule, pot fi aplicate  
3 asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

5 Problema tehnică mai este rezolvată de către sistem, și prin faptul că acesta, conform  
invenției, este caracterizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se  
7 poate roti astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri și  
asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

9 Procedeu de testare pentru componente și circuite complexe în fluxuri pulsate și  
sincronizate de particule, care folosește sistemul de testare de mai sus, rezolvă problema  
11 tehnică menționată fiind caracterizat prin aceea că, pentru determinarea efectului unui flux  
extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor  
13 de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționa-  
rea acestora, constă în:

15 - calibrarea sistemului prin determinarea intensității, energiei, distribuției spațiale și  
natura particulelor conținute de către fluxurile de particule, pentru o intensitate dată a fas-  
17 ciculelor laser, a configurației spațiale dată a acestora și a caracteristicilor date ale accelera-  
toarelor, care se realizează prin amplasarea instrumentelor de măsură în sine cunoscute,  
19 cu ajutorul cărora se determină parametrii menționați, în diverse poziții din spațiu care fac  
parte din volumul ocupat ulterior de subsistemul testat;

21 - măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului care face obiectul testelor  
privind rezistența la fluxul de particule înainte de aplicarea acestora;

23 - îndepărtarea instrumentelor de măsură în locul acestora amplasându-se subsis-  
temul de testat pentru care se asigură ecranarea electromagnetică corespunzătoare;

25 - aplicarea fluxurilor de particule asupra subsistemului de testat, cu aceleași  
caracteristici pentru fasciculele laser, aceiași configurație spațială pentru acestea precum  
și aceleași caracteristici pentru acceleratoare;

27 - măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului de testat în timpul aplicării  
fluxurilor de particule și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

29 - măsurarea parametrilor funcționali ai subsistemului de testat după aplicarea  
fluxurilor de particule și compararea lor cu valorile măsurate inițial.

31 Problema tehnică mai este rezolvată și de către procedeu, conform invenției,  
caracterizat prin aceea că operația de calibrare se realizează prin varierea intensității fas-  
33 ciculelor laser, a configurației spațiale a acestora și prin modificarea caracteristicilor accelera-  
toarelor laser-plasmă, astfel încât intensitatea, energia, distribuția spațială și natura  
35 particulelor conținute de către fluxurile de particule să se încadreze în valorile necesare.

37 Problema tehnică mai este rezolvată și de către procedeu, conform invenției, caracte-  
rizat prin aceea că cele cel puțin două fluxuri de particule accelerate se aplică simultan sau  
decalate temporal asupra unei componente sau a întregului subsistem supus testelor.

39 Problema tehnică mai este rezolvată de către procedeu, conform invenției, caracte-  
rizat prin aceea că, suportul care susține subsistemul de testat se poate roti pe durata  
41 efectuării testelor astfel încât fluxul de particule incidente poate fi aplicat sub diverse unghiuri  
și asupra unor zone diferite ale subsistemului de testat.

43 Procedeu și sistemul pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor  
complexe, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

45 - obținerea simultană sau cu un decalaj în timp controlat de către operator, a unor  
fascicule multiple de particule cu caracteristici diferite;

47 - obținerea de fascicule pulsate conținând tipuri de particule diferite (electroni și  
49 protoni, de exemplu) care pot fi aplicate simultan sau cu un anumit decalaj în timp asupra  
componentei sau sistemului testate;

# RO 130134 B1

- se pot aplica fascicule de radiație din direcții diferite;	1
- se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, măbind suprafața expusă fluxului de particule;	3
- se pot aplica fascicule de radiație, simultan sau succesiv, asupra unor zone diferite ale acestora, permițând simularea cazului în care fluxul de particule acționează asupra mai multor elemente critice ale sistemului testat;	5
- se pot obține fascicule pulsate de particule cu un grad înalt de uniformitate sau cu o neomogenitate spațială și temporală controlată;	7
- pot fi simulate condițiile care apar în timpul erupțiilor solare sau atunci când un vehicul spațial traversează centurile de radiații;	9
- se pot astfel induce mai multe defecte într-un interval de timp scurt care poate fi mai mic decât perioadele temporale specifice funcționării sistemelor supuse testelor, sisteme care pot fi în funcțiune în momentul testării;	11
- se pot testa programe specializate pentru corecția defectelor induse în structura fizică a sistemului testat, în condiții de fluxuri instantanee pentru care probabilitatea de defecte simultane este mare;	13
- se poate testa capacitatea întregului sistem de a reveni la o bună funcționare după inducerea unor defecte multiple distribuite în anumite intervale de timp.	17
Se prezintă în continuare două exemple de realizare a procedurii și sistemului pentru testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe, conform invenției, în legătură și cu fig. 1...5 care reprezintă:	19
- fig. 1, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, în care fasciculul pulsat de particule este aplicat asupra unor zone diferite ale subsistemului testat;	21
- fig. 2, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, în care fasciculul pulsat de particule este aplicat asupra aceleiași zone a subsistemului testat;	23
- fig. 3, schema bloc a unui sistem de generare și accelerare a particulelor, conform invenției, într-o altă variantă constructivă, în care pulsul laser incident pentru fiecare din cele două acceleratoare laser-plasmă este furnizat de către un singur laser de putere, fasciculul de ieșire al acestuia fiind divizat prin metode optice;	25
- fig. 4, schema bloc de calibrare a sistemului, conform invenției;	27
- fig. 5, schema de principiu care pune în evidență multiplicarea pulsului laser incident folosind metode optice.	29
Exemplele de realizare prezintă utilizarea sistemului <b>S</b> de testarea componentelor, circuitelor și echipamentelor complexe pentru determinarea efectului unui flux extern de particule, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, conform invenției, pentru testarea subsistemului <b>1</b> de testat.	31
Conform cu o primă variantă constructivă, sistemul <b>S</b> de testare este format din două acceleratoare <b>3</b> și <b>4</b> laser-plasmă, separate, plasate în poziții diferite față de subsistemul <b>1</b> de testat, ecranat electromagnetic corespunzător, care este fixat pe suportul <b>2</b> ce se poate roti, și care generează niște fascicule <b>5</b> și <b>6</b> pulsate de particule accelerate. Fasciculele <b>5</b> și <b>6</b> pulsate de particule accelerate, pot conține particule de același tip sau de tipuri diferite, funcție de construcția acceleratoarelor laser-plasmă <b>3</b> și <b>4</b> .	33
Supportul <b>2</b> pe care este fixat subsistemul <b>1</b> de testat se poate roti astfel încât fasciculele de particule <b>5</b> și <b>6</b> pot fi aplicate sub unghiuri diferite sau asupra unor zone diferite ale subsistemului <b>1</b> de testat.	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

# RO 130134 B1

1 La intrarea fiecăruia din acceleratoarele **3** și **4** laser-plasmă, se aplică pulsuri laser  
incidente provenind de la niște lasere **7** și respectiv **8** de mare putere, diferite, astfel încât  
3 suprafața expusă fasciculelor **5** și **6** de particule de către subsistemul 1 de testat este mai  
mare decât s-ar fi folosit un singur accelerator de particule laser-plasmă.

5 Un fascicul **9** laser, generat de către laserul **7** de mare putere, este dirijat de către o  
oglină **11** către o oglindă **13** parabolică, care focalizează fasciculul **9** la intrarea accelera-  
7 torului **3** laser-plasmă.

9 Un fascicul **10** laser generat de către laserul **8** de mare putere, este dirijat de către  
o oglindă **12** către o oglindă **14** parabolică, care focalizează fasciculul **10** la intrarea  
acceleratorului **4** laser-plasmă.

11 Declanșarea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere **7** și **8** de mare putere este  
comandată de către un modul **15** care generează niște semnale **15a** și **15b** de comandă.  
13 Semnalele **15a** și **15b** pot fi decalate în timp ceea ce permite aplicarea succesivă a unor  
pachete de particule asupra subsistemului **1** de testat. În acest caz, fasciculele **5** și **6** pulsate  
15 de particule sunt aplicate unor zone diferite ale subsistemului **1** de testat.

17 Conform unui alt exemplu de realizare, cele două acceleratoare laser-plasmă sepa-  
rate, **3** și **4**, plasate în poziții diferite față de subsistemul **1** de testat, generează fasciculele  
19 **5** și **6** pulsate de particule accelerate care se pot aplica asupra aceleiași zone a subsis-  
temului **1**.

21 Sistemul **S**, conform invenției, mai conține instrumentele **27a**, **27b**, **27c**, **27d**, **27e** de  
măsură, în sine cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea  
23 caracteristicilor fasciculelor **5** și **6** de particule, anume natura, intensitatea, energia și distri-  
buția spațială a acestora.

25 Fasciculele **5** și **6** pulsate de particule pot conține, conform invenției, particule de tip  
diferit, ceea ce permite testarea efectului acțiunii simultane a mai multor tipuri de particule  
asupra subsistemului **1**. Fluxurile de particule pot fi fluxuri de electroni, ioni, protoni, neutroni  
27 și alte particule elementare și pot fi însoțite de radiații gama sau radiații X.

29 Subsistemul **1** de testat poate consta din dispozitive electrice, electronice,  
optoelectronice sau combinații ale acestora. De asemenea, subsistemul **1** de testat poate  
consta din programe specializate utilizate în industria spațială și în orice alt domeniu în care  
31 exploatarea acestora se face în condiții de radiații și fluxuri intense de particule accelerate,  
fluxuri care pot fi continue sau intermitente.

33 Într-o altă variantă constructivă, sistemul **S** de testare este format din cele două  
acceleratoare **3** și **4** laser-plasmă separate, pulsul laser incident pentru fiecare din cele doua  
35 acceleratoare **3** și **4** laser-plasmă fiind furnizat de către un singur laser **16** de putere,  
fasciculul **17** de ieșire al acestuia fiind divizat. În acest scop se utilizează un divizor **18** de  
37 fascicul.

39 Unul din fascicule **19** este dirijat cu ajutorul unor oglinzi **20**, **21** și **11** către oglinda  
parabolică **13**, care focalizează fasciculul **19** la intrarea acceleratorului **3** laser-plasmă.

41 Celălalt fascicul **22**, după ce traversează o lamă **23** de compensare, este dirijat cu  
ajutorul unor oglinzi **24**, **25**, **26** și respectiv **12** către oglinda parabolică **14**, care focalizează  
fasciculul **22** la intrarea acceleratorului **4** laser-plasmă.

43 Prin deplasarea ansamblului format din sistemul de oglinzi **24** și **25** se poate modifica  
drumul optic al pulsurilor laser incidente aplicate intrării acceleratorului **4** laser-plasmă și  
45 implicit acesta va genera fluxuri **6** de particule accelerate cu o anumită întârziere față de  
acceleratorul **3** laser-plasmă.



# RO 130134 B1

Conform procedurii de testare pentru componente, circuite și echipamente complexe în fluxuri pulsate și sincronizate de particule, care folosește sistemul **S** de testare, conform invenției, pentru determinarea efectului unui flux extern de particule și radiații, având diverse energii, asupra caracteristicilor și parametrilor de funcționare, precum și, dacă este cazul, asupra programului care controlează funcționarea acestora, într-o primă etapă, se realizează calibrarea sistemului **S**. Pentru aceasta se determină intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fluxurile **5** și **6**, pentru o intensitate dată a fasciculelor laser **9**, **10**, sau respectiv **17**, o configurație spațială dată a acestora și caracteristici date ale acceleratoarelor **3** și **4**, prin amplasarea unor instrumente **27a**, **27b**, **27c**, **27d**, **27e** de măsură în sine cunoscute. Cu instrumentele **27a**, **27b**, **27c**, **27d**, **27e** se determină intensitatea, energia și natura particulelor incidente, în diverse poziții din spațiu care fac parte din volumul ocupat ulterior de subsistemul **1** testat și pentru un anumit unghi de rotație al suportului **2**. Operația de calibrare se poate realiza prin varierea intensității fasciculelor **9**, **10**, sau respectiv **17** laser, a configurației spațiale a acestora și prin modificarea caracteristicilor acceleratoarelor **3** și **4**, astfel încât intensitatea, energia, distribuția spațială și natura particulelor conținute de către fluxurile **5** și **6** să se încadreze în valorile necesare.

În etapa a doua, se măsoară parametrii funcționali inițiali ai subsistemului **1** care face obiectul testelor privind rezistența la fluxul de particule.

După calibrare și determinarea parametrilor inițiali de funcționare pentru subsistemul **1**, în etapa a treia se îndepărtează instrumentele de măsură **27a**, **27b**, **27c**, **27d**, **27e**, în locul acestora amplasându-se subsistemul de testat **1**, ecranat electromagnetic corespunzător.

În etapa a patra, se aplică fluxurile de particule asupra subsistemului **1** de testat. Fluxurile **5** și **6** de particule aplicate au aceleași caracteristici pentru fasciculele **9**, **10**, sau respectiv **17** laser, aceiași configurație spațială pentru acestea precum și aceleași caracteristici pentru acceleratoarele **3** și **4**.

Se măsoară în etapa a cincea, dacă este cazul, parametrii funcționali inițiali ai subsistemului **1** de testat în timpul efectuării testelor și se compară cu valorile măsurate inițial.

La sfârșitul testelor, în etapa a șasea, se măsoară parametrii funcționali ai subsistemului **1** de testat și se compară cu valorile măsurate inițial.

Prin aplicarea procedurii, descris conform invenției, se pot determina valorile densității și energiei unui anumit tip de particule pentru care subsistemul **1** supus testelor, ca întreg sau numai anumite funcții ale acestuia, își păstrează caracteristici acceptabile de funcționare.

Pentru aplicarea procedurii la care face referire invenția, laserele de mare putere **7**, **8** sau **16** generează pulsuri laser cu puterea instantanee cuprinsă între 10 TW și 10 PW, cu durata de 25-50 fs și frecvența de repetiție cuprinsă între 0,1 Hz și 10 Hz. Parametrii pulsului laser incident se ajustează în funcție de condițiile care se doresc a fi simulate. De exemplu pentru a simula condițiile existente în zona din spațiu corespunzătoare centurii de radiații Van Allen se va lua în considerare, conform **T. Königstein et al, J. Plasma Physics, doi: 10.1017/S0022377812000153**, că distribuția după energie a fluxului de electroni în centurile de radiații van Allen este aproximată de relația  $N(E) = N_0 \exp(-E/k_B T)$ , care este asemănătoare cu aceea care caracterizează fluxul de electroni generat de un accelerator laser-plasmă. Parametrul  $T_{\text{eff}} = k_B T$  se numește temperatura efectivă a fasciculului. Parametrii  $N_0$  și  $T_{\text{eff}}$  depind de distanța față de Pământ și de nivelul activității solare. Acestea se calculează folosind modele teoretice cunoscute în literatură, dezvoltate pe baza datelor experimentale colectate de către sateliți. Conform **T. Königstein et al, J. Plasma Physics**,

# RO 130134 B1

1 **doi: 10.1017/S0022377812000153** temperatura efectivă a fluxului de electroni generat de  
către un accelerator laser-plasmă depinde de intensitatea  $I$  a pulsului laser incident și  
3 lungimea de undă a acestuia  $\lambda$ , fiind aproximată de relația:  $T_{\text{eff}} \propto (I\lambda^2)^\zeta$  cu  $\zeta = 1/2-1/3$ . Valorile  
fluxului de electroni în perioadele de maxim ale activității solare sunt de circa 3 ori mai mari  
5 decât cele din perioadele de minim ale activității solare. De exemplu în timpul misiunii  
Hipparcos (**M. A. C. Perryman et al., The Hipparcos Satellite Operation, SP-1200, June**  
7 **1997**), la distanța  $R = 6,6 R_p$ , unde  $R_p$  este raza Pământului, fluxul de electroni are  
următoarele valori: pentru energia electronilor  $E_e > 0,5$  MeV, fluxul mediu de electroni este  
9 de circa  $3 \times 10^{11}$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$ , pentru  $E_e > 2$  MeV, fluxul mediu de electroni este de  
circa  $3 \times 10^9$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$  iar pentru  $E_e > 4$  MeV, fluxul mediu de electroni este de  
11 circa  $7 \times 10^5$  electroni  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$ . Fluență totală a electronilor care ajung la suprafața unui  
satelit este luată în considerație ca referință pentru adaptarea și utilizarea acceleratoarelor  
13 laser-plasmă ca sursă de electroni pentru testarea componentelor și circuitelor aflate la bordul  
sateliților. Astfel, pentru un satelit care se găsește la o distanță de  $3,5 R_p$  de Pământ pe  
15 durata activității solare maxime se estimează un număr total de aproximativ  $3 \times 10^{12}$  electroni  
 $\times \text{cm}^{-2} \times \text{zi}^{-1}$  care ajung pe suprafața acestuia. Un laser cu energia pe puls de 1J, cu o  
17 focalizare convenabilă, poate asigura într-un accelerator laser-plasma un flux de electroni  
cu o temperatură  $T_{\text{eff}} = 0,35$  MeV și o sarcină totală de aproximativ 100 nC/puls ceea ce  
19 corespunde la  $6,2 \times 10^{11}$  electroni emiși la fiecare puls laser pe direcția pulsului laser cu o  
divergență totală de circa 25 de grade. Se poate ajusta suprafața de interes pe care cade  
21 acest flux doar prin depărtarea echipamentului de testat de acceleratorul laser-plasmă.

Pe baza acestor considerente, utilizând un laser cu durata de impuls de 25-30 fs,  $\lambda$   
23 = 800 nm, energia pe puls de 1J și frecvența de 10 Hz, rezultă, de exemplu, că pentru o  
suprafață de  $400 \text{ cm}^2$  (de exemplu un pătrat de  $20 \times 20 \text{ cm}$ ) trebuie un timp de 200 sec  
25 pentru a produce un flux total incident de electroni corespunzător unei zile la altitudinea de  
 $3,5 R_p$ . Se dovedește astfel că utilizarea acceleratorului plasmă-laser asigura acumularea  
27 într-un timp scurt a unei doze de iradiere globale, având avantajul major al unei distribuții  
energetice a electronilor similare cu cea din spațiul cosmic.

Un alt avantaj major al acceleratorului laser-plasma este posibilitatea de a induce într-  
un timp scurt, pe durata unui puls laser, un flux pulsat de electroni accelerați a cărui valoare  
31 instantanee depășește cu 10-13 ordine de mărime (funcție de distanța la care este plasat  
acceleratorul laser-plasmă față de obiectul testat și de distribuția energetică a pachetului de  
33 electroni) fluxul maxim de electroni din centurile de radiații Van Allen, permițând astfel tes-  
tarea echipamentelor la inducerea de defecte într-un interval de timp foarte mic determinat  
35 (0,1-10 ns) sincronizat cu pulsul laser sau chiar și producerea de defecte multiple pe astfel  
de intervale de timp foarte scurte, aspecte de interes pentru testarea programelor care  
37 controlează funcționarea circuitelor și echipamentelor supuse acțiunii unui flux extern de  
particule ce poate fi însoțit de un flux de radiație X sau gama, având diverse energii și  
39 intensități.

Ajustând intensitatea pulsurilor laser (**9**, **10** sau **17**) la valori corespunzătoare, se pot  
41 genera fluxuri de particule având intensitatea și distribuția energetică, măsurate cu  
instrumentele **27a**, **27b**, **27c**, **27d**, **27e** în sine cunoscute, similiară cu fluxurile de particule  
43 existente în spațiul cosmic.

Fasciculul laser **9**, **10** sau **17** generat de laserele **7**, **8** sau **16** de mare putere poate  
45 fi divizat prin metode optice, folosind divizoarele optice **28**, **29**, **30**, **31** obținându-se  
fasciculele **32**, **33**, **34**, **35** și **36** multiplicându-se astfel numărul de acceleratoare laser-plasmă  
47 posibile și prin urmare numărul fasciculelor de particule accelerate disponibile.

# RO 130134 B1

Fluxurile de particule pulsate generate de către sistemul **S** care face obiectul invenției, produse simultan sau cu întârzieri variable, pot avea intensități instantanee cumulate de valori foarte mari pe durate de ordinul picosecundelor, putând induce defecte multiple în sistemele sau componentele care urmează a fi testate. Datorită distribuției energetice diferite și a drumului diferit parcurs, defectele induse multiple pot fi obținute într-un interval de timp de ordinul zecilor sau sutelor de ps (dacă particulele sunt relativiste, diferențe de parcurs de ordinul a 10 cm conduc la dispersii temporale ale efectelor acestora de ordinul a 300 ps).

Se pot astfel induce mai multe defecte într-un interval de timp scurt care poate fi mai mic decât perioadele temporale specifice funcționării subsistemelor **1** supuse testelor, subsisteme care pot fi în funcțiune în momentul testării. În acest mod se pot testa programe specializate pentru corecția defectelor induse în structura fizică a subsistemului **1** de testat, în condiții de fluxuri instantanee pentru care probabilitatea de defecte simultane este mare. Se poate de asemenea testa capacitatea întregului sistem de a reveni la o bună funcționare după inducerea unor defecte multiple distribuite în anumite intervale de timp.

Așadar, utilizând sistemul și procedeul care constituie obiectul prezentei invenții se poate asigura, pe baza celor prezentate, testarea de componente, circuite și echipamente complexe în stare de funcționare sau nu, precum și a programelor specializate utilizate în industria spațială și în orice alt domeniu în care exploatarea acestora se face în condiții de radiații și fluxuri intense de particule accelerate, fluxuri care pot fi continue sau intermitente.

# RO 130134 B1

## Revendicări

1

3 1. Sistem de testare al efectului fluxurilor de particule asupra unui subsistem (1)  
5 constând din componente, circuite sau combinații ale acestora, precum și dacă este cazul,  
7 asupra programelor care controlează funcționarea acestora, subsistemul (1) fiind ecranat  
9 electromagnetic și fixat pe suportul (2) a cărui poziție și orientare este ajustabilă, sistemul  
11 de testare fiind format din cel puțin două acceleratoare laser-plasmă (3) și (4), separate și  
13 care generează două fascicule pulsate de particule (5) și (6), generate și accelerate prin  
15 aplicarea la intrarea fiecăruia din cele două acceleratoare (3) și (4) de pulsuri laser incidente  
17 provenind de la două lasere diferite (7) și respectiv (8) de mare putere, un fascicul (9) laser  
19 generat de către laserul (7) de mare putere fiind dirijat de către o oglindă (11) către o oglindă  
21 (13) parabolică, care focalizează fasciculul (9) la intrarea acceleratorului (3) și un alt fascicul  
23 (10) laser, generat de către laserul (8) de mare putere fiind dirijat de către o oglindă (12)  
25 către o oglindă (14) parabolică, care focalizează fasciculul (10) la intrarea acceleratorului (4),  
și de asemenea conținând instrumentele (27a, 27b, 27c, 27d, 27e) de măsură, în sine  
cunoscute cu ajutorul cărora se realizează calibrarea prin determinarea intensității, energiei,  
distribuției spațiale și naturii particulelor care compun fasciculele (5) și (6) de particule,  
caracterizat prin aceea că are ca parte componentă un modul (15) care comandă declanșa-  
rea pulsurilor de ieșire pentru cele două lasere (7) și (8) de mare putere prin intermediul  
semnalelor (15a) și (15b) astfel ca pachetele de particule conținute în fasciculele (5) și (6)  
să fie generate simultan sau decalate în timp, intervalul de timp dintre acestea fiind ajustat  
de către utilizator, înainte sau în cursul operației de testare.

23 2. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, acceleratoarele (3)  
și (4) sunt realizate astfel că fasciculele (5) și (6) să conțină particule de aceeași natură sau  
25 de natură diferită, natura acestora fiind selectată în prealabil de către utilizator.

27 3. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, poziția și orientarea  
oglinzilor (11), (12), (13) și (14) este reglabilă astfel că fasciculele (5) și (6) sunt aplicate  
29 asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite a suprafeței pe care este amplasat  
subsistemului (1) de testat, zona de aplicare a fiecărui fascicul fiind selectată în prealabil de  
către utilizator.

31 4. Procedeu de testare al efectului fluxurilor de particule asupra unui subsistem (1)  
constând din componente, circuite sau combinații ale acestora, precum și dacă este cazul,  
33 asupra programelor care controlează funcționarea acestora, subsistemul (1) fiind ecranat  
electromagnetic și fixat pe suportul (2) a cărui poziție și orientare este ajustabilă, iar sistemul  
35 de testare este realizat conform revendicărilor 1 sau 4, **caracterizat prin aceea că**, cele cel  
puțin două fascicule (5) și (6) de particule accelerate se aplică asupra subsistemului (1)  
37 supus testelor.

39 5. Procedeu de testare conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că**,  
fasciculele (5) și (6) conțin particule de aceeași natură sau de natură diferită.

41 6. Procedeu de testare conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că**,  
fasciculele (5) și (6) sunt aplicate asupra aceleiași zone sau asupra unor zone diferite a  
suprafeței pe care este amplasat subsistemul (1) de testat.

43 7. Procedeu de testare conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că**, pachetele  
de particule din compunerea fasciculelor pulsate (5) și (6) sunt aplicate simultan sau  
45 decalate în timp.

(51) Int.Cl.

**G01R 31/305** (2006.01);

**B01J 19/08** (2006.01);

**B01J 19/12** (2006.01);

**H01S 3/00** (2006.01)

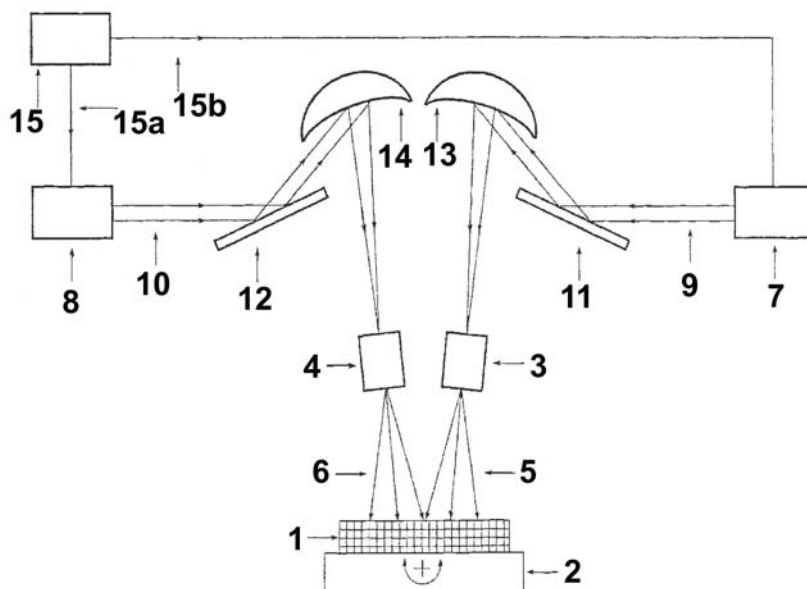


Fig. 1

(51) Int.Cl.

**G01R 31/305** (2006.01);  
**B01J 19/08** (2006.01);  
**B01J 19/12** (2006.01);  
**H01S 3/00** (2006.01)

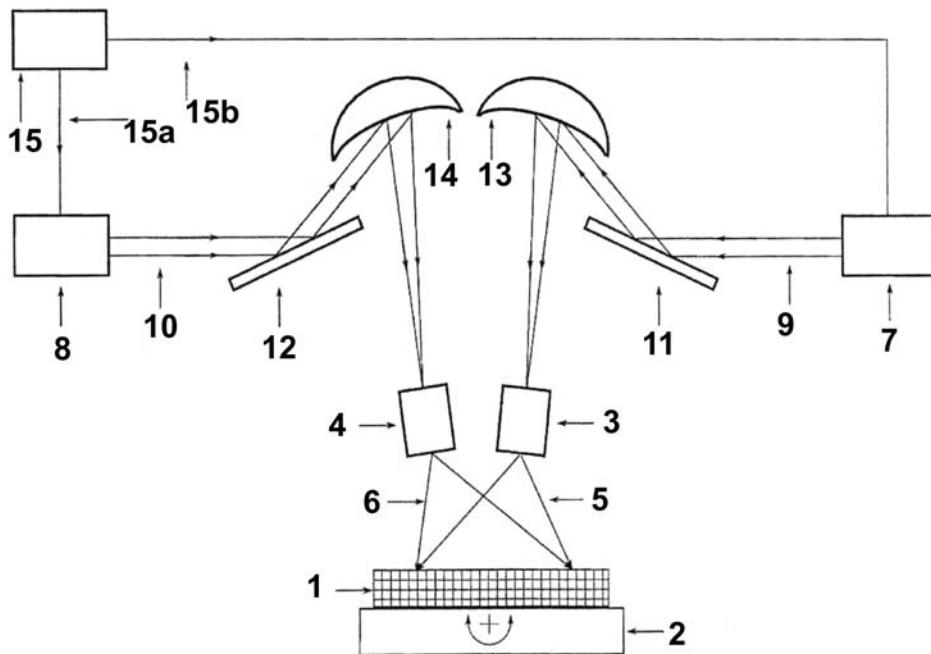


Fig. 2

(51) Int.Cl.

**G01R 31/305** (2006.01);

**B01J 19/08** (2006.01);

**B01J 19/12** (2006.01);

**H01S 3/00** (2006.01)

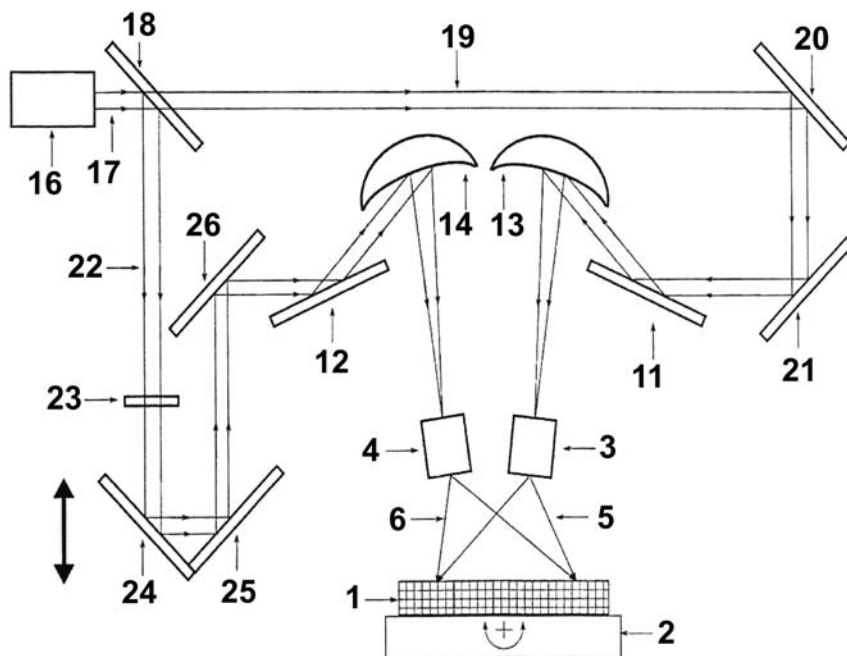


Fig. 3

(51) Int.Cl.

**G01R 31/305** (2006.01);  
**B01J 19/08** (2006.01);  
**B01J 19/12** (2006.01);  
**H01S 3/00** (2006.01)

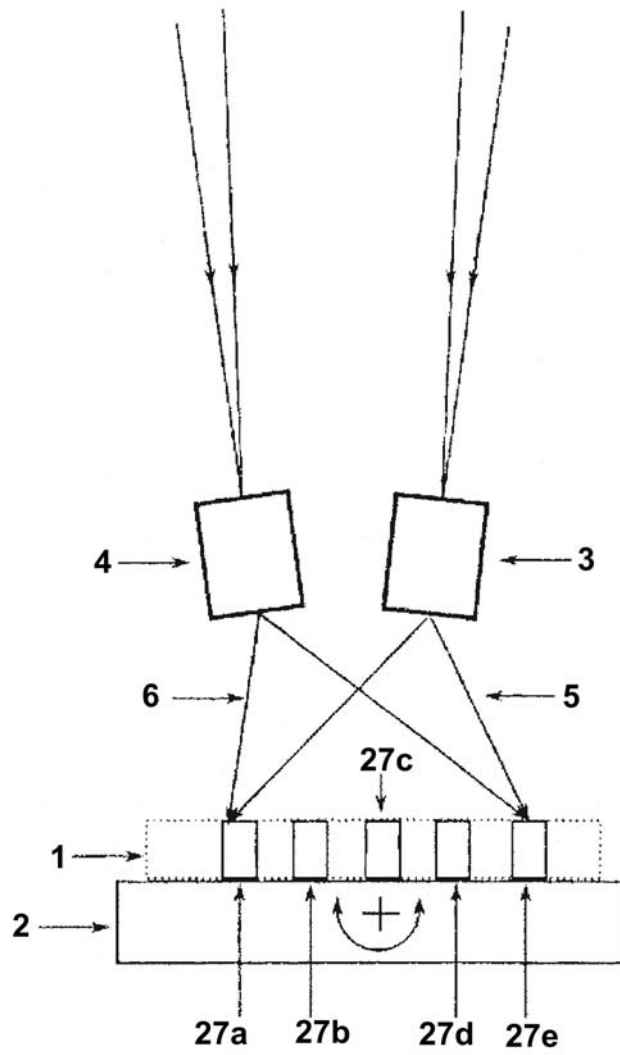


Fig. 4



(51) Int.Cl.

**G01R 31/305** (2006.01);

**B01J 19/08** (2006.01);

**B01J 19/12** (2006.01);

**H01S 3/00** (2006.01)

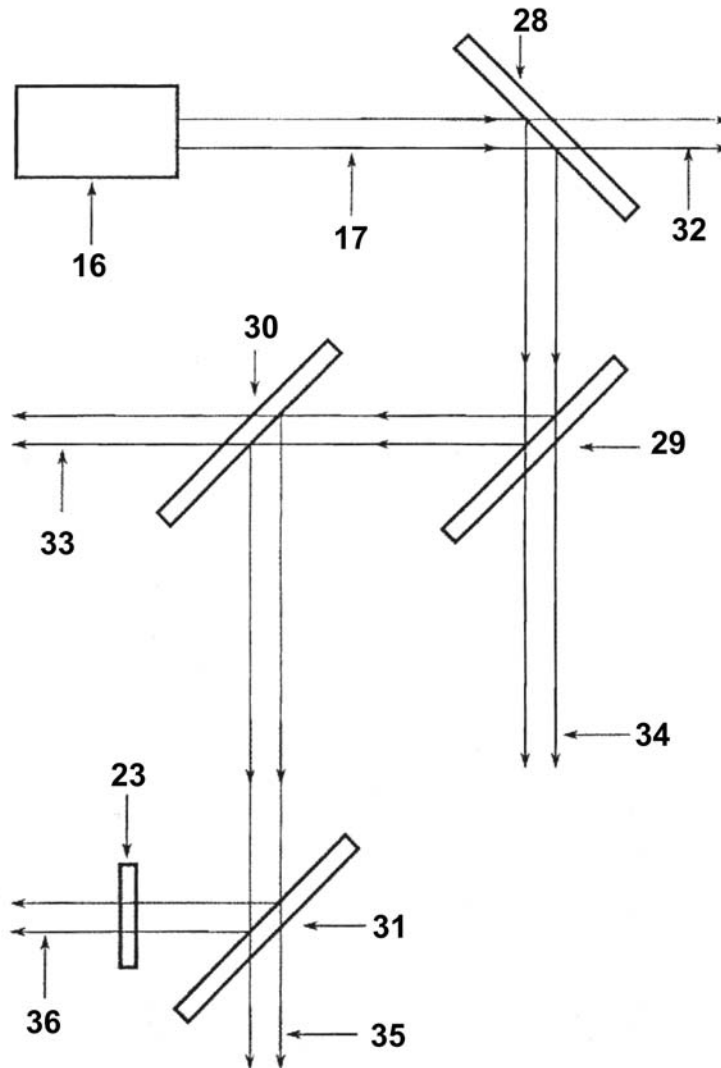


Fig. 5

