

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2016 00918

(22) Data de depozit: 28/11/2016

(41) Data publicării cererii:  
30/05/2018 BOPI nr. 5/2018

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL PENTRU FIZICA  
LASERILOR, PLASMEI ȘI RADIAȚIEI -  
INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR NR. 409,  
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

(54) SISTEM CU DUZA GAZ MULTI-JET PENTRU GENERARE  
DE ARMONICI ALE RADIAȚIEI LASER

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem cu duză de gaz multijet pentru experimente cu radiație laser, în scopul generării de armonici ale radiației laser, în cazul fasciculelor laser de bandă largă, care folosește jeturi multiple de gaz, cu distanțe submilimetrice între jeturi, permițând în acest fel controlul perioadei modulației distribuției densității în gaz. Sistemul conform invenției este alcătuit dintr-un sistem de poziționare cu până la șase grade de libertate, pentru a varia fin poziția relativă a unei duze de injecție a unui gaz în raport cu un fascicul laser, de-a lungul celor două axe ale spațiului, x și y, perpendiculare pe direcția de propagare, z, a fasciculului, și permițând rotirea duzei în jurul unor axe paralele cu x și y, duza având practicate niște fante dispuse sub unghiuri variabile cu direcția de propagare, z, a fasciculului laser.

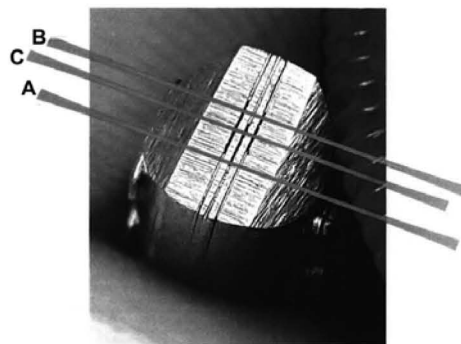
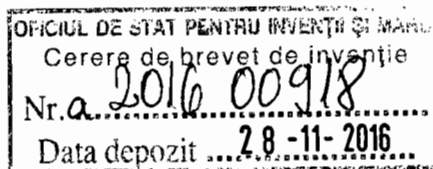


Fig. 3

Revendicări: 5  
Figuri: 3





(1)

### SISTEM CU DUZA GAZ MULTI-JET PENTRU EXPERIMENTE CU RADIATIE LASER

(2)

Invenția se refera la un sistem repositionabil in vid cu duza gaz pentru generare de armonici ale radiatiei laser in cazul fasciculelor laser de banda larga, cum ar fi pulsurile ultra scurte, care folosește jeturi multiple de gaz cu distante submilimetrice intre jet-uri, permitand in acest fel controlul perioadei modulatiei distributiei de densitate in gaz.

(3)

Experimentele cu pulsuri laser ultra scurte si ultra intense necesita in anumite cazuri interactia cu jeturi de gaz. De exemplu, pentru generarea de armonici ale radiatiei laser de ordin mare, pulsul laser ultrascort, cu durate de puls mai scurte de cateva picosecunde, este trimis intr-un jet sau mai multe jeturi de gaz, sau in celule continand gaz, amplasate in vid, pentru a genera emisie coerenta la o anumita lungime de unda multiplu intreg al lungimii de unda a laserului utilizat sau pentru a genera pulsuri de radiatie coerente, cu durate de ordinul attosecundei [Kung, A. H., *Method and apparatus for generation of coherent VUV and XUV radiation*, US patent US 4577122 A, **1983**; Brabec, T. & Krausz, F., *Intense few-cycle laser fields: Frontiers of nonlinear optics*, in *Reviews of Modern Physics*, **2000**, 72, 545-591; Zenghu Chang, Bing Shan, *Producing energetic, tunable, coherent X-rays with long wavelength light* US patent 20020172235 A1 **2002**; Heinrich, H. *Converting fundamental wavelength laser pulses into high harmonic wave pulses involves superimposing shorter wavelength laser pulses in non-linear medium; relative pulse time positions can be adjusted*, patent DE 10252889 A1 **2002**; Marcos Dantus, Don Ahmasi Harris, Vadim V. Lozovoy, *Laser system employing harmonic generation* US 8208505 B2, **2009**]. Aceste pulsuri de armonice au fotoni cu energii ce pot avea de la cativa eV pana la nivelul de 10keV si sunt utile in diferite aplicatii cum ar fi cele privind studiul materialelor. De cele mai multe ori proprietatile surselor de armonici trebuie variate in timpul experimentelor sau intre experimente pentru a schimba lungimea de unda a armonicelor generate, compozitia spectrala a radiatiei obtinute, durata pulsului sau numarul de fotoni.

Pentru a obtine efectele dorite, presiunea gazului in spatele duzei este variata de la cativa bari pana la zeci sau chiar sute de bari. Duza livreaza gazul util (de exemplu Ar, Ne sau alte gaze inerte chimic) in care se produce efectul neliniar de conversie in armonici de ordin superior intr-o incinta vidata, cu presiunea gazului rezidual mai mica de 0.01mbar, pentru a evita efectele de filamentare, strapungere de plasma (breakdown) sau autofocalizare a laserului

incident pe gazul trimis prin duza. Se obtin astfel presiuni de gaz util de ordinul a mbar sau zeci de mbar, adecvate pentru conversia armonicelor. In mod curent in astfel de experimente se folosesc celule cu gaz sau o duza cu un singur orificiu. In acest caz controlul profilului de densitate este limitat. El se face prin varierea presiunii gazului in spatele duzei si prin varierea unora dintre parametrii laserului, in principal intensitatea pulsurilor si durata acestora. Lungimea zonei de gaz util traversata de laser este cuprinsa intre cativa micrometri si cativa centimetri. Specificul procesului de conversie in armonici de ordin superior este ca acesta e eficient daca lungimea gazului util este un multiplu intreg al unei lungimi de potrivire de faza. In caz contrar, intensitatea armonicelor scade semnificativ. In consecinta, pentru o eficienta ridicata a procesului de generare de armonici este necesar un gaz util cu o modulatie periodica a densitatii, perioada modulatiei fiind determinata de lungimea de potrivire de faza.

O metoda recomandata prin calcule teoretice pentru a obtine un profil de densitate modulata adecvat este acela de a folosi o sursa multijet pentru a beneficia de fenomenul de adecvare periodica de faza (periodic phase matching) [Tosa, V.; Yakovlev, V. S. & Krausz, F. Generation of tunable isolated attosecond pulses in multi-jet systems *New Journal of Physics*, 2008, 10, 025016] similar cu cazul cristalelor de tip cu reorientare periodica (periodically poled crystals). Este astfel necesar un sistem de distributie a gazului care sa ofere flexibilitate in controlul proprietatilor gazului cum ar fi surse de gaz pulsate multijet, cu profil de densitate variabil in spatiu. Acestea trebuie sa permita controlul perioadei modulatiei distributiei densitatii, de-a lungul axei de propagare a fasciculului laser ce genereaza armonicile laser.

Este cunoscuta metoda si sistemul de a folosi o sursa multijet cu un singur gaz [P.W. Wachulak, A. Bartnik, R. Jarocki and H. Fiedorowicz, Characterization of multi-jet gas puff targets for high-order harmonic generation using EUV shadowgraphy, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B* 2012] cu duza care are mai multe gauri circulare plasate coliniar de-a lungul axei de propagare a fasciculului laser.

Dezavantajul acestei metode este ca distanta intre gauri nu este ajustabila si in consecinta nu permite un control extins al perioadei modulatiei distributiei de densitate de gaz. Singurul control posibil este prin varierea presiunii gazului util la intrarea in duza sau prin schimbarea duzei. Schimbarea duzei presupune insa scoaterea de sub vid a duzei si decuplarea ei de la sistemul de distributie de gaz util, avand impact asupra vitezei de optimizare a sursei de armonici si facand dificila optimizarea ei.

Este, de asemenea, cunoscuta abordarea prin care o sursa multijet cu doua gaze este utilizata pentru generarea de armonici de ordin superior [Willner,

A.; Tavella, F.; Yeung, M.; Dzelzainis, T.; Kamperidis, C.; Bakarezos, M.; Adams, D.; Schulz, M.; Riedel, R.; Hoffmann, M. C.; Hu, W.; Rossbach, J.; Drescher, M.; Papadogiannis, N. A.; Tatarakis, M.; Dromey, B. & Zepf, M. Coherent Control of High Harmonic Generation via Dual-Gas Multijet Arrays Physical Review Letters, 2011, 107, 175002]. In aceasta abordare, controlul asupra distributiei densitatii gazului se realizeaza prin controlul presiunii celor doua gaze implicate in proces.

Dezavantajul acestei abordări este ca nu permite ajustarea distantei dintre duze si, in consecinta, nu permite controlul perioadei modulatiei distributiei densitatii, de-a lungul axei de propagare a fasciculului laser ce genereaza armonicile laser. Schimbarea distantei intre duze presupune insa scoaterea de sub vid a duzelor, avand impact asupra vitezei de optimizare a sursei de armonici si facand dificila optimizarea ei. Mai mult, sistemul cu duze multiple controlabile independent este foarte complex si are un cost de productie relativ ridicat.

Abordarile mentionate mai sus prezinta si dezavantajul ca au o axa de simetrie care se suprapune cu axa de propagare pentru fasciculul laser incident utilizat, nepermitand astfel varierea profilului de densitate de gaz prin varierea distantelor intre perforatiile duzelor, de-a lungul axei de propagare a laserului incident, in timpul producerii de armonici. In acest fel, optimizarea procesului de producere de armonici in gaz este impiedicata.

(4)

Problema tehnica, pe care o rezolva inventia, consta in realizarea unui sistem mobil de distributie de gaz util in vid, care permite generarea de armonici laser de ordin mare in gaz si care permite ajustarea fina a perioadei modulatiei distributiei de densitate a gazului util prin modificarea pozitiei relative a duzei de injectie a gazului util in vid fata de fasciculul laser si prin utilizarea unui numar de fante alungite, precis controlate ca pozitie pe aceasta duza, facand posibila optimizarea emisiei de armonici fara a scoate de sub vid sistemele cu duze.

(5)

Sistemul cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, conform inventiei, elimina dezavantajele de mai sus prin aceea ca:

- sistemul cu duza poate fi repositionat in vid din exterior, cu miscari fine de rotatie si translatie de precizie in domeniul micrometrilor, fara intreruperea vidului, pentru fiecare repositionare producand o distributie diferita a densitatii gazului.

- duza are un set de fante alungite, orientate la unghiuri mici relativ la directia de propagare a laserului incident, producand astfel un multi-jet de gaz

corespunzand unei modulatii periodice a densitatii gazului masurata de-a lungul fasciculului laser.

- prin repositionarea sau reorientarea fantelor de pe duza cu ajutorul sistemului de pozitionare in vid se poate obtine o variatie a distantelor intre perforatiile duzelor, masurata de-a lungul axei de propagare a laserului incident, in timpul producerii de armonici. In acest fel, optimizarea procesului de producere de armonici in gaz este mult mai simpla si nu necesita intreruperea vidului.

- pot fi obtinute distributii de densitate de gaz cu perioada variabila dar si ajustabila in acelasi timp, fara intreruperea vidului, facilitand astfel optimizarea rapida a sursei de armonici.

(6)

Sistemul cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, conform inventiei, prezinta urmatoarele avantaje:

- asigura ajustarea fina a distantei dintre jeturile generate de duza, masurate de-a lungul axei de propagare a fasciculului, prin pozitionarea cu sisteme de rotatie si translatie cu precizie de ordinul micronilor.
- asigura reglarea perioadei modulatiei de densitate in vid prin rotirea solidară a întreg sistemului de oglinzi in jurul axei normale la de directia de propagare a fasciculului incident si la planul ce contine fantele.
- asigura varierea densitatii de gaz pentru fiecare modulatie de densitate in vid prin rotirea solidară a întreg sistemului de oglinzi in jurul axei normale la de directia de propagare a fasciculului incident si paralela cu planul ce contine fantele.
- Asigura versatilitate in utilizarea cu diferite alte scopuri ce implica un fascicul laser ce se propaga printr-un gaz cu densitate modulata prin posibilitatea inlocuirii capului duzei multi-jet cu un alt cap de duza cu fante configurate cu alti parametri, apropiati de necesitatile experimentului cu laser.
- asigura costuri de mentenanta mici, in cazul distrugerii duzei, prin schimbarea usoara a capului duzei, fara a fi necesara modificarea sistemului de pozitionare in vid a duzei.

- asigura timpi scurți de optimizare a sursei de generare de armonici, prin faptul ca nu este nevoie de intreruperea vidului.
- asigura un cost redus in comparatie cu sistemele multi-duza ca cel utilizate in [Willner, A.; Tavella, F.; Yeung, M.; Dzelzainis, T.; Kamperidis, C.; Bakarezos, M.; Adams, D.; Schulz, M.; Riedel, R.; Hoffmann, M. C.; Hu, W.; Rossbach, J.; Drescher, M.; Papadogiannis, N. A.; Tatarakis, M.; Dromey, B. & Zepf, M. Coherent Control of High Harmonic Generation via Dual-Gas Multijet Arrays Physical Review Letters, 2011, 107, 175002]

(7)

Se da, in continuare, un exemplu de realizare a invenției, in legătura cu fig. 1..3, care reprezintă:

- fig. 1, o structura de fante multiple pe suprafata plana a unei duze, vedere de sus, cu fasciculul laser reprezentat intr-o pozitie de utilizare
- fig. 2, o distributie de gaz de fante multiple, vedere din lateral (planul yz), cu fasciculul laser reprezentat intr-o pozitie de utilizare
- fig. 3, un exemplu particular al tiparului de fante pentru sistemul cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, avand trei fante excentrice paralele

(8)

Sistemul cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, conform invenției, este alcătuit dintr-un sistem de pozitionare cu pana la sase de grade de libertate pentru a varia fin pozitia relativa a duzei in raport cu fasciculul laser de-a lungul celor doua axe ale spatiului, x si y perpendiculare pe directia de propagare a fascicului z, si permitand rotirea duzei in jurul unor axe paralele cu x si y.

Conformatia fantelor prin care se elibereaza gazul este ilustrata, ca exemplu, in figura 1. Niste fante (1) nu sunt paralele in acest caz ci fac unghiuri variabile cu directia de propagare (z) a unui fascicul laser (2). Capetele fantelor pot fi aliniate echidistant de-a lungul unor linii paralele cu axa z avand distanta intre fante mai mica pe o parte si mai mare pe cealalta parte. In aceasta exemplificare, fantele

sunt considerate cu largime constanta si egala, astfel ca densitatea gazului vazuta din lateral, proiectata in planul (yz) arata ca in figura 2.

La trecerea pulsului laser prin multi-jetul de gaz, laserul strabate, de-a lungul axei de propagare, o densitate de gaz modulata periodic avand o perioada ( $P_0$ ). Prin translatia duzei de-a lungul axei x, laserul va strabate o alta regiune de gaz deasupra duzei, aceasta avand drept consecinta ca laserul intalneste o distributie de gaz cu o alta perioada a modulatiei densitatii de gaz ( $P_1$ ), datorita configuratiei geometrice specifice a fantelor.

Prin rotirea duzei in jurul axelor x si respectiv y se poate creste sau micsora lungimea zonelor cu gaz corespunzand uneia dintre fante si, respectiv, distanta intre doua fante de-a lungul axei de propagare a laserului.

Prin translatarea de-a lungul axei y a duzei se poate varia densitatea gazului corespunzand zonelor strabatute de fasciculul laser.

Prin translatarea de-a lungul axei z a duzei, se poate varia pozitia taliei fasciculului laser, importanta si ea in optimizarea generarii de armonici laser.

Un exemplu particular al tiparului de fante pentru sistemul cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, conform inventiei, este ilustrat in figura 3. Prin pozitionarea excentrica a trei fante paralele se pot obtine, pentru un fascicul laser, regiuni de jet de gaz simplu (A) sau regiuni cu dublu jet de gaz (B) sau regiuni cu triplu jet de gaz (C). Prin translatarea sau rotatia duzei se pot modifica perioada modulatiei densitatii de gaz si densitatea de gaz strabatuta de laser. Duza este detasabila.

## REVENDICARI

1. Sistem cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser, **caracterizat prin aceea ca** pentru a asigura generarea *eficienta* de armonici prin propagarea unui fascicul laser intr-un gaz cu densitatea modulata aproape periodic, folosește una sau mai multe duze cu fante alungite multiple, cu pozitionari ale fantelor dupa tipare variate.
2. Sistem cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea ca** asigura ajustarea fina a modulatiei distributiei de densitate prin repositionarea relativa a duzei fata de fasciculul laser, permitand in acest fel si *modificarea proprietatilor specifice ale armonicelor laser* generate in acea distributie de gaz.
3. Sistem cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea ca** duza este amplasata intr-o incinta vidata.
4. Sistem cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea ca** tiparul corespunzator pozitionarii fantelor are proprietatea ca fantele nu sunt paralele ci fac unghiuri variabile cu directia de propagare a fasciculului laser. Capetele fantelor sunt aliniat echidistant de-a lungul unor linii paralele cu axa de propagare a fasciculului laser, avand distanta intre fante mai mica pe o parte si mai mare pe cealalta parte.
- 5 Sistem cu duza gaz multi-jet pentru experimente cu radiatie laser conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea ca** la duza poate fi inlocuita partea cu fante, permitand astfel schimbarea tiparului corespunzator pozitionarii fantelor.



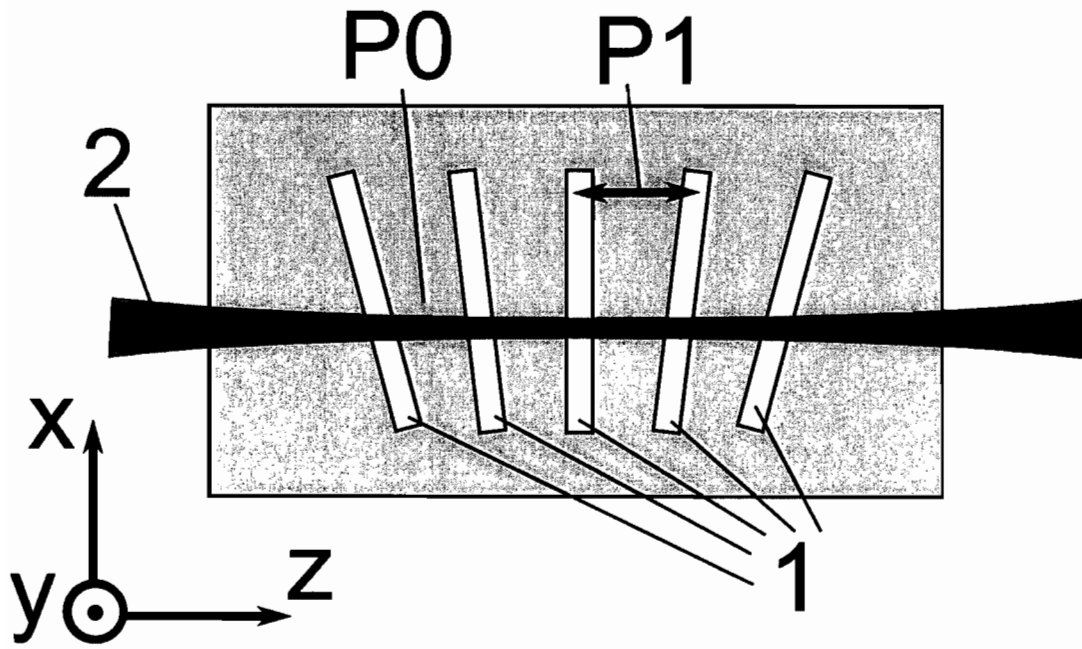


Figura 1

25

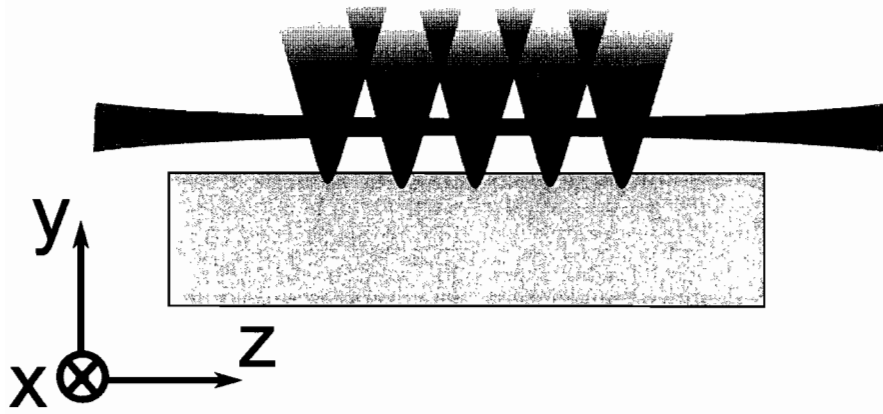


Figura 2

*[Handwritten signature]*

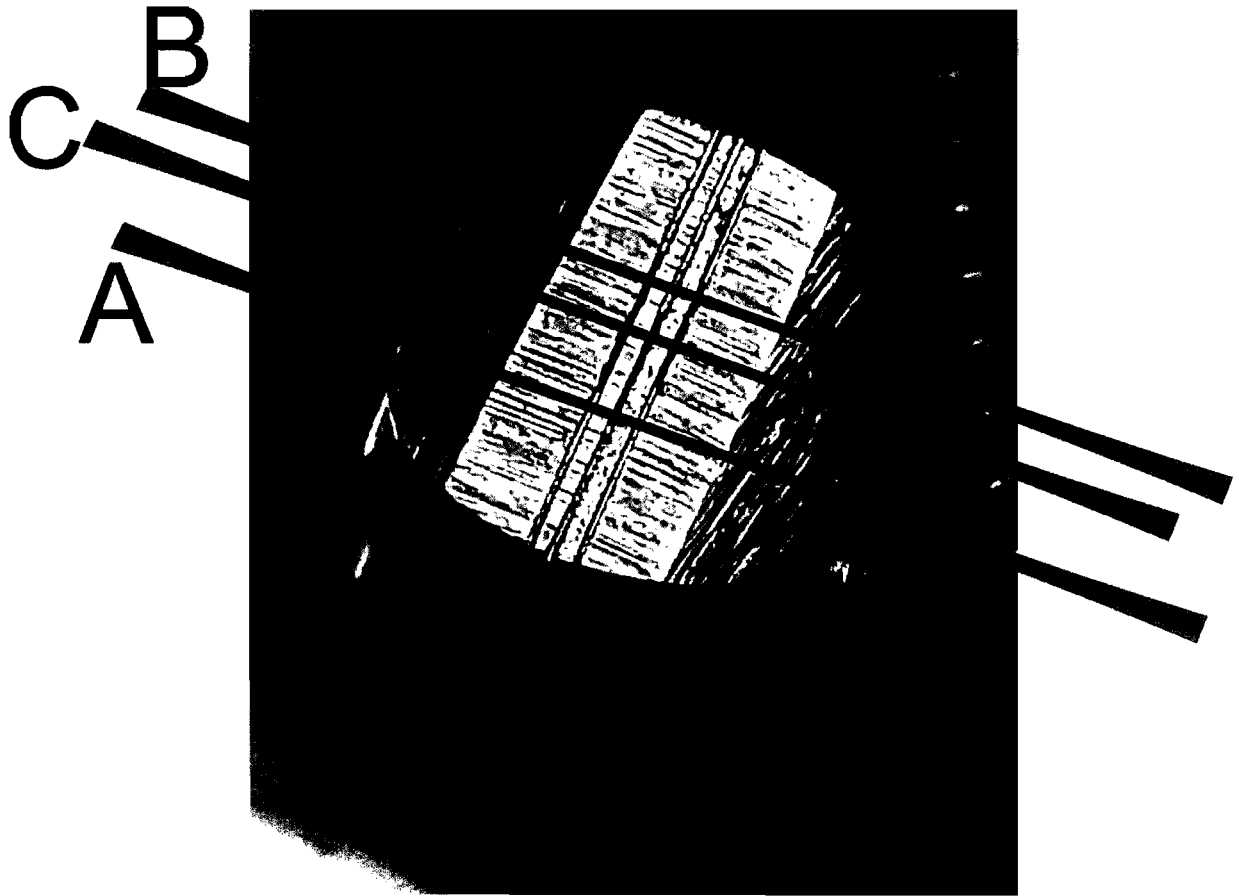


Figura 3