

(19)



(10) **LT 5497 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5497**

(51) Int. Cl. (2006): **G02B 5/18**

(21) Paraiškos numeris: **2006 072**

(22) Paraiškos padavimo data: **2006 08 25**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2008 02 25**

(45) Patent paskelbimo data: **2008 05 26**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

**Kęstutis REGELSKIS, LT**  
**Gediminas RAČIUKAITIS, LT**

(73) Patent savininkas:

**FIZIKOS INSTITUTAS, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

**Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

**Gardelės formavimo būdas ir įrenginys**

(57) Referatas:

Išradimas priklauso lazerių technologijų sričiai ir yra skirtas tiesioginiam struktūrų plonuose metalo sluoksniuose formavimo būdams ir įrenginiams, ypač ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo, kai į metalo sluoksnį nukreipia ir fokusuoja impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi. Nauja yra tai, kad impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje fokusuoja į pailgą dėmę, kur dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos dėmės ribose formuojasi periodinė gardelė, kurios linijų norimą ilgį formuoja, perkeliant fokusuojamą dėmę metalo sluoksnyje gardelės linijų kryptimi taip, kad kiekviena toliau perkelta fokusavimo dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusią gretimą dėmę, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

Išradimas priklauso lazerių technologijų sričiai ir yra skirtas tiesioginiams struktūrų plonuose metalo sluoksniuose formavimo būdams ir įrenginiams ir gali būti panaudotas gaminti periodines gardeles, skirtas spektriniais, matavimo ir kitiems optiniams prietaisams bei ekranavimui.

Yra žinomas fotolitografinis gardelių formavimo būdas, kai metalo sluoksnio paviršius padengiamas fotorezistu ir per kaukę apšviečiamas, kur apšviestose vietose fotorezistas modifikuojamas ir nuplaunamas, o likusios fotorezistu neuždengtos metalo vietos chemiškai nuėsdinamos (žiūrėti išradimo aprašymą pagal tarptautinę paraišką WO 9411781).

Žinomo būdo trūkumas yra tas, kad dėl kaukės bei cheminio ėsdinimo naudojimo gardelių formavimo procesas yra lėtas, sudėtingas ir brangus.

Yra žinomas periodinių gardelių formavimo ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo būdas, kai impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą dalija į du pluoštus, kuriuos fokusuoja į vieną dėmę metalo sluoksnyje, gaunant jame interferencinį vaizdą, kur interferencinio vaizdo intensyvumo maksimumuose metalas išlydomas ir išgarinamas, gaunant periodinę gardelę, atitinkančią interferencinio vaizdo intensyvumo minimumų išsidėstymui (žiūrėti Kinijos išradimo aprašymą pagal patentą No. CN1603888).

Yra žinomas periodinių gardelių formavimo ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo įrenginys, apimantis impulsinį lazerį, lazerio spinduliuotės pluošto daliklį į du pluoštus bei fokusavimo sistemą, sufokusuojančią padalintus lazerio spinduliuotės pluoštus į vieną dėmę metalo sluoksnyje, gaunant jame interferencinį vaizdą, kur interferencinio vaizdo intensyvumo maksimumuose metalas

išlydomas ir išgarinamas, gaunant periodinę gardelę, atitinkančią interferencinio vaizdo intensyvumo minimumų išsidėstymui (žiūrėti Kinijos išradimo aprašymą pagal patentą No. CN1603888).

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra tai, kad formuojamos gardelės matmenis apsprendžia gauto interferencinio vaizdo metalo sluoksnyje plotas, kuris priklauso nuo lazerio spinduliuotės pluošto skersinių matmenų ir lazerio impulso energijos taip, kad energijos tankis turi viršyti slenkstinę vertę, reikalingą metalo nugarinimui.

Yra žinomas gardelių formavimo ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo būdas, apimantis impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto nukreipimą per minėtą skaidrą pagrindą ir jo fokusavimą minėtame metalo sluoksnyje, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi ir garinimą, bei fokusavimo vietos keitimą pagal norimą gardelės formos šabloną, suformuojant gardelę iš nuosekliai išdėstytų išgarinto metalo taškų (žiūrėti straipsnį K. Venkatakrishnan, P. Stanley, B.K.A. Ngoi, B. Tan and L.E.N. Lim, "Femtosecond Pulsed Laser Direct Writing System", *Optical Engineering*, **41**, 6, pp. 1441-1445, 2002.).

Yra žinomas gardelių formavimo ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo įrenginys, apimantis impulsinį lazerį, fokusavimo sistemą, kuri fokusuoja impulsinio lazerio spinduliotės pluoštą į minėtą ploną metalo sluoksnį per minėtą skaidrą pagrindą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi ir garinimą, bei fokusavimo vietos metalo sluoksnyje perkėlimo pagal formuojamos gardelės formos šabloną priemonę, suformuojant gardelę iš nuosekliai išdėstytų išgarinto metalo taškų (žiūrėti straipsnį K. Venkatakrishnan, P. Stanley, B.K.A. Ngoi, B. Tan and L.E.N. Lim, "Femtosecond Pulsed Laser Direct Writing System", *Optical Engineering*, **41**, 6, pp. 1441-1445, 2002.).

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra tai, kad gardelės formavimo procesas yra lėtas, nes gardelę formuoja nuosekliai po vieną tašką bei negalima vienu metu formuoti periodinės gardelės su neriboto ilgio linijomis, be to reikalingas tikslus, dviejų koordinatų įrenginys fokusavimo vietos metalo sluoksnyje perkėlimui.

Išradimu siekiama sukurti greitesnį bei mažesnės savikainos gardelės formavimo būdą ir įrenginį, leidžiantį vienu metu formuoti didelio kontrasto neriboto ilgio periodinę gardelę jos linijų kryptimi.

Uždavinio sprendimo esmė yra ta, kad gardelės formavimo būde, ypač ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo, apimančiame impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto nukreipimą bei fokusavimą minėtame metalo sluoksnyje tiesiogiai arba per skaidrų pagrindą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi, bei fokusavimo vietos perkėlimą, kad suformuotų norimą gardelę, impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje fokusuoja į pailgą dėmę, kur dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos dėmės ribose formuojasi periodinė gardelė, kurios linijų norimą ilgį formuoja, perkeliant fokusuojamą dėmę metalo sluoksnyje gardelės linijų kryptimi taip, kad kiekviena toliau perkelta fokusavimo dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusia gretima dėme, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

Siūlomo būdo privalumas yra tas, kad dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos pailgoje dėmėje, į kurią yra sufokusuotas lazerio spinduliuotės pluoštas, vienu metu formuojasi periodinė gardelė, kurios linijų ilgis yra neribotas bei gaunamas perkeliant fokusavimo dėmę linijų kryptimi (realiai ribojimas tik perkėlimui naudojamos mechaninės pavaros eiga). Pasiūlytas gardelės formavimas, kai vienu metu formuojama periodinė gardelė, susidedanti iš norimo skaičiaus linijų (linijų skaičius priklausomai nuo lazerio spinduliuotės pluošto pailgos dėmės išilginio matmens), žymiai sutrumpina formavimo procesą bei nereikalauja sudėtingos ir labai tikslios įrangos būdai realizuoti.

Be to, formuojama gardelė turi didelį kontrastą, nes metalas tarpuose visiškai išgarinamas ir tarpai yra skaidrūs.

Pailga dėmė, į kurią fokusuojamas impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštas metalo sluoksnyje, yra juostos formos.

Formuojamos gardelės periodą keičia, keičiant impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto energijos tankį.

Skaidrus pagrindas, ant kurio yra padengtas plonas metalo sluoksnis, yra stiklas.

Metalo sluoksnis, kuriuo padengtas skaidrus pagrindas, yra chromas.

Gardelės sudarymo metu lazerio spinduliuotės pluošto energijos tankis viršija chromo sluoksnio abliacijos slenkstį apie 15 %.

Formuojant gardelės linijų ilgį kiekviena toliau perkelta metalo sluoksnyje fokusuojama dėmė persidengia su prieš ją buvusia gretima dėme pagal plotą maždaug ribose nuo 70 iki 95%, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų ilgio nenutrūkstamą tęstinumą.

Gardelės formavimo įrenginyje, ypač ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo, apimančiame impulsinį lazerį, fokusavimo sistemą, kuri fokusuoja impulsinio lazerio spinduliuotę minėtame ploname metalo sluoksnyje tiesiogiai arba per minėtą skaidrų pagrindą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi, bei fokusavimo vietos metalo sluoksnyje perkėlimo priemonę, kad suformuotų norimą gardelę, fokusavimo sistema minėtą lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje fokusuoja į pailgą dėmę, kur dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos dėmės ribose formuojasi periodinė gardelė, o fokusavimo vietos perkėlimo priemonė yra sukonstruota taip, kad fokusuojamą pailgą dėmę perkeltų formuojamos periodinės gardelės linijų kryptimi tokiu atstumu, kad kiekviena toliau perkelta fokusuojama dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusia gretima dėme, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

Fokusavimo vietos perkėlimo priemonė yra skaidrų pagrindą arba lazerį palaikanti priemonė, turinti žingsninę pavarą, kuri, pauzės tarp lazerio impulsų metu, santykinai perslenka pagrindą arba lazerį vienas kito atžvilgiu taip, kad fokusuojama dėmė metalo

sluoksnyje persikeltų gardelės linijų kryptimi numatytu atstumu, užtikrinančiu jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

Metalo sluoksnis, kuriame fokusuojamas lazerio spinduliuotės pluoštas yra chromas, o skaidrus pagrindas – stiklas.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig. 1 – pasiūlyto gardelės formavimo įrenginio optinė schema.

Fig. 2 – metalo paviršiuje sufokusuoto į juostą lazerio spinduliuotės pluošto erdvinis intensyvumo skirstinys ir jo profiliai  $x$  ir  $y$  kryptimis.

Fig. 3 – metalo paviršiuje sufokusuoto į elipsės formos dėmę lazerio spinduliuotės pluošto erdvinis intensyvumo skirstinys ir jo profiliai  $x$  ir  $y$  kryptimis.

Fig. 4 – dalinai persiklojančių dėmių metalo sluoksnyje, gaunamų perstumiant pagrindą, vaizdas.

Fig. 5 – pasiūlytu būdu  $4\ \mu\text{m}$  periodu suformuotos gardelės  $100\ \text{nm}$  storio chromo sluoksnyje ant stiklo padėklo vaizdas.

Fig. 6 – Gardelės, suformuotos ploname chromo sluoksnyje ant stiklo padėklo, krašto vaizdas.

Siūlomas gardelės formavimo būdas apima šią operacijų seką. Impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą sufokusuoja į juostą ir nukreipia jį per skaidrą, pavyzdžiui, stiklo pagrindą į ploną metalo, pavyzdžiui, chromo sluoksnį. Sufokusuoto į juostą lazerio spinduliuotės pluošto erdvinis intensyvumo skirstinys chromo sluoksnio paviršiuje ir jo profiliai  $x$  ir  $y$  kryptimis parodyti Fig.2. Siauraja  $x$  kryptimi skirstinys yra Gauso formos, ilgąja  $y$  kryptimi- tolygus stačiakampio formos.  $I_{th}$  – slenkstinė intensyvumo (energijos tankio) vertė. Projektijoje XY plokštumoje (Fig.2) pilkai pažymėta sritis

nurodo kur lazerio intensyvumas viršija slenkstinę vertę ir kurioje formuojasi periodinė gardelė. Gardelės formavimo metu lazerio spinduliuotės pluošto energijos tankis viršija chromo sluoksnio abliacijos slenkstį apie 15 %. Sugertas lazerio spinduliuotės pluoštas kaitina ir lydo chromo sluoksnį, o verždamiesi per metalo sluoksnį susidarę chromo garai juostinėje fokusavimo dėmėje iš išlydyto chromo dėl savitvarkos suformuoja pradinį kvaziperiodinį skirstinį. Po to, pauzės tarp lazerio impulsų metu, stiklo pagrindą su chromo sluoksniu perkelia formuojamos gardelės linijų kryptimi taip, kad toliau perkelta lazerio spinduliuotės pluošto sufokusuota dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusią gretimą dėmę, užtikrinant jau suformuotos pradinės periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą. Tokiu būdu sufokusuoto impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto dėmių chromo sluoksnyje periodinis perkėlimas aprašytu būdu kaip parodyta Fig.4 pratęsia periodinę struktūrą ir leidžia suformuoti norimą (neribotą) formuojamos gardelės linijų ilgį.

Gardelės formavimo kryptimi atstumas tarp gretimų persiklojančių sufokusuotų lazerio spinduliuotės pluošto dėmių yra apie 20% nuo pluošto skersmens t. y. dėmė persidengia su prieš ją buvusią gretimą dėmę pagal plotą maždaug ribose nuo 70 iki 95%, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų ilgio nenutrūkstamą tęstinumą (gardelė susiformuoja ribotame impulsų persiklojimo intervale maždaug 0,2 – 0,4  $\mu\text{m}$ ).

Kitas pasiūlytas gardelės formavimo būdo variantas yra, kai impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą sufokusuoja į elipsės formos dėmę. (Fig.3) parodytas elipsės formos lazerio spinduliuotės pluošto erdvinis intensyvumo skirstinys metalo paviršiuje ir jo intensyvumo profiliai  $x$  ir  $y$  kryptimis. Abiem kryptimis pluošto intensyvumo erdvinis skirstinys yra Gauso formos.  $I_{th}$  – slenkstinė intensyvumo (energijos tankio) vertė. Projektijoje  $XY$  plokštumoje pilkai pažymėta sritis, kurioje lazerio intensyvumas viršija slenkstinę vertę ir kurioje formuojasi gardelė. Gardelės formavimo principas yra toks pat kaip aprašyta aukščiau ir kaip parodyta (Fig.4), t.y. gardelės suformavimo ploname metalo sluoksnyje principas su dalinai persiklojančiais lazerio spinduliuotės pluošto impulsais, periodiškai perstumiant pagrindą su metalo sluoksniu.

Gardelės linijos susiformuoja statmenai sufokusuotos lazerio spinduliuotės pluošto dėmės išilginei kryptčiai. (Fig.4) raidės a, b, c žymi erdvinius intensyvumo skirstinius iš eilės einančių lazerio impulsų, sufokusuotų metalo sluoksnio paviršiuje.

Siūlomas gardelės formavimo įrenginys apima impulsinį lazerį (1), kurio spinduliuotės pluoštas (2) per nukreipiančiąją optinę priemonę (3) yra nukreiptas į fokusuojantį lęšį (4), kuris per stiklo pagrindą (5) lazerio spinduliuotės pluoštą sufokusuoja į metalo sluoksnį (6). Stiklo pagrindas (5) sumontuotas perkėlimo priemonėje (7) taip, kad fokusuojamą metalo sluoksnyje (6) pailgą dėmę perkeltų formuojamos periodinės gardelės linijų kryptimi (8) tokiu atstumu, kad kiekviena toliau perkelta sufokusuota dėmė a, b, c dalinai persidengtų su prieš ją buvusią gretimą dėmę (Fig.4), užtikrinant jau suformuotos pradinės periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

Siūlomo gardelės formavimo įrenginio veikimo principas pagrįstas impulsinio lazerio (1) spinduliuotės pluošto (2) fokusavimu per stiklo pagrindą (5) arba tiesiogiai į pailgą dėmę, pavyzdžiui, į juostą, metalo, pavyzdžiui, chromo sluoksnyje (6), sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi. Fokusavimo dėmės ribose ((Fig.2) pilkai pažymėta sritis) dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos formuojasi pradinė periodinė gardelė. Susiformavus pradinei gardelei fokusavimo vietos perkėlimo priemonė (7) žingsninės pavaros pagalba toliau periodiškai perkelia stiklo pagrindą 7 gardelės linijų kryptimi (8), kuri yra statmena sufokusuotos dėmės išilginei kryptčiai. Sufokusuota dėmė kiekvieno pavaros žingsnio metu perkeliama metalo sluoksnyje tokiu atstumu, kuris užtikrina jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.



## IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Gardelės formavimo būdas, ypač ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo, apimantis impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto nukreipimą bei fokusavimą minėtame metalo sluoksnyje tiesiogiai arba per skaidrų pagrindą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi, bei fokusavimo vietos perkėlimą, kad suformuotų norimą gardelę, besiskiriantis tuo, kad impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje fokusuoja į pailgą dėmę, kur dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos dėmės ribose formuojasi periodinė gardelė, kurios linijų norimą ilgį formuoja, perkeliant fokusuojamą dėmę metalo sluoksnyje gardelės linijų kryptimi taip, kad kiekviena toliau perkelta fokusavimo dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusią gretimą dėmę, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.
2. Gardelės formavimo būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad pailga dėmė, į kurią fokusuoja impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje, yra juostos formos.
3. Gardelės formavimo būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad gardelės periodą keičia, keičiant impulsinio lazerio spinduliuotės pluošto energijos tankį.
4. Gardelės formavimo būdas pagal bet kurį iš 1 - 3 punktų, besiskiriantis tuo, kad skaidrus pagrindas yra stiklas.
5. Gardelės formavimo būdas pagal bet kurį iš 1 - 4 punktų, besiskiriantis tuo, kad metalo sluoksnis, kuriuo padengtas skaidrus pagrindas, yra chromas.

6. Gardelės formavimo būdas pagal 5 punktą, besiskiriantis tuo, kad gardelės sudarymo metu lazerio spinduliuotės pluošto energijos tankis viršija chromo sluoksnio abliacijos slenkstį apie 15 %.

7. Gardelės formavimo būdas pagal bet kurį iš 5 - 6 punktų, besiskiriantis tuo, kad kiekviena toliau perkelta fokusavimo dėmė persidengia su prieš ją buvusia gretima dėme pagal plotą maždaug ribose nuo 70 iki 95%, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų ilgio nenutrūkstamą tęstinumą.

8. Gardelės formavimo įrenginys, ypač ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo, apimantis impulsinį lazerį, fokusavimo sistemą, kuri fokusuoja impulsinio lazerio spinduliotę minėtame ploname metalo sluoksnyje tiesiogiai arba per minėtą skaidrų pagrindą, sukeliant fokusavimo vietoje metalo lydymąsi, bei fokusavimo vietos metalo sluoksnyje perkėlimo priemonę, kad suformuotų norimą gardelę, besiskiriantis tuo, kad fokusavimo sistema minėtą lazerio spinduliuotės pluoštą metalo sluoksnyje fokusuoja į pailgą dėmę, kur dėl išlydyto metalo likučių savitvarkos dėmės ribose formuojasi periodinė gardelė, o fokusavimo vietos perkėlimo priemonė yra sukonstruota taip, kad fokusuojamą pailgą dėmę perkeltų formuojamos periodinės gardelės linijų kryptimi tokiu atstumu, kad kiekviena toliau perkelta fokusavimo dėmė dalinai persidengtų su prieš ją buvusia gretima dėme, užtikrinant jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

9. Gardelės formavimo įrenginys pagal 8 punktą, besiskiriantis tuo, kad fokusavimo vietos perkėlimo priemonė yra skaidrų pagrindą arba lazerį palaikanti priemonė, turinti žingsninę pavarą, kuri, pauzės tarp lazerio impulsų metu, santykinai perslenka pagrindą arba lazerį vienas kito atžvilgiu taip, kad fokusuojama dėmė metalo sluoksnyje persikeltų gardelės linijų kryptimi numatytu atstumu, užtikrinančiu jau suformuotos periodinės gardelės linijų nenutrūkstamą tęstinumą.

10. Gardelės formavimo įrenginys pagal bet kurį iš 8 - 9 punktų, besiskiriantis tuo, kad metalo sluoksnis yra chromas, o skaidrus pagrindas – stiklas.

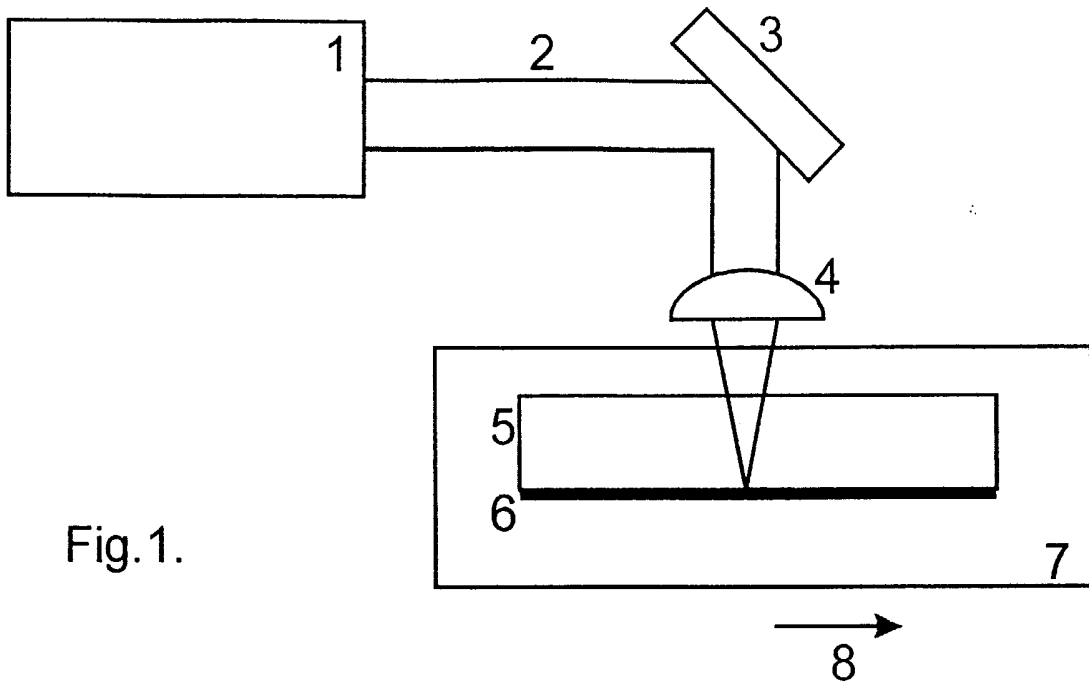


Fig.1.

Fig.2.

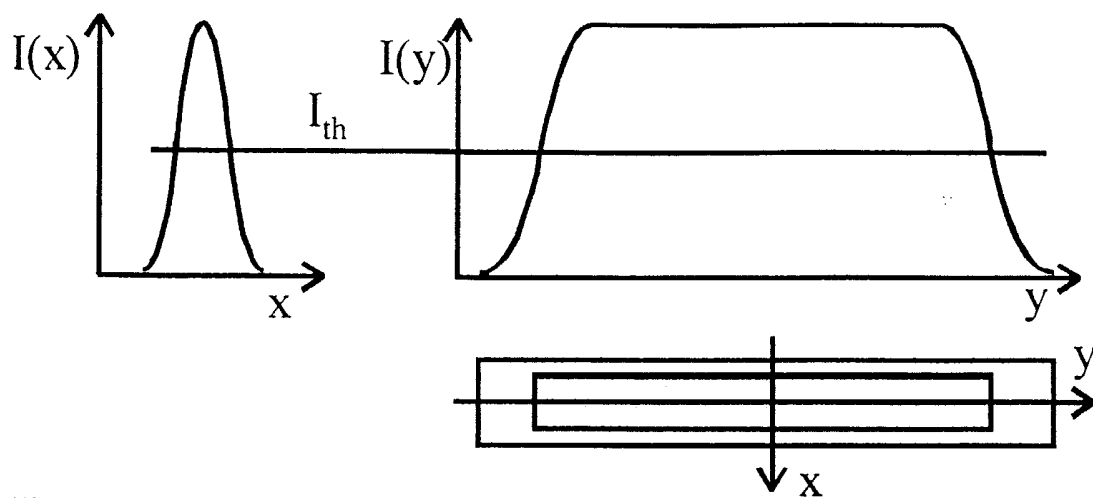


Fig.3.

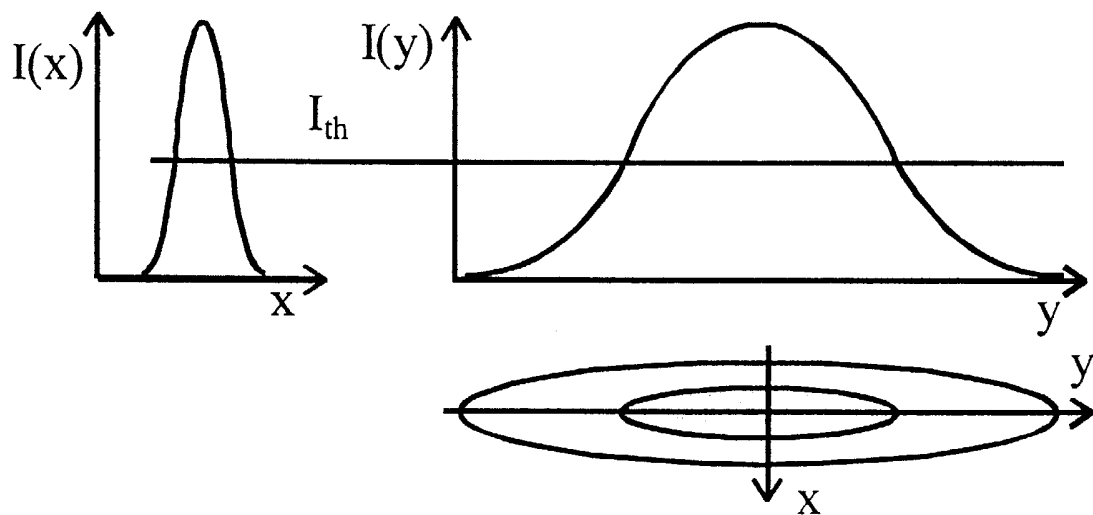


Fig.4.

1 2 3

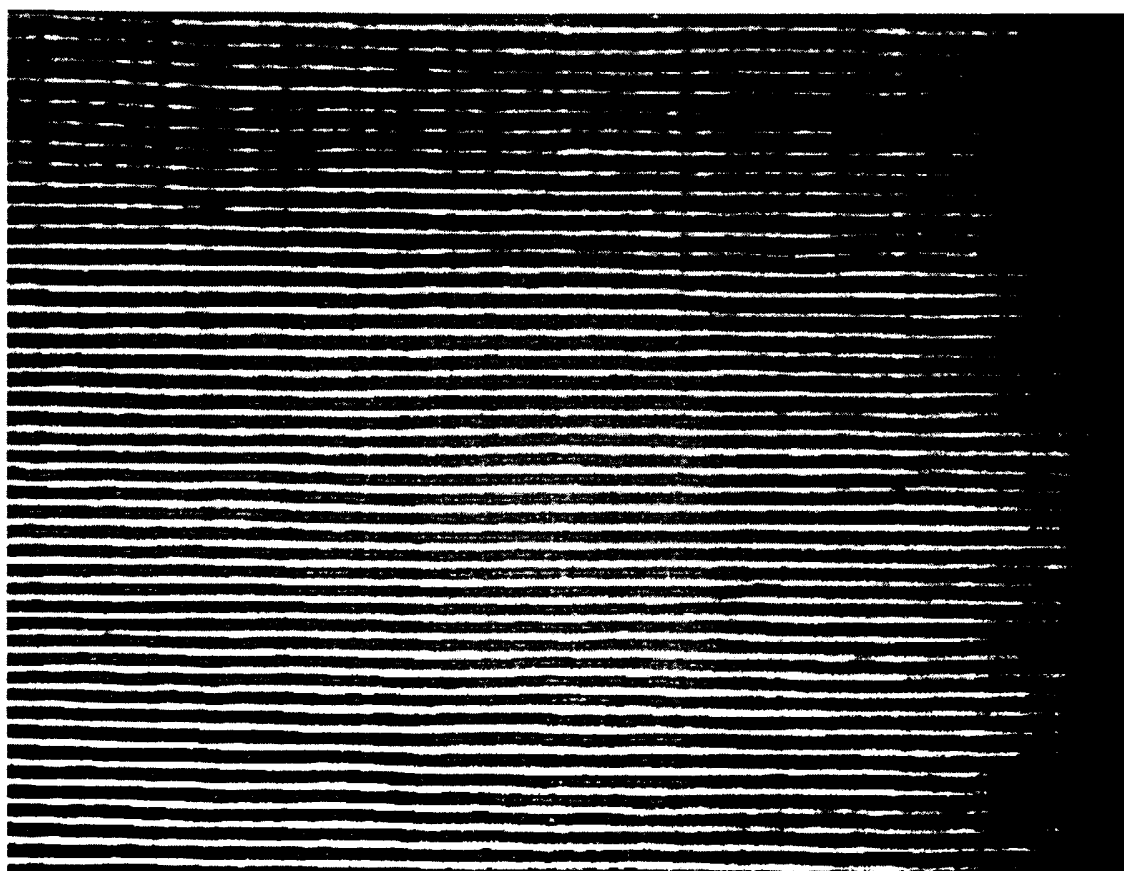
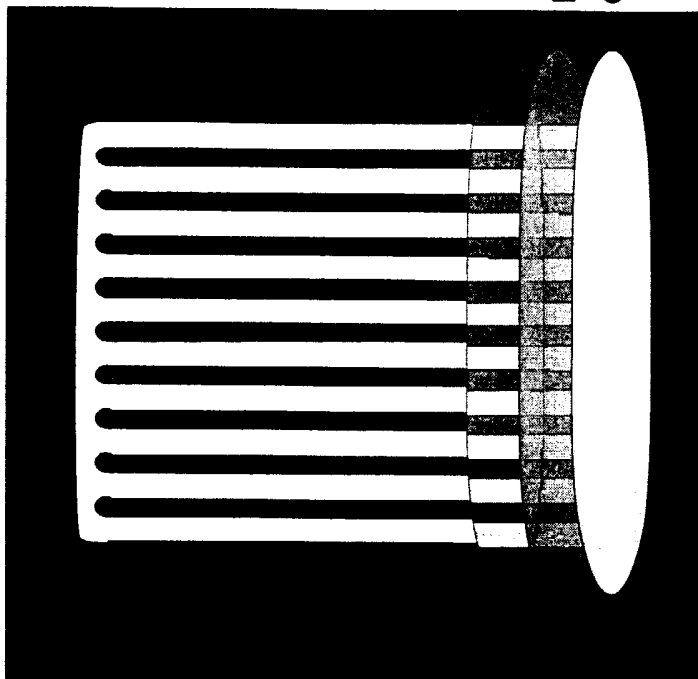


Fig. 5

LT 5497 B

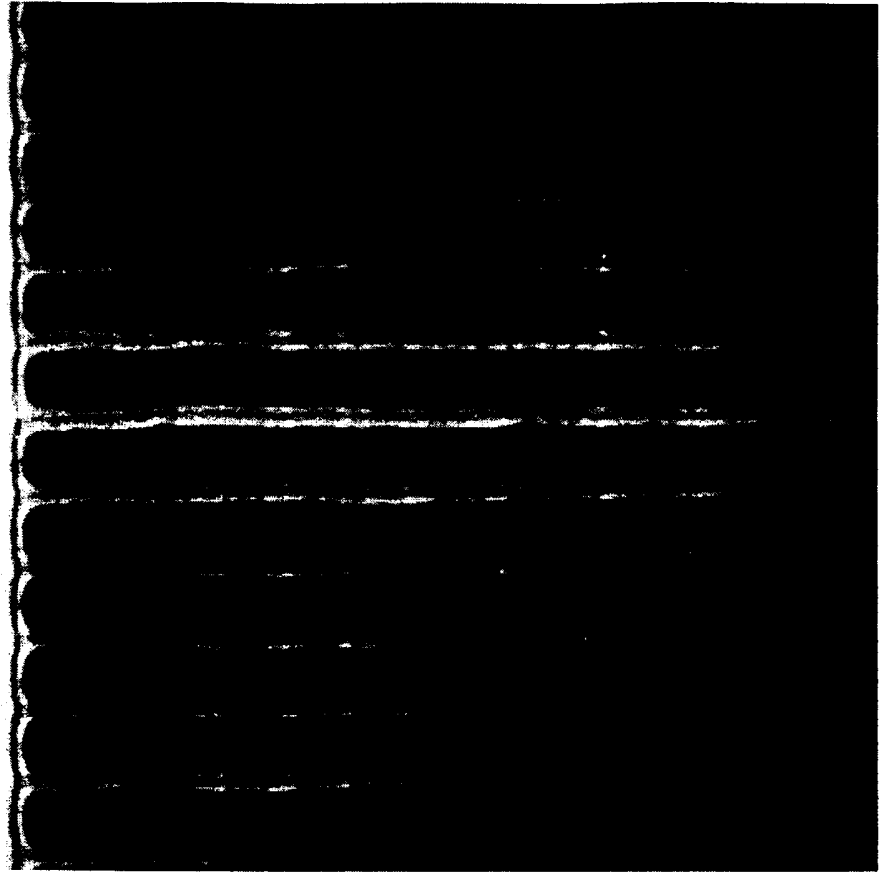


Fig. 6