

(19)



(10) **LT 5833 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5833**

(51) Int. Cl. (2011.01): **G02F 1/00**
G02B 5/00

(21) Paraiškos numeris: **2010 069**

(22) Paraiškos padavimo data: **2010 09 16**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2012 03 26**

(45) Patent paskelbimo data: **2012 05 25**

(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:

Gediminas RAČIUKAITIS, LT
Mindaugas GEDVILAS, LT
Bogdan VOISIAT, LT

(73) Patent savininkas:

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

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

(54) Pavadinimas:

Būdas periodinėms struktūroms ploname medžiagos sluoksnyje formuoti
interferuojančiais lazerio pluoštais

(57) Referatas:

Išradimas priklauso lazerinių technologijų sričiai ir yra skirtas tiesioginiams periodinių struktūrų plonuose sluoksniuose formavimo būdams ir gali būti panaudotas gaminti periodines struktūras (gardeles), skirtas spektriniam, matavimo ir kitiems optiniams prietaisams bei ekranavimui. Išradimu siekiama tiesiogiai be tarpinių sluoksnių (fotorezistas) ir papildomų operacijų (fotorezisto užnešimas, ryškinimas, cheminis ėsdinimas) formuoti periodines struktūras ir valdyti skirtingo piešinio (rašto, vaizdo) periodinių struktūrų formavimą. Į ploną medžiagos sluoksnį nukreipia tris arba keturis arba šešis lazerio pluoštus, kad sluoksnyje interferuodami sudarytų periodinį lazerio spinduliuotės intensyvumo skirstinį. Interferencinio vaizdo didelio intensyvumo zonose sluoksnio medžiagą išgarina, o išlikusi sluoksnio medžiaga suformuoja periodinę struktūrą, atitinkančią interferencinio vaizdo mažo

intensyvumo zonų išsidėstymui. Formuojamos periodinės struktūros piešinį (rašta, vaizda) keičia, keičiant nukreipiamų į minėtą sluoksnį interferuojančių lazerio pluoštų bendrą intensyvumo dydį, tenkinant sąlygą, kad minėtas bendras intensyvumo dydis suformuoto intensyvumo skirstinio maksimumuose būtų didesnis už minėto sluoksnio nugarinio slenkstinį intensyvumą.

Išradimas priklauso lazerinių technologijų sričiai ir yra skirtas tiesioginiams periodinių struktūrų plonuose sluoksniuose, ypač metalo, formavimo būdams ir gali būti panaudotas gaminti periodines struktūras (gardeles), skirtas spektriniams, matavimo ir kitiems optiniams prietaisams bei ekranavimui.

Žinomas lazerinio apdirbimo interferuojančiais pluoštais būdas, kuriame fotorezistas apšviečiamas 4 pluoštų interferenciniu lauku, fotorezistas išryškinamas ir per skyles fotoreziste chemiškai išsodinimas metalo sluoksnis. Šį būdą pritaikius sluoksniams gali būti gaunama tik apvalių skylių matrica (žiūrėti išradimo aprašymą pagal patentą JP62114138).

Žinomas lazerinio apdirbimo interferuojančiais pluoštais būdas, kuriame periodinė struktūra formuojama keturiais lazerio spinduliuotės pluoštais, parenkant specifinį pluoštų suvedimo kampą ir fazių skirtumą tarp porų, iš vienas prieš kitą išdėstytų pluoštų. Minėti spinduliuotės pluoštai interferuodami suformuoja periodinį spinduliuotės intensyvumo skirstinį ant fotorezisto, kuriuo padengta norima apdoroti medžiaga. Po ekspozicijos fotorezistas išryškinamas ir jame gaunama 2D struktūra, kurios periodas gali būti valdomas, keičiant bangos ilgį ir pluošto suvedimo kampą (žiūrėti išradimo aprašymą pagal patentą JP11026344).

Žinomų būdų trūkumas yra tas, kad struktūra pradžioje suformuojama fotoreziste, o po to, formuojant periodinę struktūrą, reikalingas cheminio išsodinimo procesas, kuris yra daugelio pakopų, todėl lėtas, sudėtingas ir brangus.

Yra žinomas periodinių struktūrų formavimo ploname metalo sluoksnyje ant skaidrios medžiagos pagrindo būdas, kai impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą dalija į du pluoštus, kuriuos fokusuoja metalo sluoksnyje, sudarant jame interferencinį vaizdą, kur interferencinio vaizdo intensyvumo maksimumuose metalas išgarinamas, ir nusodinamas ant kito šalia patalpinto skaidraus padėklo, sudarant periodinę apvalių kondensavusio metalo salų struktūrą, atitinkančią interferencinio vaizdo intensyvumo maksimumų išsidėstymui (žiūrėti išradimo aprašymą pagal patentą CN1603888).

Artimiausias pagal techninę paskirtį yra būdas periodinėms struktūroms ploname medžiagos sluoksnyje formuoti interferuojančiais lazerio pluoštais, kur daug pluoštų (3 ir daugiau) nukreipiami į ploną sluoksnį, sudarant jame interferencinį vaizdą. Būde numatytas pluoštų

kiekio, fazių skirtumo tarp pluoštų ir jų amplitudės (intensyvumo) valdymas. Fazių skirtumą parenka 0 arba $\pi/2$. Interferencinio vaizdo intensyvumo maksimumuose medžiaga yra modifikuojama, sudarant periodinę struktūrą (žiūrėti išradimo aprašymą pagal patentą JP2003025085).

Šį būdą pritaikius sluoksniams gali būti gaunama tik apvalių skylių matrica, nes šis būdas apsiriboja poveikiu interferencinio skirstinio maksimumuose. Žinomo būdo trūkumas yra tas, kad juo galima formuoti tik vienos konfigūracijos periodinę struktūrą bei nėra galimybės keisti periodinės struktūros formuojamus vaizdus.

Išradimu siekiama tiesiogiai be tarpinių sluoksnių (fotorezistas) ir papildomų operacijų (fotorezisto užnešimas, ryškinimas, cheminis ėsdinimas) formuoti periodines struktūras ir valdyti skirtingo piešinio (rašto, vaizdų) periodinių struktūrų formavimą bei praplėsti šiuo metodu gaunamų struktūrų pritaikymo sritį.

Uždavinio sprendimo esmė yra ta, kad būde periodinėms struktūroms formuoti ploname medžiagos sluoksnyje interferuojančiais lazerio pluoštais, kur plonas medžiagos sluoksnis yra išdėstytas ant pagrindo, turinčio skirtingas optines savybes nei minėtas sluoksnis, apimantis kelių impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštų nukreipimą į minėtą ploną sluoksnį, kuriame pluoštai kertasi taip, kad interferuodami suformuotų periodinį lazerio spinduliuotės intensyvumo skirstinį, kur interferencinio vaizdo didelio intensyvumo zonose sluoksnio medžiaga yra išgarinama, o išlikusi sluoksnio medžiaga suformuoja periodinę struktūrą, atitinkančią interferencinio vaizdo mažo intensyvumo zonų išsidėstymui, periodinės struktūros formuojamą vaizdą keičia, parenkant nukreipiamų į minėtą sluoksnį interferuojančių lazerio pluoštų bendrą intensyvumo dydį, kurį parenka atitinkamai kiekvienam pasirinktam periodinės struktūros vaizdai suformuoti, tenkinant sąlygą, kad minėtas bendras intensyvumo dydis suformuoto intensyvumo I_0 skirstinio maksimumuose būtų didesnis už minėto sluoksnio nugarinimo slenkstinį intensyvumą I_{th} ,

Šis būdas yra paprastas, vieno etapo, nereikalaujantis sudėtingo technologinio proceso, tam kad tiesiogiai gauti skirtingus formuojamų struktūrų vaizdus t.y. sluoksnių nugarinimo slenkstinis pobūdis sudaro sąlygas papildomai valdyti sluoksnyje formuojamų periodinių struktūrų vaizdą (piešinį, pavidalą), keičiant interferuojančių lazerio pluoštų bendrą intensyvumo dydį bei leidžia praplėsti šiuo būdu gaunamų struktūrų pritaikymo sritis.

Kitas privalumų turintis siūlomo būdo variantas yra tai, kad tarp interferuojančių lazerio spinduliuotės pluoštų parenka fazių skirtumą $\Delta\phi$.

Tai leidžia papildomai valdyti interferencinį lazerio intensyvumo skirstinį ir gauti didesnę įvairovę formuojamų periodinių struktūrų vaizdų.

Be to, į minėtą sluoksnį nukreipia tris arba keturis, arba šešis interferuojančius lazerio pluoštus, išdėstytus simetriškai normalės į sluoksnio paviršių atžvilgiu.

Prenkant pluoštų skaičių 3 arba 6 galima gauti heksagoninės simetrijos struktūras, o panaudojant 4 pluoštus, galima gauti kvadratinės ar stačiakampės simetrijos struktūras.

Kitas privalumą turintis siūlomo būdo realizavimo pavyzdys yra tai, kad interferencinio skirstinio vaizdą papildomai keičia, į minėtą sluoksnį nukreipiant papildomą centrinių lazerio pluoštą minėtų interferuojančių pluoštų simetrijos ašies kryptimi,

Tai leidžia papildomai valdyti interferencinį lazerio intensyvumo skirstinį, priklausomai nuo sluoksnio padėties pluoštų susikirtimo taško atžvilgiu ir gauti didesnę įvairovę formuojamų periodinių struktūrų vaizdų.

Be to, interferencinio skirstinio vaizdą papildomai keičia, parenkant atstumą Δz tarp minėto sluoksnio ir pluoštų susikirtimo jame taško centrinio spindulio sklaidimo kryptimi z.

Plono sluoksnio medžiaga yra metalas, pavyzdžiui, chromas, aliuminis, sidabras, varis, auksas, o pagrindo medžiaga yra skaidri, pavyzdžiui, stiklas.

Šiuo atveju gali būti panaudotas gaminant spektrinius filtrus matomam, infraraudonam ir teraherciniam spektro diapazonams, priklausomi nuo struktūros periodo ir struktūrinių elementų formos ir dydžio. Kita taikymų sritis yra metamedžiagų gamyba iš plonų sluoksnių, suformuojant dažniui selektyvius paviršius radijo bangų ir optiniam spektro diapazonams.

Plono sluoksnio medžiaga yra elektrai laidži, pavyzdžiui, indžio-alavo oksidas, o pagrindo medžiaga yra dielektrikas, pavyzdžiui, polimeras arba stiklas. Šiuo atveju būdas gali būti panaudotas plonasluoksnės elektronikos kontaktams formuoti, pvz. LCD ekranų gamyboje.

Privalumų turintis dar vienas būdo realizavimo pavyzdys yra tas, kad pagrindas yra stiklas, padengtas plonu chromo sluoksniu į kurį nukreipia keturis interferuojančius lazerio pluoštus, kur priklausomai nuo norimo suformuoti periodinės struktūros vaizdo, fazės skirtumą $\Delta\phi$ tarp priešpriešiais esančių pluoštų porų parenka ribose nuo nulio iki $\pi/2$, o lazerio spinduliuotės intensyvumo dydį suformuoto intensyvumo I_0 , skirstinio maksimumuose, parenka atitinkamai

taip, kad sluoksnio nugarinimo slenkstinis intensyvumas I_{th} sudarytų nuo maždaug 50% iki maždaug 1,5%, intensyvumo I_0 , suformuoto interferencinio skirstinio maksimumuose

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig. 1 - Periodinės struktūros formavimo įrenginio optinė schema, skirtas pasiūlytam būdui realizuoti.

Fig. 2 – Interferencinio vaizdo susidarymo schema, kai nėra centrinio pluošto (a) ir esant centriniam pluoštui θ (b).

Fig. 3 - Keturių interferuojančių lazerio pluoštų simetrinio išdėstymo schema.

Fig. 4 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant keturiais simetriškai išdėstytais interferuojančiais lazerio pluoštais pagal Fig. 3, keičiant bendro intensyvumo dydį ir/arba fazę tarp pluoštų, kuriuose pavaizduota:

- a) „standartinis“ apvalių skylių vaizdas metalo sluoksnyje ant stiklo;
- b) šachmatine tvarka išdėstytų rombų vaizdas, gaunamas, kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazės skirtumas yra lygus $\Delta\varphi = \pi/2$ ir lazerio intensyvumas interferencinio skirstinio maksimumuose tenkina sąlygą $I_{th} = I_0 \times 50\%$;
- c) šachmatine tvarka išdėstytų rombų vaizdas, eksperimentiškai gautas 100 nm storio chromo sluoksnyje ant stiklo, kai tenkinamos Fig. 4b sąlygos;
- d) segmentuoto tinklo pavidalo vaizdas, gaunamas, kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazės skirtumas yra lygus $\Delta\varphi = \pi/4$ ir $I_{th} = I_0 \times 14\%$;
- e) tinklo pavidalo vaizdas, eksperimentiškai gautas 100 nm storio chromo sluoksnyje ant stiklo, kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazės skirtumas $\Delta\varphi$ tolygiai kinta iš kairės į dešinę ir dešinėje pusėje tenkinamos Fig. 4d sąlygos;
- f) paprasto tinklo pavidalo vaizdas, gaunamas, kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazės skirtumas yra lygus $\Delta\varphi = \pi/8$ ir $I_{th} = I_0 \times 4\%$.

Fig. 5 - trijų interferuojančių lazerio pluoštų simetrinio išdėstymo schema.

Fig. 6 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant trim simetriškai išdėstytais interferuojančiais pluoštais pagal Fig.5, kai $\Delta\varphi = 0$ ir $I_{th} = I_0 \times 11\%$ (a) ir $I_{th} = I_0 \times 50\%$ (b).

Fig. 7 - Šešių interferuojančių lazerio pluoštų simetrinio išdėstymo schema.

Fig. 8 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant šešiais simetriškai išdėstytais interferuojančiais pluoštais pagal Fig. 7, kai $\Delta\varphi = 0$ ir $I_{th} = I_0 \times 6\%$ (a) ir $I_{th} = I_0 \times 11\%$ (b).

Fig. 9 – Trijų simetriškai išdėstytų pluoštų ir centrinio pluošto išdėstymo schema.

Fig. 10 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant trimis simetriškai išdėstytais interferuojančiais pluoštais ir centrinio pluoštu pagal Fig. 9, kai $\Delta\varphi = 0$, $\Delta z = 0$ ir $I_{th} = I_0 \times 6\%$ (a) ir $I_{th} = I_0 \times 11\%$ (b).

Fig. 11 – Šešių simetriškai išdėstytų pluoštų ir centrinio pluošto išdėstymo schema.

Fig. 12 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant šešiais simetriškai išdėstytais interferuojančiais pluoštais ir centrinio pluoštu pagal Fig. 11, kai $\Delta\varphi = 0$, $\Delta z = 0$ ir $I_{th} = I_0 \times 1,5\%$ (a) ir $I_{th} = I_0 \times 7\%$ (b).

Fig. 13– Keturių simetriškai išdėstytų pluoštų ir centrinio pluošto išdėstymo schema.

Fig. 14 - Periodinių struktūrų vaizdai, gaunami formuojant keturiais simetriškai išdėstytais interferuojančiais pluoštais ir centrinio pluoštu pagal Fig. 13, kai $\Delta\varphi = \pi/2$, $I_{th} = I_0 \times 40\%$, $\Delta z = 0$ (a) ir $\Delta z = 0,2$ periodo z kryptimi (b).

Siūlomas periodinės struktūros formavimo būdas apima šią operacijų seką. Impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštą padalina į pasirinktą skaičių pluoštų nuo 3 iki 6 t.y. tris, keturis arba šešis ir nukreipia juos į ant pagrindo užneštą ploną medžiagos sluoksnį simetriškai normalės į sluoksnio paviršių atžvilgiu taip, kad jame interferuotų, sudarydami periodinį lazerio spinduliuotės skirstinį. Interferuojančių lazerio pluoštų bendrą intensyvumo dydį parenka tokį, kad jis būtų didesnis už minėto sluoksnio nugarinimo slenkstinį intensyvumą I_{th} , o sluoksnio nugarinimo slenkstis sudarytų nuo maždaug 50% iki maždaug 1,5% intensyvumo I_0 , suformuoto interferencinio skirstinio maksimumuose. Keičia minėtą bendrą intensyvumo dydį nurodytose ribose iki tokios ribos, kuris reikalingas pasirinktos periodinės struktūros vaizdui suformuoti. Minėtą interferencinį vaizdą papildomai gali keisti, parenkant fazių skirtumą $\Delta\varphi$ tarp interferuojančių lazerio spinduliuotės pluoštų. Be to, minėtą vaizdą papildomai gali keisti, nukreipiant centrinį lazerio pluoštą interferuojančių pluoštų simetrijos ašies kryptimi ir/arba parenkant atstumą tarp minėto sluoksnio ir pluoštų susikirtimo jame taško centrinio spindulio sklaidimo kryptimi.

Siūlomas periodinės struktūros ploname medžiagos sluoksnyje formuoti interferuojančiais lazerio pluoštais 1-6 gali būti realizuotas įrenginiu, kurio optinė schema pavaizduota Fig. 1. Įrenginys turi impulsinį lazerį 7, kurio pluošto sklaidimo kelyje nuosekliai išdėstyti lazerio impulsų energijos valdymo mazgas 8, (pvz. atenuatorius, sudarytas iš Pokelso celės ir plonasluoksnio poliarizatorius), visiško atspindžio veidrodis 9, difrakcinis optinis elementas 10 pluošto padalinimui į 3, 4 arba 6 pluoštus (su arba be centrinio pluošto), kolimuojantis lęšis 11, fazių skirtumo tarp pluoštų valdymo mazgas 12 (pvz. pasukama lygiagreti stiklo plokštelė), diafragma 13 pluoštų išrinkimui, fokusuojantis lęšis 14, bandinys 15 (plonas sluoksnis ant padėklo, bandinio pozicionavimo įrenginys 16 (pvz. trijų ašių XYZ pjezoelektrinis nanopozicionierius).

Interferencinio vaizdo susidarymo schema, kai nėra centrinio pluošto yra pavaizduota Fig. 2a, o kai yra centrinis pluoštas – Fig. 2b. Nesant centrinio pluošto, interferencinis vaizdas nesikeičia statmena bandinio paviršiui kryptimi z visoje pluoštų persiklojimo zonoje. Centrinis pluoštas sukelia papildomą intensyvumo skirstinio moduliaciją kryptimi z . Λ yra interferencinio vaizdo periodas XY plokštumoje, (bandinio paviršiuje, Y ašis yra statmena brėžinio plokštumai); Λ_z yra interferencinio vaizdo periodas kryptimi z , statmena bandinio paviršiui; Δz yra postūmis ašimi z (bandinio postūmis fokusuojančio lęšio židinio padėties atžvilgiu).

Toliau pateikiame konkrečius būdo realizavimo pavyzdžius, kuriais šis patentas neapsiriboja.

Keturių lazerio pluoštų 1-4, simetriškai išdėstytų pagal Fig. 3, atveju intensyvumo skirstinys interferencijos zonoje gali būti išreikštas formule:

$$I_4(\mathbf{r}) \propto \left\langle \left[E_1(\mathbf{r}, t) + E_2(\mathbf{r}, t) + E_3(\mathbf{r}, t) + E_4(\mathbf{r}, t) \right]^2 \right\rangle \propto 4E_0^2 \left\{ \begin{aligned} &1 + \frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \cdot \mathbf{r} + \varphi_1 - \varphi_2] + \\ &\frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_3) \cdot \mathbf{r} + \varphi_1 - \varphi_3] + \\ &\frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_4) \cdot \mathbf{r} + \varphi_1 - \varphi_4] + \\ &\frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3) \cdot \mathbf{r} + \varphi_2 - \varphi_3] + \\ &\frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_4) \cdot \mathbf{r} + \varphi_2 - \varphi_4] + \\ &\frac{1}{2} \cos[(\mathbf{k}_3 - \mathbf{k}_4) \cdot \mathbf{r} + \varphi_3 - \varphi_4] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

kur $\mathbf{E}_i$ elektrinis laukas, $\mathbf{k}_i$ banginis vektorius ir φ_i fazė kiekvienam iš 4 lazerio pluoštui; $\mathbf{r}$ yra koordinatės vektorius. Indeksai žymi lazerio pluoštus: 1, 2, 3 ir 4.

Simetriškai išdėstytų pluoštų 1-4 (Fig.3) interferencinio lauko intensyvumo skirstinys parodytas Fig.4a yra taisyklinga interferencijos maksimumų kvadratinė matrica t.y. standartinė periodinė struktūra sudaryta iš apvalių skylių.

2D gardelės periodas Λ priklauso nuo kampo tarp priešais esančių pluoštų:

$$\Lambda_4 = (\sqrt{2}/2)(\lambda/\sin \Theta), \text{ kur } \theta = \frac{(k_1, k_2)}{2} = \frac{(k_3, k_4)}{2} \text{ yra pusė kampo tarp priešpriešinių pluoštų ir } \lambda$$

yra lazerio spinduliuotės bangos ilgis. Interferencinio lauko skirstinys gali būti pakeistas, keičiant tarp pluoštų (optinio kelio skirtumą) fazių skirtumą $\Delta\varphi$.

Kadangi optinė sistema turi radialinę simetriją, tai visų interferuojančių pluoštų fazės jų susikirtimo taške yra vienodos, arba fazių skirtumas tarp kiekvieno iš pluoštų lygus nuliui (nes visi pluoštai praeina vienodą optinį kelią). Siekiant įvesti fazių skirtumą tarp pluoštų reikia sudaryti optinio kelio skirtumą tarp pluoštų, pvz. pirmojo pluoštelio kelyje pastatoma storio d stiklo plokštelė su lūžio rodikliu n , o antras pluoštelis sklinda tą patį atstumą laisva erdve (oru), tai optinių kelių skirtumas tarp pluoštelių lygus $d(n-1)$. Tarp pluoštų atsiranda fazių skirtumas

$$\varphi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} d(n-1). \quad (2)$$

Kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazių skirtumas yra lygus $\pi/2$, seni maksimumai išnyksta ir atsiranda nauji buvusių tarpuose.

Interferencinį lauką galima keisti ne tik derinant fazių skirtumus tarp pluoštų. Sluoksnių nugarinimo slenkstinis pobūdis sudaro sąlygas papildomai valdyti periodinių struktūrų suformuojamų metalo sluoksnyje vaizdą (piešinį, pavidalą) kas ir sudaro šiuo išradimu siekiamo tikslo techninį sprendimą.

Struktūra, kuri yra suformuojama medžiagos sluoksnyje priklauso ne tik nuo pluoštų išdėstymo ir fazių skirtumo tarp pluoštų porų. Medžiagos sluoksnių nugarinimas yra slenkstinio pobūdžio: egzistuoja minimalus lazerio intensyvumas I_{th} , kuris gali nugarinti sluoksnį per visą storį. Todėl lazerio intensyvumas, naudojamas apšvitai, parenkant jį nugarinimo (abliacijos) slenkščio atžvilgiu, yra papildoma priemonė valdyti periodinių struktūrų formą. Tai reiškia, kad medžiaga nugarinama visur, kur lokalus lazerio intensyvumas viršija šią slenkstinę intensyvumo vertę I_{th} .

Kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazių skirtumas $\Delta\varphi$ yra lygus $\pi/2$ ir sluoksnio nugarinimo slenkstinis intensyvumas I_{th} yra ties 50% lygiu lazerio intensyvumo I_0 interferencijos maksimume, interferencinio lauko skirstinys yra „šachmatų lentos“ tipo (Fig. 4b). Kaip parodyta Fig. 4c., tokia struktūra buvo pagaminta vienu impulsu 100 nm storio Cr sluoksnyje, tiksliai suderinant optinę sistemą ir parenkant lazerio intensyvumą eksperimente, bei palaikant fazių skirtumą tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų lygų $\pi/2$, impulso energija buvo 0,14 mJ.

Kelių tipų periodinės struktūros buvo sumodeliuotos kompiuteriu ir pagamintos, naudojant nugarinimą vienu lazerio impulsu, kai interferuoja 4 lazerio pluoštai. Kai tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų fazių skirtumas $\Delta\varphi$ yra lygus $\pi/4$ ir sluoksnio nugarinimo slenkstis yra ties 14% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, interferenciniu būdu sudaryta struktūra yra sudaryta iš stačiakampių elementų, išdėstytų kaip segmentuotas tinklas su mažais tarpais tarp segmentų (Fig. 4d).

Tinklo tipo struktūros buvo gautos, nugarinant 100 nm storio Cr sluoksnį vienu lazerio impulsu su 4 pluoštų interferencija, kaip buvo naudojamas monotoniškas fazių postūmio kitimas per interferencinį lauką. (Fig. 4e). Pagamintos struktūros metalų sluoksniuose ant stiklo padėklo rodo, kad interferencinio skirstinio pjūvius ties sluoksnio nugarinimo slenksčiu galima realizuoti praktiškai. Metalas buvo nugarintas lokaliai tose vietose, kur lazerio intensyvumas viršija slenkstinę vertę. „Šachmatų lentos“ ir „tinklo“ formos periodinės struktūros buvo gautos eksperimentiškai, tiksliai parenkant fazių skirtumą ir lazerio intensyvumą.

Tikro tinklo tipo struktūra gali būti realizuota medžiagos sluoksnyje ant pagrindo, kai fazių skirtumas tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų $\Delta\varphi$ yra lygus $\pi/8$ ir sluoksnio nugarinimo slenkstis yra ties 4% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume (Fig. 4f). Tokios struktūros gali būti pritaikytos, gaminant dažniui selektyvias struktūras su spektrinio filtravimo savybėmis matomos šviesos spektro ruože.

Trijų lazerio pluoštų, simetriškai išdėstytų pagal Fig. 5 atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 11% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 6a, Šiuo būdu formuojama periodinė struktūra, sudaryta iš mažų matmenų trikampių, gali būti panaudota kaip paviršinių plazmonų antena.

Tuo pačiu atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 50% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 6b, kuris yra standartinis.

Šešių lazerio pluoštų, simetriškai išdėstytų pagal Fig. 7 atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 4% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 8a. Tuo pačiu atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 11% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 8b. Abi struktūros gali būti panaudotos metamedžiagoms su fotoninių kristalų savybėmis ar dažniui selektyviems paviršiams gaminti.

Visa klasė periodinių struktūrų gali būti sukurta, naudojant kelių simetriškai išdėstytų pluoštų ir centrinio pluošto interferenciją. Interferencinis skirstinys šiuo atveju papildomai priklauso nuo atstumo tarp minėto sluoksnio ir pluoštų susikirtimo jame taško centrinio spindulio sklaidimo kryptimi.

Trijų simetriškai išdėstytų lazerio pluoštų ir vieno centrinio lazerio pluošto išdėstymo pagal Fig. 9 atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 6% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 10a, o esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 11% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 10b.

Šešių simetriškai išdėstytų lazerio pluoštų ir vieno centrinio lazerio pluošto išdėstymo pagal Fig. 11 atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 1,5% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 12a, o esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 11% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 12b.

Keturių simetriškai išdėstytų lazerio pluoštų ir vieno centrinio lazerio pluošto išdėstymo pagal Fig. 13 atveju, esant sluoksnio nugarinimo slenksčiui ties 40% lygiu lazerio intensyvumo interferencijos maksimume, ir tarp lyginių (2, 4) ir nelyginių (1, 3) pluoštų esant fazių skirtumui $\Delta\phi$ lygiam $\pi/2$ gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 14a, kai bandinys yra fokusuojančio lęšio židinio plokštumoje ($\Delta z = 0$). Kai bandinys perstumiamas atstumu $\Delta z = 0,2\lambda_z$ z kryptimi, esant toms pačioms sąlygoms, gaunamas formuojamos struktūros vaizdas parodytas Fig. 14b.

Visos „nestandartinės“ struktūros susidaro, kai sluoksnio nugarinimo slenkstinis intensyvumas I_{th} yra mažiau kaip 50% intensyvumo I_0 interferencinio skirstinio maksimume. „Standartinėmis“ struktūromis čia vadiname tai, ką galima rasti patentuose ir straipsniuose, t.y. reguliariai išdėstytos apvalios skylės kvadratinėje (4 pluoštai) arba heksagoninėje (3 arba 6 pluoštai) matricoje.

Formuojamų struktūrų stabilumas dideliame plote reikalauja didelio fazės stabilumo (suderinimo) ir apšvitos vienalytiškumo visoje interferencijos zonoje. Lazerio pluoštai su suformuotu plokščios viršūnės pavidalu gali būti panaudoti, norint pasiekti struktūrų geresnį homogeniškumą. Naudojant trumpa lazerio impulsų trukmę, mažesnę už 100 ps, sluoksnyje garavimas vyksta greičiau negu šilumos pernaša, todėl interferencinio vaizdo struktūra išlieka nepakitusi dėl galimo sluoksnio medžiagos išsilydimo.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Būdas periodinėms struktūroms ploname medžiagos sluoksnyje formuoti interferuojančiais lazerio pluoštais, kur plonas medžiagos sluoksnis yra išdėstytas ant pagrindo, turinčio skirtingas optines savybes nei minėtas sluoksnis, apimantis kelių impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštų nukreipimą į minėtą ploną sluoksnį, kuriame pluoštai kertasi taip, kad interferuodami suformuotų periodinį lazerio spinduliuotės intensyvumo skirstinį, kur interferencinio vaizdo didelio intensyvumo zonose sluoksnio medžiagą išgarina, o išlikusi sluoksnio medžiaga suformuoja periodinę struktūrą, atitinkančią interferencinio vaizdo mažo intensyvumo zonų išsidėstymui, besiskiriantis tuo, kad periodinės struktūros formuojamą vaizdą keičia, parenkant nukreipiamų į minėtą sluoksnį interferuojančių lazerio pluoštų bendrą intensyvumo dydį, kurį parenka atitinkamai kiekvienam pasirinktam periodinės struktūros vaizdai suformuoti, tenkinant sąlygą, kad minėtas bendras intensyvumo dydis suformuoto intensyvumo skirstinio maksimumuose būtų didesnis už minėto sluoksnio nugarinimo slenkstinį intensyvumą,

2. Būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad tarp interferuojančių lazerio spinduliuotės pluoštų parenka fazių skirtumą.

3 Būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad į minėtą sluoksnį nukreipia tris arba keturis, arba šešis interferuojančius lazerio pluoštus, išdėstytus simetriškai normalės į sluoksnio paviršių atžvilgiu.

4. Būdas pagal 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad interferencinio skirstinio vaizdą papildomai keičia nukreipiant papildomą centrinį lazerio pluoštą minėtų interferuojančių pluoštų simetrijos ašies kryptimi,

5. Būdas pagal 4 punktą, besiskiriantis tuo, kad interferencinio skirstinio vaizdą papildomai keičia, parenkant atstumą tarp minėto sluoksnio ir pluoštų susikirtimo jame taško centrinio spindulio sklaidimo kryptimi.

6. Būdas pagal bet kurį iš 1 - 5 punktų, besiskiriantis tuo, kad plono sluoksnio medžiaga yra metalas, pavyzdžiui, chromas, aliuminis, sidabras, varis, auksas, o pagrindo medžiaga yra skaidri, pavyzdžiui, stiklas.

7. Būdas pagal bet kurį iš 1 - 5 punktų, besiskiriantis tuo, kad plono sluoksnio medžiaga yra elektrai laidė, pavyzdžiui, indžio-alavo oksidas, o pagrindo medžiaga yra dielektrikas, pavyzdžiui, polimeras arba stiklas.

8. Būdas pagal bet kurį iš 2, 3 ir 6 punktų, besiskiriantis tuo, kad pagrindas yra stiklas, padengtas plonu chromo sluoksniu į kurį nukreipia keturis interferuojančius lazerio pluoštus, kur priklausomai nuo norimo suformuoti periodinės struktūros vaizdo, fazės skirtumą tarp priešpriešiais esančių pluoštų porų parenka ribose nuo nulio iki $\pi/2$, o lazerio spinduliuotės intensyvumo dydį suformuoto intensyvumo skirstinio maksimumuose parenka atitinkamai taip, kad sluoksnio nugarinimo slenkstis sudarytų nuo maždaug 50% iki maždaug 1,5%, intensyvumo, suformuoto interferencinio skirstinio maksimumuose.

9. Būdas pagal bet kurį iš 1-8 punktų, besiskiriantis tuo, kad medžiagos sluoksnio nugarinimui naudojamas trumpas impulsų (< 100 ps) trukmės lazeris.

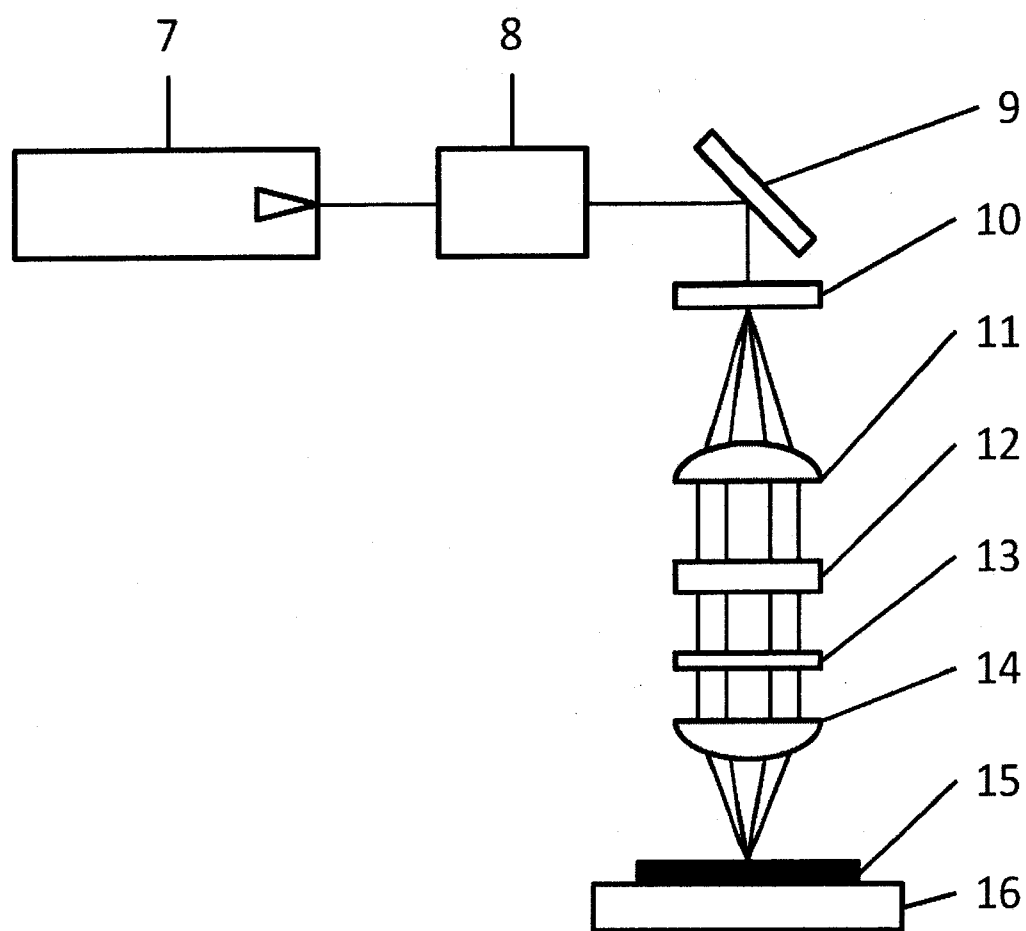


Fig.1

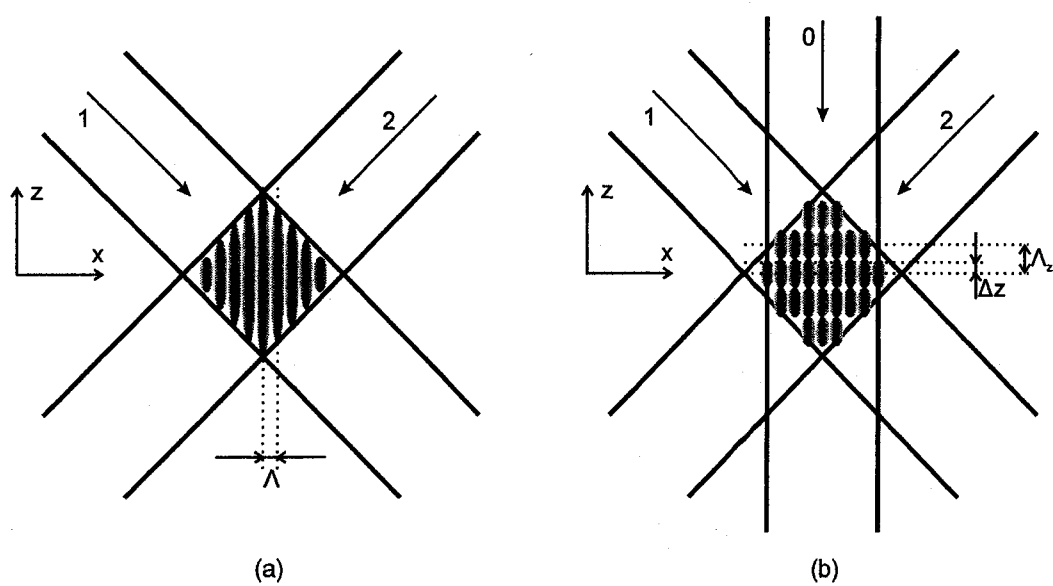


Fig.2

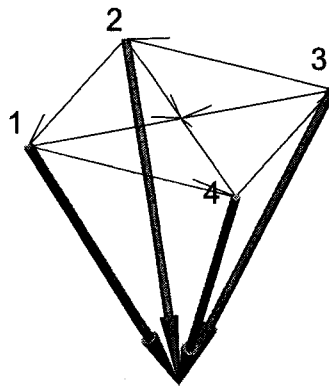


Fig.3

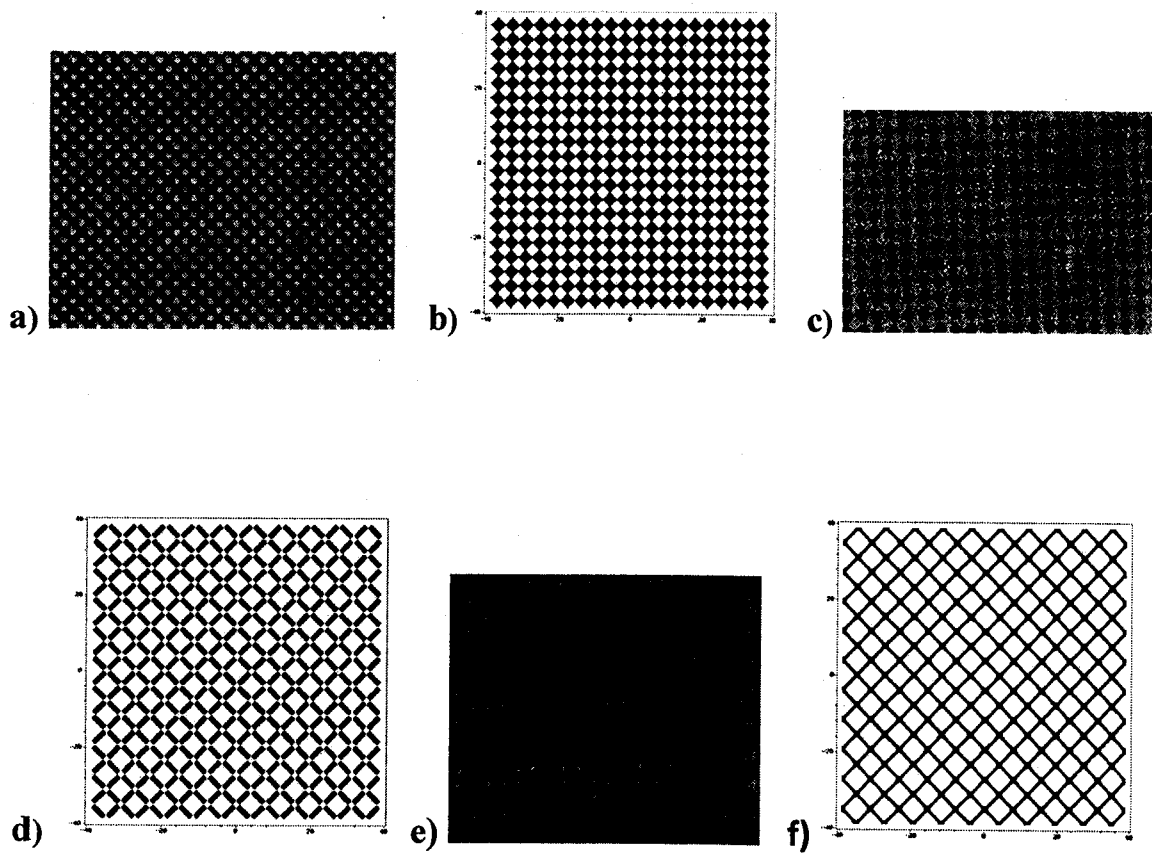


Fig.4

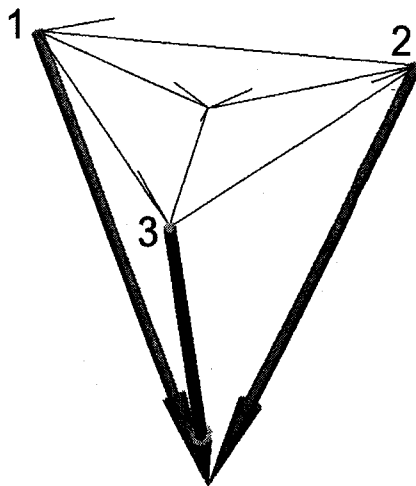
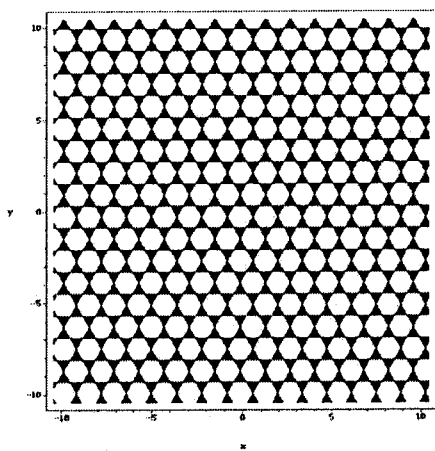
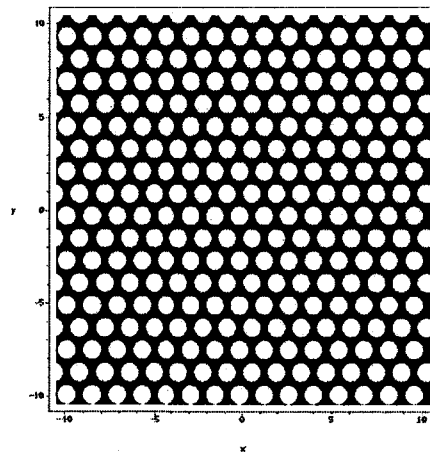


Fig.5



a)



b)

Fig.6

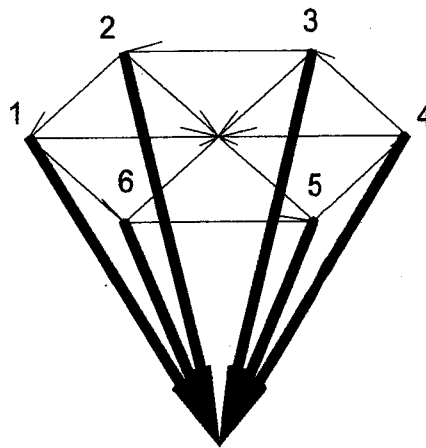
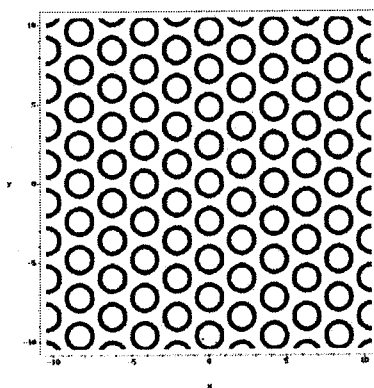
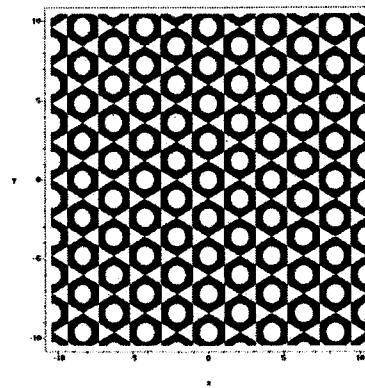


Fig.7



a)



b)

Fig.8

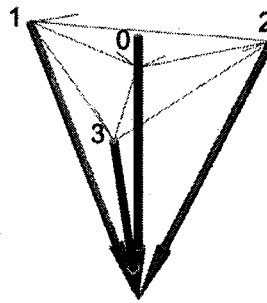
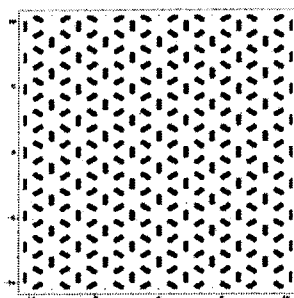
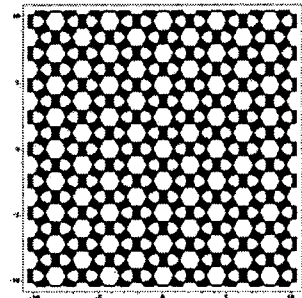


Fig.9



a)



b)

Fig.10

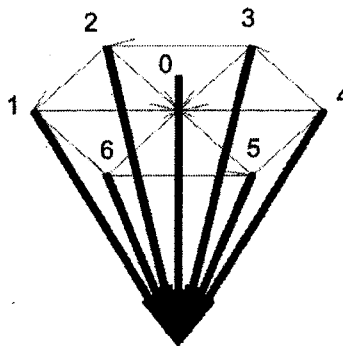
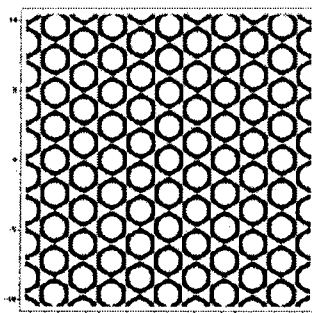
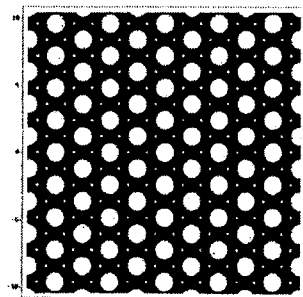


Fig.11



a)



b)

Fig.12

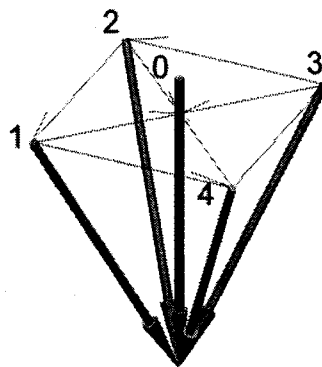


Fig.13

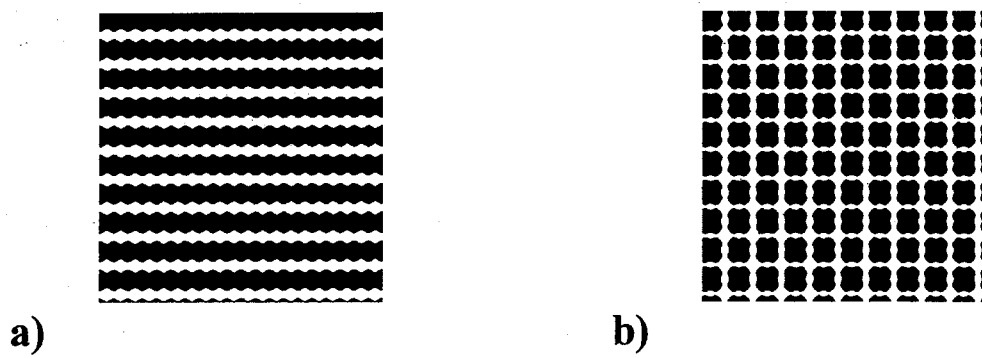


Fig.14