

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2011 00744

(22) Data de depozit: 28.07.2011

(41) Data publicării cererii:
30.12.2013 BOPI nr. 12/2013

(71) Solicitant:
• ȘANDRU ALEXANDRA,
CALEA 13 SEPTEMBRIE NR. 75-79,
BL. 73-75, SC. C, ET. 5, AP. 63, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ȘCHIOPU PAUL, STR. HELIULUI NR. 8,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• ȘANDRU ALEXANDRA,
CALEA 13 SEPTEMBRIE NR. 75-79,
BL. 73-75, SC. C, ET. 5, AP. 63, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ȘCHIOPU PAUL, STR. HELIULUI NR. 8,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(54) **SISTEM INFORMATIC ȘI METODĂ DE PROIECTARE A REȚELELOR DE DIFRAȚIE CU ARHITECTURĂ FRACTALĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem informatic și la o metodă de proiectare a rețelelor de difracție cu arhitectură fractală. Metoda conform invenției constă din utilizarea prefraclilor de diferite ordine a unor fractali circulari, ca modele de realizare a rețelelor de difracție sau a materialelor artificiale cu structură internă controlată, capabilă să rezoneze la frecvențe din spectrul optic. Sistemul informatic, conform invenției, constă din trei aplicații software dedicate generării a trei modele fractale, și anume: un fractal circular central distribuit, un fractal circular periferic distribuit și un fractal circular uniform distribuit.

Revendicări: 3
Figuri: 3

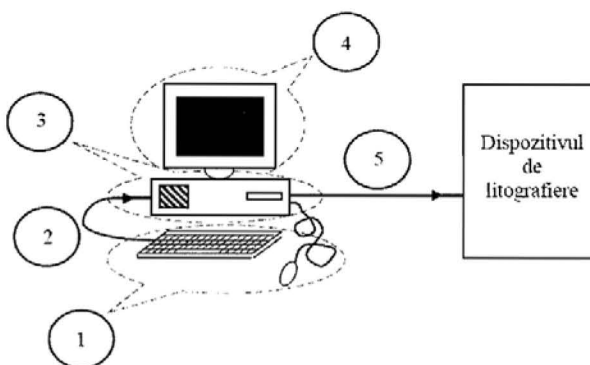
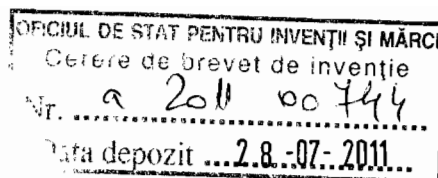


Fig. 1





Sistem informatic si metoda de proiectare a rețelelor de difracție cu arhitectura fractala

Inventia propune o metoda si corespunzator, un sistem informatic de proiectare asistata de calculator a rețelelor de difracție cu arhitectura circular fractala. Metoda este conceputa pentru a optimiza tehnologia actuala de realizare a nanostructurilor 2D bazata pe litografia optica. Puterea de rezoluție a tehnicilor actuale de litografiere optica este dependenta de forma geometrica a profilului pe care acestea trebuie sa il redea. Prin metodele de proiectare a profililor propuse de noi, aceasta rezoluție va fi impinsa catre valoarea maxim posibila a tehnicii in discutie.

Nivelul cel mai inalt atins in momentul de fata in domeniul tehnologiilor litografice s-a datorat implementarii asa-numitelor metode RET (Resolution enhancement technologies) de marire a rezoluției - performantele litografiei optice fiind astfel extinse pana la realizarea de nanostructuri avand dimensiuni cu mult sub lungimea de unda a radiatiei de expunere.

Tehnologiile RET pot fi clasificate in functie de componentele sistemului litografic caruia ii aduc imbunatatiri: rezistenta la expunere a materialelor fotosensibile, masca de expunere sau protectie, sau instrumentele sistemului de expunere. Multe versiuni de RET sunt implementate pentru mastile de expunere/protectie. In general ele se refera fie la modificari ale geometriei figurilor care urmeaza a fi imprimate si/sau la modificari ale fazei, fie la modificari ale amplitudinii luminii ce trece prin masca, fie la o combinatie a acestora. Cea mai intalnita metoda de imbunatatire a modului de redare a formei elementelor care trebuiesc realizate, pe care o vom denumi OPC de la „optical proximity effect correction”, urmareste corectarea efectului optic apropiat. Ea poate fi folosita in abordarea anumitor chestiuni legate de limitarea rezoluției prin difracție.

In cazul 1 dimensional diferitele elemente care urmeaza a fi imprimate pot avea functii de transfer de modulatie (MTF - modulation transfer function) diferite. Din aceasta cauza dimensiunile la imprimare a acestor elemente vor depinde foarte mult de modul in care acestea sunt distribuite: modelul format este discret sau dens. **Aceasta situatie impune adoptarea unor solutii compensatorii suplimentare** constand in schimbarea dimensiunii formelor care trebuiesc imprimate pe masca, astfel incat, in imaginea finala toate elementele sa aiba dimensiunea corecta, indiferent de proximitatea optica a acestora in cadrul configuratiei.

La urmatorul nivel de complexitate (cazul bidimensional), solutia consta in adaugarea de procedee suplimentare care sa compenseze fenomenul natural de rotunjire al colturilor in unghi drept, astfel ca, in inagimea finala contururile sa semene cat mai bine cu cele de pe masca. **Dezavantajul acestei metode** consta in complexitatea realizarii mastilor necesare, cu repercursiuni directe in costul de fabricare al acestora. Folosirea procedurilor aditionale la care ne-am referit poate avea un efect semnificativ asupra volumului datelor necesare pentru descrierea mastii, asupra timpului de scriere al acesteia, care se bazeaza pe folosirea sistemului cu fascicul de electroni ca si asupra timpului de inspectare a procesului de fabricatie in vederea evitarii defectelor. Pentru a compensa toate distorsiunile elementelor cauzate de difracie, cele mai sofisticate tehnici OPC (pentru cazurile tridimensionale) folosesc modele bazate pe solutiile complete ale ecuatiilor lui Maxwell in planul imaginii. Aceasta metoda este insa foarte laborioasa si adauga costuri considerabile in realizarea mastilor.

In ideea de a compensa informatiile referitoare la amplitudinea imaginii si astfel de a imbunatati performantele acesteia, mastile pot fi folosite pentru a imprima structurii modelate informatii referitoare la faza. Acest tip de masti sunt numite „mastii cu schimbare de faza” (PSM-phase-shift masks). **Dezavantajele legate de aceasta tehnica** se refera la dificultatea gasirii unei modalitati de determinare a zonelor cu schimbare de faza si a celor fara schimbare de faza care sunt situate la capatul configuratiilor care se doresc realizate.

O ultima modalitate de imbunatatire a rezolutiei cuprinde metodele de imbunatatire a iluminarii. Limita rezolutiei exprimata prin criteriul lui Rayleigh releva faptul ca primul ordin de difracie al luminii venite de la masca trebuie sa fie capturat de lentila pentru ca informatia referitoare la imagine sa fie transferata de catre sistemul optic. In iluminarea de tip „off-axis” (denumita prescurtat, OAI de la „off-axis illumination”) masca este iluminata oblic cu scopul de a captura unul dintre primele ordine de difracie pe care le produce, permitandu-i in acelasi timp si celui de ordinul 0 sa treaca. Cu alte cuvinte performanta rezolutiei poate fi dublata in principal, deoarece apertura lentilei cuprinde acum ordinul zero si unul dintre primele ordine de difracie, in timp ce la sistemele conventionale apertura cuprinde numai o combinatie a ordinelor -1 si $+1$. **In practica, aceasta metoda este limitata**, totusi, de faptul ca iluminarea trebuie adaptata la modelul de pe masca folosit, deoarece fenomenul de difracie difera de la un model de masca la altul. Pentru a spori performantele de fabricatie, pentru anumite tipuri de configuratii sunt alese tipuri de iluminare specifice precum iluminarea circulara sau iluminarea cu simetrie cvadripolara.

Printarea formelor geometrice la scale cat mai apropiate de limitele difracției nu este posibilă în afara unei anumite toleranțe de fabricare. Din acest motiv, în încercările de acest gen, se impune ca între sursa de iluminare și configurația geometrică a măștii să existe o bună corelare. O astfel de corelare cere ca profilul geometric al măștii să aibă forme curbilinii. De exemplu, în cazul iluminării circulare cea mai bună formă care poate fi printată este cea a unui inel circular.

Un alt argument în favoarea extinderii gradului de utilizare al măștilor cu configurații circulare constă în faptul că, de curând, membrii „eBeam Initiative” au introdus o nouă abordare care postulează natura circulară a tehnologiei e-beam pentru a depăși impasul dintre nevoia de extindere a viabilității litografiei optice și considerațiile de natură practică care vizează timpul de scriere și costurile de utilizare.

Deși natura radiativă fundamentală a luminii este circulară, totuși, sistemele CAD (computer aided design) și sistemele litografice cu fascicul de formă variabilă (VSM- variable-shaped beam) au folosit și încă mai sunt tentate să folosească formele dreptunghiulare ca bază pentru geometria măștilor. Acest lucru se explică prin faptul că măștile cu geometrie dreptunghiulară sunt mai ușor și mai rapid de procesat decât formele circulare sau cele curbă. Ca urmare măștile se proiectează, și astăzi, de regulă în configurații rectilinii, deși această abordare este, așa cum am mai semnalat, în dezacord total cu natura luminii. Până de curând folosirea dreptunghiurilor a fost o soluție inginerască viabilă, dar pentru ordine de mărime nanometrice posibilitatea folosirii cercurilor pentru litografia măștilor devine critică, atât în ceea ce privește design-ul, cât și fabricarea lor. Implementarea cercurilor în litografie fiind realizabilă astăzi prin combinarea tehnologiei CAD cu tehnologia "e-beam".

Orice metodă de realizare a măștilor cu arhitectura circulară este viabilă numai dacă ea poate crea forme circulare în timp util. În acest sens există deja numeroase încercări. Firma "D2S, Inc." a creat un instrument de proiectare a măștilor cu configurație circulară care este compatibil cu tehnologia scrierii cu fasciculul de electroni. Această metodă se folosește de capacitatea de decupare a formelor rotunjite cu ajutorul unui fascicul de electroni pentru a descompune figurile geometrice care urmează să fie trasate pe mască în fracțiuni circulare. În cazul în care figurile de reprodus conțin și elemente liniare, **nici această metodă nu este pe deplin avantajoasă.**

Concluzii: Din analiza intreprinsa mai sus rezulta ca realizarea unor imprimeuri la limita ordinului de marime a tehnologiilor bazate pe metoda litografiei optice presupune proiectarea unor profile cu arhitectura circulara.

Nota: Pentru o mai detaliata cunoastere a stadiului actual al tehnologiilor de litografiere indicam urmatoarele surse bibliografice :

- [1] Boltasseva, A.; Shalaev, V. M. Fabrication of optical negative-index metamaterials: Recent advances and outlook, *Sci. Dir., Metamaterials 2*, **2008**, 1-17.
- [2] Cai, W.; Shalaev, V., *Optical Metamaterials Fundamentals and Applications*, Springer: New York, 2010.
- [3] Di Ventra, M.; Evoy, S.; Heflin, J. R. Jr, Eds. *Introduction to Nanoscale Science and Technology*, Kluwer Academic Publishers: Boston, 2004.

Principalele probleme pe care le rezolvă invenția pot fi calificate, dupa specificul lor, in doua categorii: unele care urmaresc optimizarea performantelor tehnologiilor actuale astfel incat acestea sa ramana eficiente si la ordine de marime nanometrice si altele care urmaresc dezvoltarea instrumentelor necesare pentru transpunerea in practica a solutiilor preconizate pentru problemele din prima categorie. Rezolvarea problemelor din prima categorie constă în definirea unor prototipuri de configuratii cu dublu rol : 1) sa poata fi realizabile la maximul puterii de rezolutie a tehnologiei bazate pe litografia optica si 2) sa permita proiectarea dispozitivelor optice cu proprietatile fizice scontate. Pe de alta parte, rezolvarea problemelor din cea de a doua categorie consta in realizarea unui sistem informatic capabil sa indeplineasca la randul sau, doua functii fundamentale: 1) sa monitorizeze, prin proiectie grafica, procesul de proiectare a configuratiilor geometrice destinate sa raspunda unei liste predefinite de cerinte, si 2) sa monitorizeze, prin feedback cu dispozitivul de litografiere optica, procesul de fabricare efectiva a structurilor proiectate.

Metoda conform inventiei inlatură dezavantajele semnalate in cadrul practicilor actuale prin aceea ca in procesul de realizare a unei structuri cu arhitectura circulara este simplificat substantial procedeul de scriere din cadrul procesului de fabricare, fiind totodata micșorat si timpul de scriere al acestora, nu mai este nevoie de aplicarea unor proceduri aditionale (OPC), si in plus tehnologia "e-beam" folosita la scriere, este in deplina concordanta cu natura radiativa a luminii. Un alt avantaj al acestui gen de materiale optice artificiale este ca

permite (pentru realizarea lor) folosirea in continuare a tehnicilor litografiei optice (prelungindu-i astfel utilizarea chiar si pentru realizarea unor elemente de dimensiuni sub limita de difractie).

Sistemul informatic conform inventiei are menirea de a asista intregul proces de productie incepand cu faza de proiectare a prototipului si terminand cu cea de fabricare a lui prin aceea ca permite utilizatorului sa simuleze grafic configuratiile geometrice pe care acesta le gandeste si prin aceea ca monitorizeaza executia finala a produsului.

Inventia prezinta avantajul realizarii unor structuri rezonante la frecvente din spectrul vizibil cu multiple posibilitati de utilizare in domeniul perfectionarii dispozitivelor de optoelectronica. Intr-adevar, cu toate ca in momentul de fata se acorda un interes sporit noilor tehnologii nanolitografice, cum ar fi EBL (electron-beam-lithography), FIB (focused ion beam), IL (inference lithography), sau NIL (nanoimprint lithography), menite sa perfectioneze limitele litografiei clasice, alternativa propusa de noi – de a veni in intampinarea tehnologiilor existente – este mai viabila deoarece tehnologiile de avangarda enumerate mai devreme sunt, pe de o parte, foarte scumpe, foarte greu de utilizat datorita complexitatii lor, necesita un timp de procesare mai indelungat, iar pe de alta parte si ele sunt limitate din punctul de vedere al designului pe care sunt capabile sa il realizeze, fara a mai spune ca unele dintre ele sunt inca in faza de cercetare, cautandu-se inca noi modalitati de imbunatatire a lor.

Se da in continuare un exemplu de realizare a inventiei, in legatura cu figura 1, care prezinta organigrama de realizare a metodei prin intermediul sistemului informatic propus, cu figurile 2 - 4 care prezinta modul de generare al celor trei tipuri de fractali⁽¹⁾ pe care se bazeaza construirea retelelor de difractie promovate in acest memoriu, respectiv si a altor tipuri de structuri rezonante la frecvente din spectrul luminos⁽²⁾, cu figurile 5-7 care ilustreaza schemele logice de functionare ale celor trei aplicatii software⁽³⁾ care monitorizeaza procesul de proiectare al dispozitivelor optice mentionate mai devreme si al tabelor 1-3 care exemplifica modul in care sistemul nostru informatic genereaza coordonatele centrelor si razele discurilor care trebuiesc excluse din membrana suport a dispozitivului optic pe care dorim sa il realizam.

⁽¹⁾ Paternitatea definirii fractalilor circulari prezentati in acest memoriu apartine exclusiv primului dintre cei doi semnatori ai acestuia.

⁽²⁾ Ideea proiectarii retelelor de difractie dupa modelul fractalilor circulari apartine in exclusivitate tot primului autor al acestui memoriu.

⁽³⁾ Realizarea celor trei aplicatii software, inclusiv modelele matematice care stau la baza acestora apartin de asemenea primului autor al acestui memoriu.

Metoda conform invenției constă în utilizarea prefractalilor de diferite ordine ai fractalilor circulari definiți mai jos ca modele de realizare a rețelelor de difracție sau a materialelor artificiale cu structura internă controlată capabile să rezoneze la frecvențe din spectrul optic.

Fractalul circular central distribuit - mod de generare: Se consideră un disc de rază $R > 0$ în interiorul căruia construim 7 subdiscuri de rază $R/3$ având interioarele disjuncte două câte două (vezi Figura 1 (a)). Din discul de rază R decupăm cele 6 subdiscuri marginale/periferice (care nu sunt concentrice cu discul de rază R) construite mai devreme (vezi Figura 1 (b)). Apoi repetăm procedeul prezentat în subdiscul central rămas (subdiscul de rază $R/3$ concentric cu discul inițial). Apoi în sub-subdiscul central de rază $R/9$ rămas după excluderea din subdiscul de rază $R/3$ a sub-subdiscurilor marginale de rază $R/9$ s.a.m.d (a se vedea Figurile 1 (c) și 1 (d)). În felul acesta se obține un fractal pe care îl vom numi fractal circular central distribuit.

Fractalul circular periferic distribuit - mod de generare: Se consideră un disc de rază $R > 0$ în interiorul căruia construim 7 subdiscuri de rază $R/3$ având interioarele disjuncte două câte două (vezi Figura 2 (a)). Din discul de rază R decupăm subdiscul central (concentric cu discul de rază R) construit mai devreme (vezi Figura 2 (b)). Apoi repetăm procedeul prezentat în cele 6 subdiscuri marginale/periferice rămase (subdiscurile de rază $R/3$ neconcentrice cu discul inițial, sau tangente la circumferința discului inițial). Apoi în cele 36 de sub-subdiscuri periferice de rază $R/9$ rămase după excluderea din cele 6 subdiscuri periferice de rază $R/3$ a sub-subdiscurilor centrale de rază $R/9$, s.a.m.d (a se vedea Figurile 2 (c) și 2 (d)). În felul acesta se obține un fractal pe care îl vom numi fractal circular periferic distribuit.

Fractalul circular uniform distribuit - mod de generare: Considerăm un cerc de rază $R > 0$ în interiorul căruia construim 7 subcercuri de rază $R/3$ având interioarele disjuncte două câte două (vezi Figura 3 (a)). Apoi repetăm procedeul prezentat în fiecare din cele 7 subcercuri trasate mai devreme (vezi Figura 3 (b)). Apoi în cele 49 de sub-subcercuri de rază $R/9$ obținute la punctul precedent (a se vedea Figura 3 (c)), s.a.m.d. În felul acesta se obține un fractal pe care îl vom numi fractal circular uniform distribuit.

Sistemul informatic conform invenției constă din câte o aplicație software dedicată fiecăruia dintre cele trei modele fractale definite mai devreme. Cele trei aplicații sunt structurate să funcționeze după următoarea schemă :

La pasul intai utilizatorul este invitat sa indice raza r a celor mai mici discuri care vor fi indepartate din suprafata suport a prefractalului care se doreste confectionat. **La pasul doi** utilizatorul este invitat sa indice distanta d dintre doua aperturi vecine. **La pasul trei** computerul cere utilizatorului sa îi indice raza R a discului suport, cel in interiorul caruia va fi desenat prefractalul. Pe baza acestor informatii aplicatia software utilizata calculeaza ordinul n al celui mai mare prefractal care poate fi construit in interiorul discului de raza R , precum si raza R_n a celui mai mic disc care poate include prefractalul de ordinul n determinat mai devreme. Deoarece nu întotdeauna R_n coincide cu R , (relatia permanenta dintre acesti doi parametrii fiind $R_n \leq R, \forall n \geq 1$) calculatorul indica utilizatorului, ca variata de lucru, raza R_{n+1} a discului minimal ce poate gazdui prefractalul de ordinul $n+1$. Deoarece intre marimile mentionate mai devreme exista relatia $R_n \leq R \leq R_{n+1}$, utilizatorul este invitat de catre computer sa aleaga una dintre variantele $R = R_n$, sau $R = R_{n+1}$. In functie de alegerea facuta de utilizator, computerul va reprezinta grafic unul dintre prefractalii de ordinul n , sau $n+1$, indicand totodata coordonatele centrelor si razele subdiscurilor care se indeparteaza din discul suport (discul de raza R). Acesti parametrii sunt salvati in trei fisiere distincte, unul care contine abscisele centrelor mentionate, altul care contine ordonatele acestor centre si altul care contine razele subdiscurilor avand aceste centre.

Foarte important pentru tehnologiile de realizare efectiva a prefractalilor de acest tip este faptul ca aplicatiile noastre sunt concepute sa genereze coordonetele centrelor aperturilor care trebuiesc decupate precum si razele corespunzatoare acestora, incat intregul proces de fabricare sa poata fi coordonat prin intermediul calculatorului. Pentru o mai buna intelegere a modului de lucru cu cele trei aplicatii softare precum si a utilitatii lor practice, in tabelele 1, 2 si 3 am reprodus parametrii constructivi ai unor prefractali apartinand tuturor tipurilor de fractali circulari introdusi de noi, iar in figurile 5, 6 si 7 am prezentat setarile transmise de utilizator aplicatiilor software in acest sens, precum si informatiile oferite de aceste aplicatii utilizatorului, pe parcursul functionarii lor. In aceste exemple unitatea de masura folosita este nanometrul.

REVENDICARI

1. Metoda de maximizare a performantelor tehnologiilor bazate pe litografierea optica - constand in promovarea configuratiilor geometrice proiectate dupa arhitectura fractalilor circulari definiti de noi.

2. Sistemul informatic de asistare a utilizatorului in timpul proiectarii configuratiilor geometrice, care urmeaza a fi litografiate, si de monitorizare a intregului process de fabricare a produsului final caracterizat prin acea ca:

(i) Oferă utilizatorului posibilitatea sa aleaga parametrii de lucru potriviti si apoi sa vizualizeze graphic structura obtinuta.

(ii) Genereaza coordonatele spatiale si razele discurilor care urmeaza a fi litografiate.

(iii) Raspunde de transmiterea comenzilor de executie catre componentele instalatiei de litografiere propiu-zisa.

3. Dispozitivele optice realizate pe baza metodei si/sau sistemului informatic conform revendicarilor 1 si 2.

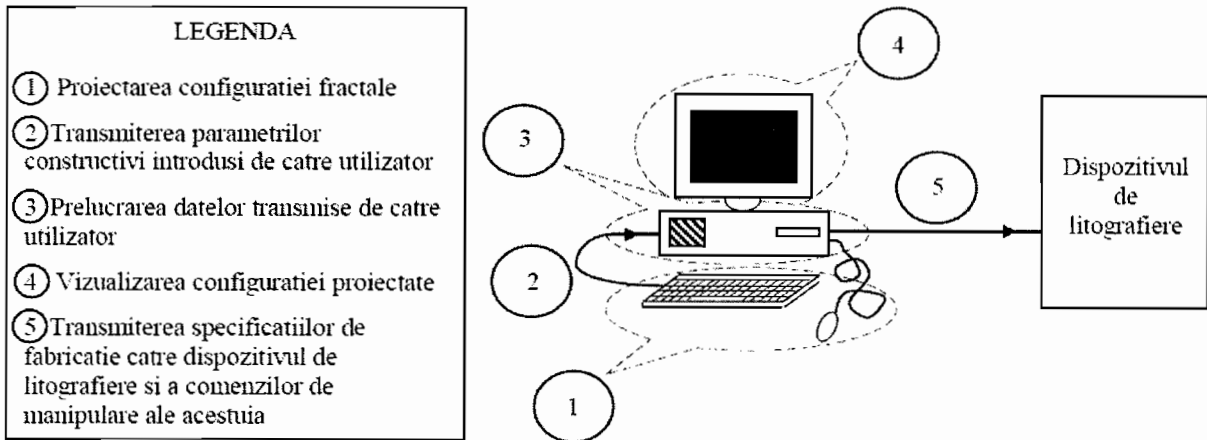


Figura 1. Functiile sistemului informatic de asistare a procesului de proiectare si de monitorizare a procesului de fabricare a structurilor artificiale destinate aplicatiilor optoelectronice.

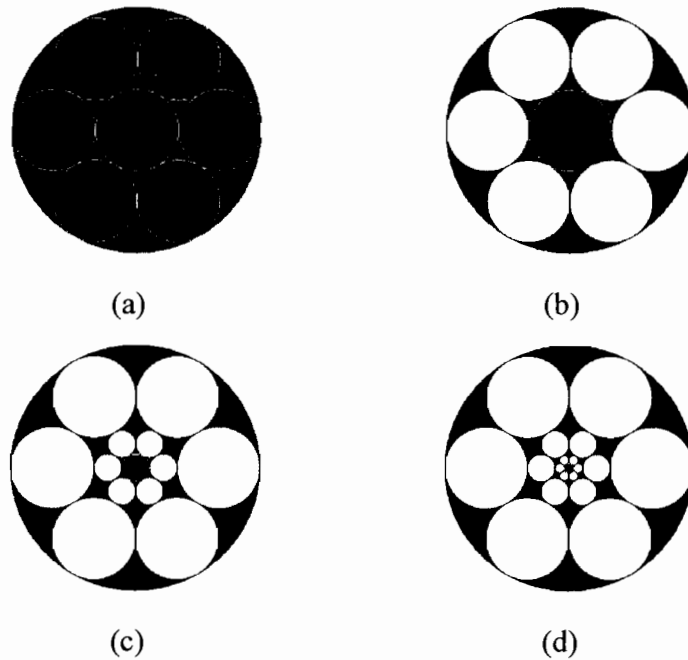


Figura 2. Reprezentarea grafica a modului de generare a fractalului circular central distribuit. (a) prefractalul circular central distribuit de ordinul 1. (b) prefractalul circular central distribuit de ordinul 2. (c) prefractalul circular central distribuit de ordinul 3.

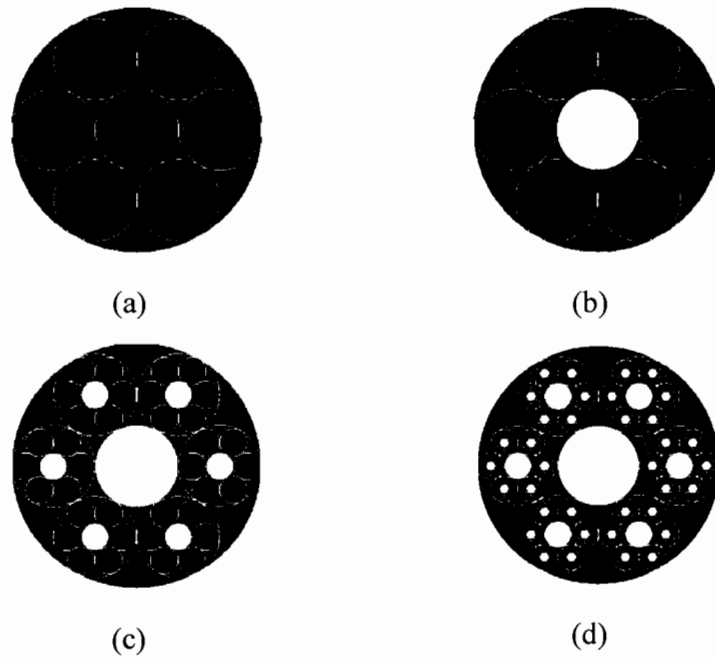


Figura 3. Reprezentarea grafica a modului de generare a fractalului circular periferic distribuit. (a) prefractalul circular periferic distribuit de ordinul 1. (b) prefractalul circular periferic distribuit de ordinul 2. (c) prefractalul circular periferic distribuit de ordinul 3.

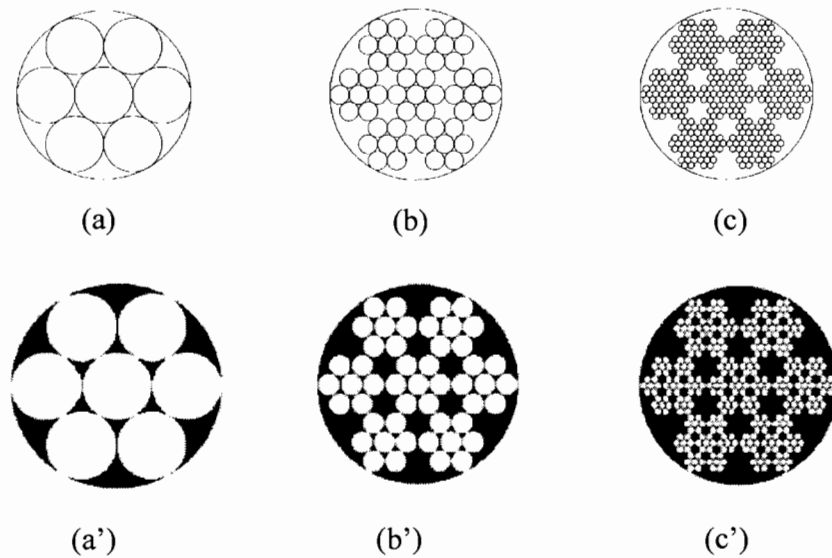


Figura 4. Reprezentarea grafica a modului de generare a fractalului circular uniform distribuit. (a) trasarea si (a') realizarea prefractalului circular uniform distribuit de ordinul 1. (b) trasarea si (b') realizarea prefractalului circular uniform distribuit de ordinul 2. (c) trasarea si (c') realizarea prefractalului circular uniform distribuit de ordinul 3.

x	y	r	x	y	r	x	y	r
100	0	50	300	0	150	900	0	450
50	86.6025	50	150	259.808	150	450	779.423	450
-50	86.6025	50	-150	259.808	150	-450	779.423	450
-100	2.84217e-014	50	-300	5.68434e-014	150	-900	3.97904e-013	450
-50	-86.6025	50	-150	-259.808	150	-450	-779.423	450
50	-86.6025	50	150	-259.808	150	450	-779.423	450
2700	0	1350	-	2338.27	1350	-1350	-2338.27	1350
1350	2338.27	1350	-	9.09495e-013	1350	1350	-2338.27	1350

Tabelul 1. Parametrii constructivi ai prefractalului circular central distribuit de ordinul 4 avand raza minima egala cu 50 nm. In acest tabel (x, y) reprezinta coordonatele centrului, iar r , raza aperturii care trebuie decupata din suportul prefractalului.

x	y	r	x	y	r	x	y	r
0	0	1350	2400	2078.46	50	-3000	1039.23	50
2700	0	450	-1350	2338.27	450	-1350	-2338.27	450
3600	0	150	-1800	3117.69	150	-1800	-3117.69	150
3900	0	50	-1950	3377.5	50	-1950	-3377.5	50
3750	259.808	50	-2100	3117.69	50	-1650	-3377.5	50
3450	259.808	50	-1950	2857.88	50	-1500	-3117.69	50
3300	5.68434e-014	50	-1650	2857.88	50	-1650	-2857.88	50
3450	-259.808	50	-1500	3117.69	50	-1950	-2857.88	50
3750	-259.808	50	-1650	3377.5	50	-2100	-3117.69	50
3150	779.423	150	-2250	2338.27	150	-900	-3117.69	150
3300	1039.23	50	-2550	2338.27	50	-750	-3377.5	50
3000	1039.23	50	-2400	2078.46	50	-600	-3117.69	50
2850	779.423	50	-2100	2078.46	50	-750	-2857.88	50
3000	519.615	50	-1950	2338.27	50	-1050	-2857.88	50
3300	519.615	50	-2100	2598.08	50	-1200	-3117.69	50
3450	779.423	50	-2400	2598.08	50	-1050	-3377.5	50
2250	779.423	150	-1800	1558.85	150	-450	-2338.27	150
2100	1039.23	50	-1950	1299.04	50	-150	-2338.27	50
1950	779.423	50	-1650	1299.04	50	-300	-2078.46	50
2100	519.615	50	-1500	1558.85	50	-600	-2078.46	50
2400	519.615	50	-1650	1818.65	50	-750	-2338.27	50
2550	779.423	50	-1950	1818.65	50	-600	-2598.08	50
2400	1039.23	50	-2100	1558.85	50	-300	-2598.08	50
1800	3.97904e013	150	-900	1558.85	150	-900	-1558.85	150
1500	2.273-74e-013	50	-750	1299.04	50	-750	-1299.04	50
1650	-259.808	50	-600	1558.85	50	-1050	-1299.04	50
1950	-259.808	50	-750	1818.65	50	-1200	-1558.85	50

2100	5.68434e-014	50	-1050	1818.65	50	-1050	-1818.65	50
1950	259.808	50	-1200	1558.85	50	-750	-1818.65	50
1650	259.808	50	-1050	1299.04	50	-600	-1558.85	50
2250	-779.423	150	-450	2338.27	150	-1800	-1558.85	150
2100	-1039.23	50	-150	2338.27	50	-1950	-1299.04	50
2400	-1039.23	50	-300	2598.08	50	-2100	-1558.85	50
2550	-779.423	50	-600	2598.08	50	-1950	-1818.65	50
2400	-519.615	50	-750	2338.27	50	-1650	-1818.65	50
2100	-519.615	50	-600	2078.46	50	-1500	-1558.85	50
1950	-779.423	50	-300	2078.46	50	-1650	-1299.04	50
3150	-779.423	150	-900	3117.69	150	-2250	-2338.27	150
3300	-1039.23	50	-750	3377.5	50	-2550	-2338.27	50
3450	-779.423	50	-1050	3377.5	50	-2400	-2598.08	50
3300	-519.615	50	-1200	3117.69	50	-2100	-2598.08	50
3000	-519.615	50	-1050	2857.88	50	-1950	-2338.27	50
2850	-779.423	50	-750	2857.88	50	-2100	-2078.46	50
3000	-1039.23	50	-600	3117.69	50	-2400	-2078.46	50
1350	2338.27	450	-2700	9.09495e-013	450	1350	-2338.27	450
1800	3117.69	150	-3600	1.59162e-012	150	1800	-3117.69	150
1950	3377.5	50	-3900	1.81899e-012	50	1950	-3377.5	50
1650	3377.5	50	-3750	-259.808	50	2100	-3117.69	50
1500	3117.69	50	-3450	-259.808	50	1950	-2857.88	50
1650	2857.88	50	-3300	1.59162e-012	50	1650	-2857.88	50
1950	2857.88	50	-3450	259.808	50	1500	-3117.69	50
2100	3117.69	50	-3750	259.808	50	1650	-3377.5	50
900	3117.69	150	-3150	-779.423	150	2250	-2338.27	150
750	3377.5	50	-3300	-1039.23	50	2550	-2338.27	50
600	3117.69	50	-3000	-1039.23	50	2400	-2078.46	50
750	2857.88	50	-2850	-779.423	50	2100	-2078.46	50
1050	2857.88	50	-3000	-519.615	50	1950	-2338.27	50
1200	3117.69	50	-3300	-519.615	50	2100	-2598.08	50
1050	3377.5	50	-3450	-779.423	50	2400	-2598.08	50
450	2338.27	150	-2250	-779.423	150	1800	-1558.85	150
150	2338.27	50	-2100	-1039.23	50	1950	-1299.04	50
300	2078.46	50	-1950	-779.423	50	1650	-1299.04	50
600	2078.46	50	-2100	-519.615	50	1500	-1558.85	50
750	2338.27	50	-2400	-519.615	50	1650	-1818.65	50
600	2598.08	50	-2550	-779.423	50	1950	-1818.65	50
300	2598.08	50	-2400	-1039.23	50	2100	-1558.85	50
900	1558.85	150	-1800	3.41061e-013	150	900	-1558.85	150
750	1299.04	50	-1500	1.13687e-013	50	750	-1299.04	50
1050	1299.04	50	-1650	259.808	50	600	-1558.85	50
1200	1558.85	50	-1950	259.808	50	750	-1818.65	50
1050	1818.65	50	-2100	7.95808e-013	50	1050	-1818.65	50
750	1818.65	50	-1950	-259.808	50	1200	-1558.85	50
600	1558.85	50	-1650	-259.808	50	1050	-1299.04	50
1800	1558.85	150	-2250	779.423	150	450	-2338.27	150
1950	1299.04	50	-2100	1039.23	50	150	-2338.27	50
2100	1558.85	50	-2400	1039.23	50	300	-2598.08	50

1950	1818.65	50	-2550	779.423	50	600	-2598.08	50
1650	1818.65	50	-2400	519.615	50	750	-2338.27	50
1500	1558.85	50	-2100	519.615	50	600	-2078.46	50
1650	1299.04	50	-1950	779.423	50	300	-2078.46	50
2250	2338.27	150	-3150	779.423	150	900	-3117.69	150
2550	2338.27	50	-3300	1039.23	50	750	-3377.5	50
2400	2598.08	50	-3450	779.423	50	1050	-3377.5	50
2100	2598.08	50	-3300	519.615	50	1200	-3117.69	50
1950	2338.27	50	-3000	519.615	50	1050	-2857.88	50
2100	2078.46	50	-2850	779.423	50	750	-2857.88	50

Tabelul 2. Parametrii constructivi ai prefractalului circular periferic distribuit de ordinul 4 avand raza minima egala cu 50 nm. In acest tabel (x, y) reprezinta coordonatele centrului, iar r , raza aperturii care trebuie decupata din suportul prefractalului.

x	y	r	x	y	r	x	y	r	x	y	r
0	0	50	800	800	50	-550	-550	50	-700	-700	50
100	100	50	850	850	50	-650	-650	50	-300	-300	50
50	50	50	800	800	50	-700	-700	50	-250	-250	50
-50	-50	50	700	700	50	-300	-300	50	-200	-200	50
-100	-100	50	650	650	50	-250	-250	50	-250	-250	50
-50	-50	50	1050	1050	50	-200	-200	50	-350	-350	50
50	50	50	1100	1100	50	-250	-250	50	-400	-400	50
300	300	50	1150	1150	50	-350	-350	50	-350	-350	50
400	400	50	1100	1100	50	-400	-400	50	-150	-150	50
350	350	50	1000	1000	50	-350	-350	50	-50	-50	50
250	250	50	950	950	50	-150	-150	50	-100	-100	50
200	200	50	1000	1000	50	-50	-50	50	-200	-200	50
250	250	50	450	450	50	-100	-100	50	-250	-250	50
350	350	50	500	500	50	-200	-200	50	-200	-200	50
150	150	50	400	400	50	-250	-250	50	-100	-100	50
200	200	50	350	350	50	-200	-200	50	-300	-300	50
100	100	50	400	400	50	-100	-100	50	-250	-250	50
50	50	50	500	500	50	-300	-300	50	-350	-350	50
100	100	50	550	550	50	-250	-250	50	-400	-400	50
200	200	50	600	600	50	-350	-350	50	-350	-350	50
250	250	50	650	650	50	-400	-400	50	-250	-250	50
-150	-150	50	550	550	50	-350	-350	50	-200	-200	50
-200	-200	50	500	500	50	-250	-250	50	-600	-600	50
-250	-250	50	550	550	50	-200	-200	50	-650	-650	50
-200	-200	50	650	650	50	-900	-900	50	-700	-700	50
-100	-100	50	700	700	50	-1000	-1000	50	-650	-650	50
-50	-50	50	300	300	50	-950	-950	50	-550	-550	50
-100	-100	50	250	250	50	-850	-850	50	-500	-500	50

-300	-300	50	200	200	50	-800	-800	50	-550	-550	50
-400	-400	50	250	250	50	-850	-850	50	-750	-750	50
-350	-350	50	350	350	50	-950	-950	50	-850	-850	50
-250	-250	50	400	400	50	-1200	-1200	50	-800	-800	50
-200	-200	50	350	350	50	-1300	-1300	50	-700	-700	50
-250	-250	50	150	150	50	-1250	-1250	50	-650	-650	50
-350	-350	50	50	50	50	-1150	-1150	50	-700	-700	50
-150	-150	50	100	100	50	-1100	-1100	50	-800	-800	50
-200	-200	50	200	200	50	-1150	-1150	50	450	450	50
-100	-100	50	250	250	50	-1250	-1250	50	500	500	50
-50	-50	50	200	200	50	-1050	-1050	50	550	550	50
-100	-100	50	100	100	50	-1100	-1100	50	500	500	50
-200	-200	50	300	300	50	-1000	-1000	50	400	400	50
-250	-250	50	250	250	50	-950	-950	50	350	350	50
150	150	50	350	350	50	-1000	-1000	50	400	400	50
200	200	50	400	400	50	-1100	-1100	50	600	600	50
250	250	50	350	350	50	-1150	-1150	50	650	650	50
200	200	50	250	250	50	-750	-750	50	700	700	50
100	100	50	200	200	50	-700	-700	50	650	650	50
50	50	50	600	600	50	-650	-650	50	550	550	50
100	100	50	650	650	50	-700	-700	50	500	500	50
900	900	50	700	700	50	-800	-800	50	550	550	50
1000	1000	50	650	650	50	-850	-850	50	750	750	50
950	950	50	550	550	50	-800	-800	50	850	850	50
850	850	50	500	500	50	-600	-600	50	800	800	50
800	800	50	550	550	50	-500	-500	50	700	700	50
850	850	50	750	750	50	-550	-550	50	650	650	50
950	950	50	850	850	50	-650	-650	50	700	700	50
1200	1200	50	800	800	50	-700	-700	50	800	800	50
1300	1300	50	700	700	50	-650	-650	50	600	600	50
1250	1250	50	650	650	50	-550	-550	50	650	650	50
1150	1150	50	700	700	50	-750	-750	50	550	550	50
1100	1100	50	800	800	50	-700	-700	50	500	500	50
1150	1150	50	-450	-450	50	-800	-800	50	550	550	50
1250	1250	50	-500	-500	50	-850	-850	50	650	650	50
1050	1050	50	-550	-550	50	-800	-800	50	700	700	50
1100	1100	50	-500	-500	50	-700	-700	50	300	300	50
1000	1000	50	-400	-400	50	-650	-650	50	250	250	50
950	950	50	-350	-350	50	-1050	-1050	50	200	200	50
1000	1000	50	-400	-400	50	-1100	-1100	50	250	250	50
1100	1100	50	-600	-600	50	-1150	-1150	50	350	350	50
1150	1150	50	-650	-650	50	-1100	-1100	50	400	400	50
750	750	50	-700	-700	50	-1000	-1000	50	350	350	50
700	700	50	-650	-650	50	-950	-950	50	150	150	50
650	650	50	-550	-550	50	-1000	-1000	50	50	50	50

700	700	50	-500	-500	50	-450	-450	50	100	100	50
800	800	50	-550	-550	50	-500	-500	50	200	200	50
850	850	50	-750	-750	50	-400	-400	50	250	250	50
800	800	50	-850	-850	50	-350	-350	50	200	200	50
600	600	50	-800	-800	50	-400	-400	50	100	100	50
500	500	50	-700	-700	50	-500	-500	50	300	300	50
550	550	50	-650	-650	50	-550	-550	50	250	250	50
650	650	50	-700	-700	50	-600	-600	50	350	350	50
700	700	50	-800	-800	50	-650	-650	50	400	400	50
650	650	50	-600	-600	50	-550	-550	50	350	350	50
550	550	50	-650	-650	50	-500	-500	50	250	250	50
750	750	50	-550	-550	50	-550	-550	50	200	200	50
700	700	50	-500	-500	50	-650	-650	50			

Tabelul 3. Parametrii constructivi ai prefractalului circular uniform distribuit de ordinul 3 avand raza minima egala cu 50 nm. In acest tabel (x, y) reprezinta coordonatele centrului, iar r , raza aperturii care trebuie decupata din suportul prefractalului.

Observatie: In cazul fractalului circular uniform distribuit am reprodus parametrii constructivi ai unui prefractal de ordinul 3 in locul unui prefractal de ordinul 4 ca in exemplele precedente, deoarece in cazul de fata, al unui prefractal de ordinul 4, îi corespund cate 2401 elemente pentru fiecare dintre parametrii x, y si r .

Introduceti raza discului mic, $r = 50$.

Introduceti raza preconizata a discului mare, $R = 4050$.

Introduceti distanta dintre doua discuri alaturate, $d = 0$.

OBSERVATIE:

In raport cu datele introduse de dumneavoastra, raza exacta a discului mare va fi in realitate $R = 4050$.

ALTERNATIVA DE LUCRU:

Daca nu va convine valoarea lui R stabilita de calculator, puteti opta pentru $R = 12150$.

Introduceti valoarea finala a lui, $R = 4050$.

INFORMATII:

Rezultatele programului au fost salvate in fisierele "x_fractal_central_distribuit.txt," "y_fractal_central_distribuit.txt," si "r_fractal_central_distribuit.txt," din directorul dedicat aplicatiei.

Cele trei fisiere generate mai devreme contin fiecare cate 24 de elemente.

Figura 5. Interfata de dialog a aplicatiei dedicate fractalului circular central distribuit cu setarile necesare generarii prefractalului de ordinul 4 avand raza minima egala cu 50 nm.

Introduceti raza discului mic, $r = 50$.

Introduceti raza preconizata a discului mare, $R = 4050$.

OBSERVATIE:

In raport cu datele introduse de dumneavoastra, raza exacta a discului mare va fi in realitate $R = 4050$.

ALTERNATIVA DE LUCRU:

Daca nu va convine valoarea lui R stabilita de calculator, puteti opta pentru $R = 12150$.

Introduceti valoarea finala a lui, $R = 4050$.

INFORMATII:

Rezultatele programului au fost salvate in fisierele "x_fractal_periferic_distribuit.txt", "y_fractal_periferic_distribuit.txt" si "r_fractal_periferic_distribuit.txt", din directorul dedicat aplicatiei.

Cele trei fisiere generate mai devreme contin fiecare cate 259 elemente.

Figura 6. Interfata de dialog a aplicatiei dedicate fractalului circular periferic distribuit cu setarile necesare generarii prefractalului de ordinul 4 avand raza minima egala cu 50 nm.

Introduceti raza discului mic, $r = 50$.

Introduceti raza preconizata a discului mare, $R = 1350$.

Introduceti distanta dintre doua discuri alaturate, $d = 0$.

OBSERVATIE:

In raport cu datele introduse de dumneavoastra, raza exacta a discului mare va fi in realitate $R = 1350$.

ALTERNATIVA DE LUCRU:

Daca nu va convine valoarea lui R stabilita de calculator, puteti opta pentru $R = 4050$.

Introduceti valoarea finala a lui, $R = 1350$.

INFORMATII:

Rezultatele programului au fost salvate in fisierele "x_fractal_uniform_distribuit.txt" si "y_fractal_uniform_distribuit.txt" din directorul dedicat al aplicatiei.

Cele doua fisiere generate mai devreme contin fiecare cate 343 de elemente.

Figura 7. Interfata de dialog a aplicatiei dedicate fractalului circular uniform distribuit cu setarile necesare generarii prefractalului de ordinul 3 avand raza minima egala cu 50 nm.