



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 22 096 T2** 2006.06.01

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 258 054 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 22 096.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP00/00411**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 909 089.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/054225**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.01.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **26.07.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.11.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **17.08.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.06.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01Q 1/36** (2006.01)  
**H01Q 9/04** (2006.01)

(73) Patentinhaber:

**Fractus, S.A., Sant Cugat Del Valles, ES**

(74) Vertreter:

**COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**PUENTE BALIARDA, Carles, E-08391 Tiana, ES;  
ROZAN, Jean, Edouard, E-08029 Barcelona, ES;  
ANGUERA PROS, Jaime, E-12500 Vinaros, ES**

(54) Bezeichnung: **RAUMFÜLLENDE MINIATURANTENNE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Aufgabe der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen eine neue Familie von Antennen verringerter Größe auf der Basis einer innovativen Geometrie, wobei die Geometrie der Kurven als raumfüllende Kurven (SFC) bezeichnet wird. Eine Antenne gilt als Kleinantenne (eine Miniaturantenne), wenn sie im Vergleich zu der Betriebswellenlänge in einen kleinen Bereich gepasst werden kann. Genauer gesagt, wird zum Einstufen einer Antenne als klein die Radiansphäre (radian sphere) als Bezug herangezogen. Die Radiansphäre ist eine imaginäre Sphäre mit Radius gleich der Betriebswellenlänge geteilt durch zwei mal  $\pi$ ; eine Antenne gilt als klein hinsichtlich der Wellenlänge, wenn sie in die genannte Radiansphäre passt.

**[0002]** Fraktalantennen, Resonatoren und Last-Elemente werden in WO 97/06578A1 beschrieben. Daher kann ein fraktal gestaltetes Element verwendet werden, um z.B. eine Antenne zu bilden. Fraktalisieren derartiger Systeme kann die physikalische Größe im Wesentlichen verkleinern, während die erwünschte Impedanz und Verstärkungscharakteristik beibehalten wird.

**[0003]** Eine neue Geometrie, die Geometrie der raumfüllenden Kurven (SFC), wird in der vorliegenden Erfindung definiert und zum Gestalten eines Teils der Antenne verwendet.

**[0004]** Mithilfe dieser neuen Technik kann die Größe der Antenne mit Bezug auf den Stand der Technik verringert werden oder alternativ kann die Antenne, eine feste Größe vorausgesetzt, in Bezug auf eine konventionelle Antenne der gleichen Größe mit einer niedrigeren Frequenz arbeiten.

**[0005]** Die Erfindung ist auf den Bereich der Telekommunikation und konkreter auf die Konstruktion von Antennen mit verringerter Größe anwendbar.

**[0006]** Die grundlegenden Grenzen bei kleinen Antennen wurden theoretisch Mitte der 1940er Jahre von H. Wheeler und L. J. Chu festgelegt. Sie sagten im Grunde genommen aus, dass eine kleine Antenne wegen der in der Antennennähe gespeicherten großen Blindleistung im Vergleich zu der Strahlstärke einen höheren Gütefaktor (Q) hat. Ein solcher hoher Gütefaktor ergibt eine schmale Bandbreite; tatsächlich bedingt die in einer solchen Theorie abgeleitete Grundschwingung bei einer vorgegebenen spezifischen Größe einer kleinen Antenne eine maximale Bandbreite.

**[0007]** In Verbindung mit diesem Phänomen ist auch bekannt, dass eine kleine Antenne einen großen Eingangsblindwiderstand (kapazitiv oder induk-

tiv) aufweist, der gewöhnlich von einer externen Anpassungs-/Belastungsschaltung oder -struktur kompensiert werden muss. Es bedeutet auch, dass es schwierig ist, eine Resonanzantenne in einen Raum zu packen, der hinsichtlich der Wellenlänge bei Resonanz klein ist. Andere charakteristische Eigenschaften einer kleinen Antenne sind ihr kleiner Strahlungswiderstand und ihr geringer Wirkungsgrad.

**[0008]** An der Suche nach Strukturen, die von einem kleinen Raum wirksam strahlen können, besteht ein enormes wirtschaftliches Interesse, besonders im Umfeld von Mobilkommunikationsvorrichtungen (Zellfunktelefonie, Zellfunk-Pagers, tragbare Computer und Datenverarbeitungsgeräte, um nur einige Beispiele zu nennen), wo Größe und Gewicht der tragbaren Geräte klein sein müssen. Nach R. C. Hansen (R. C. Hansen, „Fundamental Limitations on Antennas“, Proc. IEEE, Bd. 69, Nr. 2, Februar 1981) hängt die Leistung einer kleinen Antenne von ihrer Fähigkeit ab, den kleinen verfügbaren Raum im Inneren der die Antenne umgebenden imaginären Radiansphäre effizient zu nutzen.

**[0009]** In der vorliegenden Erfindung wird ein neuer Satz von Geometrien mit der Bezeichnung raumfüllende Kurven (im Folgenden SFC) für den Entwurf und die Konstruktion von kleinen Antennen vorgestellt, die die Leistung anderer klassischer, im Stand der Technik beschriebener Antennen (wie lineare Monopole, Dipole und kreisförmige oder rechteckige Schleifen) verbessern.

**[0010]** Dieses Problem wird mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen werden von den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0011]** Die Inspiration für einige der in der vorliegenden Erfindung beschriebenen Geometrien liegt in den Geometrien, die bereits im 19. Jahrhundert von mehreren Mathematikern wie Guiseppe Peano und David Hilbert untersucht wurden. In allen genannten Fällen wurden die Kurven aus mathematischer Sicht studiert, aber nie für irgendeine praktische technische Anwendung verwendet.

**[0012]** Die Dimension (D) wird oft verwendet, um hoch komplexe geometrische Kurven und Strukturen wie die in der vorliegenden Erfindung beschriebenen zu charakterisieren. Es gibt viele verschiedene mathematische Definitionen für Dimension, in der vorliegenden Druckschrift wird aber die Box-Counting-Dimension (die in der mathematischen Theorie fachkundigen Personen gut bekannt ist) zum Charakterisieren einer Familie von Entwürfen verwendet. In der mathematischen Theorie fachkundige Personen werden erkennen, dass fakultativ ein IFS-(Iterated Function System), MRCM-(Multireduction Copy Machine) oder Networked (vernetzt) MRCM-(Multireduction

Copy Machine)-Algorithmus verwendet werden kann, um einige raumfüllende Kurven wie die in der vorliegenden Erfindung beschriebenen zu konstruieren.

**[0013]** Der springende Punkt der vorliegenden Erfindung ist das Gestalten von einem Teil der Antenne (zum Beispiel wenigstens einem Teil der Arme eines Dipols, wenigstens einem Teil des Arms eines Monopols, dem Umfang des Patches einer Patch-Antenne, des Schlitzes einer Schlitzantenne, des Schleifenumfangs einer Schleifenantenne, des Hornquerschnitts in einer Hornantenne oder des Reflektorumfangs in einer Reflektorantenne) als eine raumfüllende Kurve, d.h. eine Kurve, die bezüglich der physikalischen Länge groß, aber hinsichtlich des Bereichs, in dem die Kurve enthalten sein kann, klein ist. Genauer gesagt, wird in der folgenden Druckschrift die folgende Definition für eine raumfüllende Kurve genutzt: eine Kurve, die aus wenigstens zehn Segmenten zusammengesetzt ist, die so miteinander verbunden sind, dass jedes Segment einen Winkel mit seinen Nachbarn bildet, d.h. kein Paar benachbarter Segmente definiert ein größeres gerades Segment, und wobei die Kurve entlang einer festen geraden Raumrichtung fakultativ periodisch sein kann, wenn, und nur dann, die Periode von einer nichtperiodischen Kurve definiert wird, die aus wenigstens zehn miteinander verbundenen Segmenten zusammengesetzt ist, und kein Paar der genannten benachbarten und verbundenen Segmente ein gerades längeres Segment definiert. Wie auch immer die Gestaltung einer solchen SFC ist, kann sie sich nie selbst an irgendeinem Punkt außer an dem Anfangs- und Endpunkt schneiden (d.h. die ganze Kurve kann als eine geschlossene Kurve oder Schleife angeordnet werden, aber keiner der Teile der Kurve kann eine geschlossene Schleife werden). Eine raumfüllende Kurve kann auf eine flache oder gekrümmte Fläche geschmiegt werden und auf Grund der Winkel zwischen Segmenten ist die physikalische Länge der Kurve immer größer als die einer beliebigen geraden Linie, die in den gleichen Bereich (Oberfläche) wie die genannte raumfüllende Kurve eingepasst werden kann. Außerdem müssen, um die Struktur einer Miniaturantenne gemäß der vorliegenden Erfindung richtig zu gestalten, die Segmente der SFC-Kurven kürzer als ein Zehntel der Freiraumbetriebswellenlänge sein.

**[0014]** Je nach dem Gestaltungsvorgang und der Kurvengeometrie können einige unendlich lange SFC theoretisch konstruiert werden, sodass sie eine Hausdorff-Dimension aufweisen, die größer als ihre topologische Dimension ist. Das heißt, dass es sich hinsichtlich der klassischen euklidischen Geometrie gewöhnlich versteht, dass eine Kurve immer ein Ein-dimensionsobjekt ist; wenn die Kurve aber stark eingerollt ist und ihre physikalische Länge sehr groß ist, neigt die Kurve dazu, Teile der sie tragenden Oberfläche auszufüllen; in diesem Fall kann die Hausdorff-Dimension über die Kurve berechnet werden

(oder wenigstens eine Annäherung von ihr mithilfe des Box-Counting-Algorithmus), was eine Zahl ergibt, die größer als Eins ist. Derartige theoretische unendliche Kurven können nicht physisch konstruiert werden, man kann sich ihnen aber mit SFC-Entwürfen nähern. Die in [Fig. 2](#) und [Fig. 5](#) beschriebenen Kurven **8** und **17** sind einige Beispiele für derartige SFC, die sich einer idealen unendlichen Kurve, die eine Dimension von  $D = 2$  aufweist, nähern.

**[0015]** Der Vorteil der Verwendung von SFC-Kurven in der physikalischen Gestaltung der Antenne ist zweifach:

- (a) Eine bestimmte Betriebsfrequenz oder -wellenlänge vorausgesetzt, kann die Größe der genannten SFC-Antenne mit Bezug auf den Stand der Technik verringert werden.
- (b) Die physikalische Größe der SFC-Kurve vorausgesetzt, kann die genannte SFC-Antenne bei einer niedrigeren Frequenz (einer längeren Wellenlänge) betrieben werden als der Stand der Technik.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0016]** [Fig. 1](#) zeigt einige bestimmte Fälle von SFC-Kurven. Von einer Anfangskurve (**2**) werden andere Kurven (**1**), (**3**) und (**4**) mit mehr als 10 verbundenen Segmenten gebildet. Diese bestimmte Kurvenfamilie wird im Folgenden SZ-Kurven genannt.

**[0017]** [Fig. 2](#) zeigt einen Vergleich zwischen zwei mäanderförmigen Linien vom Stand der Technik und zwei periodischen SFC-Kurven, die aus der SZ-Kurve von [Fig. 1](#) konstruiert sind.

**[0018]** [Fig. 3](#) zeigt eine bestimmte Konfiguration einer SFC-Antenne, die nicht beansprucht wird, sondern lediglich zum Zweck der Information der Öffentlichkeit gezeigt wird. Sie besteht aus drei verschiedenen Konfigurationen eines Dipols, bei dem jeder der zwei Arme völlig als SFC-Kurve (**1**) gestaltet ist.

**[0019]** [Fig. 4](#) zeigt weitere bestimmte Fälle von SFC-Antennen (nicht beansprucht). Sie bestehen aus Monopolantennen.

**[0020]** [Fig. 5](#) zeigt ein Beispiel für eine SFC-Schlitzantenne (nicht beansprucht), bei der der Schlitz als die SFC in [Fig. 1](#) gestaltet ist.

**[0021]** [Fig. 6](#) zeigt einen weiteren Satz von raumfüllenden Kurven (**15 – 20**), die von der Hilbert-Kurve inspiriert sind und im Folgenden Hilbert-Kurven genannt werden. Zum Vergleich wird eine standardmäßige nicht raumfüllende Kurve in (**14**) gezeigt.

**[0022]** [Fig. 7](#) zeigt eine weitere SFC-Schlitzantenne (nicht beansprucht), die auf der raumfüllenden Kurve (**17**) in [Fig. 6](#) basiert.

[0023] [Fig. 8](#) zeigt einen weiteren Satz von raumfüllenden Kurven (24, 25, 26, 27), die im Folgenden ZZ-Kurven genannt werden. Zum Vergleich wird eine konventionelle rechteckige Zickzackkurve (23) gezeigt.

[0024] [Fig. 9](#) zeigt eine Schleifenantenne (nicht beansprucht), die auf Kurve (25) in einer Drahtkonfiguration (oben) basiert. Unten ist die Schleifenantenne 29 auf ein dielektrisches Substrat (10) aufgedruckt.

[0025] [Fig. 10](#) zeigt eine Schlitzschleifenantenne (nicht beansprucht), die auf der SFC (25) in [Fig. 8](#) basiert.

[0026] [Fig. 11](#) zeigt eine Patch-Antenne nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung, bei der der Patch-Umfang nach der SFC (25) gestaltet ist.

[0027] [Fig. 12](#) zeigt eine Aperturantenne (nicht beansprucht), bei der die Apertur (33) an einer leitenden oder supraleitenden Struktur (31) ausgeführt ist, wobei die genannte Apertur mit SFC (25) gestaltet ist.

[0028] [Fig. 13](#) zeigt eine Patch-Antenne gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung mit einer auf RKF (25) basierenden Apertur auf dem Patch.

[0029] [Fig. 14](#) zeigt ein weiteres besonderes Beispiel für eine Familie von raumfüllenden Kurven (41, 42, 43), die auf der Peano-Kurve (nach Giuseppe Peano) basieren. Zum Vergleich ist eine nur mit 9 Segmenten gebildete nicht raumfüllende Kurve abgebildet.

[0030] [Fig. 15](#) zeigt eine Patch-Antenne nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung mit einem SFC-Schlitz, der auf der raumfüllenden Kurve (41) basiert.

[0031] [Fig. 16](#) zeigt eine Hohlleiter-Schlitzantenne (nicht beansprucht), bei der die raumfüllende Kurve (21) in eine der Wände eines rechteckigen Hohlleiters (47) geschlitzt ist.

[0032] [Fig. 17](#) zeigt eine Hornantenne (nicht beansprucht), bei der die Apertur und der Querschnitt des Horns nach SFC (25) gestaltet sind.

[0033] [Fig. 18](#) zeigt einen Reflektor einer Reflektorantenne (nicht beansprucht), bei der der Umfang des genannten Reflektors als SFC (25) gestaltet ist.

[0034] [Fig. 19](#) zeigt eine Familie von raumfüllenden Kurven (51, 52, 53), die auf der Peano-Kurve basieren. Zum Vergleich ist eine nur mit neun Segmenten ausgebildete nicht raumfüllende Kurve abgebildet (50).

[0035] [Fig. 20](#) zeigt eine weitere Familie von raum-

füllenden Kurven (55, 56, 57, 58). Zum Vergleich ist eine nur mit fünf Segmenten konstruierte nicht raumfüllende Kurve (54) abgebildet.

[0036] [Fig. 21](#) zeigt zwei Beispiele für SFC-Schleifen (59, 60), die mit SFC (57) konstruiert sind.

[0037] [Fig. 22](#) zeigt eine Familie von raumfüllenden Kurven (61, 62, 63, 64), die hier als HilbertZZ-Kurven bezeichnet werden.

[0038] [Fig. 23](#) zeigt eine Familie von raumfüllenden Kurven (66, 67, 68), die hier als Peanodec-Kurven bezeichnet werden. Zum Vergleich ist eine nur mit neun Segmenten konstruierte nicht raumfüllende Kurve (65) abgebildet.

[0039] [Fig. 24](#) zeigt eine Familie von raumfüllenden Kurven (70, 71, 72), die hier als Peanoinc-Kurve bezeichnet wird. Zum Vergleich ist eine nur mit neun Segmenten konstruierte nicht raumfüllende Kurve (69) abgebildet.

[0040] [Fig. 25](#) zeigt eine Familie von nicht raumfüllenden Kurven (73, 74, 75), die hier als PeanoZZ-Kurven bezeichnet werden. Zum Vergleich ist eine nur mit neun Segmenten konstruierte nicht raumfüllende Kurve (23) abgebildet.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausgestaltungen

[0041] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zeigen einige Beispiele für raumfüllende Kurven (SFC). Die Zeichnungen (1), (3) und (4) in [Fig. 1](#) zeigen drei Beispiele für SZ-Kurven genannte raumfüllende Kurven. In Zeichnung (2) ist zum Vergleich eine Kurve abgebildet, die keine SFC ist, da sie nur aus sechs Segmenten zusammengesetzt ist. Die Zeichnungen (7) und (8) in [Fig. 2](#) zeigen weitere zwei besondere Beispiele für raumfüllende Kurven, die durch die periodische Wiederholung eines die raumfüllende Kurve (1) aufweisenden Motivs ausgebildet wurden. Es ist wichtig, den wesentlichen Unterschied zwischen diesen Beispielen für raumfüllende Kurven und einigen Beispielen für periodische, mäanderförmige und nicht raumfüllende Kurven wie die in den Zeichnungen (5) und (6) in [Fig. 2](#) zu beachten. Die Kurven (5) und (6) sind zwar aus mehr als 10 Segmenten zusammengesetzt, sie können aber im Wesentlichen als entlang einer geraden Richtung (horizontale Richtung) periodisch betrachtet werden, und das Motiv, das eine Periode oder Wiederholungszelle definiert, ist mit weniger als 10 Segmenten konstruiert (die Periode in der Zeichnung (5) enthält nur vier Segmente, während die Periode der Kurve (6) neun Segmente umfasst), was der in der vorliegenden Erfindung eingeführten Definition für raumfüllende Kurve widerspricht. Raumfüllende Kurven sind im Wesentlichen komplexer und packen eine größere Länge in einen kleineren Raum; in Ver-

bindung mit der Tatsache, dass jedes eine raumfüllende Kurve zusammensetzende Segment elektrisch kurz ist (kürzer als ein Zehntel der Freiraum-Betriebswellenlänge nach den Ansprüchen dieser Erfindung), spielt diese Tatsache eine Schlüsselrolle beim Verrin- gern der Antennengröße. Beim Entwerfen von Minia- turantennen ist auch die Klasse von Faltmechanis- men wichtig, die zum Erhalten der speziellen raumfül- lenden Kurven verwendet werden, die in der vorlie- genden Erfindung beschrieben werden.

**[0042]** [Fig. 3](#) illustriert eine SFC-Antenne (nicht be- ansprucht). Die drei Zeichnungen zeigen verschiede- ne Konfigurationen des gleichen grundlegenden Di- pols. Ein Antennendipol mit zwei Armen ist zwei lei- tende oder supraleitende Teile umfassend aufgebaut, wobei jeder Teil als eine raumfüllende Kurve gestaltet ist. Aus Gründen der Deutlichkeit, aber ohne Beein- trächtigung der Allgemeingültigkeit, wurde hier ein besonderer Fall von raumfüllender Kurve (SFC) (die SZ-Kurve (1) von [Fig. 1](#)) gewählt; stattdessen könn- ten auch andere raumfüllende Kurven, wie z.B. die in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 6](#), [Fig. 8](#), [Fig. 14](#), [Fig. 19](#), [Fig. 20](#), [Fig. 21](#), [Fig. 22](#), [Fig. 23](#), [Fig. 24](#) oder [Fig. 25](#) beschriebenen, verwendet werden. Die zwei einander am nächsten liegenden Spitzen der zwei Arme bilden die Eingangsanschlusspunkte (9) des Dipols. Die Anschlusspunkte (9) wurden als leitende oder supraleitende Kreise gezeichnet, Fachmännern ist es aber klar, dass derartige Anschlusspunkte auch nach einem beliebigen anderen Muster gestaltet wer- den könnten, sofern sie hinsichtlich der Betriebswel- lenlänge klein gehalten werden. Die Arme der Dipole können auch verschieden gedreht und gefaltet sein, um die Eingangsimpedanz oder die Strahlungseigen- schaften der Antenne, wie zum Beispiel die Polarisie- rung, zu feinmodifizieren. Eine weitere nicht bean- spruchte Ausgestaltung eines SFC-Dipols wird auch in [Fig. 3](#) gezeigt, wo die leitenden oder supraleiten- den SFC-Arme auf ein dielektrisches Substrat (10) aufgedruckt sind; dieses Verfahren ist hinsichtlich Kosten und mechanischer Robustheit besonders praktisch, wenn die raumfüllende Kurve lang ist. Zum Bilden des Musters der raumfüllenden Kurve auf dem dielektrischen Substrat kann jede beliebige der gut bekannten Techniken zur Herstellung gedruckter Schaltungen verwendet werden. Das genannte die- lektrische Substrat kann zum Beispiel eine Glasfa- serplatte, ein Substrat auf Teflonbasis (wie Cuclad®) oder andere standardmäßige Radiofrequenz- und Mikrowellensubstrate (wie zum Beispiel Rogers 4003® oder Kapton®) sein. Das dielektrische Substrat kann sogar ein Teil einer Fensterscheibe sein, wenn die Antenne in einem Kraftfahrzeug wie einem Auto, Zug oder Flugzeug montiert werden soll, um elektro- magnetische Wellen von Radio, Fernsehen, Zelfunk- telefon (GSM 900, GSM 1800, UMTS) oder sonstigen Kommunikationsdiensten zu senden oder empfan- gen. Selbstverständlich kann ein Balun-Netzwerk an den Anschlusspunkten des Dipols angeschlossen

oder integriert werden, um die Stromverteilung auf die zwei Dipolarme auszugleichen.

**[0043]** Eine weitere nicht beanspruchte Ausgestal- tung einer SFC-Antenne ist eine Monopolkonfigurati- on, wie sie in [Fig. 4](#) gezeigt wird. In diesem Fall tritt eine leitende oder supraleitende künstliche Erdungs- ebene (Gegengewicht) oder Grundplatte (12) an die Stelle von einem der Dipolarme. Ein handgehaltenes Telefongehäuse oder sogar ein Teil der Metallkonst- ruktion eines Autos, Zugs oder Flugzeugs kann als eine solche künstliche Erdungsebene dienen. Die Grundplatte und der Monopolarm (der Arm wird hier mit raumfüllender Kurve (1) dargestellt, stattdessen könnte aber auch jede beliebige andere raumfüllende Kurve verwendet werden) werden in Monopolen vom Stand der Technik wie gewöhnlich durch beispiels- weise eine Übertragungsleitung (11) erregt. Die ge- nannte Übertragungsleitung wird von zwei Leitern gebildet, wobei einer der Leiter mit der Erdungsebe- ne verbunden ist, während der andere mit einem Punkt der leitenden oder supraleitenden SFC-Struk- tur verbunden ist. In den Zeichnungen von [Fig. 4](#) wurde als ein besonderer Fall von Übertragungslei- tung ein Koaxialkabel (11) verwendet, Fachmännern ist es aber klar, dass andere Übertragungsleitungen (wie z.B. ein Mikrostreifenarm) zum Erregen des Mo- nopols verwendet werden könnten. Fakultativ und dem in [Fig. 3](#) beschriebenen Schema folgend kann die raumfüllende Kurve auf ein dielektrisches Subst- rat (10) aufgedruckt werden.

**[0044]** Eine weitere nichtbeanspruchte Ausgestal- tung einer SFC-Antenne ist eine Schlitzantenne, wie zum Beispiel in den [Fig. 5](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 10](#) ge- zeigt. In [Fig. 5](#) bilden zwei verbundene raumfüllende Kurven (die dem Muster (1) von [Fig. 1](#) folgen) einen Schlitz oder Spalt, der auf eine leitende oder supra- leitende Folie (13) aufgeprägt ist. Eine derartige Folie kann z.B. eine Folie auf einem dielektrischen Subst- rat in einer Leiterplattenkonfiguration, ein transparen- ter leitender Film wie diejenigen, die zum Schutz des Innenraums eines Autos vor heizenden Infrarotstrah- len auf eine Glasscheibe aufgebracht werden, oder sogar Teil der Metallkonstruktion eines handgehalte- nen Telefons, eines Autos, Zugs, Bootes oder Flug- zeugs sein. Das Erregerschema kann jedes beliebige der in konventionellen Schlitzantennen gut bekann- ten sein und wird nicht zu einem wesentlichen Teil der vorliegenden Erfindung. In allen genannten drei Figu- ren wurde zum Erregen der Antenne ein Koaxialkabel (11) verwendet, wobei einer der Leiter mit einer Seite der leitenden Folie und das andere über dem Spalt mit der anderen Seite der Folie verbunden ist. Bei- spielsweise könnte anstelle des Koaxialkabels eine Mikrostreifenübertragungsleitung verwendet werden.

**[0045]** Um zu illustrieren, dass mehrere Modifikati- onen der Antenne durchführbar sind, wird in [Fig. 7](#) ein ähnliches Beispiel gezeigt, in der stattdessen eine



weitere Kurve (die Kurve (17) aus der Hilbert-Familie) verwendet wird. Es ist zu beachten, dass der Schlitz weder in [Fig. 5](#) noch in [Fig. 7](#) die Grenzen der leitenden Folie erreicht, in einer weiteren Ausgestaltung kann der Schlitz aber auch so ausgelegt sein, dass er den Rand der genannten Folie erreicht, wodurch die genannte Folie in zwei separate leitende Folien geteilt wird.

**[0046]** [Fig. 10](#) beschreibt eine weitere mögliche Ausgestaltung einer SFC-Schlitzantenne. Sie ist auch eine Schlitzantenne in einer geschlossenen Schleifenkonfiguration. Die Schleife wurde zum Beispiel durch Verbinden von vier SFC-Spalten, die dem Muster von SFC (25) in [Fig. 8](#) folgen, konstruiert. Die resultierende geschlossene Schleife bestimmt den Rand einer leitenden oder supraleitenden Insel, die von einer leitenden oder supraleitenden Folie umgeben ist. Der Schlitz kann mittels einer beliebigen der gut bekannten konventionellen Techniken erregt werden; zum Beispiel kann ein Koaxialkabel (11) verwendet werden, wobei der Außenleiter mit der leitenden äußeren Folie und der innere Leiter mit der von dem SFC-Spalt umgebenen leitenden Insel verbunden wird. Auch hier kann eine derartige Folie zum Beispiel eine Folie über einem dielektrischen Substrat in einer Leiterplattenkonfiguration, ein transparenter leitender Film wie diejenigen, die zum Schutz des Innenraums eines Autos vor heizenden Infrarotstrahlen auf eine Glasscheibe aufgebracht werden, oder sogar Teil der Metallkonstruktion eines handgehaltenen Telefons, eines Autos, Zugs, Bootes oder Flugzeugs sein. Der Schlitz kann sogar von dem Spalt zwischen einer leitenden Insel und einer leitenden Folie gebildet werden, die nahe beieinander befindlich aber nicht koplanar sind; dies kann physisch durchgeführt werden, indem zum Beispiel die innere leitende Insel auf eine Oberfläche des fakultativen dielektrischen Substrats und der umgebende Leiter auf die entgegengesetzte Oberfläche des genannten Substrats montiert wird.

**[0047]** Die Schlitzkonfiguration ist selbstverständlich nicht die einzige Methode zum Implementieren einer SFC-Schleifenantenne. Eine geschlossene raumfüllende Kurve aus einem supraleitenden oder leitenden Material kann verwendet werden, um eine Draht-SFC-Schleifenantenne zu implementieren, wie in einer weiteren nicht beanspruchten Ausgestaltung wie der von [Fig. 9](#) gezeigt wird. In diesem Fall ist ein Teil der Kurve unterbrochen, sodass die zwei resultierenden Enden der Kurve die Eingangsanschlusspunkte (9) der Schleife bilden. Fakultativ kann die Schleife auch auf ein dielektrisches Substrat (10) aufgedruckt werden. Falls ein dielektrisches Substrat verwendet wird, kann eine dielektrische Antenne auch durch Einätzen eines dielektrischen SFC-Musters auf dem genannten Substrat konstruiert werden, wobei die Dielektrizitätskonstante des genannten dielektrischen Musters höher als die des

genannten Substrats ist.

**[0048]** Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung wird in [Fig. 11](#) gezeigt. Sie besteht aus einer Patch-Antenne, wobei der leitende oder supraleitende Patch (30) einen SFC-Umfang aufweist (hier wurde der besondere Fall von SFC (25) verwendet, es ist aber klar, dass stattdessen auch andere SFC-Kurven verwendet werden könnten). Der Umfang des Patch ist hier der wesentliche Teil der Erfindung, wobei der Rest der Antenne z.B. wie andere konventionelle Patch-Antennen ausgebildet ist: die Patch-Antenne umfasst eine leitende oder supraleitende Grundplatte (31) oder Erdungsebene und den leitenden oder supraleitenden Patch, der parallel zu der genannten Grundplatte oder Erdungsebene ist. Die Beabstandung zwischen dem Patch und der Grundplatte ist meist unter einer Viertelwellenlänge (aber nicht darauf begrenzt). Fakultativ kann ein verlustarmes dielektrisches Substrat (10) (wie z.B. Glasfaser, ein Teflonsubstrat wie Cuclad® oder andere im Handel erhältliche Materialien wie Rogers®) 4003 zwischen dem genannten Patch und der Erdungsebene angeordnet sein. Als Antennenspeiseschema kann jedes beliebige der gut bekannten Schemata verwendet werden, die in Patch-Antennen vom Stand der Technik verwendet werden, zum Beispiel: ein Koaxialkabel, bei dem der Außenleiter mit der Grundplatte verbunden ist und der Innenleiter an dem gewünschten Eingangswiderstandspunkt mit dem Patch verbunden ist (selbstverständlich können die typischen Modifikationen einschließlich eines kapazitiven Spaltes an dem Patch um den Koaxialverbindungs Punkt oder einer in einem Abstand parallel zu dem Patch mit dem Innenleiter des Koaxialkabels verbundenen kapazitiven Platte und so weiter ebenfalls verwendet werden); eine Mikrostreifenübertragungsleitung, die die gleiche Grundplatte wie die Antenne nutzt, wobei der Streifen kapazitiv mit dem Patch verbunden ist und in einem Abstand unter dem Patch angeordnet ist oder wobei der Streifen in einer weiteren Ausgestaltung unter der Grundplatte angeordnet und durch einen Schlitz mit dem Patch verbunden ist, und sogar eine Mikrostreifenübertragungsleitung mit zum Patch koplanaren Streifen. Alle diese Mechanismen sind vom Stand der Technik her gut bekannt und stellen keinen wesentlichen Teil der vorliegenden Erfindung dar. Der wesentliche Teil der vorliegenden Erfindung ist die Gestalt einer Antenne (in diesem Fall des SFC-Umfangs des Patch), die zum Verringern der Antennengröße in Bezug auf Konfigurationen vom Stand der Technik beiträgt.

**[0049]** Andere bevorzugte Ausgestaltungen von SFC-Antennen, die ebenfalls auf der Patch-Konfiguration basieren, werden in [Fig. 13](#) und in [Fig. 15](#) offengelegt. Sie bestehen aus einer konventionellen Patch-Antenne mit einem vieleckigen Patch (30) (quadratisch, dreieckig, fünfeckig, sechseckig, rechteckig oder sogar kreisförmig, um nur einige Beispiele

zu nennen), wobei eine raumfüllende Kurve einen Spalt auf dem Patch gestaltet. Eine derartige SFC-Linie kann einen Schlitz (91) oder eine Spurlinie über den Patch (44) bilden (wie in Fig. 15 zu sehen ist) und trägt so zum Verringern der Antennengröße und zum Einführen neuer Resonanzfrequenzen für einen Mehrbandbetrieb bei oder in einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung definiert die raumfüllende Kurve (wie z.B. (25) den Umfang einer Apertur (33) auf dem Patch (30) (Fig. 13). Eine solche Apertur trägt bedeutend zum Verringern der ersten Resonanzfrequenz des Patch mit Bezug auf den Fall des massiven Patch bei, was bedeutend zum Verringern der Antennengröße beiträgt. Die genannten zwei Konfigurationen, der SFC-Schlitz- und der SFC-Aperturfall, können selbstverständlich auch mit Patch-Antennen mit SFC-Umfang wie z.B. der in Fig. 11 beschriebenen (30) verwendet werden.

**[0050]** Das gleiche geometrische SFC-Prinzip kann auf all die gut bekannten Patch-Konfigurationen vom Stand der Technik angewendet werden.

**[0051]** Fig. 12 beschreibt eine nicht beanspruchte Ausgestaltung einer SFC-Antenne. Sie besteht aus einer Aperturantenne, wobei die genannte Apertur von ihrem SFC-Umfang gekennzeichnet wird, wobei die genannte Apertur auf eine leitende Grundplatte oder Erdungsebene (34) aufgeprägt ist, wobei die genannte Grundplatte oder Erdungsebene zum Beispiel aus einer Wand eines Hohlleiters oder Hohlraumresonators oder einem Teil der Struktur eines Kraftfahrzeugs (wie z.B. Auto, Lastkraftwagen, Flugzeug oder Panzer) besteht. Die Apertur kann mit einer beliebigen der konventionellen Methoden, wie z.B. einem Koaxialkabel (11) oder einem ebenen Mikrostreifen oder einer Streifenleitungsübertragungsleitung, um nur einige zu nennen, gespeist werden.

**[0052]** Fig. 16 zeigt eine weitere nicht beanspruchte Ausgestaltung, bei der die raumfüllenden Kurven (41) über eine Wand eines Hohlleiters (47) mit arbiträrem Querschnitt geschlitzt sind. So kann ein geschlitztes Hohlleiter-Array gebildet werden mit dem Vorteil der größenkomprimierenden Eigenschaften der raumfüllenden Kurven.

**[0053]** Fig. 17 ist eine Abbildung einer weiteren nicht beanspruchten Ausgestaltung, in diesem Fall eine Horn-Antenne (48), wobei der Querschnitt der Antenne eine raumfüllende Kurve (25) ist. In diesem Fall ergibt sich der Nutzen nicht nur aus der Verkleinerungseigenschaft der SFC-Geometrien, sondern auch aus dem Breitbandverhalten, das durch Gestalten des Hornquerschnitts erzielt werden kann. Primitive Versionen dieser Techniken wurden bereits in der Form von Steg-Hornantennen entwickelt. In den genannten Fällen vom Stand der Technik wird ein in wenigstens zwei entgegengesetzte Wände des Horns eingesetzter einzelner vierkantiger Zahn zum Vergrö-

ßern der Bandbreite der Antenne verwendet. Die reichhaltigere Struktur einer raumfüllenden Kurve trägt weiter zu einer Bandbreitenverbesserung in Bezug auf den Stand der Technik bei.

**[0054]** Fig. 18 beschreibt eine weitere typische Antennenkonfiguration, eine nicht beanspruchte Reflektorantenne (49) mit dem neu offenbarten Ansatz zum Gestalten des Reflektorumfangs mit einer raumfüllenden Kurve. Der Reflektor kann flach oder gekrümmt sein, je nach der Anwendung oder dem Speiseschema (z.B. in einer Reflectarray-Konfiguration sind die SFC-Reflektoren vorzugsweise flach, während bei zentral gespeisten Parabolreflektoren die von der raumfüllenden Kurve eingegrenzte Oberfläche vorzugsweise an eine parabolische Oberfläche annähernd gekrümmt ist). Außerdem können im Sinn der SFC-Rückstrahlflächen auch frequenzselektive Oberflächen (FSS: Frequency Selective Surfaces) mittels raumfüllender Kurven gestaltet werden; in diesem Fall werden die SFC zum Gestalten der wiederholten Muster über die FSS verwendet. In der genannten FSS-Konfiguration werden die SFC-Elemente in Bezug auf den Stand der Technik vorteilhaft verwendet, weil die verringerte Größe der SFC-Muster eine engere Beabstandung zwischen den genannten Elementen erlaubt. Ein ähnlicher Vorteil wird erzielt, wenn die SFC-Elemente in einem Antennenarray in einem Antennen-Reflectarray verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Patch-Antenne, die wenigstens einen Teil hat, der als eine raumfüllende Kurve (25) gestaltet ist, die aus wenigstens zehn miteinander verbundenen geraden Segmenten zusammengesetzt ist, die einen nichtperiodischen Teil der genannten Kurve bilden, wobei:

- jedes der genannten Segmente kürzer als ein Zehntel der Betriebs-Freiraumwellenlänge der Antenne ist;
  - jedes der genannten Segmente räumlich so angeordnet ist, dass keines der genannten Segmente zusammen mit einem benachbarten Segment ein längeres gerades Segment bildet;
  - keines der genannten Segmente ein anderes der genannten Segmente schneidet außer fakultativ an den Enden der Kurve;
- wobei, wenn die genannte Kurve entlang einer festen geraden Raumrichtung periodisch ist, die entsprechende Periode von dem nichtperiodischen Abschnitt definiert wird, der sich aus wenigstens zehn miteinander verbundenen Segmenten zusammensetzt, wobei keines der genannten miteinander verbundenen Segmente mit einem benachbarten Segment zusammen ein gerades längeres Segment bildet;

und wobei die genannte raumfüllende Kurve eine Box-Counting-Dimension aufweist, die größer als eins ist, wo-

bei die genannte Box-Counting-Dimension als die Neigung des geraden Abschnitts eines doppeltlogarithmischen Graphs berechnet wird, wobei der genannte gerade Abschnitt im Wesentlichen als ein gerades Segment über wenigstens eine Skalenoktave auf der horizontalen Achse des doppeltlogarithmischen Graphs definiert ist;  
 die genannte Patch-Antenne eine leitende oder supraleitende Grundplatte (31) und einen leitenden oder supraleitenden Patch (30) umfasst, der parallel zu der genannten Grundplatte ist, wobei die äußere Begrenzung des Patches als die genannte raumfüllende Kurve gestaltet ist oder der genannte Patch eine als die genannte raumfüllende Kurve gestaltete Aussparung hat oder der genannte Patch eine Öffnung mit einer äußeren Begrenzung hat, die wie die genannte raumfüllende Kurve gestaltet ist.

2. Antenne nach Anspruch 1, bei der die raumfüllende Kurve als Hilbert-Kurve gestaltet ist.

3. Antenne nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei der die raumfüllende Kurve als HilbertZZ-Kurve (61, 62, 63, 64; [Fig. 22](#)) gestaltet ist.

4. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Abstand zwischen dem Patch (30) und der Grundplatte (31) weniger als ein Viertel der Betriebswellenlänge beträgt.

5. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend ein verlustarmes dielektrisches Substrat (10) zwischen dem Patch (30) und der Grundplatte (31).

6. Antenne nach Anspruch 5, bei der das genannte verlustarme dielektrische Substrat (10) ein Glasfaser- oder Teflon®-Substrat ist.

7. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend eine Speisungsanordnung mit einem Koaxialkabel, das einen mit der Grundplatte verbundenen Außenleiter und einen mit dem Patch verbundenen Innenleiter aufweist.

8. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter umfassend eine Speisungsanordnung mit einer Mikrostreifenübertragungsleitung.

9. Antenne nach Anspruch 8, bei der die Mikrostreifenübertragungsleitung sich die Grundplatte mit der Antenne teilt und einen Streifen umfasst, der kapazitiv mit dem Patch gekoppelt ist und sich in einem Abstand unter dem Patch befindet.

10. Antenne nach Anspruch 8, bei der die Mikrostreifenübertragungsleitung einen unter der Grundplatte platzierten und durch eine Aussparung mit dem Patch gekoppelten Streifen umfasst.

11. Antenne nach Anspruch 8, bei der die genannte Mikrostreifenübertragungsleitung einen mit dem Patch koplanaren Streifen umfasst.

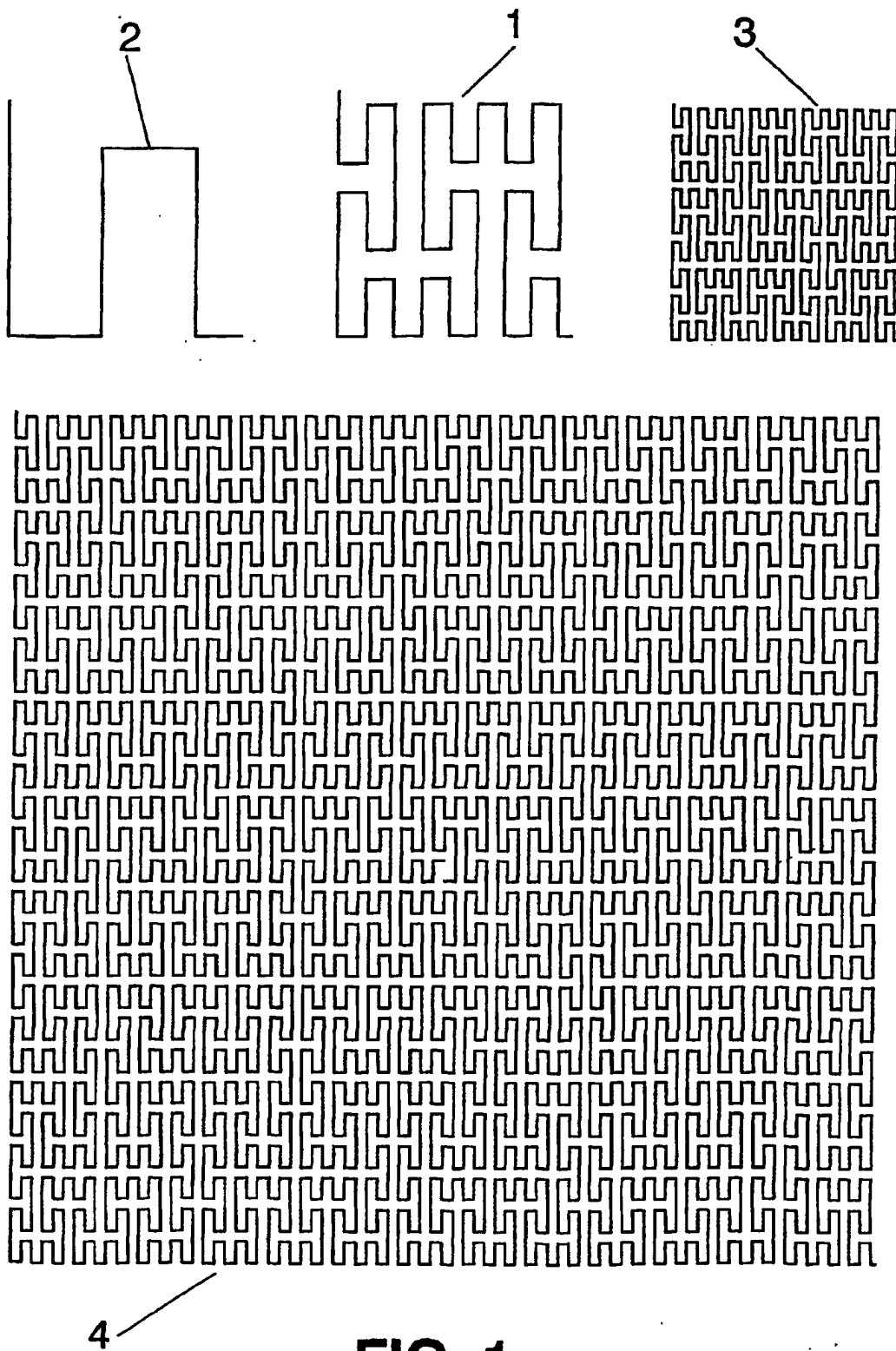
12. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die genannte raumfüllende Kurve (25) über eine gekrümmte Oberfläche geschmiegt ist.

13. Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die von einem Paar der genannten benachbarten Segmente gebildeten Ecken abgerundet oder anderweitig geglättet sind.

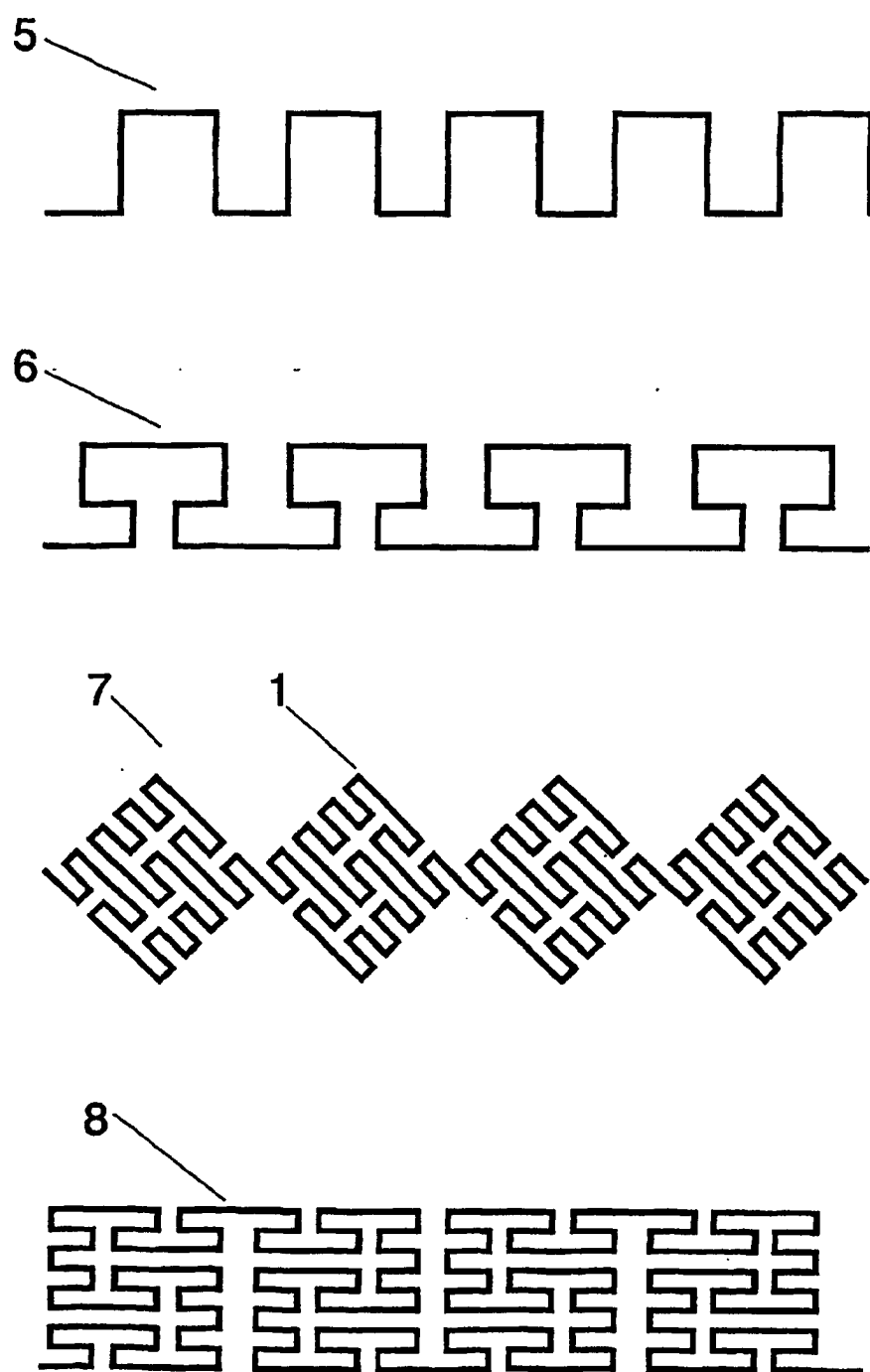
Es folgen 25 Blatt Zeichnungen



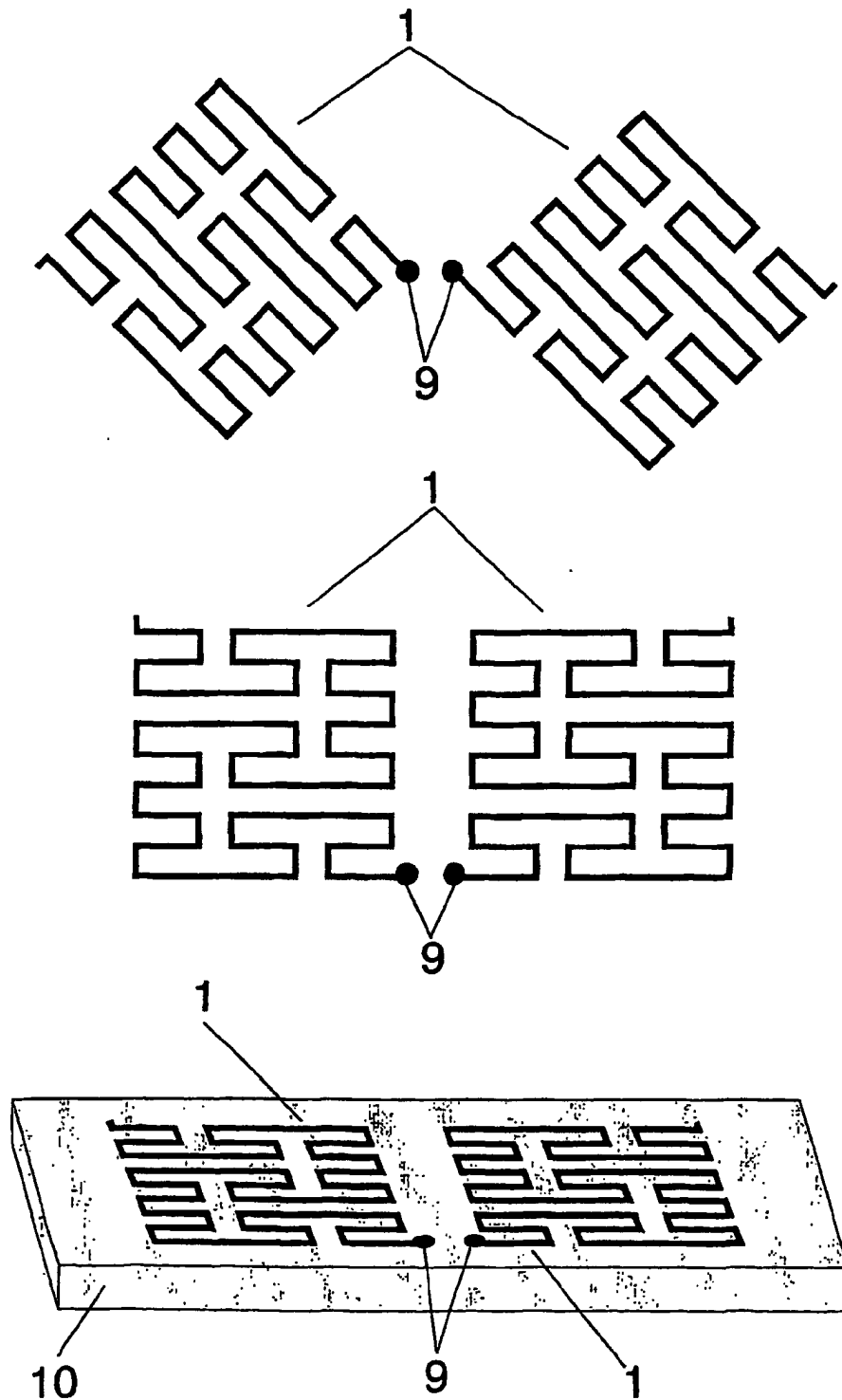
Anhängende Zeichnungen



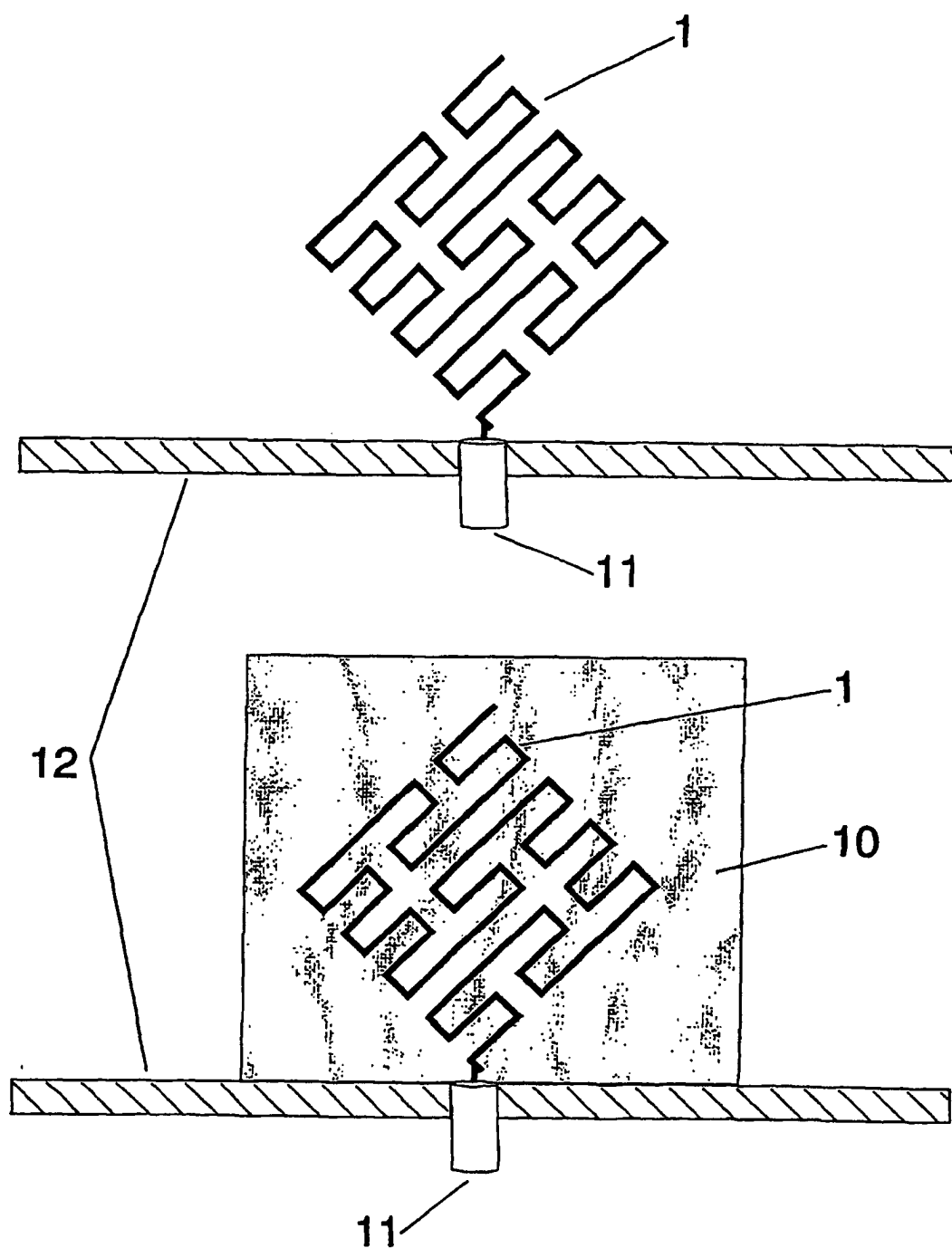
**FIG. 1**



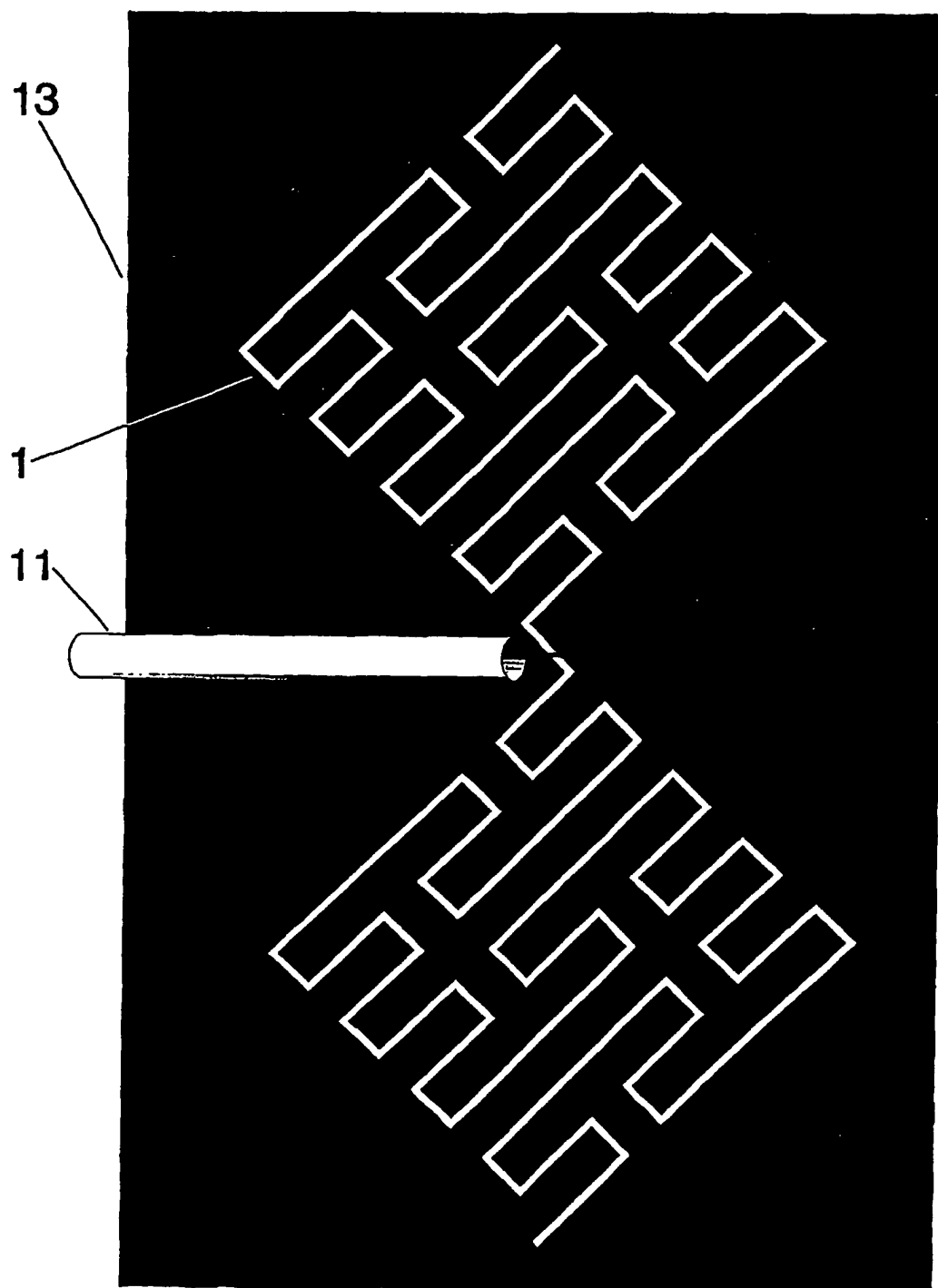
**FIG. 2**



**FIG. 3**

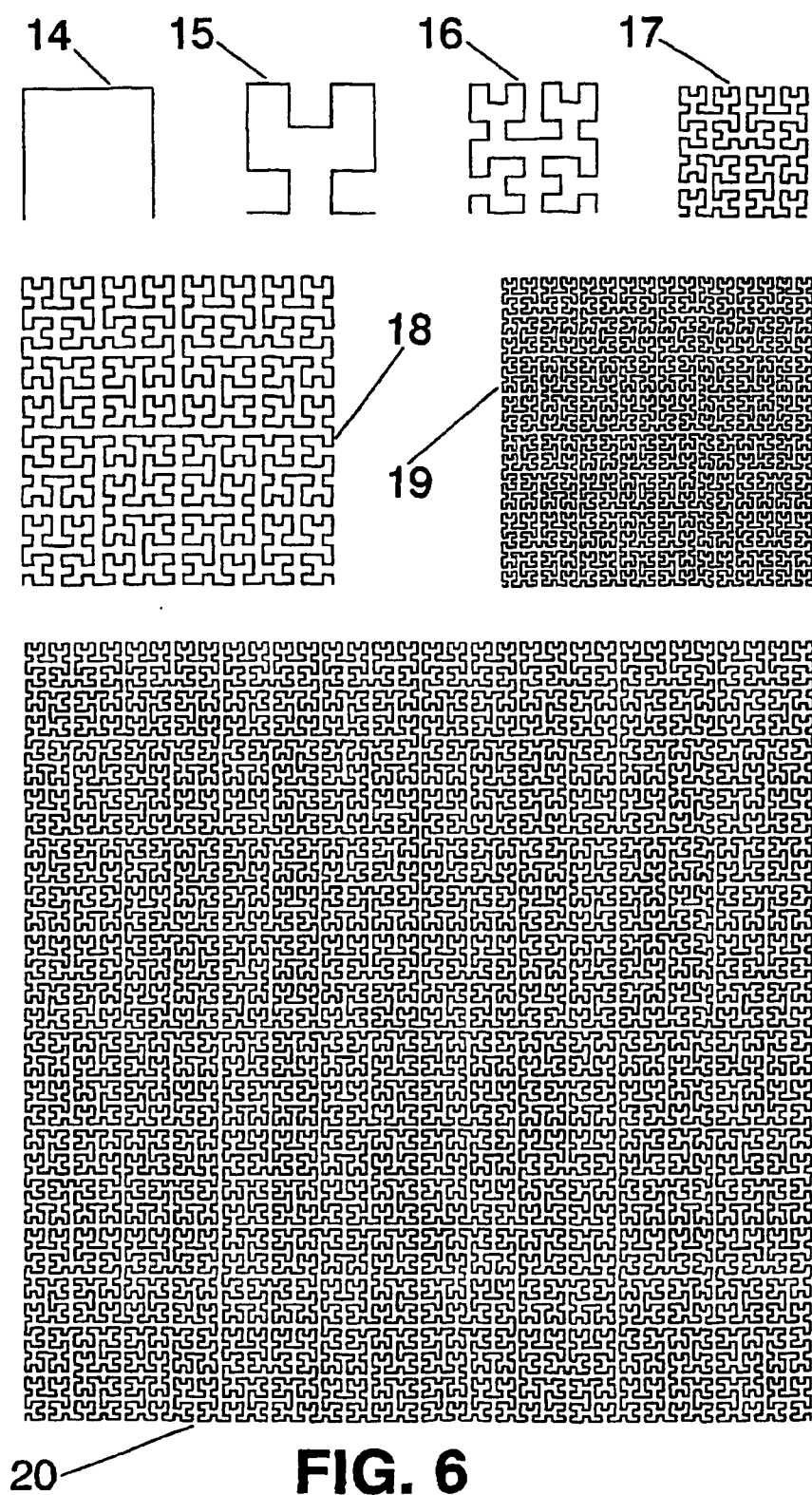


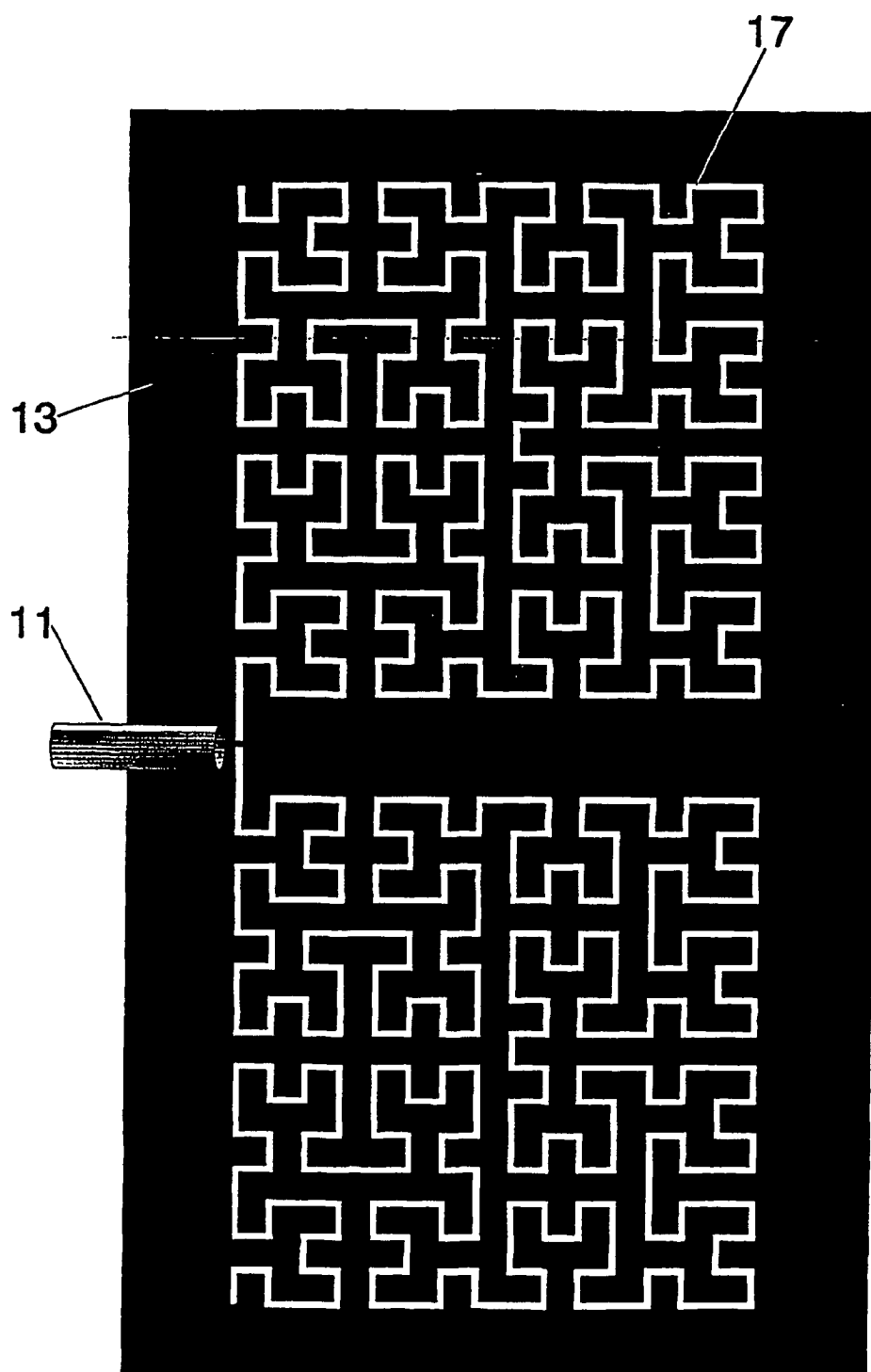
**FIG. 4**



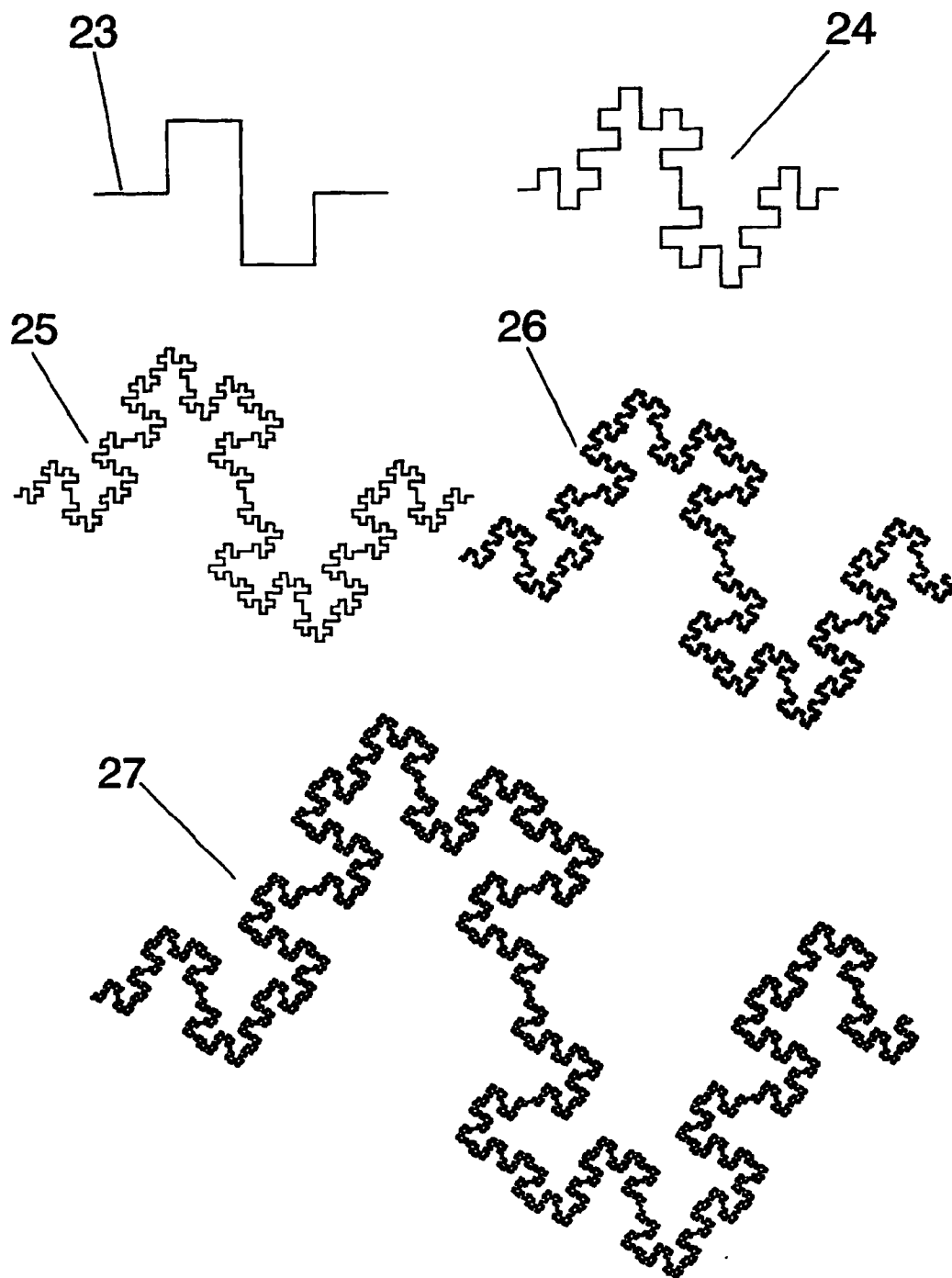
**FIG. 5**



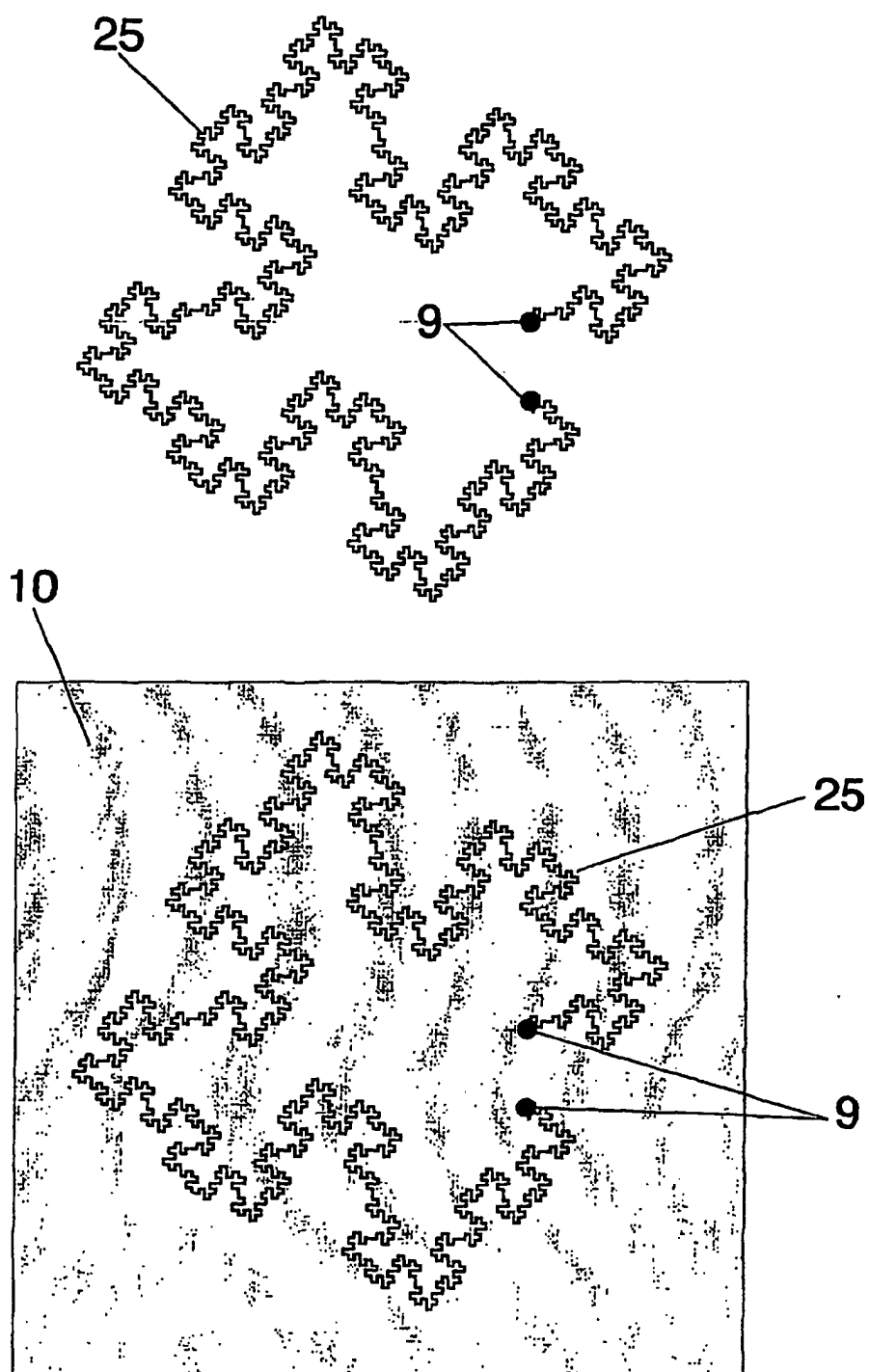




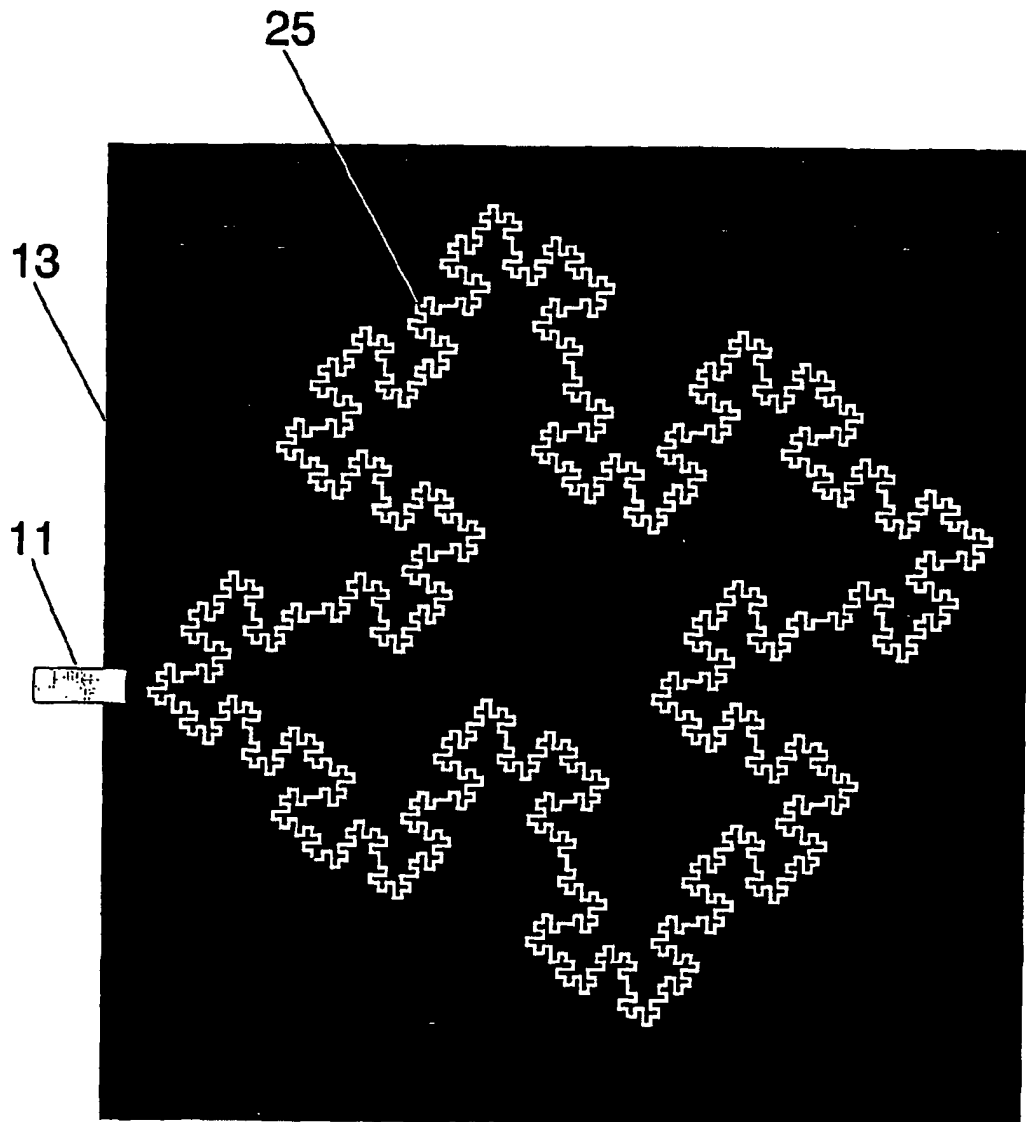
**FIG. 7**



**FIG. 8**

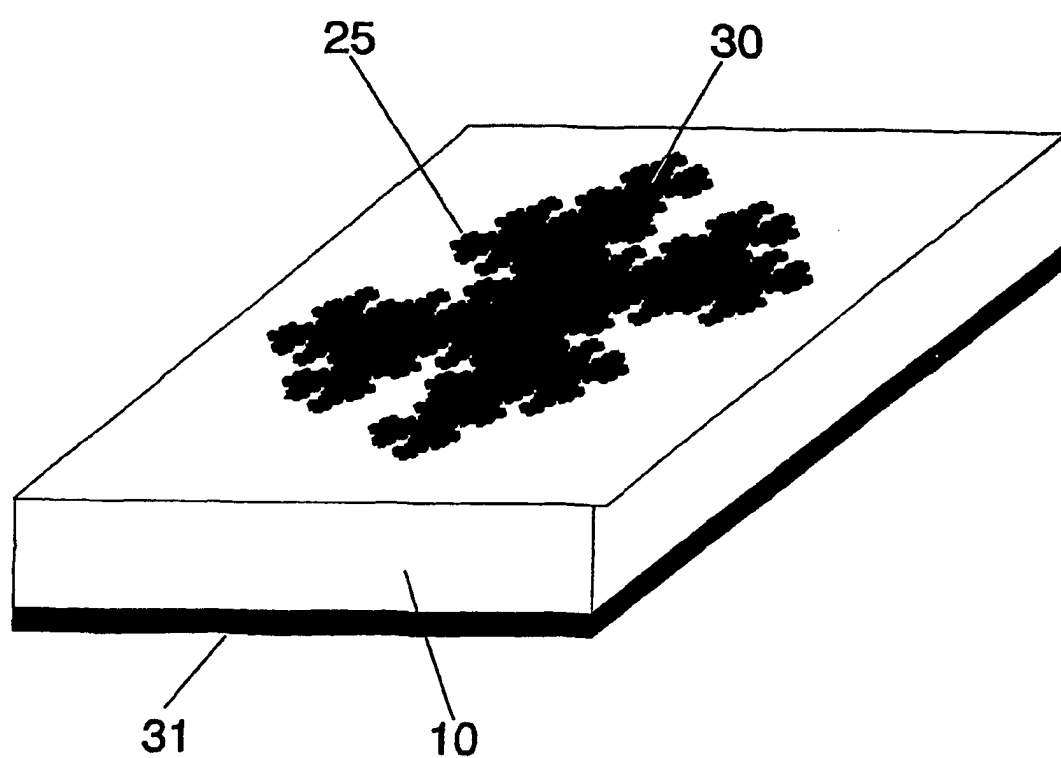


**FIG. 9**

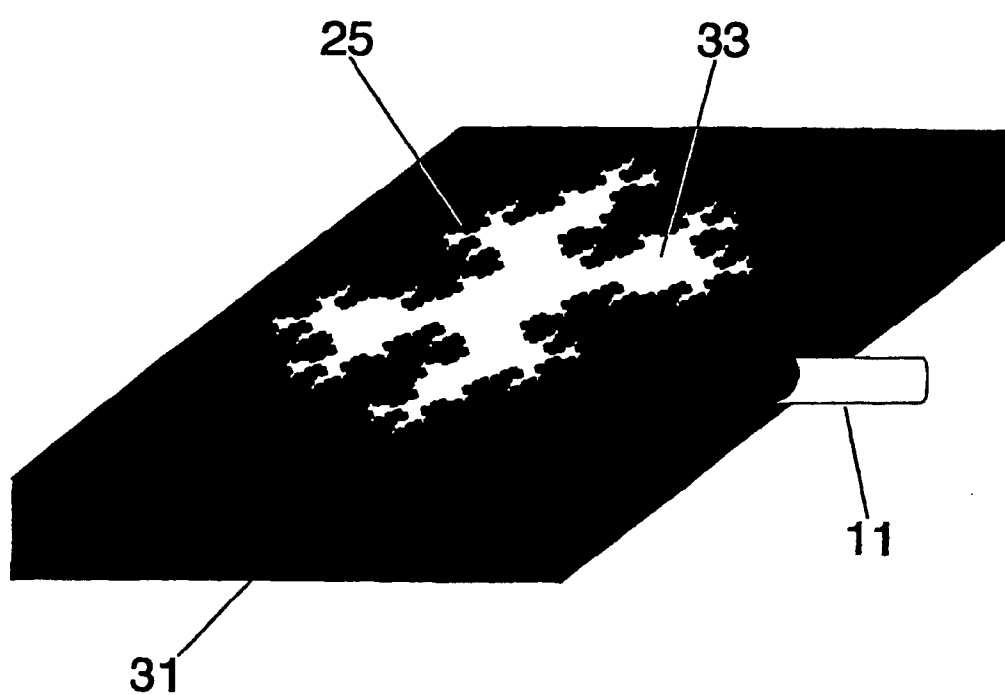


**FIG. 10**

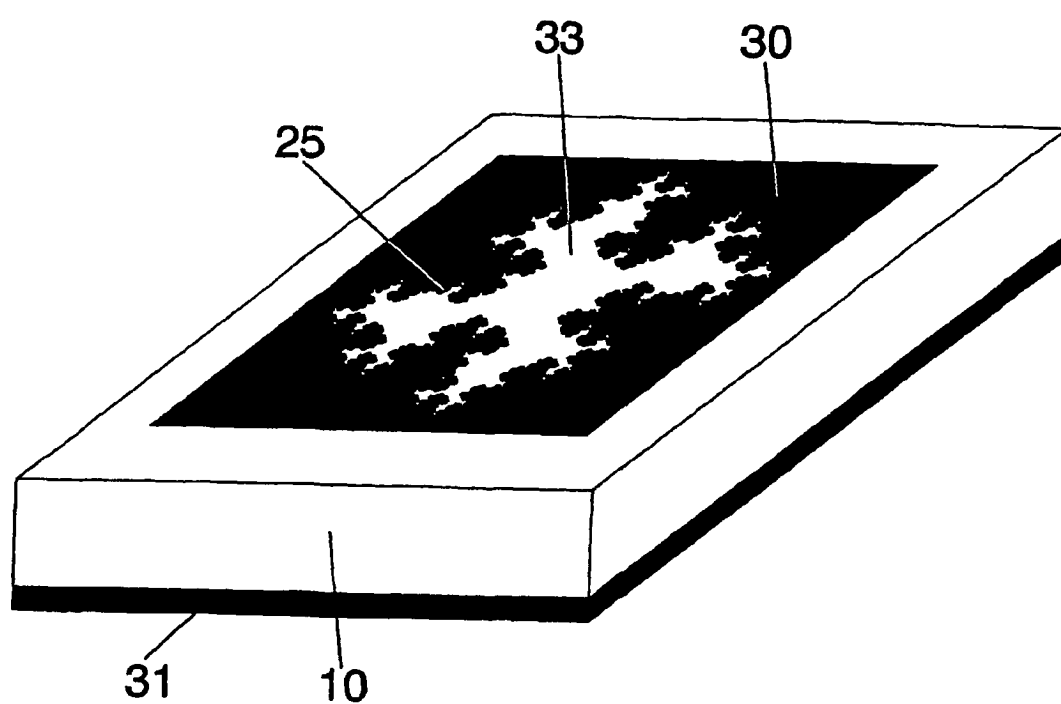




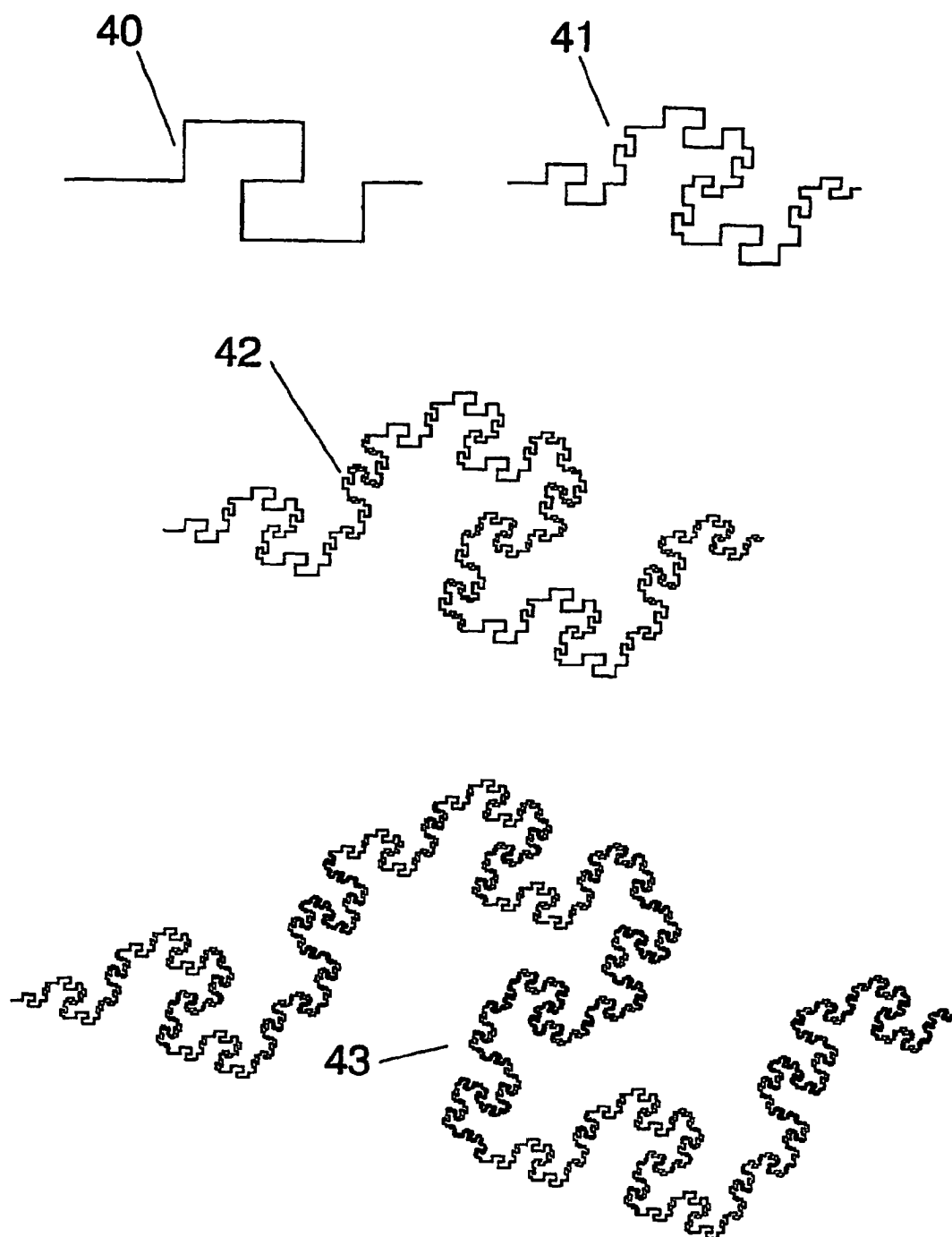
**FIG. 11**



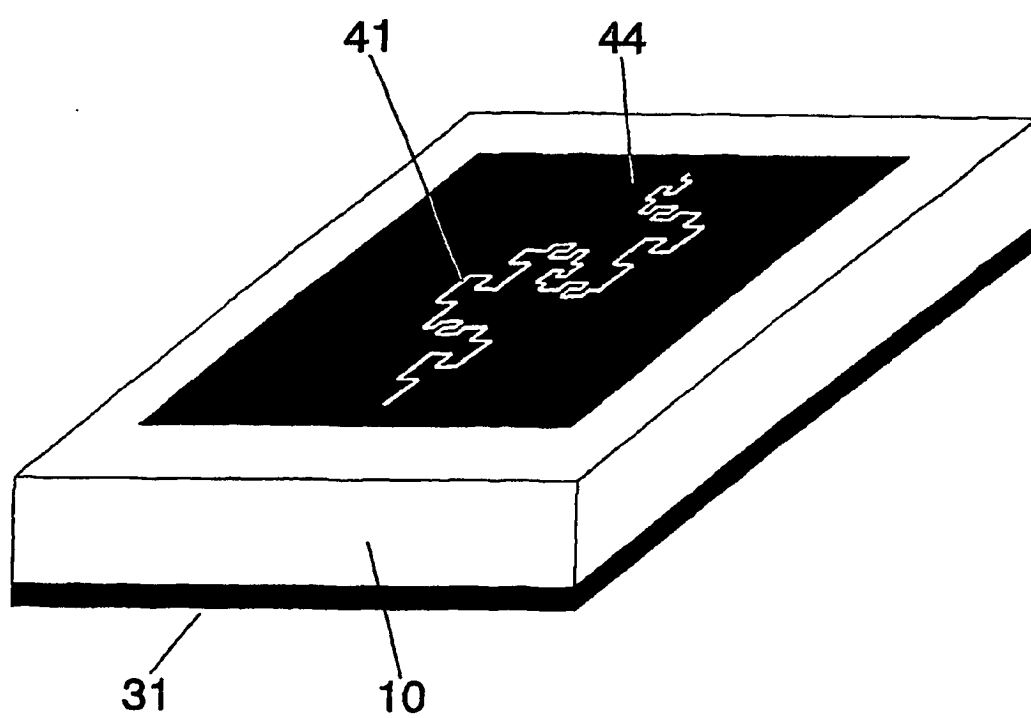
**FIG. 12**



**FIG. 13**

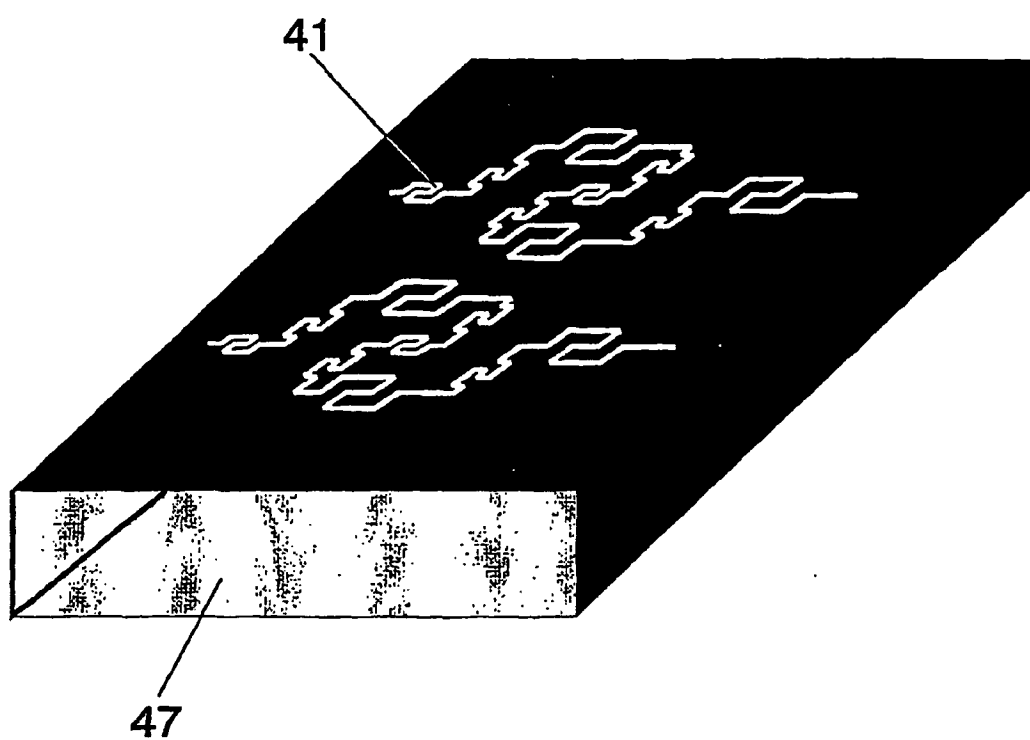


**FIG. 14**

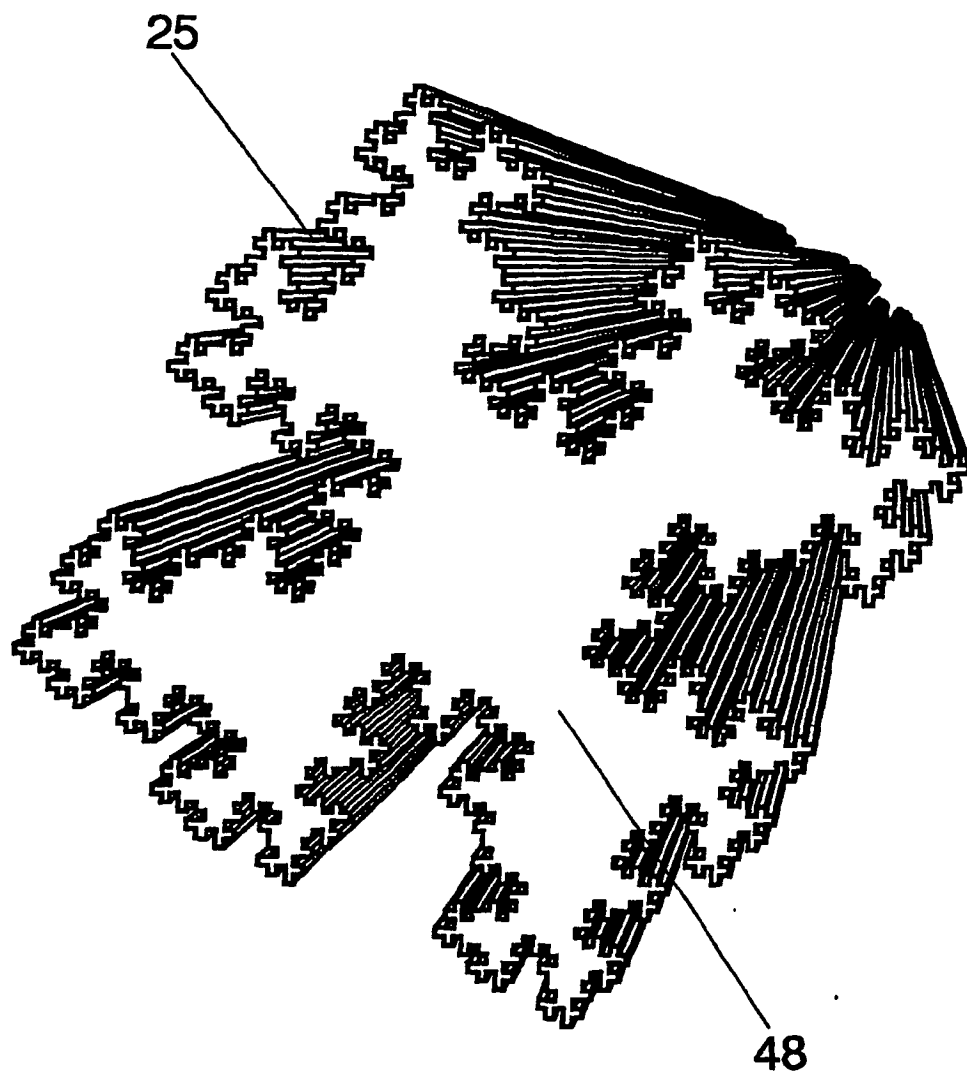


**FIG. 15**

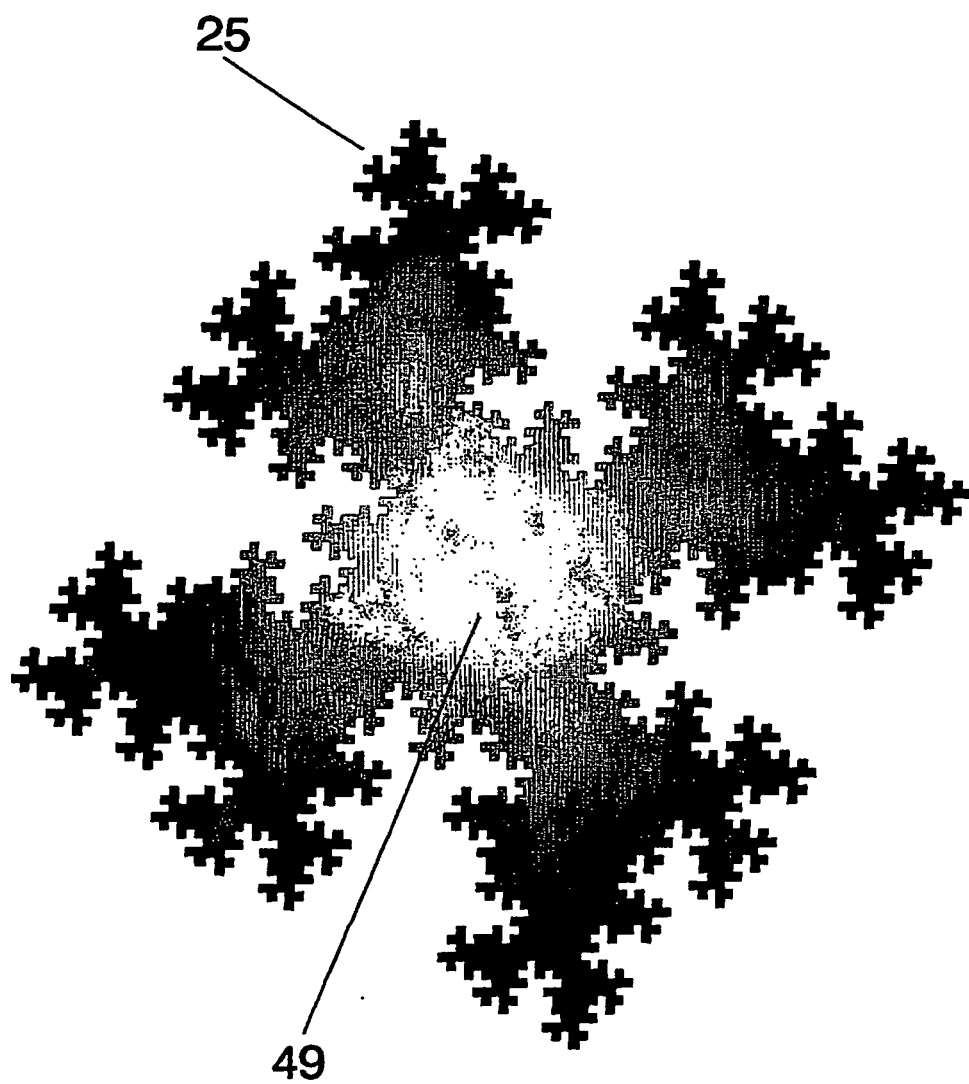




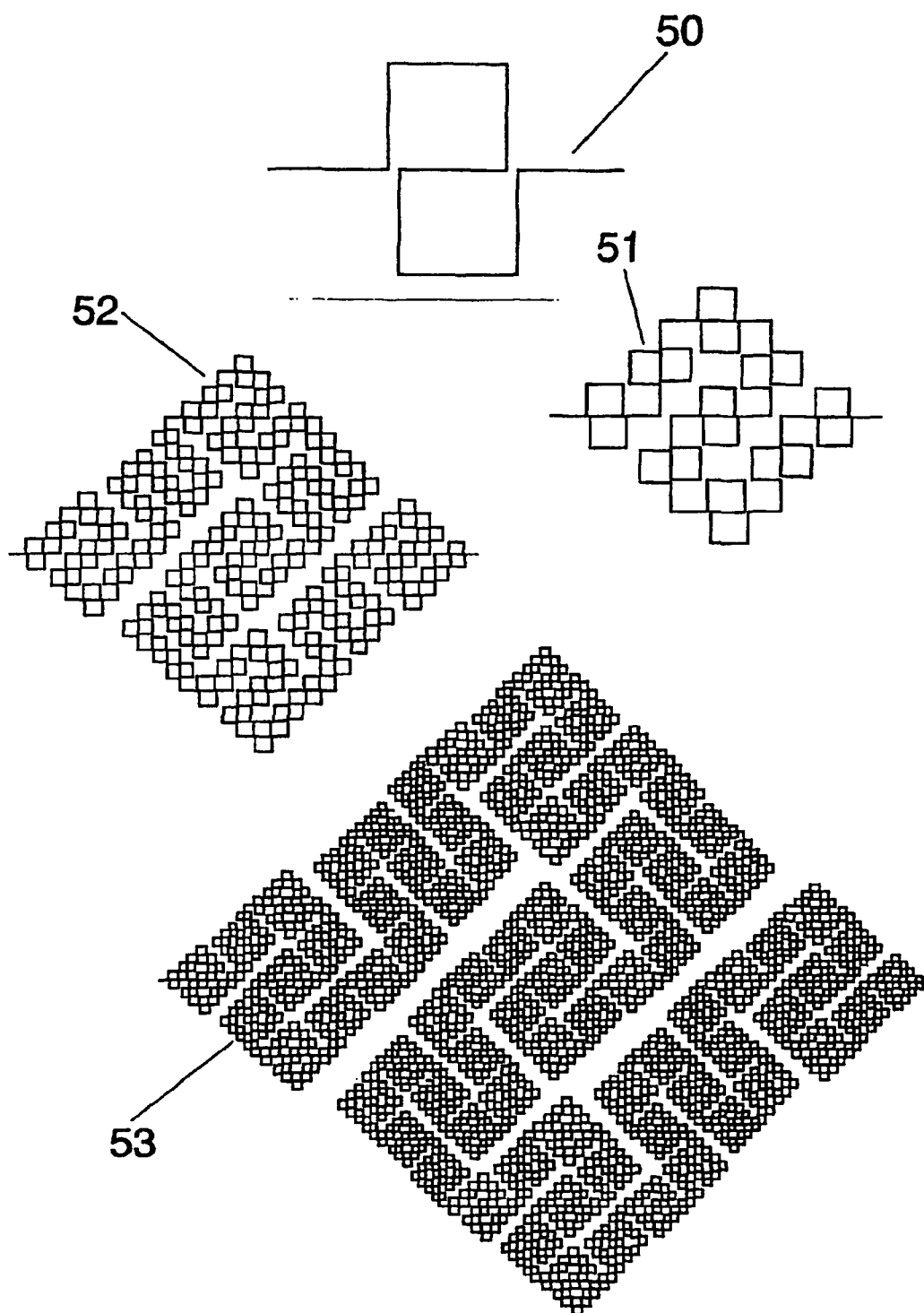
**FIG. 16**



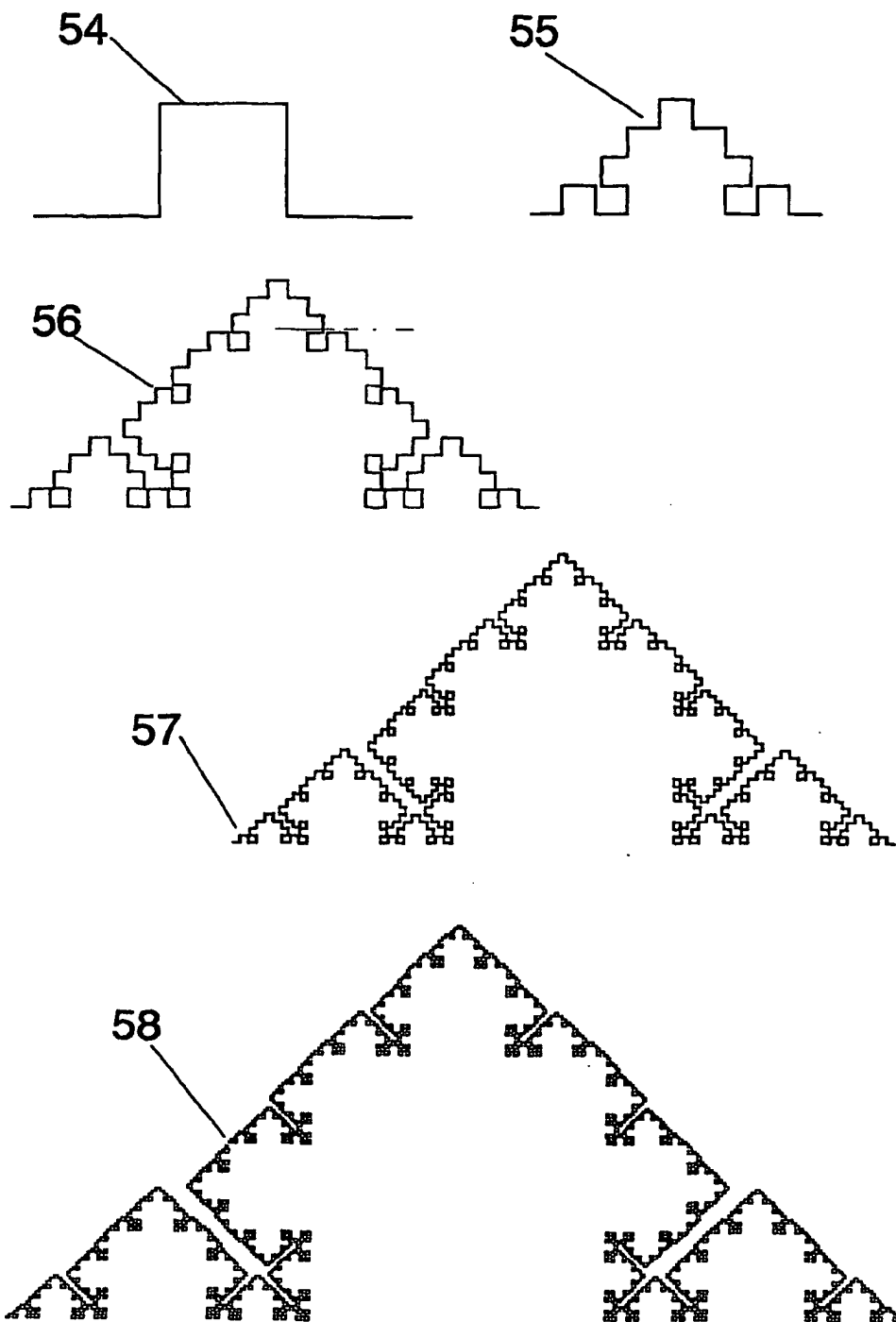
**FIG. 17**



**FIG. 18**

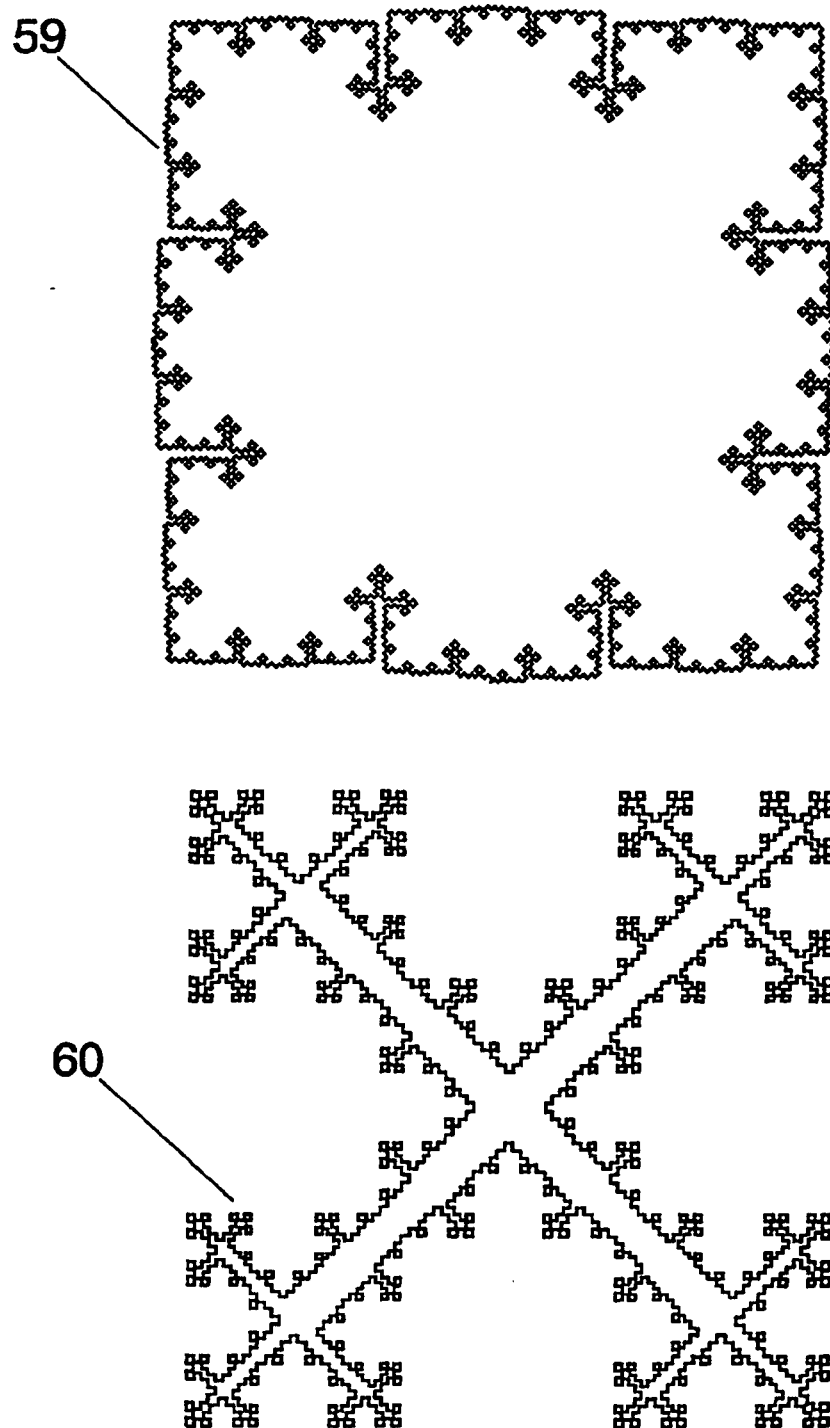


**FIG. 19**

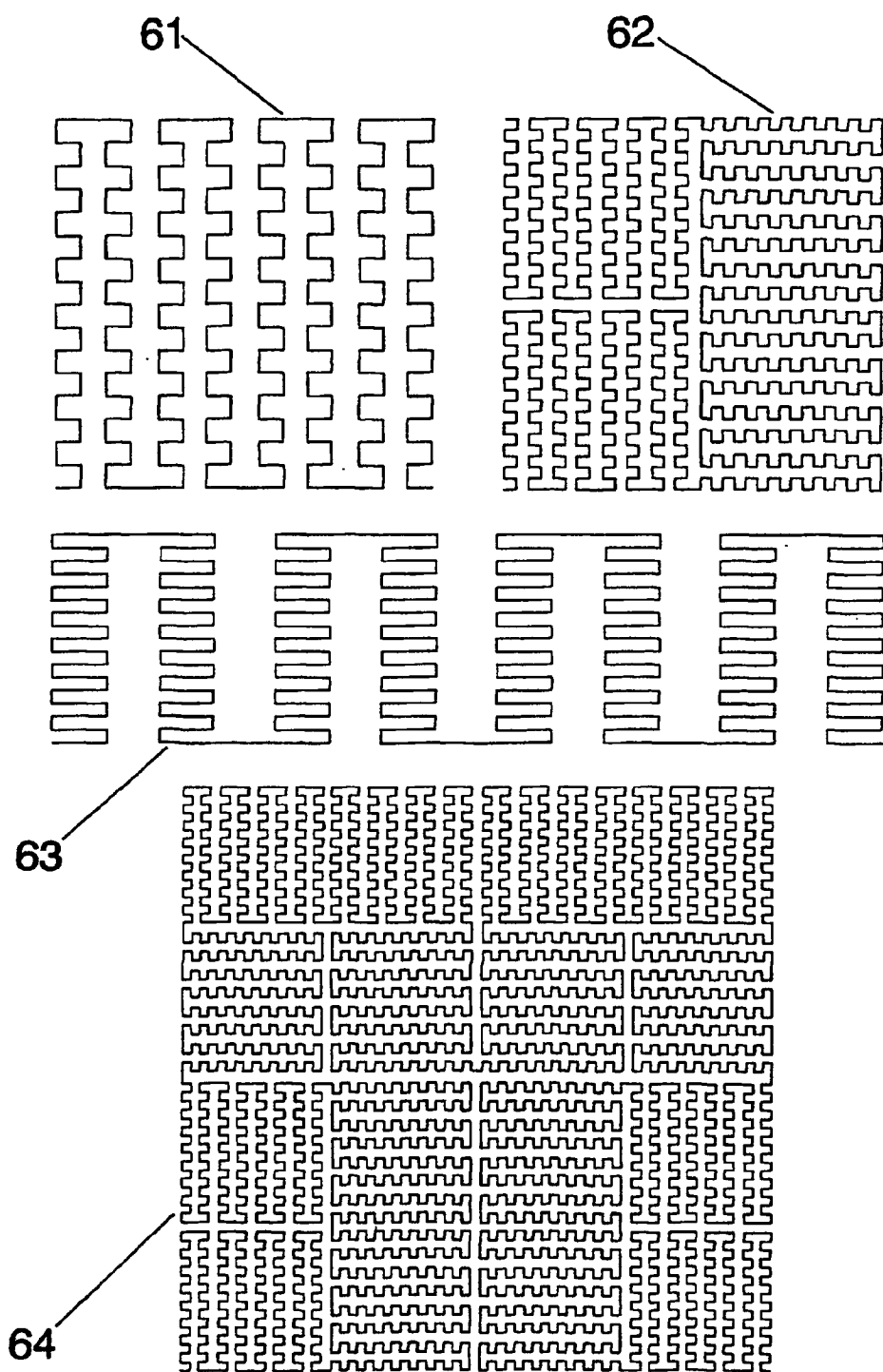


**FIG. 20**

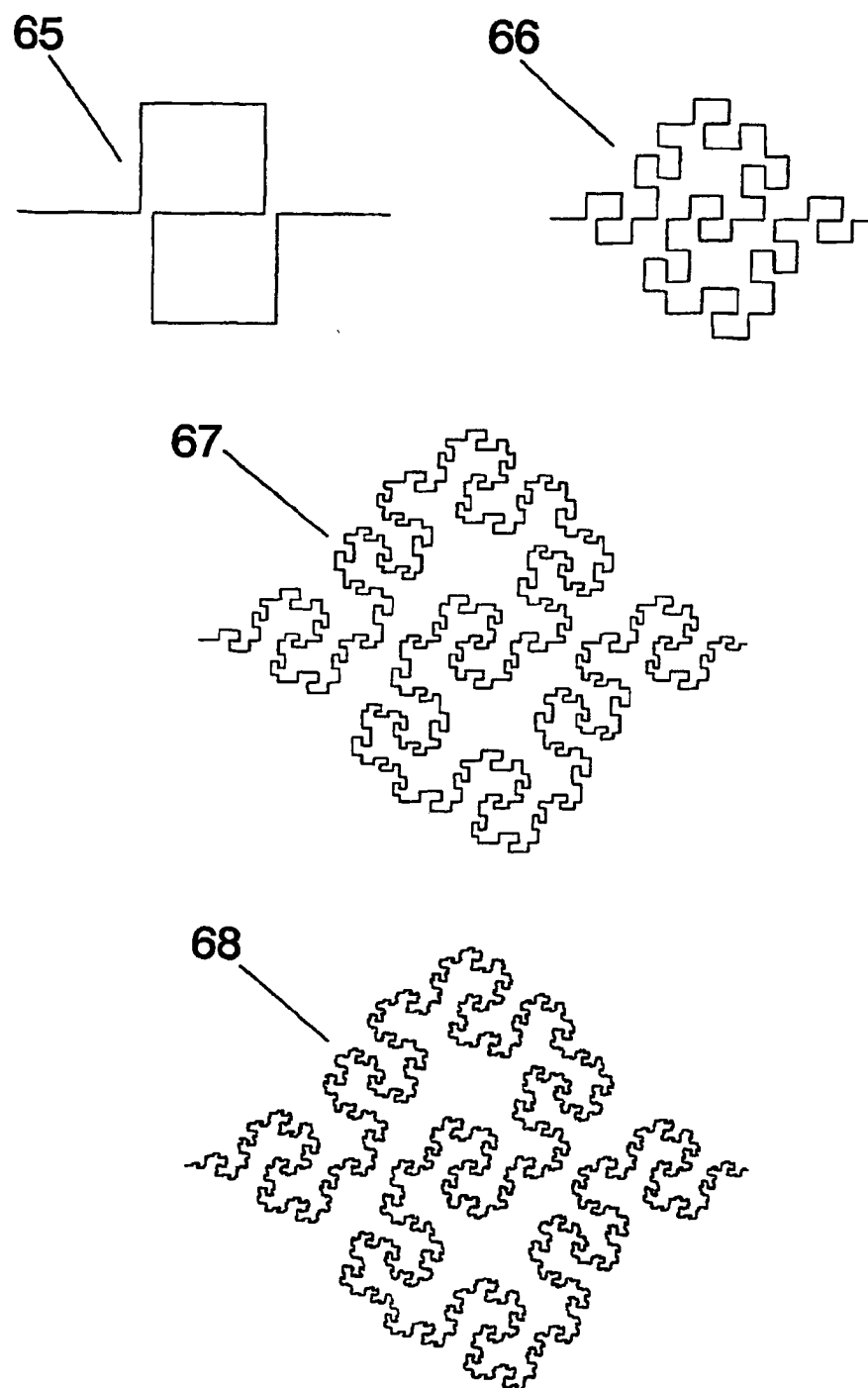




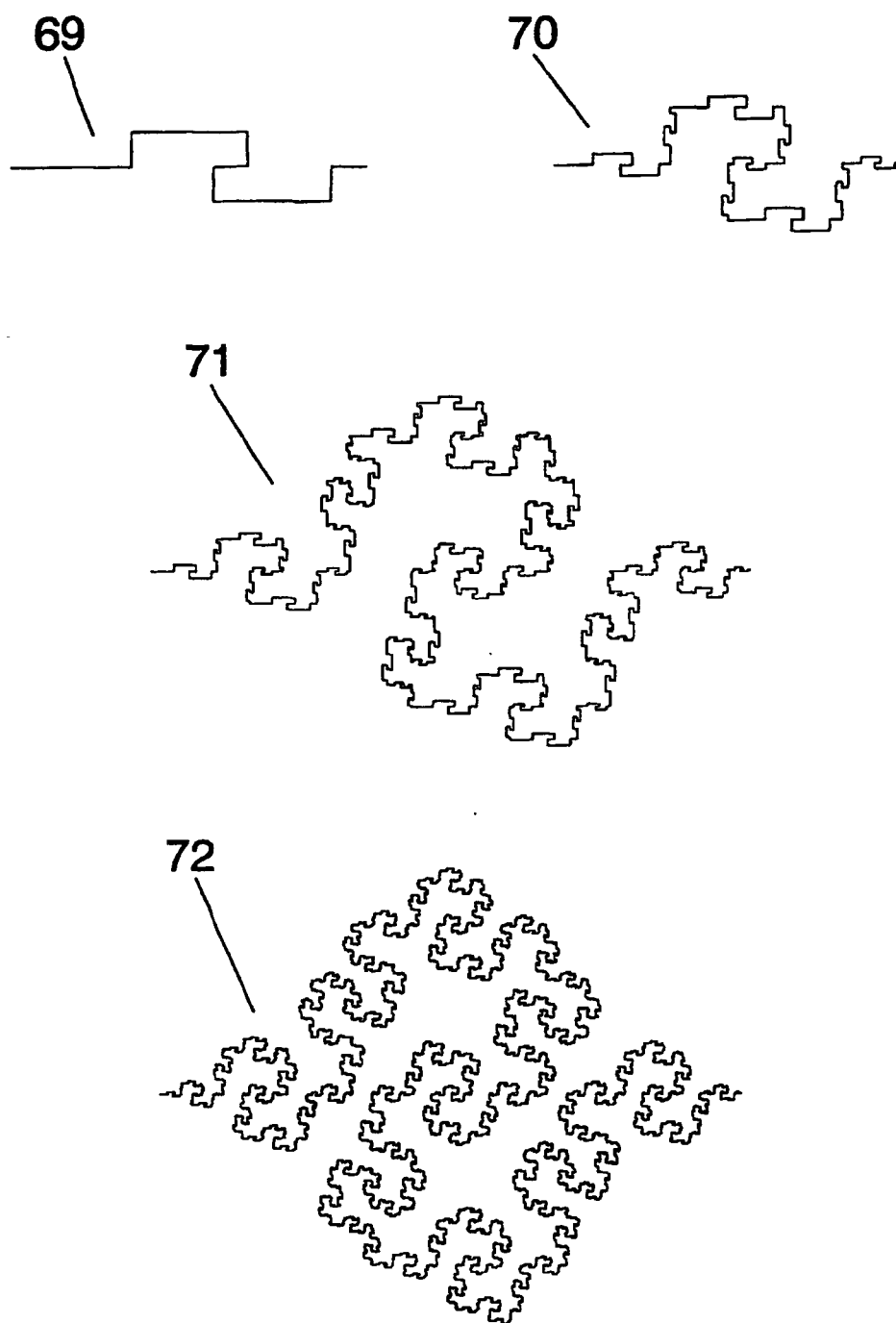
**FIG. 21**



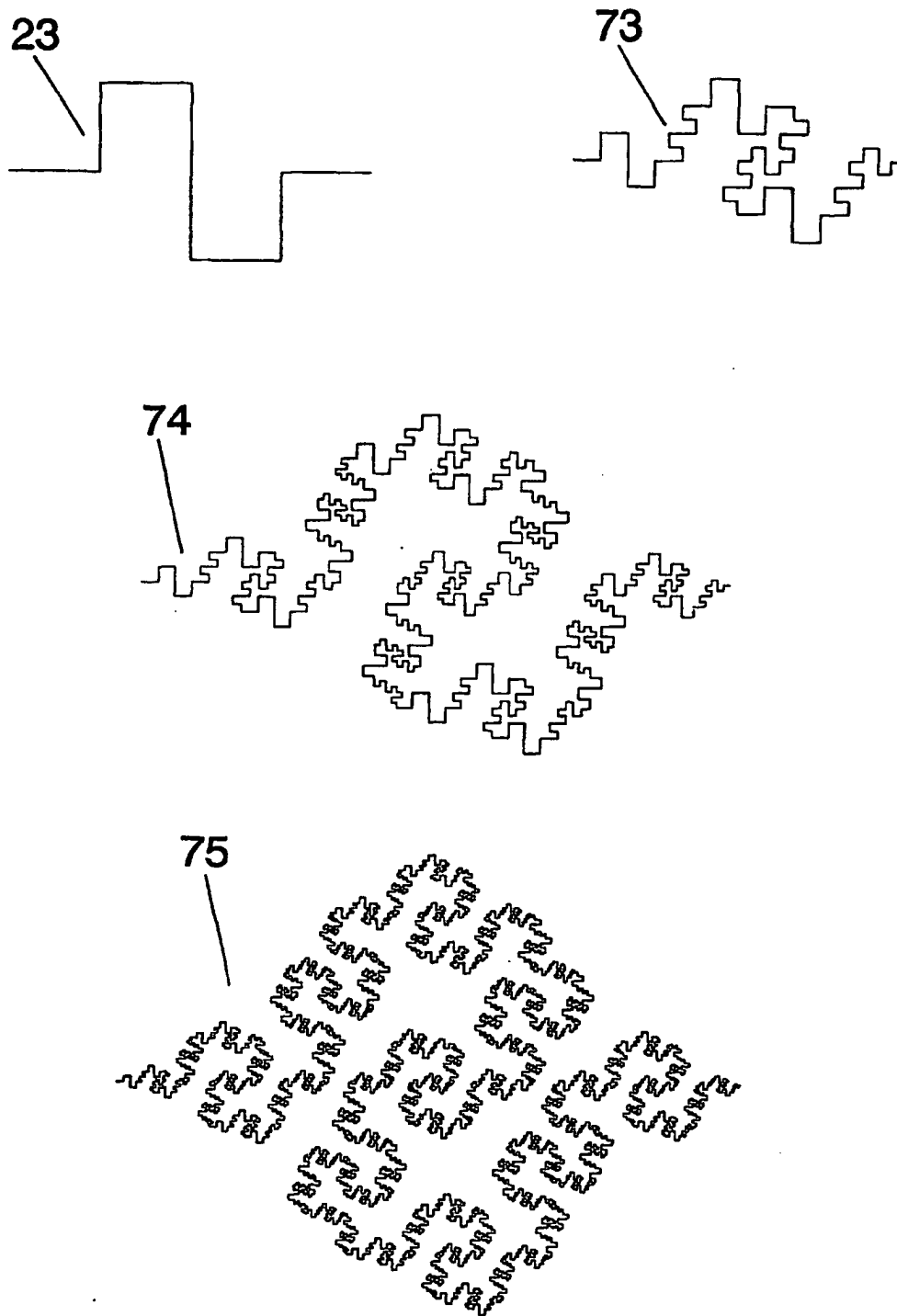
**FIG. 22**



**FIG. 23**



**FIG. 24**



**FIG. 25**