



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 29 881 A1** 2004.01.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 29 881.5**

(22) Anmeldetag: **03.07.2002**

(43) Offenlegungstag: **15.01.2004**

(51) Int Cl.7: **B01D 46/48**

B01D 53/32, F01N 3/027

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

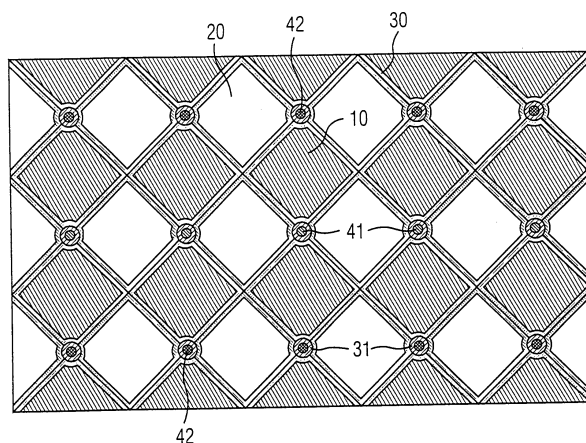
Hammer, Thomas, Dr., 91334 Hemhofen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Plasma-Russfilter**

(57) Zusammenfassung: Vom Stand der Technik ist ein Verfahren zur Verminderung kohlenstoffhaltiger Partikelemissionen von Dieselmotoren und eine zugehörige Anordnung bekannt, bei der insbesondere zur Regeneration des Filters Oberflächengleitladungen ausgenutzt werden. Gemäß der Erfindung ist ein dafür geeignetes Wandflussfilter aus wechselseitig verschlossenen, länglichen Kanälen gebildet. Die Elektroden sind dabei in das Filtermaterial eingebettet und dadurch vor Erosion geschützt. Durch eine geeignete Geometrie reichen erfindungsgemäß zwei Elektroden zur selektiven Erzeugung der Oberflächengleitladungen im Einlasskanal des Wandflussfilters aus.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Plasma-Rußfilter gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Ein solcher Rußfilter ist Gegenstand der DE 100 57 862 C1.

Aufgabenstellung

[0002] Mit vorgenanntem Patent wird ein Verfahren zur Verminderung kohlenstoffhaltiger Partikelemissionen von Dieselmotoren unter Schutz gestellt, bei dem die im Abgas enthaltenen Rußpartikel an Filteroberflächen abgeschieden werden, wobei zwecks Regeneration des Filters die abgeschiedenen Partikel oxidiert werden und die Regeneration durch nichtthermische, elektrische Oberflächengleitentladungen an den mit Rußpartikeln belegten Oberflächen erfolgt.

[0003] In der DE 100 57 862 C1 sind verschiedene Geometrien zum Betrieb einer derartigen Anordnung beschrieben, die auf dem Prinzip von sogenannten Wandflussfiltern basieren. Diese Filter bestehen aus parallelen Kanälen mit viereckigem Querschnitt, die wechselseitig jeweils an der Auslassseite und an der Einlassseite des Abgases verschlossen sind. Dadurch ergibt sich eine Aufteilung in Einlasskanäle für das rußbeladene und Auslasskanäle für das gefilterte Abgas. Der Ruß wird auf den Innenwänden der einlassseitig offenen Kanäle abgeschieden und dort durch Sauerstoff- und Hydroxyl-Radikale oxidiert, die in unmittelbarer Wandnähe von nichtthermischen Oberflächengleitentladungs-Plasmen erzeugt werden.

[0004] In der DE 100 57 862 C1 wird in naheliegender Weise davon ausgegangen, dass zur Erzeugung von Oberflächengleitentladungen in einem Filterkanal an jeder seiner Kanten eine Elektrode angebracht ist. Die zur Plasmaerzeugung erforderlichen Elektroden lassen sich dabei entweder in das Filtermaterial einbetten oder auf dem Filtermaterial so aufbringen, dass auf jeden Fall zwischen einer mit Hochspannung verbundenen Elektrode und der mit Masse verbundenen Gegenelektrode eine Schicht hoher dielektrischer Festigkeit liegt. Durch die dort beschriebene Einbettung der Elektroden lassen sich solche Oberflächengleitentladungen jedoch nur auf beiden Seiten der Zellwände generieren, während der Ruß nur auf einer Seite abgeschieden wird. Damit ist der spezifische Energieverbrauch für die Regeneration doppelt so hoch wie eigentlich erforderlich.

[0005] Dem Abgas ausgesetzte Elektroden hingegen, die dort in Kombination mit eingebetteten Elektroden für den bevorzugten Betrieb von Oberflächengleitentladungen auf einer Seite der Wand vorgeschlagen werden, sind durch den Kontakt mit dem Abgas Erosionsprozessen ausgesetzt, die durch Gasentladungsprozesse noch verstärkt werden können. Diese Erosionsprozesse können nicht nur die Lebensdauer speziell der Elektroden, sondern über

die Entstehung von Metalloxiden auch die Lebensdauer der Keramik beeinträchtigen.

[0006] Ein weiterer Nachteil ist, dass die große Zahl der Elektroden – und zwar vier je Einlasskanal – Größe und Gewicht des Plasmarußfilters gegenüber einem herkömmlichen Filter wesentlich erhöht.

[0007] Aus der Literatur sind Geometrien zum Betrieb dielektrisch behinderter Entladungen in keramischen Wabenkörpern bekannt (siehe z.B. EP 0 840 838 B1), in denen durch eine innenliegende Hochspannungs- und eine außenliegende Masseelektrode ein zylindrisches, viele Kanäle enthaltendes Volumen angeregt werden kann. Dadurch kann aber weder zwischen Ein- und Auslasskanälen eines Rußfilters differenziert werden, noch können gezielt Oberflächengleitentladungen erzeugt werden. Außerdem ist wegen der großen Schlagweite zwischen den Elektroden eine hohe Spannungsamplitude von über 20 kV erforderlich, die im Kraftfahrzeug zu Problemen führen kann.

[0008] Ausgehend von letzterem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, ein Plasma-Rußfilter anzugeben, bei dem durch eine geeignete Geometrie die oben angeführten Nachteile vermieden werden.

[0009] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0010] Mit der Erfindung ist ein aus wechselseitig verschlossenen länglichen Kanälen mit beliebigem Querschnitt bestehender Wandflussfilter geschaffen, dessen mit Ruß belegte Wände durch Oberflächengleitentladungen regeneriert werden. Dabei brennen nunmehr die Oberflächengleitentladungen bedingt durch die Anordnung der in das Filtermaterial eingebetteten und damit vor Erosion geschützten Elektroden bevorzugt auf der mit Ruß belegten Einlassseite des Filters. Vorteilhafterweise werden bei der angegebenen Geometrie mit zweistrahligter Symmetrie pro Einlasskanal nur zwei Elektroden zur Erzeugung der Oberflächengleitentladungen benötigt.

[0011] Ausgangspunkt der Erfindung ist ein aus matrixartig angeordneten länglichen Kanälen mit viereckigem Querschnitt bestehender Wandflussfilter. Die Kanäle sind längs einer Zeile oder einer Spalte wechselseitig verschlossenen, so dass sich Einlass- und Auslasskanäle abwechseln.

[0012] Durch die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung wird sichergestellt, dass die Verteilung des elektrischen Feldes in den einzelnen Zellen des Plasma-Rußfilters die Zündung von nichtthermischen Oberflächengleitentladungen in einzelnen Zellen ermöglicht. Dabei werden die dielektrischen Eigenschaften des Wandmaterials des keramischen Rußfilters ausgenutzt, die das Feld in Hohlräumen zwischen den Elektroden konzentriert. Überraschenderweise ergibt sich durch eine Verminderung der Elektrodenzahl pro Einlasskanal von 4 auf 2 nicht etwa eine Verschlechterung der elektrischen Feldverteilung hinsichtlich der Erzeugung von Oberflächenglei-

tentladungen. Wesentlich dafür ist die Anordnung der Elektroden an diagonal gegenüberliegenden Kanten des viereckigen Kanalquerschnittes, wobei notwendigerweise über ihre nicht mit Elektroden versehenen Kanten benachbarte Einlasskanäle in gleicher Polarität beschaltet werden müssen.

[0013] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen. Es zeigen

[0014] **Fig. 1** und **Fig. 3** Querschnitte von Plasmafilterelementen mit Ein- und Auslasskanälen und zugehörigen Elektroden,

[0015] **Fig. 2** und **Fig. 4** berechnete Feldstärkeverteilungen bei den Anordnungen gemäß **Fig. 1** und **3** sowie

[0016] **Fig. 5** Querschnitte eines Einlasskanals mit zweistrahligter Symmetrie und dessen Variation.

[0017] Die Figuren werden nachfolgend teilweise gemeinsam beschrieben. Insbesondere zu **Fig. 1** wird im Einzelnen auf die Patentschrift DE 100 57 862 C1 verwiesen.

[0018] In letzterem Patent wird ein Verfahren zur Verminderung kohlenstoffhaltiger Partikelemissionen von Dieselmotoren unter Schutz gestellt, bei denen Oberflächengleitentladungen zum Einsatz kommen. Bei den in der DE 100 57 862 C1 im Einzelnen beschriebenen **Fig. 1** bis **5** sowie **7** bis **12** sind Wandflussfilter aus keramischem Material aus wechselseitig verschlossenen länglichen Kanälen mit speziell viereckigem Querschnitt, in deren Eckpunkte jeweils Elektroden eingebaut sind, dargestellt.

[0019] **Fig. 1** zeigt im Querschnitt eine derartige Elektrodenanordnung in einem Plasmafilterelement herkömmlicher Art mit vier in Filtermaterial eingebetteten Elektroden je Kanal.

[0020] Im Einzelnen ist ein Einlaßkanal mit **10** und ein Auslasskanal mit **20** bezeichnet. Einlasskanal **10** und Auslasskanal **20** sind durch poröse Wände **30** aus spezifischem keramischem Material getrennt. In den Wänden **30** sind jeweils an den Kanten der Kanäle **10** Elektroden eingebaut, die jeweils paarweise nebeneinander als Hochspannungselektrode **41** und geerdete Elektrode **42** dienen. Um ausreichende dielektrische Festigkeit zu gewährleisten, sind die aus elektrisch leitfähigem Material gefertigten Elektroden **41** und **42** jeweils von einer elektrisch isolierenden Barrierenschicht **43** umgeben, die aus Gründen der Hochspannungsfestigkeit im Gegensatz zum Filtermaterial der Wände **30** niedrige Porosität aufweist.

[0021] **Fig. 2** zeigt die für die Ausbildung von Oberflächengleitentladungen wichtige Verteilung der elektrischen Feldstärke für eine an den Hochspannungselektroden anliegende Spannung von 10 kV bei einem quadratischen Kanalquerschnitt von $2 \times 2 \text{ mm}^2$ im Querschnitt der Anordnung gemäß **Fig. 1**. Mit **50** sind errechnete Feldminima in der Anordnung gemäß **Fig. 1** bezeichnet. Diese Minima finden sich aufgrund der quadrupolartigen Anordnung der Elektro-

den jeweils auf den Symmetrieachsen sowohl der Ein- als auch der Auslasskanäle. Bereiche erhöhter elektrischer Feldstärke **51**, in denen elektrische Gasentladungen bevorzugt zünden werden, finden sich in der Nähe der Kanalwände sowohl der Ein- als auch der Auslasskanäle. Oberhaupt ist aus **Fig. 2** erkennbar, dass sich aufgrund der Symmetrie in den Auslasskanälen **20** die gleiche elektrische Feldverteilung wie in den Einlasskanälen **10** ergibt. Zur Rußoxidation im Wandflussfilter werden aber die Bereiche erhöhter elektrischer Feldstärke tatsächlich nur in den Einlasskanälen benötigt.

[0022] **Fig. 3** zeigt eine Elektrodenanordnung zur selektiven Erzeugung von Gasentladungen in den Einlasskanälen im Querschnitt. Wesentlicher Unterschied zu **Fig. 1** ist die rautenförmige Anordnung der Einlasskanäle **10** und der Auslasskanäle **20**, welche sich aus einer Drehung der Struktur gemäß **Fig. 1** um 45° ergibt. Weiterer Unterschied ist der, dass an den nunmehr rautenförmig ausgebildeten Einlasskanälen jeweils in der Senkrechte an gegenüberliegenden Ecken der Raute Elektroden **41**, **42** vorhanden sind, die jeweils paarweise als Hochspannungselektrode **41** und als Masseelektrode **42** ausgeführt sind. Auch hier ist bei einem porösen Filtermaterial wieder eine Barrierenschicht **43** vorgesehen.

[0023] **Fig. 4** zeigt die vorteilhafte Verteilung des elektrischen Feldes der Anordnung gemäß **Fig. 3**, welche die Zündung von Gasentladungen innerhalb der Einlasskanäle **10** bevorzugt ermöglicht. Aus dieser an einem Modell berechneten Darstellung ergibt sich, dass im Vergleich zu **Fig. 2** die Einlasskanäle **10** über nahezu den gesamten Querschnitt eine erhöhte, für die Zündung von Gasentladungen ausreichende elektrische Feldstärke aufweisen, während in den Auslasskanälen **20** nur in Elektrodennähe im Bereich **51** aufgrund leicht erhöhter elektrischer Felder mit der Zündung von Gasentladungen zu rechnen ist. Bevorzugte Ansatzpunkte von Gasentladungen in den Einlasskanälen liegen aufgrund der dort besonders stark erhöhten elektrischen Feldstärke zuerst in Elektrodennähe. Da während des Betriebes der Gasentladung dort jedoch elektrische Ladungsträger gespeichert werden und damit die elektrischen Felder dort reduziert werden, gleiten die bevorzugten Ansatzpunkte der Gasentladungen sukzessive auf den Wänden der Einlasskanäle entlang in Richtung auf den Mittenbereich, bis die Wände soweit mit Oberflächenladungen belegt sind, dass keine weiteren Gasentladungen mehr gezündet werden können.

[0024] Letzterer Prozess ist mit der Ausbildung von Oberflächengleitentladungen verbunden. Obwohl die anfängliche Feldverteilung Volumen- und Oberflächenentladungen gleichermaßen ermöglicht, wird auf diese Weise ein nicht unwesentlicher Teil der elektrischen Energie in Oberflächenentladungen umgesetzt. Gleichzeitig wird der Betrieb von Gasentladungen in den Auslasskanälen weitgehend unterdrückt. Damit wird bestätigt, dass mit der Anordnung gemäß **Fig. 3** ein gegenüber **Fig. 1**, die dem Stand

der Technik entspricht, verbessertes Ergebnis für die Realisierung eines Plasma-Rußfilters mit Einsatz von Oberflächengleitentladungen zur Oxidation des Rußes vorliegt.

[0025] Bei der Anordnung gemäß **Fig. 3** ergibt sich gegenüber **Fig. 1** nicht nur eine für die effiziente Nutzung der elektrischen Energie vorteilhafte elektrische Feldverteilung, sondern auch eine Verringerung des Material- und Kostenaufwandes durch reduzierte Elektrodenzahl pro Filtervolumen und -Fläche und gleichzeitig eine verringerte elektrische Kapazität, die sich durch vereinfachte Auslegung von Hochspannungsnetzteilen für die elektrische Anregung des Plasma-Rußfilters kostensenkend auswirkt. Wesentlich dafür ist die Anordnung der Elektroden an diagonal gegenüberliegenden Kanten des viereckigen Kanalquerschnittes, wobei über ihre nicht mit Elektroden versehenen Kanten benachbarte Einlasskanäle notwendigerweise in gleicher Polarität beschaltet werden müssen.

[0026] **Fig. 5** zeigt als Ausschnitt aus **Fig. 3** links den rautenartigen Querschnitt eines einzelnen Einlasskanals mit Elektrode **41**, Gegenelektrode **42** und zwei Achsen **60** und **60'**, die eine zweistrahlige Symmetrie definieren. Diese Elemente sind für Funktionsfähigkeit des Filters von Bedeutung, wobei die Elektroden **41** und **42** durch die Achse **60** als eine Symmetrielinie verbunden sind.

[0027] Es ist offensichtlich, dass das beschriebene Konzept auf andere Kanalquerschnitte übertragbar ist. Ausgehend von der in **Fig. 3** gezeigten Gesamtgeometrie und der spezifischen Symmetrie gemäß **Fig. 5** hält man die Elektroden **41** und **42** sowie die Verbindungsachse **60** zwischen den Elektroden **41** und **42** als erste Symmetrielinie fest und verformt den Kanalquerschnitt symmetrisch bezüglich dieser Achse. Bei Berücksichtigung der zweiten Symmetrielinie ergibt sich beispielsweise eine Sternform im rechten Bereich von **Fig. 5**, bei der die für die Rußablagerung wirksame Wandfläche im Einlasskanal gegenüber **Fig. 3** vergrößert ist.

[0028] Berücksichtigt man die Geometrie entsprechend **Fig. 5**, werden die Auslasskanäle komplementär entsprechend verformt, so dass sich wieder eine vollständige Bedeckung des Querschnittes mit Ein- und Auslasskanälen ergibt. Im Prinzip ist jede Umwandlung eines Vierecks in ein $n \times$ Viereck mit $n \geq 2$ möglich.

Patentansprüche

1. Plasma-Rußfilter auf der Grundlage eines Wandflussfilters, bestehend aus wechselseitig verschlossenen länglichen Einlass- und Auslasskanälen aus Filtermaterial, wobei Rußpartikel an den Filteroberflächen der Einlasskanäle abgeschieden und dort zwecks Regeneration des Filters durch Einwirkung dielektrisch behinderter Oberflächengleitentladungen oxidiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kanäle (**10**, **20**) einen beliebigen Quer-

schnitt mit zweistrahli-ger Symmetrie haben und dass pro Einlasskanal (**10**) nur zwei Elektroden (**41**, **42**) zur Erzeugung der Oberflächengleitentladungen vorhanden sind, die auf einer der Symmetrielinien liegen.

2. Plasma-Rußfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (**41**, **42**) in das Filtermaterial (**30**) eingebettet und damit vor Erosion geschützt sind.

3. Plasma-Rußfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (**41**, **42**) in ein elektrisch isolierendes Barrierenmaterial (**43**) niedriger Porosität eingebettet sind.

4. Plasma-Rußfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächengleitentladungen selektiv auf der mit Ruß belegten Einlassseite des Wandflussfilters mit Einlasskanal (**10**) und Auslasskanal (**20**) brennen.

5. Plasma-Rußfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ein- und Auslasskanäle einen viereckigen Querschnitt haben, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (**41**, **42**) an diagonal gegenüberliegenden Ecken des viereckigen Kanalquerschnittes angeordnet sind, wobei die mit Elektroden (**41**, **42**) an den Ecken benachbarter Einlasskanäle (**10**) in gleicher Polarität beschaltet sind.

6. Plasma-Rußfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt mit zweistrahli-ger Symmetrie eine Viereckgeometrie mit den beiden Elektroden (**41**, **42**) an gegenüberliegenden Ecken ist.

7. Plasma-Rußfilter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Viereckgeometrie eine vertikal orientierte Raute ist.

8. Plasma-Rußfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Einlasskanals (**10**) mit zweistrahli-ger Geometrie eine $n \times$ viereckige Geometrie mit $n \geq 2$ hat, die durch Verformung des viereckförmigen Querschnittes des Einlasskanals (**10**) bei Festhalten der Elektroden (**41**, **42**) und der ersten Symmetrielinie (**60**) erhalten wird (**Fig. 5**).

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

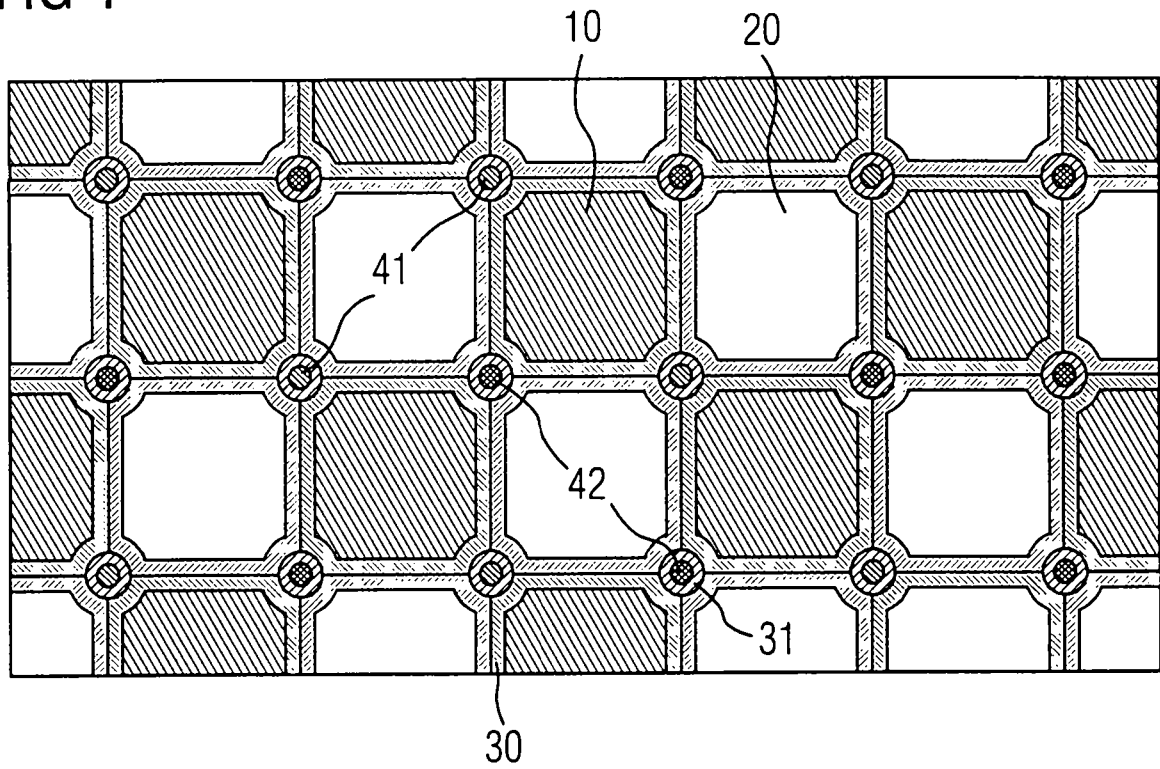


FIG 2

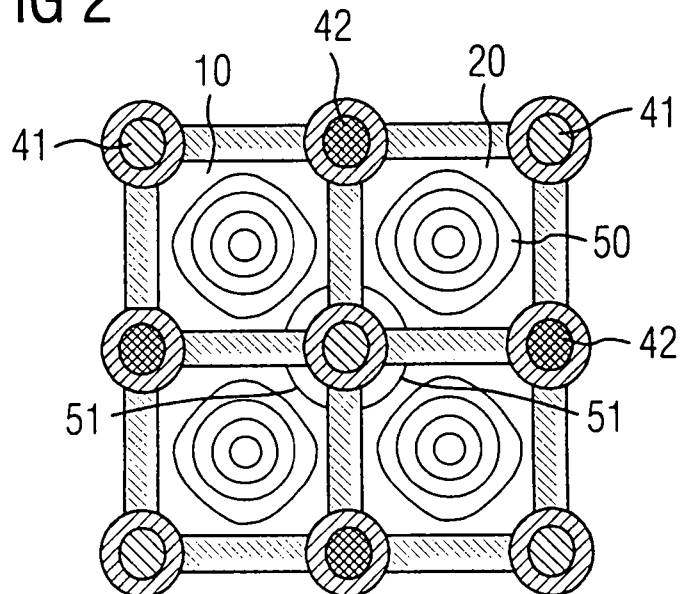


FIG 3

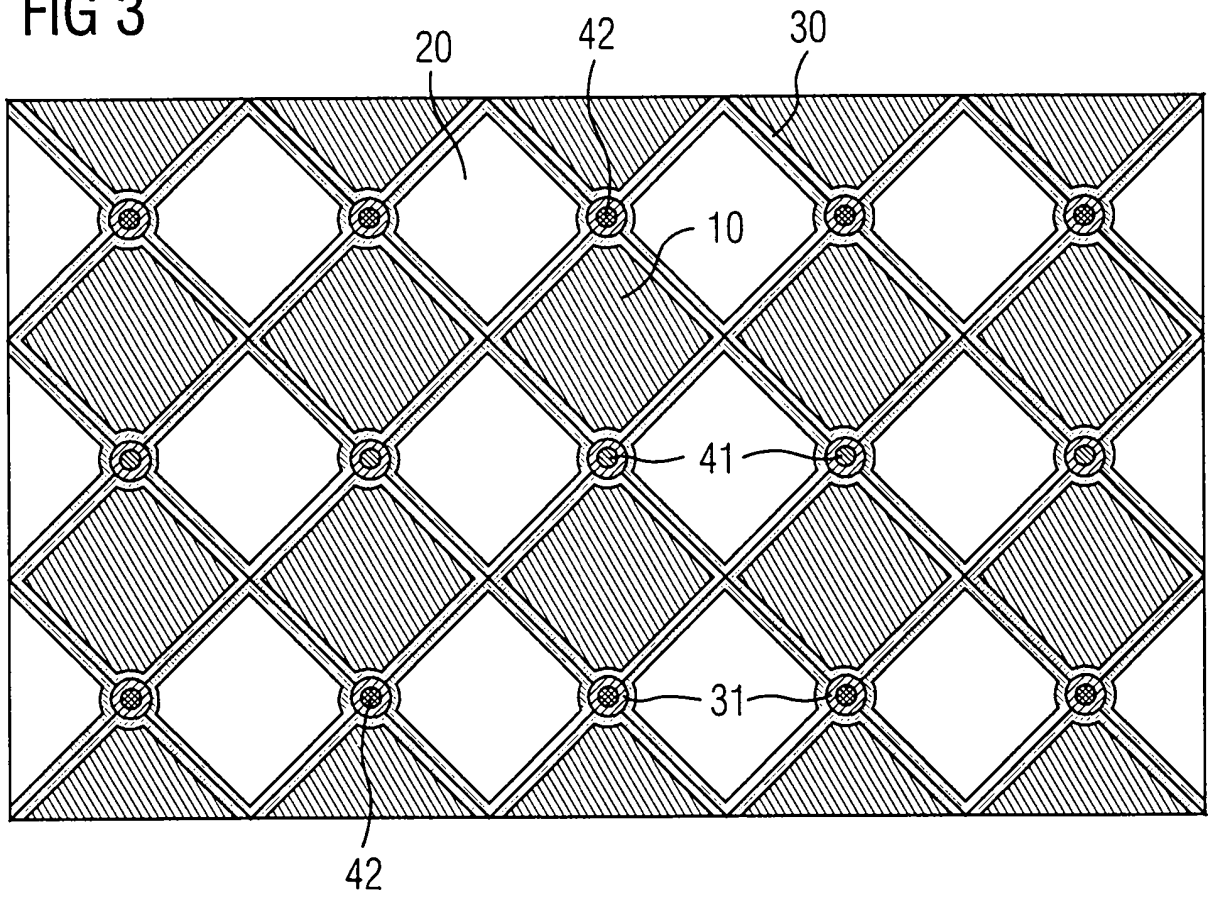


FIG 4

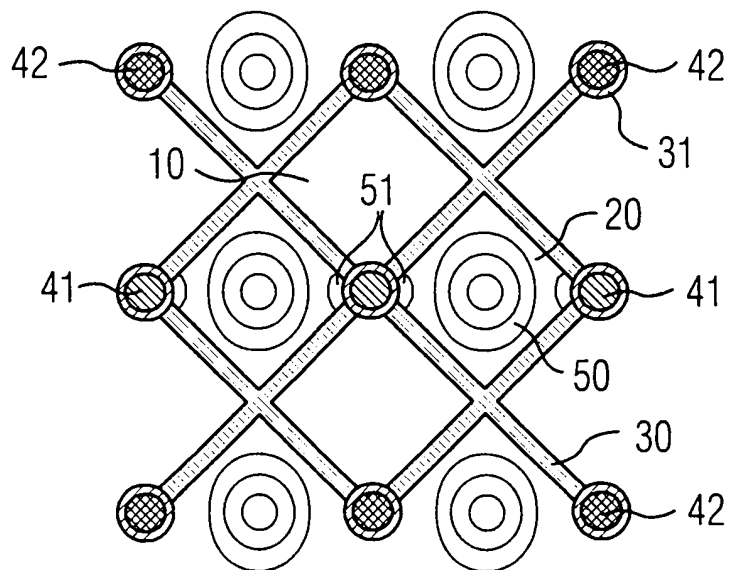


FIG 5

