



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 20 946 T2 2006.05.04**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 169 131 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 20 946.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB00/01329**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 919 033.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/61293**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.04.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **19.10.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **22.06.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B03C 3/14 (2006.01)**
B03C 3/28 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
9908099 12.04.1999 GB

(73) Patentinhaber:
**Darwin Technology Ltd., Skelmersdale,
Lancashire, GB**

(74) Vertreter:
**Neidl-Stippler, C., Dipl.-Chem.Dr.phil.nat.,
Pat.-Anw., 81679 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:
**GRIFFITHS, George, Skelmersdale, Lancashire,
GB; GAY, Geoffrey Norman Walter, Lancashire, GB**

(54) Bezeichnung: **LUFTREINIGER**

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

[0001] Die Erfindung betrifft eine Luftreiniguvorrichtung zur Reduktion von Aerosolkonzentrationen in einem geschlossenen Raum, wie einer Fabrik, einem Schuppen, einem Gewächshaus, Halle, Einkaufsmall oder Raum.

[0002] Hohe Aerosolkonzentrationen können wegen dem Einatmen der suspendierten Partikel eine Gesundheitsgefährdung darstellen.

[0003] In der Landwirtschaft werden hohe Aerosolkonzentrationen in Situationen wie Geflügelställen und Schweineintensivhaltungsställen usw. gefunden, wobei die Gesundheit sowohl der Arbeiter als auch der Tiere Risiken ausgesetzt ist.

[0004] In der Industrie produzieren viele Verfahren wie Schweißen, Schleifen, Schmelzen und die Verwendung von Verbrennungsmotoren in abgeschlossenen Räumen hohe Verunreinigungs aerosolkonzentrationen.

[0005] In sozialen und häuslichen Situationen wird eine Aerosolbelastung durch Rauchen hervorgerufen. Niesen kann Aerosole von Bakterien und Viren hervorrufen. Allergie produzierender Pollen wird in hohen Konzentrationen zu verschiedenen Jahreszeiten vorgefunden. Staubmilben, Allergenpartikel werden beim Bettenmachen entwickelt und geraten als Aerosol an die Luft.

[0006] Konventionelle Luftreiniguvorrichtungen entfernen Partikel aus der Luft indem sie diese entweder in Filtern auffangen (Filterluftreiniger (FAC's)) oder durch Sammeln derselben auf Platten (elektrostatische Abscheidungsluftreiniger (ESPAC's)). Die Filter und Platten können dann weggeworfen, gewaschen oder erneuert werden.

[0007] US 4234324 beschreibt einen elektrostatischen Luftfilter mit engem Abstand angeordneten planen Elektroden leitfähigen Materials, die durch gewählte Abstandshalter an ihren Kanten voneinander getrennt sind.

[0008] GB 2308320 A beschreibt einen Luftfilterapparat mit einem Korona-Entladungsmittel, das mit einer Hochspannungsquelle verbunden ist, um verunreinigende Partikel elektrisch aufzuladen, welche den Apparat durchlaufen und ein Elektretfilterteil, um die geladenen Verunreinigungs partikel zu sammeln.

[0009] Die Nachteile von FAC's sind:

1. Die Wirksamkeit der Filter fällt mit der Zeit häufig beträchtlich ab.
2. Der Druckabfall über den Filter ist oft hoch und erfordert daher einen sehr starken Ventilator.
3. Die starken Ventilatoren sind häufig laut und verbrauchen viel Energie.
4. Die Filter müssen regelmäßig erneuert werden.

[0010] Die Vorteile von ESPAC's sind:

1. Niedrigerer Druckabfall.
2. Geringes Geräusch und geringer Energieverbrauch.
3. Abwaschbare Sammelplatten.

[0011] Die Nachteile von ESPAC's sind:

1. Aufwendiges Abschirmen der Hochspannungsmetallsammelplatten. Der Anwender muss vor der Möglichkeit eines elektrischen Schlages aus der Hochspannungsquelle (typischer Weise einige Kilovolt) geschützt werden. Sogar dann, falls die Spannungsquelle abgeschaltet ist, besteht die Gefahr eines Schlages aus der auf den Platten gespeicherten elektrischen Ladung. Die Platten müssen zum Reinigen entfernt werden und daher wird meist eine Sicherheitsschaltung vorgesehen, um automatisch die Platten vor Zugang zu denselben zu entladen.
2. Verlust der Wirksamkeit und Generation von Ozon durch bei Zusammenbrechen der Elektrizität zwischen den Metallplatten und Leckagen.
3. Die Platten müssen relativ weit voneinander beabstandet sein, um das Zusammenbrechen des elektrischen Feldes in der Luft zwischen den Platten zu reduzieren. Dies reduziert die Wirksamkeit.

[0012] Es ist ein Ziel der Erfindung, eine praktische Vorrichtung zum Einsatz bei der Entfernung von Partikeln aus einem Luft- oder Gasstrom zu schaffen, im Wesentlichen unter Vermeidung der den ESPAC's eigenen Nachteile.

[0013] Erfindungsgemäß wird eine Partikelabscheidungsrichtung zum Entfernen von in einem Gasstrom mitgerissener Partikel geschaffen, die ein Feld von Durchlässen, welche der Gasstrom relativ frei passieren kann, wobei die Durchlässe durch Kunststoffwände umschlossen sind; Mittel, den Gasstrom durch das Feld zu drücken, wobei die Kunststoffwände Flächen leitfähigen Materials, die mit ihnen in Kontakt sind außerhalb der Durchlässe besitzen und Mittel zum alternierenden Anlegen hoher und niedriger elektrischer Potentiale an isolierten Stellen des leitfähigen Materials, um geladene Bereiche im Feld zum Sammeln von Partikeln aus dem Gasstrom zu schaffen, aufweist.

[0014] Die Passagen werden bevorzugt durch gerillte Kunststofffolien geschaffen, die bevorzugt leitfähiges Material an ihren gegenüberliegenden Außenflächen besitzen. Die gerillten Kunststoffflächen können bspw. übereinander gelegt, ziehharmonikaartig gefaltet, spiralig geformt oder in einem konzentrischen Feld sein.

[0015] Alternativ können die Passagen durch nebeneinander angeordnete Kunststoffrohre geschaffen sein. Die Kunststoffrohre können rechtwinkligen oder kreisförmigen Querschnitt aufweisen.

[0016] Wiederum können die Passagen zwischen den Wänden gewellter Kunststofffolien oder zwischen flachen Kunststofffolien und geweltem leitfähigem Material ausgebildet sein.

[0017] Das erfindungsgemäß einsetzbare Kunststoffmaterial besteht bevorzugt aus Polypropylen, Polyethylen oder einem Copolymer desselben. Es können auch andere Kunststoffmaterialien wie PVC, PET, PTFE und Polycarbonat geeignet sein.

[0018] Die Flächen leitfähigen Materials sind bevorzugt aus Material hoher Impedanz, können aber auch aus einem solchen niedriger Impedanz bestehen. Auf alternierende Kunststoffschichten können jeweils Flächen Materials hoher Impedanz und niedriger Impedanz sein.

[0019] Das Material hoher Impedanz ist bevorzugt ein solches auf Zellulosebasis, wie Papier. Alternative Materialien hoher Impedanz umfassen Farbe oder Tinte oder antistatische Beschichtungen.

[0020] Das Material niedriger Impedanz ist bevorzugt mit Abstand von den Kanten der Kunststoffwände angeordnet, außer dort, wo es mit den Mitteln zum Anlegen von Potential an dieselben verbunden wird.

[0021] Das leitfähige Material ist bevorzugt mit Abstand von den Kanten der Kunststoffwände nach innen versetzt, außer dort, wo es mit den Mitteln zum Anlegen eines Potentials an dieselben verbunden ist.

[0022] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung umfassen ferner Mittel zum elektrischen Aufladen von Partikeln im Gasstrom vor dem Feld von Durchlässen. Derartige Mittel können Korona-Entladungsmittel oder Mittel zur radioaktiven Ionisierung sein.

[0023] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung umfassen alternierende Schichten gerillter Kunststofffolie leitfähigen Materials mit hohen und niedrigen elektrischen Potentialen, wobei das leitfähige Material mit Abstand von den Kanten der Kunststofffolie nach Innen angeordnet ist, um ein Austreten von Hochspannung und demzufolge Austreten von Ionen zum Aufladen der die Vorrichtung betretenden Partikel zu bewirken. Die Flächen niedrigen elektrischen Potential befinden sich bevorzugt auf Erdpotential.

[0024] Materialien hoher Impedanz, die erfindungsgemäß verwendet werden, besitzen bevorzugt eine Dünnschichtresistenz in der Größenordnung von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat.

[0025] Vorrichtungen gemäß der Erfindung umfassen bevorzugt eine Hochspannungsquelle um die Flächen hohen elektrischen Potentials mit Energie zu versorgen sowie eine Verbindungsleitung zwischen der Hochspannungsquelle und diesen Flächen aus isoliertem Material hoher Impedanz.

[0026] Geräte gemäß bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung umfassen ferner Mittel zur Ionisierung des Gasstroms, wenn dieser das Feld verlässt. Die Mittel zum Ionisieren des Gasstromes, falls dieser das Feld verlässt. Die Mittel zum Ionisieren des Gasstromes, wenn es das Feld verlässt, umfassen bevorzugt einen primären Korona-Entladungsemitter und einen sekundären Korona-Entladungsemitter auf niedrigerem Potential als der primäre Emitter. Der primäre Emitter ist bevorzugt mit einem hohen negativen Potential verbunden während der sekundäre Emitter bevorzugt geerdet ist. Der primäre Emitter ist bevorzugt eine Nadel mit einer scharfen Spitze und der sekundäre Emitter ist bevorzugt eine Nadel mit einer relativ stumpfen Spitze.

[0027] Erfindungsgemäße Vorrichtungen umfassen allgemein eine Serie beabstandeter Platten, die alternierend auf hohem und niedrigem w Potential sind. Die Platten hohen elektrischen Potentials sind elektrisch von den Platten niedrigen elektrischen Potentials isoliert. Die Platten hohen Potentials können positiv oder negativ zu den Platten niedrigen Potentials sein. Die Platten niedrigen Potentials können ein lineares Feld von beabstandeten Platten oder ein kreisförmiges Feld von beabstandeten Platten oder ein spiralförmiges Feld von beabstandeten Platten oder irgendein anderes geeignetes Feld mit Abständen sein. Die Platten hohen Potentials werden aus einem speziellen Material hoher Impedanz, nicht aus Metall, hergestellt (welches ein Material niedriger Impedanz ist (LIM)). Das Material hoher Impedanz (HIM) der Platten hohen Potentials ermöglicht es, die Platten auf ihr volles elektrisches Arbeitspotential zu bringen, aber verhindert, dass sie eine Gefahr für einen elektrischen Schlag sind. Wenn die Platten hoher Impedanz (HIM) durch eine Person, bspw. den Nutzer, berührt werden, wird der Stromfluss auf einen niedrigen Wert eingeschränkt, der keinen Schlag und keine Gesundheitsgefährdung bewirkt. Demzufolge muss die Serie beabstandeter Kollectorplatten nicht mehr aus Gründen des Schutzes im Luftreiniger versteckt werden, sondern kann, falls notwendig, extern für leichten Zugang und Entfernung zum Waschen der Platten aufgebaut werden.

[0028] Platten hohen Potentials müssen durch einer Hochspannungsquelle mit Energie versorgt werden. Erfindungsgemäss wird auch eine spezielle Leitung zur Verbindung der Platten hohen Potentials aus Material hoher Impedanz (HIM) geschaffen. Die HIM-Leitung würde mit einem Kunststoff in konventioneller Weise isoliert, wobei dann, falls die Isolation bräche, die Leitung keine Gefahr eines elektrischen Schlages auf Grund der Begrenzung auf niedrigen Stromfluss in der Leitung darstellte.

[0029] Luft, welche die Serie beabstandeter Platten betritt, wird durch dieses Plattenfeld typischer Weise unter Verwendung eines elektrisch angetriebenen Ventilators gezogen oder geblasen. Die geladenen Partikel und jegliche elektrisch neutralen Partikel (positiv oder negativ geladen) werden einem starken elektrischen Feld unterworfen, was dazu führt, dass sie, wenn diese die Platten passieren, an die Platten gezogen und daran gesammelt werden.

[0030] Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Sätze Platten hohen Potentials und niedrigen Potentials aus HIM hergestellt.

[0031] Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die HIM-Platten hohen Potentials mit einem Isolationsfilm überzogen.

[0032] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind sowohl die HIM-Platten hohen Potentials und die Platten niedrigen Potentials mit einem Isolationsfilm überzogen.

[0033] Bei einer bevorzugten alternativen Ausführungsform ist der Spalt zwischen den Platten hohen Potentials und niedrigen Potentials durch ein isolierendes gerilltes Kunststofffolienmaterial besetzt, durch welches Luft passiert.

[0034] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden die Platten hohen Potentials und niedrigen Potentials, welche sandwichartig das gerillte doppelwandige Folienmaterial isolierenden Kunststoff einschließen, zunächst mit der Hochspannungsquelle verbunden und sodann getrennt.

[0035] Die Erfindung wird nun nachfolgend beispielhaft unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen

[0036] [Fig. 1](#) schematisch eine Partikelabscheidungseinrichtung zeigt;

[0037] [Fig. 2](#) schematisch eine zweite Partikelabscheidungsvorrichtung zeigt

[0038] [Fig. 3](#) schematisch eine dritte Partikelabscheidungsvorrichtung zeigt;

[0039] [Fig. 4a](#) und b schematisch eine erste Ausführungsform der Erfindung zeigen;

[0040] [Fig. 5](#) schematisch ein Plattenfeld mit linearen Abständen zeigt;

[0041] [Fig. 6](#) schematisch ein Plattenfeld mit kreisförmigen Abständen zeigt;

[0042] [Fig. 7](#) schematisch ein Plattenfeld mit spiraligen Abständen zeigt;

- [0043] [Fig. 8](#) schematisch eine zweite Ausführungsform der Erfindung zeigt;
- [0044] [Fig. 9](#) schematisch ein System zum Beladen von Partikeln in einem Luftstrom zeigt;
- [0045] [Fig. 10](#) schematisch eine dritte Ausführungsform der Erfindung zeigt;
- [0046] [Fig. 11](#) schematisch eine vierte Ausführungsform der Erfindung zeigt;
- [0047] [Fig. 12](#) schematisch ein System zur Herstellung eines Austritts von Ionen zum Beladen von Partikeln in einem Luftstrom zeigt;
- [0048] [Fig. 13](#) schematisch ein System zur Reduktion des Risikos elektrischer Schläge von erfindungsgemäßen Vorrichtungen zeigt;
- [0049] [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) schematisch dem Betrieb der erfindungsgemäßen Partikelabscheidungsrichtungen zeigen; und
- [0050] [Fig. 16](#) schematisch einen elektrostatischen Luftreiniger nach dem Stand der Technik zeigt.
- [0051] [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#), [Fig. 5](#) bis [Fig. 7](#), [Fig. 9](#), [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen keine Ausführungsformen der beanspruchten Erfindung, sondern dienen lediglich Erläuterungszwecken.
- [0052] In der nachfolgenden Beschreibung der [Fig. 1](#) bis [Fig. 7](#) der Zeichnung werden ähnlichen Teilen gleiche Bezugszeichen aus Gründen der Einfachheit gegeben und hauptsächlich Unterschiede zwischen den Ausführungsformen detaillierter beschrieben.
- [0053] [Fig. 1](#) der begleitenden Zeichnung bezieht sich auf eine Partikelabscheidungsrichtung, die mindestens zwei Platten **1** und **2** (zur Vereinfachung sind nur zwei Platten gezeigt), die so voneinander getrennt sind, dass ein im Wesentlichen freier Luft- oder Gasfluss **3** zwischen den Platten ermöglicht ist.
- [0054] Platte **1**, die auf hohem elektrischen Potential liegt, ist aus einem Material hoher Impedanz (HIM) konstruiert oder mit diesem überzogen. Die Platte muss nicht dick sein, für die meisten Zwecke genügen 1 mm oder weniger. Geeignete Materialien hoher Impedanz umfassen Karton, Pappe, Papier, Zelluloseklebeband und einen Bereich anderer Materialien. Alternativ kann die Platte **1** aus einem isolierenden Kunststoffmaterial, überzogen mit einem HIM-Film, sein. Derartige Überzugsmaterialien umfassen spezielle Kunststoffe, bestimmte Spezialfarben und bestimmte antistatische Beschichtungen. Geeignetes Material hoher Impedanz (HIM) besitzt bevorzugt einen spezifischen Oberflächenwiderstand des dünnen Films in der Größenordnung von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat. Zum Vergleich: Materialien niedriger Impedanz (UM) haben typischer Weise einen spezifischen Oberflächenwiderstand des dünnen Films von 0,1 bis 1,0 Ohm pro Quadrat für Metalle mit etwa 50 Micron Dicke und 10 bis 1000 Ohm pro Quadrat für Kohlenstofffarbfilme mit 50 Micron Dicke. Die spezifischen Oberflächenwiderstände von Isolatoren und Isolationsmaterialien sind typischer Weise im Bereich von 10^{13} bis 10^{16} Ohm pro Quadrat.
- [0055] Eine Hochspannungsquelle **4** ist mit einer speziellen Leitung **5** mit der Oberspannungsplatte **1** verbunden. Die Leitung **5** ist aus einem leitfähigen Kern von HIM, umgeben durch einen Mantel von Isolationsmaterial, konstruiert.
- [0056] Die HIM-Leitung **5** muss ausreichend leitfähig sein, um das Plattenfeld mit ausreichend Strom zu versorgen, um das hohe Potential aufrecht zu erhalten, aber nicht leitfähig genug, um dem Betreiber einen Schlag zu versetzen, falls das Isolationsmaterial bricht. Eine Anzahl Materialien kann dazu verwendet werden, den Kern der Leitung **5** herzustellen, eingeschlossen Zelluloseschnur oder ähnliche Materialien, wie sie bei den Materialien hoher Impedanz der Platten verwendet werden.
- [0057] Platte **2** ist eine Platte niedriger Spannung und aus HIM konstruiert. Platte **2** ist über eine konventionelle isolierte Leitung mit einem Metall Leitungskern **6** mit der Spannungsquelle **4** verbunden. Die Platte **2** befindet sich auf niedrigem oder Erdpotential, stellt daher keine Gefahr für einen elektrischen Schlag dar und kann somit aus leitfähigerem Material hergestellt sein, wie Metallen, Metallfolien oder Kohlenstoff überzogenen Kunststoffen.
- [0058] Bspw. wurde ein Feld von 13 HIM-Platten aus Zellulosepappe mit 0,4mm Dicke mit einem Trennab-

stand zwischen den Platten von 4mm konstruiert. Das Feld war – ausgedrückt in Luftflussstrecke durch das Feld – 100mm tief. Luft wurde mit 2,0 m/s durch das Feld geführt. Die HIM-Platten hohen Potentials wurden bei 13 Kilovolt Gleichspannung über den Platten niedrigen Potentials gehalten. Luft, die das Feld durchlief, enthielt etwa 500 µg/m³ negativ geladener Salzpartikel mit einem mittleren Durchmesser von 0,5 Micron. Die Abscheidungsseftizienz wurde zu 93 % bestimmt.

[0059] In der Vorrichtung der [Fig. 2](#) (die aus Gründen der Klarheit die Energieversorgung und -anbindung nicht zeigt) ist die HIM-Platte **1** hohen Potentials mit Isolation **8** bedeckt oder überzogen. Dies reduziert das Austreten und Verlust elektrischen Potentials von der Platte, falls Brückenbildung zwischen Platten hohen und niedrigen Potentials durch Schmutz oder Fremdkörper auftritt.

[0060] Die Isolation **8** kann ein Film oder Filme nicht leitfähiger Farbe, ein Kunststoffbandfilm, ein wärmegehärteter Kunststofffilm oder eine andere geeignete Isolation sein.

[0061] Die Platte **7** niedrigen Potentials kann aus Material hoher Impedanz oder metallischem leitfähigem Material, Material, überzogen mit leitfähiger Kohlenstofffarbe, mit leitfähigem Kohlenstoff beladener Kunststoff oder jegliches ähnliches geeignetes Material sein.

[0062] In der Vorrichtung der [Fig. 3](#) sind sowohl die obere Platte **1** hohen Potentials als auch die untere Platte **7** niedrigen Potentials mit Isolation **8** bedeckt oder überzogen.

[0063] Die Platte hohen Potentials ist aus Material hoher Impedanz, überzogen mit Isolation **8**, konstruiert.

[0064] Die Platte niedrigen Potentials kann aus jeglichem geeignetem Material hoher oder niedriger Impedanz hergestellt sein und die Platte ist mit Isolation **8** bedeckt.

[0065] Ein Vorteil der Isolation beider Plattensätze besteht darin, dass sogar dann, falls die Platten einander berühren, kein Verlust des Hochspannungspotentials auftritt und demzufolge kein Funktionsverlust.

[0066] In der Ausführungsform der [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) sind sowohl die Platten hohen als auch niedrigen Potentials durch ein isolierendes, doppelwandiges, gerilltes Kunststofffolienmaterial **9** getrennt. Die Folienmaterialien **9** können aus Polypropylen, Polyethylen, Polycarbonat, P.T.F.E. oder anderen geeigneten Isolationsmaterialien hergestellt sein. Die [Fig. 4a](#) illustriert Luftfluss durch die Rillen. Die [Fig. 4b](#) zeigt eine Ansicht im rechten Winkel zu derjenigen der [Fig. 4a](#), so als ob die Luft in die Seite fließt. Luft kann frei durch die Rillen des Kunststofffolienmaterials **9** fließen. Die Rillenwände **10** sind ein integraler Teil des Folienmaterials **9**. Das gerillte Kunststofffolienmaterial **9** ist in seiner Struktur starr und bietet sich für den einfachen Aufbau eines Mehrplattenfeldes an.

[0067] Das bevorzugte Material der Platten hohen und niedrigen Potentials ist ein Material hoher Impedanz (HIM), aber da das doppelwandige gerillte Kunststofffolienmaterial **9** ein guter Isolator ist, kann ein Material niedriger Impedanz geeignet sein.

[0068] In der Ausführungsform der [Fig. 4](#) wird die Abscheidung von Partikeln durch Anlegen eines kontinuierlichen hohen Potentials zwischen der Platte **1** hohen Potentials und der Platte **2** niedrigen Potentials bewirkt.

[0069] Bspw. wurde ein kreisförmiges Feld des Durchmessers von 410mm und einer Tiefe von 100mm unter Verwendung eines Stapels isolierenden doppelwandigen gerillten Kunststofffolienmaterials (IPTFSM), getrennt durch Platten niedrigen und hohen Potentials, hergestellt aus HIM, konstruiert. Das IPTFSM, das aus Polypropylen konstruiert war, hatte einen offenen Luftabstand von 4m. Die Wanddicke des IPTFSM betrug 0,4mm. Das eingesetzte HIM war ein Zelluloseklebeband einer Dicke von 0,13mm. Die HIM-Platten hohen Potentials wurden gegenüber den Platten niedrigen Potentials bei -10 kV Gleichspannung gehalten. Luft (mit einem Gehalt eines negativ geladenen Aerosols von etwa 500µg/m³ Salzpartikel eines mittleren Durchmessers von 0,5 Micron) wurde durch das Feld mit einer mittleren Geschwindigkeit von 1,8 m/s bewegt. Die Abgaberate sauberer Luft (CADR) wurde zu 717 m³/h gemessen.

[0070] Bei einer weiteren Ausführungsform (wiederum bezogen auf [Fig. 4](#)) wird ein hohes Anfangspotential zwischen den beiden Platten angelegt und sodann die Hochspannungsversorgung abgetrennt. Es könnte erwartet werden, dass die Effizienz der Partikelabscheidung abfällt, dies wurde aber nicht gefunden. Es scheint, dass die zuerst generierte hohe elektrische Feldstärke zwischen den Platten das gerillte Kunststofffolienmaterial **9** dazu veranlasst, ein Elektretmaterial zu bilden, das immobilisierte Ladung in **9** speichert. Die durch diese

immobilisierte gespeicherte Ladung generierten Feldstärken sind ausreichend stark, um Partikel an den Wänden der Rillen des Materials **9** abzuscheiden.

[0071] Eine weitere Ausführungsform umfasst den Einsatz eines Stapel Feldes **11** als Luftreinigungssammelvorrichtung ohne jegliche Vorbehandlung des gerillten Folienmaterials **9**. Diese Folienmaterialien werden häufig durch Extrusion geschmolzenen Kunststoffes hergestellt und das jungfräuliche Material besitzt üblicher Weise irgendeinen Grad Elektreteigenschaft und zeigt Luftreinigungseigenschaften ohne jegliche weitere Behandlung.

[0072] Die [Fig. 5](#), [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) repräsentieren Platten Felder mit linearen kreisförmigen und spiralförmigen Abständen. In jedem Fall wird die Platte hohen Potentials mit **13** bezeichnet und die Platte niedrigen Potentials mit **12**. Der Luftfluss scheint in die Seite einzutreten.

[0073] Die [Fig. 8](#) der begleitenden Zeichnung zeigt, wie ein Luftfilter aus doppelwandiger, gerillter Kunststofffolie **10** hergestellt sein kann. Die Außenflächen **30a** und **30b** der Folie sind mit einem leitfähigen oder hochwiderstands Elektrodenmaterial überzogen oder bedeckt. Das Folienmaterial wird sodann harmonikaartig gefaltet um ein überlappendes Feld Luftpassagen zu bilden. Eine Außenfläche **30a** ist als Hochpotentialseite ausgelegt und die andere Seite **30b** als Seite niedrigen Potentials. Die Flächen **30a** und **30b** sind entsprechend mit Quellen hohen und niedrigen Potentials verbunden, um das notwendige elektrische Feld zur Induktion von Ladungsstellen in den Rillen, auf welche Aerosolpartikel aus einem Luftstrom, welcher die Rillen durchläuft, gezogen werden können, zu schaffen. Nicht gezeigt ist ein Ventilator oder ein anderes Mittel, um Luft durch das Feld zu ziehen oder zu blasen.

[0074] Bei Ausführungsformen der Erfindung kann es erwünscht sein, Partikel vor dem Eintreten in das Filterfeld vorzuladen. Dies kann mittels zwei Ionen Emitter **36**, **38**, die in einem Kunststoff Luftflussauslass Leitung eines Luftfilters der Erfindung angeordnet sind, erzielt werden. Einer der Emitter **36** besitzt eine scharfe Spitze, typischer Weise mit einem Biegeradius der Spitze von weniger als 0,1mm, auf einem hohen negativen Potential und ist mit einem Abstand z vom Ionenemitter **38** mit einer stumpfen Spitze (Biegeradius der Spitze typischer Weise 0,5 bis 2,0mm) angeordnet.

[0075] Als Resultat der hohen elektrischen Feldstärke zwischen den Emittlern gehen beide Emitter in Koronaemission über. Der scharfe Emitter **36** emittiert negative Ionen im Überschuss. Der stumpfe Emitter **38** emittiert positive Ionen in geringeren Mengen. Der negative Ionenstrom neutralisiert im Wesentlichen den positiven Ionenstrom. Der Nettoeffekt des Durchblasens von Luft durch beide Emitter resultiert in einer abgehenden Wolke negativer Ionen.

[0076] Diese Ionen verlassen die Luftreinigungsmaschine und bewegen sich zur Diffusionsaufladung von Partikeln im Raum. Luftionen, durch die Ionenemitter produziert, werden in den Raum geblasen, wo diese durch Diffusionsladung den Partikeln im Raum eine geringe Menge elektrischer Ladung mitteilen. Wenn die geladenen Partikel in die Luftreinigungsmaschine gezogen werden, werden sie durch die elektrostatischen Felder in den Rillen der Folienmaterialien gefangen. Es ist erwünscht, die Ionenemitter in der Luftreinigungsmaschine anzuordnen, um sowohl lokale Abscheidung zu reduzieren als auch die Möglichkeit eines elektrischen Schlages zu reduzieren. Externe Ionenemitter führen zu lokaler Schmutzabscheidung nahe der Emitter und können auch eine elektrostatische Ärgernis für die Benutzer des Luftreinigers darstellen. Dies steht im Kontrast zu der Verwendung von zwei scharfen Emittlern. Falls zwei scharfe Emitter verwendet werden, besteht ein größerer Überschuss positiver Ionen. Positive Ionen im austretenden Luftstrom werden effektiv negativ geladene Partikel neutralisieren und demzufolge die Effizienz des Partikelfangens in den Rillen erniedrigen. Optimierung der negativen Ionisierung (und demzufolge monopolare Ladung) wird durch Einstellung der Emitterpotentiale, Biegeradien der Emitterspitzen, der Strecke z , der Luftflussrichtung und -geschwindigkeit erzielt.

[0077] [Fig. 10](#) zeigt schematisch eine Ausführungsform der Erfindung, in der die isolierenden doppelwandigen Kunststofffolienmaterialien durch ein Feld quadratischer isolierender Kunststoffrohre **40**, die zwischen den Elektrodenmaterialschichten **42**, **44** sandwichartig angeordnet sind, ersetzt sind.

[0078] Luft fließt entlang der Rohre quadratischen Querschnitts **40** wie Luft die Rillen des Folienmaterials. Die quadratischen Rillen werden bevorzugt durch einen kontinuierlichen Kunststoffextraktionsprozess hergestellt und die Rohre auf geeignete Länge geschnitten, um unterschiedlichen Anwendungen in der Luftreinigung zu genügen. Die individuellen Rohre würden so angeordnet, wie gezeigt, wobei Elektrodenmaterial hohen und niedrigen Potentials (**42**, **44**) die Rohre quadratischen Querschnitts sandwichartig umgibt.

[0079] Alternativ ist, wie in [Fig. 11](#) der Zeichnung gezeigt, können Kunststoffrohre **50** kreisförmigen Querschnitts eingesetzt werden, die wiederum zwischen dem Elektrodenmaterial **42, 44** sandwichartig eingeschlossen sind.

[0080] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung können die Positionierung der Elektroden oder von Elektrodenmaterial umfassen, um Partikelaufladen durch den Kunststoff vorzusehen, insbesondere das Feld gerillter Kunststofffolien selbst, so dass keine externe negative Aufladung der Partikel benötigt wird.

[0081] [Fig. 12](#) der Zeichnung zeigt eine Anordnung von Elektrodenmaterial **70** gegenüber den Folienmaterialien **72** (es ist nur eine Folie in einem Feld dargestellt). Die Abstände x , y und z sind Kriechstromabstände, die vorgesehen sind, um eine geeignete Isolation von einer Elektrode (hohen Potentials) zur nächsten (niedrigen Potentials, sowohl gegenüber derjenigen oberhalb als auch unterhalb derselben) im Elektroden sandwich zu ermöglichen.

[0082] Falls der Abstand y reduziert wird, steigt das Austreten von Strom hoher Spannung. Durch geeignete Auswahl der Abstände und der Spannungen kann Ionisierung auf der Fläche des Feldes durch Ionenaustritt erzielt werden. Falls arrangiert werden kann, dass die Ionisierung an der Lufteinlassfläche des Luftreinigungsfeldes erfolgt wird, werden neutrale Partikel sofort vor ihrem Eintritt in das Feld aufgeladen. Dies erhöht die Einfangeffizienz. Falls arrangiert wird, dass Ionisierung an der Luftaustrittsfläche des Luftreinigungsfeldes produziert wird, werden diese Ionen in den Raum herausgeblasen, wo sie Partikel im Raum beladen, bevor diese in das Luftreinigungsfeld gezogen und dort gefangen werden.

[0083] Zur Herabsetzung der Wahrscheinlichkeit eines elektrischen Schlages, bewirkt durch die Handhabung des Luftreinigungsfeldes einer erfindungsgemäßen Partikelsammelvorrichtung zeigt [Fig. 13](#) der Zeichnungen eine Elektrodenanordnung für gerillte Kunststoffolie, worin die Elektrode mit einem Aluminiumfolie Verbindungsstreifen **82** bedecktes Papier **80** ist, zwei Schichten Papier (Stromanstiegsblock) **84** und einer Aluminiumfolienendzunge **86**. Die Papierschichten sind aus Material hohen Widerstands, um den Stromfluss auf wenige Mikroampere zu beschränken. Ein anderes Verfahren verwendet Materialien hohen Widerstands, das direkt zwischen den Hoch- und Niederspannungselektroden angeschlossen ist. Der Widerstand wird auf einen Wert eingestellt, der die Energieversorgung nicht in übermäßiger Weise beansprucht (und die Spannung verringert), sondern wird Luftreinigungsfeld in wenigen Sekunden entladen wird, sobald die Energieversorgung abgeschaltet ist. So wird das Feld schnell für die Handhabung sicher gemacht.

[0084] [Fig. 14](#) der begleitenden Zeichnungen illustriert ein typisches vollständiges Luftreinigungssystem **100** zur Anwendung in einer Raumumgebung und [Fig. 15](#) illustriert das Luftreinigungssystem **100** in einer Raumumgebung und zeigt Partikelaufladung und -sammmlung. Das System **100** besitzt einen Sammler **102** in Form eines Feldes gerillter Kunststofffolien und Elektroden hohen und niedrigen Potentials (wie in [Fig. 4b](#)) sowie einen Ventilator **104**, um Luft durch das Feld in Richtung der Pfeile zu ziehen. Das Feld und der Ventilator sind zwischen einem Einlassgitter **106** und einem Auslassgitter **108** eingeschlossen. Ein Korona Emitter **110** hinter dem Ventilator ionisiert die den Kollektor verlassende Luft.

[0085] In einem konventionellen elektrostatischen Luftreiniger existiert ein im Wesentlichen einheitliches elektrisches Feld zwischen zwei parallelen leitfähigen (üblicher Weise Metall) Platten oder Elektroden **112, 114** ([Fig. 16](#)).

[0086] Ein geladenes Partikel, dass zwischen den beiden Platten durchläuft, erfährt eine Kraft und bewegt sich (über ein Verfahren, das Elektrophorese genannt wird) zu einer der Platten, an welcher es haftet. Neutrale Partikel passieren zwischen beiden Platten und erfahren wenig oder keine Kraft und passieren dieselben im Wesentlichen ohne gefangen zu werden.

[0087] Bei der Ausführungsform der Erfindung, in der isolierende doppelwandige gerillte Kunststofffolienmaterialien zwischen Hoch- und Niederpotentialplatten oder Elektroden sandwichartig eingeschlossen sind ([Fig. 4b](#)) ist das elektrische Feld innerhalb der Rillen im Wesentlichen nicht linear.

[0088] Falls jedoch die elektrischen Potentiale auf den leitfähigen oder halbleitfähigen Platten einheitlich sind, ist das Feld innerhalb der Rillen nicht linear. Nichtlinearität des Feldes tritt wahrscheinlich auf Grund einer heterogenen Ladungsverschiebung innerhalb des Kunststoffmaterials und auf Grund der Wirkung der Rillenwände auf.

[0089] Ein geladenes Partikel, das durch die Rillen passiert, erfährt das elektrische Feld und wird durch Elek-

trophorese abgeschieden. Neutrale Partikel, die durch die Rillen laufen, erfahren ein nichtlineares elektrisches Feld und bewegen sich (durch ein als Elektrophorese bezeichnetes Verfahren) und werden in ähnlicher Weise abgeschieden.

[0090] Kräfte werden auf neutrale Partikel sowohl durch Polarisation der Partikel als auch durch die Nichtlinearität des elektrischen Feldes ausgeübt. Das Resultat ist die Bewegung und Abscheidung neutraler Partikel.

[0091] Demzufolge werden bei dieser Ausführungsform sowohl geladene als auch neutrale Partikel abgeschieden. Die Effizienz der Abscheidung der geladenen Partikel ist größer als diejenige für neutrale Partikel. Nichtsdestoweniger ist die Abscheidungseffizienz neutraler Partikel signifikant.

[0092] Bei einer anderen Ausführungsform können die Elektroden innerhalb eines Kunststoffmaterials eingeseigt sein, um das Eintreten von Wasser zu verhindern. Dies ermöglicht es, dass das Kompositsammelfeld periodisch unter Verwendung von Wasser oder Reinigungsmittel sauber gewaschen werden kann, so dass es getrocknet und wiederverwendet werden kann.

[0093] Zur Erklärung: Halbleitfähiges Material ist jegliches Material mit einem spezifischen Oberflächenwiderstand des dünnen Films in der Größenordnung von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat.

[0094] Die Erfindung wird nun nachfolgend näher beispielhaft unter Bezugnahme auf [Fig. 4b](#) der begleitenden Zeichnung beschrieben, um hohe Wirksamkeit bei niedrigem Druckabfall zu illustrieren.

[0095] Ein doppelwandiges gerilltes Kunststofffolienmaterial mit 300g/m^2 mit einer Schichtdicke von 2,1 mm, einem Rillenabstand von 2,7 mm und einer Wanddicke von 150 Micron wurde ausgewählt. Die Folie wurde aufgeschnitten und zu einem Luftreinigungsfeld unter Verwendung von 80 g/m^2 Papierelektroden zusammengebaut.

[0096] Das Feld war für eine Lufttransittiefe von 70mm ausgelegt. Ein Elektrodensatz wurde auf Erde und der andere Satz auf -12kV gehalten.

[0097] Ein 0,5 Micron Salzaerosol mit etwa 1 mg/m^3 wurde in dem Testraum generiert. Partikelladung wurde durch Diffusionsaufladung durch Blasen von Raumluft über zwei Elektroden erzielt (eine auf Erde, die andere bei -12 Kilovolt), wie in [Fig. 9](#) der Zeichnungen beschrieben.

[0098] Eine Experimentserie wurde unter Verwendung eines Aerosolmonitors durchgeführt, um die Abscheidungseffizienz für Salzpartikel bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten durch das Feld zu bestimmen. Die Resultate waren wie folgt:

Luftgeschwindigkeit	Abscheidungseffizienz	Druckabfall
(m/s)	(%)	(Pascal)
0.5	99.99	3
1.0	99.97	7
2.0	99.95	14
3.0	99.23	27

[0099] Bei einer weiteren Ausführungsform wird das doppelwandige gerillte Kunststofffolienmaterial einfach mit irgendeiner Behandlung in ein Luftreinigungsfeld umgewandelt.

Patentansprüche

1. Eine Partikelabscheidungsrichtung zum Entfernen von in einem Gasstrom mitgerissenen Partikeln, die:

ein Feld von Durchlässen, welche der Gasstrom relativ frei passieren kann, wobei die Durchlässe durch Kunststoffwände (10) umschlossen sind; Mittel, den Gasstrom durch das Feld zu drücken, wobei die Kunststoffwandflächen leitfähigen Materials (1, 2) die mit ihnen in Kontakt sind und außerhalb der Durchlässe besitzen; und Mittel zum alternierenden Anlegen hoher und niedriger elektrischer Potentiale an isolierte Bereiche des

leitfähigen Materials, um geladene Bereiche im Feld zum Sammeln von Partikeln aus dem Gasstrom zu schaffen; aufweist.

2. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 1 beansprucht, wobei die Durchlässe, die durch gerillte Kunststofffolien (9) geschaffen werden, leitfähiges Material (1, 2) an ihren gegenüberliegenden Außenflächen besitzen.

3. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 2 beansprucht, wobei die gerillten Kunststofffolien (9) übereinander liegen.

4. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 2 beansprucht, wobei das gerillte Kunststofffolienmaterial (9) zieharmonikaartig gefaltet ist.

5. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 2 beansprucht, wobei das Kunststofffolienmaterial in einem konzentrischen Feld liegt.

6. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 1 beansprucht, wobei die Durchlässe durch nebeneinander angeordnete Kunststoffrohre (40) geschaffen sind.

7. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 6 beansprucht, wobei die Kunststoffrohre (40) rechtwinkligen Querschnitt aufweisen.

8. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 6 beansprucht, wobei die Rohre (50) kreisförmigen Querschnitt aufweisen.

9. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8 beansprucht, wobei die Flächen leitfähigen Materials (1, 2) aus Material hoher Impedanz mit einem Schichtwiderstand des dünnen Films im Bereich von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat sind.

10. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8 beansprucht, wobei die Flächen leitfähigen Materials (1, 2) aus Material niedriger Impedanz mit einem Schichtwiderstand des dünnen Films von 0,1 bis 1,0 Ohm pro Quadrat für Metalle von etwa 50 micron Dicke und 10 bis 1000 Ohm pro Quadrat für Kohlenstofffarbfilme mit 50 micron Dicke sind.

11. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 2 oder 3 beansprucht, wobei die alternierenden Kunststofffolien (9) jeweils Bereiche Materials hoher Impedanz mit einem Schichtwiderstand des dünnen Films im Bereich von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat und Material niedriger Impedanz mit einem relativen Schichtwiderstand des dünnen Films von 0,1 bis 1,0 Ohm pro Quadrat für darauf befindliche Metalle von etwa 50 Micron Dicke und 10 bis 1000 Ohm pro Quadrat für Kohlenstofffarbfilme mit 50 Micron Dicke haben.

12. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 9 oder 11 beansprucht, wobei das Material hoher Impedanz ein Material auf Cellulose-Basis ist.

13. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 12 beansprucht, wobei das Material auf Cellulose-Basis Papier ist.

14. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 9 oder 10 beansprucht, wobei das Material hoher Impedanz aus Farbe oder Tinte ist.

15. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 9 oder 11 beansprucht, wobei das Material hoher Impedanz eine antistatische Beschichtung ist.

16. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 10 oder 11 beansprucht, wobei das Material niedriger Impedanz ausgewählt ist aus Metallblech, Metallfilm, Filmen auf Kohlenstoffbasis und Farben auf Kohlenstoffbasis.

17. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 16 beansprucht, wobei das leitfähige Material (1, 2) von den Kanten der Kunststoffwände (9) mit Abstand nach Innen angeordnet ist, außer dort, wo eine Verbindung mit den Mitteln zum Anlegen eines Potentials an dasselbe hergestellt ist.

18. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 17 beansprucht, wobei das Kunststoffmaterial aus Polypropylen, Polyethylen oder einem Copolymeren derselben, Polyvinyl Chlorid, PET, PTFE oder Polycarbonat ist.

19. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinen der Ansprüche 1 bis 17 beansprucht, die ferner Mittel zum Aufladen von Partikeln im Gasstrom vor dem Feld mit Durchlässen aufweist.

20. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 19 beansprucht, die Mittel für eine Corona Entladung zum elektrischen Aufladen von Partikeln im Gasstrom aufweist.

21. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 19 beansprucht, welche Mittel zur radioaktiven Ionisierung zur elektrischen Aufladung der Partikel im Gasstrom aufweist.

22. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 19 beansprucht, welche alternierend Schichten gerillter Kunststoffolie (**9**) und leitfähigen Materials (**1, 2**) aufweist, wobei die alternierenden Schichten leitfähigen Materials hohe und niedrige elektrische Potentiale haben, das leitfähige Material von den Kanten der Kunststoffolie mit Abstand nach Innen angeordnet ist, um ein Austreten von Hochspannung und demzufolge Austreten von Ionen zum Aufladen der die Vorrichtung betreffenden Partikel zu bewirken.

23. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 22 beansprucht, wobei die Fläche niedrigen elektrischen Potentials sich auf dem Potential der Erde befinden.

24. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9 und 11 beansprucht, wobei das Material hoher Impedanz einen Schichtwiderstand des Dünnsfilms im Bereich von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat besitzt.

25. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 24 beansprucht, welche ferner: eine Hochspannungsquelle zur Energieversorgung der Flächen hohen elektrischen Potentials mit Energie, und eine Verbindungsleitung zwischen der Energieversorgung und den Flächen aus isoliertem Material hoher Impedanz mit einem Schichtwiderstand des dünnen Films im Bereich von 10^9 bis 10^{11} Ohm pro Quadrat aufweist.

26. Eine Vorrichtung, wie in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 25 beansprucht, die ferner Mittel zum Ionisieren des Gasstroms, der das Feld verlässt, aufweist.

27. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 26 beansprucht, wobei die Mittel zur Ionisierung des Gasstromes, der das Feld verlässt, einen primären Corona Entladungsemitter (**36**) und einen sekundären Corona Entladungsemitter (**38**) mit niedrigerem Potential als der primäre Emitter, aufweist.

28. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 27 beansprucht, wobei der primäre Emitter (**36**) mit einem hohen negativen Potential verbunden ist und der sekundäre Emitter (**38**) geerdet ist.

29. Eine Vorrichtung, wie in Anspruch 27 oder 28 beansprucht, wobei der primäre Emitter (**36**) eine Nadel mit einer scharfen Spitze mit einem Biegungsradius unter 0,1 mm ist und der sekundäre Emitter (**38**) eine Nadel mit einer relativ stumpfen Spitze mit einem Biegungsradius von 0,5 bis 2,0 mm ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

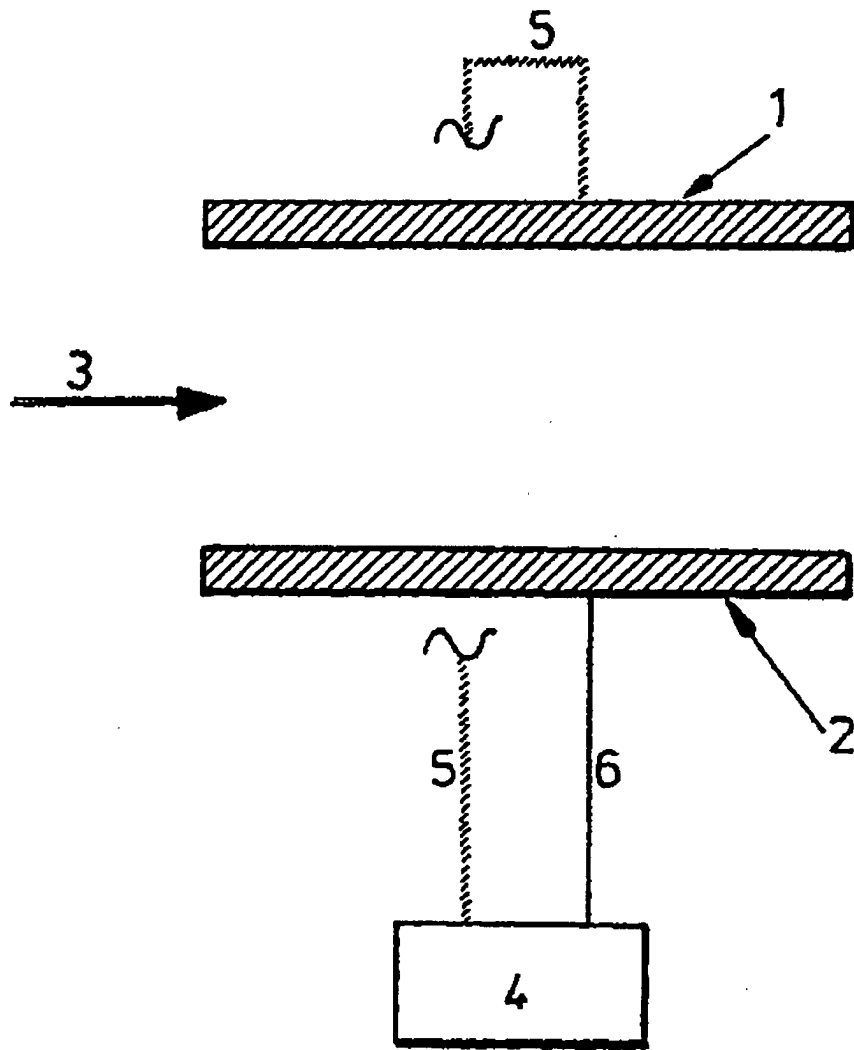
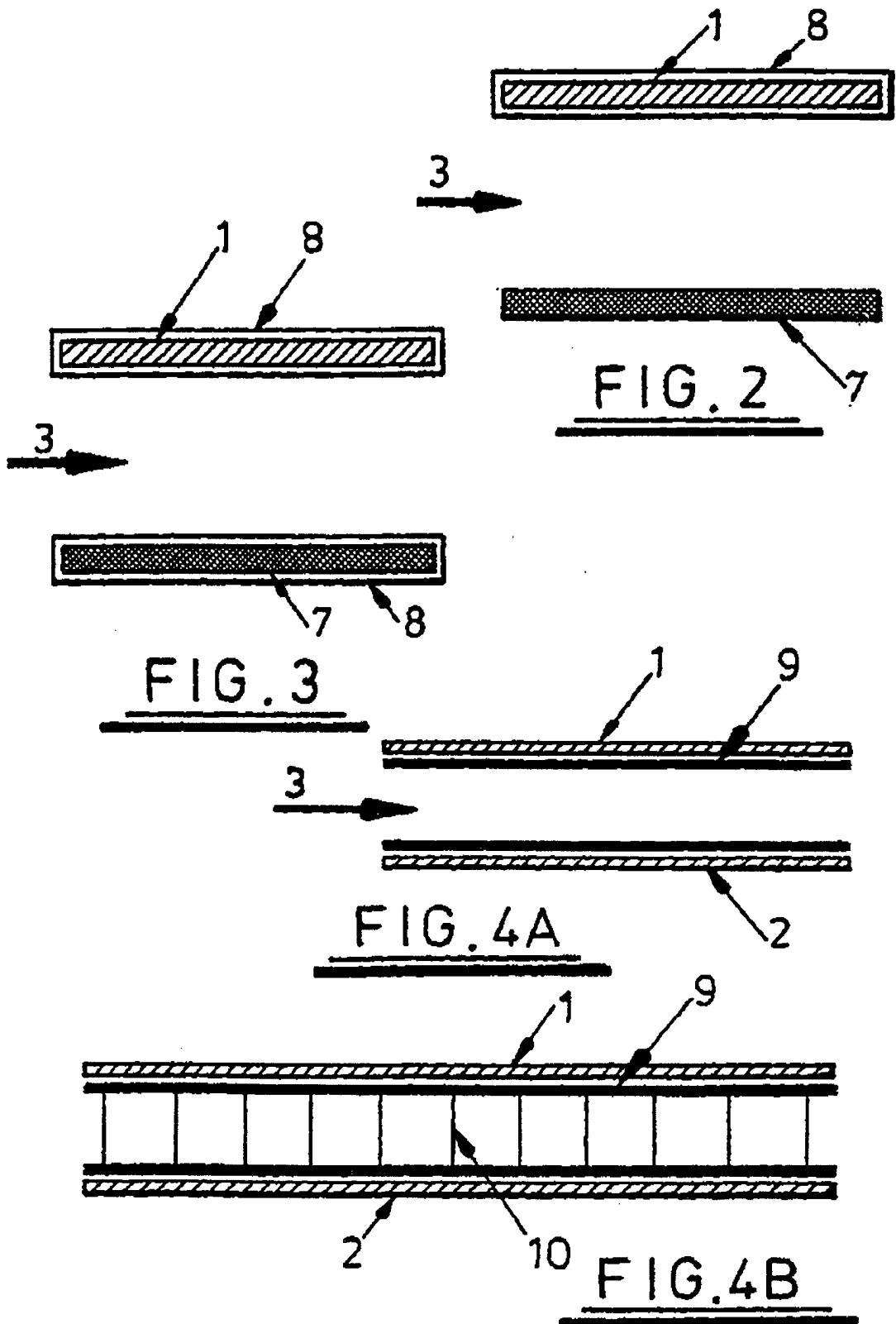


FIG. 1



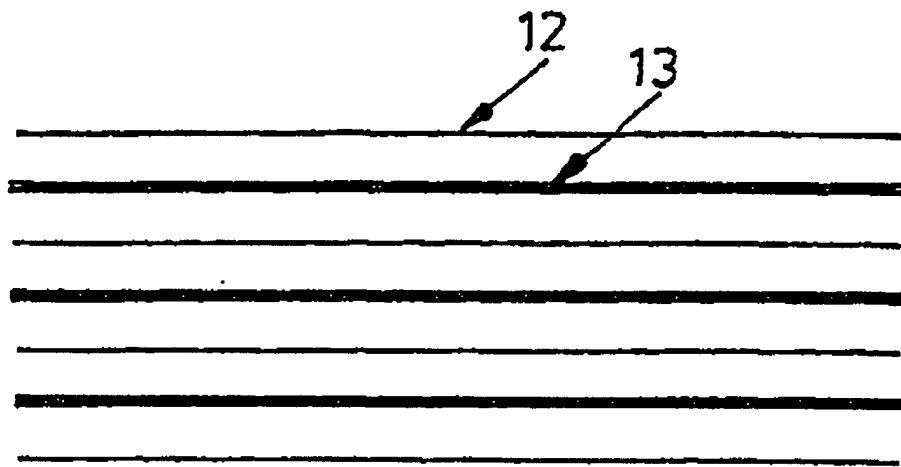


FIG. 5

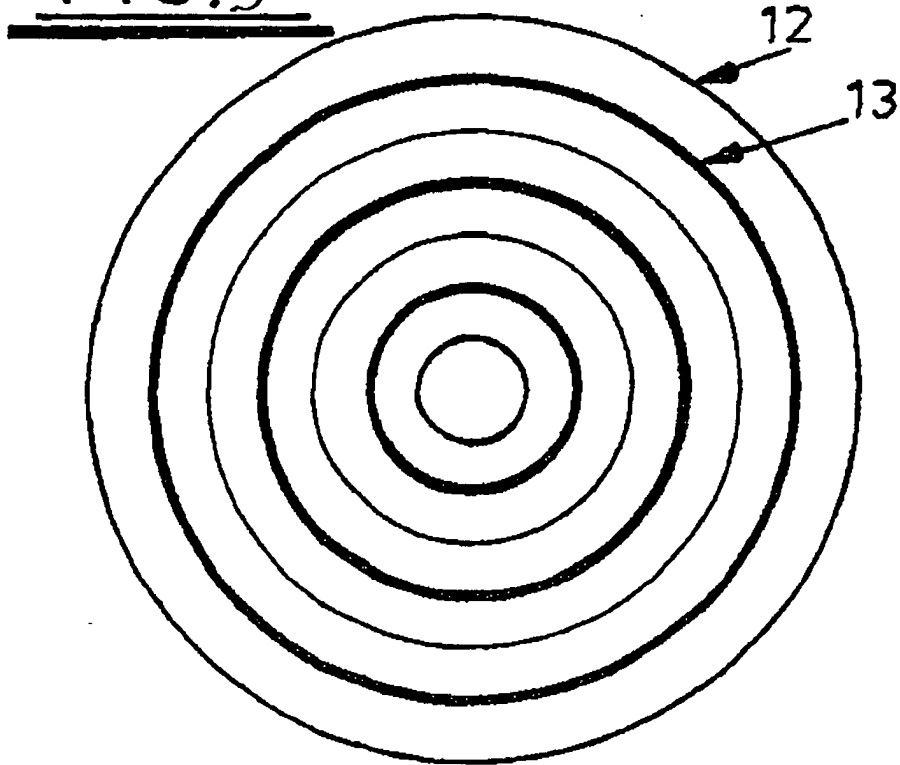


FIG. 6

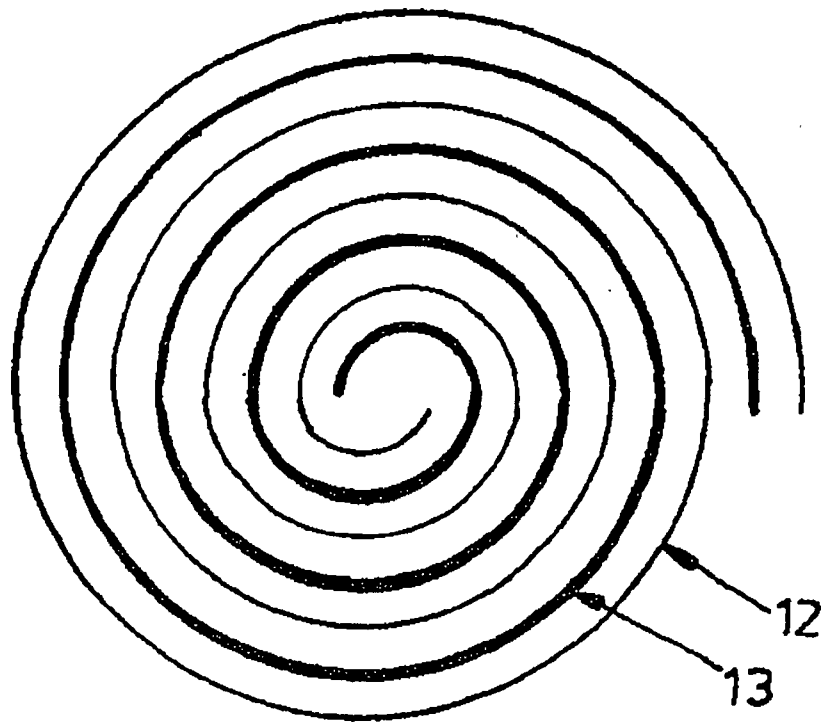
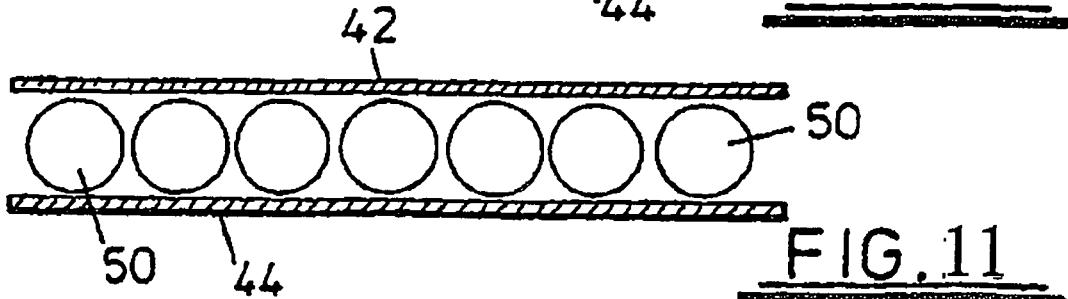
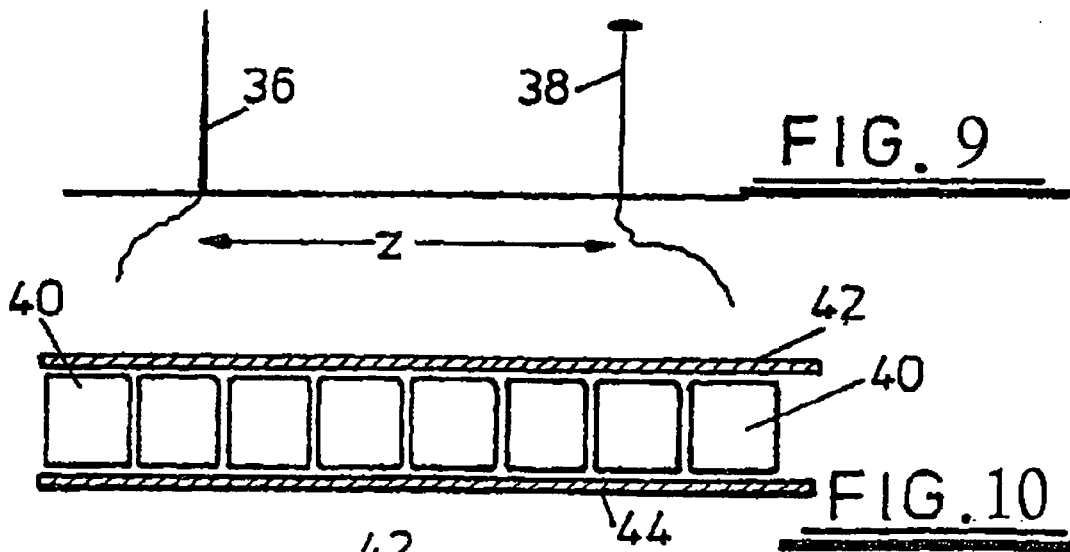
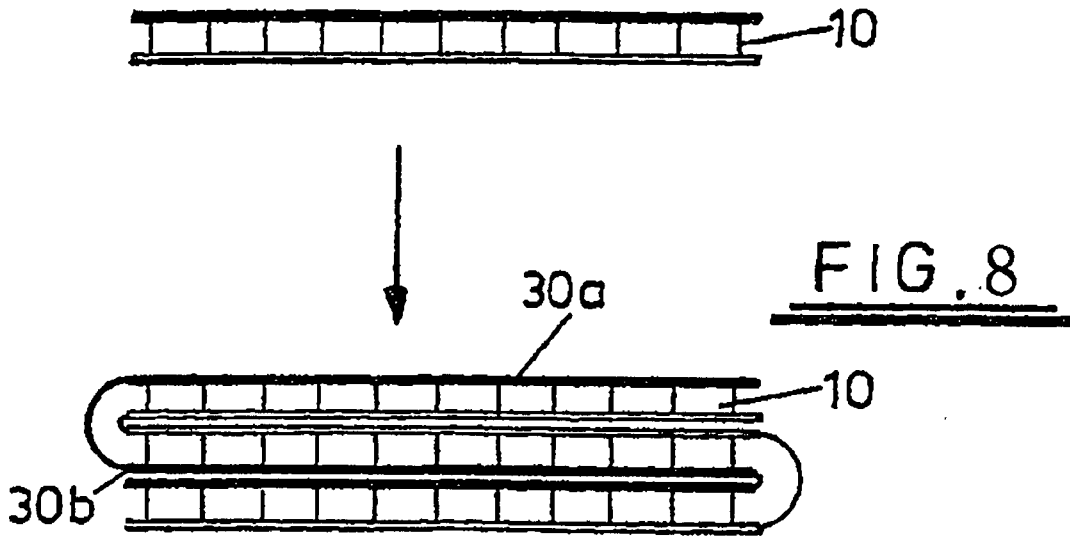
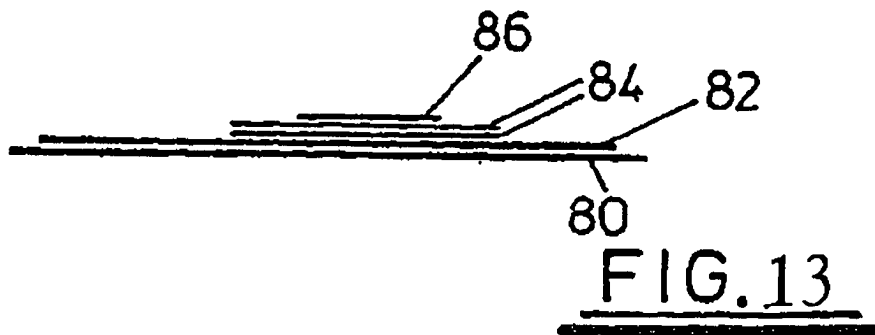
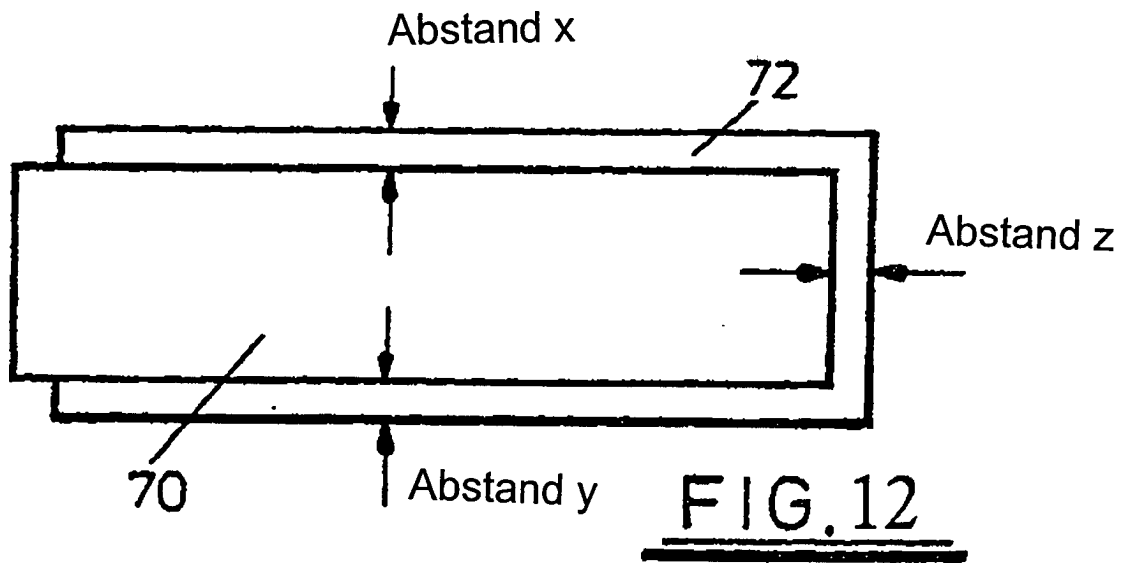


FIG. 7





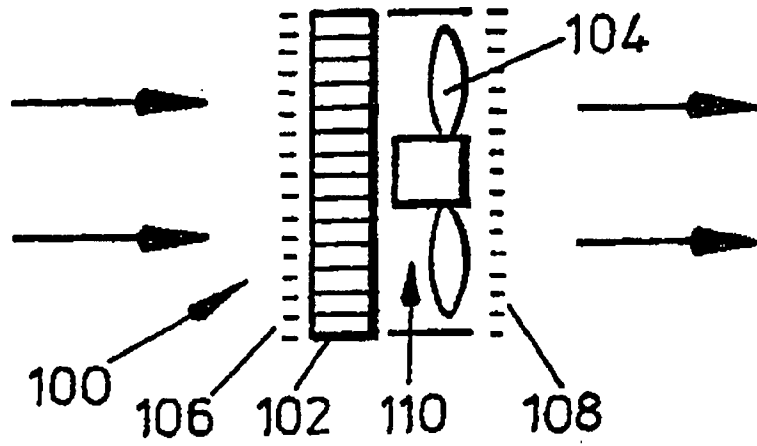
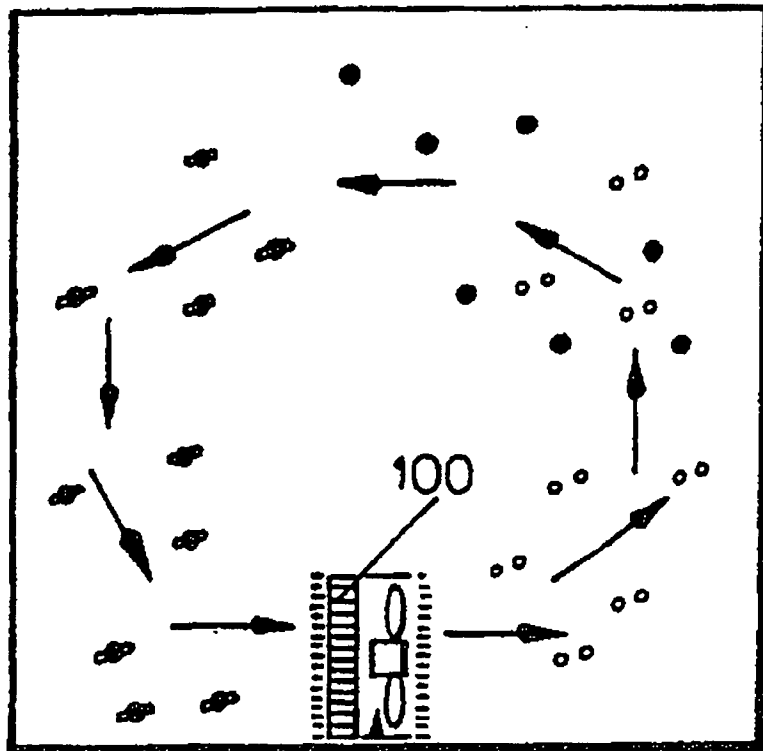


FIG. 14



- - Freie Ionen
- - Partikel
- ◐ - Geladene Partikel

FIG. 15

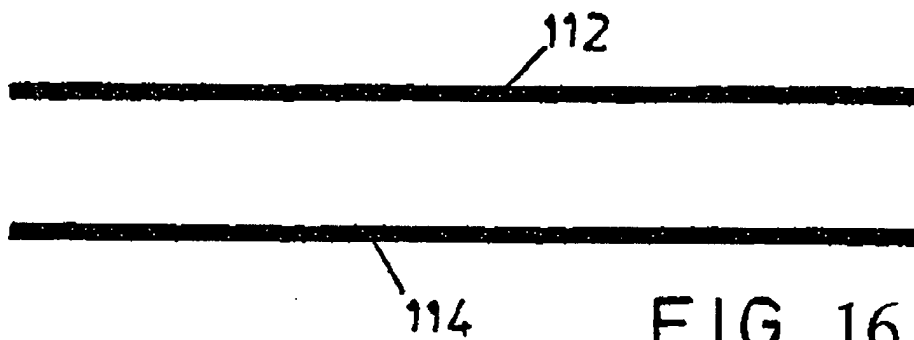


FIG. 16