(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2025-513027
(P2025-513027A)
(43)公表日　令和7年4月22日(2025.4.22)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｂ０１Ｄ　39/16　(2006.01)		Ｂ０１Ｄ	39/16	Ａ	４Ｄ０１９
Ｂ０３Ｃ　3/28　(2006.01)		Ｂ０１Ｄ	39/16	Ｅ	４Ｄ０５４
		Ｂ０３Ｃ	3/28		

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全51頁）

(21)出願番号　特願2024-559659(P2024-559659)
(86)(22)出願日　令和5年4月7日(2023.4.7)
(85)翻訳文提出日　令和6年12月9日(2024.12.9)
(86)国際出願番号　PCT/US2023/017921
(87)国際公開番号　WO2023/196618
(87)国際公開日　令和5年10月12日(2023.10.12)
(31)優先権主張番号　63/328,970
(32)優先日　令和4年4月8日(2022.4.8)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV
最終頁に続く

(71)出願人　524351349
マティヴ ルクセンブルク
ルクセンブルク ５３２６ コンターン リュー エドモン ルテ １７
(71)出願人　514065151
エルエムエス・テクノロジーズ・インコーポレイテッド
ＬＭＳ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ， Ｉｎｃ．
アメリカ合衆国５５４３９ミネソタ州ブルーミントン、セシリア・サークル６４２３番
(74)代理人　100103610
弁理士　▲吉▼田 和彦
(74)代理人　100109070
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　機械式及び静電式フィルター媒体

(57)【要約】
静電力とフィルター媒体内のナノ粒子の利用との両方でサブミクロン粒子を捕獲する、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。濾過媒体は、基材内に配置された繊維とナノ粒子とを含む基材を含む。繊維又はナノ粒子のうちの少なくとも１つは、静電帯電される。静電荷は、少なくともフィルターの初期使用の間、サブミクロン粒子を効率的に捕獲する。ナノ粒子は、静電荷が時間の経過とともに減衰し始めた後でも、高いフィルター効率を維持することを確実とする。更に、繊維とナノ粒子との間の結合は、静電荷によって増強され、ナノ粒子がフィルター媒体全体に深く分散されることを可能にする。
【選択図】なし

【特許請求の範囲】
【請求項１】
繊維を含む基材と、
前記基材中に配置されたナノ粒子であって、少なくとも１つの次元が１ミクロン未満である、ナノ粒子と、
を含むフィルター媒体であって、前記繊維又は前記ナノ粒子のうちの少なくとも１つが静電帯電されている、フィルター媒体。
【請求項２】
前記繊維が、静電帯電されている、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項３】
前記ナノ粒子が、静電帯電されている、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項４】
前記基材が、摩擦電気式フィルター媒体を含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項５】
前記繊維が、コロナ帯電されている、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項６】
前記摩擦電気式フィルター媒体が、カード加工及びニードル加工によって形成されている、請求項４に記載のフィルター媒体。
【請求項７】
前記ナノ粒子と前記繊維とが、一緒にニードル加工されている、請求項６に記載のフィルター媒体。
【請求項８】
前記基材が、スパンボンド帯電された媒体を含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項９】
前記基材が、メルトブローン帯電された媒体を含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１０】
前記基材が、ネット材を含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１１】
前記繊維が、約３デニール以上の線密度を有する、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１２】
前記繊維が、少なくとも約５デニールの線密度を有する、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１３】
前記繊維が、コアとシースとを有するバイオコンポーネント繊維である、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１４】
前記コアが、前記シースから偏心している、請求項１３に記載のフィルター。
【請求項１５】
前記ナノ粒子の少なくとも一部が、前記基材中に第１の表面から前記第１の表面の反対側の第２の表面まで配置されている、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１６】
個別ナノ粒子の密度が第１の表面から前記第１の表面の反対側の第２の表面まで減少するように、前記ナノ粒子が前記基材内に勾配を形成している、請求項１５に記載のフィルター媒体。
【請求項１７】
前記ナノ粒子が、前記繊維質基材全体に実質的に均一に分散されている、請求項１５に記載のフィルター媒体。
【請求項１８】
前記ナノ粒子が、流体内で孤立化されており、前記基材の第１の表面を通して分散され

ている、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項１９】
前記ナノ粒子が、炭素繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ナイロン繊維、ポリ乳酸繊維、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項２０】
前記ナノ粒子を前記繊維に結合する繊維質材料内の結合剤を更に含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項２１】
前記結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、ＰＶＯＨ及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、請求項２０に記載のフィルター媒体。
【請求項２２】
前記繊維が、前記ナノ粒子を前記繊維に結合するバインダー組成物を含む、請求項１に記載のフィルター媒体。
【請求項２３】
請求項１に記載のフィルター媒体を備える、空気フィルター製品。
【請求項２４】
繊維とナノ粒子とを含む基材を含むフィルター媒体であって、
前記基材が、汚染物質を機械的に濾過し、
前記基材が、汚染物質を静電的に濾過する、
フィルター媒体。
【請求項２５】
前記ナノ粒子が、汚染物質を機械的に濾過する、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項２６】
前記繊維が、静電帯電されている、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項２７】
前記基材が、摩擦電気式フィルター媒体を含む、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項２８】
前記摩擦電気式フィルター媒体が、カード加工及びニードル加工によって形成されている、請求項２７に記載のフィルター媒体。
【請求項２９】
前記ナノ粒子と前記繊維とが、一緒にニードル加工されている、請求項２８に記載のフィルター媒体。
【請求項３０】
前記基材が、スパンボンド帯電された媒体を含む、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項３１】
前記基材が、メルトブローン帯電された媒体を含む、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項３２】
前記基材が、ネット材を含む、請求項２４に記載のフィルター媒体。
【請求項３３】
請求項２４に記載のフィルター媒体を備える、空気フィルター製品。
【請求項３４】
繊維を含む基材を提供する工程と、
前記繊維を静電帯電させる工程と、
ナノ粒子を前記基材中に分散させる工程と、
を含む、フィルター媒体の製造方法。
【請求項３５】
前記繊維をコロナ帯電させる工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。

【請求項３６】
前記繊維を摩擦帯電させる工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項３７】
前記繊維を静電紡糸する工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項３８】
前記繊維と前記ナノ粒子とを一緒にニードル加工する工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項３９】
前記繊維をカード加工する工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項４０】
前記繊維をスパンボンドする工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項４１】
前記繊維をメルトブローする工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項４２】
前記ナノ粒子が少なくとも前記基材の第１の表面を貫通するように、前記ナノ粒子を前記基材の第１の表面上に分散させる工程を更に含む、請求項３４に記載の方法。
【請求項４３】
個別ナノ粒子を流体内で孤立化させる工程を更に含み、前記個別ナノ粒子は、少なくとも１つの次元が１ミクロン未満である、請求項４２に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の相互参照）本出願は、２０２２年４月８日に出願された米国仮特許出願第６３／３２８，９７０号の利益を主張するものであり、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。本出願は、本発明の譲受人に譲渡され、全て２０２２年４月８日に出願された、同時係属米国仮特許出願第６３／３２８，９８３号、同第６３／３２８，９９８号、同第６３／３２８，９５９号、同第６３／３２９，００９号、同第６３／３２９，０１８号、同第６３／３２９，１３７号、同第６３／３２９，１４６号、同第６３／３２９，１５５号、同第６３／３２９，１５８号、同第６３／３２９，１６１号、及び同第６３／３２９，１６２号にも関連し、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。
【０００２】
本記載は、概して、機械式及び静電式の両方で汚染物質を濾過するための、ナノ粒子と静電荷とを含む濾過媒体及びフィルターに関する。
【背景技術】
【０００３】
不織布材料は、典型的には、編布又は織布におけるような識別可能な様式ではなく、間に差し込まれた個別の繊維又は糸の構造を有する。かかる不織布材料は、家庭用洗浄剤、屋根ふき材及び床張り材製品、自動車の内装及び天井内張り、再利用可能なバッグ、壁紙、濾過デバイス、絶縁等の多数の用途に使用される。
不織布材料は、繊維が極細であることから、濾過デバイスに汚染物質を捕獲するのに特に有用である。フィルター媒体の繊維は、マイクロメートル単位で測定され、スパンボンド、メルトブローン、エレクトロスピニング等の技法によって形成できる。極細繊維は、流体がフィルター媒体を通って流れる際に、汚染物質を媒体中に捕獲し閉じ込める。
不織布材料を組み込んだ濾過デバイスには、主に表面フィルターとデプスフィルターの２種類がある。膜やフィルム等の表面フィルターは、汚染物質のバリアとして機能し、汚染物質は媒体構造に入る前に捕獲される。上記の表面フィルターは、典型的には、サブミクロンの細孔径と、狭い細孔径分布とを有する。表面フィルターは、比較的高い粒子捕獲効率を有する傾向がある。しかし、表面フィルターは、比較的高い圧力損失と、低い粉塵負荷容量も有する。高い圧力損失は、フィルターを通る空気流の減少を招く。低い粉塵負

荷容量は、フィルターの寿命を大幅に短縮する。そのため、表面フィルターは、空気濾過産業において、限られた数の用途で使用されてきた。

デプスフィルターは、一般的に、中～高効率、低圧力損失、及び比較的高い粉塵負荷容量を有する空気濾過デバイスに使用される。ＨＥＰＡフィルターのような、従来の住宅用及び商用空気フィルターは、典型的には、フィルターが約０．３～１０ミクロンの粒子を捕獲する能力によって評価される。この評価は、最小効率報告値又はＭＥＲＶと呼ばれ、ＡＳＨＲＡＥ（Ａｍｅｒｉｃａｎ Ｓｏｃｉｅｔｙ ｏｆ Ｈｅａｔｉｎｇ，Ｒｅｆｒｉｇｅｒａｔｉｎｇ ａｎｄ Ａｉｒ Ｃｏｎｄｉｔｉｏｎｉｎｇ Ｅｎｇｉｎｅｅｒｓ）によって策定されている。ＭＥＲＶ評価は１～１６の範囲で、値が高い方が特定の種類の粒子の捕獲効率が高いことを示す。

【０００４】

汚染物質は、広範なサイズを有する。しかし、１ミクロン未満の汚染物質は、人体にとって最も有害な粒子であり、濾過が比較的困難である。例えば、従来の機械式空気フィルターは、典型的には、不織布濾過材料について約８～１０のＭＥＲＶ評価を報告している。従って、これらのフィルター媒体は、典型的には、ウイルスや他の有害な病原体のようなサブミクロン粒子を捕獲しない。

濾過産業は、これらのサブミクロン粒子を捕獲するための２つの異なる方法として、静電力と、フィルター媒体内のナノ粒子の利用に焦点を当ててきた。静電式フィルターは、摩擦電気法、コロナ放電、ハイドロチャージング、静電紡糸等の既知の方法を使用して、不織布材料内の繊維を静電帯電させることで形成される。静電式フィルターは、サブミクロン粒子の捕獲に最も効果的であり、１～３ミクロンの粒径の捕獲に十分に効果的であり、３～１０ミクロンの大きな粒子の捕獲にはわずかな効果しかない。静電繊維は、フェイスマスク及び高効率フィルター等の多数の濾過用途で、ウイルス等のサブミクロン汚染物質を濾過するために一般的に使用されている。

静電式フィルターの１つの欠点は、時間の経過及びフィルターの使用とともに静電荷が減衰することである。そのため、フィルターの効率は比較的速く低下し、フィルターの寿命が短くなる。例えば、初期ＭＥＲＶ評価が１３の静電式フィルターは、静電力が減衰した後、ＭＥＲＶ評価を少なくとも２～３ポイント失う場合がある。これはフィルターの完全性を損ない、サブミクロン粒子捕獲能力を部分的又は完全に阻害し得る。

【０００５】

サブミクロンの汚染物質を捕獲するための別の方法は、繊維と共にナノ粒子を使用することである。濾過システムは、マイクロメートル単位で測定される直径を有する比較的大きな繊維と比較的小さいナノ粒子とを含むフィルター媒体を使用し得る。ナノ粒子は、媒体内の全体的な繊維サイズを低減させることによって、粒子を捕獲するための媒体内の表面積を増加させる。ナノ粒子は、互いの上で崩壊し、フィルター媒体内の充填密度を増加させる傾向もある。マイクロファイバー材料上の層内に形成された少量のナノメートルサイズの繊維でも、当該材料の濾過特性を改善できることが示されている。

ナノ粒子をフィルター媒体に組み込むための最も一般的な方法は、エレクトロスピニングによって、連続ナノファイバーの薄層を不織布基材上に適用することである。ナノ粒子は、典型的には、バルクフィルター媒体層の面に水平又は垂直に延び、粗目フィルター媒体によって提供される大きな粒子の濾過に加え、小粒子の高効率濾過を提供する。例えば、米国特許第６，７４３，２７３号明細書は、連続ナノファイバー層が基材の表面上に堆積されたフィルター媒体を開示している。米国特許第１０，７９９，８２０号明細書も、フィルター媒体の表面上に連続ナノファイバー層を備える空気濾過媒体を開示している。

ナノ粒子を組み込んだ既存のフィルター媒体の場合、フィルターの相対的効率は改善されるが、ナノ粒子が概して不織布材料の表面上に分散されることから、フィルターの商業的利用可能性は限られてきた。このフィルター表面上のナノ粒子の比較的薄い層は、限られた粒子濾過しか提供せず、粉塵保持容量が比較的低い。

ナノ材料を濾過媒体に組み込んで全体的な濾過効率を向上する試みは多数行われてきたが、これらの試みは、いわゆる「ウェットレイド」法に限られている。これらウェットレ

イド法は、ショートカットナノファイバーを液体スラリーに組み込んで、絡み合ったナノファイバーを、界面活性剤の助けを借りて分離することを含む。例えば、米国特許第１０，２５２，２０１号明細書は、ウェットレイド法で形成された、ショートカットナノファイバーとショートカット粗大繊維との混合物で作製されたフィルター媒体を開示している。同様に、米国特許出願公開第２０２１／００２３８１３号明細書は、カーボンナノファイバーのような不連続繊維を有する連続繊維不織布基材からなる複合構造の製造方法を開示している。この方法は、ナノ材料が不織布基材に埋め込まれた不連続繊維のスラリーを通して連続繊維不織布基材を引き抜くことを含む。

これらの構造は効率向上が実証されているが、媒体が通常の使用条件にさらされることから、寿命及び／又は効率の低下等の他の問題に悩まされる。更に、これらのウェットレイド法は、不織布材料全体にナノ粒子を均一に組み込むことに成功しておらず、その結果ナノ粒子が材料内に凝集し、それにより更にその効率及び全体的な粉塵保持容量が低下する。

【０００６】

従って、必要とされるのは、改善された不織布材料と、かかる材料を含むフィルターである。汚染物質、特にサブミクロン汚染物質の捕獲において、寿命、粉塵保持容量、及び圧力損失又はフィルターを通る空気流等、フィルターの他の重要な特性を損なうことなく、かかるフィルターの効率を向上させることが望ましい。

【発明の概要】

【０００７】

以下に、特許請求される主題のいくつかの態様の基本的理解を提供するために、特許請求される主題の簡略化した概要を示す。この概要は、特許請求される主題の広範な概略ではない。また、特許請求される主題の重要又は不可欠な要素を特定すること、又は特許請求される主題の範囲を明確化することを意図するものではない。唯一の目的は、特許請求される主題のいくつかの概念を、後で示される、より詳細な説明の前置きとして示すことである。

静電力とフィルター媒体内のナノ粒子の利用との両方でサブミクロン粒子を捕獲する、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。そのようなフィルターの製造システム及び方法も提供される。

【０００８】

一態様において、濾過媒体は、基材内に配置された繊維とナノ粒子とを含む基材を含む。繊維又はナノ粒子のうちの少なくとも１つは、静電帯電される。静電荷は、少なくともフィルターの初期使用の間、サブミクロン粒子を効率的に捕獲する。ナノ粒子は、静電荷が時間の経過とともに減衰し始めた後でも、高いフィルター効率を維持することを確実とする。更に、繊維とナノ粒子との間の結合は、静電荷によって増強され、ナノ粒子がフィルター媒体全体に深く分散されることを可能にする。

基材内の繊維、ナノ粒子、又はその両方は、摩擦電気法、コロナ放電、静電紡糸、ハイドロチャージング、充電バー等の既知の方法を使用して静電帯電できる。摩擦電気効果を使用して粒子除去を強化するために、繊維に対して異なる摩擦電気特性を有するナノ粒子を選択できる。これは、フィルター媒体内の局所的な電界勾配を増進又は生成し、粒子除去を強化する。ナノ粒子と粗大繊維は、異なる湿潤特性を有し得る。

【０００９】

特定の実施形態では、繊維は、機械式濾過がナノ粒子によって達成でき、静電式濾過がエレクトレット基材によって達成できるように、静電帯電される。静電又はエレクトレット基材は、カード加工及びニードル加工によって作製されたハイロフト（ｈｉｇｈ　ｌｏｆｔ）摩擦電気式フィルター媒体であってもよい。実施形態の１つでは、ナノ粒子は、好ましくはニードル加工の前に基材の中に配置され、その後静電繊維とナノ粒子とが一緒にニードル加工される。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、基材内に「深く」（ｉｎ　ｄｅｐｔｈ）分散される

。本明細書で使用するとき、用語「深く」は、ナノ粒子が基材の第１の表面を越えて分散され、ナノ粒子の少なくとも一部が、基材又は媒体の構造において第１の表面と第２の反対側の面との間に配置されることを意味する。特定の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面から反対側の第２の表面までの実質的に全媒体にわたって分散される。他の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面から第１の表面と第２の表面との間の位置までの部分全体に分散される。他の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面から反対側の基材の第２の表面まで、密度勾配で配置される。ナノ粒子の密度は、第１の表面又は第２の表面のいずれかの方が大きくてもよい。

ナノ粒子は、フィルター媒体内の表面積全体を増加させ、それは濾過効率を高め、フィルター通過によるその他の要素、例えば、圧力損失（すなわち、空気流）を著しく損なうことなくサブミクロン汚染物質を捕獲することを可能にする。更に、本明細書に開示されているフィルターは厳しい条件に耐えることができ、これはフィルターが寿命を通して同じレベルの濾過性能を達成することを可能し、粉塵保持容量全体を増加し、その結果、特に効率向上を静電効果のみに頼る又は主に静電効果に頼るフィルターと比較して、フィルターの寿命を延ばす。

特定の実施形態では、繊維は、約３デニール超の線密度を有し得る。空気フィルター内の繊維は、通常、繊維がフィルターを通過する汚染物質を捕獲するのに十分に小さいことを確実とするために、約３デニール以下の線密度を有する。出願人は、驚くべきことに、フィルター媒体を通して分散されたナノ粒子の使用により、繊維がより大きな線密度、例えば３デニール超を有し得ることを見出した。これは、ナノ粒子が大きな濾過能力を提供するからである。場合によっては、繊維は、３デニール超、５デニール以上、６デニール以上又は７～１０デニールもの線密度を有し得る。

基材は、シート、層、フィルム、開孔フィルム、メッシュ、ネット等の媒体で構成され得る。特定の実施形態では、基材は、間に差し込まれた個別の繊維又は糸の構造を有する不織布材料を含むであろう。好適な不織布材料の例としては、メルトブローン、スパンボンド、ボンドカード、エアレイド、共形成（ｃｏ－ｆｏｒｍｅｄ）、水圧交絡等がなされた繊維、層、又はウェブが挙げられるがこれらに限定されない。他の実施形態では、編布又は織布が基材として想到される。

【００１０】

いくつかの実施形態では、フィルターは、フィルター媒体に結合された１つ以上の支持層を含む。支持層及び／又はフィルター媒体は、層（１つ又は複数）内の深く分散されたナノ粒子を含み得る。いくつかの実施形態では、ポリマー層内に深く配置されたナノ粒子を有し、その中を気体又は液体が流れるための１つ以上の開孔部を含むポリマー層、膜又はフィルムが提供される。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、流体内で孤立化（ｉｓｏｌａｔｅ）されており、基材の第１の表面を通して分散される。ナノ粒子は、炭素繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ナイロン繊維、ポリ乳酸繊維、及びこれらの組み合わせからなる群から選択できる。

特定の実施形態では、濾過媒体は、ナノ粒子を繊維に結合する繊維質材料内に結合剤を更に含む。結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム等の天然系材料、又はＥＶＡ、ＰＶＡ、ＰＶＯＨ、ＳＢＲ、ポリグリコリド等の合成樹脂等の種々の従来材料を含み得る。いくつかの実施形態では、基材はそれ自体のバインダー組成物を含む。これらの実施形態では、結合剤又は結合材料は、基材に添加されてもされなくてもよい。そのような１つの実施形態では、基材はバイオコンポーネント（ｂｉｏｃｏｍｐｏｎｅｎｔ）繊維を含み、成分の１つは、内部コアを少なくとも部分的に囲む外部シースを含む。特定の実施形態では、コアはシースから偏心しており、他の実施形態では、コアはシースと同心である。

【００１１】

ナノ粒子は、任意の好適な材料、例えば、ガラス、生体溶解性ガラス、セラミック材料、アクリル、カーボン、アルミナ等の金属、ポリマー（例えば、ナイロン、ポリエチレン

テレフタレート等）、ポリ塩化ビニル（ＰＶＣ）、ポリオレフィン、ポリアセタール、ポリエステル、セルロースエーテル、ポリアルキレンスルフィド、ポリ（アリーレンオキシド）、ポリスルホン、変性ポリスルホンポリマー及びポリビニルアルコール、ポリアミド、ポリスチレン、ポリアクリロニトリル、ポリ塩化ビニリデン、ポリメタクリル酸メチル、ポリフッ化ビニリデン及びこれらの任意の組み合わせを含み得る。

基材の繊維は、エアレイド法、スピナレット、ゲル紡糸、溶融紡糸、湿式紡糸、乾式紡糸、海島型ステープル又はスパンボンド、セグメントパイ型ステープル又はスパンボンド等が挙げられるがこれらに限定されない、任意の方法によって製造できる。想到される繊維は、円形、インゲン豆形、ドッグボーン形、三つ葉、バーベル、蝶ネクタイ、星、Ｙ字形等が挙げられるがこれらに限定されない、多数の形状の断面を有し得る。

繊維は人工繊維でも天然繊維でもよい。繊維に好適な材料としては、限定するものではないが、ポリプロピレン、ポリエステル（ＰＥＴ）、ＰＥＮポリエステル、ＰＣＴポリエステル、ポリプロピレン、ＰＢＴポリエステル、ｃｏ－ポリアミド、ポリエチレン、高密度ポリエチレン（「ＨＤＰＥ」）、ＬＬＤＰＥ、架橋ポリエチレン、ポリカーボネート、ポリアクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリフマロニトリル、ポリスチレン、スチレン無水マレイン酸、ポリメチルペンテン、環状オレフィン系コポリマー又はフッ素化ポリマー、ポリテトラフルオロエチレン、全フッ素化エチレン及びヘキサフルオロプロピレン又はＰ（ＶＤＦ－ＴｒＦＥ）のようなＰＶＤＦとのコポリマー又はＰ（ＶＤＦ－ＴｒＦＥ－ＣＦＥ）のようなターポリマー、プロピレン、ポリイミド、ポリエーテルケトン、セルロースエステル、ナイロン及びポリアミド、ポリメタクリル、ポリ（メチルメタクリレート）、ポリオキシメチレン、ポリスルホネート、アクリル、スチレン化アクリル、予備酸化アクリル（ｐｒｅ－ｏｘｉｄｉｚｅｄ　ａｃｒｙｌｉｃ）、フッ素化アクリル、酢酸ビニル、ビニルアクリル、エチレン酢酸ビニル、スチレン－ブタジエン、エチレン／塩化ビニル、酢酸ビニルコポリマー、ラテックス、ポリエステルコポリマー、カルボキシル化スチレンアクリル又は酢酸ビニル、エポキシ、アクリル系マルチポリマー、フェノール系、ポリウレタン、セルロース、スチレン又はこれらの任意の組み合わせが挙げられる。他の従来の繊維材料が想到される。

【００１２】

別の態様では、フィルター媒体の製造方法は、繊維の基材を提供する工程と、繊維を静電帯電させる工程と、ナノ粒子を基材中に分散させる工程と、を含む。静電帯電された繊維は、少なくともフィルターの初期使用中は、サブミクロン粒子を効果的に捕獲する。ナノ粒子は、時間の経過とともに静電荷が減衰し始めた後でも、高いフィルター効率を維持することを確実とする。更に、繊維とナノ粒子との間の結合は、静電荷によって増強され、ナノ粒子がフィルター媒体全体に深く分散されることを可能にする。

基材内の繊維は、摩擦電気法、コロナ放電、静電紡糸、ハイドロチャージング、充電バー等の既知の方法を使用して、静電帯電できる。特定の実施形態では、本方法は、繊維をコロナ帯電させる。他の例では、本方法は繊維を摩擦帯電させる工程を含む。

特定の実施形態では、繊維は、ナノ粒子が基材中に分散される前に帯電される。他の実施形態では、ナノ粒子は、基材内に分散及び捕獲され、その後繊維が静電帯電される。更に別の実施形態では、これらのプロセスは、実質的に同時に起こり得る。

特定の実施形態では、本方法は、繊維を静電紡糸する工程を含む。他の例では、本方法は、繊維とナノ粒子とを一緒にニードル加工する工程を含む。本方法は、繊維をカード加工する工程を含み得る。本方法は、繊維をスパンボンドする工程を含み得る。本方法は、繊維をメルトブローする工程を含み得る。

特定の実施形態では、本方法は、ナノ粒子が少なくとも基材の第１の表面を貫通するように、ナノ粒子を基材の第１の表面上に分散させる工程を含む。本方法は、流体内の個別ナノ粒子を孤立化させる工程を更に含むことができ、個別ナノ粒子は少なくとも１つの次元が１ミクロン未満である。

【００１３】

本方法は、空気、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素等の気体媒体内でナノ粒子を分離

及び／又は孤立化し、その後当該粒子を気流、エアロゾル、気化器、スプレー等の好適な送達機構を介して基材中に分散させることを更に含み得る。気体媒体内でナノ粒子を分離及び／又は孤立化し、その後当該粒子を基材又は気体流内に分散させることで、ナノ粒子を製品全体により均一に分布させることが可能になる。更に、ナノ粒子は、製品内に「深く」分散又は分布され得る。

本記述の種々の実施形態によって達成される望ましい対象の本明細書における言及は、記述の最も一般的な実施形態において、又はより具体的な実施形態のいずれかにおいて、これらの対象のいずれか又は全てが、個別又は集合的のいずれかで、不可欠な特徴として存在することを暗示又は示唆することを意味するものではない。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】材料の一部にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図２】材料全体にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図３】材料全体に勾配状にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図４】二重層フィルター媒体を示す。

【図５Ａ】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図５Ｂ】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図５Ｃ】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図６】ひだ付きの不織布フィルター媒体を示す。

【図７】代表的な空気フィルターを示す。

【図８】第１及び第２の支持膜とフィルター媒体とを有するガスフィルターを示す。

【図９Ａ】支持膜として使用するための開孔フィルムを示す。

【図９Ｂ】支持膜として使用するための開孔フィルムを示す。

【図１０Ａ】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図１０Ｂ】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図１０Ｃ】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図１０Ｄ】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図１０Ｅ】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図１１】ガスフィルターを示す。

【図１２】基材内の不織布材料を製造するシステムを概略的に示す。

【図１３】ナノファイバーのクラスタを個別ナノ粒子に変換するためのシステムを概略的に示す。

【図１４Ａ】ナノファイバーのマクロクラスタの写真である。

【図１４Ｂ】ナノファイバーの小さいクラスタの写真である。

【図１４Ｃ】個別化されたナノ粒子の写真である。

【図１５】図１３のシステムのエダクタを示す。

【図１６】図１３のシステムの反応器を示す。

【図１７】ナノファイバーのクラスタを個別ナノ粒子に変換するためのシステムの別の実施形態を示す。

【図１８】二重層不織布材料を製造するためのシステムを示す。

【図１９】ナノ粒子が材料の深部全体に分散された、不織布材料を示す。

【図２０】ナノ粒子が材料の深部全体に分散され、スクリム層がナノ粒子を覆っている、不織布材料を示す。

【図２１】ナノ粒子が２層の内面上に分散された二重層不織布材料を示す。

【図２２】流体の流れの中で不織布材料を製造するためのシステムの代替的実施形態を示す。

【図２３Ａ】結合剤を使用していない不織布材料の写真である。

【図２３Ｂ】結合剤を使用した不織布材料の写真である。

【図２４Ａ】ナノ粒子が凝集塊又はクラスタ状で材料全体に分散された不織布材料の写真である。

【図２４Ｂ】ナノ粒子が実質的に均一に材料全体に分散された不織布材料の写真である。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
この記述及び添付の図面は、例示的実施形態を示しており、限定するものととらえるべきではなく、特許請求の範囲は本記載の範囲を、等価物を含めて定義する。種々の機械的、組成的、構造的、及び操作的な変化は、等価物を含めて、この記述及び特許請求の範囲から逸脱することなく実施され得る。場合によっては、記載を不明瞭にしないように、周知の構造及び手法は、詳細に表示又は説明されていない。２つ以上の図面における同様の数字は、同じ又は類似の要素を表わす。更に、１つの実施形態を参照して詳述されている要素及びその関連態様は、実際的である場合は常に、具体的に表示又は説明されていない他の実施形態に含まれ得る。例えば、ある要素が、１つの実施形態を参照して詳述され、第２の実施形態を参照して記載されていない場合でも、その要素は第２の実施形態に含まれると主張され得る。更に、本明細書の描写は例示のみを目的としており、システム又は図示されたコンポーネントの実際の形状、サイズ、又は寸法を必ずしも反映するわけではない。
本明細書及び添付の特許請求の範囲で使用されるとき、単数形の「１つの」、「ある」、「当該」（「ａ」、「ａｎ」及び「ｔｈｅ」）、及び任意の単語の任意の単数形の使用は、明示的かつ明確に１つの参照先に限定されない限り、複数の参照先を含むことに注意されたい。本明細書で使用するとき、用語「含む」とその文法的変形は、非限定的であることを意図し、あるリスト内の項目の記載は、リスト内の項目に置換又は追加され得る他の類似項目を除外しない。
特記のない限り、任意の定量的な値は、「約」又は「おおよそ」等の語が記載されているか否かにかかわらず近似値である。本明細書に記載の材料、方法、及び例は、例示のみを目的とし、限定することを意図するものではない。
【００１６】
繊維と、繊維に結合され、かつ基材の少なくとも一部分に組み込まれたナノ粒子とを含む、基材、シート、層、フィルム、開孔フィルム、メッシュ又はその他の媒体を含む、不織布材料及び不織布材料を含む製品が提供される。本明細書で使用するとき、用語「ナノ粒子」は、少なくとも１つの軸又は次元において１ミクロン未満の次元を有する任意の粒子を意味する。例えば、直径又は幅が１μｍ未満であり、長さが１μｍ超の繊維は、本明細書で使用されるとき、ナノ粒子である。
特定の実施形態では、個別ナノ粒子はそれぞれ、サイズが約１～約１０００ｎｍ、好ましくは約１～約６５０ｎｍの範囲の小さな粒子であり得る。数粒子サイズ分布において、粒子の少なくとも２分の１の粒径の測定値は１００ｎｍ以下であり得る。ナノ粒子の大部分は、通常、わずか数百個の原子で構成される。ナノ粒子のサイズが原子スケールに近づくにつれて、材料特性は変化する。これは、表面積対体積比が増加し、その結果材料の表面原子が材料性能を支配することによる。ナノ粒子はサイズが非常に小さいため、粉末、板、シート、又はより大きな繊維のようなバルク材料と比較して非常に大きな表面積対体積比を有する。この特徴により、ナノ粒子は、電子を閉じ込めて量子効果を生じるのに十分に小さいことから、予想外の光学的、物理的及び化学的特性を有することができる。
いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、少なくとも１つの寸法が１ミクロン未満（すなわち、繊維の断面形状に応じて、直径、幅、高さ等）であるナノファイバーを含む。ナノファイバーは、連続的な長さを有してもよく、又はナノファイバーは１～１００，０００ミクロン、好ましくは約１００～１０，０００ミクロン等の別個の長さを有してもよい。
【００１７】
本明細書で論じる不織布基材は、間に差し込まれた、絡み合った、又は一つに結合された、個別の繊維又は糸の構造を有し得る。不織布は、繊維又はフィラメントを交絡することによって（及びフィルムを穿孔することによって）機械的、熱的、又は化学的に接着されたシート又はウェブ構造を含み得る。不織布は、実質的に平坦な多孔質シートで、分離した繊維から、又は溶融プラスチック若しくはプラスチックフィルムから、直接作製され

る。好適な不織布材料の例としては、メルトブローン、スパンボンド又はスパンレース、熱結合、ボンドカード、エアレイド、ウェットレイド、共形成、ニードルパンチ、ステッチ、水圧交絡等がなされた繊維、層、又はウェブが挙げられるが、これらに限定されない。

特定の実施形態では、基材は編物及び／又は織物材料を含み得る。編物材料は、所望の用途に適した任意の編みパターンを含み得る。フィルター用途に適した編物材料には、横編物、縦編物、ニットメッシュパネル、圧縮ニットメッシュ等がある。フィルター用途に適した織物材料には、モノフィラメントファブリック、マルチフィラメントファブリック、ナイロンメッシュ、ポリエステルメッシュ、ポリプロピレンメッシュ等の繊維フィルター媒体がある。織布は、例えば、メッシュフィルタープレス布、織フィルターパッド及び他のダイカットピース、遠心フィルターバッグ、液体フィルターバッグ、集塵機バッグ、ベッドドライヤーバッグ、回転ドラムフィルター、フィルターベルト、葉状フィルター、ロール媒体等で使用することができる。

いくつかの実施形態では、不織布材料は、混ざり合った又は交絡したショートカット繊維及び／又はフィラメントを含む構造を含み得る。ショートカット繊維は、本明細書で使用するとき、有限長の繊維を意味する。フィラメントは、本明細書で使用するとき、実質的に連続長を有する繊維を意味する。いくつかの実施形態では、基材は、ショートカット粗大、マイクロファイバー及び／又は微細繊維を含み得る。本明細書で使用するとき、「微細繊維」は、直径１ミクロン未満を有する繊維を意味し、「粗大繊維」は、直径１０ミクロン超を有する繊維を意味し、マイクロファイバーは、１０ミクロン未満の直径を有する合成繊維である。

【００１８】

特定の実施形態では、ナノ粒子は、基材中に「深く」分散される。本明細書で使用するとき、用語「深く」は、ナノ粒子が基材の第１の表面を越えて分散され、ナノ粒子の少なくとも一部が、基材又は媒体の内部構造において第１の表面と第２の反対側の面との間に配置されることを意味する。特定の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面から反対側の第２の表面までの実質的に全媒体にわたって分散される。他の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面から第１の表面と第２の表面との間の位置までの部分全体に分散される。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、支持繊維に対して空間に三次元的に分布しており、これは繊維表面積と不織布材料内の微小体積とを増加させ得る。三次元分布は、不織布材料の特定部分の完全な閉塞に対する抵抗ももたらし、これは、流体（例えば、空気等の気体）がフィルターを通ることを可能にし、それによりフィルター前後での全体的な圧力損失を低減することから、フィルター媒体において特に有用である。

他の実施形態では、ナノ粒子は、１つの表面付近に、反対面よりも高密度のナノ粒子が配置されるように、又は基材の中央部と比べて高密度のナノ粒子が表面上に配置されるように、基材の厚さ方向に密度勾配で配置される。示される密度勾配は実質的に線形であってもよく、一連の別個の段階で減少してもよく、又は勾配はランダム（すなわち、線形又は段階的ではない、密度の全体的な減少）であってもよい。この密度勾配は、フィルター等の特定の用途に有利な多数の特徴を提供する（下記のように）。

【００１９】

ナノ粒子は、任意の好適な材料、例えば、ガラス、生体溶解性ガラス、セラミック材料、アクリル、カーボン、アルミナ等の金属、ポリマー（例えば、ナイロン、ポリエチレンテレフタレート等）、ポリ塩化ビニル（ＰＶＣ）、ポリオレフィン、ポリアセタール、ポリエステル、セルロースエーテル、ポリアルキレンスルフィド、ポリ（アリーレンオキシド）、ポリスルホン、変性ポリスルホンポリマー及びポリビニルアルコール、ポリアミド、ポリスチレン、ポリアクリロニトリル、ポリ塩化ビニリデン、ポリメタクリル酸メチル、ポリフッ化ビニリデン及びこれらの任意の組み合わせを含み得る。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、二成分（ｂｉｃｏｍｐｏｎｅｎｔ）セグメントパイ型及び海島型として製造されてもよい。次いで、フィラメントを十分に引き抜いて、サブミクロンフィラメントが得られる。連続フィラメントナノファイバーを、所望の長さ

に従って、好ましくは約１００～約１００００ミクロンに切断する。
いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、吸収剤かつ吸着剤である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、活性炭繊維又は活性炭粉末である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、触媒粒子又は触媒繊維である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、サブミクロン繊維の不織布をシュレッダー又は粉砕機又はエッジトリマー機に供給し、結合した不織布が入ってショートカット繊維が出てくることで、得ることができる。例えば、低質量バイオコンポーネントメルトブローン又はナノメルトブローン布をシュレッダーに供給でき、サブミクロンナノ粒子を得ることができる。

【００２０】

いくつかの実施形態では、異なるナノ粒子を混合してもよい。例えば、ナノファイバーとナノビーズとを混合できる。融点の異なる２種のナノファイバーを混合することができ、その結果、より低融点のナノ粒子が、高融点のナノファイバーのバインダーとして作用できる。異なる直径と異なる長さを有するナノ粒子を混合することもできる。
いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、環境的に持続可能な原料から選択される。ナノ粒子は、生体溶解性ガラスナノファイバー、生分解性ナノ粒子、堆肥化可能なナノ粒子、又はリサイクル可能な組成物を含み（ｃｏｍｐｒｏｍｉｓｅ）得る。
異なる種類のナノ粒子を組み合わせてもよい。ナノ粒子の一部は、機能性ナノ粒子であり得る。例えば、機能性ナノ粒子は、不織布材料中の繊維上に堆積した、及び／又は当該繊維に付着した、活性炭及び／又は抗菌材料を含み得る。これは、繊維のガス吸収効率と、殺菌効果とを改善し得る。更に、ガラス及び炭素のナノ粒子がその中に堆積したマイクロファイバー不織布の不織布製品は、フィルター媒体として濾過及び脱臭機能を提供する。
いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、機械的交絡によって繊維に結合される。この機械的結合は、以下に詳述するように、接着剤又は結合剤で補足できる。特定の実施形態では、ナノ粒子は、圧着されていない（すなわち、弛緩状態のナノ粒子に関連する、大きな波状、屈曲、渦巻状、コイル状鋸刃等の形状を有さない。他の実施形態では、ナノ粒子は、圧着体構造を、ある離散長さで有し得る。例えば、ある離散長さを有するこれらの圧着されたナノファイバーが繊維に付着すると、当該ナノファイバーは、それ自体の間で絡み合い、更に当該ファイバー、その上及び周囲としっかりと付着して、修飾された繊維を形成する。他の実施形態では、ナノファイバーのミクロンファイバーへの付着は、繊維とナノ粒子との間の静電引力及び／又はファンデルワールス力によって達成される。
フィルター媒体内に深く分散されたナノ粒子を含む、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。いくつかの実施形態では、フィルターは、フィルター媒体に結合された１つ以上の支持層を含む。支持層及び／又はフィルター媒体は、層（１つ又は複数）内に深く分散されたナノ粒子を含み得る。いくつかの実施形態では、ポリマー層内に深く配置されたナノ粒子を有し、その中を気体又は液体が流れるための１つ以上の開孔部を含むポリマー層、膜又はフィルムが提供される。他の実施形態では、不織布材料は、絆創膏、フェイスマスク等のための柔軟な表面層を備える。
不織布材料及び不織布材料含有製品（例えば、ガスフィルター）を製造するためのシステム、デバイス、及び方法が本明細書に提供される。空気、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素等の気体媒体中（液体ではなく）の個別ナノ粒子を孤立化させるためのシステム及び方法も提供され、気流、エアロゾル、気化器、スプレー又は他の適切な送達機構を介して別の製品、フィルム、層又は基材中に分散させることができる。

【００２１】

以下の記述は主に不織布材料及びフィルター媒体に関して提示されているが、本明細書に開示されるデバイス及び方法は、他の様々な用途に容易に適応できることは理解されるべきである。例えば、本明細書に開示される不織布材料は、家庭用洗浄剤、屋根ふき材及び床張り材製品、自動車の内装及び天井内張り、再利用可能なバッグ、壁紙、濾過デバイス、絶縁等に有用となり得る。更に、本明細書に記載されているプロセスで孤立化及び生

成された個別ナノ粒子は、種々のコーティング、複合材及び／又は添加剤に、例えば、ポリマー、食品包装、難燃剤、燃料電池、電池、キャパシタ、ナノセラミックス、照明、材料製造、製造法、複合材やセメント等の材料、医療診断用途、医療用治療デバイス又は治療、骨又は組織修復用スキャフォールド等の組織工学、飲料水、工業用プロセス流体、食品及び飲料製品、薬剤及び生物剤、組織撮像、医療用治療送達、生分解性化合物等の環境用途等に利用できる。

ナノ粒子を組み込み得る製品の更に完全な記載は、本発明の譲受人に譲渡され、全て２０２２年４月８日に出願された、同時係属米国仮特許出願第６３／３２８，９７０号明細書、同第６３／３２８，９５９号明細書、同第６３／３２８，９８３号明細書、同第６３／３２８，９９８号明細書、同第６３／３２９，００９号明細書、同第６３／３２９，０１８号明細書、同第６３／３２９，１３７号明細書、同第６３／３２９，１４６号明細書、同第６３／３２９，１５５号明細書、同第６３／３２９，１５８号明細書、同第６３／３２９，１６１号明細書、及び同第６３／３２９，１６２号明細書に見ることができ、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

【００２２】

図１は、複数の繊維１２とナノ粒子１４とを含む不織布材料又は基材１０を示す。基材１０は、第１の表面１６と、第１の表面１６の反対側の第２の表面１８と、第１の表面１６と第２の表面１８との間に定められた幅又は厚さを有する。ナノ粒子１４は、第１の表面１６を通して基材中に堆積されている。図示のように、ナノ粒子１４は、第１の表面１６を通って第１の表面と第２の表面１６、１８の間の基材１０の「深部」内に浸透する。いくつかの実施形態では、ナノ粒子１４は、第１の表面から、第１の表面と第２の表面１６、１８の間の幅又は厚さの少なくとも２５％、又はより好ましくは厚さの少なくとも約５０％浸透する。他の実施形態では、ナノ粒子１４は、第１の表面１６から第２の表面１８まで、実質的に基材１０全体に浸透する。

ナノ粒子１４は、好ましくは基材１０への分散の前に、分解され、互いに分離及び孤立化された個別ナノ粒子を含む（図２４Ｂに示すように）。従って、ナノ粒子１４は、不織布製品内に層では存在せず、ナノファイバーの大きな凝集又は束を有さない（図２４Ａに示すように）。これは、基材全体へのナノ粒子の分散を大きくし、ガスフィルター等のいくつかの用途では、汚染物質を濾過除去するための、より効率的な濾過容量をもたらす。更に、これは、材料内のナノ粒子のグラム毎平方メートル（ｇｓｍ）単位での面積密度又は「アドオン量」（ａｄｄ－ｏｎ　ａｍｏｕｎｔ）がより大きい不織布材料を提供する。「アドオン量」という用語は、本明細書において、材料の薄層、シート、又はフィルム内の材料、繊維又は粒子の面積密度（ｇｓｍ）を意味するために使用される。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、約０．１ｇ／ｍ^2～約２０ｇ／ｍ^2、好ましくは少なくとも約２．０ｇ／ｍ^{2}のアドオン量を含み得る。具体的なアドオン量又は面積密度は用途に応じて異なり得る。例えば、出願人は、面積密度又はアドオン量が高いほど、汚染物質の濾過除去における不織布材料の効率が高くなることを見出した。従って、ナノ粒子の具体的なアドオン量は、フィルター媒体の所望の効率に依存し得る。

【００２３】

図２は、複数の繊維１２とナノ粒子１４とを含む不織布材料又は基材２０を示す。図示のように、ナノ粒子１４は、第１の表面１６から第２の表面１８までの基材２０の幅全体に浸透する。図２に示すように、特定の実施形態では、ナノ粒子１４は、実質的に基材の繊維１２全体に分散される。特定の実施形態では、第１の表面１６に位置するナノ粒子の密度は、表面１６、１８の間の基材２０の中央部分内に分散されたナノ粒子の密度との差異が約５０％未満である。いくつかの実施形態では、この差異は２５％未満、好ましくは１０％未満である。特定の実施形態では、基材２０の中央部分内に分散された個別ナノ粒子の量又は数は、第１の表面１６又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量の少なくとも約５０％であり、好ましくは少なくとも約７５％、より好ましくは少なくとも約９０％である。

他の実施形態では、ナノ粒子１４は、第１の表面１６から第２の表面１８まで、密度勾

配で配置される。例えば、図３は、第１の表面１６付近に配置されたナノ粒子１４の方が第２の表面１８よりも高密度である密度勾配をナノ粒子１４が形成する基材３０を示す。特定の実施形態では、第１の表面１６に位置するナノ粒子の密度は、第２の表面１８に分散されたナノ粒子の密度との差異が約７５％超である。いくつかの実施形態では、この差は５０％超である。いくつかの実施形態では、差は２５％超である。特定の実施形態では、第２の表面１８又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量又は数は、第１の表面１６又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量の約５０％未満、好ましくは約２５％未満であり、より好ましくは約１０％未満である。

【００２４】

図３に示す密度勾配は、第１の表面１６から第２の表面１８まで実質的に線形であり得る。あるいは、ナノ粒子１４の密度は、第１の表面１６から第２の表面１８まで一連の別個の段階で減少してもよく、又は勾配はランダム（すなわち、線形又は段階的ではない、密度の全体的な減少）であってもよい。

他の実施形態では、ナノ粒子は、第１の表面及び第２の表面１６、１８の両方から基材に添加されてもよい。これらの実施形態では、第１及び第２の表面１６、１８における面積密度又は「アドオン量」は、実質的に互いに等しくてもよく、又は用途に応じて異なっていてもよい。これらの実施形態では、基材の中央に存在する面積密度又は「アドオン量」は、表面１６、１８よりも低い。例えば、基材の中央の面積密度は表面１６、１８の面積密度の約７５％であってもよく、又は約５０％、４０％又は２５％であってもよい。

不織布材料の厚さ方向のナノ粒子の分布は、例えば、撮像技術を用いて測定できる。電子顕微鏡等の技術を用いて、製品の厚さの中央において、製品の水平断面を撮影した不織布製品の拡大図を、製品の上面又は下面で撮影した画像と比較することができ、又は３つの画像全てを比較して、堆積されたナノ粒子の量がどの程度変化するかを判定できる。コンピュータによる画像解析処理を使用できる。例えば、図３において、１つの断面を線Ａ－Ａでとることができ、１つの断面をＢ－Ｂでとることができる。各断面の上面図を、電子顕微鏡、走査電子顕微鏡等の顕微鏡で撮影することができる。例えば、断面Ａ－Ａで撮影した断面の上面図画像を、断面Ｂ－Ｂで撮影した上面図画像と比較できる。同じ二次元サイズの試料中のマイクロファイバーの数、ナノ粒子の数、又はその両方を評価及び比較することができる。更に、撮像技術を、三次元試料に使用することができる。これらの技術を使用して、繊維の配向等の特性を評価できる。これらの技術を使用して、ナノ粒子が基材の深部に堆積されていること、基材の実質的にかなりの部分にわたって、実質的に深さ全体に、又は基材の深さの一部に堆積されていることを判定できる。

【００２５】

想到される基材の繊維は、エアレイド法、スピナレット、ゲル紡糸、溶融紡糸、湿式紡糸、乾式紡糸、海島型ステープル又はスパンボンド、セグメントパイ型ステープル又はスパンボンド等が挙げられるがこれらに限定されない、任意の方法によって製造できる。そのような方法は、米国特許第４，４０６，９５０号明細書、同第６，３３８，８１４号明細書、同第６，６１６，４３５号明細書、同第６，８６１，１４２号明細書、同第７，２５２，４９３号明細書、同第７，３００，２７２号明細書、同第７，３０９，４３０号明細書、同第７，４２２，０７１号明細書、同第７，４３１，８６９号明細書、同第７，５０４，３４８号明細書、同第７，７７４，０７７号明細書、同第９，５２２，３５７号明細書、同第９，９９３，７６１号明細書、及び米国特許出願公開第２００９／２６６，７５９号明細書に記載されており、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

想到される繊維は、円形、インゲン豆形、ドッグボーン形、三つ葉、バーベル、蝶ネクタイ、星、Ｙ字形等が挙げられるがこれらに限定されない、多数の形状の断面を有し得る。これらの形状及び／又は他の従来形状は、実施形態と一緒に使用して、所望の性能特性を得ることができる。基材中の繊維は、熱的接着、化学的接着、相互交絡、接着剤等の結合剤の使用によって、互いに接続された状態を保つ。

繊維は人工繊維でも天然繊維でもよい。繊維に好適な材料としては、限定するものでは

ないが、ポリプロピレン、ポリエステル（ＰＥＴ）、ＰＥＮポリエステル、ＰＣＴポリエステル、ポリプロピレン、ＰＢＴポリエステル、ｃｏ－ポリアミド、ポリエチレン、高密度ポリエチレン（「ＨＤＰＥ」）、ＬＬＤＰＥ、架橋ポリエチレン、ポリカーボネート、ポリアクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリフマロニトリル、ポリスチレン、スチレン無水マレイン酸、ポリメチルペンテン、環状オレフィン系コポリマー又はフッ素化ポリマー、ポリテトラフルオロエチレン、全フッ素化エチレン及びヘキサフルオロプロピレン又はＰ（ＶＤＦ－ＴｒＦＥ）のようなＰＶＤＦとのコポリマー又はＰ（ＶＤＦ－ＴｒＦＥ－ＣＦＥ）のようなターポリマー、プロピレン、ポリイミド、ポリエーテルケトン、セルロースエステル、ナイロン及びポリアミド、ポリメタクリル、ポリ（メチルメタクリレート）、ポリオキシメチレン、ポリスルホネート、アクリル、スチレン化アクリル、予備酸化アクリル、フッ素化アクリル、酢酸ビニル、ビニルアクリル、エチレン酢酸ビニル、スチレン－ブタジエン、エチレン／塩化ビニル、酢酸ビニルコポリマー、ラテックス、ポリエステルコポリマー、カルボキシル化スチレンアクリル又は酢酸ビニル、エポキシ、アクリル系マルチポリマー、フェノール系、ポリウレタン、セルロース、スチレン又はこれらの任意の組み合わせが挙げられる。その他の従来の繊維材料が想到される。

繊維は、異なるサイズの繊維を含んでもよく、一般的には繊維は約１～約１０００ミクロンの範囲の直径と、約１／２～３インチの範囲の長さとを有する。繊維は、捕獲効率と粉塵保持容量を向上させるため、フィルターの上面（上流）から下面（下流）へ細孔径が減少する勾配密度媒体として構成されてもよい。この構成は、異なる量のナノ粒子がフィルター媒体に異なる深さで分散することも可能にする。例えば、フィルター媒体の上流側は、繊維サイズが最も大きいことで、より多くの空隙とより大きなナノ粒子密度を可能にし、一方で、フィルター媒体の下流側は、繊維サイズが小さく、より低密度のナノ粒子を提供する。あるいは、この構造を逆にして、フィルター媒体の下流部分でより大きな密度のナノ粒子を提供することもできる。

媒体中の繊維は、熱的接着、化学的接着、又は相互交絡により、他の繊維と接続した状態を保ち得る。二成分繊維は、特に機械的濾過に使用でき、２種のポリマーを、両方のポリマーが同一フィラメント内に含まれた状態で同じスピナレットから押し出すことで形成される。二成分繊維に好適な材料としては、ポリプロピレン（ＰＰ）／ポリエチレン（ＰＥ）、ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）／ポリプロピレン（ＰＰ）等が挙げられるがこれらに限定されない。

【００２６】

いくつかの実施形態では、基材は、スパンボンド又はエアスルーボンドしたカード式不織布繊維を含む「ハイロフト」不織布材料を含み得る。本明細書で使用するとき、用語「ハイロフト」は、空隙の体積が、全固体体積よりも大きいことを意味する。エアスルーボンドされたカード式不織布繊維において、基材のロフト性は、当業者に公知の種々の手段によって制御できる。例えば、結合中に媒体に加える圧縮力を小さくすることで、ロフト性を向上できる。別の例では、ハイロフト不織布材料は、厚さ３デニール超、例えば、５デニール以上、６デニール以上（以下に詳述する）等、厚さが大きい繊維を用いて製造できる。他の実施形態では、図５Ｃに示し、以下に詳述するように、偏心バイオコンポーネント繊維を使用することで、ロフト性が向上し得る。

特定の実施形態では、繊維は、汚染物質、特にＥ２及びＥ３の粒子群範囲の汚染物質の捕獲におけるフィルター媒体の効率を改善するため、シリコーン系コーティングを含み得る。シリコーン系コーティングは、反応性シリコーンマクロエマルションを含み得る。シリコーンエマルションは、例えば、ジメチルシリコーンエマルション、アミノ型シリコーンエマルション、有機官能性シリコーンエマルション、樹脂型シリコーンエマルション、皮膜形成シリコーンエマルション等を含み得る。一実施形態では、反応性シリコーンマクロエマルションは、アミノ官能性ポリジメチルシロキサン及び／又はポリエチレングリコールモノトリデシルエーテルを含む。好適なシリコーンコーティングは、本発明の譲受人に譲渡され、２０２２年９月１４日に出願された米国仮特許出願第６３／４０６，６８６号明細書に記載されており、その全開示を参照により本明細書に援用する。

【００２７】
濾過媒体は、繊維の摩擦帯電を修正し、フィルターにおける摩擦帯電の安定性及び／又は持続性を増大するための電荷添加剤を含み得る。これは、寿命、粉塵保持容量、及び圧力損失又はフィルターを通る空気流等、フィルターの他の重要な特性を損なうことなく、フィルターの全体的な濾過効率を向上する。摩擦電気帯電に好適な電荷添加剤は、本発明の譲受人に譲渡され、２０２２年９月２８日に出願された米国仮特許出願第６３／４１０，７３１号明細書に記載されており、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

【００２８】
繊維は、用途に適した厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、繊維は、少なくとも１つの次元が約１～約１０，０００μｍ又は約１～約１，０００μｍ又は約１０～１００μｍの範囲である。繊維の厚さは、繊維の線形質量密度の測定単位であるデニールでも測定できる。いくつかの実施形態では、繊維は、約１デニール～約１０デニールの線密度を有し得る。ナノ粒子は、少なくとも１つの次元が約１～約１，０００ｎｍ又は約１～約１００ｎｍの範囲である繊維である。上記の繊維及びナノ粒子の次元は、繊維又はナノ粒子の形状に応じて、直径又は幅であり得る。
ひだ付き又はひだなし空気フィルター等のガスフィルターについては、繊維は約１デニール～約１０デニールの範囲の線密度を有し得る。フィルター媒体は、同じ又は異なる線密度の繊維を含み得る。
空気フィルター中の繊維は、典型的には、約３デニール以下の線密度を有し、繊維がフィルターを通る汚染物質を捕獲するのに十分に小さいことを確実とする。出願人は、驚くべきことに、フィルター媒体を通して分散されたナノ粒子の使用により、繊維がより大きな線密度、例えば３デニール超を有し得ることを見出した。これは、ナノ粒子が大きな濾過能力を提供するからである。場合によっては、繊維は、３デニール超、５デニール以上、６デニール以上又は７～１０デニールもの線密度を有し得る。
出願人は、一部の用途において、従来のフィルターに使用される繊維よりも大きな線密度を有する繊維（例えば、約３デニール超）は、より多くの開放空間又は細孔をフィルター媒体中に提供し、これはより大きな密度のナノ粒子がその中に分散されることを可能にすることも見出した。これは、当業者にとって反直感的かもしれないが、出願人は、ナノ粒子を組み込む繊維の線密度が大きくなると、実際にフィルターの全体的な効率を改善することを見出した。
特定の実施形態では、フィルター媒体は、少なくとも２種の異なる繊維厚さ又は線密度を含み、同じフィルター媒体内に少なくとも２つの異なる層を提供し得る。例えば、場合によっては、フィルター媒体の一部分は、３デニール超、例えば、５デニール以上又は６デニール以上の線密度の繊維を含むであろう。フィルター媒体の他の部分は、３デニール以下の、より標準的な線密度を有する繊維を含み得る。この二重層フィルター媒体は、主に、より大きい厚さの繊維内の高密度ナノ粒子で汚染物質を濾過する第１のフィルター部分と、より低い線密度を有する繊維で汚染物質を濾過する第２のフィルター部分とを生じるが、両部分とも、繊維全体に分散されたナノ粒子を含み得る。特定の実施形態では、フィルター媒体は、各部分内のデニール繊維範囲が異なる３つ以上の別々の部分又は層を含み得る。

【００２９】
図４は、第１の表面４２と、第１の表面の反対側の第２の表面４４とを有する第１の基材４０；及び第１の表面５２と第１の表面の反対側の第２の表面５４とを有する第２の基材５０を含む二重層フィルター媒体を示す。基材４０の第２の表面４４は、当業者に公知の任意の方法で、第１の基材の第２の表面５４に結合される。第１の基材４０は、比較的小さい線密度、例えば、３デニール以下のオーダーの繊維４６を含有する。第２の基材５０は、線密度が比較的大きい、例えば、５デニール、６デニール以上等３デニール以上のオーダーの繊維５６を含有する。第２の基材５０は、繊維５６全体に分散及び結合された、並びに／又は第２の基材５０によって保持された、個別ナノ粒子５８も含む。第１の基

材４０も、ナノ粒子を含んでも含まなくてもよい。
第１の基材４０は、主に繊維４６で汚染物質を濾過するように構成されているが、前述のように、第１の基材４０はナノ粒子も含み得る。第２の基材５０は、繊維５６とナノ粒子５８との両方で汚染物質を濾過するように構成されている。
いくつかの実施形態では、基材は、抗菌性物質及び／又は抗ウイルス組成物、例えば、銀、亜鉛、銅、オルガノシリコーン、トリブチルスズ、塩素、臭素、又はフッ素化合物を含有する有機化合物等の添加剤を含み（ｃｏｍｐｒｏｍｉｓｅ）得る。
【００３０】
繊維は、互いに結合した２種以上の異なる繊維を含むバイオコンポーネント繊維を含み得る。繊維は、同じ材料を含んでも、異なる材料を含んでもよい。
図５Ａ～図５Ｃは、本明細書に開示される不織布材と共に使用できるバイオコンポーネント繊維の種々の例を示す。図５Ａは、コア繊維６２と周囲のシース繊維６４とを有する繊維６０を示す。この実施形態では、コア６２は、シースと実質的に同心である。図５Ｂは、互いに並んで配置された第１及び第２の繊維７２、７４を有するバイオコンポーネント繊維７０を示す。図５Ｃは、コア繊維８２とシース繊維８４とを有するバイオコンポーネント繊維８０を示す。この実施形態では、コア８２はシース８４の長手方向軸に対して偏心しており、これはバイオコンポーネント繊維の全体的なロフト性を増加させる。当然、他の構成が可能である。例えば、コアは、円形以外、例えばドッグボーン形、正方形、三角形、菱形等の形を有し得る。あるいは、繊維は、複数のコアを備えてもよく、又は３つ、４つ、又はそれ以上の象限に分割されてもよい。
特定の実施形態では、不織布材料（すなわち、繊維及び／又はナノ粒子）は、静電帯電され、その結果、例えば、汚染物質は機械式濾過と静電式濾過の両方で捕獲される。繊維とナノ粒子との間の結合は、ナノ粒子、繊維、又はその両方を静電帯電させることでも増強され得る。例えば、特定の実施形態では、繊維は、機械式濾過がナノ粒子によって達成でき、静電式濾過がエレクトレット基材によって達成できるように、静電帯電される。静電又はエレクトレット基材は、カード加工及びニードル加工によって作製されるハイロフト摩擦電気式フィルター媒体であり得る。実施形態の１つでは、ナノ粒子は、好ましくはニードル加工の前に基材の中に配置され、その後静電繊維とナノ粒子とが一緒にニードル加工される。
【００３１】
基材、ナノ粒子、又はその両方は、摩擦電気法、コロナ放電、静電紡糸、ハイドロチャージング、充電バー等の既知の方法を使用して、静電帯電できる。コロナ帯電は、モノポリマー繊維又は繊維ブレンド、又は布地の帯電に好適である。摩擦帯電は、異なる電気陰性度をもつ繊維を帯電するのに好適となり得る。静電紡糸は、ポリマーの帯電と繊維の紡糸を１段階プロセスとして組み合わせたものである。摩擦電気帯電の好適な方法は、本発明の譲受人に譲渡され、２０２２年９月２８日に出願された米国仮特許出願第６３／４１０，７２９号明細書及び米国特許第９，０７４，３０１号明細書に記載されており、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。
摩擦電気効果を使用して粒子除去を強化するために、繊維に対して異なる摩擦電気特性を有するナノ粒子を選択できる。この方法では、生成されたナノ粒子は電場で形成され、摩擦電気効果を弱める可能性のある化学物質による汚染の影響を受けにくい。粗大繊維とは異なる吸着特性又は表面電荷特性を有するナノ粒子も、例えば、油又は水の濾過に使用できる。この差異を使用して、フィルター媒体内の局所的な電界勾配を増進又は生成し、粒子除去を強化できる。ナノ粒子と粗大繊維は、異なる湿潤特性を有し得る。
【００３２】
不織布材料は、繊維間の結合及び／又は基材中のナノ粒子の保持を促進して、繊維に付着し、又は他の方法で繊維に保持されて、基材内で安定なマトリックスを形成できるように、結合剤、又は接着剤若しくはバインダー等の結合材料を含んでもよい。結合剤又は結合材料は、個別ナノ粒子が基材全体を通して繊維に結合するために比較的少量で存在することが好ましい。

結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム等の天然系材料、又はＥＶＡ、ＰＶＡ、ＰＶＯＨ、ＳＢＲ、ポリグリコリド等の合成樹脂等の、種々の従来材料を含み得る。特定の実施形態では、溶媒蒸発時に結合が起こる溶媒系接着剤が使用される。

１つの好ましい実施形態では、結合剤又は結合材料はデキストリンを含む。更に別の実施形態では、結合剤は、水、２－ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド及び水酸化アンモニウム等の種々の物質の組成物を含む。更に別の実施形態では、結合剤は、少なくともＰＶＯＨを含む。結合剤は、溶液、エマルション、懸濁液、ホットメルト、硬化性、ニート及び／又は組み合わせであり得る。

いくつかの実施形態では、接着剤樹脂が使用され、接着剤樹脂は、接着剤を基材にコーティングした後で架橋され得る。接着（耐水／耐溶媒性）は、接着剤配合物中の溶媒が蒸発したときの自己架橋によって、又は乾燥プロセス中の熱活性化によって促進され得る。特定の接着剤の場合、架橋は、ＲＦ、ＵＶ、ｅビームが挙げられるがこれらに限定されない、電磁放射の高エネルギー波長により達成され得る。接着剤の量は、スプレーコーター１４０のノズルサイズを調整すること、又は接着剤組成物の流量を制御することによって制御できる。結合剤は、スプレーノズル、ディップコーティング等の方法を使用して適用できる。

いくつかの実施形態では、結合剤又は結合材料は、結合剤の表面又は界面張力を低下させ、それによってその分散及び湿潤特性を増加させ、結合剤が基材の深部により容易に浸透できるようにするための界面活性剤を含んでもよい。本明細書に開示される接着剤と共に使用するのに好適な界面活性剤としては、非イオン性、アニオン性、カチオン性及び両性界面活性剤、例えばステアリン酸ナトリウム、４－（５－ドデシル）ベンゼンスルホネート、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム湿潤剤、ドクサート（ジオクチルスルホコハク酸ナトリウム）、アルキルエーテルリン酸、塩化ベンザルコニウム（ＢＡＣ）、ペルフルオロオクタンスルホネート（ＰＦＯＳ）等が挙げられる。

いくつかの実施形態では、基材はそれ自体のバインダー組成物を含む。これらの実施形態では、結合剤又は結合材料は、基材に添加されてもされなくてもよい。そのような１つの実施形態では、基材はバイオコンポーネント繊維を含み、成分の１つは、内部コアを少なくとも部分的に囲む外部シースを含む（図５Ａ及び図５Ｃ参照）。

シースはナノ粒子に結合する材料を含み得る。例えば、シースは、加熱及び／又は乾燥すると粘着性及び／又は流体になる材料を含み得る。加熱／乾燥工程（後述）では、繊維のシース部分は、融点まで加熱され、粘着性及び／又は流体になってナノ粒子を基材に結合するに至る。好ましい実施形態では、結合と乾燥とは同時に起こる。

【００３３】

図２３Ａは、バインダー材料を使用せずに、その中にナノ粒子が堆積した不織布製品の拡大画像である。図２３Ｂは、デキストリンのバインダー材料と水とを用いてナノ粒子を繊維に付着した、不織布製品の拡大画像である。図示のように、ナノ粒子は、結合剤を使用すると、繊維により均一に接着する。

図２３Ａ及び図２３Ｂの例では、内側部分がポリエステルで外側部分が高密度ポリエチレン（「ＨＤＰＥ」）の二成分マイクロファイバーを有する基材を使用した。図２３Ａは、生体溶解性ガラスナノファイバーが基材の表面のみの上の層内に堆積されており、ナノファイバーの保持を静電力に頼っている、二成分マイクロファイバー基材を有するマイクロファイバー不織布製品を示す。ナノファイバーの凝集及びナノファイバーの保持力低下は、図２３Ａに見ることができる。基材は、メルトブローン、スパンボンド、又は本明細書に記載されている他の方法を使用して製造できる。

図２３Ｂの例では、バインダー材料を使用した。基材に、デキストリンと水との混合物が噴霧され、ナノ粒子は、より大きな均一性とより大きなナノファイバー保持力で、基材に適用された。更なる例では、本明細書に開示されているバインダー材料のいずれかを使用できる。更に、生体溶解性ガラスのナノ粒子が、基材の深部に堆積されている。この例では、二成分マイクロファイバー基材自体はＭＥＲＶ評価が４～１０であり、これは、本

明細書に記載の方法のいずれかを用いて達成できる。一例では、基材の深部に堆積され、静電荷を有するナノ粒子の場合、当初のＭＥＲＶが８のマイクロファイバー基材を使用して、ＭＥＲＶが１３の不織布製品を製造した。別の例では、当初のＭＥＲＶが６のマイクロファイバー基材を使用して、ＭＥＲＶ１５の不織布製品を製造した。基材はロール上に提供され、本明細書に記載されているプロセス及び方法のいずれかのようなロールｔｏロール連続プロセスにおいて、不織布製品を商業規模で製造することができる。一例では、ロールｔｏロールプロセスは毎分３０フィートで操作された。

【００３４】

特定の実施形態では、本明細書に記載の不織布材料は、液体フィルター、家庭用及び商用空気濾過のためのガスフィルター、外科用マスク等のフェイスカバーといった、汚染物質を捕獲又は吸収するフィルターデバイスの一部として含まれてもよい。フィルターデバイスは、機械式フィルター、吸収フィルター、隔離フィルター、イオン交換フィルター、逆浸透フィルター、表面フィルター、デプスフィルター等であってもよく、多数の異なる種類の汚染物質を空気、水等から除去するように設計され得る。

１つのそのような実施形態では、不織布材料は、空気から粒子及び汚染物質を除去する空気フィルター、例えばＨＥＰＡフィルター（すなわち、ひだ付き機械式空気フィルター）、ＵＶ光フィルター、静電式フィルター、ウォッシャブルフィルター、メディアフィルター、スパンガラスフィルター、ひだ付き又はひだなし空気フィルター、活性炭フィルター、ポケットフィルター、Ｖ－ｂａｎｋコンパクトフィルター、フィルターシート、フラットセルフィルター、フィルターカートリッジ等に組み込まれる。不織布材料は、空気フィルター用フィルター媒体を含んでもよく、支持層、スクリム層によって支持されてもよく、又は他の層又は材料に含まれてもよい。出願人は、本明細書に記載のようにナノ粒子を不織布材に深く組み込むことで、フィルター通過による圧力損失（すなわち、空気流）等の他の要因を損なうことなく、空気フィルターの効率が実質的に向上することを発見した。更に、これらの材料は、特に効率向上を静電効果のみに頼る、又は主に静電効果に頼るフィルターと比べて全体的な粉塵保持容量を増加させ、その結果、フィルターの寿命を伸ばす。

ＨＥＰＡフィルターのような、従来の家庭用及び商用空気フィルターは、典型的には、フィルターが約０．３～１０ミクロンの粒子を捕獲する能力によって評価される。この評価は、最小効率報告値又はＭＥＲＶと呼ばれ、ＡＳＨＲＡＥ（Ａｍｅｒｉｃａｎ Ｓｏｃｉｅｔｙ ｏｆ Ｈｅａｔｉｎｇ，Ｒｅｆｒｉｇｅｒａｔｉｎｇ ａｎｄ Ａｉｒ Ｃｏｎｄｉｔｉｏｎｉｎｇ Ｅｎｇｉｎｅｅｒｓ）によって策定されている。ＭＥＲＶ評価は１～１６の範囲で、値が高い方が特定の種類の粒子の捕獲効率が高いことを示す。従来の機械式空気フィルターは、典型的には、不織布濾過材料について、約８のＭＥＲＶ評価を報告している。

空気フィルターは、典型的には、その初期効率（すなわち、使用前の空気フィルターの効率）と、時間及び使用の経過に伴う効率に基づいて評価される。後者の効率は、典型的には、ＡＳＨＲＡＥ規格５２．２Ａｐｐｅｎｄｉｘ Ｊと呼ばれる調整工程により試験される。

本明細書で提供される空気フィルターは、初期ＭＥＲＶ評価が約１０超であり、圧力損失が約０．５水柱インチ未満である。場合によっては、初期ＭＥＲＶ評価は約１１で、圧力損失は約０．１７水柱インチ以下、又は約１３で、圧力損失は約０．３６水柱インチ以下、又は約１４で、圧力損失は約０．５水柱インチ以下である。

本明細書で提供されるガスフィルターは、ガスフィルターがＡＳＨＲＡＥ規格５２．２Ａｐｐｅｎｄｉｘ Ｊで調整された後に、１０以上のＭＥＲＶ評価を有する。いくつかの実施形態では、ガスフィルターがＡＳＨＲＡＥ規格５２．２、ＩＳＯ規格１６８９０、又は業界で許容される任意の他の規格で調整された後、ＭＥＲＶ評価は１３以上である。

【００３５】

本明細書に記載の不織布フィルター媒体のＭＥＲＶ評価は、フィルター媒体に使用される繊維の種類とサイズ、フィルター媒体内の個別ナノ粒子の密度、フィルター媒体の幅、

ひだの数とサイズ（存在する場合）等、多くの要因に基づいて変動する。ＭＥＲＶ評価は、不織布製品のシート、並びにひだ付きフィルター媒体として形成された不織布製品について測定でき、各々の圧力損失は変動し得る。同様に、フィルター媒体の前後での圧力損失もまた、上記を含む多くの要因に依存するであろう。

ＭＥＲＶ評価と圧力損失の両方に影響する１つの要因は、基材中の繊維の密度に対する、基材中のナノ粒子の密度又はアドオン量である。出願人は、基材密度とナノ粒子密度との間の比が低いほど、フィルターのＭＥＲＶ評価が高く、圧力損失が大きいことを発見した。特定の実施形態では、本明細書に記載のフィルター媒体は、約０．１ｇ／m^2～約２０ｇ／m^2、好ましくは少なくとも約２ｇ／m^2のナノ粒子面積密度を有する。

場合によっては、ナノ粒子の密度は、実際のフィルター媒体の密度（すなわち、粗大繊維の密度）にも依存する。以下に表２を参照して詳述するように、約６７の密度比（基材ｇｓｍをアドオンナノ粒子ｇｓｍで除算したもの）では、圧力損失は約０．１４水柱インチとなり、初期ＭＥＲＶ評価は１０となる。密度比が約３３．４の場合、ＭＥＲＶ評価は１０に上昇したが、圧力損失は約０．１７にしか増加しなかった。密度比が約２２．３の場合、初期ＭＥＲＶ評価が約１２に上昇し、圧力損失は約０．２４水柱インチであった。

このように、フィルターの効率又はＭＥＲＶ評価は、ナノ粒子のアドオン量が高いほど上昇し得る。特に、出願人は、例えば、アドオン量が少なくとも２ｇ／m^2の場合、ＭＥＲＶ評価が約１０のフィルターが得られることを発見した。アドオン量が４又は６ｇ／m^2の場合、ＭＥＲＶ評価がそれぞれ約１２及び１３のフィルターが得られる。アドオン量が１０ｇ／m^2以上の場合、ＭＥＲＶ評価が１５以上のフィルターが得られる。

出願人は、厚さ又は線密度が大きい繊維を含むと、細孔径が大きくなり、その結果細孔体積が大きくなり、それにより基材内のナノ粒子の密度が高くなり得ることも発見した。これはＭＥＲＶ評価及び圧力損失の上昇をもたらす（以下に表２を参照して述べるように）。例えば、出願人はＭＥＲＶ評価が１４で圧力損失が０．５水柱インチの空気フィルターを、５デニールバイオコンポーネント繊維を用いて製造できた。同様に、出願人は、ＭＥＲＶ評価が１３で圧力損失がわずか約０．２９水柱インチのフィルターを、５デニールバイオコンポーネント繊維を用いて製造することもできた。

【００３６】

ひだ付きフィルター媒体９０の例を図６に示す。フィルター９０は、用途に応じて約０～１０個／インチのひだを含み得る。フィルター媒体は、段ボール又は金属フレームに取付けて、容易に交換可能なフィルター製品として使用できる（図７）。図示のように、ガスフィルター９４は本明細書に記載の不織布材料で製造された。図示のように、フィルター９４は、ひだ付き不織布フィルター媒体９６と、フィルター媒体９６に剛性と構造を提供する支持層９８とを含む。

【００３７】

図１１は、本明細書に記載の不織布材料で製造されたガスフィルター１０９を示す。ガスフィルター１０９は、基材の深部に分散された繊維とナノ粒子とを有する不織布基材を含む。その後、基材を円筒形、円錐形等の好適な形状に圧延し、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等の用途に使用できる。

本明細書に開示されている不織布材料を用いて開発される可能性のある他のタイプのフィルターには、コニカルフィルターカートリッジ、スクエアエンドキャップフィルターカートリッジ、ポケットフィルター、Ｖ－ｂａｎｋコンパクトフィルター、パネルフィルター、フラットセルフィルター、ひだ付き又はひだなしバッグカートリッジフィルター等がある。

本明細書に開示されている不織布製品は、医療用マスク、又は人工呼吸器のカートリッジ等のその他の医療用途に使用され得る。医療用マスクは、医療従事者及び／又は患者を微生物等の物質から保護するために設計されている。例えば、医療用マスクは、例えば約３ミクロンの次元を有し得る細菌、並びに例えば約０．１ミクロンの次元を有し得るウイルスを遮断することができる。マスクは、複数の層に不織布材料を使用して作製され、マスクを個人の顔に付けるための耳かけ、タイ等の構造を有する。マスクの少なくとも上部

部分にワイヤーを組み込むことで、その部分が人の顔に適合にするようにしてもよい。マスクは、多層不織布材料を人の顔の前に保持するように設計された硬質ポリマー構造を含むことができる。一例では、マスクは３層を有する。外層と内層とは、通気性を提供するスパンボンドポリプロピレン等の不織布材料を含むが、本明細書で述べた材料のいずれも使用できる。中間層は内層と外層との間に配置され、基材の深部に堆積されたナノ粒子を有するマイクロファイバー基材を有し、８超の初期ＭＥＲＶ、好ましくは１０超のＭＥＲＶ、より好ましくは１３以上のＭＥＲＶを提供する。通気性のためには、マスクの圧力損失は、３～６水柱ｍｍ、より好ましくは４水柱ｍｍである。マスクは、効率が約９５％であることが望ましい。マスクの他の例は、４層以上の層を有する。不織布製品の複数の層を１つのマスクに組み合わせることができる。

特定の実施形態では、不織布材料は、開孔部、細孔又は穿孔を含む薄膜又は層に含まれ得る。開孔部は、パターン（円形、菱形、六角形、長円形、三角形、長方形等）でエンボス加工され、その後エンボス加工によって生じた薄くなった領域に開孔部が形成されるまで伸ばしてもよい。このような開孔基材は、ポリプロピレン、ポリエチレン、高密度ポリエチレン（「ＨＤＰＥ」）等の多くのポリマーから形成できる。例えば、ポリマー層は押出フィルムを含み得る。開孔フィルムは、市販されており、Ｄｅｌｎｅｔ（登録商標）の商標で販売されている。基材はロール状に提供され、ナノファイバーはロールｔｏロールプロセスで基材に堆積される。図１０Ａ～図１０Ｅは、本明細書に記載の方法で形成され得る開孔フィルムの例を示す。

他の実施形態では、ガスフィルターは、フィルター媒体と、フィルター媒体に結合した実質的に硬質の支持層とを含む。支持層は、層内に深く分散された繊維とナノ粒子とを含む。ナノ粒子は、支持層を通過する汚染物質を濾過するように構成される。

【００３８】

図８を参照すると、複合フィルター部材８１４は内部フィルター基材８１２と１つ以上のフィルター支持部材又は膜８１０とを含む。支持部材８１０は、ポリマーの押出シート、例えばポリプロピレンフィルム、高密度ポリエチレンフィルム、ポリ乳酸フィルム、又は押出可能なフルオロプラスチック材料等の熱可塑性ポリマー材料から形成されてもよく、実施形態において、コモノマーのポリテトラフルオロエチレンとペルフルオロアルキルビニルエーテルから生成したペルフルオロアルカン（ＰＦＡ）コポリマーから形成されてもよい。しかし、フッ素樹脂のような他のポリマー材料、例えば、エチレンクロロトリフルオロエチレン（ｅｔｈｙｌｅｎｅｃｈｌｏｒｏｔｒｉｆｌｕｏｒｅｔｈｙｌｅ）（ＥＣＴＦＥ）；ポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）のエチレンテトラフルオロエチレン（ＥＴＦＥ）を使用してもよい。

特定の実施形態では、上述のように、支持膜８１０は、膜８１０内に深く分散された個別ナノ粒子を含む。ナノ粒子は、支持膜が、フィルター膜８１４を通過する汚染物質の少なくとも一部を濾過することを可能にする（すなわち、内部フィルター基材８１２によって提供される濾過に加えて）。他の実施形態では、フィルター基材８１２及び／又は支持膜８１０は、そのようなナノ粒子を含む。

ＰＦＡのようなフッ素樹脂材料は、半導体部品を洗浄することを目的としたフィルターにおける使用、及び極端な清浄度が要求され、汚染の可能性が最小限に抑えられるその他の環境での使用に非常に望ましい。このような支持膜は、流体が表面に沿って濾過されるように方向付けるとともに、望ましくない粒子を濾液から除去するために、流体が構造を通って下にあるフィルター基材に入るように方向づけるようにも設計されている。

【００３９】

図９Ａ及び図９Ｂに示すように、支持膜８１０は複数の開孔部８２８を含み得る。開孔部は、円形が好ましいが、正方形、長方形、三角形等の他の形状が可能であることは認識されるであろう。基材は、ロール状に巻き取られた後、巻き出しされ、パンチプレスを通るように方向づけされて、望ましい、所定のパターンでＺ方向に通る開孔部８２８を形成し得る（図９Ａ）。あるいは、シートは、セットされた後、パンチプレスを介した連続操作へと向けられ、そこで所定の開孔部８２８のパターンを形成することができる。

図９Ｂを参照すると、開孔後に、両矢印９４０で示すように、フィルター支持部材を機械方向に伸張することで、開孔部８２８を伸ばして、フィルター媒体又は基材８１２によって濾過される流体が通過するための開口面積を大きくすることができる。

別の実施形態では、支持膜８１０は多孔質でもよい（すなわち、開孔部８２８ではなく、又は開孔部８２８に加えて）。この実施形態では、追加の流体流は、実質的に多孔質の支持膜によって達成できる。例示的な実施形態では、支持膜は少なくとも０．５又は５０％、好ましくは少なくとも０．８又は８０％、より好ましくは約０．８６又は８６％の多孔度の値を有する。多孔度の値は、材料の総体積のうちの非固体又は細孔体積の分率として定義される。かかる複合フィルター媒体の更に完全な説明は、ＰＣＴ出願第ＵＳ２０２０／０４０９４１号に見ることができ、この全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

本発明のフィルター用支持膜は、当業者に既知の任意の方法によって調製され得る。図９Ａ及び図９Ｂに示す１つの例では、支持膜はリブを含む。例えば、支持膜はポリマー材料を押出してシートを形成し、その後反対側のローラーによって提供されるニップ領域に上記シートを通過させることによって作製されてもよく、上記ローラーの少なくとも１つは皿穴溝のついた外面を有する。１つのローラーの皿穴溝は、ニップ領域において、もう一方のローラーの外面又は皿穴溝と揃っており、シートの少なくとも１つの表面から立ち上がったリブを有するリブ付きシートを形成する。あるいは、リブは、押出プロセス又は既知のエンボス加工方法により形成され得る。リブが形成されると、支持膜がロール状に巻き取られ、その後巻き出しされて、プレスを通るように方向づけされて、望ましい、所定のパターンでそのＺ方向に通る開孔部を形成し得る。あるいは、図９Ａに最もよく示されるように、支持膜は、セットされた後、パンチプレスを介した連続操作へと向けられ、そこで所定の開孔部のパターンを形成することができる。任意選択で、支持膜を機械方向（図９Ｂに両矢印で表示）に伸張することで、開孔部を伸ばして、例えば、フィルター層又は基材によって濾過される流体が通過するための開口面積を大きくすることができる。

【００４０】

図１２は、不織布材料及び上記の他の材料を製造するためのシステム全体１１０を概略的に示す。図示のように、システム１１０は、不織布繊維の基材１３０等の材料を製造プロセスを通して前進させるためのフィーダー１２０を含む。システム１００は、コーター１４０、繊維化システム１５０、並びに加熱及び／又は乾燥デバイス１６０を更に含む。特定の実施形態では、システム１００は、繊維化システム１５０の反対側の基材１３０の下に、真空又はその他の負圧源１７０を更に含む。

一実施形態では、フィーダー１２０は、プロセスの下流端の巻取機１２２と、システム１００を通して基材１３０を連続的に巻き取る上流端の巻出機１２４とを含む。特定の実施形態では、フィーダー１２０は、基材１３０がシステム１００を下流へ移動する際に基材を支持するため、巻取機間に延びる支持面（図示せず）を更に含み得る。他の実施形態では、基材は、別の支持面なしで、巻出機１２４から巻取機１２２へと直接巻き出しされる。

コーター１４０は、結合剤又は結合材料、例えば接着剤又はバインダーの液滴を基材１３０上に噴霧して、ナノ粒子が基材１３０内の繊維に結合して安定なマトリックスを形成できるように構成される。結合剤は、個別ナノ粒子が基材１３０全体を通して繊維に結合するために比較的少量で存在することが好ましい。好ましい実施形態では、コーター１４０は、接着剤の基材１３０への浸透深さを増加させるために約２０～３０ミクロンの直径を有する接着剤液滴を生じるようなサイズのスプレーノズルを含む。当然、液滴サイズは、空気圧、空気の体積、空気の温度、湿度、スプレーホーンの設計、接着剤のレオロジー／粘度、担体等の多数の他のパラメータによって影響され得る。

当然、結合剤又は結合材料で基材をコーティングすることは、他のコーティング法で達成されてもよく、当該方法には、超音波スプレー、ディップコーティング、スピンコーティング、グラビアコーティング、キスロールコーティング、スクリーンコーティング、粉体コーティング、静電、スパッタコーティング等のコーティングが含まれることは認識さ

れるであろう。

【００４１】

上記のように、結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム等の天然系材料、又はＥＶＡ、ＰＶＡ、ＰＶＯＨ、ＳＢＲ等の合成樹脂等、種々の従来材料を含み得る。特定の実施形態では、溶媒蒸発時に結合が起こる溶媒系接着剤が使用される。

１つの好ましい実施形態では、結合剤はデキストリンを含む。別の実施形態では、結合剤は、水、２－ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド及び水酸化アンモニウム等の種々の物質の組成物を含む。更に別の実施形態では、結合剤はＰＶＯＨを含む。結合剤は、溶液、エマルション、懸濁液、ホットメルト、硬化性、ニート及び／又は組み合わせであり得る。

いくつかの実施形態では、接着剤樹脂が使用され、接着剤樹脂は、接着剤を基材１３０にコーティングした後で架橋され得る。接着（耐水／耐溶媒性）は、接着剤配合物中の溶媒が蒸発したときの自己架橋によって、又は乾燥プロセス中の熱活性化によって促進され得る。特定の接着剤の場合、架橋は、ＲＦ、ＵＶ、ｅビームが挙げられるがこれらに限定されない、電磁放射の高いエネルギー波長により達成され得る。接着剤の量は、スプレーコーター１４０のノズルサイズを調整すること、又は接着剤組成物の流量を制御することによって制御できる。

いくつかの実施形態では、結合剤は、結合剤の表面又は界面張力を低下させ、それによってその分散及び湿潤特性を増加させ、結合剤が基材の深部により容易に浸透することを可能にするための界面活性剤を含んでもよい。本明細書に開示される結合剤と共に使用するのに好適な界面活性剤としては、非イオン性、アニオン性、カチオン性及び両性界面活性剤、例えばステアリン酸ナトリウム、４－（５－ドデシル）ベンゼンスルホネート、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム湿潤剤、ドクサート（ジオクチルスルホコハク酸ナトリウム）、アルキルエーテルリン酸、塩化ベンザルコニウム（ＢＡＣ）、ペルフルオロオクタンスルホネート（ＰＦＯＳ）等が挙げられる。

【００４２】

いくつかの実施形態では、スプレーコーター１４０は繊維化システム１５０の上流に位置し、その結果、結合剤はナノ粒子が堆積される前に噴霧される。他の実施形態では、スプレーコーター１４０は繊維化システム１５０の下流に位置し、その結果、結合剤をナノ粒子堆積後に噴霧できる。他の実施形態では、システム１００は２種類のスプレーコーティングを含む；１つは繊維化システム１５０の上流に位置し、もう１つは繊維化システム１５０の下流に位置し、ナノ粒子の堆積後に基材１３０に二次結合剤をコーティングするスプレーコーターである（図示せず）。

いくつかの実施形態では、各スプレーコーター１４０に複数のノズルヘッドがある。ノズルヘッドは、例えば、均一性向上のため、又は繊維の噴霧幅を増やすために、直列に配置されてもよい。あるいは、ノズルヘッドは、平行に、すなわち基材の幅全体にわたって位置し、結合剤が基材の幅全体にわたってコーティングされることを確実としてもよい。

好ましい実施形態では、負圧源又は真空源（図示せず）はスプレーコーター１４０の反対側の１３０基材の下に配置され、結合剤の浸透深さと均一性とを高める。負圧源は、吸引ポンプ等のような、基材を通して結合剤を引き込む任意の適切な吸引デバイスであり得る。

【００４３】

いくつかの実施形態では、基材はそれ自体のバインダー組成物を含む。これらの実施形態では、結合剤は、基材に添加されてもされなくてもよい。そのような１つの実施形態では、基材はバイオコンポーネント繊維６００を含み、成分の１つは、内部コア６２を少なくとも部分的に囲む外部シース６４を含む。特定の実施形態では、シース６４とコア６２とは、互いに実質的に同心であり得る（図５Ａ）。他の実施形態では、コア８４は、シース８２から偏心し得る（図５Ｃ）。他の実施形態では、コア７２とシース７４とは、互いに並んでいる（図５Ｂ）。当然、他の構成が可能である。例えば、コア１８４は、円形以外、例えばドッグボーン形、正方形、三角形、菱形等の形を有し得る。あるいは、繊維１

８０は、複数のコアを備えてもよく、又は３つ、４つ、又はそれ以上の象限に分割されてもよい。

シース６４はナノ粒子に結合する材料を含み得る。例えば、シース６４は、加熱及び／又は乾燥すると粘着性及び／又は流体になる材料を含み得る。加熱／乾燥工程の間、繊維のシース６４部分はその融点まで加熱され、粘着性及び／又は流体になってナノ粒子を基材に結合するに至る。好ましい実施形態では、結合と乾燥とは乾燥デバイス１６０内で同時に起こる。

【００４４】

図１３は、ナノファイバーの群を個別ナノ粒子に変換するための繊維化システム１５０を概略的に示す。用語「繊維化」は、本明細書で使用するとき、ナノ粒子のクラスタ、凝集等のグループ（互いに交絡している場合もしていない場合もある）を、少なくとも１つの次元が１ミクロン未満の個別ナノ粒子へと変換（例えば、開放、分離、孤立化及び／又は個別化）することを意味する。図１４Ａ～図１４Ｃは、交絡したナノファイバーのマクロクラスタ（図１４Ａ）、交絡したナノファイバーの小さなクラスタ（図１４Ｂ）、及び個別ナノ粒子（図１４Ｃ）の例を示す。

図示のように、繊維化システム１５０は、ナノ粒子のより大きな又はマクロクラスタ／凝集（図１４Ａ参照）をシステム１５０に導入するための、ホッパー等のフィーダー２００を含む。フィーダー２００は、当業者に既知の任意の好適なホッパーデバイスを備えてもよく、好ましくは、下流の繊維化速度に依存する特定の速度で粒子のマクロクラスタをプロセスに導入するように構成されている。ナノ粒子は、指定された速度で連続的に、又は特定の速度で間隔をあけて、導入されてもよい。束状のナノ粒子のマクロクラスタは、フィーダー２００に導入する前に分解され得る。

ナノ粒子は、多くの異なる形態で繊維化デバイス１５０に導入され得ることを認識すべきである。例えば、未加工ナノファイバーは、長い分離した繊維として製造され得る。この形態では、ナノファイバーを切断して、所望の長さ対直径比を得ることができる。

システム１５０は更に、ナノ粒子のマクロクラスタ／凝集を、ナノ粒子のより小さなクラスタ／凝集に分離又は分解するための、ブレンダー等のセパレータ２１０を含む（図１４Ｂ参照）。フィーダー２００は、ナノファイバーを、任意の機械的手段によって、安定した連続状態でセパレータ２１０に移送する。移送速度は、フィーダー１２０に沿った基材１３０の速度、ナノ粒子の繊維化速度等、様々な要因に依存する。セパレータ２１０に落下するナノ粒子の量を制御することにより、基材に分散するナノ粒子の量を制御して連続製造プロセスを作成することができる。

一実施形態では、セパレータ２１０は、フィーダー２００に連結した第１の開口部２１４と、下流プロセスに連結した第２の開口部２１６とを有するハウジング２１２を含む。第２の開口部２１６は、好ましくは、特定のサイズを有するナノファイバーのクラスタのみが通過できるようなサイズになっている。セパレータ２１０は、ハウジング２１２内で垂直軸を中心に回転して粗大ナノファイバーのクラスタを分離及び開放（ｏｐｅｎ）するように設計された複数の回転可能なブレード（図示せず）を含み得る。ブレードは、交絡繊維が第１の開口部２１４から第２の開口部２１６へと通過するときに、当該繊維の連続的な破壊又は「開放」を可能にするために、同じ又は異なるピッチとキャンバとを有し得る。

繊維化システム１５０は、更に、セパレータ２１０からノズル２２０（以下に詳述する）までのシステム全体に延びる気体の流れを含む。気体の流れは（後述する一連のポンプとともに）、システム１５０を通るナノファイバーを動かす原動力となる。一実施形態では、圧縮空気をシステムに供給するように構成された空気コンプレッサー２３０で気体の流れが作成されるが、システム１５０を介してナノファイバーを移送するために他の形態の気体を使用してもよいことは認識されるであろう。

システム１５０は、ナノファイバーのクラスタを動かし、最終的にはシステム全体で個別ナノ粒子を動かすための１つ以上のポンプを備える。ポンプは、容積式、遠心式、軸流式等、任意の好適なポンプを含み得る。一実施形態では、第１のポンプ２４０は、第１の

通路２４２によって空気コンプレッサー２３０に流体連結した第１の入口と、第２の通路２４４によってセパレータ２１０に流体連結した第２の入口とを含む。圧縮空気は第１のポンプ２４０に引き込まれ、当該ポンプは負圧（例えば、真空）を発生して、ナノファイバーのクラスタをセパレータ２１０からポンプ（以下に詳述する）に引き込む。システム１５０は、第１のポンプ２４０の出口に流体連結されている第２及び第３のポンプ２５０、２６０を更に含んでもよい。同様に、第２及び第３ポンプ２５０、２６０は負圧を発生し、第３の通路２５２を通してナノファイバーのクラスタを引き込む。

【００４５】

特定の実施形態では、ポンプ２４０はエダクタ３００を含む。図１５に示すように、エダクタ３００はそれぞれ、通路３０８を介して出口３０６に連結した駆動流体入口３０２とナノファイバー入口３０４とを備える。流体通路３０８は、収束する入口ノズル３１０、ディフューザースロート３１２及び発散する出口ディフューザー３１４を含む。高圧低速の空気は、低圧高速の空気に変換され、その結果吸引に必要な圧力差を生じる。ベンチュリ効果とベルヌーイの原理に基づいて、一次流体媒体（例えば、圧縮空気）を用いて真空を作り出し、ナノファイバーをエダクタ３００に引き込んで、出口３０６から排出する。エダクタ３００の直径は、圧縮空気の体積流量、吸引要件、圧力損失、及び圧縮空気の流体圧力に依存する。

【００４６】

図１３に戻って参照すると、第３の通路２５２は、第３の通路２５２をそれぞれが第２及び第３のポンプ２５０、２６０へと繋がる２つの別々の通路へと分割する分岐２５４を含む。分岐２５４は、好ましくは、第３の通路２５２に対して実質的に垂直に配置された表面又は壁を含み、Ｔ字形の交差点を形成する。表面は、通路を通るナノファイバーの流れに相対する任意の表面であってもよく、例えば分岐点における通路の内壁、又はその他の内壁の方向変化、例えば、曲面、垂直面等であってもよい。あるいは、通路は、通路内に配置された、又は他流路内の通路に突出した、壁又はその他の表面を含んでもよい。一実施形態では、通路は、分岐から延びる２つの別々の通路を含む実質的にＴ字形の分岐へと延びてもよい。第２のエダクタは、ナノファイバーの少なくとも一部を分裂するのに十分な速度でナノファイバーをＴ字形分岐内に引き込むように構成される。

ナノファイバーのクラスタが第３の通路２５２を通過するとき、第２及び第３のポンプ２５０、２６０によって加えられた負圧によって、当該クラスタがこの表面又は壁に向かって推進される。分岐２５４に対するナノファイバーの速度は、ナノファイバーのクラスタの少なくとも一部を、より小さなクラスタのナノファイバーへ、及び／又は少なくとも１つの次元が１ミクロン未満である個別のナノ粒子へと崩壊させるのに十分な運動エネルギーでの衝突を引き起こす。

ナノファイバーのクラスタを分解するために必要な運動エネルギーを生じるために、空気を約５００フィート／分（ｆｐｍ）～約１０，０００フィート／分、好ましくは約２，０００ｆｐｍ～約６，０００ｆｐｍの速度でシステム１５０全体に推進する。システム１５０は、十分な量の吸引圧力、好ましくは少なくとも約２０ｐｓｉの吸引圧力を含む。この吸引圧力により、システム全体で少なくとも約１００ｐｓｉの全体的な圧力が生成される。

【００４７】

特定の実施形態では、システム１５０は更に、第２及び第３のポンプ２５０、２６０の出口を反応器２７０と連結する第４及び第５の流体通路２６２、２６４を含む。図１６に示すように、反応器２７０は、上面２７２、底面２７４、及び上面２７２から底面２７４に延びる内部環状チャンバ２７６を含む。反応器２７０は更に、開口した上部入口２７８と出口２８０とを有する中央管２７５を含む。反応器２７０は更に、１つ以上の上部出口２８２を含み得る。反応器２７０は、環状チャンバ２７６内に旋回気体の渦を作るように構成されたエネルギー源（図示せず）に連結されてもよい。エネルギー源は、ポンプ、コンプレッサー、発電機等の任意の好適なエネルギー源を含み得る。旋回気体は、好ましくは中央管２７５の周りを反応器２７０の底から最上部へと流れて、ナノファイバーのクラ

スタ及び個別ナノ粒子を底面２７５から上面２７２へと上向きに移動させる。
別の実施形態では、渦は別のエネルギー源なしで生じる。この実施形態では、ナノファイバー２９０のクラスタ及び個別ナノ粒子２９２は、底部入口２８４、２８５、２８６、２８７を通って反応器２７０に入る。入口２８４、２８５、２８６、２８７は中央管２７５の周りのナノファイバーとナノ粒子との動きを容易にするために上向きに角度がつけられている。好ましい実施形態では、入口２８４、２８５、２８６、２８７のうちの少なくとも１つ以上は、ナノファイバーとナノ粒子が、中央管２７５に対して実質的に接線方向となるように反応器２７０に入るように、角度が付けられている。環状チャンバ２７６に入ると、ナノファイバーとナノ粒子の速度ベクトル（速度と方向）が反応器２７０内に渦を生じ、それによりナノファイバーとナノ粒子は中央管２７５の周りを旋回してチャンバ２７６の上方部分まで上昇する。旋回気体は、好ましくは中央管２７５の周りを反応器２７０の底から最上部へと流れて、ナノファイバーのクラスタ及び個別ナノ粒子を底面２７５から上面２７２へと上向きに移動させる。いかなる妨害もなく、ナノファイバー２９０とナノ粒子２９２とは、反応器の底から最上部まで吹き飛ばされる。チャンバ２７６内の渦は、反応器２７０を通過する際に、ナノファイバー２９０のクラスタを更に分解（例えば、開放、分離、及び／又は個別化）する可能性がある。
いくつかの実施形態では、反応器２７０はまた、環状チャンバ２７６内に旋回気体の渦を作るように構成されたエネルギー源（図示せず）に連結されてもよい。エネルギー源は、ポンプ、コンプレッサー、発電機等の任意の好適なエネルギー源を含み得る。
システム１００は更に、上方出口２８２に連結された別のポンプ又は負圧源（例えば図１７を参照）を含み得る。この負圧は、繊維を出口２８２から引き出し、その結果繊維２９０は反応器２７０を出る。個別ナノ粒子２９２は、まだクラスタ化している交絡したナノファイバー２９０よりもかなり軽いため、これらの個別ナノ粒子２９２は中央管２７５の上方入口２７８に引き込まれる。一方で、まだ分解されていないナノファイバー２９０の大きく重いクラスタは、上方出口２８４から引き出される。上方出口２８４は、他のポンプ（図示せず）、又は第１のポンプ２４０に連結されてもよい。このようにして、ナノファイバー２９０のクラスタは再度プロセスを通して送られて更に分解され、残りのナノファイバーのクラスタを更に分解するための再供給システムが作られる。
中央管２７５の出口２８０はノズル２２０に連結されている（図１３参照）。個別ナノ粒子２９２はノズル２２０に引き込まれ、そこで基材の表面上、又は繊維の流れの中に分散される（後述）。ノズル２２０は、当業者に既知の任意の適切なノズルから構成されてもよい。一実施形態では、ノズル２２０は、ノズル２２０の下を通過する基材のサイズ（すなわち面積）に合わせて調整された外形寸法を有する複数の出口を有する。ノズル２２０は、システム全体の圧力によって駆動される速度でナノ粒子を基材上に分散させる。
特定の実施形態では、システム１００は、反応器２７０の出口２８０に連結した複数のノズルを備える。ノズルは、任意の好適な形式、例えば、並列、直列、平行等で、基材上に配置されてもよい。
ポンプ２４０、又はポンプ２５０、２６０は、ナノファイバー／空気混合物の流れをノズル２２０に直接供給（すなわち、反応器２７０をバイパス）してもよいことは認識されるであろう。この実施形態では、システム内の圧力は、実質的に全てのナノファイバーを個別ナノ粒子に分解又は開放するのに十分な運動エネルギーを生じるように設計されており、反応器２７０は、繊維の大きなクラスタからナノ粒子を分離する必要がない。
【００４８】
ここで図１７を参照して、繊維化システム３２０の別の実施形態を説明する。図示のように、繊維化システム３２０は、ナノファイバーの大きなクラスタ又はマクロクラスタを、システム３２０を通過するナノファイバーの小さなクラスタへと分離するためのセパレータ３２５を含む。第１のエダクタ３２６はセパレータ３２５の出口と連結され、セパレータ３２５からシステム３２０へ、ナノファイバーを引き込む役割を果たす。上述のように、空気コンプレッサー（図示せず）もエダクタ３２６に連結されて駆動流体を提供する。

前述の実施形態と同様に、第２及び第３のエダクタ３３０、３４０は、第１のエダクタ３２６の出口に連結される。ナノファイバーは、第１のエダクタ３２０を通って引き抜かれ、Ｔ字形交差点３５０の表面に向かって推進され、ナノファイバーの少なくとも一部がより小さなクラスタ又は個別ナノ粒子に分解される。

第２及び第３のエダクタ３３０、３４０のそれぞれは、追加のＴ字形交差点３６０、３７０に連結された出口を有する。前述のように、ナノファイバーはＴ字形交差点３６０、３７０の表面に対して推進され、更に分解される。Ｔ字形交差点３６０、３７０はそれぞれ、反応器の底部分３８０に入る２つの流体通路に連結されている。従って、反応器の底部分３８０は、ナノファイバーの通過のための別々の４つの入口３８２、３８４、３８６、３８８を有する。これらの入口のそれぞれは、好ましくは上向きに角度がつけられており、反応器の反対側の角に配置されている。これにより、ナノファイバーは反応器の渦に入り、反応器の上方部分３９０まで旋回できる。

【００４９】

図１６を参照して前述したように、反応器は、ノズルに連結されている開口した上端及び下端を有する中央管を有する環状チャンバを含む。個別ナノ粒子へと十分に分解されたナノファイバーは、この開口した上端を通って中央管に流れ、ノズルを通って分散する。まだ分解されていない重いナノ粒子のクラスタは、４つの別々の出口３９２、３９４、３９６、３９８のうちの１つを通って反応器から出る。エダクタ４１０、４２０は、上記のように、ナノファイバーを反応器４００から引き込むための駆動力を提供する。出口３９２、３９４はそれぞれ、Ｔ字形交差点４１２を介してエダクタ４１０に連結されており、出口３９６、３９８はそれぞれ、Ｔ字形交差点４２２を介してエダクタ４２０に連結されている。この場合、ナノファイバーは、交差点４１２、４２２を通過する際に２つの通路から１つの通路へと流れる。

エダクタ４１０、４２０はそれぞれ、Ｔ字形交差点４３０、４４０に連結されている。前述のように、ナノファイバーはＴ字形交差点４３０、４４０へと推進され、更に個別ナノ粒子に分解される。次いで、Ｔ字形交差点４３０、４４０はそれぞれ、反応器４００の底部分３８０に連結されている（入口４３２、４３４、４４２、４４４を介して）。これにより、ナノファイバーは更なる処理のために反応器４００に戻ることができる。このプロセスは、ナノファイバーの各クラスタが全てナノ粒子へと分解され、中央管を通ってノズルに送られるまで、各クラスタについて継続される。最後の工程として、個別化されたナノファイバーはノズルから任意の基材上にエアスプレーされるか、任意の繊維紡糸流と混合される。このプロセスにおいて、吸引力は最大２０ｐｓｉ、圧力は最大１００ｐｓｉである。

特定の実施形態では、繊維化システム１５０は、ナノファイバーがノズルを通過するのに適した個別ナノ粒子へと分解された時点を判断するためにナノファイバーを監視する独立した制御システムを含み得る。制御システムは、例えば、ナノファイバーをナノ粒子へと分解するのに十分な圧力がナノファイバーに加えられていることを確認するために、システム全体の圧力を単純に監視してもよい。あるいは、この制御システムは、ナノ粒子の質量又はサイズ等の特性を検出するためにシステムを介して配置されたさまざまなセンサーで構成されてもよい。センサーは、例えば反応器４００内に配置され、反応器４００の種々のパラメータ、例えば出口３９２、３９４、３９６、３９８に適用される負圧、環状チャンバを通過する渦の速度、ナノ粒子をノズルに引き込む中央管に適用される圧力等を制御システムが制御できるようにする。

【００５０】

図１８は、不織布材料の複数の層を製造するためのシステム５００の別の実施形態を示す。図示のように、システム５００は、第１及び第２の巻出機５０２、５０４と、システム５００を下流へ通る第１及び第２の基材５１０、５１２を巻き取るための単一の巻取機５０６とを備える。前述の実施形態と同様に、システム５００は更に、基材５１０、５１２のそれぞれについて支持面（図示せず）を含み得る。後述するように、第１及び第２の巻出機５０２、５０４は、第１及び第２の基材５１０、５１２をプロセスへと進める役割

を果たし、基材は当該プロセスでひとつに合わされ、単一の巻取機５０６で巻き取られる。

システム５００は、結合剤を第１及び第２の基材５１０、５１２に適用するための、それぞれ第１及び第２の巻出機５０２、５０４の下流に位置づけられた第１及び第２のスプレーコーター５２０、５２２を含む。システム５００は更に、スプレーガン５２０、５２２のそれぞれの下流に位置する１及び第２の繊維化システム／デバイス５３０、５３２を含む。前述のように、繊維化デバイス５３０、５３２は個別ナノ粒子を生成し、それらのナノ粒子を基材５１０、５１２上に分散する。

ナノ粒子が基材５１０、５１２内に分散された後、上記２つの基材は分岐点５４０でひとつに合わされ、一緒に下流へと進められる。上記２つの基材は、この点で互いに結合されてもよく、又は単に一方が他方の上に置かれてもよい。

システム５００は更に、ＩＲオーブン等のヒーター／乾燥デバイス５５０を、２つの基材の分岐点５４０の下流に含む。加熱／乾燥デバイスは、２つの基材を加熱・乾燥して互いに結合し、ナノ粒子を基材内の繊維に結合させる。基材は、例えば、互いに積層されてもよい。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、基材５１０、５１２の両方に分散される。１つのそのような実施形態では、システム５００は、ナノ粒子が基材のそれぞれの第１の表面を通して分散されるように設計される。基材は、第１の表面が互いに向かい合うように接合できる。あるいは、第１の表面は互いに向かい合わっていない（すなわち、各基材の第２の反対側の表面で基材を接合している）場合がある。更に別の実施形態では、第１の基材の第１の表面は第２の基材の第２の表面に接合されている。

【００５１】

図１９は、フィルター媒体７１０の少なくとも一部分に分散された繊維７２２とナノ粒子７２０とを含む不織布材料のフィルター媒体７１０を含むフィルター製品７００を示す。図示のように、フィルター媒体７１０は、第１の上面７１２と第２の下面７１４とを有する。ナノ粒子は、上面７１２を通って分散され、上記のように、上面７１２を超えて、フィルター媒体７１０の深部まで広がる。フィルター製品７００は更に支持層７３０を含み、支持層は、フィルター媒体７１０への支持を提供する実質的に硬質のポリマー、又は中を通過する気体又は流体のための複数の開孔を有する開孔フィルム（上述）等、当該技術分野で既知の任意の好適な支持層であってもよい。

【００５２】

図２０は、フィルター媒体７１０の一部分を通して分散された繊維７２２とナノ粒子７２０とを含む不織布材料のフィルター媒体７１０を含む別のフィルター製品７４０を示す。この実施形態では、製品７４０は、支持層７３０に結合されたスクリム層７５０を含む。

【００５３】

図２１は、互いに結合した第１及び第２のフィルター媒体７６２、７６４を含む二層フィルター製品７６０を示す。図示のように、ナノ粒子７２０は、各フィルター媒体７６２、７６４の深部全体に分散されている。この実施形態では、ナノ粒子７２０は、フィルター媒体７６２、７６４の内面７６６、７６８を通して分散されている。別の実施形態（図示せず）では、ナノ粒子は、フィルター媒体７６２、７６４の外表面７７０、７７２を通して分散される。更に別の実施形態では、ナノ粒子７２０は、媒体７６２の内表面７６６及び媒体７６４の外表面７７２上に堆積され得る。

【００５４】

別の態様では、不織布材料を製造するシステムは、１つ以上の繊維の流れを生成するための第１のデバイスと、気体媒体内のナノ粒子を孤立化するための第２のデバイスとを含む。第２のデバイスは、ナノ粒子を流れの中に分散し、この流れを繊維の流れに供給して不織布材料を形成する。システムは更に、第２のデバイスに連結され、ナノ粒子を繊維の流れに実質的に均一に供給するように構成された、ノズル等の分散デバイスを含み得る。繊維の流れは、当該技術分野で既知の任意の好適な機構、例えば、メルトブローン、スパ

ンボンド又はスパンレース、熱結合、カード、エアレイド、ウェットレイド、押出、共形成、ニードルパンチ、ステッチ、水圧交絡等によって生成され得る。

一例では、システムはスパンボンドラインを含んでもよく、当該ラインでは、溶融ポリマーを紡糸し、溶融フィラメントを伸張することでフィラメントが形成される。フィラメントの繊維束を分離して広げ、網の上に重ねてウェブを形成する。繊維は、熱的接着及びエンボス加工によってシート形態で結合される。例えば、第１の流れ６３０は、減衰ゾーンの前又は結合（圧密）プロセスの前に導入されてもよい。

別の実施形態では、システムは互いに直列に配置された２つのカード機を備え得る。第１の流れ６３０は、ナノ粒子が２つのカード繊維ウェブに挟まれるように、第１のカード加工ラインの後、かつ第２のカード加工ラインの前の任意の時点で導入され得る。その後、ナノ粒子を含む繊維の全てが、エアスルーボンド用オーブン内で結合される（ナノ粒子は、熱的に絡み合う）。

【００５５】

１つ以上の繊維流れを生成するための別の実施形態を図２２に示す。この実施形態では、ナノ粒子は２つのメルトブローダイの間に分散され、当該ダイでは溶融ポリマーを小さな穴に押し通して溶融繊維を生成する。ナノ粒子が粘着性のままの状態の繊維と接触すると、ナノ粒子は機械的に繊維と交絡し、繊維に熱的に接着される。従って、いくつかの実施形態では、追加の結合プロセスを必要としない。

図２２に示すように、繊維質不織布構造を形成するための装置６００は、上記のシステム及びデバイスのうちの１つに類似した繊維化システム６１０を備える。繊維化システム６１０は、個別ナノ粒子を第１の流れ６３０に分散させるためのノズル６２０又は類似のデバイスを含む。装置６００は更に、個別ナノ粒子の流れ６３０と組み合わされる繊維の１つ以上の流れを生成するためのシステムを含む。このシステムは、スパンボンド、カード加工、押出等のような当該技術分野で既知のシステムを含み得る。

別の実施形態では、装置は、第１及び第２の押出機６５０、６５２に連結されている第１及び第２のフィーダー、例えば、ホッパー６４０、６４２を備える。各押出機は、例えば、従来の駆動モーター（図示せず）で駆動する押出スクリュー（図示せず）を備え得る。ポリマーが押出機６５０、６５２を通って進むにつれて、駆動モーターによる押出スクリューの回転により、ポリマーは溶融状態へと徐々に加熱される。熱可塑性ポリマーを溶融状態まで加熱することは、複数の別個の段階で達成されてよく、温度は、押出機６５０、６５２の別個の加熱ゾーンを通って２つのメルトブローダイ６６０、６６２にそれぞれ進むにつれて徐々に上昇される。メルトブローダイ６６０、６６２は、熱可塑性樹脂の温度が押出のために高いレベルに維持される更に別の加熱ゾーンであってもよい。

各メルトブローダイ６６０、６６２は、メルトブローダイの中の小さな穴又はオリフィス６７２から糸が出るときに、１つのダイにつき２つの減衰気体の流れが収束して溶融糸を同伴及び減衰する単一の気体の流れを形成するように構成される。溶融糸２０は、減衰されて繊維となるか、又は減衰の程度によってはマイクロファイバーとなり、その小径は通常オリフィス６７２の直径より小さい。従って、各メルトブローダイ６６０、６６２は、同伴された減衰ポリマー繊維を含有する気体の対応する単一の一次空気の流れ６８０、６９０を有する。

ポリマー繊維を含有する一次空気の流れ６８０、６９０は、形成ゾーン７００で収束するように配列されている。更に、個別ナノ粒子の第１の流れ６３０は、形成ゾーン３０で熱可塑性ポリマー繊維又はマイクロファイバーの２つの一次空気の流れ６８０、６９０に追加される。繊維の２つの一次空気の流れ６８０、６９０への個別ナノ粒子の導入は、繊維の一次空気の流れ６８０、６９０の組み合わせの中で二次繊維質材料３２の分布を生じるように設計されている。これは、個別ナノファイバーの第１の流れ６３０を２つの一次空気の流れ６８０、６９０の間で合流し、３つの気体の流れ全てが制御された方式で収束するようにすることで達成できる。

不織布材料の製造に利用できる好適なメルトブローダイの例は、米国特許第６，９７２，１０４号明細書、米国特許第８０１７５３４号明細書、及び米国特許第７７７２４５６

号明細書、並びに米国特許出願公開第２０２００２１６９７９号（Ａ１）明細書に更に詳述されており、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

【００５６】

実施形態１は、繊維を含む基材を含むフィルター媒体であって、ナノ粒子が基材中に配置されており、ナノ粒子は少なくとも１つの次元が１ミクロン未満であり、繊維又はナノ粒子のうちの少なくとも１つは静電帯電されている、フィルター媒体である。

実施形態２は、繊維が静電帯電されている、実施形態１に記載のフィルター媒体である。実施形態３は、ナノ粒子が静電帯電されている、実施形態１又は２のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。本明細書に開示される実施形態のいずれかにおいて、基材、ナノ粒子、又はその両方は静電帯電される。

実施形態４は、基材が摩擦電気式フィルター媒体を含む、実施形態１～３のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態５は、繊維がコロナ帯電されている、実施形態１～４のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態６は、基材が摩擦電気式フィルター媒体であり、更に摩擦電気式フィルター媒体がカード加工及びニードル加工によって形成されている、実施形態１～５のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態７は、ナノ粒子と繊維とが、一緒にニードル加工されている、実施形態６に記載のフィルター媒体である。

実施形態８は、基材が、スパンボンド帯電された媒体を含む、実施形態１～７のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態９は、基材がメルトブローン帯電された媒体を含む、実施形態１～８のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態１０は、基材がネット材を含む、実施形態１～９のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、基材は、メッシュ、織物、編物、不織布、又はシートを含み得る。

実施形態１１は、繊維が約３デニール以上の線密度を有する、実施形態１～１０のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態１２は、繊維が少なくとも約５デニールの線密度を有する、実施形態１～１１のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、基材の繊維は、２種以上の異なるサイズの繊維を含み得る。

実施形態１３は、繊維が、コアとシースとを有するバイオコンポーネント繊維である、実施形態１～１２のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態１４は、繊維がコアとシースとを有する二成分繊維であり、更に、コアはシースから偏心している、実施形態１～１３のいずれか１つに記載のフィルターである。

実施形態１５は、ナノ粒子の少なくとも一部が、第１の表面から第１の表面の反対側の第２の表面までの基材中に配置されている、実施形態１～１４のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態１６は、個別ナノ粒子の密度が第１の表面から第１の表面の反対側の第２の表面まで減少するように、ナノ粒子が基材中に勾配を形成する、実施形態１～１５のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態１７は、ナノ粒子が、繊維質基材全体に実質的に均一に分散されている、実施形態１～１５のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態１８は、ナノ粒子が流体内で孤立化されており、基材の第１の表面を通して分散されている、実施形態１～１７のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態１９は、ナノ粒子が、炭素繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ナイロン繊維、ポリ乳酸繊維、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される、実施形態１～１８のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態２０は、ナノ粒子を繊維に結合する繊維質材料内の結合剤を更に含む、実施形態１～１９のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態２１は、結合剤を更に含み、結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、ＰＶＯＨ及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、実施形態１～１９のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態２２は、繊維が、ナノ粒子を繊維に結合するバインダー組成物を含む、実施形態１～１９のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態２３は、実施形態１～２２のいずれか１つに記載のフィルター媒体を含む、空気フィルター製品である。

実施形態２４は、繊維とナノ粒子とを含む基材を含むフィルター媒体であって、基材が汚染物質を機械的に濾過し、基材が汚染物質を静電的に濾過する、フィルター媒体である。

実施形態２５は、ナノ粒子が汚染物質を機械的に濾過する、実施形態２４に記載のフィルター媒体である。実施形態２６は、繊維が静電帯電されている、実施形態２４又は２５のいずれかに１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態２７は、基材が摩擦電気式フィルター媒体を含む、実施形態２４～２６のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態２８は、基材が摩擦電気式フィルター媒体であり、更に、摩擦電気式フィルター媒体がカード加工及びニードル加工によって形成される、実施形態２４～２７のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態２９は、ナノ粒子（ａｎｏｐａｒｔｉｃｌｅ）と繊維とが一緒にニードル加工されている、実施形態２４～２８のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態３０は、基材がスパンボンド帯電された媒体を含む、実施形態２４～２９のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。実施形態３１は、基材がメルトブローン帯電された媒体を含む、実施形態２４～３０のいずれか１つに記載のフィルター媒体である。

実施形態３２は、基材がネット材を含む、実施形態２４～３１のいずれか１つの記載のフィルター媒体である。本明細書に記載の実施形態のいずれかにおいて、基材はメッシュ、織物、編物、不織布、又はシートであり得る。

実施形態３３は、実施形態２４～３２のいずれか１つに記載のフィルター媒体を含む空気フィルターである。

実施形態３４は、フィルター媒体の製造方法であって、繊維を含む基材を提供する工程と、繊維を静電帯電させる工程と、ナノ粒子を基材中に分散させる工程と、を含む方法である。

実施形態３５は、繊維をコロナ帯電させる工程を更に含む、実施形態３４に記載の方法である。実施形態３６は、繊維を摩擦帯電させる工程を更に含む、実施形態３４に記載の方法である。実施形態３７は、繊維を静電紡糸する工程を更に含む、実施形態３４に記載の方法である。実施形態３８は、繊維とナノ粒子とを一緒にニードル加工する工程を更に含む、実施形態３４に記載の方法である。実施形態３９は、繊維をカード加工する工程を更に含む、実施形態３４に記載の方法である。

実施形態４０は、繊維をスパンボンドする工程を更に含む、実施形態３４～３９のいずれか１つに記載の方法である。実施形態４１は、繊維をメルトブローする工程を更に含む、実施形態３４～４０のいずれか１つに記載の方法である。

実施形態４２は、ナノ粒子が少なくとも基材の第１の表面を貫通するように、ナノ粒子を基材の第１の表面上に分散させる工程を更に含む、実施形態３４～４１のいずれか１つに記載の方法である。

実施形態４３は、流体内の個別ナノ粒子を孤立化する工程を更に含み、個別ナノ粒子は少なくとも１つの次元が１ミクロン未満である、実施形態３４～４２のいずれか１つに記載の方法である。

【００５７】

実施例１

内側のポリエステルの円形部分と、外側のＨＤＰＥの同心円部分とを有する二成分繊維のマイクロファイバー基材をロール状で提供した。ロールｔｏロールプロセスでは、基材に接着剤を噴霧し、生体溶解性ガラス繊維のナノファイバー又はナノ粒子を堆積させた。次いで、不織布製品をオーブン内で加熱して、冷却した不織布製品を別のロール上に集めた。

ナノ粒子は、下の図１２～図１６に記載のプロセスに従って堆積される。実験では、生体溶解性ガラスナノファイバーを使用する。ナノファイバーの直径は約７００ｎｍであり、長さは約５００ミクロンである。二成分繊維で作製されたカード式エアスルーボンド不

織布を、以下の実施例において基材として使用する。

フラットシートフィルター媒体試料を１１０ｆｐｍの濾過速度で試験した。試料サイズは１２”×１２”であった。０．３～１０ミクロンの範囲のＮａＣｌ塩粒子を汚染物質として使用した。

【００５８】

実施例２

３デニールのＰＥＴ／ＰＥ二成分繊維で作製したカード式不織布を基材として使用する。水、２－ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド、水酸化アンモニウムを含む組成物を、バインダーとして使用する。異なるナノファイバーアドオン量は、ライン速度を調節することによって制御される。

【表１】

				粒子群			
試料	gsm	ナノ粒子アドオン gsm	圧力損失 ”H20	E1	E2	E3	MERV 評価
基材	54.9		0.07	0	17	58	7
A1	55.7	0.82	0.14	23	62	94	10
A2	56.5	1.64	0.17	32	73	97	11
A3	57.4	2.46	0.24	47	86	98	12

この例は、ナノ粒子のアドオン量を制御することで、ＭＥＲＶ評価がＭＥＲＶ７からＭＥＲＶ１３まで上昇することを示す。

【００５９】

実施例３

５デニールの二成分繊維を有するハイロフトのエアスルーカード式不織布を基材として使用する。ナノファイバー分散の前に、典型的なデンプンバインダーを希釈し、噴霧する。ＩＲヒーターの下で溶媒が蒸発し、乾燥が起こるにつれて、デンプンがナノファイバーを十分に結合する。

【表２】

		粒子群			MERV 評価
試料	圧力損失 ”H20	E1	E2	E3	
B1	0.1	24%	58%	88%	10
B2	0.17	34%	71%	90%	11
B3	0.26	47%	85%	98%	12
B4	0.29	59%	91%	99%	13
B5	0.5	76%	97%	100%	14

【００６０】

実施例４

スパンボンド又はメルトブローン媒体を基材として使用し、ナノ粒子を、ＩＰＡ放出後に本明細書に記載のように基材に組み込んだ。スパンボンド繊維は、溶融ポリマーを紡いで引き抜いてフィラメントを形成することで作製した。基材の平均坪量は約９０ｇｓｍであり、平均厚さは約０．５７ｍｍであった。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を含む４つの別々の試料を調

製した。試料２では、ＩＰＡ放出後にメルトブローン繊維にナノ粒子を組み込んだ。試料１、３及び４では、ＩＰＡ放出後にナノ粒子をスパンボンド繊維に組み込んだ。この試験の結果を下の表３にまとめる。

【表３】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
1	ＣＡＢ８１（スパンボンド）	0.41	96%	100%	100%	16
2	ＣＡＢ８１（メルトブローン）	0.24	75%	98%	100%	14
3	ＣＡＢ８１（スパンボンド）	0.40	92%	100%	100%	15
4	ＣＡＢ８１（スパンボンド）	0.17	48%	87%	99%	12
基本	ＣＡＢ８１（スパンボンド）	0.07	9%	46%	90%	9

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだフィルター媒体試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも増加し、Ｅ２及びＥ３粒子群で有意に増加した。試料の全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ７（基本試料）からＭＥＲＶ１２～ＭＥＲＶ１６（ナノ粒子あり）まで上昇した。ナノ粒子を含まない基本試料は、０．０７水柱インチの圧力損失を示した。試料１～４は、０．１７～０．４１水柱インチの範囲のわずかに増加した圧力損失を有した。試料２では、ナノ粒子がメルトブローン繊維に組み込まれ、ＭＥＲＶ評価は１４で圧力損失は０．２４水柱インチであった。

【００６１】

実施例５

５デニールのエアスルーカード繊維を基材（ｓｕｂｓｔａｔｅ）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を含む２つの別々の試料を調製した。この試験の結果を下の表４にまとめる。

【表４】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.31	57%	90%	98%	13
2	5Dカード繊維	0.33	61%	92%	98%	13

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだフィルター媒体試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した。試料の全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ６（基本試料）からＭＥＲＶ１３（ナノ粒子あり）まで上昇した。ナノ粒子を含まない基本試料は、０．０３水柱インチの圧力損失を示した。試料１は、０．３１～０．３３水柱インチの範囲のわずかに増加した圧力損失を有した。

【００６２】

実施例６

メルトブローン繊維を基材として使用した。基材は、平均坪量が２４ｇｓｍで、平均厚さが約０．４ｍｍであった。ナノ粒子、又はＰＶＯＨ等の接着剤を組み込んでいない基本試料を使用した。試料１は、ベルトを上にしたメルトブローン繊維を含んだ。ＰＶＯＨを繊維に噴霧したが、ナノ粒子はそこに組み込まれなかった。試料２は、毛羽立ち側を上にしたメルトブローン繊維を含んだ。ＰＶＯＨを繊維に噴霧したが、ナノ粒子はそこに組み

込まれなかった。試料３は、上にＰＶＯＨが噴霧されたメルトブローン繊維と、本明細書に記載のように繊維に組み込まれたナノ粒子とを含んだ。この試験の結果を下の表５にまとめる。

【表５】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	メルトブローン	0.35	82%	96%	99%	14
1	メルトブローン	0.38	68%	88%	93%	13
2	メルトブローン	0.41	78%	95%	97%	14
3	メルトブローン	1.02	92%	99%	99%	15

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ試料３の効率は、３つの粒子群全てにおいて他の３つの基本試料よりも増加し、特にＥ１粒子群で増加した。試料３の全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ１３又は１４（基本試料）からＭＥＲＶ１５（ナノ粒子あり）まで上昇した。試料２及び３に添加したＰＶＯＨは圧力損失を実質的に増加しなかった（すなわち、基本試料において０．３５、試料１及び２において０．３８及び０．４１。試料３の圧力損失は、約０．４０水柱インチから約１水柱インチへと増加した。試料３では、ナノ粒子がメルトブローン繊維に組み込まれ、ＭＥＲＶ評価は１５、圧力損失は１．０２水柱インチであった。

【００６３】

実施例７

５デニールのエアスルーカード繊維を基材（ｓｕｂｓｔａｔｅ）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を有する５デニールのカード繊維を含む追加の７つの試料を調製した。この試験の結果を下の表６にまとめる。

【表６】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.07	7%	31%	69%	7
2	5Dカード繊維	0.09	5%	36%	69%	7
3	5Dカード繊維	0.15	16%	51%	77%	9
4	5Dカード繊維	0.16	21%	58%	81%	10
5	5Dカード繊維	0.17	31%	70%	90%	11
6	5Dカード繊維	0.28	46%	85%	96%	12
7	5Dカード繊維	0.32	58%	91%	97%	13

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ７つの試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも増加し、特にＥ２及びＥ３粒子群で増加した。全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ６（基本試料）からＭＥＲＶ７～ＭＥＲＶ１３（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、０．０３水柱インチから、最大で０．３２ｉｎＨ２Ｏまでしか増加しなかった。

【００６４】

実施例８

ハイロフトスパンボンド繊維を、連続繊維ラインにおいて基材（ｓｕｂｓｔａｔｅ）として使用した。この試験は、２つの異なるバージョンを含んだ：異なる質量及び厚さの２つの基材を製造するために、連続繊維ラインの設定を変更した２０５－６と２０５－２。各バージョン（２０５－６及び２０５－２）について、ナノ粒子を組み込んでいない基本

試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を有する２０５－６及び２０５－２の繊維を含む追加の６つの試料を調製した。この試験の結果を下の表７にまとめる。

【表７】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	205-6	0.04	0%	9%	43%	6
基本	205-2	0.04	0%	8%	37%	6
1	205-6	0.86	88%	98%	99%	15
2	205-2	0.48	79%	96%	99%	14
3	205-6	0.87	82%	97%	99%	14
4	205-2	0.42	61%	90%	98%	13
5	205-6	0.78	79%	97%	99%	14
6	205-2	0.23	44%	79%	96%	11

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ６つの試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ６（基本試料）からＭＥＲＶ１１～ＭＥＲＶ１４（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、０．０４水柱インチから、最大で０．８７水柱インチまでしか増加しなかった。２０５－２試料の圧力損失は、最大０．４８ｉｎＨ２Ｏまでしか増加しなかった。

【００６５】

実施例９

スパンボンド繊維及びメルトブローン繊維を基材として使用した。基材の平均坪量はスパンボンド繊維で約７０ｇｓｍ、メルトブローン繊維で約２４ｇｓｍであり、基材の平均厚さは約０．７５ｍｍであった。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように繊維内にナノ粒子を有するスパンボンド＋メルトブローン繊維を含む、追加の５つの試料を調製した。試料１～３では、ナノ粒子をメルトブローン繊維に噴霧した。試料４及び５では、ナノ粒子をスパンボンド繊維に噴霧した。また、試料１及び２では、接着剤ＰＶＯＨを基材に噴霧しなかった。ＰＶＯＨは、試料３～５に噴霧した。この試験の結果を下の表８にまとめる。

【表８】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	スパンボンド＋MB	0.07	2%	17%	29%	5
1	スパンボンド＋MB	0.41	100%	100%	100%	16
2	スパンボンド＋MB	0.56	100%	100%	100%	16
3	スパンボンド＋MB	0.26	99%	100%	100%	16
4	スパンボンド＋MB	0.4	100%	100%	100%	16
5	スパンボンド＋MB	0.17	97%	100%	100%	16

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ５つの試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なＭＥＲＶ定格は、ＭＥＲＶ５（基本試料）からＭＥＲＶ１６（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、０．０７水柱インチから、最大で０．５６水柱インチまでしか増加しなかった。試料３～５（ＰＶＯＨが基材に噴霧されている）では、圧力損失は最大で０．４水柱インチまでしか増加しなかった。

【００６６】

実施例１０

５デニールのエアスルーカードガラス繊維を基材（ｓｕｂｓｔａｔｅ）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。ナノ粒子を組み込んだ５デニールのカードガラス繊維を含む、追加の３つの試料を調製した。この試験の結果を下の表９にまとめる。

【表９】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.27	59%	91%	99%	13
2	5Dカード繊維	0.18	45%	83%	98%	12
3	5Dカード繊維	0.24	54%	89%	99%	13

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ３つの試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ６（基本試料）からＭＥＲＶ１２～ＭＥＲＶ１３（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、０．０３水柱インチから、最大で０．２７水柱インチまでしか増加しなかった。

【００６７】

実施例１１

５デニール及び７デニールのエアスルーカードガラス繊維の繊維ブレンドを基材（ｓｕｂｓｔａｔｅ）として使用した。媒体は、エアスルーボンドした。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。中にナノ粒子を組み込んだ５デニールと７デニールのカードガラス繊維の繊維ブレンドを含む、追加の１９の試料を調製した。この試験の結果を下の表１０にまとめる。

【表１０】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5D/7D　カード	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D/7D　カード	0.15	37%	64%	95%	10
2	5D/7D　カード	0.21	33%	70%	92%	11
3	5D/7D　カード	0.17	42%	80%	98%	11
4	5D/7D　カード	0.25	47%	82%	96%	12
5	5D/7D　カード	0.20	48%	84%	98%	12
6	5D/7D　カード	0.22	49%	84%	98%	12
7	5D/7D　カード	0.23	53%	85%	97%	13
8	5D/7D　カード	0.23	53%	87%	98%	13
9	5D/7D　カード	0.23	54%	88%	98%	13
10	5D/7D　カード	0.27	54%	88%	98%	13
11	5D/7D　カード	0.28	54%	87%	98%	13
12	5D/7D　カード	0.24	56%	89%	98%	13
13	5D/7D　カード	0.26	56%	88%	98%	13
14	5D/7D　カード	0.25	57%	90%	98%	13
15	5D/7D　カード	0.27	57%	89%	98%	13
16	5D/7D　カード	0.28	57%	89%	98%	13
17	5D/7D　カード	0.28	58%	90%	98%	13
18	5D/7D　カード	0.30	58%	90%	98%	13
19	5D/7D　カード	0.29	59%	89%	98%	13
20	5D/7D　カード	0.31	65%	94%	99%	13

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ全１９の試料の効率は、３つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なＭＥＲＶ評価は、ＭＥＲＶ６（基本試料）からＭＥＲＶ１０～ＭＥＲＶ１３（ナノ粒子あり）まで上昇した（試料の大部分はＭＥＲＶ１３と評価された）。圧力損失は、０．０３水柱インチから、最大で０．３１水柱インチまでしか増加しなかった。

【００６８】

デバイス、システム、及び方法を、それらの特定の好ましい実施形態に従って本明細書に詳細に記載したが、多数の修正及び変更が当業者によって実施されてもよい。従って、上記記載は、それによって限定されるものと解釈すべきではなく、上記の明らかな変形を含むものと解釈すべきであり、以下の特許請求の範囲の精神と範囲によってのみ限定されるべきである。

【図面】

【図１】

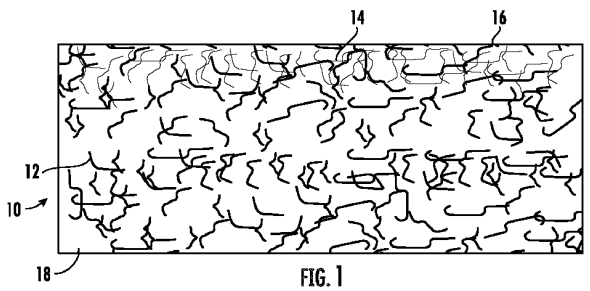


FIG. 1

【図２】

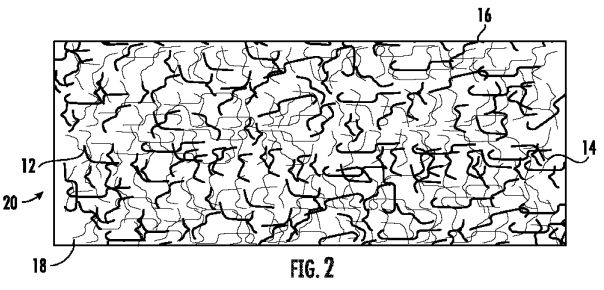


FIG. 2

【図３】

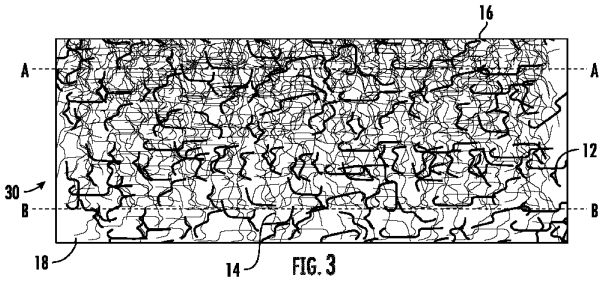


FIG. 3

【図４】

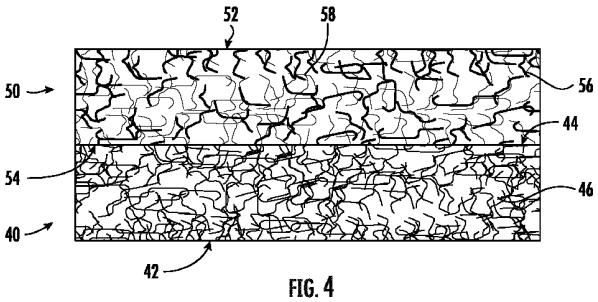


FIG. 4

【図５Ａ】

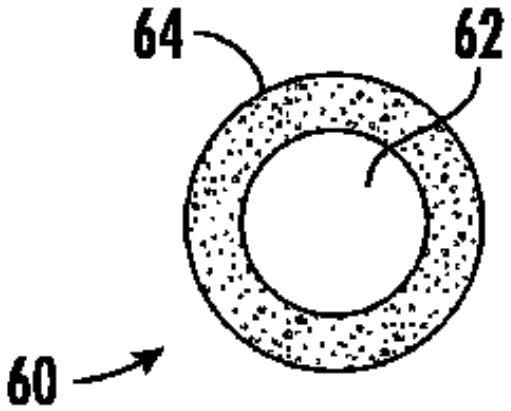


FIG. 5A

【図５Ｂ】

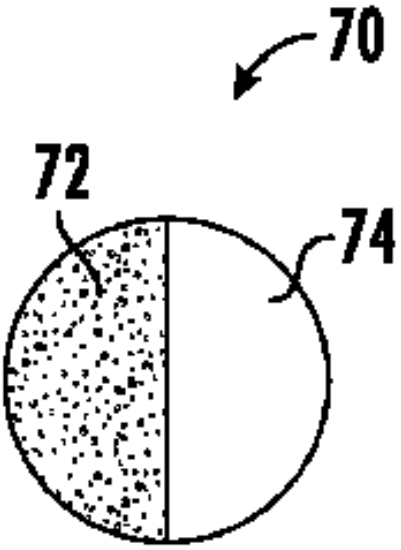


FIG. 5B

【図５Ｃ】

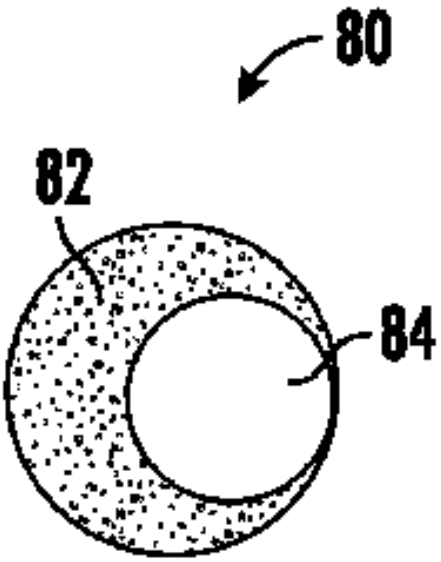


FIG. 5C

【図６】

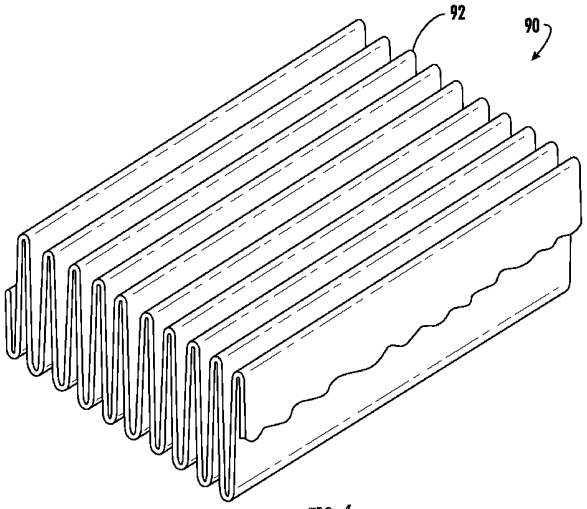


FIG. 6

【図７】

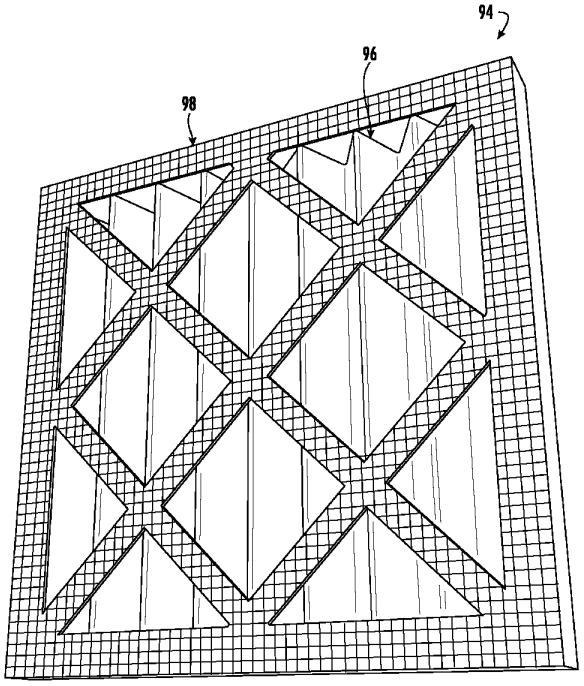


FIG. 7

【図８】

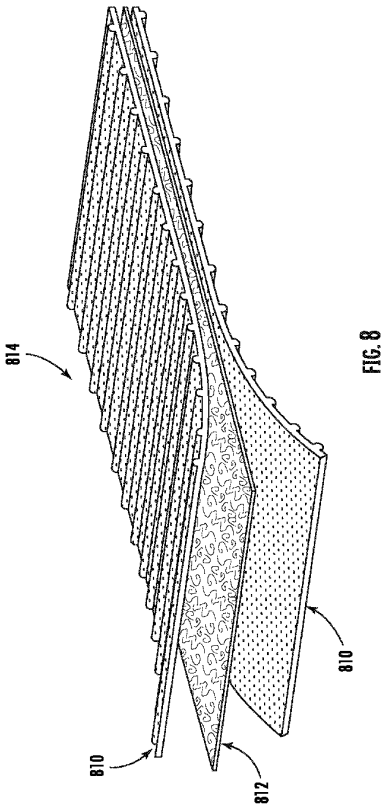


FIG. 8

【図９Ａ】

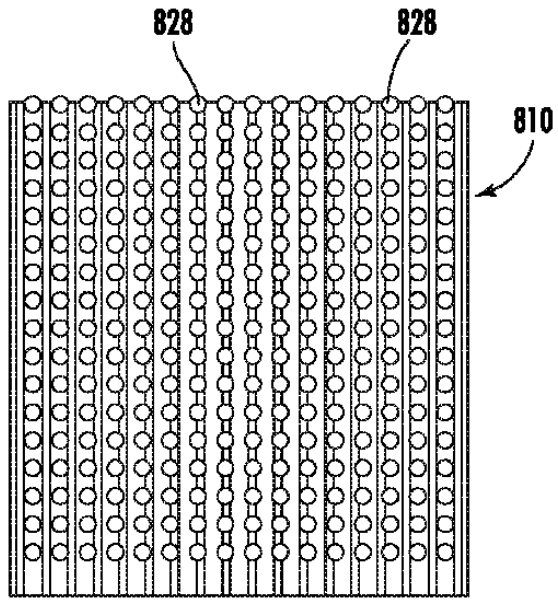


FIG. 9A

【図９Ｂ】

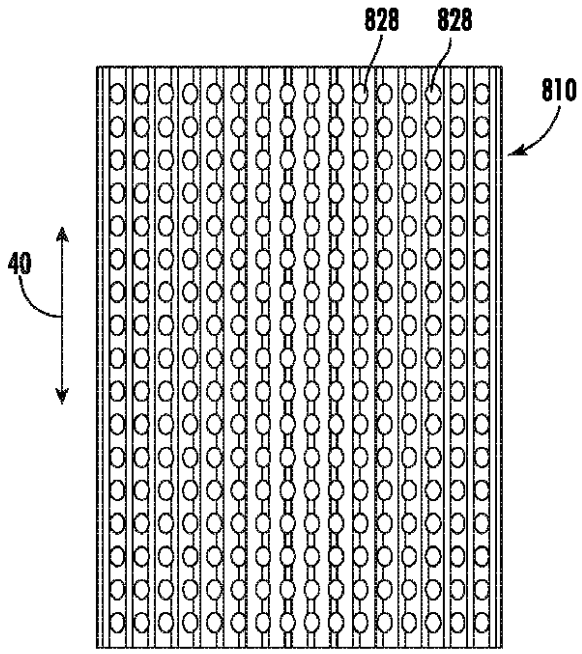


FIG. 9B

【図１０Ａ】

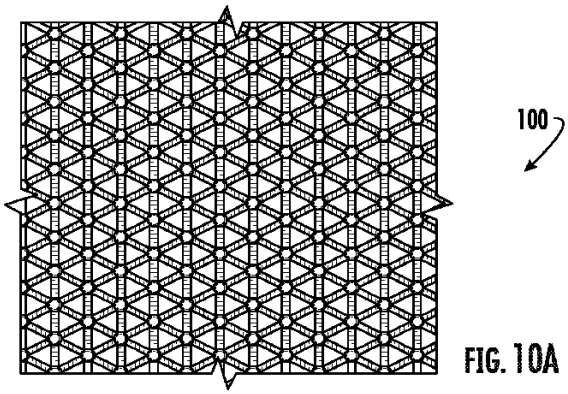


FIG. 10A

【図１０Ｂ】

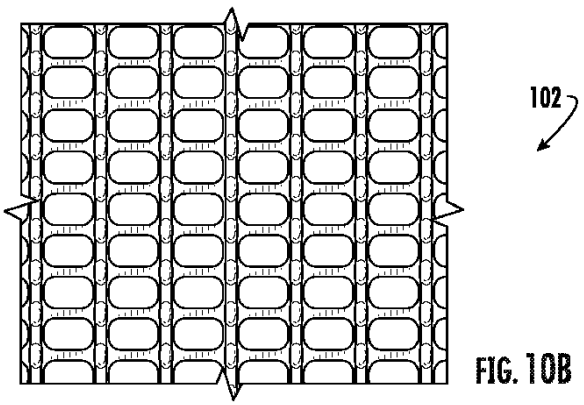


FIG. 10B

【図１０Ｃ】

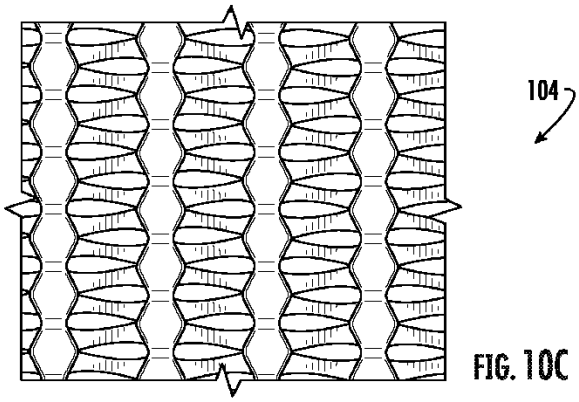


FIG. 10C

【図１０Ｄ】

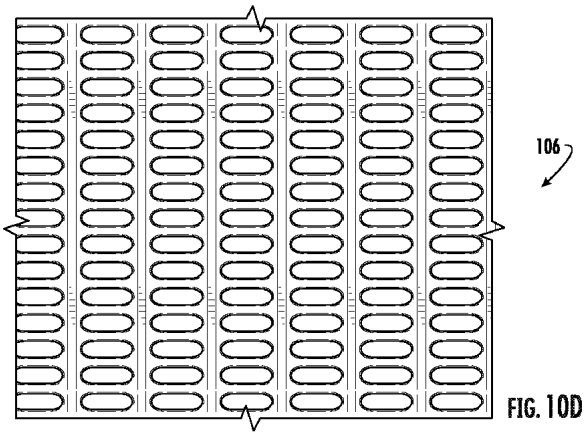


FIG. 10D

【図１０Ｅ】

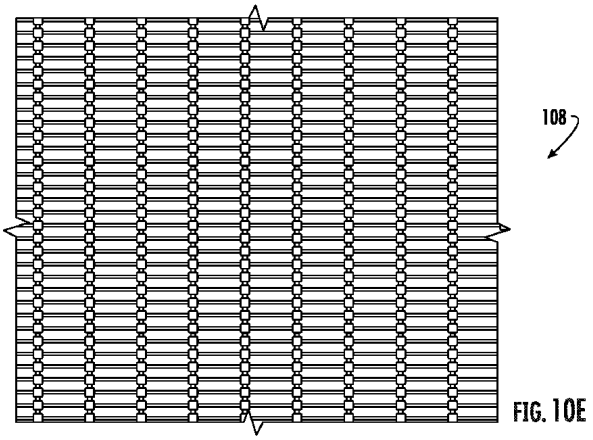


FIG. 10E

【図１１】

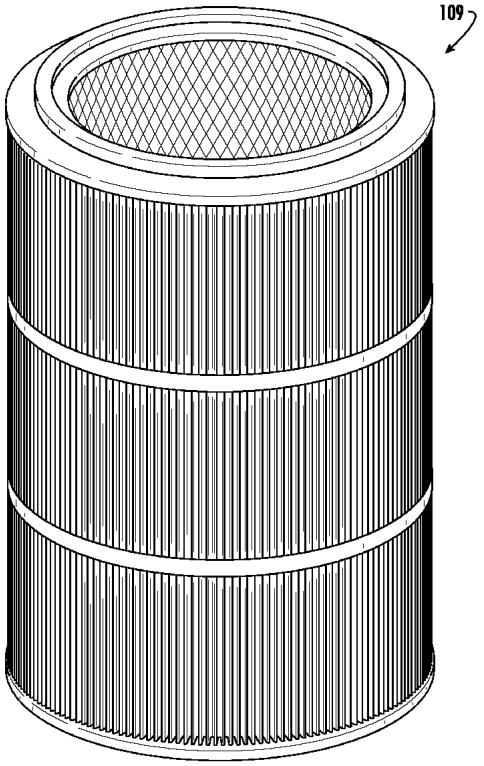


FIG. 11

【図１２】

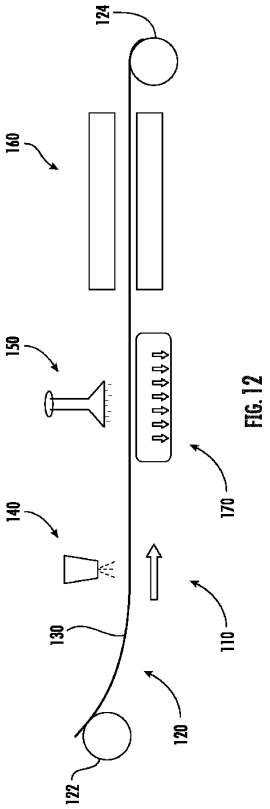


FIG. 12

【図１３】

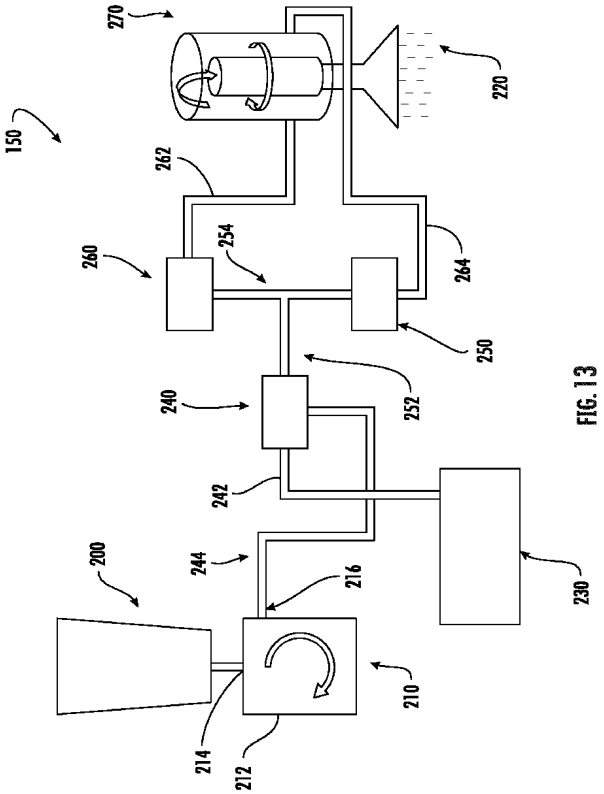


FIG. 13

【図１４Ａ】

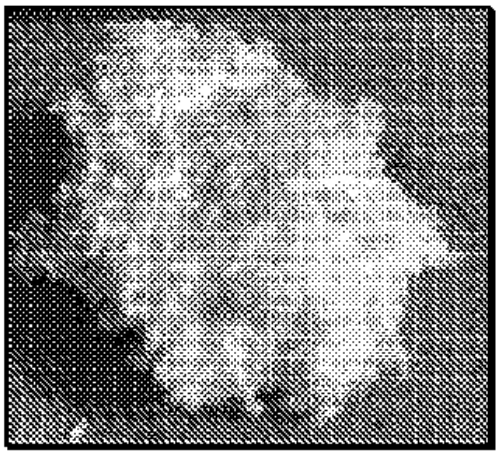


FIG. 14A

【図１４Ｂ】

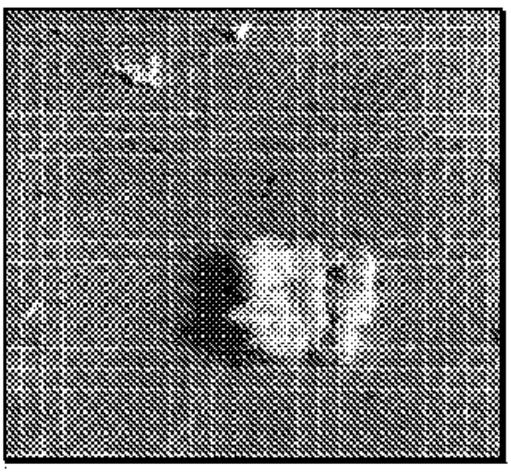


FIG. 14B

【図１４Ｃ】

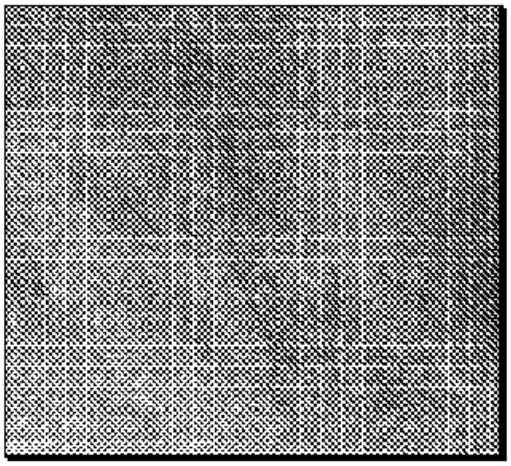


FIG. 14C

【図１５】

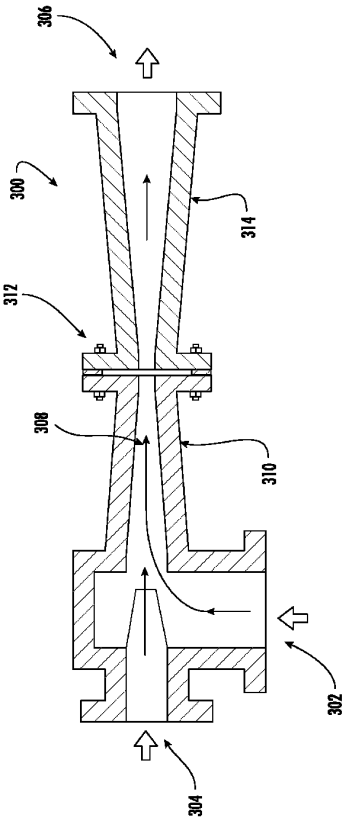


FIG. 15

【図１６】

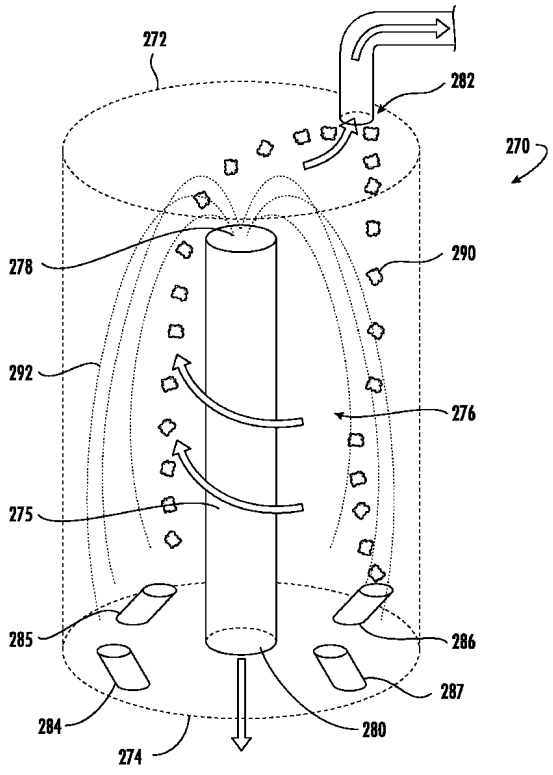


FIG. 16

【図１７】

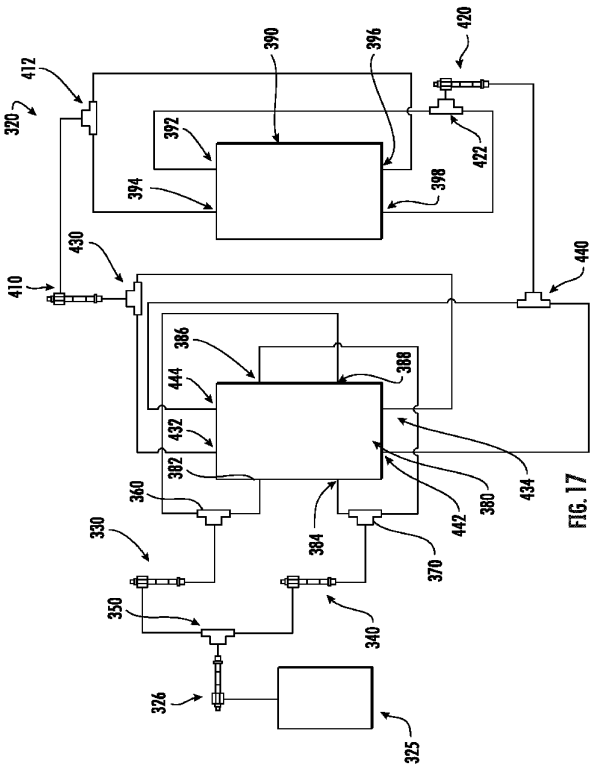


FIG. 17

【図１８】

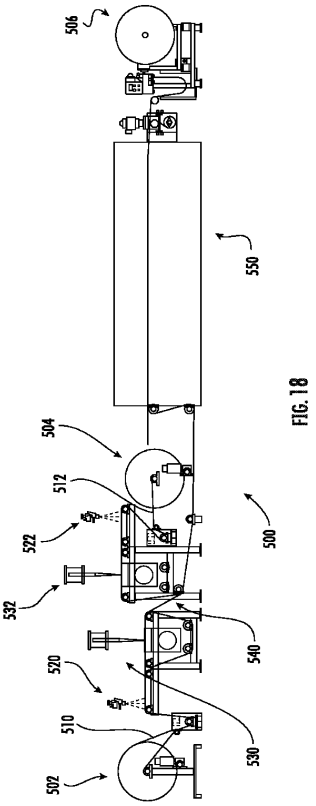


FIG. 18

【図１９】

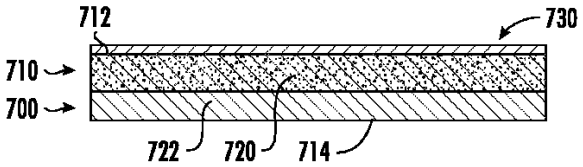


FIG. 19

【図２０】

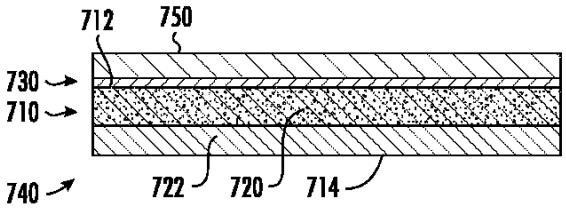


FIG. 20

【図２１】

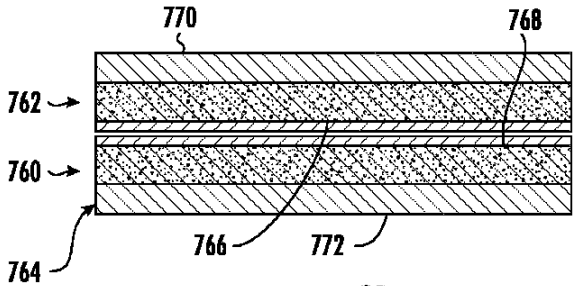


FIG. 21

【図２２】

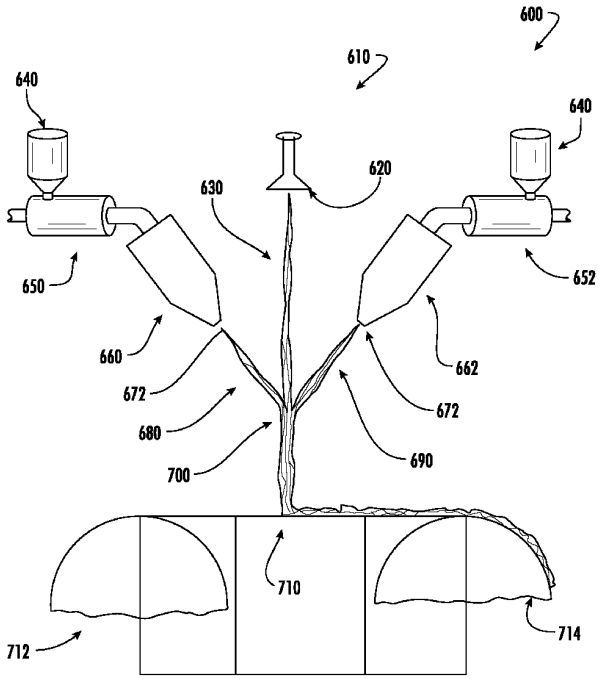


FIG. 22

【図２３Ａ】

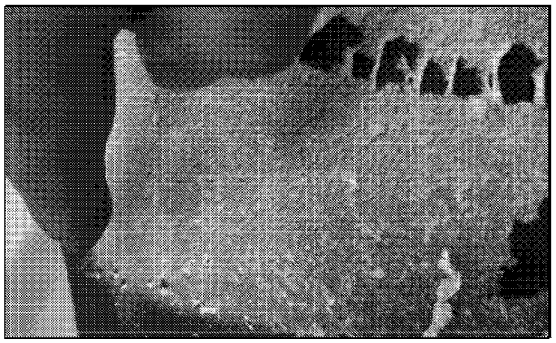


FIG. 23A

【図２３Ｂ】

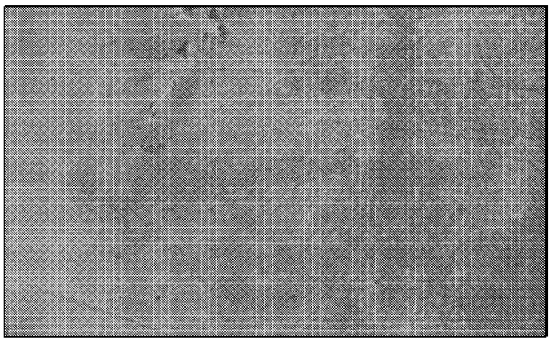


FIG. 23B

【図２４Ａ】

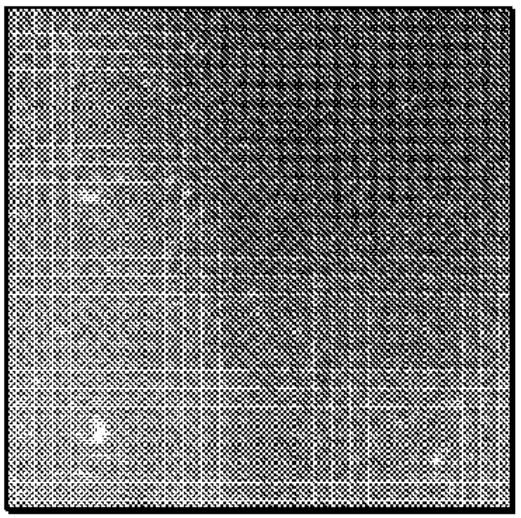


FIG. 24A

【図２４Ｂ】

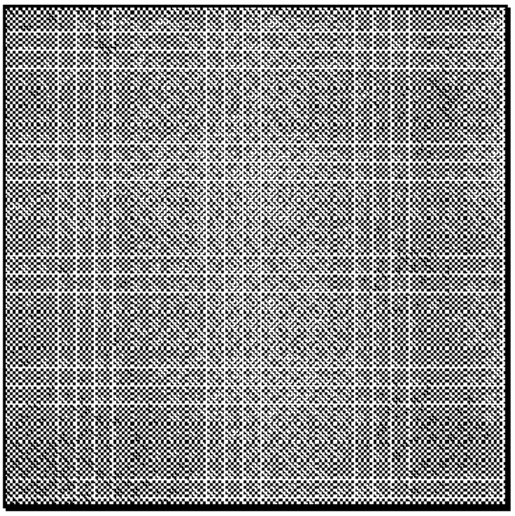


FIG. 24B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 23/17921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC - INV. B01D 39/16, B32B 27/28, B32B 27/32 (2023.01)
ADD. B01D 39/14, B32B 5/08 (2023.01)

CPC - INV. B01D 39/16, B01D 39/1607, B01D 39/1623, B32B 27/28, B32B 27/32
ADD. B01D 39/14, B32B 5/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y	WO 2022/011689 A1 (The Hong Kong Polytechnic University) 20 January 2022 (20.01.2022) para [0009], para [0014]-[0015], para [0018], para [0021]-[0022], para [0068], para [0081], para [0083]-[0084],	1-3, 5, 9, 11-12, 15-17, 23 — 4, 6-8, 10, 13-14, 18-22
Y	WO 2021/203068 A1 (Donaldson Company, Inc.) 7 October 2021 (07.10.2021) pg 1, ln 27, pg 10, ln 23-26, pg 17, ln 1-2, pg 22, ln 12-24,	4, 6-7, 13-14
Y	US 2009/0165223 A1 (Braunecker et al.) 2 July 2009 (02.07.2009) para [0001], para [0024], para [0030]-0032], para [0034], para [0041]-[0042], para [0132],	6-7, 18
Y	US 2020/0054975 A1 (Hollingsworth & Vose Company) 20 February 2020 (20.02.2020) para [0001], para [0015], para [0039], para [0105], para [0108], para [0123], para [0125],	8, 19-22
Y	US 2017/0065923 A1 (3M Innovative Properties Company) 9 March 2017 (09.03.2017) para [0006], para [0054],	10
L	US 2007/0021021 A1 (Verdegan et al.) 25 January 2007 (25.01.2007) para [0004], para [00036],	4, 6-7
L	US 4,532,169 A (Carley) 30 July 1985 (30.07.1985) col 2, ln 30-47	19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
5 June 2023	AUG 25 2023
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	Authorized officer Kari Rodriquez Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 23/17921

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
——see supplemental box----------

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-23

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 23/17921

Bx. III (Lack of Unity)

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be searched, the appropriate additional search fees must be paid.

Group I: Claims 1-23 is directed toward a filter media comprising: a substrate comprising fibers; nanoparticles disposed within the substrate, wherein the nanoparticles have at least one dimension less than 1 micron; and wherein at least one of the fibers or the nanoparticles are electrostatically charged.

Group II: Claims 24-33 is directed toward a filter media comprising: a substrate comprising fibers and nanoparticles, wherein the substrate mechanically filters contaminants; and wherein the substrate electrostatically filters contaminants.

Group III: Claims 34-43 is directed toward a method for manufacturing a filter media, the method comprising: providing a substrate comprising fibers; electrostatically charging the fibers; and dispersing nanoparticles into the substrate.

The inventions listed as Groups I-III do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

Special Technical Features:

The invention of Group I includes the special technical feature of a filter media wherein the nanoparticles have at least one dimension less than 1 micron; and wherein the nanoparticles are electrostatically charged, not required by Groups II or III.

The invention of Group II includes the special technical feature of a filter media wherein the substrate mechanically filters contaminants; and wherein the substrate electrostatically filters contaminants, not required by Group I or III.

The invention of Group III includes the special technical feature of a method for manufacturing a filter media, the method comprising: electrostatically charging the fibers; and dispersing nanoparticles into the substrate, not required by Group I or II.

Shared Technical Features:

The inventions of Groups I and II share the technical features of a filter media comprising: a substrate comprising fibers and nanoparticles; wherein a component of the substrate is electrostatically charged.

However, these shared technical features do not represent a contribution over prior art, because the shared technical feature is being anticipated by WO 2022/011689 A1 to The Hong Kong Polytechnic University (hereinafter "HKPU").

HKPU teaches a filter media (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The plurality of layers form the media; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media) comprising: a substrate comprising fibers (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The module layer comprising fibers forms the substrate; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media); and nanoparticles (para [0015], the individual module layer further comprises nanofibers having antimicrobials integrated for disinfecting the aerosols captured to achieve effective disinfection; and para [0018], the antimicrobials are in a form of nanoparticles with a size in a range between 0.1 times to 1 time of an average diameter of the charged nanofibers), wherein a component of the substrate is electrostatically charged (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols).

----------Continuation on Supplemental Box----------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 23/17921

Bx. III (Lack of Unity)

The inventions of Groups I and III share the technical feature of a filter media comprising: a substrate comprising fibers and nanoparticles; wherein the fibers are electrostatically charged.

However, these shared technical features do not represent a contribution over prior art, because the shared technical feature is being anticipated by HKPU.

HKPU teaches a filter media (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The plurality of layers form the media; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media) comprising: a substrate comprising fibers (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The module layer comprising fibers forms the substrate; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media); and nanoparticles (para [0015], the individual module layer further comprises nanofibers having antimicrobials integrated for disinfecting the aerosols captured to achieve effective disinfection; and para [0018], the antimicrobials are in a form of nanoparticles with a size in a range between 0.1 times to 1 time of an average diameter of the charged nanofibers), wherein the fibers electrostatically charged (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols).

The inventions of Groups II and III share the technical features of a filter media comprising: a substrate comprising fibers and nanoparticles; wherein a component of the substrate is electrostatically charged.

However, these shared technical features do not represent a contribution over prior art, because the shared technical feature is being anticipated by HKPU.

HKPU teaches a filter media (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The plurality of layers form the media; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media) comprising: a substrate comprising fibers (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols; The module layer comprising fibers forms the substrate; see instant specification, para [0024], The substrate may comprise a sheet, layer, film, apertured film, mesh, netting or other media); and nanoparticles (para [0015], the individual module layer further comprises nanofibers having antimicrobials integrated for disinfecting the aerosols captured to achieve effective disinfection; and para [0018], the antimicrobials are in a form of nanoparticles with a size in a range between 0.1 times to 1 time of an average diameter of the charged nanofibers), wherein a component of the substrate is electrostatically charged (para [0014], An aspect of the present disclosure is to provide a high filtration filter for filtering aerosols with effective disinfection and low pressure drop across the filter...The filter includes a plurality of module layers and a plurality of separators. An individual module layer is an electrostatically-charged polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber mat. The electrostatically-charged PVDF nanofiber mat with charged nanofibers is configured to better capture aerosols).

As the common features were known in the art at the time of the invention, they cannot be considered special technical features that would otherwise unify the groups.

Therefore, Groups I-III lack unity under PCT Rule 13 because they do not share a same or corresponding special technical feature.

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士　須田 洋之
(74)代理人　100119013
弁理士　山崎 一夫
(74)代理人　100111796
弁理士　服部 博信
(74)代理人　100123766
弁理士　松田 七重
(74)代理人　100183379
弁理士　藤代 昌彦
(72)発明者　プラット アンドリュー ジー
アメリカ合衆国 デラウェア州 １９７０９ ミドルタウン リーディング レーン ４１２
(72)発明者　ポンペオ レニー
アメリカ合衆国 デラウェア州 １９７０９ ミドルタウン インダストリアル ドライヴ ６０１ デルスター テクノロジーズ インコーポレイテッド内

Ｆターム（参考）　4D019　AA01 AA02 BA03 BA04 BA05 BA06 BA12 BA13 BB03 BB04
BB12 BB13 BC01 BC04 BC05 BD01 CA02 CB06 DA02 DA03 DA06
4D054　AA12 AA13 AA20 BC15 BC16