



(10) 申请公布号 CN 119233853 A

(43) 申请公布日 2024.12.31

(21) 申请号 202380041729.0

(22) 申请日 2023.04.07

(30) 优先权数据

63/329,137 2022.04.08 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.11.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2023/017951 2023.04.07

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/196639 EN 2023.10.12

(71) 申请人 马蒂夫卢森堡公司

地址 卢森堡孔特恩

申请人 LMS技术公司

(72) 发明人 A·G·普拉特 L·蓬佩奥 K·郭

(74) 专利代理机构 北京世峰知识产权代理有限公司 11713

专利代理师 王建秀 刘小立

(51) Int.Cl.

B01D 39/16 (2006.01)

B32B 27/28 (2006.01)

B32B 27/32 (2006.01)

B01D 39/14 (2006.01)

B32B 5/08 (2006.01)

权利要求书3页 说明书33页 附图22页

(54) 发明名称

用于连续生产纤维材料和纳米颗粒的系统和方法

(57) 摘要

本公开提供了一种用于连续制造纤维材料和制品(例如过滤器)的系统和方法。该系统包括用于将包含纤维材料的基材从上游端推进到下游端的输送机、以及用于将纳米纤维组馈送到流体介质中的进料器。纤维化装置耦接至进料器,并且被配置成将纳米纤维组转化成单个纳米颗粒。耦接至纤维化装置的分散装置将纳米颗粒分散到基材中以形成纤维材料。这使得纳米颗粒更均匀地分布在整个纤维材料中。此外,该系统连续制造材料,以形成具有改善的质量、产量和降低的成本和时间的制品。

1. 一种用于连续生产纤维材料的方法,所述方法包括:  
将包含纤维材料的基材从上游端推进到下游端;  
将纳米纤维组馈送到流体介质中;  
将所述纳米纤维组在所述流体介质中转化成纳米颗粒,其中所述纳米颗粒具有至少一个小于1微米的尺寸;以及  
将单个纳米颗粒分散到上游端与下游端之间的基材中以形成制品。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括在所述流体介质中以大约500至大约10000英尺/分钟(fpm)的速度推进纳米纤维簇。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述速度为大约2000fpm至大约6000fpm。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述纳米颗粒被以大约0.1克/平方米至大约10克/平方米的比率分散到所述基材中。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述比率为至少大约2.0克/平方米。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述基材以大约0.05至1.0米/秒的速度前进。
7. 根据权利要求1所述的方法,还包括将所述纳米颗粒分散到所述基材的第一表面上,使得所述纳米颗粒至少穿透所述基材的所述第一表面。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述基材具有从所述第一表面到与所述第一表面相对的第二表面的厚度,所述方法还包括将所述纳米颗粒分散在所述基材内的从所述第一表面到所述第二表面的至少25%厚度范围内。
9. 根据权利要求8所述的方法,还包括将所述纳米颗粒分散在所述基材内的从所述第一表面到所述第二表面的至少50%厚度范围内。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中所述单个纳米颗粒基本上被结合到整个基材中以形成复合材料。
11. 根据权利要求8所述的方法,还包括使单个纳米颗粒从所述基材的所述第一表面到相对的第二表面分散。
12. 根据权利要求8所述的方法,其中所述纳米颗粒从所述基材的第一表面向相对的第二表面形成密度梯度。
13. 根据权利要求1所述的方法,还包括将纳米纤维的大簇机械地分离成纳米纤维组。
14. 根据权利要求1所述的方法,还包括向所述纳米纤维组施加负压,以将所述纳米纤维组吸入压缩空气流中。
15. 根据权利要求14所述的方法,还包括将所述纳米纤维组推靠在表面上,以将所述纳米纤维组的至少一部分破碎成单个纳米纤维。
16. 根据权利要求15所述的方法,还包括从所述纳米纤维组中分离所述单个纳米颗粒。
17. 根据权利要求16所述的方法,还包括将所述纳米纤维组和单个纳米颗粒推进到腔室中,以在所述腔室内产生涡流,并向所述腔室施加负压,以将所述纳米纤维组吸离所述单个纳米颗粒。
18. 根据权利要求1所述的方法,还包括将所述单个纳米颗粒喷涂到所述基材的第一表面上。
19. 根据权利要求18所述的方法,还包括向所述基材的与所述第一表面相对的第二表面施加吸力,以抽吸所述单个纳米颗粒通过所述基材。

20. 根据权利要求1所述的方法,还包括将粘合剂施加到所述基材内的所述纤维材料上。

21. 根据权利要求1所述的方法,还包括加热所述基材以将所述纤维材料粘结到所述单个纳米颗粒上。

22. 根据权利要求1所述的方法,还包括将所述材料转化为过滤器。

23. 一种纤维材料,所述纤维材料由根据权利要求1所述的方法形成。

24. 一种过滤介质,所述过滤介质由根据权利要求1所述的方法形成。

25. 一种用于连续生产纤维材料的系统,所述系统包括:

用于将包含纤维材料的基材从上游端推进到下游端的输送机;

用于将纳米纤维组馈送到流体介质中的进料器;

耦接至所述进料器并被配置成将所述纳米纤维组转化成纳米颗粒的纤维化装置,其中所述纳米颗粒具有至少一个小于1微米的尺寸;以及

耦接至所述纤维化装置的用于将所述纳米颗粒分散到所述基材中以形成制品的分散装置。

26. 根据权利要求25所述的系统,其中所述纤维化装置被配置成在流体介质中以大约500英尺/分钟(fpm)至大约10000fpm的速度推进纳米纤维组。

27. 根据权利要求26所述的系统,其中所述速度为大约2000fpm至大约6000fpm。

28. 根据权利要求25所述的系统,其中所述纳米颗粒被以大约0.1克/平方米至大约10克/平方米的比率分散到基材中。

29. 根据权利要求28所述的系统,其中所述比率为至少大约2.0克/平方米。

30. 根据权利要求25所述的系统,其中所述输送机被配置成以大约0.05至1米/秒的速率推进基材。

31. 根据权利要求25所述的系统,其中所述分散装置包括喷嘴,所述喷嘴被配置成将纳米颗粒分散到基材的第一表面上,使得纳米颗粒至少穿透基材的第一表面。

32. 根据权利要求31所述的系统,其中所述基材具有从第一表面到与所述第一表面相对的第二表面的厚度,其中所述喷嘴将纳米颗粒分散在所述基材内的从第一表面到第二表面的至少25%宽度范围内。

33. 根据权利要求32所述的系统,其中所述喷嘴将纳米颗粒分散在所述基材内的从第一表面到第二表面的至少50%厚度范围内。

34. 根据权利要求25所述的系统,其中所述纳米颗粒基本上被结合到整个基材中以形成复合材料。

35. 根据权利要求31所述的系统,其中所述喷嘴将单个纳米颗粒从基材的第一表面到相对的第二表面分散。

36. 根据权利要求25所述的系统,还包括分离器,所述分离器耦接至所述进料器,并被配置成将纳米纤维的大簇机械地分离成纳米纤维组。

37. 根据权利要求25所述的系统,其中所述纤维化装置包括:

压缩空气源;和

泵,其中所述泵被配置成以足以将所述纳米纤维组的至少一部分破碎成单个纳米颗粒的速度将所述纳米纤维组和压缩空气推向表面。

38. 根据权利要求37所述的系统,其中所述泵包括喷射器,所述喷射器被配置成产生负压,以从所述分离器抽吸所述纳米纤维组。

39. 根据权利要求35所述的系统,还包括反应器,所述反应器具有与泵流体耦接的内部腔室,其中所述反应器被配置成从纳米纤维簇分离出单个纳米颗粒。

40. 根据权利要求39所述的系统,其中所述反应器的内部腔室包括一个或更多个耦接至所述泵的入口,并且其中所述泵被配置成以在反应器内产生涡流的速度矢量推动单个纤维和纳米纤维簇通过所述入口。

41. 根据权利要求40所述的系统,其中所述内部腔室包括位于内部腔室的与所述一个或更多个入口相对的端部的一个或更多个出口,所述系统还包括第二泵,所述第二泵耦接至所述出口并被配置成向所述腔室施加负压,以通过所述出口抽吸所述纳米纤维组。

42. 根据权利要求25所述的系统,还包括用于将粘合剂分散到所述基材中的纤维材料上的涂布装置。

43. 根据权利要求42所述的系统,其中所述涂布装置包括喷涂装置,所述喷涂装置具有邻近所述进料器的上游端和所述分散装置的出口。

44. 根据权利要求25所述的系统,其中所述输送机包括第一表面和相对的第二表面,其中所述基材沿着所述第一表面前进,其中所述系统还包括邻近所述第二表面的负压源。

45. 根据权利要求25所述的系统,还包括在所述纤维化装置与所述进料器的下游端之间布置在所述输送机附近的烘干机,所述烘干机用于加热所述纳米颗粒和所述纤维。

46. 根据权利要求25所述的系统,其中所述制品包含过滤介质。

## 用于连续生产纤维材料和纳米颗粒的系统和方法

[0001] 对相关申请的引用

[0002] 本申请要求于2022年4月8日提交的第63/329,137号美国临时申请的权益,该临时申请的全部公开内容出于所有目的通过引用并入本文。本申请还涉及共同转让、共同未决的第63/329,009号、第63/328,983号、第63/328,998号、第63/328,970号、第63/328,959号、第63/329,146号、第63/329,018号、第63/329,155号、第63/329,158号、第63/329,161号和第63/329,162号美国临时专利申请,所有这些临时专利申请都是于2022年4月8日提交的,它们的全部公开内容出于所有目的通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本说明书总体上涉及一种用于连续生产包含纤维和纳米颗粒的材料的系统和方法以及包含这种材料的制品。

### 背景技术

[0004] 由于其细小的纤维尺寸,纤维材料对于在过滤装置中捕获污染物特别有用。过滤介质的纤维以微米计量,并且可以通过纺粘、熔喷、静电纺丝或其它技术形成。当流体流过滤过介质时,细纤维捕获并截留过滤介质中的污染物。

[0005] 结合有纤维材料的两种主要的过滤装置包括表面过滤器和深度过滤器。诸如膜层(membrane)或膜(film)等表面过滤器作为污染物的屏障,该污染物在进入介质结构之前被捕获。这些表面过滤器通常具有亚微米孔径和窄孔径分布。表面过滤器往往具有较高的颗粒捕获效率。但是,它们也具有较高的压降和低粉尘负载能力。高压降导致通过过滤器的气流减少。低粉尘负载能力显著降低过滤器的寿命。因此,表面过滤器在空气过滤行业中的应用数量有限。

[0006] 深度过滤器通常用于空气过滤装置中,具有中等效率至高效率、低压降和较高粉尘负载能力。诸如HEPA过滤器等常规的家用的商用空气过滤器通常根据过滤器捕获大约0.3至10微米颗粒的能力来评级。这种评级被称为最低效率报告值(Minimum Efficiency Reporting Value)或MERV,是由美国采暖、制冷与空调工程师协会(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE)制定的。MERV等级的范围为1-16,数值越高,表明捕集特定类型的颗粒的效率就越高。

[0007] 污染物的尺寸范围很广。但是,小于1微米的污染物是对人体最有害的颗粒,并且较难以滤除。例如,常规的机械空气过滤器通常将纤维过滤材料的MERV等级报告为大约8-10。因此,这些过滤介质通常不能捕获亚微米颗粒,例如病毒和其它有害病原体。

[0008] 过滤行业关注两种不同的捕获这些亚微米颗粒的方法:静电力和过滤介质中的纳米颗粒的利用。静电过滤器是通过使用摩擦带电方法、电晕放电、充氢、静电纤维纺丝或其它已知方法对纤维材料内的纤维进行静电充电而形成的。静电过滤器在捕获亚微米颗粒方面最有效,在捕获1至3微米尺寸的颗粒方面相当有效,在捕获3至10微米的较大颗粒方面最低效。静电纤维通常在诸如面罩和高效过滤器等许多过滤应用中用于过滤亚微米污染物,

例如病毒和其它污染物。

[0009] 静电过滤器的一个缺点是静电荷会随着时间和过滤器的使用而衰减。因此,过滤器的效率下降较快,从而缩短其寿命。例如,初始MERV等级为13的静电过滤器在静电力衰减后可能会损失至少2-3点的MERV等级。这损害过滤器的完整性,并且可能部分地或完全抑制其捕获亚微米颗粒的能力。

[0010] 另一种捕获亚微米污染物的方法是将纳米颗粒与纤维结合使用。过滤系统可以采用包含直径以微米计的较大纤维和相对较小的纳米颗粒的过滤介质。纳米颗粒通过减小介质中的总纤维尺寸来增加介质中用于捕获颗粒的表面积。纳米颗粒还倾向于彼此挤压,从而提高过滤介质内的堆积密度。已经表明,即使在微纤维材料上形成一层少量纳米尺寸的纤维,也能改善材料的过滤特性。

[0011] 将纳米颗粒结合到过滤介质中的最常见方法是通过静电纺丝在非织造基材上施加连续纳米纤维的薄层。纳米颗粒通常平行或垂直于主体过滤介质层的表面延伸,并且除了由粗过滤介质提供的对较大颗粒的过滤之外,还提供对小颗粒的高效过滤。例如,第6,743,273号美国专利公开了一种过滤介质,其中在基材的表面上沉积连续的纳米纤维层。第10,799,820号美国专利也公开了一种空气过滤介质,该空气过滤介质包含过滤介质表面上的连续纳米纤维层。

[0012] 虽然现有的结合有纳米颗粒的过滤介质提高了这些过滤器的相对效率,但是这些过滤器的商业潜力在某些应用中受到限制,因为纳米颗粒通常分散到纤维材料的表面上。过滤器表面上的纳米颗粒的较薄的层仅提供有限的颗粒过滤,并且具有较低的粉尘保持能力。

[0013] 虽然已经有许多尝试将纳米材料结合到过滤介质中以提高总体过滤效率,但是这些尝试局限于所谓的“湿法成网”方法。这些湿法成网方法涉及将短切纳米纤维结合到液体浆料中,以在表面活性剂的帮助下分离缠结的纳米纤维。例如,第10,252,201号美国专利公开了一种由通过湿法成网方法形成的短切纳米纤维和短切粗纤维的混合物制成的过滤介质。类似地,第2021/0023813号美国专利申请公开了一种制造复合材料结构的方法,该复合材料结构由带有不连续纤维(例如碳纳米纤维)的连续纤维非织造基材组成。该方法包括将连续纤维非织造基材在不连续纤维的浆料中拉过,其中纳米材料嵌入到非织造基材中。

[0014] 虽然这些结构已经表现出提高效率,但是它们存在其它问题,例如当介质处于正常使用条件下时寿命和/或效率降低。此外,这些湿法成网方法未能成功地将纳米颗粒均匀地结合到整个非织造材料中,这导致纳米颗粒在材料中聚结,从而进一步降低其效率和总体集尘能力。

[0015] 因此,需要一种用于连续制造纤维材料和包含这种材料的制品(例如过滤器)的改进系统和方法。尤其希望在整个材料中结合纳米颗粒,从而改善制品的性能特征。

## 发明内容

[0016] 以下给出所要求保护的主题的简明概述,以提供对所要求保护的主题的某些方面的基本理解。这种概述不是所要求保护的主题的广泛概述。它并非旨在确定所要求保护的主题的关键或决定性元素或界定所要求保护的主题的范围。其唯一目的是以简明的形式呈现所要求保护的主题的一些概念,作为稍后呈现的更详细说明的前序。

[0017] 本公开提供了一种用于连续制造纤维材料和包含这种材料的制品的系统和方法。该材料可以包括基材,例如片、层、膜、有孔膜、网、丝网或其它介质。该制品包含纤维,并且包含粘结到纤维上并结合到制品的至少一部分中的纳米颗粒。

[0018] 在一个方面中,一种系统包括用于将包含纤维材料的基材从上游端连续推进到下游端的输送机、以及用于将纳米纤维组馈送到流体介质中的进料器。纤维化装置耦接至进料器,并且被配置成将纳米纤维组转化成单个纳米颗粒。分散装置耦接至纤维化装置,用于将纳米颗粒分散到基材中以形成材料。该系统连续制造材料,以形成具有改善的品质、产量和降低的成本和时间的制品。此外,该系统可以是可扩展的,并且能够以较少的变动制造制品。

[0019] 在实施方式中,该系统被配置成将纳米颗粒以大约0.1克/平方米至大约20克/平方米、优选至少大约2.0克/平方米的比率或添加量连续分散到基材中。这提供了在材料内具有更大的纳米颗粒面密度(克/平方米(gsm))或“添加量”的纤维材料。术语“添加量”在本文中用于表示材料、纤维或颗粒在材料薄层、片或膜中的面密度(gsm)。

[0020] 在某些实施方式中,所述制品是过滤介质和过滤器,例如空气过滤器、面罩、燃气轮机和压缩机进气过滤器和板式过滤器等。在连续过程中向过滤器中提供更大添加量的纳米颗粒增加过滤介质内的总表面积,这提高其过滤效率,并允许捕获亚微米污染物,而不会显著损害其它因素,例如通过过滤器的压降(即,气流量)。此外,用本文中说明的连续过程制造的过滤器能够经受严格的调节,这允许过滤器在其整个寿命期内达到相同水平的过滤性能。

[0021] 在某些实施方式中,纳米颗粒“深入地”地分散在基材中。如本文中所述的术语“深入”指纳米颗粒的分散范围超过基材的第一表面,使得至少一些纳米颗粒在基材或介质的内部结构中位于第一表面和第二相对表面之间。在某些实施方式中,纳米颗粒分散在从第一表面到相对的第二表面的基本上整个介质中。在其它实施方式中,纳米颗粒从第一表面穿过介质的一部分分散到第一表面与第二表面之间的位置。在其它实施方式中,纳米颗粒是以从基材的第一表面到相对的第二表面的密度梯度布置的。纳米颗粒的密度可以在第一表面或第二表面处较大。

[0022] 该系统还可以包括负压源或真空源,该负压源或真空源在基材下方与分散装置相对地布置,以增加纳米颗粒的穿透深度和均匀性。该负压源可以是抽吸纳米颗粒使其穿过基材的任何适当抽吸装置,例如抽吸泵或类似装置。

[0023] 在某些实施方式中,该材料可以包括非织造材料。在本文中论述的非织造材料可以包括任何基材,例如片、层、膜、有孔膜、网、网片或其它介质,该介质包含彼此交织的单独纤维或线状物的结构。适当的非织造材料的例子包括但不限于经过熔喷、纺粘、粘合梳理、气流成网、共成型和水力缠结等处理的纤维、层或网。在其他实施方式中,设想采用针织或机织织物作为基材。

[0024] 纤维化装置被配置成将纳米颗粒的簇(clusters)、束(clumps)或其它组转化(例如打开、分开和/或分离)成具有至少一个小于1微米的尺寸的单个纳米颗粒。单个纳米颗粒可以在任何合适的流体介质中产生。在某些实施方式中,该流体介质是气体介质,例如空气、氦气、氮气、氧气、二氧化碳和水蒸气等。在气体介质中使单个纳米颗粒分离,然后将它们分散到纤维流中,使得纳米颗粒更均匀地分布在整个纤维材料和/或制品中。

[0025] 在某些实施方式中,该进料器包括被配置成以一定的速率将纳米纤维簇、束或其它组输送到纤维化装置中的料斗或类似装置,该速率使得纳米纤维组被转化成单个纳米颗粒,这些纳米颗粒被以至少大约2.0克/平方米的添加量分散到基材上。所述纳米纤维组可以是任何适当的尺寸,并且可以彼此缠结或不缠结。

[0026] 纤维化装置可以包括耦接至料斗的泵和耦接至泵的压缩空气源或其它合适的流体源。该压缩空气源提供动力流体以使纳米纤维在整个系统中循环,并最终向外进入适当的分散装置。该泵可以包括任何适当的泵,例如容积泵、离心泵和轴流泵等。在一个实施方式中,该泵包括喷射器,该喷射器被配置成产生足够的负压,以将纳米纤维的小簇从分离器中抽出,并通过通道抽入泵中。

[0027] 所述泵被配置成以足够的速度和/或动量推动纳米纤维组通过气体介质压靠在纤维化装置内的一个或更多个表面或与气体介质一起压靠所述表面,以打开纳米纤维组和/或将纳米纤维组分离成具有至少一个小于1微米的尺寸的单个纳米颗粒。申请人发现,通过以足够的速度将纳米纤维组推进到适当的表面中以产生必要的动能来将这些纳米纤维簇中的至少一些纳米纤维簇破碎和分离成单个纳米颗粒,能够在气体介质中从纳米纤维组中分离出单个纳米颗粒。在某些实施方式中,纳米颗粒的速度是大约500英尺/分钟(fpm)至大约10000fpm,优选是大约2000fpm至大约6000fpm。

[0028] 所述系统还可以包括能量源,例如第二泵等,该能量源耦接至第一泵,并被配置成以足够的速度将纳米纤维的小簇从第一泵推向表面,以破碎纳米纤维并将至少一些纳米纤维的小簇转化为单个纳米颗粒。该表面可以是阻碍纳米纤维流过通道的任何表面,例如接合点处的通道内壁,或者是在内壁的方向上的其它变化,例如曲面或垂直面等。替代地,所述通道可以包括在流体路径中布置在通道内或者突出到通道内的壁或其它表面。在一个实施方式中,所述通道延伸至大致T形的接头,该接头包括从接头延伸的两个独立通道。第二泵被配置成以足以分裂至少一些纳米纤维的速度将纳米纤维推进到T形接头的壁中。

[0029] 在某些实施方式中,所述系统还包括一个或更多个用于分离已被从尚未完全破碎的纳米纤维组中分离出来的单个纳米颗粒的反应器。该反应器包括耦接至通道的壳体,并具有内部腔室和负压源,该负压源被配置成将较小的纳米纤维簇从单个纳米颗粒吸走。

[0030] 在实施方式中,每个反应器包括基本上位于中心的杆或圆筒和一个或更多个位于内部腔室的一端并基本上围绕中心杆的入口。该入口耦接至通道,使得纳米纤维簇和单个纳米颗粒被通过入口吸入腔室中。中心杆在与入口相对的一端包括开口。该开口耦接至中心杆内的内部通道,并且具有耦接至喷嘴或其它分散装置的出口。这允许纳米颗粒通过入口进入反应器,然后进入中心杆,并到达分散装置。

[0031] 所述入口可以处于相对于中心杆成一定角度的取向,使得纳米纤维和纳米颗粒以相对于反应器的外表面的一个横向角度进入内部腔室。在一个优选实施方式中,至少一个或更多个入口的取向使得当纳米纤维和纳米颗粒进入反应器时它们沿着基本上与中心杆相切的方向移动。在它们进入杆周围的环形腔室后,纳米纤维和纳米颗粒的速度矢量(速度和方向)在反应器内产生涡流,使它们从一端到另一端围绕中心杆涡旋。由于单个纳米颗粒比仍聚集在一起的缠结纳米纤维轻得多,因此单个纳米颗粒被吸入中心杆的入口中。当纳米纤维簇通过反应器时,腔室内的涡流也可以进一步破碎(例如打开、分离和/或个体化)纳米纤维簇。

[0032] 反应器还可以包括一个或多个位于入口的相对端的出口。尚未破碎的较大和较重的纳米纤维簇被通过这些出口抽出。因此,分离和个体化的纳米颗粒被吸入喷嘴中,而纳米纤维簇被通过出口抽出。这些出口可以耦接至第一泵或第二泵,或者耦接至系统内的另外的泵,这些另外的泵被设计成进一步破碎纳米纤维簇,并使它们再循环回到反应器中。

[0033] 所述系统还可以包括用于将粘结剂分散到基材中的纤维上的涂布装置。该粘结剂可以包含多种常规材料,包括天然材料(例如淀粉、糊精、瓜尔胶等)或者合成树脂(例如EVA、PVA、PVOH、SBR和聚乙交酯等)。在一些实施方式中,基材包含其自身的粘结剂组合物。在这些实施方式中,可以向基材上添加或不添加粘结剂或粘结材料。在一个这样的实施方式中,基材包含生物组分纤维,其中组分之一包括至少部分地包围内芯的外鞘。

[0034] 所述涂布装置可以包括将粘结剂分散到整个基材中的任何适当装置。在一个实施方式中,所述涂布装置包括喷涂装置,该喷涂装置具有邻近进料器的上游端和喷嘴的出口。该喷涂器可以位于纤维化装置的下游,从而能够在纳米颗粒沉积后喷涂粘结剂。在其它实施方式中,所述系统可以包括两个喷涂器:一个喷涂器位于纤维化装置的上游,第二个喷涂器位于纤维化系统的下游,用于在沉积纳米颗粒后用第二粘结剂涂布基材。

[0035] 第二装置还可以包括烘干机,例如红外烘箱等,该烘干机布置在进料器的下游端附近,用于加热纳米颗粒和纤维,以将纳米颗粒粘结到基材内的纤维上。

[0036] 在另一个方面中,一种连续制造纤维材料的过程包括将包含纤维材料的基材从上游端连续推进到下游端、以及将纳米纤维组馈送到流体介质中。纳米纤维组在流体介质中被转化成纳米颗粒,然后被分散到上游端与下游端之间的基材中,从而形成纤维材料。

[0037] 在某些实施方式中,纳米颗粒被以大约0.1克/平方米至大约20克/平方米、优选至少大约2.0克/平方米的比率或添加量分散到基材中。基材可以以大约0.05到1.0米/秒的速度前进。

[0038] 在某些实施方式中,纳米纤维组和纳米颗粒在流体介质中被以大约500至大约10000英尺/分钟(fpm)、优选大约2000fpm至大约6000fpm的速度推进。

[0039] 纳米颗粒被分散到基材的第一表面上,使得纳米颗粒至少穿透基材的第一表面。在某些实施方式中,将纳米颗粒喷射或分散到基材的第一表面上,并在基材的与第一表面相对的第二表面上施加吸力,以抽吸单个纳米颗粒使其穿过基材。在一些实施方式中,纳米颗粒在基材内透过表面分散在至少大约25%厚度或至少大约50%厚度范围内。纳米颗粒可以结合到从第一表面到相对的第二表面的基本上整个基材中。纳米颗粒可以形成从基材的外表面到中间部分或相对的第二表面的密度梯度。

[0040] 所述过程还可以包括将粘合剂施加到基材内的纤维材料上。例如,可以在纳米颗粒分散在基材中之前和/或之后将粘合剂喷涂到基材上。粘合剂阻止纳米颗粒直接穿过基材,并且当纳米颗粒结合至粘合剂时,能够提高纳米颗粒在基材的内部结构中的均匀性和穿透性。

[0041] 在某些实施方式中,纳米纤维组被吸入压缩空气流中,并被推向表面,以将纳米纤维簇的至少一部分破碎成单个纳米颗粒。该表面例如可以是接合点处的通道的内壁,或者沿内壁方向的其它变化,例如曲面或垂直面等。在一个实施方式中,纳米纤维被推进至基本上为T形的接头,该接头包括从其延伸的两个单独通道。

[0042] 在某些实施方式中,所述方法还包括分离已被从尚未完全破碎的纳米纤维束中分

离出来的单个纳米颗粒。在这些实施方式中,颗粒(纳米纤维团和单个纳米颗粒)被驱入一个或更多个反应器的内部腔室中。颗粒在反应器中被分离,从而纳米颗粒进入喷嘴,而剩余的纳米纤维团离开反应器,以在系统中再循环。在优选实施方式中,颗粒被与中心杆成角度地推进到反应器中,使得纳米纤维和纳米颗粒的速度矢量(速度和方向)在反应器中产生涡流,使它们围绕中心杆从一端到另一端涡旋。由于单个纳米颗粒比仍聚集在一起的缠结纳米纤维轻得多,因此单个纳米颗粒被吸入中心杆的入口中。当纳米纤维簇通过反应器时,腔室内的涡流可以进一步破碎(例如打开、分离和/或个体化)纳米纤维簇。

[0043] 在本文中对由本说明书的各种实施方式满足的期望目的进行的叙述并非意味着暗示或启示这些目的中的任何一个或全部作为基本特征单独或共同存在于本说明书的最一般的实施方式中或其任何更具体的实施方式中。

### 附图说明

- [0044] 图1是纳米颗粒分散到一部分材料中的纤维材料的侧视图;
- [0045] 图2是纳米颗粒分散在整个材料中的纤维材料的侧视图;
- [0046] 图3是纳米颗粒以梯度方式分散在整个材料中的纤维材料的侧视图;
- [0047] 图4示出了双层过滤介质;
- [0048] 图5A-5C示出了结合到纤维材料中的生物成分纤维;
- [0049] 图6示出了褶皱式纤维过滤介质;
- [0050] 图7示出了代表性的空气过滤器;
- [0051] 图8示出了具有第一支撑膜层和第二支撑膜层以及过滤介质的气体过滤器;
- [0052] 图9A和9B示出了用作支撑膜层的有孔膜;
- [0053] 图10A-10E示出了纳米颗粒结合到膜中的有孔膜的不同实施方式;
- [0054] 图11示出了气体过滤器;
- [0055] 图12示意性地示出了用于制造在基材内的纤维材料的系统;
- [0056] 图13示意性地示出了用于将纳米纤维簇转化成单个纳米颗粒的系统;
- [0057] 图14A-14C分别是纳米纤维的大簇、较小纳米纤维簇和单个纳米颗粒的照片;
- [0058] 图15示出了图13的系统的喷射器;
- [0059] 图16示出了图13的系统的反应器;
- [0060] 图17示出了用于将纳米纤维簇转化成单个纳米颗粒的系统的另一个实施方式;
- [0061] 图18示出了用于制造双层纤维材料的系统;
- [0062] 图19示出了纳米颗粒在材料的一定深度内分散的纤维材料;
- [0063] 图20示出了纳米颗粒在材料的一定深度内分散的纤维材料和覆盖在纳米颗粒上的稀松布层(scrim layer);
- [0064] 图21示出了纳米颗粒在两层的内表面上分散的双层纤维材料;和
- [0065] 图22示出了用于制造在流体流中的纤维材料的系统的替代实施方式;
- [0066] 图23A是不使用粘结剂的纤维材料的照片;
- [0067] 图23B是带有粘结剂的纤维材料的照片;
- [0068] 图24A是纳米颗粒以束或簇的形式分散在整个材料中的纤维材料的照片;和
- [0069] 图24B是纳米颗粒基本上均匀地分散在整个材料中的纤维材料的照片。

## 具体实施方式

[0070] 本说明书和附图示出了示例性实施方式,并且不应被认为是限制性的,权利要求(包括等效方案)限定本说明书的范围。在不脱离本说明书和权利要求(包括等效方案)的精神和范围的前提下,能够做出各种机械、组成、结构和操作方面的变化。在某些情况下,未详细示出或说明众所周知的结构和操作,以免混淆说明。两个或更多附图中的相同数字表示相同或相似的元件。此外,只要可行,可以将参照一个实施方式详细描述的要素及其相关方面包含在未具体示出或说明它们的其它实施方式中。例如,如果参照一个实施方式详细说明了某个要素而没有参照第二实施方式说明该要素,那么该要素仍然可以包含在第二实施方式中。此外,本文中的说明仅用于示例目的,并不一定反映系统或所示部件的实际形状、大小或尺寸。

[0071] 应注意,如在本说明书和所附权利要求中所使用的单数形式“一种”、“一个”和“该”以及任何单词的任何单数使用包括复数指代物,除非明确且毫不含糊地限于一个指代物。如本文中所述的术语“包括”及其语法变化形式旨在是非限制性的,从而列表中的项目的列举不排除可以替代或向所列项目添加的其它类似项目。

[0072] 除了另有说明之外,任何数量值都是近似的,无论是否陈述了“大约”或“近似”等词。本文中所述的材料、方法和实施例仅是示例性的,而不是限制性的。

[0073] 本公开提供了一种用于连续制造纤维材料和包含这种材料的制品的系统和方法。该材料可以包括基材,例如片、层、膜、有孔膜、网、丝网或其它介质。该制品包含纤维,并且包含粘结到纤维上并结合到制品的至少一部分中的纳米颗粒。如本文中所述的术语“纳米颗粒”指在至少一个轴或维度上具有小于1微米的尺寸的任何颗粒。例如,具有小于1微米的直径或宽度和大于1微米的长度的纤维是如本文中所述的纳米颗粒。

[0074] 在某些实施方式中,每个单独的纳米颗粒可以是尺寸在大约1纳米至大约1000纳米范围内、优选在大约1纳米至大约650纳米范围内的小颗粒。在数量尺寸分布中至少一半颗粒的颗粒尺寸可以是100纳米或更小。大多数纳米颗粒通常仅由几百个原子组成。当纳米颗粒的尺寸接近原子尺度时,材料特性会发生变化。这是由于表面积与体积比增大,这导致材料的表面原子支配材料的性能。由于其非常小的尺寸,当与诸如粉末、板、片或更大纤维的散状物料相比时,纳米颗粒具有非常大的表面积与体积比。这一特性使得纳米颗粒拥有意想不到的光学、物理和化学特性,因为它们足够小,能够限制它们的电子并产生量子效应。

[0075] 在一些实施方式中,纳米颗粒包括具有至少一个小于1微米的尺寸(即,直径、宽度或高度等,取决于纤维的横截面形状)的纳米纤维。纳米纤维可以具有连续长度,或者纳米纤维可以具有离散长度,例如1至100000微米,优选大约100至10000微米。

[0076] 在一些实施方式中,基材包括非织造材料,其包括交织、互锁或粘合在一起的单独纤维或线状物的结构。非织造物可以包括通过机械、热或化学方式缠绕纤维或细丝(以及通过对膜打孔的方式)而结合在一起的片材或幅材结构。它们可以是直接由单独的纤维或熔融塑料或塑料膜制成的基本上平坦的多孔片。适当的非织造材料的例子包括但不限于经过熔喷、纺粘或水刺、热粘合、粘合梳理、气流成网、湿法成网、共成型、针刺、缝合或水力缠结等处理的纤维、层或网。

[0077] 在某些实施方式中,基材可以包含针织和/或编织材料。针织材料可以包括适合于

所期望的应用的任何针织图案。适合用于过滤器应用的针织材料包括纬编、经编、针织网片和压缩针织网等。适合用于过滤应用的编织材料包括纺织过滤介质,例如单丝织物、复丝织物、尼龙网、聚酯网和聚丙烯网等。编织纺织品例如可以用于筛网滤布、编织过滤垫和其它冲切件、离心过滤袋、液体过滤袋、集尘器袋、干燥床袋、转鼓过滤器、过滤带、叶片式过滤器和卷制介质等。

[0078] 在一些实施方式中,非织造材料可以包括包含混杂或缠结的短切纤维和/或细丝的结构。如本文中所述的短切纤维指长度有限的纤维。本文中所述的细丝是指具有基本上连续的长度的纤维。在一些实施方式中,基材可以包括短切粗纤维、微纤维和/或细纤维。如在此所用的“细纤维”指具有小于1微米的直径的纤维,“粗纤维”指具有大于10微米的直径的纤维,微纤维指具有小于10微米的直径的合成纤维。

[0079] 在某些实施方式中,纳米颗粒“深入地(in depth)”分散在基材中。如本文中所述的术语“深入”指纳米颗粒的分散超过基材的第一表面,使得至少一些纳米颗粒位于第一和第二相对表面之间,进入基材或介质的内部结构。在某些实施方式中,纳米颗粒分散在从第一表面到相对的第二表面的基本上整个介质中。在其它实施方式中,纳米颗粒从第一表面穿过介质的一部分分散到第一表面与第二表面之间的位置。

[0080] 在一些实施方式中,纳米颗粒相对于支撑纤维在空间上三维分布,这能够增大纤维表面积和纤维材料内的微体积。三维分布还提供了防止纤维材料的特定部分完全堵塞的阻力,这在过滤介质中特别有用,因为它允许流体(例如空气和其它气体)通过过滤器,从而降低了过滤器两端的总压降。

[0081] 在其它实施方式中,纳米颗粒在基材的厚度范围内是以密度梯度的方式布置的,使得纳米颗粒的密度在一个表面附近比在相对表面附近高,或者纳米颗粒的密度在基材的表面比在中间部分更高。附图中所示的密度梯度可以是基本上线性的,它可以以一系列不连续的阶梯减小,或者梯度可以是随机的(即,大致上密度的减小不是线性的或阶梯式的)。这种密度梯度为某些应用例如过滤器提供了许多有利的特征(如下文所述)。

[0082] 纳米颗粒可以包括任何适当的材料,例如玻璃、生物可溶性玻璃、陶瓷材料、丙烯酸、碳、金属(例如氧化铝)、聚合物(例如尼龙、聚对苯二甲酸乙二醇酯等)、聚氯乙烯(PVC)、聚烯烃、聚缩醛、聚酯、纤维素醚、聚亚烷基硫醚、聚(亚芳基氧化物)、聚砜、改性聚砜聚合物和聚乙烯醇、聚酰胺、聚苯乙烯、聚丙烯腈、聚偏二氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚偏二氟乙烯以及它们的任何组合。

[0083] 在一些实施方式中,可以将纳米颗粒产生为双组分分切式饼状物(segmented pie)和海岛结构(islands in the sea)。然后对细丝进行拉伸,从而获得亚微米细丝。根据期望的长度切割连续细丝纳米纤维,优选长度为大约100微米至大约10000微米。

[0084] 在一些实施方式中,纳米颗粒是吸收剂和吸附剂。在一些实施方式中,纳米颗粒是活性炭纤维或活性炭粉末。在一些实施方式中,纳米颗粒是催化颗粒或催化纤维。在一些实施方式中,可以通过将亚微米纤维非织造材料馈送到粉碎机或压碎机或切边机中来获得纳米颗粒,在粉碎机或压碎机或切边机中,粘合的非织造材料进入,而短切纤维出来。例如,可以将低重量生物组分熔喷或纳米熔喷织物送入粉碎机中,从而获得亚微米纳米颗粒。

[0085] 在一些实施方式中,可以混合不同的纳米颗粒。例如,纳米纤维和纳米珠可以混合。也可以混合两种具有不同熔点的不同纳米纤维,使得较低熔点的纳米颗粒可以作为较

高熔点的纳米纤维的粘合剂。也可以混合不同直径和不同长度的纳米颗粒。

[0086] 在一些实施方式中,纳米颗粒选自环境可持续的原材料。纳米颗粒可以包括生物可溶性玻璃纳米纤维、生物可降解的纳米颗粒、可堆肥的纳米颗粒或可回收的组合物。

[0087] 不同类型的纳米颗粒可以组合。一些纳米颗粒可以是功能性纳米颗粒。例如,功能纳米颗粒可以包含沉积到和/或附着到纤维材料中的纤维上的活性炭和/或抗微生物材料。这能够提高纤维的气体吸收效率和杀菌效果。此外,其中沉积有玻璃和碳纳米颗粒的微纤维的纤维制品会作为过滤介质提供过滤和除味功能。

[0088] 在一些实施方式中,纳米颗粒通过机械缠结结合到纤维上。如下文所更详细地论述的,这种机械结合可以辅以粘合剂或粘结剂。在某些实施方式中,纳米颗粒不卷曲(即,它们不包括与松弛状态下的纳米颗粒相关的显著波浪、弯曲、卷曲、盘绕锯齿或类似形状。在其它实施方式中,纳米颗粒可以具有离散长度的卷曲体结构。例如,当这些具有离散长度的卷曲纳米纤维附着到纤维上时,它们彼此缠结,并且牢固地附着在纤维上和周围,从而形成改性纤维。在其它实施方式中,纳米纤维向微米纤维的附着是通过纤维与纳米颗粒之间的静电荷吸引和/或范德华力吸引来实现的。

[0089] 还提供了一种过滤介质和过滤器,例如空气过滤器、面罩、燃气轮机和压缩机进气过滤器和板式过滤器等,该过滤介质和过滤器包含深入地分散在过滤介质中的纳米颗粒。在一些实施方式中,该过滤器包括一个或多个结合至过滤介质的支撑层。支撑层和/或过滤介质可以包括深入地分散在层中的纳米颗粒。在一些实施方式中,提供了一种聚合物层、膜层或膜,该聚合物层、膜层或膜包括一个或多个用于气体或液体从中流过的孔口,纳米颗粒被深入地布置在聚合物层中。在其它实施方式中,所述纤维材料包括用于手指绷带垫或面罩等的柔性表面层。

[0090] 本文提供了一种用于制造纤维材料和包含纤维材料的制品(例如气体过滤器)的系统、装置和方法。还提供了一种用于在气体介质中分离单个纳米颗粒的系统和方法,所述气体介质例如是空气、氦气、氮气、氧气和二氧化碳等(不是液体),并且该纳米颗粒能够通过气流、气溶胶、蒸发器、喷雾或其它适当的输送机制分散到另一种制品、膜、层或基材中。

[0091] 虽然下面的说明主要是针对纤维材料和过滤介质给出的,但是应理解,在本文中公开的装置和方法很容易适用于多种其它应用。例如,本文中公开的纤维材料可用于家用清洁制品、屋顶和地板制品、汽车装饰和车顶内衬、可重复使用的袋子、墙面涂层、过滤装置和绝热材料等。此外,在本文中所述的过程中分离和产生的单个纳米颗粒可用于各种涂层、复合材料和/或添加剂中,例如用于聚合物、食品包装、阻燃材料、燃料电池、电池、电容器、纳米陶瓷、灯、材料制造、制造方法、复合材料的增强、水泥和其它材料、医学诊断应用、医学治疗装置或疗法、组织工程(例如用于骨骼或组织修复的支架)、饮用水、工业过程流体、食品和饮料制品、药物和生物制剂、组织成像、医学治疗输送和环境应用(例如可生物降解化合物)等。

[0092] 图1示出了包含很多纤维12和纳米颗粒14的非织造材料或基材10。基材10具有第一表面16和与第一表面16相对的第二表面18,并且在第一表面16与第二表面18之间限定宽度或厚度。纳米颗粒14已经通过第一表面16沉积到基材内。如图所示,纳米颗粒14渗透穿过第一表面16进入第一表面16与第二表面18之间的基材10的“深处”。在一些实施方式中,纳米颗粒14从第一表面渗透到第一表面16与第二表面18之间的宽度或厚度的至少25%,或者

更优选穿透到厚度的至少大约50%。在其它实施方式中,纳米颗粒14从第一表面16基本上渗透整个基材10到第二表面18。

[0093] 纳米颗粒14优选包括在分散到基材10中之前已经被破碎、分离和彼此隔离的单个纳米颗粒(如图24B所示)。这样,纳米颗粒14不存在于层中的纤维制品中,并且不具有明显的纳米纤维束或丛(如图24A所示)。这实现了纳米颗粒在整个基材中的更大分散,这在某些应用中(例如气体过滤器)提供更高效率的过滤能力以滤除污染物。此外,这提供了在材料内具有更大的纳米颗粒面密度(克/平方米(gsm))或“添加量”的纤维材料。术语“添加量”在本文中用于表示材料、纤维或颗粒在材料薄层、片或膜中的面密度(gsm)。

[0094] 在某些实施方式中,纳米颗粒可以包括大约0.1克/平方米至大约20克/平方米、优选至少大约2.0克/平方米的添加量。具体添加量或面密度可以取决于应用。例如,申请人发现,较高的面密度或添加量会提高纤维材料滤除污染物的效率。因此,具体的纳米颗粒添加量可能取决于过滤介质的期望效率。

[0095] 图2示出了包含很多纤维12和纳米颗粒14的纤维材料或基材20。如图所示,纳米颗粒14从第一表面16渗透基材20的整个宽度到第二表面18。在某些实施方式中,纳米颗粒14基本上分散在基材的所有纤维12中,如图2所示。在某些实施方式中,位于第一表面16的纳米颗粒的密度与分散在表面16、18之间的基材20的中心部分内的纳米颗粒的密度相差不到50%。在一些实施方式中,该差异小于25%,优选小于10%。在某些实施方式中,分散在基材20的中心部分内的单个纳米颗粒的量或数量是分散在第一表面16处或附近的单个纳米颗粒的量的至少大约50%,优选至少大约75%,更优选至少大约90%。

[0096] 在其它实施方式中,纳米颗粒14是以从第一表面16到第二表面18的密度梯度布置的。例如,图3示出了基材30,其中纳米颗粒14形成密度梯度,第一表面16附近的纳米颗粒14的密度高于第二表面18处。在某些实施方式中,位于第一表面处16的纳米颗粒的密度与分散在第二表面18处的纳米颗粒的密度相差超过大约75%。在一些实施方式中,该差异大于50%。在一些实施方式中,该差异大于25%。在某些实施方式中,分散在第二表面18处或附近的各个纳米颗粒的量或数量小于分散在第一表面16处或附近的各个纳米颗粒的量的大约50%,优选小于大约25%,更优选小于大约10%。

[0097] 图3所示的密度梯度从第一表面16到第二表面18基本上是线性的。替代地,纳米颗粒14的密度可以从第一表面16到第二表面18以一系列离散阶梯降低,或者梯度可以是随机的(即,大致上密度的降低不是线性的或阶梯式的)。

[0098] 在其它实施方式中,可以将纳米颗粒从第一表面16和第二表面18添加到基材中。在这些实施方式中,第一表面16和第二表面18处的面密度或“添加量”可以基本上彼此相等,或者它们可以根据应用而不同。在这些实施方式中,基材的中部的面密度或“添加量”低于表面16、18处。例如,基材的中部的面密度可以是表面16、18处的面密度的大约75%,或者可以是大约50%、40%或25%。

[0099] 纳米颗粒在纤维材料的厚度上的分布例如可以使用成像技术来测量。使用电子显微镜或其它技术,可以将制品厚度的中部的水平截面上获得的纤维制品的放大图与在制品的上表面或下表面处获得的图像进行比较,或者可以比较所有三个图像,以确定沉积的纳米颗粒量变化的程度。可以采用计算机化的图像分析处理。例如,在图3中,可以在线A-A处截取截面,并且可以在线B-B处截取截面。可以通过电子显微镜、扫描电子显微镜和其它

显微镜拍摄每个截面的俯视图。例如,可以将截面A-A处截取的截面的俯视图与在截面B-B处截取的俯视图进行比较。可以评估和比较相同二维尺寸的样品中的微纤维数量、纳米颗粒数量或这两者。此外,可以对三维样品使用成像技术。这些技术可以用于评估纤维的取向和其它特性。这些技术可以用于确定纳米颗粒已经沉积到基材的深处,已经基本上沉积在基材的大部分内,基本上沉积在基材的整个深度内,或者沉积在基材的深度的一部分内。

[0100] 所设想的基材纤维可以通过任何方法制造,包括但不限于气流成网法、喷丝头、凝胶纺丝、熔融纺丝、湿纺、干纺、海岛短纤或纺粘、分切饼状物短纤或纺粘等。在第4,406,950号、第6,338,814号、第6,616,435号、第6,861,142号、第7,252,493号、第7,300,272号、第7,309,430号、第7,422,071号、第7,431,869号、第7,504,348号、第7,774,077号、第9,522,357号、第9,993,761号美国专利和第2009/266,759号美国专利公开中说明了这样的方法,这些文献的完整公开内容出于所有目的通过引用结合到本文中。

[0101] 所设想的纤维可以具有多种横截面形状,包括但不限于圆形、菜豆形、狗骨形、三叶形、杠铃形、蝴蝶结形、星形和Y形等。这些形状和/或其它常规形状可以与实施方式结合使用,以获得期望的性能特征。基材中的纤维通过热粘合、化学键、通过彼此缠结、通过使用粘结剂(例如粘合剂)等保持彼此连接。

[0102] 纤维可以是人造或天然纤维。用于纤维的适当材料包括但不限于聚丙烯、聚酯(PET)、PEN聚酯、PCT聚酯、聚丙烯、PBT聚酯、共聚酰胺、聚乙烯、高密度聚乙烯(“HDPE”)、LLDPE、交联聚乙烯、聚碳酸酯、聚丙烯酸酯、聚丙烯腈、聚四氟乙烯、聚苯乙烯、苯乙烯马来酸酐、聚甲基戊烯、环烯共聚物或氟化聚合物、聚四氟乙烯、全氟乙烯和六氟丙烯或与PVDF的共聚物(例如P(VDF-TrFE))或三元共聚物(例如P(VDF-TrFE-CEF))、丙烯、聚酰亚胺、聚醚酮、纤维素酯、尼龙和聚酰胺、聚甲基丙烯酸、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲醛、聚砜、丙烯酸、苯乙烯化丙烯酸、预氧化丙烯酸、氟化丙烯酸、乙酸乙烯酯、乙烯基丙烯酸、乙烯-乙酸乙烯酯、苯乙烯-丁二烯共聚物、乙烯/氯乙烯共聚物、乙酸乙烯酯共聚物、胶乳、聚酯共聚物、羧基化苯乙烯丙烯酸或乙酸乙烯酯、环氧树脂、丙烯酸类多元聚合物、酚醛树脂、聚氨酯、纤维素、苯乙烯或它们的任何组合。还考虑了其它常规纤维材料。

[0103] 纤维可以包括不同尺寸的纤维,纤维的直径通常在大约1微米至大约1000微米范围内,长度在大约1/2英寸至3英寸范围内。纤维可以被构造成梯度密度介质,其中孔径从过滤器的上表面(上游)到下表面(下游)减小,以提高捕获效率和集尘能力。这种构造还允许不同量的纳米颗粒在过滤介质中分散到不同深度。例如,过滤介质的上游侧可以具有最大的纤维尺寸,以允许较大的空隙空间和较大的纳米颗粒密度,而过滤介质的下游侧具有较小尺寸的纤维,以提供较低密度的纳米颗粒。替代地,这种结构可以颠倒,以在过滤介质的下游部分内提供较大密度的纳米颗粒。

[0104] 介质中的纤维可以通过热粘合、化学键合或彼此缠结而保持与其它纤维的连接。可以使用双组分纤维,尤其是在机械过滤的情况下,并且这些纤维是通过从同一个喷丝头挤出两种聚合物而形成的,在同一根细丝中包含这两种聚合物。用于双组分纤维的适当材料包括但不限于聚丙烯(PP)/聚乙烯(PE)和聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)/聚丙烯(PP)等。

[0105] 在一些实施方式中,基材可以包括“高蓬松”纤维材料,该纤维材料包含纺粘或热风粘结梳理的纤维状纤维。在此使用的术语“高蓬松”指空隙空间的体积大于整个固体的体积。在热风粘结梳理的非织造纤维中,基材的蓬松度可以通过本领域技术人员已知的各种

方法来控制。例如,可以通过在粘合期间对介质施加较小压力来提高膨松度。在另一个实例中,高膨松非织造材料可以用具有较大厚度的纤维制造,例如厚度大于3旦尼尔,例如5旦尼尔或更大,6旦尼尔或更大(在下文中更详细地论述)。在其它实施方式中,可以通过使用非同心生物组分纤维来提高膨松度,这如图5C所示,并在下文中更详细地论述。

[0106] 在某些实施方式中,纤维可以包括基于硅氧烷的涂层,以提高过滤介质捕获污染物的效率,尤其是E2和E3颗粒群组范围内的污染物。基于硅氧烷的涂层可以包括反应性硅氧烷粗乳液。硅氧烷乳液例如可以包括二甲基硅氧烷乳液、氨基型硅氧烷乳液、有机官能硅氧烷乳液、树脂型硅氧烷乳液或成膜硅氧烷乳液等。在一个实施方式中,反应性硅氧烷粗乳液包含氨基官能的聚二甲基硅氧烷和/或聚乙二醇单十三烷基醚。在于2022年9月14日提交的共同转让的第63/406,686号美国临时专利申请中说明了适当的硅氧烷涂层,该临时专利申请的全部公开内容通过引用并入本文。

[0107] 过滤介质可以包含电荷添加剂,以改变纤维的摩擦电荷,并增加过滤器中的摩擦电荷的稳定性和/或持续时间。这提高过滤器的总体过滤效率,而不损害过滤器的其它重要特性,例如寿命、集尘能力以及通过过滤器的压降或气流量。在于2022年9月28日提交的共同转让的第63/410,731号临时专利申请中说明了用于摩擦带电的适当的电荷添加剂,该临时专利申请的全部公开内容出于所有目的通过引用并入本文。

[0108] 纤维可以具有适合于应用的厚度。在一些实施方式中,纤维具有至少一个尺寸在大约1微米至大约10000微米范围内、或在大约1微米至大约1000微米范围内、或在大约10至100微米范围内。纤维的厚度也可以按旦尼尔测量,旦尼尔是纤维的线性质量密度的测量单位。在一些实施方式中,纤维可以具有大约1旦尼尔至大约10旦尼尔的线密度。纳米颗粒是具有至少一个尺寸在大约1纳米至大约1000纳米范围内或在大约1纳米至大约100纳米范围内的纤维。上述纤维和纳米颗粒的尺寸可以是直径或宽度,这取决于纤维或纳米颗粒的形状。

[0109] 对于气体过滤器(例如褶皱式或非褶皱式空气过滤器),纤维的线密度可以在大约1旦尼尔至大约10旦尼尔范围内。过滤介质可以包含具有相同或不同线密度的纤维。

[0110] 空气过滤器中的纤维通常具有大约3旦尼尔或更小的线密度,以确保纤维小到足以捕获穿过过滤器的污染物。申请人惊奇地发现,通过使用分散在过滤介质中的纳米颗粒,纤维可以具有更大的线密度,例如大于3旦尼尔。这是因为纳米颗粒提供显著的过滤能力。在某些情况下,纤维可以具有大于3旦尼尔、5旦尼尔或更大、6旦尼尔或更大、或高达7-10旦尼尔的线密度。

[0111] 申请人还发现,在一些应用中,具有比常规过滤器中使用的纤维更大的线密度(例如大于大约3旦尼尔)的纤维在过滤介质中提供更多的开放空间或孔隙,这允许更大密度的纳米颗粒分散在其中。虽然这对本领域技术人员来说可能是违反直觉的,但是申请人发现,结合有纳米颗粒的具有较大线密度的纤维实际上提高过滤器的总体效率。

[0112] 在某些实施方式中,过滤介质可以包括至少两种不同的纤维厚度或线密度,以在同一个过滤介质内提供至少两个不同的过滤层。例如,在某些情况下,过滤介质的一部分会包含具有大于3旦尼尔的线密度的纤维,该线密度例如是5旦尼尔或更大,或6旦尼尔或更大。过滤介质的其它部分会包含具有3旦尼尔或更小的更标准的线密度的纤维。这种双层过滤介质产生第一过滤部分和第二过滤部分,该第一过滤部分主要利用较大厚度纤维内的具

有高密度的纳米颗粒过滤污染物,该第二过滤部分主要利用具有较低线密度的纤维过滤污染物,虽然这两个部分都可以包含分散在整个纤维中的纳米颗粒。在某些实施方式中,过滤介质可以包括三个或更多个单独的部分或层,每个部分内具有不同的旦尼尔纤维范围。

[0113] 图4示出了一种双层过滤介质,该双层过滤介质包括具有第一表面42和与第一表面相对的第二表面44的第一基材40;以及具有第一表面52和与第一表面相对的第二表面54的第二基材50。基材40的第二表面44以本领域技术人员已知的任何方式结合至第一基材的第二表面54。第一基材40包含较小线密度的纤维46,例如大约3旦尼尔或更小。第二基材50包含较大线密度的纤维56,例如大约3旦尼尔或更大,例如5旦尼尔、6旦尼尔或更大。第二基材50还包含分散在整个纤维56中并与纤维56结合和/或被第二基材50保留的单个纳米颗粒58。第一基材40可以包含或不包含纳米颗粒。

[0114] 第一基材40被配置成主要利用纤维46过滤污染物,虽然如前文所述,第一基材40还可以包含纳米颗粒。第二基材50被配置成利用纤维56和纳米颗粒58过滤污染物。

[0115] 在一些实施方式中,基材可以包含添加剂,例如抗菌和/或抗病毒组合物,例如银、锌、铜、有机硅氧烷、三丁基锡、含有氯化物、溴化物或氟化物的有机化合物。

[0116] 纤维可以包括生物组分纤维,该生物组分纤维包括两种或更多种彼此粘合的不同纤维。纤维可以包含相同材料或不同材料。

[0117] 图5A-5C示出了可以与本文公开的非织造材料一起使用的生物组分纤维的不同实例。图5A示出了具有芯纤维62和周围的鞘纤维64的纤维60。在这个实施方式中,芯62基本上与鞘同心。图5B示出了具有彼此并排布置的第一纤维72和第二纤维74的生物组分纤维70。图5C示出了具有芯纤维82和鞘纤维84的生物组分纤维80。在这个实施方式中,芯82相对于鞘84的纵轴是非同心的,这提高生物组分纤维的总体蓬松度。当然,其它配置也是可能的。例如,内芯可以包括除圆形之外的形状,例如狗骨形、正方形、三角形或菱形等。替代地,纤维可以包括多个内芯,或者可以被分成三个、四个或更多个象限。

[0118] 在某些实施方式中,非织造材料(即,纤维和/或纳米颗粒)可以带静电,这例如使得污染物被通过机械过滤和静电过滤捕获。纤维与纳米颗粒之间的结合也可以通过纳米颗粒、纤维或这两者进行静电充电来增强。例如,在某些实施方式中,纤维带静电,从而可以利用纳米颗粒实现机械过滤,同时可以通过驻极体基材实现静电过滤。静电或驻极体基材可以通过梳理和针刺制成的高蓬松摩擦带电过滤介质。在一个实施方式中,优选在针刺之前将纳米颗粒沉积到基材中,然后将静电纤维和纳米颗粒针刺在一起。

[0119] 可以使用摩擦带电方法、电晕放电、静电纤维纺丝、水力充电、充电棒或其它已知方法对基材、纳米颗粒或这两者进行静电充电。电晕充电适合于对单聚物纤维或纤维混合物或织物充电。摩擦充电可能适合于对具有不同电负性的纤维充电。静电纤维纺丝将聚合物的充电和纤维的纺丝结合为单步过程。在于2022年9月28日提交的共同转让的第63/410,731号临时专利申请中描述了用于摩擦带电的适当的电荷添加剂,该临时专利申请的全部公开内容出于所有目的通过引用并入本文。

[0120] 可以选择相对于纤维具有不同的摩擦带电特性的纳米颗粒,以便使用摩擦带电效应来增强颗粒去除。利用这种方法,生成的纳米颗粒在电场中形成,并且较少受到可能削弱摩擦带电效应的化学物质的污染。也可以使用具有与粗纤维的吸附特性或表面电荷特征不同的纳米颗粒,例如在油或水过滤中。这种差异可用于在过滤介质内增强或产生局部电场

梯度,以增强颗粒去除。纳米颗粒和粗纤维可以具有不同的润湿特性。

[0121] 非织造材料可以包含粘结剂或粘结材料,例如粘合剂或粘结剂,以促进纤维之间的粘结和/或纳米颗粒在基材中的保留,使得纳米颗粒能够粘附到纤维上,或者被纤维保持在基材中,以形成稳定的基体。该粘结剂或粘结材料优选以较少的量存在,以将单个纳米颗粒粘合到整个基材的纤维上。

[0122] 该粘结剂可以包含多种常规材料,包括天然材料(例如淀粉、糊精或瓜尔胶等)或者合成树脂(例如EVA、PVA、PVOH、SBR和聚乙交酯等)。在某些实施方式中,使用溶剂基粘合剂,其中在溶剂蒸发时发生粘合。

[0123] 在一个优选实施方式中,该粘结剂或粘结材料包括糊精。在另一个实施方式中,该粘结剂包括各种物质的组合物,例如水、2-己氧基乙醇、异丙醇胺、十二烷基苯磺酸钠、氧化月桂胺和氢氧化铵。在又一个实施方式中,该粘结剂包括至少一种PVOH。粘结剂可以是溶液、乳液、悬浮液、热熔物、可固化物、纯物(neat)和/或它们的组合。

[0124] 在一些实施方式中,使用粘合剂树脂,并且在将粘合剂涂布在基材上之后,粘合剂树脂可以经历交联。可以通过粘合剂配方中的溶剂蒸发时的自我交联或干燥过程中的热活化来提高粘合性(耐水性/耐溶剂性)。在某些粘合剂的情况下,交联可以通过高能波长的电磁辐射来完成,包括但不限于射频(RF)、紫外线(UV)或电子束。可以通过调节喷涂器140的喷嘴尺寸或控制粘合剂组合物的流动速率来控制粘合剂的量。可以使用喷嘴、浸涂或其它方法施加粘结剂。

[0125] 在一些实施方式中,粘结剂或粘结材料可以包含表面活性剂,以降低粘结剂的表面或界面张力,从而提高其分散和润湿性能,并使得粘结剂更容易渗透到基材的深处。与本文公开的粘合剂一起使用的适当的表面活性剂包括非离子、阴离子、阳离子和两性表面活性剂,例如硬脂酸钠、4-(5-十二烷基)苯磺酸盐、十二烷基苯磺酸钠湿润剂、多库酯(丁二酸二异辛酯磺酸钠)、烷基醚磷酸酯、苯扎氯铵(BAC)和全氟辛烷磺酸酯(PFOS)等。

[0126] 在一些实施方式中,基材包含其自身的粘结剂组合物。在这些实施方式中,可以向基材添加或不添加粘结剂或粘结材料。在一个这样的实施方式中,基材包含生物组分纤维,其中一个组分包括至少部分地包围内芯的外鞘(参见图5A和5C)。

[0127] 鞘可以包含结合至纳米颗粒的材料。例如,鞘可以包含在加热和/或干燥时变得发粘和/或流动的材料。在加热/干燥步骤(在下文中论述)期间,纤维的鞘部分被加热到其熔点,直到其变得发粘和/或流动,以将纳米颗粒结合到基材上。在优选实施方式中,粘合和干燥同时进行。

[0128] 图23A是其中沉积有纳米颗粒的非织造制品的放大图像,该纤维制品没有使用粘结剂材料。图23B是纤维制品的放大图像,其中使用由糊精和水构成的粘结剂材料将纳米颗粒粘附到纤维上。如图所示,在使用粘结剂的情况下,纳米颗粒更均匀地粘附到纤维上。

[0129] 在图23A和23B的实例中,使用了具有双组分微纤维的基材,该基材具有由聚酯构成的内侧部分和由高密度聚乙烯(“HDPE”)构成的外侧部分。图23A示出了具有双组分微纤维基材的微纤维非织造制品,生物可溶性玻璃纳米纤维仅沉积在基材表面上的层中,并依靠静电力保持纳米纤维。在图23A中能够看到纳米纤维的结块和纳米纤维的不良保留。可以使用熔喷法、纺粘法或本文中所述的其它方法来制造基材。

[0130] 在图23B的实例中,使用了粘结剂材料。使用糊精和水的混合物喷涂基材,将纳米

颗粒以更高的均匀性和更大的纳米纤维保留量施加到基材上。在另外的实例中,可以使用在本文中公开的任何粘结剂材料。此外,生物可溶性玻璃纳米颗粒已经沉积到基材的深处。在这个实例中,双组分微纤维基材本身的MERV等级为4-10,这可以使用本文所述的任何方法来实现。在一个实例中,随着纳米颗粒沉积到基材的深处并具有静电荷,最初具有级别为8的MERV的微纤维基材被用于制造具有级别为13的MERV的非织造制品。在另一个实例中,最初具有级别为6的MERV的微纤维基材被用于制造具有级别为15的MERV的非织造制品。在卷材上提供基材,并且在卷到卷连续工艺中,例如在本文中所述的任何工艺和方法中,能够以商业规模制造非织造制品。在一个实例中,卷到卷工艺以每分钟30英尺的速度运行。

[0131] 在某些实施方式中,本文中论述的非织造材料可以作为捕集或吸收污染物的过滤装置的一部分,例如液体过滤器、用于家用和商用空气过滤的气体过滤器、外科面罩或其它面罩等。该过滤装置可以是机械过滤器、吸附过滤器、螯合过滤器、离子交换过滤器、反渗透过滤器、表面过滤器或深度过滤器等,并且可以被设计成从空气或水等之中去除许多不同类型的污染物。

[0132] 在一个这样的实施方式中,非织造材料被结合到从空气中去除颗粒和污染物的空气过滤器中,例如HEPA过滤器(即,褶皱式机械空气过滤器)、紫外光过滤器、静电过滤器、可清洗过滤器、介质过滤器、玻璃纤维过滤器、褶皱式或未褶皱式空气过滤器、活性炭过滤器、袋式过滤器、V型紧凑过滤器、过滤片、扁平单元过滤器和滤筒等。非织造材料可以包含用于空气过滤器的过滤介质,并且可以由支撑层、稀松布层支撑,或者可以包含在其它层或材料中。申请人发现,如本文所述,将纳米颗粒深入结合到非织造材料中会显著提高空气过滤器的效率,而不会损害其它因素,例如通过过滤器的压降(即,气流量)。此外,这些材料提高总体集尘能力,从而延长过滤器的寿命,尤其是与仅依靠或主要依靠静电效应来提高效率的过滤器相比。

[0133] 诸如HEPA过滤器等常规的家用的商用空气过滤器通常根据过滤器捕获大约0.3至10微米颗粒的能力来评级。这种评级被称为最低效率报告值或MERV,是由美国采暖、制冷与空调工程师协会(ASHRAE)制定的。MERV等级的范围为1-16,数值越高,表明捕集特定类型的颗粒的效率就越高。常规的机械空气过滤器通常将非织造过滤材料的MERV等级报告为大约8。

[0134] 空气过滤器通常基于它们的初始效率(即,空气过滤器在使用前的效率)以及它们随着时间和使用的效率来评级。后一种效率通常是通过调节步骤来测试的,参见ASHRAE标准52.2附录J。

[0135] 本文提供的空气过滤器具有大于大约10的初始MERV等级和小于大约0.5英寸水柱的压降。在一些情况下,初始MERV等级为大约11,压降等于或小于大约0.17英寸水柱,或者初始MERV等级为大约13,压降等于或小于大约0.36英寸水柱,或者初始MERV等级为大约14,压降等于或小于大约0.5英寸水柱。

[0136] 本文提供的气体过滤器在经过按照ASHRAE标准52.2附录J进行的调节后,其MERV等级为10或更高。在一些实施方式中,在使用ASHRAE标准52.2、ISO标准16890或行业中的任何其它可接受的标准调节气体过滤器后,MERV等级为13或更高。

[0137] 本文所论述的纤维过滤介质的MERV等级会根据许多因素而变化,包括过滤介质中所用的纤维的类型和尺寸、过滤介质中的各个纳米颗粒的密度、过滤介质的宽度、褶皱(如

果有)的数量和尺寸等。可以对一片纤维制品以及作为褶皱式过滤介质形成的纤维制品测量MERV等级,并且每种制品的压降可以不同。同样,过滤介质两端的压降也取决于许多因素,包括上面提到的那些因素。

[0138] 影响MERV等级和压降的一个因素是相对于基材内的纤维的密度,基材内的纳米颗粒的密度或添加量。申请人发现,基材密度与纳米颗粒密度之比越低,过滤器的MERV等级就越高,压降也越高。在某些实施方式中,本文中所述的过滤介质具有大约0.1克/平方米至大约20克/平方米、优选至少大约2克/平方米的纳米颗粒面密度。

[0139] 在一些情况下,纳米颗粒的密度还会取决于实际过滤介质的密度(即,粗纤维的密度)。如下文中参照下表2所更详细地论述的,大约67的密度比(基材gsm除以添加的纳米颗粒gsm)导致大约0.14英寸水柱的压降和初始MERV等级10。大约33.4的密度比使MERV等级提高到10,而仅导致压降增加到大约0.17。大约22.3的密度比使初始MERV等级提高到大约12,而压降为大约0.24英寸水柱。

[0140] 因此,过滤器的效率或MERV等级可以随着纳米颗粒添加量的增加而提高。尤其是,申请人发现,例如,采用至少2克/平方米的添加量,能够实现具有大约10级MERV的过滤器。4克/平方米或6克/平方米的添加量分别提供具有大约12级和13级MERV的过滤器。10克/平方米或更高的添加量导致具有15级或更高MERV的过滤器。

[0141] 申请人还发现,包含具有更大厚度或线密度的纤维会导致更大的孔隙尺寸,从而导致更大的孔隙体积,由此允许基材内的纳米颗粒的密度更高。这导致更高的MERV等级和压降(如下文中参照表2所论述)。例如,申请人已经能够用5旦尼尔的生物组分纤维制造MERV等级为14、压降为0.5英寸水柱的空气过滤器。类似地,申请人能够用5旦尼尔的生物组分纤维制造MERV等级为13且压降仅为大约0.29英寸水柱的过滤器。

[0142] 在图6中示出了褶皱式过滤介质90的一个实例。根据应用,过滤器90可以包括大约0至10个褶皱/英寸。过滤介质可以安装在纸板或金属框架中,并用作易于更换的过滤制品(图7)。该图中示出了一种用本文所述的纤维材料制造的气体过滤器94。如图所示,过滤器94包括褶皱式纤维过滤介质96和为过滤介质96提供刚性和结构的支撑层98。

[0143] 图11示出了一种用本文所述的纤维材料制造的气体过滤器109。气体过滤器109包括纤维基材,该纤维基材具有分散在基材的整个深度内的纤维和纳米颗粒。该基材随后被卷成圆柱形、圆锥形或其它适当的形状,并且可用于诸如燃气轮机和压缩机进气过滤器和板式过滤器等应用中。

[0144] 可以用本文公开的纤维材料开发的其它类型的过滤器包括锥形滤筒、方形端盖滤筒、袋式过滤器、V型紧凑过滤器、板式过滤器、扁平单元过滤器、褶皱或非褶皱袋式滤筒过滤器等。

[0145] 本文中公开的纤维制品可用于医用面罩或其它医疗应用,例如呼吸器中的滤芯。医用面罩被设计用于保护医护人员和/或患者免受微生物和其它物质的侵害。例如,医用面罩能够阻挡具有大约3微米的尺寸的细菌、以及具有大约0.1微米的尺寸的病毒。这些面罩使用多层纤维材料制成,并且具有用于将面罩附着到人的面部的耳套、系带或其它结构。可以将金属丝至少结合到面罩的上部中,使得至少该部分与人的面部相符。该面罩可以包括刚性聚合物结构,该结构被设计成将多层纤维材料保持在人的面部的前面。在一个实例中,面罩有三层。外层和内层包含提供透气性的纤维材料,例如纺粘聚丙烯,虽然也可以使用在

本文中提到的任何材料。中间层布置在内层与外层之间,并且包括微纤维基材,该微纤维基材具有沉积在基材的深处的纳米颗粒,以提供大于8的初始MERV,优选提供大于10的MERV,更优选提供13或更大的MERV。通过面罩的压降为3至6毫米水柱,为了透气性更优选为4毫米水柱。希望面罩具有大约95%的效率。面罩的其它实例具有四层或更多层。纤维制品的多个层可以组合在单个面罩中。

[0146] 在某些实施方式中,纤维材料可以包含在包括孔、孔隙或穿孔的薄膜或层中。可以将该孔压花成图案(例如圆形、菱形、六边形、椭圆形、三角形、矩形等),然后拉伸,直到在通过压花产生的减薄区域中形成孔。这种有孔基材可以由许多聚合物形成,例如聚丙烯、聚乙烯和高密度聚乙烯(“HDPE”)等。聚合物层例如可以包括挤出膜。有孔膜是可商购的,并以商标**Delnet®**销售。基材以卷的形式提供,纳米纤维通过卷对卷工艺被沉积到基材中。图10A-10E示出了可以用本文所述的方法形成的有孔薄膜的实例。

[0147] 在其它实施方式中,气体过滤器包括过滤介质和结合至过滤介质的基本上刚性的支撑层。该支撑层包含纤维和分散在该层内的深处的单个纳米颗粒。纳米颗粒被配置成对穿过支撑层的污染物进行过滤。

[0148] 请参考图8,复合过滤构件814包括内部过滤基材812和一个或多个过滤器支撑构件或膜层810。支撑构件810可以由挤出的聚合物片材形成,例如聚丙烯膜、高密度聚乙烯膜、聚乳酸膜或热塑性聚合物材料,例如可挤制的氟塑料材料,在实施方式中是由共聚单体聚四氟乙烯和全氟烷基乙烯基醚制成的全氟烷氧基烷烃(PFA)共聚物。但是,也可以使用其它聚合物材料,例如氟塑料,例如乙烯-氯三氟乙烯共聚物(ECTFE);乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)或聚偏氟乙烯(PVDF)。

[0149] 在某些实施方式中,支撑膜层810包括分散在膜层810的深处的单个纳米颗粒,如上文所述。纳米颗粒允许支撑膜过滤至少一些穿过滤膜814的污染物,即,除了由内部过滤基材812提供的过滤之外。在其它实施方式中,过滤器基材812和/或支撑膜层810包括这样的纳米颗粒。

[0150] 氟塑料材料(例如PFA)非常适合用于清洁半导体部件的过滤器、以及需要极度清洁性和最大限度地降低污染的可能性的其它环境。这种支撑膜层被设计成既引导待过滤的流体沿其表面流动,又引导流体通过该结构进入下面的过滤器基材,以从滤液中除去不需要的颗粒。

[0151] 如图9A和9B所示,支撑膜810可以包括多个孔828。孔的形状优选是圆形,但能够认识到其它形状也是可能的,例如正方形、矩形、三角形等。可以将基材卷绕成卷,然后将基材展开并引导其通过冲压机,以沿着Z方向按照所需的预定图案形成孔口828(图9A)。替代地,在将片材固定就位之后,可以在连续操作中引导片材通过冲压机,以在其中形成预定图案的孔828。

[0152] 请参考图9B,在形成孔之后,可以沿着如双箭头940所示的机器方向拉伸过滤器支撑构件,以拉长孔828,从而为将被过滤介质或基材812过滤的流体的通过提供更大的开口面积。

[0153] 在一个替代实施方式中,支撑膜810可以是多孔的(即,具有孔828以外的孔,或者除了具有孔828之外还具有孔)。在这个实施方式中,可以用基本上多孔的支撑膜来实现附加的流体流动。在一个示例性实施方式中,支撑膜层具有至少0.5或50%、优选至少0.8或

80%、更优选大约0.86或86%的孔隙率值。孔隙率值被定义为材料的总体积的非实心体或孔隙体积分数。这种复合过滤介质的更完整的说明可见于第US2020/040941号PCT申请,该申请的全部公开内容出于所有目的通过引用整体并入本文。

[0154] 本发明的过滤器支撑膜层可以通过本领域普通技术人员已知的任何方法制备。在图9A和9B所示的一个实例中,支撑膜层包括肋部。例如,可以通过挤出聚合物材料以形成片材,然后使该片材通过由相对的辊提供的辊隙区来制造支撑膜层;所述辊中的至少一个辊具有带沉头槽的外表面。一个辊中的沉头槽在辊隙区与另一个辊的外表面或沉头槽对准,以形成具有从片材的至少一个表面耸立的肋部的带肋片材。替代地,可以在挤出过程或已知的压花方法中形成肋部。在形成肋部后,可以将支撑膜层卷绕成卷,然后将其展开并引导其通过冲压机,从而沿着其Z方向按照期望的预定图案形成孔口。替代地,在将支撑膜固定就位之后,可以在连续操作中引导支撑膜通过冲压机,以在其中形成预定图案的孔,如图9A中所最佳地示出。任选地,可以沿着机器方向(由图9B中的双箭头表示)拉伸支撑膜层,以拉长孔,从而为将被过滤层或基材等过滤的流体的通过提供更大的开口面积。

[0155] 图12示意性地示出了用于制造上述纤维材料和其它制品的总体系统110。如图所示,系统110包括进料器120,该进料器用于在制造过程中推进纤维状纤维或其它材料的基材130。系统100还包括涂布器140、纤维化系统150和加热和/或干燥装置160。在某些实施方式中,系统100还包括基材130下面的与纤维化系统150相对的真​​空或其它负压源170。

[0156] 在一个实施方式中,进料器120包括位于该工艺的下游端的卷绕器122和位于上游端的开卷器124,该开卷器使基材130连续卷绕通过系统100。在某些实施方式中,进料器120还可以包括在卷绕器之间延伸的支撑表面(未示出),该支撑表面用于在基材130向下游移动通过系统100时支撑基材130。在其它实施方式中,基材直接从开卷器124开卷到卷绕器122上,而没有其它支撑表面。

[0157] 涂布器140被配置成将粘结剂或粘结材料(例如粘合剂或粘结剂)的液滴喷射到基材130上,使得纳米颗粒能够粘附到基材130内的纤维上,以形成稳定的基质。该粘结剂优选以较少的量存在,以将单个纳米颗粒粘合到整个基材130的纤维上。在优选实施方式中,涂布器140包括喷嘴,该喷嘴的尺寸使其适于产生具有大约20至30微米直径的粘合剂液滴,以增加粘合剂穿过基材130的渗透深度。当然,液滴尺寸可能受许多其它参数的影响,包括空气压力、空气体积、空气温度、湿度、喷涂喇叭口设计、粘合剂的流变性/粘度和载体等。

[0158] 当然,应认识到,用粘结剂或粘结材料涂布基材可以用其它涂布方法来实现,包括超声喷涂、浸涂、旋涂、凹面涂布、接触辊涂布、丝网涂布、粉末涂布、静电、溅射涂布或类似的涂布技术。

[0159] 如上文所述,该粘结剂可以包含多种常规材料,包括天然材料(例如淀粉、糊精和瓜尔胶等)或者合成树脂(例如EVA、PVA、PVOH或SBR等)。在某些实施方式中,使用溶剂基粘合剂,其中在溶剂蒸发时发生粘合。

[0160] 在一个优选实施方式中,该粘结剂包括糊精。在另一个实施方式中,该粘结剂包括各种物质的组合物,例如水、2-己氧基乙醇、异丙醇胺、十二烷基苯磺酸钠、氧化月桂胺和氢氧化铵。在又一个实施方式中,该粘结剂包括PVOH。粘结剂可以是溶液、乳液、悬浮液、热熔物、可固化物、纯物和/或它们的组合。

[0161] 在一些实施方式中,使用粘合剂树脂,并且在将粘合剂涂布在基材130上之后,粘

合剂树脂可以经历交联。可以通过粘合剂配方中的溶剂蒸发时的自交联或干燥过程中的热活化来提高粘合性(耐水性/耐溶剂性)。在某些粘合剂的情况下,交联可以通过高能波长的电磁辐射来完成,包括但不限于射频(RF)、紫外线(UV)或电子束。可以通过调节喷涂器140的喷嘴尺寸或控制粘合剂组合物的流动速率来控制粘合剂的量。

[0162] 在一些实施方式中,粘结剂可以包含表面活性剂,以降低粘结剂的表面或界面张力,从而提高其分散和润湿性能,并使得粘结剂更容易渗透到基材的深处。与本文公开的粘结剂一起使用的适当的表面活性剂包括非离子、阴离子、阳离子和两性表面活性剂,例如硬脂酸钠、4-(5-十二烷基)苯磺酸盐、十二烷基苯磺酸钠湿润剂、多库酯(丁二酸二异辛酯磺酸钠)、烷基醚磷酸酯、苯扎氯铵(BAC)和全氟辛烷磺酸酯(PFOS)等。

[0163] 在一些实施方式中,喷涂器140位于纤维化系统150的上游,从而在沉积纳米颗粒之前喷涂粘结剂。在其它实施方式中,喷涂器140位于纤维化系统150的下游,从而可以在沉积纳米颗粒后喷涂粘结剂。在其它实施方式中,系统100包括两个喷涂器;一个喷涂器位于纤维化系统150的上游,第二个喷涂器(未示出)位于纤维化系统150的下游,用于在沉积纳米颗粒后用第二粘结剂涂布基材130。

[0164] 在一些实施方式中,每个喷涂器140设有不止一个喷嘴头。例如,喷嘴头可以串联布置,以实现更好的均匀性或增加纤维喷射宽度。替代地,喷嘴头可以并行布置,即,横跨基材的宽度布置,以确保粘结剂被涂布在基材的整个宽度上。

[0165] 在优选实施方式中,在与喷涂器140相对的基材130下方布置有负压源或真空源(未示出),以增加粘结剂的渗透深度和均匀性。负压源可以是抽吸粘结剂使其穿过基材的任何适当抽吸装置,例如抽吸泵或类似装置。

[0166] 在一些实施方式中,基材包含其自身的粘结剂组合物。在这些实施方式中,可以向基材添加或不添加粘结剂。在一个这样的实施方式中,基材包含生物组分纤维600,其中一个组分包括至少部分地包围内芯62的外鞘64。在某些实施方式中,鞘64和芯62可以是基本上彼此同心的(图5A)。在其它实施方式中,芯84可以是与鞘82非同心的(图5C)。在其它实施方式中,芯72和鞘74可以彼此并排布置(图5B)。当然,其它配置也是可能的。例如,芯184可以包括除圆形之外的形状,例如狗骨形、正方形、三角形或菱形等。替代地,纤维180可以包括多个内芯,或者可以被分成三个、四个或更多个象限。

[0167] 鞘64可以包含结合至纳米颗粒的材料。例如,鞘64可以包含在加热和/或干燥时变得发粘和/或流动的材料。在加热/干燥步骤期间,纤维的鞘64部分被加热到其熔点,直到其变得发粘和/或流动,以将纳米颗粒结合到基材上。在优选实施方式中,粘合和干燥在干燥装置160内同时进行。

[0168] 图13示意性地示出了用于将纳米纤维组转化成单个纳米颗粒的纤维化系统150。如本文中所用的术语“纤维化”指将可能相互缠结或可能不相互缠结的纳米颗粒簇、束或其它组转化(例如打开、分离、分开和/或个体化)成具有至少一个小于1微米的维度的各个纳米颗粒。图14A-14C示出了缠结的大纳米纤维簇(图14A)、缠结的小纳米纤维簇(图14B)和单个纳米颗粒(图14C)的实例。

[0169] 如图所示,纤维化系统150包括进料器200,例如料斗,该进料器用于将较大或宏观的纳米颗粒簇/束(参见图14A)引入到系统150。进料器200可以包括本领域技术人员已知的任何适当的料斗装置,并且优选被配置成以特定的速率将颗粒的大簇引入到工艺中,这取

决于下游的纤维化速率。可以以特定的速率连续引入纳米颗粒,或者以特定的速率间歇地引入纳米颗粒。可以在将成束的纳米颗粒的大簇引入进料器200之前使其破碎。

[0170] 应认识到,可以以许多不同的形式将纳米颗粒引入纤维化装置150中。例如,可以将原纳米纤维制造为长分离纤维。在这种形式中,可以切割纳米纤维以获得期望的长径比。

[0171] 系统150还包括分离器210,例如搅拌器等,该分离器用于将纳米颗粒的大簇/块分离或破碎成较小的纳米颗粒簇/块(参见图14B)。进料器200通过任何机械手段以稳定的连续状态将纳米纤维转移到分离器210中。转移的速度会取决于多种因素,例如基材130沿着进料器120行进的速度、纳米颗粒的纤维化速率等。借助于控制落入分离器210中的纳米颗粒量,能够控制分散到基材中的纳米颗粒量,以产生连续的制造过程。

[0172] 在一个实施方式中,分离器210包括壳体212,该壳体具有耦接至进料器200的第一开口214和耦接至下游工艺的第二开口216。第二开口216的尺寸优选仅允许具有特定尺寸的纳米纤维簇通过。分离器210可以包括多个可旋转的叶片(未示出),这些叶片被设计成在壳体212内围绕竖轴旋转,以分离和打开粗纳米纤维簇。叶片可以具有相同或不同的间距和弧度,以允许缠结的纤维在从第一开口214向第二开口216通过时顺序破碎或“打开”。

[0173] 纤维化系统150还包括从分离器210到喷嘴220穿过整个系统的气流(下面将更详细地论述)。气流(以及如下所述的一系列泵)提供使纳米纤维通过系统150的原动力。在一个实施方式中,气流由空气压缩机230产生,该空气压缩机被配置成向系统供应压缩空气,当然,应认识到,可以使用其它形式的气体来传送纳米纤维通过系统150。

[0174] 系统150包括一个或多个泵,所述泵用于使纳米纤维簇移动并最终使单个纳米颗粒移动通过整个系统。泵可以包括任何适当的泵,例如容积泵、离心泵和轴流泵等。在一个实施方式中,第一泵240包括通过第一通道242流体耦接至空气压缩机230的第一入口和通过第二通道244流体耦接至分离器210的第二入口。压缩空气被吸入第一泵240中,该第一泵产生负压(例如真空),以将纳米纤维簇从分离器210吸入泵中(下面将更详细地论述)。系统150还可以包括第二泵250和第三泵260,每个泵都流体耦接至第一泵240的出口。第二泵250和第三泵260以类似的方式产生负压,该负压通过第三通道252抽吸纳米纤维簇。

[0175] 在某些实施方式中,泵240包括喷射器300。如图15所示,每个喷射器300包括运动流体入口302和纳米纤维入口304,该纳米纤维入口通过流体通道308耦接至出口306。流体通道308包括汇聚入口喷嘴310、扩散器喉部312和发散出口扩散器314。高压低速空气被转化为低压高速空气,从而产生形成吸力所需的压差。基于文丘里效应和伯努利原理,初级流体介质(例如压缩空气)用于产生真空,以将纳米纤维吸入喷射器300,并通过出口306排出。喷射器300的直径取决于压缩空气的体积流量、抽吸要求、压降和压缩空气的流体压力。

[0176] 请再次参考图13,第三通道252包括将第三通道252分成两个独立通道的接头254,每个通道通向第二泵250和第三泵260。接头254优选包括基本上垂直于第三通道252布置的表面或壁,以形成T形相交部。该表面可以是阻碍纳米纤维流过通道的任何表面,例如接合点处的通道内壁,或者是在内壁的方向上的其它变化,例如曲面或垂直面等。替代地,所述通道可以包括在流体路径中布置在通道内或者突出到通道内的壁或其它表面。在一个实施方式中,所述通道延伸至大致T形的接头,该接头包括从接头延伸的两个独立通道。第二喷射器被配置成以足以分离至少一些纳米纤维的速度将纳米纤维抽吸到T形接头中。

[0177] 当纳米纤维簇移动通过第三通道252时,它们被第二泵250和第三泵260施加的负

压推向该表面或壁。纳米纤维压靠接头254的这种速度产生具有足够动能的碰撞,以使至少一些纳米纤维簇破碎成较小的纳米纤维簇和/或具有至少一个小于1微米的尺寸的单个纳米颗粒。

[0178] 为了产生破碎纳米纤维簇所需的动能,以大约500英尺/分钟(fpm)至大约10000英尺/分钟、优选大约2000fpm至大约6000fpm的速度推进空气通过系统150。系统150包括足够量的吸入压力,优选至少大约20psi。该吸入压力在整个系统中产生至少大约100psi的总压力。

[0179] 在某些实施方式中,系统150还包括将第二泵250和第三泵260的出口与反应器270连接的第四流体通道262和第五流体通道264。如图16所示,反应器270包括顶面272、底面274和从顶面272延伸到底面274的内部环形室276。反应器270还包括中心管275,该中心管具有开放的上部入口278和出口280。反应器270还可以包括一个或多个上部出口282。反应器270可以耦接至被配置成在环形室276内产生涡旋气体的涡流的能量源(未示出)。该能量源可以包括任何适当的能量源,例如泵、压缩机和发电机等。涡旋气体优选围绕中心管275从反应器270的底部到顶部流动,以使纳米纤维簇和单个纳米颗粒从底面275向上朝着顶面272移动。

[0180] 在另一个实施方式中,涡流是在没有单独的能量源的情况下产生的。在这个实施方式中,纳米纤维簇290和单个纳米颗粒292通过底部入口284、285、286、287进入反应器270。入口284、285、286、287向上倾斜,以便于纳米纤维和纳米颗粒围绕中心管275移动。在一个优选实施方式中,入口284、285、286、287中的至少一个或多个成一定角度,使得纳米纤维和纳米颗粒基本上与中心管275相切地进入反应器270。当纳米纤维和纳米颗粒进入环形室276时,其速度矢量(速度和方向)在反应器270内产生涡流,使它们围绕中心管275涡旋并向上到达环形室276的上部。涡旋气体优选围绕中心管275从反应器270的底部到顶部流动,以使纳米纤维簇和单个纳米颗粒从底面275向上朝着顶面272移动。纳米纤维290和纳米颗粒292被从反应器的底部吹向顶部,没有任何中断。当纳米纤维簇290通过反应器270时,环形室276内的涡流可以进一步使该纳米纤维簇破碎(例如打开、分离和/或个体化)。

[0181] 在一些实施方式中,反应器270还可以耦接至被配置成在环形室276内产生涡旋气体的涡流的能量源(未示出)。该能量源可以包括任何适当的能量源,例如泵、压缩机和发电机等。

[0182] 系统100还可以包括耦接至上部出口282的另一个泵或负压源(例如参见图17)。该负压抽吸纤维使其通过出口282,使得纤维290离开反应器270。由于单个纳米颗粒292比仍聚集在一起的缠结纳米纤维290轻得多,因此单个纳米颗粒292被吸入中心杆275的上部入口278中。同时,尚未破碎的较大和较重的纳米纤维簇290被通过上部出口284抽出。上部出口284可以耦接至其它泵(未示出),或者耦接至第一泵240。通过这种方式,纳米纤维簇290再次被送过该工艺以进一步变得破碎,从而产生二次进料系统,以进一步破碎剩余的纳米纤维簇。

[0183] 中心管275的出口280耦接至喷嘴220(参见图13)。单个纳米颗粒292被吸入喷嘴220中,在该喷嘴中,它们被分散到基材的表面上或分散到纤维流中(在下文中论述)。喷嘴220可以包括本领域技术人员已知的任何适当的喷嘴。在一个实施方式中,喷嘴220具有多个出口,这些出口具有针对在喷嘴220下方通过的基材的尺寸(即,面积)定制的外部尺寸。

喷嘴220将以由整个系统的压力驱动的速度将纳米颗粒分散到基材上。

[0184] 在某些实施方式中,系统100包括不止一个耦接至反应器270的出口280的喷嘴。这些喷嘴可以以任何适当的形式布置在基材上,例如并排、串联和并联等。

[0185] 应认识到,泵240或泵250、260可以直接将纳米纤维/空气混合物流馈送到喷嘴220中(即,绕过反应器270)。在这个实施方式中,系统内的压力被设计成产生足够的动能以将基本上所有的纳米纤维破碎或打开成单个纳米颗粒,从而反应器270不需要将纳米颗粒从较大纤维簇中分离出来。

[0186] 现在请参考图17,现在将说明纤维化系统320的另一个实施方式。如图所示,纤维化系统320包括分离器325,该分离器用于将较大或宏观的纳米纤维簇分离成较小的纳米纤维簇,该较小的纳米纤维簇将通过系统320。第一喷射器326耦接至分离器325的出口,用于将纳米纤维从分离器325吸入系统320中。如上文所述,空气压缩机(未示出)也耦接至喷射器326以提供运动流体。

[0187] 与前面的实施方式类似,第二喷射器330和第三喷射器340耦接至第一喷射器326的出口。纳米纤维被抽吸通过第一喷射器320,并被推向T形相交部350的表面,以将至少一些纳米纤维破碎成较小的簇或各个纳米颗粒。

[0188] 第二喷射器330和第三喷射器340中的每一个都具有耦接至另外的T形相交部360、370的出口。如前文所述,将纳米纤维推向T形相交部360、370的表面,以进一步破碎它们。T形相交点360、370各自耦接至两个进入反应器的底部380的流体通道。因此,反应器的底部380具有四个独立的入口382、384、386、388,用于纳米纤维通过。这些入口中的每一个优选向上倾斜并位于反应器的对角。这允许纳米纤维进入反应器的涡流,然后向上涡旋到反应器的上部390。

[0189] 如前面参照图16所论述的,反应器包括具有中心管的环形室,该中心管具有开放的上端和耦接至喷嘴的下端。已经被充分破碎成各个纳米颗粒的纳米纤维流过该敞开的上端并进入中心管,以便通过喷嘴分散。尚未破碎的较重的纳米颗粒簇通过四个独立的出口392、394、396、398之一离开反应器。如上文所述,喷射器410、420为从反应器400中抽出纳米纤维提供原动力。出口392、394各自通过T形相交部412耦接至喷射器410,出口396、398各自通过T形相交部422耦接至喷射器420。在这种情况下,当纳米纤维通过相交部412、422时,它们从两个通道流入一个通道中。

[0190] 喷射器410、420各自耦接至T形相交部430、440。如前文所述,纳米纤维被推进到T形相交部430、440中,以进一步将它们破碎成单个纳米颗粒。然后,T形相交部430、440各自耦接至反应器400的底部380(通过入口432、434、442、444)。这允许纳米纤维返回到反应器400中以进行进一步处理。这个过程对每个纳米纤维簇持续进行,直到纳米纤维簇被完全破碎成纳米颗粒并通过中心管进入喷嘴。作为最后一步,将单个纳米纤维从喷嘴中空气喷射到任何基材上,或者与任何纤维纺丝流混合。在这个过程中,吸力最高20psi,压力最高100psi。

[0191] 在某些实施方式中,纤维化系统150可以包括单独的控制系統,该控制系统监控纳米纤维以确定它们何时已经被破碎成适合于通过喷嘴的单个纳米颗粒。例如,该控制系统可以简单地监控整个系统的压力,以确保足够的压力被施加到纳米纤维上,以将它们破碎成纳米颗粒。或者,该控制系统可以包括在系统中布置的多种不同的传感器,以检测纳米颗

粒的特性,例如重量或尺寸。传感器例如可以布置在反应器400内,从而控制系统可以控制反应器400的各种参数,例如向出口392、394、396、398施加的负压,围绕环形室通过的涡流的速度、或者向将纳米颗粒吸入喷嘴的中心管施加的压力。

[0192] 图18示出了用于制造多层纤维材料的系统500的另一个实施方式。如图所示,系统500包括第一开卷器502和第二开卷器504以及用于在系统500的下游卷绕第一基材510和第二基材512的单个卷绕器506。与前面的实施方式中一样,系统500还可以包括用于每个基材510、512的支撑表面(未示出)。第一开卷器502和第二开卷器504用于将第一基材510和第二基材512推进到该工艺中,在该工艺中它们被结合在一起,然后朝着单个卷绕器506卷绕,如下文所述。

[0193] 系统500包括第一喷涂器520和第二喷涂器522,每个喷涂器位于第一开卷器502和第二开卷器504的下游,用于将粘结剂施加到第一基材510和第二基材512上。系统500还包括位于每个喷枪520、522的下游的第一纤维化系统/装置530和第二纤维化系统/装置532。如前文所述,纤维化装置530、532产生各个纳米颗粒,并将这些纳米颗粒分散到基材510、512上。

[0194] 在纳米颗粒被分散到基材510、512中后,将两个基材在接合点540处结合在一起,使得它们一起向下游前进。这两个基材可以在这一点彼此粘合,或者它们可以简单地彼此叠置。

[0195] 系统500还包括位于两个基材的接合点540下游的加热器/干燥装置,例如红外线烘炉550。该加热/干燥装置加热并干燥两个基材,以使它们彼此结合,并使纳米颗粒结合到基材内的纤维上。例如,该基材可以彼此层合。

[0196] 在某些实施方式中,纳米颗粒分散到两个基材510、512中。在一个这样的实施方式中,系统500被设计成使得纳米颗粒穿过每个基材的第一表面分散。然后将基材接合起来,使得第一表面彼此面对。替代地,第一表面可以彼此背向(即,在每个基材的第二相对表面处接合基材)。在又一个实施方式中,将第一基材的第一表面接合至第二基材的第二表面。

[0197] 图19示出了包含纤维材料的过滤介质710的过滤制品700,该纤维材料包含分散在过滤介质710的至少一部分中的纤维722和纳米颗粒720。如图所示,过滤介质710具有第一上表面712和第二下表面714。如上文所述,纳米颗粒已经穿过上表面712分散,从而它们穿过上表面712渗透并进入过滤介质710的深处。过滤制品700还包括支撑层730,该支撑层可以是本领域中已知的任何适当支撑层,例如为过滤介质710提供支撑的基本上刚性的聚合物,或者具有多个用于气体或流体通过的孔的有孔膜(如上文所述)。

[0198] 图20示出了包含纤维材料的过滤介质710的另一种过滤制品740,该纤维材料包含分散在过滤介质710的一部分中的纤维722和纳米颗粒720。在这个实施方式中,制品740包括结合至支撑层730的稀松布层750。

[0199] 图21示出了包含彼此结合的第一过滤介质762和第二过滤介质764的双层过滤制品760。如图所示,纳米颗粒720已经分散在每个过滤介质762、764的整个深度内。在这个实施方式中,纳米颗粒720穿过过滤介质762、764的内表面766、768分散。在另一个实施方式中(未示出),纳米颗粒720穿过过滤介质762、764的外表面770、772分散。在又一个实施方式中,纳米颗粒720可以沉积在介质762的内表面766和介质764的外表面772上。

[0200] 在另一个方面中,一种用于制造纤维材料的系统包括用于产生一个或更多个纤维流的第一装置和用于在气体介质内分离纳米颗粒的第二装置。该第二装置将纳米颗粒分散成流,并将该流送入纤维流以形成纤维材料。所述系统还可以包括分散装置,例如喷嘴,该分散装置耦接至第二装置,并被配置成将纳米颗粒基本上均匀地馈送到纤维流中。所述纤维流可以用本领域已知的任何适当机制产生,例如熔喷、纺粘或水刺、热粘合、梳理、气流成网、湿法成网、挤出、共成型、针刺、缝合或水力缠结等。

[0201] 在一个实例中,该系统可以包括纺粘生产线,其中通过对熔融聚合物进行纺丝和拉伸熔融的细丝而形成细丝。将细丝的纤维束分离和摊开,然后在网上层铺以形成网。通过热粘合和压花将纤维粘合成片材的形式。例如,可以在拉细区之前或粘合(固结)过程之前引入第一流630。

[0202] 在另一个实施方式中,所述系统可以包括两台彼此串联地布置的梳理机。可以在第一梳理线之后且在第二梳理线之前的任何点引入第一流630,使得纳米颗粒夹在两个梳理纤维幅材之间。之后,在热风粘结炉中使所有包含纳米颗粒的纤维粘结在一起(纳米颗粒热互锁)。

[0203] 在图22中示出了另一个用于产生一个或更多个纤维流的实施方式。在这个实施方式中,纳米颗粒分散在两个熔喷模具之间,其中熔化的聚合物被推过小孔以产生纤维。当纳米颗粒遇到仍发粘的纤维时,它们与纤维机械地缠结并热粘合到纤维上。因此,在一些实施方式中,不需要额外的结合过程。

[0204] 如图22所示,用于形成纤维非织造结构的设备600包括类似于上述系统和装置之一的纤维化系统610。纤维化系统610包括用于将各个纳米颗粒分散到第一流630中的喷嘴620或类似装置。设备600还包括用于产生一个或更多个纤维流的系统,该纤维流将与单个纳米颗粒的流630结合。该系统可以包括本领域中任何已知的系统,例如纺粘、梳理和挤出等。

[0205] 在另一个实施方式中,所述设备包括耦接至第一挤出机650和第二挤出机652的第一进料器和第二进料器,例如料斗640、642。例如,每个挤出机可以包括由常规驱动电动机(未示出)驱动的挤出螺杆(未示出)。当聚合物前进通过挤出机650、652时,由于驱动电动机使挤出螺杆旋转,因此聚合物逐渐被加热至熔融状态。将热塑性聚合物加热至熔融状态可以在多个离散步骤中完成,当其通过挤出机650、652的离散加热区分别向两个熔喷模具660、662前进时,其温度逐渐升高。熔喷模具660、662可以是另一个加热区,其中热塑性树脂的温度保持在用于挤出的升高水平。

[0206] 每个熔喷模具660、662被构造使得每个模具的两股拉细气流汇聚从而形成单股气流,当线状物离开熔喷模具中的小孔或喷孔672时,该单股气流夹带并拉细熔融线状物。熔融线状物20被拉细成纤维,或者根据拉细的程度被拉细成小直径的微纤维,该小直径通常小于喷孔672的直径。因此,每个熔喷模具660、662具有相应的单股初级气流680、690,该初级气流680、690由包含夹带和拉细的聚合物纤维的气体构成。

[0207] 包含聚合物纤维的初级气流680、690被对准以使其在成形区700汇聚。此外,在成形区30将由单个纳米颗粒构成的第一流630添加到热塑性聚合物纤维或微纤维的两股初级气流680、690中。将单个纳米颗粒引入到纤维的两股初级气流680、690中被设计成在纤维的组合初级气流680、690内产生次级纤维材料32的分布。这可以通过在两股初级气流680、690

之间合并由单个纳米纤维构成的第一流630来实现,这使得所有三股气流以受控的方式汇聚。

[0208] 在第6,972,104号、第US8017534号和第US7772456号美国专利以及第US20200216979A1号美国专利申请中更详细地论述了可用于制造非织造材料的适当熔喷模具的实例,这些文献的全部公开内容通过引用整体并入本文。

[0209] 实施例1

[0210] 以卷的形式提供双组分纤维的微纤维基材,该微纤维基材具有由聚酯构成的内圆形部分和由HDPE构成的外同心部分。在卷到卷工艺中,用粘合剂喷涂基材,并沉积生物可溶性玻璃纤维的纳米纤维或纳米颗粒。然后在烘箱中加热该非织造制品,将冷却的非织造制品收集到另一个辊上。

[0211] 按照下面在图12-16中说明的过程沉积纳米颗粒。在实验中,使用生物可溶性玻璃纳米纤维。纳米纤维直径大约为700纳米,长度大约为500微米。在以下实施例中,使用由双组分纤维制成的梳理热风粘结非织造材料作为基材:

[0212] 在110fpm过滤速度下测试平板过滤介质样品。样品尺寸为12英寸×12英寸。使用0.3至10微米范围内的NaCl盐颗粒作为污染物。

[0213] 实施例2

[0214] 使用由3旦尼尔PET/PE双组分纤维制成的梳理非织造材料作为基材。使用包含水、2-己氧基乙醇、异丙醇胺、十二烷基苯磺酸钠、氧化月桂胺、氢氧化铵的组合物作为粘结剂。通过调整生产线速度来控制不同的纳米纤维添加量。

[0215] 表1

样品	gsm	纳米颗粒添加量, gsm	压降, "H <sub>2</sub> O	颗粒组			MERV 等级
				E1	E2	E3	
[0216] 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

[0217] 此实施例表明,通过控制纳米颗粒的添加量,MERV评级从MERV 7提高到最高MERV 13。

[0218] 实施例3

[0219] 使用具有5旦尼尔双组分纤维的高蓬松热风梳理非织造材料作为基材。在纳米纤维沉积之前稀释并喷洒典型的淀粉粘结剂。随着溶剂蒸发以及在红外加热器下干燥,淀粉充分粘结纳米纤维。

[0220] 表2

样品	压降, "H <sub>2</sub> O	颗粒组			MERV 等级
		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

[0221]

## [0222] 实施例4

[0223] 使用纺粘或熔喷介质作为基质,在IPA放电后,纳米颗粒被结合到如本文所述的基材中。纺粘纤维由熔融聚合物制成,该熔融聚合物被纺丝和拉伸以产生细丝。基材的平均基重为大约90gsm,平均厚度为大约0.57mm。使用不含任何纳米颗粒的基础样品。制备4个独立的样品,这些样品包含结合到如本文所述的基材中的纳米颗粒。在样品2中,在IPA放电后,纳米颗粒被结合到熔喷纤维中。在样品1、3和4中,在IPA放电后,纳米颗粒被结合到纺粘纤维中。这个测试的结果如下表3所示。

## [0224] 表3

[0225]

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
1	CAB81 (纺粘)	0.41	96%	100%	100%	16
2	CAB81 (熔喷)	0.24	75%	98%	100%	14
3	CAB81 (纺粘)	0.40	92%	100%	100%	15
4	CAB81 (纺粘)	0.17	48%	87%	99%	12
基础	CAB81 (纺粘)	0.07	9%	46%	90%	9

[0226] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,结合有纳米颗粒的过滤介质样品的效率均高于基础样品,E2和E3颗粒组的效率显著提高。采用纳米颗粒时,样品的总体MERV等级从MERV 7 (基础样品) 提高到MERV 12至MERV 16。不含纳米颗粒的基础样品具有0.07英寸水柱的压降。样品1-4具有0.17至0.41英寸水柱范围内的略微增加的压降。在纳米颗粒被结合到熔喷纤维中的样品2中,MERV等级为14,压降为0.24英寸水柱。

## [0227] 实施例5

[0228] 使用5旦尼尔热风梳理纤维作为基材。使用未结合纳米颗粒的基础样品。制备2个独立的样品,这些样品包含结合到如本文所述的基材中的纳米颗粒。这个测试的结果如下表4所示。

## [0229] 表4

[0230]

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基础	5D纤维梳理	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D纤维梳理	0.31	57%	90%	98%	13
2	5D纤维梳理	0.33	61%	92%	98%	13

[0231] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,结合有纳米颗粒的过滤介质样品的效率显著高于基础样品。采用纳米颗粒时,样品的总体MERV等级从MERV 6(基础样品)提高到MERV 13。不含纳米颗粒的基础样品具有0.03英寸水柱的压降。样品1具有0.31至0.33英寸水柱范围内的略微增加的压降。

[0232] 实施例6

[0233] 使用熔喷纤维作为基材。基材的平均基重大约为24gsm,平均厚度大约为0.4mm。使用不含纳米颗粒或粘合剂(例如PVOH)的基础样品。样品1包含带(belt)朝向上的熔喷纤维。PVOH被喷涂到纤维上,但是纳米颗粒没有结合到其中,样品2包含绒毛(fuzzy)侧向上的熔喷纤维。PVOH被喷涂到纤维上,但是纳米颗粒没有结合到其中。样品3包含熔喷纤维,在其上喷涂有PVOH,并且纳米颗粒如本文所述地结合到纤维中。这个测试的结果如下表5所示。

[0234] 表5

[0235]

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基础	熔喷	0.35	82%	96%	99%	14
1	熔喷	0.38	68%	88%	93%	13
2	熔喷	0.41	78%	95%	97%	14
3	熔喷	1.02	92%	99%	99%	15

[0236] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,尤其是在E1颗粒组中,结合有纳米颗粒的样品3的效率高于其它三个基础样品。采用纳米颗粒时,样品3的总体MERV等级从MERV 13或14(基础样品)提高到MERV 15。添加到样品2和3中的PVOH没有显著增加压降(即,在基础样品中为0.35,在样品1和2中为0.38和0.41)。样品3的压降从大约0.40英寸水柱增加到大约1英寸水柱。在纳米颗粒被结合到熔喷纤维中的样品3中,MERV等级为15,压降为1.02英寸水柱。

[0237] 实施例7

[0238] 使用5旦尼尔热风梳理纤维作为基材。使用未结合纳米颗粒的基础样品。制备另外的七个样品,这些样品包含5旦尼尔梳理纤维,其中纳米颗粒结合到如本文所述的基材中。这个测试的结果如下表6所示。

[0239] 表6

[0240]

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基础	5D 纤维梳理	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D 纤维梳理	0.07	7%	31%	69%	7
2	5D 纤维梳理	0.09	5%	36%	69%	7
3	5D 纤维梳理	0.15	16%	51%	77%	9
4	5D 纤维梳理	0.16	21%	58%	81%	10
5	5D 纤维梳理	0.17	31%	70%	90%	11

[0241]	6	5D 纤维梳理	0.28	46%	85%	96%	12
	7	5D 纤维梳理	0.32	58%	91%	97%	13

[0242] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,尤其是在E2和E3颗粒组中,七个结合有纳米颗粒的样品的效率都高于基础样品。采用纳米颗粒时,总体MERV等级从MERV 6(基础样品)提高到MERV 7至MERV 13。压降仅从0.03英寸水柱增大到最大0.32英寸水柱。

[0243] 实施例8

[0244] 使用高蓬松纺粘纤维作为连续纤维生产线中的基材。这项试验包括两个不同的版本:205-6和205-2,其中对连续纤维生产线改变设置,以产生具有不同重量和厚度的两种基材。对于每个版本(205-6和205-2),使用没有结合纳米颗粒的基础样品。制备另外的六个样品,这些样品包含205-6和205-2纤维,其中纳米颗粒结合到如本文所述的基材中。这个测试的结果如下表7所示。

[0245] 表7

[0246]	样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
	基础	205-6	0.04	0%	9%	43%	6
	基础	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

[0247] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,六个结合有纳米颗粒的样品的效率表现得显著高于基础样品。采用纳米颗粒时,总体MERV等级从MERV 6(基础样品)提高到MERV 11至MERV 14。压降仅从0.04英寸水柱增大到最大0.87英寸水柱。205-2样品中的压降仅增加到0.48英寸水柱的最大值。

[0248] 实施例9

[0249] 使用纺粘和熔喷纤维作为基材。纺粘纤维基材的平均基重大约为70gsm,熔喷纤维基材的平均基重大约为24gsm。基材的平均厚度大约为0.75mm。使用未结合纳米颗粒的基础样品。制备了另外五个样品,包括纺粘加熔喷纤维,其中纳米颗粒如本文所述进入纤维中。在样品1-3中,纳米颗粒被喷涂到熔喷纤维上。在样品4和5中,纳米颗粒被喷涂到纺粘纤维上。此外,在样品1和2中,粘合剂PVOH未被喷涂到基材上。PVOH被喷涂到样品3-5上。这个测试的结果如下表8所示。

[0250] 表8

[0251]	样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
	基础	纺粘+MB	0.07	2%	17%	29%	5
	1	纺粘+MB	0.41	100%	100%	100%	16
	2	纺粘+MB	0.56	100%	100%	100%	16

3	纺粘+MB	0.26	99%	100%	100%	16
4	纺粘+MB	0.4	100%	100%	100%	16
5	纺粘+MB	0.17	97%	100%	100%	16

[0252] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,五个结合有纳米颗粒的样品的效率表现得显著高于基础样品。采用纳米颗粒时,总体MERV等级从MERV 5(基础样品)提高到MERV 16。压降仅从0.07英寸水柱增大到最大0.56英寸水柱。在样品3-5中(PVOH被喷涂到基材上),压降仅增加到0.4英寸水柱最大值。

[0253] 实施例10

[0254] 使用5旦尼尔热风梳理玻璃纤维作为基材。使用未结合纳米颗粒的基础样品。制备了另外三个样品,包括其中结合有纳米颗粒的5旦尼尔梳理玻璃纤维。这个测试的结果如下表9所示。

[0255] 表9

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基础	5D纤维梳理	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D纤维梳理	0.27	59%	91%	99%	13
2	5D纤维梳理	0.18	45%	83%	98%	12
3	5D纤维梳理	0.24	54%	89%	99%	13

[0257] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,三个结合有纳米颗粒的样品的效率表现得显著高于基础样品。采用纳米颗粒时,总体MERV等级从MERV 6(基础样品)提高到MERV 12或MERV 13。压降仅从0.03英寸水柱增大到最大0.27英寸水柱。

[0258] 实施例11

[0259] 使用5旦尼尔和7旦尼尔热风梳理玻璃纤维的纤维混合物作为基材。介质是热风粘结的。使用未结合纳米颗粒的基础样品。制备了19个附加的样品,这些样品包含5旦尼尔和7旦尼尔梳理玻璃纤维的纤维混合物,在其中结合有纳米颗粒。这个测试的结果如下表10所示。

[0260] 表10

样品号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基础	5D/7D 梳理	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D/7D 梳理	0.15	37%	64%	95%	10
2	5D/7D 梳理	0.21	33%	70%	92%	11
[0261] 3	5D/7D 梳理	0.17	42%	80%	98%	11
4	5D/7D 梳理	0.25	47%	82%	96%	12
5	5D/7D 梳理	0.20	48%	84%	98%	12
6	5D/7D 梳理	0.22	49%	84%	98%	12
7	5D/7D 梳理	0.23	53%	85%	97%	13
8	5D/7D 梳理	0.23	53%	87%	98%	13
9	5D/7D 梳理	0.23	54%	88%	98%	13
10	5D/7D 梳理	0.27	54%	88%	98%	13
11	5D/7D 梳理	0.28	54%	87%	98%	13
12	5D/7D 梳理	0.24	56%	89%	98%	13
13	5D/7D 梳理	0.26	56%	88%	98%	13
[0262] 14	5D/7D 梳理	0.25	57%	90%	98%	13
15	5D/7D 梳理	0.27	57%	89%	98%	13
16	5D/7D 梳理	0.28	57%	89%	98%	13
17	5D/7D 梳理	0.28	58%	90%	98%	13
18	5D/7D 梳理	0.30	58%	90%	98%	13
19	5D/7D 梳理	0.29	59%	89%	98%	13
20	5D/7D 梳理	0.31	65%	94%	99%	13

[0263] 如上文所示,在所有三个颗粒组中,所有19个结合有纳米颗粒的样品的效率表现得显著高于基础样品。采用纳米颗粒时,总体MERV评级从MERV 6(基础样品)提高到MERV 10至MERV 13(大多数样品的评级为MERV 13)。压降仅从0.03英寸水柱增大到最大0.31英寸水柱。

[0264] 虽然装置、系统和方法在本文中是按照其某些优选实施方式详细说明书的,但是本

领域技术人员能够在其中做出许多修改和变化。因此,前面的说明不应被解释为受其限制,而应被解释为包括上述的明显变化,并且仅受下面的权利要求的精神和范围的限制。

[0265] 例如,在第一方面中,第一实施方式是一种连续生产纤维材料的方法。该方法包括将包含纤维材料的基材从上游端推进到下游端;将纳米纤维组馈送到流体介质中,将纳米纤维组在流体介质中转化成纳米颗粒,其中所述纳米颗粒具有至少一个小于1微米的尺寸,并且将单个纳米颗粒分散到上游端与下游端之间的基材中以形成制品。

[0266] 第二实施方式是第一实施方式,并且还包括在流体介质中以大约500至大约10000英尺/分钟(fpm)的速度推进纳米纤维簇。

[0267] 第三实施方式是第二实施方式,其中所述速度为大约2000fpm至大约6000fpm。

[0268] 第四实施方式是前三个实施方式的任何组合,其中所述纳米颗粒被以大约0.1克/平方米至大约10克/平方米的比率分散到基材中。

[0269] 第五实施方式是第四实施方式,其中所述比率为至少大约2.0克/平方米。

[0270] 第六实施方式是前五个实施方式的任何组合,其中所述基材以大约0.05至1.0米/秒的速率前进。

[0271] 第七实施方式是前六个实施方式的任何组合,还包括将纳米颗粒分散到基材的第一表面上,使得纳米颗粒至少穿透基材的第一表面。

[0272] 第八实施方式是前七个实施方式的任何组合,其中所述基材具有从第一表面到与第一表面相对的第二表面的厚度,所述方法还包括将纳米颗粒分散在基材内的从第一表面到第二表面的至少25%厚度范围内。

[0273] 第九实施方式是第八实施方式,还包括将纳米颗粒分散在基材内的从第一表面到第二表面的至少50%厚度范围内。

[0274] 第十实施方式是前九个实施方式的任何组合,其中所述单个纳米颗粒基本上被结合到整个基材中以形成复合材料。

[0275] 第十一实施方式是前十个实施方式的任何组合,还包括使单个纳米颗粒从基材的第一表面到相对的第二表面分散。

[0276] 第十二实施方式是前十一个实施方式的任何组合,其中所述纳米颗粒从基材的第一表面向相对的第二表面形成密度梯度。

[0277] 第十三实施方式是前十二个实施方式的任何组合,还包括将纳米纤维的大簇机械地分离成纳米纤维组。

[0278] 第十四实施方式是前十三个实施方式的任何组合,还包括向纳米纤维组施加负压,以将纳米纤维组吸入压缩空气流中。

[0279] 第十五实施方式是第十四实施方式,还包括将纳米纤维组推靠在表面上,以将纳米纤维组的至少一部分破碎成单个纳米纤维。

[0280] 第十六实施方式是第十五实施方式,还包括从纳米纤维组中分离单个纳米纤维。

[0281] 第十七实施方式是第十六实施方式,还包括将纳米纤维组和单个纳米颗粒推进到腔室中,以在腔室内产生涡流,并向腔室施加负压,以将纳米纤维组从单个纳米颗粒吸走。

[0282] 第十八实施方式是前十七个实施方式的任何组合,还包括将单个纳米颗粒喷涂到基材的第一表面上。

[0283] 第十九实施方式是前十八个实施方式的任何组合,还包括对基材的与第一表面相

对的第二表面施加吸力,以穿过基材抽吸单个纳米颗粒。

[0284] 第二十实施方式是前十九个实施方式的任何组合,还包括将粘合剂施加到基材内的纤维材料上。

[0285] 第二十一实施方式是前二十个实施方式的任何组合,还包括加热基材以将纤维材料粘结到单个纳米颗粒上。

[0286] 第二十二实施方式是前二十一个实施方式的任何组合,还包括将所述材料转化成过滤器。

[0287] 在第二十三实施方式中,提供了一种通过第一实施方式和/或前二十二个实施方式的任何组合的方法形成的纤维材料。

[0288] 在第二十四实施方式中,提供了一种通过第一实施方式和/或前二十二个实施方式的任何组合的方法形成的过滤介质。

[0289] 在另一个方面中,第一实施方式是一种用于连续生产纤维材料的系统。该系统包括用于将包含纤维材料的基材从上游端推进到下游端的输送机;用于将纳米纤维组馈送到流体介质中的进料器;耦接至进料器并被配置成将纳米纤维组转化成纳米颗粒的纤维化装置,其中所述纳米颗粒具有至少一个小于1微米的尺寸;以及耦接至纤维化装置的用于将纳米颗粒分散到基材中以形成制品的分散装置。

[0290] 第二实施方式是第一实施方式,其中所述纤维化装置被配置成在流体介质中以大约500英尺/分钟(fpm)至大约10000fpm的速度推进纳米纤维组。

[0291] 第三实施方式是第二实施方式,其中所述速度为大约2000fpm至大约6000fpm。

[0292] 第四实施方式是前三个实施方式的任何组合,其中所述纳米颗粒被以大约0.1克/平方米至大约10克/平方米的比率分散到基材中。

[0293] 第五实施方式是前四个实施方式的任何组合,其中所述比率为至少大约2.0克/平方米。

[0294] 第六实施方式是前五个实施方式的任何组合,其中所述输送机被配置成以大约0.05至1米/秒的速率推进基材。

[0295] 第七实施方式是前六个实施方式的任何组合,其中所述分散装置包括喷嘴,该喷嘴被配置成将纳米颗粒分散到基材的第一表面上,使得纳米颗粒至少穿透基材的第一表面。

[0296] 第八实施方式是前七个实施方式的任何组合,其中所述基材具有从第一表面到与第一表面相对的第二表面的厚度,其中所述喷嘴将纳米颗粒分散在基材内的从第一表面到第二表面的至少25%宽度范围内。

[0297] 第九实施方式是前八个实施方式的任何组合,其中所述喷嘴将纳米颗粒分散在基材内的从第一表面到第二表面的至少50%厚度范围内。

[0298] 第十实施方式是前九个实施方式的任何组合,其中所述纳米颗粒基本上被结合到整个基材中以形成复合材料。

[0299] 第十一实施方式是前十个实施方式的任何组合,其中所述喷嘴使单个纳米颗粒从基材的第一表面到相对的第二表面分散。

[0300] 第十二实施方式是前十一个实施方式的任何组合,还包括分离器,该分离器耦接至进料器,并被配置成将纳米纤维的大簇机械地分离成纳米纤维组。

[0301] 第十三实施方式是前十二个实施方式的任何组合,其中所述纤维化装置包括压缩空气源和泵,其中所述泵被配置成以足以将纳米纤维组的至少一部分破碎成单个纳米颗粒的速度将纳米纤维组和压缩空气推向表面。

[0302] 第十四实施方式是前三个实施方式的任何组合,其中所述泵包括喷射器,该喷射器被配置成产生负压,以从分离器抽吸纳米纤维组。

[0303] 第十五实施方式是前四个实施方式的任何组合,还包括具有与泵流体耦接的内部腔室的反应器,其中该反应器被配置成从纳米纤维簇分离出单个纳米颗粒。

[0304] 第十六实施方式是前十五个实施方式的任何组合,其中所述反应器的内部腔室包括一个或更多个耦接至所述泵的入口,并且其中所述泵被配置成以在反应器内产生涡流的速度矢量推动单个纤维和纳米纤维簇通过所述入口。

[0305] 第十七实施方式是前十六个实施方式的任何组合,其中所述内部腔室包括位于内部腔室的与所述一个或更多个入口相对的端部的一个或更多个出口,所述系统还包括第二泵,该第二泵耦接至所述出口,并被配置成向所述腔室施加负压,以通过所述出口抽吸纳米纤维组。

[0306] 第十八实施方式是前十七个实施方式的任何组合,还包括用于将粘合剂分散到基材中的纤维材料上的涂布装置。

[0307] 第十九实施方式是前十八个实施方式的任何组合,其中所述涂布装置包括喷涂装置,该喷涂装置具有邻近进料器的上游端的出口和分散装置。

[0308] 第二十实施方式是前十九个实施方式的任何组合,其中所述输送机包括第一和第二相对表面,其中所述基材沿着第一表面前进,其中所述系统还包括邻近第二表面的负压源。

[0309] 第二十一实施方式是前二十个实施方式的任何组合,还包括在纤维化装置与进料器的下游端之间布置在输送机附近的烘干机,该烘干机用于加热纳米颗粒和纤维。

[0310] 第二十二实施方式是前二十一个实施方式的任何组合,其中所述制品包含过滤介质。

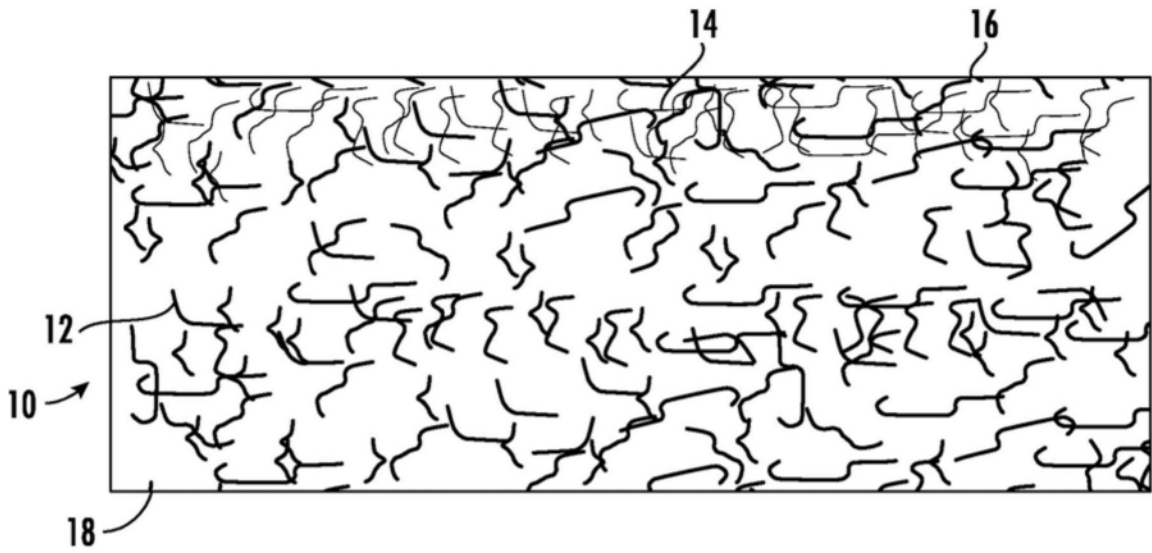


图1

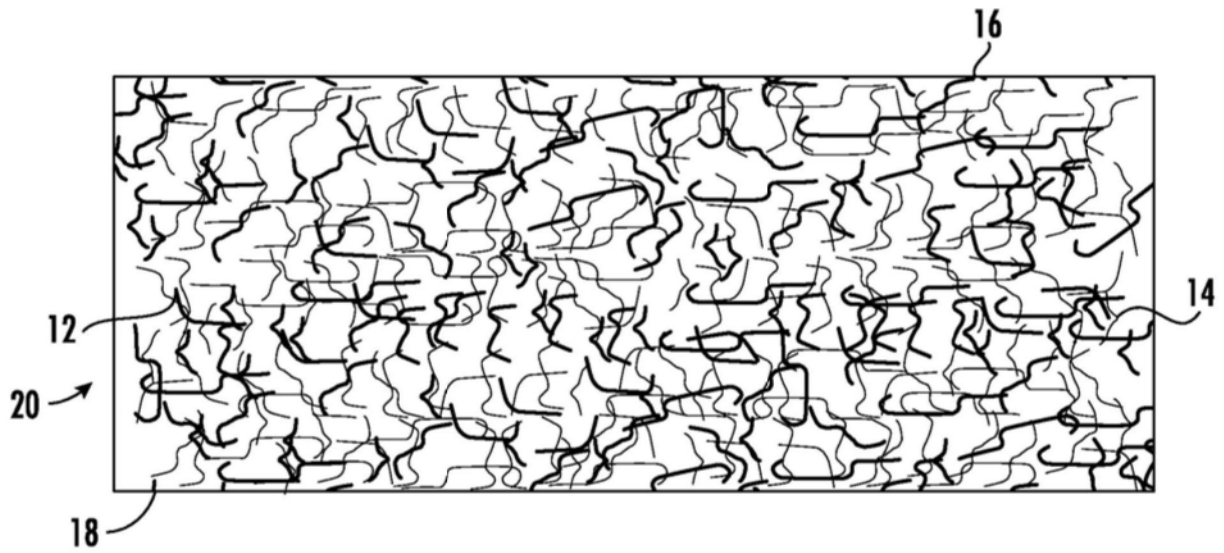


图2

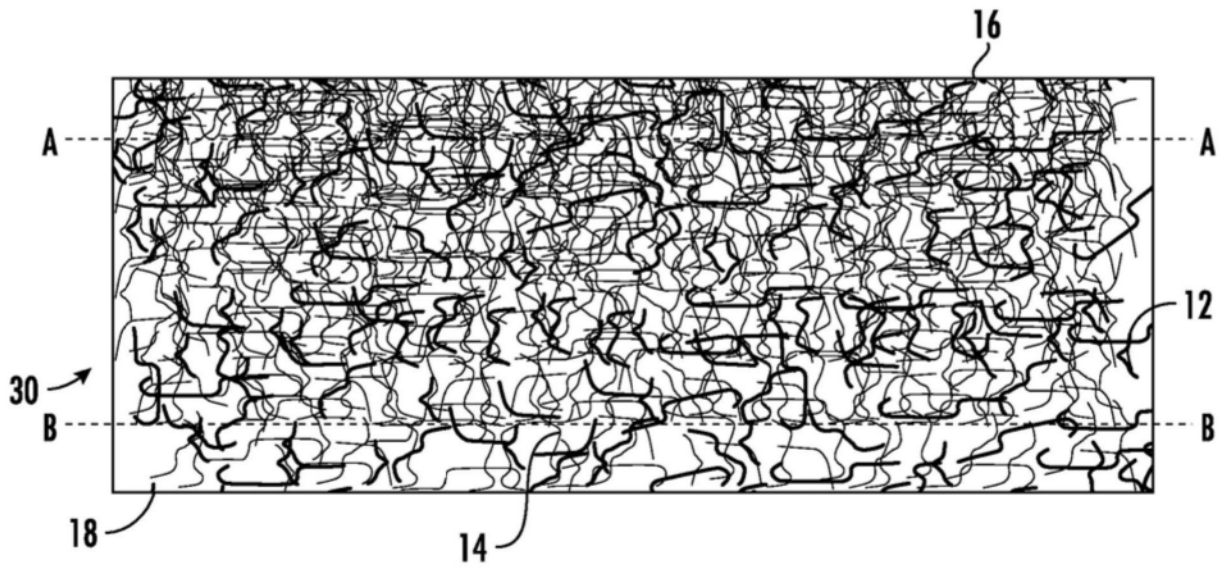


图3

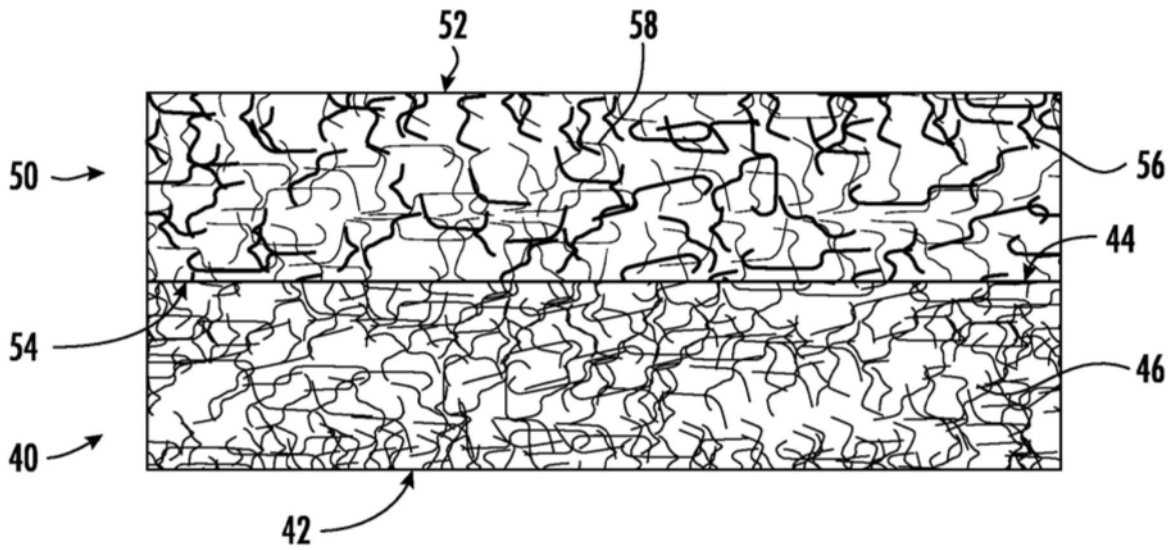


图4

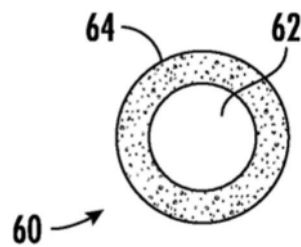


图5A

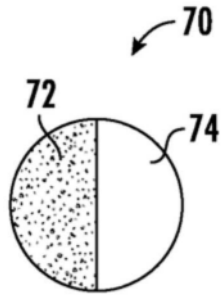


图5B

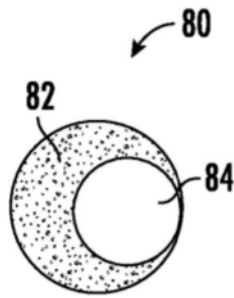


图5C

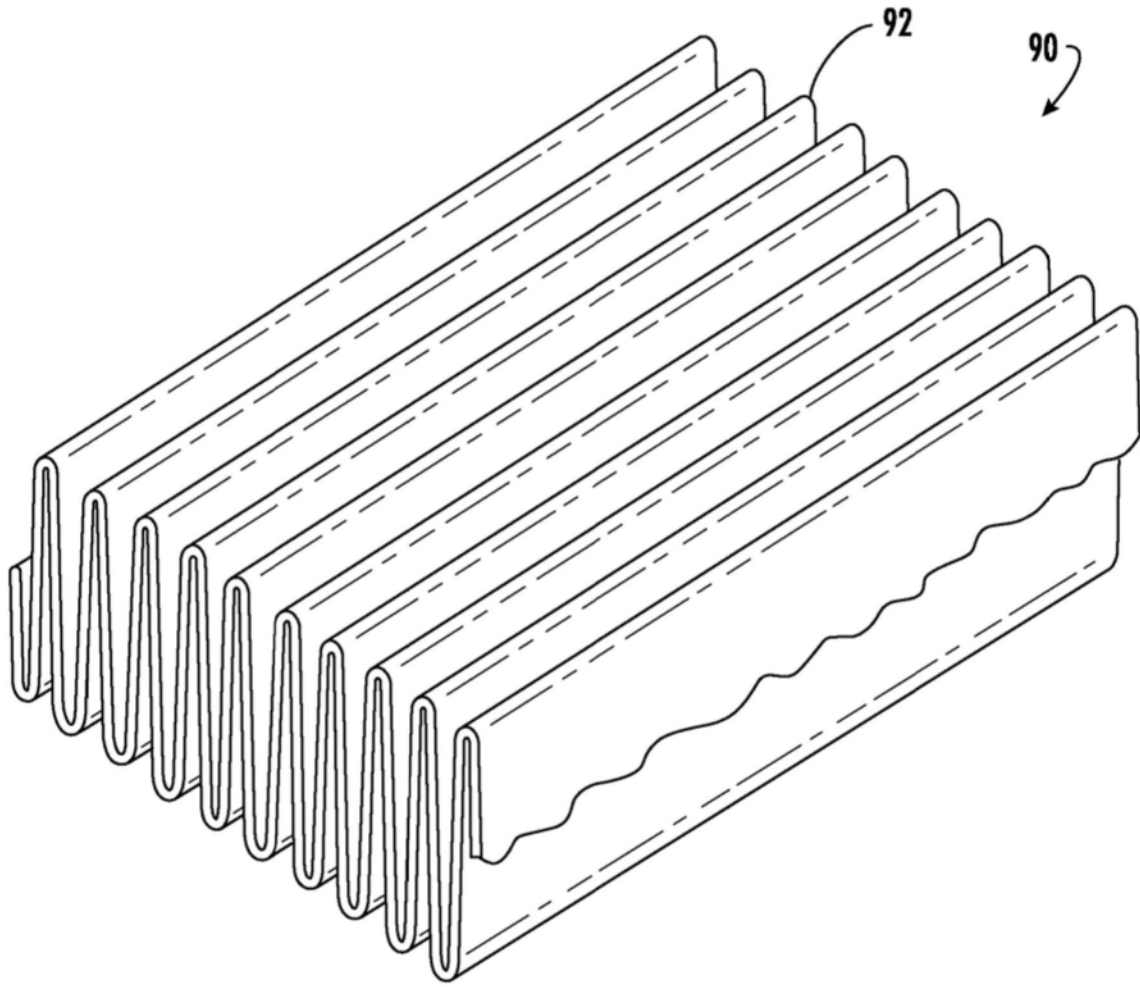


图6

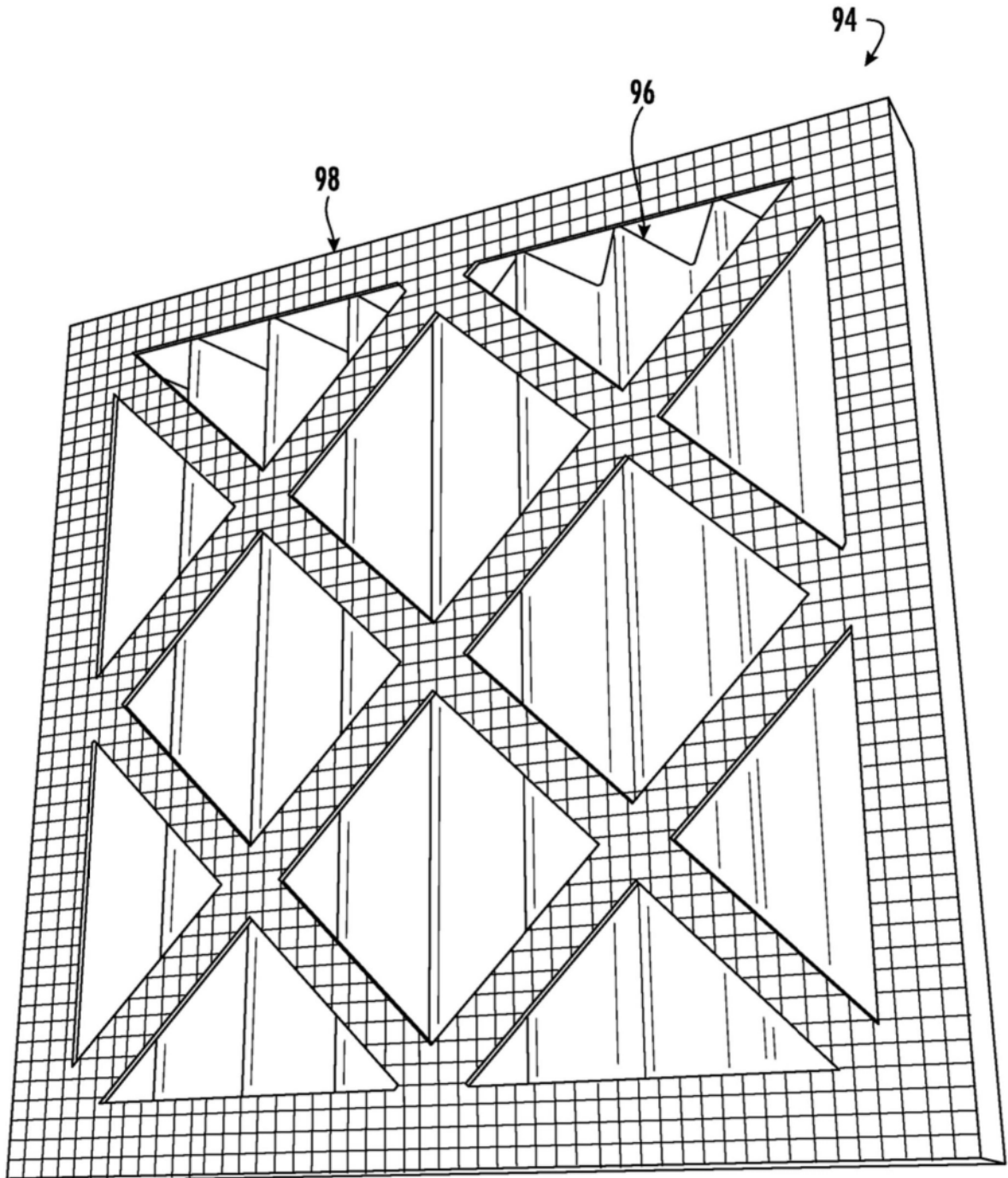


图7

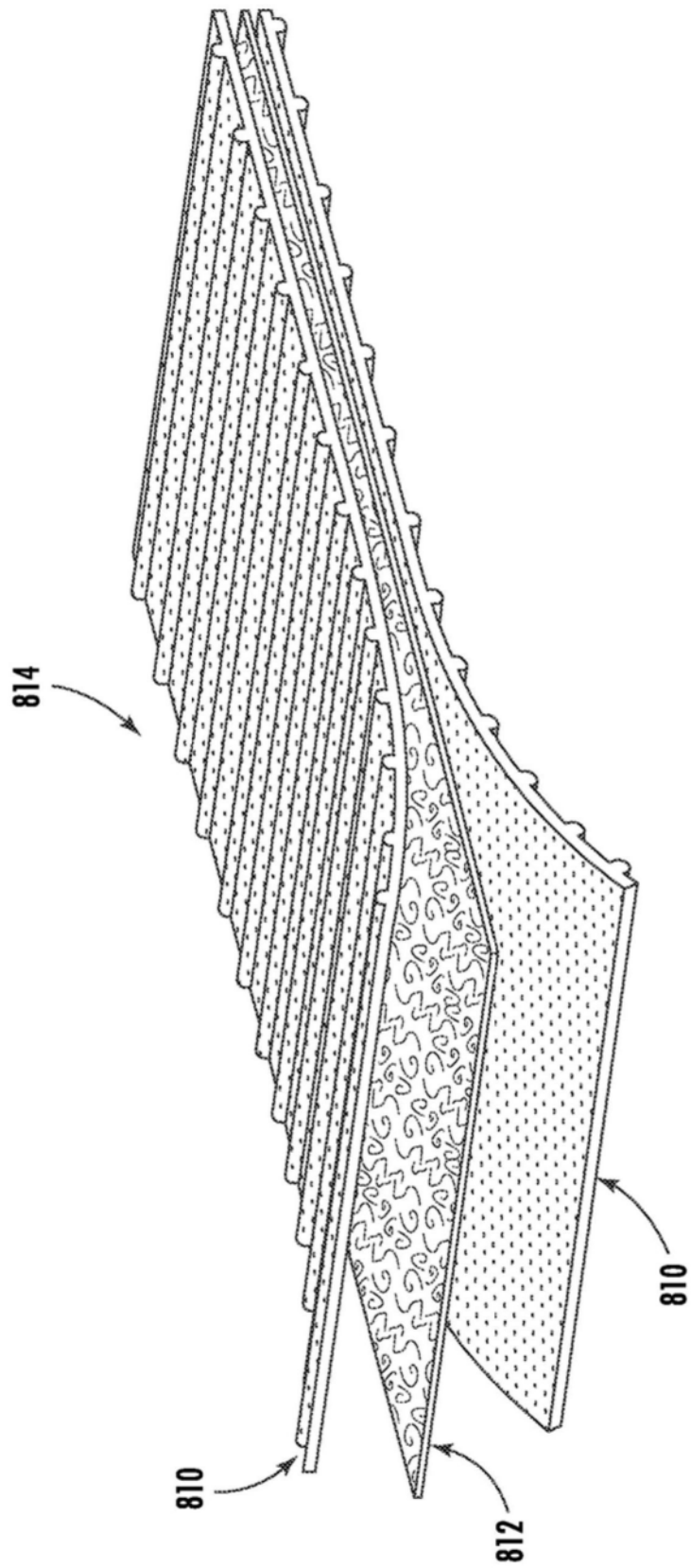


图8

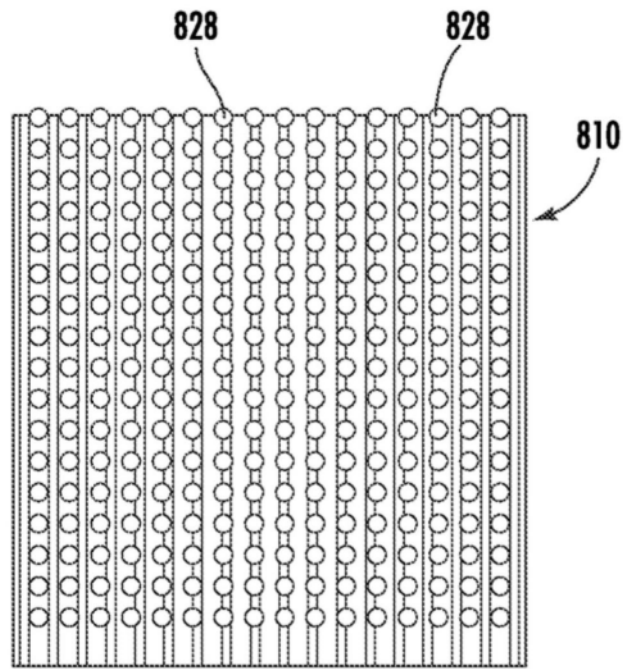


图9A

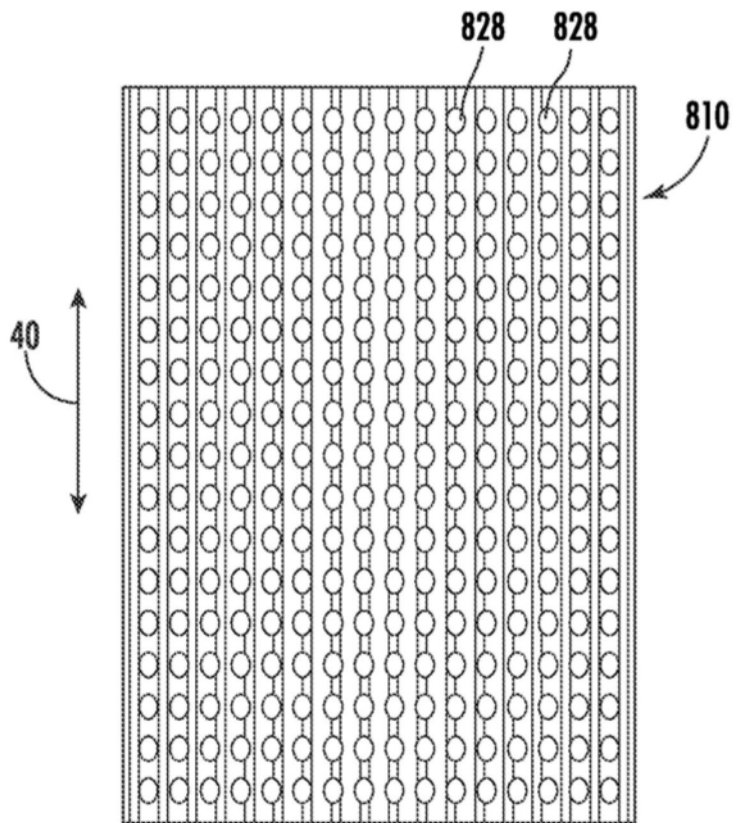


图9B

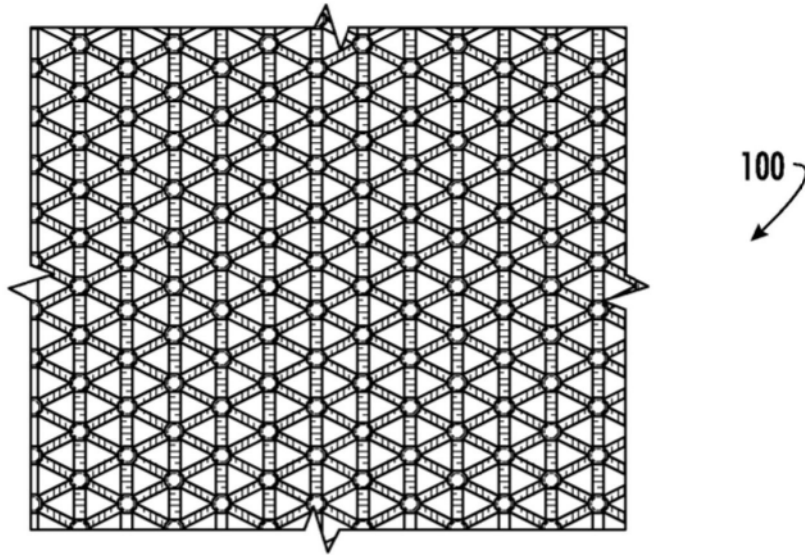


图10A

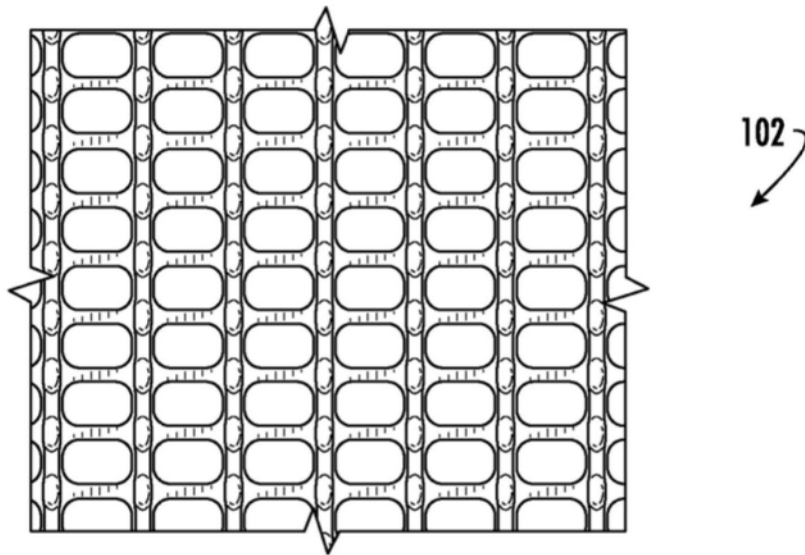


图10B

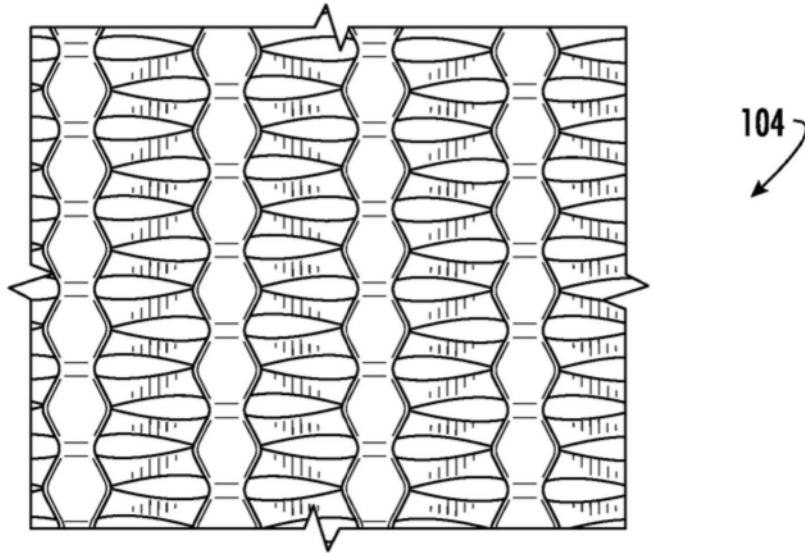


图10C

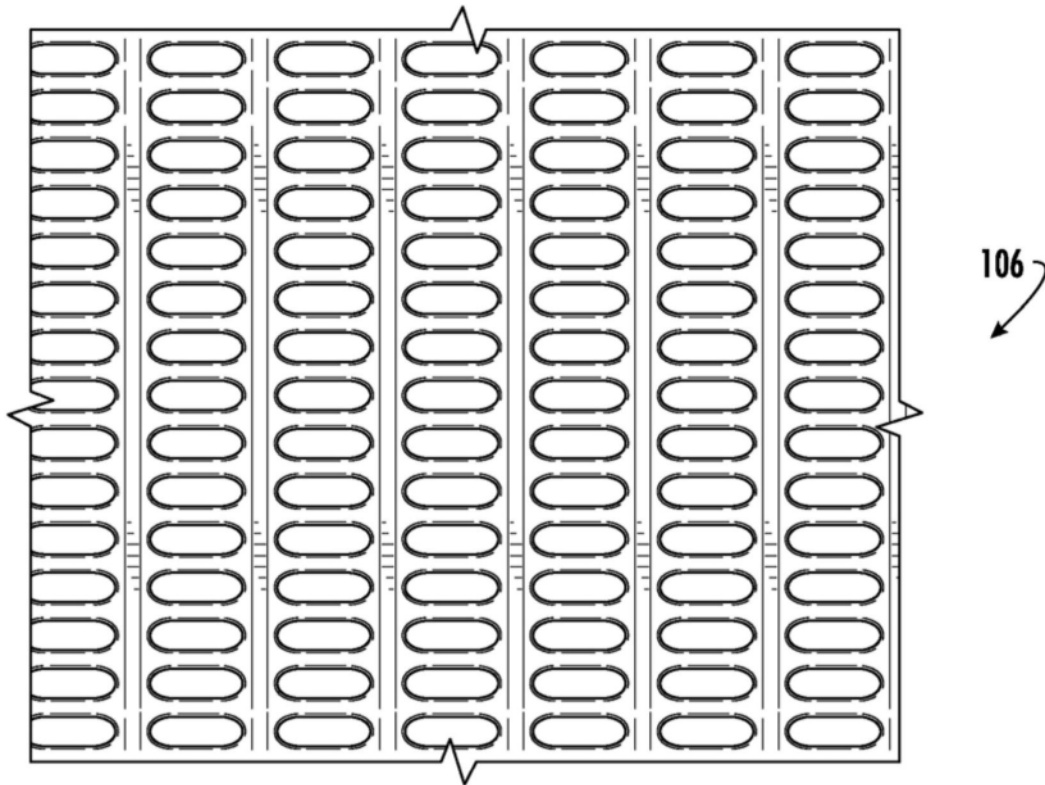


图10D

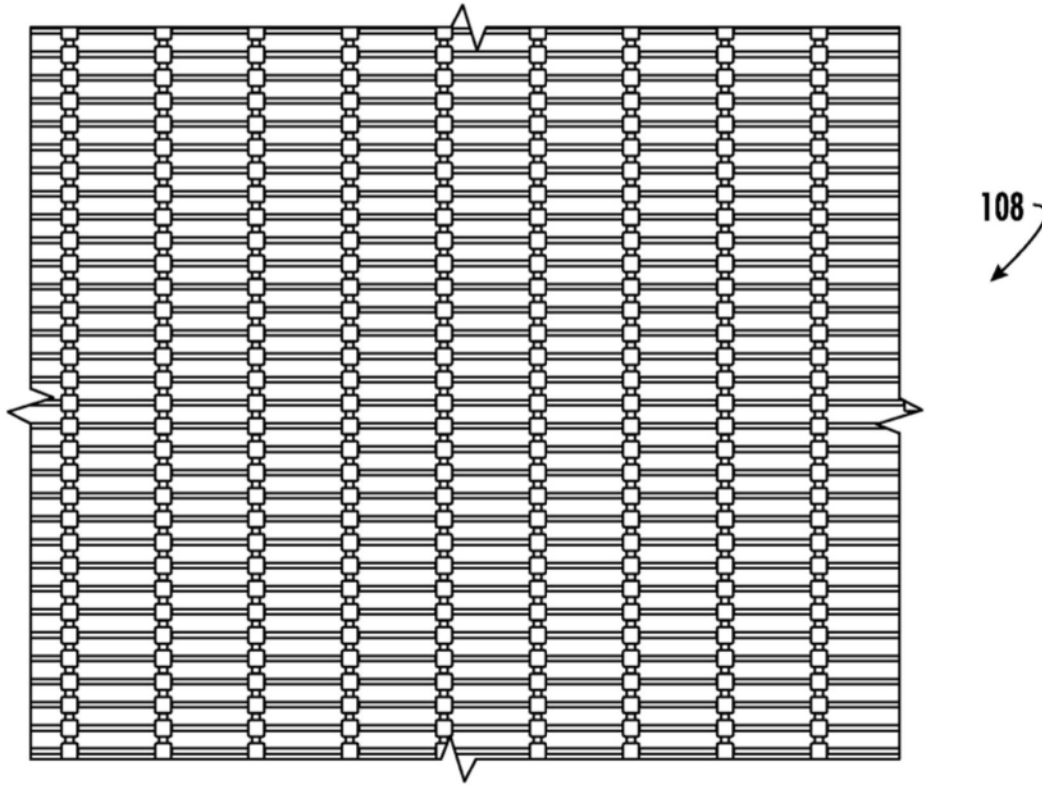


图10E

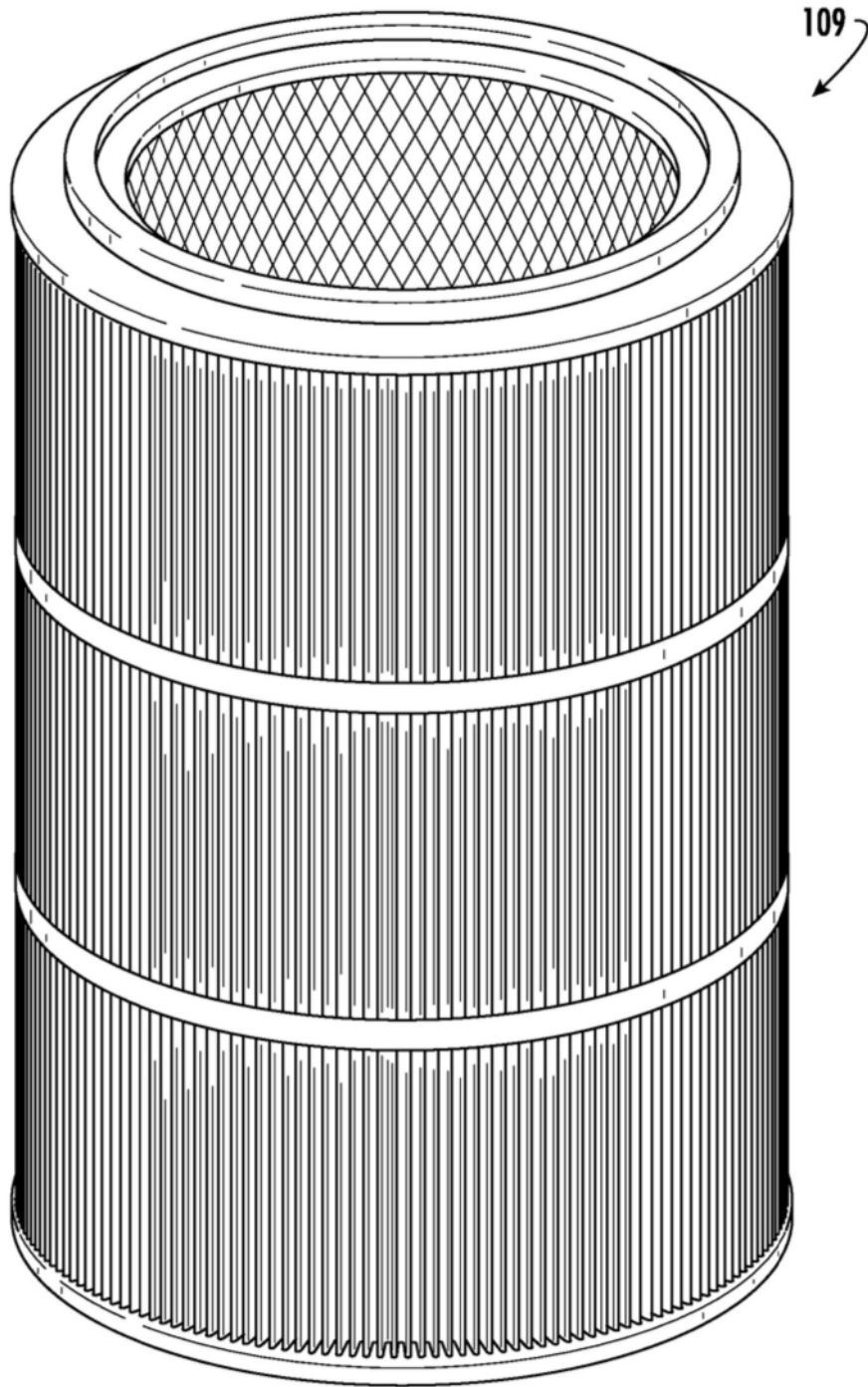


图11

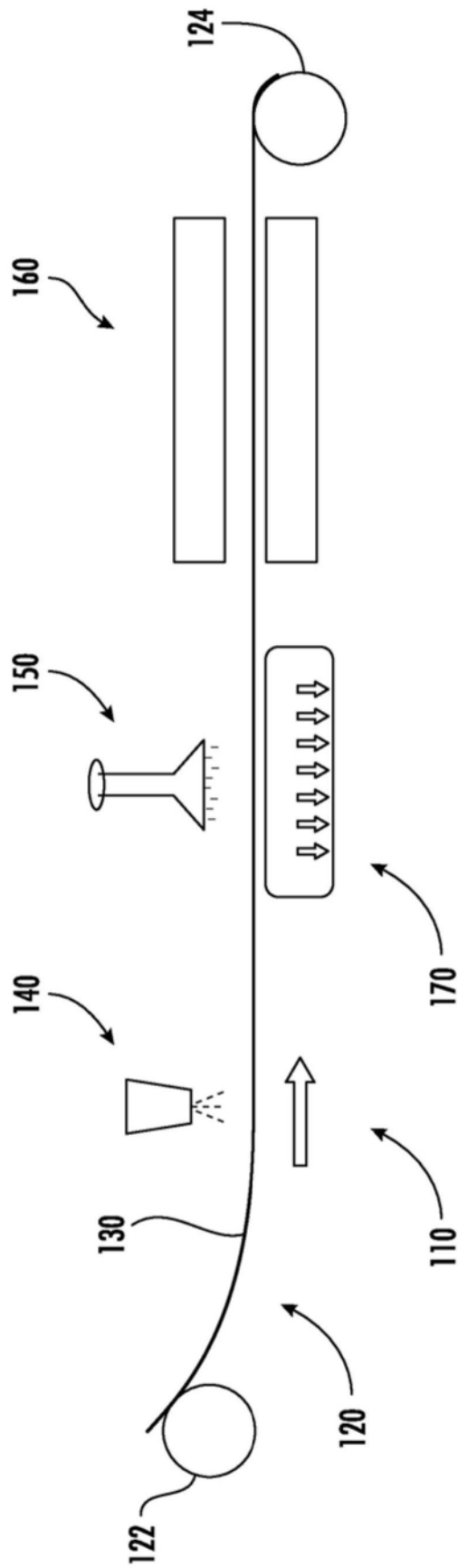


图12

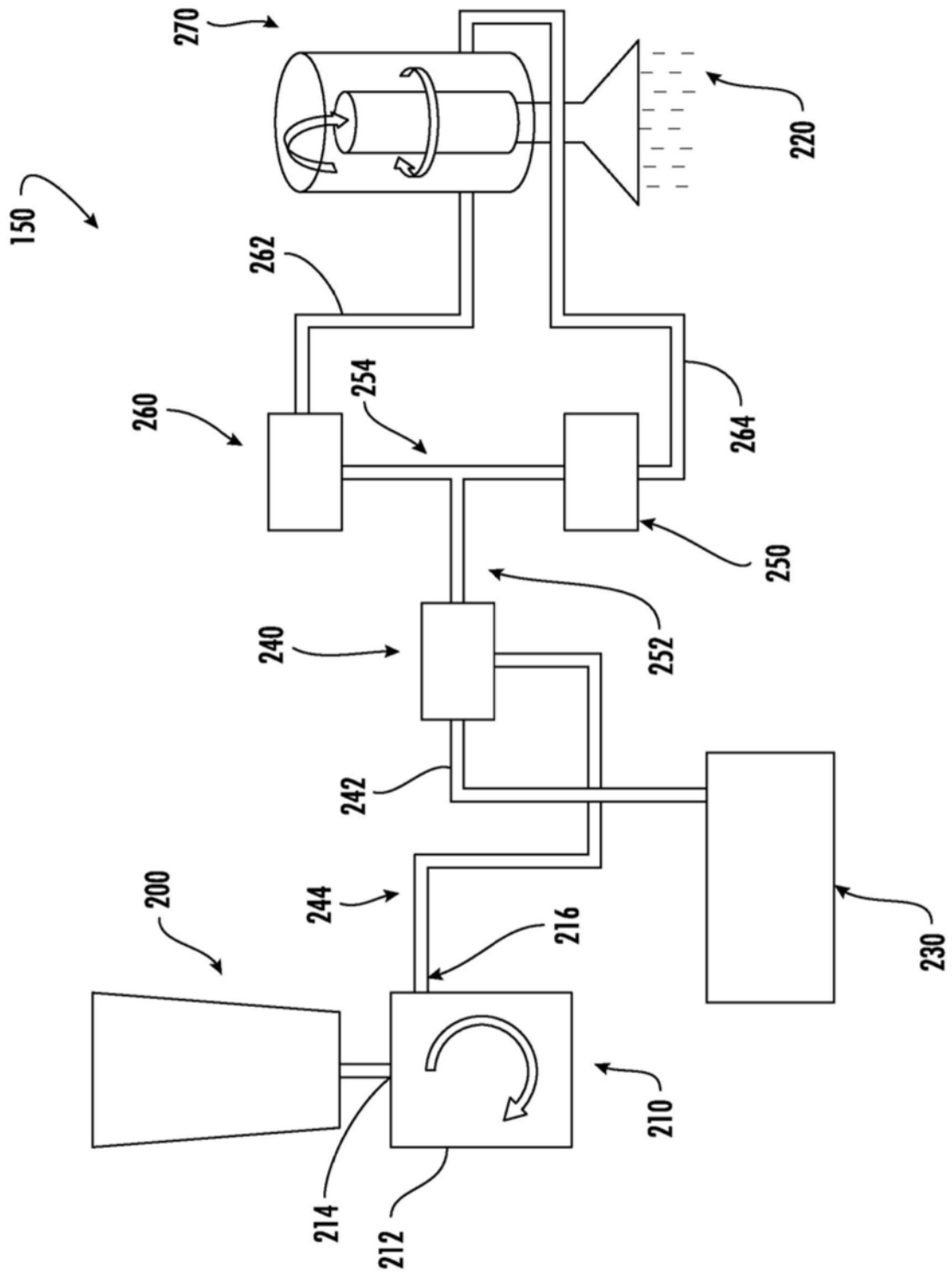


图13

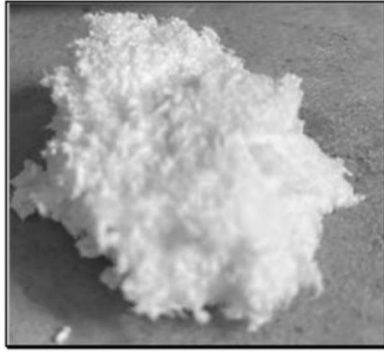


图14A



图14B

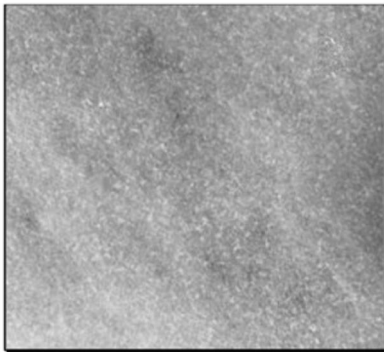


图14C

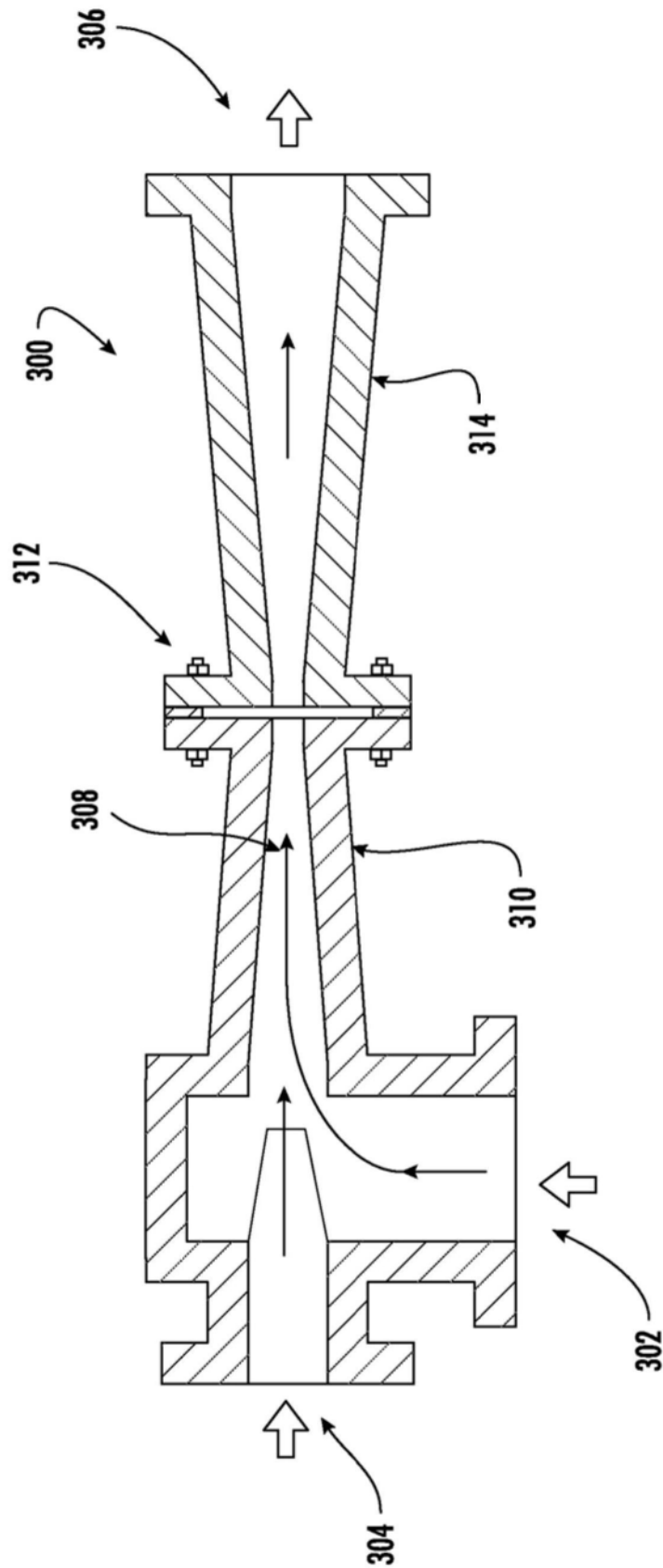


图15

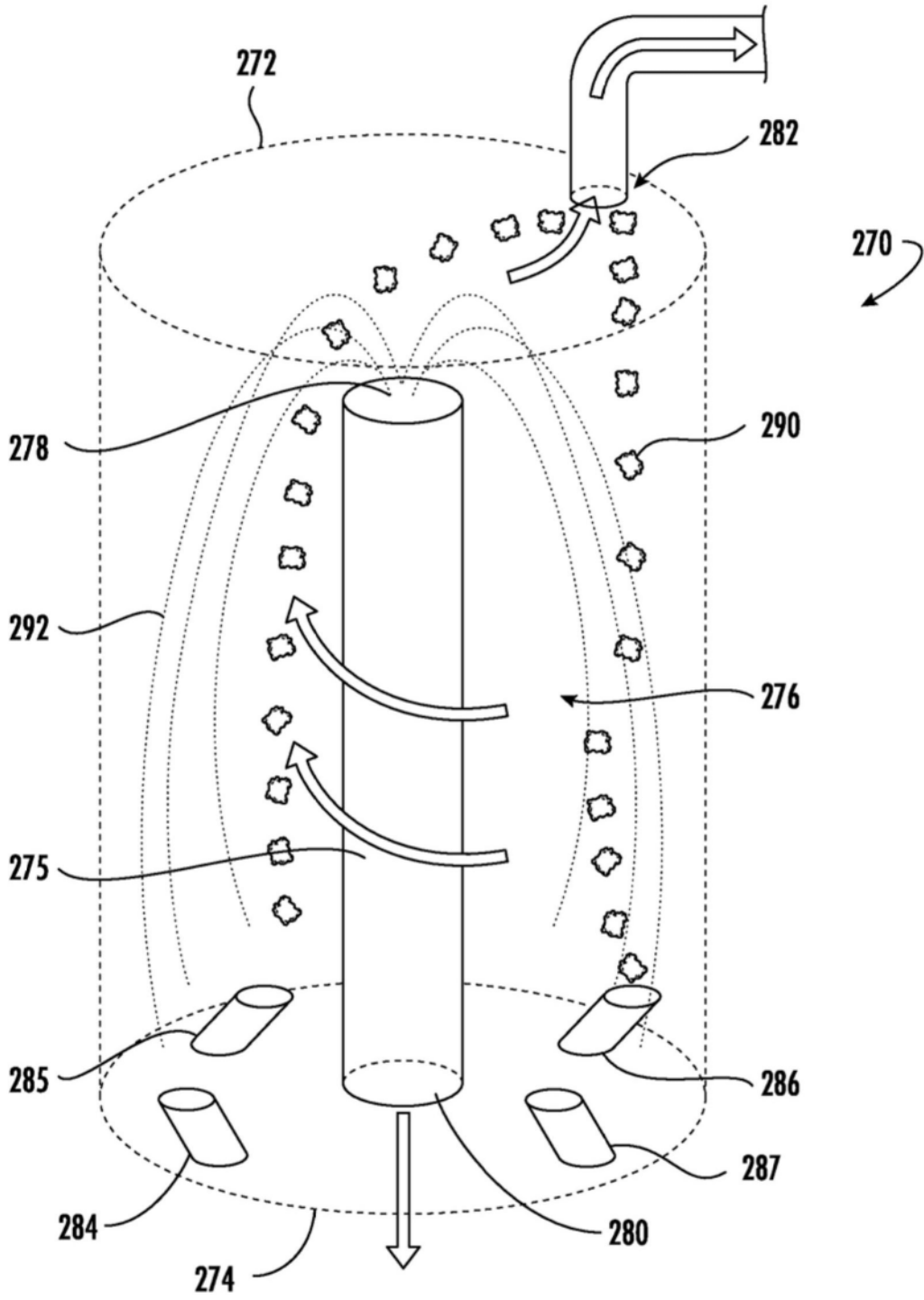


图16

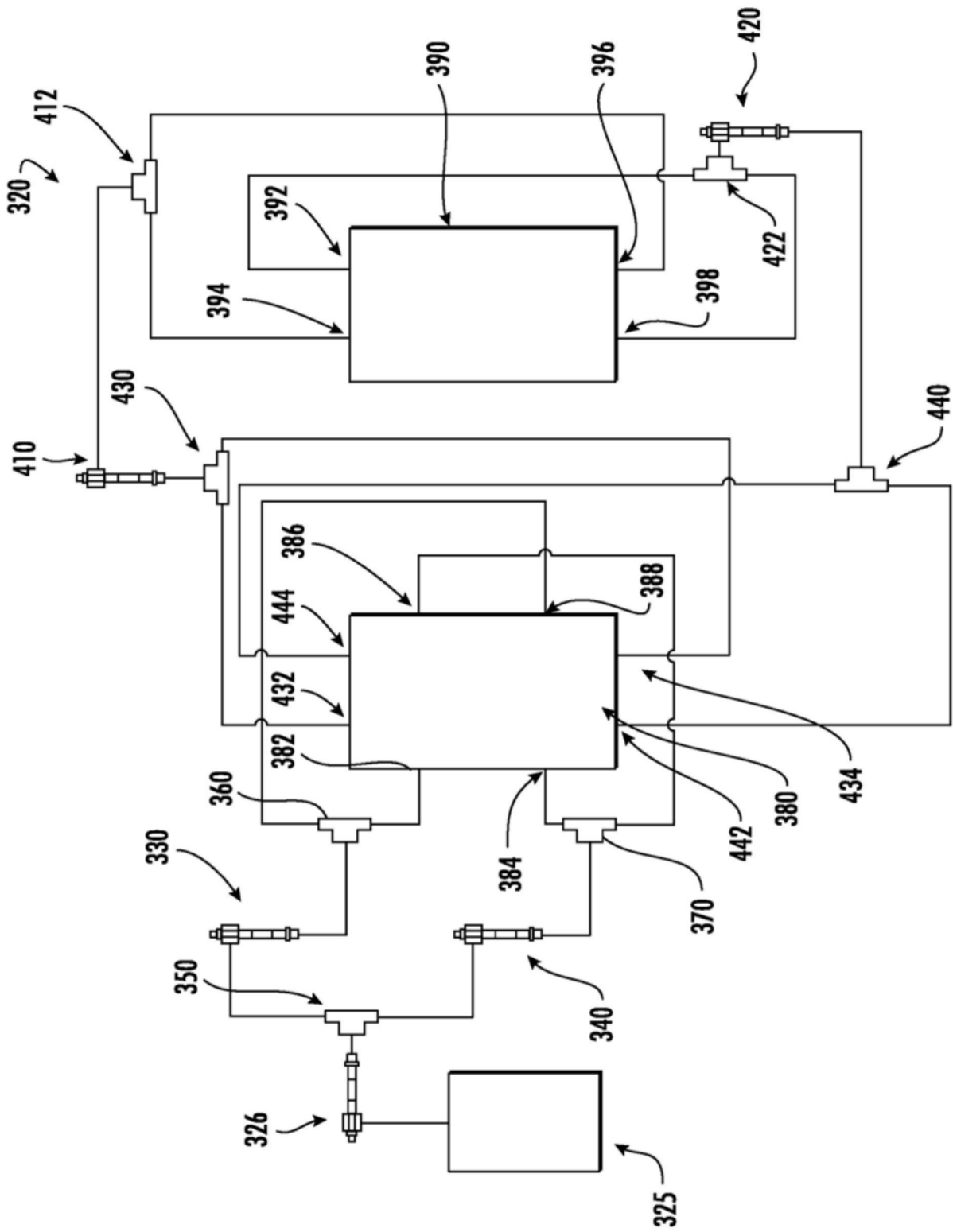


图17

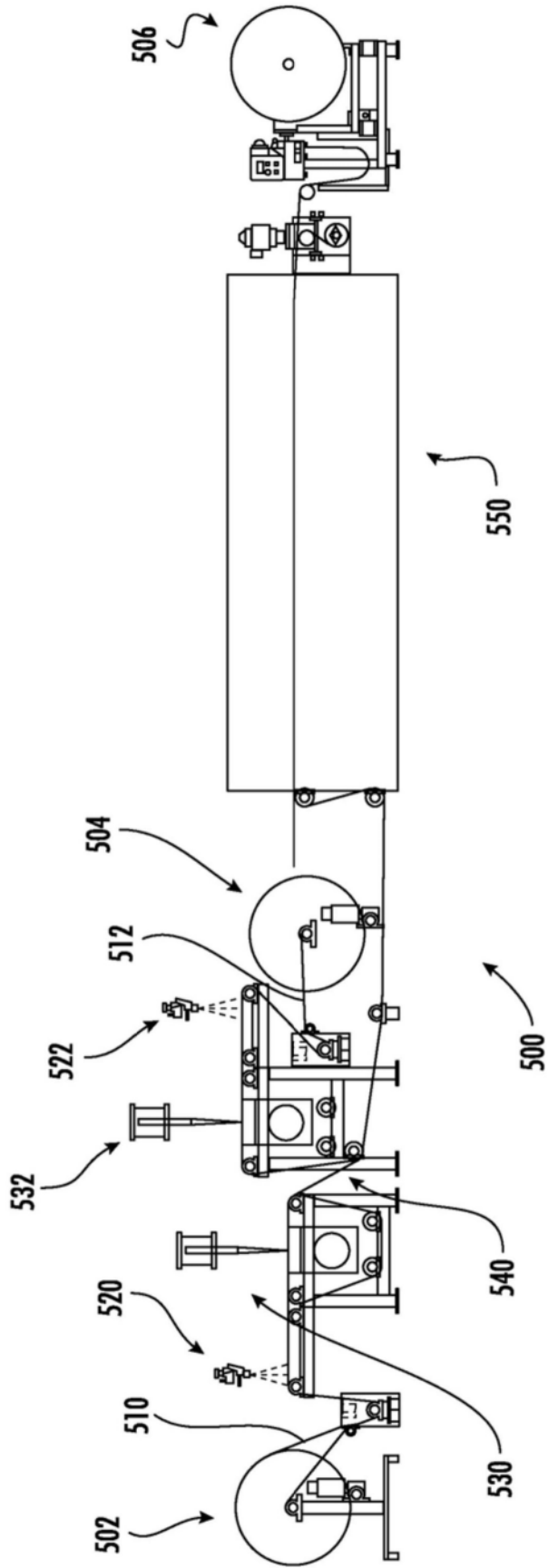


图18

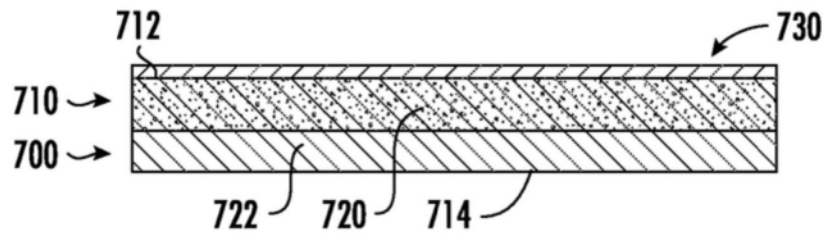


图19

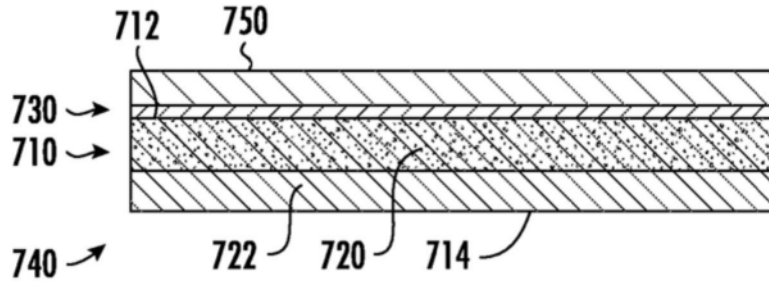


图20

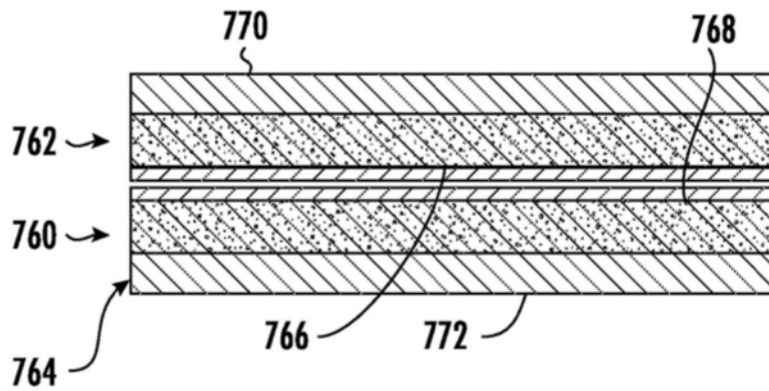


图21

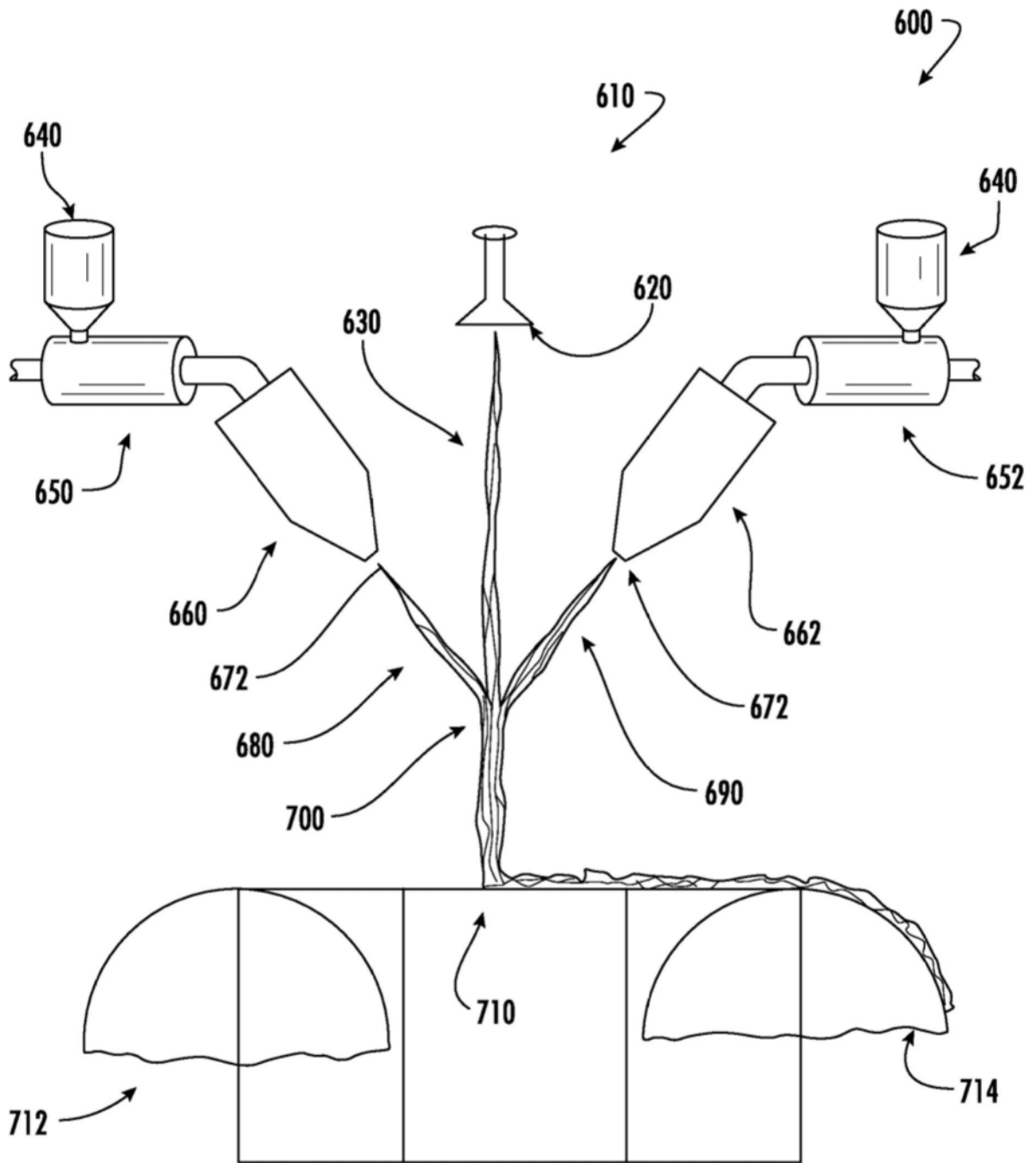


图22



图23A

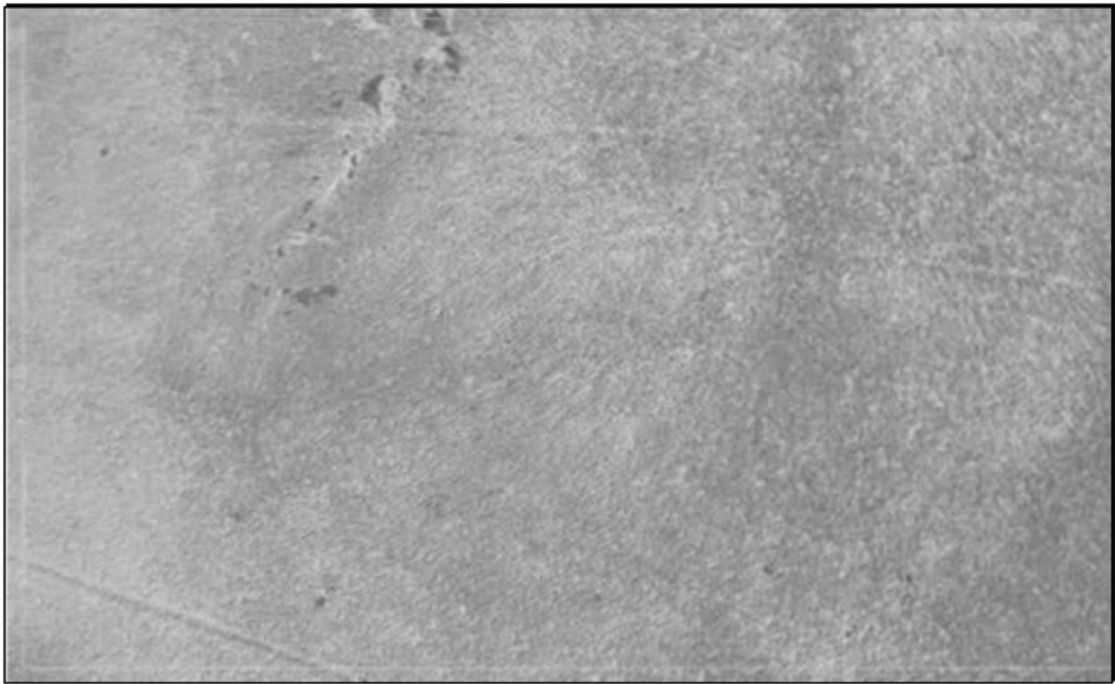


图23B

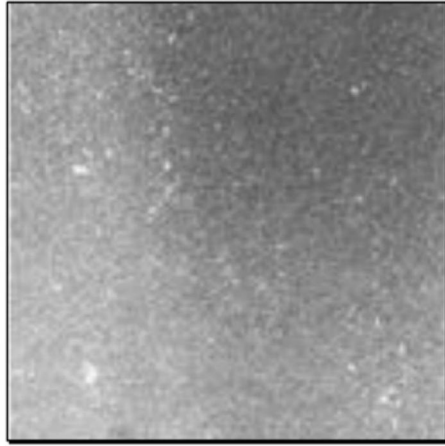


图24A



图24B