



证书号第 1411174 号



# 发明专利证书

发明名称：多层纳米纤维过滤器

发明人：梁焕方；洪志豪

专利号：ZL 2010 8 0031111.9

专利申请日：2010 年 05 月 07 日

专利权人：香港理工大学

授权公告日：2014 年 06 月 04 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 05 月 07 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长  
申长雨

申长雨





(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102481506 B

(45) 授权公告日 2014.06.04

(21) 申请号 201080031111.9

(22) 申请日 2010.05.07

(30) 优先权数据

61/176,115 2009.05.07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012.01.09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/CN2010/072514 2010.05.07

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2010/127634 EN 2010.11.11

(73) 专利权人 香港理工大学

地址 中国香港九龙红磡

(72) 发明人 梁焕方 洪志豪

(74) 专利代理机构 北京金思港知识产权代理有

限公司 11349

代理人 邵毓琴

(51) Int. Cl.

B01D 46/12(2006.01)

B01D 39/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1471421 A, 2004.01.28, 权利要求 1、4、11、25, 说明书第 7 页第 9-21 行、第 8 页第 5- 第 10 页第 17 行、第 11 页第 20 至第 12 页第 17 行、第 14 页第 16 至第 15 页第 19 行、第 21 页第 6-30 行、第 23 页第 16-29 行、第 24 页第 28-31 行, 说明书附图 1、6.

CN 1471421 A, 2004.01.28, 权利要求 1、4、11、25, 说明书第 7 页第 9-21 行、第 8 页第 5- 第 10 页第 17 行、第 11 页第 20 至第 12 页第 17 行、第 14 页第 16 至第 15 页第 19 行、第 21 页第 6-30 行、第 23 页第 16-29 行、第 24 页第 28-31 行, 说明书附图 1、6.

CN 2615562 Y, 2004.05.12, 权利要求 2, 说明书附图.

CN 2615562 Y, 2004.05.12, 权利要求 2, 说明书附图.

CN 101244368 A, 2008.08.20, 全文.

审查员 徐雪锋

权利要求书1页 说明书9页 附图9页

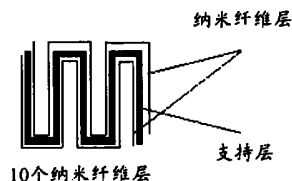
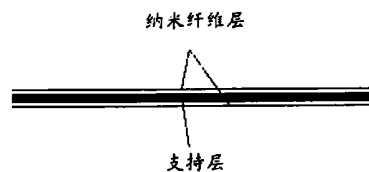
(54) 发明名称

多层纳米纤维过滤器

(57) 摘要

制造多层过滤器的方法和由所述方法制得的过多层过滤器。所述方法主要包括两个步骤。第一步骤是将纳米纤维层涂布在基体介质的一侧或两侧上以获得复合过滤器介质, 第二步骤是以曲折方式折叠所述复合过滤器介质以形成多层过滤器。可选的是, 所述第二步骤可以通过堆叠所述复合过滤器介质的若干片材以形成具有两层纳米纤维的结构的多层过滤器, 所述两层纳米纤维夹在两层所述基体介质之间。由任一所述方法制造得到的多层过滤器含有至少一个结构单元, 所述结构单元具有两层夹在两层基体介质之间的纳米纤维。

CN 102481506 B



1. 制造多层过滤器的方法,所述方法包括如下步骤:

- (a) 将纳米纤维层涂覆在基体介质的一侧或两侧上以获得复合过滤器介质;和
- (b) 以曲折布置方式折叠所述复合过滤器介质以形成多层过滤器;

其中,所述基体介质由粗纤维制得,所述粗纤维的平均直径为1微米至30微米,定量为10gsm至600gsm,厚度小于100微米,在 $5\text{cm s}^{-1}$ 的面速度下的压降小于2Pa,并且对于0.05微米至0.5微米的颗粒尺寸的过滤效率小于3%。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述纳米纤维层涂覆在所述基体介质的两侧上。

3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述层的纳米纤维的平均直径为0.1微米至0.4微米,定量小于0.3gsm,并且厚度小于10微米。

4. 如权利要求1所述的方法,其中,所述复合过滤器介质对0.3微米颗粒具有18%至54%的过滤效率,并且在 $5\text{cm s}^{-1}$ 的面速度下的压降为4.9Pa至28Pa。

5. 制造多层过滤器的方法,所述方法包括如下步骤:

- (a) 将纳米纤维层涂覆在基体介质的两侧上以获得复合过滤器介质;和

- (b) 堆叠所述复合过滤器介质的多个片材以形成多层过滤器,所述多层过滤器包含两层纳米纤维的结构,所述两层纳米纤维夹在两层所述基体介质之间,

其中,所述基体介质由粗纤维制得,所述粗纤维的平均直径为1微米至30微米,定量为10gsm至600gsm,厚度小于100微米,在 $5\text{cm s}^{-1}$ 的面速度下的压降小于2Pa,并且对于0.05微米至0.5微米的颗粒尺寸的过滤效率小于3%。

6. 如权利要求5所述的方法,其中,所述层的纳米纤维的平均直径为0.1微米至0.4微米,定量小于0.3gsm,并且厚度小于10微米。

7. 如权利要求5所述的方法,其中,所述复合过滤器介质对0.3微米颗粒具有18%至54%的过滤效率,并且在 $5\text{cm s}^{-1}$ 的面速度下的压降为4.9Pa至28Pa。

8. 一种具有顶层和底层的多层过滤器,所述多层过滤器包括多层基体介质和多层纳米纤维,所述顶层和所述底层各自为所述纳米纤维的层,并且在所述顶层和所述底层之间存在至少一个单元或多个单元,各单元包含夹在两层所述基体介质之间的两层所述纳米纤维;

其中,所述基体介质由粗纤维制得,所述粗纤维的平均直径为1微米至30微米,定量为10gsm至600gsm,厚度小于100微米、在 $5\text{cm s}^{-1}$ 的面速度下的压降小于2Pa,并且对于0.05微米至0.5微米的颗粒尺寸的过滤效率小于3%。

9. 如权利要求8所述的多层过滤器,其中,各层所述纳米纤维的平均直径为0.1微米至0.4微米,定量小于0.3gsm,并且厚度小于10微米。

## 多层纳米纤维过滤器

### 背景技术

[0001] 在过滤介质中已经使用在 10nm 至 1000nm 范围的纳米纤维来捕获低于 1000nm 的亚微米颗粒。据信纳米纤维捕获颗粒的能力归因于纤维对亚微米颗粒的拦截和亚微米颗粒的布朗运动或“随机漫步”的组合,这两者便于颗粒被纳米纤维的大表面 / 质量比所捕获。

[0002] 常规的过滤介质可以具有尺寸分布在 100nm 至 300nm 范围的铺设在介质的基体层上的纳米纤维层,如图 1A 所示。可以例如通过减少纤维直径和 / 或增加纳米纤维的如以克纳米纤维 / 平方米度量的堆积密度,增加纳米纤维的表面积,实现捕获能力的进一步增加。但是,由于纳米纤维不具有结构刚性,当铺设更多的纤维时,额外的纳米纤维通常压缩形成紧密(即,低孔隙度或空隙空间)和厚的层,这显著增加了横跨介质的压降。这降低了空气流对过滤介质的透过性,使过滤介质具有不希望的透气性。

[0003] 通常希望研发出一种具有高过滤效率和低压降的改进型纳米纤维过滤介质。还希望研发出制备具有这些改进性能的纳米纤维过滤介质。

### 发明内容

[0004] 根据一个方面,过滤介质可以包括至少一个基体层和至少两个纳米纤维层。所述基体层夹在系列形式的所述纳米纤维层之间以形成交替(alternating)的层压单元。

[0005] 根据另一方面,制备过滤介质的方法可以包括将纳米纤维涂覆在基体层的一面或两面上以形成层压单元,和以系列形式堆叠至少两个所述单元以形成交替的层压单元。

[0006] 根据又一方面,制备过滤介质的方法可以包括将纳米纤维涂覆在基体层的一面或两面上以形成层压单元,和以曲折(serpentine)布置方式折叠至少两个所述单元以形成交替的层压单元。

[0007] 制备包括由基体介质支持的多个纳米纤维层的过滤介质的方法是作为目前最优的实施方式,其中所有纳米纤维层具有超过 98 体积%的开孔。

### 附图说明

[0008] 图 1A 示出了现有技术的过滤介质,该过滤介质在基体层上的纳米纤维层具有 0.12 克 / 平方米纳米纤维。

[0009] 图 1B 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有夹在纳米纤维层之间的基体层,在每一侧上所述纳米纤维层具有 0.12 克 / 平方米纳米纤维。

[0010] 图 2A 示出了图 1A 的现有技术的过滤介质,该过滤介质具有 0.24 克 / 平方米纳米纤维。

[0011] 图 2B 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的两个如图 1A 所示的过滤介质,以形成具有 0.24 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0012] 图 2C 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的两个如图 1B 所示的过滤介质,以形成具有 0.48 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0013] 图 3A 示出了图 1A 的现有技术的过滤介质,该过滤介质具有 0.36 克 / 平方米纳米

纤维。

[0014] 图 3B 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的三个如图 1A 所示的过滤介质,以形成具有 0.36 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0015] 图 3C 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的三个如图 1B 所示的过滤介质,以形成具有 0.72 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0016] 图 4A 示出了图 1 的现有技术的过滤介质,该过滤介质具有 0.48 克 / 平方米纳米纤维。

[0017] 图 4B 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的四个如图 1A 所示的过滤介质,以形成具有 0.48 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0018] 图 4C 示出了本发明的过滤介质,该过滤介质具有堆叠起来的四个如图 1B 所示的过滤介质,以形成具有 0.96 克 / 平方米纳米纤维的层压单元。

[0019] 图 5A 示出了过滤介质中的纳米纤维层的相对于现有技术测得的厚度。

[0020] 图 5B 示出了过滤介质的相对于现有技术测得的厚度。

[0021] 图 6 示出了过滤介质的纳米纤维的相对于现有技术测得的固体体积分数。

[0022] 图 7 示出了过滤介质的相对于现有技术测得的孔隙度。

[0023] 图 8A 示出了单层过滤介质和多层过滤介质的捕获效率和压降。

[0024] 图 8B 示出了单层面罩过滤介质和多层面罩过滤介质的捕获效率和压降。

[0025] 图 8C 示出了多层过滤介质的捕获效率和压降,尺寸为 0.3 微米的颗粒的最小捕获率为 95%。

[0026] 图 9A 示出了涂覆在多孔性支持层上的单层纳米纤维层。

[0027] 图 9B 示出了具有 5 个纳米纤维层的过滤介质,由图 9A 的单层纳米纤维层折叠得到。

[0028] 图 9C 示出了涂覆在多孔性支持层的两侧上的单层纳米纤维层。

[0029] 图 9D 示出了具有 10 个纳米纤维层的过滤介质,由图 9C 的单层纳米纤维层折叠得到。

[0030] 图 10 示出了不同堆积密度的多层过滤介质对 50nm 颗粒的捕获效率和压降。

[0031] 图 11 示出了不同堆积密度的多层过滤介质对 100nm 颗粒的捕获效率和压降。

[0032] 图 12 示出了不同堆积密度的多层过滤介质对 200nm 颗粒的捕获效率和压降。

[0033] 图 13 示出了不同堆积密度的多层过滤介质对 300nm 颗粒的捕获效率和压降。

[0034] 图 14 示出了不同堆积密度的多层过滤介质对 400nm 颗粒的捕获效率和压降。

[0035] 图 15 示出了 0.233 克 / 平方米纳米纤维的多层纳米纤维过滤介质的相对质量因数 (relative quality factor) 和捕获效率。

[0036] 图 16 示出了 0.350 克 / 平方米纳米纤维的多层纳米纤维过滤介质的相对质量因数和捕获效率。

[0037] 图 17 示出了 0.467 克 / 平方米纳米纤维的多层纳米纤维过滤介质的相对质量因数和捕获效率。

## 具体实施方式

[0038] 现在详细参考本发明的具体实施方式,其实例还在随后的描述中提供。尽管详细

描述了本发明的示例性实施方式,但是对于本领域技术人员而言应当明了的是,对于理解本发明不是特别重要的一些特征可能为了清楚目的而没有示出。

[0039] 另外应当理解的是,本发明不限于下述的精确的实施方式,并且本领域技术人员可以对本发明进行各种改动和改变而没有脱离本发明的实质或范围。例如,不同的例示性实施方式的要素和/或特征可以在本公开内容和所附权利要求的范围内相互组合和/或相互替代。另外,在阅读本公开内容、附图和所附权利要求后本领域技术人员可以明了的改进和改变被认为是处在本发明的实质和范围内。

[0040] 过滤介质可以包括一个基体层和至少一个涂覆在所述基体层的至少一侧上的纳米纤维层,以形成双层层压单元,如图 1A 所示。在一个实施方式中,过滤介质还可以包括至少一个基体层和至少两个纳米纤维层。所述基体层可以以序列 (series) 形式夹在纳米纤维层之间以形成交替三层层压单元,如图 1B 所示。纳米纤维层和基体层可以相互粘附以形成充分粘结的层压结构。术语“充分粘结的层压结构”是指没有明显起皱的层的多层过滤介质。使用厚度小的层有利于形成充分粘结的层压结构。

[0041] 为了提高捕获效率的同时降低压降,过滤介质可以具有多层,如图 2B、2C、3B、3C、4B 和 4C 所示。箭头示出空气流的方向。多层过滤介质可以包括以平行和重复双层层压单元的序列布置的多于一个双层单元或一个三层单元,使得过滤介质交替在纳米纤维层和基体层之间。过滤介质中双层和三层单元的数量可以由包括用以达成希望的颗粒捕获效率的期望的总聚合物堆积密度、希望的总介质厚度、各层厚度以及容许最大压降在内的因素确定。因此,过滤介质因堆积密度增加而具有较高的过滤效率但不出现横跨过滤介质的高压降。

[0042] 该构造的过滤介质可以具有很多优点:纳米纤维在各纳米纤维层中可以保持低的固体体积分数(或等同为较高的孔隙度)、过滤器中的纳米纤维层的总厚度可以充分超过具有相同总聚合物堆积密度(即相同的克/平方米或“gsm”)的单个纳米纤维层,对于亚微米颗粒可以获得高的颗粒捕获效率,在与具有相同堆积密度(即相同的 gsm)的单层相比时可以实现较低的压降,基体层可以用作为过滤介质提供机械应力(张力)的支持体,并且基体层可以用作过滤介质。

[0043] 多层过滤介质的一个实例可以包括以交替构造堆叠在一起的两个纳米纤维层和两个基体层,如图 2B 所示,这不同于只包括粘结到单层基体层上的单层纳米纤维层的现有技术,如图 2A 所示。在该实例中,图 2A 和 2B 的过滤介质都含有  $0.24\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维,而图 2C 含有  $0.48\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维。

[0044] 多层过滤介质的另一个实例可以包括以交替构造堆叠在一起三个纳米纤维层和三个基体层,如图 3B 所示,这不同于只包括粘结到单层基体层上的单层纳米纤维层的现有技术形成,如图 3A 所示。在该实例中,图 3A 和 3B 的过滤介质都含有  $0.36\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维,而图 3C 中的三个三层堆叠体 (stackup) 含有  $0.72\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维。

[0045] 多层过滤介质的又一个实例可以包括以交替构造堆叠在一起的四个纳米纤维层和四个基体层,如图 4B 所示,这不同于只包括粘结到单层基体层上的单层纳米纤维层的现有技术,如图 4A 所示。在该实例中,图 4A 和 4B 的过滤介质都含有  $0.48\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维,而图 4C 中的四层介质含有  $0.96\text{g}/\text{m}^2$  的纳米纤维。

[0046] 过滤介质中的纳米纤维可以通过各种方式获得。例如,纳米纤维可以通过对聚合

物溶液进行电纺丝来制备。在另一个实例中,纳米纤维可以通过对聚合物进行熔喷来获得。可以采用的聚合物的实例可以包括聚烯烃、聚缩醛、聚酰胺、聚酯、纤维素醚和酯、聚亚炔化硫、聚亚芳基氧化物 (polyaryleneoxide)、聚砜、修饰的聚砜聚合物、尼龙、聚苯乙烯、聚丙烯腈、聚碳酸酯以及它们的混合物。在一个实例中,纳米纤维可以通过对尼龙 6 聚合物的 98% 甲酸溶液进行电纺丝来形成。在另一个实例中,纳米纤维可以通过对聚苯乙烯或聚氯乙烯的四氢呋喃 (THF) 溶液进行电纺丝来形成。在另一个实例中,纳米纤维可以通过对溶解在水中的聚氧化乙烯 (PEO) 进行电纺丝来形成。在又一个实例中,可以对聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 或聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN) 进行电纺丝或熔融纺丝而直接由它们的聚合物熔融体制成纳米纤维。只要所得溶液或聚合物熔融体具有与蜂蜜类似的粘度 (在 25°C 的粘度为至少 2000cP (厘泊) 至 3000cP), 则该溶液、熔融体或适当的候选材料就可以被纺丝成纳米纤维。纳米纤维还可以使用本领域技术人员已知的其他工艺形成。

[0047] 纳米纤维可以具有约 5 纳米至约 900 纳米的平均直径,优选具有约 100 纳米至约 300 纳米的平均直径,更优选具有约 150 纳米至约 250 纳米的平均直径。例如,当尼龙 6 在聚合物溶液中的重量百分比为约 18% 至约 24% 时,并且在电极电压为 25kV 和喷嘴到接收屏的距离为 14cm 的电纺丝条件下,电纺丝尼龙 6 纳米纤维可以具有约 147 纳米至 249 纳米的平均纤维直径。平均纤维直径可以通过拍摄 SEM (电子扫描显微镜) 图像再从图像中随机选择并测量 30 根纳米纤维的直径来表征。通过降低喷嘴到接收屏的距离,例如 5 厘米,可以将纤维直径增加到 600 纳米至 800 纳米。这种直径降低的一种可能解释是纤维没有时间通过存留在纤维表面的同性电荷的电荷排斥来拉伸而变得更细 (即直径更小)。

[0048] 基体层可以包括能够作为支持体为过滤介质提供机械强度的任何多孔性的非织造材料。例如,基体层可以包括微米纤维。微米纤维的实例可以包括聚乙烯、聚丙烯、玻璃、乙酸钠纤维素、活性炭纤维或者它们的组合。微米纤维可以具有约 1 微米至约 30 微米的平均直径,这些微米纤维可以包括具有约 1 微米至约 20 微米的平均直径的细微米纤维和具有约 10 微米至 30 微米的平均直径的粗微米纤维,例如活性炭纤维。过滤介质中的微米纤维的含量可以在约 10 克 / 平方米过滤面积至约 600 克 / 平方米过滤面积之间变化。

[0049] 在一个实例中,可以直接将纳米纤维电纺丝在非织造微米纤维片材的表面上。在另一个实例中,可以将微米纤维放在液体中,并且将纳米纤维电纺丝在微米纤维上。然后可以对液体悬浮液进行空气循环处理,并且真空除去所述液体。接着,使用少量的相容性粘合剂通过机械压缩将微米纤维和纳米纤维压在一起形成刚性结构。

[0050] 基体层可以包括一种或多种呈例如微粒、纤维、须状物或粉末形式的添加剂。添加剂的实例可以包括抗微生物基材。术语“抗微生物基材”是指能够用来杀灭微生物、病毒或细菌或使微生物、病毒或细菌不能生存的任何化学品或颗粒。抗微生物基材可以包括由以下物质制得的纳米颗粒:氧化镁 (MgO)、银 (Ag) 化合物 (包括硝酸银)、氧化钛纳米颗粒、聚 (N-苄基-4-乙烯基氯化吡啶) 或者它们的组合。

[0051] 添加剂的实例还包括吸附颗粒。术语“吸附颗粒”是指纳米尺寸的吸附剂,其分子大小为约 0.5 纳米至约 100 纳米,可以从流体流将颗粒和挥发性有机化合物 (VOC) 物理吸引并吸附到吸附颗粒的表面。这种吸引可以涉及静电或化学相互作用。吸附颗粒的实例可以包括活性炭、硅胶、活性氧化铝、沸石、多孔性粘土矿物质、分子筛或者它们的组合。还可以使用由氧化锌、氧化钙、氧化铜、氧化镁、二氧化锰、氧化锰、氧化铝和沸石制得的纳米尺

寸的吸附剂来过滤诸如硫化氢之类的特定分子。

[0052] 添加剂可以进一步包括多种解吸物质。术语“解吸物质”是指可以从基体层的表面或孔隙扩散掉的颗粒或蒸汽。例如,解吸物质可以包括药物或香料颗粒或蒸汽。解吸物质可以随时间逐渐扩散,而不是以单剂量或多剂量脉冲释放。

[0053] 用于治疗哮喘和呼吸系统疾病的解吸物质可以用于医药用途。解吸物质的实例可以包括用于慢性梗阻性肺部疾病的甾族化合物;用于治疗哮喘的沙丁胺醇粉末;用于减弱特异性疾病相关 mRNA 的可吸入反义寡核苷酸 (RASON);用于治疗与慢性阻塞性肺病相关的支气管痉挛的 SpirivaHandiHaler<sup>®</sup> (噻托溴铵,可以从 Boehringer Ingelheim 获得);用于治疗哮喘的 Qvar<sup>®</sup> (丙酸倍氯米松,可以从 Ivax 获得);用于治疗可逆性阻塞性气道疾病的作为吸入溶液的 Xopenex<sup>®</sup> (可以从 Sepracor 获得);用于治疗与 COPD 相关的支气管痉挛的 DuoNeb<sup>®</sup> (硫酸沙丁胺醇和异丙托溴铵,可从 Dey 实验室获得);用于治疗 COPD、哮喘和支气管痉挛的作为支气管扩张剂的 Foradil Aerolizer<sup>®</sup> (富马酸福莫特罗吸入粉末,可从 Novartis 获得);用于治疗或预防支气管痉挛的 Ventolin HFA<sup>®</sup> (硫酸沙丁胺醇吸入气雾剂,可从 GlaxoSmithKline 获得);用于治疗成人和 12 岁以上儿童中的过敏性鼻炎的鼻部症状 Tri-Nasal Spray<sup>®</sup> (曲安奈德喷雾剂,可从 Muro Pharmaceutical 获得);用于治疗或预防支气管痉挛的 Proventil HFA Inhalation Aerosol<sup>®</sup> (可从 3MPharmaceuticals 获得);用于喷鼻的含有布地奈德的 Rhinocort Aqua Nasal Spray<sup>®</sup> (可从 AstraZeneca 获得);或者它们的组合。

[0054] 解吸物质还可以在家庭、化妆或工业用途中使用以调节临近的周围环境。在一个实例中,由 Astrazeneca 制造的 Symbicort<sup>®</sup> 和由 GSK (GlaxoSmithKline) 制造的 Serevent<sup>®</sup> 可以用于颗粒的吸附和释放。这些物质可以为能够被吸收在基体层上的粉末形式或者液体气雾剂形式。

[0055] 过滤介质还可以包括一种或多种粘结在层压体上的覆盖层。覆盖层可以包括例如非织造材料。过滤介质进一步包括粘结在覆盖层之一的疏水层。疏水层可以构造成允许横跨过滤介质发生自由气体交换,同时防止水和其它水性液体进入。因此,疏水层能够防止携带病毒的水滴润湿和透过覆盖层。疏水层可以是非极性的。非极性聚合物的实例包括 PTFE、玻璃复合物和尼龙。聚醚砜 (PES) 和丙烯酸酯共聚物还可以用来使过滤介质具有疏水性,这使得膜不能被大多数低表面张力液体所润湿。还可以使用生物降解性聚合物,这些生物降解性聚合物可以包括脂肪族聚酯如聚(乳酸)、聚(乙醇酸)、聚(己内酯)以及它们的共聚物。

[0056] 多层过滤介质的几何学

[0057] 在一个实施方式中,多层过滤介质可以包括涂覆在多孔性基体层上的纳米纤维层(如图 9A 所示),其可以以曲折布置方式折叠成多层纳米纤维。例如,具有五个纳米纤维层的多层过滤介质在图 9B 中示出。在另一个实施方式中,多层过滤介质可以包括涂覆在多孔性基体层上的两个纳米纤维层(如图 9C 所示),其可以以曲折布置方式折叠成多层纳米纤维。例如,具有十个纳米纤维层的多层过滤介质在图 9D 中示出。

[0058] 制造方法

[0059] 制造多层过滤介质的方法可以包括将纳米纤维涂覆在基体介质上以形成层压单



元(如图 1A 所示),和以平行和重复双层层压单元序列形式堆叠至少两个单元,使得过滤介质交替在纳米纤维层和基体层之间。

[0060] 制造多层过滤介质的另一种方法可以包括在基体两侧上涂覆纳米纤维以形成层压单元(如图 1B 所示),和以平行和重复双层层压单元的序列的形式堆叠至少两个单元,使得基体被两层纳米纤维隔开。

[0061] 质量因数

[0062] 质量因数(quality factor, QF) 定义为  $QF = \ln(1 - \eta) / \Delta P$ , 其中,  $\eta$  是过滤器在捕获特定尺寸的颗粒时提供的收集效率,  $\Delta P$  是横跨过滤器的压降。具有较高  $\eta$  和 / 或较低  $\Delta P$  (因而具有较高的 QF) 的过滤器可以说是具有较好的性能。

[0063] 相对质量因数(RQF) 定义为  $RQF = QF_2 / QF_1$ , 其中,  $QF_1$  是过滤器的质量因数(作为性能基线), 而  $QF_2$  是将被比较的另一个过滤器的质量因数。

[0064] 现在详细参考本发明的优选实施方式, 其实例还在随后的描述中提供。尽管详细描述了本发明的示例性实施方式, 但是对于本领域技术人员而言应当明了的是, 对于理解本发明不是特别重要的一些特征可能为了清楚目的而没有示出。

[0065] 另外应当理解的是, 过滤介质不限于下述的精确的实施方式, 并且本领域技术人员可以对本发明进行各种改动和改变而没有脱离本发明的实质或范围。例如, 不同的示例性实施方式的要素和 / 或特征可以在本公开内容和所附权利要求的范围内相互组合和 / 或相互替代。

[0066] 过滤介质进一步在随后的实施例中说明, 这些实施例无论如何不应解释为对本发明范围加以限制。相反, 应当清楚理解的是, 可以借助于这些实施例, 使得本领域技术人员在阅读本文的描述之后可以不言自明而没有脱离本说明书的实质和 / 或所附权利要求的范围。

[0067] 实施例

[0068] 实施例 1 : 过滤介质的厚度比较

[0069] 在图 5A 示出了来自电纺丝典型的聚合物 / 溶剂组合的纳米纤维层的测定厚度, 所述典型的聚合物 / 溶剂组合例如为在丙醇中的聚氧化乙烯(PEO)、在甲酸中的尼龙 6(N6)、在四氢呋喃(THF) 的聚苯乙烯(PS)、以及同样在 THF 中的聚氯乙烯(PVC)。结果显示, 对于通过将纳米纤维层涂覆在基体介质上形成的过滤介质(例如如图 1A、2A、3A 和 4A 所示的过滤介质), 纳米纤维层的厚度中度增加, 从在 0.1167gsm 时的 9.694 微米增加到在 0.7gsm 时的 16.92 微米。相反, 对于层压单元形式的过滤介质, 纳米纤维层的厚度显著增加, 从在 0.1167gsm 时的 9.694 微米增加到在 0.7gsm 时的 58.16 微米。图 5 显示, 包括基体介质的厚度(约  $1 \times 10^{-4}m$ ), 在等量纳米纤维的情况下, 采用如图 1B 所示的过滤介质作为建构块的夹心式层压单元比堆叠如图 1A 所示的过滤介质形成的交替式单元较薄。

[0070] 如随后将解释的那样, 在等量纳米纤维的情况下, 具有单层纳米纤维涂层的过滤介质比多层布置(交替式层压单元和夹心式层压单元均是如此)具有低得多的空气透过性。图 5B 所示的结果表明, 就节省基体介质而言, 夹心式布置优于交替式布置, 因此降低了总厚度并限制了生产成本。

[0071] 实施例 2 : 过滤介质的固体体积分数比较

[0072] 比较了由单层和多层纳米纤维构成的过滤介质的固体体积分数, 如图 6 所示。结

果表明,当将纳米纤维压缩成单层时,固体体积分数随着纳米纤维的量的增加而增加。为了制造纳米纤维沿着过滤介质的厚度稀疏分布的过滤介质,将过滤介质按较低固体体积分数堆叠直至达到目标量的纳米纤维。例如,在单层纳米纤维的情况下,固体体积分数为在 0.1167gsm 纳米纤维时的 0.01065,但是显著增加到在 0.7gsm 时的约 0.0366。相反,通过堆叠 6 层含有 0.7gsm 纳米纤维的过滤介质形成的过滤介质具有保持在 0.01065 的固体体积分数。

[0073] 图 6 中的结果显示,沿着多层布置的过滤介质的厚度稀疏分布的纳米纤维导致希望的性能,如增加的孔隙度(或低固体体积分数)和降低的压降。

[0074] 实施例 3:过滤介质的孔隙度比较

[0075] 比较了由单层和多层纳米纤维构成的过滤介质的孔隙度,如图 7 所示。孔隙度和固体体积分数按下式相关:

[0076]  $\text{孔隙度} = 1 - \text{固体体积分数}$

[0077] 和图 6 中的结果类似的是,沿着多层布置的过滤介质的厚度稀疏分布的纳米纤维导致希望的性能,如增加的孔隙度(或低固体体积分数)和降低的压降。

[0078] 实施例 4:过滤介质的捕获效率与压降比较

[0079] 比较了由单层和多层纳米纤维构成的过滤介质的捕获效率与压降,如图 8A 所示。多层布置形式的每个纳米纤维层具有涂覆在基体介质上的 0.12gsm 纳米纤维。

[0080] 结果表明,在给定的纳米纤维(如曲线上标出的参数)的情况下,单层布置和多层布置的捕获效率相当。但是,压降显示出明显的不同。例如,尽管涂覆有 0.72gsm 纳米纤维的基体介质(由图 8A 中的空心框表示)的压降为 162.6Pa,但是通过堆叠 6 层涂覆 0.12gsm 纳米纤维的基体介质形成的过滤介质的压降仅为 87.49Pa(由图 8A 中的实心块表示)。结果显示,纳米纤维过滤介质中的多层布置可以改善空气透过性(即较低的压降),作为容许折中方案,捕获效率稍微下降。

[0081] 实施例 5:面罩的捕获效率与压降

[0082] 为了展示作为现有过滤产品的替代品的潜力,将多层布置形式的纳米纤维过滤介质与常规一次性手术面罩比较(如图 8B 所示)。图 8B 中的虚线表示涂覆有 0.12gsm 纳米纤维的基体介质的堆叠,而实线表示常规面罩的堆叠。

[0083] 模型 A4 是涂覆在常规面罩上的具有 0.12gsm 纳米纤维的过滤介质。模型 A4 具有 44%的捕获效率和 32.16Pa 的压降。该捕获效率相当于具有以序列排列的 3 层面罩。但是,横跨以序列排列的 3 层面罩的压降为 46Pa,即比模型 A4 过滤介质的压降高 30%。

[0084] 模型 B8 是通过堆叠涂覆有 0.12gsm 纳米纤维的两层基体介质形成的过滤介质。模型 B8 具有 54%的捕获效率和 29.16Pa 的压降。该捕获效率相当于具有以序列排列的 4 层面罩。但是,具有以序列排列的 4 层面罩的压降为 70Pa,即比模型 B8 过滤介质的压降高 240%。

[0085] 结果表明,过滤介质具有较高的捕获效率和/或较低的压降,性能优于常规的面罩。

[0086] 实施例 6:N95 呼吸器的捕获效率与压降比较

[0087] 将通过堆叠以不同纳米纤维堆积密度(0.0584gsm、0.0875gsm 和 0.1167gsm)涂覆有纳米纤维的基体介质形成的各种不同过滤介质的捕获效率和压降与常规 N95 呼吸器的

相比较,如图 8C 所示。结果显示,常规 N95 呼吸器的压降为约 140Pa 至 147Pa。比较而言,通过堆叠涂覆有 0.0584gsm 纳米纤维的 15 层基体介质形成的过滤介质的压降仅为 90Pa(压降下降 37%)。但是,该过滤介质对 0.3 微米的颗粒具有 95% 的捕获效率,这与 N95 呼吸器的捕获效率相匹配。纳米纤维还可以涂覆在基体介质的两侧上。通过优选在基体介质的两侧的每一侧上涂覆 0.1167gsm 纳米纤维,可以获得图 1B 所示的过滤介质。该过滤介质对 0.3 微米颗粒具有 54.89% 的捕获效率,并且压降为 29.16Pa,这与通过堆叠 2 层仅在一侧上涂覆有 0.1167gsm 纳米纤维的基体介质形成的过滤介质(图 8C 中的点 P) 相同。图 1B 中的布置是有利的,这是因为该布置节省了一层基体介质。图 2C 显示了通过堆叠 2 个图 1B 的过滤介质形成的过滤介质。该过滤介质的捕获效率和压降与通过堆叠 4 层仅在一侧上涂覆有 0.1167gsm 纳米纤维的基体介质形成的过滤介质(图 8C 中的点 Q) 的相同,并且该过滤介质节省了两层基体介质。类似地,图 3C 中所示的布置能够节省 3 层基体介质(图 8C 中的点 R),而图 4C 中所示的布置能够节省 4 层基体介质(图 8C 中的点 S)。

[0088] 实施例 7:压降降低程度取决于目标捕获效率

[0089] 相互比较了通过堆叠涂覆有各种不同量的纳米纤维的基体介质形成的过滤介质的捕获效率和压降,如图 10 至 14 所示。对 50nm、100nm、200nm、300nm 和 400nm 颗粒的捕获效率分别显示在图 10、11、12、13 和 14 中。

[0090] 图 10 示出了由涂覆有一层纳米纤维的基体介质形成的过滤介质(它们的后面标有数据点“1”)与通过堆叠涂覆有不同量的纳米纤维的基体介质形成的过滤介质(标以“1”以外的数字的数据点,表示存在不止一个纳米纤维层)的结果。例如,涂覆有 0.7gsm 纳米纤维的基体介质对 50 微米颗粒的捕获效率为 92%,压降为 164Pa。相反,通过堆叠 6 层基体介质(各涂覆有 0.1167gsm 纳米纤维)形成的过滤介质的捕获效率接近 90%,压降仅为 88Pa(即下降 46%)。另外,通过堆叠 12 层基体介质(各涂覆有 0.0584gsm 纳米纤维)形成的过滤介质的效率也为 90%,压降较低,为 70Pa(下降 57%)。这种现象针对其他颗粒尺寸也观察到(如图 11 至 14 所示)。

[0091] 总之,图 10 至 14 的结果显示,对于相同总量的纳米纤维,具有较多纳米纤维层的过滤介质具有较低的压降。这些结果被认为是在整个过滤器介质厚度人为稀疏地再分布纳米纤维,因此提高了纳米纤维层的孔隙度并导致介质更具有透过性。据发现,压降的降低在含有更多纳米纤维(例如 0.7gsm 纳米纤维)的过滤器介质中更为显著。对于含有更少量的纳米纤维(例如 0.0875gsm)的过滤器介质,由压降下降获得的益处不能弥补由于基体介质的过多消耗和加工造成的成本增加。

[0092] 实施例 8:多层纳米纤维过滤介质的相对质量因数和捕获效率

[0093] 测量了具有各种不同纳米纤维堆积密度的多层纳米纤维过滤介质的 RQF 和捕获效率,如图 15 至 17 所示。堆积密度为 0.223g/m<sup>2</sup> 的多层过滤介质示于图 15 中。堆积密度为 0.35g/m<sup>2</sup> 的多层过滤介质示于图 16 中。堆积密度为 0.467g/m<sup>2</sup> 的多层过滤介质示于图 17 中。

[0094] 图 15 至 17 的结果表明,对于以克/平方米表示的总量相等的纳米纤维,多层过滤介质中纳米纤维层数的增加显著地降低了压降。

[0095] 尽管已经描述了过滤介质的实施例,但是应当理解的是,过滤介质并不限于此,还可以进行多种改变。过滤介质的范围由所附的权利要求限定,权利要求涵义(不管字面涵

---

义的还是等同涵义)内的所有装置,都拟涵盖在所附的权利要求中。

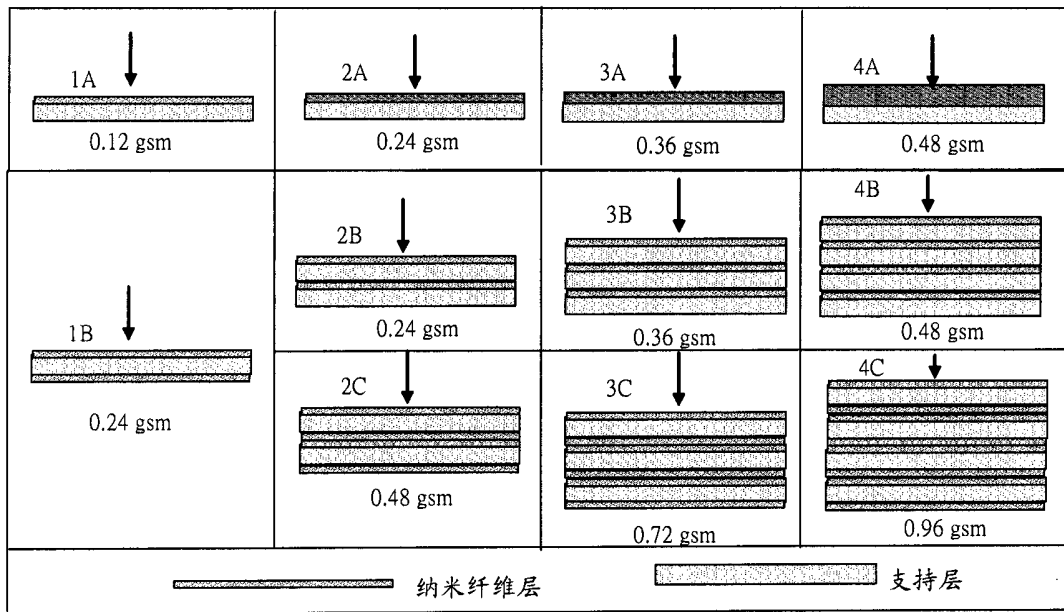


图 1-4

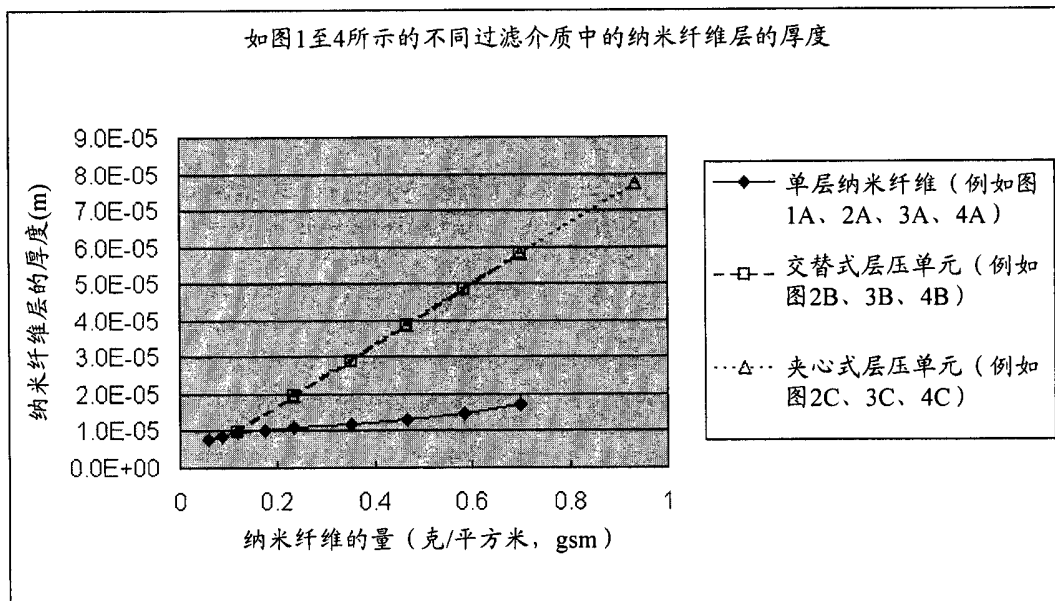


图 5A

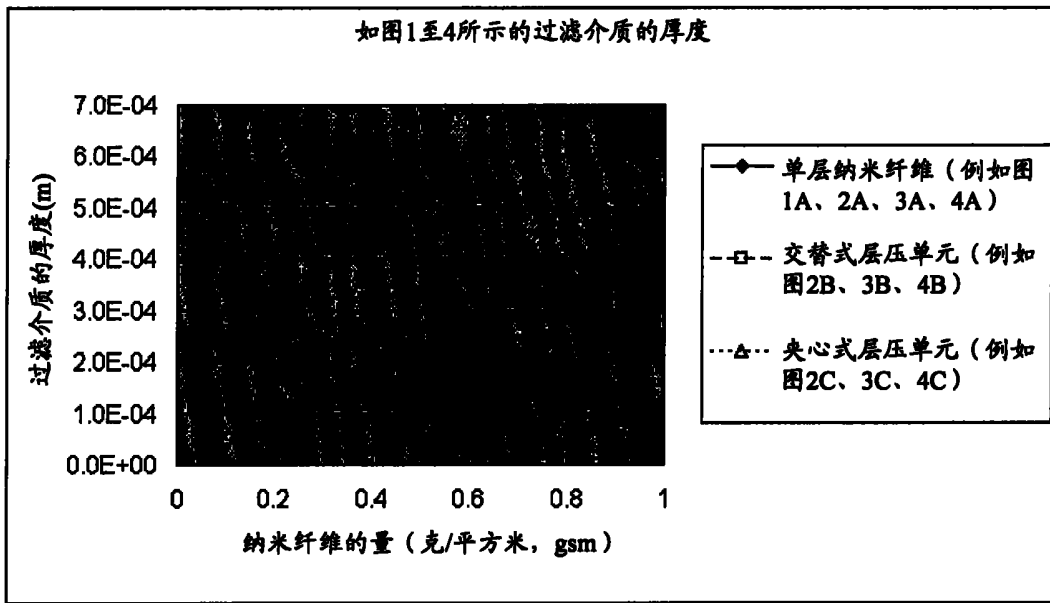


图 5B

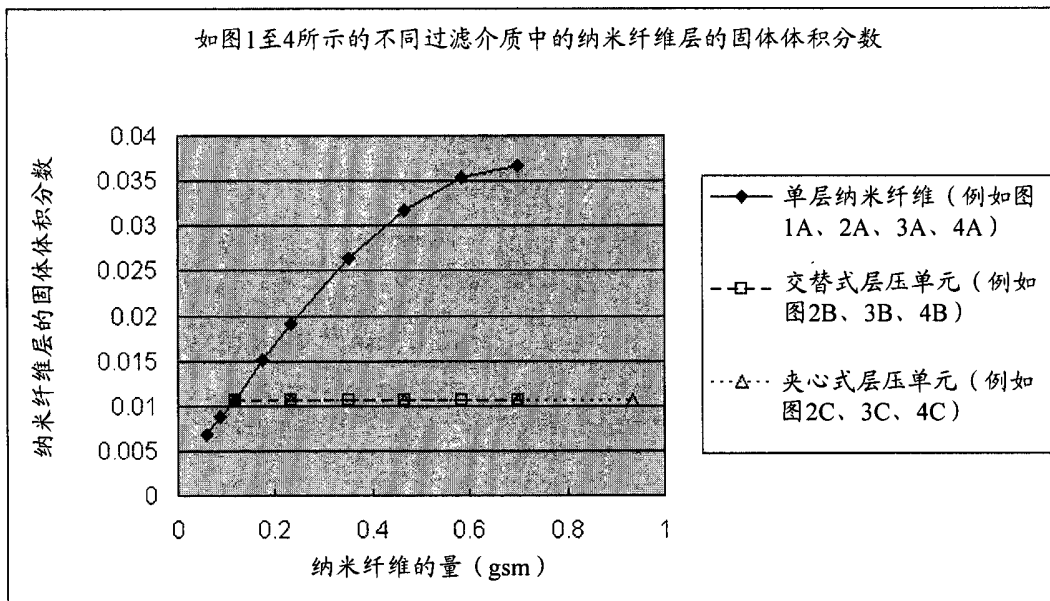


图 6

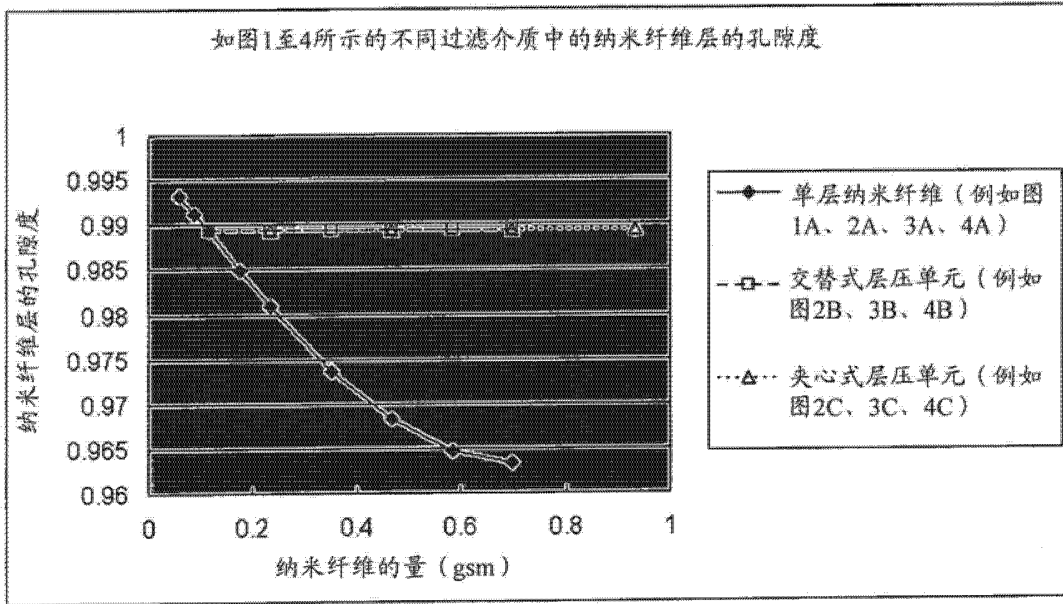


图 7

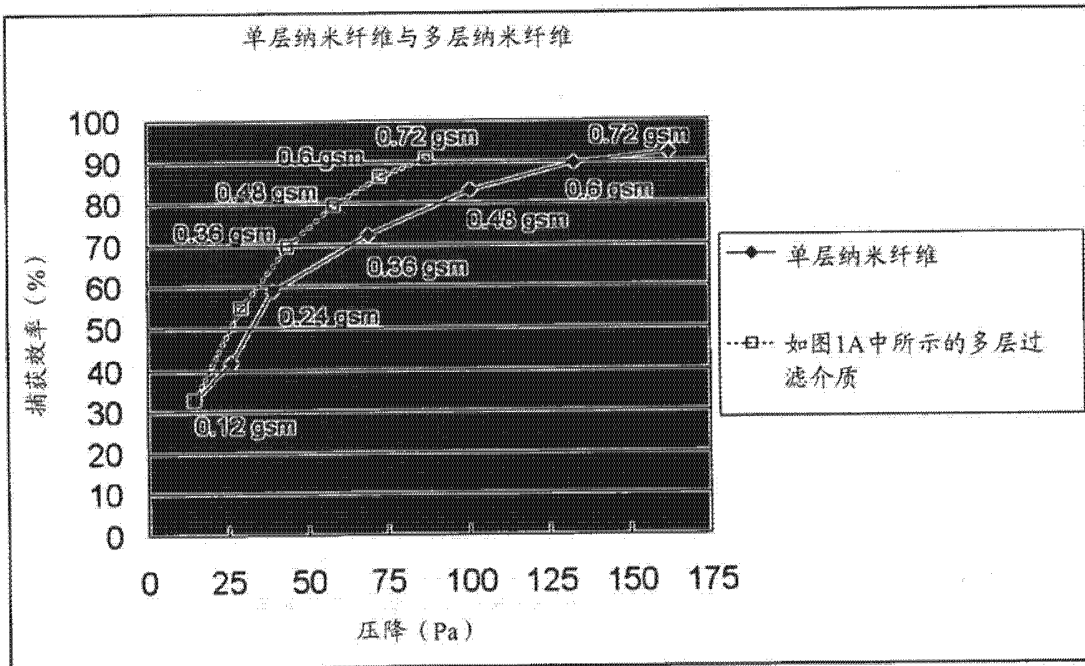


图 8A

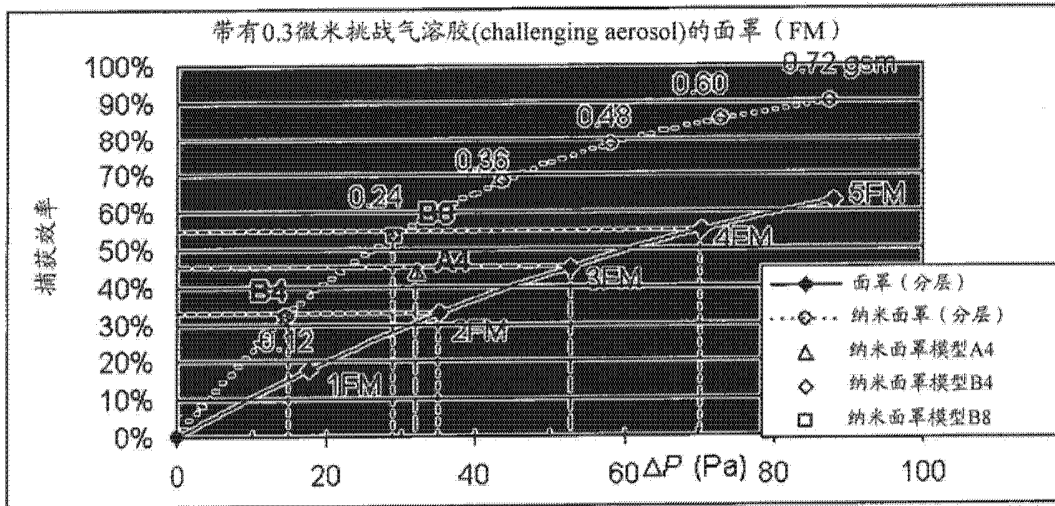


图 8B

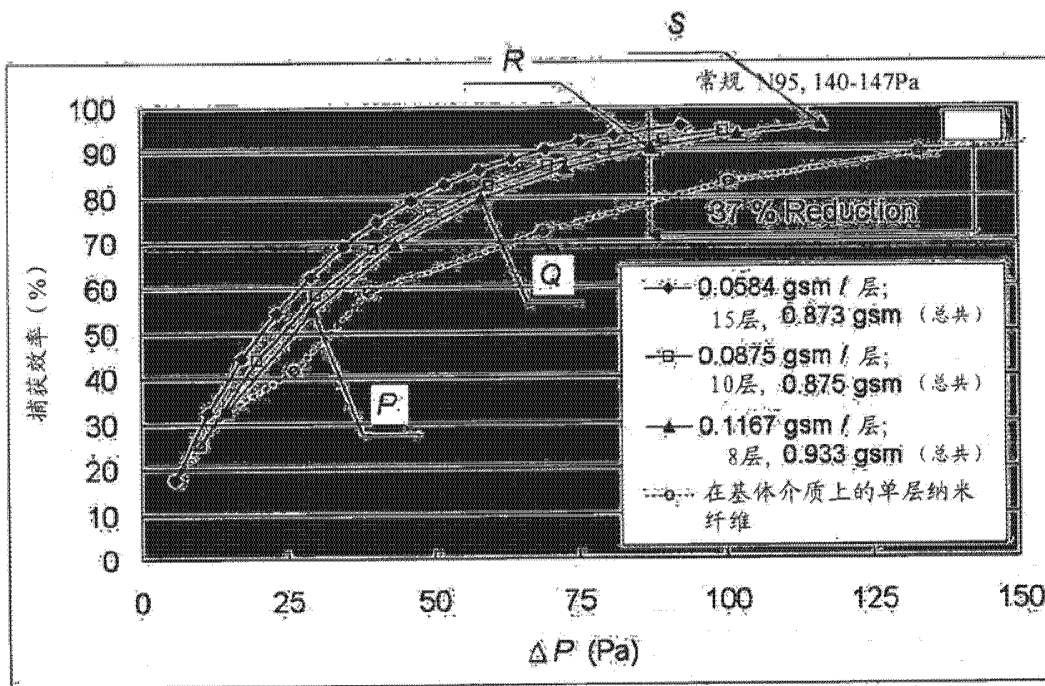


图 8C



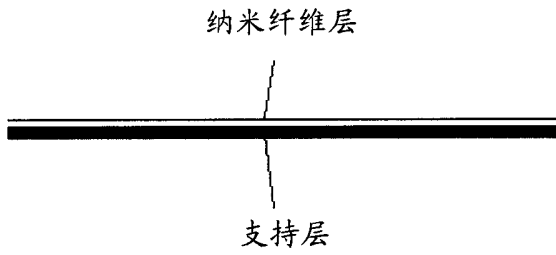


图 9A

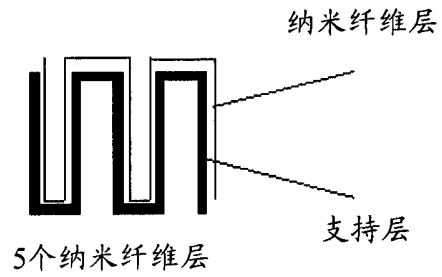


图 9B

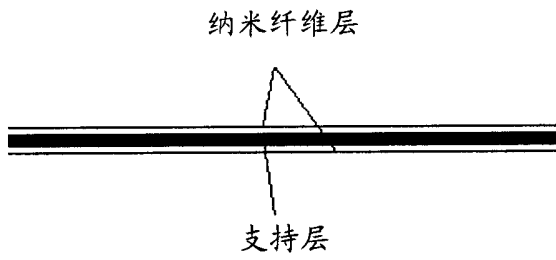


图 9C

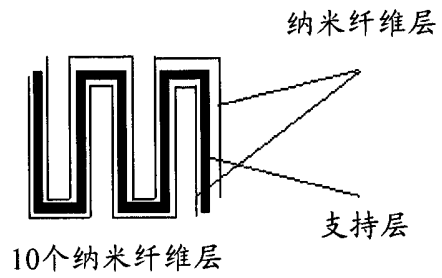


图 9D

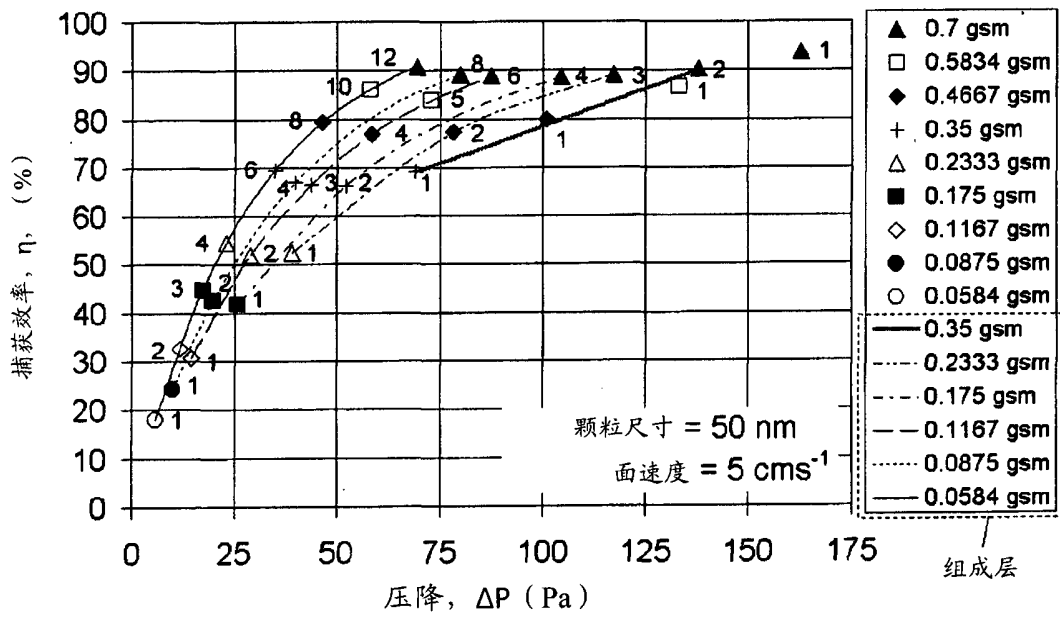


图 10

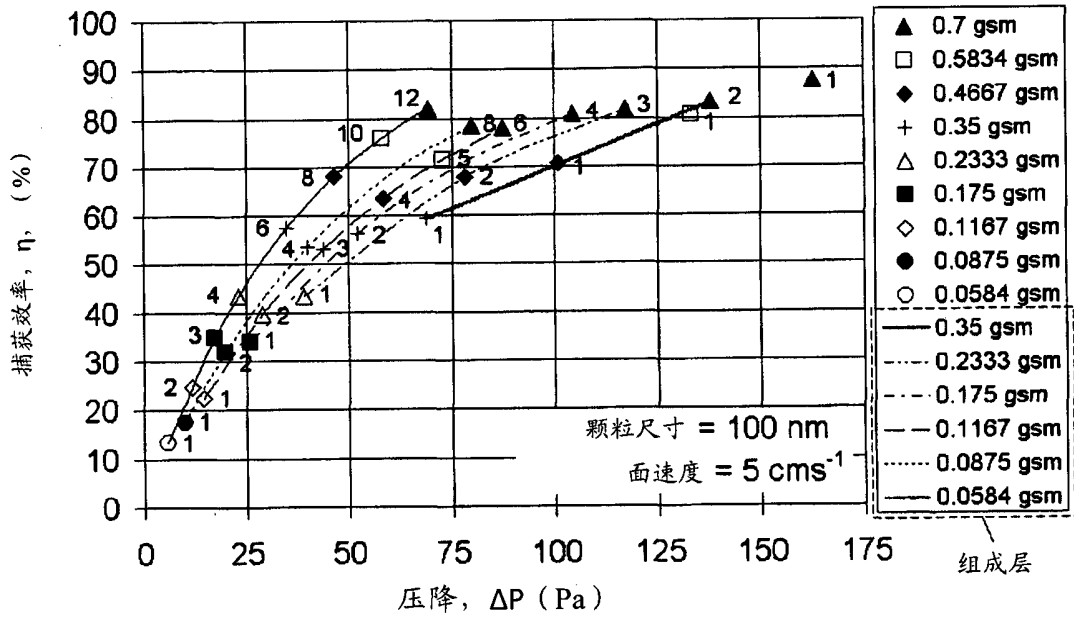


图 11

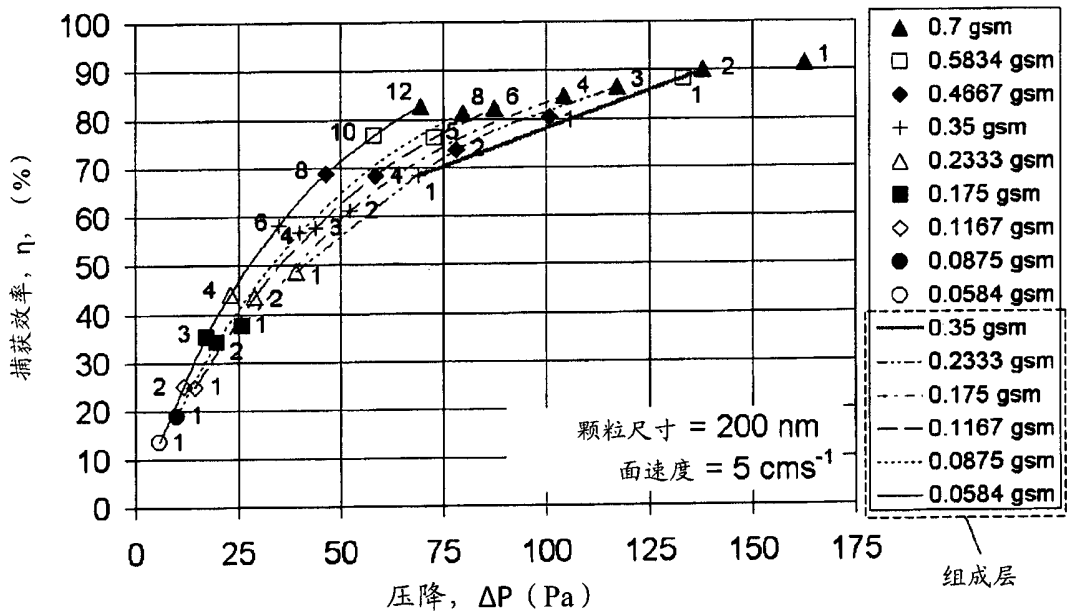


图 12

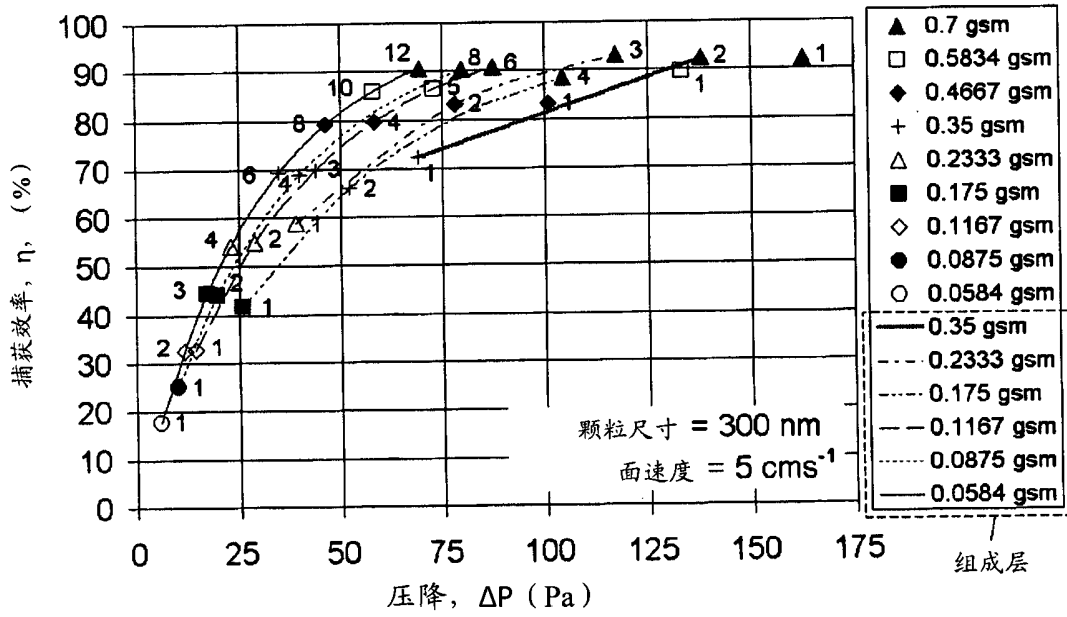


图 13

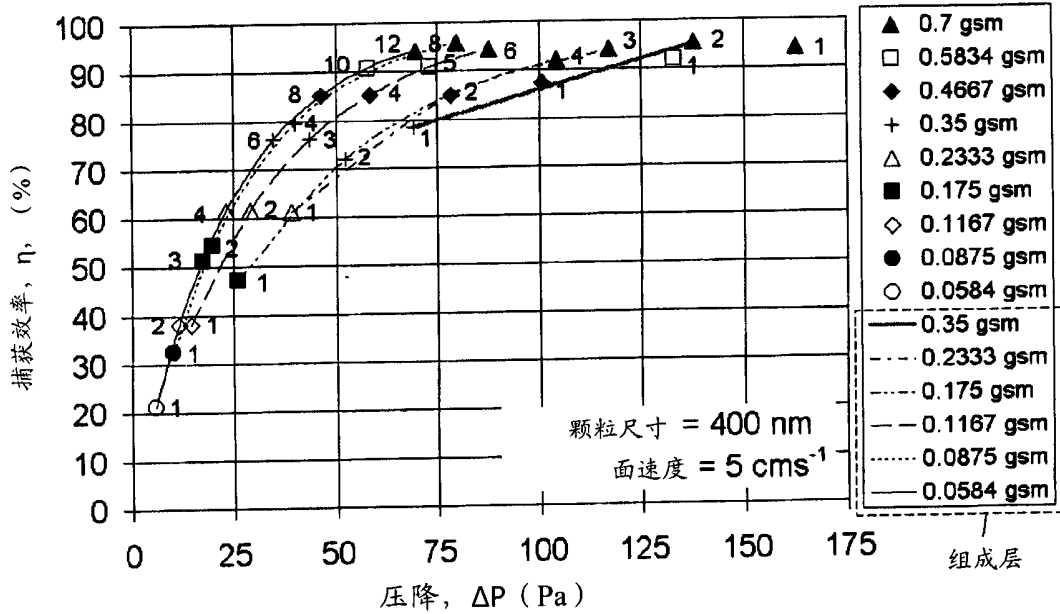


图 14

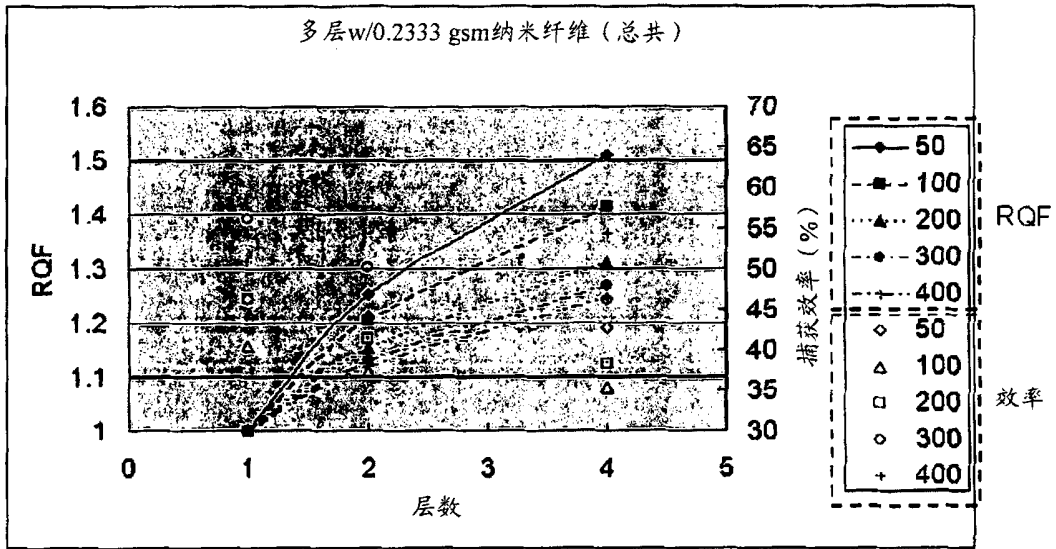


图 15

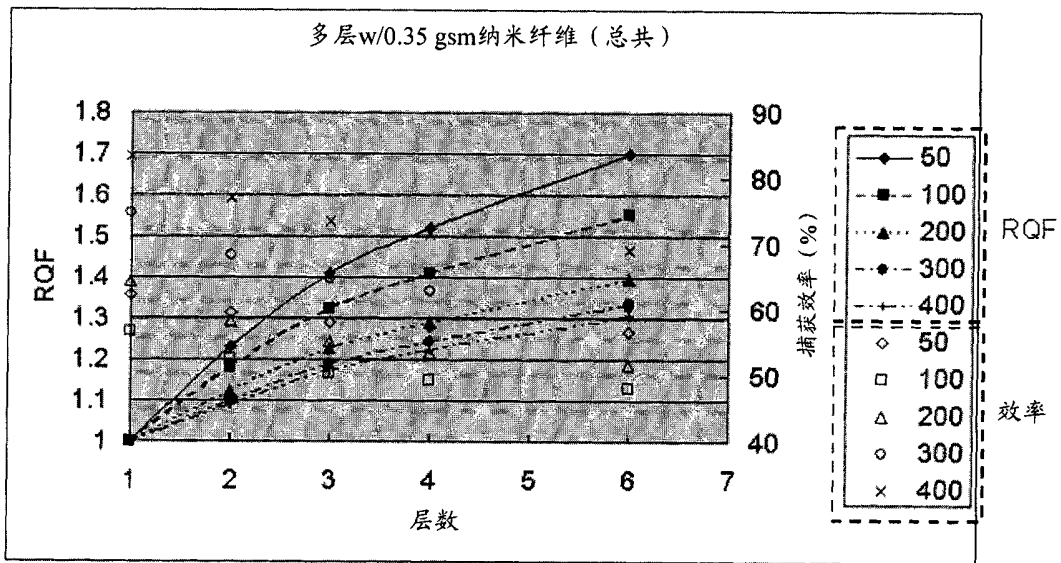


图 16

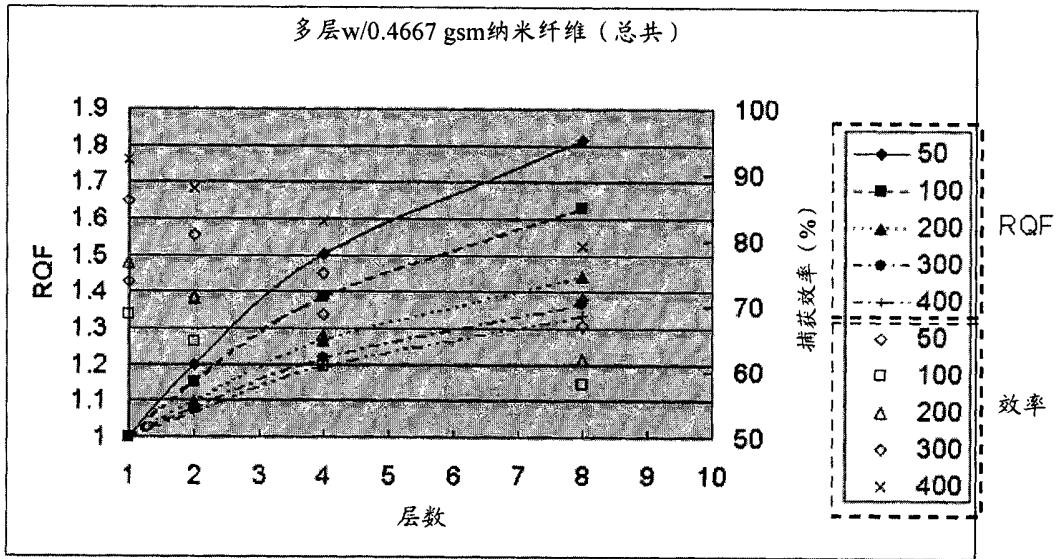


图 17