



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119816632 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 11

(21) 申请号 202380063107.8

(22) 申请日 2023.08.24

(30) 优先权数据

PV2022-370 2022.09.02 CZ

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/CZ2023/050054 2023.08.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/046515 EN 2024.03.07

(71) 申请人 利伯西科技大学

地址 捷克布拉格老城

(72) 发明人 J·贝兰 J·瓦特拉

J·斯克里瓦内克 O·巴特卡

M·比莱克 O·弗里德里希

D·卢卡斯

E·库泽洛娃科斯塔科娃

V·詹科娃 V·海德维卡科娃

M·利斯年科 K·斯特纳多娃

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理人 刘桢 邹龙辉

(51) Int. Cl.

D01D 5/00 (2006.01)

D01D 13/02 (2006.01)

D01D 5/12 (2006.01)

权利要求书2页 说明书12页 附图12页

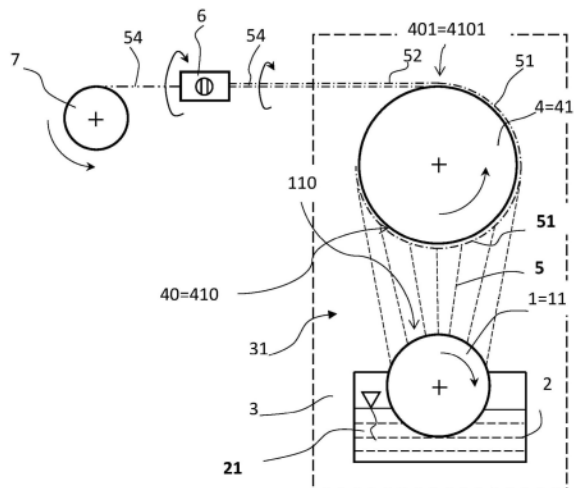
(54) 发明名称

在交流(AC)电场中从聚合物溶液或聚合物熔体生产线性纳米纤维结构的方法和用于执行该方法的设备

(57) 摘要

本发明涉及一种在AC电场中从聚合物溶液或聚合物熔体生产线性纳米纤维结构的方法,其中纳米纤维(5)由形成在纺丝电极(1,11,12,13)上的纺丝区域(110,120,130)中的聚合物溶液(21)或聚合物熔体形成,并且通过电风的作用在所生成的电场的梯度的方向上从纺丝区域运送走。聚合物溶液(21)或聚合物熔体通过移动纺丝电极(1,11,12,13)传送到纺丝区域(110,120,130),并经受超临界强度(E)的电场以形成纳米纤维(5),远离纺丝区域(110,120,130)移动并沉积在移动的电中性收集器(4,41,42)的收集区域(40,410,420)上,在其上它们形成纳米纤维的蓬松带(51),其通过电中性收集器(4,41,42)的移动而移动到拉出区域(401,4101,4201),在该拉出区域中,电中性收集器(4,41,42)的表面通过卷绕设备(7)或引出设备的拉力拉出,并且然后

卷绕。在纳米纤维的蓬松带(51)从电中性收集器(4,41,42)拉出之后将其加捻成纳米纤维纱线(54)可以在卷绕之前和之后进行。此外,本发明涉及一种用于执行该方法的设备。



1. 一种在AC电场中由聚合物溶液或熔体生产线性纳米纤维结构的方法,其中,在纺丝电极(1,11,12,13)上形成具有超临界AC电场强度E的纺丝区域(110,120,130),其中,在所述纺丝区域(110,120,130)中形成纳米纤维(5),所述纳米纤维(5)通过电风的作用在所述生成的电场的梯度的最大值的方向上被运送远离所述纺丝电极,其特征在于,在线性纺丝电极上形成具有超临界AC电场强度(E)和有限长度的至少一个纺丝区域(110,120,130),其中,从所述纺丝区域(110,120,130),出现的纳米纤维(5)由电风在所述电场梯度的所述最大值的方向上远离所述纺丝区域朝向移动的电中性收集器(4,41,42)被运送,在位于所述纺丝区域的对面并形成所述移动的电中性收集器(4,41,42)的所述收集区域(40,410,420)的所述电中性收集器的周向表面上,所述纳米纤维(5)以纳米纤维的蓬松带(51)的形式沉积,所述蓬松带(51)通过所述电中性收集器(4,41,42)的移动连续地移动到所述拉出区域(401,4101,4201),在所述拉出区域中,所述蓬松带(51)通过拉力从所述电中性收集器(4,41,42)的所述表面拉出,并且随后卷绕到卷绕设备(7)的筒管(71)上,其中,所述纳米纤维(5)由于所述拉力而至少部分地平行化。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,纳米纤维的所述蓬松带(51)在转移到所述电中性收集器(4,41,42)的所述表面上的所述拉出区域(401,4101,4201)期间被圆整,从而收窄成纳米纤维的带状物。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在纳米纤维的所述蓬松带(51)的所述拉出期间,由卷绕设备(7)生成拉力。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在纳米纤维的所述蓬松带(51)的所述拉出期间,由布置在所述拉出区域和所述卷绕设备之间的引出设备生成拉力。

5. 根据前述权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,在所述卷绕设备(7)或所述引出设备的上游,在所述卷绕设备(7)或所述引出设备的上游,纳米纤维的所述蓬松带(51)由加捻设备(6)作用,所述加捻设备(6)使纳米纤维的所述蓬松带(51)逐渐变细成加捻三角区(52)并随后对其施加捻度,从而形成纳米纤维纱线(54)。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,在离开所述加捻设备(6)之后,由所述加捻设备(6)施加到纳米纤维的所述蓬松带(51)的残余量的捻度被保留,从而形成纳米纤维纱线(54)。

7. 一种用于使用根据前述权利要求1至6中任一项所述的方法在AC电场中从聚合物溶液或熔体生产线性纳米纤维结构的设备,其中,在纺丝电极(1,11,12,13)上产生具有所述AC电场强度(E)的超临界值的纺丝区域(110,120,130),所述纺丝电极(1,11,12,13)安装在纺丝室中并连接到高电压AC源并连接到用于将所述聚合物溶液或熔体施加到所述纺丝电极的表面的装置,其特征在于,在所述纺丝电极(1,11,12,13)上方,联接到驱动器的电中性收集器(4,41,42)布置在所述纳米纤维(5)的路径中,其中,所述电中性收集器(4,41,42)的所述表面对着所述纺丝电极(1,11,12,13)的区域形成纳米纤维的收集区域(40,410,420),用于呈纳米纤维的蓬松带(51)的形式的纳米纤维的连续沉积,其中,纳米纤维的所述蓬松带(51)的拉出区域(401,4101,4201)在所述收集区域的下游在所述收集器的移动方向上形成在所述电中性收集器(4,41,42)的表面上,在纳米纤维(5)的所述蓬松带(51)的所述拉出的方向上在所述拉出区域(401,4101,4201)的下游布置有卷绕设备(7),用于生成用于从所述电中性收集器(4,41,42)的所述表面拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)。

8. 根据权利要求7所述的设备,其特征在于,在所述拉出区域(401,4101,4201)和所述卷绕设备(7)之间布置有引出设备,所述引出设备用于生成用于从所述电中性收集器(4,41,42)的所述表面拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)的拉力。

9. 根据权利要求7或8所述的设备,其特征在于,在所述卷绕设备(7)或所述引出设备的上游,在拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)的方向上布置有加捻设备(6)。

10. 根据权利要求7至9中任一项所述的设备,其特征在于,所述纺丝电极由旋转盘式纺丝电极(11)形成。

11. 根据权利要求7至9中任一项所述的设备,其特征在于,所述纺丝电极由带式纺丝电极(12)形成。

12. 根据权利要求7至9中任一项所述的设备,其特征在于,所述纺丝电极由线性纺丝电极(13)形成。

13. 根据权利要求7至12中任一项所述的设备,其特征在于,所述电中性收集器由电中性滚筒收集器(41)形成。

14. 根据权利要求13所述的设备,其特征在于,在所述电中性滚筒收集器(41)上,所述电中性滚筒收集器(41)的纳米纤维(5)的收集区域(410)形成在对着所述纺丝电极(1,11,12,13)的区域中,并且在所述滚筒收集器(41)的所述表面背对所述纺丝电极(1,11,12,13)的区域中,形成所述滚筒收集器的的拉出区域(4101)以用于拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)。

15. 根据权利要求14所述的设备,其特征在于,在所述电中性滚筒收集器(41)的所述收集区域(410)和所述拉出区域(4101)之间,纳米纤维的所述蓬松带(51)被分配有圆整装置。

16. 根据权利要求7至12中任一项所述的设备,其特征在于,所述电中性收集器由电中性带式收集器(42)形成。

17. 根据权利要求16所述的设备,其特征在于,所述电中性带式收集器(42)包括环形传送带(421),所述环形传送带(421)环绕两个上圆筒(422)和两个下圆筒(423),所述两个上圆筒(422)和所述两个下圆筒(423)中的至少一个是驱动圆筒,其中,所述环形传送带(421)的所述下分支(4211)形成纳米纤维(5)的所述收集区域(420),用于将纳米纤维沉积在纳米纤维的所述蓬松带(51)中。

18. 根据权利要求17所述的设备,其特征在于,所述环形传送带(421)具有上分支,所述上分支在所述环形传送带(421)的移动的方向上的端部形成用于从所述电中性带式收集器(42)拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)的拉出区域(4201)。

19. 根据权利要求18所述的设备,其特征在于,在所述环形传送带(421)的所述上分支(4212)上,纳米纤维的所述蓬松带(51)被分配有圆整装置。

20. 根据权利要求17所述的设备,其特征在于,在所述环形传送带(421)的移动的方向上,在所述环形传送带(421)的下分支(4211)的端部处,产生用于从所述电中性带式收集器(42)拉出纳米纤维的所述蓬松带(51)的所述拉出区域(4201),所述电中性带式收集器(42)连接到由所述环形传送带(421)的所述下分支(4211)形成的所述收集区域(420),以用于以蓬松带(51)的形式沉积所述纳米纤维(5)。

## 在交流(AC)电场中从聚合物溶液或聚合物熔体生产线性纳米纤维结构的方法和用于执行该方法的设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种在AC电场中从聚合物溶液或熔体生产线性纳米纤维结构的方法,其中在纺丝电极上形成具有超临界AC电场强度的纺丝区域。在纺丝区域中,形成纳米纤维,该纳米纤维在所生成的电场的梯度的最大值的方向上通过电风的作用被从纺丝电极运送走。

[0002] 本发明还涉及一种用于在AC电场中从聚合物溶液或熔体生产线性纳米纤维结构的设备,其中在纺丝电极上产生具有AC电场强度的超临界值的纺丝区域,该纺丝电极安装在纺丝室中并连接到高交流电压源,并且联接到用于将聚合物溶液或熔体施加到纺丝电极的表面的装置。

### 背景技术

[0003] 在纳米纤维纱线的制备中,定向纳米纤维是纳米纤维纱线的构造的基础。目前,在DC静电纺丝领域中已经开发了许多方法来获得纵向定向的纤维束,这些方法可以归因于两个主要方面,即通过改进收集设备或通过借助于辅助电极影响电场来获得高度有序的纳米纤维。

[0004] CN111118677公开了通过DC静电纺丝生产纳米纤维纱线。该设备包括圆柱形收集器,该收集器由腔体和可围绕其轴线旋转的喉部组成,其中喉部的上部开口的直径小于腔体的下部开口的直径。在腔体的下部开口内部安装有DC静电旋转纺丝电极,该纺丝电极连接到高电压DC源,待进行静电纺丝溶液被馈送到高电压DC源中。在收集器腔体的上部中,加压空气入口通向收集器的内部空间,并且在其上方布置有对电极,该对电极可以接地或连接到与旋转的纺丝电极相反极性的电压源。

[0005] 在旋转的纺丝电极上形成的纳米纤维通过静电场的作用被运送到对电极,并且通过气流的作用,它们被向上运送到旋转的圆柱形收集器的喉部中,并且由于其旋转和供应的气流,生成涡流,该涡流将纳米纤维加捻成纱线,该纱线随后被拉出并卷绕在筒管上。

[0006] 由于纺丝电极的旋转和随后的涡流的作用,纳米纤维在其形成后立即被加捻,使得在加捻之前不存在纳米纤维的平行化,加捻不均匀地发生,并且因此它们的强度和外观是可变的。

[0007] CN111286792描述了一种DC静电纺丝设备的水平布置,该DC静电纺丝设备包括旋转的喷射纺丝电极和由中空圆筒形成的收集电极,该中空圆筒相对喷射纺丝电极同轴地布置,其中在纺丝电极和收集电极之间形成DC电场。指向收集电极的轴线的至少两个空气射流布置在旋转的喷射纺丝电极周围。由于电风,由旋转的喷射纺丝电极形成的纳米纤维被运送到形成收集电极的中空圆筒,其中由于喷射纺丝电极的旋转和来自射流的空气流,纳米纤维被加捻成纱线,该纱线在穿过收集电极的腔体之后被引出并卷绕在筒管上。

[0008] 在该解决方案中,目标也是在纳米纤维形成后尽快加捻纳米纤维,而不实现它们的平行化。

[0009] 在这两种情况下,纳米纤维纱线的DC静电生产的缺点包括低纱线抱合力、纳米纤维的不规则捻度和不良取向。

[0010] 目前,例如从CN110644080中也已知一种连续制备纳米纤维纱线的方法,其中纳米纤维由喷射头中的聚合物溶液形成,纳米纤维通过在文丘里管中生成的高速气流的作用从喷射头中引出,并且通过漏斗形收集管进入文丘里收集系统,在那里它们通过利用文丘里效应抽吸纳米纤维束而被拉直和定向成定向的纳米纤维束。定向的纳米纤维束随后通过加捻设备的作用被加捻并聚集成纳米纤维纱线,该纱线在下一步骤中被卷绕在筒管上。加捻设备包括空气喷嘴,用于在切向方向上朝向待加捻的纱线供应空气流。

[0011] 从纳米纤维纱线的后续加工和使用的角度来看,为了满足目前对其制备的要求,仅仅获得定向纤维是不够的,还必须能够连续地获得定向纤维或纤维束,并且能够均匀地对其施加一定程度的捻度,以确保其长度和定向程度。为了优化纳米纤维纱线的强度,如果纳米纤维束中的纳米纤维由于其形成的方法已经纵向地定向,即它们与束的轴线一致地定向,则是有利的。用于纳米纤维纱线的连续生产的现有DC静电纺丝技术具有低产量和所生产的纳米纤维纱线的较差质量。因此,目前通过DC电纺丝生产芯纱。

[0012] 例如,CZ PV 2007-179公开了一种包含聚合物纳米纤维的线性纤维结构,该聚合物纳米纤维在由支撑线性纤维结构形成的芯的表面上形成涂层,纳米纤维中的至少一些被捕获在芯的表面部分的纤维之间。纳米纤维通过DC静电纺丝(即,使用高电压DC源)生产,其中支撑线性结构被引导通过纺丝电极和收集电极之间的纺丝空间,并且在纺丝空间之外,纳米纤维被施加假捻。因此,纺丝空间中的支撑线性结构围绕其轴线旋转,并且通过纺丝空间运送到收集电极的单独的纳米纤维沉积在其表面上。并非所有纳米纤维都被捕获在支撑线性结构上,而是纳米纤维中的一些飞过并且仅被捕获在收集电极上。即使通过其中收集电极由导电支撑线性结构形成的实施例也没有消除该问题。同样在该实施例中,大部分纳米纤维飞过线性支撑结构并且被捕获在纺丝空间的壁上。

[0013] 尽管纳米纤维被捕获在芯的表面部分的纤维之间,但是在它们的退绕期间,由于作用在包装中的相邻纤维的表面之间的力(这些力大于纳米纤维的涂层和芯之间的抱合力),纳米纤维涂层被从芯上扯离。

[0014] 通过CZ PV 2009-797部分地解决了上面提到的问题,其中纳米纤维利用至少一根覆盖线固定到芯。对于大多数可能的应用,通过覆盖线的包裹确保纳米纤维足够结实和耐久地固定到芯,并且同时,覆盖线允许充分利用纳米纤维的特定性质,因为它不妨碍对纳米纤维的接近。

[0015] 实际的纤维结构通过使支撑线性结构穿过纺丝空间若干次而产生,其中,在纺丝空间外部的支撑线性结构通过至少一个圆筒的圆周的一部分返回,其倾斜地靠近到该圆筒上,使得在返回之后,支撑线性结构以其相对侧面向纺丝电极。在该实施例中,不存在假捻,并且因此,当穿过纺丝空间时,支撑线性结构不围绕其轴线旋转,并且因此纳米纤维在每次穿过期间沉积在支撑线性结构面向纺丝电极的一侧上。由于支撑线性结构多次穿过纺丝空间,与之前的解决方案中相比,更大量的纳米纤维沉积在该结构上,然而纳米纤维中的一些飞过直到到达收集电极。纳米纤维作为层中的单独的纳米纤维以无序方式沉积在支撑线性结构的表面上,并且它们与芯表面的抱合力低。纳米纤维固定到支撑线性结构的表面是通过随后用至少一根覆盖线包裹来实现的。

[0016] EP2931951 B1公开了一种生产聚合物纳米纤维的方法,其中通过将电场施加到放置在纺丝电极的表面上的聚合物溶液或熔体来形成聚合物纳米纤维,其中用于纺丝的电场在AC电压施加到其上的纺丝电极与在纺丝电极附近生成和/或供应的空气和/或气体离子之间交替地形成,而没有收集电极,由此,根据纺丝电极上的AC电压的相位,形成具有相反电荷和/或具有带有相反电荷的部段的聚合物纳米纤维,其在形成之后由于静电力的作用而聚集成呈线缆或带形式的线性结构,该线缆或带在空间中在电场的梯度的方向上自由地远离纺丝电极移动。

[0017] 通过AC高电压方法纺丝是替代静电纺丝的另一生产纳米纤维的方式。然而,其产量尚未达到通过该方法生产纯纳米纤维纱线的水平。因此,EP3303666提出了一种生产具有聚合物纳米纤维的涂层的芯纱的方法,该涂层在支撑线性结构穿过纺丝室期间包围形成芯的支撑线性结构。在该方法中,连接到聚合物溶液的入口并由AC高电压供电的纺丝电极布置在支撑线性结构的下方,在支撑线性结构的面上,纳米纤维在紧邻纺丝电极的面并且在其上方的纺丝空间中形成,其中支撑线性结构在纺丝空间中围绕其自身轴线旋转。纳米纤维在纺丝电极的面的圆周周围和纺丝空间中形成。它们形成为中空的中性纳米纤维毛羽,其中纳米纤维布置在其中短部段中的纳米纤维改变它们的方向的不规则网格结构中,其中中空的中性纳米纤维毛羽由电风朝向支撑线性结构运送,并且变成扁平条带,该条带被带到支撑线性结构的圆周,其中由中空的中性纳米纤维毛羽产生的条带以螺旋的形状包裹在旋转和/或形成气圈(ballooning)的支撑线性结构周围,在其上产生纳米纤维涂层,其中纳米纤维布置在其中短部段中的单独的纳米纤维改变它们的方向的不规则网格结构中。

[0018] 纳米纤维毛羽代表用于芯纱的涂层的理想材料,因为由于其电中性和其中短部段中的单独的纳米纤维改变它们的方向的不规则网格结构,纳米纤维毛羽能够形成包围纱线芯的固体涂层,由此当卷绕在筒管上时以及在加工期间的随后退绕期间,涂层对其周围环境是惰性的。然而,如果要从纳米纤维毛羽生产纯纳米纤维纱线,将存在纳米纤维的数量不足以及毛羽的网格结构的问题,该结构不允许纳米纤维的平行化。

[0019] 目前,还没有令人满意的方法来生产具有工业应用潜力的纳米纤维纱线。目前制备纳米纤维纱线的方法受到低生产率、低可靠性和有限的材料选择的阻碍。它们的生产仅作为研究工作的一部分在实验室规模上实现。

[0020] 参见例如Zhou B.等人,Developments in Electrospinning of Nanofibrous yarns,Journal of Physics:Conference Series 1790(2021)012081doi:10.1088/1742-6596/1790/1/012081)。

[0021] 本发明的目的是提供一种通过聚合物溶液或熔体的AC静电纺丝生产纳米纤维纱线的方法,其中纳米纤维将以足够量生产,在加捻之前将部分地平行化,并且在加捻之后将足够结实以允许卷绕在筒管上并随后使用或通过已知的纺织技术加工成纺织结构。

[0022] 此外,本发明的目的是提供一种用于执行该方法的设备。

## 发明内容

[0023] 本发明的目的通过一种通过将聚合物溶液或熔体纺丝而在交变电场中生产线性纳米纤维结构的方法来实现,其中,本发明的原理在于,在具有超临界AC电场强度和有限长

度的纺丝电极上产生至少一个纺丝区域,从该纺丝区域,出现的纳米纤维在电场梯度的最大值的方向上通过电风的作用远离纺丝区域朝向移动的电中性收集器被运送,在位于纺丝区域的对面并形成移动的电中性收集器的收集区域的电中性收集器的周向表面上,纳米纤维以纳米纤维的蓬松带的形式沉积,该纳米纤维的蓬松带通过电中性收集器的移动而移动到拉出区域中,在该拉出区域中,该纳米纤维的蓬松带通过拉力从电中性收集器的表面拉出,并且随后卷绕到卷绕设备的筒管上,该纳米纤维通过拉力至少部分地平行化。

[0024] 在优选实施例中,纳米纤维的蓬松带在转移到电中性收集器的表面上的拉出区域期间被圆整,从而使其逐渐变细,使得其可以直接卷绕,或者在逐渐变细期间更容易形成为加捻三角区,当施加捻度时,没有损坏纳米纤维的蓬松带的边缘的风险。

[0025] 用于拉出纳米纤维的蓬松带的拉力由卷绕设备或布置在拉出区域和卷绕设备之间的引出设备生成。这将工艺拉力与卷绕力分开,使得可以针对筒管的构造为卷绕选择合适的拉力。

[0026] 在卷绕或引出之前,纳米纤维的蓬松带通过加捻设备作用,该加捻设备使纳米纤维的蓬松带逐渐变细成加捻三角区,并且然后对其施加捻度,从而形成纳米纤维纱线。

[0027] 该方法的显著特征是在两个夹持点之间(即在电中性收集器的拉出区域和筒管上的纳米纤维纱线的卷绕或引出的点之间)将捻度施加到纳米纤维的蓬松带,其中,由加捻设备施加到纳米纤维的蓬松带的捻度的残余量保留在离开加捻设备之后被卷绕的纳米纤维纱线中。

[0028] 根据本发明的方法的重要特征还在于,纺丝电极的纺丝区域形成在盘式纺丝电极的圆周上,或者在带式纺丝电极的弯曲点处(其中纺丝区域横向于纺丝带的移动方向布置),或者在线性纺丝电极的线性柔性结构上。

[0029] 为了执行该方法,提供了一种用于通过聚合物溶液或熔体的AC静电纺丝来生产纳米纤维纱线的设备,其原理在于,联接到驱动器的电中性收集器在纳米纤维的路径中布置在纺丝电极上方,其中,电中性收集器的表面对着纺丝电极的区域形成纳米纤维的收集区域,用于呈纳米纤维的蓬松带的形式的纳米纤维的连续沉积,其中,纳米纤维的蓬松带的拉出区域在收集区域下游的收集器的移动方向上在电中性收集器的表面上形成,在该收集区域的下游,在纳米纤维的蓬松带的拉出方向上布置有卷绕设备。卷绕设备用于生成拉力以从电中性收集器的表面拉出纳米纤维的蓬松带。

[0030] 拉力也可以由位于拉出区域和卷绕设备之间的引出设备生成。以这种方式,有可能将工艺拉力(即与使纱线形成气圈和拉出强度相关联的张力)和卷绕拉力(即卷绕张力)分开。然后可以针对筒管的构造选择适当的卷绕拉力。

[0031] 在优选实施例中,在卷绕设备或引出设备的上游,在纳米纤维的蓬松带的拉出的方向上布置加捻设备,使得纳米纤维纱线被馈送到卷绕设备中。

[0032] 纺丝电极可以由盘式纺丝电极、带式纺丝电极或线性纺丝电极或由另一种类型的纺丝电极形成。

[0033] 电中性收集器可以由电中性滚筒收集器或电中性带式收集器组成。

[0034] 如果电中性收集器由电中性滚筒收集器形成,则在优选实施例中,在电中性滚筒收集器上对着纺丝电极形成纳米纤维的收集区域,并且在滚筒收集器的表面背对纺丝电极的区域中,形成滚筒收集器的拉出区域,用于拉出纳米纤维的蓬松带。

[0035] 在该实施例中,如果将圆整装置在电中性滚筒收集器的收集区域和拉出区域之间分配给纳米纤维的蓬松带,则是有利的。圆整装置减小了纳米纤维的蓬松带的宽度/厚度,并且因此简化了其加捻和/或卷绕。

[0036] 如果电中性收集器由带式收集器形成,则该收集器是环绕两个上圆筒和两个下圆筒的环形传送带,该圆筒中的至少一个是驱动圆筒。环形传送带的下分支形成纳米纤维的收集区域,该纳米纤维以纳米纤维的蓬松带沉积在收集区域上。

[0037] 在优选实施例中,纳米纤维的蓬松带通过环形传送带的移动被馈送到环形传送带的上分支中,该上分支在环形传送带的移动方向上的端部形成用于从电中性带式收集器拉出纳米纤维的蓬松带的拉出区域。该实施例允许将圆整装置分配给环形传送带的上分支上的纳米纤维的蓬松带,其使纳米纤维的蓬松带逐渐变细并改善其用于拉出和随后加捻的性质。

[0038] 在另一个优选实施例中,在环形传送带的移动方向上在其下分支的端部处形成拉出区域,用于从电中性带式收集器拉出纳米纤维的蓬松带,该电中性带式收集器连接到由环形传送带的下分支形成的收集区域,纳米纤维以蓬松带的形式沉积在该收集区域上。

## 附图说明

[0039] 在附图中示意性地表示了根据本发明的设备,其中,图1示出了具有旋转盘式纺丝电极和电中性滚筒收集器的设备的侧视图,图2以前视图示出了图1的设备,图3以俯视图示出了图1的设备,图4示出了在盘式电极的圆周上的电场强度的分布,图5表示具有旋转盘式纺丝电极和电中性带式收集器的设备的侧视图,图6以前视图示出了图5的设备,图7以俯视图示出了图5的设备,图8a以侧视图示出了具有带式纺丝电极和电中性带式收集器的设备,其中在收集器的上分支中具有纳米纤维的蓬松带的拉出区域,图8b以前视图示出了图8a的设备,图8c以侧视图示出了具有带式纺丝电极和电中性带式收集器的设备,其中在收集器的下分支中具有纳米纤维的蓬松带的拉出区域,图8d示出了图8c的设备的前视图,图9a示出了具有线性纺丝电极和电中性带式收集器的设备的侧视图,其中在收集器的上分支中具有纳米纤维的蓬松带的拉出区域,图9b示出了图9a的设备的前视图,图9c示出了具有线性纺丝电极和电中性带式收集器的设备的侧视图,其中在收集器的下分支中具有纳米纤维的蓬松带的拉出区域,图9d示出了图9c的设备的前视图。

## 具体实施方式

[0040] 一种用于通过聚合物溶液或聚合物熔体的AC静电纺丝来生产纳米纤维的设备包括纺丝电极1,在图1至图7的实施例中,纺丝电极1由旋转盘式纺丝电极11组成,旋转盘式纺丝电极11以其圆周的下部安装在聚合物溶液21或熔体的贮存器2中,并且联接到已知的未图示的驱动器。由于聚合物熔体的纺丝以与聚合物溶液21的纺丝相同的方式进行,因此在下文中将描述仅聚合物溶液的纺丝。聚合物溶液通常由PVB、PCL、PVA的溶液或其它可纺丝聚合物溶液组成。纺丝电极1和聚合物溶液的贮存器2安装在纺丝室3中。

[0041] 纺丝电极1连接到例如具有32kV的有效电压和50Hz的频率的未图示的高电压AC源。连接到AC电压源的也可以是待纺丝的聚合物溶液,纺丝电极1和AC电压源通过该聚合物溶液互连。根据第一示例性实施例,纺丝电极1由具有水平旋转轴线的旋转盘式纺丝电极11

形成。旋转盘式纺丝电极11以其圆周的下部安装在处于贮存器2中的聚合物溶液21中。旋转盘式纺丝电极11联接到已知的未图示的旋转驱动器,使得在其旋转期间,它将聚合物溶液21运送到其表面的圆周部分。聚合物溶液21的量通常通过已知的未图示的擦拭设备来调节。在旋转室3中,在盘式纺丝电极11的圆周的上部附近及其上方,存在纺丝空间31。在纺丝室3中的纺丝电极1上方,可旋转地安装有联接到未图示的已知驱动器的电中性收集器4。盘式纺丝电极11的上部形成纺丝区域110,纳米纤维5在该纺丝区域中形成,纳米纤维5例如通过扁平纺织品穿过纺丝空间31被运送到覆盖有合适涂层的电中性收集器4的表面,该扁平纺织品由允许容易地从电中性收集器4的表面拉出纳米纤维的材料制成。

[0042] 在图1至图3的实施例中,收集器4由电中性滚筒收集器41形成。电中性滚筒收集器41的轴线与盘式纺丝电极11的轴线平行。电中性滚筒收集器41的表面对着盘式纺丝电极11的区域形成纳米纤维的收集区域410,纳米纤维5以纳米纤维的蓬松带51的形式沉积在收集区域410上。电中性滚筒收集器41的表面的背对着盘式纺丝电极11的区域形成纳米纤维的蓬松带51的拉出区域4101。

[0043] 在纺丝空间31的外部,在电中性滚筒收集器41的圆周的切线方向上并且在被拉出的纳米纤维5的流动方向上,布置有加捻设备6,该加捻设备6例如由位于加捻设备6或另一已知的加捻设备的旋转轴线外部的旋转导向孔眼组成。带有筒管71的卷绕设备7在拉出的纳米纤维5的流动方向上和纱线54的引出方向上布置在加捻设备6的下游。在未图示的示例性实施例中,在拉出区域4101和卷绕设备7之间布置有引出设备,该引出设备用于产生用于从电中性收集器的表面拉出纳米纤维的蓬松带51的拉力。

[0044] 电压的有效值(例如32kV)、电压函数的波形(例如正弦、锯齿、阶跃)和频率(例如50Hz)都不是限制性的,并且可以在非常宽的范围内使用其它合适的值。

[0045] 在旋转期间,盘式纺丝电极11在其圆周和其圆周附近的面的部分上从贮存器2运送出聚合物溶液21。在AC电场中纺丝期间,目的是每单位时间生产最大可能量的纳米纤维5,该纳米纤维5在盘式纺丝电极11的整个纺丝区域110中形成,并且在所生成的电场的梯度的方向上通过电风(任选地还通过辅助空气流)从盘式纺丝电极11运送到电中性滚筒收集器41,该滚筒收集器既不接地也不连接到电压的源。纳米纤维5的形成在电场强度E的临界值处开始,该临界值根据待纺丝的聚合物溶液21的类型、电压的值、波形、AC电压的频率、纺丝室3中的气体的质量和其它参数而变化。在电场强度E的值低于临界值时,纳米纤维5不形成或停止形成。

[0046] 用于AC静电纺丝目的的电场强度E的临界值意指电场强度E的最小值,对于纺丝电极的给定形状、聚合物溶液的类型以及频率的值和波形,该最小值将提供足够量的纳米纤维以用于进一步的工艺加工。

[0047] 因此,在使用纺丝电极1的特定设计的AC电场中的常规纺丝期间,对于电场的选定频率及其波形使用比临界强度更高的电场强度E(即超临界电场强度),这在纺丝电极1上产生高强度E的电场,以便防止纺丝过程中断的危险,以确保溶剂从聚合物溶液的出现的泰勒锥中的充分蒸发,并且提供足够强的电风以将形成的纳米纤维5输送到电中性收集器4。

[0048] 对于300mm的盘直径、1mm的盘厚度、0.2mm的聚合物溶液层厚度和50kV的电压幅度,上面提及的聚合物溶液21在盘式纺丝电极11上的常规纺丝的电场强度E的分布在图4中示出。PVB聚合物溶液的电场强度E的超临界值等于或大于3000MV/m。从图中显而易见的是,

在盘式纺丝电极11的圆周部周围的宽区域中获得电场强度E的超临界值。因此,聚合物溶液21的纺丝发生在盘式纺丝电极11的周向表面的整个宽度上以及在其圆周附近的一部分面上,并且所形成的纳米纤维5在所生成的电场的梯度的方向上从盘式纺丝电极11被运送走,穿过纺丝空间31到达电中性滚筒收集器41的表面,到达其收集区域410,并且如果需要,通过使空气在所需方向上流动来辅助电风的效果。给定超临界电场强度E的区域的尺寸,显然将产生足够量的纳米纤维5以用于其进一步加工。

[0049] 纳米纤维5在电中性滚筒收集器41的圆周的收集区域410上沉积成纳米纤维的窄蓬松带51,并且通过旋转滚筒收集器41,纳米纤维的蓬松带51被运送到电中性滚筒收集器41的上部,即被运送到拉出区域4101,在该拉出区域4101中纳米纤维的蓬松带51被拉出。通过AC静电纺丝产生的纳米纤维的蓬松带51由纳米纤维5的三维层组成,该纳米纤维5由于电风的作用和纳米纤维5的相反极化部分之间的吸引力而沉积在电中性滚筒收集器41的表面上,并且在沉积期间部分地平行化,其中纳米纤维的蓬松带51代表线性纳米纤维结构。纳米纤维的蓬松带51可以以三维形状从电中性滚筒收集器41的拉出区域4101的表面拉出,并且通过随后将其引出并加捻,可以以与在纱线上加工具有永久捻度的纤维股时类似的方式由其形成加捻三角区52和纳米纤维纱线54。

[0050] 如果在类似设备上通过DC静电纺丝生产纳米纤维,则滚筒收集器将用作连接到与纺丝电极相反极性的DC电压的收集电极,并且纳米纤维将以平坦的、非常薄的带沉积在其上,该带在从滚筒中拉出并随后经受加捻之后将表现为实心扁平结构并且将加捻成由该带形成的螺旋。

[0051] 电中性滚筒收集器41的圆周速度被调节,使得在滚筒收集器41上产生的纳米纤维的蓬松带51在它从拉出区域4101中的电中性滚筒收集器41的表面拉出时具有足够的机械阻力,并且用于捻度的随后施加,或者用于直接卷绕在卷绕设备7的筒管71上。

[0052] 纳米纤维的蓬松带51从旋转的电中性滚筒收集器41中拉出并被引导到加捻设备6,其中在拉出之后,其逐渐变细成加捻三角区52,在加捻设备6的作用和由部分地加捻的纳米纤维5从加捻设备6传递的力矩下,纳米纤维的蓬松带51从加捻三角区52逐渐变细并同时加捻成纳米纤维纱线54。由于纳米纤维的蓬松带51的纳米纤维5以一定的粘附度沉积在电中性滚筒收集器41的表面上,当纳米纤维5在拉出区域4101中从电中性滚筒收集器41的表面释放时,在纳米纤维5中生成拉力,该拉力是在加捻之前使纳米纤维5平行化所必需的,使得在纳米纤维部分地平行化之后发生捻度的形成和因此纳米纤维纱线54的形成。此外,纳米纤维的蓬松带51从电中性滚筒收集器41的表面的拉出是由于在两个夹持点之间,即在滚筒收集器41的表面和筒管71上的卷绕点之间的牵伸而发生的,纳米纤维5被伸长并且在它们的流动方向上部分地平行化,这在它们随后被加捻时有利于纳米纤维5布置成螺旋,并且因此确保所生产的纳米纤维纱线54的足够强度。

[0053] 在加捻期间,纳米纤维不再平行化,而是加捻成螺旋。如果以大于收集器的速度的速度执行拉出,则在拉出的时刻,纳米纤维将变直并拉伸/伸长,但接着立即开始在加捻三角区中加捻成螺旋。

[0054] 在将纳米纤维5从电中性滚筒收集器41的拉出区域4101拉出之后,被拉出的纳米纤维的蓬松带51通过加捻设备6形成为加捻三角区52并从加捻三角区52形成为纳米纤维纱线54,其中纳米纤维纱线54在进入加捻设备6之前形成气圈。捻度从加捻设备6逆着纳米纤

维5的流动的工艺方向朝向电中性滚筒收集器41传播,从而有助于从滚筒收集器41的拉出区域4101拉出纳米纤维的蓬松带51。

[0055] 加捻设备6在两个夹持点之间(即在拉出区域与卷绕或引出的点之间)施加捻度于纳米纤维纱线54,使得在来自常规纤维的纱线的情况下,将发生假捻,在来自常规纤维的纱线的情况下,假捻在通过加捻设备之后将被消除。这不适用于纳米纤维纱线54的加捻,因为由于纳米纤维5的高表面积、单独的纳米纤维5之间的结合力和低捻系数,在加捻设备6下游的纳米纤维纱线54上保留相对高的捻度作为残余量的捻度。根据对由不同类型的聚合物制成的纳米纤维进行的实验,它是捻度的10%至60%,因此它是永久捻度。在具体测试中,在约10,000rpm的加捻设备速度下,残余捻度为约1,400捻/米纱线长度。随后,在卷绕设备7中,以已知的方式将纳米纤维纱线54卷绕到筒管71上。

[0056] 为了增加所生产的纳米纤维纱线54的强度和均匀性,有利的是,在从电中性滚筒收集器41拉出纳米纤维的蓬松带51之前,在滚筒收集器41的表面上对纳米纤维的蓬松带51进行圆整,从而实现纳米纤维的蓬松带51的收窄、将纳米纤维5保持在电中性滚筒收集器41的表面上力的更均匀的作用以及在纳米纤维的蓬松带51的整个横截面中在电中性滚筒收集器41的拉出区域4101中的纳米纤维5的更容易拉出,以及它们向加捻三角区52的平滑过渡。同时,圆整减小了加捻三角区52的底部,从而减小了纳米纤维的蓬松带51的圆周部分中的拉力,并且因此减小了在从电中性滚筒收集器41的拉出区域4101拉出期间纳米纤维的蓬松带51的断裂的风险。通过纳米纤维的蓬松带51的圆整形成的线性结构也可以用于直接卷绕到卷绕设备7的筒管71上,而不在加捻设备6上加捻。

[0057] 所生产的纳米纤维纱线54的强度的进一步增加可以例如通过在合适的设备(未示出)上以永久捻度加捻纳米纤维纱线54来实现。

[0058] 所形成的纳米纤维5的量、电中性滚筒收集器41的圆周速度和纳米纤维的蓬松带51的引出速度决定了纳米纤维纱线54的线质量,其对于纳米纤维纱线54的所得强度是至关重要的。

[0059] 图5至图7中示出了根据本发明的设备的实施例的另一备选变体,其中电中性收集器4由布置在旋转盘式纺丝电极11上方的纺丝室3中的带式收集器42形成。带式收集器42包括环绕两个上圆筒422和两个下圆筒423的环形传送带421,其中至少一个圆筒422、423是驱动圆筒。带式收集器42的所有圆筒422、423的旋转轴线与盘式纺丝电极11的旋转轴线平行。在根据图5至图7的实施例中,环形传送带421逆时针移动,其中位于下圆筒423之间的其下分支4211对着旋转盘式纺丝电极11的纺丝区域110布置,并且在旋转盘式纺丝电极11的纺丝区域110中形成的纳米纤维5在环形传送带421的下分支上沉积成纳米纤维的蓬松带51。环形传送带421的下分支4211因此形成电中性带式收集器42的收集区域420。由于环形传送带421的移动方向,在该实施例中,纳米纤维的蓬松带51被输送到环形传送带421的上分支4212,该上分支4212的端部形成电中性带式收集器42的拉出区域4201,纳米纤维的蓬松带51从该区域拉出并被引导到加捻设备6,通过该加捻设备将捻度施加到蓬松带。在拉出之后,纳米纤维的蓬松带51由于捻度的作用而逐渐变细成加捻三角区52,并且随后形成纳米纤维纱线54,如在具有电中性滚筒收集器41的设备的先前变体中所述。这种布置允许大量的纳米纤维5沉积在电中性带式收集器42上,从而形成具有更大厚度和重量的纳米纤维的蓬松带51。此外,这种布置在环形传送带421的上分支4212上提供足够的空间,用于通

过已知的未图示的圆整装置对纳米纤维的蓬松带51进行圆整。如果环形传送带421在相反方向上移动,则拉出区域4201将再次形成在环形传送带421的上分支4212的端部处,但是根据附图,它将在右侧上。

[0060] 在未示出的这种布置的备选实施例中,有可能通过改变圆筒422、423(环形传送带421包裹在其周围)的驱动圆筒的旋转方向来改变纳米纤维的蓬松带51的拉出区域4201的位置,并且在环形传送带421的移动方向上将纳米纤维的蓬松带51的拉出区域4201放置在下分支4211的端部处。因此,纳米纤维5的沉积、纳米纤维的蓬松带51的形成以及它们的拉出发生在电中性带式收集器42的环形传送带421的下分支4211上,上分支4212是空的。

[0061] 在根据图5至图7的设备的布置中,旋转盘式纺丝电极11可以用具有直接纺丝区域的纺丝电极代替,该纺丝电极可以由带式纺丝电极12或由线性柔性结构形成的线性纺丝电极13组成,线性纺丝电极13将在下文中描述。

[0062] 在图8a至图8d中示出了具有带式纺丝电极12的设备。该设备包括聚合物溶液21的贮存器2,联接到驱动器81的重绕轴8以其圆周的一部分延伸到该贮存器2中。在重绕轴8上方,刮板121例如借助于支柱82固定地安装在设备框架上的纺纱室3中。重绕轴8与刮板121一起被纺丝带122、122包裹,纺丝带122、122从聚合物溶液21延伸并在重绕轴8上方在刮板121上弯曲。纺丝带122将聚合物溶液21运送出贮存器2,并且纺丝带122的弯曲形成带式纺丝电极12的纺丝区域120,该纺丝区域120连接到AC电压源。在带式纺丝电极12的纺丝区域120上方,至少沿着其整个宽度布置有电中性带式收集器42的环形传送带421的下分支4211,如图8b中所示。

[0063] 电中性带式收集器42以与根据图5至图7的实施例中相同的方式构造。带式收集器42包括环绕两个上圆筒422和两个下圆筒423的环形传送带421,其中至少一个圆筒422、423是驱动圆筒。带式收集器42的所有圆筒422、423的旋转轴线都垂直于重绕轴8的旋转轴线。在图8a、图8b的实施例中,环形传送带421逆时针移动,其中位于下圆筒423之间的环形传送带的下分支4211对着带式纺丝电极12的纺丝区域120布置,并且在带式纺丝电极12的纺丝区域120中形成的纳米纤维5在环形传送带421的下分支上沉积成纳米纤维的蓬松带51。环形传送带421的下分支4211代表电中性带式收集器42的收集区域420。在该实施例中,相对于环形传送带421的移动方向,纳米纤维的蓬松带51被输送到环形传送带421的上分支4212,该上分支4212的端部形成电中性带式收集器42的拉出区域4201,纳米纤维的蓬松带51从该拉出区域拉出并在箭头的方向上被引导到加捻设备6,通过该加捻设备蓬松带51被施加捻度。在拉出之后,纳米纤维的蓬松带51由于捻度作用而逐渐变细成加捻三角区52,并且随后由其形成纳米纤维纱线54,如在具有电中性滚筒收集器41的设备的先前变体中所述。如上文已经描述的,环形传送带的移动方向可以反转,并且上面提及的布置仅是侧向反转。

[0064] 图8c和图8d中示出了用于生产纳米纤维纱线的设备的这种布置的备选实施例。在该实施例中,环形传送带421包裹在其周围的圆筒422、423的驱动圆筒的旋转方向反转,使得环形传送带顺时针移动,如图8d中所示。设备的其它部分及其功能保持与图8a和图8b的实施例中相同。因此,纳米纤维5的沉积、纳米纤维的蓬松带51的形成以及它们的拉出发生在电中性带式收集器42的环形传送带421的下分支4211上,上分支4212是空的。电中性带式收集器42的拉出区域4201因此在环形传送带421的下分支4211的端部处,在拉出区域4201

中,纳米纤维的蓬松带51从环形传送带421拉出。如上所述,纳米纤维的蓬松带51在箭头的方向上从拉出区域4201馈送到加捻设备,在加捻设备处其被加捻成纳米纤维纱线54。如上文已经描述的,环形传送带的移动方向可以反转,并且上面提及的布置仅是侧向反转。

[0065] 在具有线性纺丝电极13的实施例中,线性纺丝电极13由环形线性柔性结构组成,在图9a至图9d中所示的实施例中,该环形线性柔性结构安装在两个可旋转地安装的滑轮131上,该滑轮131联接到未图示的驱动器。滑轮131中的至少一个以其圆周的一部分延伸到聚合物溶液21的贮存器2。在所示的实施例中,每个滑轮131具有其聚合物溶液21的贮存器2。

[0066] 由线性纺丝电极13组成的线性柔性结构可以由例如细线、带、带子或具有由多个相互交织的部分构成的更分散的表面的结构(诸如线缆、绳索、多芯形成物等)形成。类似于先前的实施例,有限长度的纺丝区域130形成在滑轮131之间的线性纺丝电极13上。纺丝区域130通过已知的方法之一连接到AC电压源。

[0067] 在线性纺丝电极13的纺丝区域130上方布置有电中性带式收集器42,其下分支4211至少布置在线性纺丝电极13的纺丝区域130的整个长度上方,如图9b和图9d中所示。电中性带式收集器42与在先前实施例中类似地构造并且包括环形传送带421,该环形传送带421环绕两个上圆筒422和两个下圆筒423,其中至少一个圆筒422、423是驱动圆筒。带式收集器42的所有圆筒422、423的旋转轴线与滑轮131的轴线平行。在根据图9a、图9b的实施例中,环形传送带421逆时针移动,其中位于下圆筒423之间的其下分支4211对着线性纺丝电极的纺丝区域130布置,并且在线性纺丝电极13的纺丝区域130中形成的纳米纤维5在环形传送带421的下分支上沉积成纳米纤维的蓬松带51。环形传送带421的下分支4211因此代表电中性带式收集器42的收集区域420。在该实施例中,相对于环形传送带421的移动方向,纳米纤维的蓬松带51被输送到环形传送带421的上分支4212,该上分支4212的端部形成电中性带式收集器42的拉出区域4201,纳米纤维的蓬松带51从该拉出区域拉出并在箭头的方向上被引导到加捻设备6中,并且通过加捻它,形成纳米纤维纱线。如上所述,环形传送带的移动方向可以反转,并且上面提及的布置仅是侧向反转。

[0068] 图9c和图9d中示出了用于生产纳米纤维纱线的设备的这种布置的备选实施例。在该实施例中,环形传送带421的移动的方向被改变,并且因此其顺时针移动,如图9d中所示。设备的其它部分及其功能保持与根据图9a和图9b的实施例中相同。因此,纳米纤维5的沉积、纳米纤维的蓬松带51的形成以及它们的拉出是在电中性带式收集器42的环形传送带421的下分支4211上,上分支4212是空的。电中性带式收集器42的拉出区域4201因此在环形传送带421的下分支4211的端部处。纳米纤维的蓬松带51在箭头的方向上从拉出区域4201馈送到加捻设备,并且通过加捻它而形成纳米纤维纱线。如上所述,环形传送带的移动方向可以反转,并且上面提及的布置仅是侧向反转。

[0069] 在具有线性纺丝电极13的实施例中,环形线性柔性结构可以用卷绕在滑轮131上的有限长度的线性柔性结构代替。在该实施例中,两个滑轮131以其圆周的下部延伸到聚合物溶液21。滑轮131联接到已知的未图示的往复驱动器并且在两个方向上交替地旋转,其中线性柔性结构在它们之间保持张紧。

[0070] 工业适用性

[0071] 由纤维制成的纱线和线是纺织工业中最常用的结构元件,用于生产各种类型的纺

织品,例如织物和针织品。在常规的纺织品生产方式中使用100%纳米纤维纱线意味着生产所谓的纳米纺织品的巨大潜力,该纳米纺织品由于其极大的比表面积和低柔性(弯曲模量)相关联的效应而表现出优异的光学、电学、机械和生物学性质。

[0072] 纳米纤维纱线将作为手术线、用于修复神经、肌腱、骨骼和血管的组织载体的结构单元得到应用。它们有可能成为用于收集和储存能量、用于机电一体化设备的致动器、用于传感器和过滤器的结构元件。

[0073] 附图标记列表

[0074] 1 纺丝电极

[0075] 11 旋转盘式纺丝电极

[0076] 110旋转盘式纺丝电极的纺丝区域

[0077] 12带式纺丝电极

[0078] 120带式纺丝电极的纺丝区域

[0079] 121 刮板

[0080] 122 纺丝带

[0081] 13 线性纺丝电极

[0082] 130线性纺丝电极的纺丝区域

[0083] 131 滑轮

[0084] 2 聚合物溶液的贮存器

[0085] 21 聚合物溶液

[0086] 3 纺丝室

[0087] 31 纺丝空间

[0088] 4 电中性收集器

[0089] 40电中性收集器的收集区域

[0090] 401电中性收集器的拉出区域

[0091] 41 滚筒收集器

[0092] 410 滚筒收集器的收集区域

[0093] 4101滚筒收集器的拉出区域

[0094] 42 带式收集器

[0095] 420 带式收集器的收集区域

[0096] 4201带式收集器的拉出区域

[0097] 421 环形输送带

[0098] 4211环形输送带的下分支

[0099] 4212环形输送带的上分支

[0100] 422 上圆筒

[0101] 423 下圆筒

[0102] 5 纳米纤维

[0103] 51 纳米纤维的蓬松带

[0104] 52 加捻三角区

[0105] 54 纳米纤维纱线

- [0106] 6 加捻设备
- [0107] 7 卷绕设备
- [0108] 71 筒管
- [0109] 8 重绕轴
- [0110] 81 驱动器
- [0111] 82 支柱
- [0112] E 电场强度

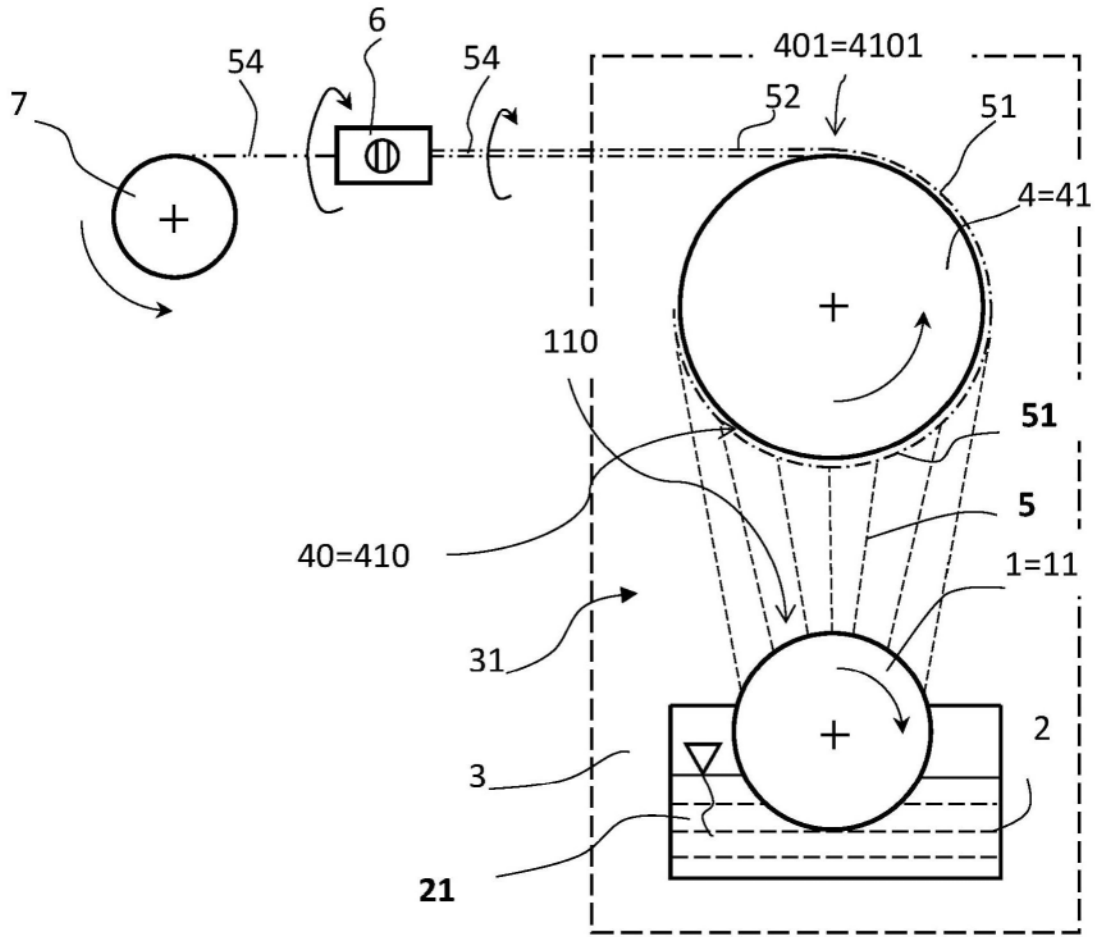


图1

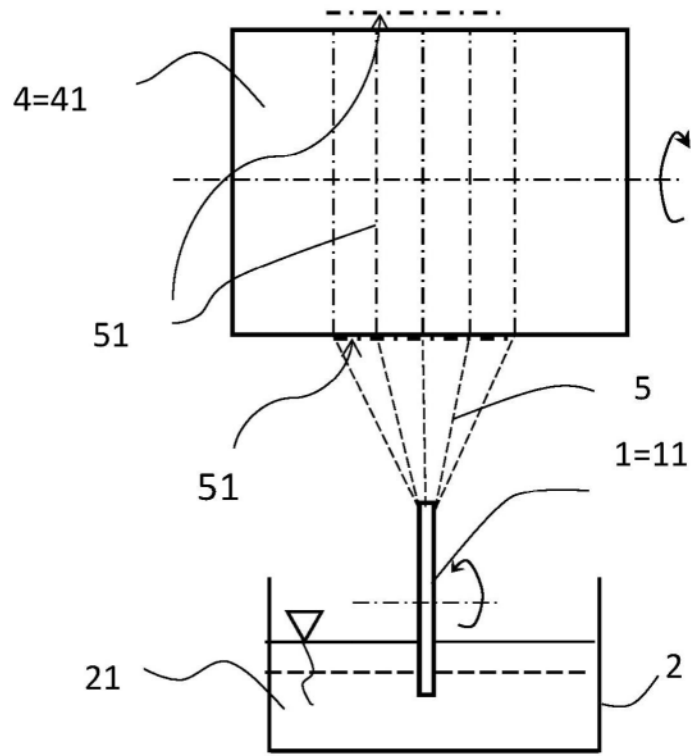


图2

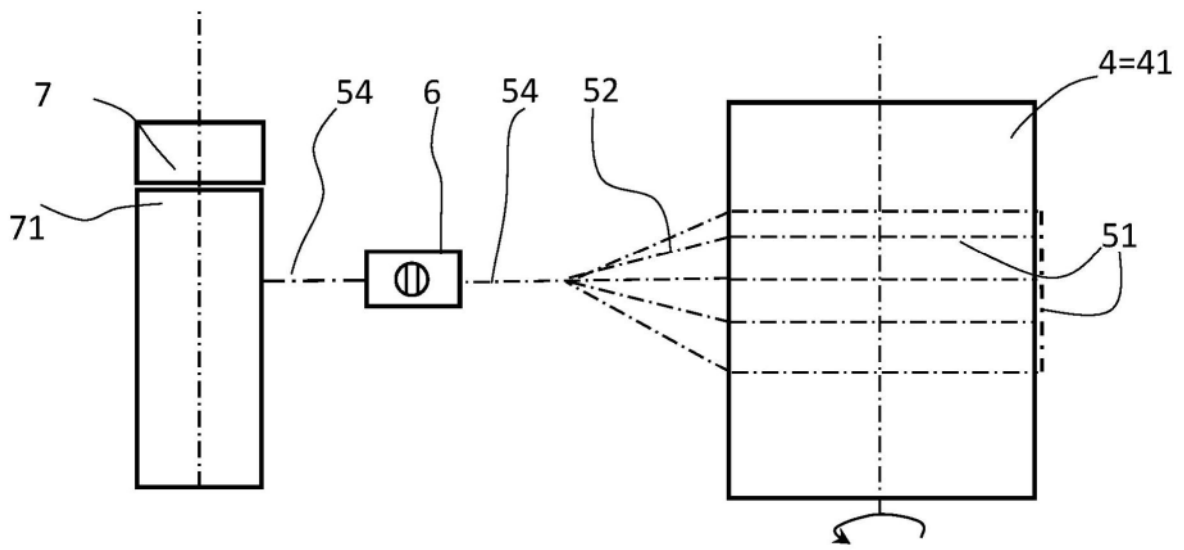


图3

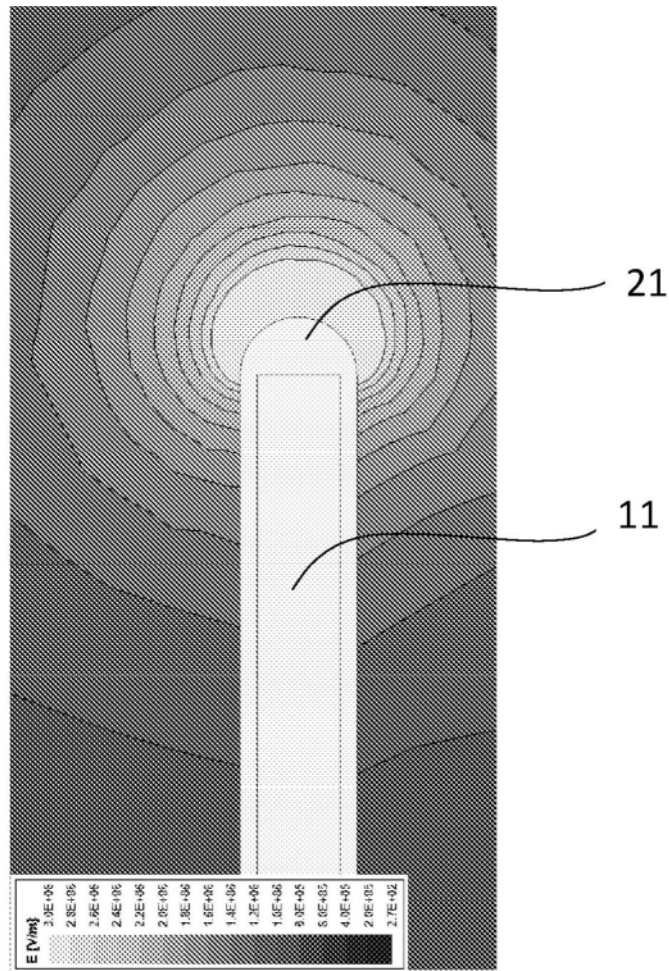


图4

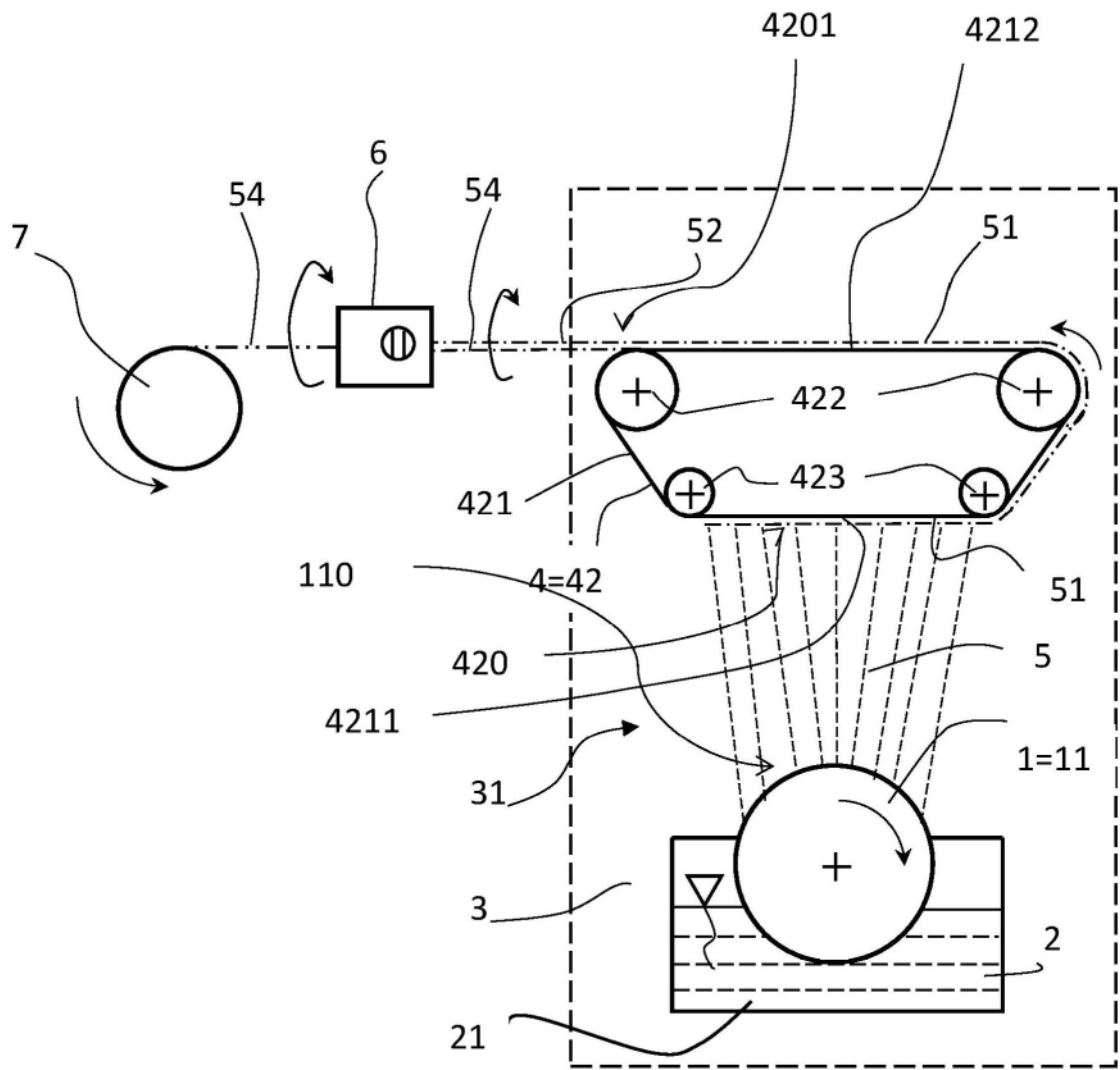


图5

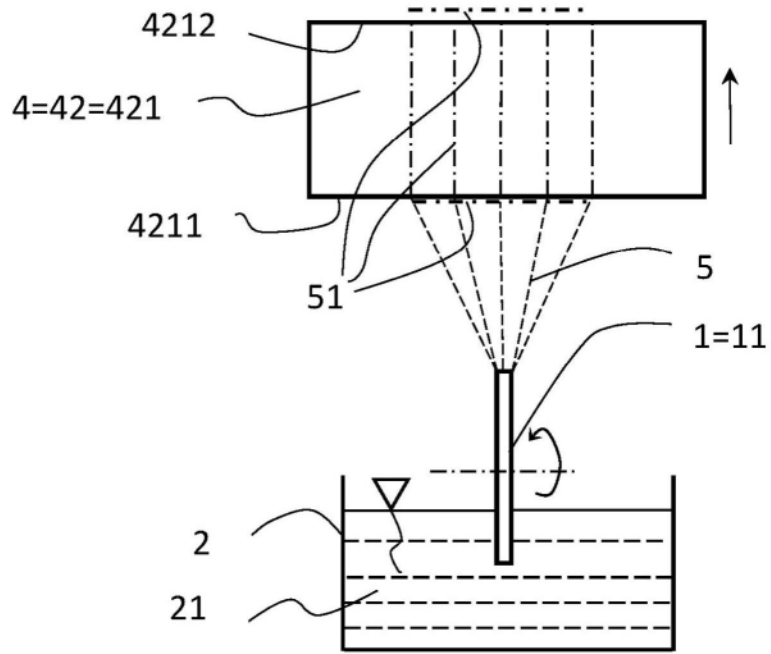


图6

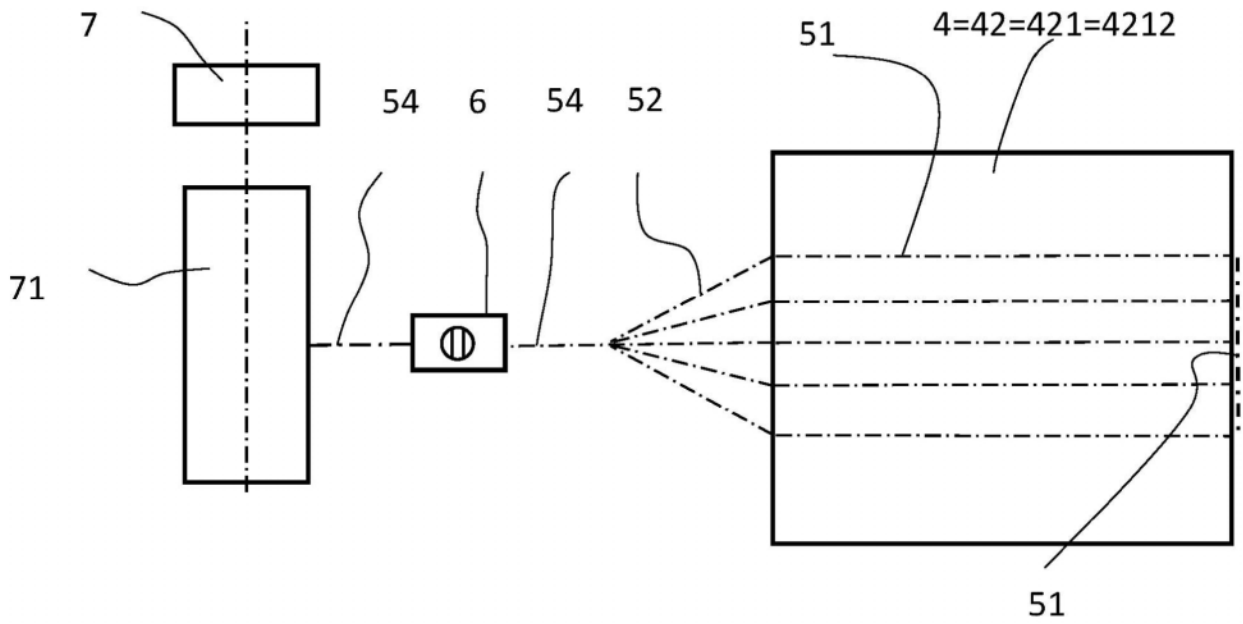


图7

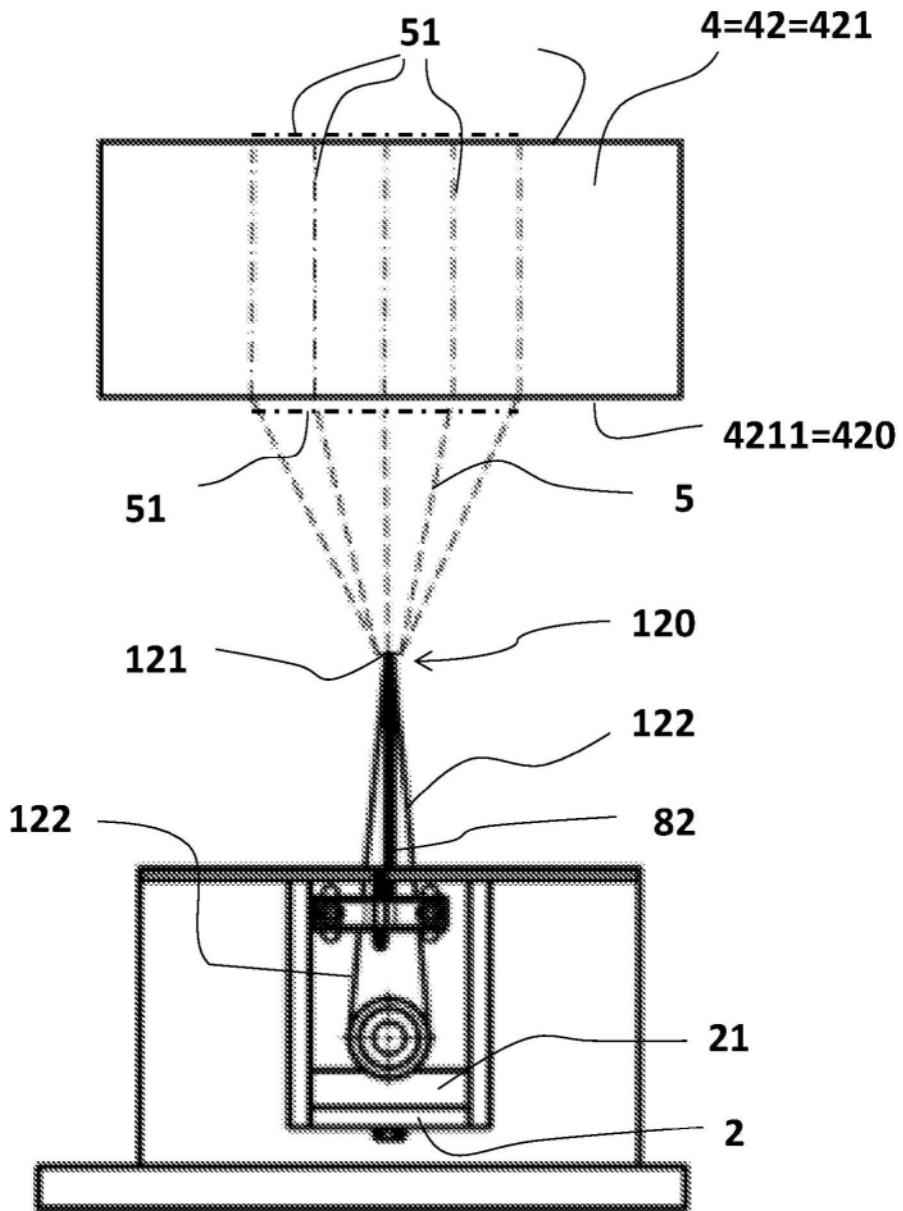


图8a

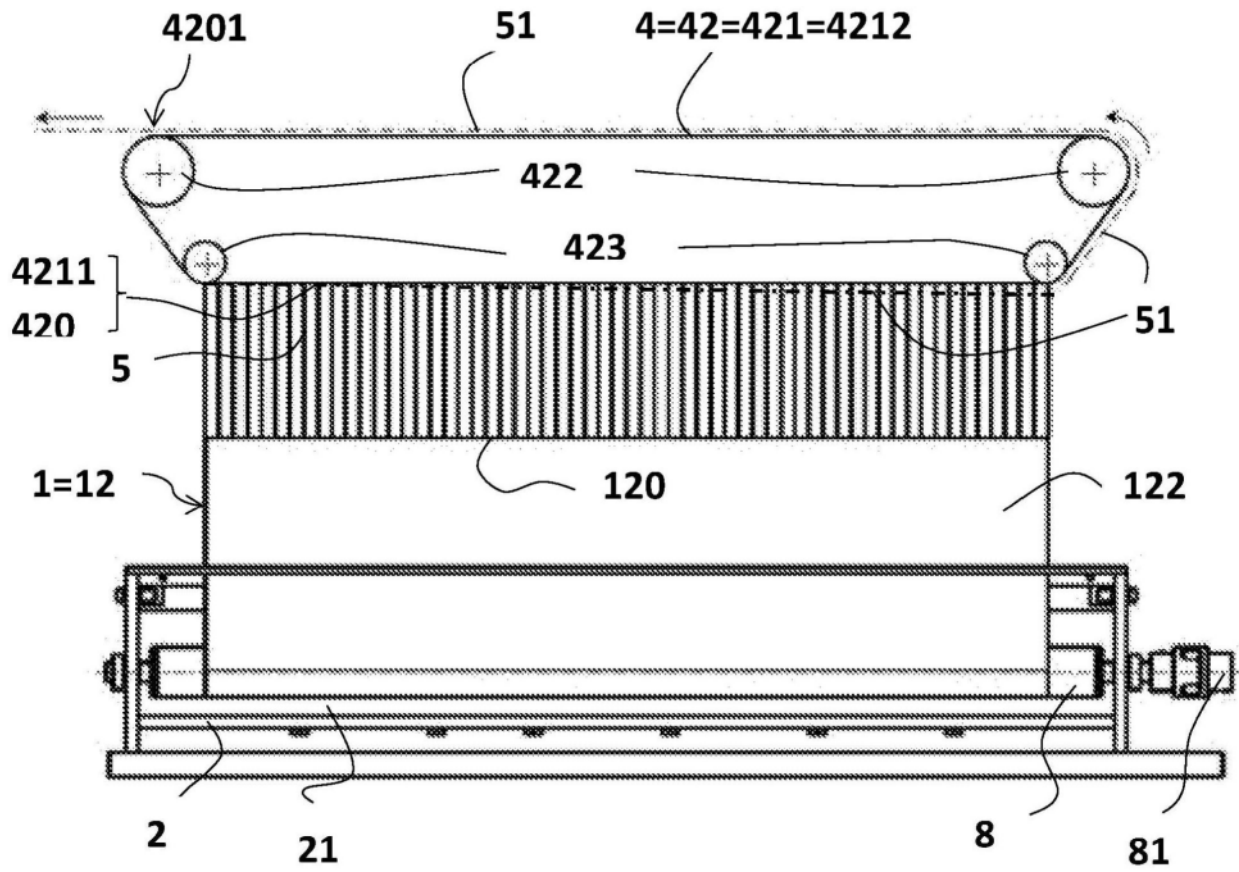


图8b

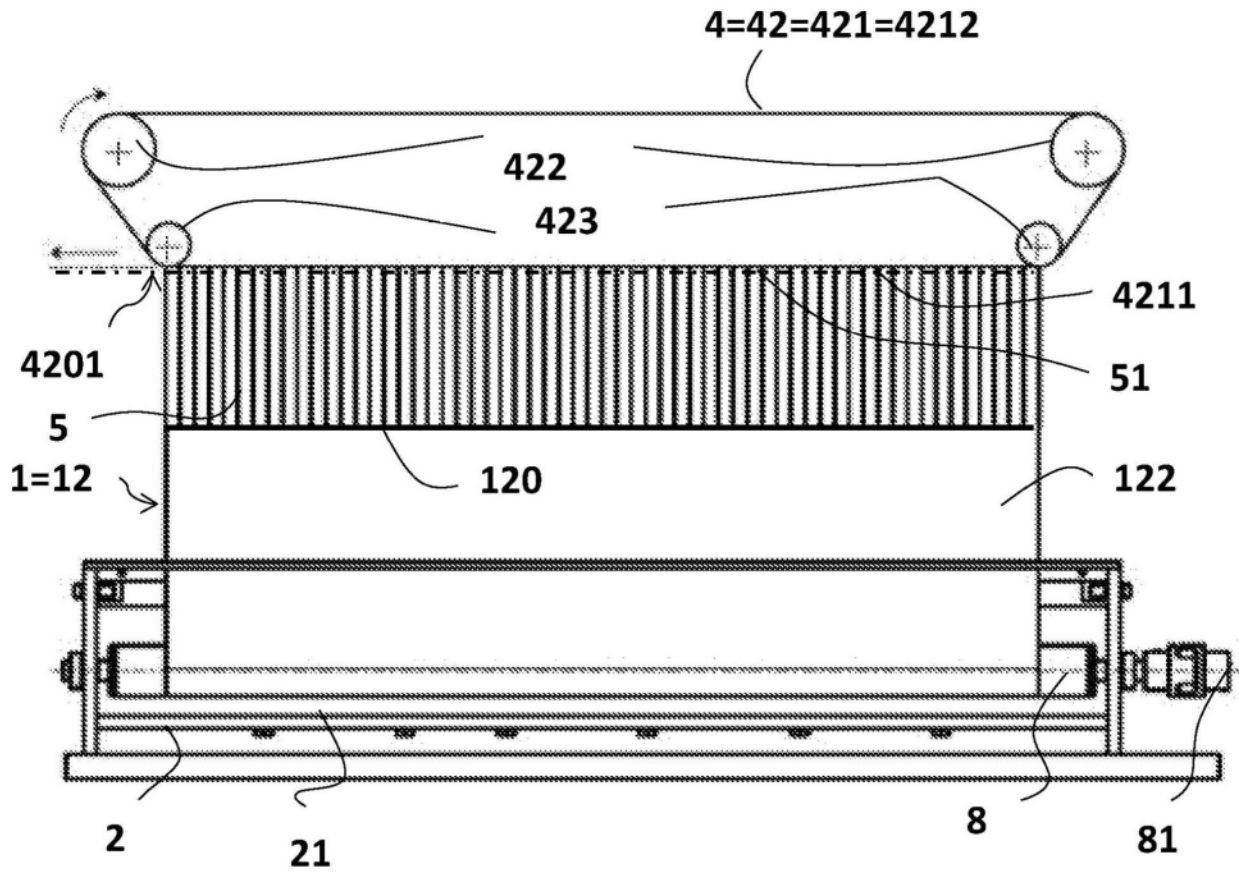


图8d

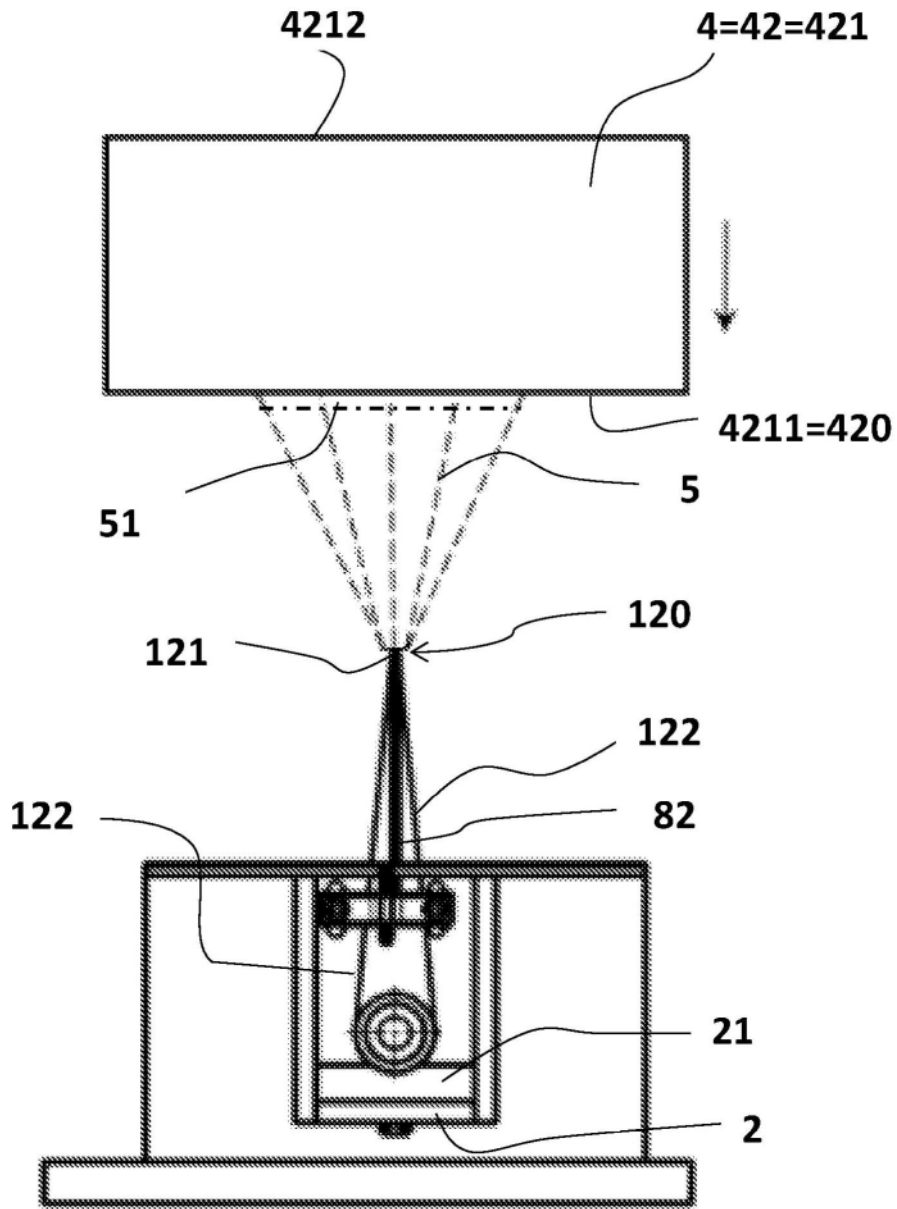


图8c

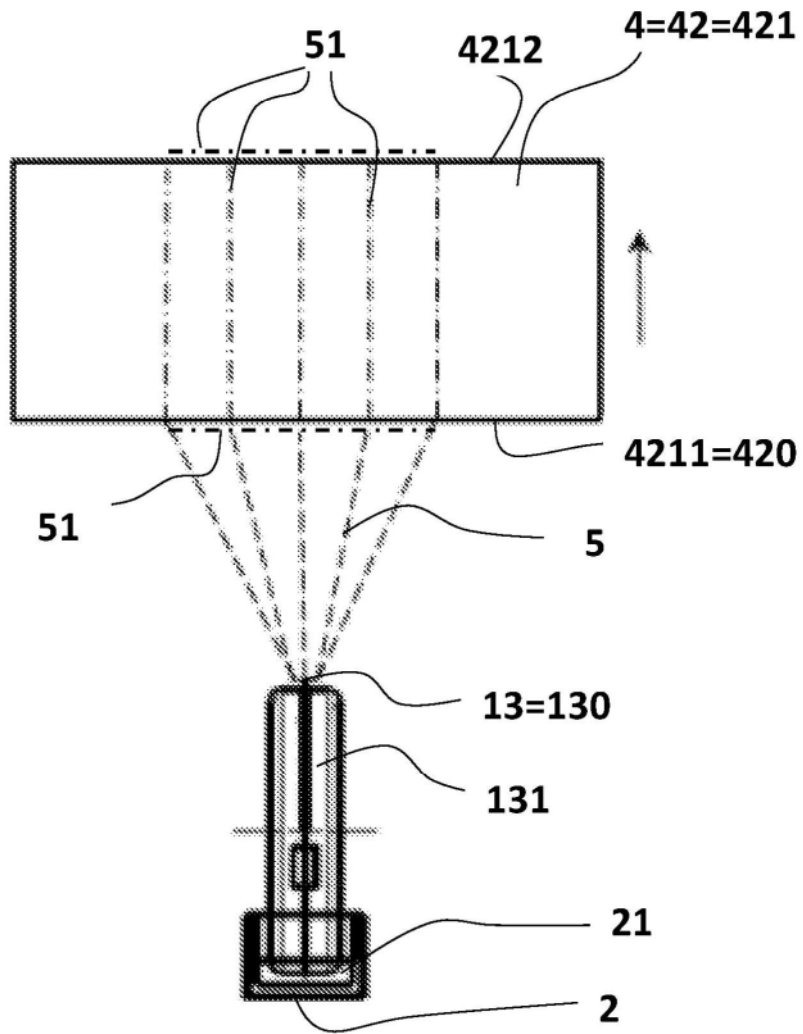


图9a

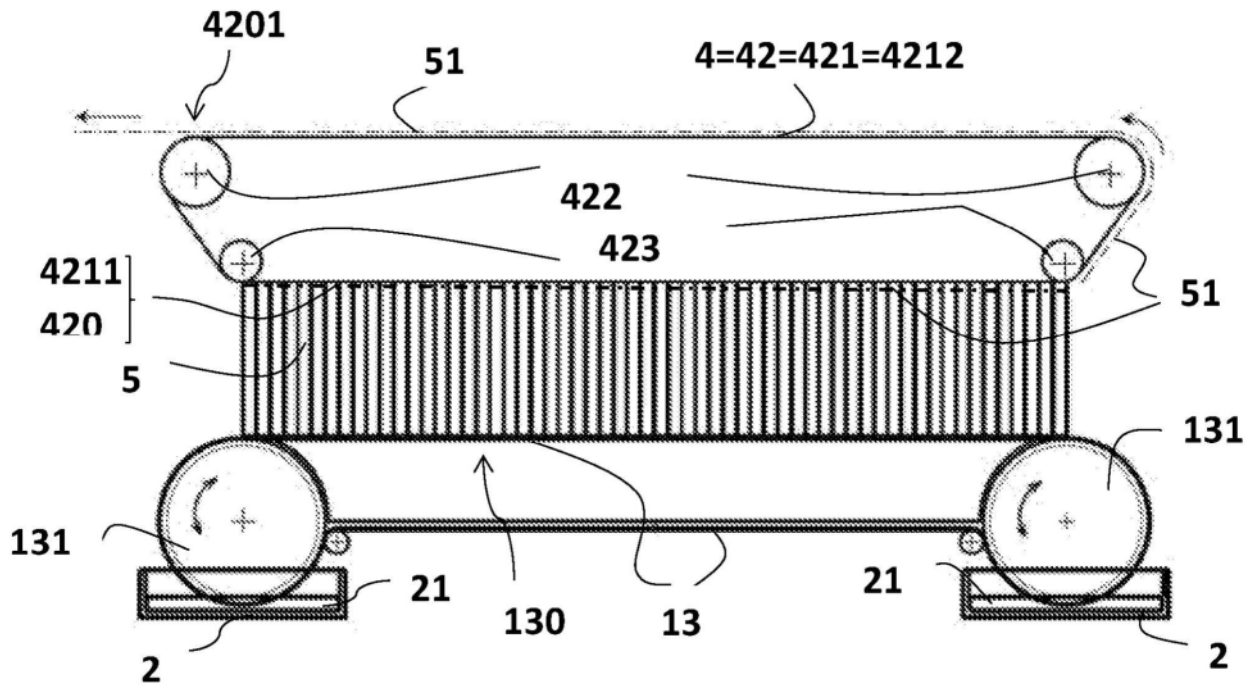


图9b

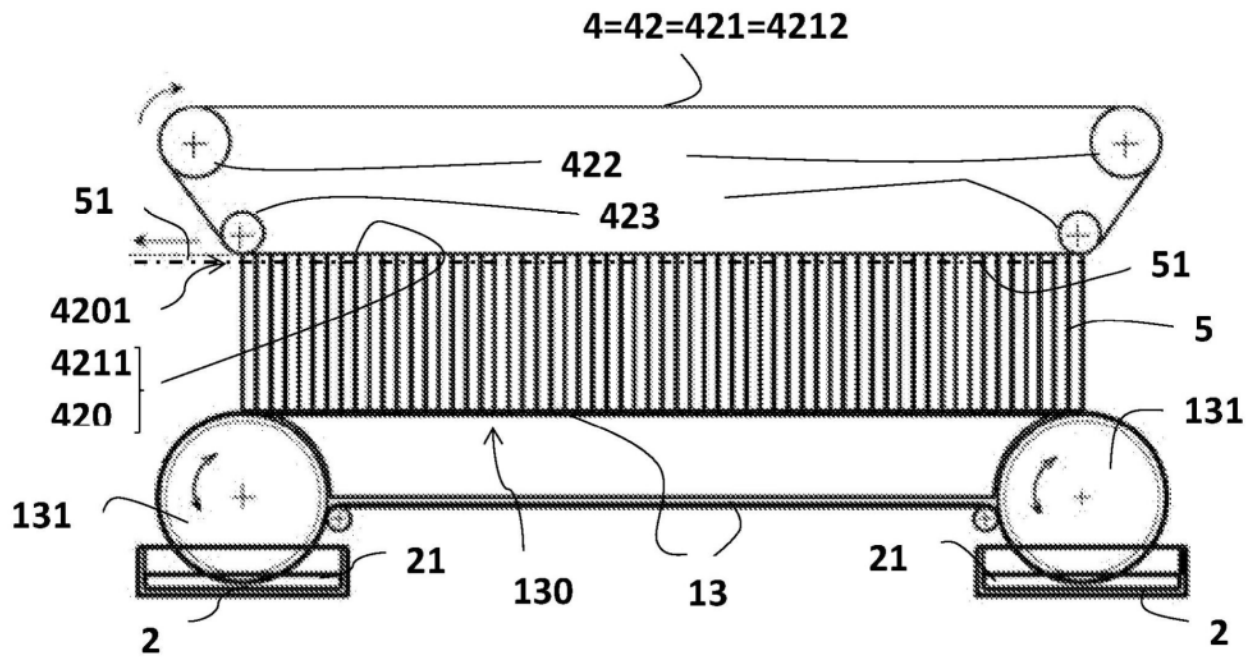


图9d

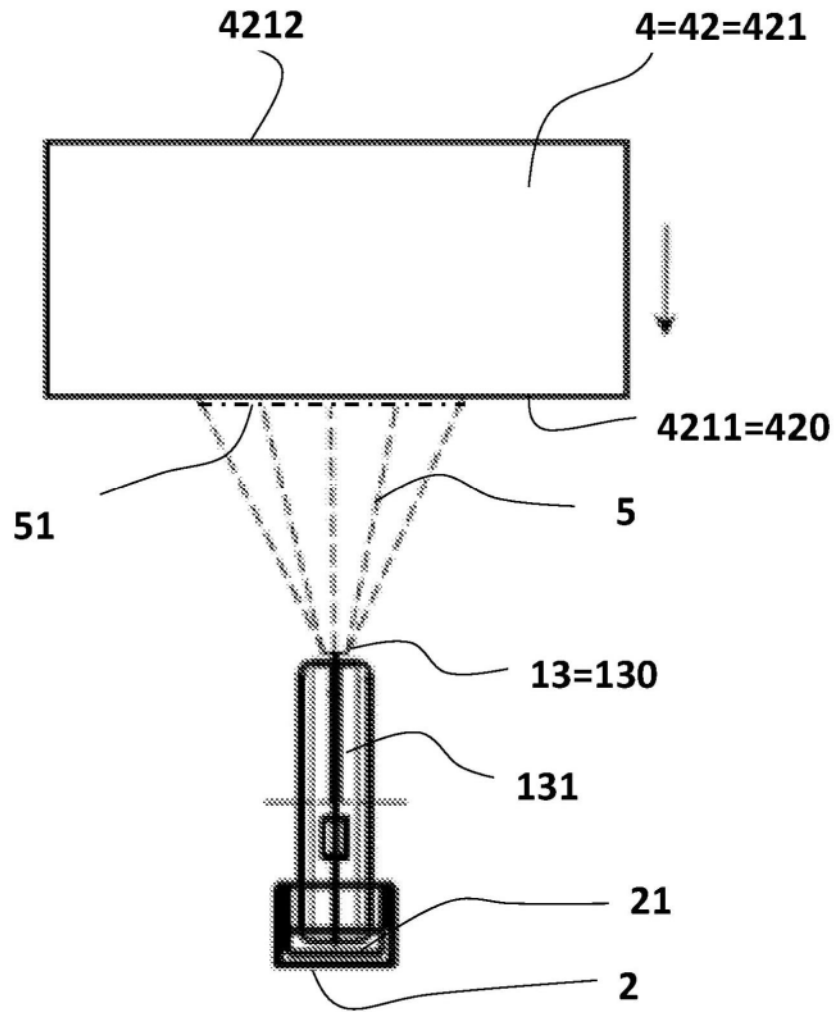


图9c