

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880019807.2

[51] Int. Cl.

H01M 2/16 (2006.01)

H01M 10/24 (2006.01)

[43] 公开日 2010 年 3 月 24 日

[11] 公开号 CN 101682014A

[22] 申请日 2008.6.11

[21] 申请号 200880019807.2

[30] 优先权

[32] 2007.6.11 [33] US [31] 11/811,563

[86] 国际申请 PCT/US2008/007283 2008.6.11

[87] 国际公布 WO2008/154022 英 2008.12.18

[85] 进入国家阶段日期 2009.12.11

[71] 申请人 纳幕尔杜邦公司

地址 美国特拉华州

[72] 发明人 P·阿罗拉 Y·H·金

S·弗里斯克

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 段晓玲 韦欣华

权利要求书 2 页 说明书 10 页

[54] 发明名称

具有可永久性润湿的细纤维分隔体的电池

[57] 摘要

本发明公开了有利地包括分隔体的碱性电池，所述分隔体包括至少一个多孔细纤维层，所述纤维具有约 50nm 至约 3000nm 的直径。与已知的电池分隔体相比，所述分隔体提供了减小的厚度、对短路的树枝状阻隔以及低离子电阻这三者的改善的组合。所述细纤维显示出在碱性电解质中的改善的可润湿性。

1. 具有分隔体的碱性电池，所述分隔体包括可润湿的聚合物纤维的多孔细纤维层，所述聚合物纤维具有在约 50nm 至约 3000nm 范围内的平均直径，其中所述多孔细纤维层用强碱性电解质永久性地润湿。
2. 权利要求 1 的电池，其中所述纤维聚合物包含有效量的嵌入其内的表面活性剂。
3. 权利要求 1 的电池，其中所述纤维通过静电纺纱或电吹法由聚合物的纺丝溶液制备并且将表面活性剂添加到所述纺丝溶液中。
4. 权利要求 2 的电池，其中所述表面活性剂以按所述聚合物的重量计约 0.4% 至约 20% 的含量存在。
5. 权利要求 2 的电池，其中所述表面活性剂以按所述聚合物的重量计约 1% 至约 5% 的含量存在。
6. 权利要求 2 的电池，其中所述表面活性剂为非离子表面活性剂。
7. 权利要求 6 的电池，其中所述非离子表面活性剂选自烷基化聚醚表面活性剂和甲硅烷氧基聚醚表面活性剂。
8. 权利要求 1 的电池，其中所述纤维包括聚合物，所述聚合物选自脂族聚酰胺、半芳香族聚酰胺、聚乙烯醇、纤维素、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚砜、聚偏氟乙烯、聚偏氟乙烯-六氟丙烯、聚丙烯腈、聚丙烯、聚乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲基戊烯（polymethyl pentane）、聚苯硫醚、聚缩醛、聚氨酯、芳香族聚酰胺以及它们的共混物、混合物和共聚物。
9. 权利要求 1 的电池，其中所述多孔细纤维层具有约 0.01 μm 至约 15 μm 的平均流孔径。
10. 权利要求 1 的电池，其中所述多孔细纤维层具有约 0.1 密耳（0.0025mm）至约 12 密耳（0.3mm）的厚度。
11. 权利要求 1 的电池，其中所述多孔细纤维层具有约 1g/m² 至约 90g/m² 的基重。

12. 权利要求 1 的电池, 其中所述纤维具有约 50nm 至约 1000nm 的平均直径。
13. 权利要求 1 的电池, 其中所述聚合物是交联的。
14. 权利要求 1 的电池, 其中所述分隔体包括多个多孔细纤维层。
15. 权利要求 1 的电池, 其中所述分隔体包括多个包含不同聚合物的多孔细纤维层。
16. 权利要求 1 的电池, 其中所述分隔体包括多个具有不同特性的多孔细纤维层, 所述特性选自厚度、基重、孔径、纤维尺寸、孔隙率、透气率、离子电阻和拉伸强度。
17. 权利要求 1 的碱性电池, 其中所述碱性电池为锌-MnO₂ 一次电池、锌-MnO₂ 二次电池、锌-空气电池、锌-氧化银电池、镍-锌电池、镉-氧化银电池、锌-氧化汞电池、镉-氧化汞镍-镉电池、镍-金属氢化物电池、或镍-氢电池。
18. 权利要求 2 的碱性电池, 其中所述聚合物纤维还涂覆有表面活性剂。

具有可永久性润湿的细纤维分隔体的电池

发明领域

本发明涉及具有可用表面活性剂来永久性地润湿的细纤维分隔体的电池。

发明背景

聚合物纤维在非织造材料工业中已广泛用于制造非织造纤维网、织物及复合材料。诸如聚乙烯、聚丙烯、聚丁烯、聚戊烯等的烯烃聚合物以及乙烯或丙烯与其它烯属单体的共聚物因它们的疏水性能而为人们所知。因此，聚烯烃纤维的非织造纤维网在很多情况下用于其中它们的疏水性是有利的应用中。例如，聚烯烃非织造材料经常用于尿布、其它卫生产品以及需要保持水分远离穿着者皮肤的医学应用中。

然而，存在其中不需要聚烯烃纤维的疏水性以及其中需要亲水性的众多其它非织造织物应用。即使由诸如聚酰胺或聚酯的聚合物制成的纤维，也可能不具有某些应用所需的亲水性。如果要利用由聚合物纤维形成的非织造织物，则必须以某种方式处理所述纤维以改变纤维的正常疏水性能而赋予其亲水性能。一种熟知的方法涉及局部施用诸如表面活性剂的组合物以使织物更具亲水性。然而，局部化学施用对于一些应用并不完全令人满意，因为它们不耐用。所述亲水性能会在洗涤后或在电池中长期使用后丧失。局部化学处理或其它纤维表面改性处理所需的额外工序还会不可取地增加织物成本。已知使得聚合物可润湿的少数方法对环境不友好、相对缓慢并且耐久性有限。

为了改善可润湿性，工业中已知可将诸如得自 Rohm 和 Haas 的 TRITON X-100 的某些表面活性剂作为水溶液或悬浮液施用到疏水性纤维、长丝或非织造织物的表面上，所得效果为使得所述纤维、长丝或织物可润湿，尽管不具有吸收性。这些局部处理可通过本领域的技术人员熟悉的任何方式来施用，例如泡沫喷射、浸渍和挤压或凹版辊。在几乎每种情况下，都需

要某种加热步骤以移除用于制备表面活性剂溶液或悬浮液的残余水分或溶剂。该步骤显著增加了制造成本和复杂性。另外，热塑性通过暴露于热量而改变并且需要仔细监测加热过程以确保织物性能不会受到不利影响。此外，由于表面活性剂不能牢固地化学键合到纤维或长丝表面上，因此此类局部处理并不耐用。它们趋于在重复流体暴露期间洗刷掉或者使用期间擦掉。

在改进这种缺陷的尝试中，电晕放电处理已被用于改变纤维或长丝表面的电化学势。该作用使得表面更具活性，结果是疏水表面变得更具可润湿性。然而，这些电势改变也不是永久性的，尤其是受环境作用的影响，例如当在潮湿环境中贮藏时。

另外一种选择是利用表面化学处理，其中将表面活性剂共价键合到聚合物上。

另一种方法为在热塑性聚合物熔融挤出成纤维、长丝或非织造织物之前将化学试剂掺入到热塑性聚合物中，使得纤维本身更亲水。诸如硅氧烷的试剂已被提议用于该目的。此处的目的是赋予纤维或长丝持久的可润湿性改变。运用模型理论表明熔融添加剂开始分散在熔融聚合物中并在聚合物于纤维或长丝骤冷期间冷却时束缚在基质中。时间一长，由于进一步加工的影响，添加剂上升到纤维或长丝的表面上，一种称作起霜的现象，从而赋予持久的可润湿性。公布的 PCT 专利说明书 W099/00447 公开了一种用于制备可润湿纺粘和熔喷纤维的产品和方法，所述纤维由包括润湿剂的烯烃聚合物、聚酯或聚酰胺制备，所述润湿剂基本上由单酸甘油酯或单酸甘油酯与混合甘油酯的组合组成，其中单酸甘油酯在所述组合情况下总计为按重量计至少 85%。

然而，亲水性熔融添加剂的使用会显著增加非织造纤维网的成本。此外，亲水性熔融添加剂加入到聚合物中会改变纤维或长丝的性能，从而导致非织造纤维网的重要物理或美观性能变得不可接受，所述性能包括例如强度、柔软性或手感。

在碱性电池中，分隔体在正极和负极之间使用以保持它们隔开并防止其间的短路，另外保持其上的电解质并能够进行平滑的电动反应。

用于碱性电池的电池分隔体常规上为具有大孔的厚的多层非织造材料，所述大孔具有良好（低）的离子电阻但具有较差的生长枝状体阻隔（本文也称作“树枝状阻隔”）；或者为其上具有微孔膜的多层非织造材料，所述微孔膜具有极小孔，所述极小孔具有良好的树枝状阻隔但具有极高的离子电阻。

由于小型化及重量减轻的需要，电子设备中分配用于电池的空间已变得越来越小。然而，对此类小型电池的性能需求与对常规电池相同或更高，因此有必要增强电池容量并增加电极内的活性物质量。因此，如果能够减小电池内分配给分隔体的体积并将分隔体制得更薄将是有利的。然而，如果只是简单地将常规分隔体制得更薄，则其用于容纳电极的容量（即，电极容纳容量）将被减少。具有大纤维的较薄非织造材料导致分隔体的较大有效孔径和较差阻隔性能。此外，在这些较薄的非织造材料中，纤维分配的均匀性会降低，从而进一步增加了有效孔径。

美国专利公开 7,112,389 描述了纳米纤维网作为电池中的分隔体的用途。纳米纤维网的使用通过给出离子电阻与阻隔性能之间的较好平衡而得到优异的性能。由于纤维尺寸与常规的电池分隔体材料相比急剧降低，因此可使用非常薄的分隔体材料来获得非常小的孔径。所述纳米纤维网涂覆有表面活性剂以改善可润湿性、芯吸、以及在 35% KOH 中的电解质吸收。

仍然需要用于电池中的具有永久可润湿性的薄的分隔体，所述分隔体还表现出良好的芯吸以及电解质吸收性能。

发明概述

本发明的一个实施方案涉及具有包括可润湿的聚合物纤维的多孔细纤维层的分隔体的碱性电池，所述聚合物纤维具有在约 50nm 至约 3000nm 范围内的平均直径，其中所述多孔细纤维层用强碱性电解质永久性地润湿。

发明详述

期望具有薄的分隔体的碱性电池，所述分隔体具有树枝状阻隔与离子电阻的改善的平衡，以及在 35% KOH 电解质中的永久可润湿性，所述分隔体还具有良好的芯吸以及电解质吸收性能。

本发明的碱性电池包括具有以下改善的组合的电池分隔体：减小的厚度、降低的离子电阻和良好的树枝状阻隔性能，从而提供高的抗短路性能。用于本发明电池中的分隔体具有高的吸收电解质的能力，同时在使用中保持优异的结构完整性以及化学和尺寸稳定性，使得所述分隔体即使在被电解质溶液饱和时也不会丧失其树枝状阻隔性能。厚度的减少使得能够制造具有增加容量的电池。用于本发明电池中的分隔体具有低的离子电阻，因此离子易于在阳极和阴极之间流动。所述分隔体立即被碱性电解质润湿并在电池中长期使用期间保持润湿。

当被纺丝成细纤维层时，本发明中的具体的聚合物混合物在强碱性溶液中具有优异的润湿性能并且还表现出较薄分隔体优良的芯吸和电解质吸收性能。

所谓“可润湿纤维”是指本发明的电池分隔体的聚合物纤维包括嵌入到聚合物内并延伸至纤维表面的表面活性剂分子。

在本发明的一个实施方案中，将有效量的表面活性剂添加到纤维纺丝溶液中，以形成包括聚合物与可润湿表面活性剂的组合物的聚合物纤维。表面活性剂的“有效量”应被理解为是指在所选的电解中产生可润湿性的至少量。该步骤导致表面活性剂分子在纤维内以及纤维表面上的良好分配和捕集。继而，这既最小化了表面活性剂分子在材料处理期间从纤维表面上剥离的风险，又最小化了表面活性剂分子在最终使用中浸析到电解中的风险。

在本发明的一个实施方案中，将有效量的表面活性剂添加到纤维纺丝溶液中以形成包括聚合物与表面活性剂的组合物的聚合物纤维，所述表面活性剂使得具有内在疏水性的纤维变得亲水。所述纤维随后可在纺丝之后进一步涂覆有水基表面活性剂溶液，而不是必须涂覆有非水性表面活性剂溶液。所述聚合物可涂覆来自水溶液的表面活性剂，并且所述分隔体在干燥时将在所选的电解中可润湿。

本发明的合适表面活性剂优选为非离子表面活性剂，例如烷基化聚醚表面活性剂（例如得自 Dow Chemical 的 Tergitol 或 Triton）或甲硅烷氧基聚醚表面活性剂（例如得自 GE 的 Silwet），但并不局限于此。表面活

性剂的量可由 0.4% 重量变化至 20% 重量（相对于聚合物的% 重量），优选介于 1% 重量和 5% 重量之间。

本发明的一个实施方案涉及碱性电池。所述电池可为碱性一次电池，例如其中阳极为锌且阴极为锰氧化物（ MnO_2 ）的锌-锰氧化物或 $\text{Zn}-\text{MnO}_2$ 电池，或其中阳极为锌且阴极为空气的锌-空气电池，或者其可为碱性二次电池，例如其中阳极为镉且阴极为羟基氧化镍（ NiOOH ）的镍镉电池；其中阳极为锌且阴极为 NiOOH 的镍-锌或 $\text{Ni}-\text{Zn}$ 电池；其中阳极为金属氢化物（例如 LaNi_5 ）且阴极为 NiOOH 的镍金属氢化物（ NiMH ）电池；或其中阳极为氢（ H_2 ）且阴极为 NiOOH 的镍-氢或 NiH_2 电池。其它类型的碱性电池包括其中阳极为锌且阴极为氧化汞（ HgO ）的锌/氧化汞，其中阳极为镉且阴极为氧化汞的镉/氧化汞，其中阳极为锌且阴极为氧化银（ AgO ）的锌/氧化银，其中阳极为镉且阴极为氧化银的镉/氧化银。所有这些电池类型均利用 30% 至 40% 的氢氧化钾作为电解质。

本发明的电池包括分隔体，所述分隔体具有至少一个可润湿的细聚合物纤维的多孔层，所述纤维具有在约 50nm 至约 3000nm，甚至约 50nm 至约 1000nm，甚至约 50nm 至约 500nm 范围内的平均直径。这些范围内的细纤维提供具有高表面积的分隔体结构，所述结构由于增加的电解质接触而导致良好的电解质吸收和保持。所述分隔体具有约 $0.01\mu\text{m}$ 至约 $15\mu\text{m}$ ，甚至约 $0.01\mu\text{m}$ 至约 $5\mu\text{m}$ ，甚至约 $0.01\mu\text{m}$ 至约 $1\mu\text{m}$ 的平均流量孔径。所述分隔体具有约 20% 至约 90%，甚至约 40% 至约 70% 的孔隙率。高的分隔体孔隙率还在本发明的电池中提供良好的电解质吸收和保持。

用于本发明电池中的分隔体具有约 0.1 密耳（0.0025mm）至约 12 密耳（0.3mm），甚至约 0.5 密耳（0.0127mm）至约 5 密耳（0.127mm）的厚度。所述分隔体足够厚，以防止正负极之间枝状体诱导的短接，同时容许离子在阴极和阳极之间的良好流动。薄的分隔体为电池内的电解质创造更多空间并因此提供本发明电池的改善的性能及寿命。

所述分隔体具有约 $1\text{g}/\text{m}^2$ 至约 $90\text{g}/\text{m}^2$ ，优选约 $5\text{g}/\text{m}^2$ 至约 $30\text{g}/\text{m}^2$ 的基重。如果分隔体的基重过高，即超过约 $90\text{g}/\text{m}^2$ ，则离子电阻可能也会过高。如果基重过低，即低于约 $1\text{g}/\text{m}^2$ ，则分隔体可能不能够减弱正负极之间的枝状体短接。

所述分隔体具有小于约 150cfm/ft^2 ($46\text{m}^3/\text{min/m}^2$)，甚至小于约 25cfm/ft^2 ($8\text{m}^3/\text{min/m}^2$)，甚至小于约 5cfm/ft^2 ($1.5\text{m}^3/\text{min/m}^2$) 的弗雷泽透气率。一般来讲，弗雷泽透气率越高，则分隔体的离子电阻就越低，因此具有高弗雷泽透气率的分隔体是所期望的。

所述分隔体可包括多个多孔的细纤维层，所述多个层可包括相同或不同的聚合物。此外，所述多个层可具有不同的特性，所述特性选自厚度、基重、孔径、纤维尺寸、孔隙率、透气率、离子电阻、和拉伸强度。

用于碱性电池分隔体的合适聚合物包括脂族聚酰胺、半芳香族聚酰胺、聚乙烯醇、纤维素、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚砜、聚偏氟乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚甲基戊烯、聚苯硫醚、聚缩醛、聚丙烯腈、聚氨酯、芳香族聚酰胺、以及它们的共混物、混合物和共聚物。尤其适用于碱性电池分隔体的聚合物包括聚乙烯醇、纤维素、脂族聚酰胺和聚砜。在本发明的一些实施方案中，可优选交联聚合细纤维以维持多孔结构并改善电解质内分隔体的结构完整性。例如，未交联的聚乙烯醇分隔体可溶解于水中并形成凝胶型结构，所述结构在强碱性电解质中具有较差的结构完整性。某些聚合物，例如聚乙烯醇 (PVA)、聚偏氟乙烯、聚偏氟乙烯-六氟丙烯、聚环氧乙烷、聚丙烯腈、聚甲基丙烯酸甲酯，趋于在电解质中溶胀或胶凝，从而封闭纤维结构的孔。在某些情况下，它们还将在电解质中变得柔软或降解，从而导致较差的结构完整性。取决于电池分隔体中的聚合物，可利用各种交联剂和交联条件。上述所有聚合物可通过已知方法交联，例如通过化学交联、电子束交联或紫外线交联。

制备用于本发明电池中的分隔体的细纤维层的一种方法为电吹法，如国际公布号 W02003/080905 (美国序列号 10/822,325) 中所公开，该专利据此以引用方式并入。作为另外一种选择，分隔体的细纤维层可通过常规静电纺纱方法制备，例如美国公布专利申请 2004/0060268 A1 中所公开。

在本发明的一个实施方案中，电池分隔体包括通过移动收集装置单程通过工序 (即，在纺丝组合件之下的移动收集装置的单程中) 制备的单一细纤维层。作为另外一种选择，电池分隔体可包括通过纺丝组合件之下的多程形成的多个细纤维层。应当理解，纤维网可通过一个或多个同时在同

一收集装置之上运行的纺丝箱体形成。当分隔体包括多个层时，所述多个层可为相同聚合细纤维层，或者作为另外一种选择可为不同聚合细纤维层。所述多个层可具有不同的特性，所述特性包括但不限于聚合物、厚度、基重、孔径、纤维尺寸、孔隙率、透气率、离子电阻和拉伸强度。

一个或多个收集的细纤维层被有利地粘结，已发现这可改善分隔体的拉伸强度。高度的纵向拉伸强度在电池卷绕期间有所帮助，并且还有助于在使用时分隔体的良好的树枝状阻隔。粘结可通过已知方法实现，所述方法包括但不限于加热光面啮合辊之间的热压延、超声波粘结、点粘结、和通气粘结。粘结增加了一个或多个细纤维层的强度，以便所述一个或多个层可承受与被处理并被成形为有用分隔体相关的力，并且取决于所用的粘结方法，可调节物理特性，如厚度、密度、以及孔的尺寸和形状。

测试方法

基重通过 ASTM D-3776 测量，其据此以引用方式并入并且以 g/m^2 为单位进行记录。

孔隙率通过用样本基重（单位为 g/m^2 ）除以聚合物密度（单位为 g/cm^3 ）并除以样本厚度（单位为微米），乘以 100 并随后从 100% 中减去，即孔隙率百分数 = $100 - \text{基重} / (\text{密度} \times \text{厚度}) \times 100$ 。

纤维直径如下测量。在 5,000X 放大倍数下对每个细纤维层样本拍摄十个扫描电镜（SEM）图像。由照片测量十一（11）个清晰可辨的细纤维的直径并进行记录。不包括瑕疵（即，细纤维的凸块、聚合物球、细纤维的交叉处）。计算每个样本的平均（中值）纤维直径。

厚度通过 ASTM D1777 测量，其据此以引用方式并入，记录为密耳并转化成微米。

弗雷泽透气率为多孔材料透气率的量度并以单位 $\text{ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2$ 记录。其测量在 0.5 英寸（12.7mm）的水压差下通过材料的气流体积。将孔口安装在真空体系内以将空气通过样本的流量限制到可测量的程度。孔口尺寸取决于材料的孔隙率。利用具有校准孔口的 Sherman W. Frazier Co. 双压力计测量弗雷泽透气率，单位为 $\text{ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2$ 。

平均流孔径根据 ASTM 命名 E 1294-89, “Standard Test Method for Pore Size Characteristics of Membrane Filters Using Automated

Liquid Porosimeter” 进行测量，其通过利用 ASTM 命名 F 316 中的自动泡点法使用毛细流动孔隙率计（型号 CFP-34RTF8A-3-6-L4, Porous Materials, Inc. (PMI), Ithaca, N.Y.）大致测量具有 $0.05\mu\text{m}$ 至 $300\mu\text{m}$ 的孔径直径的膜的孔径特性。各个样本（8、20 或 30mm 直径）用低表面张力流体（1,1,2,3,3,3-六氟丙烯，或“Galwick”，具有 16dyne/cm 的表面张力）润湿。将每个样本置于夹持器中，然后施加空气压差并将流体从样本上移除。润湿流量等于干燥流量（无润湿溶剂下的流量）的二分之一处的压差用于利用提供的软件来计算平均流孔径。

通过将 $1\mu\text{L}$ 流体（水或 20% KOH 溶液）分配到样本表面上并计时其渗透到样本中所需的时间来测量润湿时间（秒）。流体通过每次递送相同量的自动注射器进行分配。润湿时间以秒为单位记录。

通过将 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 样本浸泡在 35% KOH 中 10 分钟来测量电解质吸收。在 35% KOH 中浸泡之前和之后，测量样本的重量并用下式来计算电解质吸收：

$$\%Elec.Abs. = \frac{(W_f - W_i)}{W_i} \times 100$$

其中 W_f 和 W_i 为样本的最终重量和初始重量，单位为克。

接触角利用 Advanced Surface Technologies (Billerica, MA) 制造的 VCA2500xe (VCA=视频接触角) 进行测量。流体通过每次递送相同量的自动注射器来分配。用相机拍摄图像并且软件由图像测量接触角。接触角以度为单位进行记录。

实施例

将甲硅烷氧基聚醚表面活性剂 (Silwet, GE Silicones, Evansville, IN) 添加到 DuPont Nylo 66-FE 3218 聚合物在甲酸中的纺丝溶液中。利用公布 WO 03/080905 中给出的程序电吹制纤维网并产生表 1 中列出的纤维网性能（各个实施例 + 对照物）。

表 1

纤维中的表面活性剂加载 (重量%)	基重 (g/m ²)	平均纤维直径 (nm)	纤维网厚度 (mM)	透气率 (cfm/ft ²)
0.0	30.0	360	0.152	6.02
0.42	29.5	446	0.162	5.52
0.83	28.9	453	0.162	5.56
1.25	30.7	447	0.165	5.7

表 2 示出了分别包含 0% 重量、0.42% 重量、0.83% 重量和 1.25% 重量的 Silwet 的纳米纤维网样本的润湿行为。润湿速度在水和 20% KOH 中测量。对每个样本进行两次测量并将两次测量均记录在表 2 中，用逗号隔开。结果清楚地显示，具有表面活性剂的样本比不含任何表面活性剂的样本润湿更快。在这种情况下，纤维中 0.83% 重量或更多的 Silwet 显示为有效量。

表 2 还示出了分别包含 0% 重量、0.42% 重量、0.83% 重量和 1.25% 重量的 Silwet 的纳米纤维网样本的电解质吸收百分比。电解质吸收在 35% KOH 中测量。纳米纤维网的电解质吸收对于具有表面活性剂的样本显著较高。在这种情况下，纤维中 0.83% 重量或更多的 Silwet 显示为有效量。

表 2

纤维中的表面活性剂加载 (重量%)	电解质吸收 (%)	水的润湿时间 (秒)	20% KOH 的润湿时间 (秒)
0.0	274	4, 5	未润湿
0.42	285	1, 1	7, 11
0.83	572	< 1, < 1	3, 4
1.25	458	即刻	< 1, < 1

表 3 示出了分别包含 0% 重量、0.42% 重量、0.83% 重量和 1.25% 重量的 Silwet 的纳米纤维网样本的接触角。分别用水和 20% KOH 来测量接触角。较高的接触角意味着纳米纤维网在那种具体溶剂中较差的可润湿性。具有较高表面活性剂含量的样本显示出较低的接触角。对于具有大于 0.83% 重量表面活性剂的样本，润湿非常迅速（“即刻”），因此不可能得到接触角的读数。数据清楚显示具有表面活性剂（>0.83% 重量）的样本的润湿性能极好。

表 3

纤维中的表面活性剂加载 (重量%)	接触角水 (度)	接触角 20% KOH (度)
0.0	124, 134	134, 138
0.42	即刻	132, 134
0.83	即刻	即刻
1.25	即刻	即刻