



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113169312 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 26

(21) 申请号 201980079940.5

(22) 申请日 2019.12.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113169312 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(30) 优先权数据
62/778,417 2018.12.12 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.06.03

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/063995 2019.12.02

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/123174 EN 2020.06.18

(73) 专利权人 应用材料公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 戴维·马萨尤基·石川
叶芝莫兰·朗萨米

托马斯·戈伊尔

苏布拉曼亚·P·赫尔勒

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司 11006
专利代理师 徐金国 赵静

(51) Int.Cl.
H01M 4/139 (2006.01)
H01M 4/04 (2006.01)
B65H 18/10 (2006.01)
B65H 23/26 (2006.01)
B65H 23/28 (2006.01)
H01M 10/052 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2014326182 A1, 2014.11.06
WO 2009029944 A2, 2009.03.05
CN 108604668 A, 2018.09.28

审查员 胡攸

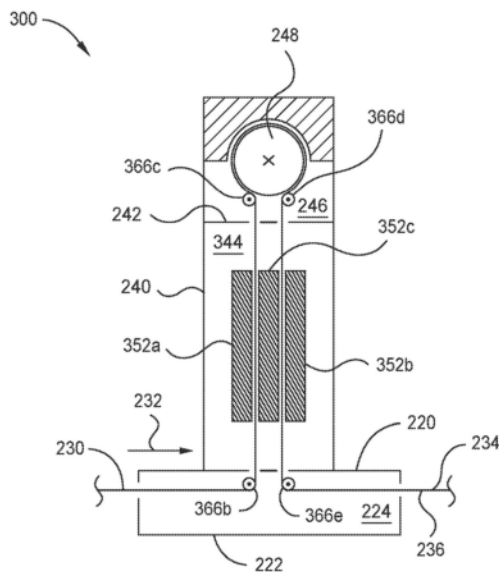
权利要求书3页 说明书14页 附图4页

(54) 发明名称

悬跨涂覆系统和方法

(57) 摘要

提供用于预锂化锂离子电池基板的连续幅材处理系统的方法和设备。模块化处理系统包括共同传送腔室主体,所述共同传送腔室主体限定传送体积。所述系统进一步包括第一竖直腔室主体,所述第一竖直腔室主体限定第一处理体积并且定位在共同传送腔室主体上。传送体积与第一处理体积流体连通。所述系统进一步包括第二竖直腔室主体,所述第二竖直腔室主体限定第二处理体积并且定位在共同传送腔室主体上。传送体积与第二处理体积流体连通。所述系统进一步包括卷盘到卷盘系统,所述卷盘到卷盘系统可操作以运输上面形成有电极结构的连续柔性基板。所述连续柔性基板从传送体积延伸,穿过第一处理体积,返回传送体积,穿过第二处理体积,并且返回传送体积。



1. 一种模块化处理系统,包括:
 - 共同传送腔室主体,所述共同传送腔室主体限定单个传送体积;
 - 第一竖直腔室主体,所述第一竖直腔室主体限定第一处理体积并且定位在所述共同传送腔室主体上,其中所述传送体积与所述第一处理体积流体连通;
 - 第二竖直腔室主体,所述第二竖直腔室主体限定第二处理体积并且定位在所述共同传送腔室主体上,其中所述传送体积与所述第二处理体积流体连通;
 - 卷盘到卷盘系统,所述卷盘到卷盘系统可操作以运输上面形成有电极结构的连续柔性基板,其中所述连续柔性基板从所述传送体积延伸,穿过所述第一处理体积,返回所述传送体积,穿过所述第二处理体积,并且返回所述传送体积;
 - 第一蒸气扩散器,所述第一蒸气扩散器安装在所述第一处理体积中并且被定位以在所述连续柔性基板被竖直定向时在所述连续柔性基板上执行悬跨预锂化工艺;和
 - 冷却板,所述冷却板安装在所述第一处理体积中并且被定位为允许所述连续柔性基板在所述第一蒸气扩散器和所述冷却板之间迁移,其中所述共同传送腔室主体提供所述第一处理体积与所述第二处理体积之间的空间隔离。
2. 如权利要求1所述的模块化处理系统,进一步包括解绕卷盘,所述解绕卷盘用于将卷绕在其上的所述连续柔性基板递送到所述传送体积。
3. 如权利要求2所述的模块化处理系统,进一步包括卷绕卷盘,所述卷绕卷盘可操作以接受和卷绕来自所述传送体积的经表面处理的连续柔性基板。
4. 如权利要求3所述的模块化处理系统,其中所述连续柔性基板从所述解绕卷盘延伸,穿过所述传送体积,穿过所述第一处理体积,返回所述传送体积,穿过所述第二处理体积,返回所述传送体积,并且到达所述卷绕卷盘。
5. 如权利要求1所述的模块化处理系统,进一步包括第一张力卷盘,所述第一张力卷盘定位在所述传送体积中并且可操作以将所述连续柔性基板从水平定向转向为竖直定向。
6. 如权利要求1所述的模块化处理系统,进一步包括第二蒸气扩散器,所述第二蒸气扩散器与所述第一蒸气扩散器相对地安装在所述第一处理体积中并且被竖直地设置以与所述连续柔性基板的移动方向平行。
7. 如权利要求6所述的模块化处理系统,其中所述冷却板定位在所述第一蒸气扩散器与所述第二蒸气扩散器之间。
8. 如权利要求6所述的模块化处理系统,进一步包括第三蒸气扩散器,所述第三蒸气扩散器安装在所述第二处理体积中,并且被定位以在所述连续柔性基板被竖直定向时在所述连续柔性基板上执行悬跨钝化工艺。
9. 如权利要求1所述的模块化处理系统,进一步包括第一隔板,所述第一隔板跨所述第一竖直腔室主体延伸,所述第一隔板将所述第一竖直腔室主体分为所述第一处理体积和第一转向体积。
10. 如权利要求9所述的模块化处理系统,进一步包括第一转向辊,所述第一转向辊定位在所述第一转向体积中并且可操作以将所述连续柔性基板的的方向从竖直向上移动转向为竖直向下移动。
11. 如权利要求10所述的模块化处理系统,其中所述第一转向辊的温度受控制。

12. 一种在柔性基板上形成预锂化的电极的方法,包括:

将连续柔性基板运输到第一竖直处理模块的第一处理区域中,其中所述连续柔性基板包括电极结构;

在运输所述连续柔性基板穿过所述第一处理区域的同时,使所述连续柔性基板暴露于悬跨预锂化工艺;

将所述连续柔性基板从所述第一处理区域运输出来,穿过共同传送体积,并且运输到第二竖直处理腔室的第二处理区域中;和

在运输所述连续柔性基板穿过所述第二处理区域的同时,使所述连续柔性基板暴露于悬跨钝化工艺,

其中所述共同传送体积定位在所述第一处理区域和所述第二处理区域的下方并且提供所述第一处理区域与所述第二处理区域之间的空间隔离,

其中第一蒸气扩散器安装在所述第一处理区域中并且被定位以在所述连续柔性基板被竖直定向时在所述连续柔性基板上执行所述悬跨预锂化工艺;

其中冷却板安装在所述第一处理区域中并且被定位为允许所述连续柔性基板在所述第一蒸气扩散器和所述冷却板之间迁移。

13. 如权利要求12所述的方法,进一步包括将所述连续柔性基板从所述第二处理区域运输出来,穿过所述共同传送体积。

14. 如权利要求13所述的方法,其中所述共同传送体积包括惰性气体气氛。

15. 一种模块化处理系统,包括:

卷盘到卷盘系统,所述卷盘到卷盘系统可操作以运输上面形成有电极结构的连续柔性基板,所述卷盘到卷盘系统包括:

解绕卷盘,所述连续柔性基板在处理之前卷绕在所述解绕卷盘上,并且所述解绕卷盘可操作以解绕并且释放所述连续柔性基板用于处理;

卷绕卷盘,所述卷绕卷盘可操作以接受处理后的所述连续柔性基板,并且可操作以将所述连续柔性基板卷绕在其上;和

多个辅助张力卷盘,所述多个辅助张力卷盘位于所述解绕卷盘与所述卷绕卷盘之间的路径上,可操作以引导所述连续柔性基板;

共同传送腔室主体,所述共同传送腔室主体限定单个传送体积;

第一竖直腔室主体,所述第一竖直腔室主体限定第一处理体积并且定位在所述共同传送腔室主体上,其中所述传送体积与所述第一处理体积流体连通;第二竖直腔室主体,所述第二竖直腔室主体限定第二处理体积并且定位在所述共同传送腔室主体上;

第一蒸气扩散器,所述第一蒸气扩散器安装在所述第一处理体积中并且被定位以在所述连续柔性基板被竖直定向时在所述连续柔性基板上执行悬跨预锂化工艺;和

冷却板,所述冷却板安装在所述第一处理体积中并且被定位为允许所述连续柔性基板在所述第一蒸气扩散器和所述冷却板之间迁移,

其中所述传送体积与所述第二处理体积流体连通,并且

所述连续柔性基板从所述传送体积延伸,穿过所述第一处理体积,返回所述传送体积,穿过所述第二处理体积,并且返回所述传送体积,

其中所述共同传送腔室主体提供所述第一处理体积与所述第二处理体积之间的空间

隔离。

16. 如权利要求15所述的模块化处理系统,进一步包括第二蒸气扩散器,所述第二蒸气扩散器安装在所述第二处理体积中,并且被定位以在所述连续柔性基板被竖直定向时在所述连续柔性基板上执行悬跨钝化工艺。

17. 如权利要求16所述的模块化处理系统,其中所述连续柔性基板包括铜箔,并且所述电极结构是阳极结构。

悬跨涂覆系统和方法

技术领域

[0001] 本文中描述的实施方式大体上涉及连续幅材处理系统,并且更具体地说涉及用于预锂化锂离子电池基板的连续幅材处理系统。

背景技术

[0002] 在日常生活中,可充电的电化学储存系统正变得日益重要。诸如锂离子(Li离子)电池的高容量电化学能量储存装置用于越来越多的应用,包括便携式电子产品、医疗、交通、连接电网的大型能量储存装置、可再生能源储存装置和不间断供电电源(uninterruptible power supply,UPS)。

[0003] 通常,出于安全性考虑,锂电池不含任何金属锂而是使用石墨材料作为阳极。然而,与使用掺杂硅的石墨相比,使用可以充电到极限成分 LiC_6 的石墨导致容量低得多。目前,行业正在从石墨基阳极向掺杂硅的石墨转移以增加能量电池密度。然而,掺杂硅的石墨阳极具有第一循环不可逆容量损失(irreversible capacity loss,IRC)的问题。由于在第一循环充电期间,当大致百分之五到二十的来自阴极的锂由于阳极处的固体电解质中间相形成(“solid electrolyte interphase,SEI”)而消耗时,活性锂产生损失,锂离子电池比能量和能量密度显著降低。

[0004] 在第一循环充电之前的阳极预锂化是用于补偿活性锂损失的常见策略。此外,预锂化为锂离子电池性能提供其他性能和可靠性优点。例如,预锂化可以减少锂离子电池阻抗从而改进倍率性能。另外,对于硅基阳极来说,预锂化可以通过预扩展硅来减轻硅破裂和粉碎以增强阳极机械稳定性。

[0005] 存在各种阳极预锂化方法,包括化学预锂化、电化学预锂化、通过直接接触锂金属的预锂化和稳定锂金属粉末(“stabilized lithium metal powder,SLMP”)。然而,这些各种阳极预锂化方法反应时间长并且具有固有的安全风险,不适合用于大量锂离子电池制造。

[0006] 因此,需要预锂化设备和方法来补充在各种电极结构中由于第一循环不可逆容量损失而损失的锂。

发明内容

[0007] 本文中描述的实施方式大体上涉及连续幅材处理系统,并且更具体地说涉及用于预锂化锂离子电池基板的连续幅材处理系统。在一个实施方式中,提供模块化处理系统。系统包括共同传送腔室主体,所述共同传送腔室主体限定传送体积。系统进一步包括第一竖直腔室主体,所述第一竖直腔室主体限定第一处理体积并且定位在共同传送腔室主体上。传送体积与第一处理体积流体连通。系统进一步包括第二竖直腔室主体,所述第二竖直腔室主体限定第二处理体积并且定位在共同传送腔室主体上。传送体积与第二处理体积流体连通。系统进一步包括卷盘到卷盘系统,所述卷盘到卷盘系统可操作以运输上面形成有电极结构的连续柔性基板。连续柔性基板从传送体积延伸,穿过第一处理体积,返回传送体

积,穿过第二处理体积,并且返回传送体积。

[0008] 在另一实施方式中,提供模块化处理系统。处理系统包括卷盘到卷盘系统,所述卷盘到卷盘系统可操作以运输上面形成有电极结构的连续柔性基板。卷盘到卷盘系统包括解绕卷盘,连续柔性基板在处理之前卷绕在所述解绕卷盘上,并且所述解绕卷盘可操作以解绕并且释放连续柔性基板用于处理。卷盘到卷盘系统进一步包括卷绕卷盘,所述卷绕卷盘可操作以接受处理后的连续柔性基板,并且可操作以将连续柔性基板卷绕在其上。卷盘到卷盘系统进一步包括多个辅助张力卷盘,所述多个辅助张力卷盘位于解绕卷盘与卷绕卷盘之间的路径上,可操作以引导连续柔性基板。处理系统进一步包括共同传送腔室主体,所述共同传送腔室主体限定传送体积。处理系统进一步包括第一竖直腔室主体,所述第一竖直腔室主体限定第一处理体积并且定位在共同传送腔室主体上。传送体积与第一处理体积流体连通。处理系统进一步包括第二竖直腔室主体,所述第二竖直腔室主体限定第二处理体积并且定位在共同传送主体上。传送体积与第二处理体积流体连通。连续柔性基板从传送体积延伸,穿过第一处理体积,返回传送体积,穿过第二处理体积,并且返回传送体积。

[0009] 在又一实施方式中,提供在柔性基板上形成预锂化的电极的方法。方法包括将连续柔性基板运输到第一竖直处理模块的第一处理区域中。连续柔性基板包括电极结构。方法进一步包括在运输连续柔性基板穿过第一处理区域时使连续柔性基板暴露于悬跨预锂化工艺。方法进一步包括将连续柔性基板从第一处理区域运输出来,穿过共同传送体积并且运输到第二竖直处理腔室的第二处理区域中。方法进一步包括在运输连续柔性基板穿过第二处理区域时使连续柔性基板暴露于悬跨钝化工艺。

附图说明

[0010] 为了以详细的方式理解本公开内容的上述特征,可参考实施方式来实现以上简要概述的实施方式的更特定描述,在附图中描绘了一些所述的实施方式。然而,应注意,附图仅描绘了本公开内容的典型实施方式,因此不应视为对其范围的限制,因为本公开内容可允许其他等效的实施方式。

[0011] 图1A描绘能量存储装置的一个实施方式的横截面图,其包括根据本文中描述的实施方式形成的预锂化电极结构;

[0012] 图1B描绘根据本文中描述的实施方式被预锂化的双侧电极结构的横截面图;

[0013] 图2描绘根据本公开内容的一个或多个实施方式的模块化基板处理系统的示意性侧视图;

[0014] 图3描绘可以用于图2的模块化处理系统的竖直处理模块的示意性侧视图;并且

[0015] 图4描绘工艺流程图,其概述根据本公开内容的一个或多个实施方式的预锂化和钝化电极结构的处理顺序的一个实施方式。

[0016] 为了便于理解,已经尽可能地使用相同附图标记标示各图共有的相同元件。应考虑,一个实施方式的元件和特征可有益地并入其他实施方式,而无需进一步叙述。

具体实施方式

[0017] 以下公开内容描述预锂化电极、高性能电化学电池和包括上述预锂化电极的电池、用于其制造的设备和方法。在以下描述和图1A到图4中阐述某些细节以提供对本公开内

容的各种实施方式的透彻理解。在以下公开内容中并不阐述描述常常与电化学电池和电池相关联的众所周知的结构和系统的其他细节以避免不必要地模糊对各种实施方式的描述。

[0018] 图中所示的许多细节、尺寸、角度和其他特征仅仅描绘特定的实施方式。因此,其他实施方式可以具有其他细节、组件、尺寸、角度和特征而不偏离本公开内容的精神或范围。另外,可以在不具有下文所述的若干细节的情况下实践本公开内容的其他实施方式。

[0019] 下文将参考辊到辊涂覆系统描述本文中所描述的实施方式。本文中描述的设备描述是说明性的并且不应被解释或解读为限制本文中所描述的実施方式的范围。还应理解,尽管被描述为辊到辊工艺,但本文中描述的實施方式可以在离散的基板上执行。

[0020] 本文中描述的實施方式涉及适合于预锂化柔性基板的悬跨涂覆系统,所述柔性基板诸如用于锂离子电池装置的幅材。特定来说,悬跨涂覆系统适合于连续处理柔性基板,诸如从解绕模块解绕的幅材。悬跨涂覆系统以模块化设计配置,例如,可以将适当数量的工艺模块在处理线中彼此邻近布置,并且柔性基板被插入第一工艺模块中并且可以使其从处理线的最后一个工艺模块中离开。此外,如果需要改变单独的处理操作,那么可以重新配置整个悬跨涂覆系统。

[0021] 注意到,尽管上面可以实践本文中描述的一些實施方式的特定基板不受限制,但尤其有利的是在包括例如基于幅材的基板、板和离散的薄板的柔性基板上实践所述实施方式。基板也可以呈箔、膜或薄板的形式。

[0022] 这里还注意到,如在本文中描述的實施方式中所用的柔性基板或幅材通常可以表征为可弯曲的。术语“幅材”可以与术语“条带”或术语“柔性基板”同义地使用。例如,如本文中的實施方式中所描述的幅材可以是箔。

[0023] 进一步注意到,在基板是竖直定向基板的一些實施方式中,竖直定向基板可以与竖直平面成角度。例如,在一些實施方式中,基板可以与竖直平面成约1度到约20度之间的角度。在基板是水平定向基板的一些實施方式中,水平定向基板可以与水平表面成角度。例如,在一些實施方式中,基板可以与水平表面成约1度到约20度之间的角度。如本文中所用,术语“竖直”限定为柔性导电基板的与地平线垂直的主要表面或沉积表面。如本文中所用,术语“水平”限定为柔性导电基板的与水平线平行的主要表面或沉积表面。

[0024] 还注意到,悬跨涂覆是指其中在幅材涂覆工艺的实际的膜沉积部分期间,幅材不与表面接触的幅材涂覆机或工艺。

[0025] 可以使基板材料幅材连续地前进穿过互连工艺模块线。在每个工艺模块中,可以执行一部分预锂化工艺。例如,如果锂离子装置包括阳极结构,那么一个或多个工艺模块可以适合于预锂化阳极结构并且一个或多个后继工艺模块可以适合于在预锂化的阳极结构上方形成保护涂层或“钝化涂层”。

[0026] 由于在第一循环充电期间的活性锂损失,锂离子电池比能量和能量密度显著降低。在第一循环充电之前的阳极预锂化是用于补偿活性锂损失的常见策略。此外,预锂化为锂离子电池性能提供其他性能和可靠性优点。例如,预锂化可以减少锂离子电池阻抗从而改进倍率性能。另外,对于硅(Si)基阳极来说,预锂化可以通过预扩展硅来减轻硅破裂和粉碎以增强阳极机械稳定性。

[0027] 存在各种阳极预锂化方法,包括化学预锂化、电化学预锂化、通过直接接触锂金属的预锂化和稳定锂金属粉末(“SLMP”)。这些现存的预锂化方法具有共同的大量锂离子电池

制造缺点,诸如反应时间长并且具有固有的安全风险,不适合用于大量锂离子电池制造。

[0028] 高达30%的 Li_2CO_3 粉末壳保持未破裂的SLMP将非活性材料并入到电池块中,其降低锂离子电池的能量密度。在电解质内移动同时扩散SLMP的松散粉末粒子带来固有的安全和可靠性风险。电化学预锂化在环境空气中由于氮和氧污染而产生反应物质,其可能增大电池阻抗。直接接触锂金属是不均匀并且产量低的工艺,其受到六十厘米宽并且在二十米长或低于二十米长时不连续的薄锂金属箔限制。另外,除电化学预锂化外,使用上述预锂化方法制造的锂离子电池性能可能不及使用涉及反应锂离子的方法进行预锂化的锂离子电池。反应锂离子比锂金属更有效,因为离子可以穿透并且插入电极孔以遍及石墨复合物形成锂合金。

[0029] 一种涉及反应锂离子的预锂化途径是真空热蒸发。热蒸发涉及加热锂以产生由锂原子群组成的蒸气。锂群蒸气质量流量和残余热由加热锂的方式控制。可以使用电子束、等离子体或电阻加热源来加热和控制溶化锂池。正如电化学预锂化,热蒸发传递可以在阳极内形成合金的反应锂离子。不同于电化学预锂化,热蒸发是真空工艺,其中将反应物质与氧和其他可能污染阳极的成分隔离。此外,就使污染最小化来说,与通常在高压下执行的烘箱热处理相比,在 $10\text{E}-04$ 托或更低的压力下的真空处理具有更有效地从阳极除去残余水分的辅助性益处。

[0030] 认为热蒸发促进高质量并且可控制的预锂化。然而,由于资产、能量和维修成本,历史上使用热蒸发的策略受成本限制。因此,对先进电极活性材料的商业需求已经成熟到真空热蒸发目前具有价值的程度。具有成本竞争力的热蒸发需要特定用于电极应用的幅材涂覆系统设计和操作方法。用于补偿活性锂损失的最优预锂化工艺涉及与石墨、硅和/或其他阳极成分组成合金的反应锂离子以补偿在SEI形成期间消耗的锂。最优的具有生产价值的制造方法涉及在约四十米每分钟或更快的幅材速度下的宽度高于一米并且长数千米的幅材处理阳极基板。

[0031] 传统的幅材处理系统不能进行双侧涂覆,更不用说安全的锂热蒸发。因此需要可以满足大量锂离子电池的装置性能、产量、吞吐量和成本的制造目标的真空热蒸发预锂化系统和方法。

[0032] 在本公开内容的一些实施方式中,提供具有冷却辊以促进多程锂离子电池预锂化的悬跨涂覆系统。在一些实施方式中,悬跨涂覆系统具有模块化元件,其包括沉积腔室、冷却转向腔室和一个或多个装载锁止腔室中的至少一个。因此,可以独立地布置、重新布置、替换或维护每个模块化元件而不使其彼此影响。

[0033] 悬跨涂覆系统设计成取决于特定应用来生产单侧或双侧涂层。在一些实施方式中,悬跨涂覆系统设计成促进多种反应物质在不同温度下的沉积。在一些实施方式中,使用无接触高温计和热电偶以监控热区域来实现温度测量。在一些实施方式中,使用石英晶体监视器和残余气体分析仪来检验沉积速率。

[0034] 在一些实施方式中,以空间或时间转换方式使用悬跨涂覆系统以便通过取决于特定应用调节处理时间或处理长度来生产厚度一致的膜。在一些实施方式中,额外的模块化处理腔室安装有类似的工艺装备以速度更快地处理幅材,以此替代可能损伤幅材的提升温度。在一些实施方式中,通过定位在沉积腔室下面的共同传送腔室实现气体分离。在一些实施方式中,幅材在离开沉积腔室并且进入共同传送腔室前被冷却,其使在传送腔室的辊上

的幅材起皱最小化。

[0035] 在一些实施方式中,通过使幅材穿过两块经由诸如氩气或氦气的适当的耦合气体耦合的经流体冷却的板来实现冷却。在一些实施方式中,通过使用冷却板、冷却圆筒和/或冷却辊实现冷却。

[0036] 在一些实施方式中,悬跨涂覆系统具有用于有效的适用性和维护的特征结构。例如,整个模块化沉积腔室可以从传送腔室移除用于维护,其促进安全的锂处理。

[0037] 在一些实施方式中,悬跨涂覆系统可操作以同时地预锂化电池电极的两侧。利用围绕两个冷却圆筒的单行双侧涂覆的替代系统是资本集约的,其有幅材起皱和/或表面缺陷的倾向、吞吐量低和控制预锂化更难。此外,一些冷却滚筒设计具有寄生沉积的问题,其导致传热系数偏移。在一些实施方式中,悬跨涂覆系统在没有冷却圆筒的情况下操作并且因此最小化寄生表面积。

[0038] 在一些实施方式中,使用本文中描述的系统进行的经涂覆电极的预锂化允许(1)增大锂离子电池能量密度(kWh),和(2)降低用于阳极/阴极平衡的阴极涂层负荷,特定来说是昂贵的钴和镍元素。因此,在一些实施方式中,本文中描述的悬跨涂覆系统直接影响用于锂离子电池制造的主要品质因数:成本/kWh。本文中描述的悬跨涂覆系统适合于预锂化任何经涂覆电极,阴极或阳极均可。本文中描述的悬跨系统为电池制造商提供巨大的电池平衡灵活性,例如能够独立地匹配可逆的阳极/阴极容量和不可逆的阳极/阴极容量。

[0039] 在一些实施方式中,使用近耦合气体扩散器来执行垂直悬跨涂覆。

[0040] 图1A描绘能量存储装置100的一个实施方式的横截面图,其包括根据本文中描述的实施方式形成的预锂化电极结构。能量存储装置100可以是使用固体电解质(例如,固态电池)的锂离子能量存储装置,以及使用液体或聚合物电解质的锂离子能量存储装置。能量存储装置100具有正集电器110、正极结构120、隔膜130、负极结构140和负集电器150。正极结构120和负极结构140中的至少一个根据本文中描述的实施方式被预锂化。注意在图1A中,示出集电器延伸超过堆叠,尽管集电器并不必须延伸超过堆叠,延伸超过堆叠的部分可以用作电极接片。

[0041] 分别在正极结构120和负极结构140上的集电器110、150可以是相同或不同的电子导体。集电器110、150可以包含的金属的实例包括铝(Al)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、钴(Co)、锡(Sn)、硅(Si)、锰(Mn)、镁(Mg)、其合金,和其组合。在一些实施方式中,集电器110、150由沉积在聚合物基板上的金属组成。

[0042] 负极结构140或阳极可以是任何与正极结构120兼容的材料。在一些实施方式中,根据本文中描述的实施方式预锂化负极结构140。在一些实施方式中,负极结构140的能量容量大于或等于372mAh/g,更佳的是大于或等于700mAh/g,并且最佳的是大于或等于1000mAh/g。在一些实施方式中,负极结构140由以下材料构造:碳材料(例如,天然石墨或人造石墨)、含硅石墨、硅、镍、铜、锡、铟、铝、硅、其氧化物、其组合,或金属锂和/或锂合金与诸如碳(例如,焦炭、石墨)、镍、铜、锡、铟、铝、硅、其氧化物或其组合的材料的混合物。碳材料的适合的实例包括天然和人造石墨、部分石墨化的碳或非晶碳、石油、焦炭、针状焦和各种中间相。在一些实施方式中,负极结构140包括含锂夹层化合物或含锂插入化合物。在一些实施方式中,负极结构140是硅石墨阳极。

[0043] 在一些实施方式中,形成负极结构140的材料呈分散形式,诸如粉末、纤维或碎片。

在一些实施方式中,通过此项技术中已知的任何方法制造负极结构140,诸如通过由碳粉末和粘合剂制备浆料、将浆料施加在集电器上/集电器中,并且使其干燥。如果使用粘合剂,粘合剂可以选自包括但不限于聚偏二氟乙烯(PVDF)、乙烯-丙烯二烯系单体(EPDM)、乙烯醋酸乙烯酯共聚物(EVA)和其组合的此类化合物。

[0044] 正极结构120或阴极可以是与阳极兼容的任何材料并且可以包括夹层化学物、插入化合物或电化学活性聚合物。在一些实施方式中,根据本文中描述的实施方式预锂化正极结构120。适合的夹层材料包括例如含锂金属氧化物、 MOS_2 、 FeS_2 、 MnO_2 、 TiS_2 、 NbSe_3 、 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiMnO_2 、 LiMn_2O_4 、 V_6O_{13} 和 V_2O_5 。适合的含锂氧化物可以是分层的,诸如锂钴氧化物(LiCoO_2)或混合的金属氧化物,诸如 $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-2x}\text{MnO}_2$ 、 LiNiMnCoO_2 (“NMC”)、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$ 、 LiMn_2O_4 和掺杂的富锂层-层材料,其中x是零或非零的数值。适合的磷酸盐可以是铁橄榄石(LiFePO_4)和其变体(诸如 $\text{LiFe}_{(1-x)}\text{Mg}_x\text{PO}_4$)、 LiMoPO_4 、 LiCoPO_4 、 LiNiPO_4 、 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 LiVOPO_4 、 LiMP_2O_7 或 $\text{LiFe}_{1.5}\text{P}_2\text{O}_7$,其中x是零或非零的数值。示例性的氟磷酸盐可以是 LiVPO_4F 、 LiAlPO_4F 、 $\text{Li}_5\text{V}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_5\text{Cr}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_2\text{CoPO}_4\text{F}$ 或 $\text{Li}_2\text{NiPO}_4\text{F}$ 。示例性的硅酸盐可以是 $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ 或 $\text{Li}_2\text{VOSiO}_4$ 。示例性的非锂化合物是 $\text{Na}_5\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 。

[0045] 在根据本公开内容的锂离子电池的一些实施方式中,锂被包含在负极处的碳石墨(LiC_6)和正极处的氧化锂锰(LiMnO_4)或氧化锂钴(LiCoO_2)的晶体结构原子层中。然而在一些实施方式中,负极也可以包括吸收锂的材料,诸如硅和/或锡。尽管被示出为平面结构,但电池也可以通过卷起层堆叠被形成为圆筒。此外,可以形成其他的电池配置(例如,棱柱电池、钮扣电池)。

[0046] 在一个实施方式中,隔膜130是多孔的聚合离子传导聚合基板。在一个实施方式中,多孔的聚合基板是多层聚合基板。在一些实施方式中,隔膜130包括任何可以购买到的聚合微孔薄膜(例如,单层或多层的),例如由Polypore (Celgard® LLC., of Charlotte, North Carolina)、Toray Tonen(电池隔膜(BSF))、SK Energy(锂离子电池隔膜(LiBS))、Evonik industries (SEPARION® 陶瓷隔膜)、Asahi Kasei (Hipore™ 聚烯烃平膜薄膜)和DuPont (Energain®)生产的产品。

[0047] 在一些实施方式中,浸渍在电池组件120、130和140中的电解质由液体/凝胶或固体聚合物组成并且可能各不相同。在一些实施方式中,电解质主要包括盐和媒介(例如,在液体电解质中,媒介可以被称为溶剂;在凝胶电解质中,媒介可以是聚合物基体)。盐可以是锂盐。锂盐可以包括例如 LiPF_6 、 LiAsF_6 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$ 、 LiBF_6 和 LiClO_4 、BETTE电解质(可以从Minneapolis, MN的3M公司购买到)和其组合。

[0048] 图1B描绘根据本文中描述的实施方式被预锂化的双侧电极结构170的横截面图。尽管双侧电极结构170被描绘成双侧电极结构,但应理解,本文中描述的实施方式也适用于单侧电极结构。双侧电极结构170包括负集电器150,其具有在负集电器150的相对两侧上形成的负极结构140a、140b(统称为140)。负极结构140a、140b各自具有分别在其上面形成的钝化膜160a、160b(统称为160)用于保护负极结构140免受诸如环境氧化剂的污染物损伤。在一些实施方式中,钝化膜160对锂离子和锂原子中的至少一个是可渗透的。钝化膜160提供负极结构140的表面保护,其允许在干燥室里处理负极结构140并且有利于稳定的SEI形

成。可以用于形成钝化膜160的材料实例包括但不限于氟化锂(LiF)膜、碳酸锂(Li₂CO₃)膜、氧化锂膜、氮化锂(Li₃N)膜、磷酸锂(Li₃PO₄)膜、氯化锂(LiCl)膜、基于烷基硅醇酸锂的膜、基于烷基硅氧烷的膜、聚乙烯(PE)膜、聚丙烯(PP)膜、聚苯乙烯(PS)膜,或其他不与锂反应的聚合物膜、聚(丙烯酸)、乙烯醋酸乙烯酯、或其他与锂反应的聚合物膜,或其组合。在一些实施方式中,钝化膜160可以通过气相沉积方法在负极结构140上形成,所述气相沉积方法例如化学气相沉积(CVD)、原子层沉积(ALD)、诸如热蒸发或溅镀的物理气相沉积(PVD)。在一些实施方式中,钝化膜160在锂的熔点以上被沉积在负极结构140上以促进化学键结。在一些实施方式中,钝化膜160可以在锂的熔点以下被沉积并且随后将负极结构140热处理到锂的熔点或更高温度。

[0049] 在一些实施方式中,钝化膜160可以是保形涂层或离散的膜,厚度在1纳米到2000纳米范围内(例如,在10纳米到600纳米范围内;在50纳米到100纳米范围内;在50纳米到200纳米范围内;在100纳米到150纳米范围内)。在一些实施方式中,钝化膜160是离散的膜,厚度在1微米到50微米范围内(例如,在1微米到25微米范围内)。涂覆工艺参数控制钝化膜160保护表面性质,包括例如机械耐久性、疏水性和粘性。可以使钝化膜160性质最优化以最小化与空气的反应从而延长被涂覆的幅材可用保存期限,以促进电池基板和设备可制造性,包括幅材处理,并且有利于电池组装和充电期间的稳定的SEI形成。

[0050] 图2描绘根据本公开内容的一个或多个实施方式的模块化悬跨涂覆系统200的示意性侧视图。模块化悬跨涂覆系统可以是可操作于柔性幅材的单侧或双侧处理。在一些实施方式中,模块化悬跨涂覆系统200可操作于预锂化在柔性基板上形成的阳极结构或阴极结构。模块化悬跨涂覆系统200被构造成辊到辊系统,包括上游解绕模块202、共同传送腔室220、多个竖直处理模块210a、210b……210n(统称为210)和下游卷绕模块204。在一些实施方式中,依序布置竖直处理模块210a、210b……210n,其中的每一个竖直处理模块都被构造为对连续柔性基板230执行一个处理操作。每个竖直处理模块210都可操作以对连续柔性基板230执行悬跨涂覆工艺,所述连续柔性基板在悬跨涂覆工艺期间竖直地定向在竖直处理模块210内。

[0051] 如图2中所示,竖直处理模块210a、210b……210n定位在共同传送腔室220上。示出了连续柔性基板230被插入第一竖直处理模块210a中,并且在适当的处理操作或处理步骤之后从最后一个竖直处理模块210n离开。因此,每个竖直处理模块210a到210n都具有在基板被插入工艺模块的一侧上的上游组件,和在基板从工艺模块离开的一侧上的下游组件,诸如上游解绕模块202和下游卷绕模块204。在一些实施方式中,上游解绕模块202和下游卷绕模块204安装在单独的腔室中(例如,卷绕腔室和解绕腔室)。

[0052] 在一些实施方式中,以幅材形式提供连续柔性基板230,其卷绕成一卷并且宽度在15cm到160cm范围内,并且典型地具有大约300cm的宽度。在一些实施方式中,连续柔性基板230具有在8 μ m到200 μ m范围内的厚度,例如大约50 μ m的厚度。连续柔性基板230具有前表面234和背表面236。在一些实施方式中,连续柔性基板230包括柔性材料,其具有形成在其上面的电极结构。电极结构可以是阳极结构或阴极结构。例如,柔性基板可以是具有形成在其上面的负极结构140的负集电器150,如图1B中所示。在一些实施方式中,只有柔性基板的前表面234具有形成在其上面的电极结构。在一些实施方式中,前表面234和背表面236都具有形成在其上面的电极结构。

[0053] 共同传送腔室220包括限定传送体积224的共同传送腔室主体222。在一些实施方式中,共同传送腔室主体222由标准材料制造,诸如铝、石英、陶瓷或不锈钢。共同传送腔室主体222包括多个通孔226a到226h(统称为226)用于容纳连续柔性基板230。多个通孔226通常与每个对应竖直处理腔室210的竖直腔室主体240中的对应通孔对齐。共同传送腔室主体222中的每个通孔226的尺寸被设计成容纳连续柔性基板230,同时允许在每个竖直处理模块210的处理体积244a、244b……244n(统称为244)与传送体积224之间的差动泵浦。处理体积244与传送体积224流体连通。在一些实施方式中,处理体积244是真空处理体积。在一些实施方式中,在传送体积224中维持惰性气体环境。传送体积224的惰性气体环境将每个竖直处理模块210的处理体积244(其可以是真空处理体积)与定位在共同传送腔室220上的其他竖直处理模块210的处理体积244分离(例如,提供气体分离)。这一分离允许在不同的竖直处理模块210中使用不兼容的化学物质。惰性气体在相邻的竖直处理模块之间流动并且防止前驱物气态混合物在相邻的竖直处理模块之间扩散。在一些实施方式中,共同传送腔室220与压力控制系统(未示出)耦合,压力控制系统根据需要在共同传送腔室220抽气和排气,用以促进在一个竖直处理腔室的真空环境与模块化悬跨涂覆系统200外的大体周围(例如,大气)环境之间传递连续柔性基板230。

[0054] 在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n是独立的模块化处理腔室,其中每个模块化处理腔室在结构上与其他模块化处理腔室和共同传送腔室220分离。因此,可以独立地布置、重新布置、替换或维护每个独立的竖直处理模块210a到210n而不影响其他竖直处理模块。尽管示出三个竖直处理模块210a、210b和210n,但应理解,模块化悬跨涂覆系统200内可以包括任何数量的竖直处理模块。例如,在一些实施方式中,模块化悬跨涂覆系统200中包括2个、3个、4个、5个或更多个竖直处理模块210。

[0055] 通过以竖直定向布置单独的竖直处理模块210a到210n的处理腔室减小了模块化悬跨涂覆系统200的横向尺寸,例如,在基板运输方向232上延伸的尺寸。此外,根据本文中描述的实施方式,连续柔性基板230从一个模块水平移动到下一个模块并且从而可以实现水平幅材控制。另外,可以通过模块化系统的布置来在连续柔性基板230上的电极结构的预锂化期间提供连续柔性基板230的竖直移动。从而,来自沉积工艺的可能在沉积区域中产生的自由石墨和寄生粒子不太可能落到连续柔性基板230的正面上以使得例如可能由于粒子剥落下来而发生沉积的层的损伤。

[0056] 在本公开内容的一些实施方式中,仅存在两个竖直处理模块210a、210b,但取决于目标预锂化工艺,可以包括额外的竖直处理模块210n。例如,在仅存在两个竖直处理模块210的一些实施方式中,第一竖直处理模块210a可操作以执行热蒸发预锂化工艺并且第二竖直处理模块210b可操作以在预锂化的电极上方形成钝化膜。在存在两个以上竖直处理模块210的一些实施方式中,多个竖直处理模块210可以专用于预锂化工艺和/或钝化工艺。在一些实施方式中,添加额外的竖直处理模块210并且其可操作以执行额外的表面处理工艺,诸如电晕表面处理工艺、预清洁工艺或后清洁工艺。

[0057] 在一些实施方式中,竖直处理模块210包括竖直腔室主体240a、240b……240n(统称为240)。在一些实施方式中,竖直腔室主体240由标准材料制造,诸如铝、石英、陶瓷或不锈钢。隔板242a、242b……242n(统称为242)跨由竖直腔室主体240限定的内部体积延伸。隔板242将内部体积分隔为用于处理连续柔性基板230的处理体积244,和用于逆转连续柔性

基板230方向的转向体积246a、246b……246n(统称为246)。隔板242包括多个通孔243a到243f(统称为243)用于容纳连续柔性基板230。隔板242中的每个通孔243的尺寸被设计成容纳连续柔性基板230,同时允许在处理体积244与转向体积246之间的差动泵浦。

[0058] 应理解,尽管示出处理体积244与转向体积246共用共同腔室主体,但在一些实施方式中,处理体积244和转向体积246由单独的腔室主体限定,限定转向体积246的腔室主体堆叠在限定处理体积244的腔室主体上。例如,在一些实施方式中,竖直处理模块210包括限定处理体积244的沉积腔室和限定转向体积246的单独的转向腔室。沉积腔室和转向腔室是单独的模块化并且可堆叠的元件,转向腔室堆叠在沉积腔室上。

[0059] 根据本公开内容的实施方式,竖直处理模块210a到210n可以包括允许模块化悬跨涂覆系统200预锂化和/或钝化形成在连续柔性基板230上的电极结构的任何适当的结构、配置、布置和/或组件。例如,在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n包括但不限于包括热蒸发源、蒸气扩散器、电源、单独的压力控制、沉积控制系统和温度控制组件的适当的沉积系统。在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n各自具备单独的气体供应。竖直处理模块210a到210n通常彼此分离用于提供良好的气体分离。在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n由共同传送腔室220彼此分离。模块化悬跨涂覆系统200的竖直处理模块210a到210n的数量不受限制。例如,在一些实施方式中,模块化悬跨涂覆系统200可以包括两个、三个、四个、五个或更多个竖直处理模块。

[0060] 在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n包括一个或多个沉积单元252a到252f(统称为252),其可操作以在连续柔性基板230的一个或多个表面上执行表面改性处理。一个或多个沉积单元252通常定位在处理体积244中以执行连续柔性基板230的悬跨处理。例如,参考图2,定位沉积单元252a以处理连续柔性基板230,同时连续柔性基板230在辅助张力卷盘266b与辅助张力卷盘266c之间迁移。在一些实施方式中,两个沉积单元252a、252b相对于连续柔性基板230布置在处理体积244的相对两侧上,沉积单元252a、252b竖直定向并且面向连续柔性基板230的前表面234。在一些实施方式中,一个或多个沉积单元252与连续柔性基板230的基板运输方向232平行定位在处理体积244中。在一些实施方式中,定位一个或多个沉积单元252以使得将要沉积在连续柔性基板230上的材料以相对于连续柔性基板230的基板运输方向232的实质上垂直的定向递送。

[0061] 在一些实施方式中,一个或多个沉积单元252a到252f是气相沉积源。在一些实施方式中,一个或多个沉积单元中的至少一个是竖直扩散器,其可操作用于将蒸发的锂递送到连续柔性基板230的表面。在一些实施方式中,一个或多个沉积单元各自单独地选自以下群组:CVD源、PECVD源和诸如溅镀或热蒸发源的PVD源。在一些实施方式中,一个或多个沉积单元252a到252f可以独立地包括蒸发源、溅镀源,诸如磁控管溅镀源、直流溅镀源、交流溅镀源、脉冲溅镀源,可以提供射频(RF)溅镀或中频(MF)溅镀。一个或多个沉积单元可以包括蒸发源。在一些实施方式中,蒸发源包括热蒸发源或电子束蒸发源。在一些实施方式中,蒸发源包括锂(Li)源。在一些实施方式中,蒸发源包括两种或更多种金属的合金。待沉积的材料(例如锂)可以在坩埚中提供。在一些实施方式中,通过热蒸发技术或通过电子束蒸发技术来使锂蒸发。

[0062] 在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n包括一个或多个冷却源254a、254b……254n(统称为254)。在一些实施方式中,冷却源254是被流体冷却的板。在一些实施

方式中,冷却源254定位在竖直处理模块210的处理体积244中。在一些实施方式中,如图2中所示,冷却源254定位在两个沉积单元252之间。例如,在第一竖直处理模块210a中,冷却源254a定位在沉积单元252a与沉积单元252b之间。将冷却源254a定位在沉积单元252a与沉积单元252b之间允许冷却源254a在连续柔性基板230靠近转向体积246,和从转向体积246返回,靠近传送体积224时冷却连续柔性基板230。

[0063] 在一些实施方式中,竖直处理模块210a到210n中的一个或多个可操作以通过其他方法执行沉积,诸如但不限于化学气相沉积、原子激光沉积或脉冲激光沉积。在一些实施方式中,竖直处理模块中的一个或多个可操作以执行等离子体处理工艺,诸如等离子体氧化或等离子体氮化工艺。

[0064] 在一些实施方式中,转向体积246包括中间转向辊248a、248b……248n(统称为248)。中间转向辊248使连续柔性基板230的方向从竖直向上移动转到竖直向下移动。在中间转向辊248面向连续柔性基板230的背表面236的一些实施方式中,中间转向辊可以直接接触连续柔性基板230的背表面236而不必被设计成气垫辊。在一些实施方式中,中间转向辊248被设计成气垫辊。在一些实施方式中,中间转向辊248的温度受控制。在一些实施方式中,中间转向辊248被加热。加热中间转向辊248被认为减少可能在连续柔性基板230中形成的起皱。在一些实施方式中,中间转向辊248被冷却。冷却中间转向辊248帮助降低连续柔性基板230在处理体积244中的处理之后的温度。在处理之后冷却连续柔性基板230被认为减少对连续柔性基板230的热损伤。

[0065] 在一些实施方式中,模块化悬跨涂覆系统200包括共同运输结构260。共同运输结构260可以包括能够穿过每个竖直处理模块210a到210n的处理体积244移动连续柔性基板230的任何传送机制。在一些实施方式中,共同运输结构260是卷盘到卷盘系统,其具有定位在下游卷绕模块204中的共同卷绕卷盘264、定位在转向体积246中的中间转向辊248和定位在上游解绕模块202中的解绕卷盘262。在一些实施方式中,取决于目标工艺条件单独地加热或冷却下游卷绕模块204、中间转向辊248和解绕卷盘262。在一些实施方式中,使用定位在每个卷盘内的内部热源或外部热源来单独地加热下游卷绕模块204、中间转向辊248和解绕卷盘262。在一些实施方式中,使用定位在每个卷盘内的内部冷却源或外部冷却源来单独地冷却下游卷绕模块204、中间转向辊248和解绕卷盘262。

[0066] 在一些实施方式中,共同运输结构260进一步包括定位在解绕卷盘262、中间转向辊248与共同卷绕卷盘264之间的一个或多个辅助张力卷盘266a到266n(统称为266)。辅助张力卷盘266定位在连续柔性基板230被在每个竖直处理模块210a到210n、解绕卷盘262与共同卷绕卷盘264之间传送的路径上,以允许对连续柔性基板230施加张力。这一张力防止连续柔性基板230下垂并且改变连续柔性基板230的移动方向。因此,即使沿着连续的长路径移动连续柔性基板230,仍然恒定地维持某个移动速率。在一些实施方式中,辅助张力卷盘266中的任一个都可以被气垫辊取代。就具有离散处理区域、模块或腔室的实施方式而言,共同运输结构可以是卷盘到卷盘系统,其中每个竖直处理模块或处理体积具有单独的卷收卷盘和馈送卷盘以及一个或多个定位在卷收卷盘和馈送卷盘之间的可选的中间传送卷盘。

[0067] 连续柔性基板230穿过模块化悬跨涂覆系统200和穿过单独的竖直处理模块210a到210n的运输速度是基于竖直处理模块210a到210n的数量。在一些实施方式中,用于移动

连续柔性基板230穿过竖直处理模块210a到210n的运输速度在0.1米/分钟到2.5米/分钟范围内,并且通常等于0.6米/分钟。

[0068] 在操作中,连续柔性基板230被从上游解绕模块202传送并且穿过通孔226a,前进到共同传送腔室220中。连续柔性基板230随后被竖直向上移动穿过通孔226b以便连续柔性基板230前进到第一竖直处理模块210a的处理体积244a中。在处理体积244a中,连续柔性基板230在沉积单元252a与冷却源254a之间迁移,其中使连续柔性基板230暴露于悬跨表面改性工艺,诸如悬跨预锂化工艺。连续柔性基板230被竖直向上移动穿过通孔243a,绕中间转向辊248前进到第一竖直处理模块210a的转向体积246中,其中连续柔性基板230被转向以竖直地向下移动。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔243b,返回处理体积244a。在处理体积244a中,连续柔性基板230在沉积单元252b与冷却源254a之间迁移,其中使连续柔性基板230暴露于额外的悬跨表面改性工艺,诸如额外的悬跨预锂化工艺或悬跨钝化工艺。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔226c到共同传送腔室220中。连续柔性基板230随后在水平方向上迁移穿过共同传送腔室220直到连续柔性基板230被转向为竖直向上穿过通孔226d以便连续柔性基板230前进到第二竖直处理模块210b的处理体积244b中。在处理体积244b中,使连续柔性基板230暴露于悬跨表面改性工艺,诸如悬跨钝化工艺。连续柔性基板230被竖直向上移动穿过通孔243c,绕中间转向辊248b前进到第二竖直处理模块210b的转向体积246b中,其中连续柔性基板230被转向以竖直地向下移动。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔243d,返回处理体积244b,其中使连续柔性基板230暴露于额外的悬跨表面改性工艺,诸如悬跨钝化工艺。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔226e,返回到共同传送腔室220。在一些实施方式中,柔性基板在额外的竖直处理模块,例如竖直处理模块210n中经受额外的处理。

[0069] 通常,模块化悬跨涂覆系统200包括系统控制器290,其被构造为控制模块化悬跨涂覆系统200的自动化方面。系统控制器290促进整个模块化悬跨涂覆系统200的控制和自动化并且可以包括中央处理器(CPU)(未示出)、存储器(未示出)和支持电路(或I/O)(未示出)。可以将软件指令和数据编码并且存储在存储器内用于对CPU发送指令。可以被系统控制器290读取的程序(或计算机指令)决定哪些任务可以在基板上执行。较佳地,程序是可以被系统控制器290读取的软件,其包括产生和存储至少基板位置信息、各种受控组件的动作顺序和其任何组合的编码。

[0070] 图3描绘可以在图2的模块化悬跨涂覆系统200中使用的竖直处理模块300的示意性侧视图。竖直处理模块300可操作以执行双侧表面改性工艺,诸如双侧悬跨预锂化工艺和/或双侧悬跨钝化工艺。在双侧悬跨预锂化工艺期间,使连续柔性基板230的相对侧(例如,前表面234和背表面236)同时暴露于悬跨预锂化工艺或悬跨钝化工艺。竖直处理模块300类似于竖直处理模块210,除了竖直处理模块300具有三个沉积单元352a到352c(统称为352)。一个或多个沉积单元352通常定位在处理体积344中以执行连续柔性基板230的悬跨处理。例如,参考图3,定位沉积单元352a以处理连续柔性基板230,同时连续柔性基板230在辅助张力卷盘366b与辅助张力卷盘366c之间迁移。定位沉积单元352b以处理连续柔性基板230,同时连续柔性基板230在辅助张力卷盘366d与辅助张力卷盘366e之间迁移。定位沉积单元352a和沉积单元352b以处理连续柔性基板230的前表面234。沉积单元352c定位在沉积单元352a与沉积单元352b之间以处理连续柔性基板230的背表面236。在一些实施方式中,

与沉积单元252类似地配置沉积单元352a到352c。

[0071] 图4描绘工艺流程图,其概述根据本公开内容的一个或多个实施方式的预锂化和钝化电极结构的处理顺序400的一个实施方式。处理顺序400可以用于预锂化单侧电极结构,例如图1A中描绘的电极结构,或双侧电极结构,例如图1B中描绘的电极结构。可以使用例如图2中描绘的模块化悬跨涂覆系统200来执行处理顺序400。

[0072] 处理顺序400从操作410开始,提供包括电极结构的柔性基板。在一些实施方式中,柔性基板是连续柔性基板230,其包括负极(阳极电极),例如在负集电器150上形成的负极结构140,或正极(阴极电极),例如在正集电器110上形成的正极结构120,如图1A中所示。在一些实施方式中,连续柔性基板230包括双侧电极结构,诸如双侧电极结构170,其包括负集电器150,在负集电器150的相对侧上形成负极结构140a、140b(统称为140),如图1B中所示。

[0073] 在操作420,柔性基板被移动到第一竖直处理模块中。参考图2,在一些实施方式中,连续柔性基板230被从上游解绕模块202传送并且穿过通孔226a,前进到共同传送腔室220中。连续柔性基板230随后被竖直向上移动穿过通孔226b以便连续柔性基板230前进到第一竖直处理模块210a的处理体积244a中。

[0074] 在操作430,柔性基板在第一竖直处理模块中被处理。在一些实施方式中,工艺是悬跨预锂化工艺,其涉及反应锂离子在连续柔性基板230上冷凝并且沿着晶粒边界插入负极结构140中。参考图2,在一些实施方式中,在处理体积244a中,连续柔性基板230在沉积单元252a与冷却源254a之间迁移,其中使连续柔性基板230暴露于悬跨表面改性工艺,诸如悬跨预锂化工艺。在一些实施方式中,沉积单元252a是蒸气扩散器。悬跨预锂化工艺包括经由沉积单元252a朝连续柔性基板230递送蒸发的锂。蒸发的锂通过冷凝在连续柔性基板230的电极结构上来预锂化电极结构。在一些实施方式中,通过调节沉积单元252发射的反应锂离子的温度和浓度来控制预锂化的程度。还通过从连续柔性基板230到冷却源254的热传递和运输速度来控制预锂化的程度。注意到,在涂覆工艺完成后,锂可以继续沿着晶粒边界插入负极。因此,在一些实施方式中,与后续材料老化和其他处理一起使用悬跨预锂化工艺来生产具有受控的预锂化程度的材料。

[0075] 在第一预锂化工艺之后,连续柔性基板230被竖直向上移动穿过通孔243a,绕中间转向辊248a前进到第一竖直处理模块210a的转向体积246中,其中连续柔性基板230被转向以竖直向下移动。在中间转向辊248a的温度受控制的一些实施方式中,通过中间转向辊248a冷却或加热连续柔性基板230。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔243b,返回处理体积244a。在处理体积244a中,连续柔性基板230在沉积单元252b与冷却源254a之间迁移,其中使连续柔性基板230暴露于额外的悬跨预锂化工艺以向连续柔性基板230的电极结构提供额外的锂。

[0076] 在操作440,连续柔性基板230被移出第一竖直处理模块210a。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔226c到共同传送腔室220中。在操作450,连续柔性基板230随后在水平方向上迁移穿过共同传送腔室220直到连续柔性基板230被转向为竖直向上穿过通孔226d以便连续柔性基板230前进到第二竖直处理模块210b的处理体积244b中。

[0077] 在操作460,连续柔性基板230在第二竖直处理模块210b的处理体积244b中被处理。在第二竖直处理模块210b的处理体积244b中,使连续柔性基板230暴露于悬跨表面改性工艺,诸如悬跨钝化工艺。在一些实施方式中,悬跨钝化工艺在预锂化的电极结构上形成钝

化膜,诸如钝化膜160。在一些实施方式中,可以通过气相沉积方法在电极结构上形成钝化膜,例如化学气相沉积(CVD)、气溶胶辅助化学气相沉积(AACVD)、原子层沉积(ALD)、电喷射沉积(ESD)或诸如蒸发或溅镀的物理气相沉积(PVD)。

[0078] 在操作470,连续柔性基板230被移出第二竖直处理模块210b。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔226e到共同传送腔室220中。在连续柔性基板230经受额外处理的一个实施方式中,连续柔性基板230随后在水平方向上迁移穿过共同传送腔室220直到连续柔性基板230被转向为竖直向上穿过通孔226f以便连续柔性基板230前进到竖直处理模块210n的处理体积244n中。在连续柔性基板230的处理完成的另一实施方式中,连续柔性基板230经由通孔226h离开共同传送腔室220。在离开共同传送腔室220之后,连续柔性基板230可以被卷绕在卷绕卷盘264上。

[0079] 在一些实施方式中,可以使用在高于或低于锂熔点下惰性的或与锂发生反应的气态或液体前驱物来形成钝化膜160。例如,可以通过在第二竖直处理模块210b的处理体积244b中的沉积单元252之间引入无水二氧化碳以在第一竖直处理模块210a的处理体积244a中形成的预锂化表面上形成碳酸锂(Li_2CO_3)保护层来形成钝化膜160。沉积单元252的操作温度和连续柔性基板230的潜热影响碳酸锂无小孔质量和总厚度。在一些实施方式中,使用磷酸代替二氧化碳以形成磷酸锂(Li_3PO_4)保护层,其比碳酸锂更防潮并且因此更有效地在更长时间内降低被涂覆的幅材空气反应性。在需要在钝化处理期间避免加热预锂化的负极结构140的一些实施方式中,使用氯硅烷蒸气产生氯化锂(LiCl)薄层、以及烷基硅醇酸锂衍生物或烷基硅氧烷以产生比碳酸锂或磷酸锂热稳定性更好的钝化膜,例如钝化膜160。在一些实施方式中,钝化膜160由两个或更多个薄片状膜组成,诸如最小化空气反应性的碳酸锂膜,和改进幅材持久性并且促进电池组合件的诸如蜡的有机层,例如聚乙烯蜡,诸如Luwx[®]。在一些实施方式中,钝化膜160由一个或多个聚环氧乙烷、乙烯醋酸乙烯酯或其他在N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)中溶解度低的聚合物的层组成以改进稳定性和存储寿命。共同传送腔室220提供处理体积244a与处理体积244b之间的空间隔离,防止用于钝化工艺的反应气体或蒸气前驱物迁移到上游并且污染预锂化工艺。

[0080] 连续柔性基板230被竖直向上移动穿过通孔243c,绕中间转向辊248b前进到第二竖直处理模块210b的转向体积246b中,其中连续柔性基板230被转向以竖直地向下移动。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔243d,返回处理体积244b,其中使连续柔性基板230暴露于额外的悬跨表面改性工艺,诸如悬跨钝化工艺。连续柔性基板230被竖直向下移动穿过通孔226e,返回到共同传送腔室220。

[0081] 在一些实施方式中,连续柔性基板230在额外的竖直处理模块,例如竖直处理模块210n中经受额外的处理。在一些实施方式中,额外的处理可以提供隔膜、可溶于电解质的粘合剂的沉积,或在一些实施方式中,额外的腔室可以提供正极结构的形成。在一些实施方式中,额外的腔室提供负极的切割。可以在切割负极之后去除钝化膜。

[0082] 总结来说,本公开内容的一些益处包括将预锂化和钝化有效率地集成到模块化悬跨处理系统中。目前,锂金属沉积在干燥室或氩气气氛中执行。由于锂金属的挥发性,后续处理步骤也必须在氩气气氛中执行。在氩气气氛中执行后续处理步骤将需要改型目前的制造工具。发明人已经发现,在后续处理之前用保护膜涂覆锂金属允许在真空或大气下执行后续处理。保护膜消除了惰性气体气氛中执行额外处理操作的需要,从而降低工具的复

杂性。保护膜还允许运输、储存或运输和储存上面形成有锂金属膜的负极。另外,电极结构的竖直定向的预锂化和钝化允许调节处理时间或处理长度同时减少系统的占用面积。

[0083] 另外,悬跨涂覆在蒸发源高热负荷附近消除了幅材与冷却圆筒之间的接触。从大量沉积去除幅材处理要求防止卷绕缺陷,诸如起皱。悬跨涂覆还促进低水平设备成本下的高幅材速度(例如,大于1米/分钟,最高40米/分钟)。悬跨涂覆系统被设计成最小化起皱。在一些实施方式中,涂覆系统具有多个在不同温度下操作的腔室以在不损伤热敏感的基板的情况下最大化涂层厚度和一致性。在一些实施方式中,涂覆系统可以通过优化温度、处理长度和幅材速度来控制涂覆速率。在一些实施方式中,由于寄生表面的最小化,涂覆系统具有高锂利用率。

[0084] 当介绍本公开内容的元件或其示例性方面或实施方式时,冠词“一”、“所述”和“上述”意欲指存在一个或多个元件。

[0085] 术语“包括”、“包含”和“具有”意欲为包容性的并且意指除了所列出的元件可能还有额外的元件。

[0086] 尽管前述内容涉及本公开内容的实施方式,但在不脱离本公开内容的基本范围的情况下,可以设想本公开内容的其他和进一步实施方式,并且本公开内容的范围由后续权利要求书确定。

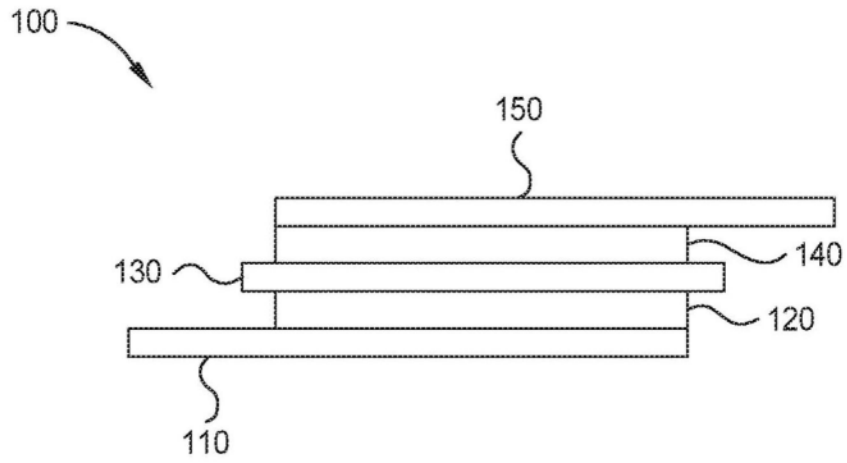


图1A

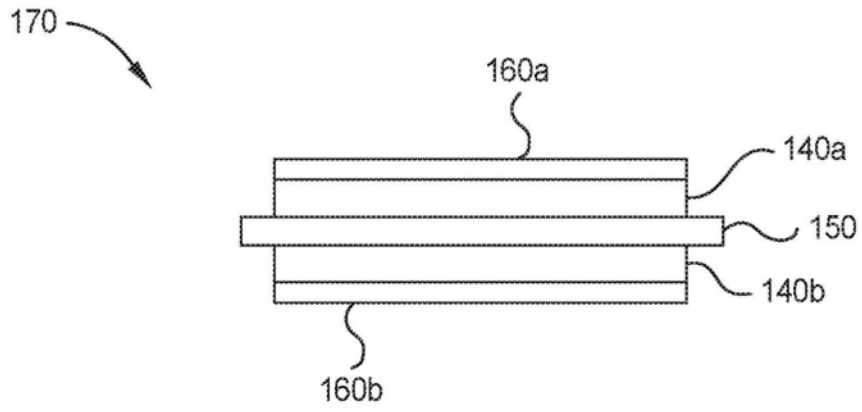


图1B

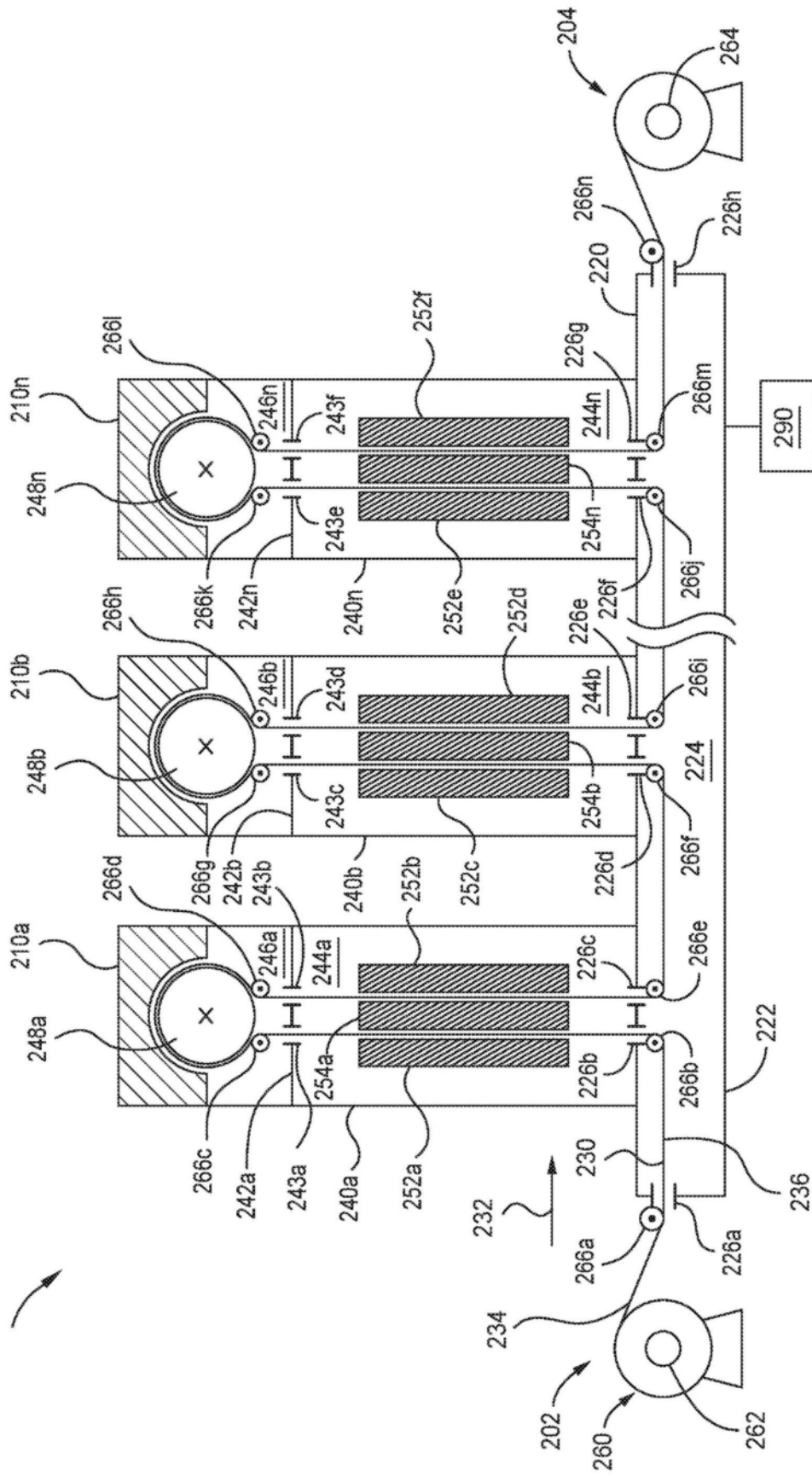


图2

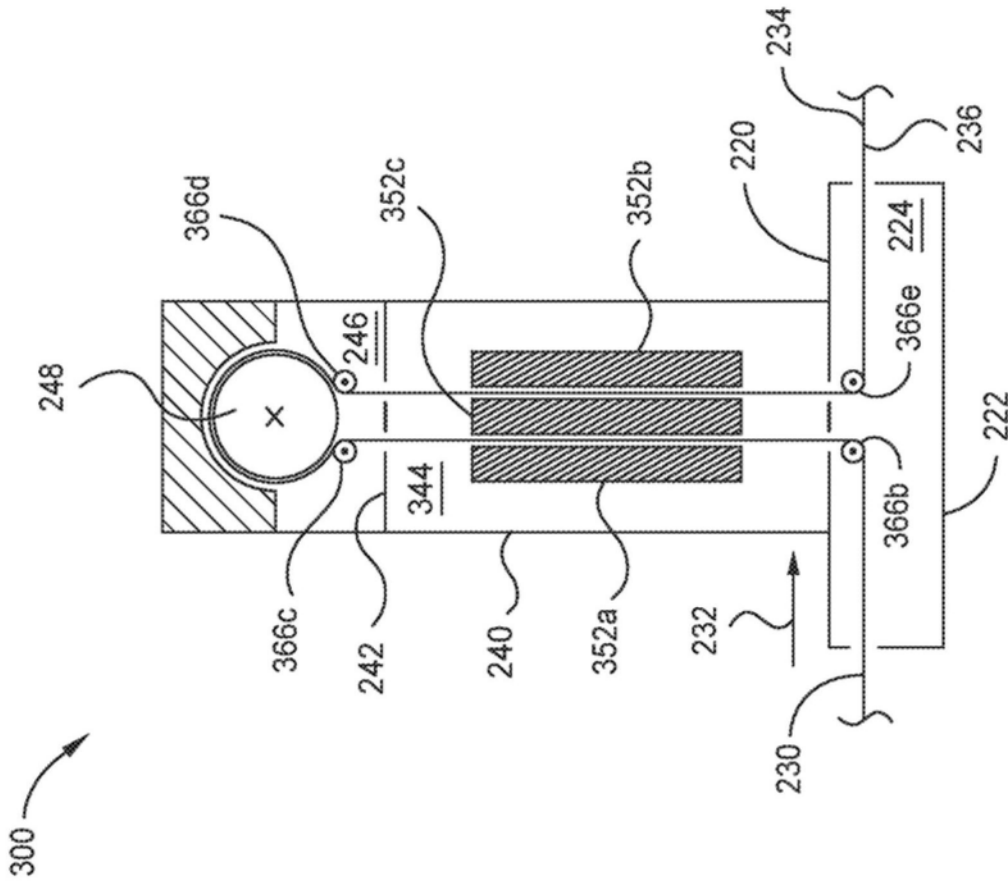


图3

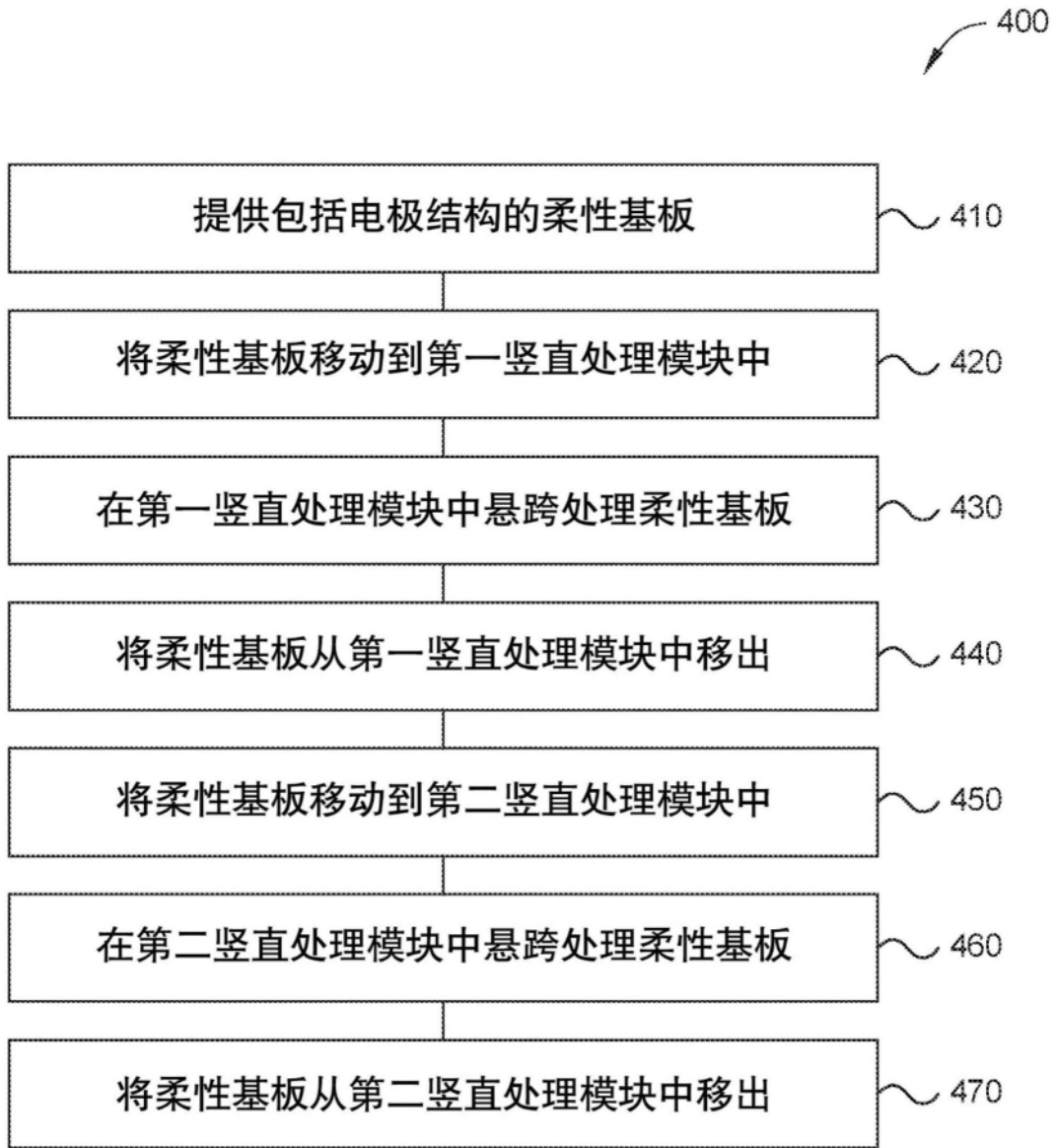


图4