



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105164776 B

(45)授权公告日 2019.03.08

(21)申请号 201480023057.1

(22)申请日 2014.04.22

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105164776 A

(43)申请公布日 2015.12.16

(30)优先权数据  
61/815,157 2013.04.23 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2015.10.22

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2014/035012 2014.04.22

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02014/176267 EN 2014.10.30

(73)专利权人 麦斯韦尔技术股份有限公司  
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 桑塔那姆·拉曼 习笑梅 叶向荣

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 梁丽超 陈鹏

(51)Int.Cl.  
H01G 11/06(2006.01)  
H01M 4/133(2006.01)  
H01G 11/50(2006.01)  
H01G 11/86(2006.01)  
H01M 4/1393(2006.01)

(56)对比文件  
CN 101606268 A, 2009.12.16, 权利要求3、  
实施例1、图1-5.

US 2012/0042490 A1, 2012.02.23, 说明书  
第0008-0009、0034-0093段, 图1-2.

CN 103050295 A, 2013.04.17, 全文.

审查员 刘上贤

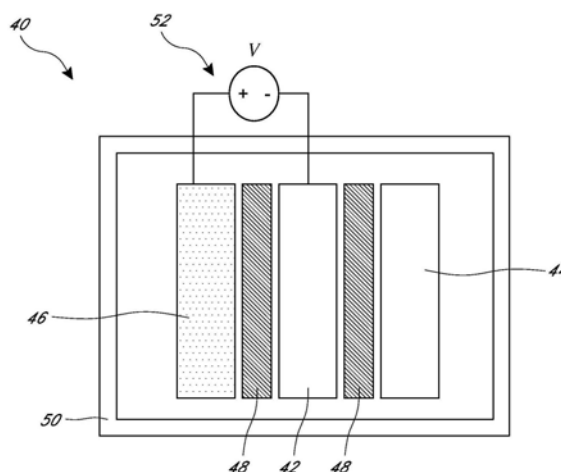
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

### (54)发明名称

用于固体电解质中间相形成和锂离子电容器的阳极预锂化的方法

### (57)摘要

一种预掺杂能量储存设备的阳极的方法可以包括在电解质浸入阳极和掺杂源以及在阳极与掺杂源之间耦接基本恒定电流。一种预掺杂能量储存设备的阳极的方法可以包括在电解质浸入阳极和掺杂源以及在阳极与掺杂源的两端耦接基本恒定电压。一种能量储存设备可以包括阳极,该阳极具有约60%到约90%的锂离子预掺杂浓度。



1. 一种预掺杂能量储存设备的阳极的方法,所述方法包括:  
将所述阳极和掺杂源浸入电解质中,其中,所述掺杂源包括锂离子的源;以及  
在所述阳极与所述掺杂源之间耦接恒定电流;并且  
其中,耦接所述恒定电流包括:耦接达一段时间以在所述阳极与所述掺杂源之间实现0.01伏到0.4伏的电位差,并且其中,所述恒定电流对应于C/72到C/144的电流C-速率。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述能量储存设备包括锂离子电容器。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述耦接包括:在所述阳极与所述掺杂源之间耦接所述恒定电流达一段时间以实现60%到90%的阳极预掺杂浓度。
4. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:形成与所述阳极相邻的均质的固体电解质中间相层,其中,所述固体电解质中间相层在其形成之后不受扰动。
5. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:耦接穿过所述阳极和所述掺杂源的所述恒定电流之后从所述电解质去除所述掺杂源。
6. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:将阴极浸入所述电解质中,其中,浸入所述掺杂源包括将所述掺杂源浸入到所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。
7. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:在耦接穿过所述阳极和所述掺杂源的所述恒定电流之后执行用于形成均质的固体电解质中间相层的形成步骤。
8. 根据权利要求7所述的方法,其中,执行所述形成步骤包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加2伏到4.2伏的恒定电压。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中,执行所述形成步骤包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加2伏到4.2伏的所述恒定电压达5小时到75小时的时间段。
10. 一种预掺杂能量储存设备的阳极的方法,所述方法包括:  
将所述阳极和掺杂源浸入电解质中,其中,所述掺杂源包括锂离子的源;以及  
在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接恒定电压;  
其中,在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述恒定电压包括耦接一电压源,所述电压源供应0.01伏到0.4伏的恒定电压。
11. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述能量储存设备包括锂离子电容器。
12. 根据权利要求10所述的方法,其中,在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述恒定电压包括:耦接所述恒定电压达一段时间以实现60%到90%的阳极锂离子预掺杂浓度。
13. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述恒定电压之后执行用于形成均质的固体电解质中间相层的形成步骤。
14. 根据权利要求13所述的方法,其中,执行所述形成步骤包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加2伏到4.2伏的恒定电压。
15. 根据权利要求14所述的方法,其中,执行所述形成步骤包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加2伏到4.2伏的所述恒定电压达5小时到75小时的时间段。
16. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:形成与所述阳极相邻的均质的固体电解质中间相层,其中,所述固体电解质中间相层在其形成之后不受扰动。
17. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述恒定电压之后去除所述掺杂源。
18. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:将阴极浸入所述电解质中,其中,浸入所

述掺杂源包括将所述掺杂源浸入到所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。

19. 一种能量储存设备, 包括:

阴极;

根据权利要求1所述的方法预掺杂的阳极; 以及

隔膜, 介于所述阳极与所述阴极之间, 被配置为在所述阳极与所述阴极之间提供电绝缘。

20. 根据权利要求19所述的能量储存设备, 进一步包括掺杂源, 所述掺杂源位于所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。

21. 根据权利要求20所述的能量储存设备, 其中, 所述掺杂源包括锂金属。

22. 根据权利要求20所述的能量储存设备, 进一步包括所述阳极与所述掺杂源之间的第二隔膜。

23. 根据权利要求19所述的能量储存设备, 进一步包括传导锂离子的非水电解质。

24. 根据权利要求19所述的能量储存设备, 其中, 所述阳极包括石墨。

25. 根据权利要求19所述的能量储存设备, 其中, 所述能量储存设备包括锂离子电容器。

## 用于固体电解质中间相形成和锂离子电容器的阳极预锂化的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2013年4月23日提交的名称为“METHODS FOR SOLID ELECTROLYTE INTERPHASE FORMATION AND ANODE PRE-LITHIATION OF LITHIUM ION CAPACITORS”的美国临时申请号61/815,157的权益,兹将其全部内容通过引用结合于本文。

### 技术领域

[0003] 本发明总体上涉及电能储存设备,更具体地,涉及利用离子种类预掺杂电能储存设备的电极的一种方法。

### 背景技术

[0004] 锂离子电容器可以用于向多种范围的电子设备供电,包括(例如)风力发电系统、不间断电源系统、光伏发电和/或工业机械和运输系统中的能量回收系统。锂离子电容器可以有多种形状(例如,棱柱形、圆柱形和纽扣形)。锂离子电容器(LIC)可以包括浸在电解质中的阳极和阴极,电解质提供阳极与阴极之间的离子种类的运输。锂离子电容器可以是一种混合超级电容器类型,表现出有效的静电和电化学能量储存。例如,电荷可以储存在双电层中,双电层形成在电解质与电极之间(例如锂离子电容器电解质和锂离子电容器阴极之间)的界面处。也可以通过吸附锂离子种类进入电极(例如吸附锂离子进入锂离子电容器阳极)来储存锂离子电容器中的电能。通过预掺杂工艺可以将锂离子掺入锂离子电容器的阳极中。

[0005] 可以在锂离子电容器阳极的表面附近形成固体电解质中间相(SEI)层。可以在阳极预掺杂过程形成固体电解质中间相层。例如,由于涉及电解液和电解质盐在阳极表面处的电化学反应,可以至少局部地形成固体电解质中间相层。固体电解质中间相层可以使阳极电绝缘,而允许离子运输至阳极。

### 发明内容

[0006] 实施方式可以包括一种能量储存设备的阳极的预掺杂方法,该方法包括:在电解质中浸入所述阳极和掺杂源,其中所述掺杂源可以包括锂离子的源。该方法可包括在所述阳极和掺杂源之间耦接基本恒定电流。

[0007] 在一些实施方式中,所述能量储存设备可以包括锂离子电容器。

[0008] 在一些实施方式中,所述耦接可以包括在所述阳极与所述掺杂源之间耦接基本恒定电流达一段时间以在所述阳极与所述掺杂源之间实现约0.01伏(V)到约0.4V的电位差。在一些实施方式中,所述耦接包括在所述阳极与所述掺杂源之间耦接基本恒定电流达一段时间以实现约60%到约90%的阳极预掺杂浓度。在一些实施方式中,在所述阳极与所述掺杂源之间耦接所述基本恒定电流可以包括:耦接一电源,该电源供应与C/72到C/144的电流C-速率对应的基本恒定电流。

[0009] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:邻近所述阳极形成基本均质的固体电解质中间相层,其中,所述固体电解质中间相层在其形成之后基本不受扰动(undisturbed)。

[0010] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:耦接穿过所述阳极和所述掺杂源的所述基本恒定电压之后去除所述掺杂源。在一些实施方式中,所述方法可以包括:在所述电解质中浸入阴极,其中,浸入所述掺杂源包括将所述掺杂源浸入到所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。

[0011] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:耦接穿过所述阳极和掺杂源的基本恒定电压之后执行形成步骤。所述形成步骤可以包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加约2伏(V)到约4.2V的基本恒定电压。在一些实施方式中,执行所述形成步骤可以包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加约2伏(V)到约4.2V的基本恒定电压持续达约5小时到约75小时的时间段。

[0012] 实施方式可以包括一种预掺杂能量储存设备的阳极的方法,该方法包括:在电解质中浸入所述阳极和掺杂源,其中,所述掺杂源可以包括锂离子的源。所述方法可以包括在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接基本恒定电压。

[0013] 在一些实施方式中,所述能量储存设备可以包括锂离子电容器。

[0014] 在一些实施方式中,在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述基本恒定电压可以包括耦接一电压源,该电压源供应约0.01伏(V)到约0.4V的基本恒定电压。在一些实施方式中,在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接基本恒定电压可以包括:耦接所述基本恒定电压达一段时间以实现约60%到约90%的阳极锂离子预掺杂浓度。

[0015] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述基本恒定电压之后执行形成步骤。所述形成步骤可以包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加约2伏(V)到约4.2V的基本恒定电压。在一些实施方式中,执行所述形成过程可以包括:在所述阳极和所述掺杂源之间施加约2伏(V)到约4.2V的所述基本恒定电压达约5小时到约75小时的时间段。

[0016] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:邻近所述阳极形成基本均质的固体电解质中间相层,其中,所述固体电解质中间相层在其形成之后基本不受扰动。

[0017] 在一些实施方式中,所述方法可以包括:在所述阳极和所述掺杂源的两端耦接所述基本恒定电压之后去除所述掺杂源。在一些实施方式中,所述方法可以包括:在所述电解质中浸入阴极,其中,浸入所述掺杂源包括将所述掺杂源浸入到所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。

[0018] 实施方式可以包括一种能量储存设备,该能量储存设备具有:阴极、阳极,该阳极包括约60%到约90%的锂离子预掺杂浓度;以及所述阳极与所述阴极之间的隔膜,被配置为在所述阳极与所述阴极之间提供电绝缘。

[0019] 在一些实施方式中,所述设备可以包括掺杂源,该掺杂源位于所述阳极的与面对所述阴极的一侧相反的一侧。在一些实施方式中,所述掺杂源可以包括锂金属。在一些实施方式中,所述设备可以包括所述阳极与所述掺杂源之间的第二隔膜。

[0020] 在一些实施方式中,所述设备可以包括传导锂离子的非水电解质。在一些实施方式中,所述阳极可以包括石墨。

[0021] 在一些实施方式中,所述能量储存设备可以包括锂离子电容器。

[0022] 为了综述本发明和相对于现有技术实现的优点的目的,文中描述了一些目标和优点。当然,应当理解,并非所有这些目标或优点需要根据任何具体实施方式来实现。因此,例如,本领域技术人员会意识到,可以以能够实现或者优化一个优点或一组优点,而无需实现其他目标或者优点的方式来体现或实现本发明。

[0023] 所有实施方式旨在处于本文中公开的本发明的范围内。从下面参考附图的详细描述,这些和其他实施方式对于本领域技术人员来说将是显而易见的,本发明不受限于任何一个或多个具体公开的实施方式。

## 附图说明

[0024] 参考某些实施方式的附图描述本公开内容的这些和其他特征、方面和优点,其旨在说明某些实施方式而不是限制本发明。

[0025] 图1示出了根据一个实施方式的示例锂离子电容器的截面图。

[0026] 图2示出了根据一个实施方式的示例锂离子电容器阳极预掺杂装置的截面图。

[0027] 图3示出了根据一个实施方式的示例锂离子电容器阳极预掺杂装置的截面图。

[0028] 图4为与恒定电压预掺杂步骤中施加的电压对应的测定容量值的曲线图。

[0029] 图5为列出了测量的锂离子电容器的性能参数的表格,所述锂离子电容器具有利用恒定电压预掺杂步骤预掺杂的阳极。

[0030] 图6为锂离子电容器的周期性能的曲线图,所述锂离子电容器具有利用恒定电压预掺杂步骤预掺杂的阳极。

[0031] 图7为列出了测量的锂离子电容器的性能参数的表格,所述锂离子电容器具有利用恒定电流预掺杂步骤预掺杂的阳极。

[0032] 图8为锂离子电容器的周期性能的曲线图,所述锂离子电容器具有利用恒定电流预掺杂步骤预掺杂的阳极。

## 具体实施方式

[0033] 尽管下面描述了某些实施方式和实例,但本领域技术人员应当明白,本发明扩展超出具体公开的实施方式和/或其用途和明显变型和等同物。因此,意在说明本文中公开的本发明的范围不限于下面描述的任何具体实施方式。

[0034] 本发明的实施方式涉及有助于改善电容器性能的锂离子电容器和制作这些电容器的方法。在一实施方式中,通过使用恒定电压方法预掺杂阳极制作电容器。恒定电压预掺杂方法可包括在电解质中沉浸掺杂剂源和电容器阳极。可施加恒定电压在阳极和掺杂剂源的两端达一段时间,使得在邻近阳极的表面形成固体电解质中间相层。可选择恒定电压预掺杂步骤的电压和/或时间段以有助于实现阳极锂离子预掺杂的期望浓度,例如,有助于期望的电容器电学和/或寿命周期性能。恒定电压预掺杂方法可包括在阳极和掺杂源之间提供恒定或基本恒定的约0.01伏(V)到约0.4V的电压。在一实施方式中,通过使用恒定电流方法预掺杂电容器阳极来制作电容器。恒定电流预掺杂方法可包括在掺杂源和阳极之间保持恒定电流,同时掺杂源和阳极沉浸在电解质中。恒定电流可保持一段时间,使得在邻近阳极表面形成固体电解质中间相层。可选择恒定电流步骤的电流和/或时间段,以有助于实现阳极与掺杂源之间的期望电压差。恒定电流预掺杂方法可包括在阳极和掺杂源之间保持恒定

或基本恒定电流,使得在阳极和掺杂源之间可实现约0.01伏(V)到约0.4V的电压差。恒定电流预掺杂方法可包括在阳极和掺杂源之间保持相当于约C/24到约C/144的电流C-速率的恒定或基本恒定电流。可选择恒定电压步骤的电压、时间段,恒定电流步骤的电流和/或时间段,以实现阳极锂离子预掺杂的期望浓度,包括(例如)约60%到约90%的阳极锂离子预掺杂浓度,以有助于实现期望的电容器电学和/或寿命周期性能。用于恒定电压和/或恒定电流预掺杂方法的适当掺杂源提供锂离子的源。可原位执行恒定电压预掺杂方法和/或恒定电流预掺杂方法使得固体电解质中间相层在其形成之后不受扰动。恒定电压预掺杂方法和/或恒定电流预掺杂方法可在固体电解质中间相层的形成中提供增加的控制,有助于形成更均匀和/或更稳定固体电解质中间相层。固体电解质中间相层的改善的均匀性和/或稳定性可改善锂离子电容器的电容、电阻和/或可靠性能。

[0035] 正如文中所述,且如图1所示,锂离子电容器(LIC)10可具有阳极12,该阳极与阴极14离子交流(ionic communication)。阳极12和阴极14可以浸没在电解质28中,电解质28提供阳极12与阴极14之间离子种类的运输。电解质28可以包括电解液和电解质盐,电解质盐包括阴离子和阳离子。电解质28可以是可传导锂离子的非水电解质。例如,电解质28可以包括锂盐和/或铵盐。在一些实施方式中,电解质28可包括质子惰性的有机溶剂。电解液可以提供期望的盐溶解度、粘度和/或化学水平和/或一温度范围的热稳定性。例如,电解液可以包含醚和/或酯。在一些实施方式中,电解液可包含碳酸亚丙酯、碳酸二甲酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸亚乙酯、碳酸乙酯、环丁砜、乙腈、二甲氧基乙烷、四氢呋喃、碳酸乙基甲基酯,以及它们的混合物,和/或其他等等。在一些实施方式中,电解质盐可包含六氟磷酸锂(LiPF<sub>6</sub>)、四氟硼酸锂(LiBF<sub>4</sub>)、高氯酸锂(LiClO<sub>4</sub>)、双-三氟甲磺酰亚胺锂(LiN(SO<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)、三氟甲磺酸锂(LiSO<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>)、它们的混合物,和/或其他等等。

[0036] 锂离子电容器10可包括在阳极12与阴极14之间的隔膜24。隔膜24可以配置为允许离子种类在阳极12与阴极14之间运输,同时防止阳极12与阴极14之间发生电短路。在一些实施方式中,隔膜可由多孔电绝缘材料制成。在一些实施方式中,隔膜可以是聚合材料。在一些实施方式中,隔膜可以由纸制成。

[0037] 阳极12可以包括阳极集流器16,并且阴极14可以包括阴极集流器18。阳极集流器16和/或阴极集流器18可以配置为分别有助于阳极和/或阴极与外部电路之间的电连接。集流器(例如,阳极集流器16和/或阴极集流器18)可以由导电材料制成,包括(例如)金属材料。在一些实施方式中,集流器可以由铝箔制成。在一些实施方式中,集流器可以由银、铜、金、铂、钯和/或各金属合金制成。其他适当的导电材料也可行。集流器可以具有任何适当的形状和/或尺寸(例如宽度、长度和/或厚度)。例如,集流器可以具有长方形或基本上长方形的形状(例如,长方形铝箔)。在一些实施方式中,集流器可以具有约20微米到约100微米的厚度。在一些实施方式中,集流器可以具有约30微米到约50微米的厚度,例如约40微米。

[0038] 在一些实施方式中,阴极14可以包括第一阴极电极膜22,该第一阴极电极膜邻近阴极集流器18的表面30。在一些实施方式中,阴极14可以包括第二阴极电极膜,该第二阴极电极膜邻近阴极集流器18的与第一阴极薄膜22相邻的表面相反的表面32。阴极14可以包括阴极活性材料组分。在一些实施方式中,阴极电极膜22可以由包括多孔材料的阴极活性材料制成。例如,多空活性材料可以为阴极14提供高的比表面积。在一些实施方式中,多空材料可以包含多空碳材料,包括但不限于活性碳颗粒。活性碳可以提供多孔性(例如,微孔、中

孔和/或大孔的分布),该多孔性配置为有助于锂离子电容器性能。

[0039] 在一些实施方式中,阴极电极膜22可以包括粘合剂组分和/或添加剂组分。在一些实施方式中,粘合剂组分可以为活性电极材料提供结构支撑。例如,粘合剂组分可以包含一种或多种聚合物。聚合物可以为阴极电极膜22的一种或多种其他组分提供聚合基质支撑结构。在一些实施方式中,粘合剂组分可以包含含氟聚合物(例如四氟乙烯,PTFE)、聚丙烯、聚乙烯、它们的共聚物和/或它们的聚合混合物。在一些实施方式中,阴极电极膜22可以包含至少一种导电添加剂组分(例如)以改善阴极电极膜22的导电性。导电添加剂组分可以包含导电碳颗粒(例如石墨和/或石墨烯)。其他活性材料组分、粘合剂组分和/或添加剂组分也可以是适当的。

[0040] 可以优化阴极电极膜22的成分以能够得到期望的锂离子电容器性能。例如,阴极电极膜22的成分可以配置为提供期望电容器电容和/或电阻,例如提供期望设备能量密度和/或功率密度性能。在一些实施方式中,阴极电极膜22的成分可以配置为提供期望的周期性能。在一些实施方式中,阴极电极膜22可以包含从约50%到约99%重量的阴极活性材料组分(例如活性碳),包括从约60%到约95%重量的阴极活性材料组分。在一些实施方式中,阴极电极膜22可以包含从约1%到约50%重量的粘合剂组分。在一些实施方式中,阴极电极膜22可以包含高达约30%重量的添加剂组分,包括(例如)导电添加剂组分,用于提高阴极的导电性。

[0041] 在一些实施方式中,阳极12可以包括第一阳极电极膜20,该第一阳极电极膜邻近阳极集流器16的表面34。在一些实施方式中,阳极12可以包括第二阳极电极膜,该第二阳极电极膜邻近阳极集流器16的与邻近第一阳极电极膜20的表面相反的表面36。阳极电极膜可以由能够可逆地嵌合锂离子的材料制成。例如,电极膜可以包含能够可逆地嵌合锂离子的碳材料,包括但不限于石墨材料。

[0042] 在一些实施方式中,阳极电极材料20可以包括添加剂组分和/或粘合剂组分。例如,阳极电极膜20可以包括导电添加剂,诸如用于提高阳极导电性的添加剂组分。在一些实施方式中,导电添加剂可以是导电碳添加剂,比如导电炭黑材料。在一些实施方式中,阳极电极膜20的粘合剂组分可以包括一种或多种聚合物,所述聚合物配置为提供聚合基质支撑结构,包括含氟聚合物(例如四氟乙烯,PTFE)、聚丙烯、聚乙烯、它们的共聚物,和/或它们的聚合混合物。

[0043] 可以优化阳极电极膜20的成分以能够得到期望的锂离子电容器性能,例如,期望的能量密度、功率密度和/或周期性能。在一些实施方式中,阳极电极膜20可以包含约50%到约99%重量的活性材料组分(例如活性碳),包括从约60%到约95%重量的活性材料组分。在一些实施方式中,阳极电极膜20可以包含从约1%到约50%重量的粘合剂组分。在一些实施方式中,阴极电极膜20阳极电极膜20可以包含高达约30%重量的导电碳添加剂组分,包括(例如)导电炭黑材料。

[0044] 固体电解质中间相(SEI)层26可以例如在阳极预掺杂步骤期间形成在邻近锂离子电容器阳极12的位置。在一些实施方式中,由于在邻近电解质28的锂离子电容器阳极12的表面处涉及电解液和/或电解质盐的电化学反应而可以形成固体电解质中间相层26。例如,至少部分由于电解质28的一种或多种组分的分解,可以形成固体电解质中间相层26。固体电解质中间相层26可以提供邻近阳极12的层,该层可以向阳极12提供电绝缘,同时对于一



种或多种锂离子种类具有渗透性。

[0045] 在一些实施方式中,包括提供改善锂离子到阳极12的通路的固体电解质中间相层26的锂离子电容器可以提供一种具有改善性能的锂离子电容器10。已经发现在形成锂离子电容器10中的改善的控制,有助于形成的固体电解质中间相层26具有改善均匀性(例如SEI的结构和/或成分中提供的均质性)、减小的厚度、增加的稳定性(例如热和/或化学稳定性)和/或锂离子在此穿过传输的减小的电阻。在一些实施方式中,具有改善的均匀性、减小的厚度、改善的稳定性和/或增加的锂离子渗透性的固体电解质中间相层可以有助于锂离子电容器具有改善的电容、减小的等效串联电阻和/或改善的可靠性。

[0046] 在一些实施方式中,发现阳极预掺杂工艺的特性或参数影响固体电解质中间相层26的特性。例如,固体电解质中间相层26的特性可以至少部分取决于在预掺杂过程阳极12植入锂离子的浓度,比如具有嵌入锂离子的可用嵌入位置的百分比(例如阳极锂离子预掺杂浓度)。在一些实施方式中,发现阳极预掺杂过程的一个或多个参数的改善控制有助于的固体电解质中间相层形成具有减小厚度、改善均匀性、稳定性和/或锂离子的渗透性,比如利用锂离子预掺杂阳极12时的速率或浓度的改善控制。

[0047] 参照图2,在一实施方式中,可以利用恒定电压充电或恒定电压预掺杂工艺来预掺杂锂离子电容器40的阳极42。利用包含恒定电压预掺杂步骤的预掺杂工艺预掺杂锂离子电容器阳极42可以有助于形成具有增加的均匀性、稳定性和/或对锂离子的渗透性的固体电解质中间相层,从而提供具有改善的电容、减小的等效串联电阻和/或改善的周期性能的锂离子电容器。例如,利用恒定电压预掺杂工艺预掺杂阳极可以有助于形成无针孔或基本无针孔的固体电解质中间相层,从而提供多次充电-放电周期之后具有低程度电容衰减的锂离子电容器。在一些实施方式中,包含恒定电压预掺杂步骤的预掺杂工艺可以有助于减少达到阳极预锂化的期望浓度的时间段。

[0048] 发现通过在阳极42和掺杂源46的两端施加受控电压,而不是例如将阳极42和掺杂源46短路到来预掺杂阳极42,有助于形成具有增加的均匀性的固体电解质中间相层,从而提供具有减小的等效串联电阻和/或改善的周期性能的锂离子电容器。发现了包括在阳极42和掺杂源46两端施加一短路电路的预掺杂工艺在阳极42和掺杂源46之间瞬间地或基本上瞬间地产生约0V的电位差,提供的固体电解质中间相层具有减少的均匀性、稳定性和/或对锂离子的渗透性和/或提供的预掺杂工艺需要更长时间段达到阳极预锂化的期望浓度。例如,可以以约1V的电位差,形成固体电解质中间相层。将阳极42与掺杂源46之间的电位差瞬间地或基本上瞬间地减少至约0V会提供阳极42预掺杂的更少控制过程,例如,在预掺杂工艺期间提供形成固体电解质中间相层的更少控制过程。

[0049] 在一些实施方式中,如图2所示,用于预掺杂锂离子电容器阳极42的装置可以包括浸入电解质54的掺杂源46和阳极42(未示出)。在一些实施方式中,掺杂源46可以包括锂离子的源。例如,掺杂源46可以包括锂金属。掺杂源46可以位于阳极42的一侧。例如,掺杂源46可以放于阳极42的与面对电容器阴极的一侧相反的一侧。在一些实施方式中,预掺杂装置可以包括位于掺杂源46与阳极42之间的隔膜48。隔膜48可以配置为允许离子种类(例如锂离子)在阳极42与掺杂源46之间运输,同时防止阳极42与掺杂源46之间发生电短路。在一些实施方式中,隔膜48可以由多孔电绝缘材料(例如包括聚合物的材料,聚合物包含纤维材料)制成。

[0050] 在一些实施方式中,可以原位执行预掺杂锂离子电容器阳极42。参照图2,在一些实施方式中,可以在锂离子电容器单元40里执行预掺杂锂离子电容器42,锂离子电容器单元40包含:阳极42、掺杂源46、电容器阴极44以及介于阳极42与阴极44之间的隔膜48和介于阳极42与掺杂源46之间的隔膜48。阳极42、掺杂源46、阴极44和隔膜48可以浸入电解质54(未示出)。恒定电压充电或恒定电压预掺杂步骤期间可以消耗掺杂源46。在一些实施方式中,恒定电压预掺杂步骤期间可以完全或基本完全消耗掺杂源46。在一些实施方式中,恒定电压预掺杂工艺后残留至少一部分掺杂源46,预掺杂过程完成时去除所有残留的掺杂源46。在一些实施方式中,可以从锂离子电容器40去除所有残留的掺杂源46,且随后可以密封锂离子电容器40。例如,包含恒定电压预掺杂步骤的阳极预掺杂工艺期间形成的固体电解质中间相层在它形成之后可以不受扰动或基本不受扰动。在一些实施方式中,直到恒定电压预掺杂步骤随后执行的形成步骤完成之后才可以去除残留掺杂源46,正如文中更详细描述。

[0051] 在一些实施方式中,电压源52可以定位于阳极42和掺杂源46(例如锂金属电极)的两端,电压源52在阳极和掺杂源46的两端提供恒定或基本恒定电压,掺杂源46。例如,掺杂源46可以耦接至电压源52的第一电极,比如电压源52的正电极,阳极42可以耦接至电压源52的第二电极,比如电压源52的负电极,使得电压源52可以在掺杂源46与阳极42之间保持期望的电位差。在一些实施方式中,可以在阳极42和掺杂源46两端施加恒定或基本恒定电压持续一段时间,以达到阳极预锂化的期望浓度。预掺杂工艺期间,可以释放掺杂源46处的掺杂剂。例如,可以氧化在掺杂源46处的包含锂金属电极的锂金属。锂金属的氧化可以有助于释放锂离子,从而提供锂离子以植入阳极42。

[0052] 阳极预掺杂工艺期间,阳极预掺杂工艺的特性或参数会影响邻近阳极表面形成的固体电解质中间相层的特性。在一些实施方式中,邻近阳极42形成固体电解质中间相层可以至少部分取决于在阳极42与掺杂源46的两端施加的电压、在阳极42与掺杂源46的两端施加电压的时间段和/或掺杂剂植入阳极42的期望浓度。例如,阳极预掺杂工艺期间在阳极42与掺杂源46两端施加的电压值、预掺杂工艺期间掺杂剂植入阳极42的浓度和/或在阳极42和掺杂源46的两端施加的电压值的时间段会影响在阳极预掺杂工艺期间与阳极表面相邻形成的固体电解质中间相层的厚度、均匀性、稳定性和/或渗透性。

[0053] 预掺杂工艺期间在阳极42与掺杂源46的两端施加的电压、在阳极42与掺杂源46两端施加电压的时间段和/或阳极预锂化的浓度至少部分地可以基于期望的锂离子电容器性能来确定。例如,可以至少部分地基于期望的锂离子电容器等效串联电阻性能、电容器电容性能和/或电容器周期性能来选择施加电压、施加电压的时间段和/或阳极预锂化的浓度。在一些实施方式中,锂离子电容器的周期性能可以包含电容器在多次充电-放电周期之后表现出的电容衰减程度。例如,可以至少部分地基于期望的阳极预掺杂浓度选择在阳极42和掺杂源46两端施加的电压和施加电压的时间段,预锂化浓度对应于与阳极的表面相邻形成的具有期望特性的固体电解质中间相层,从而提供具有改善性能的锂离子电容器(例如,减小的等效串联电阻和/或改善的周期性能)。

[0054] 在一些实施方式中,恒定电压预掺杂工艺包括在阳极42与掺杂源46两端施加约0.001伏(V)到约0.400伏(V)的电压,包括从约0.01V到0.2V。例如,可以在阳极42与掺杂源46的两端施加约0.01V到约0.4V的电压。例如,可以在阳极42和掺杂源46的两端施加约0.1V

的电压。

[0055] 在一些实施方式中,恒定电压预掺杂步骤之后可以执行形成步骤。形成步骤可以有助于预掺杂步骤期间形成的固体电解质中间相层的特性的改善与稳定。例如,形成步骤可以有助于固体电解质中间相层的结构、热和/或化学特性的稳定,进一步改善固体电解质中间相层的均匀性、完整性和/或对锂离子的渗透性。在一些实施方式中,形成步骤可以包括在阳极42与掺杂源46两端施加恒定电压一段时间。在一些实施方式中,在形成步骤中可以在阳极42与掺杂源46之间施加约2伏(V)到约5伏(V)的形成步骤电压。例如,形成步骤电压可以从约2V到约4.5V,包括约3V到约4V,包括约3.5V到约4V。在一些实施方式中,形成步骤电压可以为约2V到约4.2V。形成步骤电压可以施加持续约5小时到约75小时,包括从约10小时到约50小时。例如,可以在阳极42与掺杂源46两端施加约3.5V到约4V的形成步骤电压持续约10小时到约50小时。

[0056] 形成步骤期间可以消耗掺杂源46。在一些实施方式中,形成步骤期间可以完全或基本完全消耗掺杂源46。形成步骤完成时可以去除所有残留掺杂源46。在一些实施方式中,可以从锂离子电容器40去除任何残留掺杂源46,并可以随后密封锂离子电容器40。阳极预掺杂工艺期间和/或形成步骤期间存在的固体电解质中间相层可以有利地于相同的固体电解质中间相层,通过固体电解质中间相层在随后的锂离子电容器充电和/或放电中运输锂离子,固体电解质中间相层在它形成之后不受扰动或基本不受扰动。

[0057] 参照图3,在一实施方式中,可以利用包含恒定电流预掺杂步骤的工艺预掺杂锂离子电容器80的阳极82。发现利用恒定电流预掺杂步骤预掺杂锂离子电容器阳极82可以有助于形成的固体电解质中间相层具有增加的均匀性、稳定性和/或对锂离子的渗透性。例如,利用恒定电流预掺杂步骤预掺杂阳极82有助于形成的固体电解质中间相层具有改善的结构、热和/或化学稳定性和或无或基本无针孔缺陷的固体电解质中间相,从而提供大量充电-放电周期之后具有低程度电容衰减的锂离子电容器。在一些实施方式中,包含恒定电流预掺杂步骤的预掺杂工艺可以有助于减少达到阳极预锂化的期望浓度的时间段。

[0058] 通过施加受控电流穿过阳极82和掺杂源86来预掺杂阳极82(例如,代替使阳极82和掺杂源86短路)有助于形成的固体电解质中间相层具有增加的均匀性,从而提供具有减小的等效串联电阻和/或改善的周期性能的锂离子电容器。

[0059] 参照图3,在一个实施方式中,可以在锂离子电容器单元80里(例如,原位执行)执行利用包含恒定电流预掺杂步骤的工艺预掺杂锂离子电容器阳极82,锂离子电容器单元80包含阳极82、阴极84、和阳极82与阴极84之间的隔膜88。在一些实施方式中,如图3所示,锂离子电容器80可以包括掺杂源86。掺杂源86可以包括锂离子的源。例如,掺杂源86可以包括锂金属(例如锂金属电极)。掺杂源86可以位于阳极82的一侧。例如,掺杂源86可以放于阳极82的与面对电容器阴极84的一侧相反的一侧。在一些实施方式中,锂离子电容器80可以包括位于掺杂源86与阳极82之间的隔膜88。隔膜88可以配置为防止阳极82与掺杂源86或阴极84之间发生电短路,同时对一种或多种锂离子种类(例如锂离子)具有渗透性。隔膜88可以由多孔电绝缘材料(例如包括聚合物的材料,包含纤维素材料)。阳极82、阴极84、掺杂源86和隔膜88可以浸入电解质94(未示出)。

[0060] 恒定电流充电或预掺杂步骤期间可以消耗掺杂源86。在一些实施方式中,恒定电流预掺杂步骤期间可以完全或基本完全消耗掺杂源86。在一些实施方式中,恒定电流预掺

杂工艺后残留至少一部分掺杂源86,且预掺杂过程完成时去除掺杂源86的残留部分。在一些实施方式中,可以从锂离子电容器80去除任何残留的掺杂源86,且随后可以密封锂离子电容器80。例如,包含恒定电流预掺杂步骤的阳极预掺杂工艺期间形成的固体电解质中间相层在它形成之后可以不受扰动或基本不受扰动。在一些实施方式中,可以直到恒定电流预掺杂步骤随后执行的形成步骤完成之后才去除残留掺杂源86,正如文中更详细描述。

[0061] 在一些实施方式中,电流源92提供恒定或基本恒定电流,可以定位于在阳极82和掺杂源86(例如锂金属电极)两端。例如,掺杂源86可以耦接至电流源92的第一电极,阳极82可以耦接至电流源92的第二电极,使得电流源92可以在掺杂源86与阳极82之间保持期望的电流。在一些实施方式中,可以在阳极82和掺杂源86之间保持与约C/24到约C/144的电流C-速率(例如,约C/24的电流C-速率可相当于这样的电流:电容器可以在约24小时内完全或基本完全放电,且约C/144的电流C-速率相当于这样的电流:电容器可以在约144小时内完全或基本完全放电),包括从约C/48到约C/120,包括从约C/72到约C/96相对应的电流。在一些实施方式中,电流源92可以提供与约C/72到约C/144的电流C-速率对应的电流。例如,可以在阳极82与掺杂源86之间保持与约C/72的电流C-速率对应的电流。

[0062] 在一些实施方式中,在阳极82与掺杂源86之间可以保持恒定或基本恒定电流持续一段时间。例如,可以保持电流流动直到阳极82与掺杂源86之间达到期望的电位差。在一些实施方式中,阳极82与掺杂源86之间的电位差可以从大约开路电压值的一个值减小至期望电压值。例如,可以在阳极82与掺杂源86之间保持恒定或基本恒定值的电流流动,使得阳极82与掺杂源86之间的电位差可以从开路电压(OCV)(例如约3V)减小至期望电位差。在一些实施方式中,包含在阳极82与掺杂源86之间保持恒定电流流动的阳极预掺杂工艺可以提供受控阳极预锂化的方法。例如,可以保持恒定或基本恒定电流直到在阳极82与掺杂源86的两端实现约0.01V到0.4V,包括0.01V到0.2V的电位差。在一些实施方式中,可以保持恒定或基本恒定电流直到在阳极82和掺杂源86两端实现约0.1V的电位差。

[0063] 在一些实施方式中,包含恒定电流充电步骤的阳极预掺杂工艺可以提供对阳极预锂化浓度的增强控制和/或在邻近阳极形成固体电解质中间相层上的改善控制。在一些实施方式中,预掺杂工艺期间邻近阳极82形成的固体电解质中间相层的特性可以至少部分地取决于预掺杂工艺的特性或参数,包括(但不限于)在阳极82与掺杂源86之间保持的电流、保持电流流动的时间段和/或植入到阳极82的掺杂剂期望浓度。例如,阳极预掺杂工艺期间在阳极82与掺杂源86之间保持的电流值、预掺杂工艺期间植入到阳极82的掺杂剂浓度和/或在阳极82与掺杂源86之间保持电流值的时间段会影响固体电解质中间相层的厚度、均匀性、稳定性和/或渗透性,固体电解质中间相层可以在阳极预掺杂过程期间邻近阳极表面形成。

[0064] 预掺杂工艺期间阳极82与掺杂源86之间维持的电流、电流维持在阳极82与掺杂源86之间的时间段和/或阳极预锂化的浓度至少部分地可以基于期望的锂离子电容器性能来确定。例如,可以至少部分地基于期望的锂离子电容器等效串联电阻性能、电容器电容性能和/或周期性能(例如,多次充电-放电周期之后电容器表现出的电容衰减程度)来选择电流、电流维持的时间段和/或阳极预锂化的浓度。例如,可以至少部分地基于阳极预锂化的期望浓度来选择阳极82和掺杂源46之间保持的电流和保持电流的时间段,预锂化的浓度对应邻近阳极的表面形成的固体电解质中间相层具有期望的特性,从而提供具有改善性能的

锂离子电容器(例如,减小的等效串联电阻和/或改善的周期性能)。

[0065] 在一些实施方式中,恒定电流预掺杂步骤之后可以执行形成步骤。形成步骤可以有助于预掺杂步骤期间形成的固体电解质中间相层的特性的改善与稳定。例如,恒定电流预掺杂步骤之后执行的形成步骤可以有助于固体电解质中间相层的结构、热和/或化学特性的稳定,进一步改善固体电解质中间相层的均匀性、完整性和/或对锂离子的渗透性。在一些实施方式中,该形成步骤可以包括阳极82与掺杂源86两端施加恒定电压一段时间。在一些实施方式中,在形成步骤中在阳极82与掺杂源86之间可以施加约2伏(V)到约5伏(V)的形成步骤电压。例如,形成步骤电压可以从约2V到约4.5V,包括约3V到约4V,包括约3.5V到约4V。在一些实施方式中,形成步骤电压可以为约2V到约4.2V。形成步骤电压可以施加持续约5小时到约75小时,包括从约10小时到约50小时。例如,可以在阳极82与掺杂源86的两端施加约3.5V到约4V的形成步骤电压持续约10小时到约50小时。

[0066] 形成步骤期间可以消耗掺杂源86,包括完全或基本完全消耗。在一些实施方式中,形成步骤完成时残留至少一部分掺杂源86,且可以从锂离子电容器80去除残留掺杂源86,并可以随后密封锂离子电容器80。在恒定电流阳极预掺杂工艺期间和/或形成步骤期间存在的固体电解质中间相层可以有利地于相同的固体电解质中间相层,通过固体电解质中间相层在随后的锂离子电容器充电和/或放电中运输锂离子,固体电解质中间相层在它形成之后不受扰动或基本不受扰动。

[0067] 在一些实施方式中,可以选择恒定电压预掺杂步骤的电压、恒定电流预掺杂步骤的电流和/或预掺杂步骤的时间段以达到电容器阳极中锂离子预掺杂的期望浓度。例如,可以选择锂离子预掺杂的浓度以有助于改善电容器电容、电阻和/或周期性能。在一些实施方式中,可以选择恒定电压预掺杂工艺的电压、恒定电流预掺杂工艺的电流和/或预掺杂工艺的时间段以有助于达到约50%到约90%(包括约60%到约65%)的锂离子预掺杂浓度。

[0068] 图4到图8示出了利用文中描述的一个或多个恒定电压预掺杂或恒定电流预掺杂工艺预掺杂的一个或多个锂离子电容器的电容、电阻和/或周期性能。一个或多个电容器的组件可具有文中描述的一种或多种组分。

[0069] 图4示出了利用包含恒定电压预掺杂工艺的预掺杂工艺预掺杂的锂离子电容器的示例阳极的测量电容性能。锂离子电容器经过包含恒定电压预掺杂步骤的预掺杂工艺(例如图2所示的包括示例电容器40的预掺杂工艺),随后测量锂离子电容器的容量。图4示出了当恒定电压预掺杂工艺期间施加减小的电压时,测量容量增加,单位毫安时(mAh)。如图4所示,具有利用以约0.1V的恒定电压的恒定电压预掺杂步骤预掺杂的阳极的锂离子电容器可以具有以下阳极容量度量(例如约18mAh,大于具有利用约0.2V的恒定电压预掺杂的阳极的锂离子电容器的容量(例如约14mAh))。

[0070] 图4也示出了恒定电压预掺杂步骤期间阳极锂离子预掺杂的浓度和保持的相应电压。如图4所示,预掺杂工艺期间锂离子预掺杂进入阳极的浓度会与施加的恒定电压值成比例,锂离子嵌合的浓度随着恒定电压值的增加而降低。例如,利用约0.4伏(V)的恒定电压预掺杂的阳极中的锂离子预掺杂的浓度会比利用约0.1V的恒定电压预掺杂的阳极具有更低的锂离子预掺杂浓度。可以基于阳极锂离子预掺杂的期望浓度选择恒定电压预掺杂步骤中施加的电压。

[0071] 图5包括与图4所示电容器阳极中的一些对应的电容器的示例测量锂离子电容器

性能参数的表。图5示出了与恒定电压预掺杂工艺期间施加的电压值(例如,“预锂化电压”)对应的测量锂离子电容器性能参数。对于图5中列出的每个施加的恒定电压,列出了锂离子电容器的对应的阳极预锂化的百分比(例如“预掺杂%”)、以法拉(F)为单位测得的电容值(例如,“电容,F”)、以欧姆为单位测得的等效串联电阻(例如,“ESR,欧姆”)和由测得电容值和测得电阻计算的RC时间常量。对于图5示出的数值,具有在恒定电压预掺杂步骤中利用约0.1V的恒定电压预掺杂的阳极的锂离子电容器表现出最低RC时间常量和/或测得的等效串联电阻。如图5所示,具有最低RC时间常量的电容器的阳极被预掺杂至约60%锂离子预掺杂浓度。

[0072] 图6示出了图4的锂离子电容器中的一些的周期性能。例如,在外界环境条件下,以约30C的电流C-速率(例如,约30C的电流C-速率可以相当于这样的电流:在约1/30小时内电容器可以完全或基本完全放电)在约2.2伏(V)和4.2伏的电压之间循环多次周期之后,测量锂离子电容器的电容,以测量所测电容与周期之前锂离子电容器的初始电容相比减小的百分比(例如电容衰减性能)。图6示出了随着恒定电压预掺杂步骤期间施加的电压减小周期性能中的总体改善。例如,在图6中,与具有利用约0.4V的恒定电压预掺杂的阳极的电容器相比,具有在恒定电压预掺杂步骤中利用约0.1V的恒定电压预掺杂的阳极的锂离子电容器显示出多次充电-放电周期之后电容衰减程度较小。表现出电容衰减程度减小、等效串联电阻减小和/或RC时间常量减小的锂离子电容器可以具有厚度减小、均匀性增加、稳定性改善和/或锂离子渗透性增加的固体电解质中间相层。

[0073] 图7包括一表格,该表格示出了与阳极预掺杂工艺的恒定电流预掺杂步骤期间保持的电流速率(例如,“C-速率”)对应的示例测得锂离子电容器性能参数。在图7中,恒定电流预掺杂步骤期间保持的电流表示为电容器可以放电和/充电的速率,C-速率越大对应电流越高。例如,约C/48的C-速率对应的电流大于约C/96的C-速率对应的电流。对于图8中列出的每个保持的恒定电流,列出了对应的锂离子电容器的锂离子植入到锂离子电容器的阳极的浓度(例如“预掺杂%”)、以法拉(F)为单位测得的电容值(例如,“电容,F”)、以欧姆为单位测得的等效串联电阻(例如,“ESR,欧姆”)和由电容值和电阻计算的RC时间常量。对于图7示出的数值,降低在阳极与掺杂源之间保持的恒定电流速率可以减小锂离子电容器的等效串联电阻和/或RC时间常量。例如,如图7所示,具有以减小的电流预掺杂的阳极的电容器可以展示减小的等效串联电阻(ESR)和/或RC时间常量。在一些实施方式中,恒定电流预掺杂步骤期间保持的减小电流可以有助于锂离子预掺杂浓度增加。如图7所示,预掺杂至约60%到约65%水平的阳极可以展现减小的等效串联电阻(ESR)和/或RC时间常量。

[0074] 图8示出了图7中的锂离子电容器的一些的周期性能。例如,例如,在外界环境条件下,以约30C的电流C-速率(例如,约30C的电流C-速率可以相当于这样的电流:在约1/30小时内电容器可以完全或基本完全放电)在约2.2伏(V)和4.2伏的电压之间循环大量周期之后,测量锂离子电容器的电容,以测量所测电容与周期之前锂离子电容器的初始电容相比减小的百分比(例如电容衰减性能)。图8示出了随着恒定电流预掺杂步骤期间保持的电流减小,周期性能中的总体改善。例如,具有利用约C/96的电流C-速率的恒定电流充电步骤预掺杂的阳极的锂离子电容器,如图8所示,显示出在多次充-放电周期之后减小程度的电容衰减。表现出电容衰减程度减小、等效串联电阻减小和/或RC时间常量减小的锂离子电容器可以具有厚度减小、均匀性增加、稳定性改善和/或锂离子渗透性增加的固体电解质中间相

层。

[0075] 包含恒定电压预掺杂步骤和/或恒定电流预掺杂步骤的阳极预掺杂工艺可以提供在阳极预锂化程度上的增强的控制。可以基于期望的阳极锂离子预掺杂浓度选择恒定电压预掺杂步骤中保持的电压或恒定电流预掺杂步骤中保持的电流。在锂离子植入到锂离子电容器阳极的浓度上的改善控制可以提供在形成固体电解质中间相层中的改善控制,有助于(例如)改善锂离子电容器性能。在一些实施方式中,包含恒定电压预掺杂步骤和/或恒定电流预掺杂步骤的阳极预掺杂工艺可以有助于形成的固体电解质中间相层具有改善稳定性、均匀性和/或锂离子渗透性。包含恒定电压预掺杂步骤和/或恒定电流预掺杂步骤的阳极预掺杂工艺可以提供表现出等效串联电阻性能减小、RC时间常量减小和/或多次充电-放电周期之后电容衰减程度减小的锂离子电容器。

[0076] 尽管在某些实施方式和实例的上下文中已经公开了本发明,但本领域技术人员应当理解,本发明可超出具体的实施方式延伸至本发明的其他可替代实施方式和/或用途以及它们的明显变型和等效物。另外,尽管已经示出和详细描述了本发明的几种变化的实施方式,但对于本领域技术人员来说,基于本公开,本发明范围内的其他变型也是显而易见的。也可以预期,可以做出实施方式的具体特征和方面的各种结合或子结合,并且它们依然落入本发明的范围内。应当理解,为了形成所公开发明的实施方式的变化模式,所公开实施方式的各特征和方面可以彼此互相结合或替换。因此,旨在说明文中公开的本发明范围不应受限于上述具体实施方式。

[0077] 文中提供的标题,如果有的话,只是为了方便,并不必需影响文中公开的设备和方法的范围或含义。

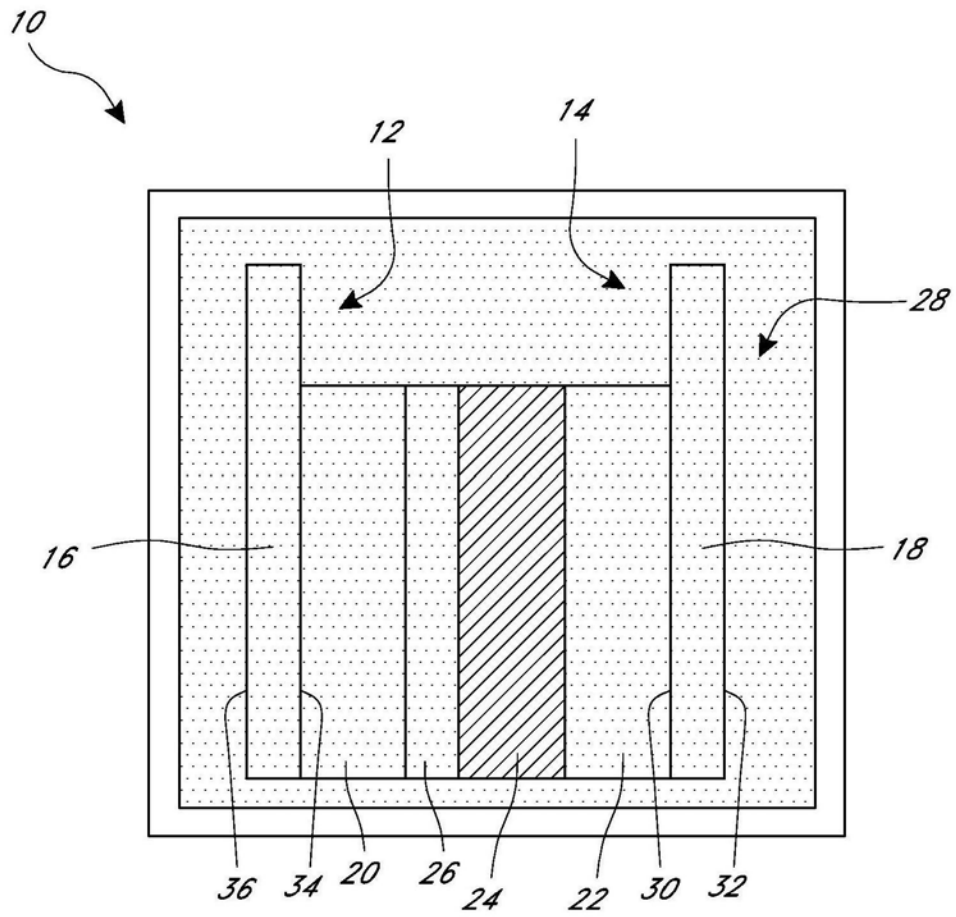


图1



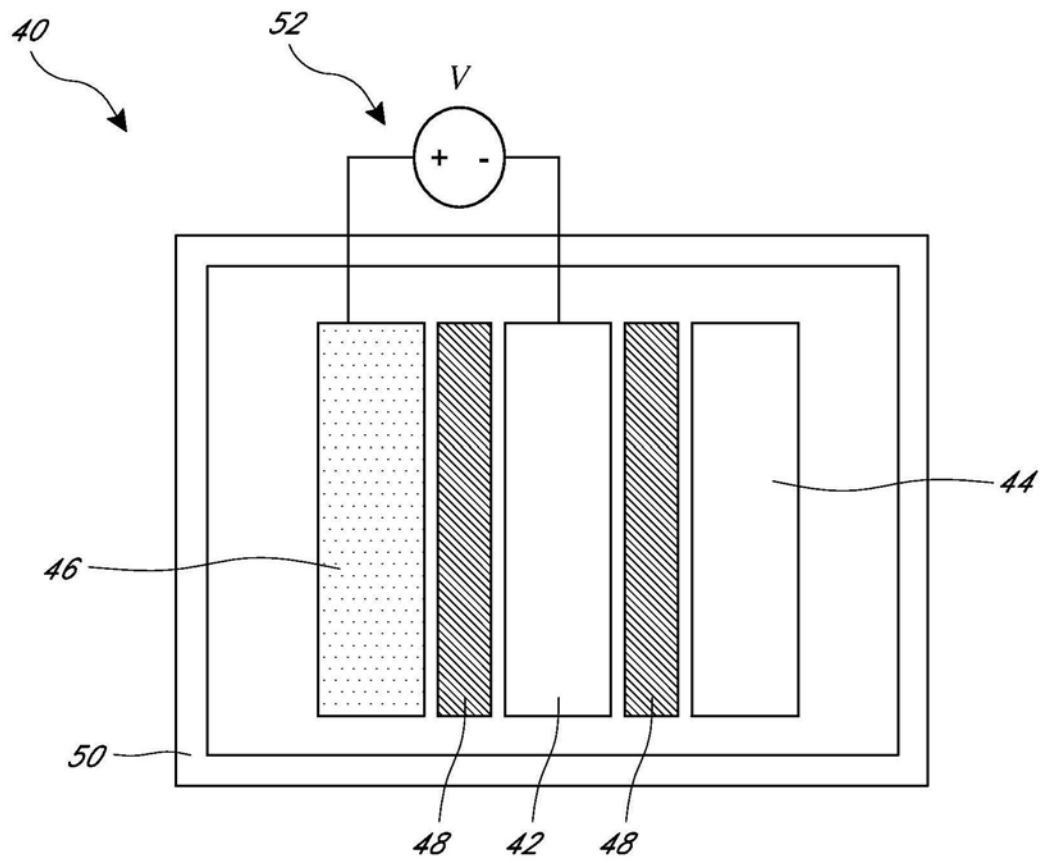


图2

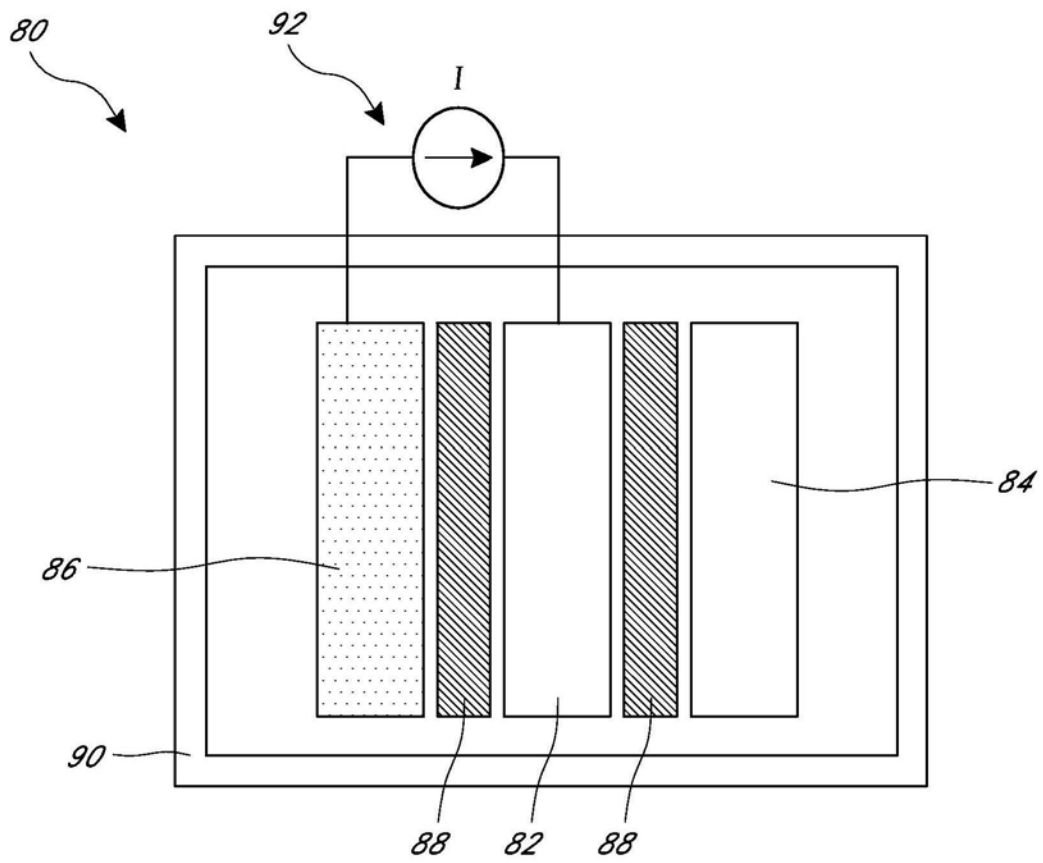


图3

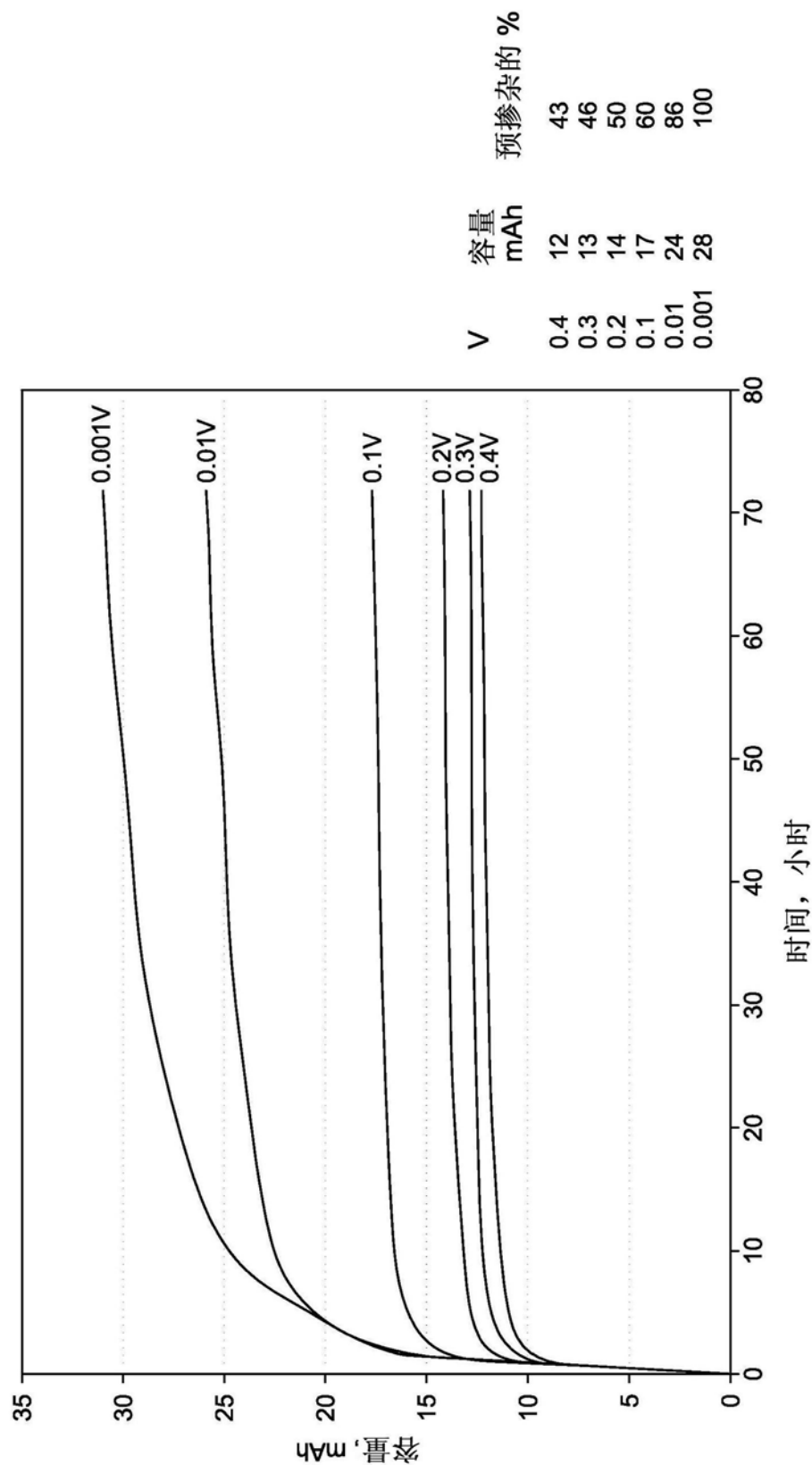


图4

| 预锂化电压 | 预掺杂的 % | 电容,F | ESR,欧姆 | RC   |
|-------|--------|------|--------|------|
| 0.01  | 86     | 17.5 | 0.39   | 6.82 |
| 0.1   | 60     | 17.6 | 0.34   | 5.98 |
| 0.3   | 46     | 15.6 | 0.51   | 7.96 |
| 0.4   | 43     | 17.9 | 0.39   | 6.98 |

图5

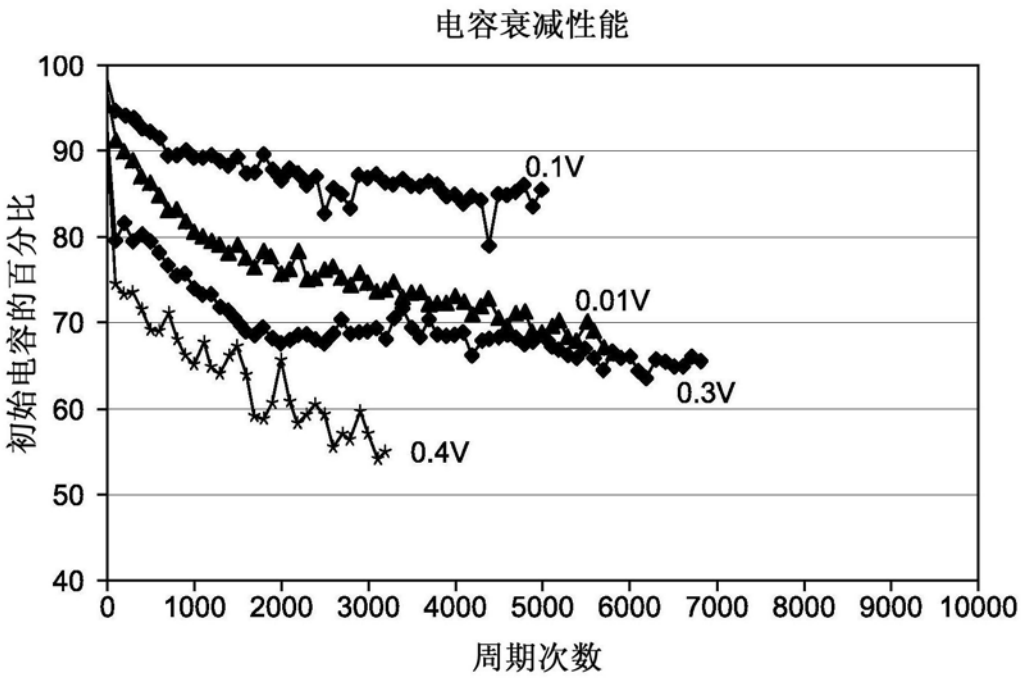


图6

| C- 流速 | 预掺杂<br>的 % | 电容,F | ESR, 欧姆 | RC    |
|-------|------------|------|---------|-------|
| C/24  | 30         | 11.6 | 1.29    | 14.96 |
| C/48  | 43         | 16.6 | 0.57    | 9.46  |
| C/72  | 51         | 16.8 | 0.46    | 7.73  |
| C/96  | 61         | 17.3 | 0.36    | 6.23  |
| C/120 | 62         | 17.7 | 0.36    | 6.37  |
| C/144 | 65         | 17.5 | 0.34    | 5.95  |

图7

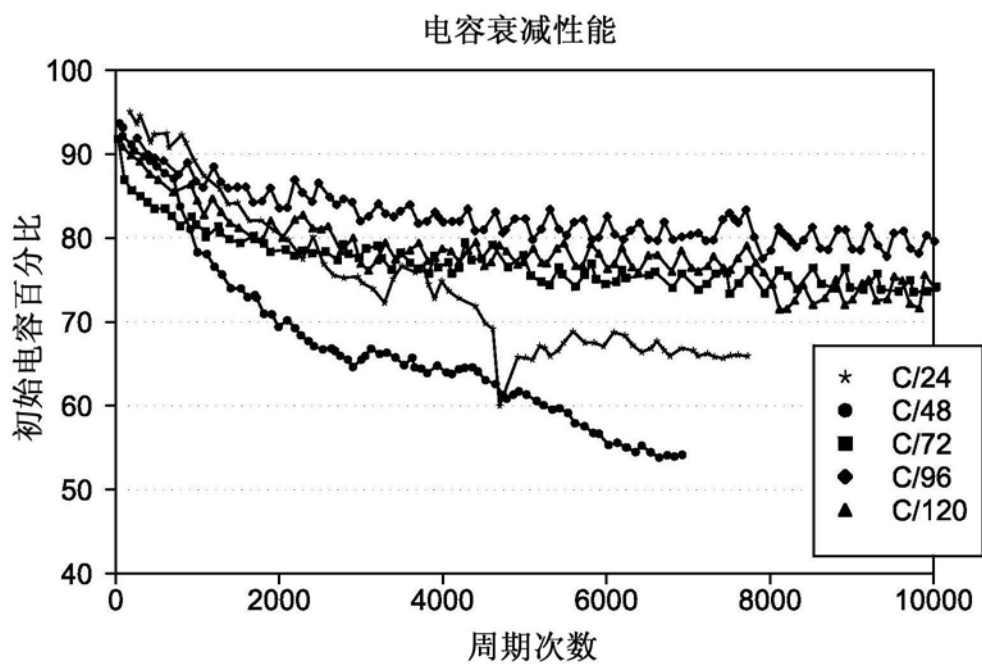


图8