



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117133861 B

(45) 授权公告日 2024.06.21

(21) 申请号 202311406250.0

H01M 10/0525 (2010.01)

(22) 申请日 2023.10.27

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 2023327215 A1, 2023.10.12

申请公布号 CN 117133861 A

WO 2022177023 A1, 2022.08.25

(43) 申请公布日 2023.11.28

CN 116093247 A, 2023.05.09

(73) 专利权人 宁德时代新能源科技股份有限公司

CN 112310346 A, 2021.02.02

WO 2023201871 A1, 2023.10.26

地址 352100 福建省宁德市蕉城区漳湾镇  
新港路2号

审查员 崔彩艳

(72) 发明人 杨周飞 裴振兴 牛从酥 李晓伟

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理  
有限责任公司 11258

专利代理师 徐启艳

(51) Int. Cl.

H01M 4/13 (2010.01)

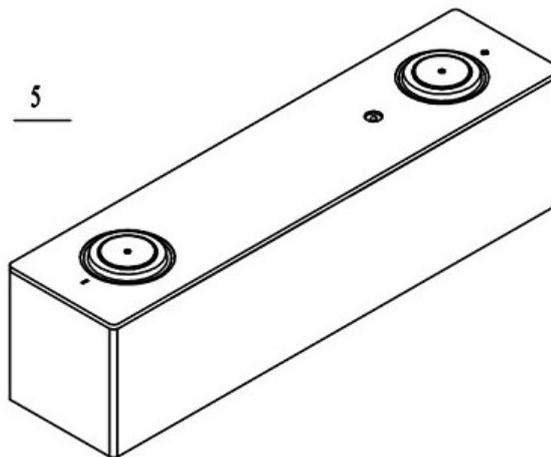
权利要求书2页 说明书19页 附图6页

(54) 发明名称

负极极片、电池单体和用电装置

(57) 摘要

本申请涉及一种负极极片、电池单体和用电装置,所述负极极片包括负极集流体和设置于所述负极集流体至少一侧的负极膜层,所述负极膜层包括至少一层含有负极活性材料的负极活性材料层,至少一层所述负极活性材料层中的其中一层包括第一区域和第二区域,第一区域沿所述负极极片的厚度方向至少覆盖所述负极集流体沿第一方向的两端;所述厚度方向与所述第一方向垂直;第二区域和所述第一区域沿第一方向连续设置,且所述第二区域夹设于所述第一区域中,所述第二区域沿所述厚度方向覆盖部分所述负极集流体,其中,位于所述第一区域的负极活性材料的压实密度为 $A\text{g}/\text{cm}^3$ ,位于所述第二区域的负极活性材料的压实密度为 $B\text{g}/\text{cm}^3$ , $B/A < 1$ 。



1. 一种负极极片,其特征在於,包括负极集流体和设置於所述负极集流体至少一侧的负极膜层,所述负极膜层包括含有负极活性材料的第一负极活性材料层和含有负极活性材料的第二负极活性材料层,所述第二负极活性材料层位於所述第一负极活性材料层面向所述负极集流体的一侧,且所述第二负极活性材料层的嵌锂电位大於所述第一负极活性材料层的嵌锂电位,基於所述第二负极活性材料层的总质量,所述负极活性材料层包括粘结剂和质量百分含量大於等于20%小於100%的硅基材料,所述第一负极活性材料层包括:

第一区域,其沿所述负极极片的厚度方向至少覆盖所述负极集流体沿第一方向的两端;所述厚度方向与所述第一方向垂直,所述第一区域包括碳基材料和粘结剂,所述第一区域的投影覆盖所述负极集流体的投影,所述第一区域还包括凹陷部;以及

第二区域,其和所述第一区域沿第一方向连续设置,且所述第二区域夹设于所述第一区域中,所述第二区域沿所述厚度方向覆盖部分所述负极集流体,所述第二区域包括碳基材料,所述第二区域位於所述凹陷部内,

其中,位於所述第一区域的负极活性材料的压实密度为 $A\text{g}/\text{cm}^3$ ,位於所述第二区域的负极活性材料的压实密度为 $B\text{g}/\text{cm}^3$ , $B/A < 1$ ,

位於所述第二负极活性材料层的粘结剂的质量百分含量大於位於所述第一区域的粘结剂的质量百分含量。

2. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於, $0.8 \leq B/A < 1$ 。

3. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於, $1.0 \leq A \leq 2.0$ ;或 $1.0 \leq B \leq 2.0$ 。

4. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於,所述负极极片沿所述第一方向的尺寸小於所述负极极片沿第二方向的尺寸,所述第一方向、所述第二方向和所述厚度方向两两垂直。

5. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於,所述第二负极活性材料层包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基於所述第二负极活性材料层的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小於等于50%。

6. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於,基於所述第一区域的总质量,所述碳基材料的质量百分含量大於等于90%且小於100%;和/或

所述第一区域包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基於所述第一区域的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小於等于5%。

7. 根据权利要求1所述的负极极片,其特征在於,基於所述第二区域的总质量,所述碳基材料的质量百分含量大於等于90%且小於100%;和/或

所述第二区域包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基於所述第二区域的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小於等于5%。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的负极极片,其特征在於,所述负极极片还包括负极底涂层,所述负极底涂层位於所述负极集流体和所述负极膜层之间;

所述负极底涂层包括粘结剂;基於所述负极底涂层的总质量,所述粘结剂的质量百分含量小於等于5%;和/或

所述负极底涂层包括导电剂;基於所述负极底涂层的总质量,所述导电剂的质量百分含量大於等于95%且小於100%。

9. 一种电池单体,其特征在於,包括如权利要求1至8中任一项所述的负极极片。

10. 一种用电装置,包括如权利要求9所述的电池单体。

## 负极极片、电池单体和用电装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及一种负极极片、电池单体和用电装置。

### 背景技术

[0002] 电池单体具有容量高、寿命长等特性,因此广泛应用于电子设备,例如手机、笔记本电脑、电瓶车、电动汽车、电动飞机、电动轮船、电动玩具汽车、电动玩具轮船、电动玩具飞机和电动工具等等。由于电池单体取得了极大的进展,因此对电池单体的性能提出了更高的要求。为了提高电池单体的性能,通常对电池单体内的负极极片进行优化改善。

[0003] 然而,目前负极极片在应用于电池单体时,电池单体的循环性能仍较差。

### 发明内容

[0004] 本申请提供一种负极极片、电池单体和用电装置,本申请所述的电池单体的循环性能能够得到改善。

[0005] 第一方面,本申请实施方式提出了一种负极极片,所述负极极片包括负极集流体和设置于所述负极集流体至少一侧的负极膜层,所述负极膜层包括至少一层含有负极活性材料的负极活性材料层,至少一层所述负极活性材料层中的其中一层包括第一区域和第二区域,第一区域沿所述负极极片的厚度方向至少覆盖所述负极集流体沿第一方向的两端;所述厚度方向与所述第一方向垂直;第二区域和所述第一区域沿第一方向连续设置,且所述第二区域夹设于所述第一区域中,所述第二区域沿所述厚度方向覆盖部分所述负极集流体,其中,位于所述第一区域的负极活性材料的压实密度为 $A\text{g}/\text{cm}^3$ ,位于所述第二区域的负极活性材料的压实密度为 $B\text{g}/\text{cm}^3$ , $B/A < 1$ 。

[0006] 由此,本申请实施方式通过将负极膜层中负极活性材料的压实密度进行差异化设置,使得位于第一区域和第二区域的负极活性材料的压实密度满足上述范围时,位于边缘处的负极活性材料的压实密度相对较高,位于中心位置处的负极活性材料的压实密度相对较低,能够减缓位于中心位置处的负极膜层的内应力问题,提升位于中心位置处的负极膜层的反应活性,从而提升负极膜层整体结构的反应活性的均匀性,提升负极膜层整体结构的动力学性能,在负极极片应用于电池单体时能够改善电池单体的循环性能。而且,由于第二区域的压实密度较低,此处电解液所占比例较高,因此液相浓差极化较缓和,在快充条件下,能够减弱浓差极化问题,从而进一步改善电池单体的循环性能。

[0007] 在一些实施方式中, $1.0 \leq A \leq 2.0$ 。第一区域的压实密度相对较高,能够提高电池单体的能量密度。

[0008] 在一些实施方式中, $1.0 \leq B \leq 2.0$ 。第二区域和第一区域的压实密度相互配合,能够进一步提高负极膜层整体结构的反应活性的均匀性。

[0009] 在一些实施方式中, $0.8 \leq B/A < 1$ ,能够进一步提高负极膜层整体结构的反应活性的均匀性。

[0010] 在一些实施方式中,所述负极极片沿所述第一方向的尺寸小于所述负极极片沿第

二方向的尺寸,所述第一方向、所述第二方向和所述厚度方向两两垂直,通过上述设置,更有利于提高负极极片在长度方向上的反应活性的均匀性。

[0011] 在一些实施方式中,所述负极膜层包括两层负极活性材料层,两层所述负极活性材料层包括第一负极活性材料层和第二负极活性材料层,第一负极活性材料层包括所述第一区域和所述第二区域;第二负极活性材料层位于所述第一负极活性材料层面向所述负极集流体的一侧。负极膜层为双层涂布,双层涂布有利于进行厚涂布,提升电池单体的能量密度。

[0012] 在一些实施方式中,所述第二负极活性材料层的嵌锂电位大于所述第一负极活性材料层的嵌锂电位。由此,在电池单体充电过程中,可以显著降低负极膜层整体的浓差极化问题,降低负极膜层表面局部析锂的风险,从而能够提高电池单体的循环性能和使用可靠性。

[0013] 在一些实施方式中,所述第二负极活性材料层的孔隙率小于所述第一区域的孔隙率;和/或所述第二负极活性材料层的曲折度大于所述第一区域的曲折度,能够进一步改善负极膜层的反应活性的均匀性,

[0014] 在一些实施方式中,所述第二负极活性材料层包括硅基材料,基于所述第二负极活性材料层的总质量,所述硅基材料的质量百分含量大于等于1%且小于100%。硅基材料的引入能够显著提高负极极片的克容量,有利于提高电池单体的能量密度;且在高克容量的基础上,配合嵌锂电位的上述设置,可以改善电池单体的快充性能。

[0015] 在一些实施方式中,所述第二负极活性材料层包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基于所述第二负极活性材料层的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小于等于50%。由于硅基材料在充放电过程中,体积效应更为显著(例如体积膨胀更大),通过设置粘结剂,可以将相邻硅基材料颗粒进行粘结,起到缓解硅基材料颗粒膨胀的风险,改善循环性能;导电剂能够进一步提升第二负极活性材料层的导电性能。

[0016] 在一些实施方式中,所述第一区域包括碳基材料,基于所述第一区域的总质量,所述碳基材料的质量百分含量大于等于90%且小于100%;和/或

[0017] 所述第一区域包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基于所述第一区域的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小于等于5%。

[0018] 在一些实施方式中,所述第二区域包括碳基材料,基于所述第二区域的总质量,所述碳基材料的质量百分含量大于等于90%且小于100%;和/或

[0019] 所述第二区域包括导电剂和粘结剂中的至少一种,基于所述第二区域的总质量,所述导电剂和所述粘结剂的总质量百分含量小于等于5%。

[0020] 在一些实施方式中,所述负极极片还包括负极底涂层,所述负极底涂层位于所述负极集流体和所述负极膜层之间;通过设置负极底涂层能够提升负极膜层的导电性能,并能够提升其量产能力。

[0021] 在一些实施方式中,所述负极底涂层包括粘结剂;基于所述负极底涂层的总质量,所述粘结剂的质量百分含量小于等于5%。

[0022] 在一些实施方式中,所述负极底涂层包括导电剂;基于所述负极底涂层的总质量,所述导电剂的质量百分含量大于等于95%且小于100%。

[0023] 第二方面,本申请还提出了一种电池单体,所述电池单体包括如本申请第一方面

任一实施方式所述的负极极片。

[0024] 第三方面,本申请还提出了一种用电装置,包括如本申请第三方面任一实施方式的所述的电池单体。

### 附图说明

[0025] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对本申请实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面所描述的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据附图获得其他的附图。

[0026] 图1是本申请的负极极片的一实施方式的示意图。

[0027] 图2是图1所示的负极极片沿A-A线作出的一种剖视示意图。

[0028] 图3是图1所示的负极极片沿A-A线作出的另一种剖视示意图。

[0029] 图4是本申请的电池单体中电极组件的一实施方式的示意图。

[0030] 图5是本申请的电池单体的一实施方式的示意图。

[0031] 图6是图5的电池单体的实施方式的分解示意图。

[0032] 图7是本申请的电池模块的一实施方式的示意图。

[0033] 图8是本申请的电池包的一实施方式的示意图。

[0034] 图9是图8所示的电池包的实施方式的分解示意图。

[0035] 图10是包含本申请的电池单体作为电源的用电装置的一实施方式的示意图。

[0036] 附图未必按照实际的比例绘制。

[0037] 附图标记说明如下:

[0038] X、第一方向;

[0039] 1、电池包;2、上箱体;3、下箱体;4、电池模块;

[0040] 5、电池单体;51、壳体;52、电极组件;

[0041] 53、盖板;

[0042] 6、用电装置;

[0043] 7、负极极片;70、负极膜层;71、第一负极活性材料层;711、第一区域;712、第二区域;72、第二负极活性材料层;73、负极集流体;

[0044] 8、正极极片;

[0045] 9、隔离膜。

### 具体实施方式

[0046] 以下,适当地参照附图详细说明具体公开了本申请的负极极片、电池单体和用电装置的实施方式。但是会有省略不必要的详细说明书的情况。例如,有省略对已众所周知的事项的详细说明、实际相同结构的重复说明的情况。这是为了避免以下的说明不必要地变得冗长,便于本领域技术人员的理解。此外,附图及以下说明是为了本领域技术人员充分理解本申请而提供的,并不旨在限定权利要求书所记载的主题。

[0047] 本申请所公开的“范围”以下限和上限的形式来限定,给定范围是通过选定一个下限和一个上限进行限定的,选定的下限和上限限定了特别范围的边界。这种方式进行限定

的范围可以是包括端值或不包括端值的,并且可以进行任意地组合,即任何下限可以与任何上限组合形成一个范围。例如,如果针对特定参数列出了60-120和80-110的范围,理解为60-110和80-120的范围也是预料到的。此外,如果列出的最小范围值1和2,和如果列出了最大范围值3,4和5,则下面的范围可全部预料到:1-3、1-4、1-5、2-3、2-4和2-5。在本申请中,除非有其他说明,数值范围“a-b”表示a到b之间的任意实数组合的缩略表示,其中a和b都是实数。例如数值范围“0-5”表示本文中已经全部列出了“0-5”之间的全部实数,“0-5”只是这些数值组合的缩略表示。另外,当表述某个参数为 $\geq 2$ 的整数,则相当于公开了该参数为例如整数2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12等。

[0048] 如果没有特别的说明,本申请的所有实施方式以及可选实施方式可以相互组合形成新的技术方案。

[0049] 如果没有特别的说明,本申请的所有技术特征以及可选技术特征可以相互组合形成新的技术方案。

[0050] 如果没有特别的说明,本申请的所有步骤可以顺序进行,也可以随机进行,优选是顺序进行的。例如,所述方法包括步骤(a)和(b),表示所述方法可包括顺序进行的步骤(a)和(b),也可以包括顺序进行的步骤(b)和(a)。例如,所述提到所述方法还可包括步骤(c),表示步骤(c)可以任意顺序加入到所述方法,例如,所述方法可以包括步骤(a)、(b)和(c),也可包括步骤(a)、(c)和(b),也可以包括步骤(c)、(a)和(b)等。

[0051] 电池单体包括正极极片和负极极片以及电解质,正极极片包括含有正极活性材料的正极膜层,在充电过程中,正极活性材料是电池单体提供活性离子例如锂离子的脱出供体,负极极片包括含有负极活性材料的负极膜层,负极活性材料是活性离子的嵌入受体,电解质浸润进入正极、负极多孔孔隙内部,提供锂离子在正极极片和负极极片之间的迁移路径。

[0052] 在电池单体充放电过程中,由于活性离子嵌入或脱出负极活性材料,使得负极活性材料内部和负极活性材料颗粒之间发生体积变化等,导致负极膜层内产生内应力。对于负极膜层而言,由于负极膜层的边缘受到几何约束小,负极膜层的中心受到全方位几何约束,导致负极膜层的边缘和中心位置处的内应力具有大小差异,通常负极膜层的边缘处的应力较小,中心位置的应力较大,位于负极膜层中心位置的负极活性材料的性能恶化更加显著,使得位于负极膜层中心位置的负极活性材料反应活性更差,不利于活性离子的嵌入,负极膜层反应活性呈现非均匀性,使得负极膜层的动力学性能被恶化,电池单体的循环性能被恶化。

[0053] 鉴于上述问题,本申请实施方式提出了一种负极极片,该负极极片将负极膜层中的负极活性材料进行压实密度的差异化设计,位于边缘处的负极活性材料的压实密度相对较高,位于中心位置处的负极活性材料的压实密度相对较低,能够减缓位于中心位置处的负极活性材料的内应力问题,提升位于中心位置处的负极活性材料的反应活性,从而提升负极膜层整体结构的反应活性的均匀性,提升负极膜层整体结构的动力学性能,在负极极片应用于电池单体时能够改善电池单体的循环性能。接下来对本申请的技术方案进行详细说明。

[0054] 第一方面,本申请提出了一种负极极片。

[0055] 如图1和图2所示,所述负极极片7包括负极集流体73和设置于负极集流体73至少

一侧的负极膜层70, 负极膜层70包括至少一层负极活性材料层, 至少一层负极活性材料层中的其中一层包括第一区域711和第二区域712, 第一区域711沿负极极片7的厚度方向至少覆盖负极集流体73沿第一方向X的两端; 厚度方向与第一方向X垂直; 第二区域712和第一区域711沿第一方向X连续设置, 且第二区域712夹设于第一区域711中, 第二区域712沿厚度方向覆盖部分负极集流体73, 其中, 位于第一区域711的负极活性材料的压实密度为A, 其单位为 $\text{g}/\text{cm}^3$ ; 位于第二区域712的负极活性材料的压实密度为B, 其单位为 $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $B/A < 1$ 。

[0056] 负极膜层70可以包括一层负极活性材料层, 也可以包括两层以上负极活性材料层例如两层、三层、四层等。在负极膜层70包括两层以上负极活性材料层时, 各层负极活性材料层的组成、结构可以相同, 当然也可以不同。例如, 负极膜层70包括两层负极活性材料层, 两层负极活性材料层的组成和结构均可以相同; 或者, 组成相同, 结构不同; 又或者, 组成和结构均不同。又例如, 负极膜层70包括三层负极活性材料层, 三层负极活性材料层的组成和结构均可以相同; 或者, 其中两层的组成和结构相同, 另一层的组成和结构不同; 又或者两两的组成不同, 结构不同。

[0057] 负极集流体73包括沿负极极片7的厚度方向彼此相对的两侧, 两侧中的其中一侧可以设置负极膜层70, 另一侧不设置负极膜层70; 两侧也可以均设置负极膜层70。在两侧均设置负极膜层70时, 有利于提高电池单体的能量密度。

[0058] 至少一层负极活性材料层中的其中一层包括第一区域711和第二区域712, 第一区域711至少覆盖负极集流体73沿第一方向X的两端。

[0059] 示例性地, 如图2所示, 第一区域711可以仅覆盖负极集流体73沿第一方向X的两端, 在此情况下, 第一区域711包括两部分, 例如第一部和第二部, 第一部覆盖负极集流体73沿第一方向X的其中一端, 第二部覆盖负极集流体73沿第一方向X的另一端, 第二区域712位于第一部和第二部之间, 且第一部、第二区域712、第二部在第一方向X上连续设置。

[0060] 或者, 示例性地, 如图3所示, 第一区域711除了覆盖负极集流体73沿第一方向X的两端, 还可以覆盖负极集流体73的其他部分, 在此情况下, 沿厚度方向上, 第一区域711的投影可以覆盖负极集流体73的投影, 即相当于第一区域711能够完全覆盖负极集流体73; 第一区域711在靠近负极集流体73中间位置处可以包括凹陷部, 第二区域712位于凹陷部内。举例说明, 第一区域711包括第一部、第二部和第三部, 第一部覆盖负极集流体73沿第一方向X的其中一端, 第二部覆盖负极集流体73沿第一方向X的另一端, 第三部位于第一部和第二部之间且连接第一部和第二部, 第一部、第三部和第三部沿第一方向X连续设置, 三者之间可能无明显的连接界面。第三部具有凹陷部, 第二区域712位于凹陷部内, 可以理解为第三部和第二区域712沿厚度方向的投影至少部分重叠。例如, 第二区域712沿厚度方向的截面可以为梯形、弧形等形状。在第二区域712的截面为梯形的情况下, 第二区域712背离负极集流体73的侧边尺寸大于第二区域712面向负极集流体73的侧边尺寸。当然, 上述仅为示例性的说明, 并不用于限定本申请的范围。

[0061] 本申请实施方式通过将负极膜层70中负极活性材料的压实密度进行差异化设置, 使得位于第一区域711和第二区域712的负极活性材料的压实密度满足上述范围时, 位于边缘处的负极活性材料的压实密度相对较高, 位于中心位置处的负极活性材料的压实密度相对较低, 能够减缓位于中心位置处的负极膜层70的内应力问题, 提升位于中心位置处的负极膜层70的反应活性, 从而提升负极膜层70整体结构的反应活性的均匀性, 提升负极膜层

70整体结构的动力学性能,在负极极片7应用于电池单体时能够改善电池单体的循环性能。而且,由于第二区域712的压实密度较低,此处电解液所占比例较高,因此液相浓差极化较缓和,在快充条件下,能够减弱浓差极化问题,从而进一步改善电池单体的循环性能。

[0062] 在一些实施方式中,负极极片7还包括负极底涂层,负极底涂层位于负极集流体73和负极膜层70之间,通过设置负极底涂层能够提升负极膜层70的导电性能,并能够提升其量产能力。可选地,负极底涂层可以包括导电剂例如超导碳、导电石墨、乙炔黑、导电炭黑、科琴黑、碳点、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维中的至少一种。可选地,导电剂可包括导电炭黑。可选地,负极底涂层还可以包括粘结剂,示例性地,粘结剂可包括聚偏氟乙烯(PVDF)、丁苯橡胶(SBR)、水溶性不饱和树脂SR-1B、水性丙烯酸类树脂(例如,聚丙烯酸PAA、聚甲基丙烯酸PMAA、聚丙烯酸钠PAAS)、聚丙烯酰胺(PAM)、聚乙烯醇(PVA)、海藻酸钠(SA)和羧甲基壳聚糖(CMCS)中的至少一种。

[0063] 可选地,基于负极底涂层的总质量,粘结剂的质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0064] 可选地,基于负极底涂层的总质量,导电剂的质量百分含量可以大于等于95%且小于100%,例如,95%、96%、97%、98%、99%、100%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0065] 为了更进一步提高负极膜层70整体结构的反应活性的均匀性,可选地, $0.8 \leq B/A < 1$ 。

[0066] 示例性地,B/A可以为0.5、0.55、0.6、0.65、0.7、0.75、0.80、0.82、0.85、0.86、0.88、0.89、0.90、0.92、0.94、0.95、0.96、0.97或是上述任意两个数值组成的范围。

[0067] 在一些实施方式中,位于第一区域711的负极活性材料的压实密度 $A/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.0/\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $2.0/\text{g}/\text{cm}^3$ ;可选为 $1.55/\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $1.8/\text{g}/\text{cm}^3$ 。示例性地,位于第一区域711的负极活性材料的压实密度A可以为 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.52 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.55 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.58 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.62 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.65 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.68 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.72 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.73 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.75 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.78 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $2.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 或是上述任意两个数值组成的范围。

[0068] 在一些实施方式中,位于第二区域712的负极活性材料的压实密度 $B/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.0/\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $2.0/\text{g}/\text{cm}^3$ ;可选为 $1.55/\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $1.8/\text{g}/\text{cm}^3$ 。示例性地,位于第二区域712的负极活性材料的压实密度A可以为 $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.52 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.55 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.58 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.62 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.65 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.68 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.72 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.73 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.75 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.78 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $2.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 或是上述任意两个数值组成的范围。

[0069] 例如,位于第二区域712的负极活性材料的压实密度 $B/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.55/\text{g}/\text{cm}^3$ ,位于第一区域711的负极活性材料的压实密度 $A/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.75/\text{g}/\text{cm}^3$ ,B/A为0.88。

[0070] 又例如,位于第二区域712的负极活性材料的压实密度 $B/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.6/\text{g}/\text{cm}^3$ ,位于第一区域711的负极活性材料的压实密度 $A/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.7/\text{g}/\text{cm}^3$ ,B/A为0.94。

[0071] 又例如,位于第二区域712的负极活性材料的压实密度 $B/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.6/\text{g}/\text{cm}^3$ ,位于第一区域711的负极活性材料的压实密度 $A/\text{g}/\text{cm}^3$ 为 $1.65/\text{g}/\text{cm}^3$ ,B/A为0.97。

[0072] 在本申请实施方式中,材料的压实密度为本领域公知的含义,可以采用本领域公知的设备和方法进行检测,例如,依据测试标准GB/T24533-2009进行检测,取一定量上述材

料,加入UTM7305型电子压力试验机的底面积为 $1.327\text{cm}^2$ 的模具中,加压至2000kg(相当于20000N),保压30s,然后卸压,保持10s,然后记录并计算得到材料在20000N作用力下的粉体压实密度。

[0073] 本申请实施方式中,第一方向X可以平行于负极极片7的长度方向或者宽度方向,可选地,第一方向X平行于负极极片7的宽度方向,在此情况下,负极极片7沿第一方向X的尺寸小于负极极片7沿第二方向的尺寸,第一方向X、第二方向和厚度方向两两垂直,即第一方向X平行于宽度方向,第二方向平行于长度方向。将第一区域711和第二区域712沿宽度方向连续设置,第一区域711沿长度方向延伸的尺寸较长,即第一区域711较长,相应地,第二区域712沿长度方向延伸的尺寸较长,通过上述设置,更有利于提高负极极片7在长度方向上的反应活性的均匀性。

[0074] 在一些实施方式中,位于第二区域712的负极活性材料包括碳基材料;可选地,碳基材料包括人造石墨和天然石墨中的至少一种。

[0075] 可选地,基于第二区域712的总质量,负极活性材料的质量百分含量可以大于等于95%且小于100%,例如,90%、91%、92%、93%、94%、95%、96%、97%、98%、99%、100%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0076] 可选地,基于第二区域712的总质量,碳基材料的质量百分含量可以大于等于90%且小于100%,进一步可选为95%至100%,例如,90%、91%、92%、93%、94%、95%、96%、97%、98%、99%、100%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0077] 可选地,位于第二区域712的负极活性材料还可以包括硅基材料;可选地,硅基材料可以包括单质硅、硅氧化物、硅碳复合物、硅氮复合物和硅合金材料中的至少一种。

[0078] 可选地,基于第二区域712的总质量,硅基材料的质量百分含量可以小于等于5%,可选地小于等于2%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0079] 在一些实施方式中,第二区域712还可以包括粘结剂,粘结剂能够提高第二区域712的粘结性能,提高负极极片7整体结构的稳定性,降低层剥落的风险。

[0080] 可选地,基于第二区域712的总质量,粘结剂的质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0081] 示例性地,粘结剂可包括聚偏氟乙烯(PVDF)、丁苯橡胶(SBR)、水溶性不饱和树脂SR-1B、水性丙烯酸类树脂(例如,聚丙烯酸PAA、聚甲基丙烯酸PMAA、聚丙烯酸钠PAAS)、聚丙烯酰胺(PAM)、聚乙烯醇(PVA)、海藻酸钠(SA)和羧甲基壳聚糖(CMCS)中的至少一种。

[0082] 在一些实施方式中,第二区域712还可以包括导电剂,导电剂能够进一步提升第二区域712的导电性能。

[0083] 可选地,基于第二区域712的总质量,导电剂的质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0084] 可选地,基于第二区域712的总质量,粘结剂和导电剂的总质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0085] 示例性地,导电剂可包括超导碳、导电石墨、乙炔黑、导电炭黑、科琴黑、碳点、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维中的至少一种。可选地,导电剂可包括导电炭黑。

[0086] 在一些实施方式中,位于第一区域711的负极活性材料可以包括碳基材料和硅基

材料;基于第一区域711的总质量,负极活性材料的质量百分含量可以大于等于95%且小于100%;例如,95%、96%、97%、98%、99%、100%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0087] 可选地,基于第一区域711的总质量,硅基材料的质量百分含量可以小于等于5%,可选地小于等于2%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。硅基材料的引入能够显著提高负极极片7的克容量,在相同负极面容量的情况下,能够降低负极极片7的厚度,有利于提高电池单体的体积能量密度,由此减弱负极极片7沿厚度方向的浓差极化问题;且在高克容量的基础上,配合嵌锂电位的上述设置,可以改善电池单体的快充性能。

[0088] 可选地,基于第一区域711的总质量,碳基材料的质量百分含量可以大于等于60%且小于100%;进一步可选为90%至100%,进一步可选为95%至100%,例如,62%、63%、64%、65%、66%、67%、68%、69%、70%、80%、85%、90%、95%、96%、97%、98%、99%、100%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0089] 在一些实施方式中,第一区域711还可以包括粘结剂,由于硅基材料在充放电过程中,体积效应更为显著(例如体积膨胀更大),通过设置粘结剂,可以将相邻硅基材料颗粒进行粘结,起到缓解硅基材料颗粒膨胀的风险。可选地,位于第一区域711的粘结剂的质量百分含量可以大于位于第二区域712的粘结剂的质量百分含量。

[0090] 可选地,基于第一区域711的总质量,粘结剂的质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0091] 示例性地,粘结剂可包括聚偏氟乙烯(PVDF)、丁苯橡胶(SBR)、水溶性不饱和树脂SR-1B、水性丙烯酸类树脂(例如,聚丙烯酸PAA、聚甲基丙烯酸PMAA、聚丙烯酸钠PAAS)、聚丙烯酰胺(PAM)、聚乙烯醇(PVA)、海藻酸钠(SA)和羧甲基壳聚糖(CMCS)中的至少一种;可选为水性丙烯酸类树脂。

[0092] 在一些实施方式中,第一区域711还可以包括导电剂,导电剂能够进一步提升第一区域711的导电性能。

[0093] 可选地,基于第一区域711的总质量,导电剂的质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0094] 示例性地,导电剂可包括超导碳、导电石墨、乙炔黑、导电炭黑、科琴黑、碳点、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维中的至少一种。可选地,导电剂可包括导电炭黑、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管中的至少一种。

[0095] 可选地,基于第一区域711的总质量,粘结剂和导电剂的总质量百分含量可以小于等于5%,例如,0%、1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。

[0096] 在一些实施方式中,第一区域711中负极活性材料和第二区域712中的负极活性材料包括相同材质的负极活性材料。

[0097] 在一些实施方式中,第一区域711中负极活性材料和第二区域712中的负极活性材料包括相同质量百分含量的负极活性材料。

[0098] 在一些实施方式中,负极膜层70可以包括两层负极活性材料层,两层负极活性材料层包括第一负极活性材料层71和第二负极活性材料层72,第一负极活性材料层71包括第一区域711和第二区域712,第二负极活性材料层72位于第一负极活性材料层71面向负极集流体73的一侧。负极膜层70为双层涂布,双层涂布有利于进行厚涂布,提升电池单体的能量

密度。

[0099] 本申请实施方式中活性离子为锂离子。

[0100] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72的嵌锂电位可以高于第一负极活性材料层71的嵌锂电位。嵌锂电位是指锂离子嵌入负极活性材料中的电压。

[0101] 具体地,第二负极活性材料层72的嵌锂电位可以高于第一区域711的嵌锂电位。

[0102] 具体地,第二负极活性材料层72的嵌锂电位可以高于第二区域712的嵌锂电位。

[0103] 在电池单体充电过程的前期例如低荷电状态SOC中,尤其是在快充过程中,第二负极活性材料层72优先于第一负极活性材料层71嵌锂,能够改善负极膜层70整体的嵌锂动力学曲线,降低负极膜层70表层嵌锂极化问题,提高嵌锂的速度。低电荷状态SOC可以是指0% SOC至20% SOC、或者0% SOC至25% SOC、或者0% SOC至30% SOC等等。

[0104] 在充电过程的后期例如高荷电状态SOC中,第二负极活性材料层72由于已经优先嵌锂,在此过程中嵌锂反应沿着厚度方向距离缩短为第一负极活性材料层71的涂层厚度,该第二区域712的压实密度相对较小,有利于锂离子的迁移,使得该区域的浓差极化减弱,同时较小的压实密度带来较大的可逆膨胀空间,使得负极活性材料例如石墨的固相扩散速率得到强化,能够提高在高荷电状态下的嵌锂能力。高电荷状态SOC可以是指20% SOC至100% SOC、或者25% SOC至100% SOC、或者30% SOC至100% SOC等等。

[0105] 由此,在电池单体充电过程中,可以显著降低负极膜层70整体的浓差极化问题,降低负极膜层70表面局部析锂的风险,从而能够提高电池单体的循环性能和使用可靠性。

[0106] 具体地,由于第二负极活性材料层72的嵌锂电位更高,第一区域711位于第一负极活性材料层的边缘部分,在电池单体充电过程中,活性离子经第一区域711嵌入第二负极活性材料层72,尤其是在电池单体的充电前期,第一区域711和第二负极活性材料层72优先嵌锂现象更为显著,活性离子的嵌入速度较快,能够进一步改善负极活性材料嵌锂动力学曲线,降低负极膜层70表层嵌锂极化问题。

[0107] 在电池单体的充电后期,由于第一区域711和第二负极活性材料层72可能已充分嵌锂,嵌锂主要集中于第二区域712,由于第二区域712的嵌锂深度较小,浓差极化能够得到减弱,可以进一步提高在充电后期的嵌锂能力,能够提高在充电后期(高荷电状态下)的嵌锂能力。

[0108] 由此,在电池单体充电过程中,从热力学角度能够进一步提高活性离子迁移至第二负极活性材料层72的速率,更进一步降低浓差极化问题,降低负极膜层70表面局部析锂的风险,从而能够提高电池单体的循环性能和使用可靠性。

[0109] 在一些实施方式中,位于第二负极活性材料层72的负极活性材料可以包括碳基材料和硅基材料,基于第二负极活性材料层72的总质量,负极活性材料的质量百分含量可以大于等于50%且小于100%。示例性地,负极活性材料的质量百分含量可以为50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、100%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0110] 可选地,基于第二负极活性材料层72的总质量,硅基材料的质量百分含量可以大于等于1%且小于100%;可选为大于等于20%且小于100%;进一步可选为20%至60%。硅基材料的引入能够显著提高负极极片7的克容量,有利于提高电池单体的能量密度;且在高克容量的基础上,配合嵌锂电位的上述设置,可以改善电池单体的快充性能。示例性地,硅基材料的质量百分含量可以为20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、

34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0111] 可选地,基于第二负极活性材料层72的总质量,碳基材料的质量百分含量可以大于等于10%且小于100%;进一步可选为10%至70%。示例性地,碳基材料的质量百分含量可以为10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0112] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72还可以包括粘结剂,由于硅基材料在充放电过程中,体积效应更为显著(例如体积膨胀更大),通过设置粘结剂,可以将相邻硅基材料颗粒进行粘结,起到缓解硅基材料颗粒膨胀的风险,改善循环性能。可选地,位于第二负极活性材料层72的粘结剂的质量百分含量可以大于位于第一区域711的粘结剂的质量百分含量。

[0113] 可选地,基于第二负极活性材料层72的总质量,粘结剂的质量百分含量可以小于等于50%;可选为3%至50%;示例性地,粘结剂的质量百分含量可以为1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、50%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0114] 示例性地,粘结剂可包括聚偏氟乙烯(PVDF)、丁苯橡胶(SBR)、水溶性不饱和树脂SR-1B、水性丙烯酸类树脂(例如,聚丙烯酸PAA、聚甲基丙烯酸PMAA、聚丙烯酸钠PAAS)、聚丙烯酰胺(PAM)、聚乙烯醇(PVA)、海藻酸钠(SA)和羧甲基壳聚糖(CMCS)中的至少一种;可选为水性丙烯酸类树脂。

[0115] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72还可以包括导电剂,导电剂能够进一步提升第二负极活性材料层72的导电性能。

[0116] 可选地,基于第二负极活性材料层72的总质量,导电剂的质量百分含量可以小于等于50%;可选为3%至50%;示例性地,导电剂的质量百分含量可以为1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、50%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0117] 示例性地,导电剂可包括超导碳、导电石墨、乙炔黑、导电炭黑、科琴黑、碳点、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维中的至少一种。可选地,导电剂可包括导电炭黑、单壁碳纳米管、多壁碳纳米管中的至少一种。

[0118] 可选地,基于第二负极活性材料层72的总质量,粘结剂和导电剂的总质量百分含量可以小于等于50%;可选为5%至50%;示例性地,粘结剂和导电剂的总质量百分含量可以为1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、50%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0119] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72的压实密度可以大于第一区域711的压实密度。活性离子经第一区域711快速迁移至第二负极活性材料层72中,能够降低浓差极化的风险,从而改善电池单体的循环性能。且第二负极活性材料层72的压实密度相对较高,有利于提升负极极片7的厚涂布性能。

[0120] 示例性地,第二负极活性材料层72的压实密度为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ;可选为 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 。示例性地,第二负极活性材料层72可以为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.52\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.58\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.68\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.72\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.73\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.75\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.78\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 或是上述任意两个数值组成的范围。

[0121] 负极膜层70的孔隙率和曲折度对活性离子的扩散性能具有一定影响,为了进一步改善负极膜层70的反应活性的均匀性,本申请实施方式还可以通过对负极膜层70的孔隙率、曲折度等参数进一步改进,以此实现提高负极膜层70的反应活性的均匀性。

[0122] 在本申请实施方式中,样品的曲折度为本领域公知的含义,可以采用本领域公知的设备和方法进行检测,例如将材料组装成对称电池,每个电池单体添加 $60\ \mu\text{L}$   $50\ \text{mM}$ 四丁基高氯酸铵+EC/DMC (EC:DMC=1:1,锂离子电导率为 $1.7\ \text{mS}/\text{cm}$ ),在 $200\ \text{kHz}$  to  $50\ \text{mHz}$ 频率范围内测试电化学阻抗谱图。利用 $\tau/\varepsilon = R_{\text{ion}} \times S \times k_{\text{int}}/l$ 可以计算出曲折度。其中, $\tau$ 为曲折度, $\varepsilon$ 为孔隙率, $l$ 为负极极片的厚度, $S$ 为极片面积, $k_{\text{int}}$ 为电解液的锂离子电导率, $R_{\text{ion}}$ 为锂离子阻抗。 $R_{\text{ion}} = 3 \times (R_{\text{h}} - R_{\text{l}})$ ,  $R_{\text{h}}$ 为阻抗谱图高频的截距, $R_{\text{l}}$ 为低频截距。

[0123] 在一些实施方式中,第二区域712的孔隙率可以大于第一区域711的孔隙率。第二区域712由于具有相对较大的孔隙率,更有利于提高活性离子在第二区域712中迁移的速率,提升位于中心位置处的负极活性材料的反应活性,从而提升负极膜层70整体结构的反应活性的均匀性,提升负极膜层70整体结构的动力学性能。

[0124] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72的孔隙率可以小于第一区域711的孔隙率。活性离子经第一区域711快速迁移至第二负极活性材料层72中,能够降低浓差极化的风险,从而改善电池单体的循环性能。

[0125] 示例性地,第一区域711的孔隙率为20%至40%;例如20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0126] 示例性地,第二区域712的孔隙率为25%至45%,例如25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、41%、42%、43%、44%、45%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0127] 示例性地,第二负极活性材料层72的孔隙率为20%至30%,例如20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0128] 在本申请实施方式中,样品的孔隙率为本领域公知的含义,可以采用本领域公知的设备和方法进行检测,例如参照GB/T 24586-2009孔隙率测试方法,测试方法如下:将装有样品的样品杯,置于真密度测试仪,密闭测试系统,通入氦气,通过检测样品室和膨胀室中的气体的压力,再根据玻尔定律( $PV=nRT$ )来计算真实体积,从而得到待测样品的孔隙率。

[0129] 在一些实施方式中,第二区域712的曲折度可以小于第一区域711的曲折度。第二区域712由于具有相对较小的曲折度,更有利于提高活性离子在第二区域712中迁移的速率,提升位于中心位置处的负极活性材料的反应活性,从而提升负极膜层70整体结构的反应活性的均匀性,提升负极膜层70整体结构的动力学性能。

[0130] 在一些实施方式中,第二负极活性材料层72的曲折度可以大于第一区域711的曲折度。第二负极活性材料层72的曲折度相对更大,活性离子经第一区域711快速迁移至第二

负极活性材料层72中,能够降低浓差极化的风险,从而改善电池单体的循环性能。

[0131] 示例性地,第一区域711的曲折度为3至5,例如3、3.2、3.5、3.8、4.0、4.2、4.5、4.8、5或是上述任意两个数值组成的范围。

[0132] 示例性地,第二区域712的曲折度为1.5至3,例如1.5、1.8、2、2.2、2.5、2.8、3或是上述任意两个数值组成的范围。

[0133] 示例性地,第二负极活性材料层72的曲折度为3至5,例如3、3.2、3.5、3.8、4.0、4.2、4.5、4.8、5或是上述任意两个数值组成的范围。

[0134] 在本申请实施方式中,曲折度是本领域公知的含义,可以通过本领域公知的设备和方法进行检测和计算,例如将材料组装成对称电池,每个电池单体添加60  $\mu$ L 50 mM四丁基高氯酸铵+EC/DMC (EC:DMC=1:1,锂离子电导率为1.7 mS/cm),在200 kHz to 50 mHz频率范围内测试电化学阻抗谱图。利用 $\tau/\epsilon = R_{ion} \times S \times k_{int}/l$ 可以计算出曲折度。其中, $\tau$ 为曲折度, $\epsilon$ 为孔隙率, $l$ 为负极极片的厚度, $S$ 为负极极片面积, $k_{int}$ 为电解液的锂离子电导率, $R_{ion}$ 为锂离子阻抗。 $R_{ion} = 3 \times (R_h - R_l)$ , $R_h$ 为阻抗谱图高频的截距, $R_l$ 为低频截距。

[0135] 为了进一步改善负极极片7的克容量和电池单体的循环性能,可以通过负极膜层70中各负极活性材料层的涂布克重进行调整实现。

[0136] 在一些实施方式中,基于负极膜层70的总涂布克重,第二负极活性材料层72的涂布克重的质量百分含量小于等于5%,例如1%、2%、3%、4%、5%或是上述任意两个数据组成的范围。在第二负极活性材料层72的涂布克重的质量百分含量为0时,表示负极极片7中可以不设置第二负极活性材料层72。

[0137] 在一些实施方式中,基于负极膜层70的总涂布克重,第一区域711的涂布克重的质量百分含量为20%至95%,可选为大于50%小于等于95%,例如20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、42%、44%、45%、48%、50%、52%、55%、58%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、85%、90%、95%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0138] 在一些实施方式中,基于负极膜层70的总涂布克重,第二区域712的涂布克重的质量百分含量为5%至80%,可选为大于等于5%小于50%,例如5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、42%、44%、45%、48%、50%、52%、55%、58%、60%、62%、65%、68%、70%、72%、75%、78%、80%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0139] 示例性地,在第二区域712沿厚度方向的截面为梯形的情况下,该截面平行于第一方向X,第二区域712背离负极集流体73的侧边尺寸L1大于第二区域712面向负极集流体73的侧边尺寸L2。

[0140] 可选地, $50\% \leq L1/L < 100\%$ ,可选地, $50\% < L1/L < 100\%$ ,进一步可选地, $60\% \leq L1/L \leq 70\%$ 。例如L1/L可以为50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、98%或是上述任意两个数值组成的范围。L表示负极极片7沿第一方向X的尺寸。

[0141] 可选地, $20\% \leq L2/L \leq 90\%$ ,可选地, $30\% \leq L2/L \leq 70\%$ 。例如L2/L可以为20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%或是上述任意两个数值组成的范围。

[0142] 在一些实施方式中,负极膜层70还可选地包括其他助剂。作为示例,其他助剂可包括增稠剂,例如,羧甲基纤维素钠(CMC-Na)、PTC热敏电阻材料等。在一些实施方式中,基于

负极膜层70的总重量,其他助剂的质量百分含量为 $\leq 2$  wt%。

[0143] 在一些实施方式中,负极集流体73可采用金属箔片或复合集流体。作为金属箔片的示例,可采用铜箔。复合集流体可包括高分子材料基层以及形成于高分子材料基层至少一个表面上的金属材料层。作为示例,金属材料可包括铜、铜合金、镍、镍合金、钛、钛合金、银和银合金中的至少一种。作为示例,高分子材料基层可包括聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)、聚苯乙烯(PS)和聚乙烯(PE)中的至少一种。

[0144] 负极膜层70通常是将负极浆料涂布于负极集流体73上,经干燥、冷压而成的。负极浆料通常是将负极活性物质、可选的导电剂、可选地粘结剂、其他可选的助剂分散于溶剂中并搅拌均匀而形成的。溶剂可以是N-甲基吡咯烷酮(NMP)或去离子水,但不限于此。

[0145] 负极极片7并不排除除了负极膜层70之外的其他附加功能层。在另外一些实施例中,本申请实施方式的负极极片7还包括覆盖在负极膜层70表面的保护层。

[0146] 第二方面,本申请提出了一种电池单体,电池单体包括负极极片。负极极片包括本申请第一方面任一实施方式的负极极片,在电池单体充放电过程中,活性离子在负极极片中的迁移速率较快,负极膜层整体结构的反应活性的均匀性较高,提升负极膜层整体结构的动力学性能,能够改善电池单体的循环性能。

[0147] [正极极片]

[0148] 在一些实施方式中,电池单体还包括正极极片。

[0149] 正极极片包括正极集流体以及设置在正极集流体至少一个表面的正极活性材料层,正极活性材料层包括正极活性材料。

[0150] 作为示例,正极集流体具有在其自身厚度方向相对的两个表面,正极活性材料层设置在正极集流体相对的两个表面的其中任意一者或两者上。

[0151] 在一些实施方式中,正极集流体可采用金属箔片或复合集流体。例如,作为金属箔片,可采用铝箔。复合集流体可包括高分子材料基层和形成于高分子材料基层至少一个表面上的金属层。复合集流体可通过将金属材料(铝、铝合金、镍、镍合金、钛、钛合金、银及银合金等)形成在高分子材料基材(如聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)、聚苯乙烯(PS)、聚乙烯(PE)等的基材)上而形成。

[0152] 在一些实施方式中,正极活性材料可采用本领域公知的用于电池单体的正极活性材料。作为示例,正极活性材料可包括以下材料中的至少一种,层状结构正极活性材料(例如三元、镍酸锂/钠、钴酸锂/钠、锰酸锂/钠、富锂/钠层状和岩盐相层状等材料)、橄榄石型磷酸盐活性材料、尖晶石结构的正极活性材料(例如尖晶石锰酸锂、尖晶石镍锰酸锂、富锂的尖晶石锰酸锂和镍锰酸锂等)。

[0153] 示例性地,层状结构正极活性材料的通式为 $\text{Li}_x\text{A}_y\text{Ni}_a\text{Co}_b\text{Mn}_c\text{M}_{(1-a-b-c)}\text{Y}_z$ ,其中, $0 \leq x \leq 2.1$ , $0 \leq y \leq 2.1$ ,且 $0.9 \leq x+y \leq 2.1$ ;  $0 \leq a \leq 1$ , $0 \leq b \leq 1$ , $0 \leq c \leq 1$ ,且 $0.1 \leq a+b+c \leq 1$ ;  $1.8 \leq z \leq 3.5$ ; A包括Na、K、Mg中的一种或几种; M包括B、Mg、Al、Si、P、S、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Fe、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Cd、Sn、Sb、Te、Ba、Ta、W、Yb、La、Ce中的一种或几种; Y包括O、F中的一种或几种。具体地,层状结构正极活性材料可以包括钴酸锂LCO、镍酸锂LNO、锰酸锂LMO等。

[0154] 可选地,层状结构正极活性材料为三元材料,例如 $0 < a \leq 1$ , $0 < b \leq 1$ , $0 < c \leq 1$ ,示例性地, $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ (NCM333)、 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ (NCM811)和 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ (NCM523)中的一种或多种。

[0155] 示例性地,橄榄石型磷酸盐活性材料的通式为 $\text{Li}_x\text{A}_y\text{Me}_a\text{M}_b\text{P}_{1-c}\text{X}_c\text{Y}_z$ ,其中, $0 \leq x \leq 1.3$ , $0 \leq y \leq 1.3$ ,且 $0.9 \leq x+y \leq 1.3$ ; $0.9 \leq a \leq 1.5$ , $0 \leq b \leq 0.5$ ,且 $0.9 \leq a+b \leq 1.5$ ; $0 \leq c \leq 0.5$ ; $3 \leq z \leq 5$ ;A包括Na、K、Mg中的一种或几种;Me包括Mn、Fe、Co、Ni中的一种或几种;M包括B、Mg、Al、Si、P、S、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Cd、Sn、Sb、Te、Ba、Ta、W、Yb、La、Ce中的一种或几种;X包括S、Si、Cl、B、C、N中的一种或几种;Y包括O、F中的一种或几种。具体地,橄榄石型磷酸盐活性材料包括 $\text{LiFePO}_4$ 、 $\text{LiMnPO}_4$ 、 $\text{LiNiPO}_4$ 和 $\text{LiCoPO}_4$ 中的一种或多种。

[0156] 示例性地,尖晶石结构的正极活性材料的通式为 $\text{Li}_x\text{A}_y\text{Mn}_a\text{M}_{2-a}\text{Y}_z$ ,其中, $0 \leq x \leq 2$ , $0 \leq y \leq 1$ ,且 $0.9 \leq x+y \leq 2$ ; $0.5 \leq a \leq 2$ ; $3 \leq z \leq 5$ ;A包括Na、K、Mg中的一种或几种;M包括Ni、Co、B、Mg、Al、Si、P、S、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Fe、Cu、Zn、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Cd、Sn、Sb、Te、Ba、Ta、W、Yb、La、Ce中的一种或几种;Y包括O、F中的一种或几种。具体地,尖晶石结构的正极活性材料包括 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 、 $\text{LiCr}_{0.3}\text{Mn}_{1.7}\text{O}_4$ 、 $\text{Li}_{1.1}\text{Al}_{0.1}\text{Mn}_{1.9}\text{O}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Mn}_2\text{O}_4$ 和 $\text{Li}_{1.5}\text{Mn}_2\text{O}_4$ 中的一种或多种。

[0157] 电池单体在充放电过程中会伴随活性离子例如Li的脱嵌及消耗,电池单体在放电到不同状态时Li的摩尔含量不同。本申请实施方式中关于正极活性材料的列举中,Li的摩尔含量为材料初始状态,即投料前状态,正极活性材料应用于电池体系中,经过充放电循环,Li的摩尔含量可能会发生变化。

[0158] 本申请实施方式中关于正极活性材料的列举中,氧O的摩尔含量仅为理论状态值,晶格释氧会导致氧O的摩尔含量发生变化,实际,氧O的摩尔含量会出现浮动。

[0159] 在一些实施方式中,正极活性材料层还可选地包括粘结剂。作为示例,粘结剂可以包括聚偏氟乙烯(PVDF)、聚四氟乙烯(PTFE)、偏氟乙烯-四氟乙烯-丙烯三元共聚物、偏氟乙烯-六氟丙烯-四氟乙烯三元共聚物、四氟乙烯-六氟丙烯共聚物及含氟丙烯酸酯树脂中的至少一种。

[0160] 在一些实施方式中,正极活性材料层还可选地包括导电剂。作为示例,导电剂可以包括超导碳、乙炔黑、炭黑、科琴黑、碳点、碳纳米管、石墨烯及碳纳米纤维中的至少一种。

[0161] 在一些实施方式中,可以通过以下方式制备正极极片:将上述用于制备正极极片的组分,例如正极活性材料、导电剂、粘结剂和任意其他的组分分散于溶剂(例如N-甲基吡咯烷酮)中,形成正极浆料;将正极浆料涂覆在正极集流体上,经烘干、冷压等工序后,即可得到正极极片。

[0162] [电解液]

[0163] 在一些实施方式中,电池单体还包括电解液。

[0164] 在电池单体充放电过程中,活性离子在正极极片和负极极片之间往返嵌入和脱出,电解液在正极极片和负极极片之间起到传导活性离子的作用。本申请实施方式对电解液的种类没有特别的限制,可根据实际需求进行选择。

[0165] 电解液包括电解质盐和溶剂。电解质盐和溶剂的种类不受具体的限制,可根据实际需求进行选择。

[0166] 当本申请的电池单体为锂离子电池时,作为示例,电解质盐可包括但不限于六氟磷酸锂( $\text{LiPF}_6$ )、四氟硼酸锂( $\text{LiBF}_4$ )、高氯酸锂( $\text{LiClO}_4$ )、六氟砷酸锂( $\text{LiAsF}_6$ )、双氟磺酰亚胺锂( $\text{LiFSI}$ )、双三氟甲磺酰亚胺锂( $\text{LiTFSI}$ )、三氟甲磺酸锂( $\text{LiTFS}$ )、二氟草酸硼酸锂( $\text{LiDFOB}$ )、二草酸硼酸锂( $\text{LiBOB}$ )、二氟磷酸锂( $\text{LiPO}_2\text{F}_2$ )、二氟二草酸磷酸锂( $\text{LiDFOP}$ )和四

氟草酸磷酸锂(LiTFOP)中的至少一种。

[0167] 当本申请的电池单体为钠离子电池时,作为示例,电解质盐可包括但不限于六氟磷酸钠( $\text{NaPF}_6$ )、四氟硼酸钠( $\text{NaBF}_4$ )、高氯酸钠( $\text{NaClO}_4$ )、六氟砷酸钠( $\text{NaAsF}_6$ )、双氟磺酰亚胺钠( $\text{NaFSI}$ )、双三氟甲磺酰亚胺钠( $\text{NaTFSI}$ )、三氟甲磺酸钠( $\text{NaTFS}$ )、二氟草酸硼酸钠( $\text{NaDFOB}$ )、二草酸硼酸钠( $\text{NaBOB}$ )、二氟磷酸钠( $\text{NaPO}_2\text{F}_2$ )、二氟二草酸磷酸钠( $\text{NaDFOP}$ )和四氟草酸磷酸钠( $\text{NaTFOP}$ )中的至少一种。

[0168] 作为示例,溶剂可包括但不限于碳酸乙烯酯(EC)、碳酸亚丙酯(PC)、碳酸甲乙酯(EMC)、碳酸二乙酯(DEC)、碳酸二甲酯(DMC)、碳酸二丙酯(DPC)、碳酸甲丙酯(MPC)、碳酸乙丙酯(EPC)、碳酸亚丁酯(BC)、氟代碳酸乙烯酯(FEC)、甲酸甲酯(MF)、乙酸甲酯(MA)、乙酸乙酯(EA)、乙酸丙酯(PA)、丙酸甲酯(MP)、丙酸乙酯(EP)、丙酸丙酯(PP)、丁酸甲酯(MB)、丁酸乙酯(EB)、1,4-丁内酯(GBL)、环丁砜(SF)、二甲砜(MSM)、甲乙砜(EMS)和二乙砜(ESE)中的至少一种。

[0169] 在一些实施方式中,电解液中还可选地包括添加剂。例如,添加剂可以包括负极成膜添加剂,也可以包括正极成膜添加剂,还可以包括能够改善电池某些性能的添加剂,例如改善电池过充性能的添加剂、改善电池高温性能的添加剂、改善电池低温功率性能的添加剂等。

[0170] [隔离膜]

[0171] 在一些实施方式中,电池单体还包括隔离膜。

[0172] 本申请对隔离膜的种类没有特别的限制,可以选用任意公知的具有良好的化学稳定性和机械稳定性的多孔结构隔离膜。

[0173] 在一些实施方式中,隔离膜的材质可包括玻璃纤维、无纺布、聚乙烯、聚丙烯及聚偏氟乙烯中的至少一种。隔离膜可以是单层薄膜,也可以是多层复合薄膜,没有特别限制。在隔离膜为多层复合薄膜时,各层的材料可以相同或不同,没有特别限制。

[0174] 在一些实施方式中,正极极片、隔离膜和负极极片可通过卷绕工艺和/或叠片工艺制成电极组件。

[0175] 如图4所示,电极组件52包括正极极片8、负极极片7和隔离膜9,其是通过卷绕工艺形成。

[0176] 在一些实施方式中,电池单体可包括外包装。该外包装可用于封装上述电极组件及电解液。

[0177] 在一些实施方式中,电池单体的外包装可以是硬壳,例如硬塑料壳、铝壳、钢壳等。电池单体的外包装也可以是软包,例如袋式软包。软包的材质可以是塑料,如聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)和聚丁二酸丁二醇酯(PBS)中的至少一种。

[0178] 本申请对电池单体的形状没有特别的限制,其可以是圆柱形、方形或其他任意的形状。如图5是作为一个示例的方形结构的电池单体5。

[0179] 在一些实施方式中,如图6所示,外包装可包括壳体51和盖板53。壳体51可包括底板和连接于底板上的侧板,底板和侧板围合形成容纳腔。壳体51具有与容纳腔连通的开口,盖板53用于盖设开口,以封闭容纳腔。正极极片、负极极片和隔离膜可经卷绕工艺和/或叠片工艺形成电极组件52。电极组件52封装于容纳腔。电解液浸润于电极组件52中。电池单体5所含电极组件52的数量可以为一个或多个,可根据需求来调节。

[0180] 本申请的电池单体的制备方法是公知的。在一些实施方式中,可将正极极片、隔离膜、负极极片和电解液组装形成电池单体。作为示例,可将正极极片、隔离膜、负极极片经卷绕工艺和/或叠片工艺形成电极组件,将电极组件置于外包装中,烘干后注入电解液,经过真空封装、静置、化成、整形等工序,得到电池单体。

[0181] 在本申请的一些实施方式中,根据本申请的电池单体可以组装成电池模块,电池模块所含电池单体的数量可以为多个,具体数量可根据电池模块的应用和容量来调节。

[0182] 图7是作为一个示例的电池模块4的示意图。如图7所示,在电池模块4中,多个电池单体5可以是沿电池模块4的长度方向依次排列设置。当然,也可以按照其他任意的方式进行排布。进一步可以通过紧固件将该多个电池单体5进行固定。

[0183] 可选地,电池模块4还可以包括具有容纳空间的外壳,多个电池单体5容纳于该容纳空间。

[0184] 在一些实施方式中,上述电池模块还可以组装成电池包,电池包所含电池模块的数量可以根据电池包的应用和容量进行调节。

[0185] 图8和图9是作为一个示例的电池包1的示意图。如图8和图9所示,在电池包1中可以包括电池箱和设置于电池箱中的多个电池模块4。电池箱包括上箱体2和下箱体3,上箱体2用于盖设下箱体3,并形成用于容纳电池模块4的封闭空间。多个电池模块4可以按照任意的方式排布于电池箱中。

[0186] 本申请实施方式的电池可以包括一个电池单体或多个电池单体,在电池包括多个电池单体的情况下,电池可以包括电池模块或者电池包。

[0187] 本申请实施方式第三方面提供一种用电装置,用电装置包括本申请的电池单体、电池模块或电池包中的至少一种。电池单体、电池模块或电池包可以用作用电装置的电源,也可以用作用电装置的能量存储单元。用电装置可以但不限于移动设备(例如手机、笔记本电脑等)、机动车辆(例如纯电动车、混合动力电动车、插电式混合动力电动车、电动自行车、电动踏板车、电动高尔夫球车、电动卡车等)、电气列车、船舶及卫星、储能系统等。

[0188] 用电装置可以根据其使用需求来选择电池单体、电池模块或电池包。

[0189] 图10是作为一个示例的用电装置6的示意图。该用电装置6为纯电动车、混合动力电动车、或插电式混合动力电动车等。为了满足该用电装置6对高功率和高能量密度的需求,可以采用电池包或电池模块。

[0190] 作为另一个示例的用电装置可以是手机、平板电脑、笔记本电脑等。该用电装置通常要求轻薄化,可以采用电池单体作为电源。

## 实施例

[0191] 下述实施方式更具体地描述了本申请公开的内容,这些实施方式仅仅用于阐述性说明,因为在本申请公开内容的范围内进行各种修改和变化对本领域技术人员来说是明显的。除非另有声明,以下实施方式中所报道的所有份、百分比和比值都是基于质量计,而且实施方式中使用的所有试剂都可商购获得或是按照常规方法进行合成获得,并且可直接使用而无需进一步处理,以及实施方式中使用的仪器均可商购获得。

[0192] 1、正极极片的制备

[0193] 采用厚度为12 $\mu\text{m}$ 的铝箔作为正极集流体。

[0194] 将正极活性材料 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ 、导电剂炭黑、粘结剂聚偏氟乙烯(PVDF)按重量比97.2:1.7:1.1在适量的溶剂N-甲基吡咯烷酮NMP中充分搅拌混合,形成均匀的正极浆料;将正极浆料均匀涂覆于正极集流体铝箔的表面上,经干燥、冷压后,得到正极极片。

[0195] 2、负极极片的制备

[0196] 2.1第二负极活性材料层的制备

[0197] 提供 $6\mu\text{m}$ 铜箔集流体;

[0198] 在铜箔集流体上设置负极底涂层,负极底涂层包括5%的丙烯酸树脂PAA和95%乙炔黑。

[0199] 将100纳米级硅单质颗粒、人造石墨、乙炔黑、丙烯酸树脂PAA以百分含量50%、40%、5%、5%比例搅拌混合均匀,得到底涂浆料;之后将底涂浆料通过挤压喷涂的方式均匀涂覆于负极底涂层上,之后经过烘干得到涂敷有第二负极活性材料层的基材。

[0200] 2.2负极极片的制备

[0201] 将人造石墨、乙炔黑、丙烯酸树脂PAA以百分含量97%、2%、1%比例搅拌混合均匀,得到第一区域的涂布负极浆料;

[0202] 将人造石墨、乙炔黑、丙烯酸树脂PAA以百分含量97%、2%、1%比例搅拌混合均匀,得到第二区域的涂布负极浆料;

[0203] 之后将上述两类浆料通过双层U型垫片die头,以挤压喷涂的方式均匀涂覆于基材具有第二负极活性材料层的表面上,之后经过烘干、冷压、分切,得到负极极片。

[0204] 3、隔离膜

[0205] 采用多孔聚丙烯膜作为隔离膜。

[0206] 4、电解液的制备

[0207] 在含水量小于10ppm的环境下,将有机溶剂碳酸乙烯酯(EC)和碳酸甲乙酯(EMC)按照体积比3:7混合均匀,加入12.5%  $\text{LiPF}_6$  锂盐溶解于有机溶剂中,搅拌均匀,得到电解液。

[0208] 5、电池单体的制备

[0209] 将上述正极极片、隔离膜、负极极片按顺序叠好,使隔离膜处于正极极片和负极极片之间起到隔离作用,然后卷绕得到电极组件;将电极组件置于外包装壳中,干燥后注入电解液,经过真空封装、静置、化成、整形等工序,得到锂离子电池。

[0210] 对比例1

[0211] 采用与实施例1相似的方法制备锂离子电池,与实施例1不同的是,负极极片的制备包括:

[0212] 提供 $6\mu\text{m}$ 铜箔集流体;

[0213] 在铜箔集流体上设置负极底涂层,负极底涂层包括5%的丙烯酸树脂PAA和95%乙炔黑。

[0214] 将人造石墨、乙炔黑、丙烯酸树脂PAA以百分含量97%、2%、1%比例搅拌混合均匀,得到负极浆料;

[0215] 将上述负极浆料以挤压喷涂的方式均匀涂覆于负极底涂层的表面上,之后经过烘干、冷压、分切,得到负极极片。

[0216] 实施例2-1至实施例2-3

[0217] 采用与实施例1相似的方法制备锂离子电池,与实施例1不同的是,调整了负极极

片中第二区域的压实密度。

[0218] 实施例3-1和实施例3-2

[0219] 采用与实施例1相似的方法制备锂离子电池,与实施例1不同的是,调整了负极极片中第二区域的形状,从而调整涂布克重。

[0220] 实施例4-1和实施例4-2

[0221] 采用与实施例1相似的方法制备锂离子电池,与实施例1不同的是,调整了负极极片中第二负极活性材料层中硅基材料的质量百分含量。

[0222] 实施例5-1和实施例5-2

[0223] 采用与实施例1相似的方法制备锂离子电池,与实施例1不同的是,调整了负极极片中第二负极活性材料层的涂布克重。

[0224] 实施例和对比例的相关参数如表1和表4所示。

[0225] 1、锂离子电池的循环容量保持率测试:

[0226] 在25℃下,将组装好的电池以1/3C充电至3.8 V,搁置30 min,再以1C放电至2.0 V。对同一个电池重复上述步骤,记录循环300次后的电池容量,300cyls循环后的容量/初始容量即为300cyls容量保持率。

[0227] 2、锂离子电池的常温快充性能测试:

[0228] 在25℃下,将电芯插入铜丝,制备成三电极电芯。首先用正极-铜丝20uA 2h,负极-铜丝20uA 2h镀锂作为参比电极检测负极电位。之后对电芯以1/3C满充,静置60min,后以1/3C放电到10%SOC,分别对电芯以3C、2C、1C、0.5C、0.2C、0.1C、0.05C进行充电,当负极电位到达0V后拆开电芯,观察负极界面,综合负极电位与界面情况确定最大快充倍率。对电芯满充后以1/3C放电到90%SOC,分别对电芯以3C、2C、1C、0.5C、0.2C、0.1C、0.05C进行充电,当负极电位到达0V后拆开电芯,观察负极界面,综合负极电位与界面情况确定最大快充倍率。

[0229] 测试结果如表1至表4所示。

表 1

项目	第一负极活性材料层的第一区域					
	碳基材料质量百分含量 (%)	硅基材料质量百分含量 (%)	导电剂质量百分含量 (%)	粘结剂质量百分含量 (%)	压实密度 A (g/cm <sup>3</sup> )	涂布克重 (g/cm <sup>2</sup> )
对比例 1	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 1	97	0	2	1	1.70	350.0
[0230] 实施例 2-1	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 2-2	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 2-3	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 3-1	97	0	2	1	1.70	358.3
实施例 3-2	97	0	2	1	1.70	345.8
实施例 4-1	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 4-2	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 5-1	97	0	2	1	1.70	350.0
实施例 5-2	97	0	2	1	1.70	350.0

表 2

项目	第一负极活性材料层的第二区域							
	碳基材料质量百分含量 (%)	硅基材料质量百分含量 (%)	导电剂质量百分含量 (%)	粘结剂质量百分含量 (%)	压实密度 B (g/cm <sup>3</sup> )	涂布克重 (g/cm <sup>2</sup> )	L1/L (%)	L2/L (%)
对比例 1	97	0	2	1	1.70	50.0	\	\
[0231] 实施例 1	97	0	2	1	1.36	50.0	70	50
实施例 2-1	97	0	2	1	1.445	50.0	70	50
实施例 2-2	97	0	2	1	1.53	50.0	70	50
实施例 2-3	97	0	2	1	1.615	50.0	70	50
实施例 3-1	97	0	2	1	1.36	41.7	70	30
实施例 3-2	97	0	2	1	1.36	54.2	60	70
实施例 4-1	97	0	2	1	1.36	50.0	70	50
实施例 4-2	97	0	2	1	1.36	50.0	70	50
实施例 5-1	97	0	2	1	1.36	50.0	70	50
实施例 5-2	97	0	2	1	1.36	50.0	70	50

表 4

项目	B/A	300cyls 容量保持率 (%)	10%SOC 最大快充倍率	90%SOC 最大快充倍率
对比例 1	1.00	78	1.10	0.22
[0232] 实施例 1	0.80	89	1.80	0.36
实施例 2-1	0.85	87	1.75	0.35
实施例 2-2	0.90	85	1.60	0.32
实施例 2-3	0.95	84	1.50	0.30
实施例 3-1	0.80	85	1.75	0.35
实施例 3-2	0.80	90	1.80	0.36
实施例 4-1	0.80	79	1.90	0.38
实施例 4-2	0.80	92	1.75	0.35
实施例 5-1	0.80	88	1.82	0.36
实施例 5-2	0.80	91	1.75	0.35

[0233] 由表1至表4可知,对比例1中第一区域和第二区域的压实密度相等,二者的组成相同,二者之间可能无明显界限,对比例1中负极膜层的边缘处的应力较小,中心位置的应力较大,位于负极膜层中心位置的负极活性材料的性能可能会恶化,其循环性能较差。

[0234] 而本申请实施例通过对负极膜层的压实密度进行差异化设置,位于边缘处的负极活性材料的压实密度相对较高,位于中心位置处的负极活性材料的压实密度相对较低,能够减缓位于中心位置处的负极活性材料的内应力问题,提升位于中心位置处的负极活性材料的反应活性,从而提升负极膜层整体结构的反应活性的均匀性,提升负极膜层整体结构的动力学性能,在负极极片应用于电池单体时能够改善电池单体的循环性能。

[0235] 尽管已经演示和描述了说明性实施例,本领域技术人员应该理解上述实施例不能被解释为对本申请的限制,并且可以在不脱离本申请的精神、原理及范围的情况下对实施例进行改变,替代和修改。

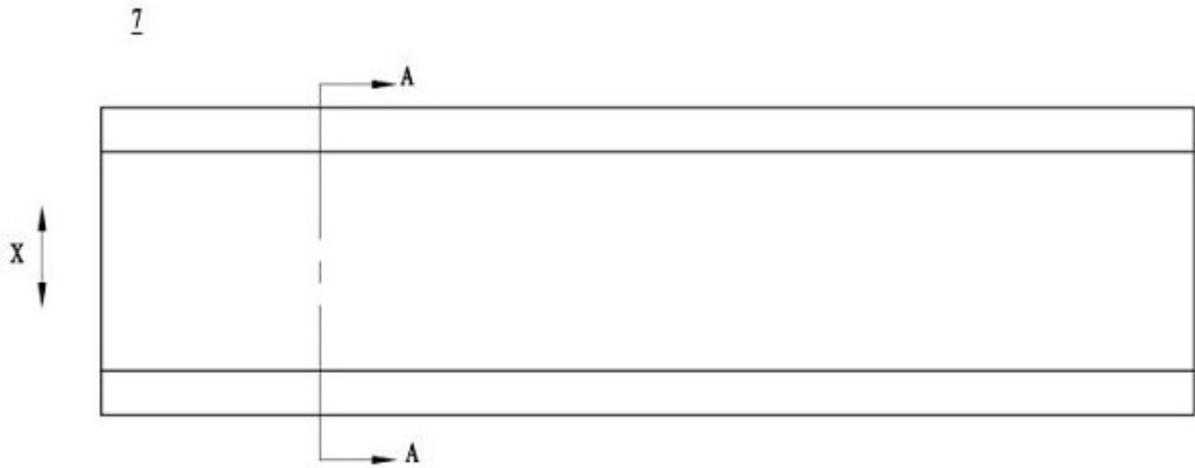


图 1

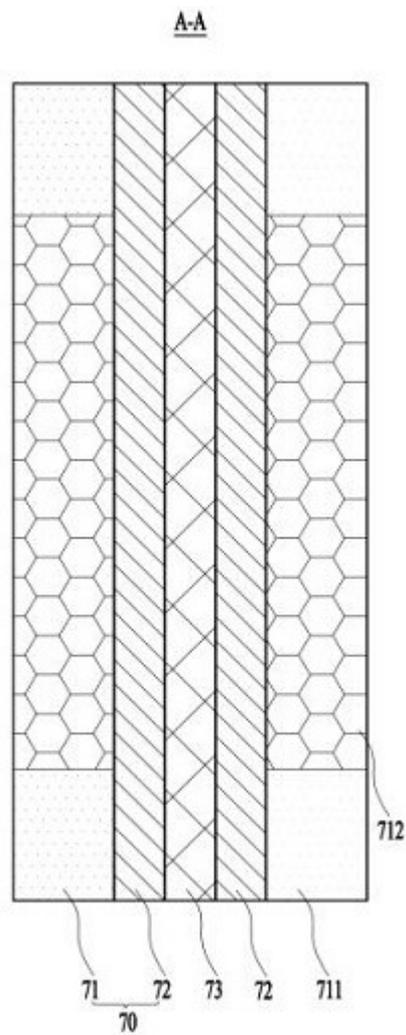


图 2

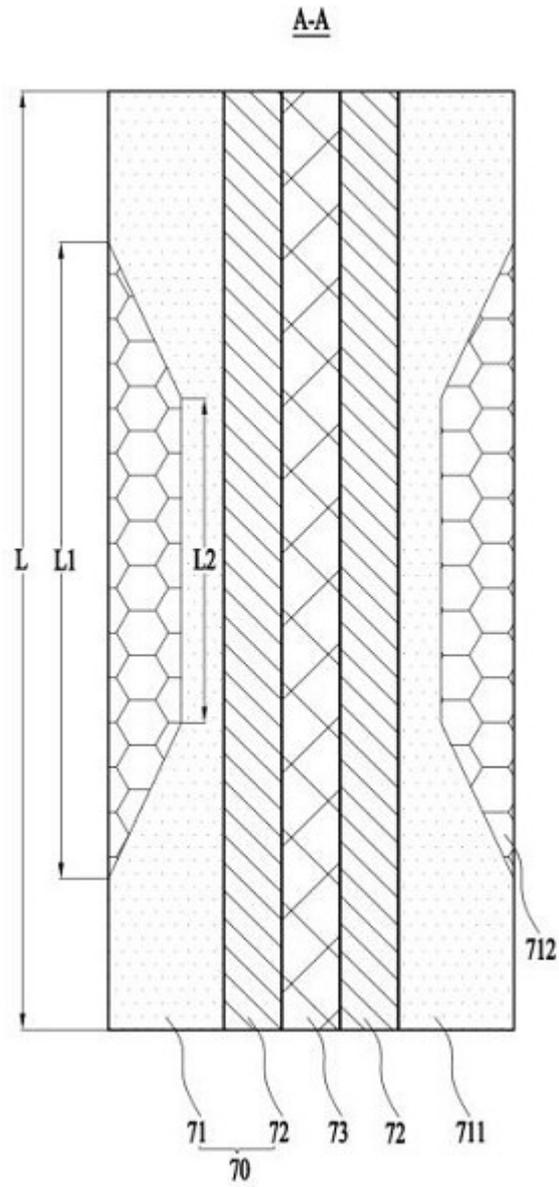


图 3

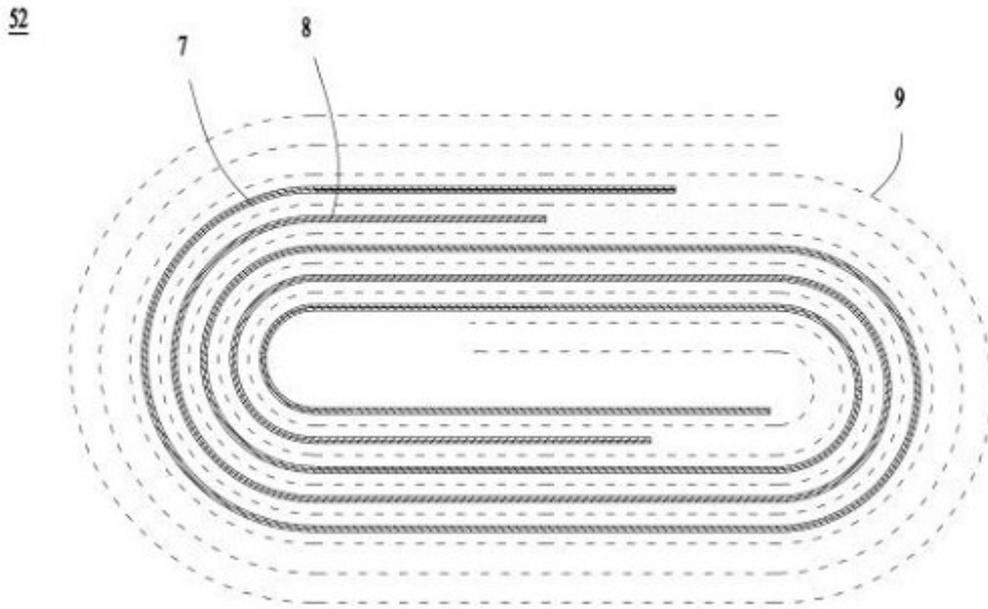


图 4

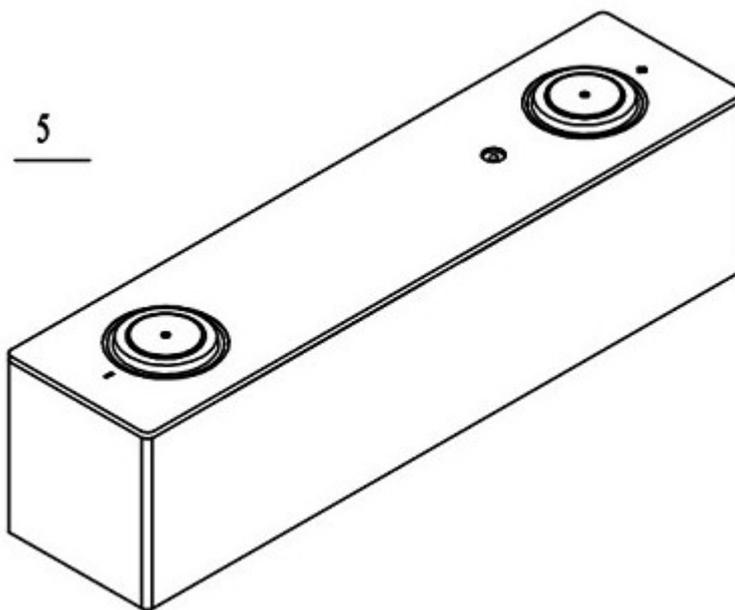


图 5

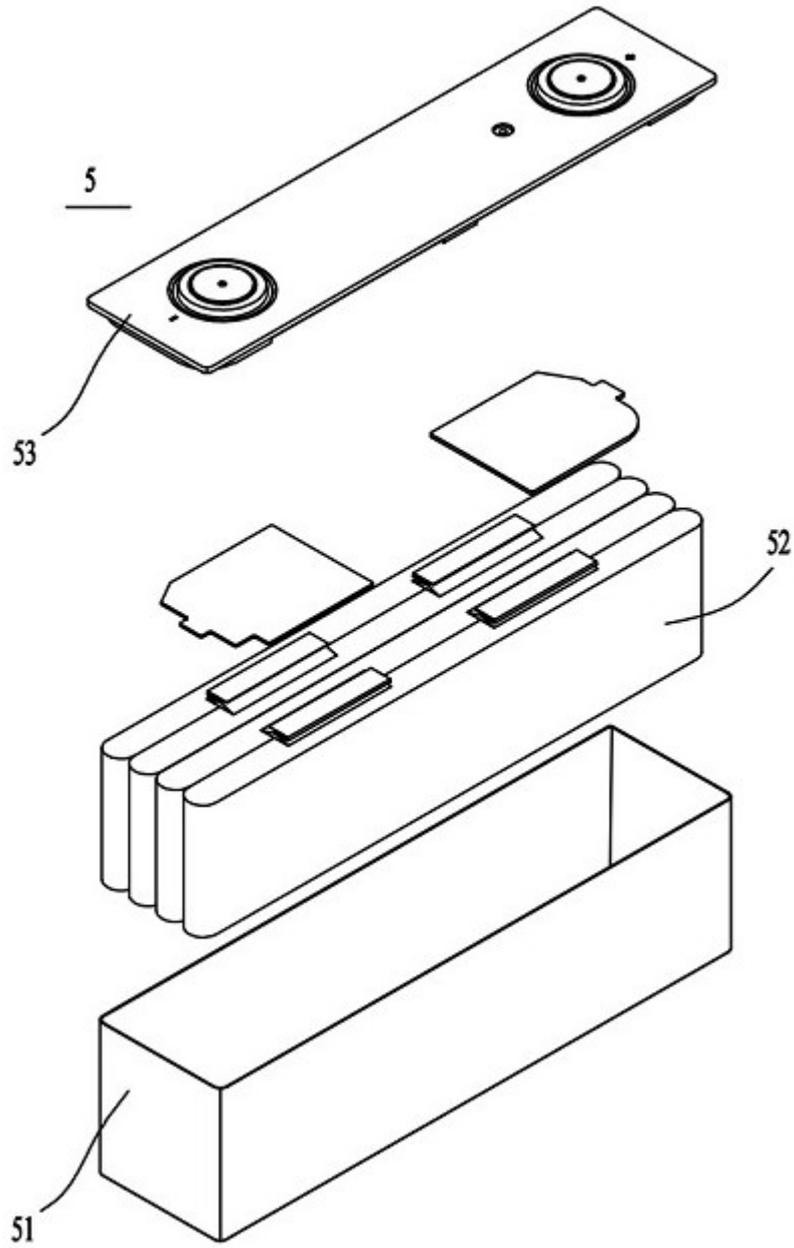


图 6

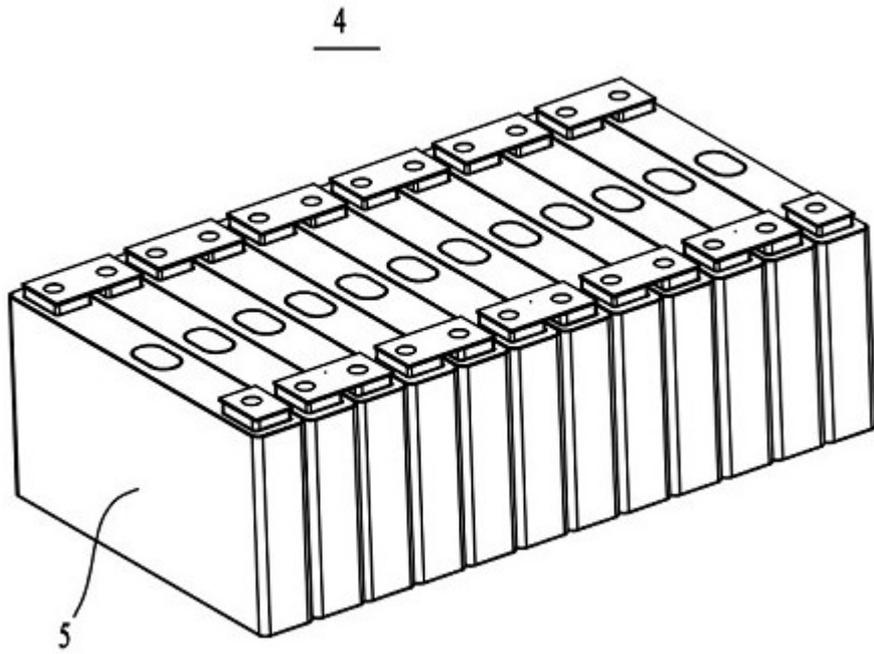


图 7

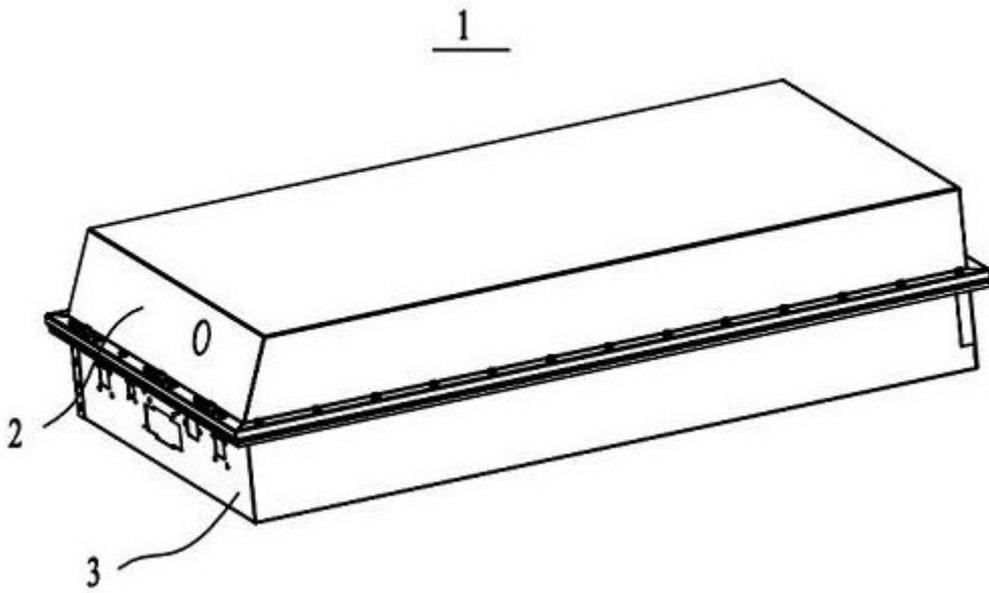


图 8

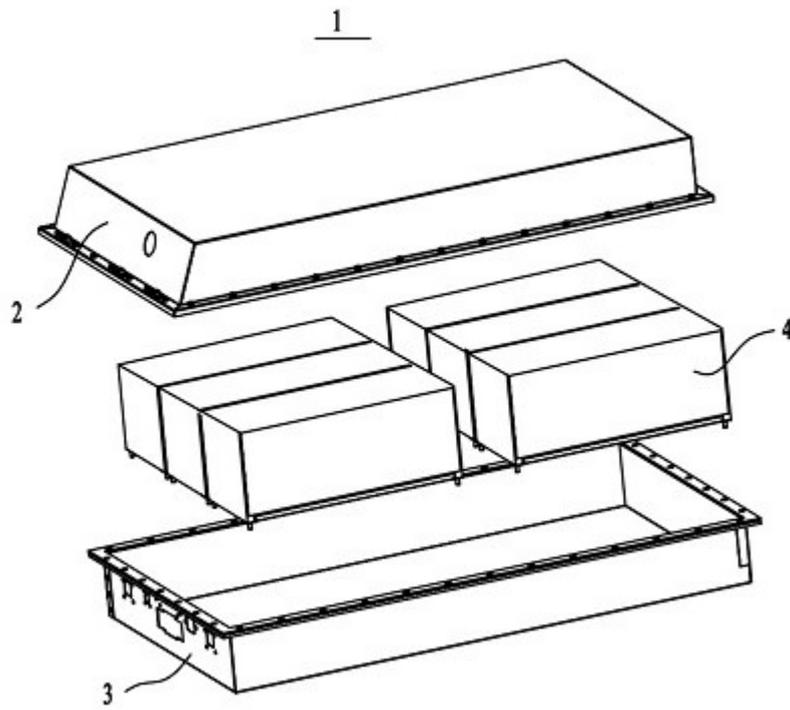


图 9

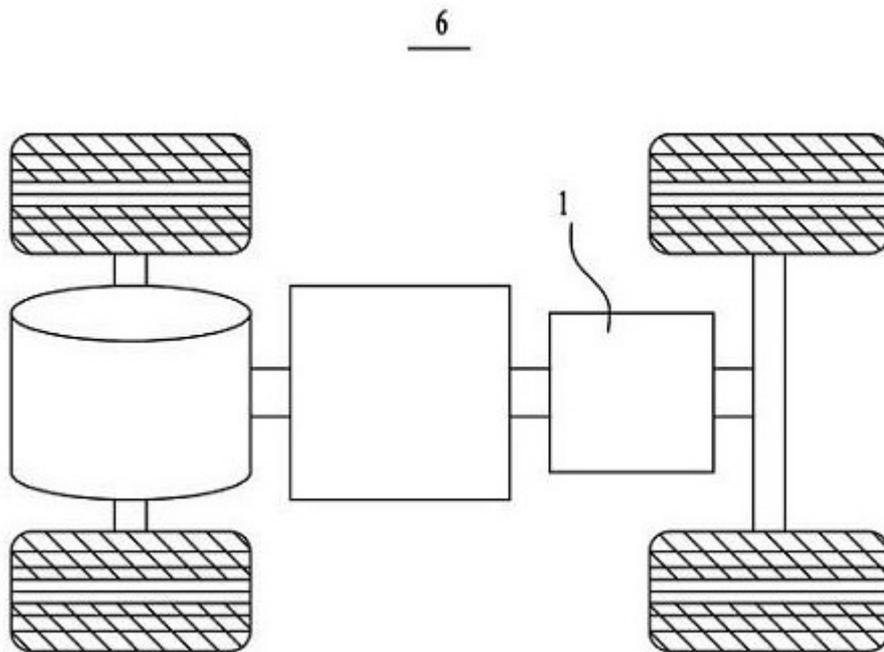


图 10