



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114784228 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 22

(21) 申请号 202210720589.7

(22) 申请日 2022.06.24

(71) 申请人 宁德新能源科技有限公司

地址 352100 福建省宁德市蕉城区漳湾镇  
新港路1号

(72) 发明人 黄雅雯 孔森 李磊 陈宇圣

(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 4/133 (2010.01)

H01M 10/0525 (2010.01)

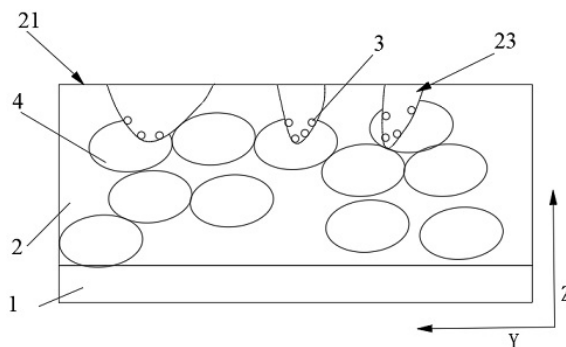
权利要求书1页 说明书14页 附图6页

(54) 发明名称

二次电池及电子装置

(57) 摘要

本申请提供了一种二次电池及电子装置,二次电池中的电极组件包括阳极极片,阳极极片包括阳极集流体和阳极活性材料层,阳极活性材料层包括石墨,石墨的结晶度 $L_c \geq 30\text{nm}$ 。阳极活性材料层包括具有远离阳极集流体的第一表面并设有贯穿第一表面的凹部。石墨的结晶度较高,有利于提高二次电池的能量密度。凹部不仅可以增加石墨中能够嵌入锂离子的活性位点,还能够形成锂离子扩散的通道,有助于锂离子在阳极极片中的扩散,缓解高结晶度石墨在充放电过程的析锂问题;也可以增加高结晶度石墨与电解液的反应位点,有利于使石墨表层形成的固体电解质界面膜更加致密,减少了石墨中嵌入溶剂,缓解了石墨片层的剥离,有利于缓解二次电池的循环衰减。



1. 一种二次电池,其特征在於,包括电极组件,所述电极组件包括阳极极片,所述阳极极片包括阳极集流体和设于所述阳极集流体上的阳极活性材料层;

所述阳极活性材料层包括阳极活性材料,所述阳极活性材料包括石墨,所述石墨的结晶度为 $L_c$  nm, $L_c \geq 30$ ;

所述阳极活性材料层具有远离所述阳极集流体的第一表面,所述阳极活性材料层设有贯穿所述第一表面的凹部。

2. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於, $L_c \leq 60$ 。

3. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部包括孔和/或槽。

4. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部的半径为 $R$   $\mu\text{m}$ ,所述石墨的颗粒中体积分布为10%、50%、90%的粒径分别为 $D_v10$   $\mu\text{m}$ 、 $D_v50$   $\mu\text{m}$ 、 $D_v90$   $\mu\text{m}$ , $(D_v50 - D_v10) \leq R \leq (D_v50 + D_v90)$ 。

5. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部的深度为 $H$   $\mu\text{m}$ ,所述阳极活性材料层的厚度为 $L_a$   $\mu\text{m}$ , $0.3L_c \leq H \leq 0.5L_a$ 。

6. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部的半径为 $R$   $\mu\text{m}$ , $10 \leq R \leq 60$ 。

7. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部的深度为 $H$   $\mu\text{m}$ , $5 \leq H \leq 40$ 。

8. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部的边缘部分凸出于所述第一表面的高度为 $h$   $\mu\text{m}$ , $3 \leq h \leq 10$ 。

9. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部在所述阳极活性材料层的厚度方向上的截面形状为V形。

10. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述凹部通过激光加工工艺形成。

11. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述阳极活性材料层还包括粘结剂。

12. 根据权利要求1所述的二次电池,其特征在於,所述电极组件还包括阴极极片和隔膜,所述阳极极片、所述隔膜和所述阴极极片层叠设置,所述第一表面与所述隔膜相接。

13. 一种电子装置,其特征在於,包括如权利要求1至12中任一项所述的二次电池。

## 二次电池及电子装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及电池技术领域,特别涉及一种二次电池及电子装置。

### 背景技术

[0002] 在电池技术的发展中,由于二次电池具备输出功率高、循环寿命长和环境污染小等优点,而被广泛应用。如何提高二次电池的能量密度以及获得更好的性能,一直是电池技术领域的工作人员的研究方向。

### 发明内容

[0003] 本申请提供一种二次电池及电子装置,该二次电池在提高能量密度的同时还能缓解穿梭离子析出和循环衰减的问题。

[0004] 为了实现上述目的,本申请采取了如下技术方案:

第一方面,本申请提供了一种二次电池,包括电极组件,电极组件包括阳极极片,阳极极片包括阳极集流体和设于阳极集流体上的阳极活性材料层;阳极活性材料层包括阳极活性材料,阳极活性材料包括石墨,石墨的结晶度为 $L_c$  nm, $L_c \geq 30$ ;阳极活性材料层具有远离阳极集流体的第一表面,阳极活性材料层设有贯穿第一表面的凹部。

[0005] 在上述技术方案中,由于结晶度较高的石墨具有首效高、容量高的性能,有利于提高阳极极片的能量密度,从而提高二次电池的能量密度;凹部不仅增加了石墨中能够嵌入锂离子的活性位点,还能够形成锂离子扩散的通道,有助于锂离子在阳极极片中的扩散,有利于缓解高结晶度石墨在充放电过程容易析锂问题;同时,凹部增加了高结晶度石墨与电解液的反应位点,有利于使高结晶度石墨表层形成的固体电解质界面膜更加致密,缓解了高结晶度石墨片层的剥离,有利于缓解阳极极片的循环衰减,从而有利于缓解二次电池的循环衰减。

[0006] 在本申请技术方案所提供的实施例中, $L_c \leq 60$ 。如此,可以使得石墨的结晶度不至于过高,从而改善循环容量保持率显著加速衰减的问题。

[0007] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部包括孔和/或槽。孔状结构便于在加工过程定位,凹部包括孔使得凹部在加工过程中定位精确,有利于实现对凹部的精确控制;槽状结构能够进行连续加工,具有较高的加工效率,凹部包括槽,能够实现凹部的连续加工,有利于提高凹部的加工效率。

[0008] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部的半径为 $R$   $\mu\text{m}$ ,石墨的颗粒中体积累计分布为10%、50%、90%的粒径分别为 $D_v 10\mu\text{m}$ 、 $D_v 50\mu\text{m}$ 、 $D_v 90\mu\text{m}$ , $(D_v 50 - D_v 10) \leq R \leq (D_v 50 + D_v 90)$ 。这使得能够在石墨颗粒上形成凹部,增大了石墨颗粒的表面积,不仅增加了石墨颗粒上锂离子能嵌入的活性位点,还增加了石墨颗粒与电解液的接触面积,从而增加了石墨颗粒与电解液的反应位点,有利于在石墨表层形成更为致密的固体电解质界面膜。

[0009] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部的深度为 $H$   $\mu\text{m}$ ,阳极活性材料层的厚度为 $L_a$   $\mu\text{m}$ , $0.3L_c \leq H \leq 0.5L_a$ ,使得凹部具有一定的深度,能够伸入墨片层,有利于离子和电

解液向阳极极片扩散,还减小了凹部的底部到达阳极集流体的可能,有利于降低对能量密度的影响以及维持阳极活性材料层与阳极集流体之间的粘接力,有利于减小阳极活性材料层从阳极集流体上脱落的可能。

[0010] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部的半径为 $R \mu\text{m}$ , $10 \leq R \leq 60$ 。凹部的半径大于等于 $10 \mu\text{m}$ 且小于等于 $60 \mu\text{m}$ ,使能够在石墨颗粒上形成凹部,以增大石墨颗粒的表面积。

[0011] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部的深度为 $H \mu\text{m}$ , $5 \leq H \leq 40$ ,凹部的半径大于等于 $5 \mu\text{m}$ 且小于等于 $40 \mu\text{m}$ ,使得凹部既能够有效对离子和电解液起到扩散作用,又能够减小对阳极活性材料层粘接力的影响,减小阳极活性材料层从阳极集流体上脱落的可能。

[0012] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部的边缘部分凸出于第一表面的高度为 $h \mu\text{m}$ , $3 \leq h \leq 10$ ,既能够使边缘部分起到增大接触面积的作用,又能够减小凹部对阳极活性材料层的第一表面的粗糙度的影响,降低对阴阳极界面的影响。

[0013] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部在阳极活性材料层的厚度方向上的截面形状为V形,使凹部呈锥形,便于加工,能够降低加工难度,有利于提高凹部的加工效率。

[0014] 在本申请技术方案所提供的实施例中,凹部通过激光加工工艺形成,激光加工工艺可以将阳极活性材料层上的材料消除形成凹部,使得凹部对于离子的扩散和电解液的扩散效果较好。

[0015] 在本申请技术方案所提供的实施例中,阳极活性材料层还包括粘结剂,不仅能够使阳极活性材料层能够粘接于阳极集流体上,还能够使阳极活性材料层中的石墨颗粒相互粘结成为一体。

[0016] 在本申请技术方案所提供的实施例中,电极组件还包括阴极极片和隔膜,阳极极片、隔膜和阴极极片层叠设置,第一表面与隔膜相接。使得凹部可以直接面对隔膜,有利于提升穿梭离子的穿梭效率以及提高电解液对于极片的浸润效果。

[0017] 第二方面,本申请提供了一种电子装置,该电子装置包括上述任一技术方案所提供的二次电池。

[0018] 本公开的实施例提供的技术方案至少带来以下有益效果:

本申请提供了一种二次电池,其中的电极组件包括阳极极片,阳极极片包括阳极集流体和阳极活性材料层,阳极活性材料层包括阳极活性材料,阳极活性材料包括石墨,石墨的结晶度 $L_c \geq 30\text{nm}$ ,石墨的结晶度较高,由于结晶度较高的石墨具有首效高、容量高的性能,有利于提高阳极极片的能量密度,从而提高二次电池的能量密度。阳极活性材料层包括远离阳极集流体的第一表面,阳极活性材料层上设有贯穿第一表面的凹部,凹部不仅增加了石墨中能够嵌入锂离子等穿梭离子的活性位点,还能够形成锂离子等穿梭离子的扩散通道,有助于锂离子等穿梭离子在阳极极片中的扩散,有利于缓解石墨在充放电过程的锂离子等穿梭离子析出的问题;同时,凹部增加了石墨与电解液的反应位点,有利于使石墨表层形成的固体电解质界面膜更加致密,减少了石墨中嵌入溶剂,缓解了石墨片层的剥离,有利于缓解阳极极片的循环衰减,从而有利于缓解二次电池的循环衰减。

[0019] 本申请提供了一种电子装置,该电子装置包括前述技术方案所提供的二次电池,由于二次电池不仅具有较高的能量密度,还能缓解穿梭离子析出和循环衰减的问题,有利

于提高该电子装置的用户体验。

[0020] 上述说明仅是本申请技术方案的概述,为了能够更清楚了解本申请的技术手段,而可依照说明书的内容予以实施,并且为了让本申请的上述和其它目的、特征和优点能够更明显易懂,以下特举本申请的具体实施方式。

### 附图说明

[0021] 通过阅读下文优选实施方式的详细描述,各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的,而并不认为是对本申请的限制。而且在整个附图中,用相同的参考符号表示相同的部件。在附图中:

图1为本申请一些实施例所提供的电极组件结构示意图;

图2为本申请一些实施例所提供的阳极极片的结构示意图;

图3为本申请一些实施例所提供的阳极活性材料层的结构示意图;

图4为本申请一些实施例所提供的凹部为孔时的阳极活性材料层的内部结构示意图;

图5为本申请一些实施例所提供的凹部为孔时的阳极活性材料层的俯视结构示意图;

图6为本申请一些实施例所提供的凹部为槽时的阳极活性材料层的内部结构示意图;

图7为本申请一些实施例所提供的凹部为槽时的阳极活性材料层的俯视结构示意图;

图8为本申请一些实施例所提供的凹部边缘部分的结构示意图;

图9为本申请一些实施例所提供的用电装置的结构示意图。

[0022] 图中:1、阳极集流体;2、阳极活性材料层;21、第一表面;22、第二表面;23、凹部;3、活性位点;4、石墨颗粒;5、阳极极片;6、阴极极片;7、阴极集流体;8、阴极活性材料层;9、隔膜;10、电极组件;101、阳极极耳;102、阴极极耳;2000、二次电池;3000、用电装置。

### 具体实施方式

[0023] 下面将结合附图对本申请技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本申请的技术方案,因此只作为示例,而不能以此来限制本申请的保护范围。

[0024] 需要注意的是,除非另有说明,本申请实施例使用的技术术语或者科学术语应当为本申请实施例所属领域技术人员所理解的通常意义。

[0025] 在本申请实施例的描述中,技术术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本申请实施例和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请实施例的限制。

[0026] 此外,技术术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。在本申请实施例的描述中,“多个”的含义

是两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0027] 在本申请实施例的描述中,除非另有明确的规定和限定,技术术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;也可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本申请实施例中的具体含义。

[0028] 在本申请实施例的描述中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0029] 目前,从市场形势的发展来看,电池的应用越加广泛。电池不仅被应用于水力、火力、风力和太阳能电站等储能电源系统,而且还被广泛应用于电动自行车、电动摩托车、电动汽车等电动交通工具,以及通讯设备、军事装备和航空航天等多个领域。随着电池应用领域的不断扩大,其市场的需求量也在不断地扩增。

[0030] 下面通过具体实施方式对本申请所提供的一种二次电池及电子装置的技术方案进行进一步说明。

[0031] 本申请一些实施例提供一种二次电池,如图1所示,该二次电池包括电极组件10,电极组件10包括阳极极片5,如图1和图2所示,阳极极片5包括阳极集流体1和设于阳极集流体1上的阳极活性材料层2;阳极活性材料层2包括阳极活性材料,阳极活性材料包括石墨,石墨的结晶度为 $L_c$  nm, $L_c \geq 30$ ;如图3所示,阳极活性材料层2包括远离阳极集流体1的第一表面21,阳极活性材料层2设有贯穿第一表面21的凹部23。

[0032] 二次电池可以单独作为电源,向外输出电能进行使用,也可以多个二次电池之间串联或并联或混联形成电池组,以电池组作为电源向外输出电能,混联是指多个二次电池中既有串联又有并联。二次电池可以是锂离子电池、锂硫电池、钠离子电池或镁离子电池,但不局限于此。锂离子电池可以指工作过程中主要依靠锂离子在阴极极片6和阳极极片5之间移动的二次电池,钠离子电池可以指工作过程中主要依靠钠离子在阴极极片6和阳极极片5之间移动的二次电池,镁离子电池可以指工作过程中主要依靠镁离子在阴极极片6和阳极极片5之间移动的二次电池。二次电池可以呈圆柱体、扁平体、长方体或其它形状等。下面以二次电池为锂离子电池为例,进行进一步说明。

[0033] 电极组件10作为二次电池中的重要组成部分,其中的阳极极片5包括阳极集流体1和设于阳极集流体1上的阳极活性材料层2,阳极活性材料层2可以是直接形成于阳极集流体1的表面上,也可以是阳极活性材料层2和阳极集流体1之间还设有其他功能层以实现预设功能。

[0034] 阳极活性材料层2可以将相应的材料通过涂布工艺涂敷于阳极集流体1上形成,未涂敷阳极活性材料层2的阳极集流体1凸出于已涂覆阳极活性材料层2的阳极集流体1,未涂敷阳极活性材料层2的阳极集流体1作为阳极极耳101。在一些实施例中,还可以通过将作为阳极极耳101的构件通过焊接等方式连接于阳极集流体上形成阳极极耳101。在本申请的一

些实施例中,阳极集流体1的材料可以为金属铜,铜经过加工呈铜箔以形成阳极集流体1。

[0035] 阳极活性物质材料包括的石墨是指石墨颗粒4,石墨化学性质稳定,耐腐蚀,耐酸碱,具有良好的导电性。在一些实施例中,石墨的结晶度为 $L_c$  nm, $L_c \geq 30$ ,结晶度大于等于30nm的石墨具有首效高、容量高的性能,有利于提高阳极极片5的能量密度,从而提高二次电池的能量密度。

[0036] 石墨的结晶度指的是石墨的墨片面沿与其垂直的轴线方向堆积墨片层的厚度。其中,石墨的结晶度可以通过X射线衍射仪进行测量和计算获得。利用X射线衍射仪测试石墨粉末的X射线衍射图谱,扫描 $5^\circ$ 至 $80^\circ$ , $20^\circ$ 至 $30^\circ$ 范围内的衍射峰(002)对应晶面,可得到衍射峰(002)对应的半高宽 $\beta_{002}$ ,半高宽 $\beta_{002}$ 即为衍射峰(002)高度最大处高度达到一半时谱带的全宽,石墨的结晶度 $L_c = K \times \lambda \div \beta_{002} \times \cos \theta_{002}$ ,其中, $K=0.089$ , $\lambda=1.54182 \text{ \AA}$ , $\theta_{002}$ 为衍射峰(002)对应的 $\theta$ 值, $\beta_{002}$ 为衍射峰(002)对应的半高宽。可选地,X射线衍射仪的制造厂商为德国Bruker,型号为D8 Advance。

[0037] 第一表面21为阳极活性材料层2自身结构上的表面,该表面远离阳极集流体1设置,设置于阳极活性材料层2上的凹部23贯穿第一表面21,使得凹部23远离阳极集流体1,当阳极极片5置于电解液中时,电解液能够从远离阳极集流体1的一侧通过凹部23与阳极活性材料更加充分的接触,凹部23增加了石墨与电解液的反应位点,有利于使石墨表层形成的固体电解质界面膜更加致密,减少了石墨中嵌入溶剂,缓解了石墨片层的剥离,有利于缓解阳极极片5的循环衰减,从而有利于缓解二次电池的循环衰减;凹部23不仅增加了石墨中能够嵌入锂离子等穿梭离子的活性位点3,还能够形成锂离子等穿梭离子的扩散通道,有助于锂离子等穿梭离子在阳极极片5中的扩散,有利于缓解石墨在充放电过程的锂离子等穿梭离子析出问题。此处的穿梭离子指的是二次电池在工作时,在阴极极片6和阳极极片5之间移动的金属离子,该金属离子在锂离子电池中是锂离子,在钠离子电池是钠离子,在镁离子电池中是镁离子。

[0038] 凹部23是指设置于阳极活性材料层2上的凹陷结构,其是阳极活性材料层2从靠近第一表面21的一侧向远离第一表面21的一侧凹陷形成的,需与现有技术中阳极活性材料层2上通过涂覆、辊压等工序后可能存在的不平整的地方区分开。此处的凹陷可以通过激光打孔、机械加工等方式去除材料的方式形成。

[0039] 凹部23通过去除材料的方式在阳极活性材料层2中形成,通过去除材料占用空间的方式在第一表面21外侧对阳极活性材料层2加工,使得凹部23为阳极活性材料层2内部的凹陷。

[0040] 在本申请的一些实施例中,阳极活性材料层2还包括粘结剂。粘结剂是指混合于形成阳极活性材料层2的材料中起到粘结作用的材料,其不仅能够使阳极活性材料层2能够粘接于阳极集流体1上,还能够使阳极活性材料层2中的石墨颗粒4相互粘结成为一体。

[0041] 在一些实施例中,阳极活性材料层2还包括增稠剂,增稠剂是指混合于形成阳极活性材料层2的材料中的一种材料,其用于提高物系度,使物系保持均匀的稳定的悬浮状态或乳浊状态,有利于阳极活性材料层2中各种材料的均匀分布。

[0042] 粘结剂包括丁苯橡胶,丁苯橡胶在阳极活性材料层2中的质量分数为1%,增稠剂包括羧甲基纤维素钠,羧甲基纤维素钠在阳极活性材料层2中的质量分数为1%,石墨在阳极活性材料层2中的质量分数为98%。

[0043] 在本申请的一些实施例中,凹部23通过激光加工工艺形成。由于激光具有能量,激光束与材料相互作用,能够对材料进行消除,以在阳极活性材料层2的第一表面21上形成凹部23,激光加工工艺不仅可以将阳极活性材料层2上的材料消除形成凹部23,使得凹部23对于离子的扩散和电解液的扩散效果较好,在去除加工部位的粘结剂的同时不会影响凹部23周围材料的粘接强度和压实密度。

[0044] 在本申请的一些实施例中,凹部23在阳极活性材料层2的厚度方向上的截面形状为V形。

[0045] 阳极活性材料层2的厚度方向指的是图3所示的Z方向。如图3所示,凹部23的截面形状呈V形是指凹部23呈锥形,凹部23在第一表面21的开口的面积大于凹部23的底部的面积,此类形状的凹部23便于加工,能够降低加工难度,有利于提高凹部23的加工效率。

[0046] 在本申请的一些实施例中, $L_c \leq 60$ 。也就是说, $L_c$ 的范围设置为 $30 \leq L_c \leq 60$ ,使得石墨的结晶度大于等于30nm而小于等于60nm。该范围内结晶度的石墨不仅具有首效高、容量高的特点,其结晶度也不至于过高,改善循环容量保持率加速衰减的问题。

[0047] 在本申请的一些实施例中,凹部23包括孔和/或槽。

[0048] 如图4和图5所示,孔为设置于阳极活性材料层2上的孔状结构,其横截面的形状可以为圆形、三角形、正方形或多边形,孔的横截面的形状还可以是其他不规则的闭合曲线,本领域技术人员可以根据实际情况设置孔的横截面的形状。由于孔便于在加工过程定位,凹部23包括孔,使凹部23在加工过程中定位精确,有利于实现对凹部的精确控制。可以理解的是,多个孔的直径可以设置为相同,也可设置为不同;多个孔的布置位置可以呈矩阵式排布、圆周阵列式等预设规则排布,也可以呈乱序排布,多个孔的排布方式本领域技术人员可以根据实际情况进行设置。

[0049] 如图6和图7所示槽为设置于阳极活性材料层2上的槽状结构,其具有沿着阳极活性材料层2的布置方向的长度,槽的截面形状可以为V字形、U字形,本领域技术人员可以根据实际情况设置槽的截面形状。由于槽能够实现连续加工,具有较高的加工效率,凹部23包括槽,能够实现凹部23的连续加工,有利于提高凹部23的加工效率。可以理解的是,槽的连续延伸方向可以为沿着阳极活性材料层2的长度方向布置,也可以为沿着阳极活性材料层2的宽度方向布置,阳极活性材料层2的长度方向如图7所示的X方向,阳极活性材料层2的宽度方向如图7所示的Y方向。可以理解的是,槽的连续延伸方向本领域技术人员可以根据实际情况进行设置。

[0050] 在本申请的一些实施例中,凹部23的半径为R  $\mu\text{m}$ ,石墨的颗粒中体积累计分布为10%、50%、90%的粒径分别为 $D_{v,10}$   $\mu\text{m}$ 、 $D_{v,50}$   $\mu\text{m}$ 、 $D_{v,90}$   $\mu\text{m}$ , $(D_{v,50}-D_{v,10}) \leq R \leq (D_{v,50}+D_{v,90})$ 。

[0051] 石墨的颗粒中体积累计分布为10%的粒径为 $D_{v,10}$   $\mu\text{m}$ ,是指粒径小于 $D_{v,10}$   $\mu\text{m}$ 的颗粒的体积含量占全部颗粒的体积含量的10%;石墨的颗粒中体积累计分布为50%的粒径为 $D_{v,50}$   $\mu\text{m}$ ,是指粒径小于 $D_{v,50}$   $\mu\text{m}$ 的颗粒的体积含量占全部颗粒的体积含量的50%;石墨的颗粒中体积累计分布为90%的粒径为 $D_{v,90}$   $\mu\text{m}$ ,是指粒径小于 $D_{v,90}$   $\mu\text{m}$ 的颗粒的体积含量占全部颗粒的体积含量的90%。

[0052] 凹部23的半径指的是与凹部23的面积等效的圆形的半径,也就是说,将凹部23在第一表面21处形成的图形的面积作为等效圆形的面积,等效圆形的面积计算出的等效圆形的半径即为凹部23的半径。当凹部23为孔时,先测量孔在第一表面21处形成的图形的面



积,利用测量得到的面积计算出的等效圆形的半径即为凹部23的半径。当凹部23为槽时,先测量槽在第一表面21处形成的图形的面积,利用测量得到的面积计算出的等效圆形的半径即为凹部23的半径。

[0053] 石墨的颗粒的粒径可以通过激光粒径测试仪测量获得,激光粒径测试仪的型号可以为马尔文2000,本领域技术人员可以根据实际情况选择合适的激光粒径测试仪的型号。

[0054] 凹部23在第一表面21处形成的图形的面积可以通过电荷耦合元件(CCD, Charge coupled Device)相机获取阳极极片5的第一表面21的图像,通过测量图像中凹部23的图像的面积来获取。

[0055] 满足条件  $(D_{v,50}-D_{v,10}) \leq R \leq (D_{v,50}+D_{v,90})$  使得凹部23能够在石墨颗粒4上形成凹部,增大了石墨颗粒4的表面积,不仅增加了石墨颗粒4上锂离子能嵌入的活性位点3,还增加了石墨颗粒4与电解液的接触面积,从而增加了石墨颗粒4与电解液的反应位点,有利于在石墨表层形成更为致密的固体电解质界面膜。

[0056] 在本申请的一些实施例中,凹部23的半径为R  $\mu\text{m}$ ,  $10 \leq R \leq 60$ 。凹部23的半径大于等于10 $\mu\text{m}$ 且小于等于60  $\mu\text{m}$ ,有利于使凹部23能够在石墨颗粒4上形成凹部,以增大石墨颗粒4的表面积。

[0057] 在本申请的一些实施例中,凹部23的深度为H  $\mu\text{m}$ ,阳极活性材料层2的厚度为 $L_a$   $\mu\text{m}$ ,  $0.3L_c \leq H \leq 0.5L_a$ 。

[0058] 如图3所示,凹部23的深度是指第一表面21到凹部23的底部的距离。

[0059] 凹部23的深度可以通过CCD相机对阳极极片5中阳极活性材料层2的第一表面21照射来获取,也可以利用扫描电子显微镜对阳极极片5厚度方向上的切片样本进行拍照,在扫描电子显微镜获得的图像中测量获得。本领域技术人员可以根据实际情况选择凹部23的深度的测量方法。

[0060] 阳极活性材料层2的厚度指的是阳极活性材料层2的第一表面21到阳极活性材料层2到靠近阳极集流体1的第二表面22的距离。第二表面22为阳极活性材料层2自身结构上的表面,其与第一表面21平行间隔设置,第二表面22相对于第二表面22靠近阳极集流体1设置,第一表面21和第二表面22之间形成包括阳极活性材料的阳极活性材料层2。

[0061] 阳极活性材料层2的厚度可以通过测量获得。利用万分尺测量阳极集流体1和其上的其他功能层的厚度,获得阳极集流体1的厚度为 $L_1$   $\mu\text{m}$ ,利用万分尺测量阳极集流体1涂覆阳极活性材料层2并干燥后的厚度,获得阳极极片5的厚度为 $L_2$   $\mu\text{m}$ ,则 $L_a = L_2 - L_1$ 。

[0062] 阳极活性材料层2的厚度还可以利用扫描电子显微镜对阳极极片5厚度方向上的切片样本进行拍照,在扫描电子显微镜获得的图像中测量获得。本领域技术人员可以根据实际情况选择阳极活性材料层2的厚度的测量方法。

[0063] H大于等于0.3 $L_c$ 使得凹部23具有一定的深度,能够伸入墨片层,有利于离子和电解液向阳极极片5扩散。H小于等于0.5 $L_a$ ,减小了凹部23的底部到达阳极集流体1的可能,有利于维持阳极活性材料层2与阳极集流体1之间的粘接力,有利于减小阳极活性材料层2从阳极集流体1上脱落的可能。

[0064] 在本申请的一些实施例中,凹部23的深度为H  $\mu\text{m}$ ,  $5 \leq H \leq 40$ 。

[0065] 凹部23的深度大于等于5  $\mu\text{m}$ 且小于等于40  $\mu\text{m}$ ,使得凹部23既能够有效对离子和电解液起到扩散作用,又能够减小对阳极活性材料层2粘接力的影响,减小阳极活性材料层

2从阳极集流体1上脱落的可能。

[0066] 在本申请的一些实施例中,凹部23的边缘部分凸出于第一表面21的高度为 $h \mu\text{m}$ , $3 \leq h \leq 10$ 。

[0067] 凹部23的边缘部分指的是凹部23在第一表面21上的开口处,如图8所示,在阳极活性材料层2上加工凹部23时,会对阳极活性材料层2造成一定影响,使凹部23的开口处的材料发生堆积,使其凸出于第一表面21,凹部23的边缘部分凸出于第一表面21,能够增强凹部23对接触面积的增大效果,有利于增加凹部23中形成的能嵌入锂离子的活性位点3和与电解液反应的反应位点。凹部23的边缘部分可以是在激光加工工艺加工凹部23时形成,由于激光具有一定的能量,熔融阳极活性材料层2时会使凹部23的开口处的材料发生堆积,使凹部23的边缘部分凸出于第一表面21,本领域技术人员可以通过调控激光的功率、照射时间来调整凹部23的边缘部分凸出于第一表面21的高度。

[0068] 凹部23的边缘部分凸出于第一表面21的高度大于等于 $3 \mu\text{m}$ 且小于等于 $10 \mu\text{m}$ ,既能够使边缘部分起到增大接触面积的作用,又能够减小凹部23对阳极活性材料层的第一表面21的粗糙度的影响,减小对正负极界面的影响。

[0069] 在本申请的一些实施例中,该二次电池中的电极组件10还包括阴极极片6和隔膜9,阳极极片5、隔膜9和阴极极片6层叠设置,第一表面21与隔膜9相接。

[0070] 阴极极片6包括阴极集流体7和阴极活性材料层8,阴极活性材料层8涂敷于阴极集流体7的表面,

阴极活性材料层8可以将相应的材料通过涂布工艺涂敷于阴极集流体7的表面形成,未涂敷阴极活性材料层8的阴极集流体7凸出于已涂覆阴极活性材料层8的阴极集流体7,未涂敷阴极活性材料层8的阴极集流体7可以作为阴极极耳102。在一些实施例中,还可以通过将作为阴极极耳102的构件通过焊接等方式连接于阴极集流体7上形成阴极极耳102。在本申请的一些实施例中,阴极集流体7的材料可以为金属铝,铝经过加工呈铝箔作为阴极极耳102的构件以形成阴极集流体7。

[0071] 阴极活性材料层8包括阴极活性物质、阴极粘结剂和导电剂。在一些实施例中,阴极活性物质包括氧化锂钴,氧化锂钴在阴极活性材料层8中的质量分数为97.6%。阴极粘结剂包括聚偏氟乙烯,聚偏氟乙烯在阴极活性材料层8中的质量分数为1.3%。导电剂包括导电炭黑,导电炭黑在阴极活性材料层8中的质量分数为1.1%。优选地,导电炭黑可以采用super p导电炭黑,其导电性好,具有适中的比表面积,加工性能优越,对电化学机理没有影响。

[0072] 隔膜9能够将阳极极片5与阴极极片6隔离,防止阴极极片6和阳极极片5接触短路。在本申请的一些实施例中,隔膜9为高粘接复合膜,既能将阳极极片5与阴极极片6隔离,又具有良好的粘接力,使阳极活性材料层2与隔膜9牢固连接。

[0073] 下面通过对比实验对本申请具体实施方式所提供的二次电池的有益效果进行进一步说明。

[0074] 将相关技术中未设置凹部23的阳极活性材料层2形成的阳极极片5组成的二次电池作为对比实验的对比例中的实验对象;将设置有凹部23的阳极活性材料层2形成的阳极极片5组成的二次电池作为对比实验的实施例中的实验对象。

[0075] 二次电池中阴极极片6的制作方法可以为,将氧化锂钴、聚偏氟乙烯、导电炭黑按照质量比97.6:1.3:1.1的比例置于N-甲基吡咯烷酮中充分搅拌混合,形成均匀的阴极浆

料;然后将阴极浆料涂覆在阴极集流体7的两个表面上形成均匀涂层,经烘干、冷压处理后,涂层形成阴极活性材料层8,然后在阴极集流体7焊接阴极极耳102,得到阴极极片6。

[0076] 二次电池中阳极极片5的制作方法可以为,将石墨、丁苯橡胶、羧甲基纤维素钠按照质量比98:1:1的比例置于去离子水中充分搅拌混合,形成均匀的阳极浆料;然后将阳极浆料涂覆于预先涂覆有底层涂层的阳极集流体1的两个表面上形成均匀涂层,经烘干、冷压后,涂层形成阳极活性材料层2,然后在阳极集流体1焊接阳极极耳101,得到阳极极片5。在采用的石墨的颗粒中 $D_{V10}=3.5$ 、 $D_{V50}=19.8$ 、 $D_{V90}=28.7$ ,根据公式 $(D_{V50}-D_{V10})\leq R\leq (D_{V50}+D_{V90})$ 计算可得,凹部23的半径的范围为 $16.3\leq R\leq 48.5$ 。使用万分尺测得的阳极集流体1的厚度为 $5\mu\text{m}$ ,涂布干燥后的阳极极片5厚度为 $150\mu\text{m}$ ,阳极活性材料层2的厚度为 $145\mu\text{m}$ 。根据公式 $0.3L_c\leq H\leq 0.5L_a$ ,计算凹部23的深度的范围为 $10.5\leq H\leq 75$ 。

[0077] 二次电池中隔膜9选用聚乙烯材质的单层膜作为隔膜9。

[0078] 将上述制备获得的阴极极片6、隔膜9、阳极极片5依次叠好,使隔膜9处于阴极极片6和阳极极片5中间起到隔离的作用,并卷绕得到电极组件10。将电极组件10装入二次电池的第一壳体中,将第二壳体扣合在第一壳体顶部,并在 $80^\circ\text{C}$ 下脱去水分,注入配置好的电解液中,再经过封装、静置、化成等工序即可得到二次电池。在一些实施例中,电解液可以由碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯、碳酸二乙酯按照质量比1:1:1的比例配置成,其中,六氟磷酸锂的浓度为 $1.15\text{mol/L}$ 。

[0079] 各对比例和实施例中的阳极极片5的差异如下:

对比例1

在本对比例中,采用结晶度为30nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23,利用该阳极极片5制成的二次电池作为实验对象。

[0080] 对比例2

在本对比例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

[0081] 对比例3

在本对比例中,采用结晶度为38nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

[0082] 对比例4

在本对比例中,采用结晶度为48nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

[0083] 对比例5

在本对比例中,采用结晶度为60nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

[0084] 对比例6

在本对比例中,采用结晶度为65nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

[0085] 对比例7

在本对比例中,采用结晶度为25nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上不设置凹部23。

**[0086] 对比例8**

在本对比例中,采用结晶度为25nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5上设置凹部23,凹部23的半径为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0087] 实施例1**

在本实施例中,采用结晶度为30nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23,凹部23的半径为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0088] 实施例2**

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23,凹部23的半径为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0089] 实施例3**

在本实施例中,采用结晶度为38nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23,凹部23的半径为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0090] 实施例4**

在本实施例中,采用结晶度为48nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0091] 实施例5**

在本实施例中,采用结晶度为60nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0092] 实施例6**

在本实施例中,采用结晶度为65nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为20 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0093] 实施例7**

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为15 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0094] 实施例8**

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为16.3 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0095] 实施例9**

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为25 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

**[0096] 实施例10**

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为28 $\mu\text{m}$ ,

凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0097] 实施例11

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为32 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0098] 实施例12

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为35 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0099] 实施例13

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为40 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0100] 实施例14

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为43 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0101] 实施例15

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为45 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0102] 实施例16

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为48.5 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0103] 实施例17

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为50 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为15 $\mu\text{m}$ 。

[0104] 实施例18

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为32 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为9 $\mu\text{m}$ 。

[0105] 实施例19

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为32 $\mu\text{m}$ ,凹部23的深度为10.5 $\mu\text{m}$ 。

[0106] 实施例20

在本实施例中,采用结晶度为35nm的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5,该阳

极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $25\mu\text{m}$ 。

[0107] 实施例21

在本实施例中，采用结晶度为 $35\text{nm}$ 的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5，该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $35\mu\text{m}$ 。

[0108] 实施例22

在本实施例中，采用结晶度为 $35\text{nm}$ 的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5，该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $45\mu\text{m}$ 。

[0109] 实施例23

在本实施例中，采用结晶度为 $35\text{nm}$ 的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5，该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $55\mu\text{m}$ 。

[0110] 实施例24

在本实施例中，采用结晶度为 $35\text{nm}$ 的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5，该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $75\mu\text{m}$ 。

[0111] 实施例25

在本实施例中，采用结晶度为 $35\text{nm}$ 的石墨作为阳极活性材料制作阳极极片5，该阳极极片5的阳极活性材料层2上设置凹部23。阳极活性材料层2上的凹部23的半径设为 $32\mu\text{m}$ ，凹部23的深度为 $80\mu\text{m}$ 。

[0112] 对上述对比例和实施例中的二次电池进行析锂界面比较和容量保持率测试。

[0113] 析锂界面的比较方法为：在测试环境温度为 $25^\circ\text{C}$ 下，对比例和实施例的二次电池均使用相同的充电流程循环充放电10次，再拆解二次电池对比观察阳极极片5，以观察得到的析锂界面情况。为了对析锂界面的析锂情况进行描述，现对析锂情况进行分级，通过操作人员肉眼观察，若阳极极片5的边沿或拐角位置出现断续的点状析锂，则判定阳极极片5出现轻微析锂；若阳极极片5的端部位置或边沿位置出现连续析锂，则判定阳极极片5出现析锂；若阳极极片5的主体出现大面积连续析锂，则判定阳极极片5出现严重析锂。

[0114] 表1为本申请对比实验中对比例和实施例中的二次电池的析锂情况和容量保持率的示例。

[0115] 表1

方案	结晶度 (nm)	凹部半径 ( $\mu\text{m}$ )	凹部深度 ( $\mu\text{m}$ )	析锂	容量保持率
对比例 1	30	0	0	析锂	78%
对比例 2	35	0	0	严重析锂	75%
对比例 3	38	0	0	严重析锂	70%
对比例 4	48	0	0	严重析锂	63%
对比例 5	60	0	0	严重析锂	56%
对比例 6	65	0	0	严重析锂	48%
对比例 7	25	0	0	不析锂	80%
对比例 8	25	20	15	不析锂	80%
实施例 1	30	20	15	轻微析锂	87%
实施例 2	35	20	15	轻微析锂	83%
实施例 3	38	20	15	轻微析锂	80%
实施例 4	48	20	15	轻微析锂	70%
实施例 5	60	20	15	析锂	63%
实施例 6	65	20	15	析锂	53%
实施例 7	35	15	15	析锂	76%
实施例 8	35	16.3	15	轻微析锂	82%
实施例 9	35	25	15	轻微析锂	87%
实施例 10	35	28	15	轻微析锂	88%
实施例 11	35	32	15	轻微析锂	90%
实施例 12	35	35	15	不析锂	93%
实施例 13	35	40	15	不析锂	93%
实施例 14	35	43	15	不析锂	92%
实施例 15	35	45	15	不析锂	92%
实施例 16	35	48.5	15	不析锂	90%
实施例 17	35	50	15	不析锂	87%
实施例 18	35	32	9	轻微析锂	88%
实施例 19	35	32	10.5	轻微析锂	90%
实施例 20	35	32	25	轻微析锂	93%
实施例 21	35	32	35	不析锂	94%
实施例 22	35	32	45	不析锂	92%
实施例 23	35	32	55	不析锂	92%
实施例 24	35	32	75	不析锂	91%
实施例 25	35	32	80	不析锂	89%

二次电池的容量保持率的计算方法为：在测试环境温度 $25^{\circ}\text{C}$ 下，对比例和实施例的二次电池均使用相同的充电流程循环充放电500次，再将二次电池循环充放电500次后的放电容量除以其在循环第1次充电流程时的放电容量以得到容量保持率。

[0116] 其中，充电流程的步骤如下：

S1、以2C的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直至二次电池的电压达到4.5V；

S2、以充电电压为4.5V对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到0.05C；

S3、将二次电池静置5分钟；

S4、以0.5C的放电倍率对二次电池进行恒流放电，直至二次电池的电压达到3.0V；

S5、将二次电池静置5分钟。

[0117] 执行完上述步骤即为完成一次充电流程。

[0118] 通过表1,将实施例1至实施例6和对比例1至对比例8的实验结果进行比较可知:本申请具体实施方式所提供的在阳极极片5上设置凹部23的技术方案,可以有效改善采用结晶度大于30nm的石墨制成的阳极极片5制成的二次电池的循环充电后的容量保持率,实施例1至实施例6中二次电池的析锂情况都得到了有效改善,这是由于凹部增加了高结晶度石墨与电解液的反应位点和锂离子的扩散通道,使得高结晶度石墨表层形成的固体电解质界面膜更加致密,缓解了溶剂嵌入高结晶度石墨导致石墨片层的剥离的问题,从而缓解了阳极极片的循环衰减,进而缓解了二次电池的循环衰减。而且进一步可以看出,当结晶度不大于60nm时,改善效果更好。

[0119] 对比实施例4至14可知,当满足 $(D_{v,50}-D_{v,10}) \leq R \leq (D_{v,50}+D_{v,90})$ 时,可以降低析锂的风险并获得较好的容量保持率,且可以降低活性材料的损失。此范围保证了凹部在单个石墨颗粒上尽可能创造更多的活性位点,增加了表层石墨颗粒的比表面积,从而增加了石墨与电解液的反应位点,有利于的锂离子的嵌入和脱出,有效改善所制备的二次电池的析锂和循环性能。

[0120] 对比实施例15至22可知,当满足 $0.3L_c \leq H \leq 0.5L_a$ 时,可以有效促进电解液浸润,进一步增加石墨颗粒与电解液的接触面积,有利于所制成的二次电池充放电过程中的脱嵌锂过程的进行。

[0121] 如图9所示,本申请实施例还提供一种使用二次电池2000作为电源的电子装置3000,电子装置3000可以是手机、便携式设备、笔记本电脑、电动玩具和电动工具等等。电动工具包括金属切削电动工具、清洁工具等,例如,电钻、电动扳手、吸尘器、扫地机器人等等。本申请实施例对上述电子装置3000不做特殊限制。

[0122] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围,其均应涵盖在本申请的权利要求和说明书的范围当中。尤其是,只要不存在结构冲突,各个实施例中所提到的各项技术特征均可以任意方式组合起来。本申请并不局限于文中公开的特定实施例,而是包括落入权利要求的范围内的所有技术方案。



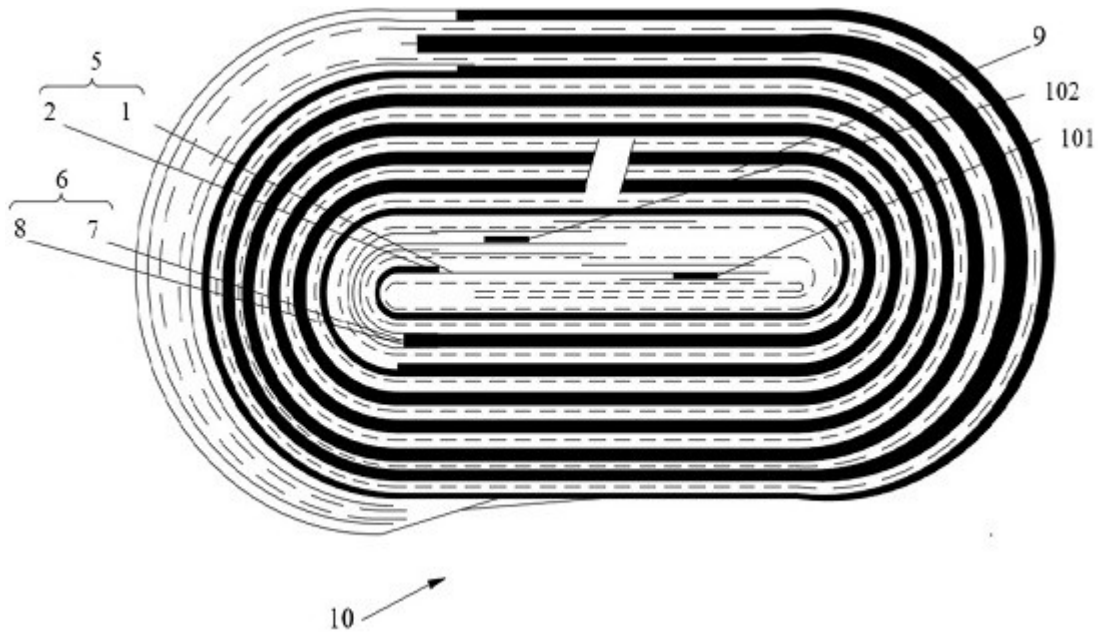


图1

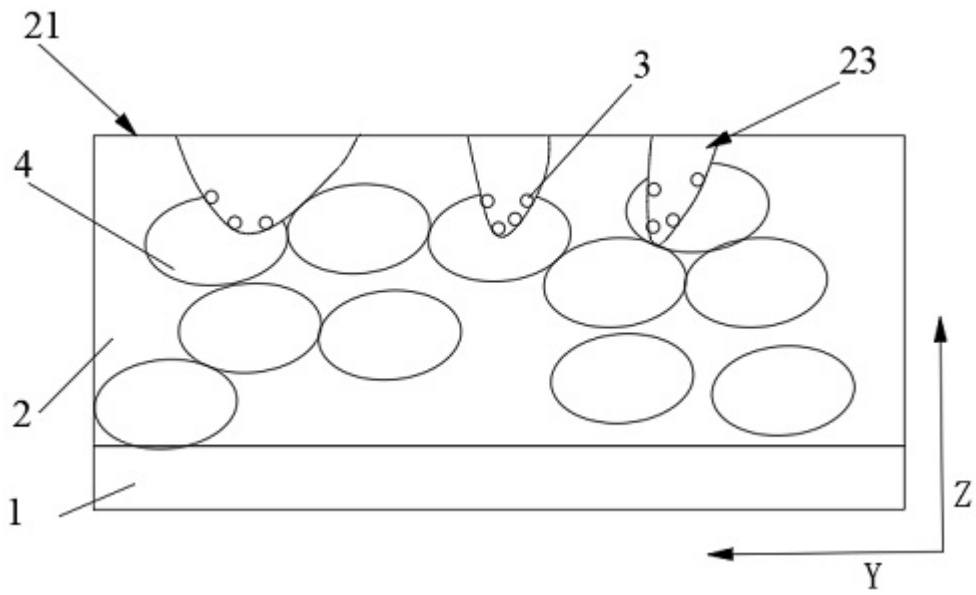


图2

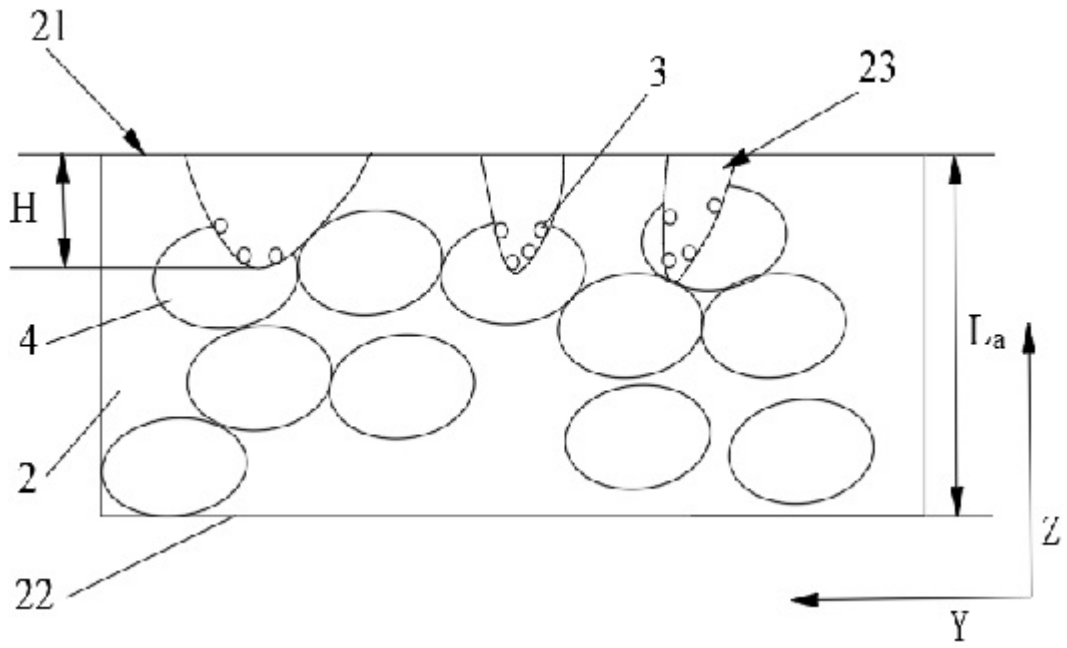


图3

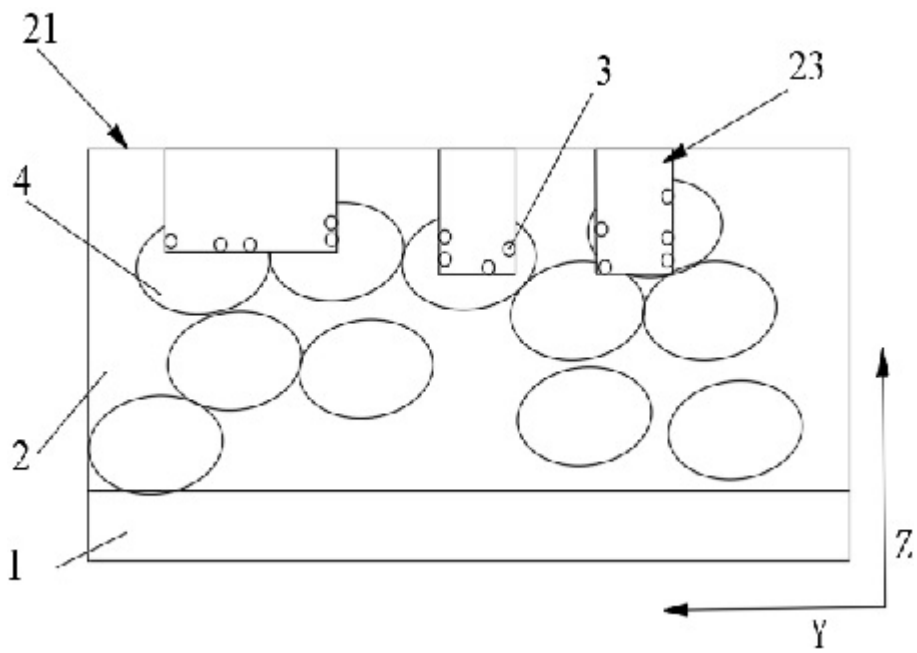


图4

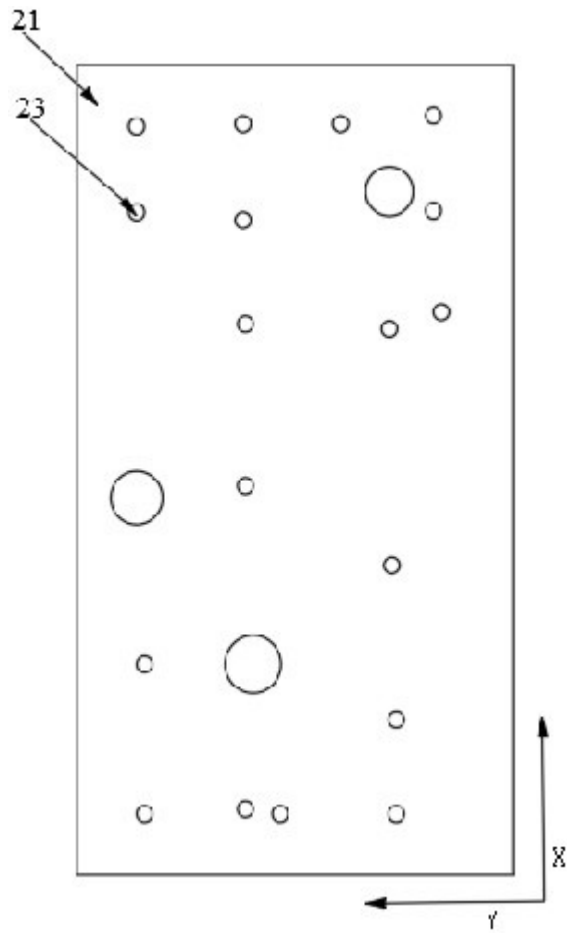


图5

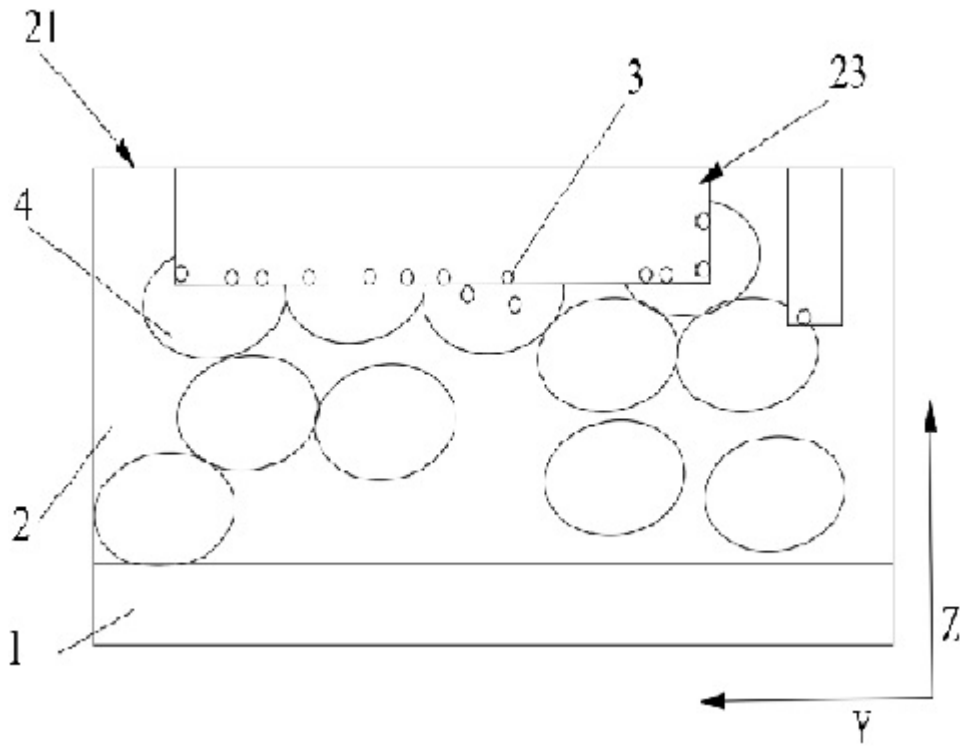


图6

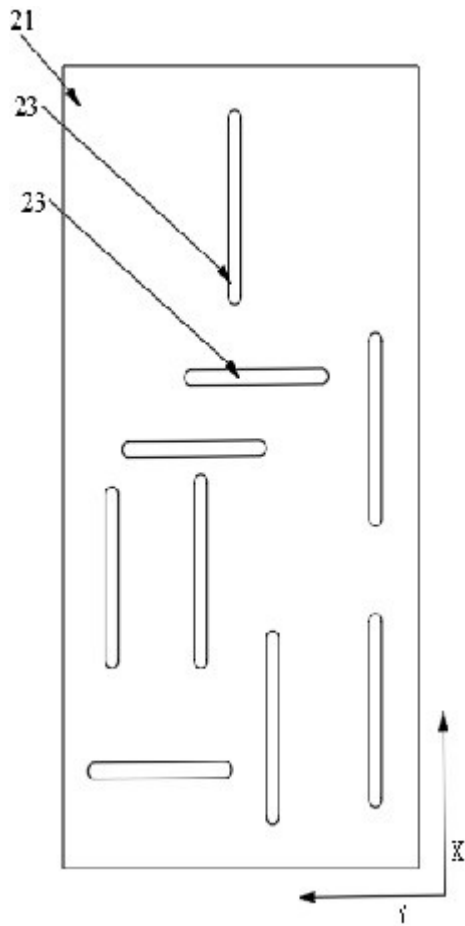


图7

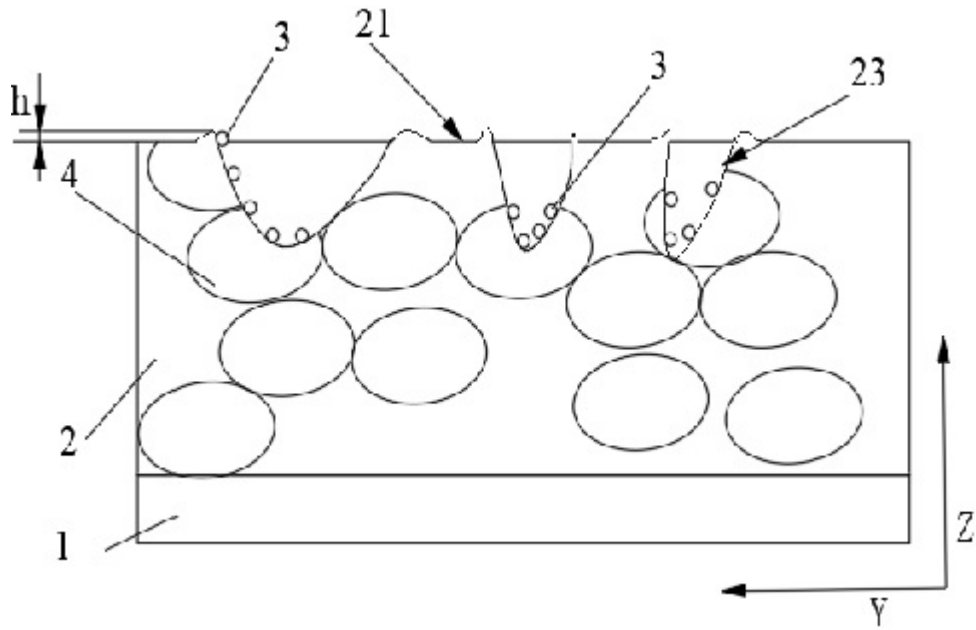


图8

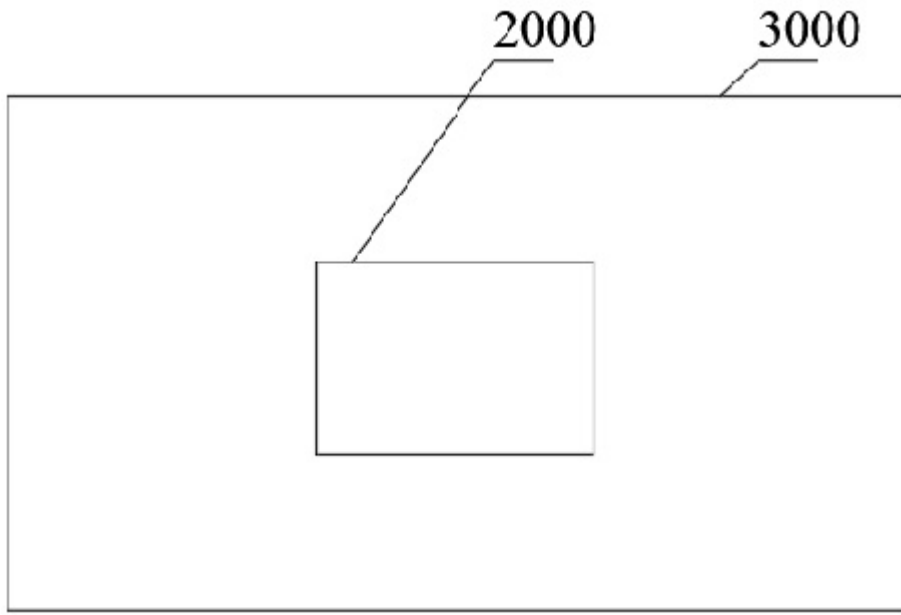


图9