

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 2 月 29 日 (29.02.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/040435 A1

(51) 国际专利分类号:
H01M 4/62 (2006.01) H01M 10/0525 (2010.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/114270

(22) 国际申请日: 2022 年 8 月 23 日 (23.08.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 宁德新能源科技有限公司 (NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED) [CN/CN]; 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路 1 号, Fujian 352100 (CN)。

(72) 发明人: 刘奥 (LIU, Ao); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路 1 号, Fujian 352100 (CN)。

(74) 代理人: 北京东方亿思知识产权代理有限公司 (BEIJING EAST IP LTD.); 中国北京市东

城区东长安街 1 号东方广场东方经贸城东 2 座 1601 室, Beijing 100738 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,

(54) Title: SECONDARY BATTERY, ELECTRONIC DEVICE, AND METHOD FOR PREPARING SECONDARY BATTERY

(54) 发明名称: 二次电池、电子装置及二次电池的制备方法

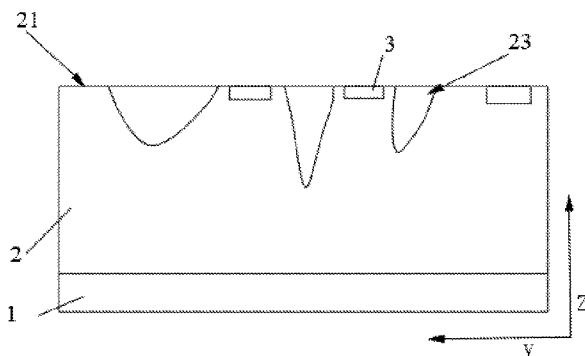


图 2

(57) Abstract: A secondary battery, an electronic device, and a method for preparing a secondary battery. An electrode assembly (10) of the secondary battery comprises an anode sheet (5); the anode sheet (5) comprises an anode current collector (1) and an anode active material layer (2); and the anode active material layer (2) comprises an anode active material. A first surface (21) of the anode active material layer (2) is treated by means of a lithium supplementing process, such that active lithium can be formed when the anode sheet is formed to supplement the irreversible capacity of the first charge and discharge, thereby improving the initial Coulombic efficiency and the battery capacity retention rate of the battery, and improving the discharging performance of the battery. Recesses (23) provided on the first surface (21) can be used as transport channels for lithium ions, such that the diffusion speed of the lithium ions can be increased, the time for standing and supplementing lithium can be shortened, side reactions occurring during standing and lithium supplementing are reduced, the problem of non-uniform lithium ion concentration in the thickness direction of the anode active material layer can be relieved, the reaction inside the anode active material layer is accelerated, and the lithium supplementing material reacts more fully.

(57) 摘要: 一种二次电池、电子装置及二次电池的制备方法, 其中, 二次电池的电极组件 (10) 包括阳极



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

一 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

极片(5)，阳极极片(5)包括阳极集流体(1)和阳极活性材料层(2)，阳极活性材料层(2)包括阳极活性材料，阳极活性材料层(2)的第一表面(21)进行了补锂工艺处理，在阳极极片化成时会形成活性锂，补充首次充放电的不可逆容量，有利于提升电池的首次库伦效率和电池容量保持率，从而提高电池的放电性能。第一表面(21)上设置的凹部(23)能够作为锂离子的传输通道，不仅能增大锂离子扩散的速度，有利于缩短静置补锂的用时，减少静置补锂时发生的副反应，还能缓解阳极活性材料层厚度方向上锂离子浓度不均的问题，加速了阳极活性材料层内部的反应，使补锂材料反应得更加充分。

二次电池、电子装置及二次电池的制备方法

5 技术领域

本申请涉及储能技术领域，特别涉及一种二次电池、电子装置及二次电池的制备方法。

背景技术

10 二次电池，是指在电池放电后可通过充电的方式使活性材料激活而继续使用的电池。二次电池广泛用于电子装置，例如手机、笔记本电脑等等。

在电池技术的发展中，由于锂离子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。如何改善二次电池的加工性能以及获得更好的性能，一直是储能技术领域的工作人员的研究方向。

15

发明内容

本申请提供一种二次电池、用电装置及二次电池的制备方法，该二次电池能够在提高放电性能的同时缩短加工用时，有利于提高加工效率。

20 第一方面，本申请提出了一种二次电池，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；阳极活性材料层具有远离阳极集流体的第一表面，阳极活性材料层设有从第一表面朝向阳极集流体凹陷的凹部，第一表面进行了补锂工艺处理。

25 由于阳极活性材料层的第一表面进行了补锂工艺处理，会在阳极极片化成时会形成活性锂，补充首次充放电的不可逆容量，有利于提升电池的首次库伦效率和电池容量保持率，从而提高电池的放电性能。第一表面上贯穿设置的凹部能够作为锂离子的传输通道，不仅能增大锂离子扩散的速度，有利于缩短静置补锂的用时，减少静置补锂时发生的副反应，还能缓解阳极活性材料层厚度方向上锂离子浓度不均的问题，加速了阳极活性材料层内部的反应，使补锂材料反应得更加充分。

在本申请提供的一个实施例中，凹部包括孔和/或槽。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；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。

在本申请提供的一个实施例中，阳极活性材料层设有多个凹部，凹部的半径为 $R \mu\text{m}$ ，凹部的深度为 $H \mu\text{m}$ ，相邻两个凹部之间的距离为 $L \mu\text{m}$ ，定义 $A=L/(R \times H)$ ， $0.20 \leq A \leq 5.00$ ，凹部的参数 A 大于等于 0.2 且小于等于 5，使得凹部不仅便于加工，而且能够使得凹部具有足够的扩散锂离子的能力。

在本申请提供的一个实施例中， $0.20 \leq A \leq 3.50$ ，有利于进一步提高凹部对锂离子的扩散能力。

在本申请提供的一个实施例中，凹部的半径为 $R \mu\text{m}$ ， $10 \leq R \leq 50$ ，此尺寸范围的凹部作为锂离子传输通道，能够提高锂离子的传输效率，缩短静置补锂时间，还能够减小凹部对第一表面的影响，以维持第一表面原有的形貌，减小对阳极活性材料层电化学性能的不利影响。

在本申请提供的一个实施例中， $30 \leq R \leq 50$ ，能够在减小凹部对第一表面的影响的基础上，维持第一表面原有的形貌的基础上，进一步提高锂离子的传输效率，取得的缩短静置补锂时间的效果更加显著。

在本申请提供的一个实施例中，凹部的深度为 $H \mu\text{m}$ ， $8 \leq H \leq 30$ ，凹部既能够有效对离子起到扩散作用，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。

在本申请提供的一个实施例中， $15 \leq H \leq 30$ ，使得凹部在尽可能减小对阳极活性材料层粘接力的影响的同时，还能对离子起到有效扩散作用。

在本申请提供的一个实施例中，阳极活性材料层设有多个凹部，相邻两个凹部之间的距离为 $L \mu\text{m}$ ， $50 \leq L \leq 300$ ，使得多个凹部具有足够的扩散锂离子的能力，能够使阳极活性材料层的第一表面上的补锂工艺产生的锂离子快速且充分地扩散至阳极活性材料层内部。

在本申请提供的一个实施例中， $50 \leq L \leq 150$ ，多个凹部在阳极活性材料层上的分布间隔处于预设范围内，进一步使得多个凹部具有足够的扩散锂离子的能力。

在本申请提供的一个实施例中，阳极活性材料层具有显露于第一表面的并沿第一方向延伸的条纹部，在垂直于条纹部延伸方向的方向上，条纹部的宽度为 0.1 mm 至 2.0 mm，此宽度范围便于补锂工艺过程中对金属锂箔处理，有利于通过金属锂箔加工形成条纹部降低加工难度；和/或条纹部的厚度为 0.04 μm 至 0.50 μm ，此厚度范围由补锂工艺过程中金属锂的副反应控制。

在本申请提供的一个实施例中，阳极活性材料层还包括显露于第一表面的锂化合物，锂化合物包括碳酸锂、氧化锂中的至少一种，第一表面上具有锂化合物，有利于提升阳极极片的表面电阻，减小二次电池的短路电流，有利于降低阳极极片发生短路导致的热失控的风险。

10 在本申请提供的一个实施例中，阳极极片还包括设于第一表面的导电层，导电层包括导电剂和粘结剂，在阳极活性材料层的第一表面上设置导电层，有利于提高阳极活性材料层的导电能力以及加快补锂过程中锂离子进入阳极活性材料的速度进而提高补锂效率。

15 在本申请提供的一个实施例中，导电层的厚度为 $B \mu\text{m}$ ， $0.5 \leq B \leq 8.0$ ，不仅使得导电层具有良好的导电能力，还能减少导电层对阳极极片厚度尺寸的占用。

在本申请提供的一个实施例中，导电层的孔隙率为 C ， $30\% \leq C \leq 60\%$ ，使得导电层为多孔结构，有利于提高导电层的导电能力。

在本申请提供的一个实施例中，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效果较好。

20 在本申请提供的一个实施例中，凹部的截面形状为 V 形，使得凹部呈锥形，凹部在第一表面的开口的面积大于凹部的底部的面积，此类形状的凹部不仅便于加工，能够降低加工难度，有利于提高凹部的加工效率。

25 在本申请提供的一个实施例中，凹部的边缘部分凸出于第一表面的高度为 $h \mu\text{m}$ ， $3 \leq h \leq 10$ ，不仅增大了扩散通道的扩散面积，有利于提高凹部对锂离子的扩散作用，还能够增大阳极活性材料层与电解液反应的接触面积，有利于增大阳极活性材料层与电解液反应的反应位点，有利于提高二次电池的放电倍率性能；此外 h 不至于过大，影响阴阳极片之间的界面接触。

在本申请提供的一个实施例中，阳极活性材料包括碳材料、硅材料、锡材料中的至少一种。这些材料化学性质稳定，耐腐蚀，耐酸碱，具有良好的导电性，有利于提高阳极极片的电化学性能。

5 在本申请提供的一个实施例中，电极组件还包括阴极极片和隔膜，阴极极片、隔膜和阳极极片层叠设置，第一表面与隔膜相接，隔膜能够将阳极极片与阴极极片隔离，防止阴极极片和阳极极片接触短路，也有利于隔膜将电解液通过凹部直接传输到阳极极片内部，以及有利于从阴极脱出的锂离子穿过隔膜后直接通过凹部进入到阳极活性材料层内部。

第二方面，本申请提供一种电子装置，包括上述任一技术方案所提供的二次电池。

10 第三方面，本申请提供了一种二次电池的制备方法，该制备方法包括：将阳极活性材料和阳极粘结剂按照预设比例制成阳极浆料；将阳极浆料设置于阳极集流体上以形成阳极活性材料层，并获得阳极极片；在阳极活性材料层上形成凹部，阳极活性材料层具有远离阳极集流体的第一表面，凹部贯穿第一表面；在第一表面上设置补锂材料；将阳极极片组装成电极组件；将电极组件组装获得二次电池；对二次电池进行化
15 成。通过上述二次电池的制备方法可获得阳极极片中含有补锂材料且具有凹部的二次电池，该二次电池不仅可以降低极片阻抗，具有较好的放电性能，还能够缩短加工用时，有利于提高加工效率。

在本申请提供的一个实施例中，补锂材料为锂箔，将锂箔设置在第一表面并进行辊压。如此，有利于提高补锂工艺的制造效率，降低补锂时补锂材料与环境因素的副
20 反应。

在本申请提供的一个实施例中，通过激光加工工艺在阳极活性材料层上形成凹部。可以利用激光提供的能量，去除阳极活性材料层的阳极活性材料和粘结剂等，对阳极活性材料层的材料堆积状态影响较小。

25 附图说明

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，还可以根据附图获得其他的附图。

图 1 是本申请所提供的一些实施例所公开的电极组件结构示意图；

图 2 是本申请所提供的一些实施例所公开的阳极极片的结构示意图；

图 3 是本申请所提供的一些实施例所公开的阳极活性材料层的结构示意图；

图 4 是本申请所提供的一些实施例所公开的凹部为孔时的阳极活性材料层的俯视结构示意图；

5 图 5 是本申请所提供的一些实施例所公开的凹部为孔时的阳极活性材料层的内部结构示意图；

图 6 是本申请所提供的一些实施例所公开的凹部为槽时的阳极活性材料层的俯视结构示意图；

10 图 7 是本申请所提供的一些实施例所公开的凹部为槽时的阳极活性材料层的内部结构示意图；

图 8 是本申请所提供的一些实施例所公开的凹部边缘部分的结构示意图；

图 9 是本申请所提供的一些实施例所公开的电子装置的结构示意图。

在附图中，附图并未按照实际的比例绘制。

15 标记说明：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、条纹部；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、电子装置。

具体实施方式

20 下面结合附图和实施例对本申请的实施方式作进一步详细描述。以下实施例的详细描述和附图用于示例性地说明本申请的原理，但不能用来限制本申请的范围，即本申请不限于所描述的实施例。

在本申请的描述中，需要说明的是，除非另有说明，“多个”的含义是两个以上；术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系仅是为了便于描述
25 本申请和简化描述，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的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。“垂直”并不是严格意义上的垂直，而是在误差允许范围之内。“平行”并不是严格意义上的平行，而是在误差允许范围之内。

在本申请中提及“实施例”意味着，结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例，也不是与其它实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是，本申请所描述的实施例可以与其它实施例相结合。

5 下述描述中出现的方位词均为图中示出的方向，并不是对本申请的具体结构进行限定。在本申请的描述中，还需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连。对于本领域的普通技术人员而言，可视具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

10 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。

15 下面通过具体实施方式对本申请所提供的一种二次电池、电子装置及二次电池的制备方法的技术方案进行进一步说明。

20 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 包括阴极极片 6 和阳极极片 5 以及设置于阴极极片 6 和阳极极片 5 之间的隔膜 9。如图 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 设有从第一表面 21 朝向阳极集流体 1 凹陷的凹部 23，第一表面 21 进行了补锂工艺处理。

25 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。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。

锂离子电池在首次循环中，在石墨负极表面形成 SEI 膜（固体电解质界面膜）有 5%~15% 的首次不可逆容量损耗，高容量硅基材料损失有 15%~35%，而预锂化技术

可消除这部分容量损失。通过预锂化技术对电极材料进行补锂，使其在充电过程中释放出的活性锂补偿首次不可逆锂损耗，用于形成负极表面 SEI 膜，以提高锂电池的可逆循环容量和循环寿命。

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。

阳极活性材料层 2 可以通过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。

阳极活性材料包括碳材料、硅材料、锡材料中的至少一种。具体地，阳极活性材料可以包括石墨、无定形碳、Si、Sn、SiO、SnO、Si/C、Sn/C、Si 的卤化物、Sn 的卤化物、Si 合金、Sn 合金中的至少一种，本领域技术人员可以根据实际情况对阳极活性材料进行选择，只要不影响阳极极片 5 的电化学性能即可。优选地，阳极活性材料可以是石墨或无定形碳，两者化学性质稳定，耐腐蚀，耐酸碱，具有良好的导电性，有利于提高阳极极片 5 的电化学性能。

补锂工艺是指针对阳极极片 5 首圈充放电会消耗一部份的活性锂而采取的补充活性锂的工艺，会在阳极极片 5 化成时形成活性锂，补充首次充放电的不可逆容量，有利于提升电池的首次库伦效率和电池容量保持率，从而提高电池的放电性能。

补锂工艺可以是在第一表面 21 上设置锂带、锂块或锂粉，锂金属在二次电池化成时能够与阳极活性材料发生反应，嵌入到阳极活性材料中，并向阳极活性材料内部扩散，有利于提高阳极极片 5 的首次效率。

在一些实施例中，补锂工艺可以为将金属锂箔压延减薄至微米级的厚度，利用金属锂的延展性，通过控制阳极极片 5 的走带速度和金属锂箔的碾压速度，在第一表面 21 上得到呈条纹状的压延锂带，压延锂带与阳极活性材料层 2 的第一表面 21 复合后得到阳极极片 5。补锂工艺也可以为将锂粉碾压于第一表面 21，在第一表面 21 上得到锂

粉层，碾压锂粉层与阳极活性材料层 2 的第一表面 21 复合后得到阳极极片 5。得到的阳极极片 5 制成二次电池后，作为补锂材料的锂金属在经过原电池反应后，会分解消失。

其中，将金属锂箔利用压延的方式在阳极活性材料层 2 上形成补锂层，不仅加工成本较低，具有较高的加工效率，而且能够减小金属锂与环境的接触，有利于减小金属锂在补锂工艺过程中的副反应。

第一表面 21 上的补锂层的形状可以呈条纹状间隔分布，也可以呈整片连续的片层分布，本领域技术人员可以跟实际情况进行设置。优选地，补锂层的形状呈条纹状间隔分布，并根据实际情况设置条纹状的补锂层之间的间隙，使得补锂层补充的金属锂的量既能够满足补锂工艺的需要，又不至于过多造成金属锂的浪费。

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 从第一表面 21 朝向阳极集流体 1 凹陷，使得凹部 23 远离阳极集流体 1，凹部 23 能够作为锂离子的传输通道，不仅能增大锂离子扩散的速度，有利于缩短静置补锂的用时，减少静置补锂时发生的副反应，还能缓解阳极活性材料层 2 厚度方向上锂离子浓度不均的问题，加速了阳极活性材料层 2 内部的反应，使补锂材料反应得更加充分；同时，阳极活性材料层 2 上的凹部 23 作为锂离子的传输通道，有利于提高二次电池的放电倍率性能，从而提高二次电池的放电性能。

在本申请的一些实施例中，如图 3 所示，阳极活性材料层 2 上设有第二表面 22，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 相对于第一表面 21 靠近阳极集流体 1 设置，阳极集流体 1 设置于阳极活性材料层 2 的第二表面 22 上，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，第一表面 21 上的凹部 23 使得设置于第一表面 21 上的补锂材料产生的活性锂能够快速向阳极活性材料层 2 扩散。

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 在第一表面 21 向内凹陷形成的，需与现有技术中第一表面 21 上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的，也可以是通过机械加工等方式挤压第一表面 21，使第一表面 21 的局部向阳极活性材料层 2 内凹陷形成。凹部 23 通过去除材料的方式在阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上形成，

通过去除材料的方式在第一表面 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。

在本申请的一些实施例中，阳极活性材料层 2 还包括阳极粘接剂。阳极粘接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 中的阳极活性材料相互粘结成为一体。

阳极粘接剂包括丁苯橡胶、聚偏二氟乙烯、聚四氟乙烯、氟化橡胶、聚氨酯、聚丙烯酸、聚丙烯酸钠、聚乙烯醇、海藻酸、海藻酸钠中的至少一种。优选地，阳极粘接剂包括丁苯橡胶，丁苯橡胶具有耐磨、耐热、耐老化的特性有利于延长阳极极片 5 的使用寿命。

在本申请的一些实施例中，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。

在本申请的一些实施例中，阳极活性材料层 2 还包括阳极导电剂。阳极导电剂包括乙炔黑、导电炭黑、碳纤维、碳纳米管、科琴黑中的至少一种。优选地，阳极导电剂包括导电炭黑，导电炭黑包括 Super P、Super S、350G 中的至少一种，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。

在本申请的一些实施例中，阳极粘接剂包括有机硅树脂，有机硅树脂在阳极活性材料层 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%。

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，能够对材料如阳极活性材料和粘接剂进行消除，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 对于离子的扩散效果较好，在去除加工部位的粘接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。

在本申请的一些实施例中，凹部 23 包括孔和/或槽。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 23 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。

5 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，
10 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 6 所示的 X 方向，阳极活性材料层 2 的宽度方向如图 6 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。

 在本申请的一些实施例中，凹部 23 的截面形状为 V 形。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 的截面是指在阳极活性材料层 2
15 的厚度方向上的截面，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 不仅便于加工，能够降低加工难度，有利于提高凹部 23 的加工效率。

 在本申请的一些实施例中，凹部 23 的半径为 $R \mu\text{m}$ ， $10 \leq R \leq 50$ 。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
20 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。

25 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。

 凹部 23 的半径大于等于 $10 \mu\text{m}$ 且小于等于 $50 \mu\text{m}$ ，此尺寸范围的凹部 23 作为锂离子传输通道，能够提高锂离子的传输效率，缩短静置补锂时间，还能够减小凹部 23 对

第一表面 21 的影响，以维持第一表面 21 原有的形貌，减小对阳极活性材料层 2 电化学性能的不利影响。

在本申请的一些实施例中， $30 \leq R \leq 50$ 。凹部 23 的半径大于等于 $30 \mu\text{m}$ 且小于等于 $50 \mu\text{m}$ ，此尺寸范围的凹部 23 作为锂离子传输通道，能够在减小凹部 23 对第一表面 21 的影响的基础上，维持第一表面 21 原有的形貌的基础上，进一步提高锂离子的传输效率，取得的缩短静置补锂时间的效果更加显著。

在本申请的一些实施例中，凹部 23 的深度为 $H \mu\text{m}$ ， $8 \leq H \leq 30$ 。如图 3 所示，凹部 23 的深度大于等于 $5 \mu\text{m}$ 且小于等于 $30 \mu\text{m}$ ，使得凹部 23 既能够有效对离子起到扩散作用，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。

在本申请的一些实施例中， $15 \leq H \leq 30$ 。凹部 23 的深度大于等于 $15 \mu\text{m}$ 且小于等于 $30 \mu\text{m}$ ，使得凹部 23 在尽可能减小对阳极活性材料层 2 粘接力的影响的同时还能对离子起到有效扩散作用。

在本申请的一些实施例中，阳极活性材料层 2 设有多个凹部 23，相邻两个凹部 23 之间的距离为 $L \mu\text{m}$ ， $50 \leq L \leq 300$ 。

多个凹部 23 是指设置于阳极活性材料层 2 上的凹部 23 的数量为三个或三个以上，多个凹部 23 使得阳极活性材料层 2 呈多孔结构，有利于提高阳极极片 5 的孔隙率，有利于提高二次电池的放电倍率性能。

相邻两个凹部 23 之间的距离可以指相邻两个凹部 23 的边缘之间的最短距离，通过对相邻两个凹部 23 之间的距离进行设置，能够使多个凹部 23 以一定的均匀度在阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上分布，使得阳极活性材料层 2 中的补锂材料反应产生的锂离子能够均匀的沿凹部 23 向阳极活性材料层 2 内部扩散，减小了局部位置锂离子浓度分布不均的可能。

相邻两个凹部 23 之间的距离大于等于 $50 \mu\text{m}$ 且小于等于 $300 \mu\text{m}$ ，此间距范围使得多个凹部 23 具有足够的扩散锂离子的能力，能够使阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上的补锂工艺产生的锂离子快速且充分地扩散至阳极活性材料层 2 内部；同时，此间距范围还使得凹部 23 之间的距离不至于过小，有助于降低阳极极片 5 的加工难度。可选地，相邻两个凹部 23 之间的距离设为 $150 \mu\text{m}$ 或 $250 \mu\text{m}$ ，既使得凹部 23 具有足够的扩散锂

离子的能力，又使得阳极活性材料层 2 上的凹部 23 容易加工，有助于降低阳极极片 5 的加工难度。

在本申请的一些实施例中， $50 \leq L \leq 150$ 。相邻两个凹部 23 之间的距离大于等于 50 μm 且小于等于 150 μm ，此间距范围使得多个凹部 23 在降低加工难度的基础上，具有足够的扩散锂离子的能力。

在本申请的一些实施例中，阳极活性材料层 2 设有多个凹部 23，凹部 23 的半径为 $R \mu\text{m}$ ，凹部 23 的深度为 $H \mu\text{m}$ ，相邻两个凹部 23 之间的距离为 $L \mu\text{m}$ ，定义 $A=L/(R \times H)$ ， $0.20 \leq A \leq 5.00$ 。定义 A 为凹部 23 的一个参数， $A=L/(R \times H)$ ，利用 A 作为凹部 23 的一个参数是为了便于对凹部 23 的半径、深度和间距之间的关系进行设定，凹部 23 的参数 A 大于等于 0.20 且小于等于 5.00，有利于提高凹部 23 对锂离子的扩散能力。优选地，凹部 23 的参数 A 为 2.00，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ ，该参数的凹部 23 不仅便于加工，而且能够使得凹部 23 具有足够的扩散锂离子的能力。

在本申请的一些实施例中， $0.20 \leq A \leq 3.50$ ，凹部 23 的参数 A 大于等于 0.20 且小于等于 3.50，有利于进一步提高凹部 23 对锂离子的扩散能力。

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 $h \mu\text{m}$ ， $3 \leq h \leq 10$ 。

凹部 23 的边缘部分指的是凹部 23 在阳极活性材料层 2 的第一表面 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，会对第一表面 21 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，不仅增大了扩散通道的扩散面积，有利于提高凹部 23 对锂离子的扩散作用，还能够增大阳极活性材料层 2 与电解液反应的接触面积，有利于增大阳极活性材料层 2 与电解液反应的反应位点，有利于提高二次电池的放电倍率性能。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 时会使得凹部 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。

凹部 23 的边缘部分凸出于第一表面 21 的高度大于等于 3 μm 且小于等于 10 μm ，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 2

的第一表面 21 的粗糙度的影响，进而减小对阴极极片 6 和阳极极片 5 之间的界面的影响。

在本申请的一些实施例中，如图 1 至图 3 所示，阳极极片 5 具有显露于第一表面 21 的并沿第一方向延伸的条纹部 3，在垂直于第一方向的方向上，条纹部 3 的宽度范围
5 为 0.1 mm 至 2.0 mm；和/或条纹部 3 的厚度范围为 0.04 μm 至 0.50 μm 。

第一方向可以指阳极极片 5 在补锂工艺过程中将金属锂箔碾压于第一表面 21 上时阳极极片 5 的走带方向。

条纹部 3 可以是指在补锂工艺过程中在阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上形成的结构。在补锂工艺过程中，由于金属锂的活性较高，由于环境中存在氧气和水分，碾压于第一表面 21 上形成补锂层的金属锂箔会与环境中的氧气和水分反应，生成一层副
10 产物，在后续的阳极极片 5 的原电池反应以及化成后，金属锂箔作为补锂材料反应后消失，副产物留存在第一表面 21 上形成条纹部 3。

条纹部 3 的宽度方向是指在第一表面 21 上与第一方向垂直的方向，条纹部 3 的宽度与补锂工艺过程中形成的补锂层的宽度保持一致。条纹部 3 的宽度范围为 0.1 mm 至
15 2.0 mm（也就是说补锂工艺过程中形成的补锂层的宽度范围为 0.1 mm 至 2.0 mm），此宽度范围便于补锂工艺过程中对金属锂箔处理，有利于降低加工难度。优选地，条纹部 3 的宽度设置为 1.0 mm 或 1.5 mm，有利于提高补锂工艺过程中补锂层的加工难度，提高加工效率。

条纹部 3 的厚度方向是指阳极活性材料层 2 的方向，条纹部 3 的厚度是指补锂工艺过程中生成的副产物的厚度。条纹部 3 的厚度范围为 0.04 μm 至 0.50 μm ，此厚度范围
20 由补锂工艺过程中金属锂的副反应控制，本领域技术人员可以通过控制环境中氧气和水分的含量来控制补锂工艺过程中金属锂的副反应，以控制条纹部 3 的厚度。优选地，条纹部 3 的厚度设置为 0.11 μm 或 0.30 μm ，有利于使阳极极片 5 的第一表面 21 上的表面电阻处于合理范围内。

条纹部 3 的宽度可以通过拍摄图像后再测量的方式获得，利用 CCD 相机对阳极活性材料层 2 的第一表面 21 拍照，获取的阳极活性材料层 2 的第一表面 21 的图像，再通过
25 通过测量图像中的条纹部 3 的宽度即可获得条纹部 3 的宽度。

条纹部 3 的厚度可以通过对阳极极片 5 的切片样本拍摄图像后再测量的方式获得，

先沿阳极极片 5 厚度方向切割阳极极片 5 获得切片样本，对阳极极片 5 的切面拍照，获取阳极极片 5 的切面的图像，再通过测量图像中的条纹部 3 的厚度即可获得条纹部 3 的厚度。

在本申请的一些实施例中，阳极活性材料层 2 还包括显露于第一表面 21 的锂化合物，锂化合物包括碳酸锂或氧化锂中的至少一种。

锂化合物是指补锂工艺过程后在阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上形成的条纹部 3 的成分，锂化合物是由补锂工艺过程中金属锂的副反应生成。第一表面 21 上具有锂化合物，有利于提升阳极极片 5 的表面电阻，减小二次电池的短路电流，有利于降低阳极极片 5 发生短路导致的热失控的风险。碳酸锂、氧化锂等锂化合物，是锂箔或锂粉在补锂工艺时副反应产生的物质，其留在阳极活性材料层 2 的第一表面 21 上，若锂化合物的量处于一定范围内则可以作为绝缘层适用，若锂化合物的量超过一定范围则会影响锂离子的嵌入，存在析锂的风险。

在本申请的一些实施例中，条纹部 3 中包括上述锂化合物，即条纹部 3 中包括碳酸锂或氧化锂中的至少一种。

在本申请的一些实施例中，阳极极片 5 还包括设于第一表面 21 的导电层，导电层包括导电剂和粘结剂。

导电层可以通过将相应的材料通过涂布工艺涂敷于阳极活性材料层 2 上形成，然后在导电层上设置补锂材料，有利于提高阳极活性材料层的导电能力，有利于提高补锂工艺的效率。

导电剂包括乙炔黑、导电碳黑、碳纤维、碳纳米管、科琴黑中的至少一种。优选地，阳极导电剂包括导电炭黑，导电炭黑包括 Super P、Super S、350G 中的至少一种，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。

粘结剂是指混合于形成导电层的材料中起到粘结作用的材料，其不仅能够使导电层能够粘接于阳极活性材料层 2 上，还能够使导电层中的导电剂等材料相互粘结成为一体。

粘结剂包括丁苯橡胶、聚偏二氟乙烯、聚四氟乙烯、氟化橡胶、聚氨酯、聚丙烯酸、聚丙烯酸钠、聚乙烯醇、海藻酸、海藻酸钠中的至少一种。优选地，粘结剂包括丁苯橡胶，丁苯橡胶具有耐磨、耐热、耐老化的特性有利于延长阳极极片 5 的使用寿命。

命。

在本申请的一些实施例中，导电层的厚度为 $B \mu\text{m}$ ， $0.5 \leq B \leq 8.0$ 。导电层的厚度方向是指阳极极片 5 中阳极活性材料层 2 的厚度方向。 $0.5 \mu\text{m}$ 至 $8.0 \mu\text{m}$ 厚度范围的导电层，不仅使得导电层具有良好的导电能力，还能减少对阳极极片 5 厚度尺寸的占用。优选地，导电层的厚度设置为 $3.5 \mu\text{m}$ 或 $6.5 \mu\text{m}$ ，这使得导电层不仅具有良好的导电能力，还能减少对阳极极片 5 厚度尺寸的占用。

在本申请的一些实施例中，导电层的孔隙率为 C ， $30\% \leq C \leq 60\%$ 。导电层中可以设有孔隙，使得导电层为多孔结构，有利于提高导电层的导电能力。导电层的孔隙率可以通过对阳极极片 5 上剥离的导电层样本进行孔隙率测量获知，导电层的孔隙率的测量方法为：

将阳极活性材料层 2 上的导电层剥离，并从中取下测试样本；

根据对测试样本的密度和孔隙率的预测选择合适的膨胀计；

将测试样本放置于烘箱中烘烤 2h，以除去测试样本中的水分；

对除去水分的测试样本称重；

15 将测试样本装入膨胀计，密封后称量重量，此为测试样本和膨胀计的重量；

将膨胀计装入低压站，根据预设的低压分析程序进行低压分析，使压力处于 0.5psi 至 50psi 的范围；

低压分析结束后，将膨胀计取出称重，此为测试样本、膨胀计和汞的重量；

20 将膨胀计装入高压站，将膨胀计固定后再将高压仓头旋入，高压仓头旋入底部并赶走膨胀计的气泡；

根据预设的高压分析程序进行高压分析，使压力处于 100psi 至 60000psi 的范围；

高压分析结束后，清洗膨胀计，测试结束。

25 通过上述测试过程利用测得的汞的重量除以汞的密度即可获得测试样本的孔隙体积，经过计算即可获得测试样本的孔隙率。此过程为本领域技术人员常用技术手段和方法，此处不再进行详细描述。

在本申请的一些实施例中，电极组件 10 还包括阴极极片 6 和隔膜 9，阴极极片 6、隔膜 9 和阳极极片 5 层叠设置，第一表面 21 与隔膜 9 相接，有利于电解液通过凹部 23

直接传导到阳极极片 5 的内部，也有利于从阴极极片 6 脱出的锂离子穿过隔膜 9 后通过凹部 23 直接进入阳极极片 5 的内部，提高循环性能和倍率性能。

5 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 作为阴极极耳 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，铝经过加工呈铝箔以形成阴极集流体 7。

10 阴极活性材料层 8 包括阴极活性材料、阴极粘结剂和阴极导电剂。在一些实施例中，阴极活性材料包括氧化钴锂，氧化钴锂在阴极活性材料层 8 中的质量分数为 95.2%。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 1.7%。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 1.6%。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。

15 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 的第一表面 21 与隔膜 9 牢固连接。

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。

20 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。

25 二次电池中阴极极片 6 的制作方法可以为：将阴极活性材料钴酸锂、导电剂导电炭黑、粘结剂聚偏氟乙烯按照一定质量比进行混合，加入 N-甲基吡咯烷酮（NMP），在真空搅拌机作用下搅拌均匀，获得阴极浆料，其中阴极浆料的固含量为 70wt%。将阴极浆料均匀涂覆于厚度为 12 μm 的阴极集流体 7 铝箔的一个表面上，将铝箔在 120°C 下烘干处理 1h，得到单面涂覆有阴极活性材料层 8 的阴极极片 6。在铝箔的另一个表面上重复以上步骤，即得到双面涂布阴极活性材料层 8 的阴极极片 6。然后经过冷压、裁

片、分切后，在 120°C 的真空条件下干燥 1h，得到规格为 74 mm×867 mm 的阴极极片 6。在阴极极片 6 上焊接连接阴极极耳 102，阴极极耳 102 的材料为铝箔。

二次电池中阳极极片 5 的制作方法可以为：将阳极活性材料、粘结剂丁苯橡胶、增稠剂羧甲基纤维素钠按照质量比为 97.4:1.4:1.2 进行混合，加入去离子水，在真空搅拌机作用下搅拌均匀，获得阳极浆料，其中阳极浆料的固含量为 75wt%。将阳极浆料均匀涂覆于厚度为 12 μm 的阳极集流体 1 铜箔的一个表面上，将铜箔在 120°C 下烘干，得到涂层厚度为 130 μm 的单面涂覆有阳极活性材料层 2 的阳极。在铝箔的另一个表面上重复以上步骤，即得到双面涂覆阳极活性材料层 2 的负极极片。然后经过冷压、裁片、分切后，在 120°C 的真空条件下干燥 1h，得到规格为 78 mm×875 mm 的阳极极片 5。在阳极极片 5 上焊接连接阳极极耳 101，阳极极耳 101 的材料为铜箔镀镍。

二次电池中隔膜 9 选用厚度为 7 μm 的多孔聚乙烯薄膜。

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 与壳体进行组装获得封装后的二次电池，并在 80°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。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 1.15mol/L。

各对比比例和实施例中的阳极极片 5 的差异如下：

对比比例 1

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 24h，该阳极活性材料层 2 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。

实施例 1

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 24h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 2

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔

辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 3

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
5 辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=1.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=10$ ， $H=20$ 。

实施例 4

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
10 辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.50$ ，其中 $L=200$ ， $R=20$ ， $H=20$ 。

实施例 5

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.33$ ，其中 $L=200$ ， $R=30$ ， $H=20$ 。

15 实施例 6

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.25$ ，其中 $L=200$ ， $R=40$ ， $H=20$ 。

实施例 7

20 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.20$ ，其中 $L=200$ ， $R=50$ ， $H=20$ 。

实施例 8

25 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔
辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.18$ ，其中 $L=200$ ， $R=55$ ， $H=20$ 。

实施例 9

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=13.33$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=3$ 。

实施例 10

5 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=8.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=5$ 。

实施例 11

10 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=5.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=8$ 。

实施例 12

15 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=4.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=10$ 。

实施例 13

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.67$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=15$ 。

20 实施例 14

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 15

25 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=1.33$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=30$ 。

实施例 16

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=1.14$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=35$ 。

5 实施例 17

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.40$ ，其中 $L=40$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 18

10 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=0.50$ ，其中 $L=50$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 19

15 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=1.00$ ，其中 $L=100$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 20

20 阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=1.50$ ，其中 $L=150$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 21

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

25 实施例 22

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性

材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=3.00$ ，其中 $L=300$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 23

阳极活性材料为 Si，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=3.50$ ，其中 $L=350$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 24

阳极活性材料为 Sn，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

10 实施例 25

阳极活性材料为 Sn 合金，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

15 实施例 26

阳极活性材料为 SnO，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 27

20 阳极活性材料为 Si/C，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 28

25 阳极活性材料为 Sn/C，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

实施例 29

阳极活性材料为 Si 的卤化物，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

5 实施例 30

阳极活性材料为 Sn 的卤化物，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

10 实施例 31

阳极活性材料为 Si 合金，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

15 实施例 32

阳极活性材料为 Sn 合金，金属锂箔作为补锂材料，在阳极极片 5 冷压前，将金属锂箔辊压到阳极活性材料层 2 表面，静置补锂时间为 7h，以激光打孔的方式在该阳极活性材料层 2 上设置凹部 23，凹部 23 的参数 $A=L/(R \times H)=2.00$ ，其中 $L=200$ ， $R=5$ ， $H=20$ 。

20 在上述实施例中的静置补锂时间指的是二次电池中的电极组件 10 中未注入电解液在特定环境下的静置时间。

二次电池的设计容量可以按照阳极材料完全脱锂后的充电克容量作为计算容量，再加上补锂材料的理论发挥容量。

25 二次电池的实际容量的测试方法是：在 25°C 的环境下，以 0.2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直到二次电池的电压达到 4.45V；以充电电压为 4.45V 对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到 0.025C；以 0.2C 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；重复上述流程 3 次，以二次电池的平均容量作为二次电池的实际容量。

表 1

方案	阳极活性材料	R/ μm	H/ μm	L/ μm	A	静置时间/h	阻抗改善比例	2C 放电倍率下的放电容量保持率	3C 放电倍率下的放电容量保持率
对比例 1	Si	/	/	/	/	24	0	85%	70%
实施例 1	Si	5	20	200	2.00	24	18%	94%	83%
实施例 2	Si	5	20	200	2.00	7	10%	87%	80%
实施例 3	Si	10	20	200	1.00	7	15%	93%	84%
实施例 4	Si	20	20	200	0.50	7	15%	94%	84%
实施例 5	Si	30	20	200	0.33	7	15%	94%	85%
实施例 6	Si	40	20	200	0.25	7	15%	95%	85%
实施例 7	Si	50	20	200	0.20	7	16%	95%	86%
实施例 8	Si	55	20	200	0.18	7	16%	95%	86%
实施例 9	Si	5	3	200	13.33	7	6%	87%	73%
实施例 10	Si	5	5	200	8.00	7	8%	88%	76%
实施例 11	Si	5	8	200	5.00	7	10%	90%	80%
实施例 12	Si	5	10	200	4.00	7	11%	90%	80%
实施例 13	Si	5	15	200	2.67	7	12%	91%	82%
实施例 14	Si	5	20	200	2.00	7	13%	92%	83%
实施例 15	Si	5	30	200	1.33	7	14%	94%	85%
实施例 16	Si	5	35	200	1.14	7	15%	94%	85%
实施例 17	Si	5	20	40	0.40	7	17%	95%	85%
实施例 18	Si	5	20	50	0.50	7	17%	95%	85%
实施例 19	Si	5	20	100	1.00	7	16%	95%	84%
实施例 20	Si	5	20	150	1.50	7	14%	94%	83%
实施例 21	Si	5	20	200	2.00	7	13%	93%	82%
实施例 22	Si	5	20	300	3.00	7	12%	92%	82%
实施例 23	Si	5	20	350	3.50	7	10%	90%	81%
实施例 24	Sn	5	20	200	2.00	7	14%	93%	81%
实施例 25	SiO	5	20	200	2.00	7	16%	92%	81%
实施例 26	SnO	5	20	200	2.00	7	17%	91%	82%
实施例 27	Si/C	5	20	200	2.00	7	13%	92%	81%
实施例 28	Sn/C	5	20	200	2.00	7	13%	93%	82%
实施例 29	Si 的卤化物	5	20	200	2.00	7	14%	94%	82%
实施例 30	Sn 的卤化物	5	20	200	2.00	7	15%	92%	81%
实施例 31	Si 合金	5	20	200	2.00	7	13%	93%	83%
实施例 32	Sn 合金	5	20	200	2.00	7	13%	92%	82%

在本申请的一些实施例中，还可以对上述对比例和实施例中二次电池中的阳极极片 5 中的补锂材料的是否有残余进行定性测试。

测试方法为：取化成后的二次电池，以 0.2C 的放电倍率对二次电池进行恒流放电，

直到二次电池的电压达到 3.0V；拆卸二次电池，并把阳极活性材料层 2（包括条纹部 3）上的材料全部刮下；将刮下的材料在 80℃的环境下烘干 24h；对刮下的材料进行利用 X 射线衍射分析或者拉曼光谱分析阳极活性材料层 2 中是否有残余。

对上述对比比例和实施例中的阴极极片 6 制成的二次电池进行放电容量保持率测试，
5 在 25℃的环境下，在 2C 放电倍率下的放电容量保持率测试方法如下：

以 0.2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直到二次电池的电压达到 4.45V；
以充电电压为 4.45V 对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到 0.025C；以 0.2C 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；重复上述流程 3
次，以二次电池的平均放电容量作为二次电池的实际放电容量（0.2C 放电倍率下的放
10 电容量）；

以 0.2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直到二次电池的电压达到 4.45V；
以充电电压为 4.45V 对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到 0.025C；以 2C 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；重复上述流程 3 次，
以平均放电容量作为二次电池在 2C 放电倍率下的实际放电容量；

15 将二次电池在 2C 放电倍率下的实际放电容量除以二次电池的实际放电容量，即可获得
二次电池在 2C 放电倍率下的放电容量保持率。

在 25℃的环境下，在 3C 放电倍率下的放电容量保持率测试方法如下：

以 0.2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直到二次电池的电压达到 4.45V；
以充电电压为 4.45V 对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到 0.025C；以 0.2C 的
20 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；重复上述流程 3
次，以二次电池的平均放电容量作为二次电池的实际放电容量（0.2C 放电倍率下的放
电容量）；

以 0.2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电，直到二次电池的电压达到 4.45V；
以充电电压为 4.45V 对二次电池进行恒压充电，直至充电倍率达到 0.025C；以 3C 的放
25 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；重复上述流程 3 次，
以平均放电容量作为二次电池在 2C 放电倍率下的实际放电容量；

将二次电池在 3C 放电倍率下的实际放电容量除以二次电池的实际放电容量，即可获得
二次电池在 3C 放电倍率下的放电容量保持率。

对上述对比比例和实施例中的阴极极片 6 制成的二次电池进行阻抗改善比例测试，利用弛豫法对阻抗改善比例的测试方法如下。

测量利用对比比例和实施例中的阳极极片 5（不设置凹部 23）制成的二次电池的直流阻抗。具体方法如下：

- 5 将二次电池置于 25°C 的恒温箱中静置 30min，使二次电池达到恒温；以 0.5C 的放电倍率对二次电池进行恒流放电，直到二次电池的电压达到截止电压；再以 0.1C 的放电倍率对二次电池进行恒流放电，直到二次电池的电压达到截止电压，以使二次电池完全放电；以 2C 的充电倍率对二次电池进行恒流充电 15min；静置 120min 后，在 25°C 的环境下，测量二次电池在电池荷电状态为 25% 时的直流阻抗，即可获得利用对比比例
- 10 和实施例中的阳极极片 5 制成的二次电池的直流阻抗。

通过获得的对比比例和实施例中的二次电池的直流阻抗来计算实施例中的二次电池的直流阻抗的改善比例。改善比例的具体计算方法为将实施例中的二次电池的直流阻抗与对比比例中的二次电池的直流阻抗的差值除以实施例中的二次电池的直流阻抗值。

- 表 1 为本申请对比实验中测试获得的对比比例和实施例中的二次电池及阴极极片 6
- 15 的各个参数的示例：

通过表 1，由对比比例与实施例对比可以看出：在相同的静置时间下，阳极极片 5 材料层中设有凹部 23 能够加快补锂材料的分解速度，缩短静置时间。这是由于第一表面 21 上设置的凹部 23 能够作为锂离子的传输通道，能增大锂离子扩散的速度，从而加快了补锂材料的分解速度，缩短了静置时间。

- 20 实施例 2 至实施例 23 对比可以看出：当 $0.20 \leq A \leq 5.00$ 时，电池的阻抗改善比例可达 10% 或以上，说明当凹部 23 的参数 A 处于 $0.20 \leq A \leq 5.00$ 时，凹部 23 能够有效对电池的直流阻抗进行有效改善；二次电池的 2C 放电倍率下的放电容量保持率可达 90% 或以上，二次电池的 3C 放电倍率下的放电容量保持率可达 80% 或以上，说明当凹部 23 的参数 A 处于 $0.20 \leq A \leq 5.00$ 时，凹部 23 能够有效提升二次电池的放电倍率性能。当
- 25 $A < 0.20$ 时，凹部 23 的半径 R 和/或凹部 23 的深度 H 较大，或者相邻两个凹部 23 之间的距离 L 较小，凹部 23 对电池的直流阻抗以及放电倍率性能的进一步提升的效果不明显；此时，凹部 23 去除的阳极活性材料较多，减小了阳极活性材料的量，将会对二次电池的容量造成影响，也有析锂的风险。当 $A > 5.00$ 时，凹部 23 的半径 R 和/或凹部 23

的深度 H 较小, 或者相邻两个凹部 23 之间的距离 L 较大, 凹部 23 作为离子扩散通道的效果较差, 凹部 23 对电池的直流阻抗以及放电倍率性能的改善效果较差。

实施例 2 至实施例 8 对比可以看出: 当 $10 \leq R \leq 50$ 时, 电池的阻抗改善比例可达 15%或以上, 说明当凹部 23 的半径 R 处于 $10 \leq R \leq 50$ 时, 凹部 23 能够有效对电池的直流阻抗进行有效改善; 二次电池的 2C 放电倍率下的放电容量保持率可达 93%或以上, 二次电池的 3C 放电倍率下的放电容量保持率可达 84%或以上, 说明当凹部 23 的半径 R 处于 $10 \leq R \leq 50$ 时, 凹部 23 能够有效提升二次电池的放电倍率性能。当 $R < 10$ 时, 凹部 23 的半径 R 较小, 凹部 23 作为离子扩散通道的效果较差, 凹部 23 对电池的直流阻抗以及放电倍率性能的改善效果不明显。当 $R > 50$ 时, 凹部 23 的半径 R 虽然较大, 但进一步改善的效果不明显, 且凹部 23 去除的阳极活性材料较多, 减小了阳极活性材料的量, 将会对二次电池的容量造成影响, 也有析锂的风险。

实施例 9 至实施例 16 对比可以看出: 当 $8 \leq H \leq 30$ 时, 电池的阻抗改善比例可达 10%或以上, 说明当凹部 23 的深度 H 处于 $8 \leq H \leq 30$ 时, 凹部 23 能够有效对电池的直流阻抗进行有效改善; 二次电池的 2C 放电倍率下的放电容量保持率可达 90%或以上, 二次电池的 3C 放电倍率下的放电容量保持率可达 80%或以上, 说明当凹部 23 的深度 H 处于 $8 \leq H \leq 30$ 时, 凹部 23 能够有效提升二次电池的放电倍率性能。当 $H < 8$ 时, 凹部 23 的深度 H 较小, 凹部 23 作为离子扩散通道的效果较差, 凹部 23 对电池的直流阻抗以及放电倍率性能的改善效果不明显。当 $H > 30$ 时, 凹部 23 的深度 H 虽然较大, 但进一步改善的效果不明显, 且凹部 23 去除的阳极活性材料较多, 减小了阳极活性材料的量, 将会对二次电池的容量造成影响, 也有析锂的风险。

实施例 17 至实施例 23 对比可以看出: 当 $50 \leq L \leq 300$ 时, 电池的阻抗改善比例可达 10%或以上, 说明当相邻两个凹部 23 之间的距离 L 处于 $50 \leq L \leq 300$ 时, 凹部 23 能够有效对电池的直流阻抗进行有效改善; 二次电池的 2C 放电倍率下的放电容量保持率可达 90%或以上, 二次电池的 3C 放电倍率下的放电容量保持率可达 81%或以上, 说明当相邻两个凹部 23 之间的距离 L 处于 $50 \leq L \leq 300$ 时, 凹部 23 能够有效提升二次电池的放电倍率性能。当 $L < 50$ 时, 相邻两个凹部 23 之间的距离 L 较小, 凹部 23 的布置较为密集, 凹部 23 作为离子扩散通道的效果进一步的提升不明显, 但是由于凹部 23 布置数量多, 加工难度较大, 且过多的凹部 23 去除的阳极活性材料较多, 减小了阳极活性材料的量, 将会对二次电池的容量造成影响, 也有析锂的风险。当 $L > 300$ 时, 相邻两

个凹部 23 之间的距离 L 较大，凹部 23 的布置较为稀疏，凹部 23 对电池的直流阻抗以及放电倍率性能的改善效果有明显下降趋势。

本申请实施例还提供一种二次电池的制备方法，该二次电池的制备方法包括如下步骤：

5 将阳极活性材料和阳极粘结剂按照预设比例制成阳极浆料；

将阳极浆料设置于阳极集流体 1 上以形成阳极活性材料层 2，并获得阳极极片 5；

在阳极活性材料层 2 上形成凹部 23，阳极活性材料层 2 具有远离阳极集流体 1 的第一表面 21，凹部 23 从第一表面 21 朝向阳极集流体 1 凹陷；

在第一表面 21 上设置补锂材料；

10 将阳极极片 5、隔膜 9 和阴极极片 6 组装成电极组件 10；

将电极组件 10 组装获得二次电池；

对二次电池进行化成。

通过上述二次电池的制备方法可获得阳极极片 5 进行了预锂化且具有凹部 23 的二次电池，该二次电池不仅可以降低极片阻抗，具有较好的放电性能，还能够缩短加工用时，有利于提高加工效率。

15 在一些实施例中，补锂材料为锂箔，将锂箔设置在第一表面并进行辊压。如此，有利于提高补锂工艺的制造效率，降低补锂时补锂材料与环境因素的副反应。

20 在一些实施例中，通过激光加工工艺在阳极活性材料层上形成凹部。可以利用激光提供的能量，去除阳极活性材料层的阳极活性材料和粘结剂等，对阳极活性材料层的材料堆积状态影响较小。

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。

25 虽然已经参考优选实施例对本申请进行了描述，但在不脱离本申请的范围的情况下，可以对其进行各种改进并且可以用等效物替换其中的部件。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。

权 利 要 求 书

1. 一种二次电池，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
5 阳极活性材料；

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从所述第一表面朝向所述阳极集流体凹陷的凹部，所述第一表面进行了补锂工艺处理。

2. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述凹部包括孔和/或槽。

- 10 3. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极活性材料层设有多个所述凹部，所述凹部的半径为 $R\ \mu\text{m}$ ，所述凹部的深度为 $H\ \mu\text{m}$ ，相邻两个所述凹部之间的距离为 $L\ \mu\text{m}$ ，定义 $A=L/(R\times H)$ ， $0.20\leq A\leq 5.00$ 。

4. 根据权利要求 3 所述的二次电池，其中， $0.20\leq A\leq 3.50$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述凹部的半径为 $R\ \mu\text{m}$ ， $10\leq R\leq 50$ 。

- 15 6. 根据权利要求 5 所述的二次电池，其中， $30\leq R\leq 50$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述凹部的深度为 $H\ \mu\text{m}$ ， $8\leq H\leq 30$ 。

8. 根据权利要求 7 所述的二次电池，其中， $15\leq H\leq 30$ 。

9. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极活性材料层设有多个所述凹部，相邻两个所述凹部之间的距离为 $L\ \mu\text{m}$ ， $50\leq L\leq 300$ 。

- 20 10. 根据权利要求 9 所述的二次电池，其中， $50\leq L\leq 150$ 。

11. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极活性材料层具有显露于所述第一表面的条纹部，在垂直于所述条纹部延伸方向的方向上，所述条纹部的宽度为 $0.1\ \text{mm}$ 至 $2.0\ \text{mm}$ ；和/或

所述条纹部的厚度为 $0.04\ \mu\text{m}$ 至 $0.50\ \mu\text{m}$ 。

- 25 12. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极活性材料层还包括显露于所述第一表面的锂化合物，所述锂化合物包括碳酸锂、氧化锂中的至少一种。

13. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极极片还包括设于所述第一表面的导电层，所述导电层包括导电剂和粘结剂。

14. 根据权利要求 13 所述的二次电池，其中，所述导电层的厚度为 $B\ \mu\text{m}$ ，

$0.5 \leq B \leq 8.0$ 。

15. 根据权利要求 13 所述的二次电池，其中，所述导电层的孔隙率为 C ， $30\% \leq C \leq 60\%$ 。

16. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述凹部通过激光加工工艺形成。

5 17. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述凹部的截面形状为 V 形。

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

19. 根据权利要求 1 所述的二次电池，其中，所述阳极活性材料包括碳材料、硅材料或锡材料中的至少一种。

10 20. 根据权利要求 1 所述的电池，其中，所述电极组件还包括阴极极片和隔膜，所述阴极极片、所述隔膜和所述阳极极片层叠设置，所述第一表面与所述隔膜相接。

21. 一种电子装置，包括如权利要求 1 至 20 任一项所述的二次电池。

22. 一种二次电池的制备方法，包括：

将阳极活性材料和阳极粘结剂按照预设比例制成阳极浆料；

15 将所述阳极浆料设置于阳极集流体上以形成阳极活性材料层，并获得阳极极片；
在所述阳极活性材料层上形成凹部，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，所述凹部贯穿所述第一表面；

在所述第一表面上设置补锂材料；

将所述阳极极片组装成电极组件；

20 将所述电极组件组装获得二次电池；

对所述二次电池进行化成。

23. 根据权利要求 22 所述的二次电池的制备方法，其中，所述补锂材料为锂箔和锂粉。

24. 根据权利要求 23 所述的二次电池的制备方法，其中，所述补锂材料为锂箔，将
25 所述锂箔设置在所述第一表面并进行辊压。

25. 根据权利要求 22 所述的二次电池的制备方法，其中，通过激光加工工艺在所述阳极活性材料层上形成所述凹部。

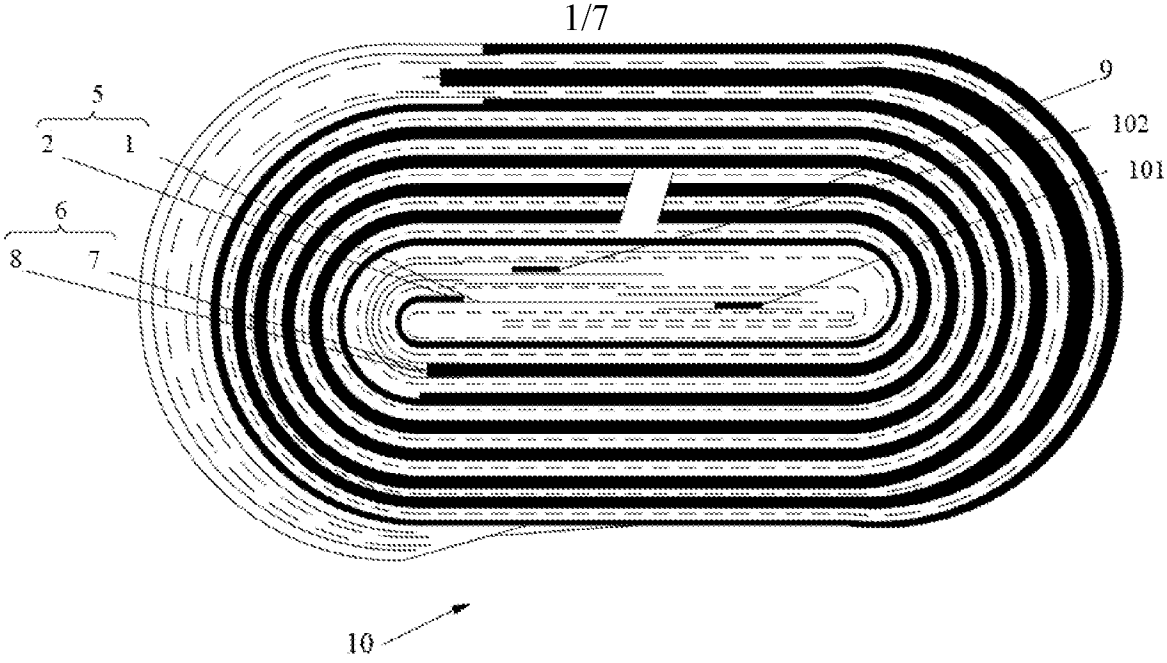


图 1

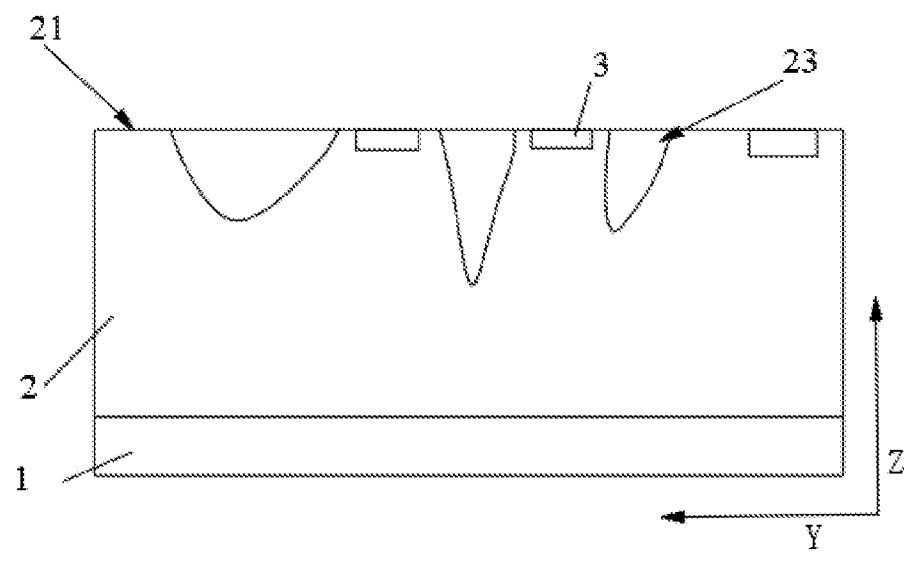


图 2

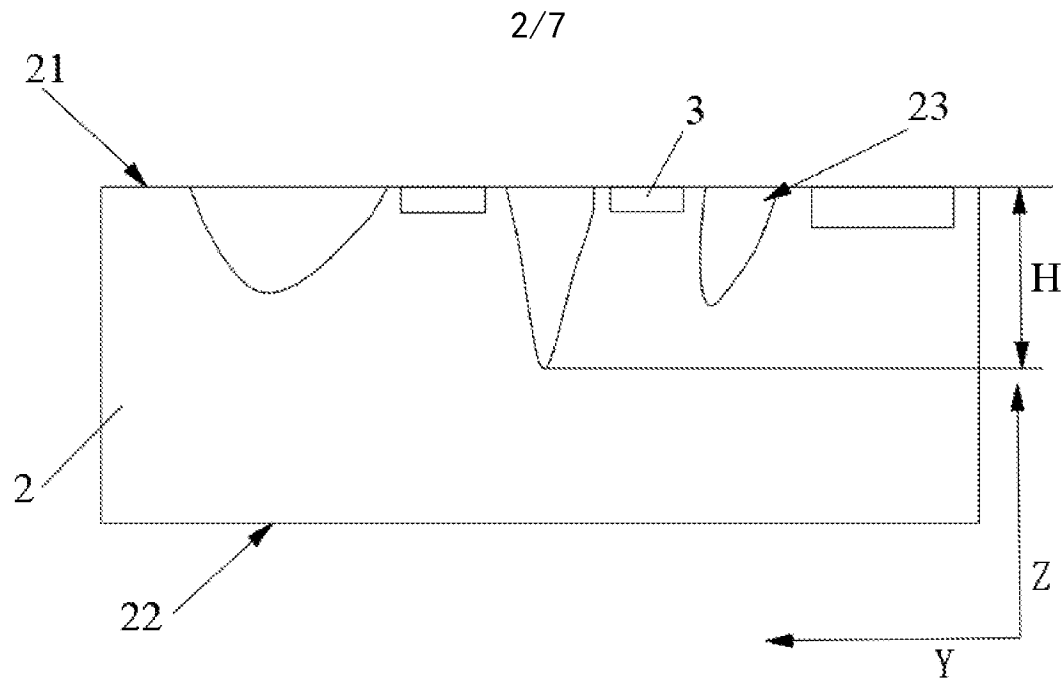


图 3

3/7

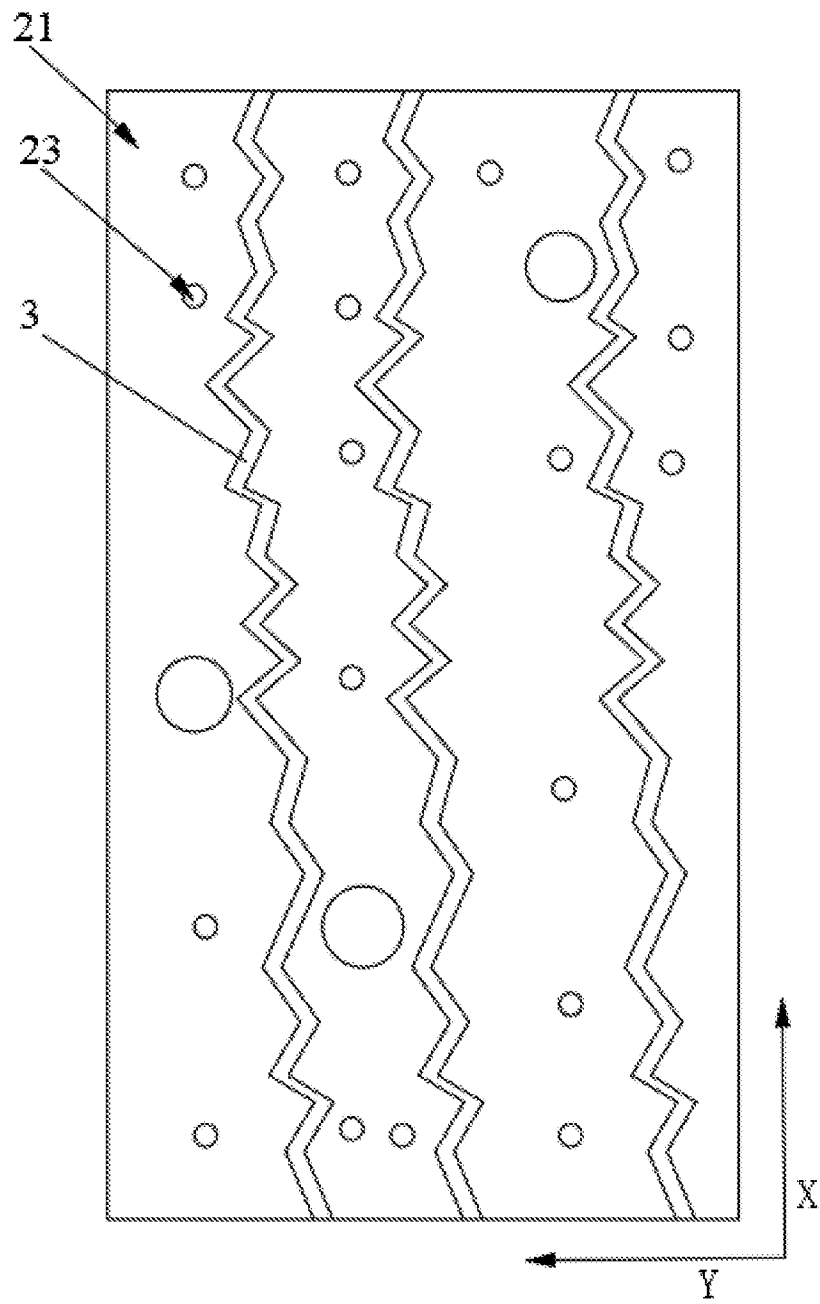


图 4

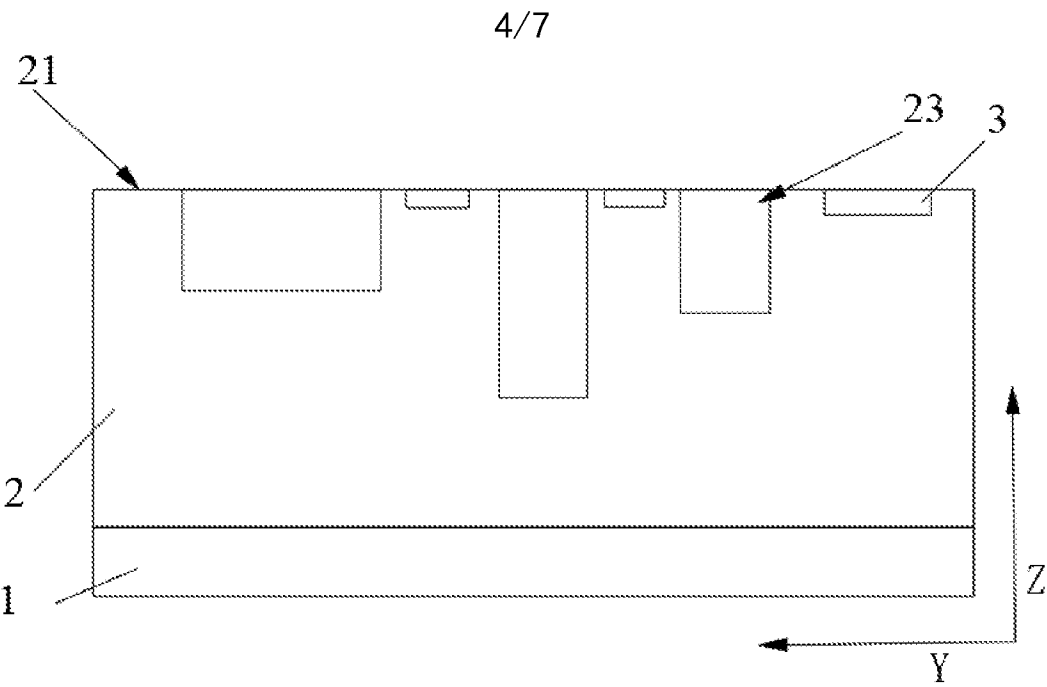


图 5

5/7

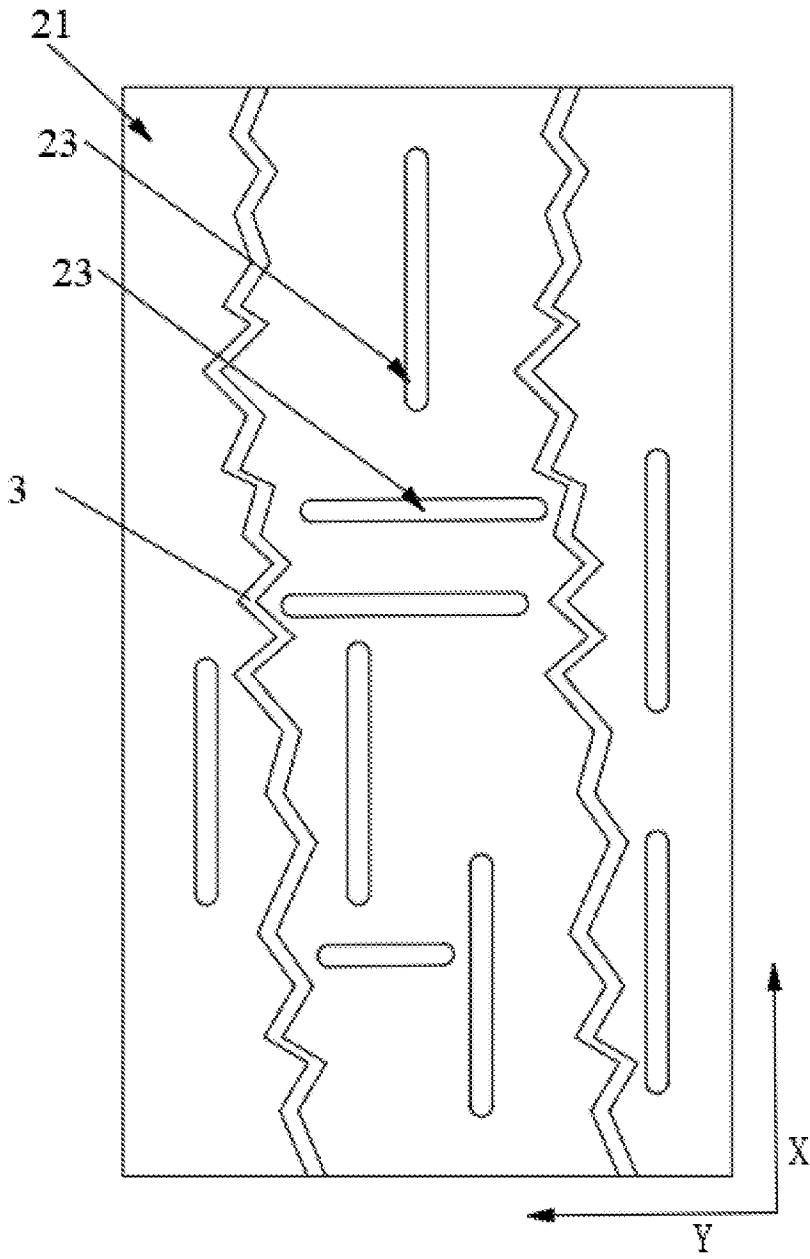


图 6

6/7

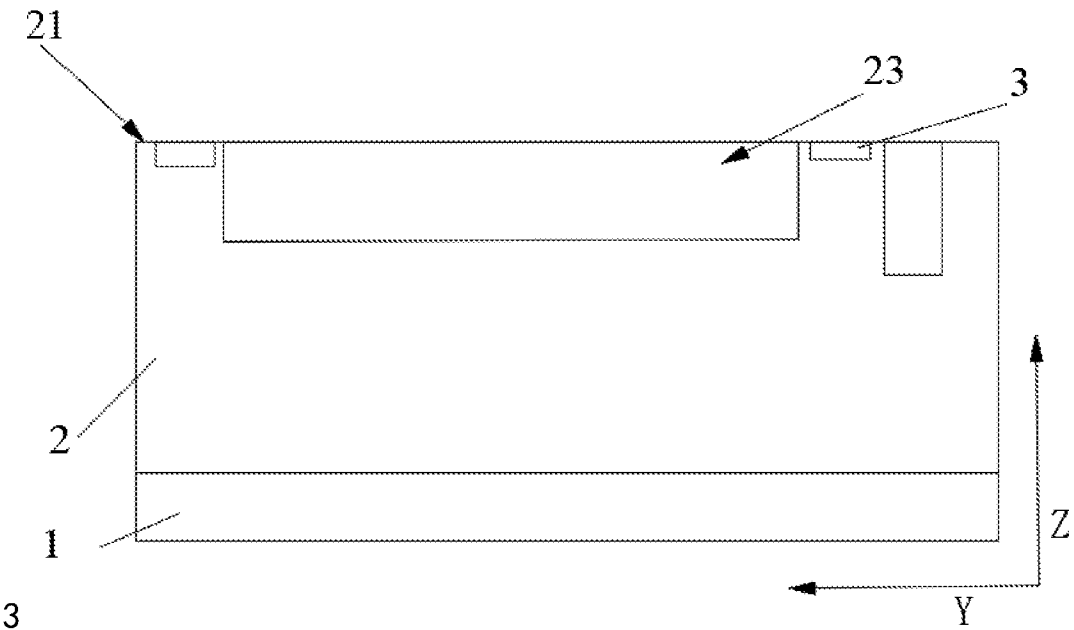


图 7

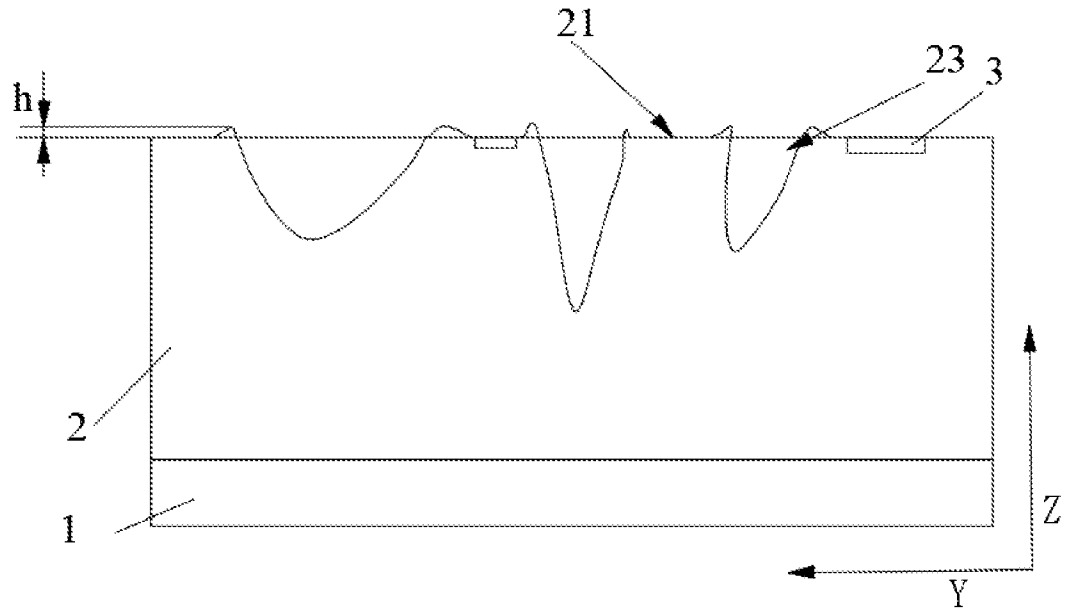


图 8

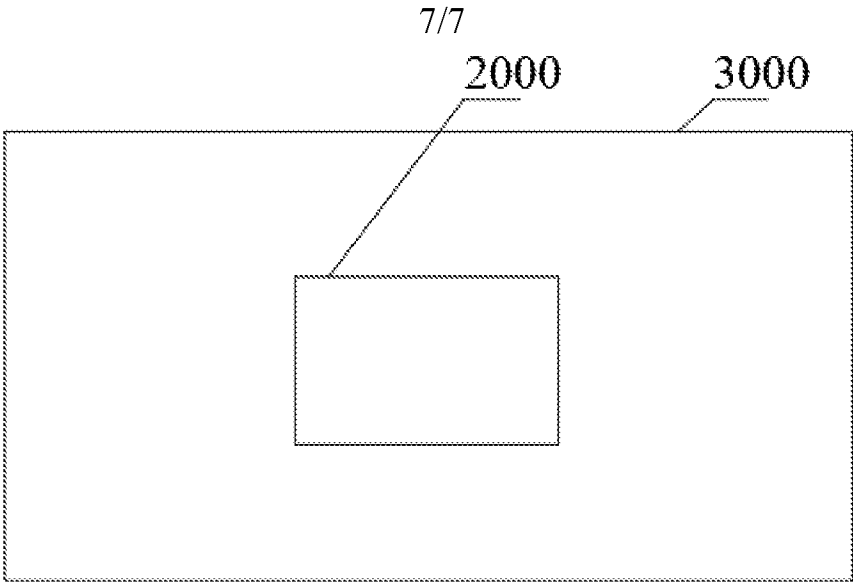


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/114270

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01M4/62(2006.01)i;H01M10/0525(2010.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																							
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC: H01M Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNABS; CNTXT; WPABS; DWPI; VEN; ENTXT; CNKI: 电池, 极片, 负极, 阳极, 活性材料层, 表面, 补锂, 锂箔, 槽, 凹, battery, electrode plate, negative electrode, anode, active material layer, surface, lithium supplement, lithium foil, groove, concave																							
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 109786662 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 21 May 2019 (2019-05-21) description, paragraphs 2-53, and figures 1-3</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 110085806 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 August 2019 (2019-08-02) description, paragraphs 2-71, and figures 1-3</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 109546084 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 March 2019 (2019-03-29) description, paragraphs 2 and 25-97, and figures 1-2</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 111902973 A (LG CHEMICAL LTD.) 06 November 2020 (2020-11-06) description, paragraphs 5, 9 and 34-118, and figures 1-2</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 112397682 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 23 February 2021 (2021-02-23) description, paragraphs 2 and 15-71, and figures 1-4</td> <td>1-25</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 114784228 A (NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LTD.) 22 July 2022 (2022-07-22) description, paragraphs 3-20 and 31-78, and figures 1-9</td> <td>1-25</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	CN 109786662 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 21 May 2019 (2019-05-21) description, paragraphs 2-53, and figures 1-3	1-25	X	CN 110085806 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 August 2019 (2019-08-02) description, paragraphs 2-71, and figures 1-3	1-25	X	CN 109546084 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 March 2019 (2019-03-29) description, paragraphs 2 and 25-97, and figures 1-2	1-25	X	CN 111902973 A (LG CHEMICAL LTD.) 06 November 2020 (2020-11-06) description, paragraphs 5, 9 and 34-118, and figures 1-2	1-25	Y	CN 112397682 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 23 February 2021 (2021-02-23) description, paragraphs 2 and 15-71, and figures 1-4	1-25	Y	CN 114784228 A (NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LTD.) 22 July 2022 (2022-07-22) description, paragraphs 3-20 and 31-78, and figures 1-9	1-25
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
X	CN 109786662 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 21 May 2019 (2019-05-21) description, paragraphs 2-53, and figures 1-3	1-25																					
X	CN 110085806 A (HUBEI LINNOVA NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 August 2019 (2019-08-02) description, paragraphs 2-71, and figures 1-3	1-25																					
X	CN 109546084 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 March 2019 (2019-03-29) description, paragraphs 2 and 25-97, and figures 1-2	1-25																					
X	CN 111902973 A (LG CHEMICAL LTD.) 06 November 2020 (2020-11-06) description, paragraphs 5, 9 and 34-118, and figures 1-2	1-25																					
Y	CN 112397682 A (NINGDE CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 23 February 2021 (2021-02-23) description, paragraphs 2 and 15-71, and figures 1-4	1-25																					
Y	CN 114784228 A (NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LTD.) 22 July 2022 (2022-07-22) description, paragraphs 3-20 and 31-78, and figures 1-9	1-25																					
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																							
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family																							
Date of the actual completion of the international search 07 May 2023		Date of mailing of the international search report 09 May 2023																					
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.																					

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/114270

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013089337 A (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION et al.) 13 May 2013 (2013-05-13) entire document	1-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/114270

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109786662	A	21 May 2019	None			
CN	110085806	A	02 August 2019	CN	110085806	B	18 October 2022
CN	109546084	A	29 March 2019	CN	109546084	B	12 July 2022
CN	111902973	A	06 November 2020	US	2021043940	A1	11 February 2021
				KR	20190118833	A	21 October 2019
				KR	102335318	B1	06 December 2021
				EP	3754756	A1	23 December 2020
				WO	2019198938	A1	17 October 2019
CN	112397682	A	23 February 2021	WO	2021027743	A1	18 February 2021
				EP	3989311	A1	27 April 2022
				US	2022158177	A1	19 May 2022
				CN	112397682	B	15 July 2022
CN	114784228	A	22 July 2022	CN	114784228	B	11 October 2022
JP	2013089337	A	13 May 2013	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/114270

A. 主题的分类

H01M4/62 (2006.01) i; H01M10/0525 (2010.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

IPC: H01M

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNABS; CNTXT; WPABS; DWPI; VEN; ENTXT; CNKI: 电池, 极片, 负极, 阳极, 活性材料层, 表面, 补锂, 锂箔, 槽, 凹, battery, electrode plate, negative electrode, anode, active material layer, surface, lithium supplement, lithium foil, groove, concave

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 109786662 A (湖北锂诺新能源科技有限公司) 2019年5月21日 (2019 - 05 - 21) 说明书第2-53段, 图1-3	1-25
X	CN 110085806 A (湖北锂诺新能源科技有限公司) 2019年8月2日 (2019 - 08 - 02) 说明书第2-71段, 图1-3	1-25
X	CN 109546084 A (宁德时代新能源科技股份有限公司) 2019年3月29日 (2019 - 03 - 29) 说明书第2、25-97段, 图1-2	1-25
X	CN 111902973 A (株式会社LG化学) 2020年11月6日 (2020 - 11 - 06) 说明书第5、9、34-118段, 图1-2	1-25
Y	CN 112397682 A (宁德时代新能源科技股份有限公司) 2021年2月23日 (2021 - 02 - 23) 说明书第2、15-71段, 图1-4	1-25
Y	CN 114784228 A (宁德新能源科技有限公司) 2022年7月22日 (2022 - 07 - 22) 说明书第3-20、31-78段, 图1-9	1-25
A	JP 2013089337 A (TOYOTA IND CORP 等) 2013年5月13日 (2013 - 05 - 13) 全文	1-25

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2023年5月7日

国际检索报告邮寄日期

2023年5月9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

梁锦娟

电话号码 (+86) 020-28950409

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/114270

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109786662	A	2019年5月21日	无	
CN	110085806	A	2019年8月2日	CN	110085806 B 2022年10月18日
CN	109546084	A	2019年3月29日	CN	109546084 B 2022年7月12日
CN	111902973	A	2020年11月6日	US	2021043940 A1 2021年2月11日
				KR	20190118833 A 2019年10月21日
				KR	102335318 B1 2021年12月6日
				EP	3754756 A1 2020年12月23日
				WO	2019198938 A1 2019年10月17日
CN	112397682	A	2021年2月23日	WO	2021027743 A1 2021年2月18日
				EP	3989311 A1 2022年4月27日
				US	2022158177 A1 2022年5月19日
				CN	112397682 B 2022年7月15日
CN	114784228	A	2022年7月22日	CN	114784228 B 2022年10月11日
JP	2013089337	A	2013年5月13日	无	