(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
2025 年 1 月 9 日 (09.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2025/007458 A1

(51) 国际专利分类号:
H01M 4/36 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/127831

(22) 国际申请日: 2023 年 10 月 30 日 (30.10.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310824530.7 2023年7月6日 (06.07.2023) CN

(71) 申请人: 宁德时代新能源科技股份有限公司 (**CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LIMITED**) [CN/CN]; 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。

(72) 发明人:吴凯(**WU, Kai**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。 梁子彬(**LIANG, Zibin**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。 王宇豪(**WANG, Yuhao**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。 林文光(**LIN, Wenguang**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。 李强(**LI, Qiang**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。 张欣欣(**ZHANG, Xinxin**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路2号, Fujian 352100 (CN)。

(74) 代理人: 北京励诚知识产权代理有限公司(**BEIJING LISENG INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.**); 中国北京市海淀区阜成路73号裕惠大厦B座807, Beijing 100142 (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,

(54) **Title:** POSITIVE ELECTRODE ACTIVE MATERIAL AND PREPARATION METHOD THEREFOR, POSITIVE ELECTRODE SHEET, BATTERY, AND ELECTRICAL DEVICE

(54) 发明名称: 正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池和用电装置

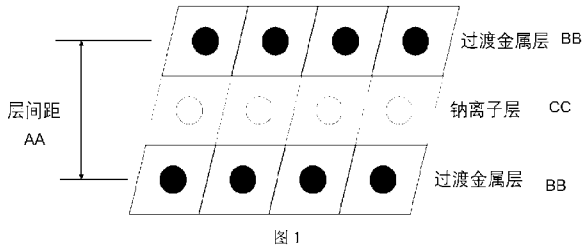


图 1

AA Interlayer spacing
BB Transition metal layer
CC Sodium ion layer

(57) **Abstract:** The present application discloses a positive electrode active material and a preparation method therefor, a positive electrode sheet, a battery, and an electrical device. The positive electrode active material comprises a sodium manganese oxide; the sodium manganese oxide comprises a first phase and a second phase; the first phase comprises first sodium ion layers and first transition metal layers which are sequentially alternated, and the second phase comprises second sodium ion layers and second transition metal layers which are sequentially alternated; and the interlayer spacing of the adjacent first transition metal layers in the first phase in a direction perpendicular to a crystal plane (001) is d_1, and the interlayer spacing of the adjacent second transition metal layers in the direction perpendicular to the crystal plane (001) is d_2, wherein d_1-d_2 ranges from 0.01 nm to 0.02 nm.

(57) 摘要: 本申请公开了正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池和用电装置，正极活性材料包括钠锰氧化物，钠锰氧化物包括第一相和第二相，第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层，第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于(001)晶面方向上的层间距为d_1，第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于(001)晶面方向上的层间距为d_2，d_1-d_2为0.01nm-0.02nm。

WO 2025/007458 A1

[见续页]

IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, 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, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池和用电装置

技术领域

本公开涉及电池领域，具体而言，涉及正极活性材料及其制备方法、正极极片、电池和用电装置。

背景技术

钠离子电池主要是依靠钠离子在正负极之间的运动来工作的二次电池。以钠离子电池为代表的二次电池已在储能电源系统（如水力、火力、风力和太阳能电站等）以及电动车辆、航空航天等多个领域得到应用。相较于锂离子电池，作为钠离子电池正极活性材料主要组成的钠盐的储量更丰富，钠盐价格也远低于作为锂离子电池正极活性材料主要组成的锂盐价格，从而使得钠离子电池在原材料方面拥有显著的成本优势。然而，钠离子电池仍存在能量密度低、稳定性不佳等问题，导致钠离子电池在实际应用受到限制。

申请内容

在本申请的第一方面，本申请提出了一种正极活性材料，包括钠锰氧化物，所述钠锰氧化物包括第一相和第二相，所述第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层，所述第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；所述第一相中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，所述第二相中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm。由此，可以使得第一相和第二相在脱嵌钠过程中发生的应变较小，减少晶体结构上缺陷和裂纹的出现，进而提高正极活性材料的循环稳定性。

根据本申请的实施例，所述钠锰氧化物包括掺杂元素 Q，所述掺杂元素满足以下条件的至少之一：所述掺杂元素 Q 包括第一掺杂元素 Q1，所述第一掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的钠元素，所述第一掺杂元素包括 Li、K、Ca、La、Sr 中的至少一种；所述掺杂元素 Q 包括第二掺杂元素 Q2，所述第二掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的锰元素，所述第二掺杂元素包括 Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Li、B、Mg、Al、Si、Ti、Y、Zr、Nb、Mo、In、Sn、Sb、La、Ce、Ta、W、Bi 中的至少一种；所述掺杂元素 Q 包括第三掺杂元素 Q3，所述第三掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的氧元素，所述第三掺杂元素包括 F、Cl 中的至少一种。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

根据本申请的实施例，所述钠锰氧化物满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yQ2_bO_zQ3_c$，其中，$0.5<x\leq1.2$，$0\leq a\leq0.5$，$0.5<x+a\leq1.2$；$0<y$，$0\leq b\leq0.6$，$y+b=1$；$1.8\leq z\leq2.2$，$0\leq c\leq0.2$，$1.8\leq z+c\leq2.2$。由此，可以提高正极活性材料在循环过程中的结构稳定性。

根据本申请的实施例，所述钠锰氧化物满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yFe_dNi_cQ2_bO_zQ3_c$，其中，$y+d+e+b=1$，$0.1\leq d\leq0.6$，$0.1\leq e\leq0.6$，所述第一相中所述第一过渡金属层/所述第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，所述第二相中所述第二过渡金属层/所述第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，其中，$S_1/(S_2+S_1)\times e\leq0.1$。由此，可以提高正极活性材料的比容量、放电平均电压以及在循环过程中的结构稳定性。

根据本申请的实施例，$0.05\leq S_1/(S_2+S_1)$，可选地，$0.1\leq S_1/(S_2+S_1)$。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

根据本申请的实施例，所述钠锰氧化物中的所述第一相满足化学式：$Na_{x1}Q1_{a1}Mn_{y1}Fe_{d1}Ni_{e1}Q2_{b1}O_zQ3_{c1}$，其中，$0.6<x1\leq 0.8$，$0\leq a1\leq 0.6$，$0\leq b1\leq 0.6$，$y1+d1+e1+c1=1$，且 $0\leq(d1\times e1)/(y1^2)\leq 0.5$；所述钠锰氧化物中的所述第二相满足化学式：$Na_{x2}Q1_{a2}Mn_{y2}Fe_{d2}Ni_{e2}Q2_{b2}O_zQ3_{c2}$，其中，$0.7<x2\leq 1$，$0.1\leq a2\leq 0.6$，$0.1\leq b2\leq 0.6$，$y2+d2+e2+c2=1$，且 $0.1\leq(d2\times e2)/(y2^2)\leq 1$。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

根据本申请的实施例，所述第一相中所述过第一渡金属层/所述第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，所述第二相中所述第二过渡金属层/所述第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，S_1 和 S_2 满足 $0.01\leq S_1/(S_1+S_2)\leq 0.5$。由此，正极活性材料在具有较高循环稳定性的同时，还可以具有较高的比容量。可选地，$0.05\leq S_1/(S_1+S_2)\leq 0.5$。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

根据本申请的实施例，$0.550nm\leq d_1\leq 0.565nm$，$0.530nm\leq d_2\leq 0.545nm$。由此，可以利用第一相和第二相在循环过程中的协同作用，提高正极活性材料在循环过程中的结构稳定性。

根据本申请的实施例，所述第一相为 P2 相，空间群为 P63/mmc；所述第二相为 O3 相，空间群为 $R\bar{3}m$。由此，利用 P2 相与 O3 相之间的协同效应，可进一步提高正极活性材料的循环稳定性和比容量。

根据本申请的实施例，在 25℃下，质量浓度为 2g/18mL 所述正极活性材料的去离子水溶液的 pH 为 7-13；可选地，pH 为 11-13。由此，有利于形成分散均匀、易于涂布的正极浆料。

在本申请的第二方面，本申请提出了一种制备前述的正极活性材料的方法，包括：提供前驱体；对所述前驱体进行煅烧处理，以获得所述正极活性材料，其中，所述正极活性材料包括钠锰氧化物，所述钠锰氧化物包括第一相和第二相，所述第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层；所述第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；所述第一相中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，所述第二相中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm。由此，可以通过较为简便的方法制得前述的正极活性材料。

根据本申请的实施例，所述提供前驱体包括：提供第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物，所述混合物中所述第一钠锰氧化物的摩尔数为 m_1，所述混合物中所述第二钠锰氧化物的摩尔数为 m_2，$m_1:m_2=(1:2)-(1:10)$，其中，所述第一钠锰氧化物中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.550nm-0.565nm，所述第二钠锰氧化物中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.530nm-0.545nm。由此，可以通过两步煅烧工艺获得前述的正极活性材料，精准调控第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_1，以及第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_2。

根据本申请的实施例，所述煅烧处理满足以下条件的至少之一：所述煅烧处理的温度为 800℃-900℃；所述煅烧处理的时间为 0.5h-20h。由此，可以获得所需层间距的正极活性材料。

根据本申请的实施例，提供第一钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第一煅烧处理，所述混合物中所述钠源的摩尔数为 m_{1-1}，所述混合物中所述锰氧化物的摩尔数为

m_{2-1}，所述混合物中所述掺杂元素氧化物的摩尔数为 m_{3-1}，$m_{1-1}:m_{2-1}:m_{3-1}=(0.5-0.8):(0.6-0.95):(0-0.4)$。由此，可以获得所需层间距的第一钠锰氧化物。

根据本申请的实施例，所述第一煅烧处理满足以下条件的至少之一：所述第一煅烧处理的温度为700℃-900℃；所述第一煅烧处理的时间为 10h-20h。

根据本申请的实施例，提供第二钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第二煅烧处理，所述混合物中所述钠源的摩尔数为 m_{1-2}，所述混合物中所述锰氧化物的摩尔数为 m_{2-2}，所述混合物中所述掺杂元素氧化物的摩尔数为 m_{3-2}，$m_{1-2}:m_{2-2}:m_{3-2}=(0.8-1.1):(0.3-0.5):(0-0.6)$。由此，可以获得所需层间距的第二钠锰氧化物。

根据本申请的实施例，所述第二煅烧处理满足以下条件的至少之一：所述第二煅烧处理的温度为800℃-1100℃；所述第二煅烧处理的时间为 10h-20h。

在本申请的第三方面，本申请提出了一种正极极片，包括前述的正极活性材料，和/或，采用前述的方法制备得到的正极活性材料。由此，该正极极片具有前述正极活性材料和制备正极活性材料的方法的全部特征及优点，在此不再赘述。

在本申请的第四方面，本申请提出了一种电池，包括前述的正极极片。由此，该电池具有前述正极极片的全部特征及优点，在此不再赘述。

在本申请的第五方面，本申请提出了一种用电装置，包括前述的电池。由此，该用电装置具有前述电池的全部特征及优点，在此不再赘述。

附图说明

本申请的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施方式的描述中将变得明显和容易理解。附图仅用于示出实施方式的目的，而并不认为是对本申请的限制。其中，

图 1 为钠锰氧化物的层间距示意图；

图 2 显示了根据本申请一个实施例的电池的示意图；

图 3 是图 2 所示的本申请一实施例的电池的爆炸图；

图 4 显示了根据本申请一个实施例的电池模块的示意图；

图 5 显示了根据本申请一个实施例的电池包的示意图；

图 6 是图 5 所示的本申请一个实施例的电池包的爆炸图；

图 7 显示了根据本申请一个实施例的电池用作电源的用电装置的示意图；

图 8 显示了本申请实施例 1 中正极活性材料的 XRD 衍射谱图；

图 9 显示了本申请对比例 1 中正极活性材料的 XRD 衍射谱图。

附图标记说明：

1：电池包，2：上箱体，3：下箱体，4：电池模块，5：电池，

51：壳体，52：电极组件，53 顶盖组件。

具体实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能理解为对本申请的限制。

在本申请的描述中，“A和/或B”可以包括单独A的情况，单独B的情况，A和B的情况的任一种，其中A、B仅用于举例，其可以是本申请中使用“和/或”连接的任意技术特征。

在本申请的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上。

在本申请的描述中，无论是否使用“大约”或“约”等字眼，所有在此公开了的数字均为近似值。每一个数字的数值有可能会出现 10%以下的差异或者本领域人员认为的合理的差异，如 1%、2%、3%、4%或 5%的差异。

除非另有定义，本申请所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同；本申请中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本申请；除非另有说明，本申请中使用的术语具有本领域技术人员通常所理解的公知含义。除非另有说明，本申请中提到的各参数的数值可以用本领域常用的各种测量方法进行测量（例如，可以按照在本申请的实施例中给出的方法进行测试）。

本申请的说明书和权利要求书中的术语“包括”和“具有”以及它们的任何变形为开放式表达，即包括本申请所指明的内容，但并不排除其它方面的内容。

随着动力电池应用领域的不断扩大，动力电池市场的需求量也在不断地扩增。以钠离子电池为代表的二次电池已经在储能电源系统以及电动车辆、航空航天等多个领域得到应用。目前的钠离子电池存在随着充放电循环次数的增加，循环性能显著下降，以及正极活性材料失活导致电池容量的下降的问题。

以含有钠锰氧化物的正极活性材料为例，层状结构的钠锰氧化物在充放电循环过程中会持续发生钠离子的脱嵌，相应地，在钠离子的脱嵌过程中，钠锰氧化物的层状结构会发生收缩和膨胀以完成钠离子的脱嵌。当钠锰氧化物的层状结构在收缩和膨胀的过程中所受到的应力过大时，钠锰氧化物层状结构会被过大的应力破坏，导致钠锰氧化物颗粒内部出现缺陷和裂纹，进而导致正极活性材料循环稳定性较差。

基于以上考虑，本申请提出了具有混合相的钠锰氧化物正极活性材料，该正极活性材料中第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_1，以及第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_2，d_1 与 d_2 之间差值在 0.01nm 到 0.02nm 之间，从而在钠锰氧化物层状结构的收缩和膨胀的过程中会起到“互锁”的作用，使得钠锰氧化物层状结构在脱嵌钠过程中所受到的应力较小，进而降低晶体结构的应变，减少晶体结构因应变过大而导致的缺陷和裂纹的出现，提高正极活性材料在充放电循环过程中的稳定性。

作为示例，参见图 1，前述的层间距是指在钠锰层状氧化物中，垂直于（001）晶面方向上的相邻两层过渡金属层之间的距离。

通常情况下，电池包括正极极片、负极极片、电解质和隔离膜。在电池充放电过程中，活性离子，例如活性钠离子在正极极片和负极极片之间往返嵌入和脱出。电解质在正极极片和负极极片之间起到传导离子的作用。隔离膜设置在正极极片和负极极片之间，主要起到防止正负极短路的作用，同时可以使离子通过。

在一些实施例中，正极极片包括正极集流体和至少位于正极集流体一侧的正极活性材料层，正极活性材料层中包括正极活性材料。

本申请实施例公开的电池可以用于使用电池作为电源的用电装置，或者使用具备本申请公开的电池等组成该用电装置的电源系统，或者使用电池作为储能元件的各种储能系统。用电装置可以包括手机、平板、笔记本电脑、电动玩具、电动工具、电瓶车、电动汽车、轮船、航天器等。其中，电动玩具可以包括固定式或移动式的电动玩具，例如，游戏机、电动汽车玩具、电动轮船玩具和电动飞机玩具等，航天器可以包括飞机、火箭、航天飞机和宇宙飞船等。

应理解，本申请实施例描述的技术方案不仅仅局限适用于上述所描述的电池和用电装置，还可以适用于其它所有包括电池以及使用电池的用电装置，但为描述简洁，下述实施例均以电动车辆为例进行说明。

在本申请的第一方面，本申请提出了一种正极活性材料，包括钠锰氧化物，钠锰氧化物包括第一相和第二相，第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层，第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm，由于第一相的层间距略大于第二相的层间距，从而可以使得第一相和第二相在脱嵌钠过程中发生的应变较小，减少晶体结构上缺陷和裂纹的出现，进而提高正极活性材料的循环稳定性。

在一些实施例中，当 d_1-d_2 小于 0.01nm 时，第一相与第二相之间“互锁”作用不明显，无法改善正极活性材料的循环稳定性；当 d_1-d_2 大于 0.02nm 时，第一相与第二相之间的层间距差距过大，在充放电循环中两相之间的协同作用较差，不利于钠离子的脱嵌。

作为示例，d_1-d_2 可以为 0.01nm、0.011nm、0.012nm、0.013nm、0.014nm、0.015nm、0.016nm、0.017nm、0.018nm、0.019nm 或 0.02nm。

根据本申请的实施例，钠锰氧化物可以包括掺杂元素 Q，由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

在一些实施例中，掺杂元素 Q 可以包括第一掺杂元素 Q1，第一掺杂元素部分取代钠锰氧化物中的钠元素，第一掺杂元素包括 Li、K、Ca、La、Sr 中的至少一种。由此，可以提高钠离子的脱嵌速率。

在一些实施例中，掺杂元素 Q 可以包括第二掺杂元素 Q2，第二掺杂元素部分取代钠锰氧化物中的锰元素，第二掺杂元素包括 Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Li、B、Mg、Al、Si、Ti、Y、Zr、Nb、Mo、In、Sn、Sb、La、Ce、Ta、W、Bi 中的至少一种。由此，可以提高正极活性材料的比容量、平均放电电压、结构稳定性等。

在一些实施例中，掺杂元素 Q 可以包括第三掺杂元素 Q3，第三掺杂元素部分取代钠锰氧化物中的氧元素，第三掺杂元素包括 F、Cl 中的至少一种。由此，可以进一步提高正极活性材料的晶体结构稳定性。

根据本申请的实施例，钠锰氧化物可以满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yQ2_bO_zQ3_c$，其中，$0.5<x\leq1.2$，$0\leq a\leq0.5$，$0.5<x+a\leq1.2$；$0<y$，$0\leq b\leq0.6$，$y+b=1$；$1.8\leq z\leq2.2$，$0\leq c\leq0.2$，$1.8\leq z+c\leq2.2$。由此，可以提高正极活性材料在循环过程中的结构稳定性。

在一些实施例中，当正极活性材料经过补钠、化成等工序，以及长期循环使用后，正极活性材料中

的钠元素的含量可能会因补钠工序出现超出标准值，也可能出现在化成和长期循环使用后低于标准值的情况；正极活性材料中氧元素的含量也可能在循环后期因晶格氧释出出现低于标准值的情况。

在一些实施例中，通过控制钠锰氧化物中各元素的含量，可以使得正极活性材料具有较高的比容量，并使得钠锰氧化物中第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距与第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距之间具有适当的差值，满足上述层间距差值的第一相和第二相之间具有协同作用，进一步提高正极活性材料的循环稳定性。

根据本申请的实施例，钠锰氧化物满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yFe_dNi_eQ2_bO_zQ3_c$，其中，y+d+e+b=1，0.1≤d≤0.6，0.1≤e≤0.6，第一相中第一过渡金属层/第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，第二相中第二过渡金属层/第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，其中，$S_1/(S_2+S_1)\times e\leq 0.1$。由此，可以提高正极活性材料的比容量、放电平均电压以及在循环过程中的结构稳定性。

在一些实施例中，正极活性材料中具有较大层间距的相有利于正极活性材料的高压相变，从而能有效提高正极活性材料的放电平均电压，进而提高正极活性材料的能量密度。

在另一些实施例中，正极活性材料中的 Ni 在充放电过程中变价能提供电荷补偿，进而提高正极活性材料的比容量。但是在充放电过程中，层间距较大的钠锰氧化物中位于过渡金属层的 Ni 容易迁移到钠离子层中，进而导致钠锰氧化物的层状结构被破坏，循环稳定性下降。

作为示例，当 $S_1/(S_2+S_1)\times e\leq 0.1$ 时，正极活性材料具有较高的比容量、较高的放电平均电压，以及较优的循环稳定性。

根据本申请的实施例，$0.05\leq S_1/(S_2+S_1)$，可选地，$0.1\leq S_1/(S_2+S_1)$。由此，可以进一步提高正极活性材料的放电平均电压和循环充放电过程中的结构稳定性。

根据本申请的实施例，钠锰氧化物中的第一相满足化学式：$Na_{x1}Q1_{a1}Mn_{y1}Fe_{d1}Ni_{e1}Q2_{b1}O_zQ3_{c1}$，其中，$0.6<x1\leq 0.8$，$0\leq a1\leq 0.6$，$0\leq b1\leq 0.6$，y1+d1+e1+c1=1，且 $0\leq(d1\times e1)/(y1^2)\leq 0.5$；钠锰氧化物中的第二相满足化学式：$Na_{x2}Q1_{a2}Mn_{y2}Fe_{d2}Ni_{c2}Q2_{b2}O_zQ3_{c2}$，其中，$0.7<x2\leq 1$，$0.1\leq a2\leq 0.6$，$0.1\leq b2\leq 0.6$，y2+d2+e2+c2=1，且 $0.1\leq(d2\times e2)/(y2^2)\leq 1$。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

在一些实施例中，在充放电过程中，层间距较大的第一相中位于第一过渡金属层的 Ni 和 Fe 容易迁移到第一钠离子层中，进而导致钠锰氧化物的层状结构被破坏，循环稳定性下降，通过在具有较大层间距的第一相中，控制取代钠锰氧化物中的锰元素的 Fe 和 Ni 的含量相对较低，即满足 $0\leq(d1\times e1)/(y1^2)\leq 0.5$，有助于使得第一相结构更加稳定，不易因 Fe 和 Ni 的迁移而被破坏，提高正极活性材料在充放电循环过程中的结构稳定性。

在一些实例中，由于在具有较小层间距的第二相中位于第二过渡金属层的 Fe 和 Ni 不容易发生迁移，通过控制 Fe 和 Ni 的含量相对较高，即 $0.1\leq(d1\times e1)/(y1^2)\leq 1$，可提高正极活性材料的比容量。

根据本申请的实施例，第一相中第一过渡金属层/第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，第二相中第二过渡金属层/第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，S_1 和 S_2 满足 $0.01\leq S_1/(S_1+S_2)\leq 0.5$。由此，正极活性材料在具有较高循环稳定性的同时，还可以具有较高的比容量。可选地，$0.05\leq S_1/(S_1+S_2)\leq 0.5$。由此，可以进一步提高正极活性材料的结构稳定性和比容量。

作为示例，正极活性材料中过渡金属层/钠离子层在特定 2θ 范围内 X 射线的衍射峰强是指：在正极

活性材料中相邻的过渡金属层与钠离子层共同形成的晶体结构在特定 2θ 范围内对 X 射线的衍射峰强。

作为示例，第一相中第一过渡金属层/第一钠离子层对 X 射线的衍射峰强 S_1、第二相中第二过渡金属层/第二钠离子层对 X 射线的衍射峰强 S_2 可以通过如下方法测试得到：对正极活性材料进行 XRD 测试，以 CuKα 射线为辐射源，射线波长 λ=1.5406Å，扫描 2θ 角范围为 5°-60°，扫描速率为 4°/min 进行测试，其中，2θ 角峰位在 15°-17°内，通过全谱拟合 Rietveld 分峰后即可得到各自的衍射峰强，一般地，正极活性材料在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强即为 S_1，正极活性材料在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强即为 S_2。

作为示例，针对第一相，在前述 XRD 测试完成后通过 002 晶面对应的角度，一般 2θ 角峰位在 15°-17°内，根据布拉格方程 2dsinθ=λ，以及 002 晶面每个晶胞包含三层第一过渡金属层，即可得到 002 晶面的层间距 d_{002}；针对第二相，在测试完成后通过 003 晶面对应的角度，一般 2θ 角峰位在 15°-17°内，根据布拉格方程 2dsinθ=λ，以及 003 晶面每个晶胞包含三层第二过渡金属层，即可得到 003 晶面的层间距 d_{003}。通过 d_{002} 和 d_{003} 即可以得到对应的第一相和第二相中相邻的过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距。

根据本申请的实施例，$0.550nm \leq d_1 \leq 0.565nm$，$0.530nm \leq d_2 \leq 0.545nm$。由此，可以利用第一相和第二相在循环过程中的协同作用，提高正极活性材料在循环过程中的结构稳定性。

作为示例，正极活性材料的元素组成可以采用电感耦合等离子体发射光谱法测试，具体地，仪器标准参考 EPA6010D-2014《电感耦合等离子体原子发射光谱法》。将待测样品经过化学方法处理消解成溶液后，雾化进入等离子体被激发出元素的特征谱线，根据谱线的波长和强度（与浓度成正比）来定性和定量分析元素含量。其中，正极活性材料中两相各自的组成可以通过对待测样品进行离子抛光截面后，对不同相的颗粒进行元素分析得到。

根据本申请的实施例，第一相为 P2 相，空间群为 P63/mmc；第二相为 O3 相，空间群为 $R\bar{3}m$。由于 P2 相与 O3 相之间的氧层排列不一致，有助于提高第一相与第二相之间的“互锁”效应，从而可进一步提高正极活性材料的循环稳定性。

作为示例，通过将正极活性材料的 XRD 衍射峰与 XRD 分析软件的标准卡片对比，即可确认正极活性材料的空间群。

根据本申请的实施例，在 25℃下，质量浓度为 2g/18mL 的正极活性材料的去离子水溶液的 pH 可以为 7-13；可选地，pH 为 11-12.5。

作为示例，正极活性材料的正极活性材料的 pH 值可以为 7、7.5、8、8.5、9、9.5、10、10.5、11、11.5、12、12.5 或 13。

作为示例，正极活性材料可以呈弱碱性，从而有易于后续形成适用于涂布的正极浆料，正极活性材料的 pH 为 7-13。可选地，正极活性材料的 pH 可以满足 11-13，进一步地，正极活性材料的 pH 可以满足 11-12.5，从而可以减少调浆过程中的凝胶现象的产生，提高正极浆料的涂布稳定性。

作为示例，本申请的正极活性材料的 pH 通过如下方法测得：通过 ICP 确定正极活性材料的元素组成后，取质量 2g 正极活性材料加入到 18mL 去离子水中，在室温（25℃）下搅拌至完全溶解后，静置 30min，对所得上清液的 pH 进行测试，测得的 pH 结果即为该正极活性材料的 pH。

在本申请的第二方面，本申请提出了一种制备前述的正极活性材料的方法，包括：提供前驱体；对前驱体进行煅烧处理，以获得正极活性材料，其中，正极活性材料包括钠锰氧化物，钠锰氧化物包括第一相和第二相，第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层；第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm。由此，可以通过较为简便的方法制得前述的正极活性材料。

根据本申请的实施例，提供前驱体包括：提供第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物，混合物中第一钠锰氧化物的摩尔数为 m_1，混合物中第二钠锰氧化物的摩尔数为 m_2，混合物中第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比 m_1:m_2=(1:2)-(1:10)，其中，第一钠锰氧化物中相邻的过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.550nm-0.565nm，第二钠锰氧化物中相邻的过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.530nm-0.545nm。由此，可以通过两步煅烧工艺获得前述的正极活性材料，精准调控第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距和第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距。

根据本申请的实施例，煅烧处理满足以下条件的至少之一：煅烧处理的温度可以为 800℃-900℃；煅烧处理的时间可以为 0.5h-20h。

作为示例，对于第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物进行煅烧处理的温度可以为 800℃、810℃、820℃、830℃、840℃、850℃、860℃、870℃、880℃、890℃或 900℃。

当对于第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物进行煅烧处理的温度为 800℃-900℃时，可以较为精准地调控正极活性材料中第一相中相邻的第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_1，以及第二相中相邻的第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距 d_2，使得 d_1 与 d_2 之间的差值位于前述的范围内，从而在钠锰氧化物层状结构的收缩和膨胀的过程中第一相与第二相之间会起到“互锁”的作用，使得钠锰氧化物层状结构在脱嵌钠过程中所受到的应力较小，进而降低晶体结构的应变，减少晶体结构因应变过大而导致的缺陷和裂纹的出现，提高正极活性材料在充放电循环过程中的稳定性。

作为示例，对于第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物进行煅烧处理的时间可以为 0.5h、1h、2h、3h、4h、5h、6h、7h、8h、9h、10h、11h、12h、13h、14h、15h、16h、17h、18h、19h 或 20h。

根据本申请的实施例，提供第一钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第一煅烧处理，混合物中钠源的摩尔数为 $m_{1\text{-}1}$，混合物中锰氧化物的摩尔数为 $m_{2\text{-}1}$，混合物中掺杂元素氧化物的摩尔数为 $m_{3\text{-}1}$，$m_{1\text{-}1}$:$m_{2\text{-}1}$:$m_{3\text{-}1}$=(0.5-0.8):(0.6-0.95):(0-0.4)。由此，可以获得所需层间距的第一钠锰氧化物。

根据本申请的实施例，第一煅烧处理满足以下条件的至少之一：第一煅烧处理的温度可以为 700℃-900℃；第一煅烧处理的时间可以为 10h-20h。

作为示例，合成第一钠锰氧化物时进行第一煅烧处理的温度可以为 700℃、710℃、720℃、730℃、740℃、750℃、760℃、770℃、780℃、790℃、800℃、810℃、820℃、830℃、840℃、850℃、860℃、870℃、880℃、890℃或 900℃。

作为示例，合成第一钠锰氧化物时进行第一煅烧处理的时间可以为 10h、11h、12h、13h、14h、15h、

16h、17h、18h、19h 或 20h。

在一些实施例中，在前述的钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物配比，以及第一煅烧处理的条件下，即可以得到相邻的过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.550nm-0.565nm 的第一钠锰氧化物。

根据本申请的实施例，提供第二钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第二煅烧处理，混合物中钠源的摩尔数为 m_{1-2}，混合物中锰氧化物的摩尔数为 m_{2-2}，混合物中掺杂元素氧化物的摩尔数为 m_{3-2}，m_{1-2}:m_{2-2}:m_{3-2}=(0.8-1.1):(0.3-0.5):(0-0.6)。

根据本申请的实施例，第二煅烧处理满足以下条件的至少之一：第二煅烧处理的温度为 800℃-1100℃；第二煅烧处理的时间为 10h-20h。

作为示例，合成第二钠锰氧化物时进行第二煅烧处理的温度可以为 800℃、810℃、820℃、830℃、840℃、850℃、860℃、870℃、880℃、890℃、900℃、910℃、920℃、930℃、940℃、950℃、960℃、970℃、980℃、990℃、1000℃、1010℃、1020℃、1030℃、1040℃、1050℃、1060℃、1070℃、1080℃、1090℃或 1100℃。

作为示例，合成第二钠锰氧化物时进行第二煅烧处理的时间可以为 10h、11h、12h、13h、14h、15h、16h、17h、18h、19h 或 20h。

在一些实施例中，在前述的钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物配比，以及第二煅烧处理的条件下，即可以得到相邻的过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.530nm-0.545nm 的第二钠锰氧化物。

作为示例，钠源可以包括 Na_2CO_3、$NaHCO_3$、NaOH、Na_2O_2 中的至少一种。

作为示例，锰氧化物可以包括 Mn_2O_3、Mn_3O_4、MnO、MnO_2 中的至少一种。

需要说明的是，上述制备正极活性材料的方法中的相关参数可以参考前述实施例中的部分或全部技术特征，该制备正极活性材料的方法相关实施例未描述的部分，也可以参考前述实施例及相关附图，在此不再赘述。

上文对各个实施例的描述倾向于强调各个实施例之间的不同之处，其相同或相似之处可以相互参考，为了简洁，本文不再赘述。

在本申请的第三方面，本申请提出了一种正极极片，包含前述的正极活性材料，和/或采用前述的方法制备的正极活性材料。

在一些实施方式中，正极极片包括正极集流体以及设置在正极集流体至少一侧的正极活性材料层，正极活性材料层包含正极活性材料。

在本申请中，正极集流体可以为金属箔片或复合集流体。金属箔片例如为铝箔。复合集流体可以包括高分子基层和形成于高分子基层至少一侧的金属层，其中，金属层的材料包括但不限于，铝、铝合金、镍、镍合金、钛、钛合金、银及银合金等；高分子基层的高分子材料可以为聚丙烯（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。

在一些实施方式中，正极活性材料是正极活性材料层中的正极活性物质，除了该正极活性材料，正极活性材料层还可选的包括导电剂和/或粘结剂。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、石墨烯和碳纳米纤维中的至少一种；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-六氟丙烯共聚物和含氟丙烯酸酯树脂中的至少一种。

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任意一者或两者上。

本申请对正极极片的制备方法没有特别限定，可参照现有方法制备。例如，将正极浆料涂布在正极集流体上，经干燥、冷压形成正极极片。正极浆料可以是将正极活性材料、可选的导电剂、可选的粘结剂等组分分散于溶剂（如，N-甲基吡咯烷酮）中并搅拌均匀而形成的。

此外，本申请的正极极片并不排除除了正极活性材料层之外的其它附加功能层。例如，正极极片还可以包括设置在正极集流体和正极活性材料层之间的导电底涂层（例如由导电剂和粘结剂组成）。再例如，正极极片还包括覆盖在正极活性材料层表面的保护层。

在本申请的第四方面，本申请提出了一种电池，包括前述的正极极片，正极极片包括正极集流体和至少位于正极集流体一侧的正极活性材料层，正极活性材料层包括前述的正极活性材料，和/或，采用前述的方法制备得到的正极活性材料。

在本申请的实施例中，电池可以为二次电池。例如，图2中的电池5可以为钠离子电池等。

在一些实施例中，电池包括正极极片、负极极片以及隔离膜。在电池充放电过程中，活性离子在正极极片和负极极片之间往返嵌入和脱出。电解质在正极极片和负极极片之间起到传导离子的作用。隔离膜设置在正极极片和负极极片之间，可起到防止正负极短路的作用，同时可以使离子通过。

在一些实施例中，电极组件包括正极极片、负极极片以及位于正极极片和负极极片之间的隔离膜。

在一些实施例中，电极组件为卷绕结构。正极极片、负极极片卷绕形成卷绕结构。

在一些实施例中，电极组件为叠片结构。

作为示例，正极极片、负极极片可分别设置多个，多个正极极片和多个负极极片交替层叠设置。

作为示例，正极极片可设置多个，负极极片折叠形成多个层叠设置的折叠段，相邻的折叠段之间夹持一个正极极片。

作为示例，正极极片和负极极片均折叠形成多个层叠设置的折叠段。

作为示例，隔离膜可设置多个，分别设置在任意相邻的正极极片或负极极片之间。

作为示例，隔离膜可连续地设置，通过折叠或者卷绕方式设置在任意相邻的正极极片或负极极片之间。

在一些实施例中，电极组件的形状可以为圆柱状，扁平状或多棱柱状等。

在一些实施例中，电极组件设有极耳，极耳可以将电流从电极组件导出。极耳包括正极耳和负极耳。

在一些实施例中，正极极片可以为前述的正极极片。

在一些实施例中，负极极片可以包括负极集流体，负极集流体可采用金属箔片、泡沫金属或复合集流体。例如，金属箔片可以包括银表面处理的铝或不锈钢、不锈钢、铜、铝、镍、炭精电极或钛等。泡沫金属可以包括泡沫镍、泡沫铜、泡沫铝、泡沫合金、或泡沫碳等。复合集流体可以包括高分子材料基层和金属层。复合集流体可通过将金属材料（铜、铜合金、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、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚苯乙烯、聚乙烯等的基材）上而形成。

在一些实施例中，负极极片可以为金属箔压延或表面包覆惰性层金属粉末涂敷在集流体上。

在一些实施例中，负极集流体可以为复合集流体，例如，复合集流体可以包括碳布、碳膜、碳质、多孔集流体、合金化改性集流体、亲锂改性集流体和亲钠改性集流体中的至少一种。

在一些实施例中，负极极片可以包括负极集流体以及设置在负极集流体至少一侧的负极活性材料层，负极活性材料层可以包括负极活性材料，负极活性材料可以为高克容量的材料，例如，负极活性材料可以包括天然石墨、人造石墨、软炭、硬炭、硅基材料、锡基材料、钛酸锂中至少一种。

作为示例，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、硅合金材料中的至少一种；锡基材料可以包括单质锡、锡氧化物、锡合金材料中的至少一种。

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

作为示例，隔离膜的主要材质可以包括玻璃纤维、无纺布、聚乙烯、聚丙烯、陶瓷及聚偏二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。在隔离膜为多层复合薄膜时，各层的材料可以相同或不同。隔离膜可以是单独的一个部件位于正极极片、负极极片之间，也可以附着在正极极片和/或负极极片的表面。

作为示例，参考图 3，正极极片、负极极片和隔离膜可经卷绕工艺或叠片工艺形成电极组件 52。电极组件 52 封装于容纳腔内，电解液填充电极组件 52 的内部空间。电池 5 所含电极组件 52 的数量可以为一个或多个，本领域技术人员可根据具体实际需求进行选择。

在本申请中，电解液可以参照现有的二次电池进行选择。作为示例，电解液包含有机溶剂、钠盐和可选的添加剂。钠盐包括但不限于，$NaPF_6$、$NaClO_4$、$NaBCl_4$、$NaSO_3CF_3$ 和 $Na(CH_3)C_6H_4SO_3$ 中的至少一种。有机溶剂包括但不限于，碳酸亚乙酯（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）、氟代碳酸亚乙酯（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。

在一些实施方式中，电解液中的添加剂可以包括负极成膜添加剂、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、改善电池高温和/或低温性能的添加剂等，作为示例，添加剂可以包括碳酸亚乙烯酯（VC）、乙烯基碳酸乙烯酯（VEC）、硫酸乙烯酯（DTD）、硫酸丙烯酯、亚硫酸乙烯酯（ES）、1,3-丙磺酸内酯（PS）、1,3-丙烯磺酸内酯（PST）、磺酸酯环状季铵盐、丁二酸酐、丁二腈（SN）、己二腈（AND）、三(三甲基硅烷)磷酸酯（TMSP）和三(三甲基硅烷)硼酸酯（TMSB）中的至少一种。

作为示例，本申请对电池的形状没有特别的限制，其可以是圆柱形、方形或其它任意的形状。例如，图 2 是作为一个示例的方形结构的电池 5。具体地，参照图 3，电池 5 的外包装可以包括壳体 51 和顶盖组件 53。其中，壳体 51 可以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，顶盖组件 53 能够盖设于开口，以封闭容纳腔。

作为示例，电池可以组装成电池模块，电池模块所含电池的数量可以为一个或多个，具体数量本领域技术人员可根据电池模块的应用和容量进行选择。图 4 是作为一个示例的电池模块 4。参照图 4，在电池模块 4 中，可以采用图 2 中所示出的电池 5 作为电池单体，多个电池单体可以沿电池模块 4 的长度方向依次排列设置。当然，也可以按照其它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进行固定。电池模块 4 还可以包括具有容纳空间的外壳，多个电池单体容纳于该容纳空间。

作为示例，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为一个或多个，具体数量本领域技术人员可根据电池包的应用和容量进行选择。图 5 和图 6 是作为一个示例的电池包 1。参照图 5 和图 6，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 能够盖设于下箱体 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。

在本申请的第五方面，本申请提出了一种用电装置，包括前述的电池 5。由此，该用电装置具有前述电池 5 的全部特征及优点，在此不再赘述。

电池、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。用电装置可以包括移动设备（例如手机、笔记本电脑等）、电动车辆（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，但不限于此。用电装置可以根据其使用需求来选择电池、电池模块或电池包。

作为示例，图 7 是作为一个示例的用电装置。该用电装置为纯电动车、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对电池的高功率和高能量密度的需求，可以采用电池包或电池模块。

作为示例，用电装置还可以是手机、平板电脑、笔记本电脑等。该装置通常要求轻薄化，可以采用电池作为电源。

以下，说明本申请的实施例。下面描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能理解为对本申请的限制。实施例中未注明具体技术或条件的，按照本领域内的文献所描述的技术或条件或者按照产品说明书进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者，均为可以通过市购获得的常规产品。

实施例 1

合成第一钠锰氧化物：

将 Na_2CO_3、Mn_2O_3、NiO 按照 Na：Mn：Ni 摩尔比为 0.75：0.8：0.2 称量总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 850℃，并在 850℃恒温保持 15h，自然降温后，即得到第一钠锰氧化物 $Na_{0.7}Mn_{0.8}Ni_{0.2}O_2$。

合成第二钠锰氧化物：

将 Na_2CO_3、Mn_2O_3、Fe_2O_3、NiO、CuO 按照 Na：Mn：Fe：Ni：Cu 摩尔比为 0.95：0.4：0.3：0.2：0.1 称量总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到

前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 950℃，并在 950℃恒温保持 15h，自然降温后，即得到第二钠锰氧化物 $Na_{0.9}Mn_{0.4}Fe_{0.3}Ni_{0.2}Cu_{0.1}O_2$。

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：3 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

实施例 2

实施例 2 中第一钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成第二钠锰氧化物：

将 Na_2CO_3、Mn_2O_3、Fe_2O_3、NiO、TiO_2 按照 Na：Mn：Fe：Ni：Ti 摩尔比为 0.95：0.4：0.3：0.2：0.1 称量总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 950℃，并在 950℃恒温保持 15h，自然降温后，即得到第二钠锰氧化物 $Na_{0.9}Mn_{0.4}Fe_{0.3}Ni_{0.2}Ti_{0.1}O_2$。

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：9 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

实施例 3

实施例 3 中第一钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成第二钠锰氧化物：

将 Na_2CO_3、Mn_2O_3、Fe_2O_3、NiO、ZnO 按照 Na：Mn：Fe：Ni：Zn 摩尔比为 0.95：0.4：0.3：0.2：0.1 称量总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 950℃，并在 950℃恒温保持 15h，自然降温后，即得到第二钠锰氧化物 $Na_{0.9}Mn_{0.4}Fe_{0.3}Ni_{0.2}Zn_{0.1}O_2$。

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：3 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

实施例 4

实施例 4 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：4 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

实施例 5

实施例 5 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 3：1 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

实施例 6

实施例 6 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法与实施例 2 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 0.5：99.5 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 800℃，并在 800℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

对比例 1

对比例 1 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：3 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 300℃，并在 300℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

对比例 2

对比例 2 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法与实施例 1 中第一钠锰氧化物、第二钠锰氧化物的合成方法相同。所不同的是，

合成正极活性材料：

按第一钠锰氧化物与第二钠锰氧化物的摩尔比为 1：3 取上述所得的第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物总计 30g 的样品。将所得到的样品在玛瑙研钵中预先研磨后加入到行星球磨机中球磨 1h，得到前驱体混合物。将所得到的前驱体混合物均匀放置在敞口坩埚中，随后于马弗炉中以 5℃/min 的升温速率从室温升温至 1000℃，并在 1000℃恒温保持 10h，自然降温后，即得到正极活性材料。

对比例 3

对比例 3 中仅包括实施例 1 中的第一钠锰氧化物。

对比例 4

对比例 4 中仅包括实施例 1 中的第二钠锰氧化物。

【测试部分】

1、正极活性材料表征

1）层间距、峰强度的测试

在手套箱中将待测样品在玛瑙研钵中磨细后过 350 目筛，取过筛后的样品适量，装入样品架凹槽中间，使松散样品粉末略高于样品架平面；取载玻片轻压样品表面，让样品表面刮平后与框架平面一致，并将多余粉末刮掉。制样完毕后，使用德国 Brucker AxS 公司的 Brucker D8A_A25 型 X 射线粉末衍射仪，以 CuK_α 射线为辐射源，射线波长 λ=1.5406Å，扫描 2θ 角范围为 5°-60°，扫描速率为 4°/min 进行测试。

对于 P2 相，通过 002 晶面对应的角度，一般 2θ 角峰位在 15°-17°内，根据 $2d_{002}\sin\theta=\lambda$，得到 002 晶面上的层间距 d_{002}；通过全谱拟合 Rietveld，得到在 15°-17°范围内的 002 晶面对应的衍射峰强 S_1；

对于 O3 相，通过 003 晶面对应的角度，一般 2θ 角峰位在 15°-17°内，根据 $2d_{003}\sin\theta=\lambda$，得到 003 晶面上的层间距 d_{003}；通过全谱拟合 Rietveld，得到在 15°-17°范围内的 003 晶面对应的衍射峰强 S_2。

2）pH 测试

取 2g 正极活性材料置于烧杯中，加入 18mL 去离子水并在 25℃下搅拌至完全溶解，静置 30min 后用 pH 计测试上清液的 pH。

3）元素组成测试

仪器标准参考 EPA6010D-2014《电感耦合等离子体原子发射光谱法》。样品经过化学方法处理消解成溶液，雾化进入等离子体被激发出元素的特征谱线，根据谱线的波长和强度（与浓度成正比）来定性和定量分析元素含量。

2、性能测试

1）放电比容量测试、循环 50 圈容量保持率测试

25℃下，将正极活性材料制备成扣式电池后，以 10mA/g 的电流密度恒流充电至 4.3V，再以 10mA/g 的电流密度恒流放电至 2.0V，得到扣式电池的放电比容量 C_0，随后以 10mA/g 的电流密度恒流充放电循环 50 圈，取第 50 圈的放电比容量 C_1。钠锰氧化物正极活性材料循环 50 圈容量保持率=（C_1/C_0）×100%。

其中，扣式电池按照如下所示的步骤进行制备。

正极极片的制备：将正极活性材料、导电剂炭黑（Super P）、粘结剂聚偏氟乙烯（PVDF）按照质量比 80∶15∶5 加入到至 N-甲基吡咯烷酮（NMP）中搅拌均匀，形成正极浆料；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，冲成直径为 14mm 的圆片，得到正极极片。

负极极片：采用金属钠片。

电解液的制备：将碳酸乙烯酯（EC）和碳酸二乙酯（DEC）等体积混合得到有机溶剂，接着将 $NaClO_4$ 溶解于上述有机溶剂中，配制成浓度为 1mol/L 的电解液。

隔离膜：采用多孔聚乙烯膜作为隔离膜。

扣式电池的制备：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，加入上述制备好的电解液，即完成扣式电池的制备。

对正极活性材料的表征结果如表 1 所示：

表 1

示例	正极活性材料平均化学组成	层间距 d_1/（nm）	层间距 d_2/（nm）	d_1-d_2/（nm）	S1/（S1+S2）
实施例 1	$Na_{0.84}Mn_{0.50}Fe_{0.23}Ni_{0.2}Cu_{0.07}O_2$	0.554	0.541	0.013	24%
实施例 2	$Na_{0.85}Mn_{0.44}Fe_{0.27}Ni_{0.2}Ti_{0.09}O_2$	0.551	0.539	0.018	10%
实施例 3	$Na_{0.88}Mn_{0.50}Fe_{0.23}Ni_{0.2}Zn_{0.07}O_2$	0.552	0.538	0.014	23%
实施例 4	$Na_{0.86}Mn_{0.48}Fe_{0.24}Ni_{0.2}Ti_{0.08}O_2$	0.551	0.537	0.016	21%
对比例 1	$Na_{0.83}Mn_{0.50}Fe_{0.23}Ni_{0.2}Cu_{0.07}O_2$	0.558	0.537	0.021	24%
对比例 2	$Na_{0.79}Mn_{0.50}Fe_{0.23}Ni_{0.2}Cu_{0.07}O_2$	0.548	0.539	0.009	25%
对比例 3	$Na_{0.69}Mn_{0.8}Ni_{0.2}O_2$	0.553	/	/	/
对比例 4	$Na_{0.91}Mn_{0.4}Fe_{0.3}Ni_{0.2}Cu_{0.1}O_2$	/	0.537	/	/
实施例 5	$NaMn_{0.7}Fe_{0.08}Ni_{0.2}Cu_{0.02}O_2$	0.552	0.537	0.015	75%
实施例 6	$Na_{0.9}Mn_{0.4}Fe_{0.3}Ni_{0.2}Cu_{0.1}O_2$	0.553	0.536	0.017	0.5%

其中实施例 1、对比例 1 中正极活性材料的 XRD 衍射谱图可参见图 8-图 9。

对扣式电池的表征结果如表 2 所示：

表 2

示例	2.0V-4.3V 放电比容量 C_0/(mAh/g)	循环 50 圈容量保持率/%
实施例 1	139	91
实施例 2	142	89
实施例 3	135	88

实施例 4	132	91
对比例 1	117	76
对比例 2	116	75
对比例 3	107	75
对比例 4	109	78
实施例 5	121	81
实施例 6	126	85

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“另一个实施例”等的描述意指结合该实施例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，在不相互矛盾的情况下，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

在本说明书的描述中，术语“第一”、“第二”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。尽管上面已经示出和描述了本申请的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本申请的限制，本领域的普通技术人员在本申请的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

权利要求书

1.一种正极活性材料，其中，包括钠锰氧化物，

所述钠锰氧化物包括第一相和第二相，所述第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层，所述第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；

所述第一相中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，所述第二相中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm。

2.根据权利要求 1 所述的正极活性材料，其中，所述钠锰氧化物包括掺杂元素 Q，所述掺杂元素满足以下条件的至少之一：

所述掺杂元素 Q 包括第一掺杂元素 Q1，所述第一掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的钠元素，所述第一掺杂元素包括 Li、K、Ca、La、Sr 中的至少一种；

所述掺杂元素 Q 包括第二掺杂元素 Q2，所述第二掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的锰元素，所述第二掺杂元素包括 Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Li、B、Mg、Al、Si、Ti、Y、Zr、Nb、Mo、In、Sn、Sb、La、Ce、Ta、W、Bi 中的至少一种；

所述掺杂元素 Q 包括第三掺杂元素 Q3，所述第三掺杂元素部分取代所述钠锰氧化物中的氧元素，所述第三掺杂元素包括 F、Cl 中的至少一种。

3.根据权利要求1或2所述的正极活性材料，其中，所述钠锰氧化物满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yQ2_bO_zQ3_c$，其中，

$0.5<x\leq1.2$，$0\leq a\leq0.5$，$0.5<x+a\leq1.2$；

$0<y$，$0\leq b\leq0.6$，$y+b=1$；

$1.8\leq z\leq2.2$，$0\leq c\leq0.2$，$1.8\leq z+c\leq2.2$。

4.根据权利要求 3 所述的正极活性材料，其中，所述钠锰氧化物满足化学式：$Na_xQ1_aMn_yFe_dNi_cQ2_bO_zQ3_c$，其中，

$y+d+e+b=1$，$0.1\leq d\leq0.6$，$0.1\leq e\leq0.6$，

所述第一相中所述第一过渡金属层/所述第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，所述第二相中所述第二过渡金属层/所述第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，其中，$S_1/(S_2+S_1)\times e\leq0.1$。

5.根据权利要求 4 所述的正极活性材料，其中，$0.05\leq S_1/(S_2+S_1)$。

6.根据权利要求 1-5 任一项所述的正极活性材料，其中，

所述钠锰氧化物中的所述第一相满足化学式：$Na_{x1}Q1_{a1}Mn_{y1}Fe_{d1}Ni_{e1}Q2_{b1}O_zQ3_{c1}$，其中，

$0.6<x1\leq0.8$，$0\leq a1\leq0.6$，$0\leq b1\leq0.6$，$y1+d1+e1+c1=1$，且 $0\leq(d1\times e1)/(y1^2)\leq0.5$；

所述钠锰氧化物中的所述第二相满足化学式：$Na_{x2}Q1_{a2}Mn_{y2}Fe_{d2}Ni_{c2}Q2_{b2}O_zQ3_{c2}$，其中，

$0.7<x2\leq1$，$0.1\leq a2\leq0.6$，$0.1\leq b2\leq0.6$，$y2+d2+e2+c2=1$，且 $0.1\leq(d2\times e2)/(y2^2)\leq1$。

7.根据权利要求 6 所述的正极活性材料，其中，所述第一相中所述第一过渡金属层/所述第一钠离子层在 2θ 为 13°-16.2°内对 X 射线的衍射峰强为 S_1，所述第二相中所述第二过渡金属层/所述第二钠离子层在 2θ 为 16.2°-17°内对 X 射线的衍射峰强为 S_2，S_1 和 S_2 满足 $0.01\leq S_1/(S_1+S_2)\leq0.5$。

8.根据权利要求 1-7 任一项所述的正极活性材料，其中，0.550nm≤d_1≤0.565nm，0.530nm≤d_2≤0.545nm。

9.根据权利要求 1-8 任一项所述的正极活性材料，其中，所述第一相为 P2 相，空间群为 P63/mmc；所述第二相为 O3 相，空间群为$R\bar{3}m$。

10.根据权利要求 1-9 任一项所述的正极活性材料，其中，在 25℃下，质量浓度为 2g/18mL 的所述正极活性材料的去离子水溶液的 pH 为 7-13。

11.一种制备权利要求 1-10 任一项所述的正极活性材料的方法，其中，包括：

提供前驱体；

对所述前驱体进行煅烧处理，以获得所述正极活性材料，其中，所述正极活性材料包括钠锰氧化物，

所述钠锰氧化物包括第一相和第二相，所述第一相包括依次交替的第一钠离子层和第一过渡金属层；所述第二相包括依次交替的第二钠离子层和第二过渡金属层；所述第一相中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_1，所述第二相中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 d_2，d_1-d_2 为 0.01nm-0.02nm。

12.根据权利要求 11 所述的方法，其中，

所述提供前驱体包括：提供第一钠锰氧化物和第二钠锰氧化物的混合物，所述混合物中所述第一钠锰氧化物的摩尔数为 m_1，所述混合物中所述第二钠锰氧化物的摩尔数为 m_2，m_1:m_2=(1:2)-(1:10)，

其中，所述第一钠锰氧化物中相邻的所述第一过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.550nm-0.565nm，所述第二钠锰氧化物中相邻的所述第二过渡金属层在垂直于（001）晶面方向上的层间距为 0.530nm-0.545nm。

13.根据权利要求 11 或 12 所述的方法，其中，所述煅烧处理满足以下条件的至少之一：

所述煅烧处理的温度为 800℃-900℃；

所述煅烧处理的时间为 0.5h-20h。

14.根据权利要求 12 所述的方法，其中，

提供第一钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第一煅烧处理，所述混合物中所述钠源的摩尔数为 $m_{1\text{-}1}$，所述混合物中所述锰氧化物的摩尔数为 $m_{2\text{-}1}$，所述混合物中所述掺杂元素氧化物的摩尔数为 $m_{3\text{-}1}$，$m_{1\text{-}1}$:$m_{2\text{-}1}$:$m_{3\text{-}1}$=(0.5-0.8):(0.6-0.95):(0-0.4)。

15.根据权利要求 14 所述的方法，其中，所述第一煅烧处理满足以下条件的至少之一：

所述第一煅烧处理的温度为 700℃-900℃；

所述第一煅烧处理的时间为 10h-20h。

16.根据权利要求 12 所述的方法，其中，

提供第二钠锰氧化物包括：提供钠源、锰氧化物、掺杂元素氧化物的混合物，并进行第二煅烧处理，所述混合物中所述钠源的摩尔数为 $m_{1\text{-}2}$，所述混合物中所述锰氧化物的摩尔数为 $m_{2\text{-}2}$，所述混合物中所述掺杂元素氧化物的摩尔数为 $m_{3\text{-}2}$，$m_{1\text{-}2}$:$m_{2\text{-}2}$:$m_{3\text{-}2}$=(0.8-1.1):(0.3-0.5):(0-0.6)。

17.根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述第二煅烧处理满足以下条件的至少之一：

所述第二煅烧处理的温度为 800℃-1100℃；

所述第二煅烧处理的时间为 10h-20h。

18.一种正极极片，其中，包括权利要求 1-10 任一项所述的正极活性材料，和/或，采用权利要求 11-17 任一项所述的方法制备得到的正极活性材料。

19.一种电池，其中，包括权利要求 18 所述的正极极片。

20.一种用电装置，其中，包括权利要求 19 所述的电池。

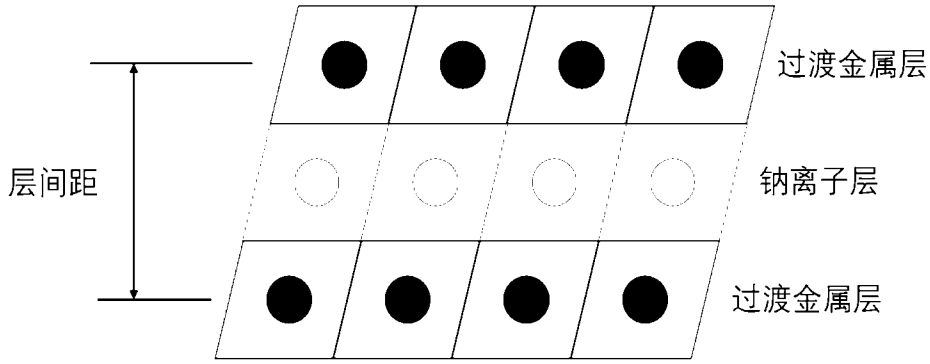


图 1

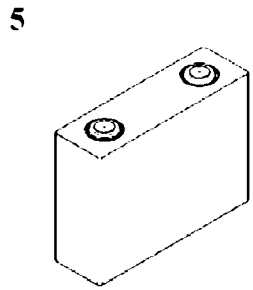


图 2

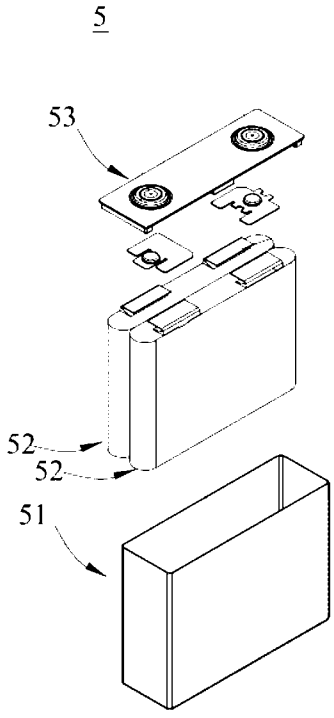


图 3

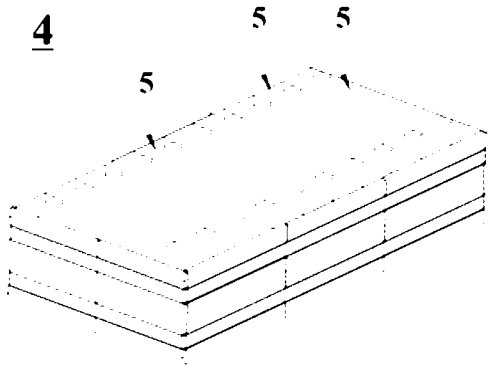


图 4

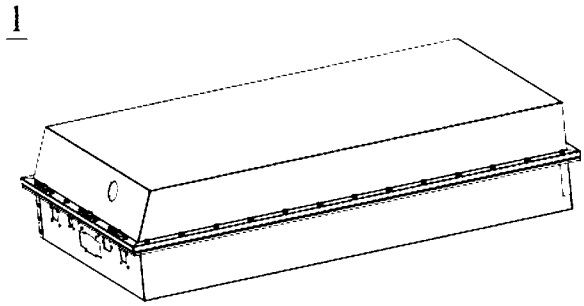


图 5

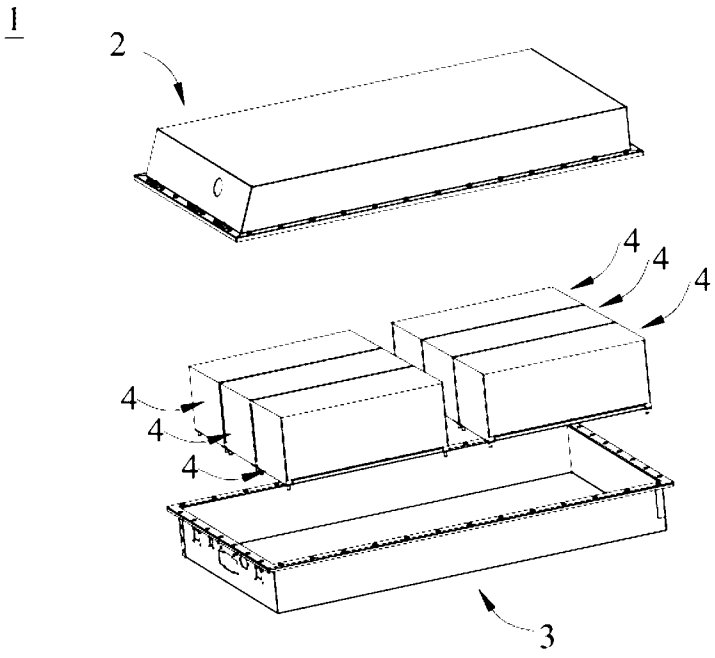


图 6

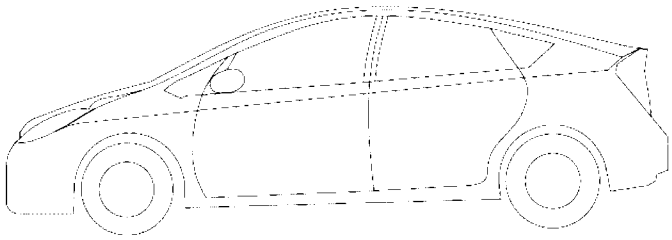


图 7

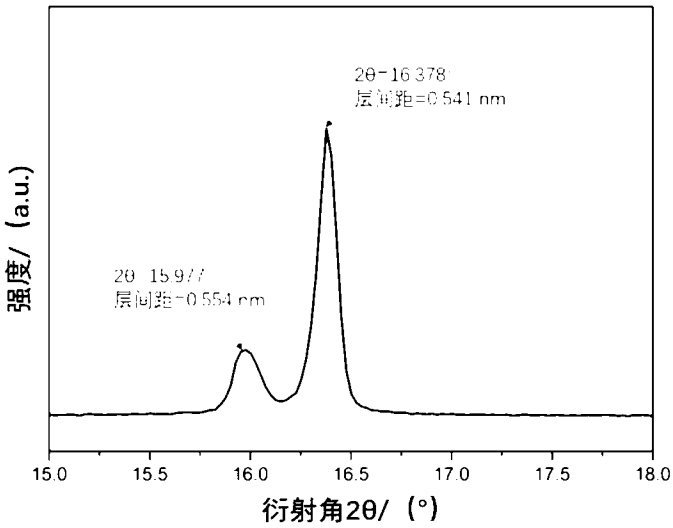

2θ=16.378
层间距=0.541 nm
2θ=15.977
层间距=0.554 nm
强度/（a.u.）
15.0
15.5
16.0
16.5
17.0
17.5
18.0
衍射角2θ/（°）

图 8

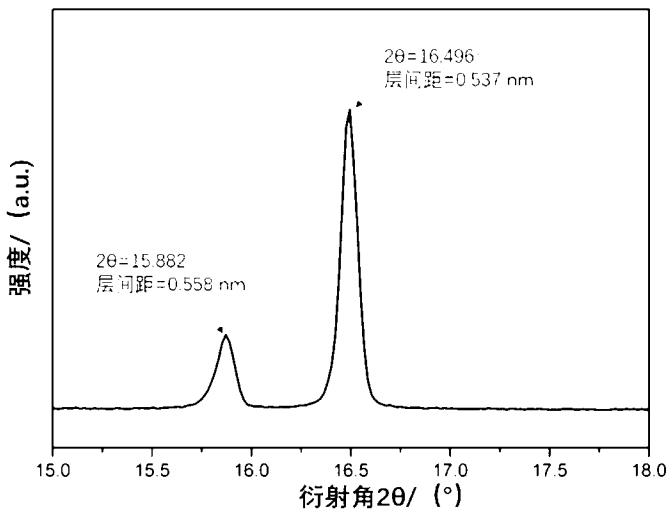

2θ=16.496
层间距=0.537 nm
2θ=15.882
层间距=0.558 nm
强度/（a.u.）
15.0
15.5
16.0
16.5
17.0
17.5
18.0
衍射角2θ/（°）

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/127831

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01M 4/36(2006.01)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)

CNTXT, ENTXT, ENTXTC, WPABS, CNKI: 钠, 锰, 第二相, 两相, 层间距, Sodium, Manganese, second phase, two phases, interlayer spacing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116565183 A (CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LTD.) 08 August 2023 (2023-08-08) claims 1-20	1-20
A	CN 116247193 A (DUOZHU TECHNOLOGY (WUHAN) CO., LTD.) 09 June 2023 (2023-06-09) description, paragraph 39	1-20
A	CN 115057485 A (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 16 September 2022 (2022-09-16) entire document	1-20
A	CN 116130644 A (NANTONG MAOLUE TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 May 2023 (2023-05-16) entire document	1-20
A	CN 116199275 A (NINGBO RONBAY NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 June 2023 (2023-06-02) entire document	1-20

☑ 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	Date of mailing of the international search report
21 February 2024	**26 February 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/127831

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 20220048912 A (IUCF HYU) 20 April 2022 (2022-04-20) entire document	1-20
A	WO 2013129831 A1 (SK INNOVATION CO., LTD. et al.) 06 September 2013 (2013-09-06) entire document	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/127831

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 116565183 A	08 August 2023	None	
CN 116247193 A	09 June 2023	None	
CN 115057485 A	16 September 2022	None	
CN 116130644 A	16 May 2023	None	
CN 116199275 A	02 June 2023	None	
KR 20220048912 A	20 April 2022	None	
WO 2013129831 A1	06 September 2013	KR 20130098224 A	04 September 2013
		KR 102058460 B1	23 December 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/127831

A. 主题的分类

H01M 4/36(2006.01)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））

CNTXT，ENTXT，ENTXTC，WPABS，CNKI：钠，锰，第二相，两相，层间距，Sodium, Manganese, second phase, two phases, interlayer spacing

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
PX	CN 116565183 A (宁德时代新能源科技股份有限公司) 2023年8月8日 (2023 - 08 - 08) 权利要求1-20	1-20
A	CN 116247193 A (多助科技（武汉）有限公司) 2023年6月9日 (2023 - 06 - 09) 说明书第39段	1-20
A	CN 115057485 A (中国科学技术大学) 2022年9月16日 (2022 - 09 - 16) 全文	1-20
A	CN 116130644 A (南通市懋略科技有限公司) 2023年5月16日 (2023 - 05 - 16) 全文	1-20
A	CN 116199275 A (宁波容百新能源科技股份有限公司) 2023年6月2日 (2023 - 06 - 02) 全文	1-20
A	KR 20220048912 A (IUCF HYU) 2022年4月20日 (2022 - 04 - 20) 全文	1-20
A	WO 2013129831 A1 (SK INNOVATION CO.,LTD.等) 2013年9月6日 (2013 - 09 - 06) 全文	1-20

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2024年2月21日	2024年2月26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	受权官员 焦延峰 电话号码 (+86) 010-53961276

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/127831

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	116565183	A	2023年8月8日	无			
CN	116247193	A	2023年6月9日	无			
CN	115057485	A	2022年9月16日	无			
CN	116130644	A	2023年5月16日	无			
CN	116199275	A	2023年6月2日	无			
KR	20220048912	A	2022年4月20日	无			
WO	2013129831	A1	2013年9月6日	KR	20130098224	A	2013年9月4日
				KR	102058460	B1	2019年12月23日