



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101035743 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200580033771. X

(22) 申请日 2005. 08. 08

(30) 优先权数据

0409207 2004. 08. 31 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007. 04. 03

(86) PCT申请的申请数据

PCT/FR2005/002052 2005. 08. 08

(87) PCT申请的公布数据

W02006/027449 FR 2006. 03. 16

(73) 专利权人 原子能委员会

地址 法国巴黎

(72) 发明人 卡萝尔·鲍尔本 塞韦林·朱安尼奥

弗雷德里克·勒克拉斯

海伦·利格尼尔

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 宋莉 贾静环

(51) Int. Cl.

C01G 23/00(2006. 01)

H01M 4/48(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2001-143702 A, 2001. 05. 25, 权利要求 1.

审查员 王岩

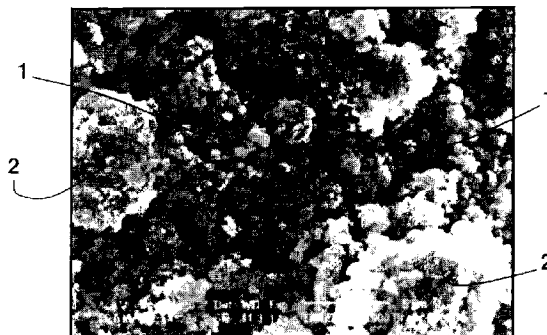
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

致密混合氧化钛锂的粉状复合物、生产该复合物的方法和生产含有该复合物的电极的方法

(57) 摘要

本发明的钛和锂的混合氧化物粉状复合物，优选以用于锂电池的电极活性材料的形式使用，其由直径等于或小于 $1\mu\text{m}$ 的微粒 (1) 和至少 10 体积%的、直径等于或小于 $100\mu\text{m}$ 的颗粒 (2) 组成，其中颗粒 (2) 通过前述微粒 (1) 的聚集而形成。制备本发明复合物的方法优选在于，在行星式磨机中对合成氧化物研磨 24-48 小时并且在 $450-600^\circ\text{C}$ 的温度范围下进行热处理。



1. 一种混合氧化钛锂的粉状复合物,其特征在於:它由具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 的直径的微粒 (1) 和至少 10 体积%、具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径的颗粒 (2) 组成,其中颗粒 (2) 通过前述微粒 (1) 的聚集而形成。

2. 根据权利要求 1 的复合物,其特征在於,相对于该复合物的总体积,通过聚集所形成的颗粒 (2) 的比例为 30 体积% -50 体积%。

3. 根据权利要求 1 的复合物,其特征在於,该微粒 (1) 的直径为 $0.1\ \mu\text{m}$ - $0.5\ \mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求 1 到 3 中任一项的复合物,其特征在於,相对于每摩尔钛,该复合物具有小于或等于 1% 的杂质比率。

5. 根据权利要求 1 到 3 中任一项的复合物,其特征在於,它的经验式选自 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 和其衍生物,其中所述衍生物选自 $\text{Li}_{(4-x)}\text{M}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 和 $\text{Li}_4\text{Ti}_{(5-y)}\text{N}_y\text{O}_{12}$,其中 x 和 y 分别为 0 - 0.2 且 M 和 N 是各自独立的化学元素,它们选自 Na、K、Mg、Nb、Al、Ni、Co、Zr、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Si 和 Mo。

6. 根据权利要求 1 到 3 中任一项的复合物,其特征在於:它具有大于或等于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 的填充密度。

7. 根据权利要求 1 到 3 中任一项的复合物,其特征在於,它具有在 5 和 $30\text{m}^2/\text{g}$ 之间的比表面积。

8. 用于制备根据权利要求 1 的混合氧化钛锂粉状复合物的方法,其特征在於,它包括至少以下连续步骤:

- 合成粉状的混合氧化钛锂,

- 在行星式磨机中对该氧化物研磨 24-48 小时,从而形成具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 直径的微粒 (1) 和至少 10 体积%具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径的颗粒 (2),该颗粒通过前述微粒 (1) 的聚集来形成,

- 在 450°C 和 600°C 之间的温度范围下进行热处理。

9. 根据权利要求 8 的方法,其特征在於:相对于该混合氧化钛锂的总体积,该氧化物研磨步骤使用低于 5 体积%的有机溶剂来进行。

10. 根据权利要求 8 和 9 之一的方法,其特征在於,该合成混合氧化钛锂的步骤至少包括:

- 该混合氧化钛锂的前体的研磨步骤,该步骤的持续时间为 1-2 小时,

- 温度高达 900°C 的热处理步骤。

11. 根据权利要求 10 的方法,其特征在於,该混合氧化钛锂的前体是 TiO_2 和 Li_2CO_3 。

12. 根据权利要求 10 的方法,其特征在於:在该研磨步骤期间,将选自 Na、K、Mg、Nb、Al、Ni、Co、Zr、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Si 和 Mo 的化学元素的前体添加到该混合氧化钛锂的前体中。

13. 用于电化学蓄能系统的电极,至少包括根据权利要求 1 到 3 中任一项的混合氧化钛锂的粉状复合物。

14. 根据权利要求 13 的电极,其特征在於:它由该粉状复合物的纳米分散体与至少导电性添加剂和 / 或聚合物粘结剂组成。

致密混合氧化钛锂的粉状复合物、生产该复合物的方法和 生产含有该复合物的电极的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种混合氧化钛锂粉状复合物、生产该复合物的方法和生产用于包含该复合物的电化学蓄能系统的电极的方法。

背景技术

[0002] 电化学蓄能系统尤其包括用锂运行的蓄能系统。这种系统包含至少一种含锂的电极。更具体而言,称为锂蓄电池的系统包括含有锂的两个电极。也存在仅包括一个含锂电极的混合系统。

[0003] 作为自给 (autonomous) 能源,尤其在便携式的物品中,锂蓄电池或锂电池越来越倾向于替换可再充电的镍-镉 (Ni-Cd) 或镍氢化物 (Ni-MH) 蓄电池。实际上,与 Ni-Cd 和 Ni-MH 蓄电池比较而言,锂蓄电池呈现更好的性能和尤其更高的质量能量密度。

[0004] 锂蓄电池基于 Li^+ 离子在正电极中的插入和脱出 (deinsertion) 的原理。正电极实际上包含至少一种能够在它的结构中插入一定数量的 Li^+ 阳离子的材料。因此,用作正电极的活性材料的物质一般选自 TiS_2 、 NbSe_3 、 V_2O_5 、 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiMn_2O_4 、 LiV_3O_8 并且最近可选择 LiFePO_4 。该锂蓄电池的负电极能够是 Li^+ 离子产生剂或也可含活性锂插层材料。因此,负电极的活性材料一般选自金属锂、锂合金、锂合金在氧化锂中的纳米混合物、锂和过渡金属氮化物、锂插层或插入材料例如石墨形式的碳或者包括锂和钛的尖晶石结构材料 $\text{Li}_{1+x}\text{Ti}_{(2-y)/4}\text{O}_4$, 其中 x 和 y 分别为 0-1, 以获得负电极的活性材料。

[0005] 在专利申请 JP2003137547 中,提议使用混合的钛和锂氧化物 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 作为二次锂蓄电池的正电极或负电极的活性材料。 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物通过在水中混合前体和然后在对它进行在 700°C 和 1000°C 之间的温度下的热处理之前干燥该混合物来获得。然后研磨该混合物以便获得以粉末形式的复合物,其中颗粒有均匀的粒度分布,平均直径在 0.5 和 $1.5\ \mu\text{m}$ 之间以及最大直径是 $25\ \mu\text{m}$ 。尽管这样生产的该 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物能够获得表现出良好电力性能的锂蓄电池,然而它的密度不超过 0.85g/ml 。然而,该低密度表现出形成大体积电极的缺点,因此造成大尺寸的锂蓄电池。

[0006] 在专利申请 US2003/0017104 中,合成 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物以便获得受控制的和均匀的粒径,该粒径在 5nm 和 2000nm 之间,其中比表面积在 1 和 $400\text{m}^2/\text{g}$ 之间。该氧化物的合成包括在水中研磨在溶液中的混合钛和锂氧化物源 (source) 以便获得预先确定的颗粒直径,该颗粒直径小于最后的氧化物所要求的直径。然后该溶液通过雾化来进行干燥并且再进行热处理,例如在 250°C 和 900°C 之间的温度下。干燥和热处理步骤能够增加颗粒的直径和获得窄的粒度分布和可控的比表面积。在热处理步骤以后,该产物能够在水中再进行分散以便分离在热处理过程中所形成的聚集体。

发明内容

[0007] 本发明的一个目的是获得混合氧化钛锂粉状复合物,其具有高密度和良好的电化

学性能,并且优选表现出低杂质和低结构缺陷水平。

[0008] 根据本发明,此目的通过所附权利要求来实现。

[0009] 更具体而言,此目的通过这样的事实来实现,该粉状复合物由具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 的直径的微粒和至少 10 体积%的、具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径的颗粒组成,以及该颗粒通过前述微粒的聚集来形成。

[0010] 根据本发明的第一方案,相对于该复合物的总体积而言,通过聚集所形成的颗粒的比例为 30 体积% -50 体积%。

[0011] 根据本发明的第二方案,该微粒的直径为 $0.1\ \mu\text{m}$ - $0.5\ \mu\text{m}$ 。

[0012] 本发明的另外目的是提供用于生产混合的氧化钛锂粉状复合物的方法,该方法易于实施并且有助于获得致密复合物,并且不损害复合物的电化学性能。

[0013] 根据本发明,此目的通过以下来实现:该方法包括至少以下连续步骤:

[0014] - 合成粉状混合的氧化钛锂,

[0015] - 在行星式磨机中研磨该氧化物 24-48 小时,从而形成具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 直径的微粒和至少 10 体积%具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径的颗粒,该颗粒通过前述微粒的聚集来形成,

[0016] - 在 450°C 和 600°C 之间的温度范围下进行热处理。

[0017] 根据本发明的方案,相对于该混合氧化钛锂的总体积,研磨该氧化物的步骤使用低于 5 体积%的有机溶剂来进行。

[0018] 根据本发明的另一个特点,合成该混合氧化钛锂的步骤至少包括以下步骤:

[0019] - 该混合氧化钛锂的前体的研磨步骤,该步骤持续时间为 1-2 小时,

[0020] - 温度高达 900°C 的热处理步骤。

[0021] 本发明的另一个目的是获得这样的电极,该电极包括混合的氧化钛锂粉状复合物且能够获得提供良好电力性能的电化学蓄能系统并且具有有限的体积。

[0022] 根据本发明,该目的通过以下事实来实现:该电极至少包括混合的氧化钛锂粉状复合物,该粉状复合物由具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 的直径的微粒和至少 10 体积%的具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径的颗粒组成,并且颗粒通过前述微粒的聚集来形成。

附图说明

[0023] 通过本发明具体实施方案的下列描述,其他优点和特征将变得更加清楚明白,这些具体实施方案仅作为非限制性的实例且表示在附图中,其中:

[0024] 图 1 显示了根据本发明的粉状复合物的由激光粒度测定法所获得的粒度分布。

[0025] 图 2 显示了根据本发明的粉状复合物通过扫描电子显微法所获得的照片。

[0026] 图 3 显示了在不同的电流情况下,包括正电极的锂蓄电池的容量随循环数的变化,该正电极的基底 (base) 由根据本发明的粉状复合物来形成。

具体实施方式

[0027] 根据本发明,混合的氧化钛锂粉状复合物,更具体而言是具有经验式为 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 或者 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的衍生物的复合物,它由以下组成:

[0028] - 第一颗粒组,其由 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 或者 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的衍生物的单一微粒来形成,和

[0029] - 第二颗粒组,其由通过聚集一定量的所述单一微粒而形成的颗粒来形成。

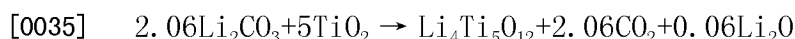
[0030] 在 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的衍生物之中,粉状复合物能够例如选自 $\text{Li}_{(4-x)}\text{M}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 和 $\text{Li}_4\text{Ti}_{(5-y)}\text{N}_y\text{O}_{12}$,其中 x 和 y 分别为 0-0.2 且 M 和 N 是各自独立的化学元素,它们选自 Na、K、Mg、Nb、Al、Ni、Co、Zr、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Si 和 Mo。

[0031] 单一微粒是指互相没有结合的微粒,其具有小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 的直径并且该直径优选的范围在 $0.1\ \mu\text{m}$ 和 $0.5\ \mu\text{m}$ 之间。通过聚集单一微粒所形成的颗粒也称为聚集微粒,它们具有小于或等于 $100\ \mu\text{m}$ 的直径。

[0032] 而且,通过聚集所形成的颗粒的比例是至少 10 体积%,相对于粉状复合物的总体积计。颗粒的比例的范围优选为 30 体积% -50 体积%,相对于复合物的总体积而言。经验式为 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的粉状复合物因此能够例如包含 60 体积%的单一微粒和 40 体积%的颗粒,该颗粒通过聚集所述微粒来形成,从而每一个颗粒具有比各个微粒的直径大得多的直径。

[0033] 该粒度分布能够获得具有高填充密度(优选大于或等于 $1\text{g}/\text{cm}^3$)的混合的氧化钛锂复合物。而且,根据 BET(Brunauer-Emmet-Teller) 技术所测量的比表面积优选为 $5\text{-}30\text{m}^2/\text{g}$ 且更优选为约 $10\text{m}^2/\text{g}$ 。

[0034] 该粉状复合物优选通过以任何类型的已知方法,从前体或反应物开始,预先合成混合的氧化钛锂 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 或者其衍生物中的一种而获得。例如, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 通过干燥方法根据以下反应使碳酸锂 (Li_2CO_3) 与钛或金红石混合氧化物 (TiO_2) 进行反应来形成:



[0036] 轻微过量的 Li_2CO_3 被引入以便在反应过程之中抵消该反应物的蒸发。

[0037] 通过在行星式磨机中将反应物与溶剂(例如庚烷)彻底混合 1 到 2 小时来进行合成。该混合物然后进行干燥并且放置在氧化铝坩埚中进行温度高达 900°C 的热处理。该热处理优选在 10 到 20 小时之内是缓慢的,该热处理的温度升高速率例如是 $1\text{-}3^\circ\text{C}/\text{分钟}$,而且两个温度保持平台阶段(plateaus)为 450°C - 550°C 和 650°C - 700°C 。如果需要,在中间体研磨之后,该混合物然后能够进行另外的热处理,其使用的冷却速率是 $0.5\text{-}2^\circ\text{C}/\text{分钟}$ 。因此该合成步骤能够获得纯净和粉状混合的氧化钛锂 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$,其平均直径一般大于 $1\ \mu\text{m}$ 并且具有窄的粒度分布。

[0038] 为获得 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的衍生物如 $\text{Li}_{(4-x)}\text{M}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 或 $\text{Li}_4\text{Ti}_{(5-y)}\text{N}_y\text{O}_{12}$,将元素 M 或元素 N 的前体在热处理之前添加到氧化物的反应物之中。

[0039] 然后该粉状混合的氧化钛锂放置于行星式磨机(其也称为离心磨机)中,以便进行强烈研磨,所持续的时间为 24-48 小时。例如,设计成以 400rpm 的转速来进行转动的、并且包含直径为 20mm 的 10 个球的 250ml 的玛瑙滚筒(agate bowl)用来研磨 100g 的粉状复合物。研磨优选通过使用低于 5% 体积的、例如选自庚烷和己烷的有机溶剂来进行。更具体的,使用干法来进行,即不使用溶剂,这样促进形成单一微粒的聚集。

[0040] 在此强烈研磨步骤之中,减少 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 微粒的尺寸以便获得具有直径小于或等于 $1\ \mu\text{m}$ 的微粒。另外,某些微粒被球挤压到滚筒的边缘,因此当研磨完成时,产生了互相结合的微粒的簇。这些簇然后形成了具有最大直径 $100\ \mu\text{m}$ 的颗粒,比例是至少 10 体积%,相对于复合物的总体积计。

[0041] 该强烈的研磨步骤因此能够获得粉状复合物,该粉状复合物包括两种截然不同的粒度组,然而该步骤在粉状复合物中导致应力和结构缺陷,这被证明有害于锂电池电极的

应用领域并且更具体而言有害于该复合物的电化学性能。

[0042] 为克服此缺点,将该粉状复合物在一种惰性气氛例如氩中置于石英管里。然后密封该石英管并将之置于加热炉中达 10 到 30 分钟,该加热炉被预先加热到的温度低于在进行氧化物的合成时所用的热处理温度。更具体而言,该加热炉的温度为 450°C -600°C 且优选 500°C。此热处理步骤因而能够释放在强烈的研磨步骤中所引起的在混合的氧化钛锂晶体中的应力和缺陷。

[0043] 这样的生产方法,在容易实施的同时,还能够获得致密的粉状复合物,并且不损害它的电化学性能。实际上,这样的方法能够获得呈现出特定粒度分布的复合物,其通过聚集来降低了一部分的由 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 晶体所占的体积,并因此增加了复合物的填充密度。而且该复合物表现出与粒度分布均匀且狭窄的 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 复合物的电化学性能相当的电化学性能,这是因为通过聚集所形成的颗粒对锂插层保持有效 (accessible)。

[0044] 此外,该粉状复合物存在的杂质比率优选小于或等于 1% / 每摩尔的钛,并且具有低结构缺陷和应力比率,从而改进了电化学性能。

[0045] 在具体的实施方案中, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物通过在行星式磨机中将 201.05 克的 TiO_2 与 76.11 克的 Li_2CO_3 使用庚烷进行混合 1 到 2 小时来合成。所获得的该混合物然后在 60°C 下进行干燥 12 小时,然后置于 250ml 氧化铝坩埚中。该坩埚然后置于马弗炉中以便通过包括以下步骤的热处理来合成该氧化物:

[0046] -第一温度按照 2°C / 分钟的处理速率来增加以便达到温度为 500°C 的第一平台阶段,维持 15 小时,

[0047] -第二温度按照 2°C / 分钟的处理速率来增加以便达到温度为 680°C 的第二平台阶段,维持 15 小时,

[0048] -第三温度按照 2°C / 分钟的处理速率来增加以便达到温度为 900°C 的最后的平台阶段,维持 5 小时。

[0049] 所获得的该粉末然后在进行另外的热处理之前、在行星式磨机内在庚烷中进行均化达一小时。该另外的热处理由下列步骤组成:温度增加最高至 900°C,所用的处理速率是 5°C / 分钟,然后在 900°C 维持该温度达 5 小时,然后按照 25°C / 分钟的速率降温,直到到达室温为止。

[0050] 这样获得的 190 克的 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 然后在行星式磨机中进行混合 24 小时到 48 小时,其最大速度由该磨机所确定并且更具体而言是 400rpm。然后 20 到 30 克的该混合物置于处在惰性气氛下的石英管中,该石英管被设计以用于在预先被加热到 500°C 温度的加热炉中进行 15 分钟的热处理。该管然后从加热炉中迅速地移出以便在室温下冷却。

[0051] 这样获得的粉状复合物表现出 1.4g/cm³ 的填充密度。如图 1 所示的激光粒度测定法分析所表明:此复合物主要由两个微粒组 A 和 B 所形成。组 A 存在狭窄的粒度分布,其中微粒直径为 0.1 μm-1 μm 且平均直径是大约 0.5 μm;而组 B 有宽的粒度分布,其在 1 μm 和 100 μm 之间。而且,组 A 和 B 的各自比例是大约 60 体积%和 40 体积%。使用扫描电子显微镜 (SEM) 的、由图 2 所显示的观测结果也证明了:具有两种类型、不同大小的微粒 1 和 2 的粉状复合物的具体形态。微粒 1 表明了直径小于 1 μm 的组 A 的微粒,而微粒 2 表明了组 B 的更大的颗粒。而且,图 2 表明了:该颗粒 2 由微粒 1 的簇所形成,其通过聚集而获得。

[0052] 这样获得的粉状复合物的密度能够形成具有有限的体积的、用于高性能电化学蓄

能系统（例如锂电池）的电极。因此该电极例如能够通过包括至少混合的氧化钛锂粉状复合物与至少一种传导性添加剂和 / 或聚合物粘结剂的纳米分散体来形成。根据特定的实施方案, 该电极由其上沉积有混合物的铝集电体组成, 该混合物包含 80 重量%的致密氧化物 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 、8 重量%的传导性添加剂例如炭黑、和 12 重量%的聚合物有机粘结剂。该聚合物有机粘结剂例如选自聚醚、聚酯或者甲基丙烯酸甲酯 - 型、丙烯腈 - 型或者偏二氟乙烯 - 型聚合物。

[0053] 这样的电极能够例如用作在锂蓄电池中的正电极, 该锂蓄电池另外包括由金属锂制成的负电极以及吸取有液体电解质的隔板 (separator)。该液体电解质能够通过其在锂蓄电池的领域中的任何类型的已知液体电解质来形成。其例如通过非质子溶剂如碳酸亚乙酯、碳酸亚丙酯、碳酸二甲酯、碳酸二乙酯和 / 或碳酸甲基乙基酯中所溶解的锂盐例如 LiClO_4 、 LiAsF_6 、 LiPF_6 、 LiBF_4 或 LiCH_3SO_3 来形成。

[0054] 由此, 测试锂蓄电池, 该锂蓄电池包括含粉状复合物 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 作为基底的正电极、金属锂电极和吸取有液体电解质的隔板, 该液体电解质在碳酸亚丙酯中含有 1M 的溶液形式的 LiPF_6 。该正电极包括在其上沉积有混合物的铝集电体, 该混合物包括 80 重量%的致密 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 、8 重量%的炭黑以及 12 重量%的聚偏六氟乙烯 (polyvinylidene hexafluoride)。在这种情况下, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 作为来自负电极的锂的插入和脱出材料并且能够交换三个锂离子, 相对于锂而言具有在 1.55V 的平台。

[0055] 图 3 表明了在不同的电流情况 C/N 下, 锂蓄电池容量随循环数的变化, 其中 N 是电池的每次充电和每次放电（即在 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 材料中的锂的每次插入和脱出）的小时数。从而能够作以下观察：

[0056] -N 越小, 电流越强并且充电和放电循环越快,

[0057] - 在微弱的条件下, 例如 C/10, 电池达到 160mAh/g 的额定容量,

[0058] - 对于所有电流条件（从 C/10 到 20C）, 锂电池的性能是稳定的,

[0059] - 在强的条件下, 例如在 20C, 锂蓄电池容量仍旧是约 60mAh/g, 即在微弱的条件下所获得的额定容量的 40%。

[0060] 此蓄电池因此表现出优秀的电化学性能并且更具体而言无论在低条件 (C/10) 下还是在高条件 (20C) 下都具有高容量。而且, 因为额定容量是高的, 即容量 / 每克活性材料是高的; 并且由于粉状复合物表现出高密度, 容量 / 每体积也是高的。

[0061] 本发明不限制于以上说明的实施方案。比如, 粉状复合物也能够用作在用于锂蓄电池的负电极中的活性材料。在这种情况下, 正电极包括在锂蓄电池的领域中的任何类型的已知活性材料。该正电极能够例如包括 LiFePO_4 、 LiMn_2O_4 或者 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 。例如, 锂电池能够包括含根据本发明的 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的负电极、含有 LiFePO_4 的正电极和吸取有液体电解质的隔板, 该液体电解质由 1M 的 LiPF_6 在碳酸亚丙酯中的溶液来形成。该正电极和负电极然后按 3 LiFePO_4 对 1 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 的方式放置以便使用 100% 的负电极的活性材料的存储容量。然后这样的蓄电池相对于锂而言, 在 1.9V 电压下工作。对于混合电化学蓄能系统, 第二电极、正电极例如是由高比表面积的材料来形成。

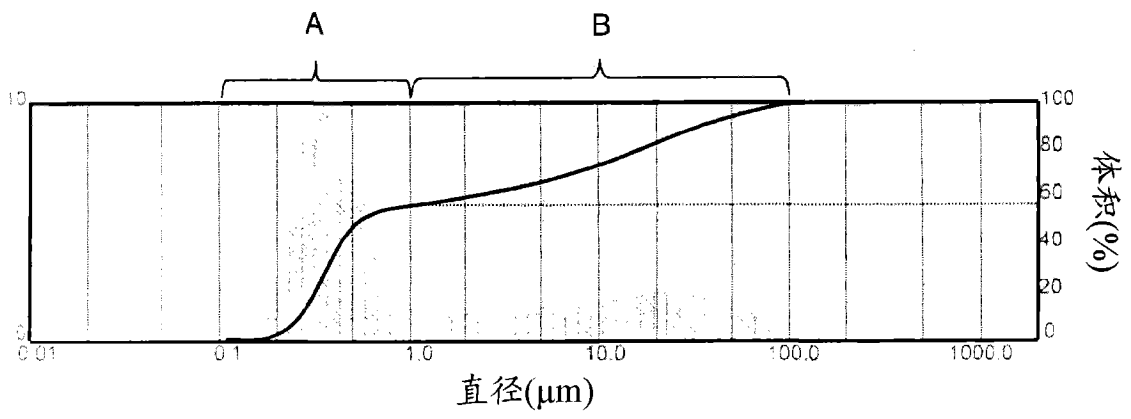


图 1

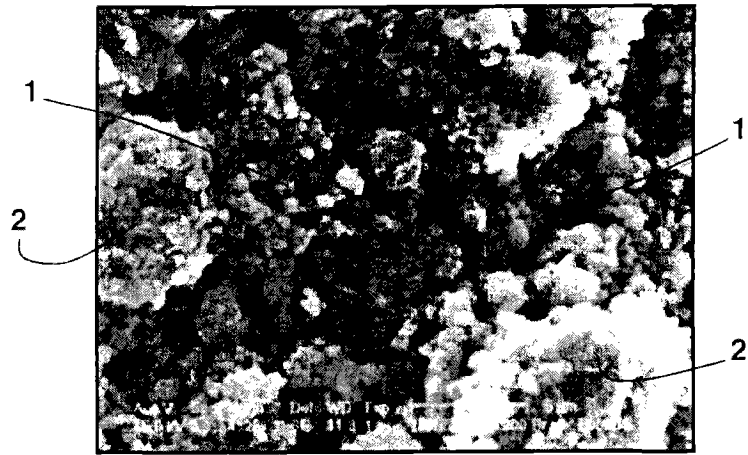


图 2

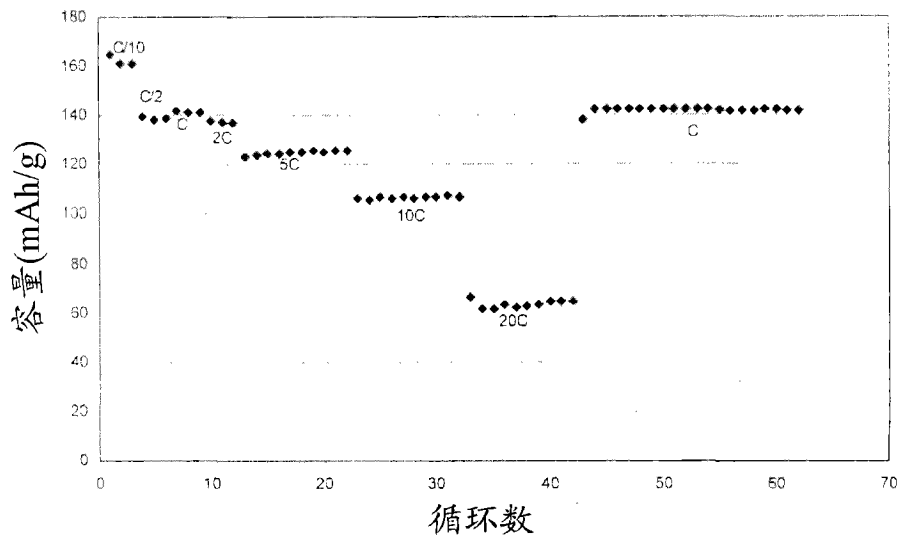


图 3