

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01M 10/36 (2006.01)

H01M 10/40 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03137894.3

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100353606C

[22] 申请日 2003.5.30 [21] 申请号 03137894.3

[30] 优先权

[32] 2002. 5. 30 [33] JP [31] 157134/02

[73] 专利权人 株式会社小原

地址 日本神奈川县

[72] 发明人 印田靖 大原和夫 内山哲夫

远藤守信

[56] 参考文献

CN 1301052 A 2001.6.27

US 5612155 A 1997.3.18

US 6277522 B1 2001.8.21

审查员 黄宇晴

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 曹雯 庞立志

权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 1 页

[54] 发明名称

锂离子二次电池

[57] 摘要

本发明提供一种具备正极、负极和固体电解质，由于界面电阻小，因而电池容量高，且充放电循环特性良好，能够长期稳定使用的锂离子二次电池。上述锂离子二次电池是在固体电解质-正极的界面和/或固体电解质-负极的界面形成微细纤维构成的缓冲层得到的锂离子二次电池。该正极不直接与固体电解质接触，而是通过该纤维层进行设置，该负极不直接与固体电解质接触，而是通过该纤维层进行设置。该缓冲层由直径 0.5~1000nm 的碳纤维构成，并浸渍了有机液体。该固体电解质的表面实施网纹加工，该网纹加工后的表面与该缓冲层接触。该固体电解质是锂离子传导性玻璃陶瓷。

1. 一种锂离子二次电池, 为具备正极、负极和固体电解质的锂离子二次电池, 其特征在于, 在固体电解质-正极的界面、和/或固体电解质-负极的界面, 形成含有直径 $0.5 \sim 150\text{nm}$ 的碳纤维和有机液体的碳纤维层。

2. 一种锂离子二次电池, 其具备正极、负极和固体电解质, 且在固体电解质-正极的界面、和/或固体电解质-负极的界面, 形成含有直径 $0.5 \sim 150\text{nm}$ 的碳纤维和有机液体的碳纤维层, 其特征在于, 该固体电解质与正极不接触。

3. 一种锂离子二次电池, 其具备正极、负极和固体电解质, 且在固体电解质-正极的界面、和/或固体电解质-负极的界面, 形成含有直径 $0.5 \sim 150\text{nm}$ 的碳纤维和有机液体的碳纤维层, 其特征在于, 该固体电解质与负极不接触。

4. 如权利要求 1 至 3 中任意一项所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该碳纤维层中浸渍了在有机溶剂中溶解了锂盐的溶液。

5. 如权利要求 1 至 3 中任意一项所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该固体电解质的表面实施网纹加工, 该网纹加工后的表面与该碳纤维层接触。

6. 如权利要求 1 至 3 中任意一项所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该固体电解质是锂离子传导性玻璃陶瓷。

7. 如权利要求 1 至 3 中任意一项所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该固体电解质是锂离子传导性玻璃陶瓷和高分子的复合电解质。

8. 如权利要求 7 所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该固体电解质的厚度为 $300\mu\text{m}$ 以下, 离子传导率为 $10^{-5}\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上。

9. 如权利要求 8 所述的锂离子二次电池, 其特征在于, 该固体电解质的厚度为 $300\mu\text{m}$ 以下, 离子传导率为 $10^{-5}\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上。

锂离子二次电池

技术领域

本发明涉及利用固体电解质的锂离子二次电池。

背景技术

以前，作为锂离子二次电池中的电解液，一般使用非水系的电解液，但是近年来这种液体被中心的电解液取代，使用由高分子构成的聚合物电解质的锂离子二次电池受到了瞩目。

也就是说，在这种使用聚合物电解质的锂离子二次电池中，由于在聚合物电解质中保有液体的电解液，因而具有下述优点：难以发生漏液，腐蚀性也小，能够防止发生锂析出（树枝晶）引起的电极的短路，而且电池的结构简单，其组装也变得容易等。

由于这种聚合物电解质与单纯的电解液相比，锂离子的导电性低，因此需要使该聚合物电解质的厚度变薄。但是，这样使聚合物电解质变薄的场合，存在其机械强度变低，制作电池时该聚合物电解质容易被破坏，正极和负极容易短路的问题。

因此，以前如特开平 6-140052 号公报等公开的那样，提出了在凝胶状电解质中添加氧化铝等无机氧化物制成复合电解质，使机械强度提高的方案。除氧化铝以外，还提出了二氧化硅和铝酸锂等无机氧化物。

但是，如果将氧化铝等无机氧化物添加到电解质中，则存在复合电解质的锂离子的导电性大幅度降低的问题。另外，具备该复合电解质的锂离子二次电池如果反复进行充放电，则存在电解质与上述无机氧化物反应，锂离子二次电池的充放电循环特性大幅度降低等问题。

另外，从安全性方面来看，也提出了很多完全不使用电解液的固体电解质电池。但是，这种场合由于构成的正极、负极和电解质均为固体，与使用电解液的电池相比，正极-电解质的界面或负极-电解质的界面的电化学电阻大。因此，存在界面的阻抗大，容易引起极化，难以实现高容量、高输出功率的电池的问题。

发明内容

本发明的课题在于解决锂离子二次电池的上述问题，且本发明的

课题还在于提供一种锂离子二次电池，即使在使用固体电解质的场合，界面电阻也很小，因而电池容量高，且充放电循环特性良好，能够长期稳定使用。

本发明人等对用于锂离子二次电池的各种材料进行了详细地实验，结果通过在固体电解质-正极的界面或固体电解质-负极的界面形成微细纤维层，能够在界面得到良好的电化学接合，使用这种材料的锂离子二次电池与以前的固体电解质型电池相比，输出功率、容量高，且充放电循环特性也显著提高。

本发明的锂离子二次电池的特征在于，在具备正极、负极和固体电解质的锂离子二次电池中，在固体电解质-正极的界面、和/或固体电解质-负极的界面形成纤维层。

本发明的锂离子二次电池通过在固体电解质-正极或固体电解质-负极的界面形成纤维层，结果除了能够在界面得到良好的电化学接合以外，通过与电极活性物质接触，活性物质自身的内部阻抗减少，碳纤维本身吸藏锂，碳纤维层辅助活性物质。而且，由于微细碳纤维的保液性高，因而能够浸渍以前的锂离子二次电池等使用的非水系有机电解液。因此，本发明的锂离子二次电池输出功率高，充放电循环特性提高，而且由于其保液性高，能够象以前的电池那样成为不必担心漏液、安全性高的电池。

本发明的锂离子二次电池中，优选纤维层浸渍了有机液体。浸渍有机液体的场合，由于固体电解质表面的保液性也提高，固体电解质-电极间的电化学接合强度变大，使用其的本发明锂离子二次电池能够将界面电阻抑制到很小。另外，这里使用的有机液体可以使用有机电解液，也可以兼用作为固体电解质的复合电解质中浸渍的有机电解液。

本发明的锂离子二次电池中，正极优选不直接与固体电解质接触，而是通过纤维层进行设置。负极也优选不直接与固体电解质接触，而是通过纤维层进行设置。

作为本发明的锂离子二次电池中使用的纤维，可以使用直径为0.5~1000nm的碳纤维。另外，通过将碳纤维磨细，能够增加与固体电解质或活性物质的接触面积，从而减少界面电阻，且能够增加锂包藏面，从而实现高容量化。

在本发明的锂离子二次电池中，固体电解质的表面优选实施网纹加工，且网纹加工后的表面与纤维层接触。这样，固体电解质表面的比表面积增大，与在该固体电解质与正极或负极的界面形成的纤维层的接合强度变大。

本发明的锂离子二次电池中，优选固体电解质含有具有锂离子传导性的晶体或玻璃。本发明的锂离子二次电池中使用的固体电解质薄的时候，由于锂离子的移动距离短，可以得到高输出功率的电池，另外由于能够确保单位体积的电极面积大，可以得到高容量的电池。因此，本发明的锂离子二次电池的固体电解质的厚度优选为 $300\mu\text{m}$ 以下。

本发明的锂离子二次电池在充放电时锂离子的移动性依赖于固体电解质的锂离子传导率和锂离子迁移数。因此，该固体电解质的离子传导率优选 $1 \times 10^{-3} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以上，更优选 $1 \times 10^{-2} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以上。

本发明的锂离子二次电池的固体电解质可以使用锂离子传导性玻璃陶瓷或者含有锂离子传导性玻璃陶瓷的复合电解质。

附图说明

图1是表示实施例1、2的锂离子二次电池的内部结构的截面示意图。

图2表示实施例2和比较例2得到的锂离子二次电池各自随着充放电循环的放电容量变化。

符号说明

- 1 正极集电体（铝）
- 2 正极（ LiCoO_2 ）
- 3 纤维层
- 4 固体电解质
- 5 负极（石墨）
- 6 负极集电体（铜）

发明的实施方式

本发明的锂离子二次电池的固体电解质可以使用具有下述特征的玻璃陶瓷，即，母玻璃的组成为 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系，对该玻璃进行热处理使之结晶，这时的主结晶相为 $\text{Li}_{1-x}\text{Al}_x\text{Ti}_{1-y}\text{Si}_y\text{P}_3\text{O}_{11}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)。优选 $0 \leq x \leq 0.4$, $0 \leq y \leq 0.6$ 。

本发明的锂离子二次电池中，作为固体电解质，可以使用锂离子

传导性玻璃陶瓷和高分子的复合电解质。从可以增大作为电池使用时单位体积的电池容量，且具有柔性，能够成型为各种形状的角度出发，构成复合电解质的高分子优选在复合玻璃陶瓷时制成片状。作为构成复合电解质的高分子材料，可以使用例如聚氧化乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚烯烃、聚四氟乙烯、聚氯三氟乙烯、聚偏二氟乙烯等氟树脂、聚酰胺类、聚酯类、聚丙烯酸酯等高分子材料，或者具有这些物质作为结构单元的高分子材料。另外，如果使用添加锂盐等附加了锂离子传导性的高分子材料，由于复合电解质的离子传导性也变高，更优选。

关于本发明的锂离子二次电池，不仅象固体电解质仅为玻璃陶瓷那样的全固体电解质的场合，而且象由玻璃陶瓷与高分子的复合电解质构成的场合那样具有某种程度的柔软性的固体电解质的场合，在固体电解质的界面形成纤维层所得到的效果均很大。

构成本发明锂离子二次电池的固体电解质的复合电解质是含有玻璃陶瓷粉末和高分子的复合物，可以使用制作成离子传导率达到 $1 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以上的复合电解质。

作为上述复合电解质中含有的具有高离子传导率的锂离子传导性玻璃陶瓷粉体，可以使用将上述锂离子传导性玻璃陶瓷粉碎得到的物质。

本发明的锂离子二次电池中，可以在作为正极集电体的铝箔等上形成作为正极活性物质的含有过渡金属氧化物的材料得到的物质作为正极。另外，本发明的锂离子二次电池的正极也可以在有机液体中混合正极活性物质、导电剂和粘结剂，通过流延将该混合物涂覆到正极集电体上后，使之干燥，制成片状。作为本发明的锂离子二次电池的正极中使用的正极活性物质材料，可以使用能够吸藏、释放锂的过渡金属化合物，例如可以使用含有选自锰、钴、铁、镍、钒、铌、钼、钛等过渡金属中至少一种的氧化物。另外，使用不含有锂的材料作为负极活性物质时，优选使用含有锂的过渡金属氧化物。作为导电剂，可以使用乙炔黑、卡新黑（ケツチエンブラック）或碳黑等导电性材料。作为粘结剂，可以使用聚偏二氟乙烯等氟树脂或其它热塑性树脂、具有橡胶弹性的聚合物等有机物。

另外，本发明的锂离子二次电池中，能够以在作为负极集电体的铜箔等上形成含有负极活性物质的材料得到的物质作为负极。另外，

也可以在有机液体中混合负极活性物质和粘结剂，或者预先将粘结剂和有机液体混合后，再将得到的混合物与负极活性物质混合，通过流延将该混合物涂覆到负极集电体上后，使之干燥，制成片状，以该物质作为负极。作为本发明的锂离子二次电池的负极中使用的负极活性物质材料，可以使用金属锂或锂-铝合金、锂-铜合金等能够吸藏、释放锂的金属或合金，钛、钒等过渡金属氧化物，石墨、活性炭或麦索非（メソフエーズビッチ）碳纤维等碳类材料。作为粘结剂，可以使用聚偏二氟乙烯等氟树脂或其它热塑性树脂、具有橡胶弹性的聚合物等有机物。

另外，在正极-固体电解质和/或负极-固体电解质的界面形成的纤维层是作为用于提高各电极与固体电解质间接接触性的缓冲层。关于固体之间的接触，由于不能充分获得有效接触面积，因此固体界面成为大的电阻层。因此，以在界面扩大接触面积为目的插入微细碳纤维层，可以抑制这种电阻。该碳纤维层可以通过在PC（碳酸亚丙基酯，Propylene carbonate）等有机液体中分散碳纤维，涂覆于电极上，使之干燥得到。也可以通过印刷分散后的物质得到。而且，也可以按照抄纸的要领制成片状贴付在电极上。这时，如果片状材料内存在与面垂直的纤维，由于与电极或电解质的接触性变得良好，因而更优选。纤维层薄的场合，由于电荷移动电阻小，碳纤维层的厚度优选为20 μm 以下，更优选10 μm 以下。另外，通过使该碳纤维层浸渍现有锂离子二次电池使用的有机电解液，可以大幅度抑制界面的接触电阻。

同时接触强度也提高，由于能够抑制电池充放电时电极的体积变化，或者温度引起的热膨胀变化导致剥离或裂缝的发生，因此能够实现高性能、长寿命的锂离子二次电池。

这里，碳纤维可以使用采用电弧法、激光烧蚀法或气相成长法等制造的直径0.5~1000nm的纤维状碳，更优选直径为1.0~200nm。另外，作为构成浸渍的有机电解液的溶质，可以使用例如 LiPF_6 、 LiBF_4 、 LiClO_4 、 LiI 、 LiAsF_6 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ 、 $\text{LiC}_4\text{F}_9\text{SO}_3$ 等锂盐作为电解质。作为溶剂，可以在EC（碳酸亚乙基酯，Ethylene carbonate）、PC（碳酸亚丙基酯，Propylene carbonate）、BC（碳酸亚丁基酯，Butylene carbonate）、GBL（ γ -丁内酯， γ -Butyrolactone）等高沸点溶剂中适当混合DME（1,2-二甲氧基乙烷，1,2-Dimethoxyethane）、

MF (甲酸甲酯, Methyl formate)、MA (乙酸甲酯, Methyl acetate)、MP (丙酸甲酯, Methyl propionate)、DMC (碳酸二甲酯, Dimethyl carbonate)、EMC (碳酸甲乙酯, Ethyl methyl carbonate)、DEC (碳酸二乙酯, Diethyl carbonate) 等低沸点溶剂后使用。

以下, 结合具体的实施例说明本发明的锂离子二次电池, 同时结合比较例, 阐明该实施例涉及的在固体电解质与负极和正极间使用碳纤维的锂离子二次电池优异。另外, 本发明并不限于下述实施例所示的锂离子二次电池, 在不改变其主旨的范围内, 可以适当进行改变后实施。

【实施例 1】

(锂离子传导性玻璃陶瓷的制作)

将 P_2O_5 、 Al_2O_3 、 Li_2CO_3 、 SiO_2 、 TiO_2 各种原料混合后熔融, 使 $Li_{1+x+y}Al_xTi_{2-x}Si_yP_{3-y}O_{12}$ ($0 \leq x \leq 0.4$, $0 \leq y \leq 0.6$) 的晶体析出, 用不锈钢滚筒进行压延得到玻璃。使该玻璃结晶, 得到所需锂离子传导性玻璃陶瓷 (固体电解质)。析出的结晶相通过粉末 X 射线衍射法确认 $Li_{1+x+y}Al_xTi_{2-x}Si_yP_{3-y}O_{12}$ 为主结晶相。测定该得到的玻璃陶瓷的阻抗, 结果 25℃ 的室温下的离子传导率为 $1.4 \times 10^{-3} S \cdot cm^{-1}$ 。

(正极的制作)

用丙酮将作为正极材料 (正极活性物质) 的市售钴酸锂 $LiCoO_2$ (平均粒径 $5\mu m$)、作为导电剂的乙炔黑、以及作为粘结剂的聚偏二氟乙烯按 82:10:8 的质量比混合。通过流延将该混合物涂覆在厚度为 $10\mu m$ 的铝板, 即正极集电体上, 使厚度达到约 $80\mu m$ 后, 干燥, 制成片状的正极。

(负极的制作)

用丙酮溶剂将作为负极材料 (负极活性物质) 的市售石墨粉末 (平均粒径 $10\mu m$)、以及作为粘结剂的聚偏二氟乙烯按 92:8 的质量比混合。通过流延将该混合物涂覆在作为负极集电体的厚度 $10\mu m$ 的铜板上, 使厚度达到约 $50\mu m$ 后, 干燥, 制成片状的负极。

(有机电解液的配制)

将 EC (碳酸亚乙基酯, Ethylene carbonate) 和 DMC (碳酸二甲酯, Dimethyl carbonate) 按 50:50 的质量比混合, 在得到的溶剂中以 $1mol/L$ 的浓度溶解 $LiBF_4$, 配制成有机电解液。

(纤维层的制作)

将直径约 150nm、长度约 10 μ m 的碳纤维超声分散到 PC (碳酸亚丙基酯, Propylene carbonate) 中。将该碳纤维分散溶液分别涂覆在上述制作的正极和负极的活性物质面上, 真空干燥, 形成厚度约 10 μ m 的纤维层。

(电池的组装)

切出锂离子传导性玻璃陶瓷, 用 #1500 的磨粒对其两面进行磨削, 实施网纹处理。用形成了上述纤维层的正极和负极夹持上述锂离子传导性玻璃陶瓷, 使网纹处理后的面与正极或负极上涂覆的纤维层接触, 施加压力使之接合。将其在上述配制的有机电解液中浸渍 10 分钟, 使碳纤维层浸渍电解液, 组装成图 1 所示结构的锂离子二次电池。在图 1 中, 1 为正极集电体, 2 为正极, 3 为纤维层, 4 为固体电解质, 5 为负极, 6 为负极集电体。在正极和负极的集电体 1、6 上安装导线, 在 30℃ 下以定电流进行充放电循环试验。充放电循环试验中充电终止电压为 4.2V, 放电终止电压为 3.0V, 充放电电流密度为 1mA/cm², 测定放电容量的循环特性。

【比较例 1】

除了不形成纤维层以外, 与实施例 1 同样组装锂离子二次电池, 在与实施例 1 同样的条件下进行充放电循环试验。

实施例 1 和比较例 1 的第 1、50、300 次循环的放电容量如表 1 所示。

【表 1】

实施例 1 和比较例 1 的第 1、50、300 次循环的放电容量如表 1 所示。

	放电容量 (mAh/cm ²)		
	第 1 次循环	第 50 次循环	第 300 次循环
实施例 1	2.9	2.7	2.2
比较例 1	2.4	1.9	0.8

如表 1 所示, 本实施例 1 的锂离子二次电池与不具有纤维层的比较例 1 的锂离子二次电池相比, 容量明显大。而且随着充放电的循环劣化也少, 具有优良的电池性能。

【实施例 2】

(含有锂离子传导性玻璃陶瓷的复合电解质的制作)

将粉碎的玻璃陶瓷粉末和添加了 $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ 的聚氧化乙烯混合,压延,进行真空干燥,得到厚度 $30\mu\text{m}$ 的复合电解质(固体电解质)。测定该得到的复合电解质的阻抗,结果 25°C 的室温下的离子传导率为 $1.6 \times 10^{-4} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

(正极和负极的制作,以及有机电解液的配制)

与实施例 1 同样,制作正极和负极,并配制有机电解液。

(纤维层的制作)

与实施例 1 同样,在正极和负极的活性物质面分别形成纤维层。

(电池的组装)

切出上述复合电解质,用形成了上述纤维层的正极和负极夹持上述复合电解质,使之形成正极/纤维层/复合电解质/纤维层/负极,用双辊层压机接合,在与实施例 1 同样配制的有机电解液中浸渍 10 分钟,使碳纤维层浸渍电解液,制作成图 1 所示结构的电池。在正极和负极的集电体上安装导线,在 30°C 下以定电流进行充放电循环试验。该试验中,充电终止电压为 4.2V ,放电终止电压为 3.0V ,充放电电流密度为 $1\text{mA}/\text{cm}^2$,测定电池的放电容量。

【比较例 2】

除了不形成纤维层以外,与实施例 2 同样组装锂离子二次电池,在与实施例 2 同样的条件下进行充放电循环试验。

对于实施例 2 和比较例 2 的锂离子二次电池,第 1、50、300 次循环的放电容量如表 2 所示。另外,伴随各锂离子二次电池的充放电循环的放电容量变化如图 2 所示。

【表 2】

	放电容量 (mAh/cm^2)		
	第 1 次循环	第 50 次循环	第 300 次循环
实施例 2	3.2	3.1	2.7
比较例 2	2.8	2.4	1.8

如表 2 和图 2 所示,本实施例 2 的锂离子二次电池与没有形成纤维层的比较例 2 的锂离子二次电池相比,容量明显大。而且随着充放电的循环劣化也少,具有优良的电池性能。

【实施例 3】

与实施例 2 同样组装锂离子二次电池，在相同条件下改变温度进行充放电循环试验。试验温度在 -20°C 、 0°C 、 60°C 、 80°C 各种温度下进行。

【比较例 3】

与比较例 2 同样组装没有形成纤维层的锂离子二次电池，在与实施例 3 同样的条件下改变温度进行充放电循环试验。

对于实施例 3 和比较例 3 的锂离子二次电池，各温度下的第 1、50、300 次循环的放电容量如表 3 所示。

【表 3】

		放电容量 (mAh/cm^2)		
	试验温度	第 1 次循环	第 50 次循环	第 300 次循环
实施例 3	-20°C	2.7	2.3	1.7
	0°C	3.0	2.7	2.0
	60°C	3.4	3.2	2.8
	80°C	3.5	3.2	2.4
比较例 3	-20°C	2.3	1.9	1.2
	0°C	2.5	2.1	1.5
	60°C	3.0	2.5	1.5
	80°C	3.2	2.3	1.2

如表 3 所示，本实施例 3 的锂离子二次电池在 -20°C 至 80°C 的非常宽的温度范围内，与没有形成纤维层的比较例 3 的锂离子二次电池相比，容量大。而且随着充放电的循环劣化也少，具有优良的电池性能。

【实施例 4】

与实施例 2 同样组装锂离子二次电池，在相同条件下改变充放电率进行充放电循环试验。进行试验的充放电电流密度与实施例 2 相比以 3 倍的 $3\text{mA}/\text{cm}^2$ 进行。

【比较例 4】

与比较例 2 同样组装没有形成纤维层的锂离子二次电池，在与实施例 4 同样的条件下改变充放电率进行充放电循环试验。

对于实施例 4 和比较例 4 的锂离子二次电池, 第 1、50、300 次循环的放电容量如表 4 所示。

【表 4】

	充放电密度 mA/cm^2	放电容量 (mAh/cm^2)		
		第 1 次循环	第 50 次循环	第 300 次循环
实施例 4	3	3.2	2.8	2.2
比较例 4	3	2.8	2.2	1.1

如表 4 所示, 本实施例 4 的电池与没有形成纤维层的比较例 4 相比, 容量大。而且随着充放电的循环劣化也少, 即使在快速充放电中也具有优良的电池性能。

发明效果

如上所述, 本发明的锂离子二次电池能够在界面得到良好的电化学接合, 结果输出功率、容量高, 充放电循环特性也显著提高。

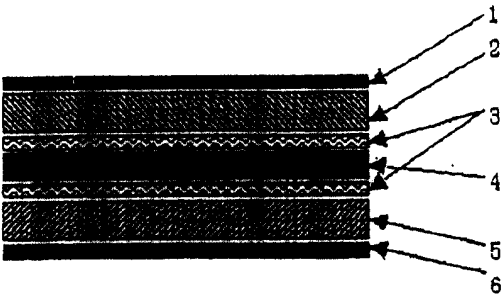


图 1

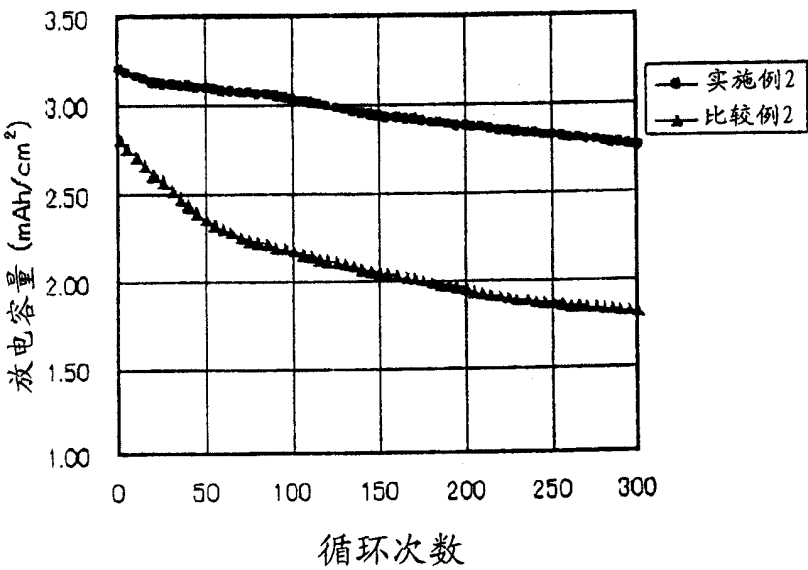


图 2