(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102124599 A
(43)申请公布日 2011.07.13

(21)申请号 200980129330.8

(22)申请日 2009.05.29

(30)优先权数据
61/057,179 2008.05.29 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2011.01.26

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2009/045723 2009.05.29

(87)PCT申请的公布数据
WO2009/148971 EN 2009.12.10

(71)申请人 莱登能源公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 戴宏力 迈克尔·艾瑞克森
马克·洙兹科

(74)专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理有限责任公司 11204
代理人 王达佐 洪欣

(51)Int.Cl.
*H01M 10/05*(2006.01)
*H01M 4/48*(2006.01)
*H01M 4/58*(2006.01)

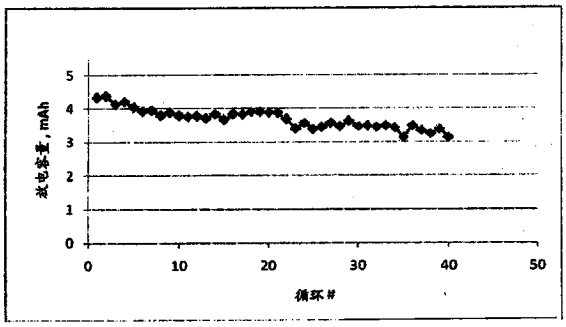
权利要求书 5 页 说明书 20 页 附图 4 页

(54)发明名称

具有离子液体电解质的电化学电池

(57)摘要

本发明提供了锂离子电化学电池，其包括离子液体电解质溶液和具有碳板集流体的正极。




CN 102124599 A

1. 锂离子电化学电池，其包括：

正极，其包含正极活性材料和与所述正极材料电子导电接触的碳板集流体；

负极，其包含负极活性材料和与所述负极材料电子导电接触的集流体；

离子渗透隔板；和

与所述负极和正极离子导电接触的电解质溶液，其中所述电解质溶液包含锂化合物和溶剂，所述溶剂选自式（I）的离子液体或有机溶剂与式（I）的离子液体的混合物：

$$Q^+E^-$$

（I）

其中

$Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代；

$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1\text{-}X^-R^2(R^3)_m$、NC-S$^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N^-$、$AsF_6^-$、$SO_4^-$ 和双［草酸盐（2-）-O，O’］硼酸盐，其中

m 是 0 或 1；

当 m 是 0 时，X 是 N；

当 m 是 1 时，X 是 C；

$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2\text{-}L^a\text{-}SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢；

每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1\text{-}8}$ 全氟烷基；

每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1\text{-}8}$ 烷基、$C_{1\text{-}8}$ 卤代烷基、$C_{1\text{-}8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸；

每个 $R^f$ 独立地为烷基或烷氧基烷基；并且

其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳－碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1\text{-}4}$ 卤代烷基、$C_{1\text{-}4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1\text{-}8}$ 烷基、$C_{1\text{-}8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1\text{-}4}$ 全氟亚烷基。

2. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述有机溶剂为碳酸酯、内酯或其混合物。

3. 如权利要求 1 所述的电池，其中溶剂为有机溶剂与离子液体的混合物，并且其中所述有机溶剂和所述离子液体的体积比为约 1 ： 10 至约 10 ： 1，溶剂为有机溶剂与离子液体的混合物。

4. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述阴离子为 $CF_3SO_2X^-R^2(R^3)_m$。

5. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述阴离子选自 $(CF_3SO_2)_3C^-$、$(CF_3SO_2)_2CH^-$、$CF_3(CH_2)_3SO_3^-$、$(CF_3SO_2)_2N^-$、$(CN)_2N^-$、$SO_4^-$、$CF_3SO_3^-$、NC-S$^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$ClO_4^-$、$(CF_3CF_2)_3P^-F_3$、$CF_3CO_2^-$、$I^-$、$SO_4^-$ 和双［草酸盐（2-）-O，O’］硼酸盐。

6. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述正极活性材料包括磷酸盐、硫酸盐或嵌锂的过渡金属氧化物，所述嵌锂的过渡金属氧化物选自 $LiCoO_2$、尖晶石 $LiMn_2O_4$、掺铬尖晶石锂锰

氧化物、层状 $LiMnO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xCo_{1-x}O_2$、氧化钒、$LiFePO_4$、$LiFeTi(SO_4)_3$、$Li_{1+x}A_yM_{2-y}O_4$ 和 $LiMXO_4$，

其中：

下标 x 为约 0 至 1 的实数；

下标 y 为约 0 至 1 的实数；

M 和 A 各自独立地为 Fe、Mn、Co、Ni 或其组合；并且

X 为 P、V、S、Si 或其组合。

7. 如权利要求 6 所述的电池，其中所述正极活性材料包括 $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$。

8. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述负极活性材料包括嵌锂碳、锂金属氮化物、金属锂合金、金属氧化物、碳微球、天然石墨、碳纤维、石墨微球、碳纳米管、硬碳或片状石墨或其组合。

9. 如权利要求 1 至 8 中任一权利要求所述的电池，其中所述集流体为导电碳板，其选自石墨板、碳纤维板、泡沫碳和碳纳米管膜和 / 或其混合物，它们中的每个的平面电导率为至少 1000S/cm。

10. 如权利要求 9 所述的电池，其中所述导电碳板的平面电导率为至少 2000S/cm。

11. 如权利要求 9 所述的电池，其中所述导电碳板的平面电导率为至少 3000S/cm。

12. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述锂化合物具有式：$Li^+E^-$。

13. 如权利要求 12 所述的电池，其中所述锂化合物为 $LiPF_6$、$LiBF_4$、$LiClO_4$、$(FSO_2)_2N^-Li^+$ 或 $AsF_6^-$。

14. 如权利要求 1 所述的电池，其中所述锂化合物具有式 (II)：

$$R^1-X^-(Li^+)R^2(R^3)_n$$

II

其中：

n 为 0 或 1；

当 n 为 0 时，X 为 N；

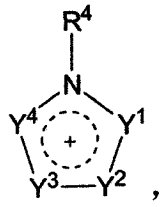
当 n 为 1 时，X 为 C；

$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2(-R^b-SO_2Li^+)SO_2-R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 n = 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 n = 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢；并且

其中每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸，其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 为 $C_{1-8}$ 烷基、全氟苯基或 $C_{1-8}$ 全氟烷基，其中所述化合物具有高于所述正极再充电电势的氧化电势。

15. 如权利要求 14 所述的电池，其中所述锂化合物具有式：$CF_3SO_2N^-(Li^+)SO_2CF_3$。

16. 如权利要求 1 所述的电池，其中 $Q^+$ 为具有式 (Ia) 的阳离子：



，Ia

其中

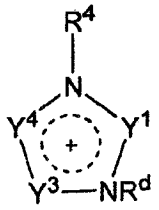
$R^4$ 为 -H、被选自卤素和 $C_{1-4}$ 全氟烷基的 1 至 3 个成员任选取代的 $C_{1-20}$ 烷基或 $C_{1-20}$ 烷氧基烷基；

$Y^1$ 和 $Y^3$ 各自独立地选自＝N-和＝$CR^d$-；

$Y^2$ 和 $Y^4$ 各自独立地选自＝N-、-O-、-S-、-$NR^d$-和＝$CR^d$-，前提是 $Y^2$ 和 $Y^4$ 不同时是选自 -$NR^d$-和＝$CR^d$-的成员，或不同时是选自 -O-、-$NR^d$-和 -S-的成员；

其中每个 $R^d$ 独立地为 -H、烷基或烷氧基烷基。

17. 如权利要求 16 所述的电池，其中 $Q^+$ 为具有式 Ia-1 的阳离子：



Ia-1。

18. 如权利要求 17 所述的电池，其中 $Y^1$ 为＝N-或＝$CR^d$-。

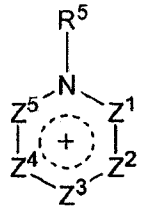
19. 如权利要求 18 所述的电池，其中 $Y^1$ 为＝$CR^d$-

20. 如权利要求 17 所述的电池，其中 $Y^4$ 为 -O-。

21. 如权利要求 16 至 20 中任一权利要求所述的电池，其中 $R^d$ 为 -H。

22. 如权利要求 17 所述的电池，其中 $Y^1$、$Y^3$ 和 $Y^4$ 为＝CH-，$R^4$ 为甲基，并且 $R^d$ 为 $C_{1-8}$ 烷基或 $C_{1-8}$ 烷氧基烷基。

23. 如权利要求 1 所述的电池，其中 $Q^+$ 为具有式 (Ib) 的阳离子：



Ib

其中

$R^5$ 为 -H，被选自卤素和 $C_{1-4}$ 全氟烷基的 1 至 3 个成员任选取代的烷氧基烷基或 $C_{1-20}$ 烷基；并且

$Z^1$、$Z^2$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 各自独立地选自＝N-和＝$CR^e$-，其中每个 $R^e$ 独立地选自 -H、烷基和烷氧基烷基，或者任选地，邻近碳上的 $R^e$ 取代基与和它们相连的原子结合形成具有选自 O、N 或 S 的作为环成员的 0 至 2 个增加的杂原子的 5- 或 6- 元环。

24. 如权利要求 23 所述的电池，其中 $Z^1$ 是＝N-。

25. 如权利要求 24 所述的电池，其中 $Z^2$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝$CR^e$-。

26. 如权利要求 23 所述的电池，其中 $Z^2$ 是＝N-。

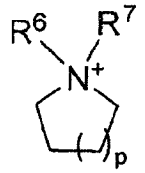
27. 如权利要求 26 所述的电池，其中 $Z^1$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝ $CR^e$-。

28. 如权利要求 23 所述的电池，其中 $Z^3$ 是＝ N-。

29. 如权利要求 28 所述的电池，其中 $Z^1$、$Z^2$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝ $CR^e$-。

30. 如权利要求 23 至 29 中任一权利要求所述的电池，其中 $R^e$ 为 -H。

31. 如权利要求 1 所述的电池，其中 $Q^+$ 为具有式 (Ic) 的阳离子：



Ic

其中

下标 p 为 1 或 2；并且

$R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为 H 或任选取代的 $C_{1-8}$ 烷基。

32. 如权利要求 31 所述的电池，其中 p 为 1 并且 $R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为任选取代的 $C_{1-8}$ 烷基。

33. 如权利要求 32 所述的电池，其中 $R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为 $C_{1-8}$ 烷基。

34. 如权利要求 33 所述的电池，其中 p 为 1，$R^6$ 为甲基，并且 $R^7$ 为 $C_{1-8}$ 烷基。

35. 如权利要求 1 至 8、10 至 20、22 至 29 和 31 至 34 中任一权利要求所述的电池，其中所述电池具有约 4.5 伏特至 5.8 伏特的较高充电电压。

36. 电池组，其包括多个电池，其中每个电池包含式 (I) 的离子液体：

$$Q^+E^-$$

(I)

其中

$Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代；

$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1$-$X^-$-$R^2(R^3)_m$、NC-$S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N$-、$AsF_6^-$、$SO_4^-$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O，O’ ] 硼酸盐，其中

m 是 0 或 1；

当 m 是 0 时，X 是 N；

当 m 是 1 时，X 是 C；

$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、-$SO_2R^b$、-$SO_2$-$L^a$-$SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、-$P(O)(OR^b)_2$、-$P(O)(R^b)_2$、-$CO_2R^b$、-$C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢；

每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基；

每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸；

每个 $R^f$ 独立地为烷基或烷氧基烷基；并且

其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形

成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。

37. 锂离子电化学电池，其包括：

正极，其包含正极活性材料和与所述正极材料电子导电接触的碳板集流体；

负极，其包含负极活性材料和与所述负极材料电子导电接触的集流体；

至少一个正极连接片，其具有第一连接端和第二连接端，其中所述至少一个正极连接片的所述第一连接端连接到所述正极碳板集流体上；

至少一个负极连接片，其具有第一连接端和第二连接端，其中所述至少一个负极连接片的所述第一连接端连接到所述负极集流体上；

离子渗透隔板；和

与所述负极和正极离子导电接触的电解质溶液，其中所述电解质溶液包含锂化合物和溶剂，所述溶剂选自式 (I) 的离子液体或有机溶剂与式 (I) 的离子液体的混合物：

$$Q^+E^-$$

(I)

其中

$Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代；

$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1-X^-R^2(R^3)_m$、$NC-S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N-$、$AsF_6^-$、$SO_4^-$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O,O' ] 硼酸盐，其中

m 是 0 或 1；

当 m 是 0 时，X 是 N；

当 m 是 1 时，X 是 C；

$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2-L^a-SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 m = 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m = 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢；

每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基；

每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸；

每个 $R^f$ 独立地为烷基或烷氧基烷基；并且

其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。

38. 如权利要求 37 所述的电池，其中所述导电碳板的平面电导率为至少 2000S/cm。

39. 如权利要求 37 所述的电池，其中所述导电碳板的平面电导率为至少 3000S/cm。

# 具有离子液体电解质的电化学电池

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2008 年 5 月 29 日提交的第 61/057,179 号美国临时专利申请的优先权，所述申请以其整体引用的方式并入本文中并用于所有目的。

[0003] 发明背景

[0004] 目前在包括消费类电子产品和汽车工业中的各种申请中，对于开发新一代高温稳定、高电压、不易燃的和持久可充电电池有极大兴趣。

[0005] 因为具有有机溶剂的常规电解质一般是大量使用的并产生难以遏制的有害溢出的挥发性液体，所以其是危险化学品清单上的高危化学品。已知当使用诸如玻璃碳或铂的惰性电极时，发现基于有机溶剂的电解质比当使用包含如插层化合物的活性材料的电极时有较宽的稳定窗口。对于包含活性材料的电极，由于电解质与活性材料的相互作用，发现有较小的电解质稳定窗口。此外，增加温度加强这些相互作用而导致更小的稳定窗口。

[0006] 离子液体是在环境温度下或接近环境温度下为液体的盐。不像常规有机溶剂，离子液体是不挥发的、不易燃的和在高达 500℃的宽温度范围内是化学稳定的。这些性质有利于帮助降低蒸发的损失，消除易挥发的有机散发物，并改善安全性。离子液体的其它性质也证实是有利的。例如，许多离子液体具有在该温度下保持液态的宽的温度范围，并在宽 pH 范围内是稳定的。这有利于在所需 pH 下进行高温处理。离子液体还显示出在 25℃下在玻璃碳电极间测得的高达 5.5V 的最宽的电化学稳定窗口（参见 MacFarlane,et al.Journal. of PhysicalChemistry B.1999,103,4164）。

[0007] 因此，亟需开发基于具有高热稳定性、宽电化学稳定窗口、低腐蚀性、优异的耐久性和高离子电导率的锂离子电化学电池和电池的离子液体的电解质。本发明满足了这些和其它需求。

[0008] 发明概述

[0009] 本发明提供了热稳定的锂离子电化学电池。所述电池包括电解质溶液，其包含锂化合物、离子液体或有机溶剂和离子液体的混合物。与常规的有机溶剂相比，离子液体允许容易地得到非常高的电解质浓度。有利地，所述电化学电池具有高热稳定性，宽电化学稳定窗口、低腐蚀性、优异的耐久性、高工作电压和高离子电导率。比诸如 Al 和 Ni 的其它常规金属集流体高的碳集流体的阳极稳定性；与离子液体的较高的阳极稳定性结合允许待使用的阴极活性材料的较高的电压，这将提高电池的能量密度。

[0010] 一方面，本发明提供了锂离子电化学电池。所述电池包括正极，其包含正极活性材料和与所述正极材料电子导电接触的碳板集流体，负极，其包含负极活性材料和与负极材料电子导电接触的集流体，离子渗透隔板，和与所述负极和正极离子导电接触的电解质溶液。所述电解质溶液包含锂化合物和溶剂，所述溶剂选自式 (I) 的离子液体或有机溶剂和式 (I) 的离子液体的混合物：

[0011] $Q^+E^-$ (I)

[0012] $Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 的作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元

杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代，并且 $R^f$ 是烷基或烷氧基烷基。$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1-X^-R^2(R^3)_m$、$NC-S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N-$、$AsF_6^-$ $SO_4^-$、$B^-(OR^{a1})_2(OR^{a2})_2$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O,O' ] 硼酸盐。下标 m 是 0 或 1。当 m 是 0 时，X 是 N。当 m 是 1 时，X 是 C。$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2-L^a-SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H，前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢。每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基。$L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸。所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。$R^{a1}$ 和 $R^{a2}$ 各自独立地为烷基。在一个实施方案中，两个 $R^{a1}$ 基团和与两个 $R^{a1}$ 基团相连的氧原子以及与两个氧原子相连的硼原子一起形成与具有 0 至 1 个氮杂原子的六元芳香环任选稠合的五 - 或六 - 元环，并且任选地两个 $R^{a2}$ 基团和与两个 $R^{a1}$ 基团相连的氧原子以及与两个氧原子相连的硼原子一起形成与具有 0 至 1 个氮杂原子的六元芳香环任选稠合的五 - 或六 - 元环。在某些实施方案中，具有第一连接端和第二连接端的至少一个正极连接片，其中所述第一连接端与正极集流体相连；任选地，具有第一连接端和第二连接端的至少一个负极连接片，其中所述第一连接端连接到所述负极集流体上。

[0013] 在其它方面，本发明提供了电池组。所述电池组包括多个电池，其中每个电池包含式 (I) 的离子液体：

[0014] $Q^+E^-$

[0015] (I)

[0016] 其中 $Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 的作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代，并且每个 $R^f$ 独立地为烷基或烷氧基烷基。$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1-X^-R^2(R^3)_m$、$NC-S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N-$、$AsF_6^-$、$SO_4^-$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O,O' ] 硼酸盐，其中 m 是 0 或 1。当 m 是 0 时，X 是 N。当 m 是 1 时，X 是 C。$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2-L^a-SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢。每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基。每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸。所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。从下面的详细描述和图，对于本领域技术人员本发明的这些及其它方面和优势将变得显而易见。

[0017] 附图简述

[0018] 图 1 例示全锂离子电化学电池的放电容量图。电解质溶液为 1M 的 $LiN(SO_2CF_3)_2$(LiTFSi) 的碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺，其中 EC 和 1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺的重量比为 1 ： 1。

[0019] 图 2 例示阳极半电池的放电容量图。电解质溶液为 1M 的 LiTFSi 的碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺，其中 EC 和 1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺的重量比为 1 ： 1。

[0020] 图 3 例示阴极半电池的放电容量图。电解质溶液为 1M 的 LiTFSi 的碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺，其中 EC 和 1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺的重量比为 1 ： 1。

[0021] 图 4A 例示具有四种离子液体的阳极半电池的放电容量，其中 EC 和各自的离子液体的重量比为 1 ： 1。IL1 ：1- 己基 -3- 甲基咪唑鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺 ；IL2 ：1- 己基 -3- 甲基咪唑鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺 ；TEGDME ：四甘醇二甲醚 ；GVL ：γ - 戊内酯。锂化合物是 1M 的双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺锂 (LiTFSi)。图 4B 例示具有多种电解质溶液的电池的第一个循环的库仑效率。

[0022] 图 5A 例示 1M LiTFSi 离子液体有机溶剂燃料电池和一个具有 1M LiTFSi 的有机溶剂燃料电池 ；和具有 1M $LiPF_6$ 的第二个燃料电池以及理论电池的放电容量的对比，其中在每个溶剂混合物中，EC 由总溶剂量的 50wt％组成。另一个有机溶剂 DMC 表示碳酸二甲酯。图 5B 例示三个锂离子燃料电池的库仑效率，对包含离子液体的电池与没有离子液体的两个电池的库仑效率进行比较。

[0023] 图 6 例示如实施例 4 中所述制造的锂离子电化学电池的第一个循环的电压对测试时间的图。

[0024] 发明详述

[0025] 除非另作说明，术语“烷基”独自地或作为其它取代基的一部分是指具有规定数量的碳原子数（即 $C_{1-8}$ 是指一至八个碳）的直链或支链烃基。烷基的实例包括甲基、乙基、正丙基、异丙基、正丁基、叔丁基、异丁基、仲丁基、正戊基、正己基、正庚基、正辛基等。对于本文的每个定义（例如烷基、亚烷基和卤代烷基），当烷基部分不包括标示主链碳原子数的前缀时，基团或其部分将具有 20 或更少的主链碳原子。

[0026] 术语“亚烷基”独自地或作为其它取代基的一部分是指直链或支链饱和二价烃基，其来自具有前缀所标示的碳原子数的烷烃。例如，$(C_1-C_6)$ 亚烷基是指包括亚甲基、亚乙基、亚丙基、2- 甲基亚丙基、亚戊基等。

[0027] 全氟亚烷基是指所有的氢原子都被氟原子取代的亚烷基。氟亚烷基是指氢原子被氟原子部分地取代的亚烷基。

[0028] 除非另作说明，术语“卤代”或“卤素”独自地或作为其它取代基的一部分是指氟原子、氯原子、溴原子或碘原子。

[0029] 术语“卤代烷基”是指包括单卤代烷基和多卤代烷基。例如，术语“$C_{1-4}$ 卤代烷基”是指包括三氟甲基、2,2,2- 三氟乙基、4- 氯丁基、3- 溴丙基、3- 氯 -4- 氟丁基等。

[0030] 术语“全氟烷基”是指烷基中的所有的氢原子都被氟原子取代的烷基。全氟烷基的实例包括 $-CF_3$、$-CF_2CF_3$、$-CF_2-CF_2CF_3$、$-CF(CF_3)_2$、$-CF_2CF_2CF_2CF_3$、$-CF_2CF_2CF_2CF_2CF_3$ 等。术语

“全氟亚烷基”是指二价全氟烷基。

[0031] 术语“芳基”是指未取代的或被一至四个取代基，优选为一、二或三个取代基独立地取代的 5 至 10 个环原子的单价单环、双环或多环芳香烃基，所述取代基选自烷基、环烷基、环烷基 - 烷基、卤代、氰基、羟基、烷氧基、氨基、酰胺基、单 - 烷基氨基、二 - 烷基氨基、卤代烷基、卤代烷氧基、杂烷基、COR（其中 R 为氢、烷基、环烷基、环烷基 - 烷基、苯基或苯基烷基、芳基或芳基烷基）、-(CR’R”)$_n$-COOR（其中 n 是 0 至 5 的整数，R’和 R”独立地为氢或烷基，并且 R 为氢、烷基、环烷基、环烷基烷基、苯基或苯基烷基芳基或芳基烷基）或 -(CR’R”)$_n$-CONR”’R””（其中 n 是 0 至 5 的整数，R’和 R”独立地为氢或烷基，并且 R”’和 R”” 各自独立地为氢、烷基、环烷基、环烷基烷基、苯基或苯基烷基、芳基或芳基烷基）。更具体地，术语芳基包括但不限于，苯基、联苯基、1- 萘基和 2- 萘基及其取代形式。

[0032] 术语“杂芳基”是指包含选自 N、O 或 S 的一至五个杂原子的芳基（或环），其中氮原子和硫原子是任选氧化的，并且氮原子是任选季铵化的。杂芳基的非限制性实例包括吡啶基、哒嗪基、吡嗪基、嘧啶基、三嗪基、喹啉基、喹喔啉基 (quinoxalinyl)、喹唑啉基、噌啉基、酞嗪基、苯并三嗪基、噁吟基、苯并咪唑基、苯并吡唑基、苯并三唑基、苯并异噁唑基、异苯并呋喃基、异氮杂茚基、中氮茚基、苯并三嗪基、噻吩并吡啶基、噻吩并嘧啶基、吡唑并嘧啶基、咪唑并吡啶基、苯并噻唑基、苯并呋喃基、苯并噻吩基、吲哚基、喹啉基、异喹啉基、异噻唑基、吡唑基、吲唑基、蝶啶基、咪唑基、三唑基、四唑基、噁唑基、异噁唑基、噻二唑基、吡咯基、噻唑基、呋喃基、噻吩基等。

[0033] 术语“环烷基”是指具有标示环原子数（例如 $C_{3-6}$ 环烷基）并且是完全饱和的或者在环顶点间具有仅一个双键的烃环。一个或两个 C 原子可以任选地被碳基取代。“环烷基”也指双环和多环烃环，例如二环 [2.2.1] 庚烷、二环 [2.2.2] 辛烷等。

[0034] 术语“杂环烷基”是指包含选自 N、O 和 S 的一至五个杂原子的环烷基，其中所述氮原子和硫原子是任选氧化的，并且氮原子是任选季铵化的，剩余的环原子是 C。杂环烷基可以为单环、双环或 3 至 12 个，优选为 5 至 8 个环原子的多环体系，其中一至五个环原子为杂原子。杂环烷基还能够为与芳基或杂芳基环稠合的杂环烷基环。杂环烷基的非限制性实例包括吡咯烷、哌啶基、咪唑烷、吡唑烷、丁内酰胺、戊内酰胺、咪唑烷酮、乙内酰胺、二氧戊环、苯邻二甲酰亚胺、哌啶、1,4- 二氧六环、吗啉、硫代吗啉、硫代吗啉 -S- 氧化物、硫代吗啉 -S,S- 氧化物、哌嗪、吡喃、吡啶酮、3- 吡咯啉、噻喃、吡喃酮、四氢呋喃、四氢噻吩、奎宁环等。能够通过环碳原子或杂原子将杂环烷基连接到分子的剩余部分。

[0035] 在某些实施方案中，上面的术语（例如“烷基”和“芳基”）将包括标示的基团的取代和未取代形式。下面提供了每个类型的基团的优选的取代基。为了简洁，术语芳基和杂芳基将指如下面提供的取代的或未取代的形式，而术语“烷基”和相关的脂肪族基团的意思是指未取代的形式，除非标示为取代的。

[0036] 烷基的取代基（包括通常称为亚烷基和杂环烷基的那些基团）能够为各种基团，其选自：- 卤素、-OR’、-NR’R”、-SR’、-SiR’R”R”’、-OC(O)R’、-C(O)R’、-$CO_2$R’、-CONR’R”、-OC(O)NR’R”、-NR”C(O)R’、-NR’-C(O)NR”R”’、-NR”C(O)$_2$R’、-NH-C(NH$_2$) = NH、-NR’C(NH$_2$) = NH、-NH-C(NH$_2$) = NR’、-S(O)R’、-S(O)$_2$R’、-S(O)$_2$NR’R”、-NR’S(O)$_2$R”、R’、-CN 和 -$NO_2$，所述取代基的数目为零至 (2m’+1)，其中 m’为这样的基团中的碳原子的总数。R’、R”和 R”’各自独立地指氢、未取代的 $C_{1-8}$ 烷

基、未取代的杂烷基、未取代的芳基、全氟苯基、被 1 至 3 个卤素取代的芳基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、被 1 至 17 个氟原子取代的部分氟代的诸如 $C_{1-8}$ 烷基的烷基、$C_{1-8}$ 烷氧基或 $C_{1-8}$ 硫代烷氧基，或未取代的芳基 -$C_{1-4}$ 烷基。当 R' 和 R" 与相同的氮原子连接时，它们能够与氮原子组合以形成 3-、4-、5-、6- 或 7- 元环。例如，-NR' R" 是指包括 1- 吡咯烷基和 4- 吗啉基。作为单独使用或作为其它基团的一部分的术语“酰基”是指烷基，其中用取代基＝ O（例如 -C(O)$CH_3$、-C(O)$CH_2CH_2$OR' 等）代替与基团的连接点最接近的碳上的两个取代基。

[0037] 芳基的取代基是各种各样的，并且通常选自：- 卤素、-OR'、-OC(O)R'、-NR' R"、-SR'、-R'、-CN、-$NO_2$、-$CO_2$R'、-CONR' R"、-C(O)R'、-OC(O)NR' R"、-NR"C(O)R'、-NR"C(O)$_2$R'、-NR' -C(O)NR"R"'、-NH-C($NH_2$) ＝ NH 、-NR' C($NH_2$) ＝ NH 、-NH-C($NH_2$) ＝ NR'、-S(O)R'、-S(O)$_2$R'、-S(O)$_2$NR' R"、-NR' S(O)$_2$R"、-$N_3$、全氟 ($C_1$-$C_4$) 烷氧基和全氟 ($C_1$-$C_4$) 烷基、全氟苯基和被 1 至 9 个氟原子取代的 $C_{1-4}$ 烷基，所述取代基的数量为零至芳香环体系上的开放化合价的总数；并且其中 R'、R" 和 R"' 独立地选自氢、$C_{1-8}$ 烷基、未取代的芳基和杂芳基、（未取代的芳基）-$C_{1-4}$ 烷基和未取代的芳氧基 -$C_{1-4}$- 烷基。

[0038] 术语“正极”是指正常环境下的并且当电池充满电时将具有最高电势的可充电锂离子电池的一对电极之一。保留这样的术语是为了在所有的电池工作条件下都指向相同物性的电极，即使这样的电极暂时地（例如由于电池过量放电）被驱动或显示出低于其它（负）电极电势的电势。

[0039] 术语“负极”是指正常环境下当电池充满电时将具有最低电势的可充电锂离子电池的一对电极之一。保留这样的术语是为了在所有的电池工作条件下都指向相同物性的电极，即使这样的电极暂时（例如由于电池过量放电）被驱动或显示出高于其它（正）电极电势的电势。

[0040] 术语“离子液体”是指包含阳离子和阴离子的盐。所述盐在环境温度或接近环境温度下是液体。优选的，所述阳离子为有机阳离子。

[0041] 一方面，本发明提供了锂离子电化学电池。所述电池包括正极，其包含正极活性材料和与所述正极材料电子导电接触的碳板集流体；负极，其包含负极活性材料和与负极材料电子导电接触的集流体；离子渗透隔板；和与所述负极和正极离子导电接触的电解质溶液，其中所述电解质溶液包含锂化合物和溶剂，所述溶剂选自式 (I) 的离子液体或有机溶剂与式 (I) 的离子液体的混合物：

[0042] $Q^+E^-$

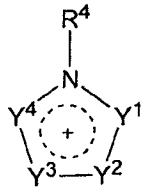
[0043] (I)

[0044] $Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 的作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代，并且每个 $R^f$ 独立地为烷基或烷氧基烷基。$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1$-X$^-$$R^2$($R^3$)$_m$、NC-S$^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N$-、$AsF_6^-$、$SO_4^-$、B$^-$($OR^{a1}$)$_2$($OR^{a2}$)$_2$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O,O'] 硼酸盐，其中 m 是 0 或 1。在一个实施方案中，烷基的取代基能够为烷氧基或如上所规定的任何取代基。当 m 是 0 时，X 是 N。当 m 是 1 时，X 是 C。$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、-$SO_2R^b$、-$SO_2$-$L^a$-$SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、-P(O)($OR^b$)$_2$、-P(O)($R^b$)$_2$、-$CO_2R^b$、-C(O)$R^b$ 和 -H，前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当

m = 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢。在一个实施方案中，卤素是 $F^-$。每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基。$L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸。所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟亚烷基。$R^{a1}$ 和 $R^{a2}$ 各自独立地为烷基。在某些实例中，$R^a$、$R^b$ 和 $R^c$ 各自独立地选自全氟苯基和被选自 -F 或 $C_{1-4}$ 全氟烷基的 1 至 3 个成员任选取代的苯基。在一个实例中，两个 $R^{a1}$ 基团和与两个 $R^{a1}$ 基团相连的氧原子以及与两个氧原子相连的硼原子一起形成与具有 0 至 1 个氮杂原子的六元芳香环任选稠合的五 - 或六 - 元环，并且任选地两个 $R^{a2}$ 基团和与两个 $R^{a1}$ 基团相连的氧原子以及与两个氧原子相连的硼原子一起形成与具有 0 至 1 个氮杂原子的六元芳香环任选稠合的五 - 或六 - 元环。

[0045] 在式 (I) 化合物的实施方案的一个基团中，阳离子 $Q^+$ 具有式 (Ia)：

[0046]

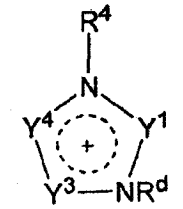


Ia

[0047] 其中 $R^4$ 为 -H、被选自卤素和 $C_{1-4}$ 全氟烷基的 1 至 3 个成员任选取代的 $C_{1-20}$ 烷基或烷氧基烷基；$Y^1$ 和 $Y^3$ 各自独立地选自 = N- 和 = $CR^d$-；$Y^2$ 和 $Y^4$ 各自独立地选自 = N-、-O-、-S-、$-NR^d$- 和 = $CR^d$-，前提是 $Y^2$ 和 $Y^4$ 不同时是选自 $-NR^d$- 和 = $CR^d$- 的成员，也不同时是选自 -O-、$-NR^d$- 和 -S- 的成员；其中每个 $R^d$ 独立地为 -H、烷基或烷氧基烷基。在某些实例中，$Y^1$、$Y^2$、$Y^3$ 和 $Y^4$ 是 = N-。在某些其它实例中，$Y^1$、$Y^2$、$Y^3$ 和 $Y^4$ 是 = $CR^d$-。在另一些实例中，$Y^1$ 为 = $CR^d$-，$Y^2$ 为 = N-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N-、-O-、-S- 或 = $CR^d$-。在其它实例中，$Y^1$ 为 = $CR^d$-，$Y^2$ 为 -O- 或 -S-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N- 或 = $CR^d$-。在其它实例中，$Y^1$ 为 = $CR^d$-，$Y^2$ 为 = $CR^d$-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N-、-O-、-S- 或 = $CR^d$-。在另一些实例中，$Y^1$ 为 = N-，$Y^2$ 为 = N-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N-、-O-、-S- 或 = $CR^d$。在其它实例中，$Y^1$ 为 = N-，$Y^2$ 为 -O- 或 -S-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N- 或 = $CR^d$-。在其它实例中，$Y^1$ 为 = N-，$Y^2$ 为 = $CR^d$-，$Y^3$ 为 = N- 或 = $CR^d$- 并且 $Y^4$ 为 = N-、-O-、-S- 或 = $CR^d$。

[0048] 在式 (I) 化合物的实施方案的另一基团中，阳离子 $Q^+$ 具有子式 (Ia-1)：

[0049]

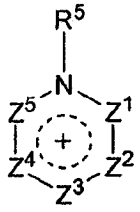


Ia-1

[0050] 其中取代基 $Y^1$、$Y^3$、$Y^4$、$R^4$ 和 $R^d$ 如上所定义的。在某些实例中，$Y^1$ 为 = N- 或 = $CR^d$。在一个实例中，$Y^1$ 为 = $CR^d$。在某些其它实例中，$Y^4$ 为 -O-。在另一些实例中，$R^4$ 为 H。在另一些实例中，$Y^1$、$Y^3$ 和 $Y^4$ 为 = CH-，$R^4$ 为甲基，并且 $R^d$ 为 $C_{1-8}$ 烷基或 $C_{1-8}$ 烷氧基烷基。

[0051] 在式 (I) 化合物的实施方案的另一基团中，阳离子 $Q^+$ 具有式 (Ib)：

[0052]

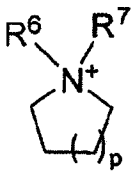


Ib

[0053] 其中 $R^5$ 为 -H、被选自卤素和 $C_{1-4}$ 全氟烷基的 1 至 3 个成员任选取代的 $C_{1-20}$ 烷基或烷氧基烷基；并且 $Z^1$、$Z^2$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 各自独立地选自＝ N- 和＝ $CR^e$-，其中每个 $R^e$ 独立地选自 -H 和烷基，或者任选地，邻近碳上的 $R^e$ 取代基与和它们相连的原子组合形成具有选自 O、N 或 S 作为环成员的 0 至 2 个增加的杂原子的 5- 或 6- 元环。在某些实例中，$Z^1$ 是＝ N。在一个实例中，$Z^2$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝ $CR^e$-。在某些另外的实例中，$Z^2$ 是＝ N-。在一个实例中，$Z^1$、$Z^3$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝ $CR^e$-。在另一些实例中，$Z^3$ 是＝ N-。在一个实例中，$Z^1$、$Z^2$、$Z^4$ 和 $Z^5$ 是＝ $CR^e$-。在其它实例中，$R^e$ 为 -H。

[0054] 在式 (I) 化合物的实施方案的另一基团中，阳离子 $Q^+$ 具有式 (Ic)：

[0055]

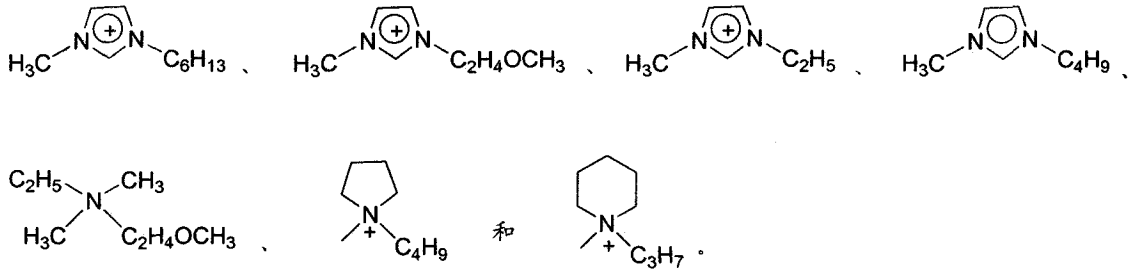


Ic

[0056] 其中下标 p 为 1 或 2；并且 $R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为 H 或任选取代的 $C_{1-8}$ 烷基。在某些实例中，p 为 1，并且 $R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为任选取代的 $C_{1-8}$ 烷基。在一个实例中，$R^6$ 和 $R^7$ 各自独立地为 $C_{1-8}$ 烷基。在某些其它实例中，p 为 1，$R^6$ 为甲基，并且 $R^7$ 为 $C_{1-8}$ 烷基。在一个实例中，$R^7$ 为丁基。在另一些实例中，p 为 2。

[0057] 在式 (I) 的化合物的实施方案的其它基团中，阳离子 $Q^+$ 选自：

[0058]

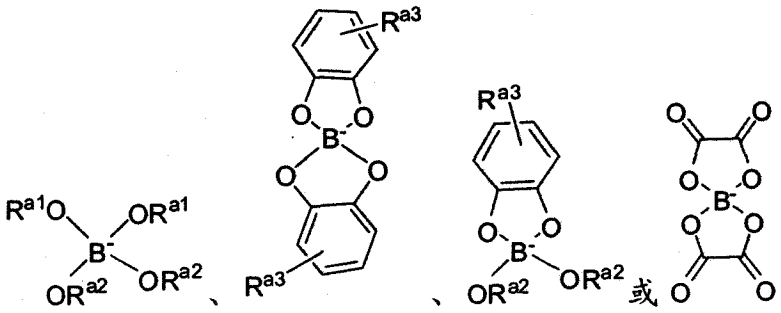


[0059] 在本发明中使用的有机阳离子包括选自例如诸如二烷基咪唑鎓阳离子和三烷基咪唑鎓阳离子的咪唑鎓离子，四烷基铵离子、烷基吡啶鎓离子、二烷基吡咯烷鎓离子和二烷基哌啶鎓离子的至少一种阳离子。诸如咪唑鎓离子、二烷基哌啶鎓离子和四烷基铵离子的有机阳离子具有优异的电导率。如果按电导率的顺序排列，则按咪唑鎓离子》二烷基哌啶鎓离子＞四烷基铵离子的顺序排列这些有机阳离子。

[0060] 在式 (I) 化合物的实施方案的一个基团中，阴离子 $E^-$ 选自 $R^1$-$X^-$$R^2(R^3)_m$、NC-$S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N$-、$AsF_6^-$、$SO_4^-$、$B^-(OR^{a1})_2(OR^{a2})_2$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O, O' ] 硼酸盐。取代基 $R^1$、$R^2$、$R^3$、$R^{a1}$、$R^{a2}$ 和下标 m 如上所定义。在某些实例中，$E^-$ 为

$CF_3SO_2X^-R^2(R^3)_m$。在其它实例中，$E^-$ 选自 $(CF_3SO_2)_3C^-$、$(CF_3SO_2)_2CH^-$、$CF_3(CH_2)_3SO_3^-$、$(CF_3SO_2)_2N^-$、$(CN)_2N^-$、$SO_4^-$、$CF_3SO_3^-$、NC-$S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$(CF_3CF_2)_3P^-F_3$、$CF_3CO_2^-$、$I^-$、$SO_4^-$ 和双［草酸盐 (2-)-O，O'］硼酸盐。在其它实例中，$E^-$ 为 $PF_6^-$、$BF_4^-$ 或 $ClO_4^-$。在另一些实例中，$E^-$ 为具有下列式的硼酸盐化合物：

[0061]



[0062] 其中 $R^{a1}$ 和 $R^{a2}$ 基团如上所定义，并且每个 $R^{a3}$ 独立地为 -H 或烷基。本领域技术人员将明白这些阴离子也能够用于形成锂化合物。

[0063] 在一个实施方案中，锂离子电化学电池包含具有式：$Li^+E^-$ 的锂化合物，其中 $E^-$ 为如上所定义。在某些实例中，$E^-$ 为 $R^1$-$X^-R^2(R^3)_m$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$ClO_4^-$ 或 $SO_4^-$。在其它实例中，$E^-$ 为 $BF_4^-$、$PF_6^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N$-、$AsF_6^-$ 或 $SO_4^-$。在其它实例中，锂离子电化学电池包含具有式 (II)：$R^1$-$X^-(Li^+)R^2(R^3)_n$ 的锂化合物，其中：n 为 0 或 1；当 n 为 0 时，X 为 N；当 n 为 1 时，X 为 C；$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2(-R^b-SO_2Li^+)SO_2-R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H；前提是当 n ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 n ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢；并且其中每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸，其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳－碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$、$-P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 为 $C_{1-8}$ 烷基、全氟苯基或 $C_{1-8}$ 全氟烷基。优选地，所述化合物具有高于正极再充电电势的氧化电势。在一个实例中，锂化合物具有式：$CF_3SO_2N^-(Li^+)SO_2CF_3$。

[0064] 电解质溶剂能够为纯的离子液体或离子液体与有机溶剂的混合物。适当的有机溶剂包括碳酸酯和内酯。有机碳酸酯和内酯包括具有式：$R^xOC(=O)OR^y$ 的化合物，其中 $R^x$ 和 $R^y$ 各自独立地选自 $C_{1-4}$ 烷基和 $C_{3-6}$ 环烷基，或与和它们相连的原子一起形成 4- 至 8- 元环，其中环碳被选自卤素、$C_{1-4}$ 烷基和 $C_{1-4}$ 卤代烷基的 1 至 2 个成员任选取代。在一个实施方案中，有机碳酸酯包括碳酸丙烯酯、碳酸二甲酯、碳酸乙烯酯、碳酸二乙酯、碳酸甲乙酯及其混合物以及许多相关种类。内酯能够为 β－丙内酯、γ－丁内酯、δ－戊内酯、ε－己内酯、己 -6- 内酯或其混合物，它们各自被选自卤素、$C_{1-4}$ 烷基和 $C_{1-4}$ 卤代烷基的 1 至 4 个成员任选取代。

[0065] 在某些实施方案中，电解质溶剂为离子液体与有机溶剂的混合物。有机溶剂和离子液体的体积比能够为约 1 ： 100 至约 100 ： 1。在其它实施方案中，体积比为约 1 ： 10 至约 10 ： 1。有机溶剂和离子液体的比率的实例包括 1 ： 10、1 ： 9、1 ： 8、1 ： 7、1 ： 6、

1 ： 5、1 ： 4、1 ： 3、1 ： 2、1 ： 1、2 ： 1、3 ： 1、4 ： 1、5 ： 1、6 ： 1、7 ： 1、8 ： 1、9 ： 1 和 10 ： 1。

[0066] 通过将式 (II) 的锂化合物与包含式 (I) 的离子液体的电解质溶剂混合来形成适用于实施本发明的电解质溶液。例如，随着以适于特定材料的形式通过溶解、浆化或溶化混合电解质溶剂 / 离子液体，将诸如双 ( 三氟磺酰基 ) 二酰亚胺锂 (LiTFSI) 的二酰亚胺锂或式 (II) 的化合物的甲基盐与选自 $LiPF_6$、$LiBF_4$、$LiAsF_6$、$LiB(C_2O_4)_2$、( 二 ( 草酸 ) 硼酸锂 )、LiF 或 $LiClO_4$ 的复合盐 (co-salt) 任选混合。当二酰亚胺盐或甲基盐的浓度为 0.2 摩尔至高达 3 摩尔时，本发明是可操作的，但是优选 0.5 摩尔至 2 摩尔，最优选 0.8 摩尔至 1.2 摩尔。根据电池的制造方法，可以在缠绕或层压以形成电池结构之后向电池中加入电解质溶液，或者可以在最终的电池组装之前向电极或隔板组合物中引入电解质溶液。

[0067] 在某些实施方案中，电极的集流体是非金属导电基板。非金属集流体的实例包括但不限于，碳板，例如石墨板、碳纤维板、泡沫碳、碳纳米管膜以及前面的或其它导电聚合材料的混合物。本领域技术人员知道这些导电聚合材料。

[0068] 在某些实施方案中，所述电化学电池具有一个或多个连接在每个电极上的连接片。在一个实例中，每个电极具有至少一个连接片。在其它实例中，每个电极具有多个连接片。在另一实例中，正极具有在碳集流体上的连接到正极的多个金属连接片。例如，每个电极能够具有 2 至 20 个连接片。正极和负极能够具有不同数目的连接片。所述连接片能够由单一的金属、金属合金或复合材料制成。优选地，所述连接片为金属连接片。适当的金属包括但不限于，铁、不锈钢、铜、镍、铬、锌、铝、锡、金、钽、铌、铪、锆、钒、铟、钴、钨、铍和钼及其合金或其合金。优选地，所述金属为防腐蚀的。所述连接片能够具有由任何以上金属制成的防腐涂层，阳极氧化和氧化物涂层、导电碳、环氧树脂和胶、油漆及其它保护涂层。所述涂层能够为用于改善连接片电导率的镍、银、金、钯、铂、铑或其组合。在一个实例中，所述连接片由铜、铝、锡或其合金制成。所述连接片能够具有各种形状和大小。通常，所述连接片小于和连接片连接的集流体。在一个实施方案中，所述连接片能够具有规则的或不规则的形状和形态。在一个实例中，所述连接片具有 L- 型、I- 型、U- 型、V- 型、倒 T- 型、长方形或这些形状的组合。优选地，所述连接片为制造成特定形状或形态的金属带。所述合金能够为本文所述的金属的组合或者通过将上述金属与本领域技术人员所熟知的其它适当的金属结合而形成。

[0069] 一般地，每个所述连接片具有第一连接端和第二连接端。第一连接端是用于连接到集流体的内端，并且第二连接端是用于连接外部电路的外端或开口端。所述第一连接端能够具有各种形状和尺寸。在一个实施方案中，连接片的第一连接端的形状选自圆形、椭圆形、三角形、正方形、菱形、长方形、梯形、U- 型、V- 型、L- 型、长方形和不规则形状。在一个实例中，所述连接片为具有第一连接端的条带，该第一连接端的尺寸为宽度至少 500 微米并且长度至少 3mm。在一个实施方案中，连接端的面积为至少 $0.25mm^2$。在某些实例中，面积为约 $1mm^2$ 至约 $500mm^2$。第二连接端能够直接或通过导电元件连接到外部电路上。所述导电元件能够为金属连接片、棒或导线。合适的金属能够为铜、铝、铁、不锈钢、镍、锌、铬、锡、金、钽、铌、铪、锆、钒、铟、钴、钨、铍和钼及其合金或其合金。

[0070] 在一个实施方案中，连接片直接与集流体接触。在其它的实施方案中，连接片通过导电层与集流体接触。所述导电层能够通过如在连接片上沉积炭黑层连接到连接片的表面

上。所述导电层能够包括导电填料和粘合剂。在一个实例中，所述导电填料选自炭黑、导电聚合物、碳纳米管和碳复合材料。合适的粘合剂包括但不限于，聚合物、共聚物或其组合。粘合剂的实例包括但不限于，聚合物粘合剂，特别是凝胶型聚合物电解质，其包括聚丙烯腈、聚（甲基丙烯酸甲酯）、聚（氯乙烯）和聚偏氟乙烯及其共聚物。还包括固体聚合物电解质，例如基于聚醚－盐的电解质，其包括聚（环氧乙烷）(PEO) 及其衍生物，聚（环氧丙烷）(PPO) 及其衍生物，以及带有乙烯氧基或其它侧基的聚（有机磷腈）。其它合适的粘合剂包括氟化离子交联聚合物，其包括部分或全部氟化的聚合物主链并且具有侧基，所述侧基包括氟化的磺酸盐、二酰亚胺盐或甲基锂盐。优选的粘合剂包括聚偏氟乙烯及其与六氟丙烯、四氟乙烯、氟代乙烯基醚的共聚物，所述氟代乙烯基醚例如全氟甲基、全氟乙基或全氟丙基乙烯基醚；以及离子交联聚合物，其包括聚偏氟乙烯的单体单元以及包含侧基的单体单元，所述侧基包括氟化的羧酸盐、磺酸盐、二酰亚胺或甲基锂盐。

[0071] 能够使用下述方法将连接片连接到正极或负极上，所述方法选自铆接、导电粘合层压、热压、超声压、机械压、收聚、铆合、卷边及其组合。所述方法提供与集流体的紧密结合的优势并且还在连接片和集流体的接合处保持高电导率和低阻抗。所述方法特别适用于将金属连接片连接到碳板上。

[0072] 在一个实施方案中，第一连接端包括一系列预制的微压痕。连接片能够具有的压痕密度为每平方毫米约 1 至约 100。所述压痕能够通过微压痕手动工具或自动压痕设备制造。在一个实例中，每个压痕的深度为约 1μm 至 100μm，例如 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、20、30、40、50、60、70、80、90 或 100 微米，并且尺寸为约 1μm 至 500μm，例如 1、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、120、140、160、180、200、250、300、400、450、500 微米。所述微压痕能够均匀地或随机地分隔。

[0073] 通过机械压或铆接将具有一系列微压痕的连接片连接到集流体上，以提供连接片和集流体的紧密接触。或者，通过导电粘合层或铆合将连接片结合到集流体上。

[0074] 在其它实施方案中，连接片的第一连接端包括一系列具有多个诸如突边的突出的预制微开口。在一个实例中，所述突出为锐边。所述突出能够在制造微开口的过程中产生或者通过独立的制造工艺制备。所述突出从连接片的表面上伸出约 0.01mm 至约 10mm 并能够具有各种形状。例如，所述突出能够为三角形、长方形或圆形。所述微开口能够具有从微米到毫米的尺寸。在某些实例中，所述突出从连接片的表面上伸出约 0.01mm 至 0.04mm，例如约 0.01、0.02、0.03 或 0.04mm。优选地，所述开口的尺寸为约 1μm 至 1000μm。在一个实施方案中，所述微开口均匀地分隔。在其它实施方案中，随机分布所述开口。所述微开口能够具有各种形状。在一个实施方案中，所述微开口的形状选自圆形、椭圆形、三角形、正方形、菱形、长方形、梯形、斜方形、多边形和不规则形状。

[0075] 通过导电粘合层或通过铆合、机械压、铆合、铆接或方法和技术的组合将具有一系列具有突出的微开口的连接片结合到集流体上。所述导电胶为本领域技术人员所熟知。例如，某些导电胶为从 3M 公司、Aptek 试验室公司和道康宁商购的。导电胶的实例包括但不限于，聚氨酯胶粘剂、硅酮胶粘剂和环氧胶粘剂。

[0076] 可应用于上述正极的连接片也能够用于负极。在一个实施方案中，所述负极具有碳集流体。

[0077] 在一个实施方案中，能够用树脂密封碳集流体中的孔，例如通过用树脂处理、接触

碳集流体。所述树脂能够为本领域技术人员已知的导电树脂或者绝缘树脂。导电树脂的实例在第 7,396,492、7,338,623、7,220,795、6,919,394、6,894,100、6,855,407、5,371,134、5,093,037、4,830,779、4,772,422、6,565,772 和 6,284,817 号美国专利中进行了描述。例如粘附、密封和涂布中绝缘树脂的实例包括但不限于，环氧树脂、聚二酰亚胺树脂及本领域技术人员已知的其它聚合物树脂。

[0078] 在一个实施方案中，本发明提供了正极，其包括电极活性材料和集流体。相对于 $Li/Li^+$ 参比电极，所述正极具有 3.5 伏特至 4.5 伏特的较高充电电压。所述较高充电电压为所述正极可以以低充电速率并具有显著可逆的存储容量能达到的最大电压。在某些实施方案中，电池使用相对于 $Li/Li^+$ 参比电极具有 3 伏特至 5.8 伏特的较高充电电压的正极也是适当的。在某些实例中，较高充电电压为约 3 伏特至 4.2 伏特、4.0 伏特至 5.8 伏特，优选为 4.5 伏特至 5.8 伏特。在某些实例中，正极具有约 5 伏特的较高充电电压。例如，电池能够具有的充电电压为 4.9 伏特、5.0 伏特、5.1 伏特、5.2 伏特、5.3 伏特、5.4 伏特、5.5 伏特、5.6 伏特、5.7 伏特或 5.8 伏特。能够使用多种正极活性材料。正极活性材料的非限制性实例包括过渡金属氧化物、磷酸盐和硫酸盐，以及锂化的过渡金属氧化物、磷酸盐和硫酸盐。

[0079] 在某些实施方案中，电极活性材料为具有层晶结构的氧化物，其经验式为 $Li_xMO_2$，其中 M 为过渡金属离子，其选自 Mn、Fe、Co、Ni、Al、Mg、Ti、V 及其组合，值 x 可以为约 0.01 至约 1，适当地为约 0.5 至约 1，更适当地为约 0.9 至 1。在其它实施方案中，所述电极活性材料为具有式 $Li_xM_a^1M_b^2M_c^3O_2$ 的氧化物，其中 $M^1$、$M^2$ 和 $M^3$ 各自独立地为选自 Mn、Fe、Co、Ni、Al、Mg、Ti 或 V 的过渡金属离子。下标 a、b 和 c 各自独立地为约 0 至 1 的实数 ($0 \leqslant a \leqslant 1$；$0 \leqslant b \leqslant 1$；$0 \leqslant c \leqslant 1$；$0.01 \leqslant x \leqslant 1$)，其前提是 a+b+c 是 1。在某些实例中，电极活性材料是具有经验式 $Li_xNi_aCo_bMn_cO_2$ 的氧化物，其中下标 x 为 0.01 至 1，例如 x 为 1；下标 a、b 和 c 各自独立地为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.9 或 1，其前提是 a+b+c 是 1。在其它实例中，下标 a、b 和 c 各自独立地为约 0 至 0.5、0.1 至 0.6、0.4 至 0.7、0.5 至 0.8、0.5 至 1 或 0.7 至 1，其前提是 a+b+c 是 1。在其它实例中，活性材料为具有针状晶体结构的氧化物，其经验式为 $Li_{1+x}A_yM_{2-y}O_4$，其中 A 和 M 各自独立地为过渡金属离子，其选自 Fe、Mn、Co、Ni、Al、Mg、Ti、V 及其组合，值 x 可以为约 -0.11 至 0.33，适当地为约 0 至约 0.1，y 的值为约 0 至 0.33，适当地为 0 至 0.1。在一个实施方案中，A 为 Ni，x 为 0 并且 y 为 0.5。在某些其它实施方案中，所述活性材料为氧化钒，例如 $LiV_2O_5$、$LiV_6O_{13}$ 或者改性的前面的化合物，因为其组成为诸如本领域已知的非化学计量的、无序的、无定形的、超锂化的 (overlithiated) 或低锂化 (underlithiated) 的形式。合适的正极活性化合物可以通过掺入小于 5% 的二价或三价金属阳离子进一步改性，所述阳离子例如 $Fe^{2+}$、$Ti^{2+}$、$Zn^{2+}$、$Ni^{2+}$、$Co^{2+}$、$Cu^{2+}$、$Mg^{2+}$、$Cr^{3+}$、$Fe^{3+}$、$Al^{3+}$、$Ni^{3+}$、$Co^{3+}$ 或 $Mn^{3+}$ 等。在其它实施方案中，适用于正极组合物的正极活性材料包括具有橄榄石结构的嵌锂化合物，例如 $Li_xMXO_4$，其中 M 为过渡金属离子，其选自 Fe、Mn、Co、Ni 及其组合，并且 X 选自 P、V、S、Si 及其组合，x 的值可以为约 0 至 2。在某些实例中，所述化合物为 $LiMXO_4$。在某些实施方案中，所述嵌锂化合物包括 $LiMnPO_4$、$LiVPO_4$、$LiCoPO_4$ 等。在其它实施方案中，具有钠超离子导体 (NASICON) 结构的活性材料例如 $Y_xM_2(XO_4)_3$，其中 Y 为 Li 或 Na，或其组合，M 为过渡金属离子，其选自 Fe、V、Nb、Ti、Co、Ni、Al 或其组合，并且 X 选自 P、S、Si 及其组合，并且 x 的值为 0 至 3。J.B.Goodenough 在“Lithium Ion Batteries(锂离子电池)”(Wiley-VCH 出版社，由 M.Wasihara 和 O.Yamamoto 编辑) 上公开了这些材料的实

例。电极材料的颗粒大小优选为 1nm 至 100μm，更优选为 10nm 至 100um，并且甚至更优选为 1μm 至 100μm。

[0080] 在其它实施方案中，所述电极活性材料为氧化物，例如 $LiCoO_2$、尖晶石 $LiMn_2O_4$、掺铬尖晶石锂锰氧化物 $Li_xCr_yMn_2O_4$、层状 $LiMnO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xCo_{1-x}O_2$，其中 x 为 0 ＜ x ＜ 1，优选的范围为 0.5 ＜ x ＜ 0.95，和氧化钒，例如 $LiV_2O_5$、$LiV_6O_{13}$ 或者改性的前面的化合物，因为其组成为诸如本领域已知的非化学计量的、无序的、无定形的、超锂化的或低锂化的形式。合适的正极活性化合物可以通过掺入小于 5％的二价或三价金属阳离子进一步改性，所述金属阳离子例如 $Fe^{2+}$、$Ti^{2+}$、$Zn^{2+}$、$Ni^{2+}$、$Co^{2+}$、$Cu^{2+}$、$Mg^{2+}$、$Cr^{3+}$、$Fe^{3+}$、$Al^{3+}$、$Ni^{3+}$、$Co^{3+}$ 或 $Mn^{3+}$ 等。在其它实施方案中，适用于正极组合物的正极活性材料包括具有橄榄石结构的嵌锂化合物，例如 $LiFePO_4$ 以及具有钠超离子导体结构的嵌锂化合物例如 $LiFeTi(SO_4)_3$，或者由 J.B.Goodenough 在“LithiumIon Batteries（锂离子电池）”(Wiley-VCH 出版社，由 M.Wasihara 和 O.Yamamoto 编辑）上公开的那些。在其它实施方案中，电极活性材料包括 $LiFePO_4$、$LiMnPO_4$、$LiVPO_4$、$LiFeTi(SO_4)_3$、$LiNi_xMn_{1-x}O_2$、$LiNi_xCo_yMn_{1-x-y}O_2$ 及其衍生物，其中 x 为 0 ＜ x ＜ 1 并且 y 为 0 ＜ y ＜ 1。在某些实例中，x 为约 0.25 至 0.9。在一个实例中，x 为 1/3 并且 y 为 1/3。正极活性材料的颗粒大小应该为约 1 微米至 100 微米范围。在某些优选的实施方案中，过渡金属氧化物例如 $LiCoO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_{1-x}O_2$、$LiNi_xCo_yMn_{1-x-y}O_2$ 及其衍生物，其中 x 为 0 ＜ x ＜ 1 并且 y 为 0 ＜ y ＜ 1。能够通过将电解质 $MnO_2$、LiOH 和氧化镍的化学当量混合物加热至约 300℃至 400℃来制备 $LiNi_xMn_{1-x}O_2$。在某些实施方案中，电极活性材料为 $xLi_2MnO_3(1-x)LiMO_2$ 或 $LiM'PO_4$，其中 M 选自 Ni、Co、Mn、$LiNiO_2$ 或 $LiNi_xCo_{1-x}O_2$；M’选自 Fe、Ni、Mn 和 V；并且 x 和 y 各自独立地为 0 至 1 的实数。能够通过将电解质 $MnO_2$、LiOH、氧化镍和氧化钴的化学当量混合物加热至约 300℃至 500℃来制备 $LiNi_xCo_yMn_{1-x-y}O_2$。正极可以含有 0％至约 90％的导电性添加剂。在一个实施方案中，下标 x 和 y 各自独立地选自 0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5、0.55、0.6、0.65、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9 或 0.95。x 和 y 能够为 0 至 1 的任何数以满足化合物 $LiNi_xMn_{1-x}O_2$ 和 $LiNi_xCo_yMn_{1-x-y}O_2$ 的电荷平衡。

[0081] 典型的正极以及它们大致的再充电电势包括：$FeS_2$(3.0V 对 $Li/Li^+$)、$LiCoPO_4$(4.8V 对 $Li/Li^+$)、$LiFePO_4$(3.45V 对 $Li/Li^+$)、$Li_2FeS_2$(3.0V 对 $Li/Li^+$)、$Li_2FeSiO_4$(2.9V 对 $Li/Li^+$)、$LiMn_2O_4$(4.1V 对 $Li/Li^+$)、$LiMnPO_4$(4.1V 对 $Li/Li^+$)、$LiNiPO_4$(5.1V 对 $Li/Li^+$)、$LiV_3O_8$(3.7V 对 $Li/Li^+$)、$LiV_6O_{13}$(3.0V 对 $Li/Li^+$)、$LiVOPO_4$(4.15V 对 $Li/Li^+$)、$LiVOPO_4F$(4.3V 对 $Li/Li^+$)、$Li_3V_2(PO_4)_3$(4.1V(2Li) 或 4.6V(3Li) 对 $Li/Li^+$)、$MnO_2$(3.4V 对 $Li/Li^+$)、$MoS_3$(2.5V 对 $Li/Li^+$)、硫 (2.4V 对 $Li/Li^+$)、$TiS_2$(2.5V 对 $Li/Li^+$)、$TiS_3$(2.5V 对 $Li/Li^+$)、$V_2O_5$(3.6V 对 $Li/Li^+$) 和 $V_6O_{13}$(3.0V 对 $Li/Li^+$) 及其组合。

[0082] 能够通过混合和构成下述组合物来形成正极，所述组合物以重量计包含 0.01％至 15％，优选 4％至 8％的聚合物粘合剂，10％至 50％，优选 15％至 25％的本发明所述的电解质溶液，40％至 85％，优选 65％至 75％的电极活性材料和 1％至 12％，优选 4％至 8％的导电性添加剂。任选地，也可以加入高达 12％的惰性填料，以及其它本领域技术人员期望的其它的这样的辅料，这基本上不会影响达到本发明的期望结果。在一个实施方案中，没有使用惰性填料。

[0083] 在一个实施方案中，本发明提供了负极，其包括电极活性材料和集流体。所述负

极包括选自 Li、Si、Sn、Sb、Al 及其组合的金属或者包括一种或多种颗粒形式的负极活性材料，粘合剂、优选聚合物粘合剂，任选的导电性添加剂，以及至少一种有机碳酸酯的混合物。有用的负极活性材料的实例包括但不限于，金属锂、碳（石墨、焦型、中间相碳、聚并苯、碳纳米管、碳纤维等）。负极活性材料还包括嵌锂碳，诸如 $Li_{2.6}Co_{0.4}N$ 的锂金属氮化物，诸如 LiAl 或 $Li_4Sn$ 的金属锂合金，诸如由 Mao 等人在 Electrochemical and Solid State Letters,2(1),p.3,1999 上的“Active/Inactive Nanocomposites as Anodes for Li-Ion Batteries（作为锂离子电池阳极的活泼 / 惰性纳米复合物）”中公开的那些锡、硅、锑或铝的形成锂合金的化合物。作为负极活性材料的材料还包括金属氧化物，例如氧化钛、氧化铁或氧化锡。当以颗粒形式存在时，负极活性材料的颗粒大小应该为约 0.01 微米至 100 微米，优选为 1 微米至 100 微米。某些优选的负极活性材料包括石墨，例如碳微球、天然石墨、碳纳米管、碳纤维，或片状石墨材料。某些另外优选的负极活性材料为可商购的石墨微球和硬碳。

[0084] 能够通过混合和构成组合物来形成负极，所述组合物以重量计包含 2％至 20％，优选 3％至 10％的聚合物粘合剂，10％至 50％，优选 14％至 28％的本发明所述的电解质溶液，40％至 80％，优选 60％至 70％的电极活性材料和 0％至 5％，优选 1％至 4％的导电性添加剂。任选地，还可以加入高达 12％的本文上述的惰性填料，以及本领域技术人员期望的其它的这样的辅料，这基本上不会影响达到本发明的期望结果。优选不使用惰性填料。

[0085] 用于正极和负极组合物的合适的导电性添加剂包括碳，例如焦炭、炭黑、碳纳米管、碳纤维以及天然石墨，铜、不锈钢、镍或其它相对惰性金属的金属薄片或颗粒，导电金属氧化物，例如氧化钛或氧化钌，或者电子导电性聚合物，例如聚乙炔、聚亚苯基和聚苯乙炔、聚苯胺或聚吡咯。优选的添加剂包括碳纤维、碳纳米管和相对表面积低于约 $100m^2/g$ 的炭黑，例如从比利时的 MMM Carbon 得到的 Super P 和 Super S 炭黑。

[0086] 适用于正极和负极的集流体包括金属箔和碳板，所述碳板选自石墨板、碳纤维板、泡沫碳和碳纳米管板或膜。纯石墨和碳纳米管膜通常可达到高电导率，所以优选石墨和纳米管板尽可能少的含有粘合剂、添加剂和杂质，以便实现本发明的优势。能够含有 0.01％至约 99％的碳纳米管。碳纤维能够为微米级或亚微米级的形式。可以加入炭黑或碳纳米管来增强某种碳纤维的电导率。在一个实施方案中，负极集流体为诸如铜箔的金属箔。所述金属箔能够具有的厚度为约 5 微米至约 300 微米。

[0087] 适用于本发明的碳板集流体可以是涂布在诸如金属基板的基板上的粉末形式、自立式薄板形式或者层压板形式。即集流体可以为具有其它组件的组合结构，所述其它组件例如金属箔、胶层以及其它这样的可以被认为是给定申请所期望的材料。然而，在任何情况下，根据本发明，碳板层或者与粘合促进剂组合的碳板层直接与本发明的电解质接触并且与电极表面电子导电接触。

[0088] 优选实施本发明的柔性碳板的特征在于厚度至多 2000 微米，优选小于 1000 微米，更优选小于 300 微米，甚至更优选小于 75 微米，并且最优选小于 25 微米。优选实施本发明的柔性碳板的进一步特征在于，根据 ASTM 标准 C611-98 测定的沿着板的长度和宽度的电导率为至少 1000 西门子 / 厘米 (S/cm)，优选为至少 2000S/cm，最优选为至少 3000S/cm。

[0089] 优选实施本发明的柔性碳板可以与具体应用所需要的其它组分化合，但是非常优选纯度为约 95％或更高的碳板。可以预料到当厚度低于约 10μm 时电阻会过高，所以小于

约 10μm 的厚度并非优选。

[0090] 在某些实施方案中，碳集流体为柔性自立式石墨板。所述柔性自立式石墨板阴极集流体由膨胀石墨颗粒制成，没有使用任何粘合材料。所述柔性石墨板能够由天然石墨、片状漂浮石墨或合成石墨制成，所述石墨板大幅地膨胀，以使其具有的 $d_{002}$ 大小是原始的 $d_{002}$ 大小的至少 80 倍，并且优选 200 倍。膨胀的石墨颗粒具有优异的机械连结或粘合性质，使其不用任何粘合剂就能够被压缩成整体的柔性板。通常以小软片或粉末的形式发现或获得天然石墨。漂浮石墨为在熔炼铁的过程中结晶出的过量的碳。在一个实施方案中，所述集流体为柔性自立式膨胀石墨。在另一实施方案中，所述集流体为柔性自立式膨胀天然石墨。

[0091] 粘合剂是任选的，然而本领域优选使用粘合剂，特别是聚合物粘合剂，其也是实施本发明优选的粘合剂。本领域技术人员将意识到许多下述的适合作为粘合剂使用的聚合材料也可用于形成适用于本发明的锂或锂离子电池的离子渗透隔板。

[0092] 合适的粘合剂包括但不限于，聚合物粘合剂，特别是凝胶型聚合物电解质，其包括聚丙烯腈、聚（甲基丙烯酸甲酯）、聚（氯乙烯）和聚偏氟乙烯及其共聚物。还包括固体聚合物电解质，例如基于聚醚 - 盐的电解质，其包括聚（环氧乙烷）(PEO) 及其衍生物、聚（环氧丙烷）(PPO) 及其衍生物、以及带有乙烯氧基或其它侧基的聚（有机磷腈）。其它的合适的粘合剂包括氟化离子交联聚合物，其包括部分或全部氟化的聚合物主链并具有如下侧基，所述侧基包括氟化的磺酸盐、二酰亚胺盐或甲基锂盐。优选的粘合剂包括聚偏氟乙烯及其与六氟丙烯、四氟乙烯、氟乙烯基醚的共聚物，所述氟乙烯基醚例如全氟甲基、全氟乙基或全氟丙基乙烯基醚；以及离子交联聚合物，其包括聚偏氟乙烯的单体单元和包含侧基的单体单元，所述侧基包括氟化的羧酸盐、磺酸盐、二酰亚胺盐或甲基锂盐。

[0093] 凝胶型聚合物电解质由聚合物粘合剂与相容的合适的非质子极性溶剂以及适当时由电解质盐组合形成。基于 PEO 和 PPO 的聚合物粘合剂能够在没有溶剂的情况下使用。没有溶剂时，它们变为固体聚合物电解质，其可以在某些情况下提供安全和循环寿命方面的优势。其它合适的粘合剂包括所谓的“聚合物掺盐型”组合物，其包含以重量计大于 50％的一种或多种盐的的聚合物。例如参见 M.Forsyth 等人，SolidState Ionics（固态离子学），113，pp 161-163(1998)。

[0094] 粘合剂还包括玻璃状固体聚合物电解质，其与“聚合物掺盐型”组合物相似，除了在使用时所述聚合物以低于其玻璃转化温度存在并且盐浓度以重量计为约 30％。在一个实施方案中，优选的粘合剂在最终电极中的体积分数为 4％至 40％。

[0095] 所述电化学电池任选地含有离子导电层或隔板。所述适用于本发明的锂或锂离子电池的离子导电层为任何可离子渗透形状的物体，优选为薄膜、膜或薄板的形式。这样的离子导电层可以为离子导电性膜或微孔膜，例如微孔聚丙烯、聚乙烯、聚四氟乙烯及其层状结构。合适的离子导电层还包括膨胀的聚合物，例如聚偏氟乙烯及其共聚物。其它合适的离子导电层包括本领域已知的那些凝胶型聚合物电解质，例如聚（甲基丙烯酸甲酯）和聚（氯乙烯）。合适的离子导电层还有聚醚，例如聚（环氧乙烷）和聚（环氧丙烷）。优选的为微孔聚烯烃隔板，所述隔板包括偏氟乙烯与六氟丙烯、全氟甲基乙烯醚、全氟乙基乙烯醚或全氟丙基乙烯醚、包括其组合在内的共聚物，或者氟化的离子交联聚合物，如 Doyle 等人在第 6,025,092 号美国专利中所描述的那些。

[0096] 在另一方面，本发明提供电池组。所述电池组包括多个锂离子电化学电池。每个

电池包含式 (I) 的离子液体 :

[0097] $Q^+E^-$

[0098] (I)

[0099] 其中 $Q^+$ 是阳离子，其选自二烷基铵、三烷基铵、四烷基铵、二烷基鏻、三烷基鏻、四烷基鏻、三烷基锍、$(R^f)_4N^+$ 和具有选自 N、O 或 S 的作为环成员的 1 至 3 个杂原子的 5- 或 6- 元杂环烷基或杂芳基环的 N- 烷基或 N- 氢阳离子，其中所述杂环烷基或杂芳基环被 1 至 5 个任选取代的烷基任选取代，并且 $R^f$ 为烷基或烷氧基烷基 ；$E^-$ 是阴离子，其选自 $R^1-X^-R^2(R^3)_m$、$NC-S^-$、$BF_4^-$、$PF_6^-$、$R^aSO_3^-$、$R^aP^-F_3$、$R^aCO_2^-$、$I^-$、$ClO_4^-$、$(FSO_2)_2N-$、$AsF_6^-$、$SO_4^-$ 和双 [ 草酸盐 (2-)-O，O’] 硼酸盐，其中 m 是 0 或 1。当 m 是 0 时，X 是 N。当 m 是 1 时，X 是 C。$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 各自独立地为吸电子基团，其选自卤素、-CN、$-SO_2R^b$、$-SO_2-L^a-SO_2N^-Li^+SO_2R^b$、$-P(O)(OR^b)_2$、$-P(O)(R^b)_2$、$-CO_2R^b$、$-C(O)R^b$ 和 -H，前提是当 m ＝ 0 时，$R^1$ 和 $R^2$ 不是氢，并且当 m ＝ 1 时，$R^1$、$R^2$ 和 $R^3$ 中不多于一个是氢。每个 $R^a$ 独立地为 $C_{1-8}$ 全氟烷基。每个 $R^b$ 独立地选自 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 卤代烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基、全氟苯基、芳基、任选取代的巴比妥酸和任选取代的硫代巴比妥酸，并且其中所述烷基或全氟烷基的至少一个碳 - 碳键被选自 -O- 或 -S- 的成员任选取代以形成醚或硫醚键，并且所述芳基被选自卤素、$C_{1-4}$ 卤代烷基、$C_{1-4}$ 全氟烷基、-CN、$-SO_2R^c$-$P(O)(OR^c)_2$、$-P(O)(R^c)_2$、$-CO_2R^c$ 和 $-C(O)R^c$ 的 1 至 5 个成员任选取代，其中 $R^c$ 独立地为 $C_{1-8}$ 烷基、$C_{1-8}$ 全氟烷基或全氟苯基并且 $L^a$ 为 $C_{1-4}$ 全氟烷基。

[0100] 在某些实施方案中，本发明提供了在电化学电池中将连接片连接到电极上的方法。所述方法包括 (a) 提供包含电极活性材料和碳集流体的电极，所述碳集流体与电极电子导电接触 ；(b) 提供具有用于连接到电极上的第一连接端的连接片 ；以及 (c) 通过下述方法将连接片的第一连接端连接到碳集流体上，所述方法选自铆接、导电粘合层压、铆合、热压、超声压、机械压、卷边、收聚及其组合。在一个实施方案中，所述电化学电池为锂离子电化学电池。

[0101] 在一个实施方案中，所述方法包括将碳集流体与连接片排列并对碳集流体进行铆接、铆合、导电粘合层压、热压、超声压、机械压、卷边、收聚及其组合。所述连接片能够具有各种形状，例如 U- 型、V- 型、L- 型、长方形或倒 T- 型。在一个实例中，所述碳集流体和连接片能够排列在任何期望连接的位置。所述碳集流体能够排列在连接片的任何合适的部分。例如，将所述碳集流体排列在连接片的中部、侧面或预定位置。所述连接片和集流体通过铆接或铆合结合在一起。

[0102] 在其它的实施方案中，通过导电粘合层将所述连接片连接到碳集流体上。在某些实例中，将所述导电层沉积在连接片上。在一个实例中，所述导电层为包含导电填料和粘合剂的胶粘层。所述导电填料选自炭黑、导电聚合物、碳纳米管和碳复合材料。所述导电层能够具有的厚度为约 1nm 至约 1000 微米。例如，所述导电层的厚度为约 1nm、10nm、20nm、30nm、40nm、50nm、60nm、70nm、80nm、90nm、100nm、200nm、300nm、400nm、500nm、600nm、700nm、800nm、900nm 或 1000nm。所述导电层还能够具有的厚度为约 1μm、10μm、20μm、30μm、40μm、50μm、60μm、70μm、80μm、90μm、100μm、200μm、300μm、400μm、500μm、600μm、700μm、800μm、900μm 或 1000μm。

[0103] 在另一方面，本发明提供了电池。所述电池包括外壳、正极连接器、负极连接器、位于外壳中的电化学电池，其中正极和负极连接器安装在外壳上。在一个实施方案中，所述外

壳为密封箱。在其它实施方案中，所述连接片通过导电粘合层连接到碳集流体，然后进行铆接、热压、超声压、机械压、铆合、卷边或收聚。

[0104] 在一个实施方案中，所述正极连接器和负极连接器都具有位于外壳中的内端和突出于外壳以外的外端。将所述正极连接片与正极连接器的内端焊接并将负极连接片与负极连接器的内端焊接以提供具有连接外部设备的正外端和负外端的电池。例如，所述电池能够具有多个与正极连接器或负极连接器焊接的连接片。所述电池能够通过首先将连接片连接至锂离子电化学电池的电极上来制备。然后将所述电极和隔板层胶状卷绕或堆积起来并放置在电池箱中。将所述正极的连接片与外壳的正极连接器的内端焊接，并且将所述负极的连接片与外壳的负极连接器的内端焊接。所述外壳为密封的并且没有暴露连接片。在一个实施方案中，所述外壳为容器。

[0105] 在其它的实施方案中，所述电池的连接片的第二连接端突出于外壳以外以用来连接外部设备。例如，所述电池能够通过将所述连接片首先连接到锂离子电化学电池的电极上来制备。然后将所述电极和隔板胶状卷绕或堆积起来并放置在外壳中，接着进行密封，仅连接片突出于外壳。在一个实施方案中，所述外壳为容器。

[0106] 在另一实施方案中，正极的碳集流体和 / 或负极的碳集流体突出于外壳。在一个实例中，所述外壳为箔 - 聚合物层压包装。碳集流体中的孔被树脂或其它材料封闭或密封以便当碳集流体被热封在两层箔层压体间时提供尽可能接近真空密封。所述树脂能够为导电或绝缘树脂。

[0107] 这样的设计的优势在于金属连接片能够连接到电池外部的碳集流体上并且不与腐蚀性电解质溶液接触。这允许使用多种金属、金属合金或组合。

[0108] 能够根据本领域已知的任何方法组装所述锂离子电化学电池（参见第 5,246,796、5,837,015、5,688,293、5,456,000、5,540,741 和 6,287,722 号美国专利，其以引用的方式并入本文中）。在第一个方法中，将电极溶剂浇铸到集流体上，将集流体 / 电极带连同微孔聚烯烃隔板膜一起螺旋状卷绕以制成圆柱形卷绕体，将所述卷绕体放入金属电池箱中，并将非水电解质溶液灌注到卷绕好的电池中。在第二个方法中，将电极溶剂浇铸到集流体上并干燥，将电解质和聚合物凝胶剂涂布在隔板和 / 或电极上，将隔板与集流体 / 电极带层叠在一起或使其与集流体 / 电极带接触以制成电池组件，然后将所述电池组件切割并堆积或折叠或卷绕，然后将其放入箔层压包装中，最后热处理以使电解质凝胶化。在第三个方法中，将电极和隔板溶剂浇铸同时还加入增塑剂；将电极、网状集流体、电极和隔板层叠在一起以制成电池组件，使用挥发溶剂萃取增塑剂，干燥所述组件，然后通过所述组件与电解质接触，用电解质填充由增塑剂萃取留下的空隙空间以产生活性电池，所述组件任选地被堆积、折叠或卷绕，最后将所述电池包裹在箔层压包装中。在第四个方法中，首先干燥电极和隔板材料，然后将其与盐和电解质溶剂混合以制成活性组分；通过熔化处理使电极和隔板组合物形成膜，将所述膜层叠以产生电池组件，将所述组件堆积、折叠或卷绕然后包装在箔层压容器中。

[0109] 在一个实施方案中，能够通过将所有的聚合组分溶解在常用溶剂中，并与炭黑颗粒和电极活性颗粒混合在一起来方便地制成电极。例如，能够通过将聚偏氟乙烯 (PVDF) 溶解在 1- 甲基 -2- 吡咯烷酮或将聚 (PVDF- 共 - 六氟丙烯 (HFP)) 共聚物溶解在丙酮溶剂中，然后加入电极活性材料和炭黑或碳纳米管的颗粒，然后将膜沉积在基板上并干燥来制造锂

电池电极。所得电极将包括电极活性材料、导电性炭黑或碳纳米管和聚合物。然后能够将这样的电极从溶液浇铸到合适的诸如玻璃板或集流体的支撑物上，并用本领域熟知的技术使其形成膜。

[0110] 以尽可能小的接触电阻使正极与石墨集流体电子导电接触。这可以通过将粘合促进剂的薄层沉积在石墨板上有利地完成，所述粘合促进剂例如丙烯酸 - 乙烯共聚物和炭黑的混合物。合适的接触可以通过实施加热和 / 或压力来提供集流体和电极的紧密接触来达到。

[0111] 用于实施本发明的诸如碳纳米管或石墨板的柔性碳板在实现低接触电阻方面提供了特别的优势。由于它的高延展性、一致性和韧性，能够将其制成特别紧密，并因此在与电极结构接触时具有低电阻，所述电极结构有意或无意地提供了不平坦的接触表面。在任何情况下，在本发明的实践中，本发明的正极和石墨集流体间的接触电阻优选不超过 50ohm-$cm^2$，在一个实例中，不超过 10ohms-$cm^2$，并在另一实例中，不超过 2ohms-$cm^2$。接触电阻能够通过本领域普通技术人员已知的任何方便的方法测定。用欧姆表的简单检测是可以的。

[0112] 使负极与负极集流体电子导电接触。所述负极集流体能够为金属箔、网或碳板。在一个实施方案中，所述集流体为铜箔或网。在优选的实施方案中，所述负极集流体为选自石墨板、碳纤维板或碳纳米管板的碳板。与正极的情况相同，能够任选地使用粘合促进剂来将负极固定到集流体上。

[0113] 在一个实施方案中，然后将由此产生的电极膜通过层压与集流体和隔板结合。为了确保层压或结合的组分可以优异的离子导电率相互接触，将所述组分与电解质溶液结合，所述电解质溶液包含式 (I) 的离子液体和式 (II) 表示的二酰亚胺锂盐或甲基锂盐。在一个实施方案中，所述电解质溶液包含式 (I) 的纯离子液体。在另一实施方案中，所述电解质溶液包含如本文上述的式 (I) 的离子液体和有机碳酸酯或内酯。

[0114] 图 1 显示具有电解质溶液的燃料电池，所述电解质溶液含有溶解在碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双 ( 三氟甲基磺酰基 ) 二酰亚胺中的 1M 的 LiTFSi。还能够使用式 (I) 的其它离子液体。当使用混合的溶剂时，碳酸酯 / 离子液体或内酯 / 离子液体的重量比能够为约 0.1％至约 99.9％。在一个实施方案中，EC 和式 (I) 的离子液体的重量比为 1 ： 1。放电容量研究显示具有离子液体电解质的燃料电池即使在 40 次循环后也是稳定的。

[0115] 图 2 例示具有电解质溶液的阳极半电池，所述电解质溶液含有溶解在碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双 ( 三氟甲基磺酰基 ) 二酰亚胺中的 1M 的 Lilm。还能够使用式 (I) 的其它离子液体。碳酸酯 / 离子液体或内酯 / 离子液体的重量比能够为约 0.1％至约 99.9％。在一个实施方案中，EC 和式 (I) 的离子液体的重量比为 1 ： 1。放电容量研究显示具有离子液体电解质的阳极半电池即使在 17 次循环后也是稳定的。电池容量保持在约 250mAh/g 至 300mAh/g。

[0116] 图 3 例示具有电解质溶液的阴极半电池，所述电解质溶液含有溶解在重量比为 1 ： 1 的碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双 ( 三氟甲基磺酰基 ) 二酰亚胺中的 1M 的二酰亚胺锂。还能够使用式 (I) 的其它离子液体。碳酸酯 / 离子液体或内酯 / 离子液体的重量比能够为约 0.1％至约 99.9％。在一个实施方案中，EC 和式 (I) 的离子液体的重

量比为 1 ： 1。放电容量研究显示具有离子液体电解质的阴极半电池即使在 17 次循环后也是稳定的。在 18 次循环后，电池容量保持在约 120mAh/g 至 140mAh/g。在第一次循环后库仑效率为 79％，这与常规电解质的库仑效率接近。

[0117] 图 4A 显示具有 LiTFSI 电解质溶液与不同的离子液体的电池的放电容量的对比。如图 4A 所示，碳酸乙烯酯 (EC)/1- 丁基 -1- 甲基吡咯烷鎓双（三氟甲基磺酰基）二酰亚胺 (IL1) 循环最佳。图 4B 显示第一个循环的库仑效率。如图 4B 所示，包含电解质的离子液体的第一个循环的效率与具有常规溶剂 EC/ 碳酸二甲酯 (DMC) 的 LiTFSi 电解质的库仑效率相当。

[0118] 图 5A 显示具有石墨阳极和 $LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O_2$ 阴极的离子液体燃料电池。分析离子液体燃料电池的放电容量，并将其与理论电池的放电容量比较。含有离子液体电解质的燃料电池具有稳定循环并且所述电池的性能与具有常规电解质的电池的性能相当。图 5B 显示三种离子液体电池的库仑效率的比较。

[0119] 实施例 1

[0120] 制作负极

[0121] 搅拌作为阳极活性材料的以重量计 92 份的碳中间层，作为导电材料的 1 份 Super P Li，以重量计 7 份 Kynar 301F 的 107 份溶液，0.4 份草酸和 99.6 份 N- 甲基 -2- 吡咯烷酮，并将其混合在一起得到阳极组合物。使用真空台 (vacuum table) 和刮刀将该阳极组合物涂覆到铜箔上，然后在电炉上开始干燥并接着在 110℃下，在真空中，在烘箱中干燥 2 小时，并滚压成厚度为约 1 微米至约 100 微米的电极，从而形成负极。优选地，厚度为约 49 微米。

[0122] 实施例 2

[0123] 制作正极

[0124] 搅拌作为阴极活性材料的以重量计 92 份的锂镍锰钴氧化物，作为导电材料的 4 份 Super P Li，以重量计 7 份 Kynar 301F 的 104 份溶液和 100 份 N- 甲基 -2- 吡咯烷酮，并将其混合在一起得到阴极组合物。使用真空台和刮刀将该阴极组合物涂覆到 50 微米的石墨板上，然后在电炉上开始干燥并接着在 110℃下，在真空中，在烘箱中干燥 2 小时并滚压成厚度为约 1 微米至约 100 微米的电极，从而形成正极。优选地，厚度为约 41 微米。

[0125] 实施例 3

[0126] 制备电解质溶液

[0127] 通过将 28.69g 双（三氟甲烷）二酰亚胺锂溶解在以重量计 50 份的碳酸乙烯酯溶液和 50 份 1- 丁基 -1- 甲基 - 吡咯烷鎓双（三氟甲烷）二酰亚胺溶液中来制备电解质溶液，其足以制备总计为 100ml 的电解质溶液。

[0128] 实施例 4

[0129] 制造锂离子电化学燃料电池

[0130] 将如上所述得到的正极和负极切成直径为 1.2cm 的圆形。使用 Hoshen 2032 纽扣电池作为电池来测试电极。按列出的顺序组装纽扣电池底部、隔离盘 (spacer disk)、用电解质溶液饱和的正极、用电解质溶液饱和的有孔 Celgard 隔板、用电解质溶液饱和的负极、隔离盘、波形弹簧和具有垫圈的纽扣电池顶部，并用手动卷边机将其卷边以得到锂离子电化学电池。

[0131] 实施例 5

[0132] 充电 / 放电试验

[0133] 使如实施例 4 所述制得的锂离子电化学电池进行充电 / 放电试验，所述试验中充电包括 C/5 至 4.2V 的恒定电流，然后是 3hrs 的 4.2V 的恒定电压或者直到电流跌至低于 C/100，并且放电包括 C/5 至 3.0V 的恒定电流。第一个循环的放电容量是 4.3mAh，并且第一个循环的充 - 放电效率为 71％。图 1 标绘了容量对循环数。

[0134] 实施例 6

[0135] 制造锂离子电化学半电池

[0136] 除了用锂金属圆盘代替正极以外，如实施例 4 所述制造电池。

[0137] 实施例 7

[0138] 充电 / 放电试验

[0139] 使实施例 6 的电化学电池进行充电 / 放电试验，所述试验中充电包括 C/5 至 0.02V 的恒定电流，然后是 3hrs 的 0.02V 的恒定电压或者直到电流跌至低于 C/100，并且放电包括 C/5 至 1.5V 的恒定电流。第一个循环的放电容量是 275mAh/g，并且第一个循环的充 - 放电效率为 89％。图 2 标绘了容量对循环数。

[0140] 实施例 8

[0141] 制造锂离子电化学半电池

[0142] 除了用锂金属圆盘代替负极以外，如实施例 4 所述制造电池。

[0143] 实施例 9

[0144] 充电 / 放电试验

[0145] 使在实施例 8 中制得的电化学电池进行充电 / 放电试验，所述试验中充电包括 C/5 至 4.3V 的恒定电流，然后是 3hrs 的 4.3V 的恒定电压或者直到电流跌至低于 C/100，并且放电包括 C/5 至 3.0V 的恒定电流。第一个循环的放电容量是 149mAh/g，并且第一个循环的充 - 放电效率为 79％。图 3 标绘了容量对循环数。

[0146] 实施例 10

[0147] 制作负极

[0148] 搅拌作为阳极活性材料的以重量计 92 份的碳中间层，作为导电材料的 1 份 Super P Li，以重量计 7 份 Kynar 301F 的 107 份溶液，0.4 份草酸和 99.6 份 N- 甲基 -2- 吡咯烷酮，并将其混合在一起得到阳极组合物。使用真空台和刮刀将该阳极组合物涂覆到铜箔上，然后在电炉上开始干燥并接着在 110℃下，在真空中，在烘箱中干燥 2 小时并滚压成厚度为约 1 微米至约 100 微米的电极，从而形成负极。优选地，厚度为约 49 微米。

[0149] 制作正极

[0150] 搅拌作为阴极活性材料的以重量计 92 份的锂镍锰氧化物 ($LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$)，作为导电材料的 4 份 Super P Li，以重量计 7 份 Kynar301F 的 104 份溶液和 100 份 N- 甲基 -2- 吡咯烷酮，并将其混合在一起得到阴极组合物。使用真空台和刮刀将该阴极组合物涂覆到 50 微米的石墨板上，然后在电炉上开始干燥并接着在 110℃下，在真空中，在烘箱中干燥 2 小时并滚压成厚度为约 1 微米至约 100 微米的电极，从而形成正极。优选地，厚度为约 41 微米。

[0151] 制备电解质溶液

[0152] 通过将 28.69g 双（三氟甲烷）二酰亚胺锂溶解在以重量计 50 份的碳酸乙烯酯溶液和 50 份 1- 丁基 -1- 甲基 - 吡咯烷鎓双（三氟甲烷）二酰亚胺溶液中来制备电解质溶液，其足以制备总计为 100ml 的电解质溶液。

[0153] 制造锂离子电化学燃料电池

[0154] 将如上所述得到的正极和负极切成直径为 1.2cm 的圆形。使用 Hoshen 2032 纽扣电池作为电池来测试电极。按列出的顺序组装纽扣电池底部、隔离盘、用电解质溶液饱和的正极、用电解质溶液饱和的有孔 Celgard 隔板、用电解质溶液饱和的负极、隔离盘、波形弹簧和具有垫圈的纽扣电池顶部，并用手动卷边机将其卷边以得到锂离子电化学电池。

[0155] 充电 / 放电试验

[0156] 使如实施例 4 所述制得的电化学电池进行充电 / 放电试验，所述试验中充电包括 C/5 至 5.0V 的恒定电流，然后是 3hrs 的 5.0V 的恒定电压或者直到电流跌至低于 C/100，并且放电包括 C/5 至 3.7V 的恒定电流。图 6 标绘了第一个循环的电压对测试时间。

[0157] 虽然已经以实施例的方式和从具体实施方案的方面描述了本发明，但应该理解本文所述的实施例和实施方案只是为了例示的目的并且本发明不限于所公开的实施方案。其旨在包括本领域技术人员显而易见的各种修饰和相似的设置。因此，应该对附加的权利要求的范围进行最宽的说明，以便包括所有的这些修饰和相似的设置。本文引用的所有出版物、专利和专利申请都以整体引用的方式并入本文中以用于所有目的。

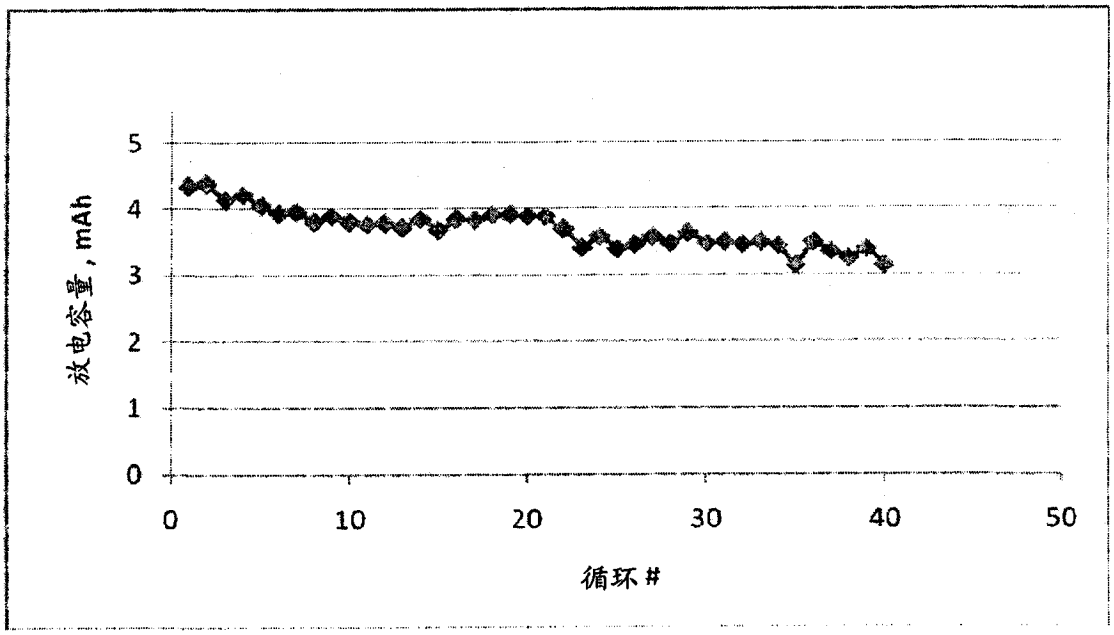

放电容量，mAh
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
循环 #

图 1

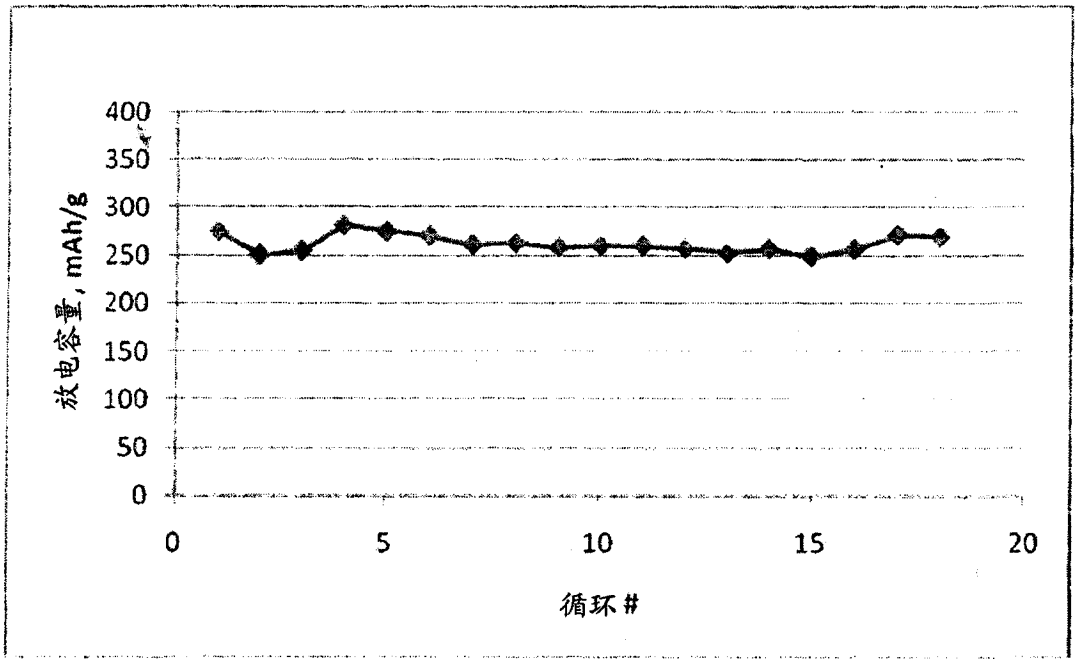

放电容量，mAh/g
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0
5
10
15
20
循环 #

图 2B

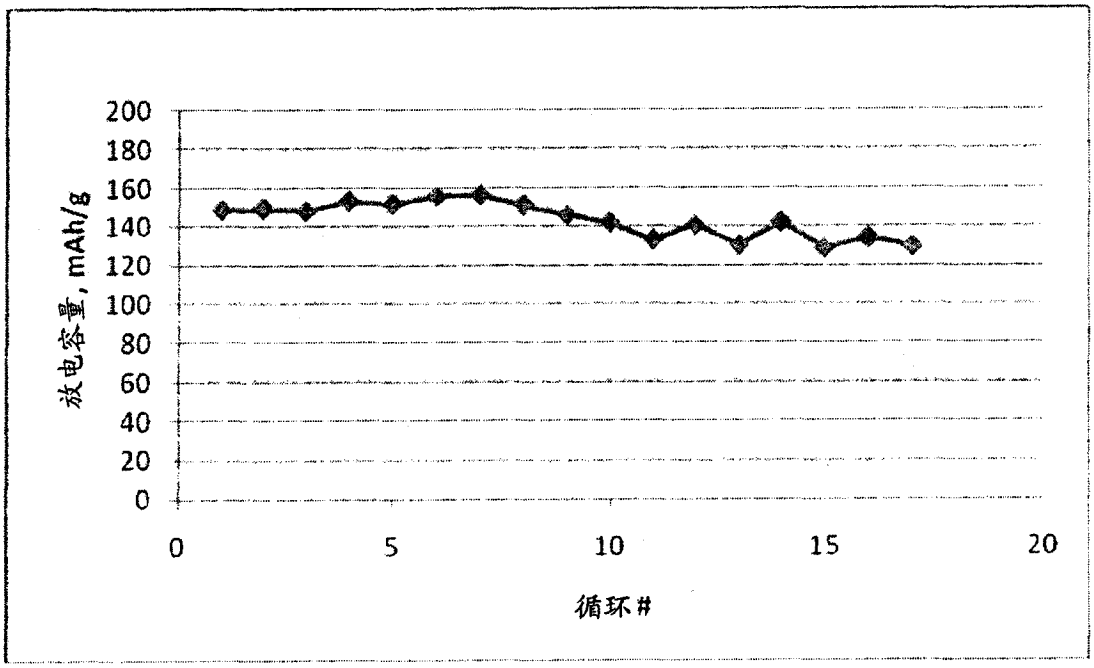

放电容量, mAh/g
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
5
10
15
20
循环 #

图 3

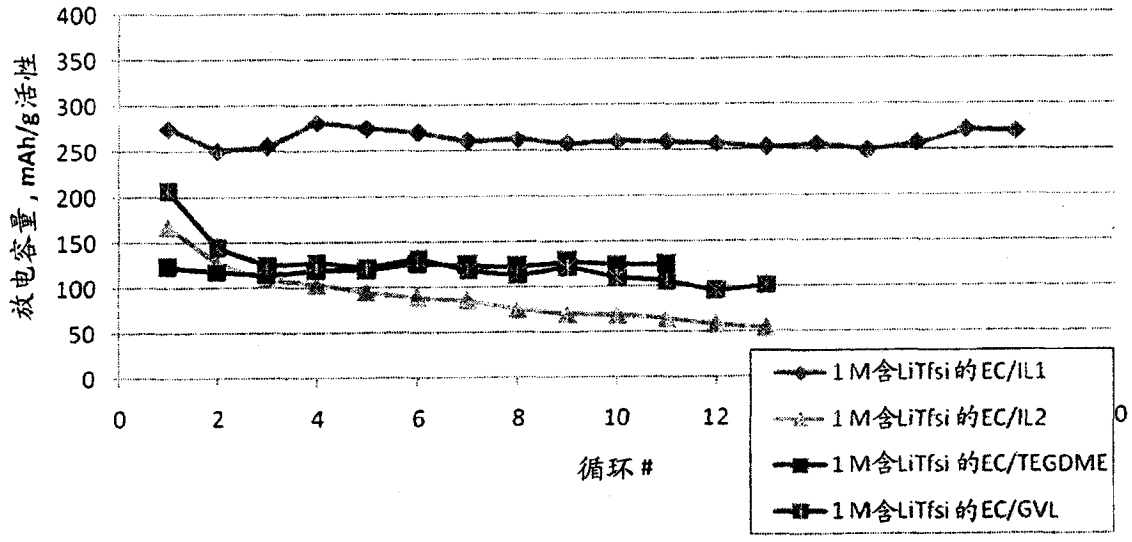

放电容量, mAh/g活性
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
2
4
6
8
10
12
循环 #
1 M含LiTfsi的EC/IL1
1 M含LiTfsi 的EC/IL2
1 M含LiTfsi 的EC/TEGDME
1 M含LiTfsi的EC/GVL

图 4A

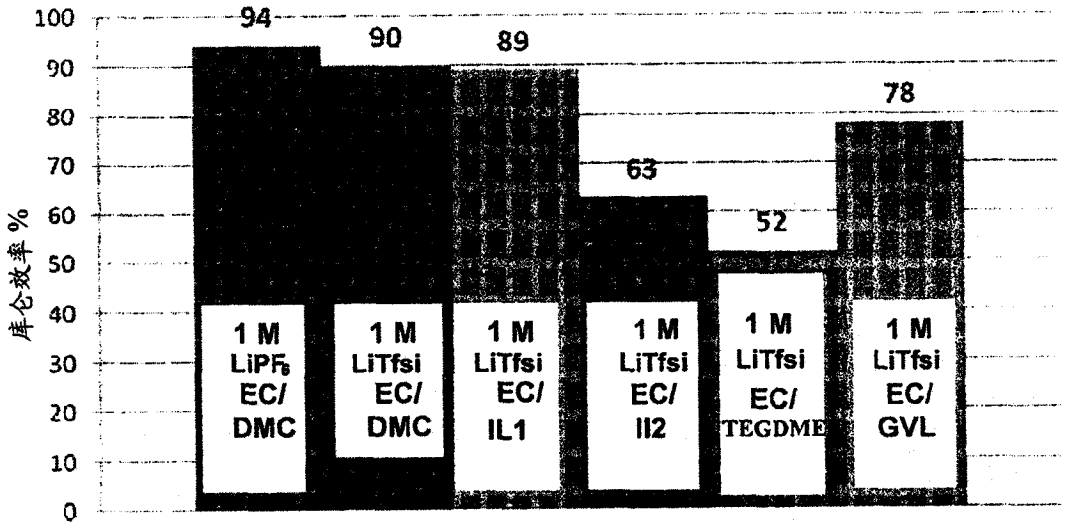

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
库仑效率 %
94
90
89
63
52
78
1 M LiPF6 EC/ DMC
1 M LiTfsi EC/ DMC
1 M LiTfsi EC/ IL1
1 M LiTfsi EC/ II2
1 M LiTfsi EC/ TEGDME
1 M LiTfsi EC/ GVL

图 4B

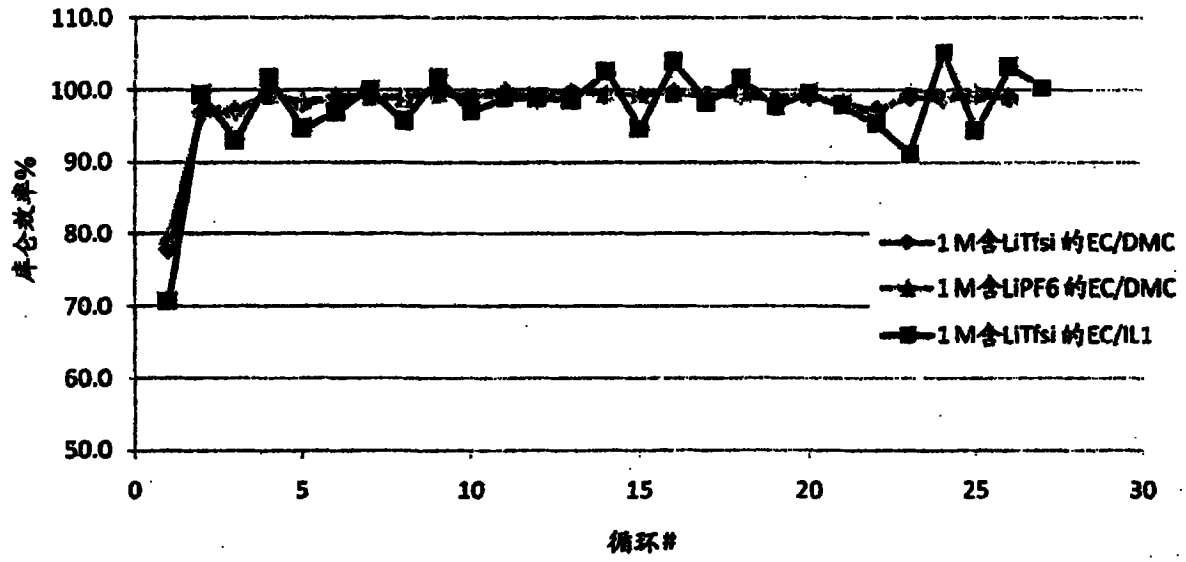

110.0
100.0
90.0
80.0
70.0
60.0
50.0
库仑效率%
0
5
10
15
20
25
30
循环#
1 M含LiTfsi 的EC/DMC
1 M含LiPF6 的EC/DMC
1 M含LiTfsi 的EC/IL1

图 5

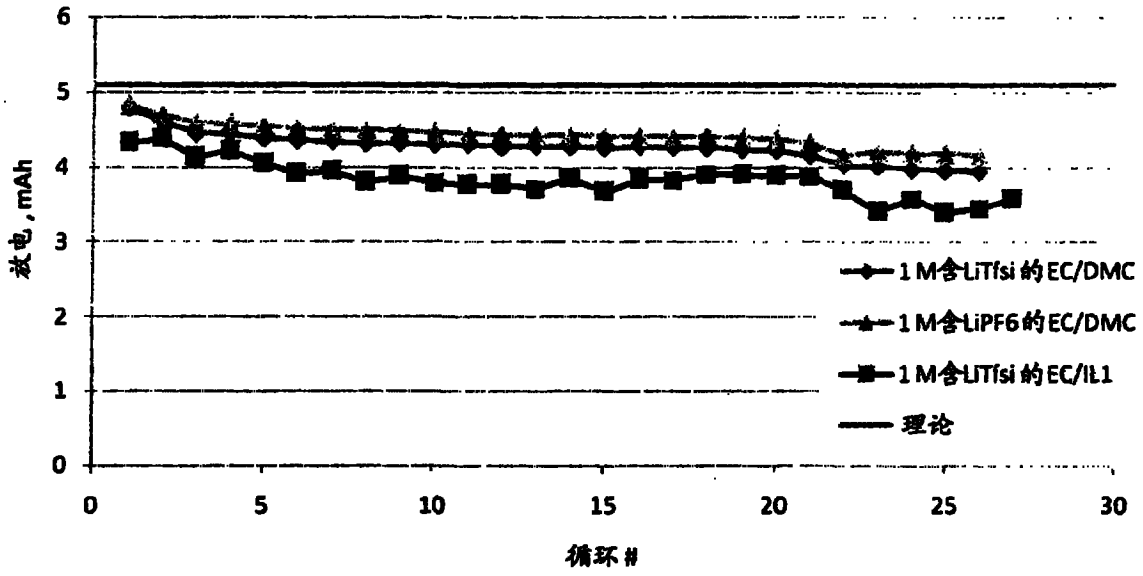

6
5
4
3
2
1
0
放电，mAh
0
5
10
15
20
25
30
循环#
1 M含LiTfsi的EC/DMC
1 M含LiPF6的EC/DMC
1 M含LiTfsi的EC/IL1
理论

图 5A

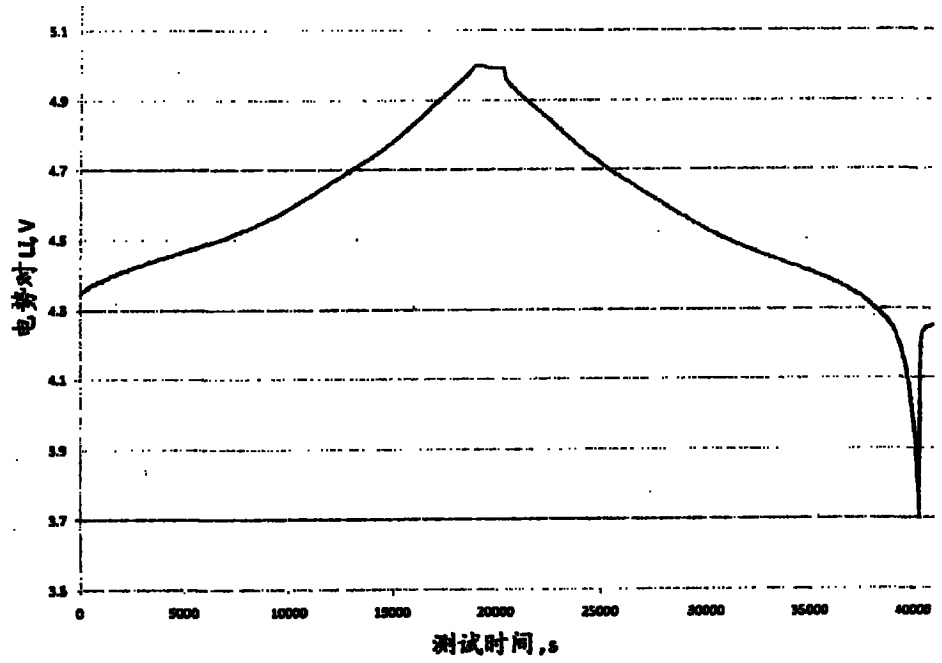

电势对Li,V
测试时间,s

图 6