



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114930603 A

(43) 申请公布日 2022.08.19

(21) 申请号 202080078924.7

(22) 申请日 2020.09.11

(30) 优先权数据

62/899,400 2019.09.12 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.05.12

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/050547 2020.09.11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/050987 EN 2021.03.18

(71) 申请人 安保瑞公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 大卫·J·布拉德韦尔

大卫·A·H·麦克利里 韦彤

亚历山大·W·艾略特 崔建怡

威廉·蒂姆森 伊丽莎·比肖普

威廉·B·朗豪斯

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

专利代理师 李健 王漪

(51) Int.Cl.

H01M 10/39 (2006.01)

H01M 50/188 (2021.01)

H01M 50/198 (2021.01)

H01M 50/147 (2021.01)

H01M 50/191 (2021.01)

H01M 50/184 (2021.01)

H01M 50/172 (2021.01)

H01M 4/38 (2006.01)

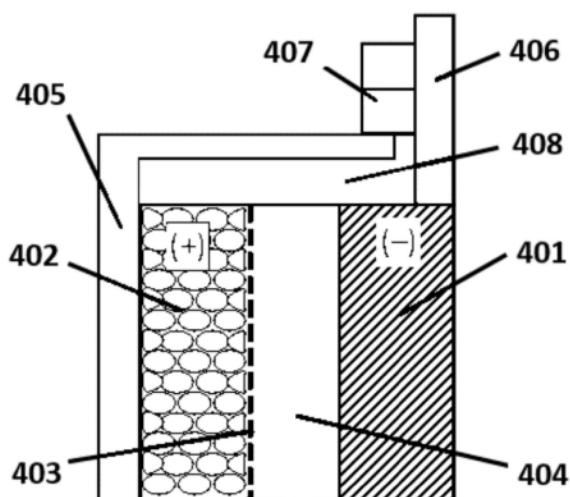
权利要求书4页 说明书18页 附图12页

(54) 发明名称

用于电网规模储能的系统和方法

(57) 摘要

本公开提供了储能装置,其包括负电极、与该负电极电连通的熔融电解质以及与该熔融电解质电连通的正电极。负电极、正电极和熔融电解质中的一个或多个可在储能装置的操作温度下至少部分地为液体。正电极可在储能装置的操作温度下至少部分地为固体。



1. 一种储能装置,包括:

第一电极,所述第一电极包含第一材料;

第二电极,所述第二电极包含与所述第一材料不同的第二材料,其中所述第二材料包括锑以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个;以及

电解质,所述电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述电解质被配置用于传导所述第一材料的离子。

2. 如权利要求1所述的储能装置,其中所述第一电极包含钙。

3. 如权利要求2所述的储能装置,其中所述第一电极包含钙和锂的合金。

4. 如权利要求1-3中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含铁梯合金。

5. 如权利要求1-3中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含钢锑合金。

6. 如权利要求1-3中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含不锈钢锑合金。

7. 如权利要求6所述的储能装置,其中,所述第二电极在放电期间形成颗粒,所述颗粒包含(i) 钙、锂和锑以及(ii) 选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个。

8. 如权利要求7所述的储能装置,其中所述电解质包含选自氯化钙、氯化锂和氯化钾之中的一个或多个。

9. 如前述权利要求中任一项所述的储能装置,其中所述电解质是熔盐电解质。

10. 如前述权利要求中任一项所述的储能装置,其中所述第一电极在所述储能装置的操作温度下至少部分地是液体。

11. 如权利要求10所述的储能装置,其中所述操作温度大于或等于250℃。

12. 如前述权利要求中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含所述第二材料的固体颗粒。

13. 一种储能装置,包括:

第一电极,所述第一电极包含第一材料;

第二电极,所述第二电极包含第二材料,所述第二材料被配置成使得在所述储能装置放电时,至少80%的所述第二材料得到利用,其中所述第二材料能够与所述第一材料反应;以及

熔融电解质,所述熔融电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述熔融电解质被配置用于传导所述第一材料的离子。

14. 如权利要求13所述的储能装置,其中所述第一材料在所述储能装置的操作温度下处于液态。

15. 如权利要求14所述的储能装置,其中所述操作温度大于或等于约250℃。

16. 如权利要求13-15中任一项所述的储能装置,其中所述第一材料或所述第二材料包含一种或多种金属。

17. 如权利要求13-16中任一项所述的储能装置,其中所述第一材料包含钙或钙合金。

18. 如权利要求13-17中任一项所述的储能装置,其中所述第二材料包含锑。

19. 如权利要求13-18中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含浸没在所述熔融电解质中的所述第二材料的颗粒。

20. 如权利要求13-19中任一项所述的储能装置,其中,在操作期间,所述储能装置在至少约500次放电循环后的容量损失小于或等于约0.5%。

21. 如权利要求13-20中任一项所述的储能装置,其中所述储能装置具有在C/4充电速率或放电速率下大于或等于约75%的直流到直流(DC-DC)效率。

22. 如权利要求13-21中任一项所述的储能装置,其中所述储能装置具有在C/10充电速率或放电速率下大于或等于约80%的DC-DC效率。

23. 一种储能装置,包括:

第一电极,所述第一电极包含第一材料,其中所述第一电极在所述储能装置的操作温度下是液体;

第二电极,所述第二电极包含第二材料,所述第二材料能够与所述第一材料反应,其中所述第二电极具有大于或等于约每克300毫安时(mAh/g)的充电态比容量;以及

电解质,所述电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述电解质被配置用于传导所述第一材料的离子,并且其中所述电解质是熔盐。

24. 如权利要求23所述的储能装置,其中所述充电态比容量大于或等于约500mAh/g。

25. 如权利要求23或24所述的储能装置,其中所述第二材料在所述储能装置的操作温度下是固体或半固体。

26. 如权利要求25所述的储能装置,其中所述操作温度大于或等于约250℃。

27. 如权利要求23-26中任一项所述的储能装置,其中所述第一材料或所述第二材料包含一种或多种金属。

28. 如权利要求23-27中任一项所述的储能装置,其中所述第一材料包含钙或钙合金。

29. 如权利要求23-28中任一项所述的储能装置,其中所述第二材料包含铈。

30. 如权利要求23-29中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极包含所述第二材料的颗粒。

31. 如权利要求23-30中任一项所述的储能装置,其中所述第二电极具有大于或等于约每升3000瓦时(Wh/L)的能量密度。

32. 一种储能装置,包括:

容器,所述容器包括腔体和盖组装件,其中所述盖组装件包括密封件,所述密封件被配置用于气密密封所述腔体以及承受对所述密封件施加的大于或等于约1000牛顿(N)的力;以及

电化学单体,所述电化学单体布置在所述腔体内,其中所述电化学单体包括第一电极、第二电极以及设置在所述第一电极与所述第二电极之间的熔融电解质。

33. 如权利要求32所述的储能装置,其中所述密封件被配置用于承受对所述密封件施加的大于或等于约1400N的力。

34. 如权利要求32或33所述的储能装置,其中所述盖组装件包括导体孔,并且其中穿过所述导体孔设置导体。

35. 如权利要求34所述的储能装置,其中所述密封件将所述导体耦合到所述盖组装件。

36. 如权利要求32-35中任一项所述的储能装置,其中所述导体被配置用于承载高达约200安培(A)的电流。

37. 如权利要求32-36中任一项所述的储能装置,其中所述导体被配置用于承载大于或等于约50A的电流。

38. 如权利要求32-37中任一项所述的储能装置,其中所述导体包括第一集流体,所述

第一集流体被配置用于将所述第一电极悬置在所述腔体内。

39. 如权利要求32-38中任一项所述的储能装置,其中所述密封件被配置用于经历大于或等于约15次热循环。

40. 如权利要求32-39中任一项所述的储能装置,其中所述密封件包括氮化铝 (AlN) 陶瓷以及一个或多个薄金属鞘套。

41. 如权利要求40所述的储能装置,其中所述AlN陶瓷经由一个或多个钎焊接头耦合到所述一个或多个薄金属鞘套,并且其中所述薄金属鞘套中的至少一个经由钎焊接头或焊接接头接合到所述盖组装件。

42. 一种用于储能的方法,包括:

(a) 提供储能装置,所述储能装置包括 (i) 第一电极,所述第一电极包含第一材料, (ii) 第二电极,所述第二电极包含第二材料,其中所述第二材料包括锑以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个,以及 (iii) 电解质,所述电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述电解质传导所述第一材料的离子;以及

(b) 使所述储能装置经受充电或放电。

43. 如权利要求42所述的方法,还包括在 (a) 之前,使锑与铁、钢或不锈钢进行反应以生成所述第二电极。

44. 如权利要求42所述的方法,还包括在 (a) 之前,使锑与 (i) 铁、钢或不锈钢以及 (ii) 钙进行反应以生成所述第二电极。

45. 如权利要求42所述的方法,还包括在 (a) 之前,使锑与 (i) 铁、钢或不锈钢、(ii) 电解质以及 (iii) 和钙进行反应以生成所述第二电极。

46. 如权利要求42-45中任一项所述的方法,其中所述电解质包含选自氯化钙、氯化锂和氯化钾之中的一个或多个。

47. 如权利要求43-46中任一项所述的方法,其中所述第二材料包含所述铁锑合金。

48. 如权利要求43-46中任一项所述的方法,其中所述第二材料包含所述钢锑合金。

49. 如权利要求43-46中任一项所述的方法,其中所述第二材料包含所述不锈钢锑合金。

50. 一种用于储能的方法,包括:

(a) 提供储能装置,所述储能装置包括 (i) 第一电极,所述第一电极包含第一材料, (ii) 第二电极,所述第二电极包含第二材料,其中所述第二材料能够与所述第一材料反应,以及 (iii) 熔融电解质,所述熔融电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述熔融电解质传导所述第一材料的离子;以及

(b) 使所述储能装置经受放电,使得至少80%的所述第二材料得到利用。

51. 如权利要求50所述的方法,其中所述储能装置在至少约500次放电循环后的容量损失小于或等于约0.5%。

52. 如权利要求50或51所述的方法,其中所述储能装置具有在C/4充电速率或放电速率下大于或等于约65%的直流到直流 (DC-DC) 效率。

53. 如权利要求50-52中任一项所述的方法,其中所述储能装置具有在C/10充电速率或放电速率下大于或等于约70%的DC-DC效率。

54. 一种用于储能的方法,包括:

(a) 提供储能装置,所述储能装置包括(i)第一电极,所述第一电极包含第一材料,其中所述第一电极在所述储能装置的操作温度下是液体,(ii)第二电极,所述第二电极包含第二材料,其中所述第二材料能够与所述第一材料反应,以及(iii)电解质,所述电解质设置在所述第一电极与所述第二电极之间,其中所述电解质传导所述第一材料的离子,其中所述电解质是熔盐,并且其中所述第二材料具有大于或等于约每克300毫安时(mAh/g)的充电态比容量;以及

(b) 使所述能量装置经受充电或放电。

55. 如权利要求54所述的方法,其中所述第二电极具有大于或等于约每升3000瓦时(Wh/L)的能量密度。

56. 如权利要求54或55所述的方法,其中所述充电态比容量大于或等于约500mAh/g。

57. 一种用于储能的方法,包括:

(a) 提供能量装置,所述能量装置包括(i)容器,所述容器包括腔体和盖组装件,其中所述包括密封件,所述密封件被配置用于气密密封所述腔体以及承受对所述密封件施加的大于或等于约1000牛顿(N)的力,以及(ii)电化学单体,所述电化学单体布置在所述腔体内,其中所述电化学单体包括第一电极、第二电极以及设置在所述第一电极与所述第二电极之间的熔融电解质;以及

(b) 使所述能量装置经受充电或放电。

58. 如权利要求57所述的方法,其中所述密封件被配置用于承受对所述密封件施加的大于或等于约1400N的力。

59. 如权利要求57或58所述的方法,其中所述导体包括第一集流体,所述第一集流体被配置用于将所述第一电极悬置在所述腔体内。

60. 如权利要求57-59中任一项所述的方法,其中所述密封件被配置用于经历大于或等于约15次热循环。

61. 一种用于形成储能装置的方法,包括:

(a) 提供包含一个或多个仓的单体壳体和包含第一材料的第一电极、包含第二材料的第二电极以及电解质,其中所述第二材料包括锑以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个;

(b) 将所述第一材料和所述第二材料装载到所述单体壳体的所述一个或多个仓中;以及

(c) 将所述电解质装载到所述单体壳体中。

62. 如权利要求61所述的方法,其中所述第一材料和所述第二材料包含微粒,并且其中每个微粒包含单一组分。

63. 如权利要求61所述的方法,还包括在(b)之前,用所述第一材料和所述第二材料形成合金。

64. 如权利要求63所述的方法,其中,在(b)之前,将所述合金粉碎成粉末或微粒,并且其中将所述粉末或微粒装载到所述一个或多个仓中。

65. 如权利要求61-64中任一项所述的方法,其中,在(b)之前,将所述第一材料或所述第二材料的微粒与所述电解质结合以形成熔融浆液,并且其中将所述熔融浆液装载到所述一个或多个仓中。

用于电网规模储能的系统和方法

交叉引用

[0001] 本申请要求2019年9月12日提交的美国临时专利申请号62/899,400的权益,其全部内容通过引用并入本文。

背景技术

[0002] 电池是能够将化学能转化为电能的装置。电池用于许多家庭和工业应用。在一些情况下,电池是可再充电的,使得电能(例如,从诸如机械能等非电类型的能量转化而来)能够以化学能的形式储存在电池中,即,通过给电池充电。

发明内容

[0003] 本公开提供了用于电网规模应用的储能装置和系统。储能装置可以包括负电极、电解质和正电极,其中至少一些可以在储能装置操作期间处于液态。在一些情况下,在储能装置放电期间,金属间化合物形成于正电极处或附近。

[0004] 在一个方面,本公开提供了一种储能装置,该储能装置包括:第一电极,其包含第一材料;第二电极,其包含第二材料,其中第二材料包括锑以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个;以及电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中电解质被配置用于传导第一材料的离子。

[0005] 在一些实施方式中,第一电极包含钙。在一些实施方式中,第一电极包含钙和锂的合金。在一些实施方式中,第二电极包含不锈钢锑合金,并且其中,第二电极在放电期间形成颗粒,颗粒包含(i)钙、锂和锑以及(ii)选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个。在一些实施方式中,电解质包含选自氯化钙、氯化锂和氯化钾之中的一个或多个。在一些实施方式中,第二电极包含铁锑合金。在一些实施方式中,第二电极包含钢锑合金。在一些实施方式中,第二电极包含不锈钢锑合金。在一些实施方式中,电解质是熔盐电解质。在一些实施方式中,第一电极在储能装置的操作温度下至少部分地是液体。在一些实施方式中,操作温度大于或等于250℃。在一些实施方式中,第二电极包含第二材料的固体颗粒。

[0006] 在另一方面,本公开提供了一种储能装置,该储能装置包括:第一电极,其包含第一材料;第二电极,其包含第二材料,第二材料被配置成使得在储能装置放电时至少80%的第二材料得到利用,其中第二材料能够与第一材料反应;以及熔融电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中熔融电解质被配置用于传导第一材料的离子。

[0007] 在一些实施方式中,第一材料在储能装置的操作温度下处于液态。在一些实施方式中,操作温度大于或等于约250℃。在一些实施方式中,第一材料或第二材料包含一种或多种金属。在一些实施方式中,第一材料包含钙或钙合金。在一些实施方式中,第二材料包含锑。在一些实施方式中,第二电极包含浸没在熔融电解质中的第二材料的颗粒。在一些实施方式中,在操作期间,储能装置在至少约500次放电循环后的容量损失小于或等于约0.5%。在一些实施方式中,储能装置具有在C/4充电速率或放电速率下大于或等于约75%的直流到直流(DC-DC)效率。在一些实施方式中,储能装置具有在C/10充电速率或放电速率

下大于或等于约80%的DC-DC效率。

[0008] 在另一方面,本公开提供了一种储能装置,该储能装置包括:第一电极,其包含第一材料,其中第一电极在储能装置的操作温度下是液体;第二电极,其包含第二材料,第二材料能够与第一材料反应,其中第二电极具有大于或等于约每克300毫安时 (mAh/g) 的充电态比容量(charged-state specific capacity);以及电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中电解质被配置用于传导第一材料的离子,并且其中电解质是熔盐。

[0009] 在一些实施方式中,充电态比容量大于或等于约500mAh/g。在一些实施方式中,第二材料在储能装置的操作温度下是固体或半固体。在一些实施方式中,操作温度大于或等于约250℃。在一些实施方式中,第一材料或第二材料包含一种或多种金属。在一些实施方式中,第一材料包含钙或钙合金。在一些实施方式中,第二材料包含铈。在一些实施方式中,第二电极包含第二材料的颗粒。在一些实施方式中,第二电极具有大于或等于约每升3000瓦时 (Wh/L) 的能量密度。

[0010] 在另一方面,本公开提供了一种储能装置,该储能装置包括:容器,其包括腔体和盖组装件,其中包括密封件,该密封件被配置用于气密密封腔体,以及承受对密封件施加的大于或等于约1000牛顿 (N) 的力;以及电化学单体,其布置在腔体内,其中电化学单体包括第一电极、第二电极以及设置在第一电极与第二电极之间的熔融电解质。

[0011] 在一些实施方式中,密封件被配置用于承受对密封件施加的大于或等于约1400N的力。在一些实施方式中,盖组装件包括导体孔,并且其中穿过导体孔设置导体。在一些实施方式中,密封件将导体耦合到盖组装件。在一些实施方式中,导体被配置用于承载高达约200安培 (A) 的电流。在一些实施方式中,导体被配置用于承载大于或等于约50A的电流。在一些实施方式中,导体包括第一集流体,该第一集流体被配置用于将第一电极悬置在腔体内。在一些实施方式中,密封件被配置用于经历大于或等于约15次热循环。在一些实施方式中,密封件包括氮化铝 (AlN) 陶瓷以及一个或多个薄金属鞘套。在一些实施方式中,AlN陶瓷经由一个或多个钎焊接头耦合到一个或多个薄金属鞘套,并且其中至少一个薄金属鞘套经由钎焊接头或焊接接头接合到盖组装件。

[0012] 在另一方面,本公开提供了一种用于储能的方法,该方法包括:提供储能装置,该储能装置包括 (i) 第一电极,其包含第一材料, (ii) 第二电极,其包含第二材料,其中第二材料包括铈以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个,以及 (iii) 电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中电解质传导第一材料的离子;以及使储能装置经受充电或放电。

[0013] 在一些实施方式中,方法还包括使铈与铁、钢或不锈钢进行反应以生成第二电极。在一些实施方式中,方法还包括使铈与 (i) 铁、钢或不锈钢以及 (ii) 钙进行反应以生成第二电极。在一些实施方式中,电解质包含选自氯化钙、氯化锂和氯化钾之中的一个或多个。在一些实施方式中,第二材料包含铁铈合金。在一些实施方式中,第二材料包含钢铈合金。在一些实施方式中,第二材料包含不锈钢铈合金。

[0014] 在另一方面,本公开提供了一种用于储能的方法,该方法包括:提供储能装置,该储能装置包括 (i) 第一电极,其包含第一材料, (ii) 第二电极,其包含第二材料,其中第二材料能够与第一材料反应,以及 (iii) 熔融电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中熔融电解质被配置用于传导第一材料的离子;以及使储能装置经受放电,使得至少80%的第二材料得到利用。

[0015] 在一些实施方式中,储能装置在至少约500次放电循环后的容量损失小于或等于约0.5%。在一些实施方式中,储能装置具有在C/4充电速率或放电速率下大于或等于约65%的直流到直流(DC-DC)效率。在一些实施方式中,储能装置具有在C/10充电速率或放电速率下大于或等于约70%的DC-DC效率。

[0016] 在另一方面,本公开提供了一种用于储能的方法,该方法包括:提供储能装置,该储能装置包括(i)第一电极,其包含第一材料,其中第一电极在储能装置的操作温度下是液体,(ii)第二电极,其包含第二材料,其中第二材料能够与第一材料反应,以及(iii)电解质,其设置在第一电极与第二电极之间,其中电解质传导第一材料的离子,其中电解质是熔盐,并且其中第二材料具有大于或等于约每克300毫安时(mAh/g)的充电态比容量;以及使能量装置经受充电或放电。

[0017] 在一些实施方式中,第二电极具有大于或等于约每升3000瓦时(Wh/L)的能量密度。在一些实施方式中,充电态比容量大于或等于约500mAh/g。

[0018] 在另一方面,本公开提供了一种用于储能的方法,该方法包括:提供能量装置,该能量装置包括(i)容器,其包括腔体和盖组装件,其中包括密封件,该密封件被配置用于气密密封腔体以及承受对密封件施加的大于或等于约1000牛顿(N)的力,以及(ii)电化学单体,其布置在腔体内,其中电化学单体包括第一电极、第二电极以及设置在第一电极与第二电极之间的熔融电解质;以及使能量装置经受充电或放电。

[0019] 在一些实施方式中,密封件被配置用于承受对密封件施加的大于或等于约1400N的力。在一些实施方式中,导体包括第一集流体,该第一集流体被配置用于将第一电极悬置在腔体内。在一些实施方式中,密封件被配置用于经历大于或等于约15次热循环。

[0020] 在另一方面,本公开提供了用于形成储能装置的方法,该方法包括:提供包含一个或多个仓的单体壳体和包含第一材料的第一电极、包含第二材料的第二电极以及电解质,其中第二材料包括锑以及选自铁、钢和不锈钢之中的一个或多个;将第一材料和第二材料装载到单体壳体的一个或多个仓中;以及将电解质装载到单体壳体中。

[0021] 在一些实施方式中,第一材料和第二材料包含微粒,并且其中每个微粒包含单一组分。在一些实施方式中,方法还包括用第一材料和第二材料形成合金。在一些实施方式中,将合金粉碎成粉末或微粒,并且将该粉末或微粒装载到一个或多个仓中。在一些实施方式中,将第一材料或第二材料的微粒与电解质结合以形成熔融浆液,并且其中将熔融浆液装载到一个或多个仓中。在一些实施方式中,将第一材料和第二材料的微粒与电解质结合以形成熔融浆液,并且其中允许熔融浆液冷却,并将其粉碎成粉末或微粒,并且将粉末或微粒装载到一个或多个仓中。

[0022] 通过以下详细描述,本公开的附加方面和优点将会对于本领域技术人员变得容易理解,其中仅仅示出和描述了本公开的说明性实施方式。如将会意识到的,本公开能够具有其他和不同的实施方式,并且在各个容易理解的方面中其若干细节都能够进行修改,所有这些都不偏离本公开。因此,附图和描述应被视为说明性的,而非限制性的。

援引并入

[0023] 本说明书中所提及的所有出版物、专利和专利申请均通过引用而并入于此,程度犹如具体地和个别地指出要通过引用而并入每一个别出版物、专利或专利申请。如果通过引用而并入的出版物和专利或专利申请与本说明书中包含的公开相矛盾,则本说明书旨在

替代和/或优先于任何这样的矛盾材料。

附图说明

[0024] 所附权利要求书中具体阐述了本发明的新颖特征。通过参考对在其中利用到本发明原理的说明性实施方式加以阐述的以下详细描述和附图(本文中也称为“附图”或“图”),将会获得对本发明的特征和优点的更好的理解,在附图中:

[0025] 图1图示了示例电化学单体的充电和放电过程;

[0026] 图2图示了在示例电化学单体的充电和放电期间的开路电压(open circuit voltage,OCV)测量;

[0027] 图3图示了示例电化学单体的充电电压迹线和放电电压迹线;

[0028] 图4示出了电化学单体的示例示意图;

[0029] 图5示出了钢铈合金的形成示例;

[0030] 图6示出了具有铈基电极的用于电池的充电和放电的电压偏移与容量相比的示例;

[0031] 图7示出了钢铈合金的示例扫面电子显微镜图像;

[0032] 图8示出了示例电化学单体在一段时间内的容量和电压行为的示例;

[0033] 图9A和图9B示出了示例电化学单体;图9A示出了电化学单体的示例壳体;图9B示出了电化学单体的示例密封件;

[0034] 图10A和图10B示出了示例电化学单体构型;图6A示出了示例电化学单体的水平构型;图10B示出了示例电化学单体的垂直构型;

[0035] 图11示出了示例电化学单体的放电容量;

[0036] 图12图示了示例储能系统;以及

[0037] 图13示出了被编程或以其他方式被配置用于实现本文提供的方法的计算机系统。

具体实施方式

[0038] 虽然本文已经示出和描述了本发明的各个实施方式,但对于本领域技术人员容易理解的是,这样的实施方式只是以示例的方式提供。本领域技术人员可在不偏离本发明的情况下想到许多更改、改变和替代。应当理解,可以采用本文所描述的本发明实施方式的各種替代方案。

[0039] 本文所使用的术语“单体”或“电化学单体”一般是指电化学单体。单体可以包括材料‘A’的负电极和材料‘B’的正电极,表示成A||B。正电极和负电极可以由电解质分隔开。单体还可以包括壳体、一个或多个集流体,以及高温电隔离密封件。

[0040] 本文所使用的术语“封装包”或“盘”一般是指通过不同的电连接(例如,垂直地或水平地,以及串联或并联)附接的单体。封装包或盘可以包括任何数目的单体(例如,1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、25、30、40、50、60、80、100、120、140、160、200、250、300或更多)。在一些情况下,封装包或盘包括100个单体。在一些情况下,封装包能够储存至少约100千瓦时的能量以及/或者递送至少约25千瓦的功率。

[0041] 本文所使用的术语“机架”一般是指串联或并联电接合在一起的封装包或盘,并且可以涉及彼此垂直堆叠的封装包或盘。机架可以包括任何数目的封装包或盘(例如,1、2、3、

4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、20、40、80、100或更多)。在一些情况下,机架包括5个盘。在一些情况下,机架能够储存至少约500千瓦时的能量以及/或者递送约150千瓦的功率。

[0042] 本文所使用的术语“芯体”一般是指通过不同的电连接(例如,串联和/或并联)附接的多个封装包、盘和/或机架。芯体可以包括任何数目的封装包或盘或机架(例如,1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20或更多)。在一些情况下,芯体还包括允许芯体以受控方式高效储存并返回电能的机械、电气和热系统。在一些情况下,芯体包括至少约10个封装包或盘的至少约2个机架。在一些情况下,芯体能够储存至少约1000千瓦时的能量以及/或者递送至少约250千瓦的功率。

[0043] 本文所使用的术语“系统”一般是指可以通过不同的电连接(例如,串联和/或并联)附接的一个或多个芯体。在一些情况下,系统还包括附加的电气设备(例如,DC-AC双向逆变器)和控件(例如,使得系统能够响应于外部信号以改变操作模式的控件)。系统可以包括任何数目的芯体(例如,2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20或更多)。在一些情况下,系统包括4个芯体。在一些情况下,系统能够储存约1兆瓦时的能量以及/或者递送至少约250千瓦的功率。

[0044] 本文所使用的术语“电池”一般是指串联和/或并联连接的一个或多个电化学单体。电池可以包括任何数目的电化学单体、封装包、盘、芯体或系统。

[0045] 本文所使用的术语“垂直的”一般是指平行于重力加速度矢量(g)的方向。

[0046] 本文所使用的术语“循环”一般是指充电/放电或放电/充电循环。术语循环还可以指电化学单体的热循环。电化学单体的热循环可以包括从操作温度到室温对单体进行冷却和重新加热。可以为系统维护和/或单体运输而对单体进行热循环。

[0047] 本文所使用的术语“电压”或“单体电压”一般是指单体的电压(例如,在任何充电状态或者充电/放电条件下)。在一些情况下,电压或单体电压可以是开路电压。在一些情况下,电压或单体电压可以是充电期间或放电期间的电压。

[0048] 本文所使用的术语“氧化态”一般是指在物质溶解在离子溶液或电解质中时可能的带电离子态,举例而言,例如熔融卤化物盐(例如,具有2+氧化态的锌²⁺(Zn²⁺))。

[0049] 本文所使用的术语“直流到直流效率”或“DC-DC效率”一般是指从储能装置或电池放电的以瓦时(Wh)为单位的能量的量除以用于对电池进行充电的以Wh为单位的能量。DC-DC效率可以使用具有充电电压截止限值和放电电压截止限值的对称电流循环来确定。

[0050] 本文所使用的术语“充电速率”或“C/‘N’”一般是指在‘N’小时内使得电池完全充电或放电其额定容量的电池充电或放电速率。例如,C/4速率可以指示电池将会在4小时内充电或放电。C/10速率可以指示电池将会在10小时内充电或放电。

[0051] 本文所使用的术语“能量密度”一般是指储存在给定系统或空间区域中的每单位体积能量的量。

[0052] 本文所使用的术语“放电容量”一般是指当电池放电时,由电池向外部电路提供的电荷容量的量(例如,以安时或Ah为单位)或者能量容量的量(例如,以瓦时或Wh为单位)。

[0053] 本文所使用的术语“放电深度”一般是指当电池放电时,向外部电路提供的电池的额定或理论放电容量的分数或百分比。

[0054] 本文所使用的术语“电极利用率”一般是指在放电过程中由一个或任一电极提供的电荷容量相对于装载到电池中的电极材料的额定或理论电荷容量的分数或百分比。

[0055] 每当术语“至少”、“大于”或“大于或等于”位于两个或更多个数值系列中的第一个数值之前时,术语“至少”、“大于”或“大于或等于”适用于数值系列中的每个数值。例如,大于或等于1、2或3等效于大于或等于1、大于或等于2或者大于或等于3。

[0056] 每当术语“不超过”、“小于”或“小于或等于”位于两个或更多个数值系列中的第一个数值之前时,术语“不超过”、“小于”或“小于或等于”适用于数值系列中的每个数值。例如,小于或等于3、2或1等效于小于或等于3、小于或等于2或者小于或等于1。

[0057] 本公开提供了电化学储能装置(例如,电池)和系统。储能装置可以包括密封(例如,气密密封)在壳体内的至少一个电化学单体或容器。举例而言,单体可被配置用于向诸如电子装置、另一储能装置或电网等负荷来递送电能(例如,在电势下的电子)。

[0058] 在示例中,储能装置可以向电网供应或递送电能。储能装置可以从电能来源,例如从发电厂或者从可再生电能来源(例如,太阳能发电站、风力发电站等)接收功率。储能装置可以是储存来自诸如风或太阳能等间歇性的可再生能源的能量向电网递送的系统的一部分。

储能装置和用于储能的方法

[0059] 在一个方面,本公开提供了储能装置和用于在储能装置中储能的方法。储能装置可以包括包含第一材料的第一电极、包含第二材料的第二电极,以及设置在第一电极与第二电极之间的电解质。第二材料可以包括锑(Sb)和铁、钢、不锈钢或者其组合。例如,第二材料可以是铁锑(Fe-Sb)合金、钢锑合金或不锈钢锑(SS-Sb)合金。电解质可被配置用于传导或者可以传导第一材料的离子。用于储能的方法可以包括对储能装置进行充电和放电。

[0060] 在另一方面,本公开提供了储能装置和用于在储能装置中储能的方法。储能装置可以包括第一电极、第二电极以及熔融电解质。第一电极可以包括第一材料,并且第二电极可以包括第二材料。第一材料可以是可与第二材料反应的,使得至少约80%的第二材料在储能装置放电时得到利用。熔融电解质可以设置在第一电极与第二电极之间,并且将第一电极与第二电极间隔开。熔融电解质可被配置用于传导第一材料的离子,或者可以传导第一材料的离子。在使用期间,储能装置可经受充电或放电。用于储能的方法可以包括对储能装置进行充电和放电,使得至少80%的第二材料在放电期间得到利用。

[0061] 在另一方面,本公开提供了储能装置和用于在储能装置中储能的方法。储能装置可以包括第一电极、第二电极以及电解质。第一电极可以包括第一材料,并且第二电极可以包括第二材料。在储能装置的操作温度下,第一电极可以是液体或者处于液态。第一材料可以是可与第二材料反应的。电解质可以设置在第一电极与第二电极之间,并且将第一电极与第二电极间隔开。电解质可被配置用于传导第一材料的离子,或者可以传导第一材料的离子。电极可以是熔盐。第二电极可以具有大于或等于约每克300毫安时(mAh/g)的充电态比容量。在使用期间,储能装置可以经受充电或放电。用于储能的方法可以包括对储能装置进行充电和放电。

[0062] 在另一方面,本公开提供了储能装置和用于在储能装置中储能的方法。储能装置可以包括具有腔体和盖组装件的容器以及布置在腔体内的电化学单体。盖组装件可以包括密封件,该密封件被配置用于气密密封腔体。密封件可被配置用于承受对密封件施加的大于或等于约1000牛顿(N)的力。电化学单体可以包括第一电极、第二电极以及熔融电解质,该熔融电解质设置在第一电极与第二电极之间。在使用期间,储能装置可以经受充电或放

电。用于储能的方法可以包括对储能装置进行充电和放电。

[0063] 第一电极(例如,负电极)和/或第二电极(例如,正电极)可以包含一种或多种金属。电极可以包括单一金属或多种金属。在示例中,一个或两个电极包括金属合金。第一电极可以是负电极(例如,阳极),并且可以包括钙(Ca)或钙合金(Ca合金)。熔融电极可以是熔盐电极,并且可以包括钙基盐(例如,氯化钙)。在示例中,电解质包含氯化钙和氯化锂。在另一示例中,电解质包含氯化钙、氯化锂和氯化钾。在另一示例中,电解质包含氯化钙、氯化锂、氯化钾,或者其任何组合。第二电极可以是正电极(例如,阴极),并且可以包含锑(Sb)。锑可以是锑的固体颗粒。

[0064] 在一些示例中,电化学储能装置包括液体金属负电极、固体金属正电极以及将液体金属负电极与固体金属正电极分隔开的液体或熔盐电解质。在一些示例中,电化学储能装置包括固体金属负电极、固体金属正电极以及将固体金属负电极与固体金属正电极分隔开的液体盐电解质。在一些示例中,电化学储能装置包括半固体金属负电极、固体金属正电极以及将半固体金属负电极与固体金属正电极分隔开的液体电解质。

[0065] 为了使熔融电解质和/或至少一个电极保持在液态或半固态,可以将电池单体加热到任何合适的温度。在一些示例中,将电池单体加热到和/或保持在大于或等于约100℃、150℃、200℃、250℃、300℃、350℃、400℃、450℃、500℃、550℃、600℃、650℃或700℃或者更高的温度。在一些情况下,将电池单体从约150℃加热到约600℃、从约400℃加热到约500℃、或者从约450℃加热到约575℃。在示例中,在约300℃与650℃之间的温度下操作电化学单体。在另一示例中,在约485℃与525℃之间的温度下操作电化学单体。在另一示例中,在大于或等于约250℃的温度下操作电化学单体。

[0066] 在示例中,可以在高温下操作储能装置,例如,在约450℃与550℃之间,以保持熔融电解质和负电极在储能装置的操作期间处于液态。保持储能装置的温度可以保持处于固态的正电极(例如,纯锑可具有约630℃的熔解温度)。保持熔融电解质和负电极处于液态可以增加电极的电子转移动力学。

[0067] 在示例中,电化学储能装置具有从约0.9伏(V)至约1V的开路电压(open circuit voltage,OCV)。电化学单体的OCV可以大于或等于约0.1V、0.2V、0.3V、0.4V、0.5V、0.6V、0.7V、0.8V、0.9V、1V、1.1V、1.2V或更大。电化学单体的OCV可以从约0.1V至0.2V、0.1V至0.3V、0.1V至0.4V、0.1V至0.5V、0.1V至0.6V、0.1V至0.7V、0.1V至0.8V、0.1V至0.9V、0.1V至1V、0.1V至1.1V、0.1V至1.2V、0.2V至0.3V、0.2V至0.4V、0.2V至0.5V、0.2V至0.6V、0.2V至0.7V、0.2V至0.8V、0.2V至0.9V、0.2V至1V、0.2V至1.1V、0.2V至1.2V、0.3V至0.4V、0.3V至0.5V、0.3V至0.6V、0.3V至0.7V、0.3V至0.8V、0.3V至0.9V、0.3V至1V、0.3V至1.1V、0.3V至1.2V、0.4V至0.5V、0.4V至0.6V、0.4V至0.7V、0.4V至0.8V、0.4V至0.9V、0.4V至1V、0.4V至1.1V、0.4V至1.2V、0.5V至0.6V、0.5V至0.7V、0.5V至0.8V、0.5V至0.9V、0.5V至1V、0.5V至1.1V、0.5V至1.2V、0.6V至0.7V、0.6V至0.8V、0.6V至0.9V、0.6V至1V、0.6V至1.1V、0.6V至1.2V、0.7V至0.8V、0.7V至0.9V、0.7V至1V、0.7V至1.1V、0.7V至1.2V、0.8V至0.9V、0.8V至1V、0.8V至1.1V、0.8V至1.2V、0.9V至1V、0.9V至1.1V、0.9V至1.2V、1V至1.1V、1V至1.2V或者1.1V至1.2V。OCV可取决于荷电状态。该OCV可小于锂离子型电池的OCV。相比于具有较高OCV的电池,这一范围内的OCV可以降低热失控的风险,允许较大单体的生产,以及降低电池管理系统的复杂度。较低开路电压的影响可以至少部分地被单体化学抵消,例如,钙和锑都可

以交换多个电子。

[0068] 图1示出了处于充电期间101、处于充电状态102、放电103和处于放电状态104的储能装置的示例。在充电状态102下,阳极可以是液体钙(Ca)合金,电解质可以包含钙离子(Ca^{2+}),并且正电极(例如,阴极)可以包括固体锑(Sb)颗粒。电化学单体的放电103可以消耗负电极(例如,阳极)。当单体正在放电103时,在每个电极处可发生半反应。在负电极(例如,阳极)处,Ca合金可以释放电子,并且作为离子溶解在盐中(例如, $x\text{Ca} \rightarrow x\text{Ca}^{2+} + 2x\text{e}^-$)。电子可以通过电子做电功的外部电路穿行。在正电极(例如,阴极)处,来自熔盐的离子可以与阴极中的Sb金属以及从外部电路返回的电子结合,以形成金属间化合物(例如, $\text{Sb} + x\text{Ca}^{2+} + 2x\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}_x\text{Sb}_{(\text{合金})}$)。使电子在电极(经由外部电路)之间流动的驱动力可以是Ca在负电极与正电极之间的相对活性。阳极中Ca的活性可接近于1,而Sb阴极中Ca的活性可以是 3×10^{-11} 至 3×10^{-13} 。两个单体放电半反应可以结合成完整反应(例如, $x\text{Ca} + \text{Sb} \rightarrow \text{Ca}_x\text{Sb}_{(\text{合金})}$)。

[0069] 图2示出了示例电化学单体在充电和放电期间的开路电压(OCV)测量。放电电压测量示出了多个稳定期(plateau),这可以代表当锑原子形成不同的金属间化合物(例如, $\text{Ca}_x\text{Sb}_{(\text{合金})}$)时的不同的氧化还原反应。在放电期间,每个Ca原子可以贡献两个电子,而每个Sb原子可以接受三个电子。阳极和阴极两者可以都是“多价的(polyvalent)”,这可以增加电极容量密度。第二电极的容量密度(基于阴极的表面积,该表面积正交于穿过该表面积的离子的平均流量)可大于或等于约0.1安时/平方厘米(Ah/cm^2)、0.2 Ah/cm^2 、0.3 Ah/cm^2 、0.4 Ah/cm^2 、0.5 Ah/cm^2 、0.6 Ah/cm^2 、0.7 Ah/cm^2 、0.8 Ah/cm^2 或者更多。第二电极的容量密度可在约0.1 Ah/cm^2 与0.2 Ah/cm^2 、0.1 Ah/cm^2 与0.3 Ah/cm^2 、0.1 Ah/cm^2 与0.4 Ah/cm^2 、0.1 Ah/cm^2 与0.5 Ah/cm^2 、0.1 Ah/cm^2 与0.6 Ah/cm^2 、0.1 Ah/cm^2 与0.7 Ah/cm^2 或者0.1 Ah/cm^2 与0.8 Ah/cm^2 之间。在示例中,第二电极的容量密度在约0.16 Ah/cm^2 与0.78 Ah/cm^2 之间。第二电极的容量体积密度可大于或等于约0.1安时/毫升(Ah/mL)、0.2 Ah/mL 、0.3 Ah/mL 、0.4 Ah/mL 、0.5 Ah/mL 、0.6 Ah/mL 、0.7 Ah/mL 、0.8 Ah/mL 、0.9 Ah/mL 、1 Ah/mL 、1.25 Ah/mL 或1.5 Ah/mL 。

[0070] 图1中描述的充电和放电过程可能表现出一定的迟滞现象。然而,单体可以实现直流到直流(DC-DC)能量效率的商业实用价值。例如,具有约20安时(Ah)容量的单体已经显示出大约99%的库伦效率以及相应地针对C/4、C/10和C/20充电速率的86%、91%和94%的DC-DC效率,从而达到大约0.85V的平均单体放电电压。图3示出了示例电化学单体的充电电压迹线和放电电压迹线。Ca电极和Sb电极的利用率可以大于或等于约90%。在图3中,假定每个Sb原子三个电子的情况下,“100%放电深度”值基于90%的Sb利用率。

[0071] DC-DC效率值可受到诸如电极厚度/容量和电极间间距等单体配置的影响,电极厚度/容量和电极间间距可相应地改变电流密度(在给定充电速率下)和内阻,而这两者都可能改变超电势并影响DC-DC效率。电化学单体在C/4充电/放电速率下的DC-DC效率可大于或等于约60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95或更大。在示例中,C/4充电/放电速率下的DC-DC效率大于约75%。在示例中,C/4充电/放电速率下的DC-DC效率大于约65%。电化学单体在C/10充电/放电速率下的DC-DC效率可大于或等于约60%、65%、70%、75%、80%、85%、90%、95或更大。在示例中,C/10充电/放电速率下的DC-DC效率大于约80%。在示例中,C/10充电/放电速率下的DC-DC效率大于约70%。

[0072] 电极利用率可以包括一个电极的离子向电解质中的溶解和来自电解质的离子与另一电极的材料的反应。例如,在电化学单体的放电期间,第二电极或阴极可被利用(例如,

与第一材料的离子进行反应)。在放电期间,第二电极的利用率可大于或等于约50%、60%、70%、80%、90%或更大。在示例中,在放电期间,第二电极的利用率可大于或等于约70%。在另一示例中,在放电期间,第二电极的利用率可大于或等于约80%。在另一示例中,在放电期间,第二电极的利用率可大于或等于约90%。电极利用率可通过各种特征、操作参数或两者改变或以其他方式改动。可以改变或改动电极利用率的参数可包括但不限于多孔金属隔板的设计(例如,厚度、材料、孔隙大小等)、负极集流体的设计(例如,厚度、材料、孔隙大小等)、操作温度、充电速率、电极厚度、电极形状、正电极颗粒大小、电解质成分、电解质厚度、正电极与负电极之间的距离、充电截止电压或者其任何组合。例如,可以通过减小电极的厚度(例如,负电极厚度或正电极的颗粒大小)、减小设置在电极之间的电解质的厚度、以恒定电流速率在C/4或更慢的充电速率下操作或者其任何组合来增加电极利用率。在示例中,下面这样的电化学单体可具有大于或等于约80%的电极利用率:该电化学单体包括各自具有小于或等于约0.5厘米厚度的多个负电极,电极之间的电解质间隙小于或等于约10毫米,并且负电极的形状扁平且设置成彼此平行,在C/4或更慢的速率下操作。

[0073] 图4示出了示例电化学单体构型的示意图。在该示例中,Ca合金负电极401被保持在多孔金属集流体内。正电极402包含用可渗透金属隔板403保持到位的固体锑颗粒,该可渗透金属隔板403还可以充当正极集流体。颗粒可以浸没在熔融电解质404中或者被熔融电解质404包围。负电极401、正电极402和熔融电解质404可被容纳于单体壳体405内。单体壳体405可以与可渗透金属隔板403电连通,并且可以充当正极集流体。单体壳体可以具有孔,其中负极电流引线406穿过该孔延伸到单体壳体405中。负电极401可以与负极电流引线406电连通。单体壳体可由设置在负极电流引线406与单体壳体405之间的密封件407气密密封。正电极402、负电极401和电解质404可以布置在单体壳体405内,使得在单体组件上方存在空的顶部空间408。

[0074] 钙锑(Ca||Sb)电池可以用作负电极活性材料液体Ca金属合金。负电极还可以包含一种或多种合金添加剂。当Ca金属转化成 Ca^{2+} 离子时,反应涉及每一原子两个电子的交换。在示例中,并且假定90%的阳极利用率,具有1.55g/mL密度的纯Ca电极可具有约每克1200毫安时(mAh/g)的比容量以及约每毫升1850毫安时(mAh/mL)的容量密度。假定0.85V,这些基于安时的值相应地相当于大约每千克1023瓦时(Wh/kg)的比能量以及大约每升1659瓦时(Wh/L)的能量密度。为了使负电极在单体操作温度下作为液体存在,Ca可以与其他材料形成合金。这可以改动上文报告的能量和容量值。

[0075] 第二电极或阴极可以具有大于或等于约每克50毫安时(mAh/g)、100mAh/g、150mAh/g、200mAh/g、250mAh/g、300mAh/g、400mAh/g、500mAh/g、600mAh/g、800mAh/g、1000mAh/g或更大的充电态比容量。在示例中,阴极具有大于或等于约200mAh/g的充电态比容量。在示例中,阴极具有大于或等于约300mAh/g的充电态比容量。在示例中,阴极具有大于或等于约500mAh/g的充电态比容量。阴极的充电态比容量可以通过电化学单体的特征和操作条件而改变或改动。可改变或改动阴极的充电态比容量的参数可以包括但不限于正电极的颗粒大小、正电极的厚度、电解质、与正极集流体的电连接、充电速率或者其任何组合。在示例中,阴极的充电态比容量可以大于或等于约300mAh/g,并且正电极可以包含由熔融电解质包围的特征尺寸小于或等于1毫米的颗粒(例如,锑颗粒)。在另一示例中,阴极的充电态比容量可以大于或等于约300mAh/g,并且正电极可以包含由熔融电解质包围的特征尺

寸小于或等于100微米的颗粒(例如,铈颗粒)。在另一示例中,阴极的充电态比容量可以大于或等于约300mAh/g,并且正电极可以经由网状结构(例如,颗粒可形成网状结构)电连通到集流体。在另一示例中,阴极的充电态比容量可以大于或等于约300mAh/g,并且正电极可以具有小于或等于约2.5厘米的厚度。在另一示例中,阴极的充电态比容量可以大于或等于约300mAh/g,并且电化学单体可以在小于或等于(例如,慢于)C/4的充电速率下操作。在高于(例如,快于)C/4的速率下操作,单体可能降低操作期间的充电态比容量。

[0076] 阴极可以具有大于或等于约每升2000瓦时(Wh/L)、2250Wh/L、2500Wh/L、2750Wh/L、3000Wh/L、3250Wh/L、3500Wh/L、3750Wh/L、4000Wh/L或更大的能量密度。在示例中,阴极具有大于或等于约2750Wh/L的能量密度。在另一示例中,阴极具有大于或等于约3000Wh/L的能量密度。

[0077] 液体阳极合金的使用可以避免某些电极失效模式,诸如在其他单体化学中存在的裂缝形成和电气断开。此外,包括固体金属负电极的化学(例如,锂金属或锌基化学)在负金属在充电期间被电镀时可能形成枝晶,从而导致单体短路和热失控的可能性。相比之下,液体金属由于其高表面张力和快速转运特性而抑制枝晶形成。可以通过利用阳极润湿其他金属(诸如不锈钢或其他铁合金)的能力来将液体阳极保持到位。通过使用作为负极集流体的多孔金属结构,液体金属阳极可以渗透到负极集流体中,类似于水渗透到海绵中。

[0078] 电解质可以包括工业级CaCl₂或其他盐。当单体在高温下操作时,电解质可以是非水的(即,无水的)熔盐混合物,因而不存在如水基单体化学所经历的氢气生成、释放或点燃的风险。如果过充电,在单体内可能发生副反应(例如,Sb作为Sb³⁺溶解到盐中)。然而,这些副反应可能不会造成电解质分解或气态物质的产生。盐可以是不易燃的,因而不存在点燃或着火的风险。尽管熔盐是非水的,但其可以是在视觉上类似于水的透明、低粘度液体。

[0079] 正电极可以利用由熔盐包围并且由可渗透金属隔板保持到位的固体颗粒(例如,铈颗粒)。与使用一层液体正电极的其他单体设计相比,使用小(<1cm)固体颗粒可以提供较短的扩散路径长度,以及对应的利用率增加和/或正电极材料的可达性。例如,使用在650°C下操作的钙镁负电极和液体铈正电极(Ca-Mg||Sb_液)单体的电池可具有Sb中约23摩尔百分比(mol%)Ca的理论容量,并且可以实验达到该约90%的理论容量,因此代表约每一Sb原子0.54个电子。相比之下,通过在Ca||Sb单体化学中使用小固体Sb颗粒,每个Sb颗粒可以接受3个电子,并且已经展示了大于约90%的Sb利用率,因此代表与使用液体Sb金属阴极相比,Sb阴极材料容量的5倍增加。

[0080] 阴极材料可以与熔融电解质结合或混合。可以使用可渗透金属隔板将阴极材料和盐混合物保持在阴极腔中,该可渗透金属隔板可以允许大块(电极间)盐区域与阴极腔之间的离子转运,并且还可以充当正极集流体。固体颗粒(例如,铈颗粒)可以是导电的,从而增强其参与充电和放电反应的能力。即使不使用添加剂来增强混合物的电导率,基于每个Sb原子接受3个电子,单体仍可经常获得90%的装载Sb容量。

[0081] 铈阴极可以具有高体积能量密度。例如,铈具有每毫升6.7克(g/mL)的密度。在每个Sb原子接受3个电子的情况下,Sb的理论比容量可以是660mAh/g,并且Sb的容量密度可以是4400mAh/L。在90%电极材料利用率的情况下,容量值可以在600mAh/g与4000mAh/mL的范围内。在0.85V的标称放电电压下,这些值可相当于约505Wh/kg的比能量和约3385Wh/L的能

量密度。表1示出了这些阴极性能指标针对示例锂离子电池化学的对比。

表1. 阴极性能指标对比

	<u>锂离子,</u> <u>NMC 111</u>	<u>Ca Sb</u>	<u>相比 NMC 111 的</u> <u>%差异</u>
充电状态阴极	$\text{Li}_{1-0.61}\text{Co}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$	Sb	
理论比容量 (mAh/g)	299	660	+121%
理论容量密度(mAh/mL)	1425	4,400	+209%
密度 (g/mL)	4.76	6.7	+41%
开路电压(V)	3.7	0.95	-75%
典型比容量(mAh/g)	178	594	+234%
典型容量密度(mAh/mL)	732	3,982	+444%
典型比能量(Wh/kg)	658	505	-23%
典型能量密度(Wh/L)	2,709	3,385	+25%

[0082] 因此,与示例锂离子电池阴极相比,充电状态Sb阴极可相应地具有234%和444%的比容量和容量密度优势。阴极的高安时(Ah)容量可能被诸如Ca||Sb等金属/准金属对的相对较低单体电压所部分抵消,从而导致与示例锂离子电池阴极的充电状态相比低23%的比能量和高25%的能量密度。基于其每一Sb原子接受3个电子(而不是每摩尔 $\text{Li}_{1-0.61}\text{Co}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ <1个电子)的能力,Sb阴极可以具有在小体积内储存高Ah容量的能力。

[0083] 正电极可以是可与单体壳体(例如,容器)反应的。例如,正电极(例如,第二电极)可以包含锑,并且锑可以与单体壳体的铁、钢或不锈钢反应。第二电极的材料(例如,锑)与单体壳体的组分之间的反应可在操作期间发生,并且可以形成铁锑、钢锑或不锈钢锑合金。反应可能是自发的,或者可能需要多个充电和放电循环来形成铁锑、钢锑或不锈钢锑合金。

[0084] 在示例中,电化学储能装置可以包括包含锑的正电极。正电极可以与来自电解质的阳离子(例如,钙离子或锂离子)反应,以形成一种或多种过渡产物(例如, CaSb_2 和/或 LiCaSb)。附加地或备选地,正电极可以与单体壳体(例如,钢或不锈钢组分)反应,以生成包含锑和铁(Fe)、钢或不锈钢(SS)的合金。在完全充电状态下,正电极(例如,锑)与单体壳体之间的反应可以形成Fe-Sb、钢-Sb或不锈钢-Sb合金。在放电状态下,正电极可相分离成Fe、钢或不锈钢和 LiCaSb 。

[0085] 图5示出了锑与不锈钢容器之间的示例化学反应。如图5中所示,SS-Sb合金颗粒可形成于单体壳体、其他壳体组件(例如,多孔金属隔板)、正电极颗粒或者其任何组合的表面上。锑合金颗粒可保持在该表面上,或者可从表面断脱。在循环期间,从单体壳体形成的铁合金、钢合金或不锈钢合金可与电化学电压曲线的变化有关。如图6中所示,作为充电容量的函数的电压可随着充电/放电循环数目的增加而减小。图7中示出了与钢反应的正电极颗粒的示例。示出了在大约5000小时操作之后,正电极物质的示例扫描电子显微镜图像。图像的白色部分可对应于分散在盐电解质中的钢锑合金颗粒。

[0086] 正(例如,锑)电极与单体壳体组分(例如,钢或不锈钢组分)之间的反应可降低电

化学单体的电化学和结构稳定性。例如,在长期操作的过程中,钢或不锈钢与铈合金反应可消耗来自电化学单体的结构组件的钢或不锈钢。在具有将正电极保持到位的多孔金属隔板的电化学单体中,正电极(例如,铈)可与多孔金属隔板反应。钢或不锈钢铈合金反应可使诸如多孔金属隔板等单体的组件劣化。多孔金属隔板的劣化可能导致正电极包容性的丧失,从而潜在地造成单体容量的明显损失(例如,参见图6)和单体内形成内部短路。

[0087] 通过使用预合金或预混合正电极成分,诸如铁(Fe)-铈(Sb)合金、钢-Sb合金或不锈钢(SS)-Sb合金,可以阻止或至少部分地阻止正(例如,铈)电极与单体壳体组分(例如,钢或不锈钢组分)之间的反应。如图8中所示,与不将正电极材料与铁、钢或不锈钢预合金或预混合的电化学单体相比,将正电极材料(例如,铈)与铁、钢或不锈钢预合金或预混合可以减慢或阻止钢或不锈钢组分的劣化,并且增强电化学单体随时间推移的稳定性。此外,构建有钢或不锈钢添加物的电化学单体可以表现出较小的随时间推移的单体电压偏移,这可以允许较简单的控制算法来预测单体的健康状态和荷电状态。

[0088] 储能装置可以包括具有盖组装件的容器或壳体。盖组装件可以包括密封件,该密封件将电化学单体气密密封在壳体或容器内。密封件可以是机械上坚固的,并且可以包含化学上稳定的材料。机械密封件可被配置用于承受(例如,保持气密密封)数百次热循环。在壳体中,单体的负极部分和正极部分可以是电分离的(例如,通过电解质),以避免电极短路。电化学储能装置可以包括正极化不锈钢壳体和盖组装件、穿过盖组装件中的孔的负极化金属电流引线(negatively polarized metal current lead,NCL)棒(例如,导体),以及密封组件(例如,图4)。密封组件可将NCL棒接合到单体盖。导体或负极电流引线在单体充电或放电时可以承载高达约50安培(A)、75A、100A、125A、150A、200A、250A、300A、400A、500A或更大的电流。在示例中,导体在单体充电或放电时可以承载高达200安培(A)的电流。当单体充电或放电时,导体或负极电流引线可大于或等于约50安培(A)、75A、100A、125A、150A、200A、250A、300A、400A、500A或更大的电流。在示例中,导体在单体充电或放电时可以承载大于或等于约100安培(A)的电流。

[0089] 密封件可以是电绝缘的,或者可以是至少部分地电绝缘的。密封件可以是气闭的,并且气密密封储能装置的壳体。密封件可以阻止空气进入单体(这可能会导致单体性能劣化)。由于单体的高操作温度,暴露于空气(在外侧上)以及熔盐和反应性金属蒸气(在内侧上),因此密封件材料和设计的选项数目可以是有限的。

[0090] 密封件材料可以基于原材料对与钙金属和熔盐的反应性的耐受性来选择。材料选择还可以通过热力学分析和复试测试而获知。在示例中,密封件可包括含有氮化铝(AlN)陶瓷的陶瓷金属钎焊组装件。 AlN 陶瓷可以抵抗与单体的反应性材料(例如,钙金属或熔融电解质)的化学反应。 AlN 陶瓷可以经由陶瓷金属焊料耦合到薄金属鞘套。薄金属鞘套可以经由焊接接头或钎焊接头耦合到电化学单体的壳体或导体。密封件可以包括 AlN 陶瓷、焊料和不锈钢鞘套的独特组合, AlN 陶瓷、焊料和不锈钢鞘套各自具有显著不同的热膨胀系数(即,它们在其被加热和冷却时膨胀和收缩不同的量)。

[0091] 密封件可以针对大批量制造而设计,并且可以包括夹着两个薄金属鞘套的三个扁平陶瓷垫片。一个金属鞘套可以连接到负极电流引线棒,而另一个金属鞘套可以连接到单体盖。薄金属鞘套可在其顶面和底面上钎焊到陶瓷垫片中的两个。图9A和图9B示出了示例电化学单体。图9A示出了电化学单体的示例壳体。图9B示出了电化学单体的示例密封件。密

封件可被配置用于承受(例如,保持壳体的气密密封)数百次快速热循环(例如,从室温加热到单体操作温度)。例如,密封件可被配置用于承受或者可以承受大于或等于10、15、20、25、30、40、60、80、100、150、200、300、400、600、800、1000次或更多次热循环。在示例中,密封件可被配置用于承受或者可以承受大于15次热循环。

[0092] 密封件可被配置成或者可以是机械上坚固的。密封件可被配置用于承受压缩(例如,向下的力)或拉力。密封件可被配置用于承受大于或等于约100牛顿(N)、200N、300N、400N、500N、600N、800N、1000N、1200N、1400N、1600N、1800N、2000N或更大的力。在示例中,密封件可被配置用于承受大于或等于约1000N的力(例如,压缩力或拉力)。在示例中,密封件可被配置用于承受大于或等于约1400N的力(例如,压缩力或拉力)。

[0093] 单体可被配置或布置成水平构型或垂直构型。图10A示出了布置成水平构型的电化学单体的示例。水平构型可以具有相互叠放的3个层(例如,由电解质1003分隔开的负电极1001和正电极1002)。3个层中的每个层的设计可以是大约1厘米(cm)厚。单体壳体1004可具有比单体的高度更大的宽度和深度。单体壳体1004可以包括电极和电解质上方的空的顶部空间1005。单体壳体1004可以包括孔,该孔具有通过密封件1007密封到壳体1004的负极电流引线1006。在示例中,两个电极和电解质在单体的操作温度下为液体,并且在水平构型中基于密度差异和不混溶性而浮于彼此之上。例如,水平构型可以具有大约80%的DC-DC效率,并且可以在约4小时(hr)至12hr内充电/放电。使用水平构型的单体容量可以通过增大单体的横向尺寸而得到增大。增大的横向尺寸可能降低充填效率和增大单体到单体互连的大小和重量。

[0094] 单体可被配置或布置成垂直构型。图10B示出了布置成垂直构型的示例电化学单体。垂直构型可以包括布置在每个单体中并由电解质1003分隔开的负电极1001和正电极1002的多个层,从而允许高矩形或棱柱形单体设计。单体壳体1004可以包括导体(例如,负极电流引线)1006,该导体1006延伸穿过单体壳体1004中的密封件1007。导体1006可以充当负极端子,并且可以与负极集流体接触。导体1006可以包括负极集流体。导体可被配置用于或者可以将第一电极(例如,负电极)1001悬置在容器的腔体内。与水平单体设计相比,高矩形或棱柱形单体设计可以允许更短和更轻的单体到单体互连以及盘和机架内更高的充填效率。与水平构型相比,垂直构型可对倾斜和振动更不敏感。每个单体可具有大于或等于约100安时(Ah)、200Ah、300Ah、400Ah、600Ah、800Ah、1000Ah、1200Ah、1400Ah、1600Ah、1800Ah、2000Ah或更大的容量。多个电化学单体可填装到盘中,盘可以装载到机架系统中。由于单体可不经受热失控,因此在系统内可将多个单体紧密地填装在一起,以增大系统级能量密度。垂直构型还可以允许比水平构型更大的单体,这可以减少均衡和/或感测线连接以及系统的整体电路的数目,这可以降低系统的复杂度。

[0095] $\text{Ca}||\text{Sb}$ 单体化学已表现出稳固的循环性能,包括在全深度放电循环下的低容量衰减,从而预计数十年的操作。图11中示出了示例单体的循环性能的示例。示例单体示出了在C/3循环速率和90%阴极利用率下的500次深度放电循环后小于0.5%的容量损失。电化学储能装置可被配置成具有在二十年日常循环后小于或等于约10%、7.5%、5%、4%、3%、2%、1%、0.5%或更少的容量衰减(例如,容量降低)。电化学单体可被配置成经历热循环而单体容量不降低。例如,电化学单体可被热循环至少5、10、20、30、40、50、60、80、100、120、150、200次或更多次而不影响单体循环性能(例如,容量衰减小于0.5%)。可能改动或改变

循环性能的参数可包括但不限于气密密封件、多孔金属隔板(例如,隔板在单体的寿命期间保持完好无损)或者其组合的牢固性和寿命。

用于制造储能装置的方法

[0096] 在另一方面,本公开提供了用于形成储能装置的方法。用于形成储能装置的方法可以包括:提供包含一个或多个仓(bay)的单体壳体、包含第一材料的第一电极、包含第二材料的第二电极以及电解质;将第一材料和第二材料装载到单体壳体的一个或多个仓中;以及将电解质装载到单体壳体中。第二材料可以包含锑(Sb)和铁(Fe)、钢、不锈钢(SS)或者其组合。电解质可以是熔盐。

[0097] 一个或多个仓可以由设置在单体壳体内一个或多个多孔隔板形成。该一个或多个多孔隔板可以包含钢或不锈钢,并且可以焊接、钎焊或以其他方式接合的单体壳体的内表面。单体组装件可以包括提供前体材料,诸如形成第一电极、第二电极和电解质的材料。前体材料可以是主要由单一组分(例如,钙、锑、铁、钢、不锈钢等)组成的材料。备选地或附加地,前体材料可以是多种组分的合金(例如,铁锑合金或钙锑合金)。

[0098] 第一材料和第二材料可作为单独的微粒(例如,Ca和Sb微粒)装载于单体内,并且可以用电解质填充单体,使得微粒浸没在电解质内。在示例中,铁、钢或不锈钢的微粒还可以添加第一材料和第二材料的微粒。备选地或附加地,第一材料和第二材料可以一起预反应,以形成放电状态正电极(例如,阴极)。在示例中,第一材料和第二材料可与铁、钢或不锈钢预反应,以形成放电状态正电极(例如,阴极)。

[0099] 在示例中,通过用第一材料(例如,钙(Ca))和第二材料(例如,Sb和Fe、钢或SS)的单独微粒或颗粒装载单体的一个或多个仓来形成电化学单体。第二材料可以包含单独的锑和铁、钢或不锈钢微粒。备选地或附加地,第二材料可以包含锑和铁、钢或不锈钢的预合金微粒。单体可填充有熔盐电解质,使得微粒或颗粒浸没在熔盐电解质内。

[0100] 在另一示例中,可以使第一材料(例如,Ca)和第二材料(例如,Sb和Fe、钢或SS)预反应以形成合金。该合金可被粉碎以生成合金粉末或微粒。粉末或微粒可以装载到一个或多个仓中。可以用熔盐电解质填充单体,使得微粒或颗粒浸没在熔盐电解质内。

[0101] 在另一示例中,可以使第一材料(例如,Ca)、第二材料(例如,Sb和Fe、钢或SS)以及电解质(例如,包含氯化钙、氯化钾、氯化锂等的熔盐)预反应以形成第一材料、第二材料和盐的混合物(例如,Ca-Sb-Li)以及第一材料、第二材料、盐以及与盐混杂的铁、钢或不锈钢合金的混合物(例如,Ca-Sb-Li-Fe/SS)。可以处理混合物以生成粉末或微粒,并且可以将该粉末或微粒添加到单体壳体的一个或多个仓。备选地或附加地,预反应混合物可以与熔盐生成浆液,并且可以将该浆液添加到一个或多个仓。可以用熔盐电解质填充单体,使得微粒或颗粒浸没在熔盐电解质内。

[0102] 可以经由正压流或者通过对经由中空管连接到熔盐槽的单体上的抽真空来将熔盐电解质递送到单体。可以将一定体积的熔融电解质添加到单体壳体,使得电化学单体的反应性材料上方的空的顶部空间小于或等于约2.5厘米(cm)。空的顶部空间可以小于或等于约2.5cm、2cm、1.5cm、1cm、0.5cm、0.1cm或更小。在示例中,空的顶部空间小于或等于约1cm。在另一示例中,空的顶部空间小于或等于约0.5cm。在另一示例中,顶部空间可从约0.1cm至1cm。

[0103] 单体壳体可以包括孔,并且导体可穿过该孔插入并抵达单体壳体内部的电解质中。

单体壳体可在导体周围密封。单体壳体和导体可由下面描述的任何密封件来密封：提交于2013年10月15日的PCT申请号PCT/US2013/065086、提交于2014年10月16日的PCT申请号PCT/US2014/060979、提交于2016年3月4日的PCT申请号PCT/US2016/021048和提交于2017年9月7日的PCT申请号PCT/US2017/050544，其通过引用整体并入本文。

储能系统

[0104] 储能系统可被设计成包括以串联、并联或串联与并联配置组合连接的数十个至数百个单体。图12示出了包括绝缘容器内的多个单体的示例系统。多个单体1201可以组装并布置到盘1202上。盘可以具有大于或等于1、2、4、6、8、10、20、40、60、80、100个或更多个单体。盘可以堆叠在机架内部以产生单体塔台1203。塔台可以具有大于或等于1、2、4、6、8、10、20、40个或更多个盘。单体塔台1203可以设置在隔热容器1204内。通过减小组件（例如，单体壁、金属隔板等）的厚度、减小电极间间距以及/或者使单体内的空的顶部空间的高度最小化，可以增加系统的能量密度。

[0105] 储能系统可以在十英尺运输容器内储存大于或等于约10千瓦时(kWh)、20kWh、30kWh、40kWh、50kWh、75kWh、100kWh、150kWh、200kWh、300kWh、400kWh、500kWh、600kWh、800kWh、1000kWh、1200kWh、1400kWh、1600kWh、1800kWh、2000kWh或更多电力。在示例中，储能系统可以在十英尺运输容器内储存大于或等于约400kWh电力。在另一示例中，储能系统可以在十英尺运输容器内储存大于或等于约1000kWh电力。

[0106] 系统可以冷运输（例如，在环境温度下），并且一旦安装好，可以提供能量以将单体初始加热到其操作温度。将单体从环境温度加热到操作温度可能使用由单体所储存的3至4倍能量的量。一旦系统被加热并处于操作中，充电和放电过程可生成热量并保持系统的温度。例如，对于以产生80%的DC-DC效率的速率操作的单体，单体的大约20%的能量容量在每次充电/放电循环期间作为热量释放在热封闭腔内。在示例中，以80%DC-DC效率操作的1兆瓦时(MWh)容器可在一次循环中生成200kWh热量。

[0107] 容纳多个单体的容器可以是隔热的。隔热可被配置成使得从充电/放电循环保留足够的热量，从而系统在每一天至两天循环一次时得到自加热。系统可被配置成当至少每4hr、8hr、12hr、16hr、20hr、1天、1.5天、2天、3天、4天或更长时间循环一次时得到自加热。系统还可以包括一个或多个内部流动通道，该一个或多个内部流动通道被配置用于在系统内引导空气以移除多余的热量。空气可以被动流过通道（例如，通过自然对流）或者可以主动流过通道（例如，可以通过泵或其他流生成装置来引导空气）。

[0108] 由于所描述的电化学单体和系统可不使用泵或机械系统来接受或返回所储存的能量，系统可以在充电与放电之间即时地或几乎即时地交替，从而快速响应于来自电网操作者和/或工业客户的需求。系统的响应时间可能受限于电力电子器件和控制系统的性能，并且可不受限于电化学单体。例如，电化学单体可以能够在小于或等于100毫秒(ms)、80ms、60ms、40ms、30ms、20ms、10ms、8ms、6ms、4ms、3ms、2ms、1ms或更短时间内从完全充电切换到完全放电。在示例中，电化学单体可以能够在小于或等于8ms内从完全充电切换到完全放电。

[0109] 尽管储能系统的操作温度高，但Ca||Sb单体化学相比于其他单体化学可具有安全优势。例如，对锂离子电池进行过充电可能是灾难性的，导致电解质分解和排气、压力升高、热失控事件和/或起火。因此，锂离子电池可使用灵敏的控制系统来防止此类情况发生。相

比之下,对Ca||Sb单体进行200%或更多的过充电可不造成安全风险。例如,不同于使用可能在暴露于热量和空气时着火的有机电解质的其他电池,Ca||Sb中的电解质可以是不可燃的。此外,Ca||Sb中的电解质可具有宽电化学窗口,使得过充电可不导致电解质分解或气体形成,从而避免单体由于过充电发生压力过大。此外,单体的过充电和/或内部短路可不导致热失控。

[0110] 电化学单体组分可具有高热质量。相比于其他单体化学,高热质量与大约1V的单体电压相结合可以允许每单位单体质量储存更少的能量。因此,储存在单体内的能量可不足以将单体温度升高到壳体(例如,不锈钢容器)的熔点以上或者使单体内的组分沸腾,从而提高了电化学单体的安全性。此外,Ca||Sb单体基于单体化学的低毒性,可以作为无害废物进行处理或处置。Ca||Sb的安全特性可以简化系统设计元素。通过避免热失控,可以使用大容量单体并且以紧密设置在一起的封装包的形式来构建和操作储能系统。系统还可以避免使用加热、通风和空调系统(HVAC)和灭火系统。并且,由于单体容量的增大,与具有较低容量单体的系统相比,电池管理系统可以具有需要监控和均衡的更少的单体。

计算机系统

[0111] 本公开提供了被编程用于实现本公开的方法,例如用于对一个或多个电化学储能单体的储能装置加以控制的计算机系统(例如,控制系统)。储能装置可以耦合到对该装置的充电和/或放电加以调控的计算机系统。计算机系统可以包括一个或多个计算机处理器以及耦合到该计算机处理器的存储器位置。存储器位置可以包含机器可执行代码,该机器可执行代码在由计算机处理器执行时,实现本文其他各处所描述的任何方法。

[0112] 图13示出了计算机系统1301,所述计算机系统1301被编程或以其他方式被配置用于控制或调控本公开的储能系统的一个或多个处理参数。系统1301可以调控本公开的各个方法的各个方面,举例而言,诸如调控储能装置的温度、充电和/或放电,以及/或者调控其他电池管理系统。计算机系统1301可以是用户的电子装置或相对于电子装置位于远处的计算机系统。电子装置可以是移动电子装置。

[0113] 计算机系统1301包括中央处理器(CPU,本文中亦称“处理器”和“计算机处理器”)1305,该中央处理器1305可以是单核或多核处理器,或者是用于并行处理的多个处理器。计算机系统1301还包括存储器或存储器位置1310(例如,随机存取存储器、只读存储器、闪存存储器)、电子存储单元1315(例如,硬盘)、用于和一个或多个其他系统通信的通信接口1320(例如,网络适配器)以及外围设备1325,诸如高速缓存器、其他存储器、数据存储和/或电子显示适配器。存储器1310、存储单元1315、接口1320和外围设备1325通过诸如母板等通信总线(实线)与CPU 1305相通信。存储单元1315可以是用于储存数据的数据存储单元(或数据储存库)。计算机系统1301可以借助于通信接口1320可操作地耦合至计算机网络(“网络”)1330。网络1330可以是因特网、互联网和/或外联网,或者与因特网通信的内联网和/或外联网。网络1330在一些情况下是电信和/或数据网络。网络1330可以包括一个或多个计算机服务器,该计算机服务器可以支持诸如云计算等分布式计算。在一些情况下,网络1330借助于计算机系统1301可以实现对等网络,该对等网络可以使得耦合至计算机系统1301的设备能够充当客户端或服务器。

[0114] CPU 1305可以执行可在程序或软件中实施的机器可读指令序列。指令可以储存在存储器位置(诸如存储器1310)中。指令可以指向CPU 1305,这可以随后对CPU 1305进行编

程或以其他方式配置CPU 1305,以实现本公开的方法。CPU 1305执行的操作的示例可以包括获取、解码、执行和写回。

[0115] CPU 1305可以是电路(诸如集成电路)的一部分。在电路中可以包含系统1301的一个或多个其他组件。在一些情况下,电路是专用集成电路(ASIC)。

[0116] 存储单元1315可以储存文件,诸如驱动程序、库和保存的程序。存储单元1315可以储存用户数据,例如,用户偏好和用户程序。在一些情况下,计算机系统1301可以包含计算机系统1301外部(诸如位于通过内联网或互联网与计算机系统1301通信的远程服务器上)的一个或多个另外的数据存储单元。

[0117] 计算机系统1301可以通过网络1330与一个或多个远程计算机系统通信。例如,计算机系统1301可以与用户的远程计算机系统通信。远程计算机系统的示例包含个人计算机(例如,便携式PC)、平板电脑或平板计算机(例如,Apple® iPad、Samsung® Galaxy Tab)、电话、智能电话(例如,Apple® iPhone、支持Android的装置、Blackberry®)或个人数字助理。用户可以经由网络1330访问计算机系统1301。

[0118] 可以通过储存在计算机系统1301的电子存储位置上(举例而言,诸如,储存在存储器1310或电子存储单元1315上)的机器(例如,计算机处理器)可执行代码来实现本文所描述的方法。机器可执行或机器可读代码能够以软件的形式提供。在使用期间,代码可由处理器1305执行。在一些情况下,可以从存储单元1315检索代码,并且将其储存在存储器1310上,以备处理器1305访问。在一些情况下,可以排除电子存储单元1315,并且机器可执行指令被储存在存储器1310上。

[0119] 所述代码可以被预编译并且被配置成与具有适于执行所述代码的处理器一起使用,或者可以在运行时被编译。可以用编程语言提供所述代码,可以选择所述编程语言以使得所述代码能够按预编译或即时编译的方式来执行。

[0120] 本文所提供的系统和方法的各个方面,诸如计算机系统1301,可以在编程中得到体现。所述技术的各个方面可以被认作“产品”或“制造品”,其通常形式为机器(或处理器)可执行代码和/或在一类机器可读介质上实施或体现的关联数据。机器可执行代码可以储存在电子存储单元上,诸如存储器(例如,只读存储器、随机存取存储器、闪速存储器)或硬盘上。“存储”类型介质可以包括计算机、处理器等的任何或所有有形存储器或者其关联模块,诸如各种半导体存储器、磁带驱动器、硬盘驱动器等,所述存储器可以在任何时间为软件编程提供非暂时性存储。所述软件的全部或部分有时可能通过因特网或各种其他电信网络进行通信。这样的通信例如可以使得软件能够从一台计算机或处理器向另一台计算机或处理器中加载,例如,从管理服务器或主计算机向应用服务器的计算机平台中加载。因此,可能承载软件元素的另一类介质包括光波、电波和电磁波,诸如跨本地设备之间的物理接口、通过有线光学陆线网络以及经由各种空中链路而使用。承载这样的波的物理元件,诸如有线或无线链路、光学链路等,也可以被认为是承载所述软件的介质。如本文中所使用的,除非被限制成非暂时性的有形“存储”介质,否则诸如计算机或机器“可读介质”等术语指代参与向处理器提供指令以供执行的任何介质。

[0121] 因此,机器可读介质,诸如计算机可执行代码可能采取多种形式,包括但不限于有形存储介质、载波介质或物理传输介质。非易失性存储介质例如包括光盘或磁盘,诸如是在任何一个或多个计算机中的任何存储设备等,诸如是如附图中所示可能用于实现数据库

等。易失性存储介质包括动态存储器,诸如此类计算机平台的主存储器。有形传输介质包括同轴线缆;铜线和光纤,其包括在计算机系统内包括总线的导线。载波传输介质可能采取电信号或电磁信号的形式,或者采取声波或光波的形式,诸如在射频(RF)和红外(IR)数据通信期间生成的声波或光波。计算机可读介质的常见形式因此例如包括:软盘、柔性盘、硬盘、磁带、任何其他磁性介质、CD-ROM、DVD或DVD-ROM、任何其他光学介质、穿孔卡片纸带、任何具有孔洞图案的其他物理存储介质、RAM、ROM、PROM和EPROM、FLASH-EPROM、任何其他存储器芯片或盒、传输数据或指令的载波、传输此类载波的线缆或链路,或者计算机可以从中读取编程代码和/或数据的任何其他介质。这些计算机可读介质形式中的许多种可能参与到将一条或多条指令的一个或多个序列运载至处理器用于执行之中。

[0122] 计算机系统1301可以包括电子显示器1335或与电子显示器1335通信,所述电子显示器1335包括用于提供例如储能装置的状态或储能装置的控件的用户界面(UI) 1340。UI的示例包含但不限于图形用户界面(GUI)和基于web的用户界面。

[0123] 本公开的方法和系统可以通过一种或多种算法来实现。算法可在由中央处理器905执行时通过软件来实现。例如,所述算法可以控制电池管理系统,以及/或者控制或改变储能装置的温度、充电和/或放电。

[0124] 尽管本文已经示出和描述了本发明的优选实施方式,但是对于本领域技术人员来说,显然此类实施方式仅是作为示例提供的。本发明不意图受限于说明书内提供的特定示例。尽管已经参考前述说明书描述了本发明,但是本文对实施方式的描述和说明并不意味着被解释为限制性的。在不脱离本发明的情况下,本领域技术人员现在将会想到许多变化、改变和替换。此外,应当理解,本发明的所有方面不限于本文根据多种条件和变量阐述的具体描述、配置或相对比例。应当理解,在实践本发明时,可以采用本文所描述的本发明的实施方式的各种替代方案。因此,设想到本发明还应当涵盖任何此类替换、修改、变型或等效项。以下权利要求旨在限定本发明的范围,并且由此被覆盖这些权利要求及其等效项范围内的方法和结构。

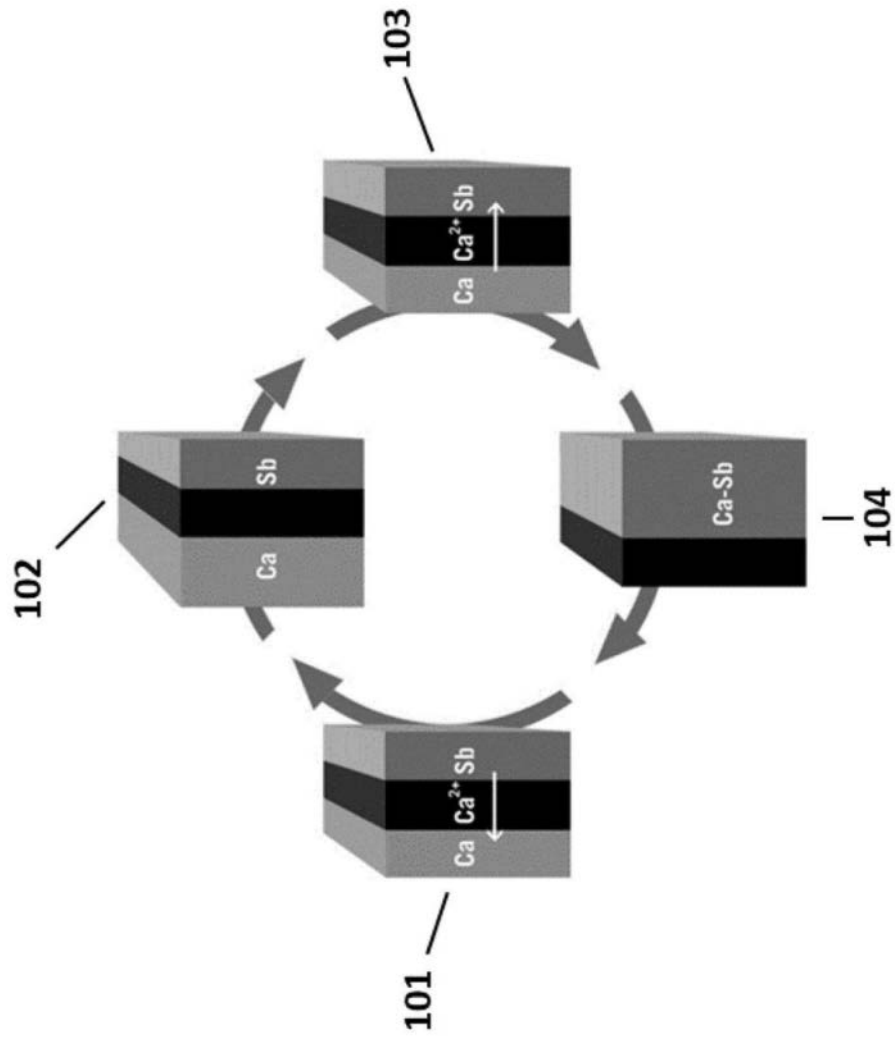


图1

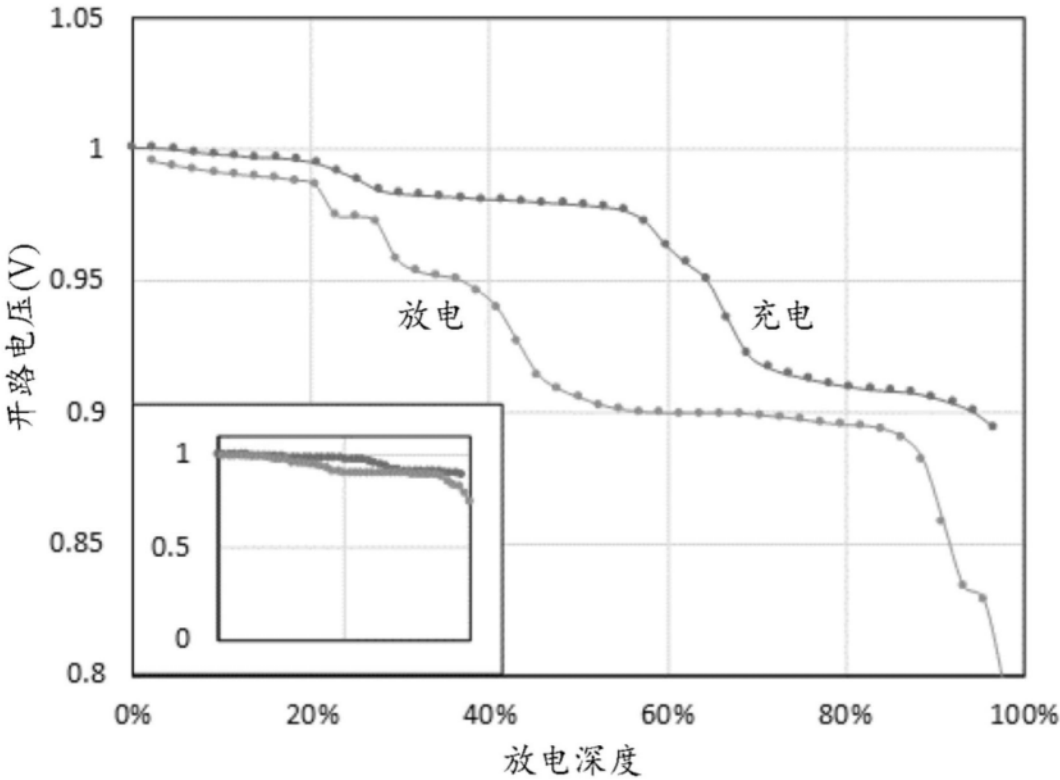


图2

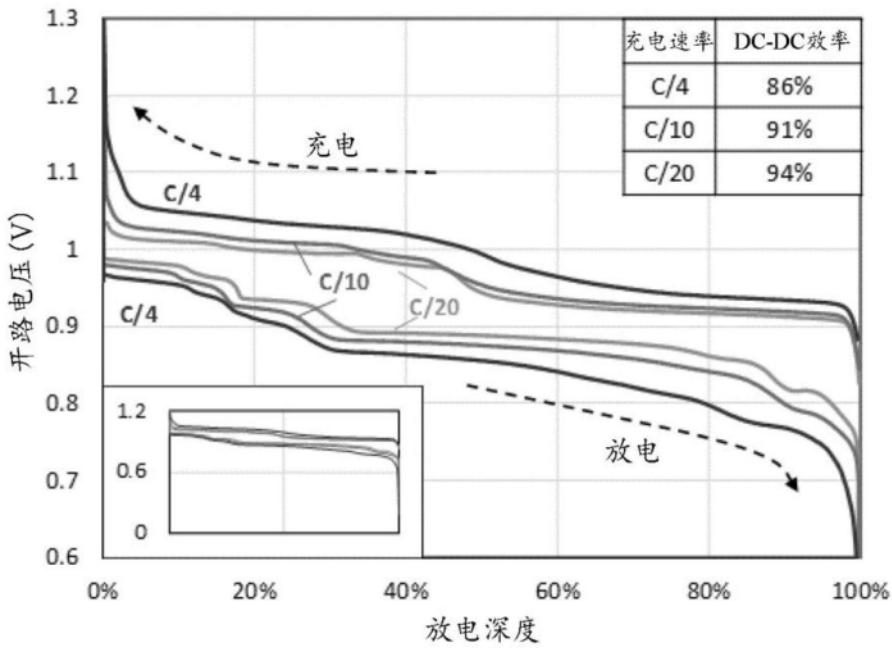


图3

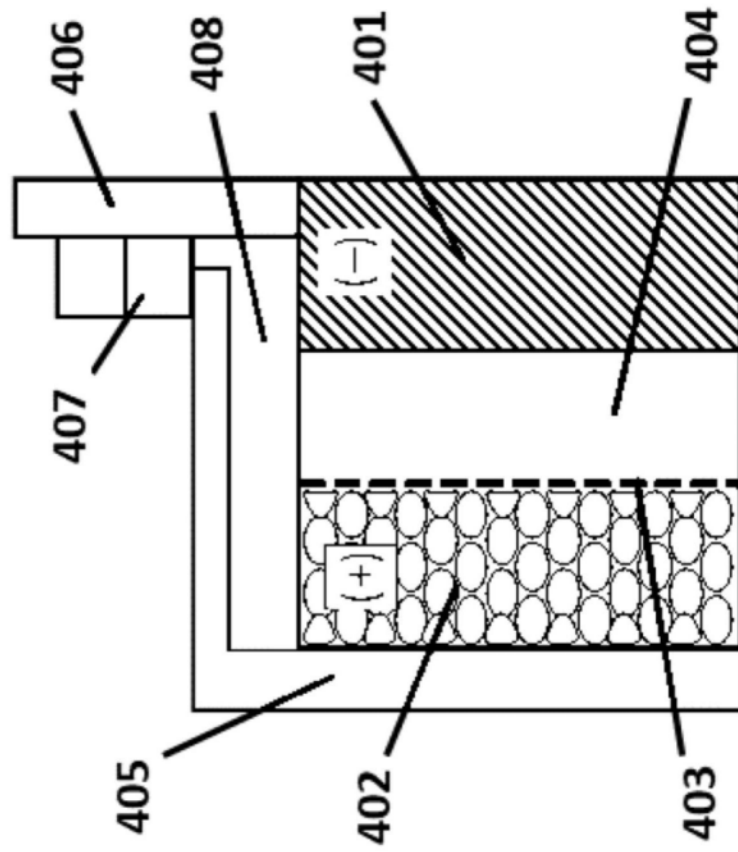


图4

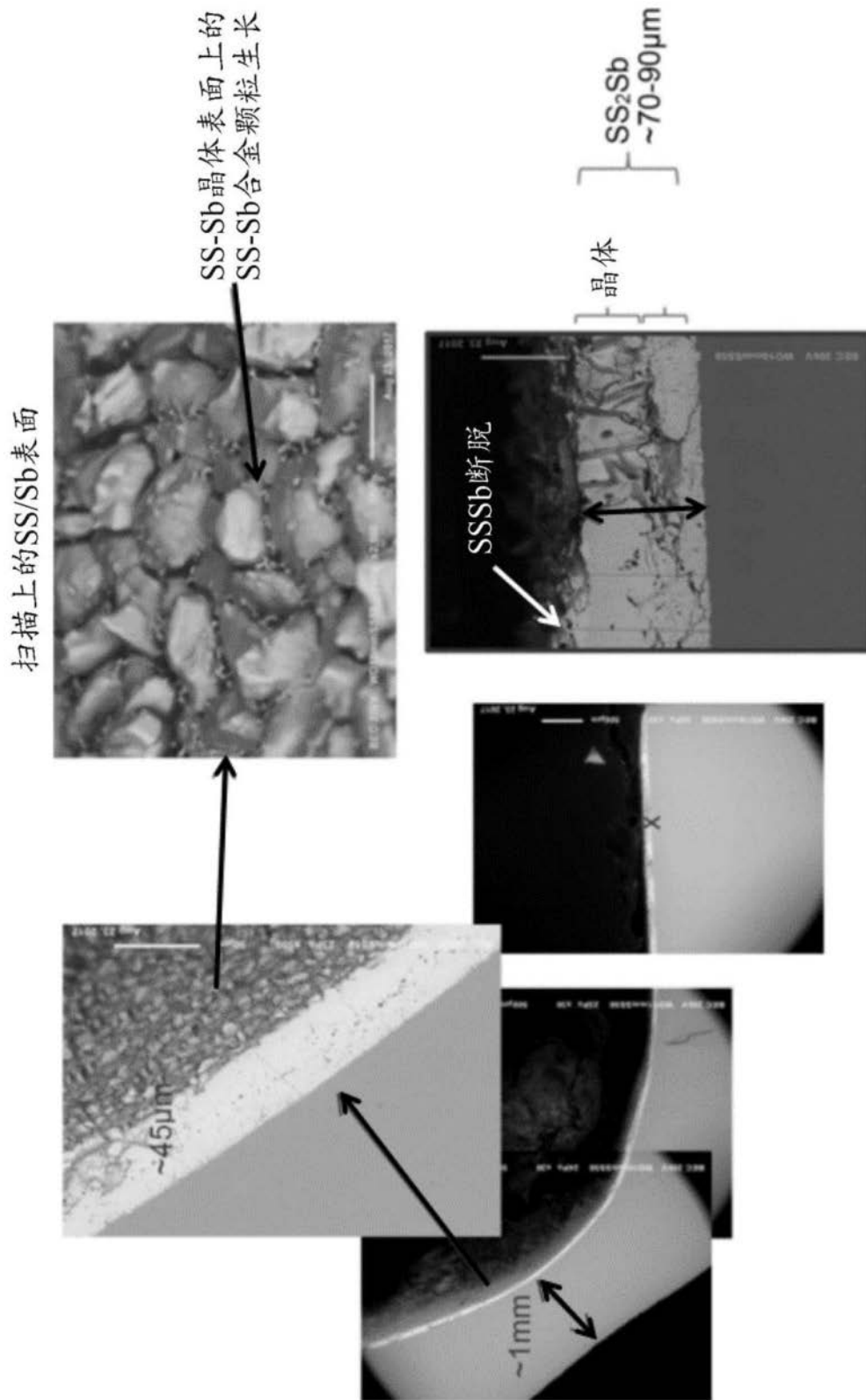


图5

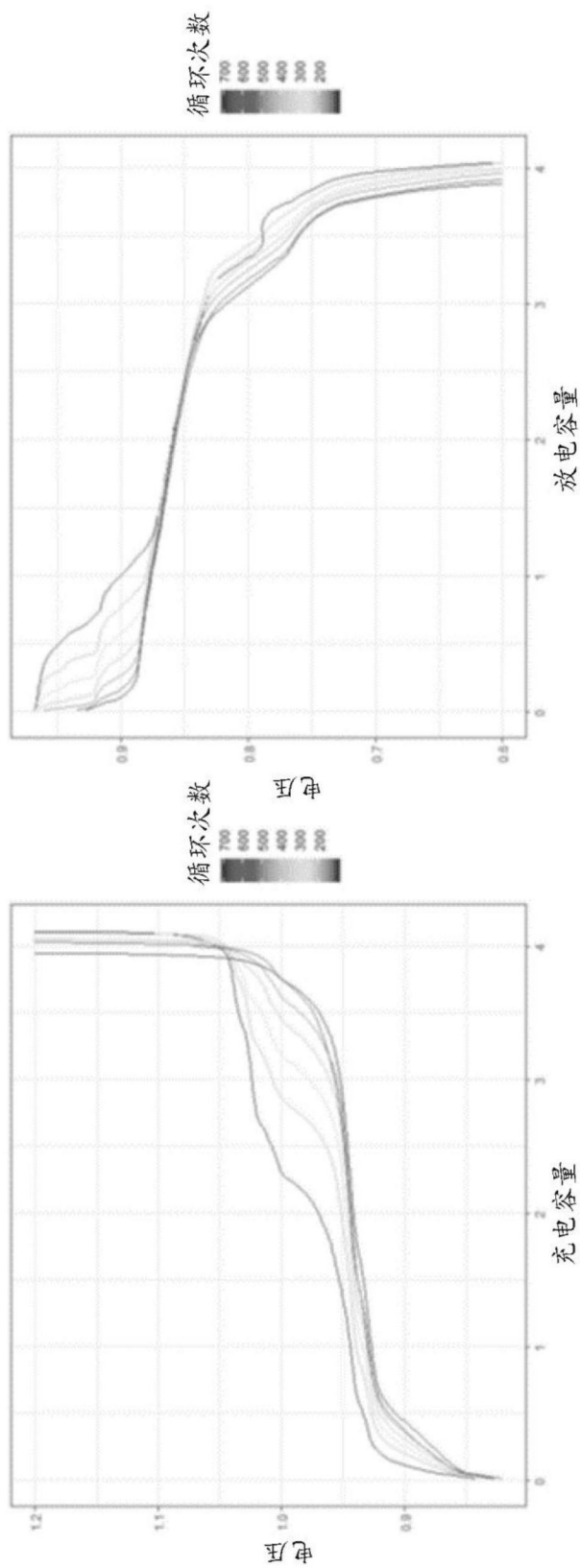
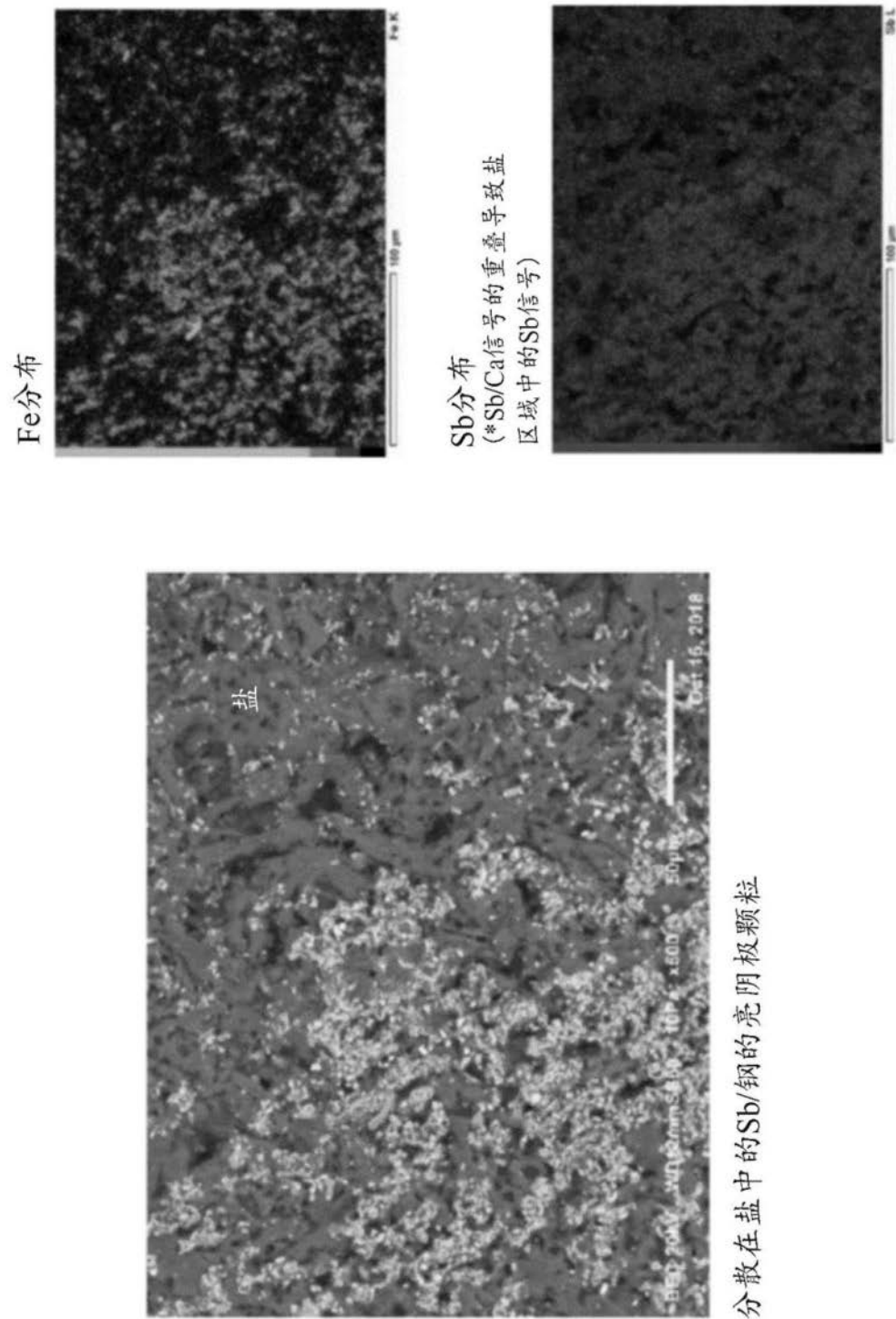


图6



分散在盐中的Sb/钢的亮阴极颗粒

图7

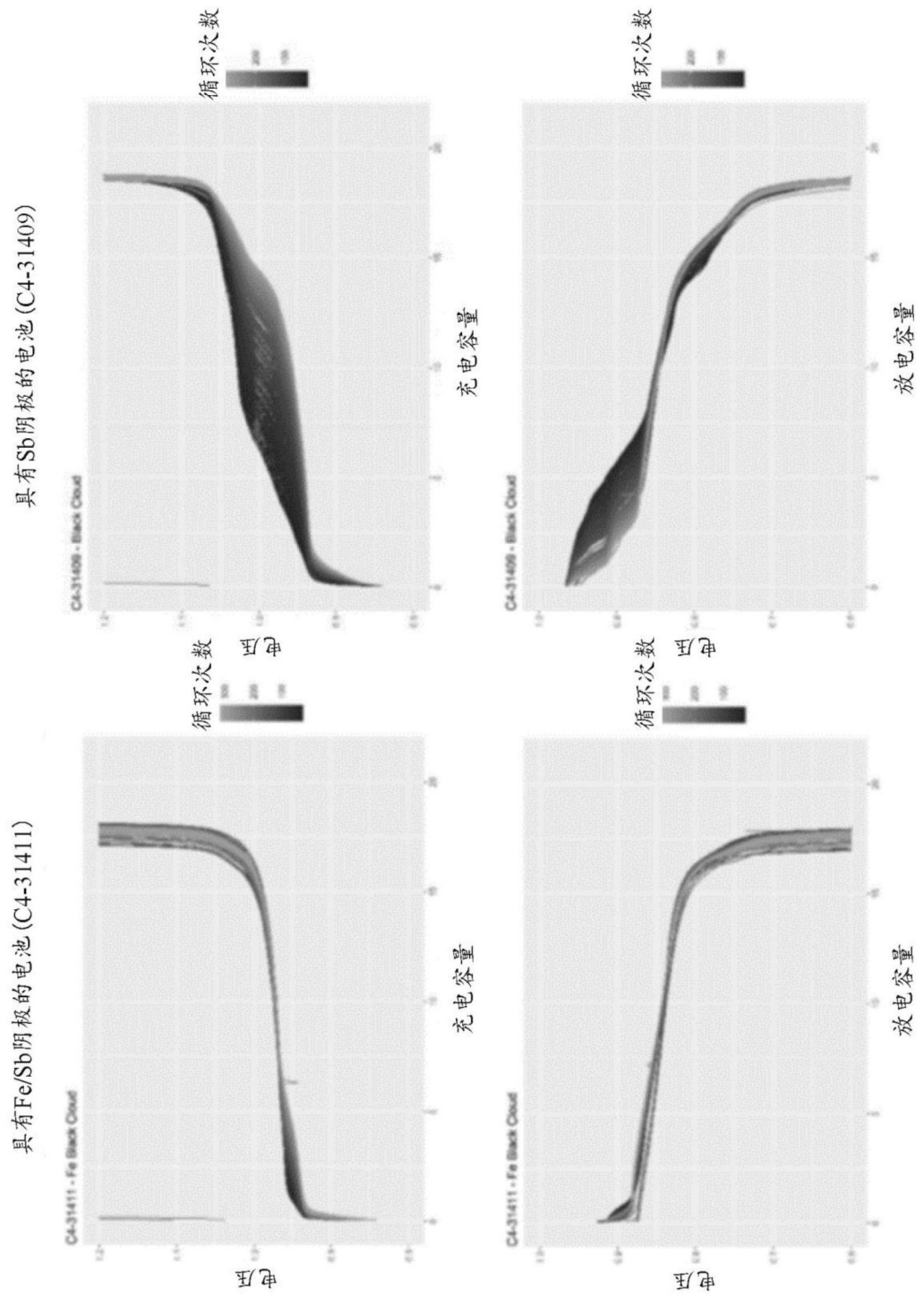


图8



图9A



图9B

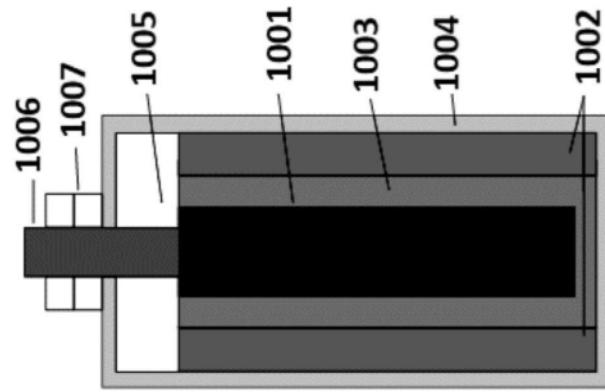


图 10B

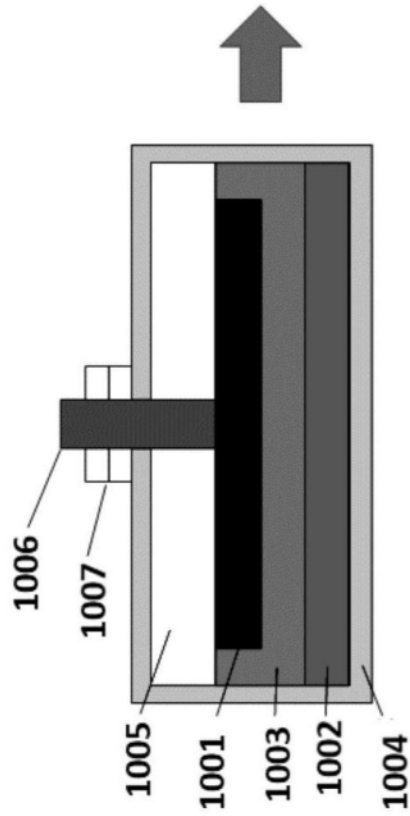


图 10A

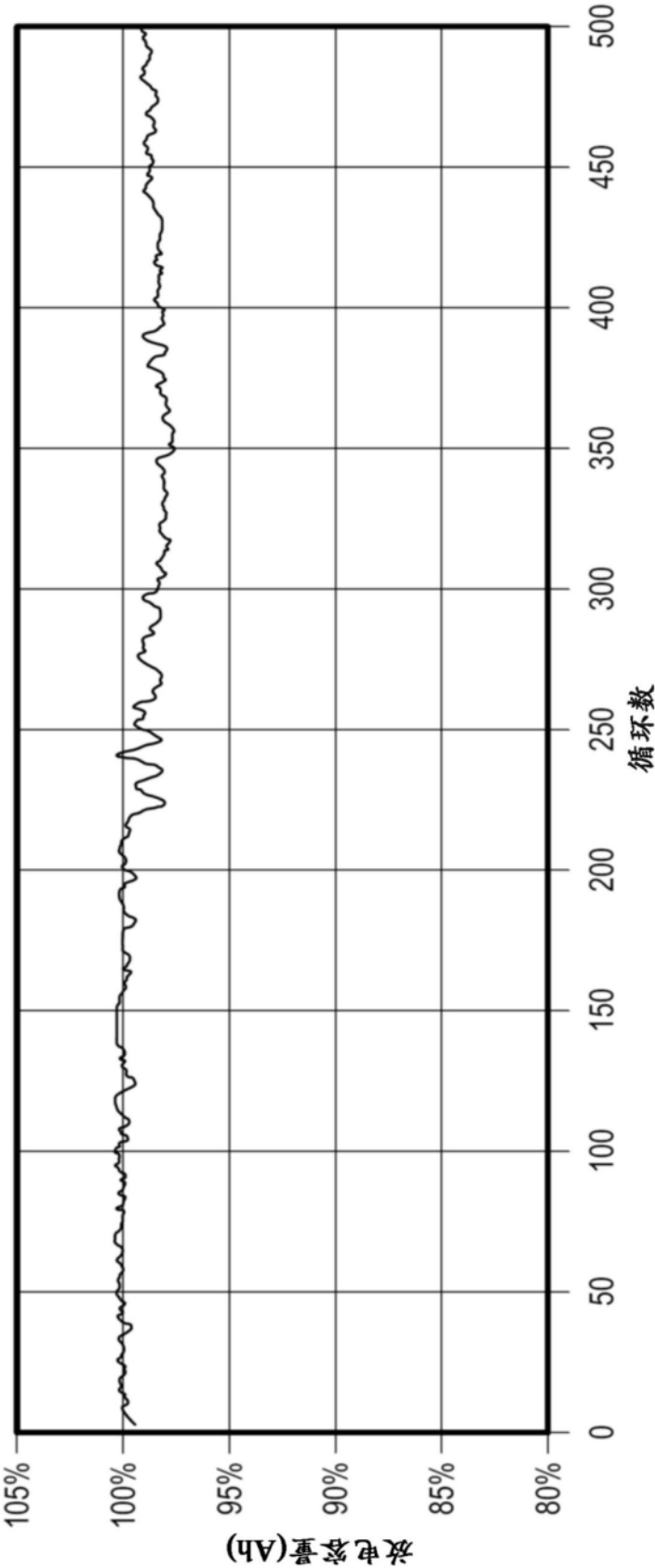


图11

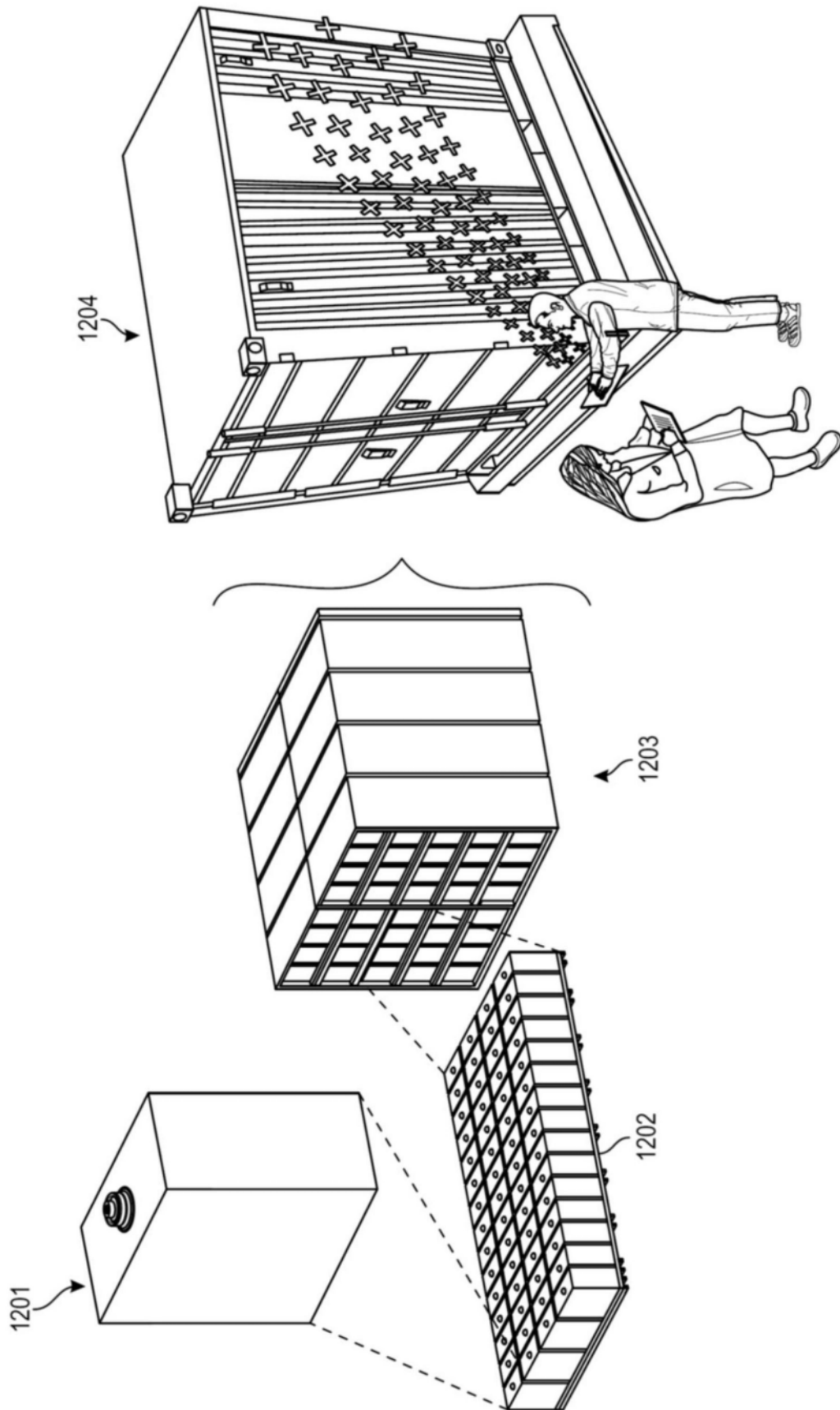


图12

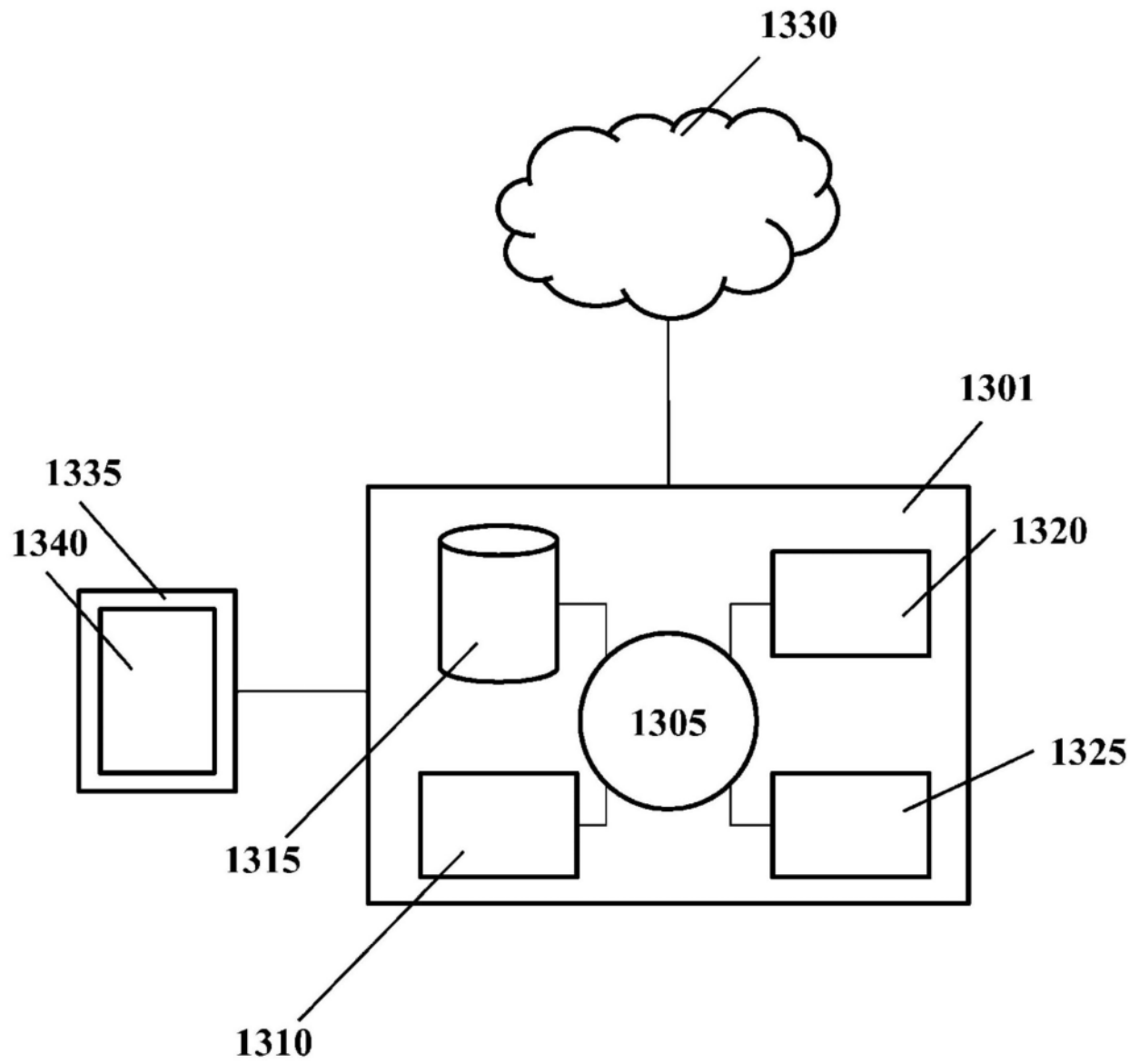


图13