

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024年10月3日 (03.10.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/197800 A1

(51) 国际专利分类号:

H01M 10/0567 (2010.01) **H01G 11/60** (2013.01)
H01M 10/0525 (2010.01)

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/085420

(22) 国际申请日: 2023年3月31日 (31.03.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 宁德新能源科技有限公司 (**NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED**) [CN/CN]; 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路1号, Fujian 352100 (CN)。

(72) 发明人: 王翔 (**WANG, Xiang**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路1号, Fujian 352100 (CN)。 简俊华 (**JIAN, Junhua**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路1号, Fujian 352100 (CN)。 唐超 (**TANG, Chao**); 中国福建省宁德市蕉城区漳湾镇新港路1号, Fujian 352100 (CN)。

(74) 代理人: 北京柏杉松知识产权代理事务所 (普通合伙) (**PATENTSINO IP FIRM**); 中国北京市朝阳区小营北路53号院中源科技大厦3号楼4层, Beijing 100101 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(54) **Title:** ELECTROCHEMICAL APPARATUS AND ELECTRONIC APPARATUS

(54) 发明名称: 一种电化学装置和电子装置

(57) **Abstract:** An electrochemical apparatus and an electronic apparatus. The electrochemical apparatus comprises an electrolyte, a negative electrode sheet, a separator and a positive electrode sheet; the electrolyte comprises a compound represented by formula (I) and a polymerized monomer, on the basis of the mass of the electrolyte, the mass percent content of the compound represented by formula (I) being $m\%$, $0.01 \leq m \leq 6$, the mass percent content of the polymerized monomer being $n\%$, and $0.5 \leq n \leq 10$; the negative electrode sheet comprises a negative electrode current collector and a negative electrode material layer arranged on at least one surface of the negative electrode current collector, the negative electrode material layer comprising a silicon-containing negative electrode active material.

(57) 摘要: 一种电化学装置和电子装置, 其中, 电化学装置包括电解液、负极极片、隔膜和正极极片; 电解液包括式(I)化合物和聚合单体, 基于电解液的质量, 式(I)化合物的质量百分含量为 $m\%$, $0.01 \leq m \leq 6$, 聚合单体的质量百分含量为 $n\%$, $0.5 \leq n \leq 10$; 负极极片包括负极集流体以及设置于负极集流体至少一个表面上的负极材料层, 负极材料层包括含硅负极活性材料。



WO 2024/197800 A1

一种电化学装置和电子装置

技术领域

本申请涉及电化学技术领域，特别是涉及一种电化学装置和电子装置。

5 背景技术

随着电化学装置（如锂离子电池）在手机、笔记本电脑等领域的广泛应用，目前电子数码产品对锂离子电池的能量密度要求越来越高，而现有的负极活性材料石墨很难满足能量密度要求。硅材料的理论克容量为 4200mAh/g，远高于石墨材料的理论克容量 372mAh/g，但硅材料在充放电过程中体积膨胀大，电解液在表面持续消耗分解，造成循环容量衰减严重，副产物累积造成充电时严重的锂析出，使硅材料目前在锂离子电池中难以商用化。

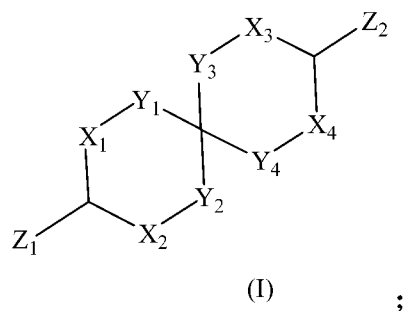
10 对于上述问题，目前采用较多的办法是对硅材料进行结构改性，或电解液中加入氟代碳酸乙烯酯形成界面保护。这些方法在一定程度上提高了硅负极的循环稳定性，但改善效果和稳定性有限，并且对充电倍率窗口的提高基本无帮助。因此，如何在提高含硅负极锂离子电池的循环性能的基础上，提高其充电倍率窗口，是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

15 发明内容

本申请提供了一种电化学装置和电子装置，以提高电化学装置的循环性能和充电倍率窗口。

20 需要说明的是，本申请的发明内容中，以锂离子电池作为电化学装置的例子来解释本申请，但是本申请的电化学装置并不仅限于锂离子电池。具体技术方案如下：

本申请第一方面提供了一种电化学装置，包括电解液、负极极片、隔膜和正极极片；电解液包括式(I)化合物和聚合单体：



25 其中，X₁、X₂、X₃、X₄、Y₁、Y₂、Y₃和Y₄各自独立地选自O、C₁至C₃碳链或单键，X₁和Y₁不同时为O或单键，X₂和Y₂不同时为O或单键，X₃和Y₃不同时为O或单键，X₄和Y₄不同时为O或单键，X₁、X₂、Y₁和Y₂中的至少一个为O，X₃、X₄、Y₃和Y₄中

的至少一个为 O；Z₁ 和 Z₂ 各自独立地选自卤素或末端具有聚合功能基团的 C₁ 至 C₄ 碳链，聚合功能基团包括羧基、羟基、醛基、酰氧基、氨基、烯基或炔基；聚合单体包括丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、乙烯、丙烯、醋酸乙烯酯、二氟乙烯、四氟乙烯、六氟丙烯、丙烯腈、乙二醇、乙二醇双丙烯酸酯、二乙二醇双丙烯酸酯、环氧乙烷、二氧戊烷、2,6-二甲基苯酚、3,4-乙烯二氧噻吩或 4,6-二氨基-1,3-间二苯酚中的至少一种；基于电解液的质量，式(I)化合物的质量百分含量为 m%，0.01 ≤ m ≤ 6，聚合单体的质量百分含量为 n%，0.5 ≤ n ≤ 10；负极极片包括负极集流体以及设置于负极集流体至少一个表面上的负极材料层，负极材料层包括含硅负极活性材料。通过选用上述种类的式(I)化合物和聚合单体，并且将式(I)化合物的质量百分含量和聚合单体的质量百分含量

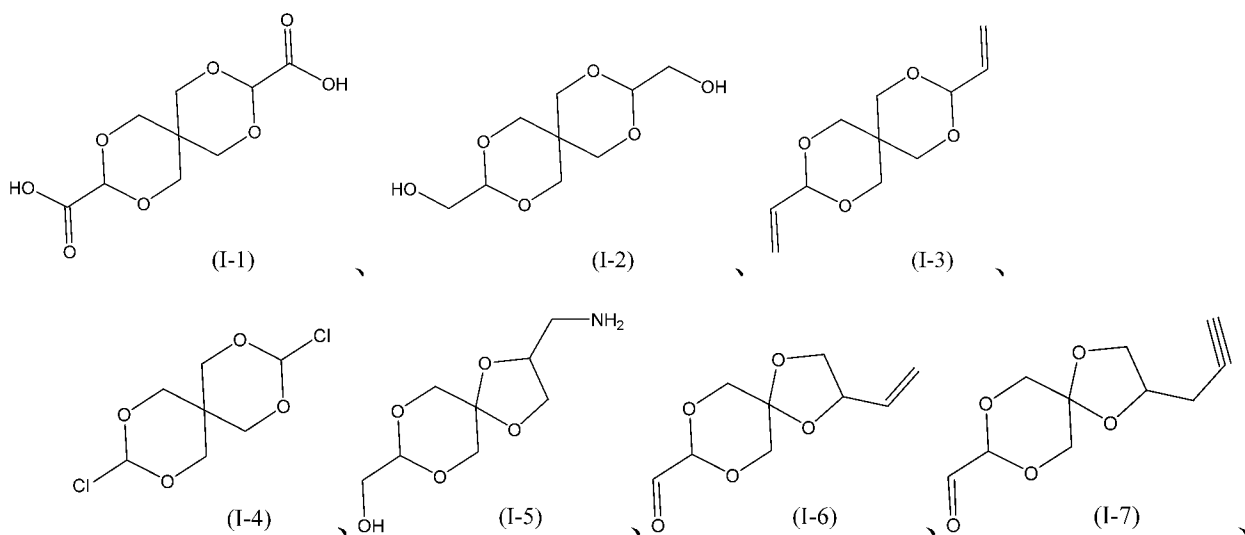
10 调控在上述范围内，式(I)化合物和聚合单体能够经交联聚合，在正极极片和负极极片上产生类似有机分子骨架（COFs）的规则结构，该结构作为 SEI 膜的网状骨架，兼顾刚性和柔性，能够阻隔电解液和负极极片的接触，抑制高电压下电解液中的有机溶剂氧化分解。并且，上述骨架结构结合电解液，使电化学装置具有较低的阻抗，这样，即使含硅负极活性材料在电化学装置充放电过程中发生体积膨胀，电化学装置在大倍率充电条件下依然能够

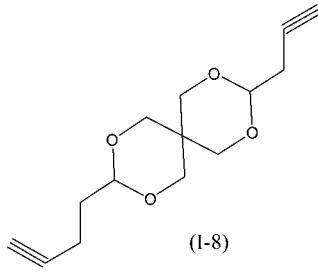
15 改善循环性能。由此，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

优选地，0.05 ≤ m ≤ 4。将式(I)化合物的质量百分含量调控在上述优选范围内，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口更优。

优选地，1 ≤ n ≤ 6。将聚合单体的质量百分含量调控在上述优选范围内，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口更优。

20 例如，式(I)化合物包括以下式(I-1)化合物至式(I-8)化合物中的至少一个：





在本申请的一些实施方案中，式(I)化合物的摩尔质量为 $M_{(I)}$ g/mol，聚合单体的摩尔质量为 $M_{\#}$ g/mol， m 、 n 、 $M_{(I)}$ 和 $M_{\#}$ 之间满足： $2 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 200$ 。优选地， $3 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 30$ 。将 $(n/M_{\#})/(m/M_{(I)})$ 的值调控在上述范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

在本申请的一些实施方案中，负极材料层还包括无机固态电解质，无机固态电解质包括无机氧化物材料或无机硫化物材料中的任一种；基于负极材料层的质量，无机固态电解质的质量百分含量为 $\theta\%$ ， $0.01 \leq \theta \leq 5$ 。负极材料层包括无机固态电解质，且将无机固态电解质在负极材料层中的质量百分含量调控在上述范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

在本申请的一些实施方案中， $0.5 \leq n/\theta \leq 100$ ，将 n/θ 的值调控在上述范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

优选地， $0.1 \leq \theta \leq 5$ 。

优选地， $1 \leq n/\theta \leq 30$ 。

优选地， $0.1 \leq \theta \leq 5$ ， $1 \leq n/\theta \leq 30$ 。

在本申请的一些实施方案中，无机氧化物材料的晶型结构包括 NASICON 型、LISICON 型、钙钛矿型或石榴石型中的至少一种；NASICON 型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{1+x}\text{M}_1\text{D}_1\text{D}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ ，其中， $0.01 \leq x \leq 0.5$ ， M_1 包括 Al、Y、Ga、Cr、In、Fe、Se 或 La 中的至少一种， D_1 包括 Ti、Ge、Ta、Zr、Sn、Fe、V、Hf 中的至少一种；LISICON 型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{14}\text{M}_2(\text{D}_2\text{O}_4)_4$ ，其中， M_2 包括 Zr、Cr、Sn 或 Zn 中的至少一种， D_2 包括 Si、Ge、S 或 P 中的至少一种；钙钛矿型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{3y}\text{M}_3\text{M}_{2/3-y}\text{D}_3\text{O}_3$ ，其中， $0.01 \leq y \leq 0.5$ ， M_3 包括 La、Al、Mg、Fe 或 Ta 中的至少一种， D_3 包括 Ti、Nb、Sr 或 Pr 中的至少一种；石榴石型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_z\text{M}_4\text{D}_4\text{O}_{12}$ ，其中， $6 \leq z \leq 7$ ， M_4 包括 La、Ca、Sr、Ba 或 K 中的至少一种， D_4 包括 Zr、Ta、Nb 或 Hf 中的至少一种；无机硫化物材料包括锂锗磷硫、锂磷硫、锂磷硫氯、锂锡磷硫、锂硅磷硫、锂锗硅磷硫、锂铝磷硫、锂锗硫或锂硅硫中的至少一种。选用上述无机固态电解质，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

5 在本申请的一些实施方案中，电解液还包括引发剂，引发剂包括偶氮二异丁腈、偶氮二异庚腈、偶氮二异丁酸二甲酯或过氧化甲乙酮中的至少一种；基于电解液的质量，引发剂的质量百分含量为 0.001%至 2%。电解液中包括上述种类的引发剂且将引发剂在电解液中的质量百分含量调控在上述范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

10 在本申请的一些实施方案中，电解液还包括含不饱和键的添加剂，含不饱和键的添加剂包括氟代碳酸乙烯酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、1,3-丙烯磺酸内酯、1,3-丙烷磺酸内酯、3-己烯二氰、反丁烯二酸酐或三烯丙基甲氧基硅烷中的至少一种；基于电解液的质量，含不饱和键的添加剂的质量百分含量为 0.01%至 40%。电解液中包括上述种类的含
10 不饱和键的添加剂，且将含不饱和键的添加剂的质量百分含量调控在上述范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

在本申请的一些实施方案中，含硅负极活性材料包括 SiO_w 、硅碳化合物或硅单质中的至少一种， $0.5 \leq w \leq 1.5$ 。

15 在本申请的一些实施方案中，电解液还包括有机溶剂，有机溶剂包括碳酸酯、羧酸酯或醚中的至少一种；碳酸酯包括碳酸二甲酯、碳酸甲乙酯、碳酸二乙酯、碳酸丙烯酯、碳酸乙烯酯、碳酸二丙酯、碳酸甲丙酯、氟代碳酸乙烯酯、二氟代碳酸乙烯酯、五氟丙基碳酸乙烯酯、甲基三氟乙基碳酸酯、三氟甲基碳酸乙烯酯或二(2,2,2-三氟乙基)碳酸酯中的至少一种，羧酸酯包括丙酸丙酯、丙酸乙酯、乙酸乙酯、甲酸乙酯、乙酸甲酯、丙酸甲酯、
20 乙酸丙酯、丁酸丁酯、二氟乙酸乙酯、乙酸二氟乙酯、三氟乙酸乙酯、乙酸三氟乙酯或三氟丙酸甲酯中的至少一种，醚包括 1,3-二氧六环、1,4-二氧六环、1,3-二氧戊环、4-甲基-1,3-二氧戊环、二乙醚、乙二醇二乙醚、二乙二醇二甲醚、三甘醇二甲醚、乙二醇甲酸乙醚、二乙氧基甲烷、1,3-二甲氧基丙烷、1,1,3,3-四乙氧基丙烷醚或 1,1,2,2-四氟乙基-2,2,3,3-四氟丙基醚中的至少一种；基于电解液的质量，碳酸酯的质量百分含量为 20%至 80%，羧酸酯的质量百分含量为 0%至 40%，醚的质量百分含量为 0%至 60%。

25 在本申请的一些实施方案中，电解液还包括锂盐，锂盐包括六氟磷酸锂、四氟硼酸锂、六氟砷酸锂、高氯酸锂、四苯基硼酸锂、甲基磺酸锂、双氟磺酰亚胺锂、三氟甲磺酸锂、双三氟甲磺酰亚胺锂、三(三氟甲基磺酰)甲基锂、六氟硅酸锂、二草酸硼酸锂或二氟草酸硼酸锂中的至少一种；基于电解液的质量，锂盐的质量百分含量为 6%至 20%。

30 本申请第二方面提供了一种电子装置，其包括前述任一实施方案所述的电化学装置。因此，电子装置具有良好的使用性能。

本申请提供了一种电化学装置和电子装置，其中，电化学装置包括电解液、负极极片、

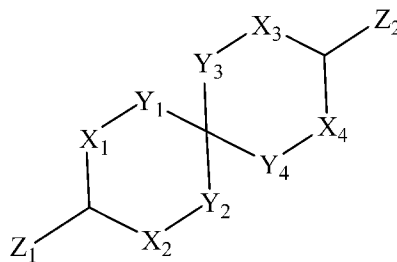
隔膜和正极极片；电解液包括式(I)化合物和聚合单体，基于所述电解液的质量，所述式(I)化合物的质量百分含量为 $m\%$ ， $0.01 \leq m \leq 6$ ，所述聚合单体的质量百分含量为 $n\%$ ， $0.5 \leq n \leq 10$ ；负极极片包括负极集流体以及设置于负极集流体至少一个表面上的负极材料层，负极材料层包括含硅负极活性材料。通过上述设置得到的电化学装置，具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

5 具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案、及优点更加清楚明白，以下举实施例，对本申请进一步详细说明。显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的10 范围。

需要说明的是，本申请的具体实施方式中，以锂离子电池作为电化学装置的例子来解释本申请，但是本申请的电化学装置并不仅限于锂离子电池。具体技术方案如下：

本申请第一方面提供了一种电化学装置，包括电解液、负极极片、隔膜和正极极片；电解液包括式(I)化合物和聚合单体：



(I) ;

其中， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 和 Y_4 各自独立地选自O、 C_1 至 C_3 碳链或单键， X_1 和 Y_1 不同时为O或单键， X_2 和 Y_2 不同时为O或单键， X_3 和 Y_3 不同时为O或单键， X_4 和 Y_4 不同时为O或单键， X_1 、 X_2 、 Y_1 和 Y_2 中的至少一个为O， X_3 、 X_4 、 Y_3 和 Y_4 中的至少一个为O； Z_1 和 Z_2 各自独立地选自卤素或末端具有聚合功能基团的 C_1 至 C_4 碳链，聚合功能基团包括羧基、羟基、醛基、酰氧基、氨基、烯基或炔基；聚合单体包括丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、乙烯、丙烯、醋酸乙烯酯、二氟乙烯、四氟乙烯、六氟丙烯、丙烯腈、乙二醇、乙二醇双丙烯酸酯、二乙二醇双丙烯酸酯、环氧乙烷、二氧戊烷、2,6-二甲基苯酚、3,4-乙烯二氧噻吩或4,6-二氨基-1,3-间二苯酚中的至少一种；基于电解液的质量，式(I)化合物的质量百分含量为 $m\%$ ， $0.01 \leq m \leq 6$ ，聚合单体的质量百分含量为 $n\%$ ， $0.5 \leq n \leq 10$ ；负极极片包括负极集流体以及设置于负极集流体至少一个表面上的负极材料层，负极材料层包括含硅负极活性材料。例如， m 为0.01、

0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5、5.5、6 或上述任两个数值范围间的任一数值。n 为 0.5、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 或上述任两个数值范围间的任一数值。

5 发明人经大量研究发现，式(I)化合物和聚合单体具有交联聚合的功能，可以形成二维网状或三维笼状有机聚合物，或者聚合单体发生聚合形成有机聚合物的主链段及功能链段的单体和低聚物，附着在含硅负极活性材料表面。式(I)化合物上环醚键中的氧，一方面容易和含硅负极活性材料表面的羟基形成氢键，亲和含硅负极活性材料界面，在微量水、HF（可以是锂盐分解产生）存在的情况下起到捕水缚酸（HF）的功能，维持固体电解质界面（SEI）膜的稳定性；另一方面正极极片中的正极活性材料表面有残碱（如 LiOH、Li₂CO₃）存在时，部分环醚结构可以发生开环反应，促进式(I)化合物和聚合单体的聚合效果，电化学装置充放电过程中能够抑制正极活性材料中的过渡金属溶出。式(I)化合物的质量百分含量小于 0.01%，和/或聚合单体的质量百分含量小于 0.5%，有机聚合物生成量不足，容易造成无机固态电解质与负极活性材料颗粒接触不良，从而使负极极片阻抗增加、电化学装置的极化增大；式(I)化合物的质量百分含量大于 6%，和/或聚合单体的质量百分含量大于 10%，有机聚合物生成量过多，容易造成锂离子脱溶剂化能垒上升，从而负极极片阻抗也会过大、充电析锂，此外还会造成残留单体较多，在充放电过程中持续反应消耗锂离子、电化学装置容量衰减较快。通过选用上述种类的式(I)化合物和聚合单体，并且将式(I)化合物的质量百分含量和聚合单体的质量百分含量调控在上述范围内，式(I)化合物和聚合单体能够经交联聚合，在正极极片和负极极片上产生类似共价有机分子骨架（Covalent organic frameworks, COFs）的规则结构，该结构作为 SEI 膜的网状骨架，兼顾刚性和柔性，能够阻隔电解液和负极极片的接触，抑制高电压（大于或等于 4.25V）下电解液中的有机溶剂氧化分解。并且，上述骨架结构结合电解液，使电化学装置具有较低的阻抗，这样，即使含硅负极活性材料在电化学装置充放电过程中发生体积膨胀，电化学装置在大倍率（大于或等于 0.5C）充电条件下依然能够改善循环性能。由此，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

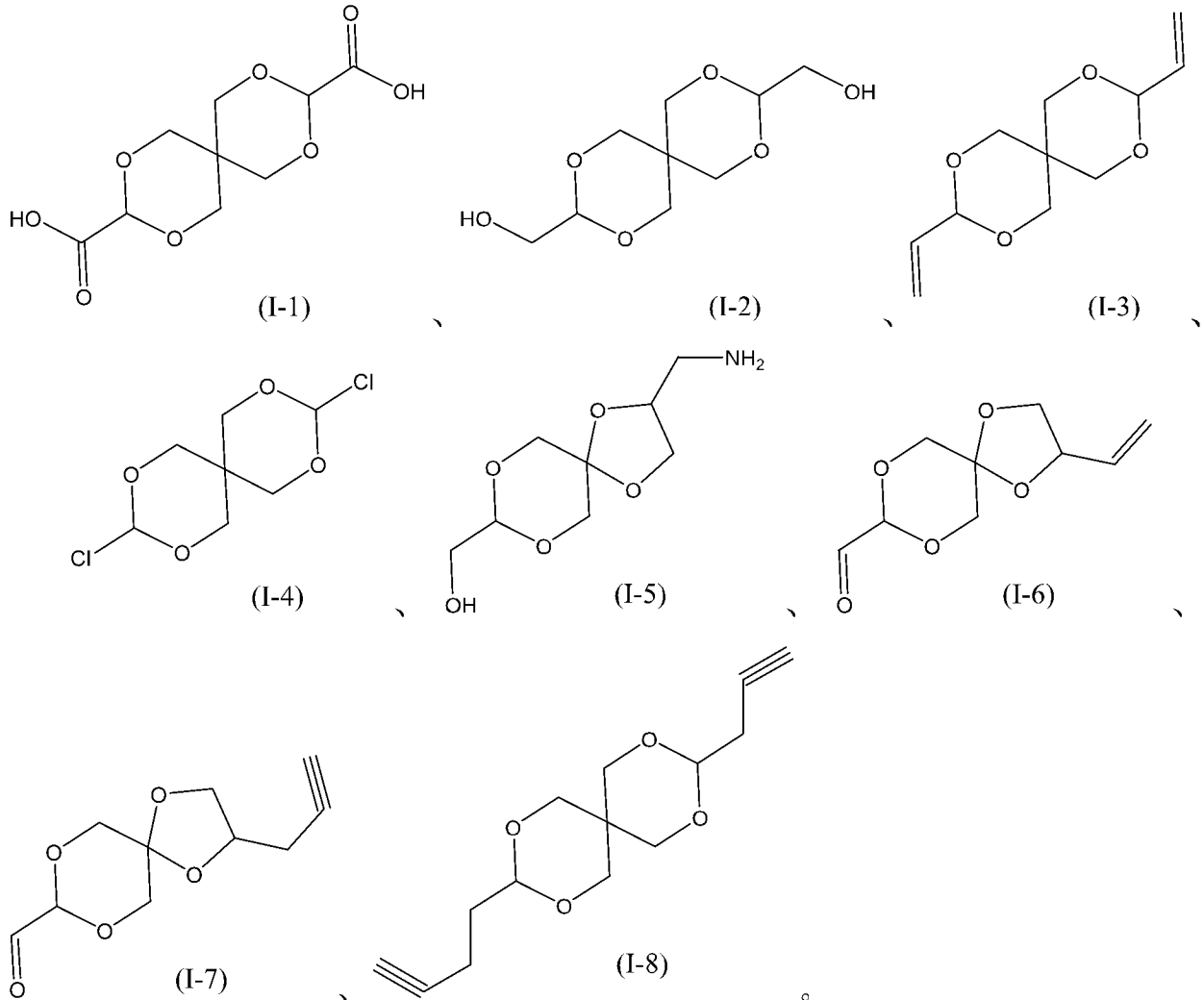
25 本领域技术人员应当理解，上述“设置于负极集流体至少一个表面上的负极材料层”是指负极材料层可以设置于负极集流体的一个表面上，也可以设置于负极集流体的两个表面上，上述的“表面”为负极集流体表面的全部区域或部分区域。

30 优选地， $0.05 \leq m \leq 4$ 。例如，m 为 0.05、0.5、1、1.5、2、2.5、3 或上述任两个数值范围间的任一数值。将式(I)化合物的质量百分含量调控在上述优选范围内，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口更优。

优选地， $1 \leq n \leq 6$ 。例如，n 为 1、2、3、4、5、6 或上述任两个数值范围间的任一数

值。将聚合单体的质量百分含量调控在上述优选范围内，电化学装置的循环性能和充电倍率窗口更优。

例如，式(I)化合物包括以下式(I-1)化合物至式(I-8)化合物中的至少一个：



5

10

15

在本申请的一些实施方案中，式(I)化合物的摩尔质量为 $M_{(I)}$ g/mol，聚合单体的摩尔质量为 $M_{\#}$ g/mol， m 、 n 、 $M_{(I)}$ 和 $M_{\#}$ 之间满足： $2 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 200$ 。优选地， $3 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 30$ 。例如， $(n/M_{\#})/(m/M_{(I)})$ 的值为 2、3、10、20、30、50、100、150、200 或上述任两个数值范围间的任一数值。将 $(n/M_{\#})/(m/M_{(I)})$ 的值调控在上述范围内，式(I)化合物和聚合单体可以实现定向控制有机聚合物重复单元构成、设计有机聚合物类型，式(I)化合物和聚合单体具有交联聚合所形成的聚合物结构，具有更合适的刚性和柔性，有利于阻隔电解液和负极极片的接触，抑制高电压下电解液中的有机溶剂氧化分解，并且，有利于降低电化学装置的阻抗，从而使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

需要说明的是，电解液中选用两种以上聚合单体和/或两种以上式(I)化合物时， $(n/M_{\#})/(m/M_{(I)})$ 也可以理解为 $\sum(n/M_{\#})/\sum(m/M_{(I)})$ 。

在本申请的一些实施方案中，负极材料层还包括无机固态电解质，无机固态电解质包括无机氧化物材料或无机硫化物材料中的任一种；基于负极材料层的质量，无机固态电解质的质量百分含量为 $\theta\%$ ， $0.01 \leq \theta \leq 5$ 。例如， θ 的值为 0.01、0.1、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 或上述任两个数值范围间的任一数值。负极材料层包括无机固态电解质，
5 含硅负极活性材料被无机固态电解质部分或全部包覆，无机固态电解质具有良好的电导率和机械稳定性，可以提高负极极片的充电性能和循环稳定性。无机固态电解质包覆的含硅负极活性材料与本申请包含有式(I)化合物和聚合单体的电解液协同作用，电解液原位聚合生成负极 SEI 膜，与无机固态电解质相辅相成，提升了电解液与负极极片之间的界面相容性，能够改善高能量密度的硅基负极的循环性能和倍率性能。将无机固态电解质在负极材
10 料层中的质量百分含量调控在上述范围内，与式(I)化合物和聚合单体的含量相匹配，能够稳定负极极片与电解液的界面，将硅基负极的电化学装置的充电倍率窗口拓宽至 0.5C 及以上，从而使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到提高。

在本申请的一些实施方案中， $0.5 \leq n/\theta \leq 100$ 。例如， n/θ 的值为 0.5、1、5、10、15、20、25、30、40、50、60、70、80、90、100 或上述任两个数值范围间的任一数值。无机
15 固态电解质具有快离子导体的功能，将 n/θ 的值调控在上述范围内，无机固态电解质与含硅负极活性材料之间的接触界面致密性较好，聚合单体原位聚合生成的 SEI 膜对含硅负极活性材料具有良好的保护效果，使含硅负极活性材料在电化学装置充放电循环过程中破裂、分解的可能性减小，并且，电解液具有合适的聚合度，聚合单体发生聚合后剩余有足够的液态组分，使电化学装置具有较低的阻抗。由此，电化学装置的循环性能和充电倍率
20 窗口得到提高。

优选地， $0.1 \leq \theta \leq 5$ 。例如， θ 的值为 0.1、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 或上述任两个数值范围间的任一数值。将无机固态电解质在负极材料层中的质量百分含量
25 调控在上述优选范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得到进一步提高。

优选地， $1 \leq n/\theta \leq 30$ 。例如， n/θ 的值为 1、5、10、15、20、25、30 或上述任两个数值范围间的任一数值。将 n/θ 的值调控在上述优选范围内，有利于使电化学装置的循环性能和
30 充电倍率窗口得到进一步提高。

优选地， $0.1 \leq \theta \leq 5$ ， $1 \leq n/\theta \leq 30$ 。将无机固态电解质在负极材料层中的质量百分含量和 n/θ 的值同时调控在上述优选范围内，有利于使电化学装置的循环性能和充电倍率窗口得
30 到进一步提高。

在本申请的一些实施方案中，无机氧化物材料的晶型结构包括 NASICON 型、LISICON

型、钙钛矿型或石榴石型中的至少一种；NASICON型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{1+x}\text{M}_1\text{D}_{1-2x}(\text{PO}_4)_3$ ，其中， $0.01 \leq x \leq 0.5$ ，M1包括Al、Y、Ga、Cr、In、Fe、Se或La中的至少一种，D1包括Ti、Ge、Ta、Zr、Sn、Fe、V、Hf中的至少一种；LISICON型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{14}\text{M}_2(\text{D}_2\text{O}_4)_4$ ，其中，M2包括Zr、Cr、Sn或Zn中的至少一种，D2包括Si、Ge、S或P中的至少一种；钙钛矿型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_{3y}\text{M}_3\text{D}_{2/3-y}\text{D}_3\text{O}_3$ ，其中， $0.01 \leq y \leq 0.5$ ，M3包括La、Al、Mg、Fe或Ta中的至少一种，D3包括Ti、Nb、Sr或Pr中的至少一种；石榴石型无机氧化物材料的化学式为 $\text{Li}_z\text{M}_4\text{D}_3\text{D}_4\text{O}_{12}$ ，其中， $6 \leq z \leq 7$ ，M4包括La、Ca、Sr、Ba或K中的至少一种，D4包括Zr、Ta、Nb或Hf中的至少一种；无机硫化物材料包括锂锆磷硫、锂磷硫（ $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ ）、锂磷硫氯（ $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ ）、锂锡磷硫、锂硅磷硫、锂锆硅磷硫、锂铝磷硫、锂锆硫或锂硅硫中的至少一种。上述无机固态电解质具有良好的电导率，有利于改善负极极片和电解液的界面阻抗，与本申请提供的电解液相匹配，式(I)化合物和聚合单体聚合形成的有机聚合物可以降低无机固态电解质与含硅负极活性材料接触的可能性，降低负极极片的阻抗，协同提高SEI膜的稳定性以及负极极片和电解液之间的界面相容性，改善电化学装置的循环性能和充电倍率窗口。

在本申请的一些实施方案中，电解液还包括引发剂，引发剂包括偶氮二异丁腈、偶氮二异庚腈、偶氮二异丁酸二甲酯或过氧化甲乙酮中的至少一种；基于电解液的质量，引发剂的质量百分含量为0.001%至2%。例如，引发剂的质量百分含量为0.001%、0.01%、0.05%、0.1%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%或上述任两个数值范围间的任一数值。电解液中包括上述种类的引发剂且将引发剂在电解液中的质量百分含量调控在上述范围内，引发剂能够进一步提升式(I)化合物和聚合单体的聚合效果，以及聚合单体自身的聚合效果，形成有机聚合物更好地附着在含硅负极活性材料表面和和/或无机固态电解质表面，以阻隔电解液和负极极片的接触，抑制高电压下电解液中的有机溶剂氧化分解，降低电化学装置的阻抗，从而提高电化学装置的循环性能和充电倍率窗口。

在本申请的一些实施方案中，式(I)化合物和聚合单体，或者聚合单体还可以在电引发（电流催化聚合反应）、光引发（紫外光催化聚合反应）或热引发（高温催化聚合反应）中的任一种引发方式下经引发发生聚合反应，形成有机聚合物，或者有机聚合物的主链段及功能链段的单体和低聚物，附着在含硅负极活性材料表面、无机固态电解质表面。在本申请中，式(I)化合物和聚合单体交联聚合形成有机聚合物，以及聚合单体发生聚合形成有机聚合物均是在电化学装置制程阶段生成。例如，注液阶段在电解液中加入单体后通过热引发聚合、或化成阶段通过电引发聚合。

在本申请的一些实施方案中，电解液还包括含不饱和键的添加剂，含不饱和键的添加

剂包括氟代碳酸乙烯酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、1,3-丙烯磺酸内酯、1,3-丙烷磺酸内酯、3-己烯二氧、反丁烯二酸酐或三烯丙基甲氧基硅烷中的至少一种；基于电解液的质量，含不饱和键的添加剂的质量百分含量为 0.01%至 40%。例如，含不饱和键的添加剂的质量百分含量为 0.01%、0.05%、1%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%或上述任两个数值范围间的任一数值。电解液中包括上述种类的含不饱和键的添加剂，且将含不饱和键的添加剂的质量百分含量调控在上述范围内，不饱和键的添加剂与聚合单体发生共聚反应，形成的共聚物也具有调节前述有机聚合物物理性质、电化学性质的作用，也能提高共聚物的离子电导率、抗氧化或耐还原窗口，以产生协同效果，能够进一步提高电化学装置的循环性能和充电倍率窗口。

5 在本申请中，上述“不饱和键”是指由碳、氮、氧、硫、磷等元素键连成的双键、三键、环。

在本申请的一些实施方案中，含硅负极活性材料包括 SiO_w 、硅碳化合物或硅单质中的至少一种， $0.5 \leq w \leq 1.5$ ；硅碳化合物包括硅元素、碳元素和氧元素，硅元素、碳元素和氧元素的质量比为 1:1:1 至 6:3:0。选用上述种类的含硅负极活性材料，有利于在提高电化学装置的循环性能和倍率窗口的情况下，提高电化学装置的能量密度。

在本申请的一些实施方案中，电解液还包括有机溶剂，有机溶剂包括碳酸酯、羧酸酯或醚的至少一种；在一种实施方案中，有机溶剂包括碳酸酯；在一种实施方案中，有机溶剂包括羧酸酯；在一种实施方案中，有机溶剂包括醚；在一种实施方案中，有机溶剂包括碳酸酯和羧酸酯；在一种实施方案中，有机溶剂包括碳酸酯和醚；在一种实施方案中，有机溶剂包括羧酸酯和醚；在一种实施方案中，有机溶剂包括碳酸酯、羧酸酯和醚。碳酸酯包括碳酸二甲酯、碳酸甲乙酯、碳酸二乙酯（DEC）、碳酸丙烯酯（也称碳酸亚丙酯，简写PC）、碳酸乙烯酯（EC）、碳酸二丙酯、碳酸甲丙酯、氟代碳酸乙烯酯、二氟代碳酸乙烯酯、五氟丙基碳酸乙烯酯、甲基三氟乙基碳酸酯、三氟甲基碳酸乙烯酯或二(2,2,2-三氟乙基)碳酸酯中的至少一种，羧酸酯包括丙酸丙酯、丙酸乙酯、乙酸乙酯、甲酸乙酯、乙酸甲酯、丙酸甲酯、乙酸丙酯、丁酸丁酯、二氟乙酸乙酯、乙酸二氟乙酯、三氟乙酸乙酯、乙酸三氟乙酯或三氟丙酸甲酯中的至少一种，醚包括1,3-二氧六环、1,4-二氧六环、1,3-二氧戊环、4-甲基-1,3-二氧戊环、二乙醚、乙二醇二乙醚、二乙二醇二甲醚、三甘醇二甲醚、乙二醇甲酸乙醚、二乙氧基甲烷、1,3二甲氧基丙烷、1,1,3,3-四乙氧基丙烷醚或1,1,2,2-四氟乙基-2,2,3,3-四氟丙基醚中的至少一种。基于电解液的质量，碳酸酯的质量百分含量为20%至80%，羧酸酯的质量百分含量为0%至40%，醚的质量百分含量为0%至60%。例如，碳酸酯的质量百分含量为20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%或上述任两个数值范围间

的任一数值，羧酸酯的质量百分含量为0%、10%、20%、30%、40%或上述任两个数值范围间的任一数值，醚的质量百分含量为0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%或上述任两个数值范围间的任一数值。选用上述种类的有机溶剂，且将碳酸酯、羧酸酯和醚在电解液中的质量百分含量调控在上述范围内，有利于使电解液对正极活性材料和负极活性材料具有良好的浸润性，提高锂离子的传输速度，且使电解液具有良好的稳定性，减少电解液分解产气等风险的发生，从而提高电化学装置的循环性能和倍率性能。

在本申请的一些实施方案中，电解液还包括锂盐，锂盐包括六氟磷酸锂 (LiPF_6)、四氟硼酸锂 (LiBF_4)、六氟砷酸锂 (LiAsF_6)、高氯酸锂 (LiClO_4)、四苯基硼酸锂 ($\text{LiB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$)、甲基磺酸锂 (LiCH_3SO_3)、双氟磺酰亚胺锂 (LiFSI)、三氟甲磺酸锂 ($\text{LiCF}_3\text{SO}_3(\text{LiTA})$)、双三氟甲磺酰亚胺锂 ($\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2(\text{LiTFSI})$)、三(三氟甲基磺酰)甲基锂 ($\text{LiC}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_3$)、六氟硅酸锂 (LiSiF_6)、二草酸硼酸锂 (LiBOB) 或二氟草酸硼酸锂 (LiDFOB) 中的至少一种；基于电解液的质量，锂盐的质量百分含量为 6%至 20%。例如，锂盐的质量百分含量为 6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%或上述任两个数值范围间的任一数值。选用上述种类的锂盐且将其在电解液中的质量百分含量调控在上述范围内，有利于加快锂离子的传输，提升电化学装置的循环性能。

本申请对负极集流体没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，负极集流体可以包含铜箔、铜合金箔、镍箔、不锈钢箔、钛箔、泡沫镍或泡沫铜等。本申请的负极活性材料层包含负极活性材料。在本申请中，对负极集流体、负极活性材料层的厚度没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，负极集流体的厚度为 $6\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ ，负极活性材料层的厚度为 $30\mu\text{m}$ 至 $130\mu\text{m}$ 。任选地，负极活性材料层还可以包括导电剂、稳定剂、粘结剂中的至少一种。本申请对负极活性材料层中的导电剂、稳定剂和粘结剂的种类没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。本申请对负极活性材料层中负极活性材料、导电剂、稳定剂和粘结剂的质量比没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，负极活性材料层中负极活性材料、导电剂、粘结剂和稳定剂的质量比为 $(75\sim 95):(0.01\sim 8):(0.01\sim 20):(0.01\sim 10)$ 。

本申请对正极极片没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，正极极片包含正极集流体和正极活性材料层。本申请对正极集流体没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，正极集流体可以包含铝箔、铝合金箔或复合集流体等。本申请的正极活性材料层包含正极活性材料。本申请对正极活性材料的种类没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，正极活性材料可以包含镍钴锰酸锂 (NCM811、NCM622、NCM523、NCM111、Ni88)、镍钴铝酸锂、磷酸铁锂、富锂锰基材料、钴酸锂 (LiCoO_2)、

锰酸锂、磷酸锰铁锂或钛酸锂等中的至少一种。在本申请中，正极活性材料还可以包含非金属元素，例如非金属元素包括氟、磷、硼、氯、硅或硫中的至少一种，这些元素能进一步提高正极活性材料的稳定性。在本申请中，对正极集流体和正极活性材料层的厚度没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，正极集流体的厚度为 $5\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$ ，优选为 $6\mu\text{m}$ 至 $18\mu\text{m}$ 。单面正极活性材料层的厚度为 $30\mu\text{m}$ 至 $120\mu\text{m}$ 。在本申请中，正极活性材料层可以设置于正极集流体厚度方向上的一个表面上，也可以设置于正极集流体厚度方向上的两个表面上。任选地，正极活性材料层还可以包括导电剂和粘结剂。本申请对正极活性材料层中的导电剂和粘结剂的种类没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。本申请对正极活性材料层中正极活性材料、导电剂、粘结剂的质量比没有特别限制，本领域技术人员可以根据实际需要选择，只要能够实现本申请目的即可。例如，正极活性材料层中正极活性材料、导电剂和粘结剂的质量比为(97.5~97.9):(0.9~1.7):(1.0~2.0)。

本申请对隔膜没有特别限制，只要能够实现本申请目的即可。例如，隔膜的材料可以包括但不限于聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP) 为主的聚烯烃 (PO)、聚酯 (例如聚对苯二甲酸二乙酯 (PET))、纤维素、聚酰亚胺 (PI)、聚酰胺 (PA)、氨纶或芳纶中的至少一种；隔膜的类型可以包括但不限于织造膜、非织造膜 (无纺布)、微孔膜、复合膜、隔膜纸、碾压膜或纺丝膜中的至少一种。例如，隔膜可以包括基材层和表面处理层。基材层可以为具有多孔结构的无纺布、膜或复合膜，基材层的材料可以包括聚乙烯、聚丙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯或聚酰亚胺等中的至少一种。任选地，可以使用聚丙烯多孔膜、聚乙烯多孔膜、聚丙烯无纺布、聚乙烯无纺布或聚丙烯-聚乙烯-聚丙烯多孔复合膜。任选地，基材层的至少一个表面上设置有表面处理层，表面处理层可以是聚合物层或无机物层，也可以是混合聚合物与无机物所形成的层。例如，无机物层包括无机颗粒和粘结剂，所述无机颗粒没有特别限制，例如可以选自氧化铝、氧化硅、氧化镁、氧化钛、二氧化铅、氧化锡、二氧化铈、氧化镍、氧化锌、氧化钙、氧化锆、氧化钇、碳化硅、勃姆石、氢氧化铝、氢氧化镁、氢氧化钙或硫酸钡等中的至少一种。所述粘结剂没有特别限制，例如可以选自聚偏氟乙烯、偏氟乙烯-六氟丙烯的共聚物、聚酰胺、聚丙烯腈、聚丙烯酸酯、聚丙烯酸、聚丙烯酸盐、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙烯醚、聚甲基丙烯酸甲酯、聚四氟乙烯或聚六氟丙烯中的至少一种。聚合物层中包含聚合物，聚合物的材料包括聚酰胺、聚丙烯腈、丙烯酸酯聚合物、聚丙烯酸、聚丙烯酸盐、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙烯醚、聚偏氟乙烯或聚(偏氟乙烯-六氟丙烯)等中的至少一种。

本申请的电化学装置还可以包括包装袋，本申请对包装袋没有特别限制，可以为本领域公知的包装袋，只要能够实现本申请目的即可。例如，铝塑膜或钢壳。

本申请对电化学装置的种类没有特别限制，其可以包括发生电化学反应的任何装置。例如，电化学装置可以包括但不限于：锂金属二次电池、锂离子二次电池（锂离子电池）、钠离子二次电池（钠离子电池）、锂聚合物二次电池、锂离子聚合物二次电池。

5 本申请对电化学装置的制备方法没有特别限制，可以选用本领域公知的制备方法，只要能够实现本申请目的即可。例如，电化学装置的制备方法包括但不限于如下步骤：将正极极片、隔膜和负极极片按顺序堆叠，并根据需要将其卷绕、折叠等操作得到卷绕结构的电极组件，将电极组件放入包装袋内，将电解液注入包装袋并封口，得到电化学装置；或者，将正极极片、隔膜和负极极片按顺序堆叠，然后将整个叠片结构的四个角固定好得到叠片结构的电极组件，将电极组件放入包装袋内，将电解液注入包装袋并封口，得到电化
10 学装置。

本申请第二方面提供了一种电子装置，其包括前述任一实施方案所述的电化学装置。因此，电子装置具有良好的使用性能。

本申请的电子装置没有特别限制，其可以包括但不限于：笔记本电脑、笔输入型计算机、移动电脑、电子书播放器、便携式电话、便携式传真机、便携式复印机、便携式打印机、头戴式立体声耳机、录像机、液晶电视、手提式清洁器、便携 CD 机、迷你光盘、收发机、电子记事本、计算器、存储卡、便携式录音机、收音机、备用电源、电机、汽车、摩托车、助力自行车、自行车、照明器具、玩具、游戏机、钟表、电动工具、闪光灯、照相机、家庭用大型蓄电池和锂离子电容器等。

实施例

20 以下，举出实施例及对比例来对本申请的实施方式进行更具体地说明。各种的试验及评价按照下述的方法进行。

测试方法和设备：

无机固态电解质、电解液成分及含量测试：

25 将锂离子电池（荷电状态为0%，工作电压2.5V）拆解得到负极极片，用碳酸二甲酯（DMC）清洗负极极片后，采用X射线衍射（XRD）测试负极极片表面的负极材料层中无机固态电解质的结构类型，扫描电子显微镜-能谱（SEM-EDS）测试无机固态电解质的组成。

将锂离子电池（荷电状态为0%，工作电压2.5V）拆解得到电解液，采用气相色谱质谱联用仪（GCMS）测试电解液中有有机溶剂、式（I）化合物、聚合单体、引发剂、不饱和键的添加剂的质量百分含量，采用离子色谱-质谱联用测试锂盐的质量百分含量。
30

不同充电倍率的循环圈数测试：

将锂离子电池置于 25℃ 常温环境中，静置 30 分钟，分别以 0.2C、0.5C、1C 恒流充电至电压为 4.25V，恒压充电至 0.05C，再以 0.5C 恒流放电至 2.5V，按照上述流程进行充放电循环。记录首次放电容量、每圈循环后的放电容量、累计循环圈数分别为 C1、C1'、ε，并利用如下公式计算循环容量保持率： $\eta=(C1'/C1)\times 100\%$ ，当 $\eta=70\%$ 时，取当前累计循环圈数 ε 计为循环寿命。以循环圈数评价锂离子电池的循环性能，当循环圈数越大，则循环性能越好，反之，则循环性能越差。

实施例 1-1

<电解液的制备>

在含水量小于 10ppm 的氩气气氛手套箱中，将有机溶剂按照 EC:PC:DEC=1:2:7 的质量含量比例混合均匀后，加入锂盐 LiPF₆、LiFSI 溶解并混合均匀，得到基础电解液。在基础电解液中加入式(I)化合物式(I-4)、聚合单体环氧乙烷和乙二醇双丙烯酸酯，混合均匀后得到电解液。

基于电解液的质量，LiPF₆ 的质量百分含量为 8%，LiFSI 的质量百分含量为 6%，式(I)化合物的质量百分含量 m%=0.01%，聚合单体的质量百分含量 n%=0.52%（环氧乙烷和乙二醇双丙烯酸酯分别为 0.35%和 0.17%），其余为有机溶剂，有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

<负极极片的制备>

将负极活性材料 SiO₂、导电剂导电炭黑（Super P）、粘结剂丁苯橡胶（SBR，固含量 45wt%）、稳定剂羧甲基纤维素钠（CMC-Na，重均分子量约 400000）按照质量比 86:2:2:10 进行混合，然后加入去离子水作为溶剂，在真空搅拌机作用下搅拌至固含量为 53wt%且体系均匀的负极浆料。将负极浆料均匀涂覆在厚度为 8μm 的负极集流体铜箔的一个表面上，85℃ 条件下烘干，得到单面涂布负极活性材料层（厚度 130μm）的负极极片。之后，在该铜箔的另一个表面上重复以上步骤，得到双面涂布负极活性材料层的负极极片。经冷压，裁片，分切后，在 120℃ 的真空条件下干燥 12h 得到规格为 76mm×851mm 的负极极片待用。

<正极极片的制备>

将正极活性材料 Ni88（Li[Ni_{0.88}Co_{0.02}Mn_{0.1}]O₂）、导电剂导电炭黑（Super P）、粘结剂聚偏二氟乙烯（PVDF）按照质量比 97:2:1 进行混合，加入 N-甲基吡咯烷酮（NMP）作为溶剂，在真空搅拌机作用下搅拌至固含量为 75wt%且体系均匀的正极浆料。将正极浆料均匀涂覆在厚度为 10μm 的正极集流体铝箔的一个表面上，85℃ 条件下干燥 4h，得到单面涂布正极活性材料层（厚度 110μm）的正极极片。之后，在该铝箔的另一个表面上重复以上步骤，即得到双面涂布正极活性材料层的正极极片。经冷压，裁片，分切后，在 85℃ 的真

空条件下干燥 4h 得到规格为 74mm×867mm 正极极片待用。

<隔膜>

采用厚度为 7 μ m 的聚乙烯薄膜。

<锂离子电池的制备>

- 5 将上述制备得到的负极极片、隔膜以及正极极片按顺序堆叠卷绕得到卷绕结构的电极组件。将电极组件置于铝塑膜包装袋中，干燥后注入电解液，经过真空封装、高温静置、化成、脱气、切边等工序得到锂离子电池。高温静置温度为 60 $^{\circ}$ C，静置时间为 14h。化成上限电压为 4.15V，化成温度为 70 $^{\circ}$ C，化成静置时间为 2h。

实施例 1-2 至实施例 1-7

- 10 除了按照表 1 调整相关制备参数以外，其余与实施例 1-1 相同。

实施例 1-2 至实施例 1-7，式(I)化合物的质量百分含量发生变化时，有机溶剂的质量含量随之发生变化，其余组分的质量百分含量不变，有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

实施例 1-8 至实施例 1-13

- 15 除了按照表 1 调整相关制备参数以外，其余与实施例 1-4 相同。

实施例 1-14 至实施例 1-20

除了按照表 1 调整相关制备参数以外，其余与实施例 1-8 相同。

- 20 实施例 1-14 至实施例 1-20 中，聚合单体的质量百分含量发生变化时，有机溶剂的质量含量随之发生变化，其余组分的质量百分含量不变，有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

实施例 1-21 至实施例 1-25

除了按照表 1 调整相关制备参数以外，其余与实施例 1-4 相同。

- 25 实施例 1-21 至实施例 1-25 中，式(I)化合物的质量百分含量和/或聚合单体的质量百分含量发生变化时，有机溶剂的质量含量随之发生变化，其余组分的质量百分含量不变，有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

实施例 2-1

<负极极片的制备>

- 30 将负极活性材料 SiO₂、无机固态电解质 Li₇La₃Zr₂O₁₂（石榴石型无机氧化物材料）、导电剂导电炭黑（Super P）、粘结剂丁苯橡胶（SBR，固含量 45wt%）、稳定剂羧甲基纤维素钠（CMC-Na，重均分子量约 400000）按照质量比 85:1:2:2:10 进行混合，然后加入去离子水作为溶剂，在真空搅拌机作用下搅拌至固含量为 53wt%且体系均匀的负极浆料。将负极

浆料均匀涂覆在厚度为 $8\mu\text{m}$ 的负极集流体铜箔的一个表面上, 85°C 条件下烘干, 得到单面涂布负极活性材料层 (厚度 $130\mu\text{m}$) 的负极极片。之后, 在该铜箔的另一个表面上重复以上步骤, 得到双面涂布负极活性材料层的负极极片。经冷压, 裁片, 分切后, 在 120°C 的真空条件下干燥 12h 得到规格为 $76\text{mm}\times 851\text{mm}$ 的负极极片待用。

5 其余与实施例 1-19 相同。

实施例 2-2 至实施例 2-7

除了按照表 2 调整相关制备参数以外, 其余与实施例 2-1 相同。

10 实施例 2-2 至实施例 2-7 中, 无机固态电解质的质量百分含量 θ 发生变化时, 负极活性材料的质量百分含量随之变化, 其余组分含量不变, 负极活性材料、无机固态电解质、导电剂、粘结剂和稳定剂的质量百分含量之和为 100%; 聚合单体的质量百分含量发生变化时, 有机溶剂的质量含量随之发生变化, 其余组分的质量百分含量不变, 有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

实施例 2-8 至实施例 2-13

除了按照表 2 调整相关制备参数以外, 其余与实施例 2-1 相同。

15 实施例 2-14

<电解液的制备>与实施例 1-3 相同。

其余除了在<负极极片的制备>中, 将 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ 替换为 $\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$ 以外, 与实施例 2-1 相同。

实施例 2-15

20 除了在<电解液的制备>中, 按照表 2 调整聚合单体的质量百分含量 $n\%$, 有机溶剂的质量含量随之发生变化以外, 其余与实施例 2-14 相同。

实施例 3-1

25 除了在<电解液的制备>中还加入表3含量的引发剂偶氮二异丁腈, 有机溶剂的质量百分含量随之减少, 式 (I) 化合物、锂盐、聚合单体的质量百分含量不变以外, 其余与实施例2-1相同。

实施例 3-2 至实施例 3-6

除了按照表3调整引发剂的质量百分含量 $y\%$, 有机溶剂的质量百分含量随之减少, 式 (I) 化合物、锂盐、聚合单体的质量百分含量不变以外, 其余与实施例3-1相同。

实施例3-7

30 除了按照表3调整相关制备参数以外, 其余与实施例3-5相同。

实施例 3-8

除了在<电解液的制备>中还加入表3含量的含不饱和键的添加剂，有机溶剂的质量百分含量随之减少，式(I)化合物、锂盐、聚合单体的质量百分含量不变以外，其余与实施例2-1相同。

实施例 3-9 至实施例 3-13

5 除了按照表3调整含不饱和键的添加剂的种类和质量百分含量h%，有机溶剂的质量百分含量随之减少，式(I)化合物、锂盐、聚合单体的质量百分含量不变以外，其余与实施例3-8相同。

实施例3-14

10 除了在<电解液的制备>中还加入表3含量和种类的含不饱和键的添加剂，有机溶剂的质量百分含量随之减少，式(I)化合物、锂盐、聚合单体、引发剂的质量百分含量不变以外，其余与实施例3-4相同。

实施例3-15

除了按照表3调整相关制备参数以外，其余与实施例3-14相同。

对比例 1 至对比例 9

15 除了按照表 1 调整相关制备参数以外，其余与实施例 1-1 相同。

对比例 1 至对比例 9 中，式(I)化合物的质量百分含量和/或聚合单体的质量百分含量发生变化时，有机溶剂的质量含量随之发生变化，其余组分的质量百分含量不变，有机溶剂、锂盐、式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量之和为 100%。

各实施例和对比例的制备参数和性能参数如表 1 至表 3 所示。

20

表 1

	式(I)化合物	m (%)	聚合单体	n (%)	$M_{(I)}$ (g/mol)	$M_{\#}$ (g/mol)	$(n/M_{\#})/(m/M_{(I)})$	0.2C 的循环圈数	0.5C 的循环圈数	1C 的循环圈数
实施例 1-1	式(I-4)	0.01	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	0.35+0.17	229.05	44.05、214.22	200	270	190	88
实施例 1-2	式(I-4)	0.05	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	188.1	273	200	112
实施例 1-3	式(I-4)	0.5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	18.8	304	226	139
实施例 1-4	式(I-4)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	9.4	312	246	190

实施例 1-5	式(I-4)	3	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	3.1	300	222	175
实施例 1-6	式(I-4)	4	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	2.4	283	206	148
实施例 1-7	式(I-4)	5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	229.05	44.05、214.22	1.9	262	186	81
实施例 1-8	式(I-3)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	212.25	44.05、214.22	8.7	329	255	195
实施例 1-9	式(I-1)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	248.19	44.05、214.22	10.2	289	203	187
实施例 1-10	式(I-5)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	205.21	44.05、214.22	8.4	296	198	155
实施例 1-11	式(I-7)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	212.2	44.05、214.22	8.7	315	210	147
实施例 1-12	式(I-1)、式(I-2)	0.5+0.5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	248.19、220.22	44.05、214.22	9.6	313	201	185
实施例 1-13	式(I-5)、式(I-6)	0.5+0.5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	205.21、200.19	44.05、214.22	8.3	302	193	161
实施例 1-14	式(I-3)	1	二氟乙烯	0.5	212.25	64.03	1.7	309	215	155
实施例 1-15	式(I-3)	1	二氟乙烯	1	212.25	64.03	3.3	341	243	160
实施例 1-16	式(I-3)	1	二氟乙烯	3	212.25	64.03	9.9	363	269	188
实施例 1-17	式(I-3)	1	二氟乙烯	6	212.25	64.03	19.9	310	222	156
实施例 1-18	式(I-3)	1	二氟乙烯	10	212.25	64.03	33.1	263	194	97
实施例 1-19	式(I-3)	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	212.25	64.03、150.02	7.4	372	264	182
实施例 1-20	式(I-5)、式(I-6)	0.5+0.5	二氟乙烯、丙烯酸甲酯	3.5+1.5	212.25	64.03、86.09	13.1	345	251	192
实施例 1-21	式(I-4)	3.5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1+1.6	229.05	44.05、214.22	2	270	207	157
实施例 1-22	式(I-4)	2	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	0.5+3.2	229.05	44.05、214.22	3	286	235	179
实施例 1-23	式(I-4)	1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	4.8+4.7	229.05	44.05、214.22	30	276	224	163
实施例 1-24	式(I-4)	0.15	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	5+3.8	229.05	44.05、214.22	200	264	210	145

实施例 1-25	式(I-4)	0.1	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	3+6	229.05	44.05、214.22	220	259	189	87
对比例 1	\	\	\	\	\	\	\	244	174	85
对比例 2	\	\	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	\	44.05、214.22	\	257	185	86
对比例 3	\	\	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	\	64.03、150.02	\	261	166	70
对比例 4	式(I-3)	1	\	\	212.25	\	\	259	189	80
对比例 5	式(I-4)	1	\	\	229.05	\	\	251	173	62
对比例 6	式(I-5)、式(I-6)	0.5+0.5	\	\	212.25	\	\	266	175	70
对比例 7	式(I-3)	1	二氟乙烯	0.3	212.25	64.03	1.0	260	175	83
对比例 8	式(I-3)	1	二氟乙烯、六氟丙烯	8+3	212.25	64.03、150.02	31.9	237	152	63
对比例 9	式(I-3)	6.5	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	212.25	44.05、214.22	1.4	241	172	80

注：表 1 中的“\”表示无相应参数。

从实施例 1-1 至实施例 1-20 和对比例 1 至对比例 9 可以看出，选用电解液中同时加入本申请的式(I)化合物和聚合单体，且式(I)化合物和聚合单体的质量百分含量在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有更高的循环圈数，表明实施例的锂离子电池具有更高的循环性能和更宽的充电倍率窗口，其循环性能和充电倍率窗口得到提高。而对比例 1 的电解液中未加入本申请的式(I)化合物和聚合单体；对比例 2 和对比例 3 的电解液中，加入了本申请的聚合单体，但未加入本申请的式(I)化合物；对比例 4 至对比例 6 的电解液中，加入了本申请的式(I)化合物，未加入本申请的聚合单体；对比例 7 和对比例 8 的电解液中同时加入了本申请的式(I)化合物和聚合单体，但聚合单体的质量百分含量不在本申请范围内；对比例 9 的电解液中同时加入了本申请的式(I)化合物和聚合单体，但式(I)化合物的质量百分含量不在本申请范围内，对比例 1 至对比例 9 的锂离子电池，在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有更低的循环圈数，或者在 0.5C、1C 的充电倍率下均具有更低的循环圈数，或者在 1C 的高充电倍率下具有更低的循环圈数，表明锂离子电池的循环性能或者说在高倍率下的循环性能较差，锂离子电池的充电倍率窗口较小，锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口未能得到提高。

式(I)化合物的质量百分含量 m%通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-1 至实施例 1-7 和对比例 9 可以看出，选用式(I)化合物的质量百分含量 m%

在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

式(I)化合物的种类通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-4、实施例 1-8 至实施例 1-13 可以看出，选用式(I)化合物的种类在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

聚合单体的质量百分含量 n%通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-14 至实施例 1-18、对比例 7 和对比例 8 可以看出，选用聚合单体的质量百分含量 n%在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

聚合单体的种类通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-8、实施例 1-16、实施例 1-19 和实施例 1-20 可以看出，选用聚合单体的种类在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

$(n/M_{\text{单}})/(m/M_{\text{Li}})$ 的值通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-1 至实施例 1-25 可以看出，选用 $(n/M_{\text{单}})/(m/M_{\text{Li}})$ 的值在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

表 2

	无机固态电解质	θ (%)	聚合单体	n (%)	n/ θ	0.2C 的循环圈数	0.5C 的循环圈数	1C 的循环圈数
实施例 1-3	\	\	环氧乙烷、乙二醇双丙烯酸酯	1.5+1.5	\	304	226	139
实施例 1-19	\	\	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	\	372	264	182
实施例 1-20	\	\	二氟乙烯、丙烯酸甲酯	3.5+1.5	\	345	251	192
实施例 2-1	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	374	303	246
实施例 2-2	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	0.01	二氟乙烯、六氟丙烯	0.5+0.5	100	325	228	145
实施例 2-3	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	0.03	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	100	363	268	189
实施例 2-4	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	0.1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	30	359	276	206
实施例 2-5	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	0.5	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	6	360	308	213

实施例 2-6	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	3	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	1	356	315	227
实施例 2-7	$\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	5	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	0.6	350	270	196
实施例 2-8	$\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	380	266	186
实施例 2-9	$\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	385	274	191
实施例 2-10	$\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	384	276	199
实施例 2-11	$\text{Li}_2\text{PS}_5\text{Cl}$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	386	272	195
实施例 2-12	$\text{Li}_{14}\text{Zn}(\text{GeO}_4)_4$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	380	270	185
实施例 2-13	$\text{La}_{0.56}\text{Li}_{0.33}\text{TiO}_3$	1	二氟乙烯、六氟丙烯	1.5+1.5	3	335	291	206
实施例 2-14	$\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$	1	环氧乙烷、乙二醇双 丙烯酸酯	1.5+1.5	3	324	284	172
实施例 2-15	$\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$	1	二氟乙烯、丙烯酸甲 酯	4+2	6	353	261	232

注：表 2 中的“\”表示无相应参数。

从实施例 1-19、实施例 2-1 至实施例 2-13 可以看出，在负极材料层中进一步添加无机物固态电解质，无机固态电解质与包含有式(I)化合物和聚合单体的电解液协同作用，能够进一步提高锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。

5 无机固态电解质的质量百分含量 $\theta\%$ 通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-19、实施例 2-1 至实施例 2-7 可以看出，选用无机固态电解质的质量百分含量 $\theta\%$ 在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

10 n/θ 的值通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-19、实施例 2-1 至实施例 2-7 可以看出，选用 n/θ 的值在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

15 无机固态电解质的种类通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 1-3 和实施例 2-14，实施例 1-19、实施例 2-1、实施例 2-8 至实施例 2-13，实施例 1-20 和实施例 2-15 可以看出，选用无机固态电解质的种类在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

表 3

	引发剂	y (%)	含不饱和键的添加剂	h (%)	0.2C 的循 环圈 数	0.5C 的循 环圈 数	1C 的循 环圈 数
实施例 2-1	\	\	\	\	374	303	246
实施例 3-1	偶氮二异丁腈	0.001	\	\	375	305	254
实施例 3-2	偶氮二异丁腈	0.02	\	\	388	313	256
实施例 3-3	偶氮二异丁腈	0.05	\	\	385	316	267
实施例 3-4	偶氮二异丁腈	0.5	\	\	382	319	273
实施例 3-5	偶氮二异丁腈	1	\	\	380	323	278
实施例 3-6	偶氮二异丁腈	2	\	\	379	307	258
实施例 3-7	偶氮二异丁酸 二甲酯	1	\	\	375	313	263
实施例 3-8	\	\	3-己烯二氰	3	385	310	249
实施例 3-9	\	\	三烯丙基甲氧基硅烷	0.01	376	309	248
实施例 3-10	\	\	碳酸乙烯亚乙酯	10	386	315	258
实施例 3-11	\	\	碳酸亚乙烯酯	20	380	310	250
实施例 3-12	\	\	碳酸乙烯亚乙酯 +1,3-丙烷磺酸内酯	25+4	390	318	261
实施例 3-13	\	\	1,3-丙烷磺酸内酯	4	381	313	260
实施例 3-14	偶氮二异丁腈	0.5	1,3-丙烷磺酸内酯	4	389	324	306
实施例 3-15	偶氮二异丁腈	0.5	碳酸乙烯亚乙酯、 1,3-丙烷磺酸内酯、 1,3,6-己烷三腈	10+1+1	397	335	329

注：表 3 中的“\”表示无相应参数；表 3 中的“y (%)”表示：基于电解液的质量，引发剂的质量百分含量；表 3 中的“h (%)”表示：基于电解液的质量，含不饱和键的添加剂的质量百分含量。

5 从实施例 2-1、实施例 3-1 至实施例 3-7 可以看出，在电解液中进一步添加引发剂，使电解液中的聚合单体采用引发剂进行引发聚合时，锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口得到进一步提高。

引发剂的质量百分含量 y%通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 2-1、实施例 3-1 至实施例 3-6 可以看出，选用引发剂的质量百分含量 y%在本申请
10 范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明

锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

5 引发剂的种类通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 3-5 和实施例 3-7 可以看出，选用引发剂的种类在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

从实施例 2-1、实施例 3-8 至实施例 3-11 可以看出，在电解液中进一步加入含不饱和键的添加剂，锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口能够进一步提高。

10 含不饱和键的添加剂的质量百分含量 h%通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 2-1、实施例 3-8 至实施例 3-12 可以看出，选用含不饱和键的添加剂的质量百分含量 h%在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

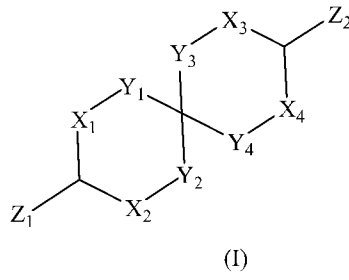
15 含不饱和键的添加剂的种类通常也会影响锂离子电池的循环性能和充电倍率窗口。从实施例 3-8 和实施例 3-13 可以看出，选用含不饱和键的添加剂的种类在本申请范围内的锂离子电池，其在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

从实施例 3-4、实施例 3-13 至实施例 3-15 可以看出，在电解液中同时加入引发剂和含不饱和键的添加剂时，锂离子电池在 0.2C、0.5C 和 1C 的充电倍率下均具有较高的循环圈数，表明锂离子电池具有良好的循环性能和较宽的充电倍率窗口。

20 以上所述仅为本申请的较佳实施例，并不用以限制本申请，凡在本申请的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请保护的范围之内。

权 利 要 求

1.一种电化学装置，包括电解液、负极极片、隔膜和正极极片；
 所述电解液包括式(I)化合物和聚合单体：



5 其中， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 和 Y_4 各自独立地选自O、 C_1 至 C_3 碳链或单键， X_1 和 Y_1 不同时为O或单键， X_2 和 Y_2 不同时为O或单键， X_3 和 Y_3 不同时为O或单键， X_4 和 Y_4 不同时为O或单键， X_1 、 X_2 、 Y_1 和 Y_2 中的至少一个为O， X_3 、 X_4 、 Y_3 和 Y_4 中的至少一个为O；

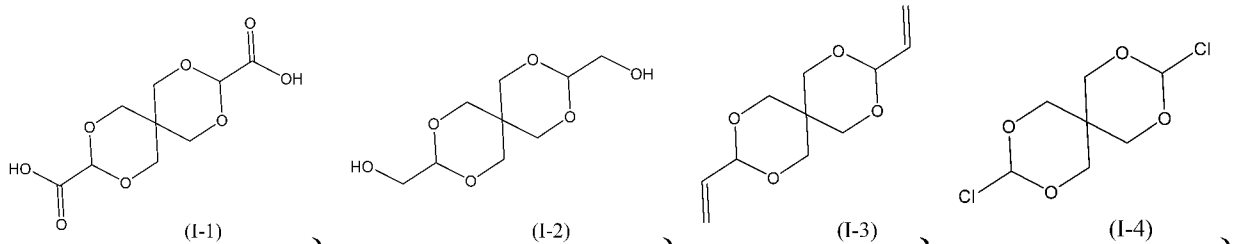
10 Z_1 和 Z_2 各自独立地选自卤素或末端具有聚合功能基团的 C_1 至 C_4 碳链，所述聚合功能基团包括羧基、羟基、醛基、酰氧基、氨基、烯基或炔基；

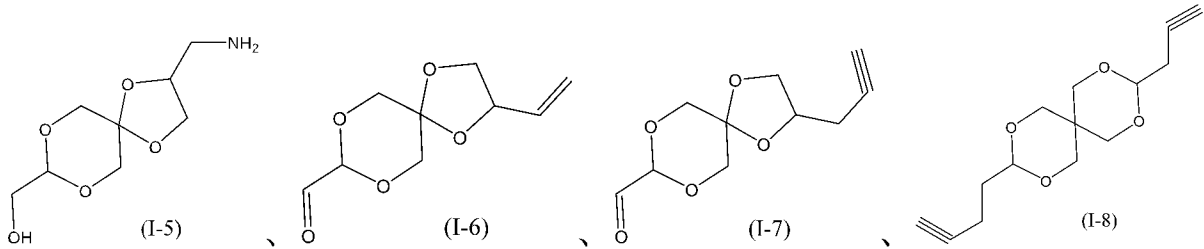
所述聚合单体包括丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、乙烯、丙烯、醋酸乙烯酯、二氟乙烯、四氟乙烯、六氟丙烯、丙烯腈、乙二醇、乙二醇双丙烯酸酯、二乙二醇双丙烯酸酯、环氧乙烷、二氧戊烷、2,6-二甲基苯酚、3,4-乙烯二氧噻吩或4,6-二氨基-1,3-间二苯酚中的至少一种；

15 基于所述电解液的质量，所述式(I)化合物的质量百分含量为 $m\%$ ， $0.01 \leq m \leq 6$ ，所述聚合单体的质量百分含量为 $n\%$ ， $0.5 \leq n \leq 10$ ；

所述负极极片包括负极集流体以及设置于所述负极集流体至少一个表面上的负极材料层，所述负极材料层包括含硅负极活性材料。

20 2.根据权利要求1所述的电化学装置，其中，所述式(I)化合物包括以下式(I-1)化合物至式(I-8)化合物中的至少一个：





3.根据权利要求 1 所述的电化学装置，其中，所述电化学装置满足以下条件中的至少一者：

(1) $0.05 \leq m \leq 4$;

5 (2) $1 \leq n \leq 6$ 。

4.根据权利要求 1 所述的电化学装置，其中，所述式(I)化合物的摩尔质量为 $M_{(I)}$ g/mol，所述聚合单体的摩尔质量为 $M_{\#}$ g/mol，所述 m 、所述 n 、所述 $M_{(I)}$ 和所述 $M_{\#}$ 之间满足： $2 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 200$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的电化学装置，其中，所述式(I)化合物的摩尔质量为 $M_{(I)}$ g/mol，
10 所述聚合单体的摩尔质量为 $M_{\#}$ g/mol，所述 m 、所述 n 、所述 $M_{(I)}$ 和所述 $M_{\#}$ 之间满足： $3 \leq (n/M_{\#})/(m/M_{(I)}) \leq 30$ 。

6.根据权利要求 1 所述的电化学装置，其中，所述负极材料层还包括无机固态电解质，所述无机固态电解质包括无机氧化物材料或无机硫化物材料中的任一种；

基于所述负极材料层的质量，所述无机固态电解质的质量百分含量为 $\theta\%$ ， $0.01 \leq \theta \leq 5$ 。

15 7.根据权利要求 6 所述的电化学装置，其中， $0.5 \leq n/\theta \leq 100$ 。

8. 根据权利要求 6 所述的电化学装置，其中， $0.1 \leq \theta \leq 5$ ，和/或 $1 \leq n/\theta \leq 30$ 。

9.根据权利要求 6 所述的电化学装置，其中，所述无机氧化物材料的晶型结构包括 NASICON 型、LISICON 型、钙钛矿型或石榴石型中的至少一种；

20 所述 NASICON 型无机氧化物材料的化学式为 $Li_{1+x}M1_xD1_{2-x}(PO_4)_3$ ，其中， $0.01 \leq x \leq 0.5$ ，M1 包括 Al、Y、Ga、Cr、In、Fe、Se 或 La 中的至少一种，D1 包括 Ti、Ge、Ta、Zr、Sn、Fe、V、Hf 中的至少一种；

所述 LISICON 型无机氧化物材料的化学式为 $Li_{14}M2(D2O_4)_4$ ，其中，M2 包括 Zr、Cr、Sn 或 Zn 中的至少一种，D2 包括 Si、Ge、S 或 P 中的至少一种；

25 所述钙钛矿型无机氧化物材料的化学式为 $Li_{3y}M3_{2/3-y}D3O_3$ ，其中， $0.01 \leq y \leq 0.5$ ，M3 包括 La、Al、Mg、Fe 或 Ta 中的至少一种，D3 包括 Ti、Nb、Sr 或 Pr 中的至少一种；

所述石榴石型无机氧化物材料的化学式为 $Li_zM4_3D4_2O_{12}$ ，其中， $6 \leq z \leq 7$ ，M4 包括 La、Ca、Sr、Ba 或 K 中的至少一种，D4 包括 Zr、Ta、Nb 或 Hf 中的至少一种；

所述无机硫化物材料包括锂锗磷硫、锂磷硫、锂磷硫氯、锂锡磷硫、锂硅磷硫、锂锗硅磷硫、锂铝磷硫、锂锗硫或锂硅硫中的至少一种。

10.根据权利要求1所述的电化学装置,其中,所述电解液还包括引发剂,所述引发剂包括偶氮二异丁腈、偶氮二异庚腈、偶氮二异丁酸二甲酯或过氧化甲乙酮中的至少一种;

5 基于所述电解液的质量,所述引发剂的质量百分含量为0.001%至2%。

11.根据权利要求1所述的电化学装置,其中,所述电解液还包括含不饱和键的添加剂,所述含不饱和键的添加剂包括氟代碳酸乙烯酯、碳酸亚乙烯酯、碳酸乙烯亚乙酯、1,3-丙烯磺酸内酯、1,3-丙烷磺酸内酯、3-己烯二氰、反丁烯二酸酐或三烯丙基甲氧基硅烷中的至少一种;

10 基于所述电解液的质量,所述含不饱和键的添加剂的质量百分含量为0.01%至40%。

12.根据权利要求1所述的电化学装置,其中,所述含硅负极活性材料包括 SiO_w 、硅碳化合物或硅单质中的至少一种, $0.5 \leq w \leq 1.5$ 。

13.根据权利要求1所述的电化学装置,其中,所述电解液还包括碳酸酯、羧酸酯或醚中的至少一种;

15 所述碳酸酯包括碳酸二甲酯、碳酸甲乙酯、碳酸二乙酯、碳酸丙烯酯、碳酸乙烯酯、碳酸二丙酯、碳酸甲丙酯、氟代碳酸乙烯酯、二氟代碳酸乙烯酯、五氟丙基碳酸乙烯酯、甲基三氟乙基碳酸酯、三氟甲基碳酸乙烯酯或二(2,2,2-三氟乙基)碳酸酯中的至少一种,所述羧酸酯包括丙酸丙酯、丙酸乙酯、乙酸乙酯、甲酸乙酯、乙酸甲酯、丙酸甲酯、乙酸丙酯、丁酸丁酯、二氟乙酸乙酯、乙酸二氟乙酯、三氟乙酸乙酯、乙酸三氟乙酯或三氟丙酸
20 甲酯中的至少一种,所述醚包括1,3-二氧六环、1,4-二氧六环、1,3-二氧戊环、4-甲基-1,3-二氧戊环、二乙醚、乙二醇二乙醚、二乙二醇二甲醚、三甘醇二甲醚、乙二醇甲酸乙醚、二乙氧基甲烷、1,3-二甲氧基丙烷、1,1,3,3-四乙氧基丙烷醚或1,1,2,2-四氟乙基-2,2,3,3-四氟丙基醚中的至少一种;

25 基于所述电解液的质量,所述碳酸酯的质量百分含量为20%至80%,所述羧酸酯的质量百分含量为0%至40%,所述醚的质量百分含量为0%至60%。

14.根据权利要求1所述的电化学装置,其中,所述电解液还包括锂盐,所述锂盐包括六氟磷酸锂、四氟硼酸锂、六氟砷酸锂、高氯酸锂、四苯基硼酸锂、甲基磺酸锂、三氟甲磺酸锂、双三氟甲磺酰亚胺锂、三(三氟甲基磺酰)甲基锂、六氟硅酸锂、二草酸硼酸锂或二氟草酸硼酸锂中的至少一种;

30 基于所述电解液的质量,所述锂盐的质量百分含量为6%至20%。

15.一种电子装置,其包括权利要求1至14中任一项所述的电化学装置。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/085420

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01M 10/0567(2010.01)i; H01M10/0525(2010.01)i; H01G11/60(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H01M H01G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; CNKI; ISI; STN: 负极, 阳极, 电解液, 聚合, 硅, 四氧杂螺, 十一烷, anode, electrolyte, polymerize, silicon, tetraoxaspiro, undecane

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007258103 A (MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION) 04 October 2007 (2007-10-04) description, paragraphs [0057], [0074], and [0079]-[0085]	1-15
A	CN 101606265 A (SK ENERGY CO., LTD.) 16 December 2009 (2009-12-16) entire document	1-15
A	CN 101438449 A (THE UNIVERSITY OF CHICAGO) 20 May 2009 (2009-05-20) entire document	1-15
A	WO 2022079967 A1 (MURATA MANUFACTURING CO.) 21 April 2022 (2022-04-21) entire document	1-15

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 2023

Date of mailing of the international search report

12 November 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/085420

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2007258103	A	04 October 2007	JP	5168807	B2	27 March 2013
CN	101606265	A	16 December 2009	EP	2115806	A1	11 November 2009
				EP	2115806	A4	27 June 2012
				EP	2115806	B1	24 April 2013
				KR	100793011	B1	08 January 2008
				US	2010024204	A1	04 February 2010
				US	8523958	B2	03 September 2013
				WO	2008100091	A1	21 August 2008
				JP	2011511396	A	07 April 2011
				JP	5230656	B2	10 July 2013
CN	101438449	A	20 May 2009	WO	2006065605	A2	22 June 2006
				WO	2006065605	A3	09 April 2009
				KR	20070091335	A	10 September 2007
				KR	101213286	B1	17 December 2012
				EP	1831951	A2	12 September 2007
				EP	1831951	A4	31 October 2012
				EP	1831951	B1	12 September 2018
				JP	2013020984	A	31 January 2013
				JP	5711199	B2	30 April 2015
				JP	2008533650	A	21 August 2008
				JP	5203709	B2	05 June 2013
				CA	2762964	A1	22 June 2006
				CA	2762964	C	16 September 2014
				US	2006134527	A1	22 June 2006
				US	7507503	B2	24 March 2009
				PL	1831951	T3	29 March 2019
				CA	2591529	A1	22 June 2006
				CA	2591529	C	13 March 2012
WO	2022079967	A1	21 April 2022	US	2023246236	A1	03 August 2023
				JPWO	2022079967	A1	21 April 2022

<p>A. 主题的分类</p> <p>H01M 10/0567(2010.01)i; H01M10/0525(2010.01)i; H01G11/60(2013.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																	
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>IPC: H01M H01G</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNABS;CNTXT;VEN;USTXT;WOTXT;EPTXT;CNKI;ISI;STN; 负极, 阳极, 电解液, 聚合, 硅, 四氧杂螺, 十一烷, anode, electrolyte, polymerize, silicon, tetraoxaspiro, undecane</p>																	
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 2007258103 A (MITSUBISHI CHEM CORP) 2007年10月4日 (2007 - 10 - 04) 说明书第[0057]、[0074]、[0079]-[0085]段</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101606265 A (SK能源株式会社) 2009年12月16日 (2009 - 12 - 16) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101438449 A (U芝加哥阿谷尼有限公司) 2009年5月20日 (2009 - 05 - 20) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2022079967 A1 (MURATA MANUFACTURING CO) 2022年4月21日 (2022 - 04 - 21) 全文</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	JP 2007258103 A (MITSUBISHI CHEM CORP) 2007年10月4日 (2007 - 10 - 04) 说明书第[0057]、[0074]、[0079]-[0085]段	1-15	A	CN 101606265 A (SK能源株式会社) 2009年12月16日 (2009 - 12 - 16) 全文	1-15	A	CN 101438449 A (U芝加哥阿谷尼有限公司) 2009年5月20日 (2009 - 05 - 20) 全文	1-15	A	WO 2022079967 A1 (MURATA MANUFACTURING CO) 2022年4月21日 (2022 - 04 - 21) 全文	1-15
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	JP 2007258103 A (MITSUBISHI CHEM CORP) 2007年10月4日 (2007 - 10 - 04) 说明书第[0057]、[0074]、[0079]-[0085]段	1-15															
A	CN 101606265 A (SK能源株式会社) 2009年12月16日 (2009 - 12 - 16) 全文	1-15															
A	CN 101438449 A (U芝加哥阿谷尼有限公司) 2009年5月20日 (2009 - 05 - 20) 全文	1-15															
A	WO 2022079967 A1 (MURATA MANUFACTURING CO) 2022年4月21日 (2022 - 04 - 21) 全文	1-15															
国际检索实际完成的日期	2023年9月15日	国际检索报告邮寄日期	2023年11月12日														
ISA/CN的名称和邮寄地址	中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	授权官员	赵晔 电话号码 (+86) 0512-88996024														

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/085420

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
JP	2007258103	A	2007年10月4日	JP	5168807	B2	2013年3月27日
CN	101606265	A	2009年12月16日	EP	2115806	A1	2009年11月11日
				EP	2115806	A4	2012年6月27日
				EP	2115806	B1	2013年4月24日
				KR	100793011	B1	2008年1月8日
				US	2010024204	A1	2010年2月4日
				US	8523958	B2	2013年9月3日
				WO	2008100091	A1	2008年8月21日
				JP	2011511396	A	2011年4月7日
				JP	5230656	B2	2013年7月10日
CN	101438449	A	2009年5月20日	WO	2006065605	A2	2006年6月22日
				WO	2006065605	A3	2009年4月9日
				KR	20070091335	A	2007年9月10日
				KR	101213286	B1	2012年12月17日
				EP	1831951	A2	2007年9月12日
				EP	1831951	A4	2012年10月31日
				EP	1831951	B1	2018年9月12日
				JP	2013020984	A	2013年1月31日
				JP	5711199	B2	2015年4月30日
				JP	2008533650	A	2008年8月21日
				JP	5203709	B2	2013年6月5日
				CA	2762964	A1	2006年6月22日
				CA	2762964	C	2014年9月16日
				US	2006134527	A1	2006年6月22日
				US	7507503	B2	2009年3月24日
				PL	1831951	T3	2019年3月29日
				CA	2591529	A1	2006年6月22日
				CA	2591529	C	2012年3月13日
WO	2022079967	A1	2022年4月21日	US	2023246236	A1	2023年8月3日
				JPWO	2022079967	A1	2022年4月21日