

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202291689** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.09.30

(51) Int. Cl. **H01M 4/13** (2010.01)
H01M 4/64 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.11.10

(54) БАТАРЕЯ С МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМ ПЛЕНОЧНЫМ ТОКОСЪЕМНИКОМ, ИМЕЮЩИМ НИЗКОЕ ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

(31) **16/698,936; 16/732,139**

(32) **2019.11.27; 2019.12.31**

(33) **US**

(86) **PCT/US2020/059778**

(87) **WO 2021/108118 2021.06.03**

(71) Заявитель:

**СОТЕРИА БЭТТЕРИ ИННОВЕЙШН
ГРУП ИНК. (US)**

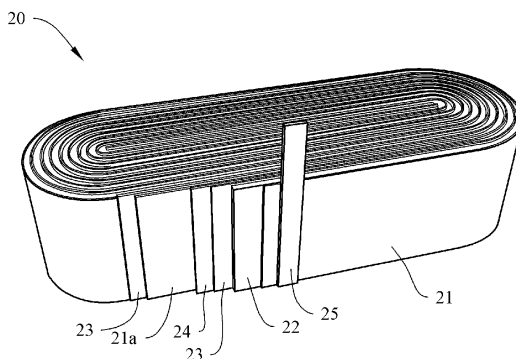
(72) Изобретатель:

Морин Брайан Г., Ху Карл С. (US)

(74) Представитель:

Нилова М.И. (RU)

(57) Предложено литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между указанными анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанных анодом и катодом; причем указанный токосъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат; и при этом указанное электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С, составляющую больше 70% от емкости, измеренной при 0,5 С, такой токосъемник также содержит изолирующий опорный слой, покрытый по меньшей мере одним проводящим слоем, причем указанный проводящий слой имеет толщину, которая меньше 2 мкм.



A1

202291689

202291689

A1

БАТАРЕЯ С МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМ ПЛЕНОЧНЫМ ТОКОСЪЕМНИКОМ, ИМЕЮЩИМ НИЗКОЕ ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

5

[001] Настоящее изобретение относится к усовершенствованиям структурных компонентов и физических характеристик литий-ионных батарейных изделий для обеспечения более низкого сопротивления, чем в перезаряжаемых батареях стандартных типов (таких, как литий-ионные батареи высокомощного типа, в качестве одного примера). Такие структурные модификации относятся к более тонким металлическим структурам токосъемников, которые увеличивают уровни внутреннего сопротивления элемента батареи и одновременно снижают внутреннее сопротивление элемента за счет модификаций электродных покрытий для обеспечения этого. В этом смысле для тонких металлизированных токосъемников подходит использование электродов малой толщины, электродов с высокой пористостью, электродных покрытий с более высокой проводимостью, многослойных электродных покрытий с различными уровнями проводящих материалов в них и узорчатых покрытий с областями разного сопротивления для целевых результатов, причем все это одновременно. В настоящем изобретении охвачены также батарейные изделия и способы их использования, включающие такие усовершенствования. Настоящая технология относится к батарее с металлизированным пленочным токосъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, для использования в связи со снижением внутреннего сопротивления в литий-ионных батареях.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

30 [002] Перезаряжаемые элементы питания (такие как, без ограничения, литий-ионные батареи) широко распространены во всем мире в качестве источника электроэнергии и приобретают все большее значение в огромном количестве продуктов. От перезаряжаемых

электроинструментов до автомобилей с электронным управлением и вездесущих сотовых телефонов (а также планшетов, портативных компьютеров и т. д.) литий-ионные батареи (различных ионных типов) используются в качестве основного источника питания благодаря

5 надежности, вышеупомянутой возможности перезарядки и долговечности использования. Однако с такими широко используемыми источниками питания возникают определенные проблемы, некоторые из которых становятся все более серьезными. А именно, стали известны проблемы безопасности, при которых определенные несовершенства в таких

10 литиевых батареях, будь то из-за первоначальных производственных проблем или проблем с деградацией с течением времени, делают их уязвимыми к возможному возгоранию при коротких замыканиях. По сути, было обнаружено, что внутренние дефекты проводящих материалов создают нежелательное высокое тепло и, в конечном итоге, приводят к

15 возгоранию внутри таких структур батареи. В результате определенные продукты, использующие литиевые батареи, от портативных компьютеризованных устройств (Samsung Galaxy Note 7, в качестве одной печально известной ситуации) до целых самолетов (Boeing 787), были запрещены к продаже и/или использованию до тех пор, пока не

20 будут найдены решения для скомпрометировавших себя литиевых батарей, используемых в них и вместе с ними (вплоть до того, что Samsung Galaxy Note 7 был запрещен к использованию в самолетах в некоторых регионах). Даже в линейке электромобилей Tesla наблюдались значительные проблемы с компонентами литиевых

25 батарей, что привело к появлению привлекающих внимание сенсационными заголовками историй о том, как такие дорогостоящие автомобили взрывались как огненные шары из-за проблем с батареями. Таким образом, масштабные изъятия с рынка или прямые запреты в связи с такими проблемами литиевых батарей сегодня по-прежнему

30 актуальны, что приводит к насущной потребности в преодолении таких проблем.

[003] Наличие этих проблем в основном обусловлено

производственными проблемами, идет ли речь об изготовлении отдельных компонентов батарей или построении из таких компонентов самих отдельных батарей. При более внимательном рассмотрении

5 литиевые батареи в настоящее время изготавливают из шести основных компонентов: катодного материала, токосъемника катода (например, алюминиевой фольги), на который нанесен катодный материал, анодного материала, токосъемника анода (например, медной фольги), на который нанесен анодный материал, разделителя, расположенного
10 между каждым слоем анода и катода и обычно изготовленного из пластмассового материала, и электролита — проводящего органического растворителя, который насыщает другие материалы, тем самым обеспечивая механизм для проведения ионов между анодом и катодом. Эти материалы обычно свертывают вместе в виде цилиндра, как
15 показано в известном уровне техники на Фиг. 1, или складывают стопкой. Существует множество других конфигураций, которые используются или могут быть использованы в целях производства таких батарей, в том числе пакетные элементы, призматические элементы, дисковые элементы, цилиндрические элементы, намотанные
20 призматические элементы, намотанные пакетные элементы — и этот список можно продолжить. При правильном изготовлении и бережном обращении эти элементы батареи могут обеспечивать энергию в различных областях применения в течение тысяч циклов зарядки-разрядки без какого-либо существенного происшествя, связанного с
25 безопасностью. Однако, как уже упоминалось выше, определенные события и, в частности, определенные дефекты могут вызвать внутреннее короткое замыкание между внутренними проводящими материалами, что может привести к выделению тепла и внутреннему тепловому разгону, который, как известно, является основной причиной
30 пожароопасных ситуаций в таких литиевых батареях. Такие события также могут быть вызваны, как отмечалось выше, внутренними дефектами, в том числе наличием металлических частиц внутри батареи, заусенцами на материалах токосъемника, тонкими местами или

отверстиями в разделителе (внесенными или вызванными последующей обработкой), смещением слоев батареи (оставляющими «отверстия» для возникновения нежелательной проводимости), проникновением внешнего мусора в батарею (например, дорожного мусора, попавшего в движущийся автомобиль), разрушением и/или дестабилизацией самого элемента (например, в результате аварии), зарядкой элемента в ограниченном пространстве и т. п. Вообще говоря, дефекты этих типов вызывают формирование небольшого электронного проводящего пути между анодом и катодом.

При возникновении такого события и последующей зарядке элемента такой проводящий путь может вызвать разрядку элемента через него с выделением, в конечном счете, чрезмерного тепла, что приводит к нарушению структуры батареи и ставит под угрозу питающееся от нее устройство. В сочетании с присутствием легковоспламеняющихся органических растворителей в качестве электролитов батарей (которые обычно необходимы для работоспособности батареи) такое избыточное тепло, как было показано, может привести к их воспламенению, что в конечном итоге создает очень опасную ситуацию. Такие проблемы, как минимум, трудно контролировать после их начала, и они уже привели к значительным травмам потребителей. Такой потенциально катастрофической ситуации, безусловно, следует избегать посредством создания батареи, которая подает электрическую энергию, не подвергая легковоспламеняющийся органический электролит опасности таким образом.

[004] Выделение избыточного тепла внутри батареи может привести к усадке пластмассового разделителя, в результате чего он может отойти, отсоединиться или иным образом увеличить площадь короткого замыкания внутри батареи. В такой ситуации большая оголенная площадь короткого замыкания внутри батареи может привести к непрерывному току и повышенному нагреванию внутри нее, приводящему к возникновению высокой температуры, которая вызывает значительное повреждение элемента, в том числе пробой, выброс газов

и даже задымление и пожар. Такое повреждение создает особую проблему из-за потенциально быстрого возникновения возгорания и более серьезных последствий и в результате может привести к взрыву батареи и использующего ее устройства, подвергая пользователя 5 серьезной опасности.

[005] Литиевые батареи (самых разных типов) особенно подвержены проблемам, связанным с коротким замыканием. Типичные батареи имеют склонность к повышенной скорости разрядки при 10 воздействии высоких температур, что приводит к неконтролируемому (неуправляемому) вспыхиванию и возгоранию, как отмечалось выше. В связи с этими возможностями были введены в действие определенные правила, регулирующие фактическое использование, хранение и даже транспортировку таких изделий с батареями. Способность осуществлять 15 надлежащий протокол для предотвращения таких неуправляемых событий, связанных с коротким замыканием, безусловно, имеет огромное значение. Вместе с тем сохраняется проблема, связанная с тем, как на самом деле решать такие проблемы, особенно в тех случаях, когда производство компонентов обеспечивается множеством поставщиков и 20 из самых разных точек мира.

[006] В некоторых предшествующих изобретениях упоминалось использование металлизированных пленок в качестве токосъемных структур в литий-ионных батареях, в том числе в заявке на патент 25 Японии № 11410796. Такое изобретение, как и другие, сделанные совсем недавно, весьма ограничено с точки зрения обеспечения внутреннего сопротивления внутри самого рассматриваемого элемента питания без каких-либо других структурных модификаций для обеспечения этого. Например, компания CATL высказала идею об 30 использовании тонких токосъемных (металлизированных) пленок в целях безопасности; однако такое использование было ограничено тем, что, как отмечалось выше, требуется очень тонкое металлическое покрытие, которое приводит к высокому внутреннему сопротивлению.

Таким образом, это изобретение CATL ограничено определением необходимого уровня внутреннего сопротивления R , связанного с емкостью CAP элемента таким образом, что произведение $R \times CAP$ больше конкретного параметра, в данном случае 40. Однако в

5 настоящем изобретении и во всех случаях, в которых упоминается «емкость» элемента, такие измерения выполняют при скорости 0,2 С или более медленной. Такое высокое внутреннее сопротивление может способствовать высоким характеристикам безопасности в литий-ионной батарее, поскольку такой уровень может уменьшить электрический ток

10 при наличии внутреннего или вызванного повреждением короткого замыкания. Конечно, чем выше внутреннее сопротивление, тем ниже электрический ток, что снижает скорость выделения тепла из-за такого короткого замыкания, тем самым уменьшая вероятность того, что в результате элемент будет доведен до теплового разгона. Поэтому

15 совершенно новым и противоречащим этой конкретной идее CATL (достижение высокой безопасности, связанной с использованием сверхтонких металлических покрытий на металлизированных пленках с высоким результатами сопротивления) стало достигнутое теперь понимание того, что такие токоотъемники из тонкой металлизированной

20 пленки могут быть использованы совместно с вырабатывающим энергию элементом, имеющим при этом низкое внутреннее сопротивление.

[007] По существу, обычно считают, что такие уменьшенные количества металла (например, от монолита до металлизированной

25 пленки) обязательно способствуют повышенному внутреннему сопротивлению целевого элемента питания и тем самым повышают его безопасность. Таким образом, когда речь идет об использовании такой металлизированной пленки в литий-ионных батареях и т. п., принято считать, что единственным путем достижения таких уровней

30 безопасности (например, предотвращения теплового разгона) является создание элементов с высоким внутренним сопротивлением, и что такой высокий уровень сопротивления является источником повышенной безопасности в этом отношении.

[008] Однако, было обнаружено, что для отдачи или получения высокой мощности необходимы элементы с низким внутренним сопротивлением, что, по сути, позволяет повысить безопасность, но
5 одновременно обеспечивает необходимый уровень мощности для жизнеспособности таких перезаряжаемых элементов в самой отрасли. Например, что касается электромобилей, то, безусловно, имели место события, демонстрирующие проблемы, связанные с тепловым разгоном из-за обусловленных производством и/или вызванных повреждениями
10 коротких замыканий в самих перезаряжаемых батареях. При использовании металлизированных пленочных токосъемников с высоким внутренним сопротивлением предрасположенность к возникновению такого теплового разгона уменьшается, но с потерей мощности, что снижает эффективность перезарядки и/или срок годности заряженных
15 батарей для активации высокого уровня, и использование по существу ухудшается. Другими словами, прием высокой мощности в основном необходим для достижения эффективной и быстрой зарядки в таком электромобиле. Опять же, целесообразности использования в сочетании с безопасностью трудно достичь, имея единственной целью обеспечение
20 высокого внутреннего сопротивления в таких мощных батареях. Гибридный электромобиль также нуждается в чрезвычайно быстрой перезарядке, что требует подобного уровня перезарядки большой мощности (при одновременном требовании повышенной безопасности). Если уж на то пошло, электрические летательные аппараты, такие как
25 беспилотные летательные аппараты, воздушные такси и т. п., требуют очень высоких уровней мощности, по меньшей мере, для взлета и посадки, с учетом требований безопасности. Те же проблемы возникают, когда речь идет о возможностях быстрой зарядки батарей в сотовых телефонах, ноутбуках и других устройствах, а также, конечно, когда
30 речь идет о вопросах безопасности из-за возможных коротких замыканий и теплового разгона. Другими словами, потребность в безопасности за счет более тонких металлических токосъемных структур остается насущной, но уровень техники в этом отношении обеспечивает

излишнюю компенсацию в том смысле, что уровни мощности снижают в слишком высокой степени, чтобы такие ограниченные тонкопленочные токосъемники могли сами по себе быть решением в отрасли перезаряжаемых элементов питания.

5

[009] Кроме того, возможность уменьшить начальный вес конструкции токосъемника, безусловно, помогает в некотором роде благодаря уменьшению общего веса целевого элемента. Однако, опять же, эта ограниченная модификация не позволяет повысить мощность, так как эта структурная модификация обеспечивает создание высокого внутреннего сопротивления в целевом элементе без какой-либо дополнительной компенсации недостаточной выработки энергии. Дополнительная возможность увеличения мощности при одновременном снижении веса была бы еще одним непредвиденным улучшением. Однако на сегодняшний день, как отмечалось выше, единственным способом снижения веса таких элементов питания с учетом безопасности является исключительно увеличение высокого внутреннего сопротивления. В настоящем изобретении предложен такой весьма желательный способ, который делает литиевые элементы батареи

10

15

20

эксплуатация для высокомоощных устройств на множестве рынков.

[010] В силу вышесказанного, существует потребность в новой и усовершенствованной батарее с металлизированным пленочным токосъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, который может быть использован для снижения внутреннего сопротивления в литий-ионных батареях. В этом отношении настоящая технология в значительной степени удовлетворяет данную потребность. В этом отношении батарея с металлизированным пленочным токосъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, в соответствии с настоящей технологией существенно отличается от традиционных концепций и конструкций известного уровня техники, и при этом обеспечивает

25

30

устройство, разработанное в первую очередь с целью снижения внутреннего сопротивления в литий-ионных батареях.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

5

[011] Ввиду вышеуказанных недостатков, присущих известным типам устройств накопления энергии, представленных сегодня в известном уровне техники, настоящая технология обеспечивает улучшенную батарею с токосъемником с металлизированной пленкой, имеющим низкое внутреннее сопротивление, и преодолевает вышеупомянутые изъяны и недостатки известного уровня техники. Таким образом, общая цель настоящей технологии, которая будет описана далее более подробно, заключается в создании новой и усовершенствованной батареи с металлизированным пленочным токосъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, и способа, который обладает всеми преимуществами известного уровня техники, упомянутыми ранее, и многими новыми признаками, которые приводят к батарее с металлизированным пленочным токосъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, которые не предполагаются, не представляются очевидным, не предлагаются или даже не подразумеваются известным уровнем техники, как по отдельности, так и в любой их комбинации.

[012] В соответствии с одним аспектом настоящая технология может включать в себя литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода. Токосъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат. Электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С, составляющую более 70% от емкости, измеренной при 0,5 С. Токосъемник также

содержит изолирующий опорный слой, покрытый по меньшей мере одним проводящим слоем, имеющим толщину менее 2 микрон.

[013] В соответствии еще с одним аспектом настоящая технология может включать в себя литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода. Токосъемник может иметь удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат. По меньшей мере один из анода или катода выполнен с возможностью достижения низкого удельного сопротивления за счет включения по меньшей мере одно из следующего: а) электрода, имеющего толщину менее 70 микрон; b) покрытия электрода, содержащего более 6% вес. проводящей добавки; c) покрытия электрода, имеющего пористость более 35%; d) покрытия электрода, имеющего множество слоев; и e) покрытия электрода, имеющего перемежающийся узор из материалов покрытия. По меньшей мере один компонент узора содержит области высокой энергии и низкой проводимости, и по меньшей мере один другой компонент узора содержит области с более высокой проводимостью. Проводимость может быть результатом наличия высокого содержания проводящего материала или материала с высокой пористостью.

[014] В соответствии еще с одним аспектом настоящая технология может включать в себя устройство накопления энергии, содержащее анод и катод, первый разделитель, расположенный между анодом и катодом, электролит, первый токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода, второй токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода, противоположным тому, с которым контактирует первый токосъемник, и второй разделитель, находящийся в контакте со вторым токосъемником.

По меньшей мере один из первого токосъемника и второго токосъемника имеет удельное сопротивление меньше 0,005 Ом/квadrat.

5 [015] В некоторых или всех вариантах реализации устройство может иметь сопротивление меньше 15 мОм.

[016] В некоторых или всех вариантах реализации устройство может иметь поверхностную плотность энергии электрода меньше 4,0 мА·ч/см².

10

[017] В некоторых или всех вариантах реализации устройство может иметь произведение емкости CAP и сопротивления R, причем CAP × R составляет меньше 40 мОм·А·ч.

15 [018] Некоторые или все варианты реализации могут также включать в себя вывод, соединенный с первым токосъемником и выполненный с возможностью приведения в контакт с внешним контактом.

20 [019] В некоторых или всех вариантах реализации каждый из первого токосъемника и второго токосъемника включает в себя нанесенную на него металлическую пленку.

25 [020] В некоторых или всех вариантах реализации металлическая пленка первого токосъемника выполнена из другого металла по сравнению с металлической пленкой второго токосъемника.

30 [021] В некоторых или всех вариантах реализации металлическая пленка по меньшей мере одного из первого токосъемника и второго токосъемника может иметь толщину покрытия в общей сложности меньше 5 микрон.

[022] В некоторых или всех вариантах реализации анод и катод могут быть пористыми, имеющими пористость по меньшей мере 35%.

5 [023] В некоторых или всех вариантах реализации каждый из анода и катода может включать в себя электродное покрытие, содержащее более 6% вес. проводящей добавки.

10 [024] В некоторых или всех вариантах реализации каждый из анода и катода может иметь множество слоев, включая верхний слой с более высокой проводимостью, чем каждый последующий нижний слой.

15 [025] В некоторых или всех вариантах реализации каждый из анода и катода может иметь множество слоев, включая верхний слой с более высокой пористостью, чем каждый последующий нижний слой.

[026] В некоторых или всех вариантах реализации катод представляет собой узорчатый электрод, причем часть катода содержит первые области попеременно со вторыми областями, при этом первые области имеют первый атрибут энергии или проводимости, а вторые области имеют второй атрибут энергии или проводимости, который больше, чем в первых областях с созданием, тем самым, градиентов проводимости.

20

[027] В соответствии еще с одним аспектом настоящая технология может включать в себя электрохимическое устройство выработки и накопления энергии (элемент питания, перезаряжаемую батарею и т. п.), содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода. Токосъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квadrat (предпочтительно больше 0,01, более предпочтительно больше 0,015, а наиболее предпочтительно по меньшей мере 0,025 Ом/квadrat). Устройство имеет емкость CAP и сопротивление

25

30

R, такие что произведение $CAP \times R$ меньше 40 мОм·А·ч (предпочтительно меньше 35, более предпочтительно меньше 30, еще более предпочтительно меньше 25 и наиболее предпочтительно меньше 20 мОм·А·ч). Электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С, составляющую больше 70% от емкости, измеренной при 0,2 С (где 2 С обозначает 30-минутную разрядку, а 0,2 С обозначает 5-часовую разрядку) (предпочтительно больше 75%, более предпочтительно больше 80%, еще более предпочтительно больше 85% и наиболее предпочтительно больше 90%).

10

[028] В некоторых или всех вариантах реализации устройство может иметь сопротивление меньше 15 мОм (предпочтительно меньше 12, более предпочтительно меньше 10, еще более предпочтительно меньше 8, даже еще более предпочтительно меньше 6 и наиболее предпочтительно меньше 4 мОм). Конечно, более крупные элементы естественно будут иметь более низкое внутреннее сопротивление, поэтому желательно добиваться элементов с высокой емкостью и низким внутренним сопротивлением. Таким образом, элемент может иметь как низкое целевое сопротивление, так и целевую емкость, причем более высокие сопротивления допускают более низкие ограничения емкости. Емкость может быть ограничена величиной ниже 5 А·ч, предпочтительно ниже 20 А·ч, более предпочтительно ниже 40 А·ч, еще более предпочтительно ниже 100 А·ч и наиболее предпочтительно ниже 200 А·ч. Такой пример может включать в себя элемент, емкость которого ограничена величиной ниже 10 А·ч, а сопротивление — ниже 10 мОм.

25

[029] В некоторых или всех вариантах реализации устройство может иметь поверхностную плотность энергии электрода меньше 4,0 мА·ч/см² (предпочтительно меньше 3,5, более предпочтительно меньше 3,0, еще более предпочтительно меньше 2,5, даже более предпочтительно меньше 2,0, даже еще более предпочтительно меньше 1,5 и наиболее предпочтительно меньше 1,0 мА·ч/см²). В таком уникальном устройстве токосъемник имеет определенное повышенное

30

сопротивление, тогда как устройство в целом имеет определенное пониженное сопротивление или, в качестве альтернативы, емкость и/или поверхностную плотность энергии электрода, которая, как это ни странно, удовлетворяет определенным ограничениям, которые не предпринимались в прошлом. Такая разница между повышенным сопротивлением токоъемника и отличающимися физическими характеристиками устройства, связанными со структурой (структурами) электрода, обеспечивает такие новые измерения, которые согласовывают более высокую мощность (для зарядки и разрядки) всего устройства с высоким сопротивлением (токоприемника с небольшой толщиной и весом) одновременно.

[030] В соответствии еще с одним аспектом настоящая технология может обеспечить структуры электрода с непроводящими компонентами токоъемника в виде полимерных пленок или тканей с металлическими слоями на каждой из их верхней и нижней поверхностях, причем анод и/или катод (как электроды, один из которых контактирует с токоъемником) имеют одну или более из следующих физических структур: а) пористый электрод с пористостью по меньшей мере 35% (более предпочтительно по меньшей мере 40%, еще более предпочтительно по меньшей мере 45%, даже более предпочтительно по меньшей мере 50% и наиболее предпочтительно по меньшей мере 55%); б) покрытие электрода, при этом такое покрытие электрода содержит добавку с более высоким наполнением или более высокой проводимостью в материале электрода, причем проводящая добавка может быть графитом, углем и т. п. и представлена в концентрациях больше 6% от его массы (предпочтительно больше 8%, более предпочтительно больше 10% и наиболее предпочтительно больше 12% от его массы), и/или при этом материалы с высокой проводимостью могут также содержать частицы металла и/или проводящие материалы с высоким соотношением ширины и высоты (такие, как нанотрубки и/или углеродные нановолокна); с) многослойные электроды с верхним слоем, имеющим более высокую проводимость (или содержание углерода), чем

каждый последующий нижний слой; d) многослойный электрод с верхним слоем, имеющим более высокую пористость, чем каждый последующий нижний слой; и e) узорчатый электрод, причем часть электрода состоит из областей с высокой энергией (низкой проводимостью), перемежающихся с областями, имеющими более высокую проводимость, при этом такие градиенты проводимости достигаются либо за счет различных уровней содержания проводящего материала или типов материала, либо путем различных измерений пористости с присутствующими в них более высокими и более низкими градиентами.

[031] В некоторых или всех вариантах реализации узорчатые покрытия могут быть нанесены различными способами печати, которые позволяют получать узоры из различных материалов, как хорошо известно в данной области техники. Такие многослойные структуры могут быть получены за счет нескольких проходов с осаждением в каждом из них одного слоя, или, в качестве альтернативы, посредством совместной экструзии множества слоев материалов через одно отверстие или печатающую головку.

[032] В соответствии еще с одним аспектом настоящая технология может обеспечить исходный тонкий металлизированный пленочный токосъемник, который резко ограничивает время доставки уровня тока, приложенного к поверхности целевого токосъемника посредством наконечника зонда (для управляемого имитирования эффекта внутреннего производственного дефекта, дендрита или внешнего события, которые вызывают внутреннее короткое замыкание в рассматриваемой батарее), менее чем 1 секундой, предпочтительно менее чем 0,01 секунды, более предпочтительно менее чем 1 миллисекундой и наиболее предпочтительно, возможно, даже менее чем 100 микросекундами, особенно для гораздо более высоких токов.

[033] В некоторых или всех вариантах реализации ток будет ограничен внутренним напряжением элемента, составляющим 5,0 В, или 4,5 В, или 4,2 В или даже меньше, например, 4,0 В или 3,8 В, но не менее 2,0 В.

5

[034] В некоторых или всех вариантах реализации может быть обеспечен металлизированный пленочный токосъемник, имеющий общую толщину (всей металлизированной полимерной подложки) меньше 20 микрон, потенциально предпочтительно меньше 15 микрон, 10 потенциально более предпочтительно меньше 10 микрон, потенциально даже более предпочтительно меньше 8 микрон, потенциально еще более предпочтительно меньше 6 микрон и потенциально наиболее предпочтительно меньше 4 микрон, и все это при измерении удельного сопротивления больше 0,005 Ом/квадрат (предпочтительно больше 0,01, 15 более предпочтительно больше 0,015 и наиболее предпочтительно больше 0,025 Ом/квадрат).

[035] В некоторых или всех вариантах реализации тонкий компонент может быть выполнен с возможностью разрешения 20 реагирования короткого замыкания с металлическим покрытием и, в зависимости от общих уровней сопротивления, формирования, за счет чрезвычайно высокой температуры из-за всплеска тока во время короткого замыкания, локализованной области оксида металла, которая сразу же предотвращает любое дальнейшее перемещение тока из нее. 25 Однако уровень сопротивления остается высоким, поскольку тонкие структуры дают такие физические результаты.

[036] Некоторые или все варианты реализации могут включать зависящий от температуры металлический (или металлизированный) 30 материал, который либо сжимается от источника тепла во время короткого замыкания, либо легко разлагается в конкретном месте материала в непроводящий материал (например, такой как оксид

алюминия из алюминиевого токосъемника) (как упоминалось выше иным образом).

[037] В некоторых или всех вариантах реализации токосъемник
5 может быть выполнен с возможностью становиться термически слабым, что резко отличается от используемых сегодня алюминиевых и медных токосъемников, которые достаточно термически устойчивы к высоким температурам. В результате сплав металла с более низкой собственной температурой плавления может разрушаться при более низких
10 плотностях тока короткого замыкания, повышая преимущества безопасности раскрытого в настоящем документе энергетического устройства на основе лития.

[038] В некоторых или всех вариантах реализации элемент может
15 быть ограничен емкостью ниже 10 А·ч и сопротивлением ниже 10 мОм.

[039] В некоторых или всех вариантах реализации токосъемник может включать в себя покрытие из слоя проводящего материала, например, меди или алюминия, на волокнах или пленках, которые имеют
20 относительно высокие скорости усадки при относительно низких температурах.

[040] В некоторых или всех вариантах реализации токосъемник может содержать термопластические пленки с температурами плавления
25 ниже 250 °C или даже 200 °C, и может, в качестве не имеющих ограничительного характера примеров, содержать полиэтилентерефталат, нейлон, полиэтилен или полипропилен.

[041] В некоторых или всех вариантах реализации токосъемник
30 может включать в себя покрытие из слоя проводящего материала, например, меди или алюминия, как и выше, на волокнах или пленках, которые могут разбухать или растворяться в электролите при нагреве материалов до относительно высоких температур по сравнению с

рабочими температурами элементов, но низких по сравнению с температурами, которые могут вызвать тепловой разгон.

[042] В некоторых или всех вариантах реализации полимеры, выполненные с возможностью разбухания в литий-ионных электролитах, могут представлять собой поливинилиденфторид или полиакрилонитрил.

[043] В некоторых или всех вариантах реализации процесс формирования внутреннего электрического плавкого предохранителя может представлять собой нанесение на подложку металла, например, алюминия, который может окисляться под действием тепла, причем общая толщина металла гораздо ниже обычно используемой для литиевых батарей. Тонкий алюминиевый токосъемник может иметь толщину покрытия в общей сложности меньше 5 микрон, меньше 2 микрон, меньше 1 микрона или меньше 700 нм или 500 нм. Покрытие может иметь достаточное количество или толщину металла, чтобы обеспечивать достаточную проводимость для снабжения энергией элемента. Толщина может быть больше 10 нм, предпочтительно больше 50 нм или даже больше 100 нм или больше 200 нм.

20

[044] В некоторых или всех вариантах реализации поверхностная плотность может быть ниже 30 грамм/квадратный метр, предпочтительно ниже 25, более предпочтительно ниже 20 и наиболее предпочтительно ниже 15 грамм/квадратный метр.

25

[045] В некоторых или всех вариантах реализации разрыв проводящего пути может быть достигнут путем обеспечения токосъемника с ограниченной проводимостью, который будет разлагаться при высоких плотностях тока вокруг короткого замыкания аналогично разложению, наблюдаемому сегодня в имеющихся в продаже плавких предохранителях. Это может быть достигнуто путем обеспечения тонкого металлизированного пленочного токосъемника с удельным сопротивлением больше 5 мОм/квадрат, или 10 мОм/квадрат,

30

или потенциально предпочтительно больше 20 мОм/квадрат, или потенциально более предпочтительно больше 50 мОм/квадрат.

[046] В некоторых или всех вариантах реализации разрыв проводящего пути может быть достигнут путем обеспечения токосъемника, который будет окисляться в непроводящий материал при температурах, которые ниже температуры алюминия, тем самым позволяя токосъемнику становиться инертным в области короткого замыкания раньше разложения разделителя.

[047] В некоторых или всех вариантах реализации металл в емкости слоя тонкого токосъемника может представлять собой любой металл, который обладает электрической проводимостью, в том числе, без ограничений, золото, серебро, ванадий, рубидий, иридий, индий, платину и другие (в принципе, при очень тонком токосъемном слое затраты, связанные с использованием такого металла, могут быть значительно снижены без ущерба для удельной проводимости, но с обеспечением при этом защиты от потенциального теплового разгона при коротком замыкании или подобном событии). Также могут быть использованы слои различных металлов или даже дискретные области металла, осажденные внутри слоя или в качестве его отдельных компонентов.

[048] В некоторых или всех вариантах реализации одна сторона покрытой подложки токосъемника может содержать различные виды металлов, отличные от противоположной стороны, и также может иметь другую толщину слоя по сравнению с ней.

[049] В некоторых или всех вариантах реализации поверхность раздела с металлом металлизированной подложки, которая делает возможным высокий электрический ток, может быть достигнута посредством контакта «поверхность к поверхности», дающим большую площадь поверхности между средствами создания электрического

контакта посредством корпуса и металлизированной подложки. Площадь поверхности может быть больше 1 квадратного миллиметра (10^{-12} квадратных метров), или больше 3 квадратных миллиметров, или даже 5 квадратных миллиметров или более предпочтительно 10 квадратных миллиметров.

[050] Многочисленные задачи, признаки и преимущества настоящей технологии будут совершенно очевидны специалистам в данной области по прочтении следующего подробного описания предпочтительных в настоящее время, но, тем не менее, иллюстративных вариантов реализации настоящей технологии при рассмотрении в сочетании с прилагаемыми чертежами. В связи с этим, прежде чем подробно объяснять текущий вариант реализации настоящей технологии, следует понимать, что настоящая технология не ограничена в своем применении деталями конструкции и расположением компонентов, изложенными в следующем описании или проиллюстрированными на чертежах. Настоящая технология может быть реализована в других вариантах реализации, а также может быть применена на практике и осуществлена различными способами. Кроме того, следует понимать, что фразеология и терминология, используемые в настоящем документе, предназначены для целей описания и не должны рассматриваться как ограничивающие.

[051] Соответственно, специалистам в данной области понятно, что концепция, на которой основано настоящее изобретение, может быть легко использована в качестве основы для разработки других структур, способов и систем для осуществления нескольких целей настоящей технологии. Поэтому важно рассматривать формулу изобретения как включающую все такие эквивалентные конструкции в той мере, в какой они не отклоняются от сущности и объема настоящей технологии.

[052] Еще одной целью настоящей технологии является создание новой и усовершенствованной батареи с металлизированным пленочным

токосяемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, которая может быть легко и эффективно изготовлена и реализована на рынке.

[053] Еще одной целью настоящей технологии является создание
5 новой и усовершенствованной батареи с металлизированным пленочным
токосяемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, которая
имеет низкую стоимость изготовления, как с точки зрения материалов,
так и с точки зрения рабочей силы, и которая, соответственно, поэтому
может продаваться по низким ценам для потребителей, благодаря чему
10 батарея с металлизированным пленочным токосяемником, имеющим
низкое внутреннее сопротивление, экономически доступна для
покупателей.

[054] Еще одной задачей настоящей технологии является создание
15 новой батареи с металлизированным пленочным токосяемником,
имеющим низкое внутреннее сопротивление, которая обеспечивает в
устройствах и способах известного уровня техники некоторые из ее
преимуществ, одновременно преодолевая некоторые из недостатков,
обычно связанных с ними.

20

[055] Эти и другие задачи настоящей технологии наряду с
различными признаками новизны, отличающими настоящую технологию,
подробно указаны в формуле изобретения, прилагаемой к настоящему
описанию и составляющей его часть. Для лучшего понимания настоящей
25 технологии, ее эксплуатационных преимуществ и конкретных целей,
достигаемых путем ее использования, следует обратиться к прилагаемым
чертежам и описательной части, иллюстрирующим варианты
осуществления настоящей технологии.

30

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[056] Технология будет лучше понята, а другие цели, отличные от
изложенных выше, станут очевидными при рассмотрении последующего

подробного ее описания. Это описание ссылается на прилагаемые чертежи, на которых:

5 [057] На Фиг. 1 показана архитектура намотанного элемента известного уровня техники, такого как элемент 18650.

10 [058] На Фиг. 2 показан вид в перспективе сбоку использования электрода с толстым покрытием на тонком металлизированном пленочном токосъемнике известного уровня техники.

[059] На Фиг. 3 показан вид в перспективе сбоку раскрытого в настоящем документе электрода с тонким покрытием, нанесенного на тонкий металлизированный пленочный токосъемник.

15 [060] На Фиг. 4 приведен вид в поперечном сечении литий-ионной перезаряжаемой батареи типа «желейный рулет», содержащей электрод/металлизированный пленочный токосъемник, изображенный на Фиг. 3.

20 [061] На Фиг. 5 показан вид в перспективе сбоку использования электрода с низкопористым покрытием на тонком металлизированном пленочном токосъемнике известного уровня техники.

25 [062] На Фиг. 6 показан вид в перспективе сбоку раскрытого в настоящем документе электрода с высокопористым покрытием, нанесенного на тонкий металлизированный пленочный токосъемник.

30 [063] На Фиг. 7 приведен вид в поперечном сечении литий-ионной перезаряжаемой батареи типа «желейный рулет», содержащей высокопористый электрод/металлизированный пленочный токосъемник, изображенный на Фиг. 6.

[064] На Фиг. 8 показан вид в перспективе сбоку раскрытого в настоящем документе многослойного электрода, нанесенного на тонкий металлизированный пленочный токосъемник.

5 [065] На Фиг. 9 приведен вид в поперечном сечении литий-ионной перезаряжаемой батареи типа «желейный рулет», содержащей многослойный электрод/металлизированный пленочный токосъемник, изображенный на Фиг. 8.

10 [066] На Фиг. 10 показан вид в перспективе сбоку раскрытого в настоящем документе электрода с узорчатым покрытием, нанесенного на тонкий металлизированный пленочный токосъемник.

15 [067] На Фиг. 11 приведен вид в поперечном сечении литий-ионной перезаряжаемой батареи типа «желейный рулет», содержащей узорчатый электрод/металлизированный пленочный токосъемник, изображенный на Фиг. 10.

20 [068] На всех различных фигурах одинаковые номера позиций относятся к одним и тем же частям.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

25 [069] Отличительным преимуществом настоящего изобретения является возможность обеспечения посредством структурных компонентов механизм для разрыва проводящего пути при возникновении внутреннего короткого замыкания, останавливающего или значительно уменьшающего протекание тока, который может вырабатывать тепло внутри целевого элемента батареи.

30

[070] Еще одним преимуществом является возможность создания такого защитного структурного формата в элементе литиевой батареи, который также обеспечивает выгодные с точки зрения веса и стоимости

- усовершенствования для всего производства, транспортировки и использования элемента. Таким образом, еще одним преимуществом является формирование и сохранение внутренней структуры плавкого предохранителя в целевом элементе батареи до тех пор, пока не возникнет необходимость в его активации. Еще одним преимуществом является создание высокомоощного элемента с низким внутренним сопротивлением и тонким металлическим токоприемником с высоким сопротивлением для обеспечения возможности быстрой зарядки и разрядки. Еще одним преимуществом является возможность использования легковоспламеняющихся органических электролитических материалов в батарее без какой-либо заметной склонности к их воспламенению во время короткого замыкания или подобного события.
- [071] Соответственно, раскрытие настоящего изобретения охватывает электрохимическое устройство выработки и накопления энергии (элемент питания, перезаряжаемая батарея и т. п.), содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токоъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из анода и катода; причем токоъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат (предпочтительно больше 0,01, более предпочтительно больше 0,015 и наиболее предпочтительно больше 0,025 Ом/квадрат); при этом устройство имеет емкость CAP и сопротивления R , такие что произведение $CAP \times R$ меньше 40 мОм·А·ч (предпочтительно меньше 35, более предпочтительно меньше 30, еще более предпочтительно меньше 25 и наиболее предпочтительно меньше 20 мОм·А·ч); и при этом электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С, составляющую больше 70% от емкости, измеренной при 0,2 С (где 2 С обозначает 30-минутную разрядку, а 0,2 С обозначает 5- часовую разрядку) (предпочтительно больше 75%, более предпочтительно больше 80%, еще более предпочтительно больше 85% и наиболее предпочтительно больше 90%). В альтернативном варианте

реализации устройство может иметь сопротивление меньше 15 мОм (предпочтительно меньше 12, более предпочтительно меньше 10, еще более предпочтительно меньше 8, даже еще более предпочтительно меньше 6 и наиболее предпочтительно меньше 4 мОм). Конечно, более крупные элементы естественно будут иметь более низкое внутреннее сопротивление, поэтому желательно добиваться элементов с высокой емкостью и низким внутренним сопротивлением. Таким образом, элемент может иметь как низкое целевое сопротивление, так и целевую емкость, причем более высокие сопротивления допускают более низкие ограничения емкости. Емкость может быть ограничена величиной ниже 5 А·ч, предпочтительно ниже 20 А·ч, более предпочтительно ниже 40 А·ч, еще более предпочтительно ниже 100 А·ч и наиболее предпочтительно ниже 200 А·ч. Такой пример может включать в себя элемент, емкость которого ограничена величиной ниже 10 А·ч, а сопротивление — ниже 10 мОм. В альтернативном варианте реализации устройство может иметь поверхностную плотность энергии электрода меньше 4,0 мА·ч/см² (предпочтительно меньше 3,5, более предпочтительно меньше 3,0, еще более предпочтительно меньше 2,5, даже более предпочтительно меньше 2,0, даже еще более предпочтительно меньше 1,5 и наиболее предпочтительно меньше 1,0 мА·ч/см²). В таком уникальном устройстве токоъемник имеет определенное повышенное сопротивление, тогда как устройство в целом имеет определенное пониженное сопротивление или, в качестве альтернативы, емкость и/или поверхностную плотность энергии электрода, которая, как это ни странно, удовлетворяет определенным ограничениям, которые не предпринимались в прошлом. Такая разница между повышенным сопротивлением токоъемника и отличающимися физическими характеристиками устройства, связанными со структурой (структурами) электрода, обеспечивает такие новые измерения, которые согласовывают более высокую мощность (для зарядки и разрядки) всего устройства с высоким сопротивлением (токоприемника с небольшой толщиной и весом) одновременно.

[072] Еще одним заслуживающим дальнейшего рассмотрения и непредвиденным открытием в отношении таких электрохимических устройств выработки и накопления энергии является возможность обеспечения структур электрода с непроводящими токосъемными компонентами в виде полимерных пленок или тканей с металлическими слоями на каждой из их верхней и нижней поверхностях, причем анод и/или катод (как электроды, один из которых контактирует с токосъемником) имеют одну или более из следующих физических структур: а) пористый электрод с пористостью по меньшей мере 35% (более предпочтительно по меньшей мере 40%, еще более предпочтительно по меньшей мере 45%, даже более предпочтительно по меньшей мере 50% и наиболее предпочтительно по меньшей мере 55%); б) покрытие электрода, при этом такое покрытие электрода содержит добавку с более высокой концентрацией или более высокой проводимостью в материале электрода, причем проводящая добавка может быть графитом, углем и т. п. при концентрациях больше 6% его массы (предпочтительно больше 8%, более предпочтительно больше 10% и наиболее предпочтительно больше 12% его массы), и/или при этом материалы с высокой проводимостью могут также содержать частицы металла и/или проводящие материалы с высоким соотношением ширины и высоты (такие, как нанотрубки и/или углеродные нановолокна); с) многослойные электроды с верхним слоем, имеющим более высокую проводимость (или содержание углерода), чем каждый последующий нижний слой; d) многослойный электрод с верхним слоем, имеющим более высокую пористость, чем каждый последующий нижний слой; и е) узорчатый электрод, причем часть электрода состоит из областей с высокой энергией (низкой проводимостью), перемежающихся с областями, имеющими более высокую проводимость, при этом такие градиенты проводимости достигаются либо за счет различных уровней содержания проводящего материала или типов материала, либо путем различных измерений пористости с присутствующими в них более высокими и более низкими градиентами. Такие узорчатые покрытия могут быть нанесены различными способами печати, которые позволяют

получать узоры из различных материалов, как хорошо известно в данной области техники. Такие многослойные структуры могут быть получены за счет нескольких проходов с осаждением в каждом из них одного слоя, или, в качестве альтернативы, посредством совместной экструзии

5 множества слоев материалов через одно отверстие или печатающую головку.

[073] Следовательно, еще одним значительным преимуществом раскрытия настоящего изобретения является возможность обеспечения

10 исходного тонкого металлизированного пленочного токосъемника, который резко ограничивает время доставки уровня тока, приложенного к поверхности целевого токосъемника посредством наконечника зонда (для управляемого имитирования эффекта внутреннего

15 производственного дефекта, дендрита или внешнего события, которые вызывают внутреннее короткое замыкание в рассматриваемой батарее) менее чем 1 секундой, предпочтительно менее чем 0,01 секунды, более предпочтительно менее чем 1 миллисекундой и наиболее

предпочтительно, возможно, даже менее чем 100 микросекундами, особенно для более высоких токов. Конечно, такой ток будет ограничен

20 внутренним напряжением элемента, которое может составлять 5,0 В, или 4,5 В, или 4,2 В или даже меньше, например, 4,0 В или 3,8 В, но не менее 2,0 В.

[074] Может быть обеспечен такой металлизированный пленочный

25 токосъемник, имеющий общую толщину (всей металлизированной полимерной подложки) меньше 20 микрон, потенциально предпочтительно меньше 15 микрон, потенциально более

предпочтительно меньше 10 микрон, потенциально даже более предпочтительно меньше 8 микрон, потенциально еще более

30 предпочтительно меньше 6 микрон и потенциально наиболее предпочтительно меньше 4 микрон, и все это при измерении удельного сопротивления больше 0,005 Ом/квадрат (предпочтительно больше 0,01, более предпочтительно больше 0,015 и наиболее предпочтительно

больше 0,025 Ом/квadrat). Типичные токоcъемники могут обладать такими признаками, но при этом имеют гораздо больший вес, чем те, которые изготовлены с использованием армирующих полимерных подложек, и не обладают преимуществами безопасности, присущими данному раскрытому в настоящее время варианту. Например, медная фольга толщиной 10 микрон может весить 90 грамм/м². Однако омедненная фольга может весить всего лишь 50 грамм/м², или даже всего лишь 30 грамм/м², или даже меньше 20 грамм/м², обеспечивая при этом адекватные электрические характеристики, требуемые для функционирования элемента (хотя и с высоким внутренним сопротивлением для самого устройства). Однако, в этой альтернативной структуре очень тонкий компонент также делает возможным реагирование короткого замыкания с металлическим покрытием и, в зависимости от общих уровней сопротивления, формирования, за счет чрезвычайно высокой температуры из-за всплеска тока во время короткого замыкания, локализованной области оксида металла, которая сразу же предотвращает любое дальнейшее перемещение тока из нее. Однако уровень сопротивления остается высоким, поскольку тонкие структуры дают такие физические результаты.

20

[075] Еще одной возможной альтернативой такому токоcъемнику с высоким сопротивлением является обеспечение зависящего от температуры металлического (или металлизированного) материала, который либо сжимается от источника тепла во время короткого замыкания, либо легко разлагается в конкретном месте материала в непроводящий материал (например, оксид алюминия из алюминиевого токоcъемника, в качестве одного примера) (как упоминалось выше иным образом). Таким образом, токоcъемник становится термически слабым, что резко отличается от используемых сегодня алюминиевых и медных токоcъемников, которые достаточно термически устойчивы к высоким температурам. В результате сплав металла с более низкой собственной температурой плавления может разрушаться при более низких плотностях тока короткого замыкания, повышая преимущества

30

безопасности раскрытого в настоящем документе энергетического устройства на основе лития. Еще одной альтернативой является изготовление токосъемника путем нанесения слоя проводящего материала, например меди или алюминия, на волокна или пленки,

5 которые имеют относительно высокие скорости усадки при относительно низких температурах. В число их примеров входят термопластические пленки с температурами плавления ниже 250 °C или даже 200 °C, и в качестве не имеющих ограничительного характера примеров могут входить полиэтилентерефталат, нейлон, полиэтилен или полипропилен.

10 Еще один возможный способ достижения такого результата заключается в изготовлении токосъемника путем нанесения слоя проводящего материала, например, меди или алюминия, как и выше, на волокна или пленки, которые могут разбухать или растворяться в электролите при нагреве материалов до относительно высоких температур по сравнению

15 с рабочими температурами элементов, но низких по сравнению с температурами, которые могут вызвать тепловой разгон. В число примеров таких полимеров, которые могут набухать в литий-ионных электролитах, входят поливинилиденфторид и полиакрилонитрил, но специалистам в данной области известны и другие. Еще один способ

20 получения такого альтернативного процесса формирования внутреннего электрического плавкого предохранителя может представлять собой нанесение на подложку металла, например, алюминия, который может окисляться под действием тепла, причем общая толщина металла гораздо ниже обычно используемой для литиевых батарей. Например,

25 очень тонкий алюминиевый токосъемник, используемый сегодня, может иметь толщину 20 микрон. Толщина покрытия в общей сложности меньше 5 микрон разорвет цепь быстрее, а толщина меньше 2 микрон, или даже меньше 1 микрона, или даже меньше 700 нм или 500 нм разорвет цепь даже еще быстрее.

30 Такое покрытие должно также иметь достаточно металла для обеспечения достаточной проводимости для снабжения энергией элемента, и поэтому должно иметь толщину больше 10 нм, предпочтительно больше 50 нм или даже больше 100 нм, или наиболее

предпочтительно больше 200 нм. Такое использование тонких проводящих покрытий в сочетании с полимерными подложками малой толщины приведет к чрезвычайно низкой поверхностной плотности токоъемника. Таким образом, поверхностная плотность может быть

5 ниже 30 грамм/квадратный метр, предпочтительно ниже 25, более предпочтительно ниже 20 и наиболее предпочтительно ниже 15 грамм/квадратный метр. Еще один способ достижения разрыва проводящего пути заключается в обеспечении токоъемника с ограниченной проводимостью, который будет разлагаться при высоких

10 плотностях тока вокруг короткого замыкания аналогично разложению, наблюдаемому сегодня в имеющихся в продаже плавких предохранителях. Это может быть достигнуто путем обеспечения тонкого металлизированного пленочного токоъемника с удельным сопротивлением больше 5 мОм/квадрат, или 10 мОм/квадрат, или

15 потенциально предпочтительно больше 20 мОм/квадрат, или потенциально более предпочтительно больше 50 мОм/квадрат. Такие удельные сопротивления способствуют, опять же, как упоминалось выше, высокому внутреннему сопротивлению, которое само по себе и, следовательно, без какой-либо ее компенсации, может поставить под

20 угрозу возможности выработки и снабжения энергией целевого элемента. Для преодоления таких проблем с высоким сопротивлением в прошлых модификациях просто изменяли удельные сопротивления токоъемников. Это затрагивало толщину и материалы и не учитывало никаких изменений типов электродов, хотя толщина, материалы или,

25 если на то пошло, удельные сопротивления также могут быть выбраны по-другому для батарей, рассчитанных на высокую мощность, которые могут использовать относительно низкое сопротивление по сравнению с элементами, рассчитанными на меньшую мощность и более высокую энергию, и/или которые могут использовать относительно высокое

30 сопротивление. Еще один способ достижения разрыва проводящего пути заключается в обеспечении токоъемника, который будет окисляться в непроводящий материал при температурах, которые гораздо ниже температуры алюминия, тем самым позволяя токоъемнику становится

инертным в области короткого замыкания раньше разложения разделителя. Некоторые сплавы алюминия будут окисляться быстрее самого алюминия, и эти сплавы будут приводить к ухудшению проводящего пути более быстрыми темпами или при более низкой температуре. В качестве возможных альтернатив в такой емкости слоя тонкого токоъемника может быть использован металл любого типа, который обладает электрической проводимостью, в том числе, без ограничений, золото, серебро, ванадий, рубидий, иридий, индий, платину и другие (в принципе, при очень тонком токоъемном слое затраты, связанные с использованием такого металла, могут быть значительно снижены без ущерба для удельной проводимости, но с обеспечением при этом защиты от потенциального теплового разгона при коротком замыкании или подобном событии). Также могут быть использованы слои различных металлов или даже дискретные области металла, осажденные внутри слоя или в качестве его отдельных компонентов. Разумеется, также, одна сторона такой покрытой подложки токоъемника может содержать различные виды металлов, отличные от противоположной стороны, и также может иметь другую толщину слоя по сравнению с ней.

[076] В любом случае возможность использования металлизированного пленочного токоъемника (в противоположность толстой металлической структуре) способствует снижению вероятности теплового разгона для перезаряжаемых батарей (как раскрыто, например, в находящейся в процессе одновременного рассмотрения заявке на патент США № 15/700,077, содержимое которой полностью включено в настоящий документ путем ссылки). Однако, опять же, как отмечалось ранее, такие тонкие структуры создают высокий уровень сопротивления для целевого электрохимического элемента (батарей и т. д.), который отрицательно сказывается на возможностях устройства выдавать высокую мощность, быстро заряжаться и быстро разряжаться, как это необходимо в определенных приложениях для конечного использования. Поэтому существует явная потребность в создании

способа уменьшения общего сопротивления самого устройства, в частности, когда это касается элементов с жидким электролитом.

Настоящее изобретение направлено на такое улучшение в этом отношении. Стандартные электрохимические элементы содержат

- 5 токоъемные структуры, разделители и электроды (анод и катод) для выработки электрического заряда. Использование тонких металлических пленок в качестве токоъемников было ограничено такими стандартными структурами (см. ссылку на заявку на патент Японии, приведенную выше) с типичными структурами электродов и разделителями вдобавок.
- 10 Эти типичные электроды состоят из металлических слоев значительной толщины для обеспечения общей стабильности элемента (устройства), а также для обеспечения высокого уровня внутреннего сопротивления. Однако неожиданно было обнаружено, что использование некоторых неизученных материалов для покрытия электродов на
- 15 металлизированных пленочных токоъемниках противоречит этим стандартным элементам батареи (электрохимическим устройствам). Поэтому в настоящее время представлены различные способы создания таких тонких токоъемников для обеспечения безопасности (и высоких уровней сопротивления) с помощью нанесения покрытий такими
- 20 материалами на такие токоъемники, чтобы обеспечить эффективные структуры, снижающие сопротивление, для быстрой выработки энергии, а также для ее быстрой передачи на внешнее устройство.

- [077] Для этого, как упоминалось выше, было обнаружено, что
- 25 материалы, связанные с такими неожиданно и нелогично используемыми электродами, снижающими сопротивление, основаны на покрытиях, наносимых на металлизированную токоъемную пленку (пленки), включая покрытия с конкретной толщиной, высокими уровнями пористости, высокими уровнями проводимости, многослойными
- 30 структурами с градиентами проводимости в них, а также узорчатые покрытия, имеющие области с различными градиентами проводимости. Такой новый подход обеспечивает в каждом случае не только более низкое внутреннее сопротивление для целевого электрохимического

элемента, но и потенциал для значительного снижения веса таких структур (в совокупности, в том числе, с токосъемными пленками в этом смысле) не только для компенсации повышенного сопротивления, связанного с тонкими металлизированными пленками токосъемников, но и для привлекательного снижения веса всего элемента (устройства) тоже.

[078] Такие преимущества позволяют создавать электрохимические перезаряжаемые элементы (литий-ионные батареи и т. п., в качестве неограничивающих примеров) с малым весом, высоким уровнем безопасности и высокой выработкой энергии (зарядки и разрядки), которые до этого отсутствовали в соответствующих отраслях промышленности. В любой из альтернативных конфигураций, рассмотренных в настоящем документе, такой тонкий металлизированный пленочный токосъемник функционирует якобы как внутренний плавкий предохранитель в целевом устройстве накопления энергии (например, литиевой батарее, конденсаторе и т. д.), В каждом случае (альтернативном варианте) нанесенные на него электродные покрытия усиливают общую тонкую структуру до уровня, который обеспечивает достаточную прочность для структурной стабильности внутри целевого элемента (устройства), но с одновременной возможностью снижения внутреннего сопротивления элемента в целом в зависимости от повышенного сопротивления тонкого металлизированного пленочного токосъемника. Таким образом, возможность одновременного обеспечения мер безопасности в отношении коротких замыканий и потенциальных событий теплового разгона со значительными результатами выработки высокой мощности удовлетворяет потребность, которая, опять же, до сих пор не была изучена.

[079] Такие методологии и структуры обсуждаются более подробно ниже.

[080] Материал для хранения ионов может быть, например, катодом или анодом для литий-ионных батарей, как хорошо известно в данной области. В число катодных материалов могут входить оксид кобальта-лития LiCoO_2 , фосфат железа-лития LiFePO_4 , оксид марганца-лития LiMn_2O_4 , оксид кобальта-никеля-марганца-лития $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$, оксид алюминия-никеля-кобальта-лития $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ или смеси вышеперечисленных или других материалов, известных в данной области. В число анодных материалов могут входить графит, титанат лития $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, твердый углерод, олово, кремний или их смеси, известные в данной области. Кроме того, материал для хранения ионов может включать в себя материалы, используемые в других устройствах накопления энергии, таких как суперконденсаторы. В таких суперконденсаторах материалы для хранения ионов будут включать активированный уголь, активированные углеродные волокна, полученный из карбида углерод, углеродный аэрогель, графит, графен и углеродные нанотрубки.

[081] Процесс нанесения покрытия может быть любым процессом нанесения покрытия, который общеизвестен в данной области. Для литий-ионных батарей обычно используют процессы нанесения покрытий с использованием ракеля над валком и щелевой экструзионной головки, но могут использоваться и другие процессы, включая нанесение покрытия методом химического восстановления. В процессе нанесения покрытия материал для хранения ионов обычно смешивают с другими материалами, включая связующие вещества, такие как поливинилиденфторид или карбоксиметилцеллюлоза, или другие пленкообразующие полимеры. В число других добавок в смесь входят углеродная сажа и другие проводящие добавки.

[082] Соединение средств для получения электрического контакта с металлизированной подложкой может включать обычно используемые способы, такие как сварка, скрепление лентой, зажимание, сшивание скобами, склепывание или другие механические средства. Поскольку

металл металлизированной подложки может быть очень тонким, для обеспечения поверхности раздела, которая позволяет протекать сильному току, обычно требуется контакт «поверхность к поверхности», дающий большую площадь поверхности между средствами создания электрического контакта посредством корпуса и металлизированной подложки. Для переноса достаточного тока эта площадь поверхности должна быть больше 1 квадратного миллиметра (10^{-12} квадратных метров), но может понадобиться, чтобы она была больше 3 квадратных миллиметров, или даже 5 квадратных миллиметров или более предпочтительно 10 квадратных миллиметров.

[083] Жидкий электролит обычно представляет собой комбинацию/смесь полярного растворителя и соли лития. В число обычно используемых полярных растворителей входят, как отмечалось выше, пропиленкарбонат, этиленкарбонат, диметилкарбонат, диэтилкарбонат, но могут быть использованы другие полярные растворители, включая ионные жидкости или даже воду. В число солей лития, обычно используемых в этой отрасли, входят, без ограничений, LiPF_6 , LiPF_4 , LiBF_4 , LiClO_4 и другие. Электролит может также содержать добавки, известные в данной области. Во многих случаях электролиты могут быть легковоспламеняющимися, и в этом случае защитные свойства токоъемников с металлизированной подложкой, рассматриваемых в настоящем изобретении, могут оказаться полезными для предотвращения опасных событий теплового разгона, которые приводят к возгоранию и повреждению как элемента, так и того, что находится снаружи элемента.

[084] Хотя были подробно описаны варианты реализации батареи с металлизированным пленочным токоъемником, имеющим низкое внутреннее сопротивление, должно быть очевидно, что возможны их модификации и варианты, все из которых находятся в пределах истинной сущности и объема технологии. Что касается приведенного выше описания, то следует понимать, что оптимальные соотношения

размеров для частей технологии, включая различия в размерах, материалах, форме, виде, способе функционирования и эксплуатации, сборке и использовании, считаются совершенно понятными и очевидными для специалиста в данной области, и все эквивалентные соотношения для частей технологии, проиллюстрированных на чертежах и изложенных в описании изобретения, предполагаются охваченными настоящей технологией.

[085] Приведенные ниже описания и примеры являются лишь иллюстрациями возможных вариантов осуществления раскрытия настоящего изобретения. Объем такого раскрытия и его охват с точки зрения формулы изобретения, приведенной ниже, вполне понятны специалисту в данной области.

[086] Как отмечалось выше, раскрытие настоящего изобретения представляет собой серьезный сдвиг и кажется нелогичным, исходя из всех предыдущих представлений и средств защиты, предпринятых в отрасли литиевых батарей (и других устройств накопления энергии). Тем не менее, описанные в настоящем документе новые устройства обеспечивают ряд полезных результатов и свойств, которые до сих пор не были изучены в этой области, не говоря уже о том, что они оказались неожиданными. Однако сначала, для сравнения, важно отметить разительные различия между предшествующими устройствами и устройствами, раскрытыми в настоящее время и широко охваченными в настоящем документе.

[087] Такие нелогичные примеры и результаты, полученные таким образом, связаны со значительными изменениями в применении и использовании прежде неисследованного соединения уникальных и электродных материалов с тонкими металлизированными пленочными токосъемниками в электрохимических элементах (перезаряжаемые батареи, конденсаторы и т. п.). В число таких новых примеров входят по

меньшей мере пять различных альтернативных вариантов, как подробно описано ниже.

Альтернативный вариант 1 — тонкие электродные покрытия

5

[088] Электроды обычно изготавливают путем нанесения покрытий из электродных материалов на токосъемники. Как правило, очень мощные элементы могут быть изготовлены путем взятия толстых металлических фольг и нанесения на них тонких электродных покрытий, тем самым снижая внутреннее сопротивление элемента до такой степени, чтобы можно было очень быстро вводить и выводить энергию.

[089] Однако, в противоположность этому, такой стандартной практикой является использование металлизированных тонкопленочных токосъемников и нанесение на них очень тонких покрытий из электродных материалов, как далее описано в настоящем документе. Как обсуждается на протяжении всего этого описания, такая нелогичная методология и практика приводит к неожиданному эффективному снижению внутреннего сопротивления целевого элемента, особенно по сравнению с результатами, обычно достигаемыми с помощью толстых металлических токосъемников. Это противоречит существующей практике, когда для получения элементов с высокой плотностью энергии толстые покрытия сочетают с тонкими металлическими листами, а для получения элементов с высокой мощностью на толстые металлические листы наносят тонкие покрытия. Таким образом, опять же, сочетание сверхтонких металлических покрытий токосъемника и тонких электродных материалов противоречит современному уровню техники и приводит к неожиданно безопасному элементу с низким внутренним сопротивлением для очень мощного потенциала. Кроме того, стандартная современная практика заключается в использовании более толстых покрытий для уменьшения площади поверхности рассматриваемого токосъемника и тем самым общего веса элемента в расчете на кВт·ч накопленной энергии. При использовании, опять же,

вопреки здравому смыслу, токоъемников со значительно уменьшенным весом неожиданно было обнаружено, что толщина покрытия электродов также может быть резко уменьшена, что приводит к вышеупомянутому снижению внутреннего сопротивления элемента без какого-либо

5 увеличения общего веса в расчете на кВт·ч целевого элемента по сравнению с токоъемниками из фольги. Такой результат, а также низкие уровни сопротивления, достигнутые благодаря применению тонких электродных покрытий со сверхтонкими токоъемниками, без привязки к какой-либо конкретной научной теории, очевидно, связан со
10 способностью ионов и электронов быстро проходить через тонкие электродные (проводящие) покрытия, тем самым снижая их сопротивление до получения в результате необходимых высоких уровней мощности самого целевого элемента.

15 [090] Для достижения такого результата металлизированные (тонко) пленочные токоъемники должны иметь удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат (предпочтительно больше 0,01, более предпочтительно больше 0,015 и наиболее предпочтительно больше 0,025, вплоть до примерно 0,5). Таким образом, это удельное
20 сопротивление токоъемника также характерно для целевых электрохимических элементов, в которых присутствуют такие токоъемники, поскольку низкие результаты измерения являются отправной точкой перед любыми дальнейшими адаптациями и модификациями нанесения электродных покрытий.

25

[091] Таким образом, применение электродных покрытий осуществляется в рамках этого альтернативного способа снижения сопротивления элементов согласно настоящему изобретению исходя из поверхностной плотности энергии электрода (ниже 4 мА·ч/см²,
30 предпочтительно ниже 3,5, более предпочтительно ниже 3, еще более предпочтительно ниже 2,5, даже более предпочтительно ниже 2 даже еще более предпочтительно ниже 1,5 и наиболее предпочтительно ниже 1), толщины покрытия электрода (предпочтительно менее 70 микрон,

более предпочтительно меньше 60, еще более предпочтительно меньше 50, даже более предпочтительно меньше 40 и наиболее предпочтительно меньше 30 микрон) и/или поверхностной плотности покрытия электрода меньше 150 г/м², предпочтительно меньше 120 г/м², более

5 предпочтительно меньше 100 г/м². Другими словами, применение электродных материалов, обладающих такой поверхностной плотностью энергии, толщиной покрытия и/или поверхностной плотностью покрытия, обеспечивает неожиданные результаты, заключающиеся в создании

10 низкого внутреннего сопротивления элемента даже в присутствии сверхтонкого токоъемника с высоким сопротивлением.

[092] Это сочетание сверхтонкого токоъемника с очень тонкими электродными покрытиями обеспечивает электрохимические устройства, которые имеют произведение емкости CAP и сопротивления R , $CAP \times R$,

15 не больше 40 мОм·А·ч (предпочтительно не больше 35, более предпочтительно не больше 30, еще более предпочтительно не больше 25 и наиболее предпочтительно не больше 20). Другие устройства с электрохимическими элементами со сверхтонкими токоъемниками требуют высокого сопротивления в зависимости от емкости элемента.

20 Однако, вопреки таким прежним учениям, использование очень тонких электродных покрытий обеспечивает общее низкое сопротивление даже при одновременном использовании сверхтонких токоъемников с высоким сопротивлением. Таким образом, раскрытые тонкие электродные покрытия на сверхтонких токоъемниках также дают в

25 результате электрохимическое устройство с общим (полным) измеренным сопротивлением меньше 15 мОм, предпочтительно меньше 12, более предпочтительно меньше 10, еще более предпочтительно меньше 8, даже более предпочтительно меньше 6, даже еще более предпочтительно меньше 4 и наиболее предпочтительно меньше 2.

30 Аналогичным образом, в качестве альтернативной меры возможностей такого электрохимического элемента (или устройства) с высокой безопасностью/низким сопротивлением, емкость, измеренная при 2 С (30-минутная разрядка), $> R \times \text{емкость при } 0,5 \text{ С}$ (измеренную при 2-

часовой разрядке) (где P составляет по меньшей мере 90%, предпочтительно по меньшей мере 85%, более предпочтительно по меньшей мере 80%, еще более предпочтительно по меньшей мере 75% и наиболее предпочтительно по меньшей мере 70%.) Кроме того, другим

5 результатом измерения для такого нового электрохимического устройства с высокой безопасностью/низким сопротивлением (высокой мощностью) является то, что емкость 4 С (15-минутная разрядка) $> P * \text{емкость при } 0,5 \text{ С}$, где P является мерой, указанной выше.

10 [093] Интерес также представляет возможность использования в литий-ионной батарее сверхтонкого токосъемника в целях безопасности; однако такая структура, как указано выше, страдает от высокого внутреннего сопротивления и последующего высокого падения

15 напряжения при высоких токах. Опять же, использование электрода с малой толщиной покрытия, как обсуждалось выше, неожиданно эффективно компенсирует такой недостаток. Если литий-ионная батарея имеет емкость C , ток может быть измерен как C -скорость (обычно называемая отношением используемого тока к току, требуемому для

20 разрядки элемента за 1 час). Элементы с высоким внутренним сопротивлением плохо работают при C -скоростях больше 1 C , и будут иметь значительно более низкую измеренную емкость при 2 C или при 4 C . Поэтому трудно добиться элемента, изготовленного с очень тонкими металлическими токосъемниками, который имеет высокие емкости при 2 C или при 4 C . Однако, в отличие от этого, нанесение тонких

25 электродных покрытий на сверхтонкие токосъемники дает удивительно противоположный эффект, позволяя вместо этого получить значительно улучшенные и реальные результаты измерения емкости. На сегодняшний день нет другого способа достижения такого результата, кроме как, по

30 сути, обеспечения пониженного внутреннего сопротивления посредством методологий и операций, описанных в настоящем документе для таких элементов.

[094] В прошлом при использовании в сочетании со сверхтонкими токосъемниками таких результатов измерения и физических характеристик не достигали. Таким образом, благодаря таким тонким электродным покрытиям, как отмечено выше, нанесенным на такие
5 сверхтонкие токосъемники, аспекты безопасности, связанные с такими токосъемниками, сохраняются, но внутреннее сопротивление рассматриваемого элемента неожиданно и эффективно снижается, обеспечивая высокую мощность зарядки и разрядки, необходимую по меньшей мере для перезаряжаемых электрохимических элементов
10 конечного потребления, которые ранее были недоступны.

[095] На Фиг. 2 показана структура толстого электродного покрытия 11, нанесенного на сверхтонкий токосъемник 12 в соответствии с известным уровнем техники. Опять же, такая структура
15 будет иметь высокое внутреннее удельное сопротивление в электрохимическом элементе (литий-ионной батарее, в качестве одного неограничивающего примера).

[096] Поэтому на Фиг. 3 показано уменьшение толщины
20 электродного покрытия 15, которое нанесено на сверхтонкий токосъемник 16. Как отмечалось выше, эта нелогичная операция (в рамках состояния и стандарта перезаряжаемых электрохимических элементов) компенсирует высокие удельные сопротивления, демонстрируемые сверхтонкими токосъемниками, за счет обеспечения
25 внутреннего низкого сопротивления в целевом элементе (как на Фиг. 4).

[097] Таким образом, на Фиг. 4 показано включение такого сверхтонкого алюминизированного пленочного токосъемника 21 в элемент 20 батареи. Как показано, на коллектор 21 нанесены тонкое
30 катодное покрытие 22, первый разделитель 23 и противоположное тонкое анодное покрытие 24. Также представлены второй сверхтонкий омедненный пленочный токосъемник 21а и второй разделитель 23а. К алюминизированному пленочному токосъемнику 21 подсоединен

внутренний вывод 25 для контакта с внешним контактом (не показан) для передачи электрического заряда. Такой элемент 20 имеет, как отмечается повсюду в настоящем документе, уровни безопасности, связанные с наличием сверхтонкого токосъемника, и возможности

5 высокой мощности, связанные с нелогичным использованием и нанесением тонких электродных покрытий на такую поверхность коллектора.

[098] Следует понимать, что вышеприведенные результаты

10 измерений, соображения и наглядные материалы для тонких металлизированных пленочных токосъемников согласно альтернативному варианту 1 в равной степени относятся к другим альтернативным вариантам, приведенным ниже. Таким образом, токосъемники, описанные в настоящем документе, по меньшей мере с

15 точки зрения структурных и физических характеристик, следует считать одинаковыми для всех таких альтернативных вариантов (в частности, чтобы не повторять те же абзацы, что и выше).

Альтернативный вариант 2 — электродные покрытия с высокой

20 пористостью

[099] Также было обнаружено, что возможность уменьшения длины электрического пути, необходимого для прохождения ионов плюс электронов через электродное покрытие, за счет уменьшения толщины

25 покрытия также может быть достигнута нанесением на поверхность такого сверхтонкого токосъемника электродных покрытий с высокой пористостью. Таким образом, опять же, без какой-либо конкретной опоры на какую-либо научную теорию, судя по всему, такое низкое общее удельное сопротивление целевого элемента достигается за счет

30 того, что ионы и электроны проходят большую часть пути через такие электродные покрытия сквозь пористые структуры в отличие от обычных типов с низкой пористостью. Обеспечение этой структуры, по-видимому, также позволяет большему количеству жидкого электролита проникать

глубже внутрь электрода, тем самым, по-видимому, позволяя уменьшить перенос электронов через твердые частицы катода, сохраняя при этом высокую плотность энергии, связанную с более толстыми покрытиями (даже несмотря на то, что накопление энергии покрытием может быть
5 слегка уменьшено).

[0100] Как правило, желательно, чтобы пористость материала ионно-литиевого электрода была низкой, поскольку высокая пористость увеличивает количество используемого электролита и повышает объем,
10 используемый для накопления данного количества энергии. Поэтому на практике сегодня, как правило, используют батареи с каландрованными электродными покрытиями (под очень высоким давлением), имеющие высокие плотности покрытия (или, наоборот, низкую пористость покрытия). Как и в случае электродных покрытий, рассмотренных выше,
15 типичные элементы с высокой плотностью энергии, использующие сверхтонкие металлизированные пленки токосъемников, содержат (и специально предусматривают) электроды, имеющие высокие плотности покрытия (низкие пористости). Таким образом, ориентация на электродные покрытия с высокой пористостью, как и на тонкие
20 электродные покрытия, нелогична с точки зрения современной практики.

[0101] Высокая пористость может быть достигнута, например, за счет использования для электродного покрытия материала с большим
25 размером частиц. Такие крупные частицы создают относительно большие пространства между частицами, тем самым увеличивая пористость такой твердой структуры покрытия. Слои с меньшей пористостью могут быть достигнуты путем использования частиц меньшего размера, которые будут обеспечивать меньшие пространства между частицами. В
30 альтернативном варианте реализации распределение размера частиц, включая мелкие частицы, также обеспечит низкую плотность.

[0102] В таких структурах с высокой пористостью можно измерить плотность после утряски такого электродного материала и, таким образом, вычислить пористость на основе измерений плотности после утряски. Истинная плотность — это теоретическая плотность или, в случае смеси, теоретическая плотность, нормализованная по объему. Плотность после утряски получают механическим постукиванием по градуированному цилиндру, содержащему образец, до тех пор, пока не будет наблюдаться незначительное дальнейшее изменение объема. Пористость порошка вычисляют с помощью следующего уравнения 1:

10

Пористость порошка = $1 - \frac{\text{Плотность после утряски}}{\text{Истинная плотность}}$ Уравнение 1

[0103] Объемную плотность покрытия вычисляют как вес/м² покрытия, деленный на объем/м². Таким образом, покрытие с результатом измерения 20 грамм/м² и толщиной 20 микрон имеет объемную плотность 1,0 г/см³. Поэтому пористость покрытия вычисляют с помощью следующего уравнения 2:

Пористость покрытия = $1 - \frac{\text{Объемная плотность}}{\text{Истинная пористость}}$ Уравнение 2

[0104] Благодаря такому электродному покрытию с высокой пористостью, нанесенному на сверхтонкий токосъемник (как определено и описано выше в терминах измерений удельного сопротивления), такое покрытие с повышенной (высокой) пористостью обеспечивает такие же общие результаты измерения низкого внутреннего сопротивления для целевого электрохимического элемента, что и указанные выше для вариантов тонких электродных покрытий.

30

[0105] На Фиг. 5 показана структура электродного покрытия 31 с высокой пористостью, нанесенного на сверхтонкий токосъемник 32 в соответствии с известным уровнем техники. Опять же, такая структура

будет иметь высокое внутреннее удельное сопротивление в электрохимическом элементе (литий-ионной батарее, в качестве одного неограничивающего примера).

- 5 [0106] Поэтому на Фиг. 6 показано уменьшение толщины электродного покрытия 35, которое нанесено на сверхтонкий токосъемник 36. Как отмечалось выше, эта нелогичная операция (в рамках состояния и стандарта перезаряжаемых электрохимических элементов) компенсирует высокие удельные сопротивления, 10 демонстрируемые сверхтонкими токосъемниками, за счет обеспечения внутреннего низкого сопротивления в целевом элементе (как на Фиг. 7).

- [0107] Таким образом, на Фиг. 7 показано включение такого сверхтонкого алюминизированного пленочного токосъемника 41 в 15 элемент 40 батареи. Как показано, на коллектор 41 нанесены катодное покрытие 44 с высокой пористостью, первый разделитель 43 и противоположное анодное покрытие 42 с высокой пористостью. Также представлены второй сверхтонкий омедненный пленочный токосъемник 41а и второй разделитель 43а. К алюминизированному пленочному 20 токосъемнику 41 подсоединен внутренний вывод 45 для контакта с внешним контактом (не показан) для передачи электрического заряда. Такой элемент 40 имеет, как отмечается повсюду в настоящем документе, уровни безопасности, связанные с наличием сверхтонкого токосъемника, и возможности высокой мощности, связанные с 25 нелогичным использованием и нанесением тонких электродных покрытий на такую поверхность коллектора.

Альтернативный вариант 3 — электродные покрытия с высокой проводимостью

30

- [0108] Из-за ограниченной электрической проводимости большинства электродных материалов существенными компонентами литий-ионных батарей являются проводящие добавки, такие как

углеродная сажа и графит. Однако, поскольку сами проводящие добавки не содержат литий и поэтому не вносят вклад в способность элементов накапливать энергию, их использование сводят к минимуму, чтобы оставить место для максимального количества материалов, содержащих литий, таких как катодные материалы, содержащие никель, марганец и кобальт (NMC). Современные литий-ионные батареи изготавливают с использованием всего лишь 3% проводящей добавки в покрытии, причем довольно часто используют 3–5%.

10 [0109] Как правило, максимизация плотности энергии типичных электрохимических элементов современного уровня техники сочетает в себе вышеупомянутое низкопористое электродное покрытие с низким содержанием проводящего углерода. Такая структура, как упоминалось выше, максимально увеличивает количество активного проводящего

15 материала (например, литий-ионные структуры) в покрытии. Реализации такого электродного покрытия с низкой пористостью и низким содержанием углерода вместе со сверхтонким токосъемником (например, металлизированной пленкой) даст в результате элемент с таким же высоким удельным сопротивлением, как обсуждалось выше. Хотя такое

20 высокое внутреннее сопротивление может также привести к высоким уровням безопасности (опять же, как обсуждалось выше), отсутствие низкого сопротивления в самом элементе поставит под угрозу возможности его конечного использования, резко ограничивая потенциалы мощности. Однако, возможность увеличить содержание

25 углерода (уровней проводящего материала) не была реализована в отрасли перезаряжаемых электрохимических элементов. Таким образом, в соответствии с этим альтернативным вариантом можно достичь внутреннего сопротивления подходящего низкого уровня для больших мощностей под предлогом обеспечения более высокой проводимости за

30 счет повышенного содержания углерода в таких электродных материалах. Такие нелогичные операции и методологии позволяют сочетать структуры сверхтонких токосъемников с высоким сопротивлением и электродный материал с низким сопротивлением,

изготовленный путем использования большего количества углерода в покрытии и имеющий высокую пористость.

Альтернативный вариант 4 — слоистые электродные покрытия

5

[0110] Еще одно потенциальное усовершенствование структуры для таких электрохимических элементов включает использование многослойных электродов, имеющих различные градиенты. Обычные электродные материалы изготавливают из однослойного электродного материала, наносимого на токосъемник. Вышеупомянутый альтернативный вариант одинарного тонкого электродного покрытия обеспечивает неожиданно эффективный результат в виде низкого внутреннего сопротивления для целевого элемента, в частности, в сочетании с обеспечивающим уровень безопасности сверхтонким токосъемником с высоким удельным сопротивлением (и при нанесении на него покрытия). Однако при зарядке и разрядке часть электродных материалов, которые находятся далеко от токосъемника, будет испытывать более высокие сопротивление и омический нагрев, чем часть электродных материалов, которые находятся очень близко к токосъемнику. Таким образом, выгодно, чтобы материалы, расположенные дальше от токосъемника, имели конфигурацию с более высокой ионной и электрической проводимостью, чем те, которые находятся ближе к токосъемнику. Такая структура будет аналогичным образом обеспечивать более низкое сопротивление внутри целевого элемента.

[0111] Этот структурный и физический результат может быть достигнут с помощью процесса нанесения многослойного покрытия, в котором первое нанесенное покрытие (находящееся ближе всего к поверхности сверхтонкого токосъемника) имеет меньшую пористость и/или меньшее содержание проводящих частиц (углерода или графита), причем пористость и/или содержание проводящих частиц увеличиваются с последующими слоями (предпочтительно, такие пористость и

концентрации проводящих частиц увеличиваются с такими последующими слоями одновременно). Увеличение пористости может быть достигнуто путем снижения давления, которое используют в процессе каландрования для каждого последующего слоя. Содержание проводящих частиц может быть увеличено путем увеличения пропорции проводящих частиц, включенных в смесь.

[0112] Одна конфигурация, как показано на Фиг. 8, заключается в том, что первый слой (слой 1) 51B, ближайший к подложке (токосъемнику 52), очень тонкий и с высокой проводимостью, за ним следует второй слой (слой 2) 51A с низкой пористостью и высокой проводимостью, а третий слой (слой 3) 51 имеет более высокое содержание проводящих частиц и такую же высокую пористость. Аналогичным образом, как и выше, можно нанести больше слоев, причем каждый последующий слой имеет более высокое содержание проводящих частиц и поэтапно увеличивающуюся пористость. Еще в одной конфигурации проводящий «грунтовочный» слой исключают, и слоем с самой низкой пористостью и самым низким содержанием проводящих частиц является слой 1, причем в каждом последующем слое увеличивается пористость и/или содержание проводящих частиц.

[0113] Таким образом, на Фиг. 9 показано использование многослойного катодного покрытия 64 (представленного слоями 1, 2, 3 (51, 51 A, 51B), изображенными на Фиг. 8), нанесенного на сверхтонкий алюминизированный пленочный токосъемник 61 внутри элемента 60 батареи. Также представлены первый разделитель 63 и противоположный многослойный анод 64a (с такой же структурой, как и у катода 64, но изготовленный из анодных материалов, как вполне понятно специалисту в данной области). Такой анод нанесен на второй сверхтонкий омедненный пленочный токосъемник 61a и второй разделитель 63a. К алюминизированному пленочному токосъемнику 61 подсоединен внутренний вывод 65 для контакта с внешним контактом (не показан) для передачи электрического заряда. Такой элемент 60

имеет, как отмечается повсюду в настоящем документе, уровни безопасности, связанные с наличием сверхтонкого токосъемника, и возможности высокой мощности, связанные с нелогичным использованием и нанесением многослойных электродных покрытий с
5 градиентом проводимости на такую поверхность коллектора.

[0114] Вариант 5 — узорчатые электродные покрытия

[0115] Еще один способ достижения низкого внутреннего
10 сопротивления путем модификации электродного материала, отличающийся от тех, которые обычно применяются в промышленности, включает нанесение электродного материала, который может быть использован таким образом, чтобы в контакте с целевой поверхностью сверхтонкого токосъемника были определенные узоры проводящих
15 структур. Таким образом, может быть нанесено первое покрытие в дискретных областях (будь то линейные ряды, линейные столбцы, диагональные линии, точечные элементы, такие как кубы, цилиндры или любые другие геометрические трехмерные формы, и т. п.) с нанесением по меньшей мере второго покрытия в областях целевой поверхности
20 сверхтонкого токосъемника, на которые первое покрытие не было нанесено. Тогда такие различные покрытия электродных материалов могут включать любые структурные ограничения и требования, отмеченные выше, в том числе, без ограничений, первое покрытие, имеющее высокую пористость, второе покрытие, имеющее высокую
25 проводимость, и любое количество других покрытий с различными физическими результатами в отношении проводимости и т. п., необходимые для обеспечения структуры, которая, как указано выше, компенсирует высокие уровни сопротивления, создаваемые сверхтонким токосъемником. Благодаря такому узорчатому покрытию могут быть
30 созданы различные градиенты в отношении мер сопротивления в таких областях, что позволяет определенным областям приводить в движение ионы и электроны быстрее, чем другим областям.

[0116] Таким образом, если говорить подробнее, на Фиг. 10 показан сверхтонкий токосъемник 73 (опять же обеспечивающий более высокие уровни безопасности для целевого элемента, но также одновременно более низкое удельное сопротивление), имеющий нанесенное на него первое покрытие 71, выполненное в виде трехмерных линий и имеющее один тип конфигурации электрода (например, высокую плотность энергии, полученную путем использования более низкого содержания проводящих частиц) или более низкую пористость, достигнутую с помощью таких средств, как материалы с меньшим размером частиц, и второе покрытие 72, перемежающееся в виде трехмерных чередующихся линий с первым покрытием 71, и имеющее отличающиеся плотности энергии и/или более высокие концентрации/содержание проводящих частиц, чем у первого покрытия 72. В этом случае области более высокой пористости и/или более высокого содержания проводящих частиц могут действовать как «высокоскоростные магистрали» для ионов и электронов, снижая общее внутреннее сопротивление целевого элемента с сохранением при этом более высокой плотности энергии областей с более низкой пористостью, более низким содержанием проводящих частиц, необходимой для определенных целей, если требуется.

[0117] Таким образом, на Фиг. 11 показано включение такого сверхтонкого алюминизированного пленочного токосъемника 81 в элемент 80 батареи. Как показано, на коллектор 81 нанесены узорчатое катодное покрытие 82, первый разделитель 83 и противоположное анодное покрытие 82а. Такое узорчатое катодное покрытие 82 содержит области (71 и 72), как определено на Фиг. 10 выше. Такой анод нанесен на второй сверхтонкий омедненный пленочный токосъемник 84 и второй разделитель 83а. К алюминизированному пленочному токосъемнику 81 подсоединен внутренний вывод 85 для контакта с внешним контактом (не показан) для передачи электрического заряда. Такой элемент 80 имеет, как отмечается повсюду в настоящем документе, уровни безопасности, связанные с наличием сверхтонкого токосъемника, и

возможности высокой мощности, связанные с нелогичным использованием и нанесением узорчатых электродных покрытий на такую поверхность коллектора.

5 [0118] Таким образом, было показано, что приведенные выше
примеры демонстрируют желаемую толщину, металлическое покрытие и
результаты по проводимости, необходимые для предотвращения
теплого разгона внутри батареи, содержащей электролит, тем самым
обеспечивая не только гораздо более безопасный и надежный тип, но и
10 такой, который требует гораздо меньше составляющих внутренних вес
компонентов, чем когда-либо прежде, не жертвуя безопасностью, а,
фактически, улучшая ее. Однако дополнительно имеется возможность
компенсировать высокий уровень сопротивления такого сверхтонкого
токосъемника за счет применения различных типов электродов,
15 указанных в настоящем документе, которые до этого не были раскрыты
или исследованы в соответствующих отраслях промышленности
электрохимических элементов. Таким образом, возможность обеспечения
такого низкого внутреннего сопротивления целевых элементов за счет
сочетания таких уникальных электродов и сверхтонких токосъемников
20 позволяет значительно улучшить не только безопасность в отношении
возможных тепловых разгонов внутри перезаряжаемых и подобного типа
батарей и элементов питания, но и возможность обеспечения того, чтобы
это было не в ущерб высокомоощным зарядкам и разрядкам, по мере
необходимости, для определенного конечного использования таких
25 электрохимических элементов.

 [0119] Очевидно, что при наличии подробно описанного
изобретения специалисты в данной области смогут внести в него
изменения и модификации без отклонения от объема настоящего
30 изобретения. Соответственно, объем настоящего изобретения должен
определяться только приложенной формулой изобретения.

[0120] Поэтому вышеизложенное рассматривается только как иллюстрация принципов настоящей технологии.

Кроме того, поскольку специалистами в данной области могут быть легко осуществлены многочисленные модификации и изменения,
5 нежелательно ограничивать настоящую технологию показанными и описанными точными конструкцией и работой, и, соответственно, можно прибегнуть ко всем подходящим модификациям и эквивалентам, входящим в объем настоящей технологии.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между указанными анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанных анода и катода;

причем указанный токосъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат; и

при этом указанное электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С больше 70% от емкости, измеренной при 0,5 С, причем такой токосъемник также содержит изолирующий опорный слой, покрытый по меньшей мере одним проводящим слоем, при этом указанный проводящий слой имеет толщину, которая меньше 2 микрон.

2. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, в котором указанное устройство имеет сопротивление меньше 15 мОм.

3. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, в котором указанное устройство имеет поверхностную плотность энергии электрода меньше 4,0 мА·ч/см².

4. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, причем указанное устройство имеет произведение емкости CAP и сопротивления R, при этом CAP × R составляет меньше 40 мОм·А·ч.

5. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между указанными анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанных анода и катода;

причем указанный токоъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат;

при этом по меньшей мере один из указанного анода или катода структурирован для достижения низкого удельного сопротивления путем включения по меньшей мере одного из следующего:

а) электрод, имеющий толщину меньше 70 микрон;
b) электродное покрытие, содержащее больше 6% вес. проводящей добавки;

с) электродное покрытие, имеющее пористость больше 35%;

d) электродное покрытие, имеющее множество слоев; и

е) электродное покрытие, имеющее перемежающийся узор из материалов покрытия,

причем по меньшей мере один компонент указанного перемежающегося узора из материалов покрытия включает в себя области с высокой энергией и низкой проводимостью, и по меньшей мере один другой компонент указанного перемежающегося узора из материалов покрытия включает в себя области с более высокой проводимостью,

при этом такая проводимость является результатом присутствия высокого содержания проводящего материала или материала с высокой пористостью.

6. Устройство накопления энергии, содержащее:

анод и катод;

первый разделитель, расположенный между указанным анодом и указанным катодом;

электролит;

первый токоъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанного анода и указанного катода;

второй токоъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанного анода и указанного катода, противоположным тому, с которым контактирует указанный первый токоъемник; и

второй разделитель, находящийся в контакте с указанным вторым токосъемником;

при этом по меньшей мере один из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника имеет удельное сопротивление меньшей 0,005 Ом/квадрат.

7. Устройство накопления энергии по п. 6, также содержащее вывод, соединенный с указанным первым токосъемником и выполненный с возможностью приведения в контакт с внешним контактом.

10

8. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника включает в себя нанесенную на него металлическую пленку.

15

9. Устройство накопления энергии по п. 8, в котором металлическая пленка указанного первого токосъемника выполнена из другого металла по сравнению с металлической пленкой указанного второго токосъемника.

20

10. Устройство накопления энергии по п. 9, в котором указанная металлическая пленка по меньшей мере одного из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника имеет толщину покрытия в общей сложности меньше 5 микрон.

25

11. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором указанный анод и указанный катод являются пористыми и имеют пористость по меньшей мере 35%.

30

12. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый указанного анода и указанного катода содержат электродное покрытие, содержащее больше 6% вес. проводящей добавки.

13. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного анода и указанного катода имеет множество слоев, включающее в себя верхний слой, имеющий более высокую проводимость, чем каждый последующий нижний слой.

5

14. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного анода и указанного катода имеет множество слоев, включающее в себя верхний слой, имеющий более высокую пористость, чем каждый последующий нижний слой.

10

15. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором указанный катод представляет собой узорчатый электрод, причем часть указанного катода содержит первые области попеременно со вторыми областями, при этом указанные первые области имеют первый атрибут энергии или проводимости, а указанные вторые области имеют второй атрибут энергии или проводимости, который больше, чем в указанных первых областях с созданием, тем самым, градиентов проводимости.

15

ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ по ст. 34 РСТ
(для вступления в региональную фазу)

1. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между указанными анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанных анода и катода;

причем указанный токосъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат; и

при этом указанное электрохимическое устройство имеет емкость при 2 С больше 70% от емкости, измеренной при 0,5 С, причем такой токосъемник также содержит изолирующий опорный слой, покрытый по меньшей мере одним проводящим слоем,

при этом указанный проводящий слой имеет толщину, которая меньше 2 микрон, и

при этом каждый из указанного анода и указанного катода имеет множество слоев, включающее в себя верхний слой, ближайший к токосъемнику, имеющий более высокую проводимость, чем каждый последующий нижний слой.

2. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, в котором указанное устройство имеет сопротивление меньше 15 мОм.

3. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, в котором указанное устройство имеет поверхностную плотность энергии электрода меньше 4,0 мА·ч/см².

4. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии по п. 1, причем указанное устройство имеет произведение емкости CAP и сопротивления R , при этом $CAP \times R$ составляет меньше 40 мОм·А·ч.

5. Литиевое электрохимическое устройство выработки и накопления энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один разделитель, присутствующий между указанными анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токоъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанных анода и катода;

причем указанный токоъемник имеет удельное сопротивление больше 0,005 Ом/квадрат;

при этом по меньшей мере один из указанного анода или катода структурирован для достижения низкого удельного сопротивления путем включения электродного покрытия, имеющего перемежающийся узор из материалов покрытия,

причем по меньшей мере один компонент указанного перемежающегося узора из материалов покрытия включает в себя области с высокой энергией и низкой проводимостью, и по меньшей мере один другой компонент указанного перемежающегося узора из материалов покрытия включает в себя области с более высокой проводимостью,

при этом такая проводимость является результатом присутствия высокого содержания проводящего материала или материала с высокой пористостью,

причем указанное электродное покрытие также структурировано так, чтобы включать в себя по меньшей мере одно из следующего:

- a) толщину меньше 70 микрон;
- b) больше 6% вес. проводящей добавки;
- c) пористость больше 35%;
- d) множество слоев.

6. Устройство накопления энергии, содержащее:

анод и катод;
первый разделитель, расположенный между указанным анодом и указанным катодом;
электролит;
первый токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанного анода и указанного катода;
второй токосъемник, находящийся в контакте по меньшей мере с одним из указанного анода и указанного катода, противоположным тому, с которым контактирует указанный первый токосъемник; и
второй разделитель, находящийся в контакте с указанным вторым токосъемником;
при этом по меньшей мере один из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника имеет удельное сопротивление меньшей $0,005 \text{ Ом/кв.см}$,
причем указанный катод представляет собой узорчатый электрод, причем часть указанного катода включает в себя первые области попеременно со вторыми областями,
при этом указанные первые области имеют первый атрибут энергии или проводимости, а указанные вторые области имеют второй атрибут энергии или проводимости, который больше, чем в указанных первых областях с созданием, тем самым, градиентов проводимости.

7. Устройство накопления энергии по п. 6, также содержащее вывод, соединенный с указанным первым токосъемником и выполненный с возможностью приведения в контакт с внешним контактом.

8. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника включает в себя нанесенную на него металлическую пленку.

9. Устройство накопления энергии по п. 8, в котором металлическая пленка указанного первого токосъемника выполнена из другого металла по сравнению с металлической пленкой указанного второго токосъемника.

10. Устройство накопления энергии по п. 9, в котором указанная металлическая пленка по меньшей мере одного из указанного первого токосъемника и указанного второго токосъемника имеет толщину покрытия в общей сложности меньше 5 микрон.

11. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором указанный анод и указанный катод являются пористыми и имеют пористость по меньшей мере 35%.

12. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый указанного анода и указанного катода включает в себя электродное покрытие, содержащее больше 6% вес. проводящей добавки.

13. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного анода и указанного катода имеет множество слоев, включающее в себя верхний слой, имеющий более высокую проводимость, чем каждый последующий нижний слой.

14. Устройство накопления энергии по п. 6, в котором каждый из указанного анода и указанного катода имеет множество слоев, включающее в себя верхний слой, имеющий более высокую пористость, чем каждый последующий нижний слой.