

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047792**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

- (45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.09.10**
- (21) Номер заявки  
**202390597**
- (22) Дата подачи заявки  
**2020.03.20**
- (51) Int. Cl. **H01M 10/0525 (2010.01)**  
**H01M 4/64 (2006.01)**  
**H01M 4/66 (2006.01)**

---

(54) **СОЕДИНЕНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ И КОМПОНЕНТЫ ИЗ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ПЛЕНКИ В УСТРОЙСТВАХ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ С ВНУТРЕННИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ**

---

- (31) **16/361,216**
- (32) **2019.03.22**
- (33) **US**
- (43) **2023.05.31**
- (62) **202192436; 2020.03.20**
- (56) **US-A1-20130177787**  
**CA-A1-3074487**  
**JP-B2-4984358**  
**JP-A-2000251868**  
**RU-C1-2614057**
- (71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**СОТЕРИА БЭТТЕРИ ИННОВЕЙШН**  
**ГРУП ИНК. (US)**
- (72) Изобретатель:  
**Морин Брайан Г., Ху Карл С. (US)**
- (74) Представитель:  
**Нилова М.И. (RU)**

- (57) В изобретении предложен элемент литиевого аккумулятора с внутренним предохранительным компонентом и необходимыми язычками, которые обеспечивают проводимость от его внутренней части наружу для питания рассматриваемого устройства. В настоящем изобретении раскрыты язычки, которые демонстрируют достаточные уровни безопасности в сочетании с характеристиками внутреннего предохранителя, указанными выше, одновременно демонстрируя прочность на отрыв, чтобы оставаться на месте во время использования, а также обеспечивая полное покрытие тонкопленочных металлизированных токоприемников для обеспечения такого результата электропроводности. Такие язычки дополнительно снабжены эффективными сварными швами для обеспечения необходимых контактов при уровнях, которые представляют собой удивительные уровни сопротивления току и температуре, для достижения основного результата внутреннего предохранителя с вышеупомянутой достаточной проводимостью по отношению к внешнему устройству. Благодаря такому язычковому выводу и сварной структуре в данной области техники обеспечивается дополнительное усовершенствование литиевых аккумуляторов.

**B1****047792****047792****B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к улучшениям структурных компонентов и физических характеристик литиевых аккумуляторных изделий. Например, традиционные литий-ионные аккумуляторы подвержены определенным явлениям, связанным с коротким замыканием, в результате чего они подвергаются воздействию высоких температур и могут в итоге воспламениться. Было обнаружено, что структурные свойства аккумуляторных компонентов являются одним из источников таких проблем. Улучшения, представленные в настоящем документе, включают в себя использование тонких металлизированных токоприемников (например, из алюминия и/или меди), материалов с высокой скоростью усадки, материалов, которые становятся непроводящими при воздействии высоких температур, и их комбинации. Такие улучшения обеспечивают возможность противостоять определенным недостаткам (дендритам, неожиданным скачкам электрического напряжения и т.д.) в конструкции целевого литиевого аккумулятора посредством обеспечения как будто бы внутреннего предохранителя в конструкции самих рассматриваемых литиевых аккумуляторов, который предотвращает нежелательные результаты воздействия высоких температур в случаях короткого замыкания. Аккумуляторные изделия и способы их использования, включающие в себя такие улучшения, также подпадают под объем настоящего изобретения.

Особый интерес и важность представляют обеспечение элемента литиевого аккумулятора, который включает в себя необходимые язычки для обеспечения проводимости от его внутренней части наружу для питания рассматриваемого устройства, что может быть нетривиальным условием из-за тонкости электродов, и, вероятно, обеспечение того, чтобы две стороны электродного материала не могли быть проводящими друг с другом. В настоящем изобретении предусмотрены язычки, которые демонстрируют достаточные уровни безопасности в сочетании с отмеченными выше характеристиками внутреннего предохранителя, при этом одновременно обладая прочностью на разрыв, чтобы оставаться на месте при эксплуатации, а также полностью покрывая тонкопленочные металлизированные токоприемники для обеспечения такого результата электрической проводимости. Такие язычки дополнительно снабжены оптимальными сварными швами для обеспечения необходимых контактов при уровнях, которые представляют собой впечатляющие уровни силы тока и термостойкости для достижения базового результата внутреннего предохранителя с вышеупомянутой достаточной проводимостью для внешнего устройства. Благодаря такому компоненту в виде язычкового вывода и такой сварной структуре обеспечивается дополнительное улучшение в области производства литиевых аккумуляторов.

Кроме того, раскрытые в настоящем документе усовершенствования внутреннего предохранителя, представленные в виде чрезвычайно тонких структур токоприемников, дополнительно обеспечивают возможность выполнения в нем повторяющихся складок в пределах одного элемента. Такая возможность выполнения складок обеспечивает возможность соединения двух сторон токоприемника, который в противном случае мог бы быть электрически изолирован полимерным слоем, расположенным между двумя проводящими слоями, не приводя к необходимости повышения внутреннего веса и/или объема аккумулятора. По видимости, токоприемник со складками сохраняет характеристики внутреннего предохранителя, одновременно обеспечивая такое увеличение мощности, теоретически допуская любое количество увеличений мощности в пределах любого количества подобранных по размеру аккумуляторов без необходимости в вышеупомянутого повышения веса и объема, а также приводя к созданию новых аккумуляторных изделий для разных целей с заданными высокими уровнями мощности и максимально возможными преимуществами безопасности.

### Уровень техники

Литиевые аккумуляторы по-прежнему распространены во всем мире в качестве источника электроэнергии для множества изделий. Благодаря их надежности, отмеченной выше возможности перезарядки и долговечности использования литиевые аккумуляторы (с разными типами ионов) используются в качестве основного источника питания всюду: от перезаряжаемых электроинструментов до электронных автомобилей и широко распространенных сотовых телефонов (и подобных им планшетных компьютеров, портативных компьютеров и т.д.). Однако с такими широко используемыми источниками питания возникают определенные проблемы, некоторые из которых становятся все более серьезными. В частности, выявились проблемы безопасности, когда определенные недостатки в таких литиевых аккумуляторах, будь то вследствие первоначальных проблем, связанных с их производством, или проблем, связанных с их деградацией с течением времени, вызывают уязвимость перед напряжением возникновения возгорания во время короткого замыкания. В основном было обнаружено, что внутренние дефекты в проводящих материалах создают нежелательное сильное нагревание и, в конечном счете, приводят к возгоранию внутри таких аккумуляторных структур. В результате некоторые изделия, в которых применяются литиевые аккумуляторы - начиная от портативных компьютеризированных устройств (смартфон "Samsung Galaxy Note 7", как одна печально известная ситуация) до целых самолетов (пассажирский самолет "Boeing 787") - были запрещены к продаже и/или использованию до тех пор, пока не будут найдены решения для используемых в них скомпрометированных литиевых аккумуляторов и сопутствующих товаров (и даже до такой степени, что смартфон "Samsung Galaxy Note 7" был запрещен к использованию в любых самолетах в определенных регионах). Даже линейка электромобилей компании "Tesla" продемонстрировала заметные проблемы с компонентами литиевых аккумуляторов, что привело к появлению громких и

привлекающих к себе внимание историй, согласно которым такие дорогие транспортные средства взрываются как огненные шары из-за проблем с аккумуляторами. Таким образом, по сей день повсеместно происходят снятия с продаж или сохраняются прямые запреты, имеющие отношение к таким проблемам с литиевыми аккумуляторами, что приводит к значительной необходимости их преодоления.

Эти проблемы в первую очередь существуют вследствие производственных дефектов, будь то связанные с отдельными аккумуляторными компонентами в том виде, в каком они изготовлены, или, по существу, с тем, что такие компоненты выполнены как отдельные аккумуляторы. При более внимательном рассмотрении литиевые аккумуляторы в настоящее время изготавливаются из шести основных компонентов: катодного материала, катодного токоприемника (такого как алюминиевая фольга), на который нанесен катодный материал, анодного материала, анодного токоприемника (такого как медная фольга), на который нанесен анодный материал, сепаратора, расположенного между каждым анодным и катодным слоями и обычно выполненного из пластмассового материала, и электролита в виде проводящего органического растворителя, который насыщает другие материалы, тем самым обеспечивая механизм проводимости ионов между анодом и катодом. Эти материалы обычно сматываются вместе в металлическом контейнере, как показано на фиг. 1 из уровня техники, или укладываются один на другой. Существует множество других конфигураций, которые используются и могут быть использованы для таких целей производства аккумуляторов, включая пакетные элементы ("pouch cells"), призматические элементы, дисковые элементы, цилиндрические элементы, смотанные призматические элементы, смотанные пакетные элементы и т.д. При правильном изготовлении и бережном обращении эти аккумуляторные элементы могут выдавать энергию для различных применений в течение тысяч циклов зарядки-разрядки без каких-либо заметных нарушений безопасности. Однако, как упоминалось выше, определенные события и, в частности, определенные дефекты могут вызывать внутреннее короткое замыкание между внутренними проводящими материалами, которое может приводить к образованию тепла и внутреннему тепловому разгону, что, как известно, является основной причиной опасности возгорания в таких литиевых аккумуляторах. Как отмечено выше, такие события могут быть дополнительно вызваны внутренними дефектами, включающими в себя наличие металлических частиц внутри аккумулятора, заусенцев на материалах токоприемника, небольших точечных дефектов или отверстий в сепараторе (независимо от того, присутствуют ли они или возникли во время последующей обработки), несовпадений слоев аккумулятора (что оставляет "отверстия" для возникновения нежелательной проводимости), внешнего мусора, проникающего в аккумулятор (например, частицы дорожного полотна, ударяющиеся о движущееся транспортное средство), разрушение и/или дестабилизацию самого элемента (например, из-за несчастных случаев), зарядку элемента в замкнутом пространстве и т.п. Вообще говоря, известно, что эти типы дефектов вызывают образование небольшого канала с электронной проводимостью между анодом и катодом. Когда происходит такое событие, и если элемент при этом заряжается, такой проводящий канал может вызывать разряд элемента, что в итоге приводит к образованию чрезмерного количества тепла, тем самым нарушая структуру аккумулятора и подвергая опасности нижележащее устройство, которое таким образом получает питание. Было показано, что при использовании воспламеняющихся органических растворителей, используемых в качестве электролитов аккумулятора (которые обычно необходимы для работоспособности аккумулятора), такое чрезмерное количество тепла вызывает их возгорание, создавая в итоге очень опасную ситуацию. Такие проблемы трудно контролировать, как минимум, после их появления, и они привели к значительным травмам потребителей. Такую потенциально опасную ситуацию, безусловно, следует избегать за счет обеспечения аккумулятора, который выдает электроэнергию, не приводя при этом к такой проблеме с воспламеняющимся органическим электролитом.

Образование чрезмерного количества внутреннего тепла может дополнительно вызывать усадку пластмассового сепаратора, заставляя его отодвигаться, отсоединяться или иным образом увеличивать область короткого замыкания внутри аккумулятора. В такой ситуации большая открытая область короткого замыкания внутри аккумулятора может привести к непрерывному току и повышенному нагреву в нем, что приведет к появлению высокой температуры, которая вызывает значительное повреждение элемента, включая взрыв, сброс и даже воспламенение и возгорание. Такое повреждение особенно проблематично из-за вероятности возгорания, и, хуже того, оно возникает быстро и может привести к взрыву аккумулятора и, в принципе, нижележащего устройства, что также подвергает пользователя значительной опасности.

Литиевые аккумуляторы (многих различных типов) особенно подвержены проблемам, связанным с коротким замыканием. Обычные аккумуляторы склонны демонстрировать повышенные скорости разрядки при воздействии высоких температур, что иногда приводит к неконтролируемому (неуправляемому) возгоранию и воспламенению, как отмечено выше. Из-за этих возможностей были введены в действие определенные правила, регулирующие фактическую эксплуатацию, хранение и даже транспортировку таких аккумуляторных изделий.

Возможность реализации надлежащего протокола для предотвращения таких неуправляемых событий, связанных с коротким замыканием, безусловно, имеет огромное значение. Однако остается следующая задача: как на самом деле решить такие проблемы, особенно когда производство компонентов осуществляется множеством поставщиков и из множества разных мест по всему миру.

Некоторые полностью сосредоточились на попытке использовать подходящие и/или улучшенные сепараторы в качестве средства, помогающего снизить вероятность таких возгораний литиевых аккумуляторов. Пластмассовые мембраны с низкой температурой плавления и/или скоростью усадки, по видимому, обеспечивают более высокие вероятности возникновения возгорания аккумуляторов. Общая идея при этом заключалась в том, чтобы нанести определенные покрытия на такие материалы сепаратора без снижения их способности отделения электролита во время фактической эксплуатации. Таким образом, керамические частицы, например, использовались в качестве покрытий из полипропиленовой и/или полиэтиленовой пленки, служащих как средство увеличения размерной устойчивости таких пленок (например, повышения температуры плавления). Связующие полимеры также были включены в качестве компонента улучшения когезии между керамическими частицами и адгезии к пластмассовой мембране (пленке). В действительности, однако, было обнаружено, что тепловое увеличение, придаваемое всей пленочной структуре с покрытиями из керамических частиц, относительно невелико, что делает основным фактором такой проблемы с сепаратором сам фактический материал (материалы) сепаратора.

В результате были разработаны и реализованы, по меньшей мере, до некоторой степени материалы сепаратора, которые являются гораздо более термостойкими, чем пористые пленки из полиэтилена и полипропилена, составляющие базовый слой таких обычных сепараторов с керамическим покрытием. Эти размерно-устойчивые сепараторы с низкой усадкой демонстрируют усадку менее 5% при воздействии температур по меньшей мере 200°C (вплоть до температур 250, 300 и даже выше), что намного лучше, чем высокие скорости усадки, демонстрируемые непокрытыми полимерными пленками (с усадкой примерно 40% при 150°C) и пленками с керамическим покрытием (более 20% при 180°C) (такие сравнения измерений усадки представлены на фиг. 2 из уровня техники). Такие материалы с низкой скоростью усадки могут изменять механизм термического разложения внутри целевого элемента при возникновении короткого замыкания. Вообще говоря, при возникновении короткого замыкания в таком аккумуляторном элементе всегда будет образовываться тепло. Если сепаратор не усаживается в связи с таким событием короткого замыкания, тепло будет продолжать образовываться и "накапливаться" до тех пор, пока другой материал внутри батареи не разложится. Это явление было смоделировано с помощью стандартного отраслевого теста на проникновение гвоздей. Например, даже с сепаратором, включающим в себя параарамидное волокно и демонстрирующим устойчивость к усадке до 550°C, рассматриваемый испытуемый аккумулятор показал склонность к короткому замыканию с уникальными внутренними результатами. Такой элемент был исследован более тщательно после такой обработки, при которой элемент был вскрыт, излишек электролита испарился, элемент был заполнен эпоксидной смолой и затем разрезан перпендикулярно гвоздю, оставшемуся в элементе. Затем были получены изображения сканирующего электронного микроскопа с использованием визуализации спектра обратно-рассеянных электронов (ВЕИ), что позволило составить карту разных аккумуляторных элементов с целью показать эффект от такого воздействия путем проникновения гвоздя. Это показано на фиг. 3А и 3В из уровня техники.

Следует отметить, что на фиг. 3А из уровня техники слои меди всегда подходят ближе к гвоздю, чем слои алюминия. Также следует отметить, что высокостабильный сепаратор между электродами все еще не поврежден. На фиг. 3В из уровня техники показан конец одного алюминиевого слоя при большем увеличении, при котором видно, что он заканчивается слоем потрескавшегося серого вещества. Оно было исследовано с помощью ВЕИ, которая показала, что полученное вещество на самом деле было оксидом алюминия - изолирующей керамикой. Такие полученные данные привели к предполагаемому выводу о том, что, когда сам сепаратор является термостойким, алюминиевый токоприемник будет окисляться, эффективно разрывая цепь (и в результате останавливая любое короткое замыкание после образования изолирующего оксида алюминия). Как только цепь разрывается, ток перестает течь и больше не образуется тепло, что поворачивает вспять процесс, приводящий к тепловому разгону в случае с менее стабильными сепараторами.

Это возможное решение, однако, ограничивается простой заменой сепаратора на тот, что имеет более высокие характеристики скорости усадки. Хотя такое простое решение может показаться очень выгодным, все еще остаются другие производственные процедуры и определенные компоненты (такие как типы сепараторов с керамическим покрытием), которые широко используются, и их может быть трудно заменить в принятых аккумуляторных изделиях. Таким образом, несмотря на очевидные преимущества использования и включения термостойких сепараторов нежелательные возгорания аккумуляторов все еще могут возникать, особенно когда изделия из сепараторов с керамическим покрытием считаются безопасными для таких целей. Таким образом, было определено, что имеется, по меньшей мере, другой, исключительно внутренний структурный механизм аккумуляторного элемента, который может исправить или, по меньшей мере, уменьшить вероятность образования тепла из-за внутреннего короткого замыкания, вдобавок к использованию таких высокотермостойких материалов сепаратора. В такой ситуации возникновение короткого замыкания в таком аккумуляторном элементе не приведет к разрушительному высокотемпературному повреждению вследствие прерывания замкнутой внутренней цепи за счет фактического создания внутреннего предохранителя. Однако до сих пор в области производства литие-

вых аккумуляторов не было представлено ничего, что решало бы с легкостью эти проблемы. Настоящее изобретение обеспечивает столь желательное средство устранения этих проблем, которое делает литиевые аккумуляторные элементы чрезвычайно безопасными и надежными на многих рынках.

Дополнительный и особый интерес представляет рассмотрение надлежащего обеспечения проводимости электрического заряда от рассматриваемого литий-ионного аккумулятора к внешнему источнику. Обычно это достигается за счет использования язычка, который контактирует и прикрепляется к токоприемнику или, возможно, каким-то образом к анодному и катодному токоприемникам с целью обеспечения необходимого свойства проводимости с внешним источником. Язычок как будто бы функционирует как контакт с такими внутренними аккумуляторными компонентами и выходит за пределы корпуса аккумуляторного элемента с наличием точечных контактов для таких целей проводимости. Таким образом, язычок должен оставаться на месте и не отсоединяться от токоприемника (токоприемников) и обеспечивать непрерывный доступ к внешнему источнику без, опять же, смещения изнутри или отсоединения от него извне. Поскольку в области производства литий-ионных аккумуляторов не было никаких раскрытий относительно таких тонкопленочных токоприемников, также неизвестно ничего, что представляло бы собой попытку улучшить или оптимизировать такие проблемы с соединением язычков. Конечно, стандартные типы язычков хорошо известны и подсоединяются к большим токоприемникам стандартных аккумуляторных элементов; тем не менее, не представлено никаких соображений относительно защиты от воздействия тонкопленочных токоприемников (например, посредством внутреннего предохранителя), при этом в целом обеспечивая размерно-устойчивый результат для предотвращения выхода из строя аккумулятора из-за конструктивных нарушений. По существу, в уровне техники или отрасли производства литий-ионных аккумуляторов ничего подобного не обсуждалось и не раскрывалось. Настоящее изобретение тем не менее преодолевает такие парадигмы и обеспечивает результат, который до сих пор не был открыт и/или изучен в соответствующей отрасли.

#### **Сущность изобретения**

Явным преимуществом настоящего изобретения является возможность обеспечения посредством структурных компонентов механизма прерывания проводящего канала при возникновении внутреннего короткого замыкания, останавливая или значительно уменьшая поток тока, который может образовывать тепло внутри целевого аккумуляторного элемента. Другим преимуществом является возможность обеспечения такой защитной структурной компоновки внутри литиевого аккумуляторного элемента, которая также обеспечивает выгодное снижение веса и стоимости производства, транспортировки и эксплуатации элемента в целом. Таким образом, другим преимуществом является создание и сохранение структуры внутреннего предохранителя в целевом аккумуляторном элементе до тех пор, пока не возникнет необходимость в его активации. Другим преимуществом является обеспечение аккумулятора меньшего веса за счет использования тонкопленочного базового токоприемника, который предотвращает тепловой разгон во время короткого замыкания или подобного события. Еще одним преимуществом является возможность использования в аккумуляторе воспламеняющихся органических электролитов без какой-либо заметной склонности к их возгоранию во время короткого замыкания или подобного события. Другим явным преимуществом является возможность обеспечения достаточного проводящего язычкового компонента, приваренного или иным образом контактирующего с токоприемником, имеющим внутренний предохранитель, в частности, контактирующего как с его верхней, так и с его нижней поверхностью одновременно. Еще одним преимуществом является возможность создания складок внутри раскрытых в настоящем документе тонких компонентов токоприемника с целью обеспечения возможности выработки совокупной мощности последовательно из множества токопроводящих внутренних структур, чтобы обеспечивать надежные результаты аккумулятора по запросу, при этом не прибегая к измерению чрезмерного веса или объема.

Таким образом, настоящее изобретение может охватывать устройство хранения энергии, содержащее анод, катод, по меньшей мере один полимерный или тканевый сепаратор, присутствующий между анодом и катодом, электролит и по меньшей мере один токоприемник, контактирующий по меньшей мере с одним из анода и катода; при этом либо анод, либо катод расположен между по меньшей мере частью токоприемника и сепаратором, причем токоприемник содержит проводящий материал, нанесенный на подложку из полимерного материала, и токоприемник перестает проводить в точке контакта открытой области короткого замыкания при рабочем напряжении устройства хранения энергии, при этом напряжение составляет по меньшей мере 2,0 вольт. Одним примером может быть плотность тока в точке контакта 0,1 ампер/мм<sup>2</sup> при размером кончика 1 мм<sup>2</sup> или менее. Конечно, для более крупных элементов требуемая пороговая плотность тока может быть выше, и элемент может перестать быть проводящим только при плотности тока по меньшей мере 0,3 ампер/мм<sup>2</sup>, такой как по меньшей мере 0,6 ампер/мм<sup>2</sup> или даже по меньшей мере 1,0 ампер/мм<sup>2</sup>. Такая подложка из полимерного материала с покрытием также должна иметь общую толщину не более 25 мкм, как более подробно описано ниже. Способы использования такого полезного компонента токоприемника в устройстве хранения энергии (будь то аккумулятор, такой как литий-ионный аккумулятор, или конденсатор и т.п.) также подпадают под объем настоящего изобретения. Кроме того, такое аккумуляторное изделие с тонкопленочным токоприемником также может быть снабжено по меньшей мере одним язычком, контактирующим с базовым тонкопленочным

токоприемником через 2-50 равномерно разнесенных и подобранных по размеру сварных швов, идущих по длине токоприемника, при этом по меньшей мере один язычок нанесен на тонкую пленку таким образом, чтобы указанный по меньшей мере один язычок имел открытую верхнюю поверхность и нижнюю поверхность, контактирующую с покрытой поверхностью тонкопленочного токоприемника, причем сварные швы демонстрируют размещение проводящего материала, проходящего через язычок от его открытой верхней поверхности к покрытой поверхности тонкопленочного токоприемника. Кроме того, под объем настоящего изобретения также подпадает использование множества вышеописанных токоприемников, сложенных так, чтобы обеспечивать отдельные области выработки энергии, которые соединены последовательно в одном аккумуляторном изделии.

Другой аспект настоящего изобретения может представлять собой систему хранения энергии, включающую в себя анод, катод, по меньшей мере один сепаратор, присутствующий между анодом и катодом, и электролит. По меньшей мере один тонкопленочный токоприемник может контактировать по меньшей мере с одним из анода и катода. Токоприемник может содержать проводящий материал, нанесенный на подложку из непроводящего материала. Токоприемник может переставать быть проводящим в точке контакта короткого замыкания при рабочем напряжении устройства хранения энергии. Напряжение может составлять по меньшей мере 2,0 В. По меньшей мере один язычок может быть прикреплен к указанному по меньшей мере одному тонкопленочному токоприемнику. Соединительное средство может быть выполнено с возможностью прикрепления язычка к токоприемнику. Соединительное средство может иметь электрический контакт с открытой поверхностью язычка и тонкопленочным токоприемником. Либо анод, либо катод может быть расположен между по меньшей мере частью тонкопленочного токоприемника и сепаратором.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения соединительное средство может быть выбрано из группы, состоящей из сварных швов, ленты, скоб, промежуточных металлических полос, z-образно сложенных металлических полос, проводящих клеев и зажимов.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения соединительное средство может состоять из 2-50 соединений, распределенных по токоприемнику для обеспечения равномерного протекания тока от электродных материалов к язычкам.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения токоприемник может быть сложен так, чтобы обеспечивать непосредственный контакт между противоположными сторонами токоприемника.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения сепаратор может быть полимерным, нетканым, тканевым или керамическим.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения подложка из непроводящего материала может быть полимерной пленкой.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения электролит может быть воспламеняющимся органическим электролитом.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения язычок может быть первым язычком, контактирующим с верхней поверхностью токоприемника, и вторым язычком, контактирующим с нижней поверхностью токоприемника. Первый и второй язычки могут быть параллельны.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения язычок может быть сложен поверх токоприемника так, чтобы первый выступ язычка контактировал с верхней поверхностью токоприемника, а второй выступ язычка контактировал с нижней поверхностью токоприемника. Первый выступ и второй выступ могут быть параллельны.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения токоприемник может иметь конфигурацию с двойными складками для создания двух электрически изолированных слоев.

В некоторых или во всех вариантах осуществления настоящего изобретения токоприемник может быть множеством токоприемников, соединенных последовательно, причем язычок прикреплен к конечному токоприемнику из множества токоприемников.

Некоторые или все варианты осуществления настоящего изобретения могут включать в себя второй язычок, прикрепленный к первому токоприемнику из множества токоприемников. Язычок и второй язычок могут быть параллельны.

Кроме того, гораздо большие плотности тока могут поддерживаться в течение очень короткого периода времени или в зонде с очень маленьким кончиком. В такой ситуации большой ток, например, 5 ампер, 10 ампер или даже 15 ампер, может обеспечиваться в течение очень короткого периода времени [например, менее секунды, альтернативно менее 0,1 с или даже менее 1 мс (0,001 с)]. В рамках настоящего изобретения, хотя и можно измерить большой ток, время доставки для такого тока достаточно короткое, так что общая переданная энергия очень мала и недостаточна для образования достаточного количества тепла, чтобы вызвать событие теплового разгона в целевом аккумуляторном элементе. Например, известно, что короткое замыкание в элементе с традиционной архитектурой генерировало 10 ампер в течение 30 с при напряжении 4,2 В, в результате чего было доставлено 1200 Дж энергии в небольшую локальную область внутри такого аккумулятора. Это результирующее измерение может повысить температуру 1-граммовой секции исследуемого аккумулятора примерно на 300°C, т.е. до температуры, доста-

точно высокой для того, чтобы не только расплавить материал обычного сепаратора, присутствующий в нем, но и также привести весь элемент в состояние теплового разгона (что, как отмечено выше, может вызывать вышеупомянутое негативное влияние на материалы электролита, присутствующие в нем, и потенциальное разрушение не только рассматриваемого аккумулятора, но и устройства/приспособления, в котором он находится, а также окружающего пространства). Таким образом, несомненно, именно возможность сокращения продолжительности короткого замыкания, а также результирующих уровней доставляемой энергии, связанных с таким коротким замыканием, до низкого измеряемого уровня джоулей, может позволить избежать, если не предотвратить полностью, тепловой разгон (и связанную с ним потенциальную катастрофу). Например, уменьшение времени пребывания токоприемника в состоянии короткого замыкания до 1 мс или менее может впоследствии уменьшить количество доставляемой энергии до 0,04 Дж (в отличие от отмеченных выше 1200 Дж, которые приводят к чрезмерным 300°C или более, например, в пределах 1-граммовой локальной области рассматриваемого аккумулятора). Таким образом, такой низкий уровень вызовет повышение температуры только на 0,01°C в пределах такой 1-граммовой локальной области аккумулятора, тем самым предотвращая тепловой разгон в целевом элементе и, следовательно, в аккумуляторе в целом.

Таким образом, еще одно существенное преимущество настоящего изобретения состоит в обеспечении аккумулятора токоприемником, который резко ограничивает время доставки уровня тока, подаваемого на целевую поверхность токоприемника через кончик зонда (для контролируемой имитации эффекта внутреннего производственного дефекта, дендрита или внешнего события, которое вызывает внутреннее короткое замыкание в рассматриваемом аккумуляторе), до менее 1 с, предпочтительно менее 0,01 с, более предпочтительно менее 1 мс и наиболее предпочтительно, возможно, даже менее 100 мкс, особенно для гораздо больших токов. Конечно, такой ток будет ограничен внутренним напряжением элемента, которое может составлять 5,0, 4,5, 4,2 В или даже менее, например 4,0 или 3,8 В, но минимум 2,0 В.

Такой новый компонент токоприемника фактически противоречит тем, которые обычно используются и встречаются сегодня в литиевых (и других типах) аккумуляторах и устройствах хранения энергии. Стандартные токоприемники представляют собой проводящие металлические структуры, такие как алюминиевые и/или медные панели с толщинами, которые, как считается, обеспечивают некоторый тип защиты всей структуры аккумулятора и т.д. Эти типичные структуры токоприемников спроектированы так, чтобы обеспечивать максимально возможную электрическую проводимость с учетом ограничений по весу и пространству. Однако похоже, что такое убеждение на самом деле было сформулировано ошибочно, в частности, потому что толстые панели, преобладающие в современных устройствах хранения энергии, на самом деле не только будут образовывать дугу при коротком замыкании, но и будут вносить значительный вклад в неуправляемое повышение температуры, если когда-либо возникнет такая ситуация. Такое короткое замыкание может быть вызвано, например, дендритным образованием внутри сепаратора. Такой дефект (образованный во время производства или вызванный в результате длительной эксплуатации и, следовательно, потенциальной деградации) может привести к неожиданному переходу напряжения от анода к катоду, тем самым создавая увеличение тока и, следовательно, температуры в месте, где это происходит. Действительно, одним потенциальным источником вызывающего короткое замыкание дефекта являются заусенцы, которые образуются на краях этих толстых типичных токоприемников, когда они разрезаются или режутся изношенными лезвиями во время повторяющихся процессов производства множества изделий (что является обычным явлением в наше время). Однако неоднократно рассмотрено и изучено, что стандартные материалы токоприемников попросту имеют склонность к искрообразованию и допускают повышение температуры, а также позволяют току, присутствующему во время такого явления, проходить через устройство, тем самым обеспечивая неограниченную генерацию и движение и исключая возможность предотвращения повышения уровня тока и, следовательно, температуры. Эта проблема приводит непосредственно к неуправляемым высокотемпературным результатам; в отсутствие каких-либо внутренних средств предотвращения такой ситуации, как правило, неминуема вероятность возникновения возгорания и, в конечном итоге, сожжения и разрушения устройства. Кроме того, путь тока (направление заряда) в стандартном токоприемнике остается довольно статичным как до, так и во время события короткого замыкания, в основном демонстрируя такое же потенциальное движение электрического заряда, как и ожидалось при движении от катода к аноду, а затем горизонтально вдоль токоприемника в определенном направлении. Однако при коротком замыкании этот путь тока не может предотвратить или, по меньшей мере, ограничить или задержать такое движение заряда, обеспечивая, другими словами, безудержную быструю разрядку во всем аккумуляторе. В сочетании с высокой температурой, связанной с такой быстрой разрядкой, возникают отмеченные выше катастрофические проблемы (возгорания, взрывы и т.д.).

В отличие от этого, что опять же в высшей степени неожиданно и нелогично для типичных структур и конфигураций литиевых аккумуляторов, по меньшей мере, использование токоприемника по настоящему изобретению приводит к измерению чрезвычайно высокой плотности тока (из-за уменьшенной толщины проводящего элемента) и предотвращению движения заряда (например, отсутствию направле-

ния заряда) в случае короткого замыкания. Другими словами, с конкретными конструктивными ограничениями, присущими раскрытому в настоящем документе компоненту токоприемника, плотность тока увеличивается до такой степени, что уровень сопротивления вызывает чрезвычайно высокую, но сдерживаемую высокую температуру, связанную с коротким замыканием. Таким образом, этот уровень сопротивления побуждает проводящий материал (такой как алюминий и/или медь, приведенные лишь в качестве примера) принимать заряд короткого замыкания, но вследствие структурного образования, раскрытого в настоящем документе, проводящий материал немедленно реагирует на такую высокую температуру, локализованный заряд. В сочетании с другими структурными особенностями такого компонента токоприемника, а именно фактическим отсутствием размерно-устойчивого полимерного материала, контактирующего с таким слоем проводящего материала, проводящий материал мгновенно окисляется в точке заряда на нем, оставляя, например, оксид алюминия или меди, оба из которых являются непроводящими материалами. При таком мгновенном образовании непроводящего материала заряд короткого замыкания, по-видимому, рассеивается, поскольку нет направления для его движения. Таким образом, благодаря только что описанному токоприемнику возникновение внутреннего короткого замыкания приводит к немедленному прекращению тока, эффективно используя непосредственный результат высокой температуры от такого короткого замыкания для создания барьера для дальнейшего движения заряда. По существу, отсутствие дополнительного тока во всем корпусе устройства хранения энергии (разумеется, в условиях короткого замыкания) заглушает такое нежелательное событие до такой степени, что короткое замыкание полностью устраняется, вследствие чего исключается появление неуправляемого тока или высокой температуры, и, что, возможно, важнее всего, токоприемник остается пригодным для своих первоначальных и защитных целей, поскольку присутствующий в этот момент локализованный непроводящий материал не вызывает какого-либо заметного уменьшения протекания тока, когда устройство хранения энергии (аккумулятор и т.д.) работает по назначению. Кроме того, относительно небольшая площадь образования непроводящего материала оставляет значительную площадь поверхности и т.д. на токоприемнике для дальнейшего использования без какой-либо необходимости в ремонте, замене или других корректирующих действиях. Необходимо обеспечивать такую ситуацию, которая, конечно, не всегда возникает, но в отсутствие только что раскрытых определенных мер предосторожности и исправлений вероятность такого события высокотемпературного воздействия и разрушения фактически остается намного выше, чем обычно приемлемо. Таким образом, весь токоприемник из-за его нестабильности в условиях короткого замыкания становится двумерным электрическим предохранителем, предотвращающим потенциально опасные высокие токи, связанные с короткими замыканиями, за счет использования мгновенного эффекта этого высокого тока для нарушения способности токоприемника проводить ток в точке короткого замыкания.

Такие преимущества обеспечиваются в отношении такого нового токоприемника, который может быть получен посредством ряда разных альтернатив с достижением аналогичных конечных результатов. В любой из этих альтернативных конфигураций такой токоприемник, как описано в настоящем документе, как будто бы функционирует как внутренний предохранитель в целевом устройстве хранения энергии (например, литиевом аккумуляторе, конденсаторе и т.д.). Однако в каждом примере (альтернативе) имеется токоприемник, включающий в себя полимерный слой, который металлизирован с одной или обеих его сторон, при этом по меньшей мере одна металлизированная сторона контактирует с анодом или катодом целевого устройства хранения энергии. Тогда одна альтернатива состоит в том, что общая толщина всей металлизированной (покрытой) полимерной подложки токоприемника составляет менее 20 мкм, возможно предпочтительно менее 15 мкм и, возможно, более предпочтительно менее 10 мкм, в каждом случае с измеряемым сопротивлением менее 1 Ом/квadrat, возможно предпочтительно менее 0,1 Ом/квadrat и, возможно, более предпочтительно менее 50 Ом/квadrat. Типичные токоприемники могут обладать этими характеристиками, но имеют гораздо больший вес, чем те, которые изготовлены с армирующими полимерными подложками, и не обладают преимуществами безопасности, присущими раскрытому в настоящем документе варианту. Например, медная фольга толщиной 10 мкм может весить 90 г/м<sup>2</sup>. Однако покрытая медью фольга может весить всего 50 г/м<sup>2</sup> или даже 30 г/м<sup>2</sup>, или даже менее 20 г/м<sup>2</sup>, при этом в каждом случае обеспечивая адекватные электрические характеристики, необходимые для функционирования элемента. В этой альтернативной структуре, однако, очень тонкий компонент также обеспечивает воздействие короткого замыкания на металлическое покрытие и в зависимости от общих уровней сопротивления генерирование при чрезмерно высокой температуре, вызванной всплеском тока во время такого короткого замыкания, локализованной области оксида металла, которая немедленно предотвращает дальнейшее движение тока из нее.

Другой возможной альтернативой для такого нового токоприемника является обеспечение металлического (или металлизированного) материала, зависящего от температуры, который либо дает усадку в направлении от источника тепла во время короткого замыкания, либо легко превращается в определенном месте материала в непроводящий материал (такой, например, как оксид алюминия из алюминиевого токоприемника, как указано выше другим способом). Таким образом, токоприемник становится термически слабым, в отличие от алюминиевых и медных токоприемников, которые используются сегодня и которые достаточно термостойки к высоким температурам. В результате сплав металла с более низкой соб-

ственной температурой плавления может разрушаться при более низких плотностях тока короткого замыкания, улучшая преимущества безопасности описанного в настоящем документе энергетического устройства на основе лития. Другой альтернативой является изготовление токоприемника путем нанесения слоя проводящего материала, например, меди или алюминия, на волокна или пленки, которые демонстрируют относительно высокие скорости усадки при относительно низких температурах. Их примеры включают в себя термопластические пленки с температурами плавления ниже 250°C или даже 200°C и могут включать в качестве неограничивающих примеров полиэтилентерефталат, нейлон, полиэтилен или полипропилен. Другим возможным способом достижения такого результата является изготовление токоприемника путем нанесения слоя проводящего материала, например, меди или алюминия, как указано выше, на волокна или пленки, которые могут набухать или растворяться в электролите, когда материалы нагреваются до относительно высоких температур по сравнению с рабочими температурами элементов, но низких по сравнению с температурами, которые могут вызывать тепловой разгон. Примеры таких полимеров, которые могут набухать в литиево-ионных электролитах, включают в себя поливинилиденфторид и полиакрилонитрил, но есть и другие полимеры, известные специалистам в данной области техники. Еще один способ реализовать такой альтернативный процесс создания внутреннего электрического предохранителя состоит в нанесении на подложку металла, например алюминия, который может окисляться при нагревании, при этом общая толщина металла намного меньше, чем обычно используемая для литиевых аккумуляторов. Например, очень тонкий алюминиевый токоприемник, который используется сегодня, может иметь толщину 20 мкм. При толщине покрытия менее 5 мкм цепь разорвется быстрее, а при толщине покрытия менее 2 мкм или даже менее 1 мкм цепь разорвется еще быстрее. Тем не менее, еще один способ реализовать разрыв в проводящем канале состоит в обеспечении токоприемника с ограниченной проводимостью, которая будет ухудшаться при высоких плотностях тока, окружающих место короткого замыкания, аналогично ухудшению, наблюдаемому сегодня в серийно производимых предохранителях. Это может быть достигнуто путем обеспечения токоприемника с удельным сопротивлением более 5 мОм/квадрат или 10 мОм/квадрат, или, возможно, предпочтительно более 20 мОм/квадрат, или возможно с более предпочтительным уровнем более 50 мОм/квадрат. Эти измерения могут наблюдаться на одной стороне или на обеих сторонах материала, покрытого с обеих сторон. Используемые токоприемники с разными удельными сопротивлениями могут быть дополнительно выбраны по-разному для аккумуляторов, которые предназначены для высокой мощности, которые могут использовать относительно низкое сопротивление по сравнению с элементами, предназначенными для более низкой мощности и более высокой энергии, и/или которые могут использовать относительно высокое сопротивление. Еще один способ реализовать разрыв в проводящем канале состоит в обеспечении токоприемника, который будет окисляться до непроводящего материала при температурах, которые намного ниже, чем у алюминия, что позволяет токоприемнику стать инертным в области короткого замыкания перед тем, как сепаратор деградирует. Некоторые сплавы алюминия окисляются быстрее, чем сам алюминий, и эти сплавы могут вызвать ухудшение проводящего канала быстрее или при более низкой температуре. В качестве возможных альтернатив в таком тонком слое может использоваться любой тип металла, который обладает электрической проводимостью, включая, но не ограничиваясь этим, золото, серебро, ванадий, иридий, индий, платину и другие металлы (в основном, благодаря очень тонкому слою можно значительно снизить затраты, связанные с использованием такого металла, без ущерба для проводимости, при этом все еще обеспечивая защиту от вероятного теплового разгона во время короткого замыкания или подобного события). Также могут использоваться слои разных металлов или даже отдельные области из металла, осажденные внутри или как отдельные слоистые компоненты. Разумеется, также одна сторона такой покрытой подложки токоприемника может включать в себя виды металла, отличающиеся от тех, что используются на противоположной стороне, а также может иметь сравнительно разные толщины слоя.

Одним из способов улучшения электрических свойств элемента могло бы быть обеспечение того, чтобы токоприемник с покрытием имел две стороны с проводящим покрытием, как будто бы обеспечивающие проводимость от покрытия на одной стороне к покрытию на другой стороне. Такой результат невозможен, например, для полимерной пленки без покрытия. Однако было найдено, что такая пропускная способность двусторонней проводимости может быть достигнута в одном неограничивающем примере с помощью нетканого материала, включающего в себя определенный процент проводящих волокон, или нетканого материала, наполненного проводящими материалами, или нетканого материала, изготовленного из проводящего материала (такого как углеродные волокна или металлические волокна) или, как отмечено выше, нетканого материала, содержащего волокна, покрытые проводящим материалом (например, волокна с металлическим покрытием на поверхности). Другим типом нового тонкого материала токоприемника, демонстрирующего проводимость сверху вниз, может быть пленка, которая сделана проводящей, например, за счет использования изначально проводящего материала (такого, например, как проводящие полимеры, такие как полиацетилен, полианилин или поливинилпирролидин) или посредством ее наполнения проводящим материалом (таким как графит или графен, или металлические частицы или волокна) во время или после изготовления пленки. Кроме того, другим возможным двусторонним материалом тонкого токоприемника является полимерная подложка с небольшими перфорированными

отверстиями, стороны которых покрыты металлом (алюминием или медью) во время процесса металлизации. Такая проводимость, обеспечиваемая от одной стороны к другой, не должна быть такой же, как и у проводящих покрытий.

Таким образом, такие альтернативные конфигурации, обеспечивающие как будто бы одни и те же результаты и физические свойства токоприемника, включают в себя следующие: а) общая толщина полимерной подложки с покрытием составляет менее 20 мкм при сопротивлении менее 1 Ом/квadrat, б) токоприемник содержит проводящий материал, нанесенный на подложку, содержащую полимерный материал, при этом полимерный материал демонстрирует термоусадку при 225°C не менее 5%, в) металлизированный полимерный материал токоприемника набухает в электролите аккумулятора, причем такое набухание увеличивается по мере того, как полимерный материал нагревается, г) общая толщина проводящего материала токоприемника составляет менее 5 мкм при нанесении на полимерную подложку, е) проводимость токоприемника составляет от 10 до 1 Ом/квadrat и ф) металлизированная полимерная подложка токоприемника имеет пористость не более 60%. Использование любой из этих альтернативных конфигураций в устройстве хранения энергии с сепаратором, демонстрирующим термоусадку менее 5% по истечении 1 ч при 225°C, также будет подпадать под объем настоящего изобретения. Общее использование (способ использования) этого типа устройства хранения энергии (аккумулятора, конденсатора и т.д.) также подпадает под объем настоящего изобретения.

Хотя основным преимуществом настоящего изобретения является повышенная безопасность для элемента, существуют и другие преимущества, упомянутые выше, в том числе уменьшенный вес всего устройства хранения энергии за счет уменьшенного веса металла в таких компонентах токоприемника. Опять же совершенно нелогично использовать тонкие полимерные слои с металлизированным покрытием, особенно с низкими размерно-устойчивыми характеристиками, для токоприемников внутри таких аккумуляторных изделий. Современное положение дел в этой отрасли сводится к мысли о том, что для достижения желаемых результатов защиты (особенно от возможных событий короткого замыкания) необходимы большие количества реальных металлических и/или изолирующих компонентов. Теперь неожиданно стало понятно не только то, что такая парадигма неверна, но и то, что эффективное средство от проблем короткого замыкания в литиевых аккумуляторах и т.д. состоит в уменьшении, а не увеличении количества металла, а также соединении его с термически нестабильными базовыми слоями. Таким образом, совершенно неожиданно стало понятно, что тонкие металлические слои в сочетании с такими нестабильными базовыми слоями обеспечивают возможность бороться с событиями разрядки во время коротких замыканий и эффективно останавливать их, при этом общий эффект заключается не только в гораздо более безопасном и надежном результате, но и в значительно уменьшенном общем весе и объеме таких комплектующих частей. Таким образом, неожиданные преимущества улучшенных свойств с пониженными требованиями к весу и объему изделий для хранения энергии (аккумуляторах и т.д.) соответствуют отрасли гораздо больше, чем предполагалось изначально.

В качестве дополнительного пояснения алюминий с плотностью 2,7 г/см<sup>3</sup> и толщиной 20 мкм будет весить 54 г/м<sup>2</sup>. Однако тот же металл, нанесенный с толщиной 1 мкм на полипропиленовую пленку толщиной 10 мкм (с плотностью 0,9 г/см<sup>3</sup>), будет весить 11,7 г/м<sup>2</sup>. Это уменьшение веса токоприемника может снизить вес всего устройства хранения энергии (например, аккумулятора), повысить мобильность, улучшить расход топлива или запас хода на электрической тяге и в целом повысить ценность мобильных электрических приложений.

Кроме того, из-за высокой прочности пленок вышеприведенный пример также может быть сделан тоньше, с общей толщиной 11 мкм в сравнении с 20 мкм, например, снова уменьшая объем элемента и, тем самым, эффективно увеличивая плотность энергии. Таким образом, токоприемник с общей толщиной менее 15 мкм, предпочтительно менее 12, более предпочтительно менее 10 и наиболее предпочтительно менее 8 мкм, может быть изготовлен и использован с такой целью и функцией.

При объемном удельном сопротивлении алюминия  $2,7 \times 10^{-8}$  Ом·м и меди  $1,68 \times 10^{-8}$  Ом·м можно получить тонкое покрытие с сопротивлением менее 1 Ом/квadrat или менее 0,5 Ом/квadrat, или даже менее 0,1 Ом/квadrat, или менее 0,05 Ом/квadrat. Толщина этих проводящих покрытий может составлять менее 5 мкм, предпочтительно менее 3 мкм, более предпочтительно менее 2 мкм, возможно наиболее предпочтительно даже менее 1 мкм. Крайне нелогично, что, когда стандартные материалы, обычно используемые на рынке, содержат 10 мкм или большее количество металла, подходящие характеристики могут быть достигнуты с использованием гораздо меньшего количества металла. В действительности, большая часть металла, присутствующего в типичных устройствах хранения, используется для придания механических свойств, подходящих для высокоскоростной и автоматизированной обработки. Одним из преимуществ настоящего изобретения является использование полимерного материала с гораздо меньшей плотностью для обеспечения механических свойств, что позволяет уменьшить толщину металла до уровня, при котором безопасность элемента повышается из-за неспособности токоприемника поддерживать опасно высокие плотности тока, которые возникают из-за внутренних электрических коротких замыканий и приводят к тепловому разгону, задымлению и возгоранию.

Кроме того, эти проводящие слои могут быть образованы множеством слоев. Например, слой алю-

миния может быть базовым слоем, покрытым тонким слоем меди. Таким образом, объемная проводимость может быть обеспечена алюминием, который является легким, недорогим и может быть легко нанесен методами осаждения из паровой фазы. Медь может обеспечивать дополнительную проводимость и пассивацию анода, не вызывая при этом значительных дополнительных затрат и увеличения веса. Этот пример приведен просто для иллюстрации, и специалисты в данной области техники смогут привести множество других многослойных проводящих структур, любые из которых являются прекрасными примерами настоящего изобретения.

Эти тонкие металлические покрытия в целом приводят к более высокому сопротивлению по сравнению с наблюдаемым в обычно используемых токоприемниках из алюминия или меди, что является отличительной особенностью настоящего изобретения. Такие новые подходящие токоприемники могут быть изготовлены с сопротивлением более 10 МОм/квadrat, предпочтительно более 20 МОм/квadrat, более предпочтительно более 50 МОм/квadrat и возможно наиболее предпочтительно даже более 100 МОм/квadrat.

Кроме того, элементы, изготовленные с использованием вышеописанных термически слабых токоприемников, могут быть еще более безопасными, если сепаратор имеет высокую термостойкость, например, возможно, демонстрируя низкую усадку при высоких температурах, включая усадку менее 5% после воздействия температуры 200°C в течение 1 ч, предпочтительно после воздействия 250°C в течение 1 ч и возможно более предпочтительно после воздействия температуры 300°C в течение 1 ч. Существующие сепараторы изготовлены из полиэтилена с температурой плавления 138°C и из полипропилена с температурой плавления 164°C. Эти материалы демонстрируют усадку > 50% при 150°C, как показано на фиг. 2; такой результат слишком высок для использования с тонким токоприемником, как теперь описано в настоящем документе. Для решения такой проблемы было установлено, что необходимо использовать определенные сепараторы, которые дают усадку менее 50% при 150°C или даже менее 30%, или менее 10%, согласно измерениям в соответствии с документом NASA TM-2010-216099, раздел 3.5. Даже сепараторы с керамическим покрытием демонстрируют значительную усадку при относительно умеренных температурах, либо полностью разрушаются, либо дают усадку более 20% при 180°C. Таким образом, желательно использовать сепаратор, который не разрушается во время испытания и не дает усадку более 20% при воздействии 180°C (по меньшей мере), более предпочтительно более 10%, при измерении в соответствии с тем же стандартом испытаний. Наиболее предпочтительным вариантом осуществления будет использование сепаратора, который дает усадку менее 10% при воздействии температуры 200°C, 250°C или даже 300°C.

Любой из этих металлизированных подложек желательно иметь небольшую толщину, чтобы способствовать увеличению плотности энергии элемента. Для получения такой толщины можно использовать любые средства, включая каландрирование, сдавливание, горячее прессование или даже удаление материала с поверхности таким образом, чтобы уменьшить общую толщину. Эти процессы уменьшения толщины могут быть выполнены до или после металлизации. Таким образом, желательно иметь общую толщину металлизированной подложки менее 25 мкм, предпочтительно менее 20 мкм, более предпочтительно менее 16 мкм и, возможно, наиболее предпочтительно менее 14 мкм. Как было установлено, серийно производимые полиэфирные пленки имеют толщину не более 3 мкм и даже менее 1,2 мкм. Эти типы могут служить подходящими подложками и обеспечивать общую толщину токоприемника менее 10 мкм, предпочтительно менее 6 мкм и более предпочтительно менее 4 мкм. Такие ультратонкие токоприемники (с надлежащей проводимостью, как описано выше и на протяжении настоящего документа) могут обеспечивать гораздо более высокую плотность энергии с улучшенными характеристиками безопасности - результат, который до сих пор оставался неизученным.

Также желательно иметь малый вес этих металлизированных подложек. Это может быть достигнуто за счет использования полимерных материалов с низкой плотностью, таких как полиолефины или других полимеров с низкой плотностью, включая полиэтилен, полипропилен и полиметилпентен, приведенных исключительно в качестве примеров. Этого также можно достичь за счет наличия в подложке структуры с открытыми порами или даже за счет использования подложек с низкой базовой массой. Таким образом, плотность полимера, используемого в материале подложки, может быть менее 1,4 г/см<sup>3</sup>, предпочтительно менее 1,2 г/см<sup>3</sup> и, возможно, более предпочтительно менее 1,0 г/см<sup>3</sup>. Кроме того, поверхностная плотность материала подложки может составлять менее 20 г/м<sup>2</sup>, предпочтительно менее 16 г/м<sup>2</sup> и возможно наиболее предпочтительно менее 14 г/м<sup>2</sup>. Кроме того, поверхностная плотность полимерного материала подложки с металлическим покрытием может составлять менее 40 г/м<sup>2</sup>, предпочтительно менее 30 г/м<sup>2</sup>, более предпочтительно менее 25 г/м<sup>2</sup> и возможно наиболее предпочтительно менее 20 г/м<sup>2</sup>.

Малый вес также может быть достигнут с помощью пористой полимерной подложки. Однако для этих материалов пористость не должна быть слишком высокой, поскольку это приведет к низкой прочности и большой толщине, что фактически противоречит цели поставленных задач. Таким образом, такие базовые материалы будут иметь пористость ниже примерно 60%, предпочтительно ниже 50% и возможно более предпочтительно ниже 40%. Поскольку для этого типа токоприемника с металлическим

покрытием могут использоваться твердые материалы, нижнего предела пористости нет.

Высокая прочность требуется для того, чтобы материалы можно было обрабатывать на высоких скоростях в аккумуляторе. Это может быть достигнуто за счет использования удлиненных полимеров либо из вытянутых волокон, либо из пленок, вытянутых при одноосном или двухосном растяжении.

Как представлено ниже в описании сопроводительных чертежей, изготовлено и, таким образом, обеспечено в соответствии с настоящим изобретением устройство хранения энергии, будь то аккумулятор, конденсатор, суперконденсатор и т.п., в котором все: по меньшей мере один токоприемник, который демонстрирует свойства, связанные с отсутствием заметного движения тока после контакта короткого замыкания с катодом, анодом, или два отдельных токоприемника, контактирующие с ними обоими, сепаратор и электролит, находятся и герметизированы в стандартном (подходящем) контейнере устройства хранения энергии. Все: катод, анод, контейнер, электролиты и в некоторых случаях сепаратор, компоненты, по большей части являются стандартными. Однако, как отмечено выше, токоприемник, используемый в настоящем изобретении, не только является новым и неизученным в данной области техники, но и его использование в качестве фактического компонента устройства хранения энергии является нелогичным. Это опять же более подробно описано ниже.

Как отмечено выше, для уменьшения вероятности, если не полного предотвращения, теплового разгона внутри аккумуляторного элемента (особенно литий-ионного перезаряжаемого типа, но, разумеется, возможны и другие типы), необходимо средство, которое, в частности, вызывает какое-либо короткое замыкание в нем в основном в течение короткого периода времени, с уменьшенным временем пребывания внутри или на рассматриваемом токоприемнике, и в итоге выдает результирующий уровень энергии с минимальными значениями джоулей (т.е. менее 10, предпочтительно менее 1, а наиболее предпочтительно менее 0,01). Тогда, как упоминалось ранее, в такой ситуации, когда электрический путь идет от анода к катоду и через сепаратор в присутствии установленного тонкого проводящего токоприемника и воспламеняющегося органического электролита, было обнаружено, что тонкий токоприемник небольшого веса обеспечивает такой желаемый результат, в частности, с точки зрения рассеивания посторонних зарядов на поверхности токоприемника и отсутствия заметного повышения температуры, при котором воспламенение электролитного компонента было бы неизбежным. Удивительно, но без привязки к какому-либо конкретному научному объяснению или теории считается, что свойство проводимости материала тонкого токоприемника позволяет электрическим зарядам короткого замыкания всего лишь достигать тонкого проводящего токоприемника и немедленно создавать событие короткого замыкания с высокой энергией, которое вступает в реакцию между металлом на поверхности токоприемника и самим электрическим зарядом, тем самым создавая оксид металла, который образуется в этой конкретной точке на поверхности токоприемника. Оксид металла обеспечивает изоляцию для дальнейшей электрической активности, и приложенный ток мгновенно рассеивается, оставляя потенциальную деформацию внутри самого токоприемника, но с присутствием вышеупомянутого оксида металла для защиты от любой дальнейшей активности электрического заряда в этом конкретном месте. Таким образом, оставшаяся часть токоприемника остается неповрежденной и может обеспечивать те же возможности, что и раньше, тем самым дополнительно обеспечивая такую защиту от любых других возможных коротких замыканий или подобных явлений. В случае теплового разгона в аккумуляторных изделиях из уровня техники анод, катод, токоприемники и сепаратор создают электрический путь, в котором образуется тепло и, например, обеспечивается искра для воспламенения элемента в ответ на короткое замыкание. Дальнейшее присутствие переносящих ионы воспламеняющихся электролитов, таким образом, может привести к существенным опасностям в результате воздействия высоких температур, связанных с такими неожиданными электрическими зарядами. По сути, тепло, образуемое в токоприемнике из уровня техники, вызывает начальные электрохимические реакции в электролитных материалах, что в итоге приводит к неконтролируемому воспламенению самих электролитных материалов. Таким образом, описанный здесь токоприемник по настоящему изобретению особенно ценен при использовании в аккумуляторных элементах, содержащих такие воспламеняющиеся электролиты. В качестве примеров такие электролиты обычно включают в себя органические растворители, такие как карбонаты, в том числе пропиленкарбонат, этиленкарбонат, этилметилкарбонат, диэтилкарбонат и диметилкарбонат, и другие. Эти электролиты обычно присутствуют в виде смесей вышеуказанных материалов, возможно с другими материалами-растворителями, включающими в себя добавки различных типов. Эти электролиты также содержат компонент соли лития, примером которой является гексафторфосфат лития, LiPF<sub>6</sub>. Такие электролиты предпочтительны в производстве аккумуляторов, но, как уже отмечалось, потенциально способствуют возникновению опасных ситуаций. Опять же, токоприемник по настоящему изобретению в сочетании с другими аккумуляторными компонентами существенно и неожиданно устраняет эти проблемы.

Одним способом, посредством которого можно продемонстрировать полезность этого токоприемника, является следующее испытание. Источник тока с ограничениями как по напряжению, так и по току может быть настроен на предел напряжения, аналогичный рабочему напряжению рассматриваемого устройства хранения энергии. Затем можно отрегулировать ток и протестировать токоприемник в двух конфигурациях. В первой конфигурации короткую полосу токоприемника известной ширины приводят в контакт с двумя металлическими соединителями, которые обеспечивают контакт по всей ширине образ-

ца. Предел тока источника тока может быть увеличен, чтобы увидеть, существует ли предел способности материала проводить ток, который можно измерить как общий ток, деленный на ширину, с получением результата в А/см, что в настоящем документе обозначено как плотность горизонтального тока. Вторая конфигурация заключалась бы в контакте заземления источника тока с одним из металлических контактов по всей ширине, а затем в касании кончиком зонда, примерно  $0,25 \text{ мм}^2$ , в месте вдоль полосы токоприемника. Если сила тока слишком велика, это приведет к выгоранию локальной области, и ток не будет течь. Если ток не слишком велик для токоприемника, то будет течь полный ток вплоть до предела источника тока. Результатом является предел тока в  $\text{А/мм}^2$ , который в настоящем документе обозначен как плотность вертикального тока. Таким образом, токоприемник, который может достигать высокого тока в обеих конфигурациях, будет аналогичен имеющемуся в уровне техники, а токоприемник, который может поддерживать горизонтальный ток при контакте по всей ширине, но не может поддерживать аналогичный вертикальный ток при точечном контакте, был бы примером описанного в настоящем документе изобретения.

Например, может быть желательно, чтобы токоприемник был способен поддерживать плотность горизонтального тока  $0,1 \text{ А/см}$  или  $0,5 \text{ А/см}$ , или  $1 \text{ А/см}$ , или  $2 \text{ А/см}$ , или даже  $5 \text{ А/см}$ . И для токоприемника, который может поддерживать вышеуказанную плотность горизонтального тока, было бы желательно не поддерживать плотность вертикального тока  $0,1 \text{ А/мм}^2$  или  $0,5 \text{ А/мм}^2$ , или  $1 \text{ А/мм}^2$ , или  $2 \text{ А/мм}^2$ , или даже  $5 \text{ А/мм}^2$ .

Как упоминалось выше, внутри литий-ионных аккумуляторных элементов также обычно приварен язычок для соединения внутренних компонентов, в частности токоприемников, вместе для соединения с язычковым выводом с целью передачи заряда внешнему источнику. В этой ситуации для токоприемников очень тонких типов крайне важно, чтобы язычковый вывод эффективно контактировал с внутренними фольговыми токоприемниками и оставался в достаточной степени на месте, чтобы также контактировать с внешним источником. Кроме того, из-за эффективности вышеупомянутых неожиданно хороших тонкопленочных токоприемников для обеспечения необходимых операций самого аккумуляторного элемента, а также возможности обеспечения характеристик внутреннего предохранителя с целью предотвращения неуправляемого тока во время возможной проблемы (образования дендритов и т.д.), такой язычок не должен демонстрировать какую-либо степень смещения или неэффективности для борьбы с теми же самыми потенциальными проблемами, связанными с неуправляемым зарядом. Другими словами, эффективность результатов внутреннего предохранителя не должна снижаться или ухудшаться из-за проблем с язычками. Неожиданно было установлено, что такие необходимые характеристики допустимы для таких язычковых компонентов.

Таким образом, к данному моменту стало понятно, что тонкопленочные токоприемники фактически обеспечивают эффективное и прочное приваривание язычка к ним с возможностью фактически обеспечивать проводимость с обеих сторон пленки. Сам язычок на самом деле толще, чем каждый отдельный токоприемник, и при контакте друг с другом сварной шов может выполняться на глубину, которая частично проходит через материал язычка, в зависимости от формы и глубины самого сварного шва. Однако неожиданным результатом является то, что сварной шов может фактически проходить через язычок тонкой "струйкой" или подобным образованием, тем самым обеспечивая проводимость через такой сварочный материал к язычку. Таким образом создается ограниченный, хотя и эффективный, канал проводимости, чтобы не только обеспечивать необходимую проводимость в месте сварного шва до язычка (а затем из корпуса аккумуляторного элемента к внешнему источнику), но также и обеспечивать средство ограничения действительной силы тока и температуры, создаваемых таким каналом проводимости в каждом месте сварного шва. Такой результат позволяет осуществлять вышеупомянутый контроль неуправляемой проводимости от металлизированных пленочных токоприемников в случае короткого замыкания (образования дендритов и т.д.), поскольку электрический заряд будет останавливаться на фактической поверхности токоприемника, и никакой другой путь для неуправляемого заряда не предусмотрен. Таким образом, сварные швы могут быть выполнены по длине язычкового компонента, проходящего вдоль токоприемника, например, в количестве до пяти штук с равномерным разнесением друг от друга, что обеспечивает эффективную проводимость от фольгового токоприемника (токоприемников) к язычку через корпус аккумулятора к внешнему источнику. Таким образом, ограниченное количество сварных швов также снижает количество возможных участков неуправляемого заряда; пусть даже каждый из таких участков и имеет ограниченную силу тока, в некоторых ситуациях уровни силы тока, безусловно, повышаются в присутствии множества таких участков. Однако для мощных или сильноточных аккумуляторов количество сварных швов на язычок может быть увеличено, чтобы приспособиться к большому току, необходимому для того, чтобы аккумулятор был эффективен при применении. В этом случае может потребоваться большее количество сварных швов, возможно до 10, 20 или даже 50 сварных швов на язычок. В редких случаях в элементах с очень высокой мощностью или очень сильным током может потребоваться даже более 50 сварных швов. Сварные швы обеспечивают базовую прочность, а также предотвращают перемещение язычка во время использования. Стабильность и жесткость необходимы для обеспечения правильной работы аккумулятора в целом. Ограниченные сварные швы действительно обеспечивают определенный уровень надежности в этом отношении, в то время как добавление натяжной лен-

ты поверх пленок токоприемника также способствует защите от таких потенциальных проблем.

На практике тонкопленочные токоприемники неожиданно хорошо подходят для предотвращения неуправляемых зарядов во время короткого замыкания. Однако необходимость нахождения язычковых выводов в достаточном контакте с такими токоприемниками для обеспечения эффективной проводимости вне аккумуляторного элемента требует структурных условий, при которых обеспечивается возможность использования такой тонкой пленки токоприемника со стандартными язычковыми компонентами. Как отмечено выше, оказалось сложно обеспечить возможность подбора подходящих размеров как пленки (пленок) токоприемника, так и язычков с соответствующими сварными швами для их эффективного присоединения и контакта с целью эффективного прохождения электрического тока при работе аккумулятора, при этом обеспечивая подходящую низкую вероятность неуправляемого заряда, особенно с учетом специфических и принятых сегодня в данной области техники толстых монокристаллических компонентов токоприемников. Этот неожиданно эффективный результат, особенно с учетом характеристик язычкового контакта и его прочности на разрыв, определенных, как указано выше, соответствует полностью литий-ионному аккумулятору, который может иметь меньший вес или большую внутреннюю емкость для других компонентов, без ущерба для выработки энергии аккумулятора при одновременном обеспечении полной защиты от неуправляемых зарядов во время событий короткого замыкания.

Для таких тонких пленок литий-ионных аккумуляторов могут потребоваться определенные уникальные этапы обработки из-за их уникальных качеств. Однако также могут быть использованы многие этапы обработки, которые хорошо известны в данной области техники. В общем, способ производства литий-ионного аккумулятора с пленками по настоящему изобретению содержит этапы, на которых:

- a) Обеспечивают электрод, имеющий по меньшей мере одну металлизированную подложку с покрытием из материала для накопления ионов;
- b) Обеспечивают противоэлектрод;
- c) Наносят слои электрода и противоэлектрода друг напротив друга, причем между электродом и противоэлектродом располагают сепараторный компонент;
- d) Обеспечивают материал корпуса, включающий в себя компонент электрического контакта, при этом контакт включает в себя часть, присутствующую внутри материала корпуса, и часть, находящуюся снаружи материала корпуса;
- e) Осуществляют электрическое соединение электрического контакта с металлизированной подложкой;
- f) Вводят по меньшей мере один жидкий электролит с ионами внутрь материала корпуса и
- g) Осуществляют герметизацию материала корпуса.

Металлизированная подложка может быть любой подложкой, описанной в рамках настоящего изобретения.

Материал для накопления ионов может быть, например, катодным или анодным материалом для литий-ионных аккумуляторов, как хорошо известно в данной области техники. Катодные материалы могут включать в себя оксид лития-кобальта  $\text{LiCoO}_2$ , фосфат лития-железа  $\text{LiFePO}_4$ , оксид лития-марганца  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , оксид лития-никеля-марганца-кобальта  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ , оксид лития-никеля-кобальта-алюминия  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$  или другие смеси вышеуказанных и других материалов, известных в данной области техники. Анодные материалы могут включать в себя графит, титанат лития  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , твердый углерод, олово, кремний или смеси указанных или других материалов, известных в данной области техники. Кроме того, материал для накопления ионов может включать в себя материалы, используемые в других устройствах хранения энергии, таких как суперконденсаторы. В таких суперконденсаторах материалы для накопления ионов будут включать в себя активированный уголь, волокна активированного угля, углерод на основе карбида, углеродный аэрогель, графит, графен и углеродные нанотрубки.

Способ нанесения покрытия может быть любым способом нанесения покрытия, который, как правило, известен в данной области техники. Технологии "нож поверх валика" ("knife over roll") и "шлицевая головка" ("slot die") - широко используемые способы нанесения покрытия для литий-ионных аккумуляторов, но также могут быть использованы другие способы, в том числе химическая металлизация. В способе нанесения покрытия материал для накопления ионов, как правило, смешивают с другими материалами, в том числе связующими, такими как поливинилиденфторид или карбоксиметилцеллюлоза, или другими пленкообразующими полимерами. Другие добавки к смеси включают в себя углеродную сажу и другие проводящие добавки.

Противоэлектроды включают в себя другие электродные материалы, которые имеют отличающиеся от материалов для накопления ионов электрохимические потенциалы. В общем случае, если материал для накопления ионов представляет собой анодный материал с ионами лития, то противоэлектрод будет выполнен из катодного материала с ионами лития. В том случае, когда материал для накопления ионов представляет собой катодный материал с ионами лития, то противоэлектрод может быть анодным материалом с ионами лития. В том случае, когда материал для накопления ионов представляет собой материал суперконденсатора, противоэлектрод может быть выполнен из любого материала суперконденсатора, или в некоторых случаях из анодного или катодного материала с ионами лития. В каждом случае противоэлектрод будет включать в себя материал для накопления ионов, нанесенный на материал токоприем-

ника, которым может быть металлическая фольга или металлизированная пленка по настоящему изобретению.

В процессе наслаивания на электрод по изобретению наносится слой противоэлектрода, причем электродные материалы обращены друг к другу и между ними расположен пористый сепаратор. Как широко известно в данной области техники, электроды могут иметь покрытие с обеих сторон, причем стопа электродов образована электродом по настоящему изобретению и противоэлектродами, между которыми поочередно располагается сепаратор. В качестве альтернативы, как также известно в данной области техники, полосы электродных материалов могут быть уложены в стопу, как указано выше, а затем смотаны в цилиндр.

Материалы упаковки могут включать в себя твердые упаковки, такие как металлические контейнеры для цилиндрических элементов, уплощенные твердые футляры или полимерные пакеты. В каждом случае должно быть два средства создания электрического контакта через корпус, который можно удерживать при разных напряжениях и который может проводить ток. В некоторых случаях одна часть самого корпуса образует одно средство, а другим является другая часть корпуса, которая электрически изолирована от первой части. В других примерах корпус может быть непроводящим, но из него могут выходить два металлических проводника, часто называемых язычками.

Соединение средства создания электрического контакта с металлизированной подложкой может выполняться широко используемыми способами, такими как сварка, закрепление лентой, зажимом, скобами, клепка или другие механические средства. Поскольку металл металлизированной подложки может быть очень тонким, для получения области сопряжения, обеспечивающей протекание большого тока, обычно требуется непосредственный контакт, который обеспечивает большую площадь поверхности между средством создания электрического контакта через корпус и металлизированной подложкой. Для переноса достаточного тока эта площадь поверхности должна быть больше, чем 1 квадратный миллиметр ( $10^{-12}$  квадратных метров), но, возможно, должна быть выше, чем 3 квадратных миллиметра или даже 5 квадратных миллиметров или более предпочтительно 10 квадратных миллиметров.

Жидкий электролит обычно представляет собой комбинацию/смесь полярного растворителя и соли лития. Широко используемые полярные растворители включают в себя, как отмечено выше, пропиленкарбонат, этиленкарбонат, диметилкарбонат, диэтилкарбонат, но могут быть использованы и другие полярные растворители, в том числе ионные жидкости или даже вода. Соли лития, широко используемые в данной отрасли промышленности, включают в себя, но не ограничиваются:  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiPF}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$  и другие. Электролит может также содержать добавки, которые известны в данной области техники. Во многих случаях электролиты могут быть воспламеняющимися, при этом защитные свойства токоприемников на основе металлизированной подложки по настоящему изобретению могут подходить для того, чтобы предотвращать опасные случаи теплового разгона, которые приводят к возгоранию и повреждению как элемента, так и всего, что вокруг него.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 показана архитектура смотанного элемента, такого как элемент 18650, в соответствии с уровнем техники.

На фиг. 2 показана зависимость усадки от температуры в соответствии с уровнем техники, которая была получена с помощью динамического механического анализа нескольких сепараторов литий-ионных аккумуляторов, измеренных в соответствии с документом NASA/TM-2010-216099 "Процедуры определения характеристик и оценки сепараторов аккумуляторов для усовершенствованных литий-ионных аккумуляторов НАСА" ("Battery Separator Characterization and Evaluation Procedures for NASA's Advanced Lithium Ion Batteries"), содержание которого включено в настоящий документ посредством ссылки (см. раздел 3.5). В частности, включены сепараторы первого поколения (Celgard PP, Celgard трехслойные), сепараторы 2-го поколения (керамический PE) и сепараторы 3-го поколения (Silver, Gold, Silver AR).

На фиг. 3А показана микрофотография поперечного сечения пакетного элемента уровня техники, который прошел испытание на проникновение гвоздя, полученная на сканирующем электронном микроскопе (SEM). Слои состоят из алюминия и меди, как показано с помощью BEI (визуализации спектра обратно рассеянных электронов). Гвоздь расположен вертикально с левой стороны. В каждом случае слой алюминия отходил от гвоздя, оставляя после себя "корку" из оксида алюминия, т.е. изолятор.

На фиг. 3В показано увеличение одного из слоев с изображения по фиг. 3А уровня техники. На этой фигуре показано увеличенное изображение слоя оксида алюминия, а также то, что сепаратор совсем не дал усадки и все еще разделяет электроды до самого края.

На фиг. 4 показано изобретение, в котором тонкий слой проводящего материала находится снаружи, а центральная подложка представляет собой слой, который термически нестабилен при температурах, необходимых для теплового разгона. Эта подложка может быть плавким слоем, усадочным слоем, растворяющимся слоем, окисляющимся слоем или другим слоем, который будет демонстрировать термическую нестабильность при температуре от 100 до 500°C.

На фиг. 5А показан толстый алюминиевый токоприемник с толщиной, как правило 12-20 мкм в соответствии с уровнем техники.

На фиг. 5В показано настоящее изобретение, содержащее подложку с толщиной 14 мкм и с 1 мик-

роном алюминия на каждой стороне. Токоприемник по настоящему изобретению не способен переносить высокие токи, связанные с коротким замыканием, в то время как толстые токоприемники из уровня техники способны на это и делают это.

На фиг. 6 и 6A показаны изображения сравнительных примеров 1-2, каждое из которых получено после прикосновения кончиком горячего паяльника. Сравнительные примеры не меняются после прикосновения горячим паяльником.

На фиг. 7, 7A и 7B показаны изображения примеров 1-3, каждое из которых получено после прикосновения кончиком горячего паяльника. Все примеры 1-3 демонстрируют усадку, описанную в рамках настоящего изобретения для подлежащих металлизации подложек.

На фиг. 8, 8A и 8B показаны изображения примеров 4-6, каждое из которых получено после прикосновения кончиком горячего паяльника. Пример 4 демонстрирует усадку, описанную в рамках настоящего изобретения для подлежащих металлизации подложек. В примере 5 есть волокно, которое при нагревании растворяется в ионно-литиевых электролитах. Пример 6 представляет собой пример термостойкой подложки, для которой потребуется тонкий проводящий слой для функционирования в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 9, 9A и 9B показаны SEM-фотографии при разном увеличении в поперечном сечении, на одной из которых показана металлизированная поверхность одного возможного варианта осуществления одного токоприемника, описанного в примере 9. Металл явно намного тоньше, чем исходная подложка, которая была толщиной 20 мкм.

На фиг. 10 и 10A показаны оптические микрофотографии сравнительных примеров 3 и 4 после короткого замыкания, показывающие абляцию области вокруг короткого замыкания, но без отверстия.

На фиг. 11 и 11A показаны оптические микрофотографии двух областей из примера 14 после короткого замыкания, показывающие четкие отверстия в материале, обусловленные высокой плотностью тока короткого замыкания.

На фиг. 12 показаны размер и форма токоприемника, используемого в примерах, указанных ниже.

На фиг. 13 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с приварным язычком в качестве одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 14 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с заклеенным лентой язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 15 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника со скрепленным скобами язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 16 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с единственной закругленной складкой и заклеенным лентой язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 17 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с двойными закругленными складками и заклеенным лентой язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 18 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с двумя параллельными приварными язычками в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 19 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с одним сложенным приварным язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 20 показан вид сбоку в перспективе однослойного токоприемника с двойными закругленными складками и приварным язычком в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 21 показан вид сбоку в перспективе множества однослойных токоприемников, каждый из которых имеет двойную закругленную складку и приварной язычок в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 22 показан вид сбоку в перспективе множества однослойных токоприемников, каждый из которых имеет двойную закругленную складку и два противолежащих приварных язычка, в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

На фиг. 23 показан вид сбоку в перспективе множества однослойных токоприемников, контактирующих с множеством Z-образно сложенных зажимных язычков, в качестве еще одного потенциально предпочтительного варианта осуществления.

#### **Осуществление изобретения**

Нижеследующие описание и примеры просто представляют собой потенциальные варианты осуществления настоящего изобретения. Исходя из формулы изобретения, приведенной ниже, специалистам в данной области техники будут хорошо понятны объем такого изобретения и его широта.

Как отмечено выше, настоящее изобретение представляет собой существенный сдвиг и противоречит всем предыдущим представлениям и средствам исправления, предпринимаемым в области производства литиевых батарей (и других устройств хранения энергии). Напротив, описанные в настоящем документе новые устройства обеспечивают ряд полезных результатов и свойств, которые до сих пор не исследовались и даже не ожидались в данной области техники. Тем не менее, вначале, в целях сравнения,

важно отметить резкие различия между устройствами из уровня техники и устройствами, которые раскрыты и широко освещаются в настоящем документе.

#### **Примеры события короткого замыкания**

Сравнительный пример 1.

Катод для литий-железо-фосфатного аккумулятора был получен от компании "GB Systems" в Китае. Алюминиевый язычок был удален в качестве примера серийно выпускаемого токоприемника, и были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к алюминиевой фольге прикоснулись горячим паяльником в течение 5 с, при этом с помощью инфракрасного термометра было измерено, что температура составляла от 500 до 525°F. Никакого эффекта от прикосновения паяльника к токоприемнику не наблюдалось. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 6. На фиг. 5 показан традиционный токоприемник в таком сравнительном аккумуляторе.

Сравнительный пример 2.

Анод для литий-железо-фосфатного аккумулятора был получен от компании "GB Systems" в Китае. Медный язычок был удален в качестве примера серийно выпускаемого токоприемника, и были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к медной фольге прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Никакого эффекта от прикосновения паяльника к токоприемнику не наблюдалось. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 6. Как и в сравнительном примере 1 на фиг. 5 представлена внутренняя структура такого аккумулятора. Толщина токоприемника имеет большое значение, поскольку это монокристаллическая металлическая структура, а не раскрытая в настоящем документе тонкая структура.

Пример 1.

Полипропиленовый материал для сепаратора литиевого аккумулятора был получен от компании "MTP Corporation". Материал был произведен компанией "Celgard" под серийным номером изделия 2500. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к сепаратору прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение термометра к токоприемнику образовало небольшое отверстие. Диаметр был измерен и указан в табл. 1. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 7.

Пример 2.

Полиэтиленовый материал с керамическим покрытием для сепаратора литиевого аккумулятора был получен от компании "MTP Corporation". Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к сепаратору прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение паяльника к токоприемнику образовало небольшое отверстие. Диаметр был измерен и указан в табл. 1. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 7А.

Пример 3.

Полипропиленовый материал с керамическим покрытием для сепаратора литиевого аккумулятора был получен от компании "MTP Corporation". Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к сепаратору прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение паяльника к токоприемнику образовало небольшое отверстие. Диаметр был измерен и указан в табл. 1. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 7В.

Пример 4.

Алюминизированная двуслоно-ориентированная полиэфирная пленка была получена от компании "All Foils Inc.", пленка предназначена для использования в наполняемых гелием воздушных шарах для вечеринок. Алюминиевое покрытие дольше удерживает гелий, обеспечивая более длительный срок хранения воздушных шаров для вечеринок. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление, которые показаны в табл. 1 ниже. Затем к пленке прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение паяльника к токоприемнику образовало небольшое отверстие. Диаметр был измерен и указан в табл. 1. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Сделанная фотография представлена на фиг. 8. По сравнению с серийно выпускаемым алюминиевым токоприемником из сравнительного примера 1 этот материал на 65% тоньше и на 85% легче, а также дает усадку при нагреве, что в ионно-литиевом элементе с внутренним коротким замыканием могло бы привести к прекращению внутреннего короткого замыкания.

## Пример 5.

Был получен коммерческий сепаратор Dreamweaver Silver 25 для литий-ионного аккумулятора. Он изготовлен из смеси нановолокон целлюлозы и полиакрилонитрила и полиэфирных микроволокон в процессе производства бумаги и каландрирован до небольшой толщины. Затем к сепаратору прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение термометра к токоприемнику не привело к образованию отверстия. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. По сравнению с уровнем техники, т.е. сравнительными примерами 3-5, эти материалы имеют то преимущество, что они не плавятся и не дают усадку при нагреве, и поэтому в ионно-литиевом аккумуляторе с внутренним коротким замыканием они не будут создавать равномерную более крупную область внутреннего короткого замыкания. Это показано на фиг. 8А.

## Пример 6.

Был получен серийно выпускаемый прототип сепаратора Dreamweaver Gold 20 для литий-ионного аккумулятора. Он изготовлен из смеси целлюлозных и параарамидных нановолокон и полиэфирных микроволокон в процессе производства бумаги и каландрирован до небольшой толщины. Затем к сепаратору прикоснулись горячим паяльником так же, как и в примере 1. Прикосновение термометра к токоприемнику не привело к образованию отверстия, как и показано на фиг. 8В. Были измерены толщина, поверхностная плотность и сопротивление. Материал был помещен в печь при 175°C на 30 мин, и была измерена усадка. Преимущества этого сепаратора по сравнению с сепараторами из уровня техники такие же, как и в примере 2.

Таблица 1

Пример	Материал	Толщина	Поверхностная плотность	Сопротивление	Усадка (175°C)	Размер отверстия, полученного кончиком паяльника
Ср. пример 1	Алюминий	30 мкм	80 г/м <sup>2</sup>	< 0,1 мОм/квадрат	0%	Нет отверстия
Ср. пример 2	Медь	14 мкм	125 г/м <sup>2</sup>	< 0,1 мОм/квадрат	0%	Нет отверстия
Пример 1	PP	24 мкм	14 г/м <sup>2</sup>	Бесконечное	Расплавился	7,5 мкм
Пример 2	PP керамика	27 мкм	20 г/м <sup>2</sup>	Бесконечное	Расплавился	2 мкм/1 мкм
Пример 3	PE керамика	27 мкм	20 г/м <sup>2</sup>	Бесконечное	Расплавился	5 мкм/2 мкм
Пример 4	Алюминизированный PET	13 мкм	12 г/м <sup>2</sup>	6,3 Ом/квадрат	33%	2 мкм
Пример 5	Смесь волокон	27 мкм	16 г/м <sup>2</sup>	Бесконечное	2%	Нет отверстия
Пример 6	Смесь волокон	23 мкм	16 г/м <sup>2</sup>	Бесконечное	0%	Нет отверстия

Сравнительные примеры 1-2 представляют собой существующие материалы токоприемников, демонстрирующие очень низкое сопротивление, высокую поверхностную плотность и отсутствие либо реакции на воздействие кончика горячего паяльника, либо усадки при 175°C.

Примеры 1-3 представляют собой материалы, которые обладают бесконечным сопротивлением, имеют низкую поверхностную плотность и плавятся при воздействии температуры 175°C или кончика горячего паяльника. Они являются отличными подложками для металлизации согласно настоящему изобретению.

Пример 4 представляет собой пример алюминизированной полимерной пленки, которая показывает умеренное сопротивление, низкую поверхностную плотность и дает усадку при воздействии температуры 175°C или кончика горячего паяльника. Она представляет собой пример композитной пленки потенциального катодного токоприемника по настоящему изобретению. На практике и как показано в дополнительных примерах, может быть желательно придать более высокий уровень металлического покрытия для более мощных аккумуляторов.

Примеры 5-6 представляют собой материалы, которые имеют бесконечное сопротивление, низкую поверхностную плотность, но обладают очень низкой усадкой при воздействии температуры 175°C или кончика горячего паяльника. Они являются примерами полимерной подложки по настоящему изобретению, когда толщина металлизированного покрытия достаточно мала, так что металлизированное покрытие разрушается в условиях высокого тока, связанного с коротким замыканием. Кроме того, нановолокна целлюлозы и полиэфирные микроволокна будут окисляться, сжиматься и подвергаться абляции при температурах, намного более низких, чем температуры плавления металлических токоприемников, применяемых в настоящее время на практике.

Пример 5 дополнительно изготовлен из волокна, полиакрилонитрила, которое набухает при воздействии традиционных электролитов из карбоната лития, что также является примером полимерной подложки по настоящему изобретению, если набухание будет увеличиваться при нагревании и создавать трещины в металлизированном покрытии, которые будут прерывать проводящий канал, тем самым повышая безопасность элемента за счет устранения или значительного уменьшения равномерного проводящего канала токоприемника под воздействием нагрева внутри аккумулятора.

## Пример 7.

Материал, использованный в примере 5, был помещен в положение осаждения системы вакуумного осаждения MBraun с использованием интерметаллического тигля и алюминиевых гранул. Камера была откачана до  $3 \times 10^{-5}$  мбар. Мощность увеличивалась до тех пор, пока алюминий не расплавился, а затем мощность устанавливалась так, чтобы скорость осаждения составляла 3 ангстрем/с. Осаждение проводили в течение 1 ч с четырьмя образцами, вращающимися на пластине для осаждения. Процесс повторяли трижды, поэтому общее время осаждения составило 4 ч. Были измерены вес, толщина и сопротивление образцов (постоянный ток и 1 кГц, полоса длиной 1 дюйм, измеренная между электродами на расстоянии 1 дюйма друг от друга), которые показаны в табл. 2 ниже. Точечное сопротивление также измерялось с помощью тестера Hioki 3555 Battery HiTester на частоте 1 кГц с кончиками зондов на расстоянии 1 дюйма друг от друга. Вес добавленного алюминия рассчитывали путем деления веса, добавленного во время процесса, на площадь образца. Его делят на плотность материала, чтобы получить среднюю толщину покрытия.

## Пример 8.

Нетканая полимерная подложка была изготовлена путем взятия микроволокна полиэтилентерефталата с плоским поперечным сечением и изготовления ручных листов плотностью  $20 \text{ г/м}^2$  с использованием процесса Tappi T206. Затем эти ручные листы каландрировали со скоростью 10 м/мин, давлением 2000 фунтов/дюйм с использованием закаленных стальных валков при температуре 250°F. Этот материал был металлизирован в соответствии с процессом из примера 7, и были выполнены такие же измерения, которые приведены в табл. 8.

## Пример 9.

Материал по примеру 5 был нанесен в соответствии с процессом из примера 7, за исключением того, что покрытие было выполнено при настройке 5 ангстрем/с в течение 60 мин. Образцы переворачивали и наносили покрытие на обратную сторону таким же способом. С помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) были получены изображения как поверхности, так поперечного сечения этих материалов, причем эти изображения представлены на фиг. 9, 9А и 9В.

## Пример 10.

Материалы были приготовлены в соответствии с процедурой из примера 9 за исключением того, что осаждение на каждой стороне длилось всего 20 мин.

## Пример 11.

Была приготовлена полимерная подложка из примера 8, за исключением того, что листы не были каландрированы. Осаждение алюминия происходит со скоростью 5 ангстрем/с в течение 20 мин с каждой стороны. Поскольку материалы не были каландрированы, пористость очень высока, что дает очень высокие значения сопротивления при тонком покрытии. Сравнение примера 11 с примером 8 показывает неожиданно высокие преимущества каландрирования.

Таблица 2

Образец	Добавленн ый вес	Сопротивле ние по постоянному току	Сопротивлени е при 1 кГц	Точечное сопротивлени е при 1 кГц	Средняя толщина покрыти я
Единица измерения	г/м <sup>2</sup>	Ом/квадрат	Ом/квадрат	Ом	Микрон
Пример 7	3,5	0,7	0,5	0,1	1,3
Пример 8	2,0	7	7	0,4	0,7
Пример 9	2,2			0,2	0,8
Пример 10	0,8			1,7	0,3
Пример 11	0,8			100	0,3

## Пример 12.

Полимерная подложка с алюминиевым покрытием из примера 9 была покрыта смесью из 97% катодного материала NCM (NCM523, полученного от компании "BASF"), 1% углеродной сажи и 2% связующего PVDF в растворе N-метил-2-пирролидона. Вес покрытия составлял  $12,7 \text{ мг/см}^2$  при толщине 71 мкм. Этот материал был вырезан, чтобы соответствовать дисковому элементу 2032, и соединен с графитовым анодом, нанесенным на токоприемник из медной фольги ( $6 \text{ мг/см}^2$ , 96,75% графита (BTR), 0,75% углеродной сажи, 1,5% SBR и 1% СМС). Однослойный дисковый элемент был изготовлен путем помещения анода, сепаратора (Celgard 2320) и материала с покрытием NCM в элемент, заливки электролита (60 мкл, 1,0M LiPF<sub>6</sub> в EC:DEC:DMC = 4:4:2 об. + 2 вес.% VC) и герметизации элемента путем обжатия оболочки. Чтобы получить адекватную проводимость, часть полимерной подложки с алюминиевым покрытием из примера 9 не покрыли катодным материалом и сложили так, чтобы обеспечить контакт с оболочкой дискового элемента, тем самым завершая канал проводимости. Элемент формировали путем зарядки при постоянном токе 0,18 мА до 4,2 В, затем при постоянном напряжении (4,2 В) до тех пор, пока ток не упал до 0,04 мА. Элемент был трижды переключен между 4,2 В и 3,0 В при 0,37 мА и показал среднюю разрядную емкость 1,2 мАч.

## Пример 13.

Элемент был изготовлен в соответствии с процедурой и с использованием материалов из примера 12, за исключением того, что в качестве сепаратора использовался Dreamweaver Silver 20. Элемент был сформирован путем зарядки при постоянном токе 0,18 мА до 4,2 В, затем при постоянном напряжении (4,2 В) до тех пор, пока ток не упал до 0,04 мА. Элемент был трижды переключен между 4,2 В и 3,0 В при 0,37 мА и показал среднюю разрядную емкость 0,8 мАч. Таким образом, в этом и предыдущем примерах рабочие перезаряжаемые литий-ионные элементы были изготовлены с использованием алюминия толщиной менее 1 мкм.

## Сравнительный пример 3.

Алюминиевый язычок из сравнительного примера 1 размером приблизительно 2 см × 4 см был соединен с заземлением источника тока через металлический соединитель, контактирующий по всей ширине с образцом. Предел напряжения был установлен на 4,0 В, а предел тока - на 1,0 А. Зонд, соединенный с выходом высокого напряжения источника тока, сначала касался металлического соединителя, контактирующего по всей ширине с образцом, а затем множество раз касался алюминиевого язычка, вызывая короткое замыкание при 1,0 А. Кончик зонда имел площадь приблизительно 0,25 мм<sup>2</sup>. При контакте по всей ширине ток протекал нормально. При первоначальном прикосновении зонда к язычку образовывались искры, указывающие на очень высокую начальную плотность тока. Возникающие в результате дефекты в токоприемнике только иногда приводили к образованию отверстий, а в остальных случаях происходила абляция, но токоприемник оставался неповрежденным. Во всех случаях цепь оставалась замкнутой при токе 1,0 А. Сделанная микрофотография удаленного дефекта без отверстия показана на фиг. 10. Эксперимент был повторен с пределом источника тока, установленным на 5,0 А, 3,0 А, 0,6 А, 0,3 А и 0,1 А, и во всех случаях результатом был непрерывный ток на пределе испытательного тока как при контакте по всей ширине токоприемника, так и при использовании точечного зонда с размером кончика приблизительно 0,25 мм<sup>2</sup>.

## Сравнительный пример 4.

Медный язычок из сравнительного примера 2 с аналогичными размерами был испытан таким же образом, как и в сравнительном примере 3. При контакте по всей ширине ток протекал нормально. При первоначальном прикосновении зонда к язычку образовывались искры, указывающие на очень высокую начальную плотность тока. Возникающие в результате дефекты в токоприемнике только иногда приводили к образованию отверстий, а в остальных случаях происходила абляция, но токоприемник оставался неповрежденным. Во всех случаях цепь оставалась замкнутой при токе 0,8 А. Сделанная микрофотография удаленного дефекта без отверстия показана на фиг. 10А. Эксперимент был повторен с пределом источника тока, установленным на 5,0 А, 3,0 А, 0,6 А, 0,3 А и 0,1 А, и во всех случаях результатом был непрерывный ток на пределе испытательного тока как при контакте по всей ширине токоприемника, так и при использовании точечного зонда с размером кончика приблизительно 0,25 мм<sup>2</sup>.

## Пример 14.

Материал полимерной подложки с алюминиевым покрытием по изобретению из примера 7 с аналогичными размерами был испытан с использованием того же способа, что и в сравнительных примерах 3-4. При контакте по всей ширине ток протекал нормально. В каждом случае непосредственного прикосновения зонда к токоприемнику по изобретению образовавшихся искр было немного меньше, и ток прекращал течь после первоначальных искр, оставляя разомкнутую цепь. Во всех случаях возникшим дефектом было отверстие. Микрофотографии нескольких примеров отверстий показаны на фиг. 11 и 11А. Эксперимент был повторен с пределом источника тока, установленным на 5,0 А, 3,0 А, 0,6 А, 0,3 А и 0,1 А, и во всех случаях результатом был непрерывный поток тока при контакте по всей ширине соединителей, а также отсутствие тока, протекающего в примере по настоящему изобретению при непосредственном контакте от зонда к примерному токоприемнику по настоящему изобретению.

Ключевым в настоящем изобретении является то, что при воздействии короткого замыкания, как в сравнительных примерах 3-4 и в примере 14, в соответствии с уровнем техники результатом является продолжающееся короткое замыкание, тогда как в соответствии с материалом по настоящему изобретению результатом является разомкнутая цепь, при которой не течет непрерывный ток (т.е. нет заметного движения тока). Таким образом, короткое замыкание в соответствии с уровнем техники может образовывать и действительно образует тепло, которое может расплавить сепаратор, растворить слой SEI и привести к тепловому разгону элемента, тем самым воспламеняя электролит. Разомкнутая цепь токоприемника по настоящему изобретению не будет образовывать тепло и, таким образом, обеспечивает элемент, который может выдерживать воздействие внутренних коротких замыканий, не допуская теплового разгона и возникающих в результате дыма, тепла и воспламенения.

## Примеры 15 и 16 и сравнительные примеры 5 и 6.

Две металлизированные пленки были изготовлены на 10-микронной полиэтилентерефталатной пленке посредством рулонной технологии. Согласно этой технологии рулон пленки помещали в технологическую машину для вакуумной металлизации (примером которой является TopMet 4450, поставляемая компанией "Applied Materials"), причем камеру откачивали до низкого давления. Валок пропускали над нагретыми лодочками, содержащими расплавленный алюминий, с высокой скоростью, например 50

м/мин. Над нагретыми лодочками, содержащими расплавленный алюминий, находится шлейф газообразного алюминия, который осаждается на пленке, причем скорость осаждения регулируется скоростью и температурой алюминия. Рулон длиной приблизительно 500 м и шириной 70 см был изготовлен за множество проходов до тех пор, пока алюминиевое покрытие не достигло приблизительно 300 нм. Процесс нанесения покрытия повторяли для покрытия другой стороны пленки, причем полученное изделие упоминается в настоящем документе как пример 15 (при этом токоприемник по настоящему изобретению, показанный на фиг. 4, представляет собой тот, что использовался в этом примере). Таким образом, пример 16 был изготовлен таким же образом, за исключением того, что металлом в лодочке была медь (при этом на фиг. 5В показан токоприемник, используемый в этой конструкции по настоящему изобретению). Были измерены базовый вес, толщина и проводимость каждой пленки, которые представлены ниже в табл. 3. Вес покрытия рассчитывали вычитанием  $13,8 \text{ г/м}^2$ , что соответствует базовому весу 10-микронной полиэтилентерефталатной пленки. "Расчетную толщину покрытия" определяли путем деления веса покрытия на плотность материалов ( $2,7 \text{ г/см}^3$  для алюминия,  $8,96 \text{ г/см}^3$  для меди), предполагая равномерное покрытие с каждой стороны.

Сравнительный пример 5 представляет собой коммерчески доступную алюминиевую фольгу толщиной 17 мкм. Сравнительный пример 6 представляет собой коммерчески доступную медную фольгу толщиной 50 мкм. Сравнительный пример 7 представляет собой коммерчески доступную медную фольгу толщиной 9 мкм.

Таблица 3

Образец	Базовый вес	Вес покрытия	Толщина	Сопротивление по постоянному току	Расчетная толщина покрытия
Единица измерения	г/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	Микрон	Ом	Микрон
Пример 15	17	3	11	0,081	0,5
Пример 16	24	10	11	0,041	0,5
Сравнительный пример 5	46		17		
Сравнительный пример 6	448		50		
Сравнительный пример 7	81		9		

Пример 15, пример 16, сравнительный пример 5 и сравнительный пример 6 были подвергнуты дополнительному испытанию на их способность переносить очень высокие плотности тока. Было изготовлено испытательное устройство, которое удерживало полированный медный провод радиусом 0,51 мм (калибром 24 в соответствии с Американским калибром проводов (AWG)) в контакте с пленкой или фольгой токоприемника. Испытуемую пленку или фольгу заземляли с помощью алюминиевого контакта, соприкасающегося с испытуемой пленкой или фольгой с площадью контакта  $> 1$  квадратного сантиметра. Зонд был соединен последовательно с резистором высокой мощности 400 Вт и номиналом 0,335 Ом и подключен к источнику питания Volteq HY3050EX, настроенному на контроль тока. Подлежащий измерению токоприемник помещался в установку, при этом полированный провод контактировал с поверхностью токоприемника при нулевом входном токе. Ток увеличивали с шагом 0,2 ампера и удерживали в течение 30 с для каждого шага, при этом измеряя напряжение на резисторе. Когда напряжение падало до нуля, что означало, что ток больше не течет, это говорило о том, что образец вышел из строя. Испытывали каждый из примера 15, примера 16, сравнительного примера 5 и сравнительного примера 6. Пример 15 вышел из строя при токе 7 А (среднее значение двух измерений). Пример 16 вышел из строя при токе 10,2 А (среднее значение двух измерений). Ни сравнительный пример 5, ни сравнительный пример 6 не выходил из строя при токе ниже 20 А. Как в примере 15, так и в примере 16 были обнаружены отверстия в токоприемнике с радиусом  $> 1$  мм, в то время как ни в одном из сравнительных примеров 5 или 6 не было обнаружено никакого повреждения фольги. В этом примерном испытании было бы выгодно иметь токоприемник, который не может пропускать ток более 20 А, предпочтительно более 15 А или более предпочтительно более 12 А.

В другом испытании, предназначенном для моделирования использования этих токоприемников по изобретению в качестве язычка, соединяющего электродную батарею элемента с используемыми электрическими устройствами (внутри или снаружи элемента), примеры 15 и 16 и сравнительные примеры 5 и 6 были подвергнуты испытанию на токовую нагрузку вдоль полосы. Чтобы подготовить образцы для испытания, токоприемники были вырезаны по форме, показанной на фиг. 12, и состояли из полосы материала размером четыре сантиметра на сантиметр ( $4 \text{ см} \times 1 \text{ см}$ ), причем концы полосы заканчиваются усеченными прямоугольными равнобедренными треугольниками со стороной 4 см. Каждый из треугольников испытательного образца контактировал через алюминиевый элемент с площадью контактной поверхности  $> 1 \text{ см}$ . Одна сторона была подключена через резистор 400 Вт, 0,335 Ом, и эта цепь была соединена с источником питания Volteq HY3050EX. Напряжение измерялось на резисторах с целью изме-

рения тока, и было показано, что элемент вышел из строя, когда это напряжение упало до нуля. Для каждого испытания элемент был соединен с источником питания, установленным на нулевой ток, который затем увеличивался с шагом 0,2 А и выдерживался в течение 30 с при каждом новом напряжении до тех пор, пока образец не выходил из строя и протекающий ток не падал до нуля. Испытание было организовано таким образом, чтобы можно было измерять металлизированные токоприемники с помощью контакта либо на одной стороне, либо на обеих сторонах металлизированного токоприемника. Токи при выходе из строя показаны ниже в табл. 4. Для материалов, испытанных в полосе 4 см × 1 см, было выгодно предусмотреть внутренний предохранитель, ограничив величину тока, который может протекать, до менее 20 А или предпочтительно менее 15 А, или более предпочтительно менее 10 А, для каждого случая с односторонним или двусторонним контактом.

Таблица 4

Образец	Напряжение при выходе из строя для одностороннего контакта	Напряжение при выходе из строя для двустороннего контакта
Единица измерения	В	В
Пример 15	2,7	4,5
Пример 16	24	10
Сравнительный пример 5	Нет выхода из строя ниже 20 А	Нет выхода из строя ниже 20 А
Сравнительный пример 6	Нет выхода из строя ниже 20 А	Нет выхода из строя ниже 20 А

Примеры 17-19 и сравнительный пример 8.

Элементы были изготовлены путем нанесения электродных материалов на стандартные токоприемники из фольги и металлизированные токоприемники из ПЭТ-пленки из примеров 15 и 16. Катодные материалы NMC 523 были приготовлены с использованием NMC523 (97%) от компании "BASF", углеродной сажи (2%) и PVDF (1%) в растворителе NMP и нанесены на алюминиевый токоприемник (15-микронный алюминиевый токоприемник) и пример 15 при базовом весе 220 г/м<sup>2</sup>, что соответствует плотности загрузки катода 3,3 мАч/см<sup>2</sup>. Анодные материалы были приготовлены посредством использования графита BTR-918S (94%), углеродной сажи (5%) и PVDF (1%) в растворителе NMP и нанесения на медный токоприемник (18-микронный медный токоприемник) с плотностью 118 г/м<sup>2</sup>, что соответствует плотности загрузки анода 4,0 мАч/см<sup>2</sup>. Были изготовлены четыре двусторонних катода, три двусторонних анода и два односторонних анода. Их уложили друг на друга, используя сепаратор Celgard 2500, чтобы сформировать небольшие пакетные элементы, которые затем были заполнены электролитом и герметизированы с расчетной емкостью 1 Ач. Четыре типа элементов были изготовлены из разных комбинаций фольгированных материалов, и емкость была измерена при C/10 и C/5 (т.е. 0,1 А и 0,2 А). Элементы были сформированы путем зарядки при 100 мА до 4,2 В и удержании при 4,2 В до тех пор, пока ток не падал до 10 мА. Затем полностью сформированные элементы были взвешены и испытаны на емкость путем разрядки при C/10, затем зарядки при C/10 и разрядки при C/5. Эти результаты показаны в табл. 5 ниже.

Таблица 5

Образец	Катодный токоприемник	Анодный токоприемник	Вес элемента	Емкость C/10	Емкость C/5
Единица измерения			г	мАч	мАч
Сравнительный пример 8	Алюминиевая фольга	Медная фольга	27	924	615
Пример 17	Пример 15	Медная фольга	26,8	1049	751
Пример 18	Алюминиевая фольга	Пример 16	24,7	1096	853
Пример 19	Пример 15	Пример 16	24,7	1057	848

Таким образом, было показано, что приведенные выше примеры демонстрируют желаемые толщину, металлическое покрытие и результаты проводимости, необходимые для предотвращения теплового разгона внутри электролитсодержащего аккумулятора, тем самым обеспечивая не только гораздо более безопасный и надежный тип аккумулятора, но и требуя гораздо менее тяжелых внутренних компонентов, чем когда-либо прежде, без ущерба для безопасности, а, по сути, обеспечивая ее улучшение.

Как отмечено выше, возможность не только обеспечивать такой тонкий токоприемник (в качестве внутреннего предохранителя внутри литиевого аккумуляторного изделия), но и также необходимые преимущества структуры с язычками для обеспечения передачи генерируемого напряжения за пределы рассматриваемого аккумуляторного элемента, лежит в основе настоящего изобретения. Кроме того, возможность дополнительно использовать вышеуказанные полезные тонкие структуры токоприемника позволяет использовать любое количество бесчисленных конфигураций в пределах самого аккумуляторного изделия, потенциально вырабатывая совокупные уровни мощности в присутствии полезного внутреннего предохранительного компонента (компонентов). Это более подробно показано на фиг. 12-22.

На фиг. 13 показан одиночный тонкопленочный язычок/токоприемник 600 с металлизированным

пленочным слоем 614 и нижним неметаллическим слоем 616. Также предусмотрен проводящий язычок 610 (для подключения к внешнему компоненту передачи энергии аккумулятора), выровненный перпендикулярно токоприемнику и соединенный с ним сварными швами 612.

На фиг. 14 показан аналогичный токоприемник 620, но с язычком 622 с лентой 624, соединяющей язычок 622 с токоприемником 634 с целью обеспечения проводимости. Как указано выше, язычок/токоприемник 620 имеет металлизированный пленочный слой 626 и нижний неметаллический слой 632. Ленточный компонент 622 предусмотрен на внешней поверхности 628 язычка и ведет к неметаллическому слою 626 токоприемника, при условии, что способность адгезионной прочности на сдвиг позволяет язычку оставаться закрепленным подходящим образом с целью обеспечения проводимости.

На фиг. 15 представлен другой язычок/токоприемник 640, показывающий другой способ соединения язычка 642 с одним тонким токоприемником 648 (с металлизированным пленочным слоем 644 и нижним неметаллическим слоем 650) посредством соединения двух компонентов с помощью проводящих скоб 646.

Такие плоские структуры токоприемников допускают типичную конфигурацию аккумулятора с компактными аккумуляторными структурами (такими как те, что показаны, например, на фиг. 1). На фиг. 16 показан язычок/токоприемник 700 с одной складкой 710 и с одним язычком 702 с лентой, прикрепленным к металлизированной поверхности 712 пленки (которая покрывает, как указано выше, неметаллический слой 708). Таким образом, токоприемник 704 с одной складкой 710 обеспечивает в результате возможность увеличения выработки энергии внутри аккумуляторного элемента, хотя и с необходимостью небольшого увеличения размера аккумулятора по сравнению с плоской структурой.

На фиг. 17 показан язычок/токоприемник 720 с двойными складками 732, использующий одну и ту же тонкую структуру 724 токоприемника. Таким образом, такая двойная складка 732 дополнительно обеспечивает возможность соединения двух сторон 726, 728 токоприемника 724, которые в противном случае могли бы быть электрически изолированы полимерной пленкой, расположенной между двумя электропроводящими слоями. Язычок 722 прикрепляется к поверхности 730 токоприемника с целью обеспечения проводимости при такой двойной складке 732.

На фиг. 18 также показан плоский язычок/токоприемник 750 с верхней поверхностью 758 и нижней поверхностью 762 того же типа, что и выше. В этом примере язычок 752, 754 выполнен в виде двух параллельных структур, находящихся в контакте как с верхней поверхностью 758, так и с нижней поверхностью 760 токоприемника 762. Такой язычок 752, 754 включает в себя сварные швы 756 для соединения с обеими поверхностями 758, 760.

На фиг. 19 показана структура 780, аналогичная показанной на фиг. 16, но с наличием одного сложенного язычка 794, который контактирует с обеими поверхностями 788, 790 токоприемника 792 посредством сварных швов 786, причем от сложенного язычка 794 отходят два удлиненных выступа 782, 784.

На фиг. 20 показан язычок 802, приваренный посредством сварных швов 804 к язычку/токоприемнику 800 с двойными складками, таким образом демонстрируя ту же способность соединять электрически изолированные слои 808, 812, которая была указана выше в отношении токоприемника 806, но с наличием более безопасных сварных швов 804, которые более надежны и потенциально более эффективны для целей передачи энергии.

На фиг. 21, таким образом, показана структура 820 композитного язычка/множества токоприемников, содержащая множество (в данном случае - пять) таких токоприемников 826, 828, 830, 832, 834 с закругленными двойными складками 856, а также с металлизированными пленочными слоями 858, 860, 862, 864, 866 и нижними неметаллическими слоями 846, 848, 850, 852, 854, соединенными последовательно для еще большей возможности соединения электрически изолированных слоев с целью обеспечения проводимости через одиночный язычок 822 со сварными швами 824, соединяющимися для обеспечения проводимости с верхним токоприемником 826 с закругленными двойными складками. Приварной язычок 822 также прочно остается на месте для повышения надежности.

Второй противолежащий язычок 904, приваренный посредством сварных швов 906, показан на фиг. 22 с наличием такого массива из множества токоприемников 908, 910, 912, 914, 916 с многократными закругленными складками 938. Такая структура 900 язычков/токоприемников позволяет увеличивать выработку энергии без необходимости увеличения веса или объема рассматриваемого аккумуляторного элемента посредством двух язычков 902, 904, сконфигурированных и соединенных с двумя внешними токоприемниками 908, 916, как отмечено ранее. Металлизированные пленочные слои 940, 942, 944, 946, 948, как указано выше, снабжены противолежащими неметаллическими слоями 928, 930, 932, 934, 936, как и в других подобных примерах токоприемников.

Как показано на фиг. 23, в качестве еще одного неограничивающего примера структуры 960 язычка/токоприемника язычок 962 с множеством Z-образных складок 972 прикреплен к набору параллельных плоских тонких токоприемников 964, 966, 968, 970 (в данном случае - четырех) (как описано выше), при этом металлизированные пленочные слои 974, 978, 982, 986 и нижние неметаллические слои 976, 980, 982, 984 опять же предусмотрены для обеспечения другого способа выработки совокупной мощности последовательно, хотя и с плоскими тонкими токоприемниками 964, 966, 968, 970 (функционирующими

как множество внутренних предохранителей).

Следовательно, такие структуры по фиг. 13-23 допускают разные внешние соединения с внутренними предохранительными компонентами стоячего литиевого аккумулятора.

После подробного описания изобретения становится очевидным, что специалист в данной области техники сможет внести в него изменения и модификации, не выходя за пределы объема настоящего изобретения. Соответственно, объем настоящего изобретения должен определяться только прилагаемой формулой изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ передачи энергии, генерируемой в литий-ионном аккумуляторном устройстве, через структуру с язычками во внешнее устройство, при этом литий-ионное аккумуляторное устройство содержит:

а) анод, катод, по меньшей мере один сепаратор, расположенный между анодом и катодом, по меньшей мере один жидкий электролит, по меньшей мере один тонкопленочный токоприемник, контактирующий по меньшей мере с одним из анода и катода, и по меньшей мере один язычок, прикрепленный к указанному по меньшей мере одному тонкопленочному токоприемнику, при этом

б) язычок прикреплен к указанному токоприемнику с помощью соединительного средства;

с) соединительное средство имеет электрический контакт с открытой поверхностью язычка и тонкопленочного токоприемника;

д) либо анод, либо катод помещен между по меньшей мере частью тонкопленочного токоприемника и сепаратором;

е) указанный токоприемник содержит проводящий материал, нанесенный на подложку из непроводящего материала;

ф) указанный токоприемник перестает проводить в точке контакта короткого замыкания при рабочем напряжении устройства хранения энергии и

г) указанное напряжение составляет по меньшей мере 2,0 В;

причем способ включает этапы:

i) генерирования энергии в устройстве хранения энергии и

ii) передачи указанной энергии, генерируемой в устройстве хранения энергии, наружу через по меньшей мере один язычок, прикрепленный по меньшей мере к одному тонкопленочному токоприемнику устройства хранения энергии.

2. Способ по п.1, в котором соединительное средство выбирают из группы, состоящей из сварных швов, ленты, скоб, промежуточных металлических полос, z-образно сложенных металлических полос, проводящих клеев и зажимов.

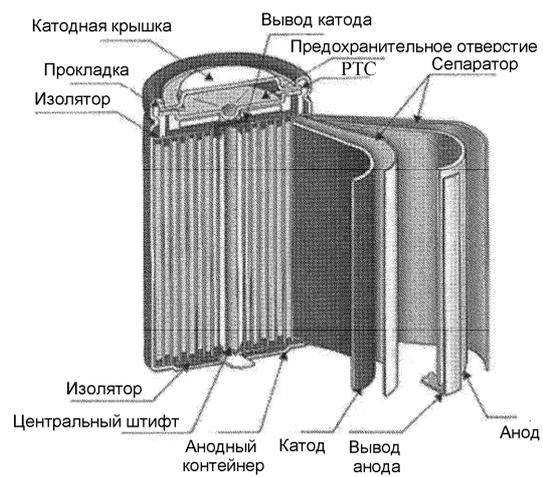
3. Способ по п.2, в котором соединительное средство состоит из 2-50 соединений, распределенных по токоприемнику так, чтобы обеспечивать равномерное протекание тока от электродных материалов к язычку.

4. Способ по п.1, в котором указанный токоприемник складывают так, чтобы обеспечивать непосредственный контакт между противоположными сторонами токоприемника.

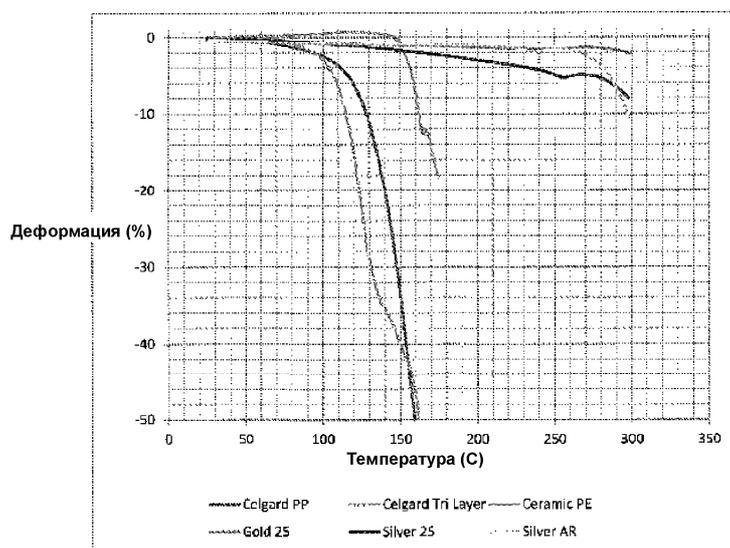
5. Способ по п.1, в котором сепаратор выполняют из полимера, нетканого материала, ткани или керамики.

6. Способ по п.1, в котором подложку из непроводящего материала выполняют из полимерной пленки.

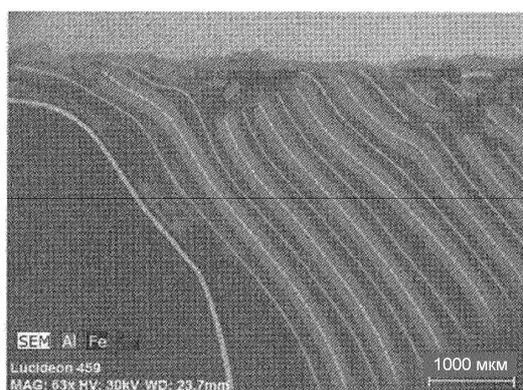
7. Способ по п.1, в котором по меньшей мере один жидкий электролит выполняют из воспламеняющегося органического электролита.



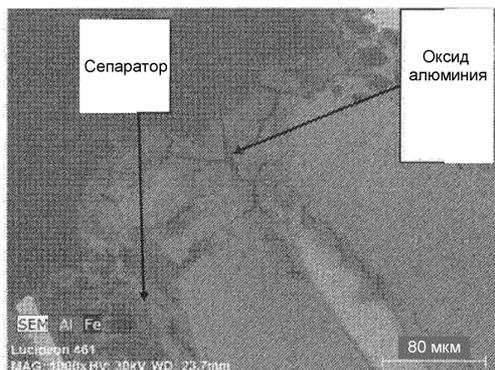
Фиг. 1



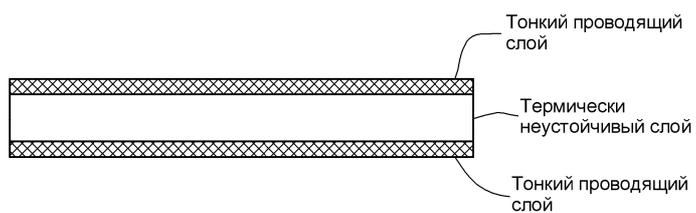
Фиг. 2



Фиг. 3А



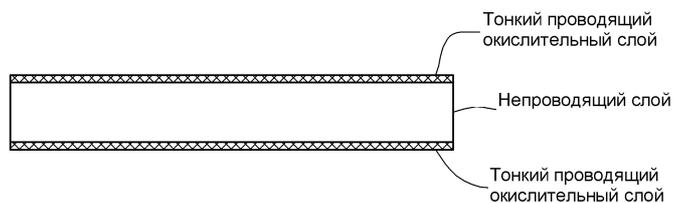
Фиг. 3В



Фиг. 4

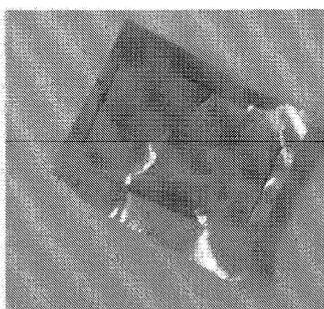


Фиг. 5А



Фиг. 5В

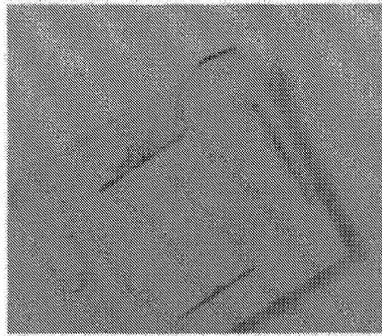
Сравнительный пример 1 после прикосновения горячего паяльника



Фиг. 6

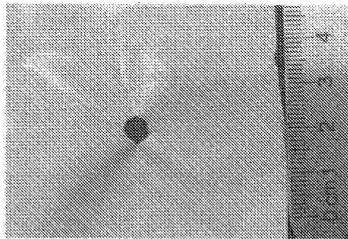
047792

Сравнительный пример 2 после прикосновения горячего паяльника



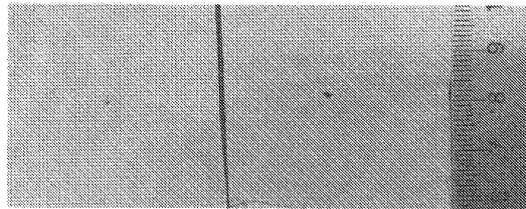
Фиг. 6А

Пример 1 после прикосновения горячего паяльника



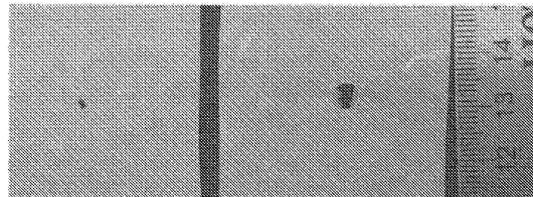
Фиг. 7

Пример 2 после прикосновения горячего паяльника



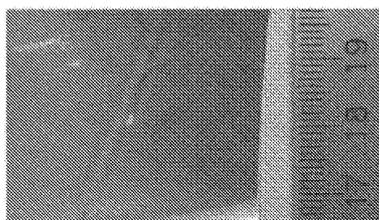
Фиг. 7А

Пример 3 после прикосновения горячего паяльника



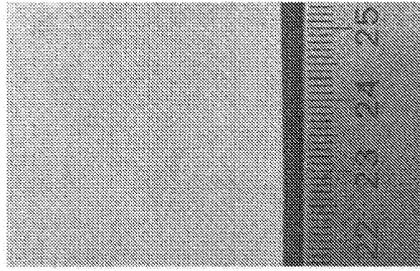
Фиг. 7В

Пример 4 после прикосновения горячего паяльника



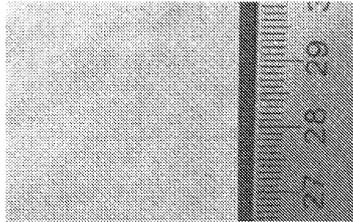
Фиг. 8

Пример 5 после прикосновения горячего паяльника

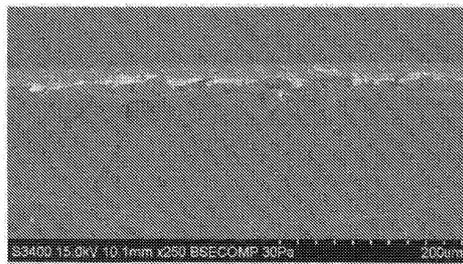


Фиг. 8А

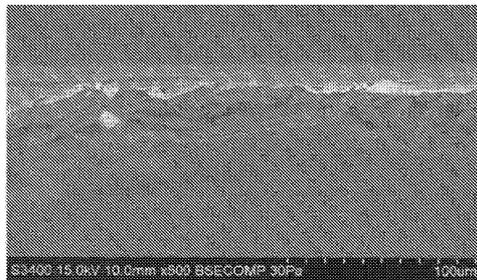
Пример 6 после прикосновения горячего паяльника



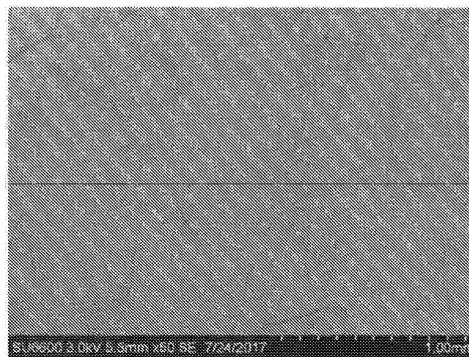
Фиг. 8В



Фиг. 9

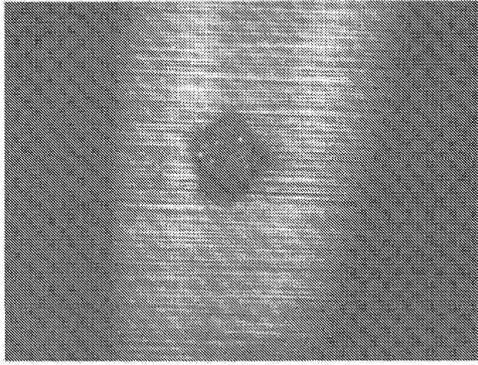


Фиг. 9А



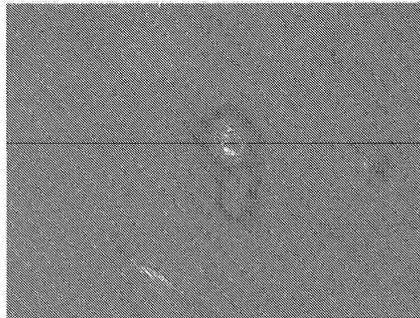
Фиг. 9В

Сравнительный пример 3 после короткого замыкания при 4,0 В



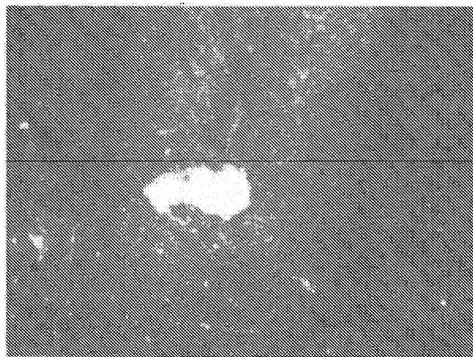
Фиг. 10

Сравнительный пример 4 после короткого замыкания при 4,0 В

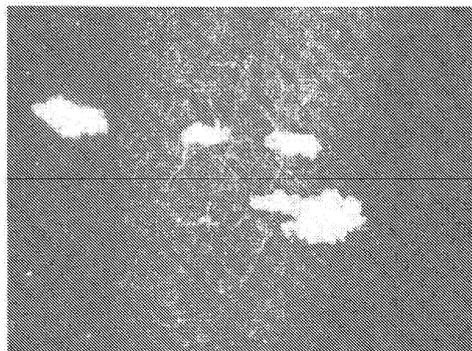


Фиг. 10А

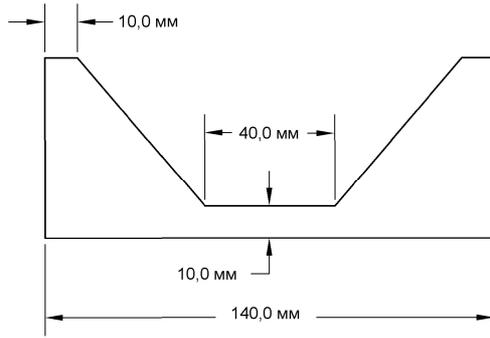
Пример 14 после короткого замыкания при 4,0 В



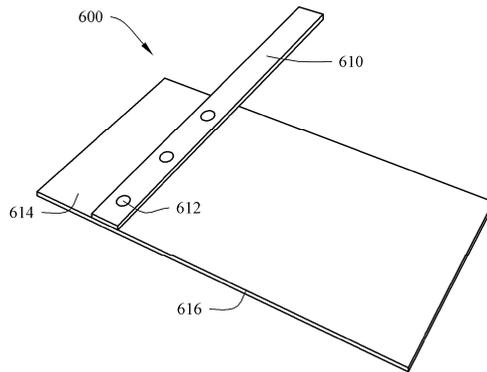
Фиг. 11



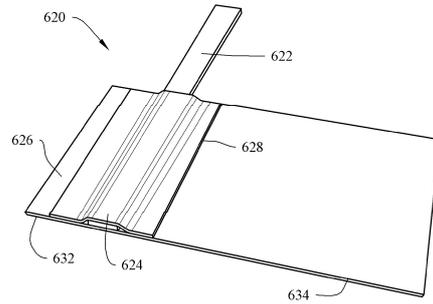
Фиг. 11А



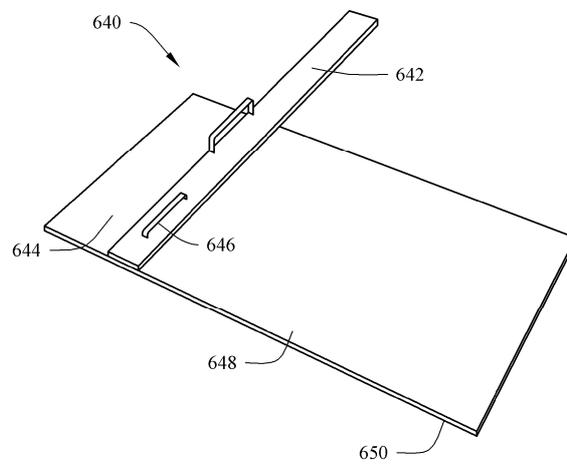
Фиг. 12



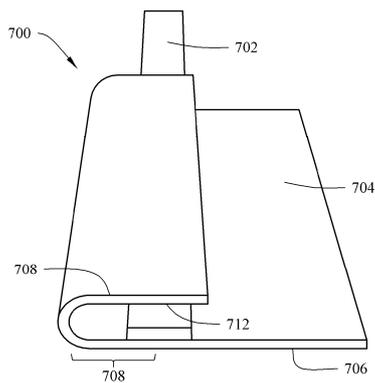
Фиг. 13



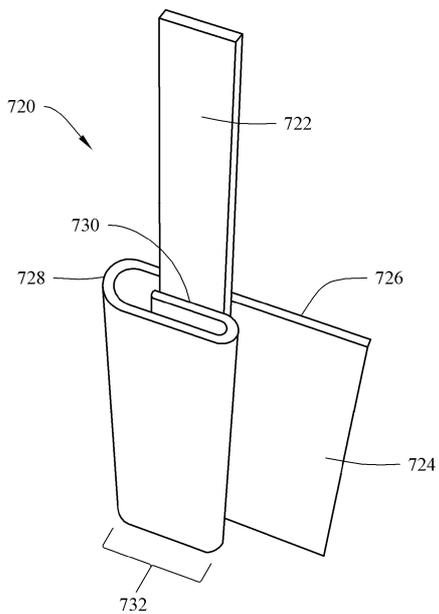
Фиг. 14



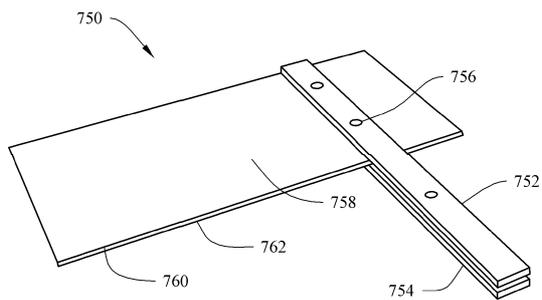
Фиг. 15



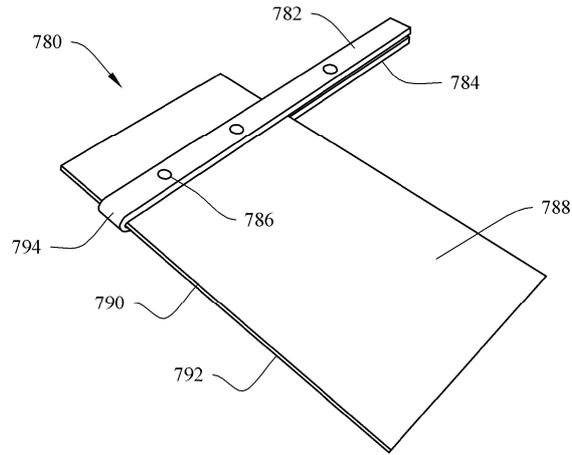
Фиг. 16



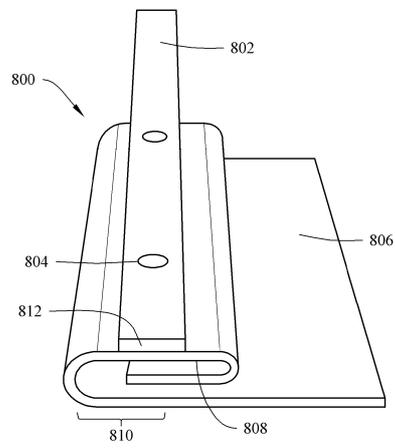
Фиг. 17



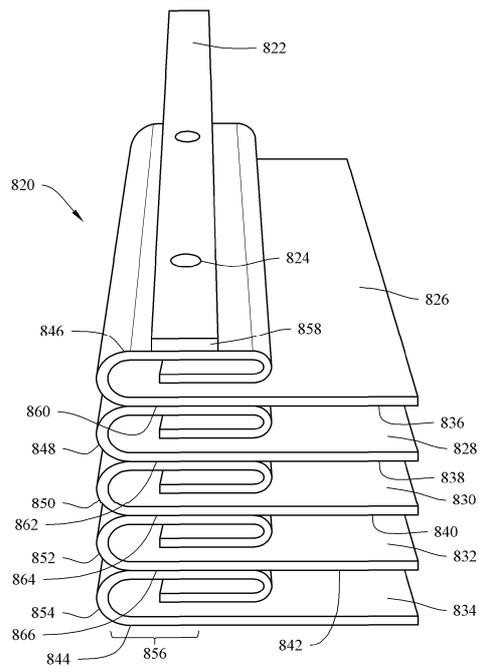
Фиг. 18



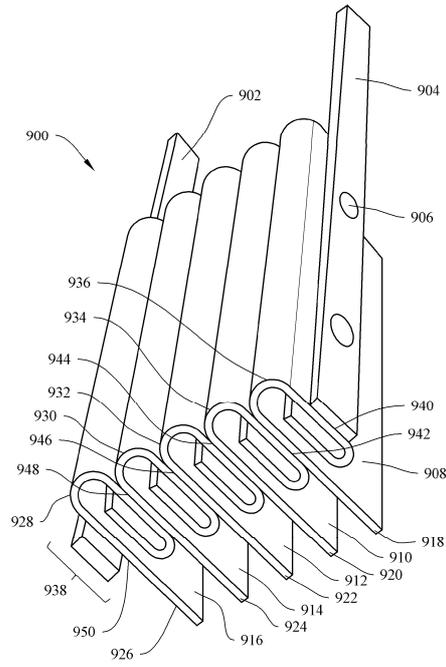
Фиг. 19



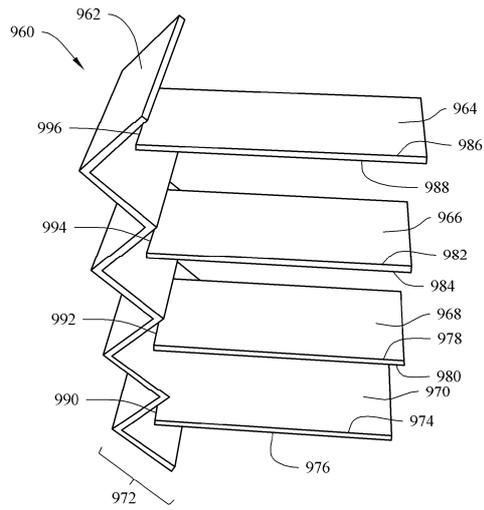
Фиг. 20



Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23