

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039953**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.03.31

(21) Номер заявки
201892199

(22) Дата подачи заявки
2017.03.29

(51) Int. Cl. **H01G 11/34** (2013.01)
H01G 11/36 (2013.01)
H01G 11/86 (2013.01)

**(54) НАПРАВЛЕННЫЙ РОСТ ПОЛИАНИЛИНОВЫХ НАНОТРУБОК НА УГЛЕРОДНОЙ
ТКАНИ ДЛЯ ГИБКИХ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**

(31) 62/317,120

(32) 2016.04.01

(33) US

(43) 2019.03.29

(86) PCT/US2017/024716

(87) WO 2017/172892 2017.10.05

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ДЗЕ РИДЖЕНТС ОФ ДЗЕ
ЮНИВЕРСИТИ ОФ КАЛИФОРНИЯ
(US)**

(72) Изобретатель:
**Канер Ричард Б., Эль-Кадри Махер Ф.
(US), Мусави Мир Фазлолла, Хашеми
Мазуме, Рахманифар Мохаммад С.
(IR)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) TANON KAEWSONGPOL et al. High-performance supercapacitor of electrodeposited porous 3D polyaniline nanorods on functionalized carbon fiber paper: Effects of hydrophobic and hydrophilic surfaces of conductive carbon paper substrates. Materials Today Communications. 19 August 2015, Vol. 4, pages 176-185. See pages 177-179, 184 and figures 1-2

JUN YAN et al. Preparation of graphene nanosheet/carbon nanotube/polyaniline composite as electrode material for supercapacitors. Journal of Power Sources. 11 November 2009, Vol. 195, Issue 9, pages 3041-3045. See page 3042 and figures 2, 7

WO-A2-2014072877

US-A1-20050153130

US-A1-20120111730

(57) Настоящее изобретение дополнительно предусматривает иллюстративное устройство накопления энергии, изготовленное из трубки прямоугольного сечения на основе полианилина (PANI), который является химически синтезированным с помощью простого и удобного способа. Трубка прямоугольного сечения на основе PANI в качестве активного материала синтезирована на функционализированной углеродной ткани (FCC), используемой в качестве подложки, и при этом полученный композиционный материал закреплен на сетке из нержавеющей стали, используемой в качестве токосъемника. Настоящее изобретение дополнительно предусматривает простую методику направленного синтеза нанотрубок на основе PANI с порами прямоугольного сечения на химически активированной СС (углеродной ткани).

B1**039953****039953****B1**

Перекрестная ссылка

Данная заявка испрашивает преимущество по предварительной заявке на патент США № 62/317120, поданной 1 апреля 2016 г., которая включена в данный документ посредством ссылки.

Предпосылки

Разработка высокоэффективных устройств накопления энергии привлекала значительное внимание в широком диапазоне областей применения. Несмотря на то, что обычные электронные устройства быстро развиваются, согласно закону Мура батареи развивались незначительно, главным образом из-за ограничений в отношении значений плотности энергии и емкости представленных в настоящее время материалов. В связи с этим батареи с уменьшенным временем заряда и повышенной плотностью заряда могут оказать огромное влияние на конструкцию и применение переносных электронных устройств и устройств с возобновляемым источником энергии.

Сущность изобретения

В данном документе представлены способы, устройства и системы для выращивания нанотрубок на функционализированной углеродной ткани. Выращивание может предусматривать изготовление (или синтез) функционализированной углеродной ткани, изготовление (или синтез) нанотрубок и наноструктур и/или изготовление (или синтез) электролита. Некоторые варианты осуществления предусматривают способы, устройства и системы для изготовления (или синтеза) функционализированной углеродной ткани, и/или для изготовления (или синтеза) нанотрубок и наноструктур, и/или для изготовления (или синтеза) электролитов, и/или для изготовления (или синтеза) суперконденсаторов.

Первый аспект, раскрытый в данном документе, представляет собой устройство, содержащее функционализированный углеродный электрод, содержащий углеродную подложку и проводящий полимер, размещенный на углеродной подложке.

В некоторых вариантах осуществления функционализированный углеродный электрод представляет собой функционализированный полианилином углеродный электрод.

В некоторых вариантах осуществления углеродная подложка представляет собой углеродную ткань, углеродное волокно, аморфный углерод, стекловидный углерод, углеродную нанопену, углеродный аэрогель или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления проводящий полимер представляет собой полужесткий стержневидный полимер. В некоторых вариантах осуществления полужесткий стержневидный полимер представляет собой полианилин, поли(п-фениленоксид), поли(п-фениленсульфид), поли(3,4-этилендиокситиофен), полипиррол, политиофен, поли(3-алкитиофен), поли(3-метилтиофен), поли(3-гексилтиофен) или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления проводящий полимер имеет строение нанотрубки, причем нанотрубка имеет форму поперечного сечения в виде прямоугольника, квадрата, круга или многоугольника.

В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет длину от приблизительно 100 до приблизительно 10000 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 100 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет длину, составляющую не более приблизительно 10000 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет длину от приблизительно 100 до приблизительно 500 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 1000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 2000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 3000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 4000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 6000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 7000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 8000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 9000 нм, от приблизительно 100 до приблизительно 10000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 1000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 2000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 3000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 4000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 6000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 7000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 8000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 9000 нм, от приблизительно 500 до приблизительно 10000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 2000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 3000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 4000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 6000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 7000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 8000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 9000 нм, от приблизительно 1000 до приблизительно 10000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 3000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 4000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 6000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 7000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 8000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 9000 нм, от приблизительно 2000 до приблизительно 10000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 4000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 6000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 7000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 8000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 9000 нм, от приблизительно 3000 до приблизительно 10000 нм, от приблизительно 4000 до приблизительно 5000 нм, от приблизительно 4000 до приблизительно 6000 нм, от

[illegible]

В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет внутреннюю ширину от приблизительно 50 нм до приблизительно 800 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет внутреннюю ширину, составляющую по меньшей мере приблизительно 50 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет внутреннюю ширину, составляющую не более приблизительно 800 нм. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка имеет внутреннюю ширину от приблизительно 50 нм до приблизительно 100 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 300 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 400 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 500 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 600 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 700 нм, от приблизительно 50 нм до приблизительно 800 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 300 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 400 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 500 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 600 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 700 нм, от приблизительно 100 нм до приблизительно 800 нм, от приблизительно 300 нм до приблизительно 400 нм, от приблизительно 300 нм до приблизительно 500 нм, от приблизительно 300 нм до приблизительно 600 нм, от

но 750 мФ/см². В некоторых вариантах осуществления электрод характеризуется поверхностной емкостью, составляющей от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 250 мФ/см², от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 350 мФ/см², от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 450 мФ/см², от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 550 мФ/см², от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 650 мФ/см², от приблизительно 150 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см², от приблизительно 250 мФ/см² до приблизительно 350 мФ/см², от приблизительно 250 мФ/см² до приблизительно 450 мФ/см², от приблизительно 250 мФ/см² до приблизительно 550 мФ/см², от приблизительно 250 мФ/см² до приблизительно 650 мФ/см², от приблизительно 250 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см², от приблизительно 350 мФ/см² до приблизительно 450 мФ/см², от приблизительно 350 мФ/см² до приблизительно 550 мФ/см², от приблизительно 350 мФ/см² до приблизительно 650 мФ/см², от приблизительно 350 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см², от приблизительно 450 мФ/см² до приблизительно 550 мФ/см², от приблизительно 450 мФ/см² до приблизительно 650 мФ/см², от приблизительно 450 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см², от приблизительно 550 мФ/см² до приблизительно 650 мФ/см², от приблизительно 550 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см² или приблизительно 650 мФ/см² до приблизительно 750 мФ/см².

В некоторых вариантах осуществления сопротивление электрода снижается после 1000 циклов сгибания на от приблизительно 1% до приблизительно 8%. В некоторых вариантах осуществления сопротивление электрода снижается после 1000 циклов сгибания не более чем на приблизительно 8%. В некоторых вариантах осуществления сопротивление электрода снижается после 1000 циклов сгибания на от приблизительно 1% до приблизительно 2%, от приблизительно 1% до приблизительно 3%, от приблизительно 1% до приблизительно 4%, от приблизительно 1% до приблизительно 5%, от приблизительно 1% до приблизительно 6%, от приблизительно 1% до приблизительно 7%, от приблизительно 1% до приблизительно 8%, от приблизительно 2% до приблизительно 3%, от приблизительно 2% до приблизительно 4%, от приблизительно 2% до приблизительно 5%, от приблизительно 2% до приблизительно 6%, от приблизительно 2% до приблизительно 7%, от приблизительно 2% до приблизительно 8%, от приблизительно 3% до приблизительно 4%, от приблизительно 3% до приблизительно 5%, от приблизительно 3% до приблизительно 6%, от приблизительно 3% до приблизительно 7%, от приблизительно 3% до приблизительно 8%, от приблизительно 4% до приблизительно 5%, от приблизительно 4% до приблизительно 6%, от приблизительно 4% до приблизительно 7%, от приблизительно 4% до приблизительно 8%, от приблизительно 5% до приблизительно 6%, от приблизительно 5% до приблизительно 7%, от приблизительно 5% до приблизительно 8%, от приблизительно 6% до приблизительно 7%, от приблизительно 6% до приблизительно 8% или приблизительно 7% до приблизительно 8%.

Второй аспект, раскрытый в данном документе, представляет собой суперконденсатор, содержащий два или более электродов, причем каждый электрод содержит функционализированный углеродный электрод, токосъемник и электролит.

В некоторых вариантах осуществления функционализированный углеродный электрод содержит: углеродную подложку, представляющую собой углеродную ткань, углеродное волокно, аморфный углерод, стекловидный углерод, углеродную нанопену, углеродный аэрогель, графеновую пену или любую их комбинацию; и проводящий полимер, размещенный на углеродной подложке, причем проводящий полимер представляет собой полианилин, поли(п-фениленоксид), поли(п-фениленсульфид), поли(3,4-этилендиокситиофен), полипиррол, политиофен, поли(3-алкитиофен), поли(3-метилтиофен), поли(3-гексилтиофен) или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления функционализированный углеродный электрод представляет собой функционализированный полианилином углеродный электрод.

В некоторых вариантах осуществления токосъемник является металлическим. В некоторых вариантах осуществления токосъемник является ферритовым. В некоторых вариантах осуществления токосъемник содержит нержавеющую сталь, тигельную сталь, углеродистую сталь, рессорно-пружинную сталь, легированную сталь, мартенситностареющую сталь, атмосферостойкую сталь, инструментальную сталь или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления электролит расположен между первым функционализированным углеродным электродом и вторым функционализированным углеродным электродом. В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой окислительно-восстановительный электролит. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит растворитель. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту и растворитель. В некоторых вариантах осуществления кислота представляет собой сильную кислоту. В некоторых вариантах осуществления сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления растворитель представляет собой тетрагидрофуран, этилацетат, диметилформамид, ацетонитрил, ацетон, диметилсульфоксид, нитрометан, пропиленкарбонат, этанол, муравьиную кислоту, н-бутанол, метанол, уксусную кислоту, воду или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты составляет от приблизительно 0,5

только 80 Вт·ч/кг, от приблизительно 60 Вт·ч/кг до приблизительно 100 Вт·ч/кг, от приблизительно 60 до приблизительно 120 Вт·ч/кг, от приблизительно 80 Вт·ч/кг до приблизительно 100 Вт·ч/кг, от приблизительно 80 Вт·ч/кг до приблизительно 120 Вт·ч/кг или от приблизительно 100 Вт·ч/кг до приблизительно 120 Вт·ч/кг.

В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой гель и дополнительно содержит хинон, представляющий собой 1,2-бензохинон, 1,4-бензохинон, 1,4-нафтохинон, 9,10-антрахинон или любую их комбинацию.

В таких вариантах осуществления концентрации хинона составляет от приблизительно 5 ммоль/л (мМ) до приблизительно 20 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрации хинона составляет по меньшей мере приблизительно 5 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрации хинона составляет не более приблизительно 20 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрации хинона составляет от приблизительно 5 ммоль/л до приблизительно 7 ммоль/л, от приблизительно 5 ммоль/л до приблизительно 9 ммоль/л, от приблизительно 5 ммоль/л до приблизительно 11 ммоль/л, от приблизительно 5 ммоль/л до приблизительно 13 ммоль/л, от приблизительно 5 до приблизительно 15 ммоль/л, от приблизительно 5 ммоль/л до приблизительно 20 ммоль/л, от приблизительно 7 ммоль/л до приблизительно 9 ммоль/л, от приблизительно 7 ммоль/л до приблизительно 11 ммоль/л, от приблизительно 7 до приблизительно 13 ммоль/л, от приблизительно 7 ммоль/л до приблизительно 15 ммоль/л, от приблизительно 7 ммоль/л до приблизительно 20 ммоль/л, от приблизительно 9 до приблизительно 11 ммоль/л, от приблизительно 9 ммоль/л до приблизительно 13 ммоль/л, от приблизительно 9 ммоль/л до приблизительно 15 ммоль/л, от приблизительно 9 ммоль/л до приблизительно 20 ммоль/л, от приблизительно 11 до приблизительно 13 ммоль/л, от приблизительно 11 ммоль/л до приблизительно 15 ммоль/л, от приблизительно 11 ммоль/л до приблизительно 20 ммоль/л, от приблизительно 13 ммоль/л до приблизительно 15 ммоль/л, от приблизительно 13 ммоль/л до приблизительно 20 ммоль/л или от приблизительно 15 до приблизительно 20 ммоль/л.

[illegible]

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной емкостью при плотности тока приблизительно 2 А/г, составляющей от приблизительно 350 Ф/г до приблизительно 1400 Ф/г. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной емкостью при плотности тока приблизительно 2 А/г, составляющей по меньшей мере приблизительно 350 Ф/г. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной емкостью при плотности тока приблизительно 2 А/г, составляющей не более приблизительно 1400 Ф/г. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной емкостью при плотности тока приблизительно 2 А/г, составляющей от приблизительно 350 Ф/г до приблизительно 450 Ф/г, от приблизительно 350 Ф/г до приблизительно 550 Ф/г, от приблизительно 350 Ф/г до приблизительно 650 Ф/г, от приблизительно 350 Ф/г до

[illegible][illegible]

В некоторых вариантах осуществления суперконденсатор дополнительно содержит третий функционализированный углеродный электрод. В некоторых вариантах осуществления третий функционализированный углеродный электрод представляет собой функционализированный полианилином углеродный электрод.

В некоторых вариантах осуществления электролит расположен между электродами. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит растворитель. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту и растворитель. В некоторых вариантах осуществления кислота представляет собой сильную кислоту. В некоторых вариантах осуществления сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления растворитель представляет собой тетрагидрофуран, этилацетат, диметилформамид, ацетонитрил, ацетон, диметилсульфоксид, нитрометан, пропиленкарбонат, этанол, муравьиную кислоту, *n*-бутанол, метанол, уксусную кислоту, воду или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты в значительной степени влияет на структуру и свойства полиани-

приблизительно 7000 Ф/г до приблизительно 15000 Ф/г, от приблизительно 7000 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 7000 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 9000 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 10000 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 12500 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 15000 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 8000 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 9000 Ф/г до приблизительно 10000 Ф/г, от приблизительно 9000 Ф/г до приблизительно 12500 Ф/г, от приблизительно 9000 Ф/г до приблизительно 15000 Ф/г, от приблизительно 9000 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 9000 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 10000 Ф/г до приблизительно 12500 Ф/г, от приблизительно 10000 Ф/г до приблизительно 15000 Ф/г, от приблизительно 10000 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 10000 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 12500 Ф/г до приблизительно 15000 Ф/г, от приблизительно 12500 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 12500 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 15000 Ф/г до приблизительно 17500 Ф/г, от приблизительно 15000 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г, от приблизительно 17500 Ф/г до приблизительно 20000 Ф/г.

Третий аспект, раскрытый в данном документе, представляет собой суперконденсатор, содержащий два или более электродов, где первый электрод представляет собой функционализированный углеродный электрод, а второй электрод представляет собой электрод на основе активированного угля; токосъемник и электролит. В некоторых вариантах осуществления токосъемник является металлическим. В некоторых вариантах осуществления функционализированный углеродный электрод представляет собой функционализированный полианилином углеродный электрод. В некоторых вариантах осуществления токосъемник является ферритовым. В некоторых вариантах осуществления токосъемник содержит нержавеющую сталь, тигельную сталь, углеродистую сталь, рессорно-пружинную сталь, легированную сталь, мартенситностареющую сталь, атмосферостойкую сталь, инструментальную сталь или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления электролит расположен между первым функционализированным углеродным электродом и вторым функционализированным углеродным электродом. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит растворитель. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту и растворитель. В некоторых вариантах осуществления кислота представляет собой сильную кислоту. В некоторых вариантах осуществления сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления растворитель представляет собой тетрагидрофуран, этилацетат, диметилформамид, ацетонитрил, ацетон, диметилсульфоксид, нитрометан, пропиленкарбонат, этанол, муравьиную кислоту, n-бутанол, метанол, уксусную кислоту, воду или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой водный электролит.

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,6 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей по меньшей мере приблизительно 0,6 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей не более приблизительно 2,6 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей от приблизительно 0,6 В до приблизительно 0,8 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,6 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,2 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 2,6 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 1,2 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 1 В до приблизительно 2,6 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 1,2 В до приблизительно 2,6 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 1,4 В до приблизительно 2,6 В, от приблизительно 1,6 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 1,6 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 1,6 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 1,6 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 1,6 В до приблизительно 2,6 В.

[illegible][illegible]

В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой гелеобразный электролит.

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,4 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей по меньшей мере приблизительно 0,6 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов, составляющей не более приблизительно 2,4 В. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов от приблизительно 0,6 В до приблизительно 0,8 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,6 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 1,8 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,2 В, от приблизительно 0,6 В до приблизительно 2,4 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,2 В, от приблизительно 0,8 В до приблизительно 1,4 В, от приблизительно 0,8 до приблизительно 1,6 В,

[illegible][illegible]

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, составляющей от приблизительно 30 Вт·ч/кг до приблизительно 130 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, составляющей по меньшей мере приблизительно 30 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, составляющей не более приблизительно 130 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, составляющей от приблизительно 30 Вт·ч/кг до приблизительно 40 Вт·ч/кг, от приблизительно 30 Вт·ч/кг до приблизительно 50 Вт·ч/кг, от приблизительно 30 Вт·ч/кг до приблизительно 60 Вт·ч/кг, от приблизительно

В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет по меньшей мере приблизительно 0,25 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет не более приблизительно 1 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 0,375 ммоль/л, от приблизительно 0,25 до приблизительно 0,5 ммоль/л, от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 0,625 ммоль/л, от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 0,75 ммоль/л, от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л, от приблизительно 0,375 ммоль/л до приблизительно 0,5 ммоль/л, от приблизительно 0,375 ммоль/л до приблизительно 0,625 ммоль/л, от приблизительно 0,375 ммоль/л до приблизительно 0,75 ммоль/л, от приблизительно 0,375 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л, от приблизительно 0,5 до приблизительно 0,625 ммоль/л, от приблизительно 0,5 ммоль/л до приблизительно 0,75 ммоль/л, от приблизительно 0,5 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л, от приблизительно 0,625 ммоль/л до приблизительно 0,75 ммоль/л, от приблизительно 0,625 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л или от приблизительно 0,75 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л.

- 17 -

[illegible][illegible]

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе электродов, составляющей от приблизительно 700 Вт·ч/кг до приблизительно 3000 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе электродов, составляющей по меньшей мере приблизительно 700 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе электродов, составляющей не более приблизительно 300 Вт·ч/кг. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе электродов, составляющей от приблизительно 700 Вт·ч/кг до приблизительно 1000 Вт·ч/кг, от приблизительно 700 Вт·ч/кг до приблизительно 1250 Вт·ч/кг, от приблизительно 700 до приблизительно 1500 Вт·ч/кг, от приблизительно 700 Вт·ч/кг до приблизительно 1750 Вт·ч/кг, от прибли-

[illegible][illegible]

1125 Вт·ч/л до приблизительно 1375 Вт·ч/л, от приблизительно 1125 до приблизительно 1500 Вт·ч/л, от приблизительно 1125 Вт·ч/л до приблизительно 1750 Вт·ч/л, от приблизительно 1125 Вт·ч/л до приблизительно 2000 Вт·ч/л, от приблизительно 1250 Вт·ч/л до приблизительно 1375 Вт·ч/л, от приблизительно 1250 Вт·ч/л до приблизительно 1500 Вт·ч/л, от приблизительно 1250 до приблизительно 1750 Вт·ч/л, от приблизительно 1250 Вт·ч/л до приблизительно 2000 Вт·ч/л, от приблизительно 1375 Вт·ч/л до приблизительно 1500 Вт·ч/л, от приблизительно 1375 Вт·ч/л до приблизительно 1750 Вт·ч/л, от приблизительно 1375 Вт·ч/л до приблизительно 2000 Вт·ч/л, от приблизительно 1500 до приблизительно 1750 Вт·ч/л, от приблизительно 1500 Вт·ч/л до приблизительно 2000 Вт·ч/л или от приблизительно 1750 Вт·ч/л до приблизительно 2000 Вт·ч/л.

[illegible]

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по объему электродов и окислительно-восстановительного электролита, составляющей от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 1800 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по объему электродов и окислительно-восстановительного электролита, составляющей по меньшей мере приблизительно 100 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью

энергии, нормализованной по объему электродов и окислительно-восстановительного электролита, составляющей не более приблизительно 1800 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по объему электродов и окислительно-восстановительного электролита, составляющей от приблизительно 400 до приблизительно 600 Вт·ч/л, от приблизительно 400 Вт·ч/л до приблизительно 800 Вт·ч/л, от приблизительно 400 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 400 Вт·ч/л до приблизительно 1200 Вт·ч/л, от приблизительно 400 до приблизительно 1400 Вт·ч/л, от приблизительно 400 Вт·ч/л до приблизительно 1600 Вт·ч/л, от приблизительно 400 Вт·ч/л до приблизительно 1800 Вт·ч/л, от приблизительно 600 Вт·ч/л до приблизительно 800 Вт·ч/л, от приблизительно 600 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 600 Вт·ч/л до приблизительно 1200 Вт·ч/л, от приблизительно 600 Вт·ч/л до приблизительно 1400 Вт·ч/л, от приблизительно 600 Вт·ч/л до приблизительно 1600 Вт·ч/л, от приблизительно 600 до приблизительно 1800 Вт·ч/л, от приблизительно 800 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 800 Вт·ч/л до приблизительно 1200 Вт·ч/л, от приблизительно 800 Вт·ч/л до приблизительно 1400 Вт·ч/л, от приблизительно 800 до приблизительно 1600 Вт·ч/л, от приблизительно 800 Вт·ч/л до приблизительно 1800 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 1200 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 1400 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 1600 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 1800 Вт·ч/л, от приблизительно 1200 Вт·ч/л до приблизительно 1400 Вт·ч/л, от приблизительно 1200 Вт·ч/л до приблизительно 1600 Вт·ч/л, от приблизительно 1200 Вт·ч/л до приблизительно 1800 Вт·ч/л, от приблизительно 1400 Вт·ч/л до приблизительно 1600 Вт·ч/л или от приблизительно 1600 до приблизительно 1800 Вт·ч/л.

[illegible]

В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе и объему электродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани, составляющей от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе и объему электродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани, составляющей по меньшей мере приблизительно 40 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе и объему электродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани, составляющей от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л.

тродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани, составляющей не более приблизительно 180 Вт·ч/л. В таких вариантах осуществления суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, нормализованной по массе и объему электродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани, составляющей от приблизительно 40 до приблизительно 50 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 60 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 70 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 80 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 90 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 40 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 60 Вт·ч/л, от приблизительно 50 до приблизительно 70 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 80 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 90 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 50 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 70 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 80 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 90 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 60 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 80 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 90 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 70 до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 70 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 80 Вт·ч/л до приблизительно 90 Вт·ч/л, от приблизительно 80 до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 80 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 80 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 80 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 80 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 90 Вт·ч/л до приблизительно 100 Вт·ч/л, от приблизительно 90 до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 90 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 90 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 120 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 100 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 120 до приблизительно 140 Вт·ч/л, от приблизительно 120 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 120 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л, от приблизительно 140 Вт·ч/л до приблизительно 160 Вт·ч/л, от приблизительно 140 до приблизительно 180 Вт·ч/л или от приблизительно 160 Вт·ч/л до приблизительно 180 Вт·ч/л.

Четвертый аспект, раскрытый в данном документе, представляет собой суперконденсатор, содержащий три электрода, причем каждый электрод содержит электрод на основе активированного угля, токосъемник и электролит. В некоторых вариантах осуществления токосъемник является металлическим. В некоторых вариантах осуществления токосъемник является ферритовым. В некоторых вариантах осуществления токосъемник содержит нержавеющую сталь, тигельную сталь, углеродистую сталь, рессорно-пружинную сталь, легированную сталь, мартенситностареющую сталь, атмосферостойкую сталь, инструментальную сталь или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления электролит расположен между электродами. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит растворитель. В некоторых вариантах осуществления электролит содержит кислоту и растворитель. В некоторых вариантах осуществления кислота представляет собой сильную кислоту. В некоторых вариантах осуществления сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления растворитель представляет собой тетрагидрофуран, этилацетат, диметилформамид, ацетонитрил, ацетон, диметилсульфоксид, нитрометан, пропиленкарбонат, этанол, муравьиную кислоту, н-бутанол, метанол, уксусную кислоту, воду или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой гелеобразный электролит, причем гелеобразный электролит содержит хинон. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 1 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет по меньшей мере приблизительно 0,25 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет не более приблизительно 1 ммоль/л. В таких вариантах осуществления концентрация хинона составляет от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 0,375 ммоль/л, от приблизительно 0,25 ммоль/л до приблизительно 0,5 ммоль/л, от прибли-

[illegible]

В некоторых вариантах осуществлении функционализированный углеродный электрод представляет собой функционализированный полианилиновый углеродный электрод. В некоторых вариантах осуществления нанотрубка представляет собой полианилиновую нанотрубку.

- 23 -

В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации содержит первую сильную кислоту и вторую сильную кислоту, где первая сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту, азотную кислоту, хлорноватую кислоту или любую их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления вторая сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту, азотную кислоту, хлорноватую кислоту или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации нагревают до температуры, составляющей от приблизительно 30°C до приблизительно 120°C. В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации нагревают до температуры, составляющей по меньшей мере приблизительно 30 °C. В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации нагревают до температуры, составляющей не более приблизительно 120°C. В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации нагревают до температуры, составляющей от приблизительно 30°C до приблизительно 40°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 50°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 60°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 70°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 80°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 110°C, от приблизительно 30°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 50°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 60°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 70°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 80°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 110°C, от приблизительно 40°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 60°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 70°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 80°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 50°C до

приблизительно 110°C, от приблизительно 50°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 70°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 80°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 110°C, от приблизительно 60°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 70°C до приблизительно 80°C, от приблизительно 70°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 70°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 70°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 80°C до приблизительно 90°C, от приблизительно 80°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 80°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 90°C до приблизительно 100°C, от приблизительно 90°C до приблизительно 120°C, от приблизительно 100°C до приблизительно 120°C или от приблизительно 110°C до приблизительно 120°C.

[illegible]

В некоторых вариантах осуществления раствор для функционализации охлаждают до комнатной температуры. В некоторых вариантах осуществления вода является деионизированной.

В некоторых вариантах осуществления воду нагревают до температуры, составляющей от приблизительно 5°C до приблизительно 40°C. В некоторых вариантах осуществления воду нагревают до температуры, составляющей по меньшей мере приблизительно 5°C. В некоторых вариантах осуществления воду нагревают до температуры, составляющей не более приблизительно 40°C. В некоторых вариантах осуществления воду нагревают до температуры, составляющей от приблизительно 5°C до приблизительно 10°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 15°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 20°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 25°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 30°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 35°C, от приблизительно 5°C до приблизительно 40°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 15°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 20°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 25°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 30°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 35°C, от приблизительно 10°C до приблизительно 40°C, от приблизительно 15°C до приблизительно 20°C, от приблизительно 15°C до приблизительно 25°C, от приблизительно 15°C до приблизительно 30°C, от приблизительно 15°C до приблизительно 35°C, от приблизительно 15°C до приблизительно 40°C, от приблизительно 20°C до приблизительно 25°C, от приблизительно 20°C до приблизительно 30°C, от приблизительно 20°C до приблизительно 35°C, от

приблизительно 40 мин, от приблизительно 35 мин до приблизительно 45 мин, от приблизительно 35 до
приблизительно 50 мин, от приблизительно 35 мин до приблизительно 55 мин, от приблизительно 35 до
приблизительно 60 мин, от приблизительно 40 мин до приблизительно 45 мин, от приблизительно 40 до
приблизительно 50 мин, от приблизительно 40 мин до приблизительно 55 мин, от приблизительно 40 до
приблизительно 60 мин, от приблизительно 45 мин до приблизительно 50 мин, от приблизительно 45 до
приблизительно 55 мин, от приблизительно 45 мин до приблизительно 60 мин, от приблизительно 50 до
приблизительно 55 мин, от приблизительно 50 мин до приблизительно 60 мин или от приблизительно 55
до приблизительно 60 мин.

[illegible][illegible]

приблизительно 11 ч, от приблизительно 9 ч до приблизительно 12 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 11 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 12 ч или от приблизительно 11 ч до приблизительно 12 ч.

В некоторых вариантах осуществления стадия составления полимеризационной жидкости включает образование полимеризационного раствора, содержащего проводящий полимер, кислоту, очищающее средство, воду и окислитель, и перемешивание полимеризационного раствора. В некоторых вариантах осуществления проводящий полимер представляет собой полианилин, поли(п-фениленоксид), поли(п-фениленсульфид), поли(3,4-этилендиокситиофен), полипиррол, политиофен, поли(3-алкитиофен), поли(3-метилтиофен), поли(3-гексилтиофен) или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления проводящий полимер подвергают перегонке. В некоторых вариантах осуществления проводящий полимер подвергают перегонке с паром. В некоторых вариантах осуществления пар содержит воду, нефть, масло, липиды, нефтепродукты или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления масса проводящего полимера составляет от приблизительно 20 мг до приблизительно 90 мг. В некоторых вариантах осуществления масса проводящего полимера составляет по меньшей мере приблизительно 20 мг. В некоторых вариантах осуществления масса проводящего полимера составляет не более приблизительно 90 мг. В некоторых вариантах осуществления масса проводящего полимера составляет от приблизительно 20 мг до приблизительно 30 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 40 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 50 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 60 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 70 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 20 мг до приблизительно 90 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 40 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 50 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 60 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 70 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 30 мг до приблизительно 90 мг, от приблизительно 40 мг до приблизительно 50 мг, от приблизительно 40 мг до приблизительно 60 мг, от приблизительно 40 мг до приблизительно 70 мг, от приблизительно 40 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 40 мг до приблизительно 90 мг, от приблизительно 50 мг до приблизительно 60 мг, от приблизительно 50 мг до приблизительно 70 мг, от приблизительно 50 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 50 мг до приблизительно 90 мг, от приблизительно 60 мг до приблизительно 70 мг, от приблизительно 60 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 60 мг до приблизительно 90 мг, от приблизительно 70 мг до приблизительно 80 мг, от приблизительно 70 мг до приблизительно 90 мг или от приблизительно 80 мг до приблизительно 90 мг.

В некоторых вариантах осуществления кислота является водной. В некоторых вариантах осуществления кислота представляет собой сильную кислоту. В некоторых вариантах осуществления сильная кислота представляет собой перхлорную кислоту, йодистоводородную кислоту, бромистоводородную кислоту, хлористоводородную кислоту, серную кислоту, п-толуолсульфоновую кислоту, метансульфоновую кислоту, азотную кислоту, хлорноватую кислоту или любую их комбинацию.

В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты составляет от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,5 М. В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты составляет по меньшей мере приблизительно 0,1 М. В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты составляет не более приблизительно 0,5 М. В некоторых вариантах осуществления концентрация кислоты составляет от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,2 М, от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,3 М, от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,4 М, от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,5 М, от приблизительно 0,2 М до приблизительно 0,3 М, от приблизительно 0,2 М до приблизительно 0,4 М, от приблизительно 0,2 М до приблизительно 0,5 М, от приблизительно 0,3 М до приблизительно 0,4 М, от приблизительно 0,3 М до приблизительно 0,5 М или от приблизительно 0,4 М до приблизительно 0,5 М.

В некоторых вариантах осуществления объем кислоты составляет от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,6 мл. В некоторых вариантах осуществления объем кислоты составляет по меньшей мере приблизительно 0,1 мл. В некоторых вариантах осуществления объем кислоты составляет не более приблизительно 0,6 мл. В некоторых вариантах осуществления объем кислоты составляет от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,2 мл, от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,3 мл, от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,4 мл, от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,5 мл, от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,6 мл, от приблизительно 0,2 мл до приблизительно 0,3 мл, от приблизительно 0,2 мл до приблизительно 0,4 мл, от приблизительно 0,2 мл до приблизительно 0,5 мл, от приблизительно 0,2 мл до приблизительно 0,6 мл, от приблизительно 0,3 мл до приблизительно 0,4 мл, от приблизительно 0,3 мл до приблизительно 0,5 мл, от приблизительно 0,3 мл до приблизительно 0,6 мл, от приблизительно 0,4 мл до приблизительно 0,5 мл, от приблизительно 0,4 мл до приблизительно 0,6 мл или от приблизительно 0,5 мл до приблизительно 0,6 мл.

В некоторых вариантах осуществления очищающее средство представляет собой натрия диоктилсульфосукцинат, перфтороктансульфонат, перфторбутансульфонат, фосфаты алкил-арилловых эфиров, фосфаты алкиловых эфиров, бромид четвертичной соли аммония, цетилпиридиния хлорид, бензалкония хлорид, бензетония хлорид, диметилдиоктадециламмония хлорид, диоктадецилдиметиламмония бромид,

В некоторых вариантах осуществления полимеризационную жидкость перемешивают интенсивно. В некоторых вариантах осуществления полимеризационную жидкость перемешивают неинтенсивно. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку и полимеризационную жидкость выдерживают без встряхивания. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку и полимеризационную жидкость выдерживают со встряхиванием.

[illegible][illegible]

В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку выдержи-

вают в полимеризационной жидкости в течение периода времени, составляющего от приблизительно 8 ч до приблизительно 70 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку выдерживают в полимеризационной жидкости в течение периода времени, составляющего по меньшей мере приблизительно 8 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку выдерживают в полимеризационной жидкости в течение периода времени, составляющего не более приблизительно 70 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку выдерживают в полимеризационной жидкости в течение периода времени, составляющего от приблизительно 8 ч до приблизительно 10 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 20 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 30 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 40 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 8 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 20 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 30 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 40 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 10 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 20 ч до приблизительно 30 ч, от приблизительно 20 ч до приблизительно 40 ч, от приблизительно 20 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 20 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 20 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 40 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 70 ч или от приблизительно 60 ч до приблизительно 70 ч.

В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку высушивают при температуре, составляющей от приблизительно 30 ч до приблизительно 120 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку высушивают при температуре, составляющей по меньшей мере приблизительно 30 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку высушивают при температуре, составляющей не более приблизительно 120 ч. В некоторых вариантах осуществления функционализированную углеродную подложку высушивают при температуре, составляющей от приблизительно 30 ч до приблизительно 40 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 50 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 80 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 30 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 40 до приблизительно 50 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 80 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 40 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 60 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 80 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 50 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 70 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 80 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 60 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 70 ч до приблизительно 80 ч, от приблизительно 70 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 70 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 70 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 70 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 80 ч до приблизительно 90 ч, от приблизительно 80 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 80 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 80 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 90 ч до приблизительно 100 ч, от приблизительно 90 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 90 ч до приблизительно 120 ч, от приблизительно 100 ч до приблизительно 110 ч, от приблизительно 100 ч до приблизительно 120 ч или от приблизительно 110 ч до приблизительно 120 ч.

Другие цели и преимущества описанных в данном документе способов и устройств будут дополнительно восприняты и будут понятны при рассмотрении в сочетании со следующим описанием и сопутствующими графическими материалами. Несмотря на то, что следующее описание может содержать конкретные подробные описания, предусматривающие конкретные варианты осуществления описанных в данном документе способов и устройств, таковые не должны рассматриваться как какие-либо ограничения объема способов и устройств, описанных в данном документе, а скорее в качестве иллюстрации предпочтительных вариантов осуществления. Для каждого аспекта способов и устройств, описанных в данном документе, возможно множество вариантов, предложенных в данном документе, которые известны специалистам в данной области техники. Может быть выполнено разнообразие изменений и модификаций в пределах объема способов и устройств, представленных в данном документе, без отступления от их сущности.

Краткое описание графических материалов

Новые признаки способов и устройств, представленных в данном документе, подробно изложены в прилагаемой формуле изобретения. Лучшее понимание признаков и преимуществ способов и устройств в соответствии с настоящим изобретением, представленных в данном документе, будет достигнуто посредством ссылки на следующее подробное описание, в котором изложены иллюстративные варианты осуществления, в которых используются принципы способов и устройств, представленных в данном документе, и сопутствующие графические материалы или фигуры (также "фиг." и "фиг." в данном документе), на которых представлено следующее.

Фиг. 1А представляет собой иллюстративное изображение путей переноса электронов и ионов в строении нановолокна на основе полианилина в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 1В представляет собой иллюстративное изображение путей переноса электронов и ионов в строении наносферы на основе полианилина (PANI) в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 1С представляет собой иллюстративное изображение путей переноса электронов и ионов в строении нанотрубки на основе полианилина в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 2 представляет собой иллюстративное изображение иллюстративного асимметричного устройства в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 3 представляет собой иллюстративное изображение иллюстративного способа функционализации углеродной ткани в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 4 представляет собой иллюстративное изображение примера связей, которые изменяются посредством соединения между PANI и функционализированной углеродной тканью (FCC), в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 5А представляет собой иллюстративные, полученные с помощью растровой электронной микроскопии с полевой эмиссией (FESEM) изображения PANI, синтезированного на углеродной ткани (CC) в присутствии додецилсульфата натрия (SDS), в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 5В представляет собой иллюстративные FESEM-изображения PANI, синтезированного на CC в присутствии SDS, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6А представляет собой иллюстративное FESEM-изображение структуры поверхности CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6В представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 16 ч PANI-CC при большом увеличении в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6С представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 16 ч PANI-CC при небольшом увеличении в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6D представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 20 ч PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6Е представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 24 ч PANI-CC при небольшом увеличении в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6F представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 24 ч PANI-CC при большом увеличении в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6G представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 28 ч PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 6H представляет собой иллюстративное FESEM-изображение полимеризованного через 32 ч PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 7 представляет собой иллюстративные, полученные с применением циклической вольтамперометрии (CV) графики иллюстративных устройств на основе CC и PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 8 представляет собой иллюстративные кривые гальваностатического заряда-разряда иллюстративного симметричного устройства на основе PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 9 представляет собой иллюстративные CV-кривые иллюстративных симметричных устройств на основе PANI-CC в различные моменты времени полимеризации в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 10 представляет собой иллюстративные кривые гальваностатического заряда-разряда иллюстративных симметричных устройств на основе PANI-CC в различные моменты времени полимеризации в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 11 представляет собой иллюстративные рентгенограммы порошковой рентгеновской дифракции (XRD) иллюстративной углеродной ткани и функционализированной углеродной ткани в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 12 представляет собой иллюстративные, полученные с помощью инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием (FTIR) измерения спектров иллюстративных электродов на основе PANI-FCC и PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13А представляет собой иллюстративные CV-кривые иллюстративного симметричного супер-

конденсатора на основе PANI-FCC при скорости сканирования 100 мВ/с, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13B представляет собой иллюстративные кривые заряда-разряда (CD) иллюстративного симметричного суперконденсатора на основе PANI-FCC при плотности тока 1 А/г, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13C представляет собой иллюстративную диаграмму Найквиста CC, FCC, PANI-CC и PANI-FCC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13D представляет собой иллюстративную диаграмму Боде CC, FCC, PANI-CC и PANI-FCC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13E представляет собой иллюстративные CV-кривые иллюстративного симметричного суперконденсатора на основе PANI-FCC при значениях скорости сканирования от 20 до 1000 мВ/с, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13F представляет собой иллюстративные профили CD иллюстративного симметричного суперконденсатора на основе PANI-FCC при различных значениях плотности тока в диапазоне от 1 до 50 А/г в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13G представляет собой иллюстративные расчетные значения емкости в зависимости от плотности тока иллюстративных устройств на основе PANI-FCC и PANI-CC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 13H представляет собой иллюстративную способность выдерживать периодически повторяющиеся воздействия иллюстративного устройства на основе PANI-FCC при значениях плотности тока от 1 до 20 А/г-1 в ходе 5000 циклов в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 14 представляет собой иллюстративные кривые CD иллюстративного устройства на основе PANI-FCC при различных значениях силы тока в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 15A представляет собой иллюстративные кривые CD иллюстративной углеродной ткани.

Фиг. 15B представляет собой иллюстративные диаграммы Найквиста для электродов на основе PANI-FCC в различные моменты обжига.

Фиг. 16A представляет собой иллюстративную взаимосвязь между сопротивлением и углом изгиба иллюстративного устройства на основе PANI-FCC.

Фиг. 16B представляет собой иллюстративную взаимосвязь между сопротивлением и числом циклов сгибания иллюстративного устройства на основе PANI-FCC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 16C представляет собой иллюстративные кривые CV иллюстративного изогнутого, плоского и восстановленного устройства на основе PANI-FCC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 17A представляет собой иллюстративные кривые CV иллюстративных трехэлектродных устройств на основе PANI-FCC и AC-FCC при 20 мВ/с в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 17B представляет собой иллюстративную кривую CV иллюстративного асимметричного устройства на основе PANI-FCC при 50 мВ/с в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 17C представляет собой иллюстративные кривые CD иллюстративного асимметричного SC при различных значениях плотности тока в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 17D представляет собой иллюстративные графики Рагони иллюстративных симметричного и асимметричного устройств при различных значениях плотности тока в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18A представляет собой иллюстративные кривые CV иллюстративного асимметричного устройства на основе PANI-FCC при различных значениях окна потенциала в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18B представляет собой иллюстративные кривые CV иллюстративного асимметричного устройства на основе PANI-FCC при 50 мВ/с и в гелеобразных электролитах на основе H_2SO_4 и NQ в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18C представляет собой иллюстративную диаграмму Найквиста иллюстративного устройства на основе PANI//AC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18D представляет собой иллюстративные кривые разряда иллюстративного асимметричного устройства на основе PANI-FCC при различных значениях плотности тока от 2 до 50 А/г в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18E представляет собой расчетную емкость в зависимости от плотности тока для иллюстративного устройства на основе PANI//AC в диапазоне от 5 до 50 А/г в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 18F представляет собой иллюстративный график Рагони для иллюстративных симметричного и асимметричного устройств в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 19A представляет собой иллюстративные кривые CV для иллюстративных электродов на основе PANI-FCC и AC-FCC в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 19В представляет собой иллюстративные кривые CD и AC-FCC для иллюстративных электродов на основе PANI-FCC в присутствии NQ при плотности тока 10 А/г в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 19С представляет собой иллюстративные кривые CD для иллюстративных устройств на основе AC-FCC/PANI-FCC в присутствии NQ при различных значениях плотности тока в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 20А представляет собой иллюстративные кривые CV для иллюстративного асимметричного устройства на основе AC-FCC/PANI-FCC в гелеобразном электролите на основе NQ в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 20В представляет собой иллюстративные кривые заряда и разряда для иллюстративного асимметричного устройства на основе AC-FCC/PANI-FCC с NQ и без него в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 20С представляет собой иллюстративную взаимосвязь между плотностью тока и удельной емкостью иллюстративного устройства на основе AC-FCC/PANI-FCC в присутствии NQ в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 20D представляет собой иллюстративные кривые заряда и разряда для иллюстративного асимметричного устройства на основе AC-FCC/PANI-FCC при плотности тока, составляющей приблизительно 47 А/г, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 21 представляет собой иллюстративную взаимосвязь между плотностью мощности и плотностью энергии иллюстративных симметричного и асимметричного устройств в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 22 представляет собой значения удельной плотности энергии на единицу массы и единицу объема компонентов иллюстративной электрохимической ячейки в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 23А иллюстративно представляет собой иллюстративный красный светодиод, питаемый двумя иллюстративными асимметричными устройствами, соединенными последовательно, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Фиг. 23В иллюстративно представляет собой иллюстративные часы, питаемые двумя иллюстративными асимметричными устройствами, соединенными последовательно, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

Подробное описание сущности изобретения

Рынок гибких электронных устройств, таких как панели солнечных элементов, гибкие дисплеи и износостойчивые электронные устройства, быстро растет и благоприятно влияет на разработку будущих электронных устройств, обуславливая их мобильность, прочность, гибкость и надежность. Недавний быстрый прогресс в производстве гибких электронных устройств на больших площадях при доле затрат на традиционные полупроводники привел к разработке различных устройств для накопления энергии и накопления мощности, в том числе широкого спектра гибких полупроводников различных размеров, форм и с различными механическими свойствами.

Таким образом, растут требования к гибким твердотельным устройствам накопления энергии, которые совместимы с печатными и гибкими электронными устройствами следующего поколения. Для этого активный слой и поверхности раздела между гибкими компонентами должны быть модернизированы для замены жестких компонентов традиционных суперконденсаторов (SC). Таким образом, повышение плотности энергии SC необходимо, и оно будет способствовать совершенствованию технологии устройств накопления энергии.

Уменьшение размера, повышение гибкости и достижение высокой плотности энергии в сочетании с собственной высокой плотностью мощности и способностью выдерживать периодически повторяющиеся воздействия суперконденсаторов представляет собой важный шаг вперед к созданию более устойчивых и эффективных систем накопления энергии.

Поэтому в настоящее время существует неудовлетворенная потребность в аккумуляторном устройстве, которое может перезаряжаться за считанные сы, которое обеспечивает питание в течение длительных периодов времени, которое может быть многократно изогнуто без потери емкости и является настолько миниатюрным как и другие соответствующие компоненты электронного устройства.

В данном документе представлены суперконденсаторные устройства и способы их изготовления. Суперконденсаторные устройства могут представлять собой электрохимические устройства. Суперконденсаторные устройства могут быть выполнены для высокой плотности энергии и мощности. Суперконденсаторные устройства могут включать в себя электрод, состоящий из трубки прямоугольного сечения на основе PANI, который химически синтезирован на подложке из функционализированной углеродной ткани (FCC), и закрепленный на токосъемнике. Суперконденсаторные устройства могут быть расположены в виде симметричных, асимметричных или 3D-конденсаторных устройств, которые содержат электрод, закрепленный на токосъемнике. Суперконденсаторные устройства в соответствии с настоящим изобретением могут содержать взаимосвязанные устройства.

Настоящее изобретение дополнительно предусматривает системы и способы для выращивания по-

лианилиновых нанотрубок на углеродной ткани. Обработка может включать изготовление (или синтез) функционализированной углеродной ткани и/или изготовление (или синтез) полианилиновых нанотрубок и наноструктур. Некоторые варианты осуществления предусматривают способы, устройства и системы для изготовления (или синтеза) функционализированной углеродной ткани, и/или для изготовления (или синтеза) полианилиновых нанотрубок и наноструктур, и/или для изготовления (или синтеза) электролитов, и/или для изготовления (или синтеза) суперконденсаторов. Различные аспекты настоящего изобретения, описанные в настоящем документе, могут быть применены по отношению к любой из конкретных областей применения, изложенных ниже, или в установке для изготовления, синтеза или обработки любого другого типа. При других изготовлении, синтезе или обработке материалов могут в равной степени достигать положительных результатов, исходя из признаков, описанных в настоящем документе. Например, способы, устройства и системы, представленные в данном документе, могут быть преимущественно применены по отношению к изготовлению (или синтезу) различных форм функционализированного углерода. Способы и устройства, представленные в данном документе, могут быть применены в виде обособленных способа, устройства или системы или как часть интегрированной системы для изготовления или обработки материалов (например, химических веществ). Следует понимать, что различные аспекты способов и устройств, представленных в данном документе, могут оцениваться по отдельности, совместно или в комбинации друг с другом.

Настоящее изобретение дополнительно предусматривает иллюстративное устройство накопления энергии, изготовленное из трубки прямоугольного сечения на основе полианилина (PANI), который является химически синтезированным. Трубка прямоугольного сечения на основе PANI в качестве активного материала синтезирована на функционализированной углеродной ткани (FCC), используемой в качестве подложки, и при этом полученный композиционный материал закреплен на сетке из нержавеющей стали, используемой в качестве токосъемника. Настоящее изобретение дополнительно предусматривает методику направленного синтеза нанотрубок на основе PANI с порами прямоугольного сечения на химически активированной СС.

Суперконденсаторы, описанные в настоящем документе, могут выполнять важную функцию в одной или нескольких областях или сферах применения, таких как, без ограничения, портативные электронные устройства (например, мобильные телефоны, компьютеры, камеры и т.д.), медицинские устройства (например, жизнеобеспечивающие и улучшающие качество жизни медицинские устройства, в том числе кардиостимуляторы, дефибрилляторы, слуховые аппараты, устройства для купирования боли, насосы для доставки лекарственных средств), электромобили (например, для усовершенствования электротранспортной промышленности необходимы аккумуляторные батареи с большим сроком службы), космическая промышленность (например, аккумуляторные батареи используются в космической промышленности для силовых космических систем, в том числе для роверов, посадочных устройств, скафандров и электронного оборудования), аккумуляторные батареи военного назначения (например, военные используют специальные аккумуляторные батареи для питания большого количества электронных устройств и оборудования; причем уменьшенные масса/объем аккумуляторных батарей, описанных в настоящем документе, являются чрезвычайно предпочтительными), электрические летательные аппараты (например, летательный аппарат, который работает на электродвигателях, а не на двигателях внутреннего сгорания, причем на электроэнергии, поступающей от солнечных элементов или батарей), накопление энергии для электросети (например, аккумуляторные батареи используются для накопления электрической энергии в периоды, когда выработка от электростанций превышает потребление, и накопленную энергию используют в то время, когда потребление превышает выработку), энергия из возобновляемых источников (например, поскольку солнце не светит ночью и ветер не дует постоянно; аккумуляторные батареи в энергосистемах вне сети могут накапливать избыточную электроэнергию из возобновляемых источников энергии для использования в часы после захода солнца и когда ветер не дует; аккумуляторные батареи с высокой мощностью могут накапливать энергию от солнечных элементов с более высокой эффективностью по сравнению с современными аккумуляторными батареями из предшествующего уровня техники), электроинструменты (например, описанные в настоящем документе аккумуляторные батареи могут обеспечивать быструю зарядку беспроводных электроинструментов, таких как дрели, шуруповерты, пилы, гаечные ключи и шлифовальные машины; при этом современные батареи имеют длительное время зарядки) или любую их комбинацию.

Суперконденсаторы

Суперконденсаторы представляют собой высокоомощные устройства накопления энергии со значительно более высокой емкостью по сравнению с нормальными конденсаторами. Суперконденсаторы (SC) недавно привлекли значительное внимание в качестве ресурсов накопления энергии с высокой плотностью мощности и все чаще были использованы в качестве ресурсов накопления энергии в портативных электронных устройствах, системах рекуперативного торможения, устройствах стабилизации напряжения, гибридных автобусах, медицинских устройствах и гибридных электромобилях.

В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы состоят из двух или более электродов, разделенных ионопроницаемой мембраной (разделителем), и электролита, ионно соединяющего электроды, при этом ионы в электролите образуют электрические двойные слои с полярно-

стью, противоположной полярности электродов, когда электроды поляризуются за счет приложенного напряжения.

В некоторых вариантах осуществления электрод в электрохимической ячейке состоит из подложки и активного материала, называемого либо анодом, где электроны покидают активный материал внутри ячейки и происходит окисление, или катодом, где электроны поступают в активный материал внутри ячейки и происходит восстановление. Каждый электрод может стать либо анодом, либо катодом, в зависимости от направления тока через ячейку. В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы могут быть симметричными или асимметричными, где электроды являются идентичными или непохожими соответственно. В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы выполнены с двумя или более электродами.

Суперконденсаторы накапливают энергию посредством трех основных механизмов: (i) электрическая двухслойная емкость (EDLC), (ii) фарадеевская емкость и (iii) емкость непосредственно от редокс-активных электролитов. Посредством первых двух механизмов только твердофазные материалы электродов способствуют накоплению заряда, при этом другие компоненты ячейки, в том числе электроды и электролит, являются электрохимически инертными. Добавление редокс-активных веществ в электролит повышает емкость ячейки за счет электрохимических реакций на поверхности раздела электрод/электролит.

В некоторых вариантах осуществления устройства, представленные в данном документе (например, суперконденсаторы и/или микросуперконденсаторы), могут быть выполнены в виде различных структур. В некоторых вариантах осуществления устройства могут быть выполнены в виде многослойных структур (например, содержащих многослойные электроды), плоских структур (например, содержащих переплетающиеся электроды), навивных структур или любой их комбинации. В некоторых вариантах осуществления устройства могут быть выполнены в виде слоистой структуры или переплетающейся структуры.

Электроды

Материалы, обычно используемые в электродах для суперконденсаторов, включают оксиды переходных металлов, проводящие полимеры и угли с сильно развитой поверхностью. Однако, к сожалению, традиционные суперконденсаторы на основе таких материалов могут проявлять низкие значения плотности энергии и ограничены по массовой загрузке активных материалов электродов.

В некоторых вариантах осуществления фарадеевские материалы используют в качестве электродов, поскольку они накапливают заряд как на поверхности, так и в объеме, в отличие от материалов с EDLC, которые накапливают заряд только за счет адсорбции ионов на поверхности электродов.

В некоторых вариантах осуществления электроды с высокой удельной поверхностью являются углеродистыми и содержат углеродную ткань, углеродное волокно, аморфный углерод, стекловидный углерод, углеродную нанопену, углеродный аэрогель или активированный уголь (АС).

В некоторых вариантах осуществления АС относится к углероду, который был обработан для увеличения его площади поверхности. В некоторых вариантах осуществления кристаллическая плотность АС составляет приблизительно $0,5 \text{ г/см}^3$.

Проводящий полимер полианилин выступает в качестве идеального материала для накопления заряда за счет его низкой стоимости, простоты синтеза, регулируемой электропроводности, высокой удельной емкости и устойчивости к воздействию окружающей среды.

Среди подавляющего большинства суперъёмкостных составляющих материалов полианилин (PANI), а также его различные строения были применены в качестве активного материала из-за присущих ему высокой окислительно-восстановительной (редокс)-активной удельной емкости, эластичности и способности к преобразованию между множеством окислительно-восстановительных состояний, сопровождающихся быстрым допированием и дедопированием противоионов во время процессов зарядки и разрядки.

В некоторых вариантах осуществления полианилин (PANI) представляет собой один пример полужесткого стержневидного проводящего полимера, который легко синтезировать, который является устойчивым к воздействию окружающей среды, недорогим и проявляет высокую электропроводность и удельную псевдоемкость. Дополнительно, PANI может легко преобразовываться во множество окислительно-восстановительных состояний, сопровождающихся быстрым допированием и дедопированием противоионов во время процессов зарядки и разрядки, и поэтому перенос электронов в PANI осуществляется посредством сопряженной двойной связи с пропусканием электрического тока в когерентной упаковке. Наконец, в некоторых вариантах осуществления PANI проявляет присущую высокую окислительно-восстановительную (редокс)-активную удельную емкость и эластичность. Следовательно, разработка гибридных электродов на основе PANI представляла собой привлекательное направление в попытке улучшения их устойчивости при циклическом использовании.

Несмотря на то, что он является превосходным материалом для накопления энергии, PANI в объеме в некоторых вариантах осуществления обладает недостаточными механическими свойствами и посредственной устойчивостью при циклическом использовании, при этом значительные изменения объема, связанные с допированием и дедопированием противоионов, приводят к разрушению главной цепи полимера при циклическом использовании с уменьшением, таким образом, емкости и с ограничением потенциальных коммерческих применений псевдоконденсаторов на основе PANI. Однако, поскольку пере-

нос электронов в PANI происходит посредством сопряженной двойной связи, пропускание электрического тока в когерентной упаковке может протекать легче по сравнению с переносом электронов между двумя независимыми частями.

В некоторых вариантах осуществления структура и геометрическая форма PANI изменяются в наномасштабе, чтобы обеспечить расслабление его внутренней деформации за счет обеспечения небольшого свободного пространства на поверхности для изгиба. В некоторых вариантах осуществления PANI является функционализированным, при этом новые функции, признаки, функциональные возможности или свойства материала добавляются за счет изменения химического состава его поверхности и строения.

В некоторых вариантах осуществления строение материалов фарадеевских электродов оказывает существенное влияние на электрохимические характеристики. Некоторые электродные структуры способствуют переносу электронов в активных материалах и, следовательно, повышают электропроводность и емкость соответствующих устройств на их основе. Наноструктурирование электродных материалов представляет собой эффективную стратегию, направленную на изменение строения и в значительной степени улучшения характеристик электродов для суперконденсаторов за счет повышения площади поверхности раздела между электродом и электролитом и за счет минимизации пути диффузии ионов в активных материалах. В некоторых вариантах осуществления наноструктурирование электродов дополнительно минимизирует путь диффузии ионов в активном материале.

В некоторых вариантах осуществления PANI характеризуется кристаллической плотностью, составляющей приблизительно $1,3 \text{ г/см}^3$.

В некоторых вариантах осуществления химические и электрохимические свойства электрода улучшаются за счет добавления поверхностных функциональных групп, которые повышают емкость при зарядке за счет псевдоемкостного эффекта. В некоторых вариантах осуществления функционализация обеспечивает изменение признаков, функциональных возможностей или свойств материала за счет изменения химического состава его поверхности и строения. Функционализация обеспечивает синтез некоторых форм поверхностных наноструктур, таких как наносферы, нанодиски, нанопроволока, нановолокна, нанотрубки, нанопластины и наноцветы. Среди таковых нанотрубчатые структуры с малыми диаметрами обеспечивают лучшее приспособление изменений объема и прямой одномерный электронный путь от подложки для обеспечения эффективного переноса электронов и, следовательно, обеспечения повышенной электропроводности и емкости. Кроме того, объединенные внешняя и внутренняя площади поверхности нанотрубки, подвергающиеся воздействию электролита, обеспечивают высокие значения емкости при зарядке и обеспечивают возврат деформации за счет увеличения свободного пространства, доступного для поверхностного изгиба. В данном подходе рассматриваются проблемы устойчивости кремниевых анодов в литий-ионных батареях, которые характеризуются значительными объемными изменениями во время циклического использования.

При конструировании электродов для суперконденсаторов могут быть предприняты особые попытки для обеспечения высокой плотности энергии и высокой плотности мощности, включающие оптимизацию условий получения с целью облегчения ионного и электронного переноса в электродах, как проиллюстрировано на фиг. 1А-С. Поэтому для конструкции высокоэффективных гибридных суперконденсаторов требуются электроды для высокоактивных, высокомоощных гибридных суперконденсаторов.

Фиг. 1А-С схематически иллюстрируют конструкции электродов для высокоактивных, высокомоощных гибридных суперконденсаторов с нановолокнами 101, наносферами 102 и нанотрубчатыми строениями 103 соответственно, при этом электрод с нанотрубчатым строением PANI, схематически изображенный на фиг. 1С, способен к улучшенному облегчению как ионного тока 102 (IC), так и электронного тока (EC) и, таким образом, может быть способен к образованию суперконденсатора с высоким значением энергии и высоким значением мощности.

В некоторых вариантах осуществления электроды с наноструктурированными строениями проявляют повышенные характеристики, при этом согласно фиг. 1А-С пористая структура таких электродов увеличивает площадь воздействия между активным материалом и электролитом и, таким образом, повышает площадь разряда по сравнению с поверхностью твердого электрода. В частности, электроды с нанотрубчатыми строениями обеспечивают повышенную емкость при зарядке, поскольку как внешняя, так и внутренняя поверхности нанотрубки подвергаются воздействию электролита.

Подложки

В некоторых вариантах осуществления углеродную ткань (CC) применяют в качестве подложки ячейки. В некоторых вариантах осуществления углеродная ткань содержит сплетенный узел из множества углеродных волокон. В некоторых вариантах осуществления углеродное волокно и графитовое волокно представляют собой волокна, состоящие преимущественно из атомов углерода. Дополнительно хорошие электропроводность и эластичность углеродной ткани обеспечивают устройства с низким внутренним сопротивлением (за счет обеспечения коротких путей для переноса электронов) и с механической эластичностью.

В некоторых вариантах осуществления CC представляет собой превосходный трехмерный электропроводный каркас, который поддерживает высокодоступную для электролита площадь поверхности,

обеспечивает прямой путь для переноса электронов, улучшает электропроводность ее композиционных материалов и ослабляет ухудшение, сопровождающееся объемными изменениями во время циклического использования. Дополнительно СС выполняет функцию идеальной подложки для гибкой системы накопления энергии из-за ее механической эластичности, пористой структуры, высокой электропроводности, короткого пути переноса электронов, низкого внутреннего сопротивления, высокой площадной нагрузки и ее способности к легкой упаковке.

В некоторых вариантах осуществления химическая активация углеродной ткани повышается за счет гибридизации посредством синтеза проводящих полимерных наноструктур на поверхности электрода. В некоторых вариантах осуществления химические и электрохимические свойства углеродной ткани модифицируют для улучшения свойств ее композиционного гибридного материала, при этом химическая активация СС посредством добавления функциональных групп на поверхность повышает емкость при зарядке за счет псевдоемкостного эффекта. Дополнительно функциональные группы на поверхности функционализированной углеродной ткани обеспечивают более прочное соединение с PANI, обеспечивая, таким образом, облегчение пропускания электронов из полимера в подложку. В некоторых вариантах осуществления химическая активация СС способствует полимеризации *in situ* за счет преобразования ее естественной гидрофобной поверхности в гидрофильную поверхность, способную к улучшенному взаимодействию с, как правило, водным, полимеризационным или содержащим мономер подаваемым раствором. В некоторых вариантах осуществления полимеризация *in situ* проводящего полимера обеспечивает прямой электрический контакт с СС, устраняя, таким образом, необходимость в связующих и проводящих добавках и устраняя их избыточную массу.

На иллюстративном изображении поверхностной структуры СС 602 изображено, согласно фиг. 6А, строение, содержащее волокнистые структуры. Оптимальная 3D-структура СС обеспечивает высокую площадную нагрузку PANI, что представляет собой важный параметр для конкурентоспособных электродов.

В некоторых вариантах осуществления углеродная ткань характеризуется кристаллической плотностью, составляющей приблизительно $1,6 \text{ г/см}^3$.

Электролиты

Устройства накопления энергии, описанные в настоящем документе, могут содержать электролит. Электролиты, описанные в данном документе, могут включать в себя, например, без ограничения, водные, органические и ионные электролиты на основе жидкости, которые могут быть в форме жидкости, твердого вещества или геля. В некоторых вариантах осуществления электролит представляет собой раствор с однородной дисперсией катионов и анионов, образованных из электропроводного вещества, растворенного в полярном растворителе.

Несмотря на то, что электролиты являются нейтральными по заряду, приложение электрического потенциала (напряжения) к раствору приводит к притягиванию катионов раствора к электроду с избытком электронов и притягиванию анионов к электроду с дефицитом электронов. Поэтому перемещение анионов и катионов в противоположных направлениях в растворе обеспечивает образование тока энергии. Электролиты, описанные в настоящем документе, могут представлять собой, например, водные, органические и/или ионные электролиты на основе жидкости. Электролит может представлять собой жидкость, твердое вещество или гель. Ионная жидкость может быть гибридизирована с другим твердым компонентом, таким как, например, полимер или диоксид кремния (например, коллоидальный диоксид кремния), с образованием гелеобразного электролита (также "ионгель" в данном документе). Водный электролит может быть гибридизирован с, например, полимером с образованием гелеобразного электролита (также "гидрогель" и "гидрогель-полимер" в данном документе). В некоторых случаях гидрогелеобразный электролит твердеет во время изготовления устройства, что обеспечивает связывание компонентов ячейки вместе для улучшения механических и электрических свойств электрода. Органический электролит может быть гибридизирован с, например, полимером с образованием гелеобразного электролита. В некоторых вариантах осуществления электролит также может включать в себя соль лития (например, LiPF_6 , LiBF_4 или LiClO_4). Например, электролит может включать в себя соль лития (например, LiPF_6 , LiBF_4 или LiClO_4) в органическом растворе (например, этиленкарбонат (EC), диметилкарбонат (DMC) или диэтилкарбонат (DEC). Электролит может содержать один или несколько дополнительных компонентов (например, одну или несколько добавок) с образованием электролитической композиции. В одном примере полимерный электролит для литиевых батарей с элементами soft pack содержит один или несколько из EC, этилметилкарбоната (EMC), DEC, LiPF_6 и другие добавки. В другом примере высокоемкостный электролит для литиевых батарей может содержать один или несколько из EC, DEC, пропиленкарбоната (PC), LiPF_6 и другие добавки.

Хиноновые добавки для электролитов были использованы из-за их способности накапливать $2 \text{ e}^-/2 \text{ H}^+$ на звено хинона с целью повышения емкостей в двухслойных суперконденсаторах. Во время операций зарядки и разрядки хиноновые добавки подвергаются воздействию окислительно-восстановительных процессов на электродах. В некоторых вариантах осуществления хиноносодержащие электролиты, в частности, представляют собой превосходные редокс-активные электролиты из-за их превосходной электрохимической обратимости во время зарядки и разрядки, небольшого размера, высокой подвижности и

кислотного pH, совместимого с современным семейством дотированных кислотой полимеров.

Конструкция суперконденсаторного устройства

В некоторых вариантах осуществления устройства накопления энергии со сверхвысокими значениями плотности энергии сконструированы с помощью выбора материала электрода в комбинации с электролитом для достижения синергетических взаимодействий между компонентами устройства. Для фарадеевских материалов для накопления энергии в современных трехэлектродных устройствах требуются водные электролиты для их работы, которые ограничены до приблизительно 1,0 В из-за разложения воды при 1,23 В. Хотя симметричные устройства характеризуются макс. теоретическим диапазоном напряжений в пределах 1,0 В, асимметричные устройства достигают диапазона напряжений водных электролитов за счет увеличения их рабочего напряжения относительно термодинамического напряжения разложения воды.

В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторное устройство, которое содержит PANI, который способен преобразовываться во множество окислительно-восстановительных состояний, в качестве электрохимически активного материала и электролит на основе редокс-пары, содержащей 1,4-нафтохинон (NQ), образует регулируемый двойной редокс-шаттл, при этом NQ обеспечивает псевдоёмкость за счет прямых окислительно-восстановительных реакций на поверхности электродов, катализирует регенерацию окисленной формы PANI и выполняет функцию редокс-шаттла для обратимого окисления/восстановления полианилина со значительным улучшением суммарных характеристик устройства.

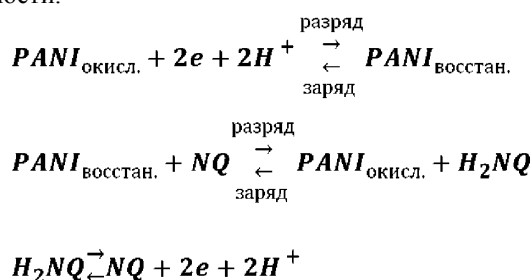
3D-характер полианилиновых трубок прямоугольного сечения на подложке из функционализированной углеродной ткани обеспечивает эффективные пути переноса электронов и ионов и обеспечивает достаточное пространство для добавления NQ с образованием, таким образом, второй окислительно-восстановительной системы и, таким образом, регулируемого редокс-шаттла в электролите, который улучшает процесс переноса электронов на поверхности электродов. Дополнительно добавление NQ не только повышает ёмкость полианилиновых электродов, но также обеспечивает улучшение в отношении ёмкости материалов для суперконденсаторов с EDLC, таких как активированные угли.

Поэтому применение NQ для электрокаталитического механизма в качестве редокс-добавки способствует множеству процессов переноса заряда, обеспечивает фарадеевскую ёмкость за счет прямых окислительно-восстановительных реакций на поверхностях электродов, выступает в качестве основы для регенеративного пути к долговременному использованию активных материалов для электродов и обеспечивает суперконденсаторное устройство со значительно более высокой плотностью энергии. В некоторых вариантах осуществления NQ характеризуется кристаллической плотностью, составляющей приблизительно 1,4 г/см³.

На фиг. 2 показан состав иллюстративного суперконденсатора 200, при этом положительный электрод 201 и отрицательный электрод 202 разделены проницаемой для ионов и молекул мембраной 203, которая вымочена в электролите на основе NQ, содержащем серную кислоту (H₂SO₄) и уксусную кислоту (AcOH).

В некоторых вариантах осуществления NQ содержится в гелеобразном электролите на основе поливинилового спирта (PVA) в 1 М H₂SO₄ с 30% уксусной кислотой (AcOH). В некоторых вариантах осуществления гелеобразный электролит на основе поливинилового спирта (PVA) образован путем растворения 1 г PVA в 10 мл деионизированной воды и AcOH, энергичного перемешивания в течение 30 мин, добавления 0,56 мл исходного раствора H₂SO₄ и добавления 1,53 мг NQ.

NQ-стимулируемая регенерация полианилина (PANI), который обладает способностью повторного использования во множестве окислительно-восстановительных реакций, выполняет важную функцию в суперконденсаторном устройстве. На фиг. 4 представлен химический процесс преобразования функционализированной углеродной ткани в функционализированную PANI углеродную ткань, где согласно фиг. 2 и уравнениям, представленным ниже, PANI_{окисл.} электрохимически восстанавливают в PANI_{восстан.} на поверхности электрода, и при этом NQ в электролите обратно окисляет восстановленную форму PANI посредством ЕС'-регенеративного механизма, которая затем может повторно подвергаться реакциям переноса электронов на поверхности.



Таким образом, фарадеевская ёмкость устройства значительно увеличивается за счет многократного повторного применения подходящей формы (в зависимости от процесса зарядки и разрядки) полианилина в качестве исходного электроактивного материала. В дополнение к его электрокаталитическому регенеративному механизму NQ может подвергаться окислительно-восстановительным реакциям на поверхностях подложки. Комбинаторный эффект NQ как в качестве регулируемого редокс-шаттла, так и в каче-

стве редокс-добавки обеспечивает повышение характеристик суперконденсатора, поскольку энергия накапливается как на поверхности полианилина с использованием псевдоемкостного механизма, так и на поверхности раздела электрод-электролит за счет окислительно-восстановительной реакции. Существует несколько преимуществ в результате электрокаталитической реакции, которые обеспечивают регенерацию *in situ* активных материалов для электродов. Первое, поскольку $Q = mnF$, регенерация исходных активных материалов повышает величину m , обеспечивая, таким образом, дополнительный заряд в ячейке. Дополнительно, поскольку каталитическая регенерация активного материала обеспечивает достижение более высокого значения тока без повышения исходной массы активных материалов, уменьшение массы неактивных компонентов повышает удельные энергию и емкость. Кроме того, поскольку дополнительная масса не требуется для повышения емкости, эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) системы остается низким. Более того, поскольку регенерированные активные материалы крепко закреплены на поверхностях подложки, ESR системы не повышается. Также, поскольку ток зависит от концентрации на поверхности активного материала (C_{AM}), электрокаталитическая регенерация активного материала для электрода за счет механизма ЕС значительно повышает C_{AM} . Наконец, с помощью электрокаталитической реакции устраняют требование, заключающееся в распылении электроактивных материалов из объема раствора на поверхность электрода.

Способы изготовления электродов

Иллюстративный способ изготовления суперконденсаторного устройства 300, включающий изготовление функционализированного полианилином электрода и упаковывание электрода, показан на фиг. 3.

В иллюстративных вариантах осуществления способ изготовления функционализированного полианилином электрода 305 включает функционализацию углеродной подложки 301 с образованием функционализированной углеродной подложки 303, подготовку функционализированной углеродной подложки 303, составление полимеризационной жидкости 304 и синтезирование полианилиновой нанотрубки 306 на функционализированной углеродной подложке.

В иллюстративных вариантах осуществления стадия функционализации углеродной подложки 301 с образованием функционализированной углеродной подложки 303 включает образование раствора 302 для функционализации, нагревание раствора 302 для функционализации, охлаждение раствора 302 для функционализации, размещение участка углеродной подложки 301 в растворе 302 для функционализации и ополаскивание участка функционализированной углеродной подложки 303.

В иллюстративном варианте осуществления раствор 302 для функционализации содержит азотную кислоту (HNO_3) и серную кислоту (H_2SO_4), где объемная доля в процентах азотной кислоты в растворе 302 для функционализации составляет от приблизительно 15% до приблизительно 60%. В одном примере раствор 302 для функционализации содержит объемную долю в процентах азотной кислоты, составляющую приблизительно 33%.

В иллюстративном варианте осуществления раствор 302 для функционализации нагревают при подходящей температуре, такой как от приблизительно 30°C до приблизительно 120°C. В одном примере раствор 302 для функционализации нагревают при температуре, составляющей приблизительно 60°C. В иллюстративном варианте осуществления углеродную подложку 301 погружают в раствор 302 для функционализации в течение подходящего периода времени, такого как от приблизительно 60 мин до приблизительно 240 мин. В одном примере углеродную подложку 301 погружают в раствор 302 для функционализации в течение периода времени, составляющего приблизительно 120 мин.

В иллюстративных вариантах осуществления стадия подготовки функционализированной углеродной подложки 303 включает отрезание участка функционализированной углеродной подложки 303, погружение участка функционализированной углеродной подложки 303 в полимеризационную жидкость 304, обработку с помощью ультразвука участка функционализированной углеродной подложки 303 в полимеризационной жидкости 304 и высушивание участка функционализированной углеродной подложки 303.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированная углеродная подложка 303 имеет подходящую геометрическую площадь поверхности, такую как от приблизительно 0,1 см² до приблизительно 0,5 см². В одном примере функционализированная углеродная подложка 303 имеет подходящую геометрическую площадь поверхности, составляющую приблизительно 0,25 см².

В некоторых вариантах осуществления функционализированную полианилином углеродную подложку 305 затем обжигают в печи в атмосфере воздуха при 200°C. В иллюстративном варианте осуществления функционализированную полианилином углеродную подложку 305 обжигают в течение подходящего периода времени от приблизительно 0,5 ч до приблизительно 14 ч. В одном примере функционализированную полианилином углеродную подложку 305 обжигают в течение периода времени, составляющего приблизительно 4 ч.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит ацетон и этанол. В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящую объемную долю в процентах ацетона, такую как от приблизительно 25% до приблизительно 100%. В одном примере объемная доля в процентах ацетона в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 50%.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную углеродную подложку 303 подвергают воздействию ультразвука в течение подходящего периода времени, такого как от приблизительно 15 мин до приблизительно 60 мин. В одном примере функционализированную углеродную подложку 303 подвергают воздействию ультразвука в течение периода времени, составляющего приблизительно 30 мин.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную углеродную подложку 303 высушивают при подходящей температуре, такой как от приблизительно 20°C до приблизительно 120°C. В одном примере функционализированную углеродную подложку 303 высушивают при температуре, составляющей приблизительно 60°C.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную углеродную подложку 303 высушивают в течение подходящего периода времени от приблизительно 3 ч до приблизительно 12 ч. В одном примере функционализированную углеродную подложку 303 высушивают в течение периода времени, составляющего приблизительно 6 ч.

В иллюстративных вариантах осуществления стадия составления полимеризационной жидкости 304 включает смешивание полианилина, кислоты, очищающего средства, воды и окислителя и перемешивание полимеризационного раствора 304. В иллюстративном варианте осуществления кислота представляет собой хлористоводородную кислоту (HCl), очищающее средство представляет собой додецилсульфат натрия (SDS) и окислитель представляет собой персульфат аммония (APS).

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящую массу полианилина, составляющую от приблизительно 20 мг до приблизительно 90 мг. В одном примере масса полианилина в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 45 мг.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящую концентрацию хлористоводородной кислоты (HCl), составляющую от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,5 М. В одном примере концентрация HCl в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 0,25 М. В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящий объем HCl, составляющий от приблизительно 0,1 мл до приблизительно 0,6 мл. В одном примере объем HCl в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 0,3 мл.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящую массу SDS, составляющую от приблизительно 1 мг до приблизительно 10 мг. В одном примере концентрация SDS в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 5 мг.

В некоторых вариантах осуществления вода представляет собой деионизированную воду. В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящий объем воды, составляющий от приблизительно 9 мл до приблизительно 40 мл. В одном примере объем воды в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 18 мл.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящую концентрацию APS, составляющую от приблизительно 0,1 М до приблизительно 0,5 М. В одном примере концентрация APS в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 0,24 М. В иллюстративном варианте осуществления полимеризационная жидкость 304 содержит подходящий объем APS, составляющий от приблизительно 1 мл до приблизительно 4 мл. В одном примере концентрация APS в полимеризационной жидкости 304 составляет приблизительно 2 мл.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационную жидкость 304 перемешивают в течение подходящего количества времени, составляющего от приблизительно 10 мин до приблизительно 40 мин. В одном примере полимеризационная жидкость 304 может быть перемешана в течение периода, составляющего приблизительно 20 мин.

В иллюстративных вариантах осуществления стадия синтеза полианилиновой нанотрубки 306 на функционализированной углеродной подложке 303 включает встряхивание полимеризационной жидкости 304, погружение функционализированной углеродной подложки 303 в полимеризационную жидкость 304, выдерживание функционализированной углеродной подложки 303 в полимеризационной жидкости 304, удаление функционализированной полианилином углеродной подложки 305 из полимеризационной жидкости 304, промывание функционализированной полианилином углеродной подложки 305 и высушивание функционализированной полианилином углеродной подложки 305.

В иллюстративном варианте осуществления полимеризационную жидкость 304 встряхивают в течение подходящего количества времени, составляющего от приблизительно 15 с до приблизительно 60 с. В одном примере полимеризационную жидкость 304 могут встряхивать в течение периода, составляющего приблизительно 30 с.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную углеродную подложку 303 выдерживают в полимеризационной жидкости 304 при подходящей температуре, составляющей от приблизительно 10°C до приблизительно 50°C. В одном примере функционализированную углеродную подложку 303 выдерживают в полимеризационной жидкости 304 при температуре, составляющей приблизительно 25°C.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную углеродную подложку 303

выдерживают в полимеризационной жидкости 304 в течение подходящего времени полимеризации, составляющего от приблизительно 8 до 70 ч. В одном примере функционализированную углеродную подложку 303 выдерживают в полимеризационной жидкости 304 в течение времени полимеризации, составляющего приблизительно 24 ч.

В иллюстративном варианте осуществления функционализированную полианилином углеродную подложку 305 высушивают при подходящей температуре, составляющей от приблизительно 30°C до приблизительно 120°C. В одном примере функционализированную полианилином углеродную подложку 305 высушивают при температуре, составляющей приблизительно 60°C.

В некоторых вариантах осуществления функционализированную полианилином углеродную подложку 305 применяют непосредственно в качестве электродов для SC без необходимости добавления связующих или проводящих добавок, как правило, применяемых в традиционных устройствах.

Наконец, в иллюстративном варианте осуществления функционализированную полианилином углеродную подложку 305 упаковывают в симметричное суперконденсаторное устройство 300, при этом разделитель, вымоченный в электролите, располагают в виде прослойки между сторонами PANI двух функционализированных полианилином углеродных подложек 305.

Функционализированные PANI ткани в качестве электродов наряду с токоъемником из нержавеющей стали и электролитом образуют симметричное (PANI-FCC//PANI-FCC или PANI-CC//PANI-CC) и асимметричное (PANI-FCC//AC) суперконденсаторные устройства.

Характеристика и измерения

Структура и строение различных материалов для электродов могут быть изучены с применением растровой электронной микроскопии с полевой эмиссией (Philips и JEOL-JSM-6700). Структурные изменения до и после функционализации CC в смеси сильных кислот могут быть охарактеризованы с применением порошковой рентгеновской дифракции (дифрактометр Philips X'pert с излучением Co K α [$\lambda=0,178$ нм], генерируемым при 40 кВ и 40 мА с размером шага $0,02^\circ \text{ c}^{-1}$). Может применяться спектрофотометр (Tensor 27 Bruker) для проведения инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием (FTIR).

Иллюстративные устройства испытывают в отношении их электрохимических характеристик с применением кривых циклической вольтамперометрии (CV), гальваностатического заряда-разряда (CD) и экспериментов с использованием электрохимической импедансной спектроскопии (EIS). Потенциостат для биологических экспериментов (SP-300) может применяться для получения данных циклической вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии для различных устройств. Устройство для испытания аккумуляторных батарей (Solartron), оснащенное программным обеспечением Cell Test, может применяться для гальваностатического CD исследования.

В некоторых вариантах осуществления в способах, описанных в настоящем документе, используют магнитную мешалку, которая представляет собой лабораторное устройство, при этом испускаемое вращающееся магнитное поле быстро вращает магнитную мешалку, погруженную в жидкость, для быстрого последовательного смешивания.

Все химические вещества, применяемые в данном документе, применяют непосредственно в состоянии после приобретения, без дополнительной очистки. Анилин подвергают перегонке с водяным паром перед применением.

Влияние SDS на строение поверхности и характеристики

В некоторых вариантах осуществления анионное поверхностно-активное вещество додецилсульфат натрия (SDS) выполняет важную функцию в качестве мягкой матрицы при допировании, в процессе полимеризации влияет на строение синтезированного PANI, а также на электрохимические свойства и емкость устройства. Допирование с применением SDS структуры PANI способствует образованию опоясывающей структуры, сворачивание которой происходит последовательно, при этом дополнительная полимеризация приводит к образованию PANI со строением в виде трубки прямоугольного сечения. В некоторых вариантах осуществления низкая концентрация HCl запускает полимеризацию PANI в среде с низкой кислотностью, что замедляет реакционные процессы и может способствовать образованию наноструктур.

В одном примере на фиг. 5A показано, что строение PANI, синтезированного на CC в присутствии SDS, формируется в виде нанотрубок 502 прямоугольного сечения с наночастицами PANI на их поверхности, при этом на фиг. 5B показано, что строение PANI, синтезированного на CC в отсутствие SDS, состоит из объемных узлов 503 неправильной формы. Следовательно, PANI, полученный в присутствии SDS, характеризуется формой прямоугольного сечения с наноструктурами на своей поверхности.

В иллюстративном варианте осуществления длина нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на CC в присутствии SDS, составляет от приблизительно 1 до 200 мкм. В одном примере длина нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на CC в присутствии SDS, составляет приблизительно 1 мкм.

В иллюстративном варианте осуществления внешний диаметр нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на CC в присутствии SDS, составляет от приблизительно 100 нм до 1000 нм. В

одном примере наружная ширина нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, составляет приблизительно 350 нм.

В иллюстративном варианте осуществления внутренний диаметр нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, составляет от приблизительно 50 нм до 800 нм. В одном примере внутренняя ширина нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, составляет приблизительно 250 нм.

В иллюстративном варианте осуществления наноструктура на поверхности нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, представляет собой наностержень. В иллюстративном варианте осуществления наностержень на поверхности нанотрубки 502 прямоугольного сечения имеет длину, составляющую от приблизительно 4 до 50 мкм. В одном примере наностержень на поверхности нанотрубки 502 прямоугольного сечения имеет длину, составляющую приблизительно 9 мкм.

В иллюстративном варианте осуществления наностержень на поверхности нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, имеет ширину, составляющую от приблизительно 20 нм до 120 нм. В одном примере наностержень на поверхности нанотрубки 502 прямоугольного сечения, синтезированной на СС в присутствии SDS, имеет ширину, составляющую приблизительно 50 нм.

Полое нанотрубчатое строение правильной формы способствует повышению переноса электронов в структуре PANI, синтезированной в присутствии SDS. Полое нанотрубчатое строение прямоугольного сечения синтезированного PANI и строение наночастиц на его поверхности обеспечивают повышение электрохимических характеристик электрода. Согласно циклическим диаграммам вольтамперометрии иллюстративного и устройства на основе СС и PANI-СС на фиг. 7 окислительно-восстановительные пики при 0,4 В и при 0,2 В представляют восстановление и окисление соответственно PANI. Кривая CV для PANI-СС характеризует его псевдоемкостной характер и подтверждает электрическую двухслойную емкость (EDLC) СС в иллюстративном устройстве, а также показывает, что псевдоемкость, обусловленная PANI, является преобладающей. Иллюстративные кривые CD демонстрируют два горизонтальных участка на стадиях CD, которые соответствуют окислительно-восстановительным пикам PANI на иллюстративных кривых CV. Видно, что иллюстративное устройство, содержащее PANI, синтезированный в присутствии SDS, проявляет более высокую емкость и скоростную способность согласно площадям под иллюстративными кривыми CV, а также значениями времени разряда на фиг. 7 и 8 соответственно. Поэтому PANI-FCC проявляет в значительной степени высокую плотность тока при заряде/разряде и характеризуется явными окислительно-восстановительными пиками, которые присваиваются редокс-добавке.

Влияние времени полимеризации на строение поверхности и характеристики

Примеры строений поверхности, проявляемых PANI, синтезированным на СС с различными значениями времени полимеризации (16, 20, 24, 28 и 32 ч), показаны на фиг. 6А-Н. PANI-СС 601a, полимеризованная за 16 ч, согласно фиг. 6С при низком увеличении, представляет собой строение в виде полых нанотрубок PANI прямоугольного сечения на поверхности СС со значениями внешнего диаметра приблизительно 200-500 нм, со значениями внутреннего диаметра приблизительно 100-400 нм и значениями длины, составляющими несколько микрометров.

Дополнительно полимеризованная за 16 ч PANI-СС 601a согласно фиг. 6В при большом увеличении представляет собой строение из наностержней, беспорядочно выстроенных в иерархическую структуру на поверхности нанотрубок PANI, значения длины и диаметра которых находятся в диапазоне приблизительно 100-200 нм и приблизительно 40-60 нм соответственно.

Изображение иллюстративной полимеризованной за 20 ч PANI-СС 601b, как показано на фиг. 6D, характеризуется строением из более крупных нанотрубок, поверхности которых содержат наностержни большего размера и в большем количестве.

Изображение иллюстративной полимеризованной за 24 ч PANI-СС 601c, как показано на фиг. 6E и 6F, при низком и высоком значениях увеличения соответственно, характеризуется строением из пористых нанотрубок, поверхности которых содержат однородный массив наноструктур, размер которых составляет 8-10 нм.

Изображение иллюстративных полимеризованной за 28 ч PANI-СС 601d и полимеризованной за 32 ч PANI-СС 601e согласно фиг. 6G и 6H соответственно демонстрирует то, что по мере увеличения времени полимеризации, наноструктуры на трубках прямоугольного сечения могут агрегироваться по мере их роста.

На фиг. 9 и 10 представлен пример кривых CV и CD для полимеризованных за 16, 20, 24, 28, и 32 ч PANI-СС в симметричном устройстве на основе PANI-СС, при этом иллюстративное устройство, содержащее две полимеризованных за 24 ч PANI-СС, проявляет наивысшую емкость, составляющую приблизительно 341 Ф/г, и наивысшее время разряда.

Повышенная емкость иллюстративного устройства, содержащего полимеризованную за 24 ч PANI-СС, может быть обусловлена тем фактом, что его неровная поверхность, с множеством более мелких наноструктур, значения диаметра которых составляет от 8 до 10 нм, характеризуется большей площадью поверхности и уменьшенной длиной диффузии.

Характеристика функционализации

Иллюстративные XRD-рентгенограммы для CC и FCC изображены на фиг. 11, при этом на XRD-рентгенограммах первоначальной CC изображены два основных характеристических дифракционных пика при 20°C-35°C и 50°C-55°C, которые относятся к плоскостям (002) и (101) гексагональной структуры CC. Видно, что широкие пики интенсивности CC при 20°C-35°C могут значительно уменьшаться за счет разрушения упорядоченной кристаллической структуры CC и за счет повышенной прочности связи между группами C=N и COO- по мере преобразования их двойной связи в одинарную связь во время процесса функционализации. Исходный широкий пик может быть обусловлен группой -ОН функциональной группы карбоновой кислоты в FCC, и при этом сдвиг пика между CC и FCC может объясняться валентными колебаниями C=C в хиноидном и бензоидном кольцах и взаимодействием положительной полосы C-N в PANI с отрицательной карбоновой кислотой.

Согласно фиг. 12 пример спектров инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием (FTIR) для CC и PANI-FCC демонстрирует прочное и однородное соединение между PANI и FCC и, таким образом, обеспечивает доказательство повышенного эквивалентного последовательного сопротивления и повышенной проводимости. Как показано, после активации иллюстративной CC широкий пик появляется в диапазоне от 3300 до 3650 см⁻¹, что может указывать на наличие взаимозаменяемых протонов, как правило, из функциональных групп карбоновой кислоты, спирта и амина в FCC. Характеристика пиков PANI может быть модифицирована в результате функционализации CC, при этом связи при 1576 см⁻¹ и 1503 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям C=C в хиноидном и бензоидном кольцах соответственно, незначительно смещаются к 1580 см⁻¹ и 1507 см⁻¹. Дополнительно пик при 1301 см⁻¹, связанный с валентными колебаниями C-N, подвергается значительному сдвигу до 1261 см⁻¹, указывающему на сильное взаимодействие положительной полосы C-N в PANI с отрицательной карбоновой кислотой. Наконец, полоса при 1240 см⁻¹, связанная с валентными колебаниями C-N, иллюстративного устройства полностью исчезает, что может указывать на образование ковалентного соединения между группами C=N и COO-. Таким образом, FT-IR спектроскопия обеспечивает существенное доказательство о превосходных соединениях между PANI и FCC, и пониженном ESR, и, таким образом, повышенной проводимости устройства, что обеспечивает хорошую плотность мощности при высокой скорости заряда-разрядов, а также обеспечивает улучшение в отношении циклического ресурса суперконденсаторного устройства.

Расчеты

Емкость представляет собой способность тела сохранять электрический заряд. Несмотря на то что любой объект может быть электрически заряженным и проявлять емкость, тело с большой емкостью сохраняет больший электрический заряд при заданном напряжении, чем тело с низкой емкостью. В некоторых вариантах осуществления емкость измеряют в фарадах на грамм (Ф/г).

Удельная емкость устройства может быть рассчитана посредством измерений CD с применением следующего уравнения, где C_{sp} представляет собой удельную емкость, I представляет собой плотность тока при разряде (A), Δt представляет собой длительность разряда (с), m представляет собой массовую нагрузку (г) и ΔV представляет собой диапазон разности потенциалов (В).

$$C_{sp} = \frac{I \Delta t}{m \Delta V}$$

Удельная емкость устройства с нелинейной кривой CD может быть рассчитана с применением следующего уравнения, где C_{sp} представляет собой удельную емкость, I представляет собой плотность тока при разряде (A), Δt представляет собой длительность разряда (с) и V представляет собой диапазон разности потенциалов (В).

$$C_{sp} = \frac{2I \int V dt}{V^2}$$

Для достижения наивысшего рабочего диапазона разности потенциалов определяют массовое соотношение отрицательного электрода и положительного электрода в соответствии с теорией баланса заряда ($q^+ = q^-$).

Вольтамперометрические заряды (Q) могут быть рассчитаны на основании следующих уравнений, где C_{single} представляет собой удельную емкость (Ф/г) каждого электрода, измеренную в трехэлектродной установке (рассчитанная на основании циклических диаграмм вольтамперометрии при скорости сканирования 10 мВ·с⁻¹), ΔV представляет собой окно потенциала (В) и m представляет собой массу электрода (г).

$$Q = C_{single} \times \Delta V \times m$$

Для поддержания баланса заряда между двумя электродами необходимо, чтобы массовое соотношение между положительным (m^+) и отрицательным (m^-) электродами было следующим:

$$\frac{m^+}{m^-} = \frac{c^- \times \Delta V^-}{c^+ \times \Delta V^+}$$

Плотность энергии (ED) может быть получена на основании гальваностатических кривых разряда с

применением следующего уравнения, где C_{sp} представляет собой удельную емкость (Ф/г) и ΔV представляет собой диапазон разности потенциалов (В).

$$ED = \frac{C_{sp} \Delta V^2}{2}$$

Плотность мощности электрода рассчитывают на основании следующего уравнения, где ED представляет собой плотность энергии в Вт·ч/кг и Δt представляет собой время разряда.

$$PD = \frac{ED}{\Delta t}$$

Поверхностная емкость представляет собой емкость тела на единицу площади. В некоторых вариантах осуществления поверхностную емкость измеряют в фарадах на кубический сантиметр (Ф/см²).

Плотность тока соответствует электрическому току через площадь сечения, при этом определяется как вектор, величина которого соответствует электрическому току через площадь сечения в заданной точке пространства. В некоторых вариантах осуществления плотность тока измеряют в амперах на грамм (А/г).

Плотность энергии представляет собой меру количества энергии, которое хранится на единицу массы. В некоторых вариантах осуществления плотность энергии измеряют в ватт·ч на килограмм (Вт·ч/кг).

Плотность мощности представляет собой меру количества мощности, которое хранится на единицу массы. В некоторых вариантах осуществления плотность мощности измеряют в киловаттах на килограмм (кВт/кг).

Рабочие характеристики устройства

Электрохимические рабочие характеристики иллюстративного устройства на основе PANI-FCC показаны на фиг. 13А-Н. Как видно из графика CV на фиг. 13А, первоначальная CC характеризуется кривой с малой прямоугольной выраженностью с очень низкой емкостью. FCC характеризуется формой CV с прямоугольной выраженностью с более высокой способностью накопления заряда для EDLC, возможно, за счет того факта, что функционализация углеродной ткани повышает ее смачиваемость и, таким образом, облегчает адсорбцию и десорбцию заряда. Дополнительно иллюстративное устройство на основе PANI-FCC характеризуется большей прямоугольной выраженностью формы CV и, таким образом, соответствует более высоким емкостным характеристикам по сравнению с кривой CV для иллюстративного устройства на основе PANI-CC согласно фиг. 13С. Такое улучшение характеристик, скорее всего, связано с повышенным накоплением заряда иллюстративного PANI-FCC в его двухслойном механизме, смачиваемостью FCC и абсорбцией и десорбцией заряда. Дополнительно ясно, что окислительно-восстановительные пики PANI, которые являются определяющими для псевдоемкости устройства, охватываются емкостной частью, полученной из FCC, и при этом окислительно-восстановительные пики PANI, которые являются определяющими для псевдоемкости устройства, в значительной степени уменьшаются за счет электрической двухслойной емкости FCC.

Как видно на фиг. 13В, иллюстративное устройство на основе PANI-FCC проявляет более симметричную форму кривой CD и, таким образом, более высокие емкостные характеристики чем PANI-CC, кривая CD которого показана на фиг. 13А. Дополнительно на фиг. 13В представлено, что инфракрасный (ИК) спад на стадии разряда иллюстративного устройства на основе PANI-FCC значительно меньше инфракрасного (ИК) спада на стадии разряда иллюстративных устройств на основе FCC и CC, скорее всего, из-за повышенной смачиваемости углеродной подложки и более прочного соединения между PANI и FCC. Поскольку при функционализации CC может образовываться некоторое количество групп карбоновой кислоты с отрицательным зарядом, может происходить

электростатическое взаимодействие между группами карбоновой кислоты и ионами анилина при погружении FCC в полимеризационную жидкость. Таким образом, соединение между PANI и FCC прочнее, чем соединение между PANI и CC, и при этом большее количество PANI осаждается на FCC. Такое улучшение емкости, скорее всего, обусловлено повышенным взаимодействием между PANI и функциональными группами, находящимися на подложке из FCC.

При рассмотрении пиковых значений плотности тока согласно фиг. 13А и иллюстративных значений емкости на фиг. 13В емкость, проявляемая иллюстративным устройством на основе PANI-FCC, составляет приблизительно 667 Ф/г при плотности тока 1 А/г, при этом емкость иллюстративного устройства на основе PANI-CC составляет приблизительно 341 Ф/г при тех же условиях. Поскольку при кислотной обработке CC вводятся отрицательно заряженные карбоксильные функциональные группы на поверхности CC, погружение FCC в полимеризационную жидкость может приводить к электростатическому взаимодействию между группами карбоновой кислоты и положительно заряженными ионами анилина, что может привести к продукту с более сильной конъюгацией. Поэтому улучшение суперемкостных характеристик иллюстративного устройства на основе PANI-FCC может быть обусловлено объединенными эффектами улучшенного взаимодействия между PANI и функциональными группами, находящимися на подложке из FCC (т.е. более быстрым обменом электронов между PANI и FCC), а также окислительно-восстановительной активностью функциональных групп самих по себе.

Диаграммы Найквиста и Боде показаны на фиг. 13С и 13D соответственно, для иллюстративных

устройств на основе CC, FCC, PANI-CC и PANI-FCC, работающих при напряжении холостого хода. Согласно фиг. 13С иллюстративное устройство на основе PANI-FCC характеризуется более низким эквивалентным последовательным сопротивлением, рассчитанным по отрезку на оси x , по сравнению с иллюстративной PANI-CC, что подтверждает низкий ИК-перепад измерений, показанных на фиг. 13В. Диаграмма Боде, согласно фиг. 13D, иллюстративного устройства на основе PANI-CC также характеризуется большим фазовым углом, подтверждающим более низкое сопротивление устройства, как наблюдается на диаграмме Найквиста на фиг. 13С.

Дополнительно, измерения при скоростях сканирования, представленные на фиг. 13Е с 10 мВ/с до 1000 мВ/с, показали, что иллюстративное устройство на основе PANI-FCC сохраняет подобную форму кривой CV при высокой скорости сканирования, составляющей 200 мВ/с, что указывает на хорошую скоростную способность, которая подтверждается графиками CD на фиг. 13F. Большой поровый объем, который может быть заполнен редокс-активным электролитом, позволяет накапливать заряд как посредством адсорбции, так и посредством окислительно-восстановительной емкости. Как предполагалось, вещества-электролиты легко поступают через поверхности и выступают на поверхностях электродов и через поры иллюстративного устройства на основе PANI-FCC при низких значениях скорости сканирования, приводя в результате к ожидаемой кривой ответа с прямоугольной выраженностью. По мере повышения скорости сканирования взаимодействие между веществами-электролитами и поверхностями электродов теоретически ограничено кинетическими параметрами и параметрами массообмена.

В таком случае большая часть поверхности подложки характеризуется малым динамическим взаимодействием с электролитом, что, вероятно, приводит к кривой CV без прямоугольной выраженности и под углом. Подобные графики примеров CD при различных значениях плотности тока (1-50 А/г), как показано на фиг. 13F, выступают в качестве дополнительного показателя хорошей скоростной способности иллюстративного устройства.

Иллюстративное устройство на основе PANI-FCC также сохраняет свои электрохимические характеристики, даже при высоких скоростях CD. На фиг. 13G показаны значения удельной емкости в зависимости от плотности тока иллюстративного устройства на основе PANI-FCC по сравнению с иллюстративным устройством на основе PANI-CC. Скоростная способность иллюстративного симметричного устройства, испытанная при различных значениях плотности тока от 1 до 50 А/г, демонстрирует превосходную удельную емкость 274 Ф/г при плотности тока 50 А/г. Удельная емкость иллюстративного устройства на основе PANI-FCC (верхняя кривая) при 20 и 50 А/г составляет не более приблизительно 56% и приблизительно 41% таковой при 1 А/г соответственно. Такие результаты демонстрируют хорошую скоростную способность иллюстративного устройства на основе PANI-FCC при высоких значениях плотности тока, что является важным в областях практического применения высокоскоростных SC.

Сохранение емкости с течением длительных циклов заряд/разряд является неотъемлемым для применяемых на практике материалов для SC. Емкость иллюстративного устройства на основе PANI-FCC измеряют во время циклических CD в диапазоне значений плотности тока (1, 2, 5, 10 и 20 А/г) в течение 5000 циклов, согласно фиг. 13H, при этом емкость иллюстративного устройства при плотности тока 1 А/г повышается во время первых 200 циклов, и при этом емкость иллюстративного устройства снижается в период от 1000 до 5000 циклов. После 200 циклов при плотности тока 1 А/г удельная емкость иллюстративного устройства снижается, и в конце 1000-го цикла иллюстративное устройство обеспечивает приблизительно 91% его исходной удельной емкости, составляющей 667 Ф/г. Наконец, иллюстративное устройство характеризуется сохранением емкости на приблизительно 87% в течение 5000 циклов, что указывает на хорошую способность выдерживать периодически повторяющиеся воздействия. Вставка на фиг. 13H дополнительно характеризует 1-й и 5000-й циклы иллюстративного электрода на основе PANI-FCC при 1 А/г.

Согласно фиг. 14 примеры кривых CD показаны для иллюстративного устройства на основе PANI-FCC при различных значениях силы тока для расчета его поверхностной емкости. Поверхностная емкость иллюстративной контактной группы составляет приблизительно 374 мФ/см² при 7 мА/см² (эквивалентном току 1 А/г).

После функционализации иллюстративную FCC обжигают в печи в атмосфере воздуха при 200°C в течение 1 ч, 4 ч или 7 ч, при этом иллюстративное устройство на основе PANI-(необожженной) FCC характеризуется значительно более высоким временем разряда по сравнению с иллюстративным устройством на основе PANI-(обожженной) FCC. Как показано на фиг. 15A, увеличение времени обжига увеличивает время разряда иллюстративного устройства на основе PANI-FCC без влияния на его емкость, скорее всего, из-за того факта, что обжиг приводит к снижению числа, и, таким образом, псевдоемкости, функциональных групп, находящихся на CC. Дополнительно на фиг. 15B изображено, что увеличение времени обжига приводит к уменьшению полукруга на участке с высокой частотой, что указывает на снижение сопротивления переносу заряда, скорее всего, из-за того факта, что по мере уменьшения количества функциональных групп на FCC во время обжига повышается электропроводность FCC. Поэтому обжиг иллюстративного устройства на основе FCC приводит к снижению функциональной псевдоемкости, повышению электропроводности и снижению сопротивления иллюстративного устройства. Период обжига, по-видимому, не влияет на емкость иллюстративного устройства.

Характеристики иллюстративного устройства при постоянном механическом напряжении характеризуют его способность выполнять функцию гибкого устройства накопления энергии. На фиг. 16А показано, что сопротивление иллюстративного устройства на основе PANI-FCC снижается при механическом напряжении из плоского состояния при 0° в изогнутое состояние при 180° . Дополнительно, на фиг. 16В представлено, что сопротивление устройства согласно данному примеру сохраняется в пределах приблизительно 4%, поскольку его изгибают из его плоского в его свернутое состояние в течение 1000 циклов. Иллюстративное устройство в состоянии сразу после получения проявляет высокую эластичность и может быть изогнуто на 180° без потери характеристик. Дополнительно, согласно фиг. 16С иллюстративное устройство на основе PANI-FCC сохраняет прямоугольную выраженность формы его кривой CV и емкость в его свернутом состоянии. Такие превосходные характеристики износостойкости иллюстративного устройства могут быть обусловлены высокой механической эластичностью электродов и прочными соединениями между FCC и PANI и подтверждают тот факт, что такое устройство подходит для гибкого применения.

На фиг. 17А-Д представлены электрохимические характеристики иллюстративного асимметричного устройства, содержащего положительный электрод на основе PANI-FCC, отрицательный электрод на основе активированного угля и электролит в виде 1 М H_2SO_4 . Согласно измерению примера, показанному на фиг. 17А, электрод на основе АС характеризуется предварительно определенным окном потенциала, составляющим 1,2 В (от -0,6 до 0,6 В), которое ограничено окислительно-восстановительным диапазоном воды в отношении выделения H_2 . На фиг. 17В и 17С показаны CV и CD вышеуказанного иллюстративного устройства при 50 мВ/с и 1 А/г соответственно, при этом окно потенциала для асимметричного устройства продолжается до окисления стенки водным электролитом, составляющим 1,3 В, за пределами функциональных возможностей электрода на основе АС.

Плотность мощности и плотность энергии представляют собой два основных параметра, применяемых для оценки характеристик суперконденсаторного устройства. На Фиг. 17D изображен график Раго-ни, на котором сравнивают значения плотности энергии и значения плотности мощности иллюстративного симметричного и асимметричного устройств на основе PANI-FCC в диапазоне значений плотности тока от 1 А/г до 50 А/г. Согласно фиг. 17D максимальная плотность энергии иллюстративного симметричного устройства составляет приблизительно 59 Вт·ч/кг, которая снижается до приблизительно 24 Вт·ч/кг по мере повышения плотности мощности от приблизительно 0,4 кВт/кг до приблизительно 20 кВт/кг. Плотность энергии и мощности иллюстративного асимметричного устройства повышается до приблизительно 91 и 33 Вт·ч/кг соответственно.

На фиг. 23А и 23В представлены варианты применения иллюстративного устройства, при этом два асимметричных устройства PANI-FCC//АС соединены последовательно, успешно питают красный светодиодный индикатор 2101 диаметром 5 мм в течение приблизительно 47 мин и часы 2102 в течение 1 ч и 17 мин соответственно.

NQ представляет собой эффективный редокс-активный электролит, который способен обеспечить дополнительные окислительно-восстановительные реакции. В одном варианте осуществления электрохимические характеристики иллюстративного асимметричного суперконденсаторного устройства на основе PANI//АС со смешанным гелеобразным электролитом на основе 1 М H_2SO_4 +10 ммоль/л NQ показаны на фиг. 18А-Е, при этом добавление NQ приводит к продолжению измеренного окна потенциала. Кривые CV иллюстративного асимметричного устройства на основе PANI//АС с электролитом на основе NQ при различных диапазонах напряжения и при 100 мВ/с показаны на фиг. 18А, при этом значения окна потенциала, как видно, продолжают до 1,7 В. Взаимосвязь между окном потенциала и емкостью иллюстративного устройства видна на вставке на фиг. 18А, при этом окно потенциала 1,4 В обеспечивает наивысшую емкость. На фиг. 18В показано, что введение смешанного электролита на основе H_2SO_4 +NQ в иллюстративное устройство обеспечивает увеличение интегрированной площади при циклической вольтамперометрии по сравнению с электролитом на основе H_2SO_4 . Диаграммы Найквиста для устройств на основе PANI//АС в смешанных и однородных электролитах согласно фиг. 18С также подтверждают, что иллюстративное устройство на основе PANI//АС в смешанном электролите проявляет более низкое эквивалентное последовательное сопротивление, составляющее 2,5 Ω , по сравнению с таковым для однородного электролита (3,1 Ω), вследствие высокой электропроводности электролита. Поскольку иллюстративное устройство на основе PANI//АС в смешанном электролите дополнительно характеризуется меньшим полукругом на участке с высокой частотой согласно графику на вставке по сравнению с устройством на основе PANI//АС в электролите на основе H_2SO_4 , устройство со смешанными электродами характеризуется более высокой емкостью. Дополнительно, поскольку эквивалентное последовательное сопротивление иллюстративного устройства на основе PANI//АС в электролите на основе H_2SO_4 +NQ согласно измерениям на фиг. 18С является более низким по сравнению с расчетным эквивалентным последовательным сопротивлением иллюстративного устройства на основе PANI//АС без NQ, более низкое сопротивление переносу заряда NQ может обеспечить улучшение в отношении емкости устройства за счет усиленного переноса электронов. Появление горизонтального участка на кривой разряда иллюстративного устройства со смешанным электролитом при различных значениях плотности тока согласно фиг. 18D под-

тверждает вклад NQ в отношении повышения времени разряда до приблизительно 2000 с при плотности тока 2 А/г. Как рассчитано согласно значениям на фиг. 18D, добавление 10 ммоль/л 1,4-нафтохинона (NQ) в 1 М H₂SO₄ обеспечивает получение смешанного электролита и иллюстративного устройства, которое характеризуется удельной емкостью приблизительно 3200 Ф/г при плотности тока 1 А/г и плотности энергии приблизительно 827 Вт·ч/кг, работающего более чем в 8 раз лучше по сравнению с иллюстративным устройством при отсутствии NQ.

На вставке на фиг. 18D и фиг. 18E показана кривая CD иллюстративного устройства на основе смешанных электродов при плотности тока 50 А/г и расчетной емкости в зависимости от плотности тока соответственно, на которой отмечена высокая скоростная способность и емкость, составляющая 671 Ф/г. Наконец, на фиг. 18F показаны графики Рагони иллюстративного устройства в присутствии NQ и без него в электролите, при этом отмечается 8-кратный положительный эффект NQ в отношении плотности энергии.

Добавление NQ способно не только обеспечивать повышение емкости редокс-активных электродов на основе PANI, но также обеспечивает улучшение емкости материалов с EDLC, таких как активированные угли. На фиг. 19A показана диаграмма циклической вольтамперометрии иллюстративного устройства, содержащего электрод на основе активированного угля в гелеобразном окислительно-восстановительном электролите на основе PVA/H₂SO₄, которая демонстрирует исключительную емкость, составляющую приблизительно 13456 Ф/г. Поскольку активированный уголь, который при высоком перенапряжении приводит к выделению водорода, может работать при более отрицательных значениях напряжения, не вызывая разложения электролита, иллюстративный асимметричный суперконденсатор характеризуется продолжением диапазона напряжений и регулируемой емкостью при зарядке за счет окислительно-восстановительного электролита, который воздействует на отрицательный и положительный электроды одновременно. На фиг. 19B показаны кривые CD иллюстративного асимметричного AC-FCC и электроды на основе PANI-FCC в 3Е-ячеистой (трехуровневой) конфигурации при плотности тока 10 А/г, результаты которой согласуются с таковыми для экспериментов в отношении CV. На фиг. 19C изображено, что иллюстративное устройство характеризуется длительным временем разряда, составляющим приблизительно 2000 с при плотности тока 2 А/г. Появление нового горизонтального участка на кривой разряда может подтвердить вклад NQ в отношении емкости иллюстративного устройства. На вставке фиг. 19C продемонстрирована кривая CD устройства при очень высокой плотности тока (100 А/г), раскрывающая высокую скоростную способность устройства на основе AC-FCC//PANI-FCC в присутствии NQ.

УСТРОЙСТВО	ЭЛЕКТРОЛИТ	ЕМКОСТЬ (Ф/г)	ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ (Вт·ч/кг)	НАПРЯЖЕНИЕ (В)
CC//CC	H ₂ SO ₄	8	0,7	0,8
FCC//FCC	H ₂ SO ₄	126	11,2	0,8
PANI//PANI	H ₂ SO ₄	480	42,6	0,8
	0,5 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (жидкость)	691	61,4	0,8
	10 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (гель)	710	63,1	0,8
PANI//AC	H ₂ SO ₄	276	64,8	1,3
	0,5 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (жидкость)	383	76,6	1,2
	H ₂ SO ₄ (гель)	314	62,8	1,2
	10 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (гель)	5661 при 2 А/г	1 541	1,4
PANI//PANI//PANI	10 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (гель)	10706 при 10 А/г	—	—1
AC//AC//AC	10 мМ NQ-в-H ₂ SO ₄ (гель)	13 456 при 10 А/г	—	—1,1

На фиг. 20A показаны характеристики иллюстративного асимметричного суперконденсатора, содержащего положительный электрод на основе PANI-FCC и отрицательный электрод на основе AC-FCC в кислотно-полимерном гидрогелеобразном электролите, с редокс-добавкой и без нее. Данный асиммет-

ричный суперконденсатор обходит низкое по своей природе напряжение симметричных устройств на основе полианилина (0,8 В) и расширяет рабочий диапазон напряжений до 1,4 В. Кроме того, интегрированная площадь диаграммы циклической вольтамперометрии явно в значительной степени больше в присутствии редокс-добавки. Кривые заряда и разряда на фиг. 20В демонстрируют время разряда, составляющее приблизительно 6000 с, при плотности тока 1,88 А/г, при этом в отсутствие NQ то же самое устройство разряжается лишь за 185 с. Другими словами, удельная емкость устройства в присутствии NQ составляет приблизительно 5661 Ф/г (2,3 Ф/см²) при плотности тока 1,88 А/г, что более чем в 20 раз больше по сравнению с таковой в отсутствие NQ.

На фиг. 20С показано, что устройство сохраняет высокую удельную емкость даже при очень высоких значениях плотности тока, составляющих не более 94 А/г, раскрывая высокую скоростную способность иллюстративного устройства на основе AC-FCC//PANI-FCC в присутствии NQ.

Дополнительно циклические заряд/разряд (GCD) устройства на основе AC-FCC//PANI-FCC при плотности тока 47 А/г согласно фиг. 20D указывают на 84% сохранение емкости в течение 7000 циклов.

На фиг. 21 представлена иллюстративная взаимосвязь между плотностью мощности и плотностью энергии иллюстративных симметричного и асимметричного устройств в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. Иллюстративный окислительно-восстановительный суперконденсатор, сконструированный в соответствии с настоящим изобретением, демонстрирует исключительную плотность энергии, составляющую 1541 Вт·ч/кг в пересчете на массу только активных материалов.

Примеры

В одном примере иллюстративная электрохимическая ячейка имеет контур, составляющий приблизительно 1 см², и толщину, составляющую приблизительно 1 мм, таким образом, охватывая объем 0,005 см³. В данном примере состав иллюстративной электрохимической ячейки показан ниже.

	Масса (г)	Плотность (г/см ³)	Объем (см ³)
CC	0,005	1,55	0,0032
PANI	0,0001	1,33	7,54 ×10 ⁻⁵
AC	0,0001	0,5	0,0002
NQ	0,000085	1,42	5,99 ×10 ⁻⁵

В данном примере электрохимической ячейки по SEM-изображениям согласно фиг. 5А, на которых изображены нанотрубки из PANI, имеющие пористость, составляющую приблизительно 28,4%, фактический объем PANI рассчитывают как равный приблизительно 1,0×10⁻⁴ см³. Дополнительно в данном примере иллюстративная электрохимическая ячейка характеризуется емкостью, напряжением и энергией, составляющими приблизительно 1,14 Ф, 1,4 В и 0,0003 Вт соответственно. Дополнительно на фиг. 22 представлены значения удельной и объемной плотности асимметричного устройства на основе PANI//AC с окислительно-восстановительным электролитом на основе NQ и углеродной тканью, нормализованные по массе и объему электродов (1554 Вт·ч/кг, 1019 Вт·ч/л), по массе и объему электродов и окислительно-восстановительного электролита (1091 Вт·ч/кг, 851 Вт·ч/л) и по массе и объему электродов, окислительно-восстановительного электролита и углеродной ткани (59 Вт·ч/кг, 87 Вт·ч/л).

Термины и определения

Если не указано иное, все технические термины, применяемые в данном документе, имеют то же значение, которое обычно понятно специалисту в области техники, к которой относится устройство, описанное в настоящем документе. Используемые в настоящем описании и прилагаемой формуле изобретения формы единственного числа включают ссылки на множественное число, кроме тех случаев, когда контекст явно подразумевает иное. Любой ссылка на "или" в данном документе предназначена для охвата "и/или", если не указано иное.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин AC относится к активированному углю.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин CC относится к углеродной ткани.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин FCC относится к функционализированной углеродной ткани.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин PANI относится к полианилину.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин PANI-CC относится к углеродной ткани, на которой были синтезированы полианилиновые структуры.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин PANI-FCC относится к функционализированной углеродной ткани, на которой были синтезированы полианилиновые структуры.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин SDS относится к додецилсульфату натрия.

Применяемая в данном документе, и если не указано иное, диаграмма CV относится к диаграмме циклической вольтамперометрии.

Применяемая в данном документе, и если не указано иное, диаграмма CD относится к диаграмме заряд-разряд.

Если в настоящем документе были показаны и описаны предпочтительные варианты осуществления способов и устройств в соответствии с настоящим изобретением, представленных в данном документе, для специалистов в данной области техники будет явным, что такие варианты осуществления представлены лишь в качестве примера. Специалистами в данной области техники будут внесены множество вариаций, изменений и замещений без отступления от способов и устройств, представленных в данном документе. Следует понимать, что различные альтернативы вариантов осуществления способов и устройств, представленных, описанных в настоящем документе, могут быть использованы при применении на практике способов и устройств, представленных в данном документе. Предполагается, что следующая формула изобретения определяет объем способов и устройств, представленных в данном документе, и при этом способы и структуры тем самым охватываются в пределах объема такой формулы изобретения и ее эквивалентов.

Применяемый в данном документе, и если не указано иное, термин "приблизительно" или "примерно" означает приемлемую погрешность для определенной величины, определенную специалистом в данной области техники, которая частично зависит от того, как измеряют или определяют величину. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 1, 2, 3 или 4 стандартных отклонения. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 30, 25, 20, 15, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05% от заданной величины или диапазона.

В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 нм от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 мФ/см² от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05 В от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 Ф/г от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 100, 80, 60, 40, 20, 15, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05 Вт·ч/кг от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 40°C, 30°C, 20°C, 10°C, 9°C, °C, 8°C, 7°C, 6°C, 5°C, 4°C, 3°C, 2°C или 1°C от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 мин от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 ч от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 40,0, 30,0, 20,0, 10,0, 5,0, 1,0, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1 г, 0,05 или 0,01 г от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 30,0, 20,0, 10,0, 5,0, 1,0, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1 А/г от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 20, 15, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05 кВт/кг от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05 л. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 30,0, 20,0, 10,0, 5,0, 1,0, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1 мл от заданной величины или диапазона. В некоторых вариантах осуществления термин "приблизительно" или "примерно" предусматривает 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,1 или 0,05 М от заданной величины или диапазона.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Суперконденсатор, содержащий

два или более электродов, причем по меньшей мере один электрод представляет собой электрод на основе углерода, содержащий функционализированную углеродную подложку с полыми нанотрубками, расположенными на указанной функционализированной углеродной подложке и выполненными из проводящего полимера;

токосъемник и

окислительно-восстановительный электролит.

2. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что

функционализированная углеродная подложка содержит углеродную ткань, углеродное волокно, аморфный углерод, стекловидный углерод, углеродную нанопену, углеродный аэрогель, графеновую пену или любую их комбинацию; и тем, что

проводящий полимер представляет собой полианилин, поли(п-фениленоксид), поли(п-фениленсульфид), поли(3,4-этилендиокситиофен), полипиррол, политиофен, поли(3-алкитиофен), по-

ли(3-метилтиофен), поли(3-гексилтиофен) или любую их комбинацию.

3. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть указанных полых нанотрубок имеет длину от 100 до 10000 нм.

4. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть указанных полых нанотрубок имеет наружную ширину от 10 до 1000 нм.

5. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть указанных полых нанотрубок имеет внутреннюю ширину от 50 до 800 нм.

6. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что поверхность по меньшей мере части указанных полых нанотрубок содержит наноструктуру.

7. Суперконденсатор по п.6, отличающийся тем, что указанная наноструктура представляет собой наностержень, наноцепь, нановолокно, наночешуйку, наноцветок, наночастицу, нанопластинку, нанополосу, нанокольцо, нанолист или любую их комбинацию.

8. Суперконденсатор по п.6, отличающийся тем, что указанная наноструктура имеет длину от 4 до 400 нм.

9. Суперконденсатор по п.6, отличающийся тем, что указанная наноструктура имеет ширину от 4 до 50 нм.

10. Суперконденсатор по п.2, отличающийся тем, что электрод на основе углерода характеризуется поверхностной емкостью, составляющей по меньшей мере от 150 до 750 мФ/см².

11. Суперконденсатор по п.2, отличающийся тем, что электрод на основе углерода характеризуется сопротивлением, которое снижается после 1000 циклов сгибания не более чем на 8%.

12. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что окислительно-восстановительный электролит содержит хинон.

13. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что суперконденсатор характеризуется рабочей разностью потенциалов от 0,1 до 1,7 В.

14. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что суперконденсатор характеризуется удельной емкостью, которая после 1000 циклов зарядки снижается не более чем на 26%.

15. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что суперконденсатор характеризуется удельной емкостью, которая составляет от 125 до 20000 Ф/г.

16. Суперконденсатор по п.1, отличающийся тем, что суперконденсатор характеризуется удельной плотностью энергии, которая составляет от 12 до 3000 Вт·ч/кг.

17. Способ изготовления суперконденсатора, содержащего электрод на основе углерода, по любому из пп.1-16, включающий

а) функционализацию указанной углеродной подложки с образованием функционализированной углеродной подложки, включающую

i) образование раствора для функционализации, содержащего кислоту,

ii) нагревание раствора для функционализации по меньшей мере до 30°C,

iii) размещение углеродной подложки в растворе для функционализации для получения функционализированной углеродной подложки,

iv) охлаждение раствора для функционализации и

v) ополаскивание функционализированной углеродной подложки;

б) подготовку функционализированной углеродной подложки, включающую

i) погружение функционализированной углеродной подложки в раствор растворителя и

ii) высушивание функционализированной углеродной подложки;

в) приготовление жидкости для нанесения полимера, содержащей

i) проводящий полимер,

ii) кислоту,

iii) детергент,

iv) воду и

v) окислитель;

г) формирование полых нанотрубок на функционализированной углеродной подложке с получением электрода на основе углерода для суперконденсатора;

е) добавление окислительно-восстановительного электролита к электроду на основе углерода.

18. Способ по п.17, отличающийся тем, что нагревание раствора для функционализации осуществляют при температуре от 30 до 120°C.

19. Способ по п.17, отличающийся тем, что нагревание раствора для функционализации осуществляют в течение периода времени от 60 до 240 мин.

20. Способ по п.17, дополнительно включающий стадию обжига функционализированной углеродной подложки перед подготовкой функционализированной углеродной подложки.

21. Способ по п.20, отличающийся тем, что функционализированную углеродную подложку отжигают при температуре от 100 до 400°C.

22. Способ по п.20, отличающийся тем, что функционализированную углеродную подложку отжи-

гают в течение периода времени от 0,5 до 14 ч.

23. Способ по п.17, отличающийся тем, что подготовка функционализированной углеродной подложки дополнительно включает обработку с помощью ультразвука функционализированной углеродной подложки в растворе растворителя.

24. Способ по п.23, отличающийся тем, что обработку с помощью ультразвука осуществляют в течение периода времени от 15 до 60 мин.

25. Способ по п.17, отличающийся тем, что высушивание осуществляют при температуре от 30 до 120°C.

26. Способ по п.17, отличающийся тем, что высушивание осуществляют в течение периода времени от 3 до 12 ч.

27. Способ по п.17, отличающийся тем, что приготовление указанной жидкости для нанесения полимера дополнительно включает перемешивание полимеризационного раствора.

28. Способ по п.17, отличающийся тем, что проводящий полимер представляет собой полианилин, поли(п-фениленоксид), поли(п-фениленсульфид), поли(3,4-этилендиокситиофен), полипиррол, политиофен, поли(3-алкитиофен), поли(3-метилтиофен), поли(3-гексилтиофен) или любую их комбинацию.

29. Способ по п.27, отличающийся тем, что перемешивание полимеризационного раствора осуществляют в течение периода времени от 10 до 40 мин.

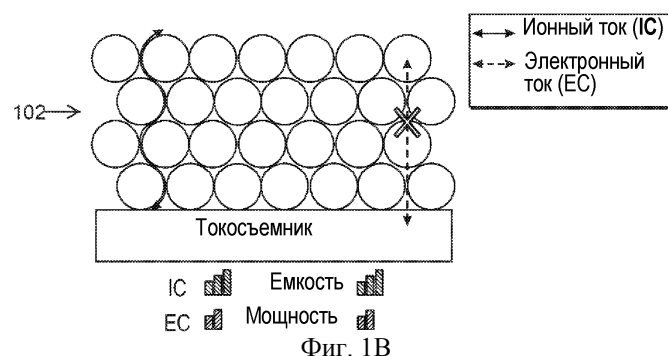
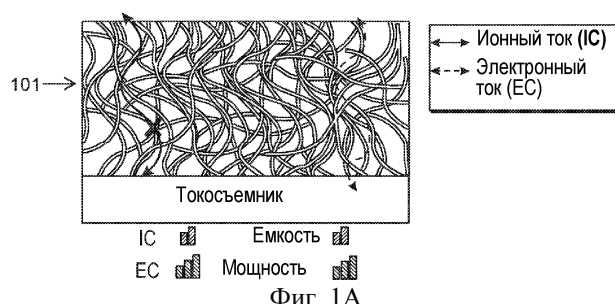
30. Способ по п.17, отличающийся тем, что формирование указанных полых нанотрубок на функционализированной углеродной подложке включает

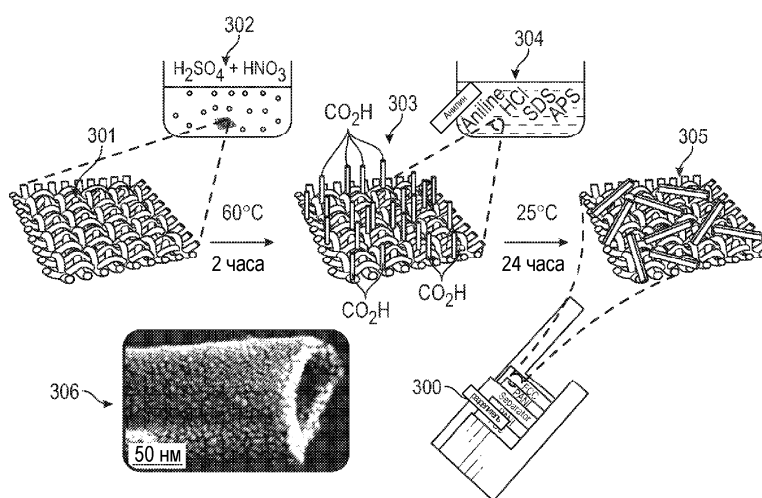
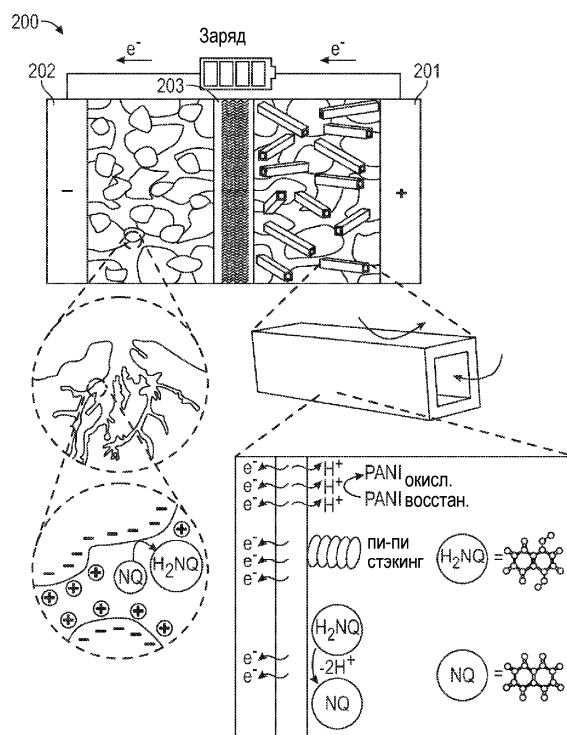
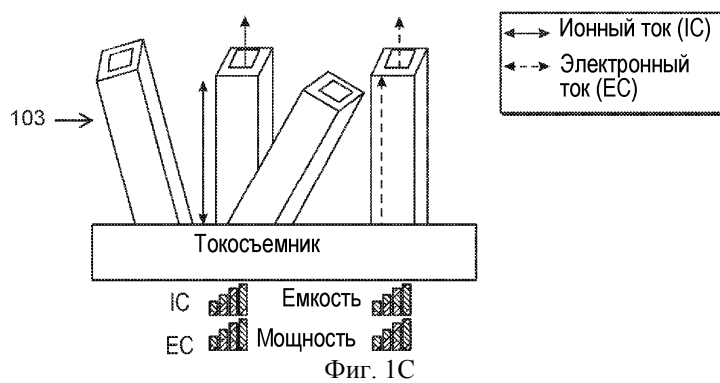
- i) встряхивание жидкости для нанесения полимера;
- ii) погружение функционализированной углеродной подложки в жидкость для нанесения полимера;
- iii) выдерживание функционализированной углеродной подложки в жидкости для нанесения полимера;
- iv) удаление указанной функционализированной углеродной подложки из жидкости для нанесения полимера;
- v) промывание функционализированной углеродной подложки;
- vi) высушивание функционализированной углеродной подложки.

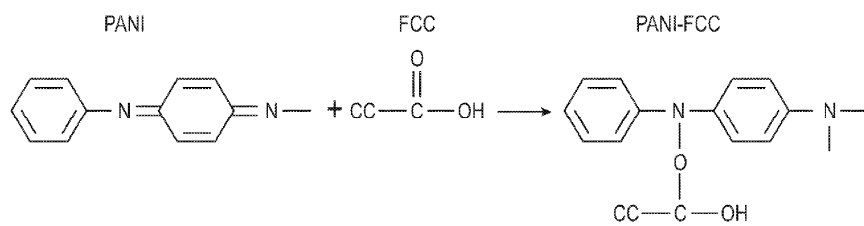
31. Способ по п.30, отличающийся тем, что выдерживание функционализированной углеродной подложки в жидкости для нанесения полимера осуществляют при температуре от 10 до 50°C.

32. Способ по п.30, отличающийся тем, что выдерживание функционализированной углеродной подложки в жидкости для нанесения полимера осуществляют в течение периода времени, составляющего по меньшей мере 8 ч.

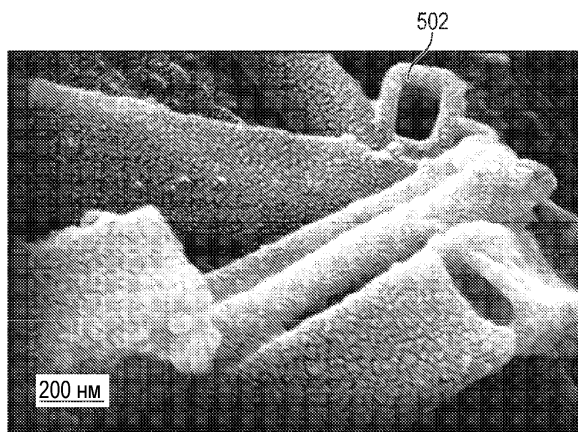
33. Способ по п.30, отличающийся тем, что высушивание функционализированной углеродной подложки осуществляют при температуре от 30 до 120°C.



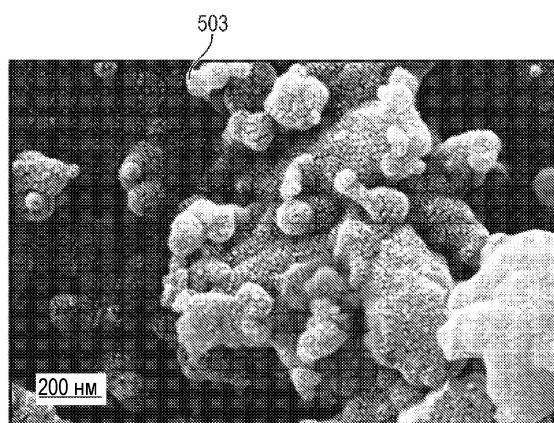




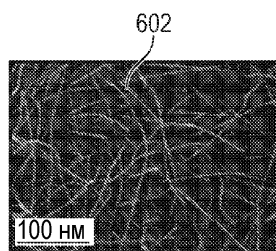
Фиг. 4



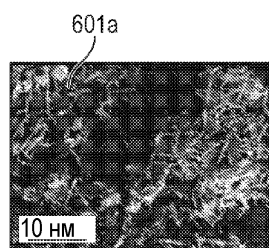
Фиг. 5A



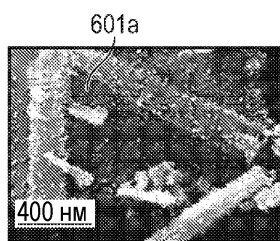
Фиг. 5B



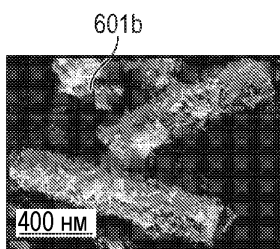
Фиг. 6A



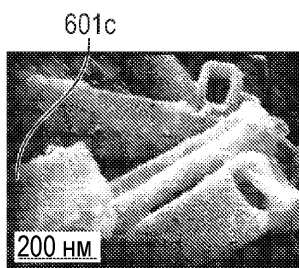
Фиг. 6B



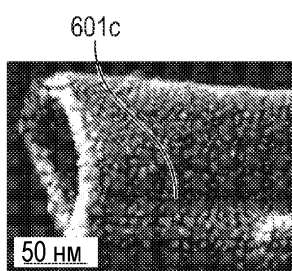
Фиг. 6C



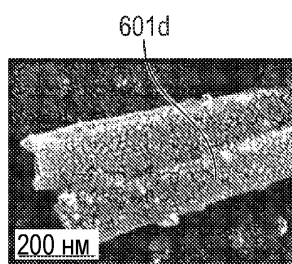
Фиг. 6D



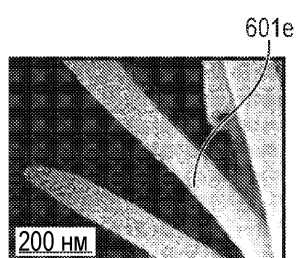
Фиг. 6E



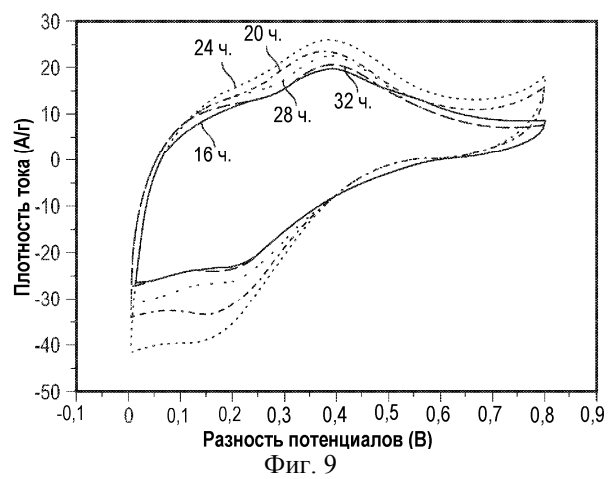
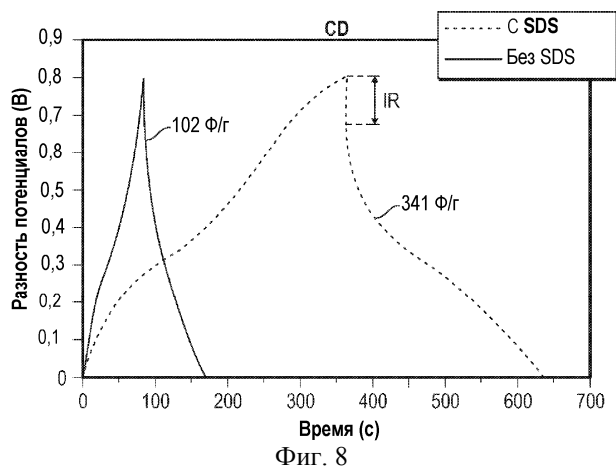
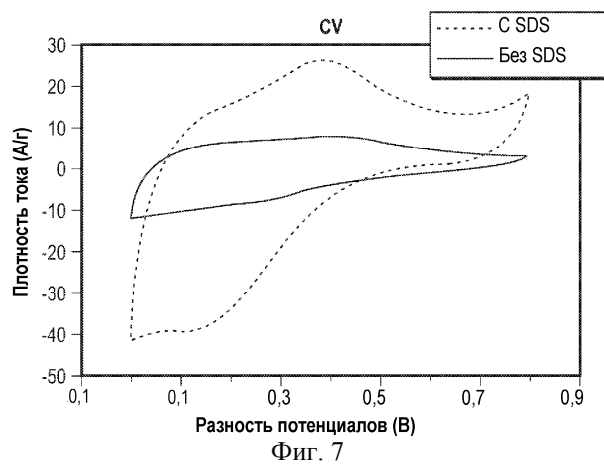
Фиг. 6F

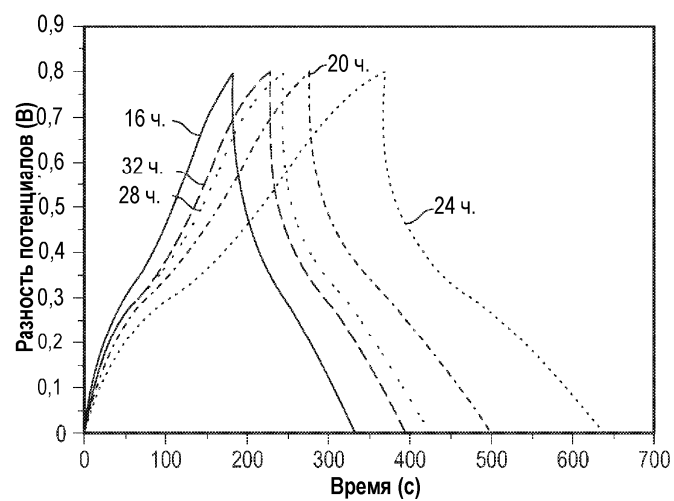


Фиг. 6G

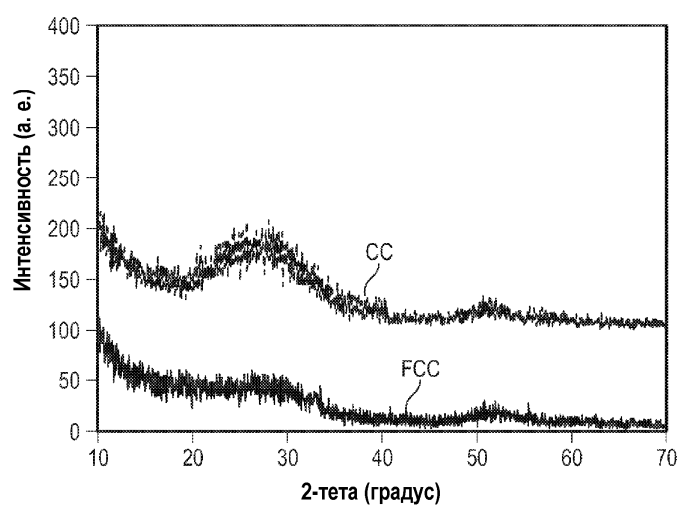


Фиг. 6H

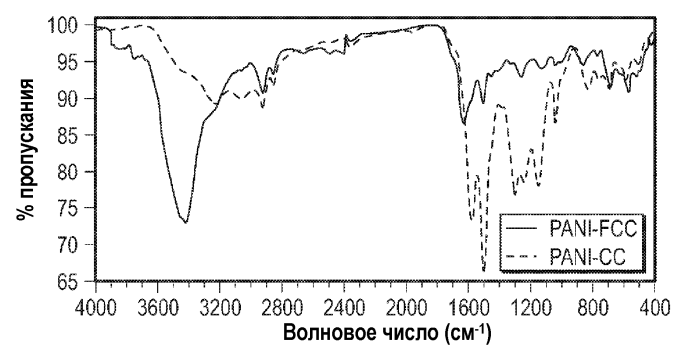




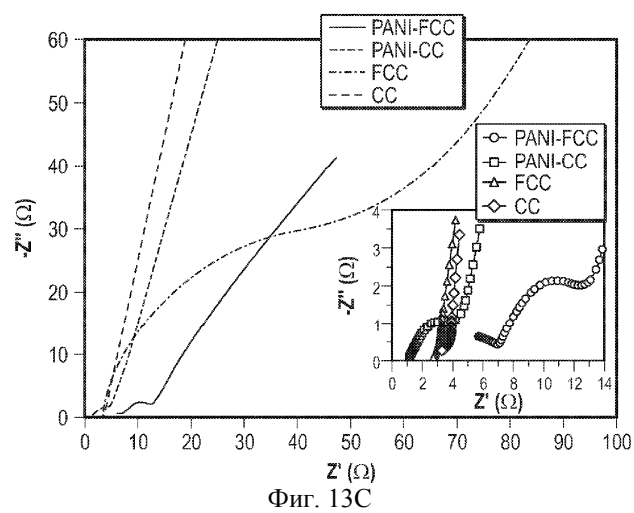
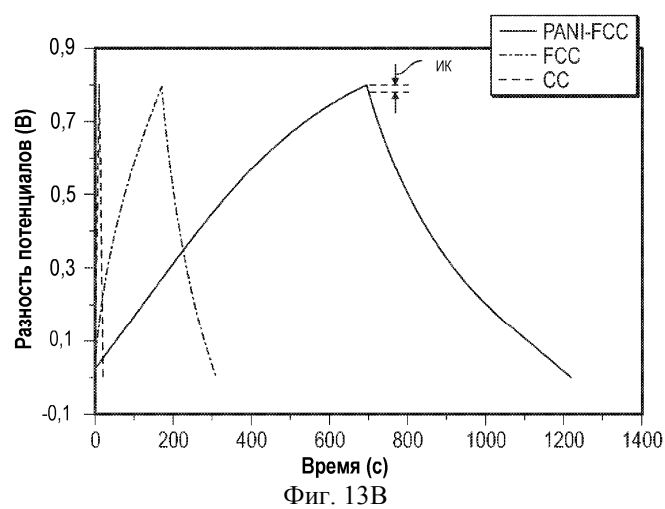
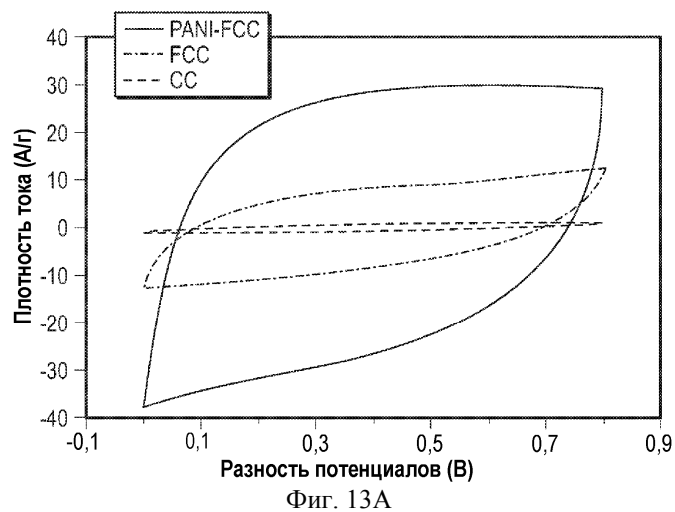
Фиг. 10

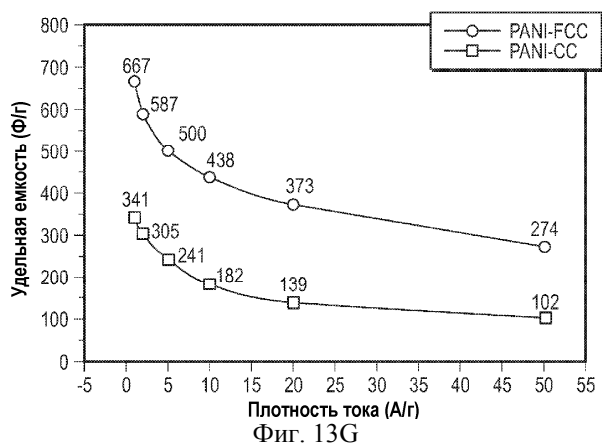
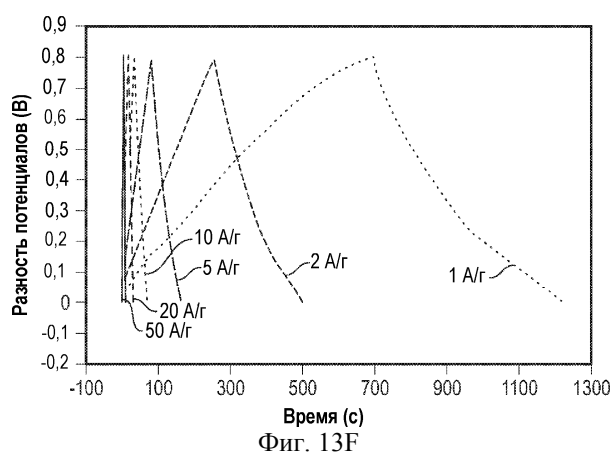
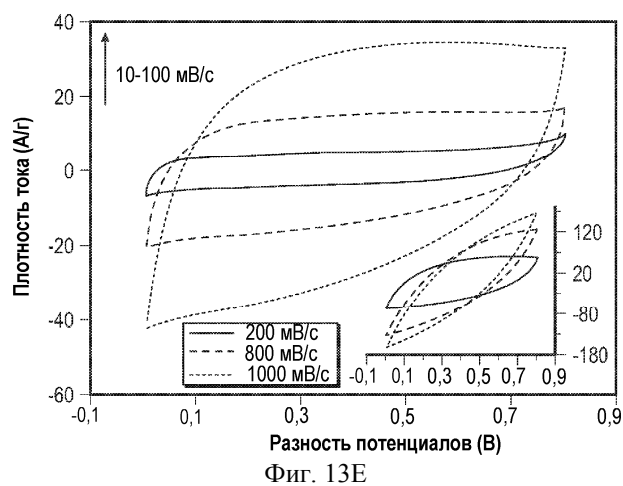
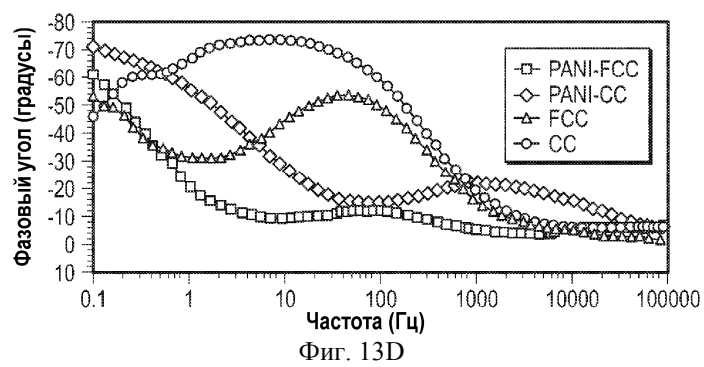


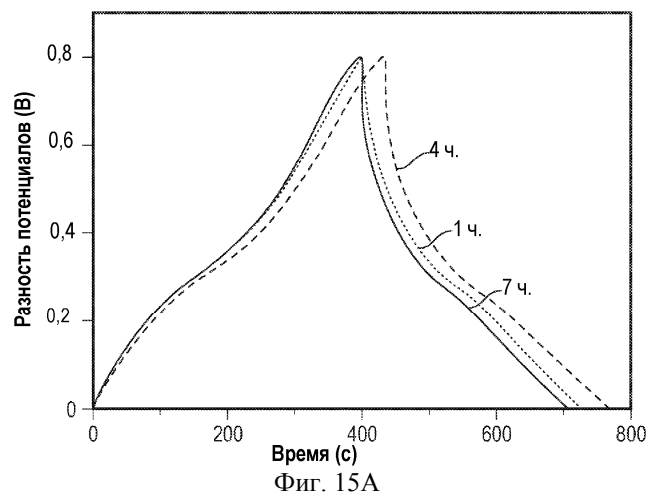
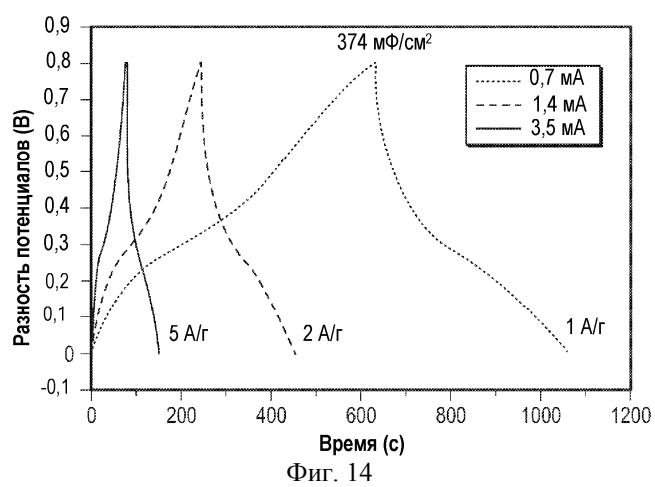
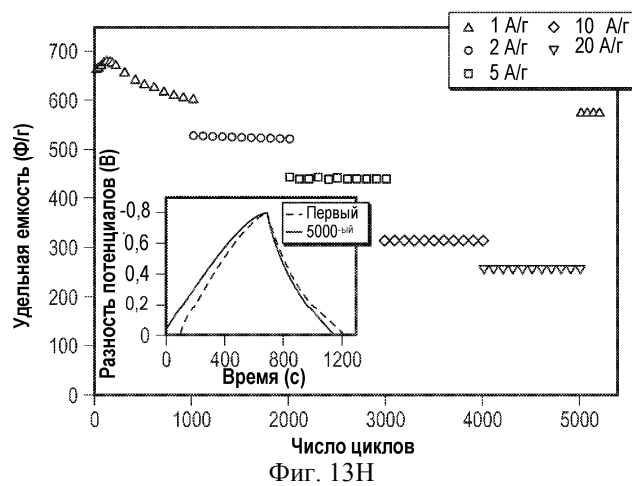
Фиг. 11

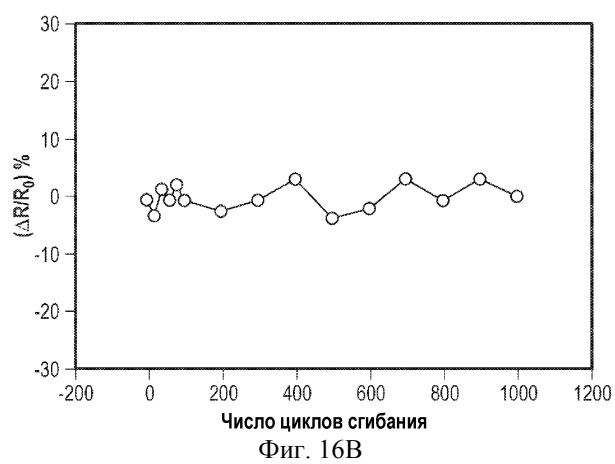
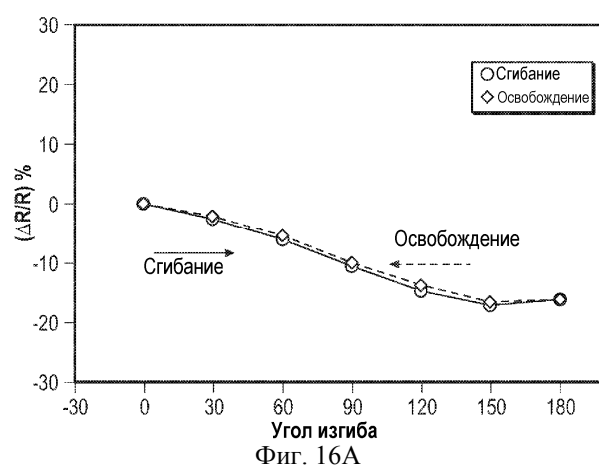
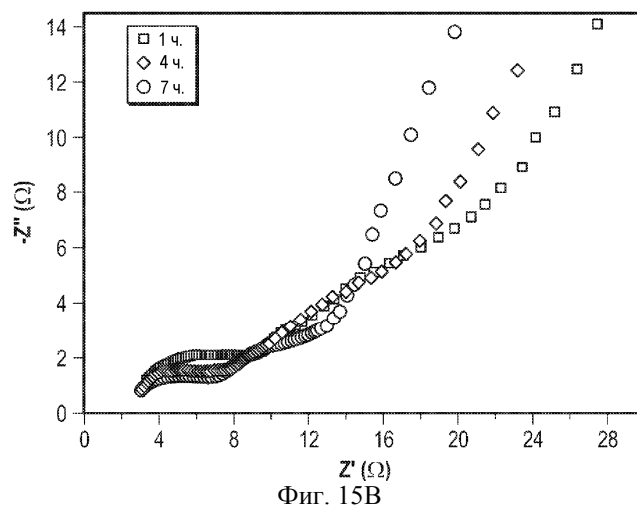


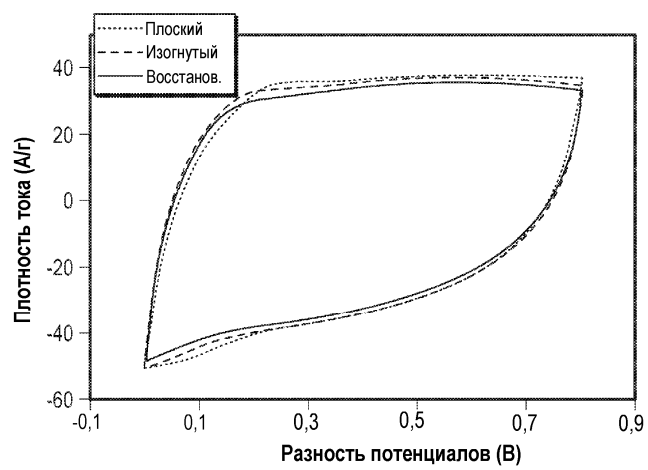
Фиг. 12



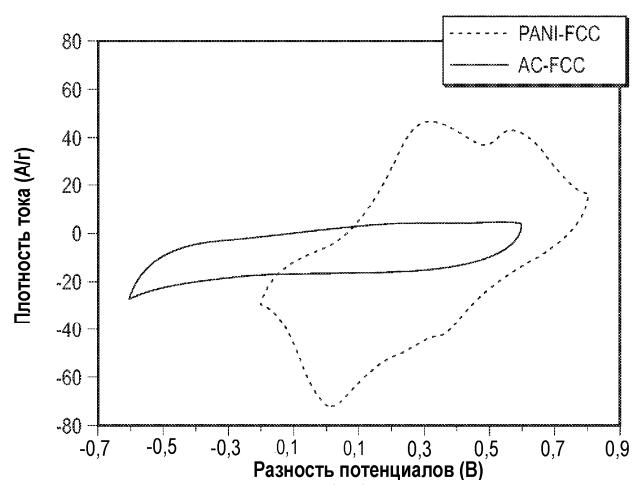




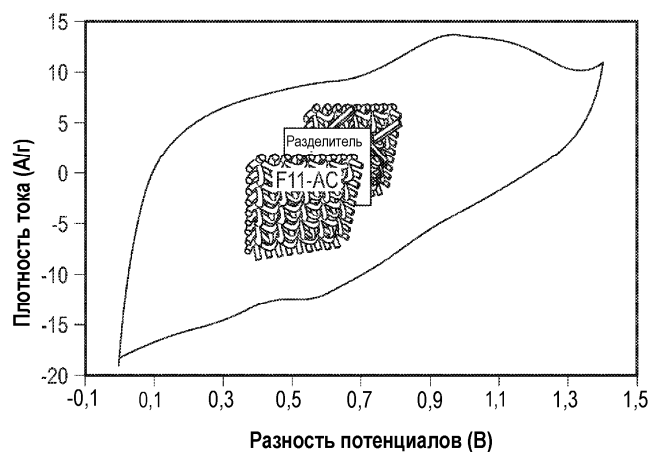




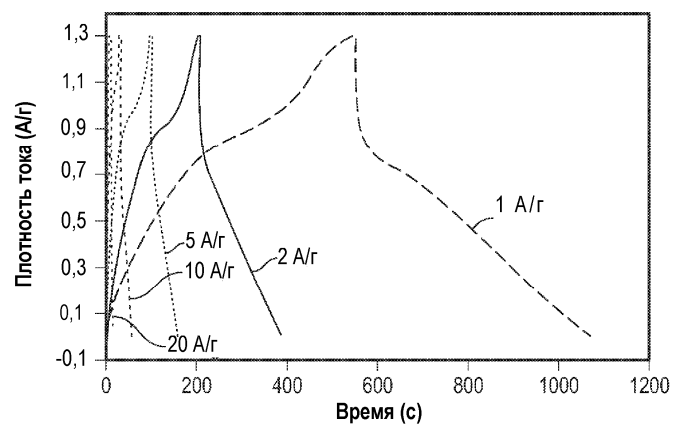
Фиг. 16С



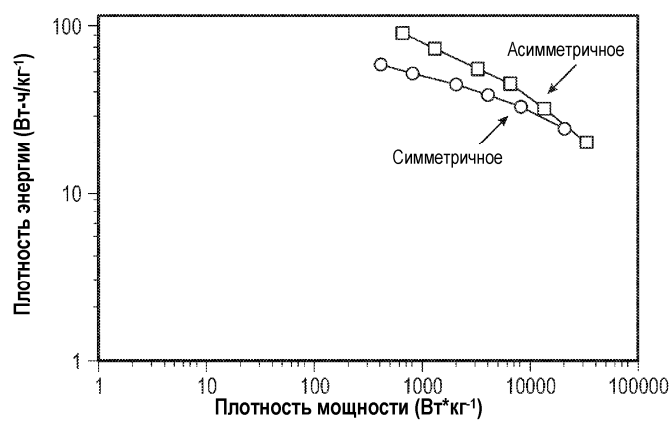
Фиг. 17А



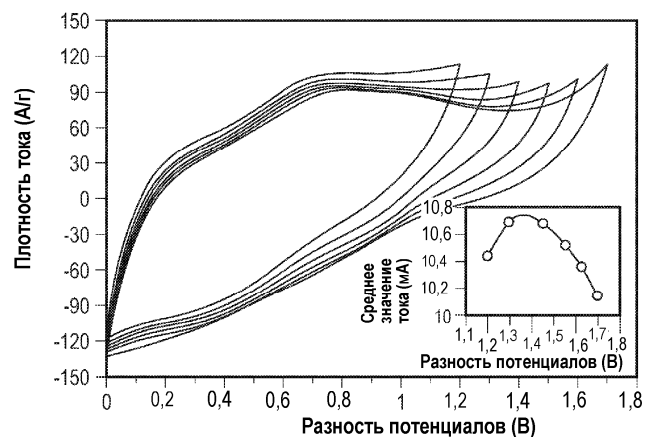
Фиг. 17В



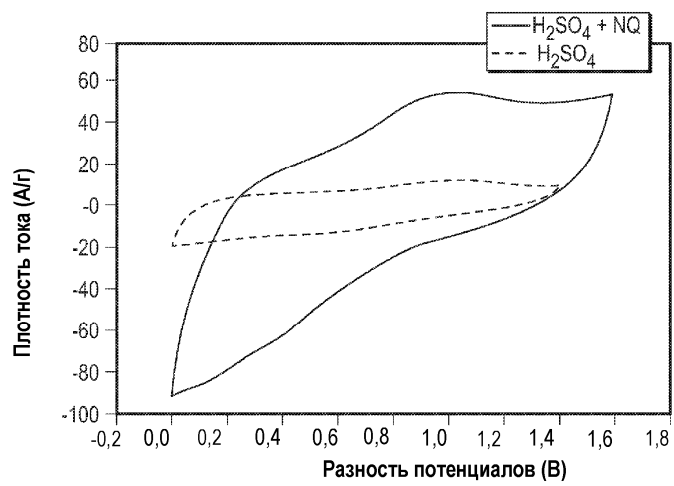
Фиг. 17С



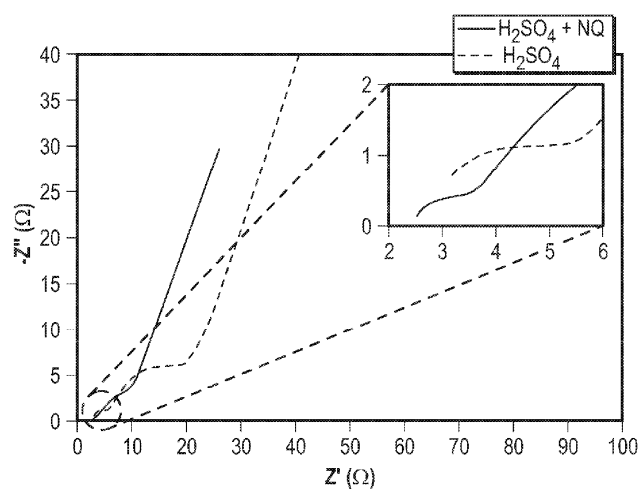
Фиг. 17D



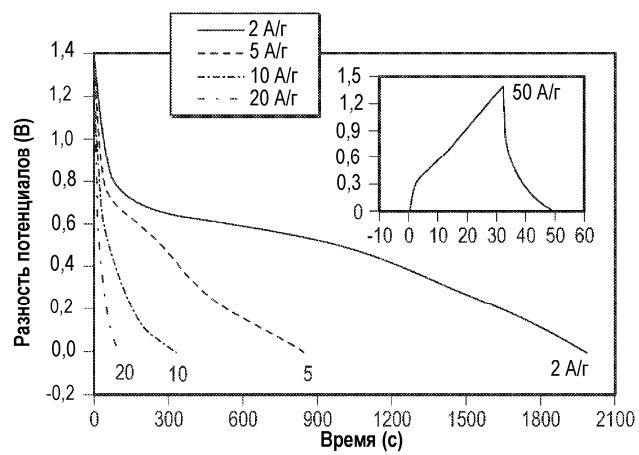
Фиг. 18А



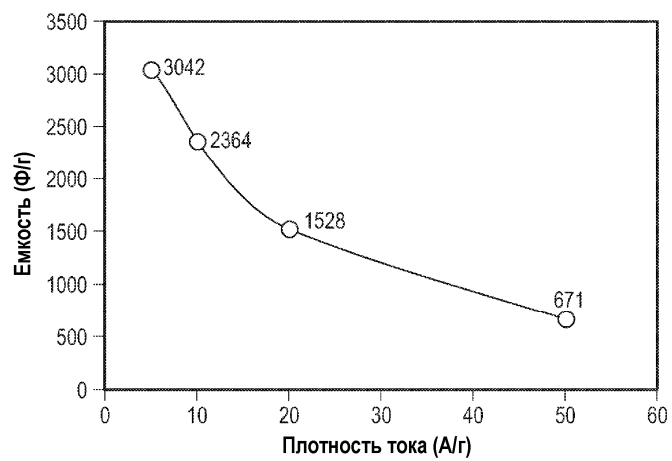
Фиг. 18В



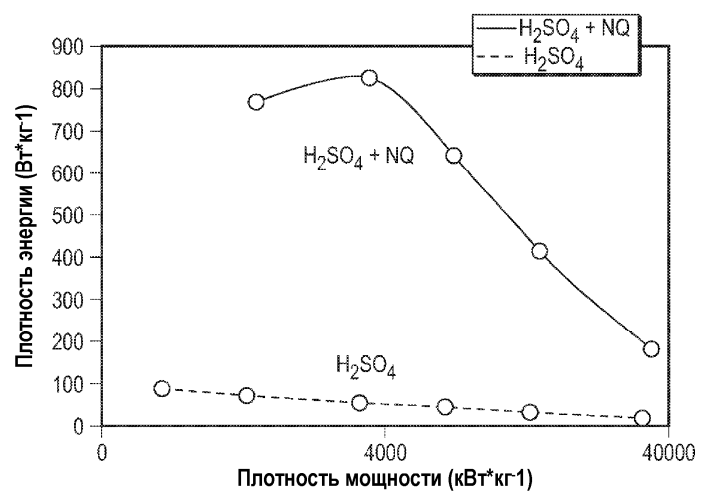
Фиг. 18С



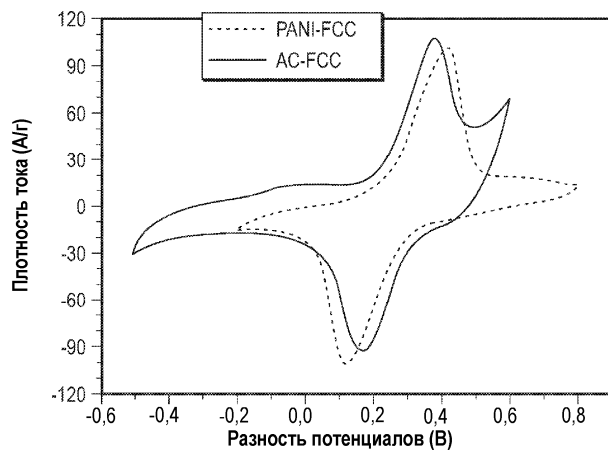
Фиг. 18D



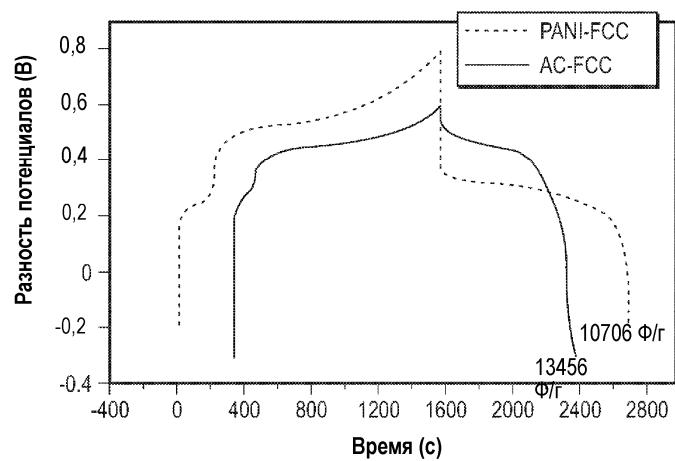
Фиг. 18Е



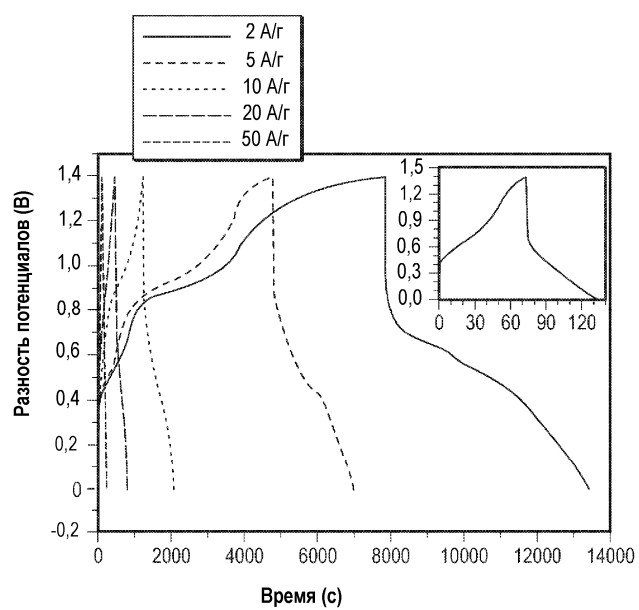
Фиг. 18F



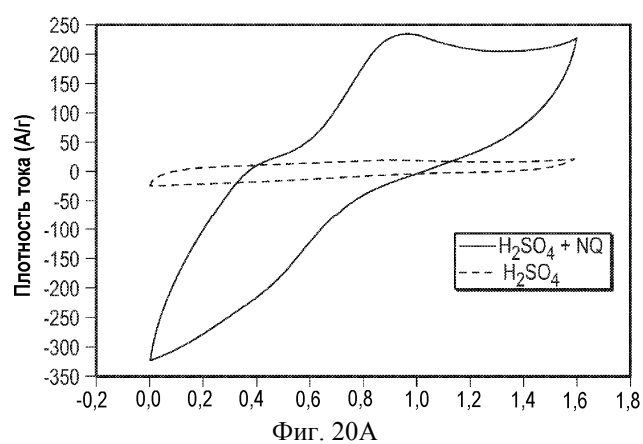
Фиг. 19А



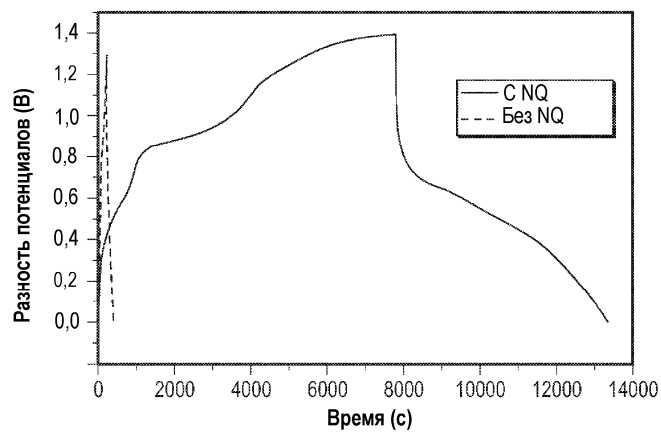
Фиг. 19В



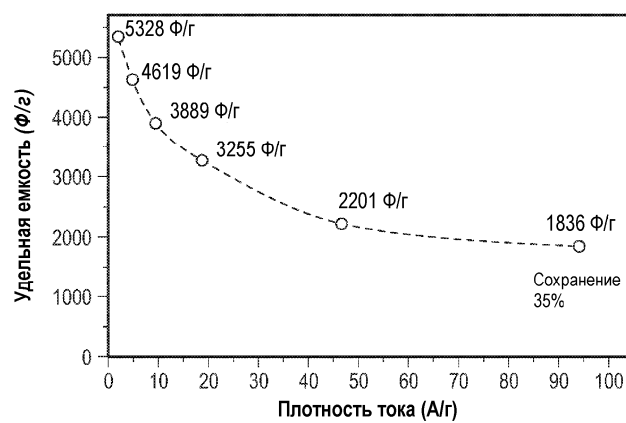
Фиг. 19С



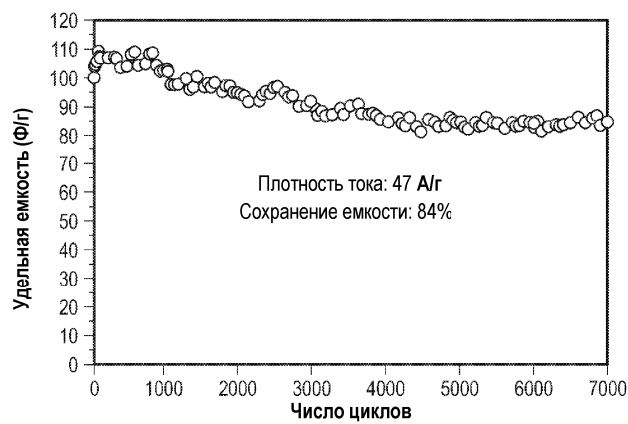
Фиг. 20А



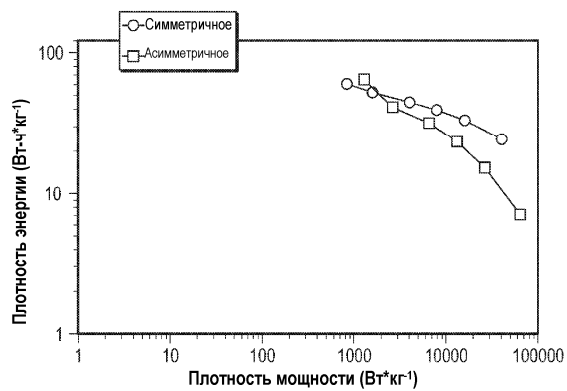
Фиг. 20В



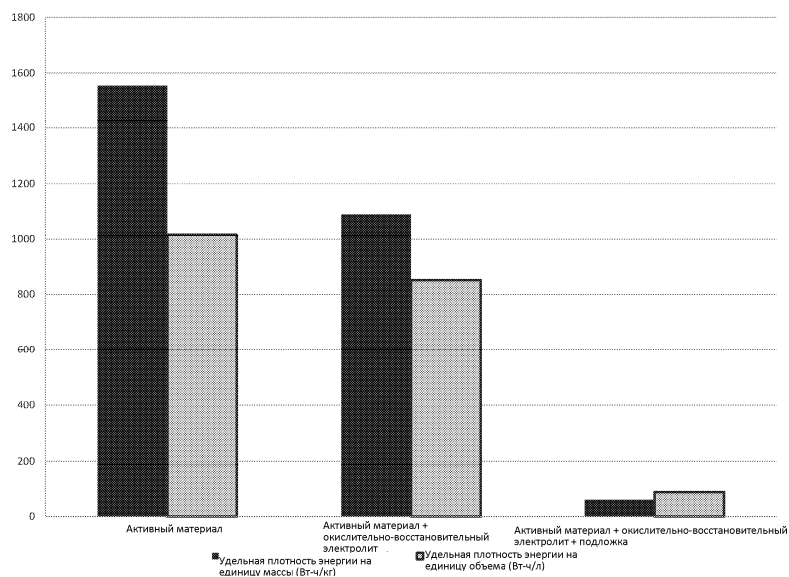
Фиг. 20С



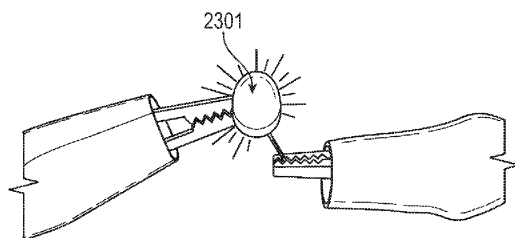
Фиг. 20D



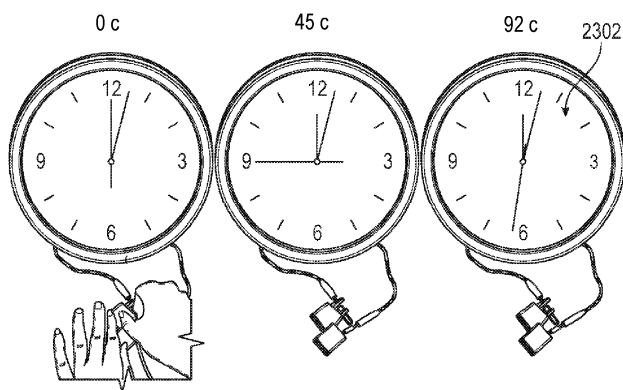
Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23А



Фиг. 23В

